

APPUNTI DI TECNOLOGIE E TECNICHE DI INSTALLAZIONE E MANUTENZIONE

PARTE 2 di 10

**Istituti Professionali
Indirizzo M.A.T.**

Ing. Enrico Cinalli
Rev. 01/19

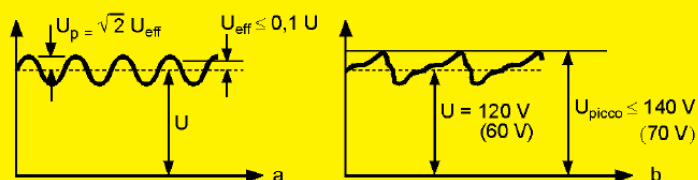
Classificazione dei sistemi elettrici in funzione della tensione nominale di esercizio

Un sistema elettrico – parte di un impianto costituita dal complesso dei componenti elettrici aventi una determinata tensione nominale d'esercizio – si classifica in:

Categoria	Limiti di tensione nominale	Esempi
0	Minore o uguale a 50 V se a corrente alternata o a 120 V se in corrente continua (non ondulata(*)).	Segnalazioni acustiche e luminose, utensili portatili usati in particolari condizioni ambientali, giocattoli elettrici, ecc.
I	Da oltre 50 fino a 1000 V se a corrente alternata o da 120 fino a 1500 V se in corrente continua.	Abitazioni, uffici, negozi, laboratori artigiani, azionamenti industriali, ecc.
II	Da oltre 1000 V se a corrente alternata o oltre a 1500 V se in corrente continua, fino a 30 000 V compresi.	Cabine di trasformazione, linee aeree o in cavo per il trasporto dell'energia a media distanza.
III	Oltre i 30 000 V.	Elettrodotti per il trasporto a media e grande distanza (150 - 220 - 380 kV).

(*) Una tensione in c.c. è ritenuta convenzionalmente non ondulata quando:

- l'ondulazione sinusoidale non è superiore al 10% in valore efficace (fig. a), oppure:
- l'ondulazione non sinusoidale presenta un valore massimo di picco non superiore a 140 V in un sistema c.c. con tensione nominale di 120 V (fig. b), o analogamente 70 V per un sistema in c.c. con tensione nominale di 60 V.



Nell'ambito della categoria 0, vale a dire della bassissima tensione, s'individuano tre differenti sistemi:

Denominazione	Requisiti di alimentazione	Collegamento a terra
SELV Bassissima tensione di sicurezza	Alimentazione tramite: – trasformatore di sicurezza; – gruppo elettrogeno; – batteria indipendente; – apparecchiatura elettronica (gruppo statico di continuità) che garantisca la separazione galvanica tra l'ingresso e l'uscita in modo che anche in caso di guasto la tensione in uscita sia ≤ 50 V ca e ≤ 120 V cc	Nessuna massa e nessun punto del circuito a bassissima tensione può essere collegato a terra.
PELV Bassissima tensione di protezione		Un punto del circuito a bassissima tensione può essere collegato a terra. Le masse possono essere collegate a terra.
FELV Bassissima tensione funzionale	Alimentazione tramite trasformatore, autotrasformatore, variac o alimentatore.	Un punto del circuito a bassissima tensione può essere collegato a terra. Le masse devono essere collegate al conduttore di protezione del circuito primario.
<p>Le parti attive del circuito SELV o PELV devono essere separate da quelle di altri circuiti mediante isolamento doppio o rinforzato oppure schermo metallico collegato a terra.</p> <p>La separazione tra i conduttori del sistema SELV o PELV e i conduttori di altri circuiti deve essere realizzata ricorrendo ad uno dei seguenti metodi:</p> <ul style="list-style-type: none"> – mediante conduttori separati materialmente; – munendo i conduttori del circuito SELV o PELV, oltre che del loro isolamento principale, di una guaina isolante; – separando i conduttori dei circuiti a tensione diversa mediante uno schermo metallico o una guaina metallica messi a terra; – isolando nell'insieme od individualmente i conduttori dei circuiti SELV o PELV, contenuti in uno stesso cavo multipolare o in uno stesso raggruppamento di cavi unitamente a conduttori a tensione diversa, per la massima tensione presente. <p>Le prese a spina dei circuiti SELV non devono avere un contatto per il collegamento del conduttore di protezione nè consentire l'accoppiamento con le spine di altri sistemi elettrici compresi quelli PELV e FELV.</p> <p>Le prese a spina dei circuiti PELV possono avere un contatto per il collegamento del conduttore di protezione ma non devono consentire l'accoppiamento con le spine di altri sistemi elettrici compresi quelli SELV e FELV.</p>		

Classificazione dei sistemi in base al collegamento a terra

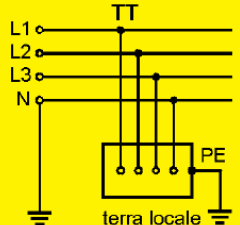
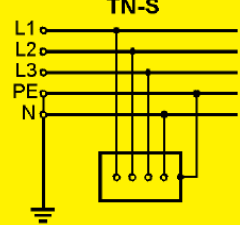
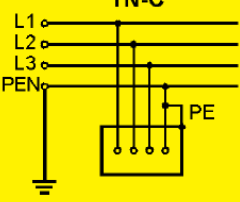
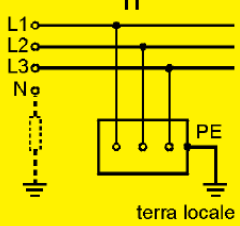
In base al tipo di collegamento a terra delle masse i sistemi elettrici vengono suddivisi nei seguenti tre tipi

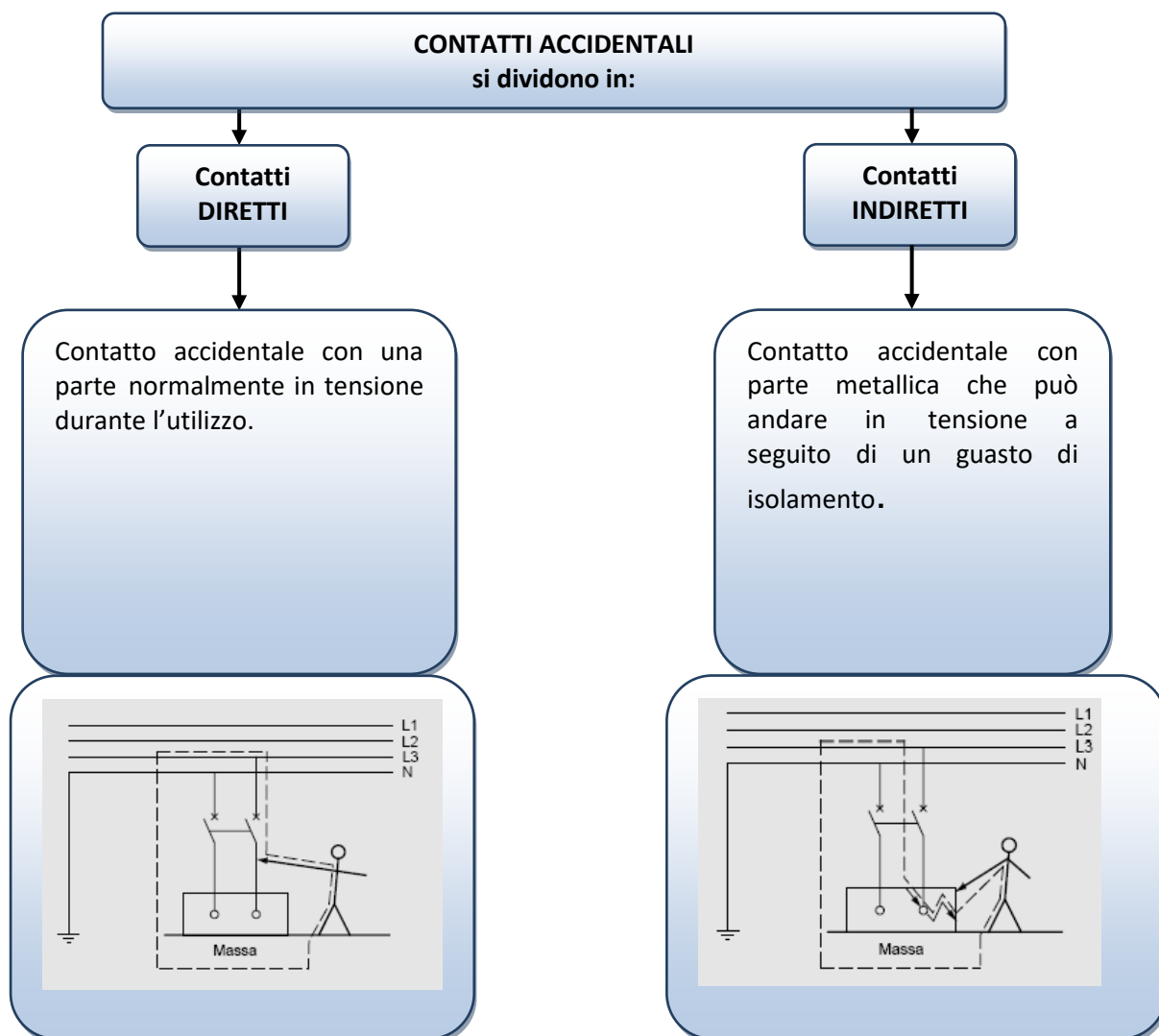
TT	Sistema con il quale viene distribuita l'energia elettrica dagli enti distributori alle utenze di prima categoria. Le masse dell'installazione vengono collegate all'impianto di terra locale. Vietato utilizzare il neutro come conduttore di protezione.
TN	Sistema con il quale viene distribuita l'energia elettrica negli stabilimenti che dispongono di propria cabina di trasformazione. Al primo difetto di isolamento tra fase e massa intervengono i dispositivi di protezione. Il sistema è TN-C se uno stesso conduttore svolge le funzioni di neutro e di conduttore di protezione; è TN-S se le funzioni sono svolte da due conduttori distinti.
IT	Adottato quando la continuità del servizio deve essere tassativamente garantita (ospedali, raffinerie, industrie a ciclo continuo, ecc.). Esige la presenza di personale specializzato per la ricerca del primo guasto. Al secondo guasto intervengono le protezioni ad aprire il circuito.

La prima e la seconda lettera assumo i seguenti significati:

Prima lettera	Situazione del sistema di alimentazione verso terra.	T - collegamento diretto a terra di un punto (in genere il neutro); I - isolamento da terra, oppure collegamento di un punto (in genere il neutro) a terra tramite un'impedenza di valore elevato.
Seconda lettera	Situazione delle masse dell'impianto rispetto a terra.	T - collegamento diretto a terra; N - collegamento al punto di messa a terra del sistema di alimentazione.
Eventuali altre lettere	Situazione del conduttore neutro e del conduttore di protezione.	S - funzioni di neutro e di protezione svolte da conduttori separati; C - funzioni di neutro e di protezione svolte da uno stesso conduttore (PEN).

Riassumendo, si hanno schematicamente i seguenti tipi:

Sistemi	Caratteristiche
 <p>TT</p>	<p>Sistema TT:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Le masse sono collegate ad un impianto di terra indipendente (terra locale). b) All'impianto di terra locale devono essere collegate tutte le masse metalliche accessibili, mediante apposito conduttore di protezione (PE). c) Prese a spina con contatto di terra.
 <p>TN-S</p>  <p>TN-C</p>	<p>Sistema TN-C ⁽¹⁾:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Un solo conduttore (PEN) combina le funzioni di neutro e di protezione. b) Il sistema è con neutro direttamente a terra (impianto di terra unico). c) Sul neutro è vietato inserire dispositivi di interruzione o sezionamento. d) Il conduttore PEN deve essere a posa fissa, con conduttori di sezione non inferiore a 10 mm² in rame o 16 mm² in alluminio, isolato per la tensione fase-neutro e non deve essere posto a valle di un dispositivo differenziale. <p>Nel sistema TN-S:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Il conduttore neutro (N) e quello di protezione (PE) sono separati. b) I conduttori di neutro e di protezione sono messi a terra in cabina.
 <p>IT</p>	<p>Nel sistema IT:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Non vi sono parti attive collegate direttamente a terra. Il neutro è isolato o connesso a terra tramite impedenza. b) Le masse dell'installazione sono collegate ad un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del collegamento a terra del sistema di alimentazione.
<p>⁽¹⁾ E' previsto pure il sistema TN-C-S nel quale le funzioni di neutro e di protezione sono, nella parte a monte del circuito, combinate in un solo conduttore e, in quella a valle, separate. Nel punto di separazione devono essere previsti sbarre o morsetti separati per il neutro e il PE.</p>	

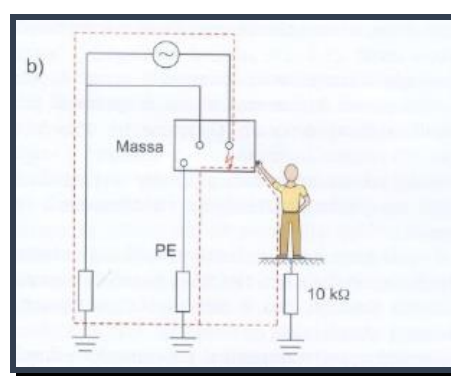
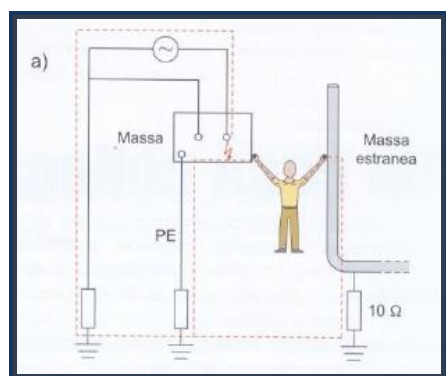


ALCUNE DEFINIZIONI UTILI:

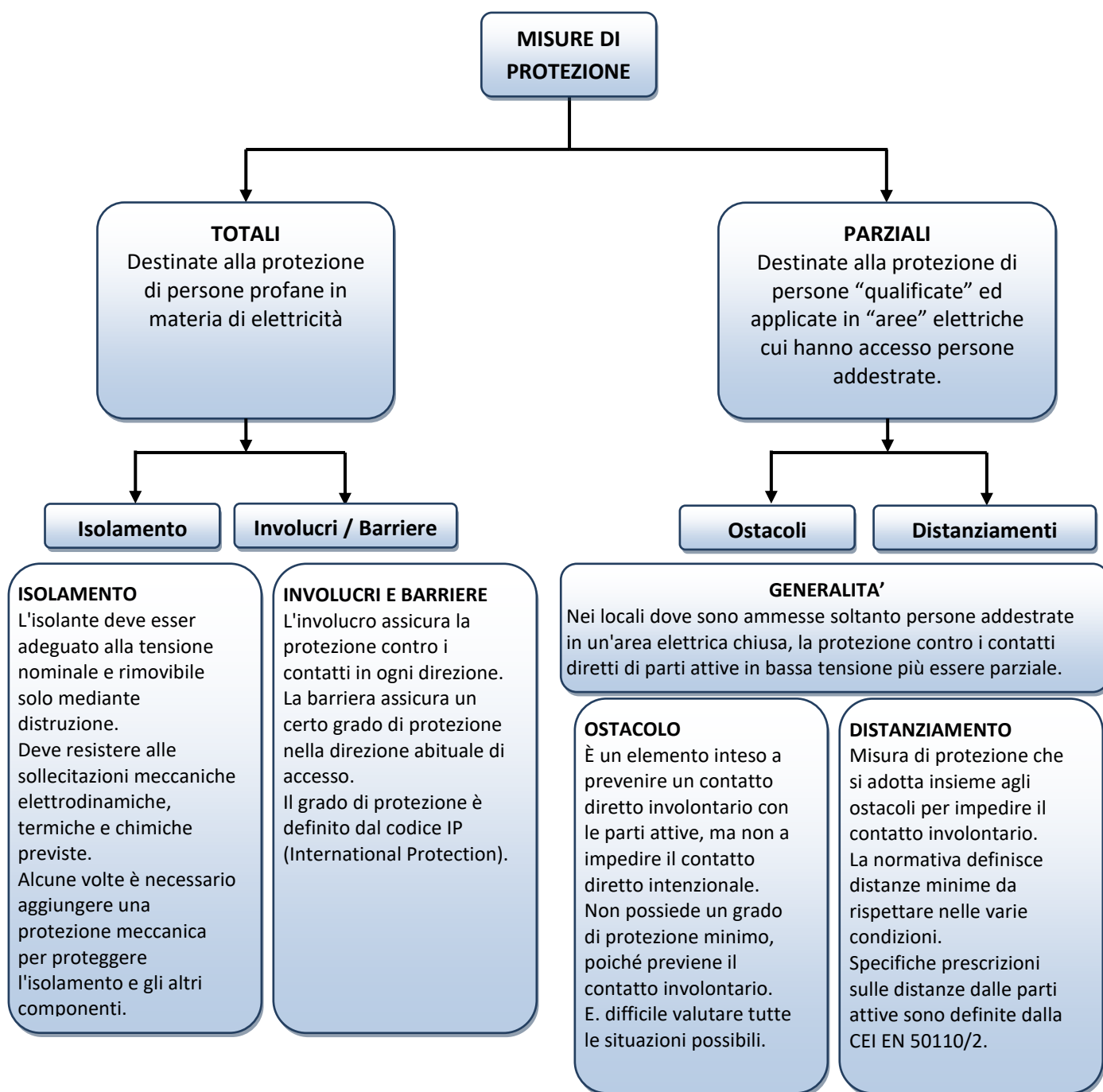
Parte attiva	→	Parte metallica normalmente in tensione durante il funzionamento
Isolamento funzionale	→	Isolamento tra le parti attive e tra queste e la carcassa
Isolamento principale	→	Isolamento delle parti attive necessario ad assicurare la protezione contro la folgorazione
Isolamento supplementare	→	Isolamento previsto per garantire la sicurezza in caso di cedimento dell'isolamento principale
Doppio isolamento	→	Isolamento principale + supplementare
MASSA	→	Parte metallica facente parte dell'impianto elettrico che normalmente non è in tensione ma può andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale
MASSA ESTRANEA	→	Parte metallica non facente parte dell'impianto elettrico che potrebbe andare in tensione in caso di contatto con parti in tensione dell'impianto elettrico presentando una resistenza verso terra inferiore ai limiti normativi (<i>ambienti ordinari: 1000 Ω - ambienti particolari 200 Ω</i>)

Oss.

Il contatto indiretto tra massa e massa estranea è più pericoloso di quello tra massa e terra perché la resistenza in serie alla persona è minore nel primo caso. (si vedano figure sotto riportate).



MISURE DI PROTEZIONE DAI CONTATTI DIRETTI



GRADI DI PROTEZIONE DEGLI INVOLUCRI

L'involucro è l'elemento che assicura ad ogni elemento dell'impianto elettrico una protezione appropriata contro la penetrazione di agenti esterni (polvere, umidità, acqua ecc.).

Il grado di protezione che l'involucro assicura è definito dalle norme mediante le lettere caratteristiche IP seguite da due cifre.

<i>Prima cifra</i>		<i>Seconda cifra</i>	
Contro i corpi solidi e la polvere		Contro l'acqua	
0	Non protetto	0	Non protetto
1	Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 50 mm	1	Protetto contro la caduta verticale di gocce di acqua
2	Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 12,5 mm	2	Protetto contro la caduta di gocce di acqua con una inclinazione massima di 15°
3	Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 2,5 mm	3	Protetto contro la pioggia
4	Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 1,0 mm	4	Protetto contro gli spruzzi d'acqua
5	Protetto contro la polvere	5	Protetto contro i getti d'acqua
6	Totalmente protetto contro la polvere	6	Protetto contro le ondate
La lettera "X", sostituisce l'una, l'altra o entrambe le cifre quando tale cifra non è richiesta oppure quando non dev'essere precisato il grado di protezione relativo.		7	Protetto contro gli effetti dell'immersione
		8	Protetto contro gli effetti della sommersione

Esempi del grado di protezione richiesto o consigliabile per alcuni tipi di ambienti:

IPX4	Bagni, docce e locali con possibile spargimento di liquidi	IP24	locali contenenti saune
IP55	campeggi	IP8X	apparecchi immersi in fontane
IP2X	quadri elettrici al coperto	IP4X	condutture installate in ambienti a maggior rischio in caso di incendio
IP44	cantieri, locali batterie	IP45	ambienti zootecnici

Protezione contro l'accesso a parti pericolose

La 1ª cifra del grado IP indica anche il livello di protezione contro la penetrazione di mani, dita o oggetti impugnati da una persona.

0	Non protetto
1	Protetto contro l'accesso a parti pericolose col dorso della mano.
2	Protetto contro l'accesso a parti pericolose con un dito.
3	Protetto contro l'accesso a parti pericolose con un attrezzo (ad esempio cacciavite).
4	Protetto contro l'accesso a parti pericolose con un filo.
5	Protetto contro l'accesso a parti pericolose con un filo.
6	Protetto contro l'accesso a parti pericolose con un filo.

Se il livello di protezione contro la penetrazione delle dita, della mano, oppure di oggetti impugnati è superiore al livello indicato dalla prima cifra, dopo le due cifre numeriche può essere aggiunta una lettera addizionale con significato antinfortunistico.

Lettera addizionale	Descrizione
A	Impedisce l'accesso con il palmo della mano
B	Impedisce l'accesso con un dito
C	Impedisce l'accesso con un attrezzo impugnato
D	Impedisce l'accesso con un filo impugnato

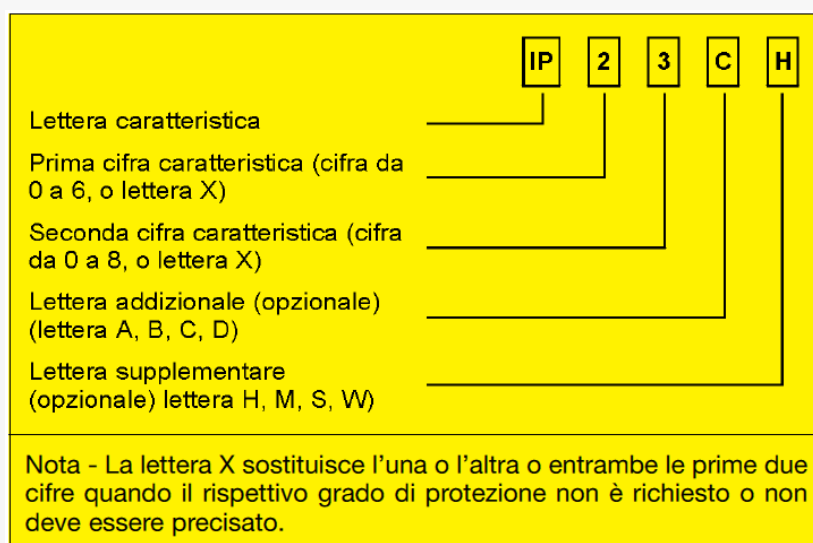
Ad esempio, nel caso di un involucro con grado IP1X (protetto solo contro la penetrazione di corpi solidi estranei con diametro superiore o uguale a 50 mm, possono essere aggiunte protezioni interne tali da impedire alle dita di entrare in contatto con le parti pericolose. In questo caso, l'involucro è classificato IP1XB.

Al limite, se con accorgimenti costruttivi particolari fosse realizzata una protezione solo contro l'accesso a parti pericolose, il grado di protezione sarebbe indicato con la sigla IP seguita da due X e dalla lettera addizionale (ad esempio: IPXXA).

Un'ulteriore lettera, definita lettera supplementare, ha lo scopo di indicare condizioni particolari attinenti la tipologia o l'impiego dell'involucro e del suo contenuto.

Lettera supplementare	Descrizione
H	Involucro adatto ad un'apparecchiatura ad alta tensione
W	Involucro idoneo all'impiego in condizioni atmosferiche particolari (specificate dal costruttore) e dotato di accorgimenti protettivi addizionali
M - S	Involucro in cui, per la presenza di parti interne in movimento (caso tipico quello dei motori), l'eventuale ingresso di acqua potrebbe provocare danni. La presenza della lettera M salvaguarda sempre dai danni, mentre la S indica una salvaguardia condizionata dal fatto che le parti mobili non siano in moto

In definitiva l'indicazione del grado di protezione IP può comprendere due cifre e due lettere:



Protezione meccanica contro gli urti (codice IK)

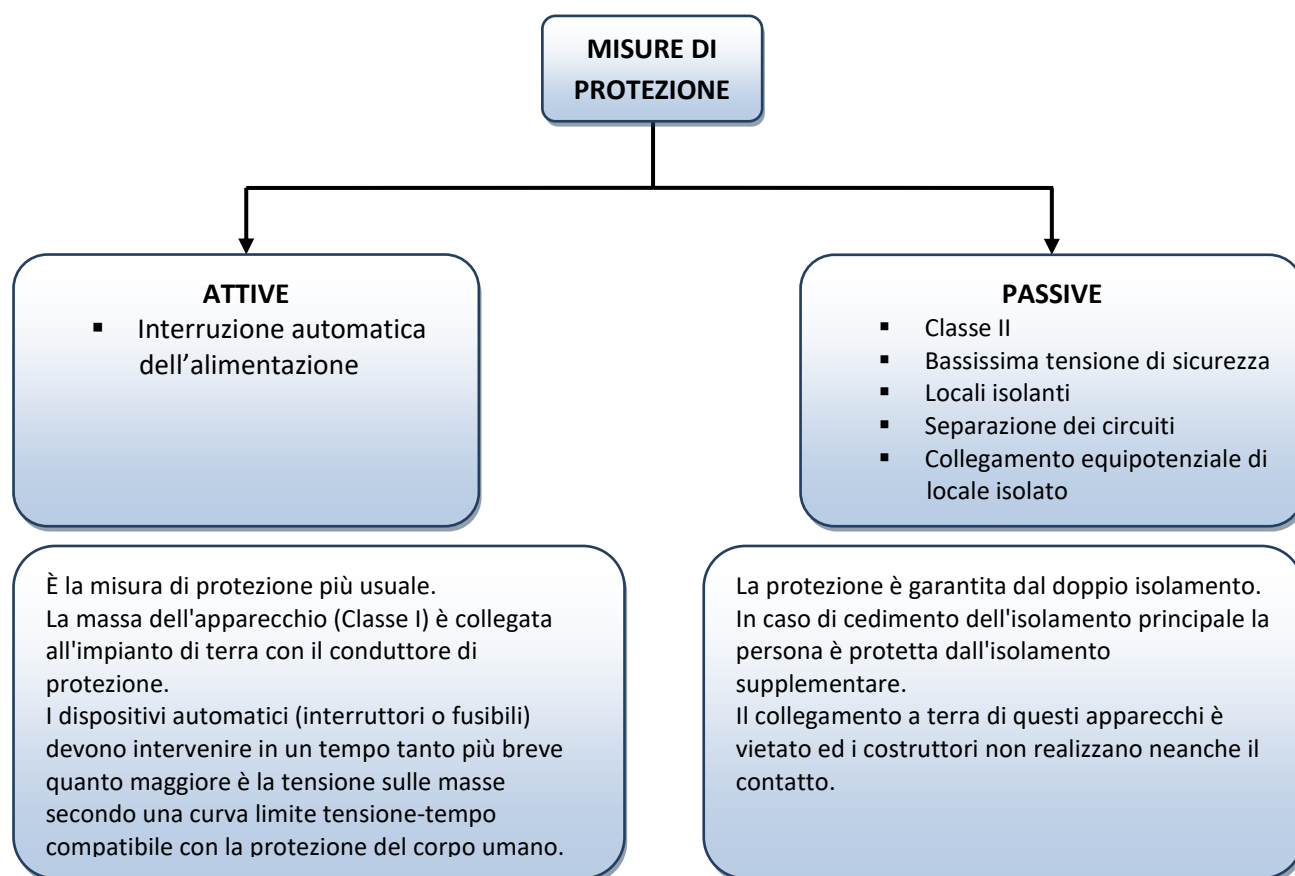
La robustezza degli involucri delle apparecchiature elettriche, agli effetti degli impatti meccanici, è specificata mediante il codice IK costituito da due cifre numeriche che individuano l'energia d'impatto in joule (J) cui l'involucro ha dato prova di resistere senza subire danni.

Le prove vengano fatte utilizzando come elemento d'urto un corpo di acciaio, spinto da una morra oppure lasciato cadere a pendolo o liberamente dall'alto.

Le prove con energia di impatto compresa tra 0,15 e 0,7 J verificano la tenuta di componenti elettrici quali prese, porta lampade, interruttori ecc.; mentre quelle con energia da 1 a 20 J hanno lo scopo di saggiare la robustezza di cassette, quadri e condotti.

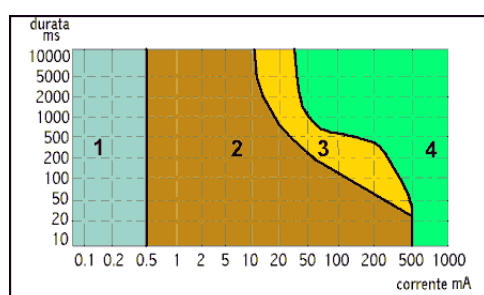
Codice	Energia (J)	Peso (g)	Altezza di caduta (mm)
IK 00	(nessuna prot.)	–	–
IK 01	0,15	200	75
IK 02	0,20	200	100
IK 03	0,35	200	175
IK 04	0,50	200	250
IK 05	0,70	200	350
IK 06	1	500	200
IK 07	2	500	400
IK 08	5	1700	295
IK 09	10	5000	200
IK 10	20	5000	400

MISURE DI PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI

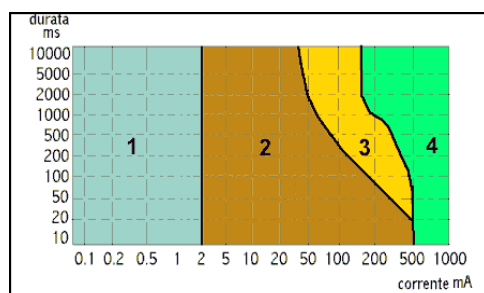


LA CURVA DI SICUREZZA TEMPO-CORRENTE

I limiti convenzionali di pericolosità della corrente elettrica sia alternata che continua, in funzione del tempo per cui fluisce attraverso il corpo umano, sono stati riassunti in grafici tempo-corrente (dati IEC).



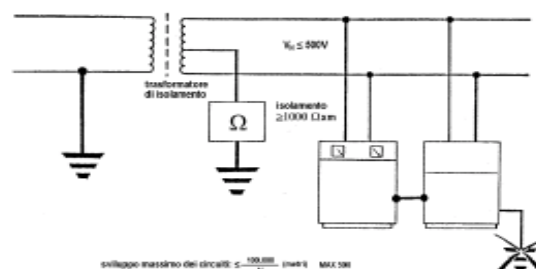
Zone di pericolosità della corrente elettrica alternata a 50 Hz

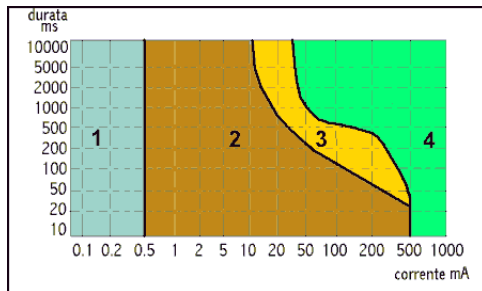


Zone di pericolosità della corrente elettrica continua

SEPARAZIONE ELETTRICA

L'apparecchio è alimentato da una sorgente autonoma o dalla rete di distribuzione generale tramite un trasformatore che ha il compito di isolare il circuito secondario dagli altri circuiti elettrici e da terra (trasformatore di isolamento). Se il circuito secondario è poco esteso, in modo che le correnti capacitive siano trascurabili, un guasto d'isolamento verso massa non è pericoloso per le persone.





Zone di pericolosità della corrente elettrica alternata a 50 Hz

Dalla figura sopra riportata si osserva che:

- per correnti alternate fino a: 0,5 mA (soglia di percezione) il passaggio di corrente non provoca nessuna reazione qualunque sia la durata;
- da 0,5 mA a 10 mA (limite di rilascio - durata qualsiasi) non si hanno in genere effetti pericolosi;
- correnti >10 mA non sono pericolose se la durata del contatto è decrescente rispetto al valore di corrente.

Il piano tempo corrente è suddiviso in quattro zone:

Zona 1 - in cui normalmente non si hanno effetti dannosi;

Zona 2 - tra la retta verticale di ascissa 0,5 mA e la curva "b" di equazione $I = 10 + 10/t$ (mA), con asintoto verticale $I = 10$ mA non si hanno normalmente effetti fisiopatologici pericolosi;

Zona 3 - tra la curva "b" e la curva "c" (soglia di fibrillazione ventricolare) possono verificarsi effetti quasi sempre reversibili che possono divenire pericolosi se a causa del fenomeno della tetanizzazione, che impedisce il rilascio, ci si porta nella zona 4;

Zona 4 - la pericolosità aumenta allontanandosi dalla curva "c". Si può innescare la fibrillazione con conseguente arresto cardiaco, arresto della respirazione e ustioni.

Effetti dell'elettricità sul corpo umano

Quando una corrente elettrica attraversa un corpo umano può produrre effetti pericolosi consistenti generalmente in alterazioni delle varie funzioni vitali, in lesioni al sistema nervoso, ai vasi sanguigni, all'apparato visivo e uditivo, all'epidermide ecc. Alcuni tra questi effetti risultano essere particolarmente pericolosi.

Tetanizzazione

Si contraggono i muscoli interessati al passaggio della corrente, risulta difficile staccarsi dalla parte in tensione prolungando quindi il contatto e provocando effetti ancora più dannosi - Il valore più grande di corrente per cui una persona è ancora in grado di staccarsi della sorgente elettrica si chiama corrente di rilascio e mediamente è compreso tra i 10mA e i 15mA per una corrente di 50Hz. Da notare che correnti molto elevate non producono solitamente la tetanizzazione perché quando il corpo entra in contatto con esse, l'eccitazione muscolare è talmente elevata che i movimenti muscolari involontari generalmente staccano il soggetto della sorgente.

Arresto della respirazione

Una complicanza dovuta alla tetanizzazione è la paralisi dei centri nervosi che controllano la respirazione. Se la corrente elettrica attraversa i muscoli che controllano il movimento dei polmoni, la contrazione involontaria di questi muscoli altera il normale funzionamento del sistema respiratorio e il soggetto può morire soffocato o subire le conseguenze di traumi dovuti all'asfissia. In questi casi il fenomeno è reversibile solo se si provvede con prontezza, anche con l'ausilio della respirazione artificiale, al soccorso dell'infortunato per evitare danni al tessuto cerebrale.

Fibrillazione ventricolare

E' l'effetto più pericoloso ed è dovuto alla sovrapposizione delle correnti provenienti dall'esterno con quelle fisiologiche che, generando delle contrazioni scoordinate, fanno perdere il giusto ritmo al cuore. Il cuore ha la funzione di pompare il sangue lungo le vene e le arterie del corpo. Per questo scopo, i muscoli del cuore, chiamati fibrille, si contraggono e si espandono ritmicamente a circa 60/100 volte al minuto (sistole e diastole). Questi movimenti sono coordinati da un vero e proprio generatore d'impulsi elettrici; il nodo seno-atriale. Appositi tessuti conduttori si incaricano di propagare questi impulsi che, passando attraverso il nodo chiamato atrio-ventricolare, arrivano alle fibre muscolari del cuore. Quando gli impulsi elettrici arrivano alle fibrille, queste ultime producono le contrazioni dando luogo al battito cardiaco. Il cuore, proprio a causa della natura elettrica del suo funzionamento, è particolarmente sensibile a qualunque corrente elettrica che proviene dall'esterno, sia essa causata da uno shock elettrico o introdotta volontariamente come nel caso del pace-maker. La corrente generata dal pace-maker è semplicemente un supporto agli impulsi elettrici prodotti nel nodo seno-atriale e non produce anomalie nel normale funzionamento del cuore ma lo aiuta a correggere certe disfunzioni. Una corrente esterna che attraversa il cuore potrebbe in questo caso avere effetti molto gravi per l'infortunato perché potrebbero alterarsi la sincronizzazione e il coordinamento nei movimenti del cuore con la paralisi dell'operazione di pompaggio del sangue. Questa anomalia si chiama fibrillazione ed è particolarmente pericolosa nella zona ventricolare perché diventa un fenomeno non reversibile in quanto il fenomeno persiste anche se lo stimolo è cessato. Meno pericolosa, grazie alla sua natura reversibile, è invece la fibrillazione atriale. La fibrillazione ventricolare è reversibile entro i primi 2-3 minuti soltanto se il cuore è sottoposto ad una scarica elettrica molto violenta: allo scopo viene impiegato il defibrillatore.

L'IMPIANTO DI TERRA

L'impianto di terra costituisce fondamentalmente un mezzo per disperdere correnti elettriche nel terreno e per proteggere, unitamente ai dispositivi d'interruzione automatica del circuito, le persone dal pericolo di elettrocuzione.

Un buon impianto di terra, associato ad uso corretto dei collegamenti equipotenziali, rappresenta una delle soluzioni più utilizzate per raggiungere il miglior livello di sicurezza. Un impianto di terra, a seconda della funzione che deve assolvere, può distinguersi in:

- *messa a terra di protezione*, è una misura atta a proteggere le persone dai contatti diretti;
- *messa a terra di funzionamento*, ha lo scopo di stabilire un collegamento a terra di particolari punti del circuito elettrico per esigenze di esercizio, come la messa a terra del neutro nei sistemi TT e TN;
- *messa a terra per lavori*, collega a terra temporaneamente una sezione di impianto per esigenze di manutenzione.

E' utile ricordare che l'importanza dell'impianto di terra, in relazione alle problematiche legate alla sicurezza, è sottolineata anche da leggi e normative specifiche riguardanti la sicurezza nei luoghi di lavoro. Non bisogna comunque dimenticare che, per quanto concerne il rischio per le persone, la presenza di un impianto di terra è una condizione necessaria ma non sufficiente per garantire la sicurezza; questa dipende da molti altri fattori che saranno chiariti in altre parti del testo.

DEFINIZIONI

Si riassumono di seguito le definizioni utilizzate più frequentemente:

- **Tensione totale di terra U_T** – è la tensione che si stabilisce durante il cedimento dell'isolamento tra una massa ed un punto del terreno sufficientemente lontano a potenziale zero;
- **Tensione di contatto U_c** – è la differenza di potenziale alla quale può essere soggetto il corpo umano in contatto con parti simultaneamente accessibili, escluse le parti attive, durante il cedimento dell'isolamento;
- **Tensione di passo U_p** – è la differenza di potenziale che può risultare applicata tra i piedi di una persona a distanza di un passo (convenzionalmente un metro) durante il cedimento dell'isolamento;
- **Tensione di contatto limite convenzionale U_L** – massimo valore di tensione di contatto che è possibile mantenere per un tempo indefinito in condizioni ambientali specificate;
- **Tensione nominale verso terra di un sistema U_N** - nei sistemi trifase con neutro isolato o con neutro a terra attraverso impedenza, la tensione nominale, nei sistemi trifase con neutro direttamente a terra, la tensione stellata corrispondente alla tensione nominale, nei sistemi monofase o a corrente continua senza punti di messa a terra, la tensione nominale, nei sistemi monofase o a corrente continua con punto di mezzo messo a terra, metà della tensione nominale;
- **Parte attiva** - conduttore o parte conduttrice in tensione nel servizio ordinario, compreso il conduttore di neutro, ma escluso, per convenzione, il conduttore PEN;
- **Massa** - parte conduttrice di un componente elettrico che può essere toccata e che non è in tensione in condizioni ordinarie, ma che può andare in tensione in condizioni di guasto; una parte conduttrice che può andare in tensione solo perché è in contatto con una massa non è da considerarsi una massa;
- **Massa estranea** - parte conduttrice non facente parte dell'impianto elettrico in grado di introdurre un potenziale, generalmente un potenziale di terra;
- **Terra** - il terreno come conduttore il cui potenziale elettrico in ogni punto è convenzionalmente considerato uguale a zero;
- **Dispersore** - corpo conduttore o gruppo di corpi conduttori in contatto elettrico con il terreno e che realizza un collegamento elettrico con la terra;
- **Resistenza di terra R_T** - resistenza esistente tra un collettore (o nodo) di terra e la terra;
- **Impianti di terra elettricamente indipendenti** - impianti di terra aventi dispersori separati. La corrente massima che uno di questi impianti può disperdere non deve modificare il potenziale rispetto a terra dell'altro impianto in misura superiore ad un determinato valore;
- **Conduttore di protezione PE** - conduttore prescritto per alcune misure di protezione contro i contatti indiretti per il collegamento di alcune delle seguenti parti: masse, masse estranee, collettore (o nodo) principale di terra, dispersore, punto di terra della sorgente o neutro artificiale;
- **Conduttore PEN** - Conduttore che svolge contemporaneamente funzioni sia di protezione sia di neutro;
- **Conduttore di terra CT** - Conduttore di protezione che collega il collettore (o nodo) principale di terra al dispersore o i dispersori tra loro;
- **Collettore (o nodo) principale di terra** - elemento che raccoglie, collegandoli tra loro, il dispersore, i conduttori di protezione, compresi i conduttori equipotenziali e di terra;
- **Collegamento equipotenziale EQP** - (collegamento equipotenziale principale), EQS (collegamento equipotenziale secondario), conduttore che mette le diverse masse e masse estranee allo stesso potenziale;
- **Conduttore equipotenziale** - conduttore di protezione che assicura il collegamento equipotenziale;
- **Impianto di terra** - insieme dei dispersori, dei conduttori di terra, dei collettori (o nodi) di terra e dei conduttori equipotenziali, destinato a realizzare la messa a terra di protezione e/o di funzionamento.

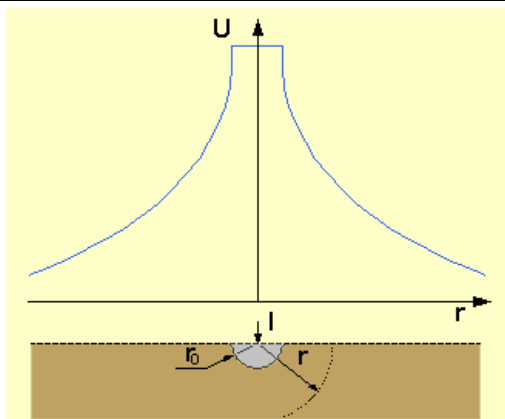
La resistività del terreno e la resistenza di terra (R_T)

Il parametro fondamentale per la determinazione della resistenza di terra è la resistività del terreno. Presenta valori estremamente variabili da luogo a luogo e in funzione del tempo. La resistività del terreno, se confrontata con i metalli, è molto elevata ed è influenzata positivamente dalla presenza di sali e dall'umidità. Da quanto detto risulta del tutto evidente come sia importante, per il calcolo della resistenza di terra, determinarne con una buona precisione il valore medio.

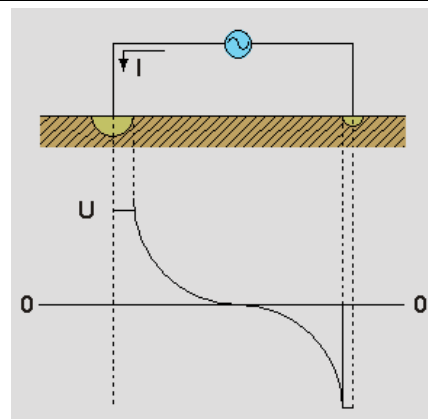
Tensione totale di terra e resistenza di terra

Il terreno svolge la funzione di conduttore elettrico quando a due elettrodi (dispersori) conficcati nel terreno è applicata una d.d.p. Ogni porzione elementare del terreno offre una resistenza tanto più piccola quanto più è lontana dal dispersore (per la verifica si è usato un dispersore emisferico di raggio " r_0 " perché ad una certa distanza, qualunque sia la forma del dispersore, le linee equipotenziali diventano emisferiche).

Si dice resistenza di terra R_T la somma delle resistenze elettriche elementari di queste porzioni di terreno. Ad una certa distanza dal dispersore la sezione diventa così grande che la resistenza è pressoché nulla, mentre, nelle immediate vicinanze, le sezioni attraverso le quali la corrente fluisce si rimpiccioliscono e la resistenza aumenta. Le seguenti considerazioni si basano sul presupposto che il terreno sia omogeneo e che la sua resistività sia costante in tutti i suoi punti. Normalmente, inoltre, si trascura l'effetto reattivo, supponendo prevalente quello resistivo. Per quanto detto sopra si definisce equivalente emisferico di un dispersore, qualsiasi dispersore di forma emisferica avente la stessa resistenza.



Andamento del potenziale nel terreno per un elettrodo emisferico



Tensione di terra di elettrodi emisferici installati a grande distanza

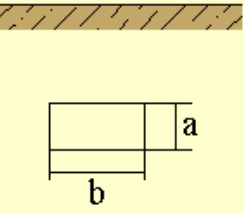
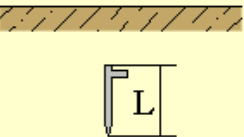
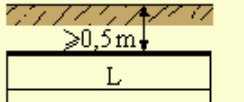
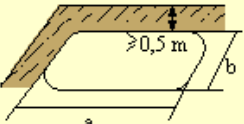
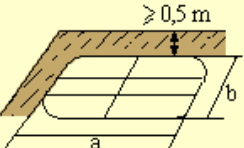
Misurando la tensione che si stabilisce tra due elettrodi sufficientemente lontani, dopo aver iniettato nel terreno una corrente costante, si ottiene un andamento del tipo indicato nella figura soprariportata.

La differenza di potenziale tra l'elettrodo e un qualsiasi punto lontano a potenziale zero è detta tensione di terra o tensione totale di terra. La resistenza di terra è legata alla U_T e alla corrente iniettata nel terreno per mezzo della nota relazione:

$$R_T = \frac{U_T}{I}$$

La relazione di cui sopra ha validità di carattere generale e quindi anche per elettrodi di forma diversa. Il valore di R_T può, infatti, essere considerato indipendente dalla corrente iniettata e può essere calcolato, anche se in forma approssimata, in base alle caratteristiche dell'elettrodo e alla natura del terreno.

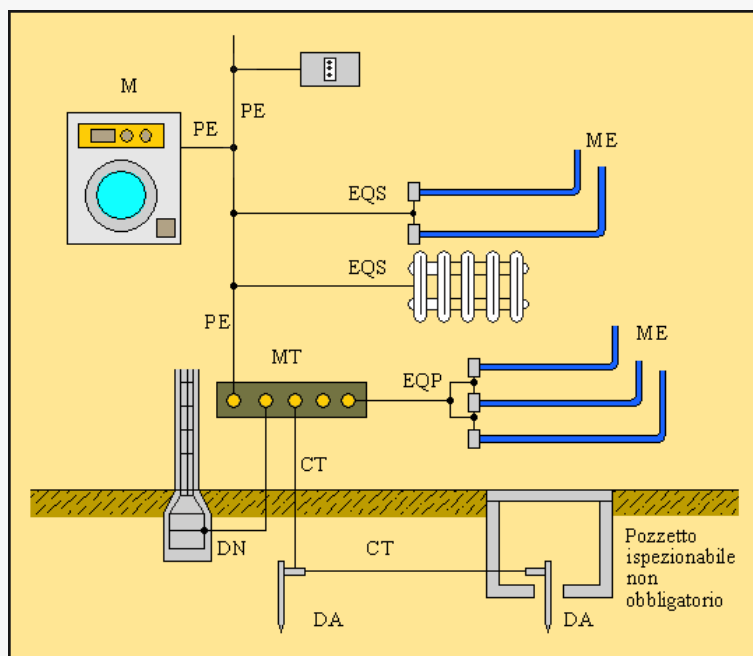
Di seguito si riassumono le formule semplificate che permettono di calcolare la resistenza di terra di alcuni tra gli elettrodi più diffusi.

Tipo di dispersore		Formula
Piastra		$R_T = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot b}}$
Picchetto		$R_T = \frac{\rho}{L}$
Conduttore orizzontale		$R_T = 1,5 \cdot \frac{\rho}{L}$
Anello		$R_T = 1,5 \cdot \frac{\rho}{(a + b)}$
Maglia		$R_T = \frac{\rho}{4 \cdot r}$
L= lunghezza [m] a, b = lati [m] r= raggio del cerchio di area equivalente alla superficie della maglia [m]		

Formule per la determinazione della resistenza di terra RT in base al tipo di dispersore

STRUTTURA DI UN IMPIANTO DI TERRA

Gli impianti di terra, indipendentemente dal modo e dal luogo di installazione presentano numerose caratteristiche comuni. In figura è rappresentata una tipica struttura di impianto di terra per un edificio.



Elementi fondamentali di un impianto di terra

DA	Dispersore intenzionale
DN	Dispersore di fatto
CT	Conduttore di terra
EQP	Conduttore equipotenziale principale
EQS	Conduttore equipotenziale supplementare
PE	Conduttore di protezione
MT	Collettore (o nodo) principale di terra
M	Masse
ME	Massa estranea

Dispersore

Il dispersore è un corpo metallico o l'insieme di corpi metallici in contatto elettrico col terreno utilizzati intenzionalmente o di fatto per disperdere correnti elettriche. Il "*dispersore intenzionale*" è stato installato unicamente con lo scopo di mettere a terra gli impianti elettrici (picchetti, corde, piastre, piattine ecc..) mentre il "*dispersore di fatto*" è un corpo metallico in contatto col terreno o tramite calcestruzzo, che viene normalmente utilizzato per scopi diversi dalla messa a terra degli impianti elettrici (gli elementi metallici degli edifici, le tubazioni metalliche di acqua ed altri fluidi, le armature metalliche dei cavi a contatto col terreno ecc..).

I dispersori di fatto sono costituiti da elementi metallici che normalmente sono molto estesi e hanno superfici di contatto col terreno più grandi di quelle dei dispersori intenzionali per cui il loro contributo alla dispersione della corrente di guasto può essere notevole. Negli edifici di tipo civile è necessario considerare l'impiego di questo tipo di dispersori in fase di progetto e porre particolare attenzione alla realizzazione di buoni collegamenti (legature e/o saldature) tra i ferri della struttura metallica in modo che il complesso così realizzato presenti una resistenza elettrica molto bassa. Nella realizzazione dei collegamenti tra i vari elementi del dispersore occorre porre particolare attenzione all'accoppiamento di materiali metallici diversi (ad esempio ferro e rame) che potrebbero essere sottoposti a fenomeni di corrosione dovuti ad eventuali correnti vaganti o per l'effetto pila tra i metalli stessi (utilizzare le apposite piastre di accoppiamento bimetalliche).

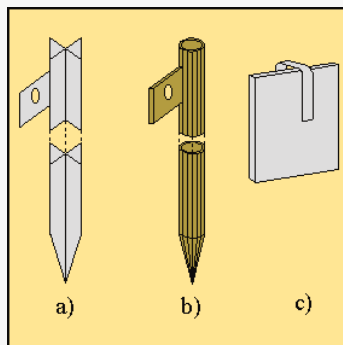
Dispensori intenzionali (DA)

I dispersori intenzionali possono essere del tipo a picchetto, a corda, a piastra ecc. I requisiti fondamentali che devono possedere sono:

- robustezza meccanica sufficiente per resistere alle sollecitazioni dovute alle operazioni di installazione e all'assestamento del terreno;
- resistenza (comprese le giunzioni e i morsetti) all'aggressione chimica del terreno;
- buona continuità elettrica fra i vari elementi;
- non devono essere causa di corrosione per le altre strutture interrate alle quali sono collegati metallicamente.

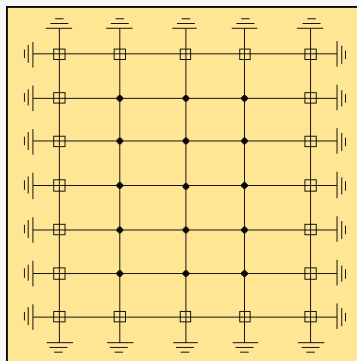
I dispersori a picchetto possono essere di forma cilindrica oppure realizzati con profilati di acciaio zincato a caldo. Con i dispersori cilindrici, essendo costituiti da una serie di tubi o tondini suddivisi in tratti di circa 1,5 m raccordabili per mezzo di filettature, è possibile ottenere con discreta facilità profondità di infissione notevoli. Quando la profondità di posa non è elevata si possono utilizzare i profilati d'acciaio zincato a caldo.

I dispersori a piastra sono impiegati nei terreni rocciosi dove è particolarmente difficile infiggere dispersori a picchetto o in profilato. Sono abitualmente posate verticalmente più raramente, quando è necessario trattare il terreno con apposite soluzioni, la posa avviene in modo orizzontale. Attorno alla piastra deve essere stipato terreno di riporto eventualmente anche con l'ausilio di opportuni vibratori.



Dispensori per posa poco profonda

Un altro tipico dispersore è il dispersore ad anello ottenuto collegando ad anello conduttori nudi (nastri o corde) posati direttamente nel terreno ad una profondità di almeno 0,5 m. Dal dispersore ad anello deriva anche il dispersore a maglia ottenuto collegando corde di rame o di acciaio zincato interrate almeno 0,5 m eventualmente integrato con picchetti. L'installazione del dispersore in fiumi, canali o nel mare è sconsigliabile e comunque deve essere realizzata ad almeno 5 metri di profondità. Ove questo non fosse possibile deve essere impedito l'accesso alla zona che risultasse pericolosa. Le giunzioni fra i vari componenti il dispersore devono essere effettuate con saldatura forte autogena oppure con appositi morsetti in grado di assicurare un buon contatto elettrico e di sopportare eventuali sforzi meccanici. Deve anche essere garantita la protezione contro la corrosione.



Dispensore a maglia con integrazione di picchetti

Dimensioni minime e materiali degli elementi dispersori

Le Norme raccomandano, per gli impianti di I, II e III categoria, quando il terreno presenta caratteristiche non particolarmente aggressive, le dimensioni minime riportate nella successiva tabella.

Per gli impianti di I categoria queste dimensioni risultano generalmente sufficienti, non sempre invece lo sono per gli impianti di II e di III categoria. In questo caso le Norme prescrivono la verifica di ogni elemento utilizzato come dispersore applicando la classica formula:

$$S_T = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{K}$$

dove:

- I è la quota parte (in ampere) della corrente di terra che percorre l'elemento del dispersore;
- t è il tempo di eliminazione del guasto in secondi;
- K è un coefficiente che vale 229 (A/mm²s²) se il materiale è il rame oppure 78 (A/mm²s²) se il materiale è l'acciaio con sovrariscaldamento di tipo adiabatico con temperatura iniziale di 30 °C e finale non superiore a 400°C.

	<i>Tipo</i>	<i>Dimensioni Minime</i>	<i>Acciaio zincato a caldo ⁽¹⁾</i>	<i>Acciaio rivestito di rame</i>	<i>Rame</i>
Posa nel terreno	Piastra	Spessore (mm)	3	(²)	3
	Nastro	Sezione (mm ²)	100	50	50
		Spessore (mm)	3	(²)	3
	Tondino massiccio	Sezione (mm ²)	50	(²)	35
Conduttore cordato	Sezione (mm ²)	50	(²)	35	
	Diametro filo elementare (mm)	1,8		1,8	
Per infissione nel terreno	Picchetto a tubo	Diametro esterno (mm)	40	(²)	30
		Spessore (mm)	2		3
	Picchetto massiccio	Diametro (mm)	20	15 (³)	15
Picchetto in profilato	Dimensione trasversale (mm)	50	(²)	50	
	Spessore (mm)	5		5	
<i>Nota: I valori indicati sono validi in terreni non particolarmente aggressivi</i>					
(1) E' ammesso anche l'acciaio non zincato					
(2) Tipi e dimensioni non considerati nelle Norme CEI 64-8					
(3) Spessore del rivestimento in rame:					
— 100mm se realizzato con deposito elettrolitico;					
— 500 mm se realizzato per trafilatura.					

Dimensioni minime degli elementi del dispersore secondo le Norme CEI 11-8 e 64-8

Dispensori di fatto (DN)

Le caratteristiche del dispersore di terra possono essere migliorate utilizzando, oltre i dispersori intenzionali, anche i dispersori di fatto. Tutti i corpi metallici in intimo contatto col terreno o tramite calcestruzzo possono essere collegati all'impianto di terra adottando però alcuni accorgimenti atti ad evitare fenomeni di corrosione. Per limitare tali fenomeni è bene impiegare, negli accoppiamenti, metalli omogenei, possibilmente vicini nella scala di nobiltà. L'ordine di nobiltà tra i metalli più comuni è nell'ordine: stagno, rame, ottone, bronzo, acciaio annesso nel calcestruzzo, acciaio dolce, piombo, alluminio e zinco. Soprattutto nelle giunzioni senza saldatura è necessario limitare le copie elettrolitiche utilizzando morsetti e conduttori dello stesso metallo e proteggere le giunzioni dall'umidità rivestendole con nastri vulcanizzanti.

Uno dei dispersori di fatto più comuni sono i ferri di armatura del cemento armato che, per effetto dell'umidità contenuta nel calcestruzzo, possono considerarsi, una volta collegati all'impianto di terra, dispersori a tutti gli effetti. Per consentire il collegamento con le varie parti del dispersore devono essere previsti, in fase di realizzazione, dei conduttori di adeguata lunghezza collegati con le armature e dei conduttori posati lungo il perimetro dell'edificio per interconnettere elettricamente tra loro i ferri dei plinti. I ferri del cemento armato devono essere, per garantire la continuità, collegati tra di loro per mezzo di saldature, morsetti o legature effettuate a regola d'arte.

Conduttore di protezione (PE)

Col conduttore di protezione (è identificato dal colore giallo/verde e viene chiamato PE oppure, se svolge contemporaneamente anche la funzione di neutro, PEN) si realizza il collegamento delle masse con l'impianto di terra. Unitamente all'interruttore automatico garantisce la protezione dai contatti indiretti e deve essere dimensionato, come pure il conduttore di terra ed equipotenziale, sia per sopportare le sollecitazioni termiche dovute alla corrente di guasto verso terra (che in condizioni di regime è nulla) sia per sopportare eventuali sollecitazioni meccaniche (le norme a tal proposito stabiliscono delle sezioni minime).

Il dimensionamento può essere effettuato, con un metodo semplificato, in funzione della sezione del conduttore di fase (Tab.1) o in modo adiabatico (il calore prodotto e accumulato tutto dal cavo) con la formula sotto indicata, metodo che conduce a sezioni notevolmente inferiori rispetto a quelle ottenute col metodo semplificato.

Sezione di fase [mm ²]	Sezione minima del conduttore di protezione [mm ²]			
	Cu		Al	
	PE	PEN	PE	PEN
≤ 16	S _F	S _F	S _F	S _F
16 ÷ 35	16	16	16	25
> 35	S _F /2	S _F /2	S _F /2	S _F /2

Tab. 1

$$S_{PE} = \sqrt{\frac{I^2 \cdot t}{K_C^2}}$$

dove:

$I^2 t$ è l'energia specifica lasciata passare dell'interruttore automatico durante l'interruzione del guasto

K_C è un coefficiente (Tab. 2) che dipende dal materiale isolante e dal tipo di conduttore impiegato.

IMPIANTO DI MESSA A TERRA

Valori del coefficiente K_c per conduttori costituiti da un cavo unipolare o da un conduttore nudo in contatto con il rivestimento esterno dei cavi				
Tipo conduttore		Tipo di isolante		
		PVC $g_0 = 30$ $g_f = 160$	G2 $g_0 = 30$ $g_f = 250$	EPR/XLPE $g_0 = 30$ $g_f = 220$
Cavo unipolare	Cu	143	166	176
	Al	95	110	116
Cavo nudo a contatto con rivestimento esterno di cavi isolati	Cu	143	166	176
	Al	95	110	116
	Fe	52	60	64
Valori del coefficiente K_c per conduttori costituiti da un'anima di cavo multipolare				
Tipo di conduttore		Tipo di isolante		
		PVC $g_0 = 70$ $g_f = 160$	G2 $g_0 = 85$ $g_f = 250$	EPR/XLPE $g_0 = 85$ $g_f = 220$
Anima di cavo multipolare	Cu	115	135	143
	Al	76	89	94
Valori del coefficiente K_c per conduttori nudi non in contatto con materiali danneggiabili				
Tipo conduttore		Condizioni di posa		
		A (*) $g_0 = 30$ $g_f = 500$	B (*) $g_0 = 30$ $g_f = 200$	C (*) $g_0 = 30$ $g_f = 150$
Cavo nudo non a contatto con rivestimen... di cavi isolati	Cu	228	159	138
	Al	125	105	91
	Fe	82	58	50
(*) A: a vista in locali accessibili solo a personale addestrato (*) B: in condizioni ordinarie (*) C: in locali con pericolo di incendio, salvo diverse prescrizioni delle Norme CEI 64-2				
Valori del coefficiente K_c per conduttori costituiti dal rivestimento metallico o dall'armatura del cavo				
Tipo conduttore		Tipo di isolante		
		PVC $g_0 = 30$ $g_f = 160$	G2 $g_0 = 80$ $g_f = 250$	EPR/XLPE $g_0 = 75$ $g_f = 220$
Rivestimento o armatura del cavo	Cu	122	140	149
	Al	79	90	96
	Fe	42	48	51
	Pb	22	19	19

Tab. 2

Per concludere occorre ricordare che quando il conduttore 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), oppure a 4 mm^2 se non è prevista una protezione meccanica.

Una particolare nota va dedicata alle apparecchiature elettroniche con correnti di dispersione superiore a 10 mA che devono essere collegate a terra secondo una delle seguenti configurazioni:

un cavo unipolare non inferiore a 10 mm^2 ;

due cavi in parallelo ciascuno di sezione non inferiore a 4 mm^2 ;

anima di cavo multipolare di sezione non inferiore a $2,5 \text{ mm}^2$ purché il cavo abbia una sezione complessiva non inferiore a 10 mm^2 per rendere minimi i danni dovuti ad eventuali sollecitazioni meccaniche;

due cavi in parallelo di sezione non inferiore a $2,5 \text{ mm}^2$ protetti mediante componenti metallici.

Conduttore di terra (CT)

Per il dimensionamento del conduttore di protezione si devono adottare criteri diversi a seconda che si tratti di bassa o di media tensione. Le ragioni che stanno alla base del dimensionamento dei conduttori di terra sono principalmente legate alla resistenza meccanica del conduttore. La corrente di guasto, infatti, che in condizioni di normale funzionamento è zero, è quasi sempre sopportabile da conduttori di terra che rispettino le sezioni minime stabilite dalle Norme:

	Protetti meccanicamente		Non protetti meccanicamente
	Sezione conduttore di fase	Sezione minima conduttore di terra	Sezione minima conduttore di terra
Protetto contro la corrosione (In ambienti non particolarmente aggressivi dal punto di vista chimico il rame e il ferro zincato si considerano protetti contro la corrosione)	$S_F < 16$	$S_T = S_F$	16 mm^2 se in rame
	$16 \leq S_F \leq 35$	$S_T = 16$	16 mm^2 se in ferro zincato (secondo Norma CEI 7-6 o con rivestimento equivalente)
	$S_F > 35$	$S_T = S_F / 2$	
Non protetto contro la corrosione	25 mm^2 se in rame 50 mm^2 se in ferro zincato (secondo la Norma CEI 7-6 o con rivestimento equivalente)		

Una verifica più approfondita è comunque sempre utile e richiede un'analisi dei singoli sistemi di distribuzione.

Sistema TT

La corrente di guasto attraversa il conduttore di terra la cui sezione minima deve essere, sempre rispettando le sezioni minime prescritte, almeno uguale al maggiore conduttore di protezione dell'impianto oppure verificata con la nota relazione:

$$S_T = \sqrt{\frac{I^2 \cdot t}{K_C^2}}$$

Se ad esempio cautelativamente supponiamo di avere una resistenza dell'impianto di terra particolarmente bassa, ad esempio $R_T=0,1$ ohm, si avrà:

$$I_G = \frac{U_0}{R_T} = \frac{230}{0,1} = 2300A$$

Se il tempo di intervento delle protezioni fosse di un secondo (i relè differenziali intervengono generalmente in un tempo più breve) e il conduttore di protezione fosse un conduttore unipolare in EPR (Tab. 2), si avrà:

$$S_T = \sqrt{\frac{2300^2 \cdot 1}{176^2}} = 13mm^2$$

Normalmente l'impianto di terra presenta valori di resistenza superiori a quelli ipotizzati e i tempi di intervento delle protezioni sono generalmente più bassi per cui, ad esempio, un conduttore avente sezione di 16 mm^2 è quasi sempre sufficiente per un sistema TT.

Sistema TN

Il dimensionamento del conduttore di terra in un sistema TN deve essere condotto con modalità diverse a seconda che si tratti di guasto sulla MT o sulla BT.

Media tensione

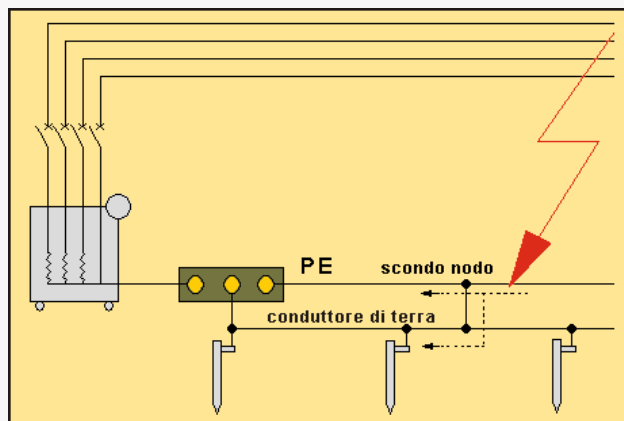
Per il calcolo di un guasto verso terra sulla MT prendiamo in considerazione una situazione estrema considerando, per comodità, una corrente di guasto pari a 1000 A (è un valore estremamente improbabile - per maggior dettagli vedi il capitolo "le cabine utente MT/BT") e un tempo di intervento di 5 s. Se si utilizza sempre un conduttore di protezione unipolare in EPR dalla nota relazione si ottiene:

$$S_T = \sqrt{\frac{1000^2 \cdot 5}{176^2}} = 12 \text{ mm}^2$$

Anche in questo caso una sezione di 16 mm² potrebbe essere adatta per la maggior parte delle situazioni con valori di correnti e di tempi di intervento (come normalmente si verifica) delle protezioni inferiori a quelli ipotizzati nell'esempio.

Bassa tensione

La corrente di guasto in bassa tensione può raggiungere anche valori di alcune decine di kA ma normalmente interessa solo il conduttore di protezione. Quando esistono più nodi equipotenziali (fig. 13.8) il conduttore di terra può essere interessato da correnti di guasto che hanno comunque, nella quasi totalità dei casi, valori piuttosto modesti perché la corrente che lo attraversa è funzione del rapporto tra l'impedenza del conduttore di protezione e di quella del conduttore di terra ed è tanto più bassa quanto minore è la sezione del conduttore di terra. Non risulta quindi necessario nemmeno in questo caso, se si rispettano le dimensioni minime, operare particolari verifiche.



Il conduttore di terra può essere interessato da una frazione della corrente di guasto solo se esistono più nodi equipotenziali

Conduttori equipotenziali (EQP – EQS)

Sono conduttori che collegano fra di loro parti che normalmente si trovano al potenziale di terra garantendo quindi l'equipotenzialità fra l'impianto di terra e le masse estranee e consentendo di ridurre la resistenza complessiva dell'impianto 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.

Le Norme prescrivono le sezioni minime che devono essere rispettata per questi conduttori distinguendo tra conduttori *equipotenziali principali (EQP)* e *supplementari (EQS)*.

Sono detti principali se collegano le masse estranee al nodo o collettore principale di terra, sono detti supplementari negli altri casi. Le sezioni minime prescritte sono raccolte nella tabella 3.

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
Supplementare EQS: – collegamento massa-massa – collegamento massa-massa estranea	EQS ≥ PE di sezione minore ⁽¹⁾ EQS ≥ 1/2 della sezione del corrispondente conduttore PE In ogni caso la sezione del conduttore EQS deve essere: ▪ ≥ 2,5 mm ² se protetto meccanicamente ▪ ≥ 4 mm ² se non protetto meccanicamente	

(¹) Quando le due masse appartengono a circuiti con sezioni dei conduttori di protezione molto diverse, sul conduttore EQS (dimensionato in base alla sezione del conduttore di protezione minore), potrebbero verificarsi correnti di guasto tali da sollecitare termicamente in modo eccessivo il conduttore stesso. In questo caso è opportuno aumentare la sezione del conduttore EQS sulla base della corrente di guasto effettiva.

Tab. 3

Colori distintivi dei conduttori di terra, equipotenziali e di protezione

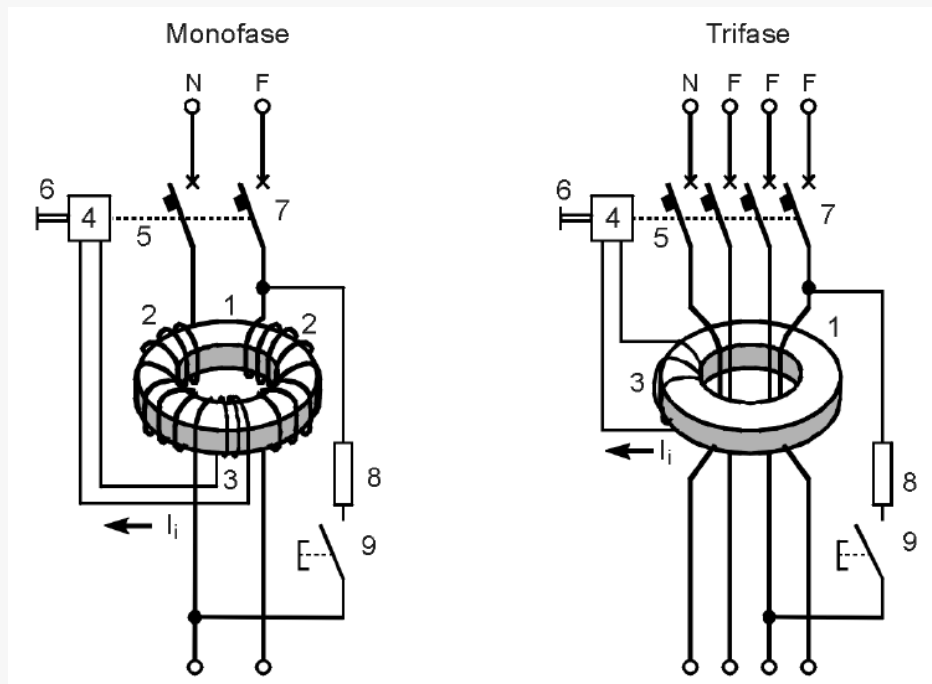
I conduttori di terra, equipotenziali e di protezione se costituiti da cavi unipolari o anime di cavi multipolari devono essere contraddistinti da isolante di colore giallo/verde. Per i conduttori nudi non sono prescritti colori o contrassegni. Nel caso in cui fosse necessario distinguerli da altri conduttori si devono impiegare fascette di colore giallo/verde.

INTERRUTTORI DIFFERENZIALI

Sono dispositivi di protezione sensibili alle correnti disperse a terra. In condizioni normali di funzionamento, la "somma vettoriale" delle correnti assorbite da un qualsiasi utilizzatore (e quindi transitanti nei conduttori di alimentazione) è nulla.

Differisce da zero in caso di guasto a terra (difetto di isolamento o altre cause) di una fase oppure in seguito ad un contatto accidentale di una persona con le parti normalmente sotto tensione.

Principio di funzionamento degli interruttori differenziali.



1. Toroide, in materiale magentico ad alta permeabilità.
2. Avvolgimenti corrispondenti ai conduttori di linea.
3. Avvolgimento nel quale si induce la forza elettromotrice indotta allorché i conduttori 2 sono percorsi da corrente di diversa intensità.
4. Bobina destinata a provocare lo sgancio dell'interruttore.
5. Cinematismo di sgancio.
6. Pulsante di inserzione dell'interruttore.
7. Interruttore.
8. Resistenza di prova: limita la corrente di squilibrio che consente di verificare il funzionamento differenziale.
9. Tasto di prova.


Classificazione degli interruttori differenziali

L'interruttore differenziale, può essere realizzato individualmente o in combinazione con sganciatori di massima corrente. Si possono quindi avere:

- interruttori differenziali puri che devono essere installati in serie al dispositivo di protezione contro le sovracorrenti;
- interruttori magnetotermici differenziali.

I dispositivi differenziali per uso civile inoltre sono classificati:

a) In base alla sensibilità alle correnti pulsanti e continue:

- AC: intervengono solo con correnti di guasto sinusoidali;
- A: intervengono anche con correnti di guasto pulsanti dovute alla presenza di dispositivi a semiconduttore ();
- B: intervengono anche con correnti di guasto con componenti unidirezionali di tipo continuo.

b) In base al ritardo d'apertura per sgancio differenziale:

- G (tipo generale) privo di ritardo intenzionale;
- S con ritardo intenzionale per esigenze di selettività.

Parametri caratteristici dei dispositivi differenziali

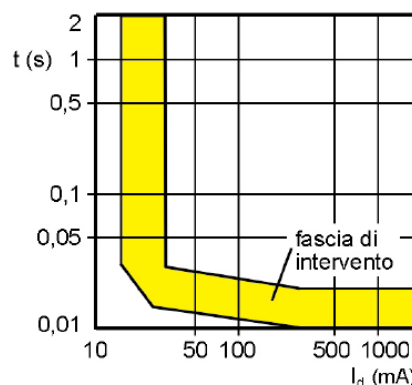
- Tensione nominale: valore di tensione per la quale l'interruttore è designato a funzionare.
- Corrente nominale (I_n): valore di corrente che l'apparecchio è in grado di portare ininterrottamente.
- Corrente differenziale nominale d'intervento I_{dn} : minimo valore della corrente differenziale che determina l'apertura dei contatti entro i tempi specificati dalle norme. I valori normali di I_{dn} sono:

0,010 - 0,030 - 0,1 - 0,3 - 0,5 A

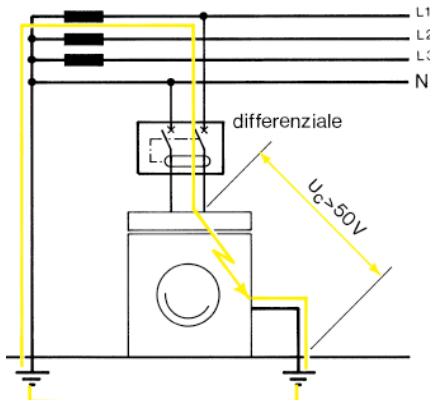
- Corrente differenziale nominale di non intervento I_{dn0} : valore massimo della corrente differenziale che non provoca l'apertura dei contatti. Il valore normale (sono però ammessi valori diversi) è: $I_{dn0} = 0,5 I_{dn}$
- Tempo di intervento: intervallo di tempo tra l'istante in cui la corrente differenziale assume il valore I_{dn} e l'istante in cui avviene l'apertura dei contatti. Inferiore a 0,3 s per gli interruttori di tipo G e 0,5 s per quelli di tipo S.

Caratteristiche di intervento:

indicano le coppie di valori di corrente differenziale di intervento/tempo di intervento che caratterizzano il funzionamento dei dispositivi.



Ciò significa che variando le soglie d'intervento I_{dn} del differenziale può essere modificato il valore di resistenza massimo R_T dell'impianto di terra.



Corrente di intervento I_{dn} [A]	Resistenza di terra R_T [Ω]
0,01	16600
0,03	1660
0,3	166
0,5	100
1	50
3	16

Il tutto per evitare che sulle masse possa permanere una tensione di contatto (U_c) superiore a 50 V.

Gli interuttori differenziali non possono essere impiegati come unica protezione contro i contatti, bensì solo come protezione aggiuntiva ad altre.

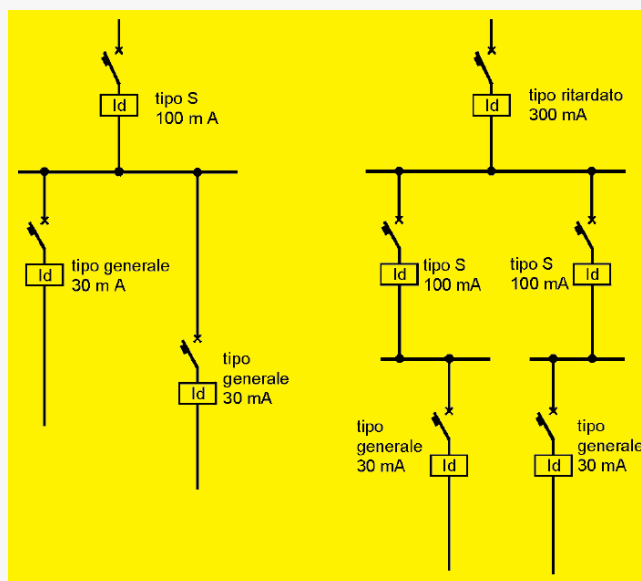
Selettività tra interuttori differenziali

Se si impiega un dispositivo differenziale a monte dell'impianto, la selettività può essere realizzata solo impiegando interuttori differenziali anche a valle.



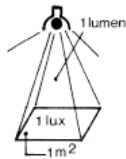
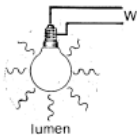

Impiegando interuttori differenziali per usi domestici e similari, di cui uno di tipo S a monte e uno di tipo generale a valle, si assicura una selettività totale se la corrente differenziale nominale di quello a monte è almeno tre volte quella dell'interruttore a valle (con correnti nominali scelte tra i valori normali).

Ad esempio si ha selettività se l'interruttore a monte è di tipo S ed ha una $I_{dn} = 100$ mA e quello a valle una $I_{dn} = 30$ mA.

Qualora sia richiesta una selettività su tre o più livelli è necessario ricorrere anche a dispositivi ritardati con ritardo definito.



GRANDEZZE FOTOMETRICHE

GRANDEZZA	RAPPRESENTAZIONE	ORDINI DI GRANDEZZA
<p><u>FLUSSO LUMINOSO</u></p> <p>Quantità di luce emessa in ogni secondo dalla lampada.</p> <p>Unità: lumen (lm)</p> <p>Simbolo: Φ</p>		<p><i>Lampade a incandescenza:</i> 40 W - 350 lm; 60 W - 630 lm.</p> <p><i>Tubi fluorescenti:</i> 36 W - 3600 lm; 58 W - 4800 lm.</p>
<p><u>INTENSITA' LUMINOSA</u></p> <p>Parte del flusso luminoso emesso in una determinata direzione e nell'unità dell'angolo solido.</p> <p>Unità: candela (cd)</p> <p>Simbolo: I</p>		<p><i>Lampade a incandescenza:</i> 100 W - 100 cd.</p> <p><i>Lampada tubolare fluorescente</i> 58 W - 320 cd.</p>
<p><u>ILLUMINAMENTO</u></p> <p>Flusso luminoso che colpisce una superficie di dimensione unitaria (un metroquadro).</p> <p>Unità: lux (lx) (lumen/m²)</p> <p>Simbolo: E</p>		<p><i>Uffici, scuole:</i> 250 ÷ 500 lx.</p> <p><i>Grandi magazzini:</i> 500 ÷ 1000 lx.</p> <p><i>Industrie di precisione:</i> 1000 ÷ 2000 lx.</p>
<p><u>EFFICIENZA LUMINOSA</u></p> <p>Rapporto tra il flusso luminoso emesso (Φ) e la potenza elettrica assorbita (P) in watt.</p> <p>Unità: lumen/watt (lm/W)</p> <p>Simbolo: η</p>		<p><i>Lampade a incandescenza:</i> 40 W, 10 lm/W; 60 W, 12 lm/W.</p> <p><i>Tubi fluorescenti:</i> 36 W, 65 lm/W; 58 W, 70 lm/W.</p>
<p><u>LUMINANZA</u></p> <p>Intensità luminosa emessa da una sorgente di luce o da un oggetto in una certa direzione per unità di superficie della sorgente o dell'oggetto.</p> <p>Unità: candela/m² (cd/m²)</p> <p>Simbolo: L</p>		<p><i>Lampade a incandescenza:</i> 100 ÷ 2000 cd/cm²</p> <p><i>Lampade fluorescenti:</i> 0,3 ÷ 1,30 cd/cm²</p> <p><i>Oggetti in tinta chiara:</i> 100 ÷ 1000 cd/m² (buona illuminazione);</p> <p>2 ÷ 20 cd/m² (scarsa illuminazione).</p>

Elementi per una razionale illuminazione

Nel progettare un impianto di illuminazione si procede come segue:

- stabilire i livelli di illuminamento dei locali in base alle attività svolte, considerando l'uniformità, la prevenzione dell'abbagliamento, la resa dei colori;
- scegliere il tipo di illuminazione in base alle esigenze dei locali;
- scegliere il tipo di lampada considerando l'efficienza luminosa;
- scegliere il tipo di apparecchio di illuminazione in relazione al suo rendimento.

Nelle suddette scelte tenere conto dei costi di impianto, di manutenzione (ad esempio, ricambio delle lampade) e dei consumi energetici.

Illuminamento

Costituisce uno dei più importanti elementi da prendere in esame; un adeguato valore dell'illuminamento in relazione alle caratteristiche e destinazione dell'ambiente consente infatti all'occhio di percepire con rapidità e sicurezza, senza fatica i particolari che interessano.

Poiché generalmente il valore dell'illuminamento non è lo stesso in ogni punto dell'ambiente, ma varia da un minimo ad un massimo e inoltre decresce nel tempo a causa del decadimento delle lampade e dell'insudiciamento degli apparecchi, nei calcoli ci si riferisce all'illuminamento medio mantenuto, E_n : valore dell'illuminamento che dev'essere sempre garantito, grazie ad interventi manutentivi sugli apparecchi illuminanti e di sostituzione delle lampade guaste o con efficienza eccessivamente ridotta.

Nella tabella sono riportati i livelli di illuminamento medio mantenuto consigliabili.

I livelli più elevati possono essere raggiunti anche integrando l'illuminazione diffusa con fonti locali concentrate sugli oggetti da osservare. L'illuminazione localizzata deve essere comunque coordinata con quella generale e non può sostituirsi ad essa.

L'illuminamento medio orizzontale va misurato ad un'altezza di 0,85 m dal pavimento; quello delle vie di passaggio a 0,2 m dal pavimento; quello del posto di lavoro all'altezza del compito visivo specifico.

Livelli di illuminamento medio mantenuto consigliabili.

Tipo, attività' o compito visivo	E_n	R_a
Zone di traffico e aree generali all'interno di edifici		
Aree di circolazione e corridoi	100	40
Scale (pianerottoli principali), ascensori, tappeti mobili	150	40
Rampe e binari di carico	150	40
Uffici e magazzini		
Archiviazione, copiatura, aree di circolazione	300	80
Scrittura, dattilografia, elaborazione dati	500	80
Disegno tecnico	750	80
Postazione CAD	500	80
Aree di passaggio nei magazzini	20	40
Aree di magazzini con presenza di personale, archivi	200	60
Vendite al dettaglio		
Area di vendita	300	80
Casse	500	80
Tavolo di imballaggio	500	80
Locali di pubblico spettacolo		
Ingressi, saloni	100	80
Guardaroba	200	80
Biglietteria	300	80
Ristoranti ed hotel		
Reception	300	80
Cucina	500	80
Ristorante, sala da pranzo	200	80
Biblioteche		
Aree per scaffali	200	80
Area di lettura	500	80
Edifici scolastici		
Aule scolastiche	300	80
Sale di lettura	500	80
Aule per disegno tecnico	750	80
Aule di educazione tecnica e laboratori	500	80
Laboratori di informatica	300	80
Aule comuni e aula magna	200	80

Uniformità di illuminamento

Per assicurare un buon livello di comfort visivo il rapporto tra l'illuminamento minimo delle zone circostanti e l'illuminamento massimo della zona di lavoro E_{min}/E_{max} (detto fattore di uniformità)

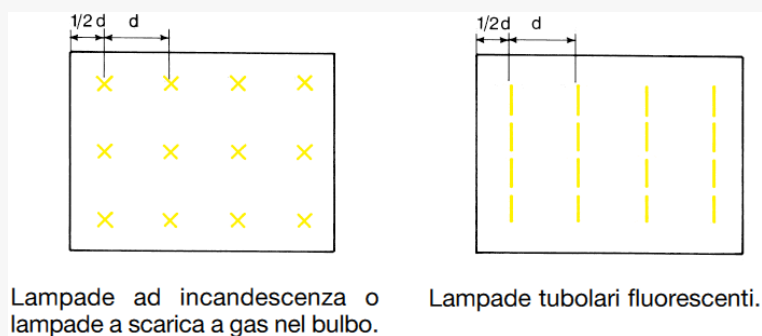
non deve essere minore di:

- 0,8 sulla superficie di ogni compito visivo;
- 0,5 sulla superficie del locale che racchiude aree con identico compito visivo.

Inoltre sulle superfici dei locali di lavoro, che non sono sede del compito visivo, il valore medio dell'illuminamento non dev'essere minore di $1/3$ del valore medio dell'illuminamento della zona, sede del compito visivo, che richiede l'illuminamento più elevato.

Il fattore di uniformità dipende dall'entità del flusso luminoso riflesso dalle superfici del locale e dalla distribuzione degli apparecchi di illuminazione.

Per ottenere un'accettabile uniformità di illuminazione occorre distribuire con uniformità gli apparecchi di illuminazione e limitare l'interdistanza tra gli apparecchi stessi.



L'interdistanza massima per un dato apparecchio, compatibile con l'uniformità sopra indicata, è desumibile dal rapporto tra l'interdistanza stessa e l'altezza di montaggio degli apparecchi rispetto al piano di lavoro; rapporto fornito dai costruttori di apparecchi di illuminazione.

L'uniformità d'illuminamento può essere determinata empiricamente misurando l'illuminamento mentre ci si sposta dalla verticale sotto le singole lampade (illuminamento massimo) alle zone intermedie fra due o più fonti di luce (illuminamento minimo).

Equilibrio delle luminanze

Una distribuzione equilibrata delle luminanze nel campo visivo ha una notevole importanza ai fini dell'efficienza della visione e per prevenire l'abbagliamento e l'affaticamento visivo.

In generale si può affermare che quando i valori di luminanza in gioco sono piuttosto bassi, è preferibile che il contrasto tra la luminanza dell'oggetto da vedere e quella della zona immediatamente ad essa circostante non sia molto accentuato. Con livelli elevati di luminanza è invece preferibile che il contrasto in parola sia piuttosto accentuato.

Prevenzione dell'abbagliamento

L'abbagliamento è un disturbo visivo che si può verificare quando:

- nel campo visivo si vengono a trovare sorgenti luminose od oggetti illuminati la cui luminanza ha un valore troppo elevato;
- il contrasto tra la luminanza di una sorgente luminosa o di un oggetto illuminato e la luminanza dell'ambiente circostante è troppo accentuato.

L'abbagliamento può essere provocato da luce riflessa o direttamente dai centri luminosi.

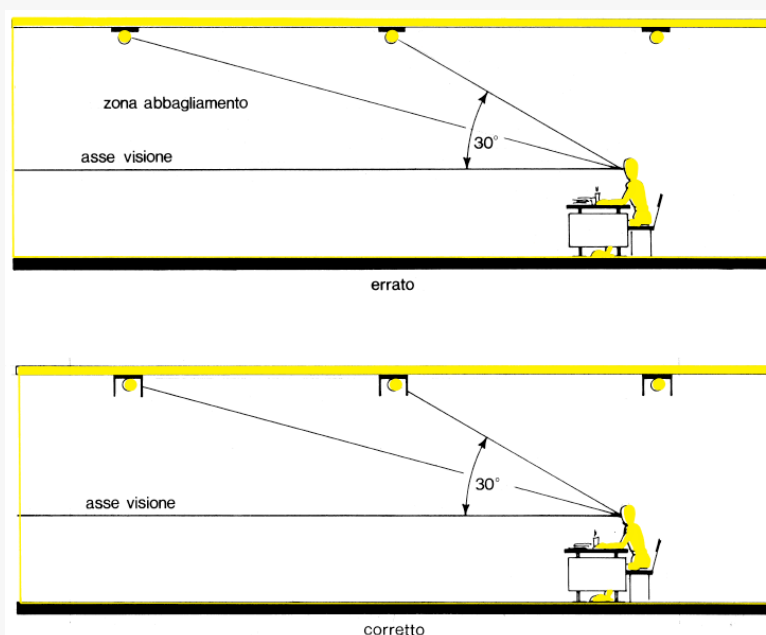
L'abbagliamento da luce riflessa è provocato dalla riflessione dei raggi luminosi da parte di oggetti o superfici.

Per ridurre gli effetti, è necessario:

- adottare apparecchi d'illuminazione caratterizzati da ottica ben controllata;
- disporre e schermare opportunamente i centri luminosi.

Particolare attenzione deve essere posta, ad esempio, nell'illuminazione degli specchi per il trucco dei camerini dei teatri affinché sia priva di abbagliamento.

L'abbagliamento provocato direttamente dai centri luminosi si può verificare quando nel campo visivo entrano direttamente uno o più centri luce aventi caratteristiche ottico-fotometriche non adatte oppure non ben ubicati. Tale tipo di abbagliamento dipende, oltre che dalle caratteristiche ottico-fotometriche degli apparecchi d'illuminazione, anche da altri parametri, quali le dimensioni del locale, l'altezza d'installazione e le dimensioni degli apparecchi e loro disposizione nel locale (vedi figura seguente).



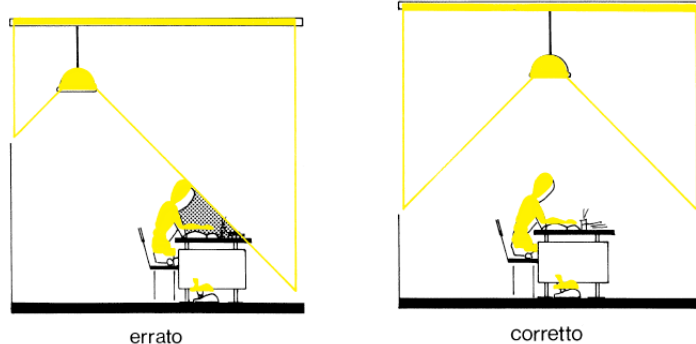
E' evidente che quanto più il locale è basso e lungo, tanto più numerosi sono i centri luce che possono rientrare nel campo visivo. Condizione essenziale per mantenere entro limiti accettabili l'abbagliamento diretto provocato dagli apparecchi d'illuminazione è l'adeguato controllo della loro luminanza nelle varie direzioni di emissione. Per valutare l'entità dell'abbagliamento è opportuno utilizzare i "diagrammi di luminanza limite" forniti dai costruttori.

Effetto d'ombra

Una distribuzione bene equilibrata delle ombre costituisce un elemento molto importante per l'apprezzamento del rilievo e della profondità dell'ambiente.

Ai fini del conseguimento di una distribuzione bene equilibrata delle ombre si deve assicurare un'opportuna direzionalità del flusso luminoso tenendo presente che:

- nel caso di illuminazione solo diffusa, cioè proveniente da tutte le direzioni, si verifica l'assenza totale di ombre;
- nel caso di luce proveniente da una sola direzione le ombre sono molto dure; evitare quindi ombre sul piano di lavoro,
- un buon equilibrio tra la componente di luce diffusa e la componente di luce proveniente da una determinata direzione preferenziale assicura la migliore percezione della forma e del rilievo. Ciò si ottiene mediante: adozione di apparecchi d'illuminazione caratterizzati da un'adatta emissione di flusso; razionale ubicazione degli stessi apparecchi di illuminazione.



Resa dei colori

La fedele riproduzione dei colori degli oggetti illuminati dipende dalle caratteristiche delle lampade. Per classificare la qualità della luce è stato definito l'indice di resa del colore (Ra): quanto più elevato è l'indice, tanto migliore è la resa cromatica (vedi tabella seguente).

Sotto questo aspetto le lampade ad incandescenza e quelle alogene sono le migliori, mentre i tubi fluorescenti presentano un indice Ra compreso, secondo i tipi, tra 65 e 95. Oltre il valore 90 la resa cromatica è molto vicina a quella della luce solare e si addice perciò a musei, teatri (palcoscenico) biblioteche, esposizioni, centri commerciali e altre applicazioni in cui il colore o la gradevolezza ambientale rivestono un'importanza fondamentale.

La temperatura di colore influisce invece sulla tonalità della luce, condizionando la scelta delle lampade in funzione del tipo di ambiente e dell'attività svolta.

Indice di resa del colore (Ra)	Tipi di lampade	Gruppo di resa del colore
Ra > 90	A incandescenza; alogene	1A
80 ≤ Ra ≤ 90	Fluorescenti	1B
60 ≤ Ra < 80	Fluorescenti; ad alogenuri metallici	2
40 ≤ Ra < 60	A vapori di mercurio	3
20 ≤ Ra < 40	Al sodio	4

Una luce a bassa temperatura di colore viene detta "calda" poiché si associa a sensazioni di calore. La luce ad alta temperatura di colore, detta "fredda", la si apprezza invece negli ambienti a elevato valore d'illuminamento.

Colore appartenente della luce	Temperatura (K)	Sigla normalizzata
Calda	< 3000	W (Warm)
Intermedia	3000 ÷ 5300	I (Intermediate)
Fredda	> 5300	C (Cold)
Sui cataloghi dei costruttori si possono trovare anche le seguenti classificazioni:		
bianca (o standard)	4 000 K	
bianchissima (o extra bianca)	4 500 K	
luce diurna	6 500 K	

Apparecchi di illuminazione

Gli apparecchi di illuminazione svolgono alcune funzioni essenziali:

controllano il flusso luminoso della lampada dirigendolo nelle direzioni desiderate; evitano l'abbagliamento schermato la lampada o riducendone la luminanza; proteggono la lampada nei confronti sia degli agenti ambientali (acqua, vapori, polveri, ecc.), che potrebbero danneggiare la lampada e i circuiti, sia dai danneggiamenti di carattere meccanico, garantendo la sicurezza elettrica funzionale e quella contro i contatti accidentali diretti delle persone con parti attive accessibili, e contro gli incendi che potrebbero verificarsi nell'ambiente in seguito a scintille e archi elettrici dovuti a guasti nel circuito di alimentazione della lampada.

Distribuzione del flusso luminoso

Ciascun tipo di apparecchio di illuminazione è caratterizzato da una particolare distribuzione del flusso luminoso in quanto controlla il flusso emesso dalla sorgente indirizzandolo, accentuandolo, smorzandolo o addirittura schermandolo solo nelle direzioni volute.

In base alla distribuzione del flusso luminoso gli apparecchi di illuminazione si classificano in:

Diffusori: quando diffondono la luce in tutte le direzioni. Sono costituiti da involucri opalini (in vetro o materiale plastico). Diminuiscono la luminanza della lampada attenuando l'abbagliamento, ma assorbono parte del flusso emesso (20 ÷ 50%).

Riflettori: quando riflettono, mediante superfici speculari (alluminio brillantato, vetro argentato, lamiere smaltate ecc.) la luce emessa dalla lampada indirizzandola entro un angolo che varia in funzione del tipo di apparecchio: molto piccolo, nel caso dei proiettori, molto grande (150° ÷ 160°) per i riflettori diffondenti.

Rifrattori: quando la luce, attraversando uno schermo trasparente, è deviata dalla sua direzione angolare. In relazione alle scanalature o prismi prodotti sullo schermo trasparente si può controllare la diffusione della luce e quindi la direzione del fascio luminoso.

Tipo di illuminazione

Il tipo di illuminazione che gli apparecchi consentono di realizzare può essere:

- *diretto*: il flusso luminoso emesso dall'apparecchio di illuminazione è diretto esclusivamente verso il basso;
- *semidiretto*: il flusso luminoso è diretto prevalentemente verso il basso, in minima parte verso l'alto;
- *diffuso*: il flusso luminoso è distribuito uniformemente attorno all'apparecchio;
- *misto*: il 45% del flusso verso il basso, il 40% verso l'alto;
- *semiindiretto*: prevale l'illuminazione verso l'alto;
- *indiretto*: il flusso luminoso è diretto solo verso l'alto.

Protezione contro i contatti indiretti

In relazione al tipo di protezione che assicurano contro i contatti indiretti, gli apparecchi sono classificati in:

Classe 0 - se provvisti solamente di isolamento funzionale, tale da assicurare il normale funzionamento dell'apparecchio ed assicurare la protezione contro le tensioni di contatto. Sono previsti per tensioni non superiori a 50 V in corrente alternata e 75 V in corrente continua. Non richiedono la messa a terra.

Classe I: se provvisti di isolamento funzionale. Devono essere collegati a terra.

Classe II: se provvisti di isolamento speciale. Non dispongono di morsetto di messa a terra. Impiegabili in alternativa a quelli di classe I quando non risulta possibile o conveniente la messa a terra.

Sono distinguibili dagli altri apparecchi attraverso il seguente simbolo riportato sull'involucro:



Indipendentemente dal tipo è importante che l'apparecchio rechi la marcatura CE nonché il marchio ENEC, valido in campo europeo per contraddistinguere gli apparecchi di illuminazione realizzati a regola d'arte (il numero 03 indica gli apparecchi costruiti in Italia):



Classe III: la protezione contro i contatti indiretti si basa sulla alimentazione a bassissima tensione di sicurezza. Non sono provvisti di morsetto di messa a terra e vengono contrassegnati con il simbolo:



Si osserva che gli apparecchi predisposti per il montaggio direttamente su superfici normalmente infiammabili devono recare il contrassegno di seguito riportato.



Fattore di manutenzione

Nel tempo l'illuminamento si riduce sia per il decadimento naturale del flusso luminoso emesso dalle lampade, sia a causa dell'insudiciamento delle lampade o degli schermi degli apparecchi.

Per tener conto di questo aspetto il valore di illuminamento viene maggiorato in base a un coefficiente denominato fattore di manutenzione (M) che rappresenta il rapporto tra l'illuminamento medio mantenuto richiesto e quello medio fornito dalle lampade (talvolta si fa riferimento al fattore di decadimento che è il reciproco del fattore di manutenzione). Il fattore di manutenzione è fortemente influenzato dal tipo sistema di manutenzione adottato (programmato o non programmato).

Per gli impianti a luce diretta o prevalentemente diretta la tabella seguente riporta valori indicativi di M.

Grado di impolveramento del locale	Fattore di manutenzione M		
	Lampada ad incandescenza senza o con alogeni	Lampada al mercurio e al sodio	Lampade ad alogenuari
Minimo	0,85	0,75	0,65
Medio	0,70	0,65	0,55
Elevato	0,60	0,50	0,45

Fattore di manutenzione M, per impianti a luce diretta o prevalentemente diretta

Per impianti a luce indiretta, i valori della tabella vanno moltiplicati per 0,8, a meno che non si provveda a ridurre gli intervalli di manutenzione, in modo correlato al grado di impolveramento del locale.

Fattore di utilizzazione

Nel dimensionamento degli impianti di illuminazione si deve tenere conto anche del fattore di utilizzazione ossia del rapporto tra il flusso totale emesso dalle sorgenti luminose e il flusso utile (diretto o indiretto) che investe il piano di lavoro o la zona da illuminare. I valori del fattore di utilizzazione sono ricavati sperimentalmente, tenendo conto di vari elementi:

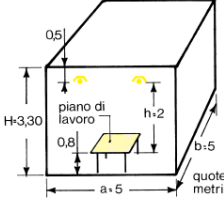
- caratteristiche degli apparecchi di illuminazione (e quindi del tipo di illuminazione), in base alla loro distribuzione del flusso luminoso e al loro rendimento (rapporto tra il flusso emesso dall'apparecchio e quello della lampada);
- indice del locale K che tiene conto delle dimensioni del locale da illuminare e dell'altezza delle lampade dal piano di lavoro;
- potere riflettente di pareti, soffitti, pavimenti e arredamenti.

I costruttori di apparecchi di illuminazione forniscono tabelle del tipo riportato sotto dalle quali si può desumere il coefficiente di utilizzazione in funzione del tipo di apparecchio e dell'indice del locale K.

Fattore di riflessione	Pavimento	30%				
	Soffitto	70%			50%	
	Pareti	50%	30%	10%	50%	30%
Indice del locale K	0,60	0,39	0,36	0,32	0,38	0,34
	0,80	0,47	0,41	0,39	0,44	0,41
	1,00	0,51	0,47	0,42	0,49	0,45
	1,25	0,55	0,50	0,48	0,52	0,49
	1,50	0,59	0,54	0,52	0,55	0,53
	2,00	0,62	0,60	0,56	0,59	0,56
	2,50	0,65	0,62	0,59	0,60	0,58
	3,00	0,68	0,64	0,63	0,62	0,61
	4,00	0,70	0,69	0,66	0,66	0,63
	5,00	0,73	0,71	0,70	0,67	0,65

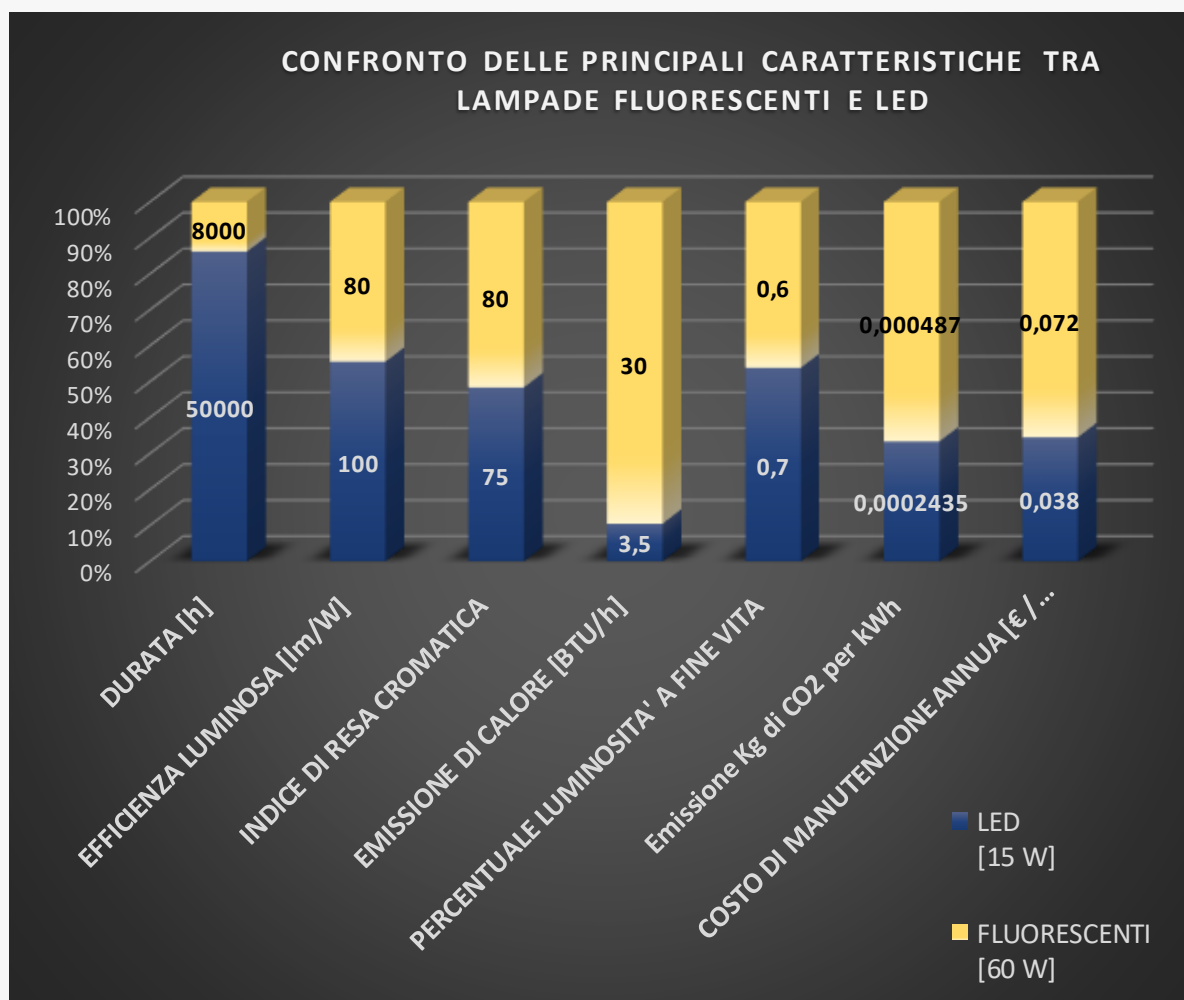
*Esempio di tabella per determinare il fattore di utilizzazione (U) in base all'indice del locale "K"
(una plafoniera con 2 tubi fluorescenti da 36 – 58 W)*

IL METODO DEL FLUSSO TOTALE

Sequenza dati da prefissare o calcolare	Esempio per un piccolo laboratorio artigianiano	
↓	↓	↓
E - Livello di illuminamento (lux) che si desidera ottenere. Vedere tabella illuminamenti consigliati.	Livello di illuminazione previsto: 250 lux	
↓	↓	↓
S - Superficie del locale (m ²). $S = a \cdot b$.	$5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$	
↓	↓	↓
K - Indice del locale. Tiene conto della superficie e dell'altezza delle lampade dal piano di lavoro (h) o dell'altezza del locale (H).	Per luce diretta, semindiretta e mista: $K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$ Per luce indiretta o semi-indiretta: $K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 H \cdot (a + b)}$	$\frac{5 \times 5}{2 \cdot (5 + 5)} = 1,25$
↓	↓	↓
U - Fattore di utilizzazione. Dipende dal sistema di illuminazione, dalle caratteristiche degli apparecchi, dal fattore di riflessione delle pareti, soffitto e pavimento.	Viene desunto da tabelle fornite dalle ditte che producono lampade e apparecchi di illuminazione.	In relazione all'indice del locale K ai coefficienti di riflessione di pareti e soffitto (30%) e al tipo di apparecchio il costruttore fornisce come fattore di utilizzazione il valore $U = 0,58$
↓	↓	↓
M - Fattore di manutenzione. Tiene conto del deprezzamento fotometrico degli apparecchi e dell'invecchiamento delle lampade.	elevato 0,85 - 0,75 medio 0,75 - 0,65 minimo 0,65 - 0,55	Si prevede una manutenzione elevata $M = 0,80$
↓	↓	↓
Φ - Flusso luminoso totale (lumen). Φ_L - Flusso emesso da una singola lampada (lumen). n - numero di lampade.	$\Phi = \frac{E \cdot S}{U \cdot M}$ $n = \frac{\Phi}{\Phi_L}$	$\Phi = (250 \times 25) / (0,58 \times 0,80) = 13\,470 \text{ lm}$ Adottando lampade fluorescenti tubolari da 36 W, ammesso che il flusso sia di 34 000 lm, si ha: $n = \frac{13\,470}{3400} = 4 \text{ lam.}$
↓	↓	↓
P - Potenza assorbita dall'impianto (W). P_L - Potenza assorbita da una singola lampada.	$P = P_L \cdot n$	Ammesso che ogni lampada da 36 W assorba 45 W per tenere conto del reattore, si ha: $P = 45 \times 4 = 180 \text{ W}$

SISTEMI DI ILLUMINAZIONE A CONFRONTO

CARATTERISTICHE PRINCIPALI	LED [15 W]	FLUORESCENTI [60 W]
DURATA [h]	50000	8000
EFFICIENZA LUMINOSA [lm/W]	100	80
INDICE DI RESA CROMATICA	75	80
EMISSIONE DI CALORE [BTU/h]	4	30
PERCENTUALE LUMINOSITA' A FINE VITA	70%	60%
Emissione Kg di CO2 per kWh	0,000244	0,000487
COSTO DI MANUTENZIONE ANNUA [€ / kWh]	0,038	0,072
ALTRE CARATTERISTICHE	LED [15 W]	FLUORESCENTI [60 W]
PRESENZA SOSTANZE PERICOLOSE (Direttiva RoHS - mercurio)	assente	presente
ACCENSIONE / SPEGNIMENTO	immediato	ritardato
SENSIBILITA' ALL'ESCURSIONE TERMICA [-10 °C ÷ 40 °C]	NO	SI
SENSIBILITA' ALL'UMIDITA'	NO	SI
EMISSIONI DI RAGGI IR e UV	NO	SI
SENSIBILITA' ALL'UMIDITA'	NO	SI



FORMULARIO

MULTIPLI e SOTTOMULTIPLI

Denominazione	Simbolo	Potenza
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
kilo	k	10^3
Mega	M	10^6
Giga	G	10^9
Tera	T	10^{12}

FORMULE IN C.C.

Denominazione	FORMULA	U.M.	Formule inverse	Note
Legge di Ohm	$V = R \cdot I$	Volt [V]		
Resistenze in serie	$R_{12} = R_1 + R_2$	Ohm [Ω]		
Resistenze in parallelo	$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$	Ohm [Ω]		
Partitore di tensione	$V_1 = \frac{V \cdot R_1}{R_1 + R_2}$ $V_2 = \frac{V \cdot R_2}{R_1 + R_2}$	Volt [V]		
Partitore di corrente	$I_1 = \frac{I \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ $I_2 = \frac{I \cdot R_1}{R_1 + R_2}$	Ampere [A]		
Potenza	$P = V \cdot I$ $P = R \cdot I^2$ $P = \frac{V^2}{R}$	Watt [W]		
Energia	$E = P \cdot t$	[kWh]		

FORMULARIO

FORMULE IN C.A.

Denominazione	FORMULA	U.M.	Note
Legge di Ohm	$\vec{V} = \vec{Z} \cdot \vec{I}$	Volt [V]	$\vec{Z} = R + Xj$ $X_C = -\frac{1}{\omega C}$ $X_L = \omega L$ $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ $f = \frac{1}{T}$
Impedenze in serie	$\vec{Z}_{12} = \vec{Z}_1 + \vec{Z}_2$	Ohm [?]?	
Impedenze in parallelo	$\vec{Z}_{12} = \frac{\vec{Z}_1 \cdot \vec{Z}_2}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$	Ohm [?]?	
Partitore di tensione	$\vec{V}_1 = \frac{\vec{V} \cdot \vec{Z}_1}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$ $\vec{V}_2 = \frac{\vec{V} \cdot \vec{Z}_2}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$	Volt [V]	
Partitore di corrente	$\vec{I}_1 = \frac{\vec{I} \cdot \vec{Z}_2}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$ $\vec{I}_2 = \frac{\vec{I} \cdot \vec{Z}_1}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$	Ampere [A]	
Potenza	$\vec{A} = K \cdot \vec{V} \cdot \vec{I}$ $\vec{A} = P + Qj$ $P = K \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi = A \cdot \cos \varphi$ $Q = K \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi = A \cdot \sin \varphi$ $\frac{Q}{P} = \tan \varphi$ $\varphi = \tan^{-1}(\frac{Q}{P})$ $P = K^2 \cdot R \cdot I^2$ $Q = K^2 \cdot X \cdot I^2$	[VA] [W] [VAR] [gradi] [W] [VAR]	$K = 1$ se monofase $K = \sqrt{3}$ se trifase
Energia	$\vec{E} = \vec{A} \cdot t = E_a + E_r j$	[kVAh]	
Rifasamento	$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_i - \tan \varphi_f)$ $C = \frac{Q_C}{\omega \cdot V^2}$	[VAR] [Farad]	Valevole per monofase e per trifase con condensatori collegati a stella. Nel caso di collegamento a triangolo dividere per 3 il valore di C.
Resistenza di un cavo	$R_{cavo} \cong \frac{\rho \cdot L}{S}$ $\rho \cong 0,018 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	L [metri] S [mm ²]	
Portata di un cavo (calcolo approssimato)	$I_o = a \cdot S^{0,625}$ $I_z = I_o \cdot K_1 \cdot K_2$ con K_1 dipendente dalla temperatura K_1 dipendente dal tipo di posa	$a = \begin{cases} 13,5 \\ 21 \\ 10,5 \\ 17 \end{cases}$	Monofase PVC Monofase GOMMA Trifase PVC Trifase GOMMA