

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISA

CORSO DI AGGIORNAMENTO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI NEI CANTIERI

Anno 2015

Docente: Prof. Ing. Alberto Moretti

MODULO 1

27/2/2015

Richiami funzionali e di sicurezza: prima di affrontare gli argomenti specifici del corso è opportuno richiamare alla memoria alcuni elementi di base sui sistemi elettrici:

- Classificazione dei sistemi di energia:

a) in relazione alla tensione nominale concatenata:

a.1) sistemi di categoria 0 (zero) (bassissima tensione): tensione ≤ 50 V se a corrente alternata, ≤ 120 V se a corrente continua (ripple $< 10-15\%$)

a.2) sistemi di I categoria (bassa tensione): tensione da 50 V fino 1000 V compreso in corrente alternata, da 120 V a 1500 V compreso se in corrente continua

a.3) sistemi di II categoria (media tensione): tensione da 1000 V fino a 30000 V compreso in corrente alternata, da 1500 V a 30000 V se in corrente continua

a.4) sistemi di III categoria (alta tensione) tensione oltre 30000 V

Nota: per tensione concatenata deve intendersi quella fra fasi nei sistemi bifase e trifase, fra fase e neutro nei sistemi monofase.

b) in relazione allo stato del neutro e del collegamento delle masse:

b.1) sistema TT : neutro a terra in un punto (centro stella del trafo) , masse a terra in punti indipendenti e non connessi alla terra del neutro.(caratteristico per forniture in bt)

b.2) sistema TN: neutro a terra in un punto (c.s. trafo), masse intercollegate da conduttori connessi direttamente alla connessione a terra del neutro (conduttori di protezione). TN-S neutro indipendente da circuito di protezione. TN-C neutro e circuito di protezione con unico conduttore.

3) sistema IT: neutro isolato da terra o a terra tramite alta impedenza (o neutro assente) e masse connesse a terra con propri conduttori.

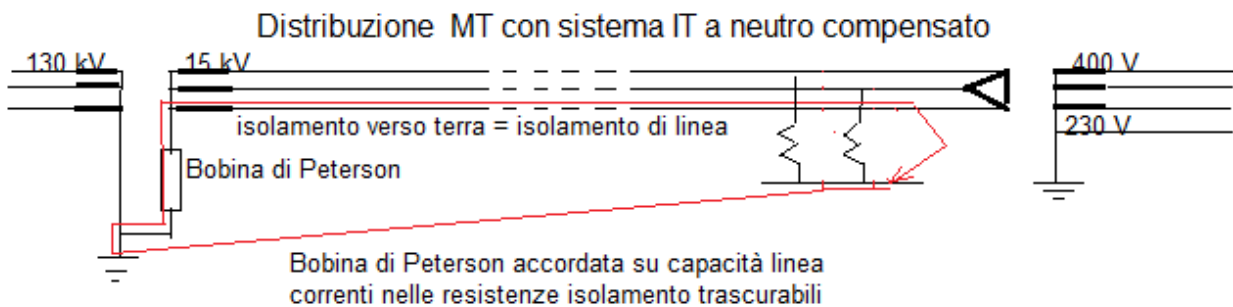
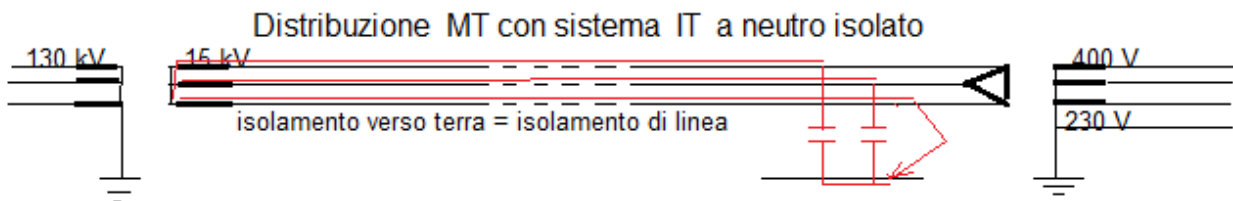
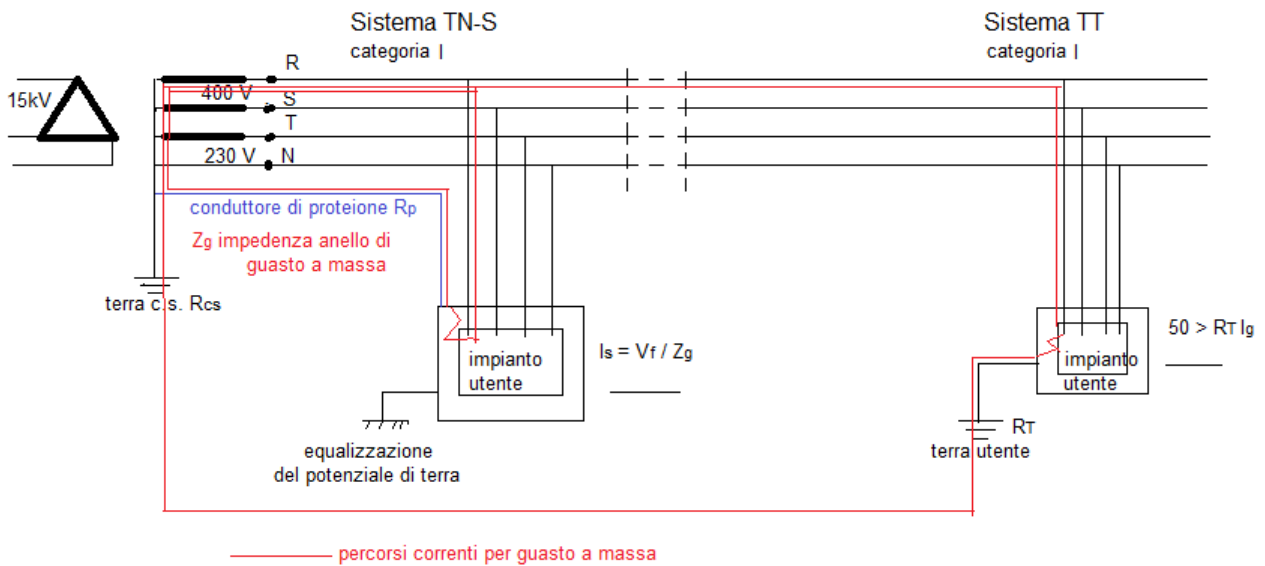
- Classificazione dei sistemi elettrici ausiliari per la protezione:

a) impianto di terra: insieme di conduttori interrati destinati a favorire il passaggio di correnti nel terreno o a renderlo equipotenziale

b) impianto di protezione: insieme di conduttori che collegano masse e/o masse estranee destinati a precostituire il percorso di correnti di guasto

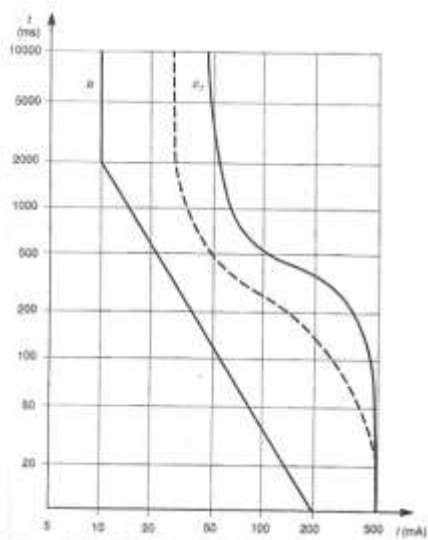
c) impianto equipotenziale: insieme di conduttori costituenti maglie di connessione fra masse e masse estranee affinché non si verifichino fra esse

differenze di potenziale sensibili. E' connesso normalmente all'impianto di protezione salvo alcuni casi particolari



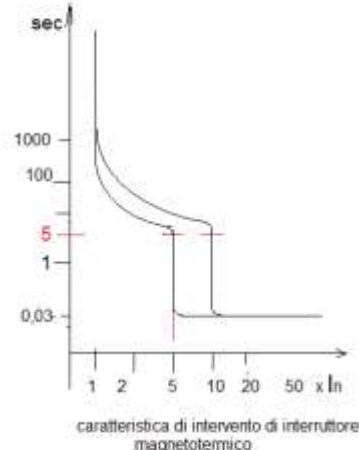
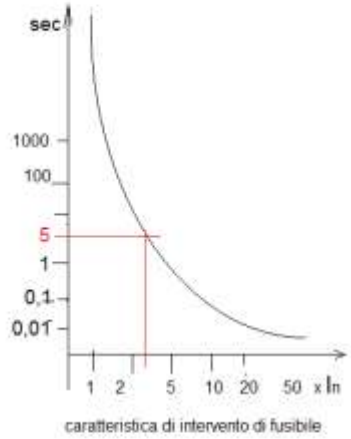
- Contatti diretti e indiretti: i contatti diretti avvengono quando direttamente o attraverso una parte metallica si viene a contatto di una parte attiva in tensione. La protezione è ottenuta con isolamento, barriere, contenitori. Il contatto indiretto avviene quando si entra in contatto con una parte metallica, normalmente non in tensione, che viene a trovarsi in tensione a causa di un guasto all'isolamento, alla barriera o al contenitore. La protezione è ottenuta utilizzando bassissime tensioni di esercizio, entro 50 V in a.c. e 120 in dc, locali isolati, doppio isolamento, separazione elettrica del circuito, interruzione automatica del circuito in guasto tramite dispositivo di intervento e correnti di guasto verso il circuito di protezione e di terra. La tensione di contatto è quella differenza di potenziale fra la parte in tensione ed il terreno di appoggio a cui viene a trovarsi una persona che tocchi la parte in tensione. Si definisce

tensione di contatto di sicurezza la massima tensione di contatto che può esistere applicando uno dei sistemi di sicurezza prima indicati. Per ambienti normali è assunto il valore di 50 V, per ambienti a maggior rischio, cantieri compresi, il valore scende a 25 V. In un sistema TT tale valore è ottenuto attraverso il prodotto $R_T I_g \leq 50 \text{ V}$, dove la I_g è la corrente di intervento entro 5 sec, mentre nel sistema TN deve essere $225/Z_g \geq I_g$, in cui I_g è la corrente di intervento della protezione magnetica e Z_g è l'impedenza dell'anello di guasto. Le definizioni trovano giustificazione nel confronto delle caratteristiche di intervento dei dispositivi di interruzione con la caratteristica di sicurezza :

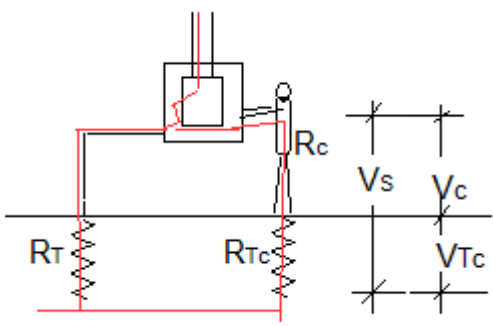


Curva degli effetti della corrente nel corpo umano adottata internazionalmente

- linea intera: 10 mA soglia di sensibilità
- linea intera: da 10 mA a 200 mA sensibile ma non danno
- fra linea intera e tratteggiata: possibile contrazione muscolare, entro i tempi delimitati rari danni permanenti
- fra linea tratteggiata e successiva entro i tempi delimitati contrazione muscolare, difficoltà respiratorie, probabile fibrillazione ventricolare
- oltre i tempi delimitati e oltre la seconda curva intera: contrazione muscolare, danni polmonari, fibrillazione ventricolare, danni permanenti



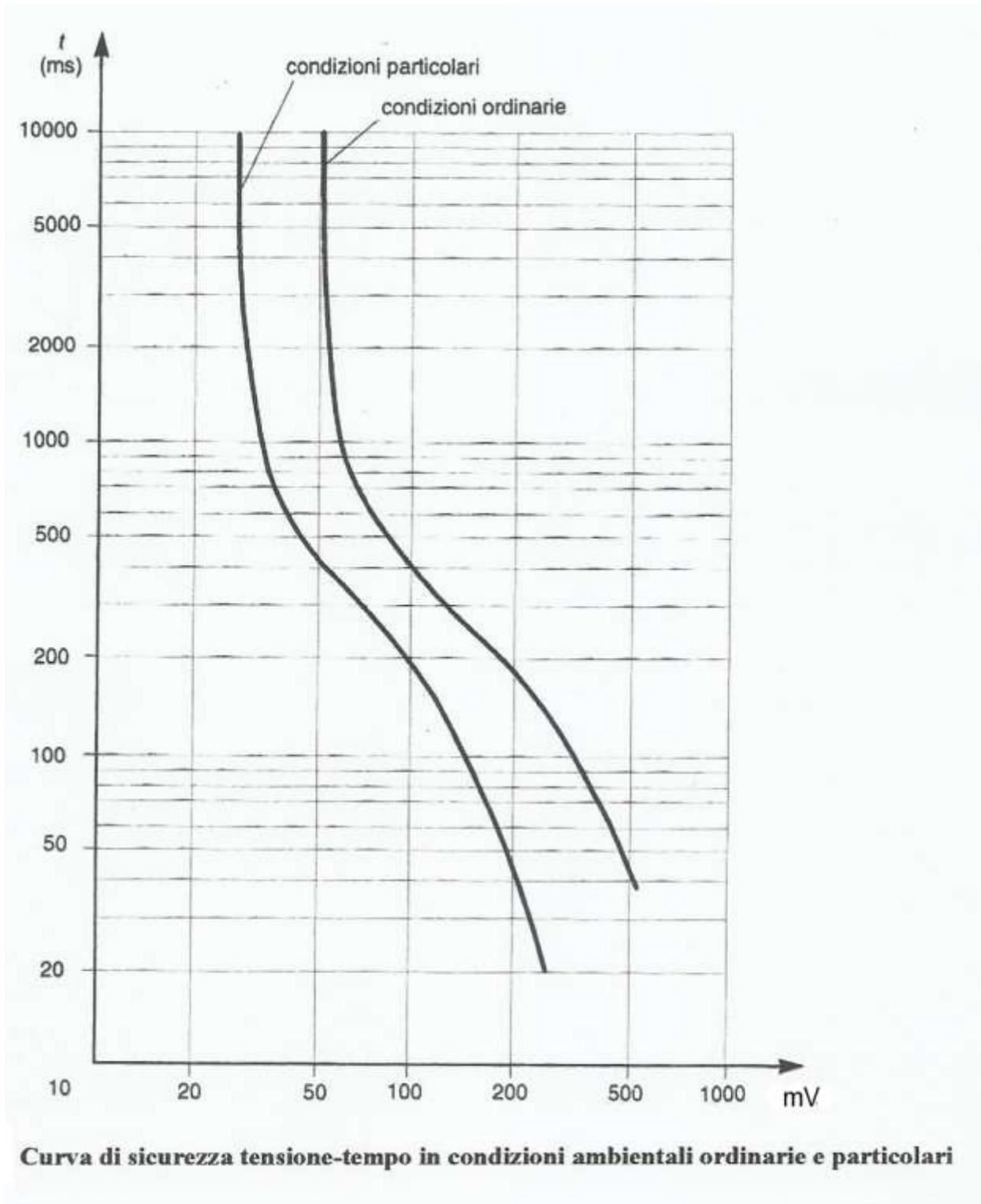
In pratica ci si riferisce, più che ai limiti di corrente pericolosa, ai limiti di “Tensione Pericolosa” legata a quelli di corrente dalla legge di Ohm.



Ci si riferisce prudenzialmente al percorso mani-piedi di una persona che tocchi con entrambe le mani l'apparecchio elettrico ed abbia i piedi sul suolo. In serie alla resistenza del corpo umano si assume la resistenza equivalente R_{Tc} che simula il comportamento dei piedi analogo ad un dispersore. La R_{Tc} è valutata 1000Ω in ambienti normali (o interni) e 200Ω in ambienti particolari (o esterni).

$$V_s = I_c (R_c + R_{Tc})$$

Le due curve della figura che segue sono riferite agli ambienti normali in cui è ammessa la tensione di contatto di 50V e agli ambienti particolari in cui la tensione di sicurezza deve scendere a 25V.



- Classificazione degli apparecchi elettrici ai fini della protezione contro guasti interni:

- a) apparecchi di classe I: la massa dell'apparecchio deve essere collegata all'impianto di protezione
- b) apparecchi di classe II: le parti attive sono dotate di doppio isolamento, ciascuno dimensionato per la piena tensione. La loro massa non deve essere connessa all'impianto di protezione salvo casi particolari (es. apparecchio misto cl I e cl II)
- c) apparecchi di classe III: apparecchio alimentato a bassissima tensione di sicurezza
- d) apparecchi di classe 0 : sono provvisti di isolamento principale ma non destinati ad una connessione con l'impianto di protezione. Il loro uso è limitato in ambienti completamente isolati

ATTENZIONE: la classificazione si riferisce alla protezione contro i guasti interni all'apparecchio ma non contro guasti esterni prodotti dall'uso dell'apparecchio stesso.

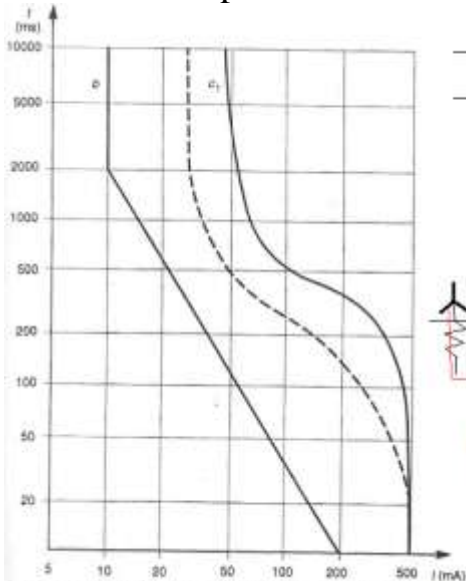
I cavi con isolamento principale e guaina esterna, anche se formata da materiale isolante, **non sono a doppio isolamento né esiste produttore che li certifichi tali.** La Norma ammette che vengano considerati a isolamento rinforzato o aumentato partendo dal principio della perdita di isolamento per cause interne. In realtà nel 99,9% dei casi di perdita di isolamento questa è causata dall'esterno per azioni meccaniche o termiche, quindi non solo l'isolamento principale ma anche la guaina è compromessa e la parte attiva diventa accessibile. **Pertanto partendo dal principio che la norma costituisce il riferimento minimo per la sicurezza ma esiste anche il principio giuridico che richiede il raggiungimento della massima sicurezza possibile, anche i cavi con guaina vanno considerati come quelli a semplice isolamento e vanno protetti non solo con IPxy ma anche contro un possibile contatto indiretto.**

- Classificazione delle parti metalliche non attive:

- a) massa : parte o struttura metallica che può andare in tensione a causa di un guasto all'isolamento dei circuiti e componenti attivi contenuti o posti in vicinanza
- b) massa estranea: parte metallica che può portare in loco un potenziale esistente in altro luogo (es:tubazione metallica montante interrata ad un estremo, impianto idrico usato come impianto di terra, ecc.). Secondo la norma 64/8-23-3(commenti) una struttura metallica che apparentemente può portare un potenziale di terra, ma ha verso terra un resistenza superiore a 1000 Ω in ambienti normali e a 200 Ω in ambienti particolari (compresi i cantieri) non è una massa estranea.

Per comprendere fino a che punto questi valori siano affidabili è necessario riferirsi alla curva di sicurezza corrente-tempo adottata in sede internazionale e confrontare con essa i valori di corrente mano-mano che risultano dal semplice calcolo esposto nel seguito. Per mantenere bassa tale corrente più che il valore di 200 Ω o 1000 Ω è importante la resistenza di terra dell'impianto.

Gli impianti idrici è sufficiente vengano messi a terra all'origine.



Curva degli effetti della corrente nel corpo umano adottata internazionalmente

- linea intera: 10 mA soglia di sensibilità
- linea intera: da 10 mA a 200 mA sensibile ma non danno
- fra linea intera e tratteggiata: possibile contrazione muscolare, entro i tempi delimitati rari danni permanenti
- fra linea tratteggiata e successiva entro i tempi delimitati contrazione muscolare, difficoltà respiratorie, probabile fibrillazione ventricolare
- oltre i tempi delimitati e oltre la seconda curva intera: contrazione muscolare, danni polmonari, fibrillazione ventricolare, danni permanenti

$Z_L = R_L + jX_L$
 $V_L = 225\text{ V}$

$R_U = 10\text{ k}\Omega$ (scarpe) $R_U' = 2000\ \Omega$ (mano-mano)

Z_L trascurabile rispetto alle R

$I_g = I_r + I_{r'} + I_u$ $I_{r'} \ll I_r \ll I_u$ questa trascurabile $\approx I_g = I_r + I_u$

Dal serie-parallelo prima dell'intervento del differenziale risulta:

$I_u = V_U R_T / [R_n (R_U + R_T) + R_U R_T]$
 $V_C = V_U R_U R_T / [R_n (R_U + R_T) + R_U R_T]$

dalle quali emergono due osservazioni: la prima che più della tensione di contatto interessa che la corrente I_u non naviti nella zona di pancolo, altrimenti la massa estranea va connessa a terra, la seconda che non potendo ottenere la R_T sufficientemente bassa ($R_T < 0,3-0,4\ \Omega$) da limitare la V_C , tanto vale considerare per il contatto mano-mano la piena tensione V_L

Per maggior chiarimento esaminiamo due esempi numerici:

$R_n = 0,5\ \Omega$; $R_T = 5\ \Omega$; $V_L = 225\text{ V}$ risultano
 $I_u = 102\text{ mA}$ $V_C = 204\text{ V}$ $I_g = 41\text{ A}$

il tempo di intervento dei differenziali ad alta e media sensibilità è 200mssec, nel frattempo nel contatto mano-mano passa la I_u cade nella zona con danni limitati

Secondo esempio con $R_T = 1\ \Omega$
 $I_u = 75\text{ mA}$ $V_C = 150\text{ V}$ $I_g = 149\text{ A}$

è evidente l'effetto della resistenza di terra dell'impianto

$Z_L = R_L + jX_L$
 $V_L = 225\text{ V}$

Se la massa estranea ha resistenza verso terra R_{ne} , nelle precedenti espressioni alla R_U va sostituita la somma $R_U + R_{ne}$

Confrontiamo con l'esempio numerico precedente con $R_{ne} = 200\ \Omega$ è $R_U + R_{ne} = 2200\ \Omega$

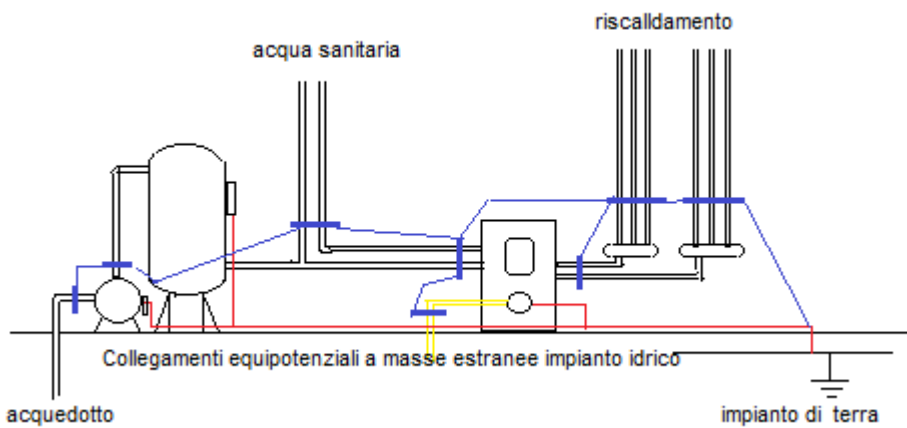
$I_u = 92\text{ mA}$ $V_C = 204\text{ V}$ $I_g = 41\text{ A}$

La corrente è diminuita fino al limite della linea tratteggiata quindi scossa si ma senza danni permanenti entro i 200mssec di intervento di differenziali alta e media sensibilità.

Con $R_{ne} = 200\ \Omega$ e $R_T = 1\ \Omega$ si ha
 $I_u = 68\text{ mA}$ $V_C = 150\text{ V}$ $I_g = 150\text{ A}$

è confermato che per avere bassi valori della corrente mano-mano non è sufficiente avere almeno 200 ohm di resistenza di terra della massa estranea, ma è necessario avere una bassa resistenza di terra dell'impianto, almeno intorno all'unità e possibilmente meno

E' da ricordare che negli ambienti ad uso medico una massa estranea non è considerabile tale se la sua resistenza verso terra è $> 0,5\text{ Mohm}$



c) non massa né massa estranea: parte metallica esterna a contatto con una massa connessa a terra (la portella di un quadro elettrico). Diventa anch'essa massa se non c'è connessione a terra. Piccoli elementi metallici (es. 5x5mm di superficie) anche se un guasto potrebbe metterli in tensione oppure sostegni di cavi infissi nella muratura di dimensioni tali da non poter essere presi stringendo le mani (in pratica chiodi e viti)

- Caratteristiche dei dispositivi di separazione e interruzione: tutte le volte che un circuito elettrico percorso da corrente viene aperto con dispositivi a contatti mobili si verifica fra i contatti in apertura un arco elettrico come reazione del circuito al cambiamento di stato. La variazione dell'energia magnetica del

circuito in apertura mantiene la corrente nell'arco che quindi va interrotto con idonei dispositivi per non incorrere in danni anche gravi. All'aumentare della potenza apparente del circuito, aumenta la corrente d'arco e i dispositivi di interruzione diventano sempre più complessi. La capacità di interrompere l'arco da parte del dispositivo di apertura prende il nome di "potere di rottura" o "potere di interruzione ed è espresso in MVA o in kA in corrispondenza di una data tensione V.

a) sezionatori a vuoto: sono costituiti da semplici contatti a lama, scatolati o aperti in aria. Non hanno nessun potere di interruzione nemmeno alla corrente di esercizio per cui devono essere azionati solo in mancanza di corrente nel circuito. Hanno soltanto la funzione di separazione fisica di zone circuitali

b) sezionatori sotto carico detti anche sezionatori-interruttori: hanno potere di interruzione limitato a $2 I_n$ e normalmente sono azionabili a mano. Non devono aprire se il circuito va in guasto.

c) interruttori: sono dispositivi di interruzione del circuito dotati di meccanismi capaci di interrompere le elevate correnti di c.to c.to. con elevato "potere di rottura".

Normalmente sono ad azionamento automatico in caso di sovraccarico o di guasto tramite due sensori che provocano lo sgancio, uno a tempo inverso per corrente superiore ai valori nominali perdurante un certo tempo, l'altro a intervento pressoché istantaneo (20-40 msec) in caso di c.to c.to. La taglia dell'interruttore da installare è determinata dal potere di rottura e non dai valori nominali di tensione e corrente.

d) contattori: sono dispositivi di inserzione e disinserzione di un circuito con comando elettrico. Hanno potere di apertura circa il doppio della corrente nominale per cui non possono essere impiegati per interrompere i guasti.

e) fusibili: agiscono naturalmente per effetto Joule sulla resistenza fondibile. Al valore nominale il riscaldamento è tale da mantenere intatta la resistenza tarata. Aumentando oltre la corrente, il calore prodotto fonde la resistenza e interrompe il circuito. La curva di intervento è di tipo a "tempo inverso" cioè più aumenta la corrente minore è il tempo di interruzione.

f) dispositivi differenziali: la somma delle correnti di una linea deve essere zero in funzionamento corretto. Analogamente deve essere nulla la somma dei flussi magnetici generati dai conduttori. Quando si verificano correnti che per dispersione o guasto si richiudono verso terra, la somma delle correnti della linea e quindi anche i flussi danno un valore diverso da zero. Il dispositivo, attraverso un circuito magnetico toroidale, sente il valore risultante e provoca l'interruzione del circuito. Caratteristica fondamentale di un differenziale è la sensibilità in valore di corrente e il tempo di intervento.

Le sensibilità standardizzate sono:

alta= 10mA e 30 mA con tempo 200 msec a $2\Delta I$ - 400msec a ΔI
media=100mA, 300mA , 500mA, 1 A con tempo 200 msec a $2\Delta I$
bassa= da 2 A a 30 A in genere tarabili in corrente e tempo

Funzionamento del differenziale



Impianto elettrico di cantiere:

Disposizioni legislative: Titolo IV DL 81/08-Titolo III Capo III DL 81/08

Responsabili: gli stessi stabiliti dal DL 81/08

Norme relative: CEI 64/8-704 e Guida CEI 64/17

Necessaria analisi rischi derivanti dagli impianti elettrici

Cantieri considerati luoghi pericolosi. Tensioni di contatto ridotte a 25V

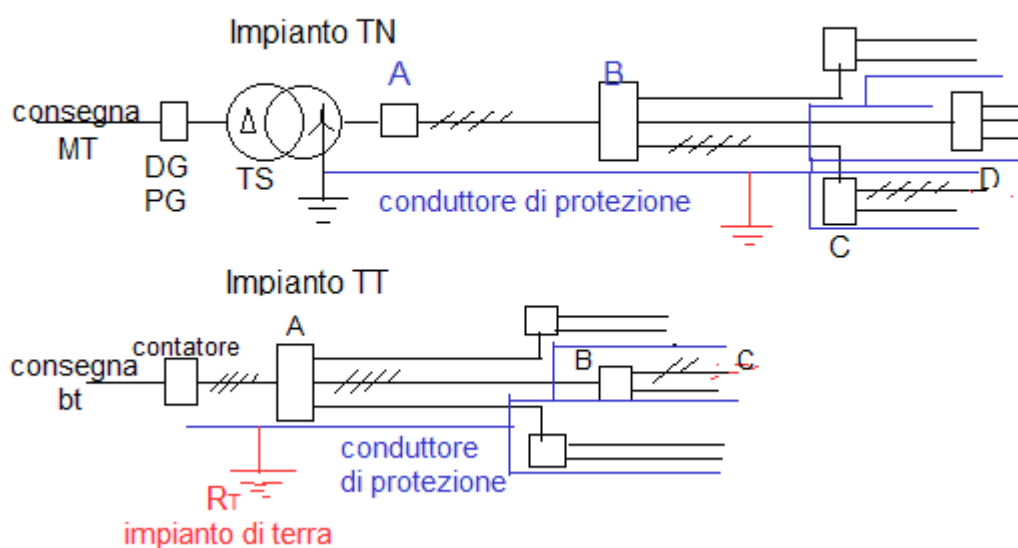
Grandi cantieri: progetto, schemi, presenza di PES e PAV

Piccoli cantieri: almeno una breve descrizione dell'impianto, dell'allacciamento e dell'impianto di terra. Individuazione del PES e del PAV come controllori della sicurezza.

Caratteristiche comuni a tutti i cantieri:

- il punto di consegna dell'energia elettrica da parte del distributore di rete o del committente
- un dispositivo di interruzione manuale di sezionamento
- un dispositivo di interruzione automatico completo di protezione magnetotermica e, se necessario, differenziale
- un quadro di distribuzione o una semplice scatola con prese per la distribuzione alle varie utenze
- cavi di varia natura per gli allacciamenti
- l'installazione di quadri secondari negli impianti più importanti, con varie zone di lavoro e/o strutture fisse per tutta la durata dei lavori quali gru a torre, stazioni di betonaggio, uffici in container, silos ed altro,
- impianto di terra e collegamenti di protezione ed equalizzazione del potenziale coordinato con le protezioni in modo che la tensione di contatto $R_T I_g \leq 25 \text{ V}$

Schema a blocchi impianto di cantiere



Punto di consegna:

-Cantiere contenuto entro una attività con proprio impianto TN: allacciamento a un quadro della attività previa accettazione delle condizioni di sicurezza stabilite

all'interno della attività. Terra di cantiere connessa con terre della attività.

Dimensionamenti interruttori e linee coordinati e dipendenti da quelli della attività

-Cantiere presso privato che fornisce l'allacciamento: controllo potenza disponibile monofase o/e trifase. Controllo terra committente ed eventuale integrazione impianto di terra.

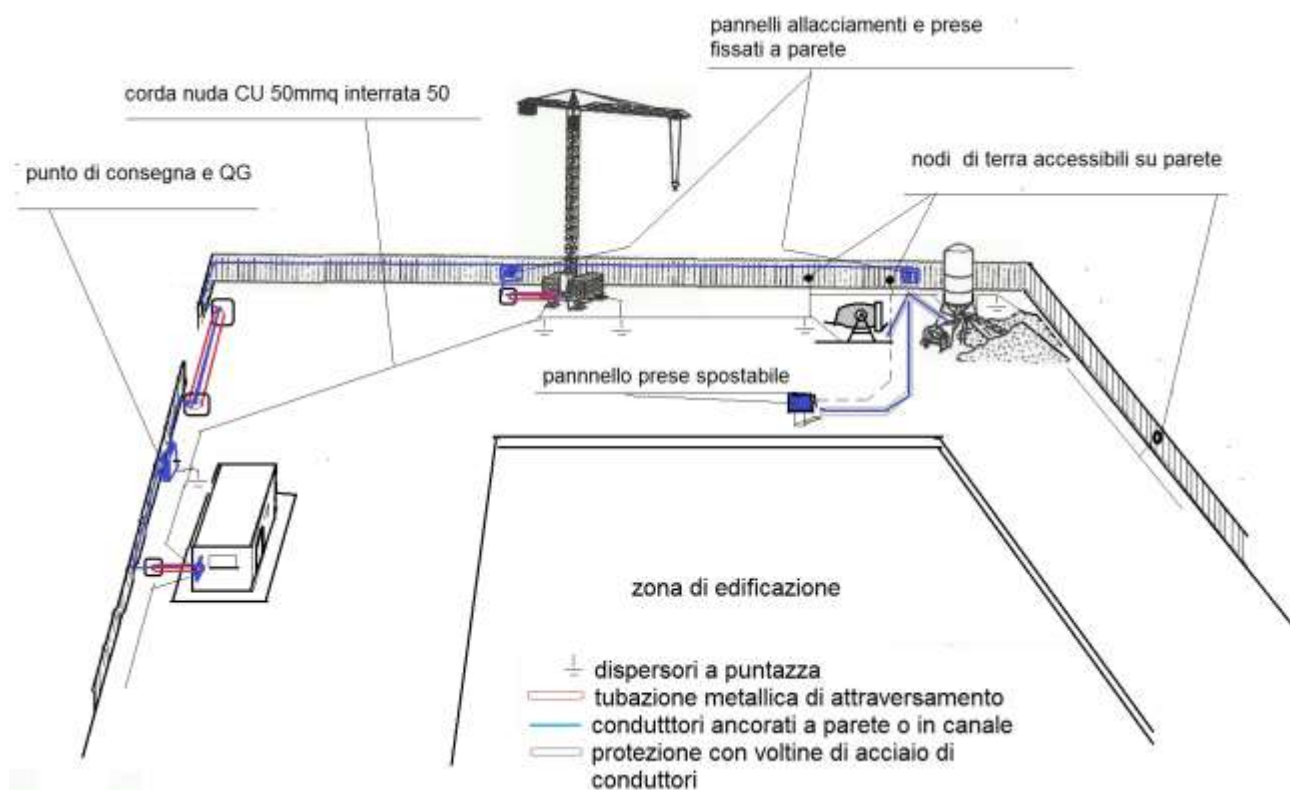
-Cantiere con allacciamento richiesto al Distributore dell'energia: ricevere informazioni dal Gestore di rete sulla corrente di corto circuito. Rete di terra propria e determinazione del valore della resistenza di terra.

-Per tutti i cantieri contatore e sezionatore di impianto entro proprio contenitore IP 65. Quadro generale con interuttore magnetotermici e differenziali 0,03 A se sistema TT.

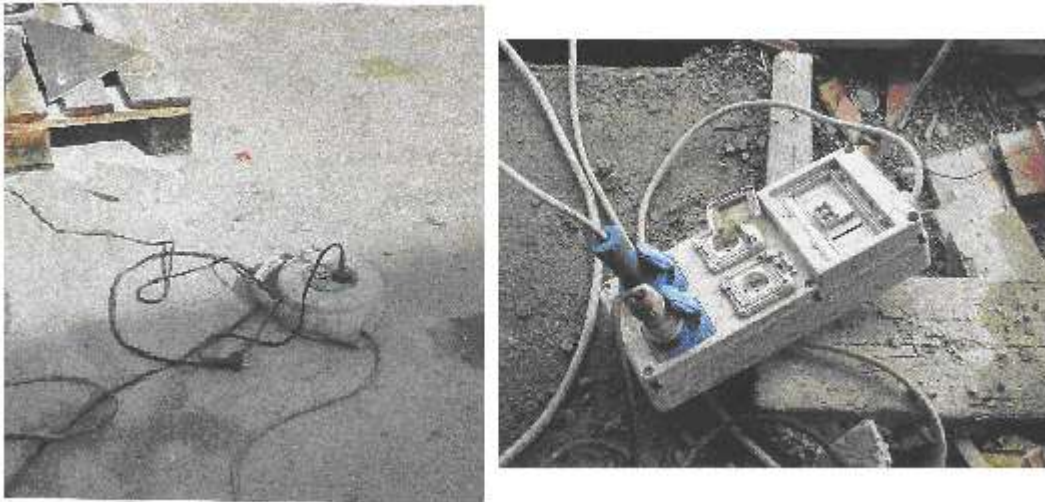
-Linee: prima di predisporre le linee in cavo verificare la sezione dei conduttori valutando: la corrente di esercizio e la portata dei cavi da impiegare, la caduta di tensione sulle lunghezze previste.

Per le linee fisse, la cui posa rimane inalterata per la durata del cantiere, vanno impiegati cavi FG7R o FG7OR 0,6/1 kV o cavi FROR 0,6/1 kV. Per i cavi posati all'esterno da evitare filo di ferro e fascette metalliche come bloccaggi. Qualora vengano interrate, ad esempio negli attraversamenti, infilarle in tubazioni serie pesante. Se stese su terreno proteggerle con coppelle di acciaio. Da rispettare i raggi di curvatura prescritti dal produttore.

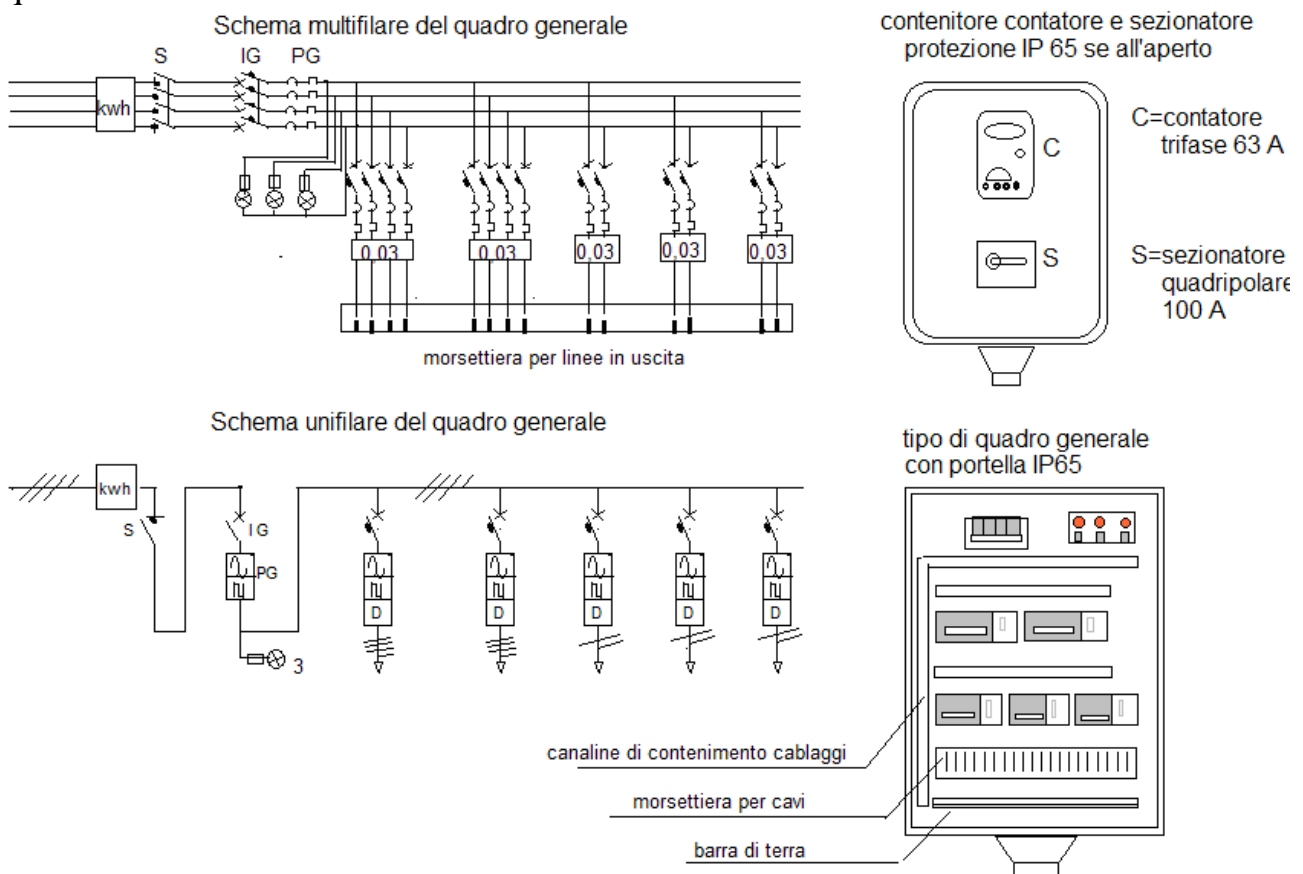
I cavi flessibili delle attrezzature mobili devono essere di tipo H07RN-F, H07RN8-F, FG7OK, H07BQ-F, 450/750 V, con guaina. Negli attraversamenti e nei percorsi dei mezzi proteggerle con coppelle di acciaio o entro tubi flessibili serie pesante. Evitare situazioni in cui possano verificarsi abrasioni e tagli. Effettuare le giunzioni con prese e spine di tipo CEE IP 65. Non effettuare riparazioni o giunzioni con nastro isolante.

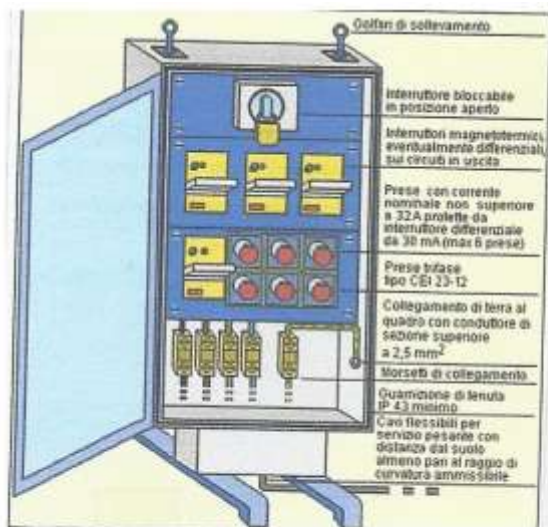


Le foto che seguono indicano esempi da non seguire



-Quadri elettrici generali e derivati: Le norme CEI che regolano ancora i quadri da cantiere sono la CEI EN 60439-4 (CEI 17/13-4) e CEI EN 60439-1 (CEI 17/13-1), ma entro breve tempo le nuove produzioni dovranno rispettare le CEI EN 61439-4. Le strutture dei quadri dipendono dall'importanza del cantiere, ma deve sempre esserci almeno un quadro generale installato il più vicino possibile al punto di consegna. Nei cantieri estesi devono essere disponibili anche quadri di zona con prese o morsettiere di allacciamento. Se installati all'aperto devono essere sempre contenuti in armadio IP65. Si riportano nel seguito lo schema di un quadro generale tipo e di quadri normalmente in commercio





quadro di distribuzione fisso



quadro di distribuzione spostabile



pannello di distribuzione spostabile



pannello di distribuzione mobile

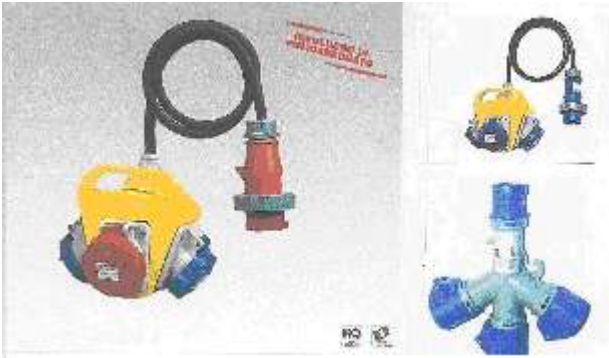
Gli allacciamenti dei cavi nei quadri devono essere eseguiti sulle apposite morsettiere e non direttamente sotto gli interruttori.

La foto che segue è un esempio di come non vada eseguito un allacciamento e un quadro generale



-Derivazioni e prese a spina singole e multiple: ad eccezione di ambienti interni protetti e non direttamente interessati dai lavori, non sono ammesse prese e spine

di tipo civile ma soltanto oggetti di tipo industriale appositamente realizzati per impianti di cantiere tipo quelli sotto riportati



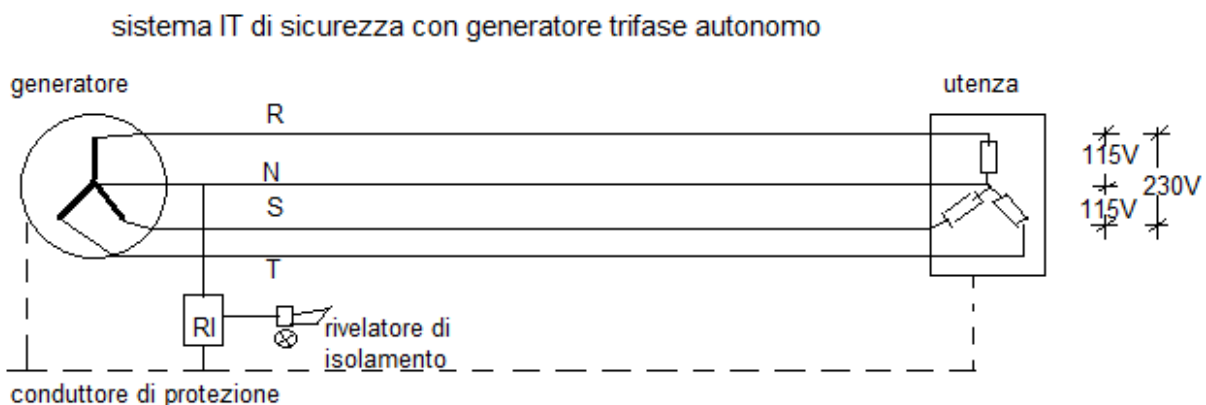
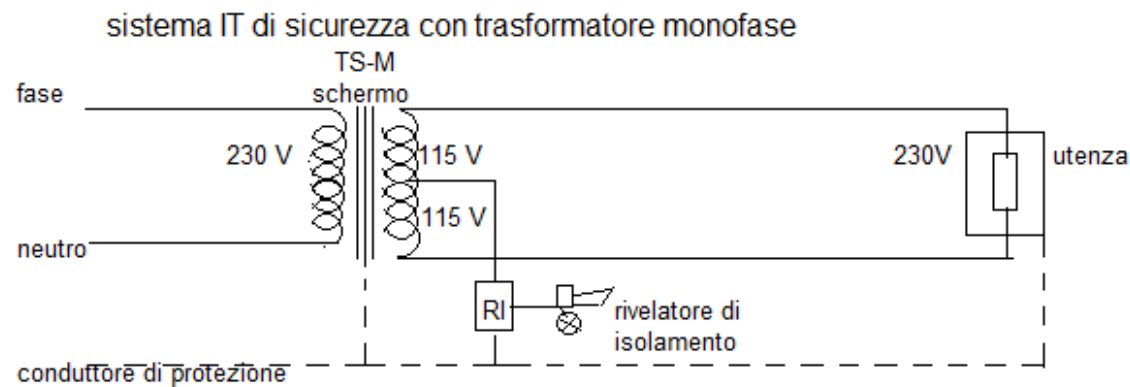
Prolunghe varie devono essere con proprio avvolgitore in modo che rimanga svolto ed esposto solo il tratto di cavo necessario. Si ricorda che la portata in corrente dell'avvolgitore, che deve essere riportata in targa, è riferita alla condizione di conduttore avvolto in cui si ha la minima dispersione di calore. L'avvolgitore deve essere provvisto di protezione termica.

Nella foto che segue si noti la derivazione effettuata in una scatola volante tenuta chiusa da nastro isolante



sistemi di sicurezza a separazione elettrica: quando in un cantiere vi sono zone di lavoro pericolose dal punto di vista elettrico o lavorazioni che non devono essere interrotte per non subire danni rilevanti oppure non è assolutamente possibile realizzare un impianto di terra si può ricorrere a sistemi di alimentazione localizzati di tipo IT. Se il sistema è sufficientemente ridotto in ampiezza in modo che la capacità complessiva verso terra sia limitata e la tensione verso terra contenuta entro il valore dei 225 V, la corrente capacitiva $I_c = V \omega C$ è molto ridotta e non costituisce pericolo per chi dovesse toccare una parte attiva (a meno che non esista già un primo guasto). Poiché il primo guasto non si autodenuncia il sistema deve essere sempre dotato di allarme rivelante il guasto.

Il sistema può essere realizzato per mezzo di trasformatore di sicurezza monofase o trifase, con o senza neutro, oppure di generatore locale con centro stella isolato da terra. Se il sistema è trifase la tensione di linea deve essere non superiore a 230 V a vuoto e tensione di fase 115 V, affinché, andando a terra una fase, la tensione delle altre due verso terra si mantenga entro il massimo ammesso dalla norma di 230 V.



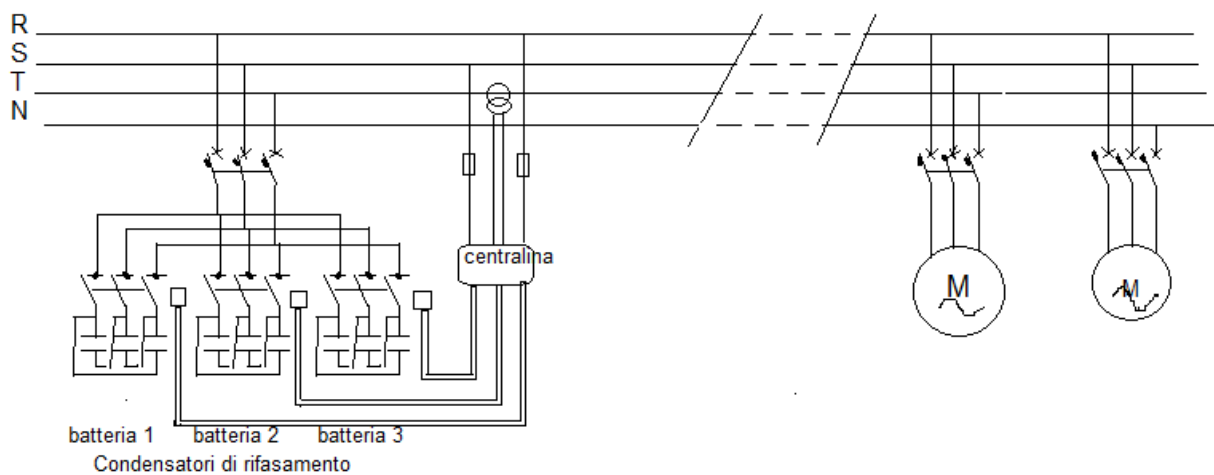
impiego di rifasatori: in molte forniture di energia elettrica il Distributore installa un gruppo di misura che comprende il contatore di energia attiva, con l'indicatore della massima potenza assorbita più il contatore di energia reattiva.

Anche l'energia reattiva ha un costo di produzione e trasporto per i quali ne è richiesto il pagamento se il suo assorbimento supera un certo valore che viene determinato tramite il $\cos\phi = \text{kwh} / \sqrt{(\text{kwh}^2 + \text{kVAR}^2)}$. Quando il $\cos\phi$ è inferiore a 0,91 viene applicato un sovrapprezzo che aumenta con il diminuire del $\cos\phi$.

In un cantiere i carichi che assorbono potenza reattiva sono prevalentemente i motori asincroni trifase, i motori monofase, specialmente se controllati da inverter e i trasformatori. Poiché le induttanze variano continuamente, sia per il numero di macchine in funzione sia durante il loro funzionamento, può essere installata una batteria di condensatori, a inserzione automatizzata da centralina, variabile con il carico reattivo, chiamata “rifasatore automatico”. Ovviamente il rifasatore ha un costo di acquisto e di manutenzione per cui si pone un problema di scelta: meglio pagare il sovrapprezzo per basso $\cos\phi$ o installare apparecchi che richiedono particolare attenzione?

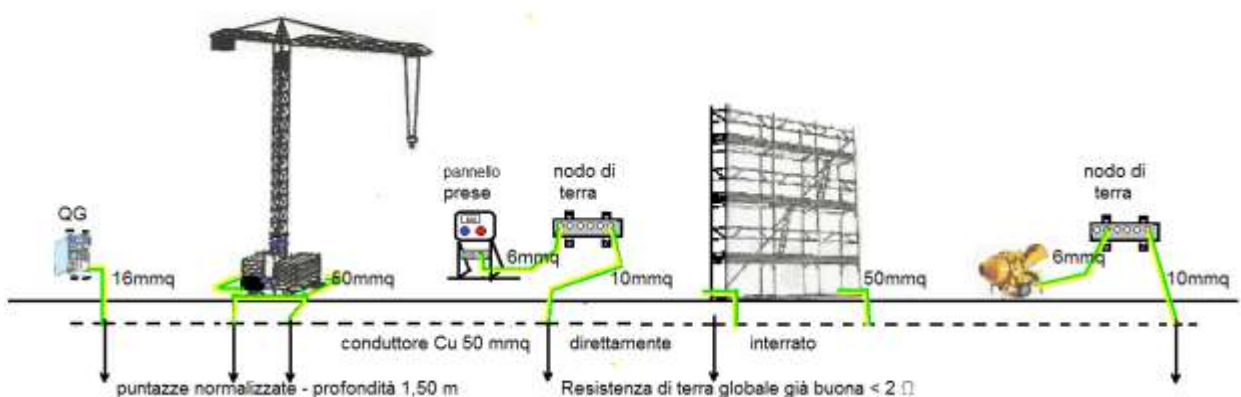
La risposta non può venire che da una analisi dei consumi prevedibili : se si prevede un sovrapprezzo di poche decine di euro al mese è più conveniente rinunciare al rifasatore, ma se si tratta di centinaia di euro allora conviene sicuramente installare un adeguato rifasatore automatico.

Rifasamento automatico



reti di terra: hanno la funzione di proteggere contro i contatti indiretti favorendo l’azione del dispositivo di interruzione per guasto verso terra. I componenti di un “impianto di terra” sono: i dispersori a puntazza infissi nel terreno e/o a corda nuda direttamente interrata, i nodi di terra costituiti da barre in rame a cui sono connesse masse e masse estranee, i collettori che collegano i nodi di terra o le strutture ai conduttori interrati, le connessioni delle masse e masse estranee al nodo di terra o fra loro in conduttori con isolamento giallo-verde.

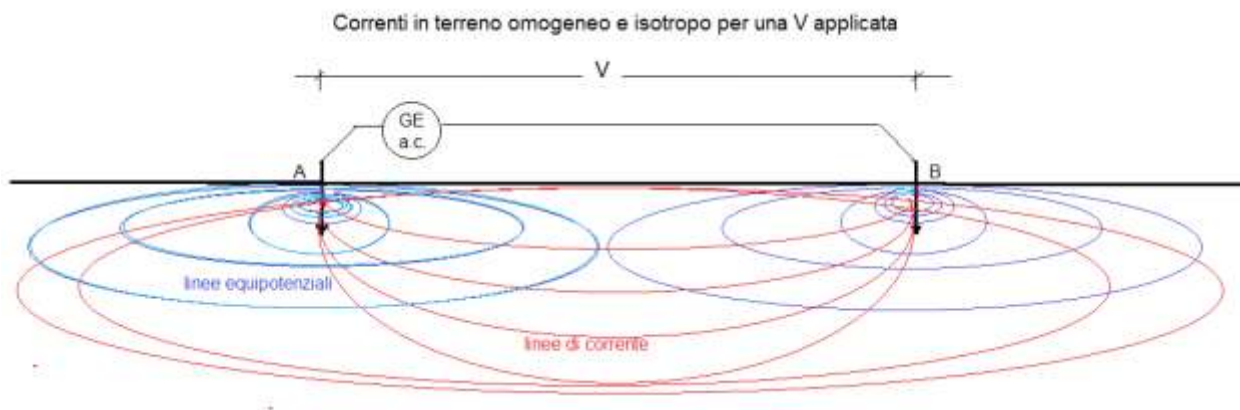
Schema esemplificativo di impianto di terra



Come già visto, nel sistema TT la funzione dell'impianto di terra è far condurre al terreno le correnti di guasto che devono tornare al centro stella del trasformatore che alimenta l'impianto.

Per chiarire il funzionamento di un impianto di terra esaminiamo come si comporta un terreno alle correnti imposte dall'esterno.

Premesso che per avere spostamenti di cariche elettriche sono necessarie e sufficienti due condizioni: la presenza di una differenza di potenziale applicata ed un insieme di elementi conduttori formanti un circuito chiuso, vediamo quanto e come un terreno può costituire il ramo di un circuito quando è applicata dall'esterno una differenza di potenziale fra due suoi punti. L'applicazione può avvenire per mezzo di puntazze metalliche infisse o corde conduttrici nude interrate. All'estremo esterno le sonde così realizzate, dette "dispersori" di terra, siano connesse ad un sistema elettrico che genera la ddp applicata. Il terreno, costituito da un miscuglio di elementi conduttori, semiconduttori e non conduttori, è obbligato a condurre una quantità di cariche elettriche il cui lavoro di spostamento uguaglia la ddp applicata e poiché si tratta di un conduttore a dimensioni indefinite, normalmente anisotropo e disomogeneo, le cariche si suddividono in infinite correnti, seguenti i percorsi a minor resistenza, ma tutte "uscenti" da un dispersore e "rientranti" nell'altro seguendo le variazioni nel tempo della ddp. Di conseguenza è solo nelle immediate vicinanze dei punti di applicazione della ddp che si ha un significativo valore di densità di corrente il cui modello di distribuzione dei piani equipotenziali, in funzione della distanza, è rappresentabile con superfici pressoché semisferiche con centro nel punto.



Ipotizzando, in prima approssimazione, un terreno omogeneo e isotropo, e una delle due sonde posta all'infinito, le linee equipotenziali della densità di corrente si distribuiscono sulla superficie di una semisfera di raggio crescente secondo la distanza dal punto. Pertanto la resistenza totale offerta dal terreno vale

$$R_t = (1/2\pi) \rho \int_{r_0}^{\infty} dr / r^2 = \rho (1/ 2\pi r_0)$$

con r_0 = raggio equivalente del dispersore e limite superiore dell'integrale = ∞ e ρ resistività del terreno.

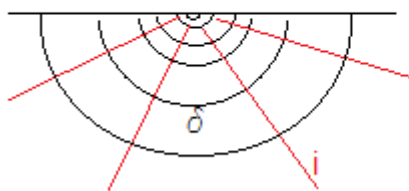
Il raggio r_0 non corrisponde a quello del conduttore infisso nel terreno ma è quello della semisfera ideale, nelle ipotesi poste, in cui si ha la massima densità di corrente. Un valore di resistenza intermedio fra r_0 e ∞ , ad una distanza r , è determinabile, sempre in condizioni ideali, per mezzo dell'integrale definito

$$R_r = (1/2\pi)\rho \int_{r_0}^r dr / r^2 = (1/2\pi)\rho [1/r_0 - 1/r] = K (r-r_0) / r r_0 \quad \text{e poiché } r_0 \text{ è la}$$

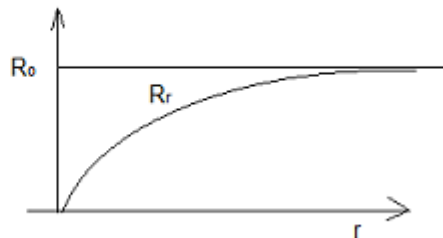
minima distanza possibile, il risultato sarà sempre positivo mentre il valore di R_r sarà sempre minore di R_t pur tendendo ad esso per $r \rightarrow \infty$. Ovviamente per $r = r_0$ la $R_r = 0$.

La curva che rappresenta la funzione R_r parte da zero e tende asintoticamente ad un valore finito dato da R_t .

Rappresentazione delle semisfere ideali linee equipotenziali di densità e linee di corrente

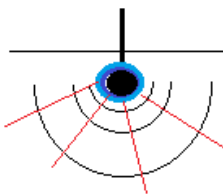


Curva ideale di R_r

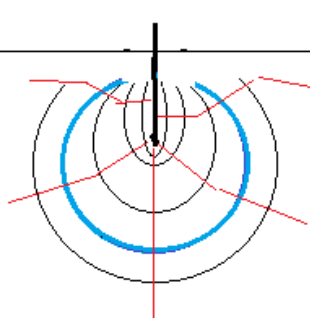


Semisfera equivalente di raggio r_0 (indicata in blu) di varie conformazioni di dispersori:

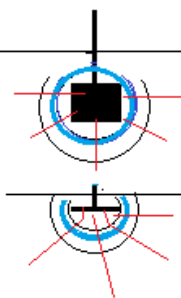
1 sfera conduttrice



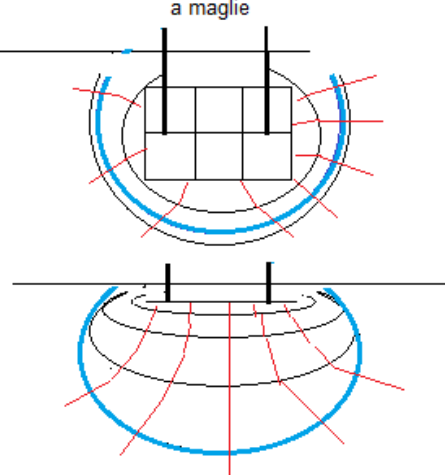
2 puntazza singola



3 piastra



4 impianto di terra a maglie



Dall'espressione della resistenza di terra è immediato dedurre che minore è la resistività del terreno e minore sarà la resistenza R_t , che tenderà a diminuire ulteriormente con l'aumentare di r_0 cioè con l'aumentare dell'estensione dell'impianto.

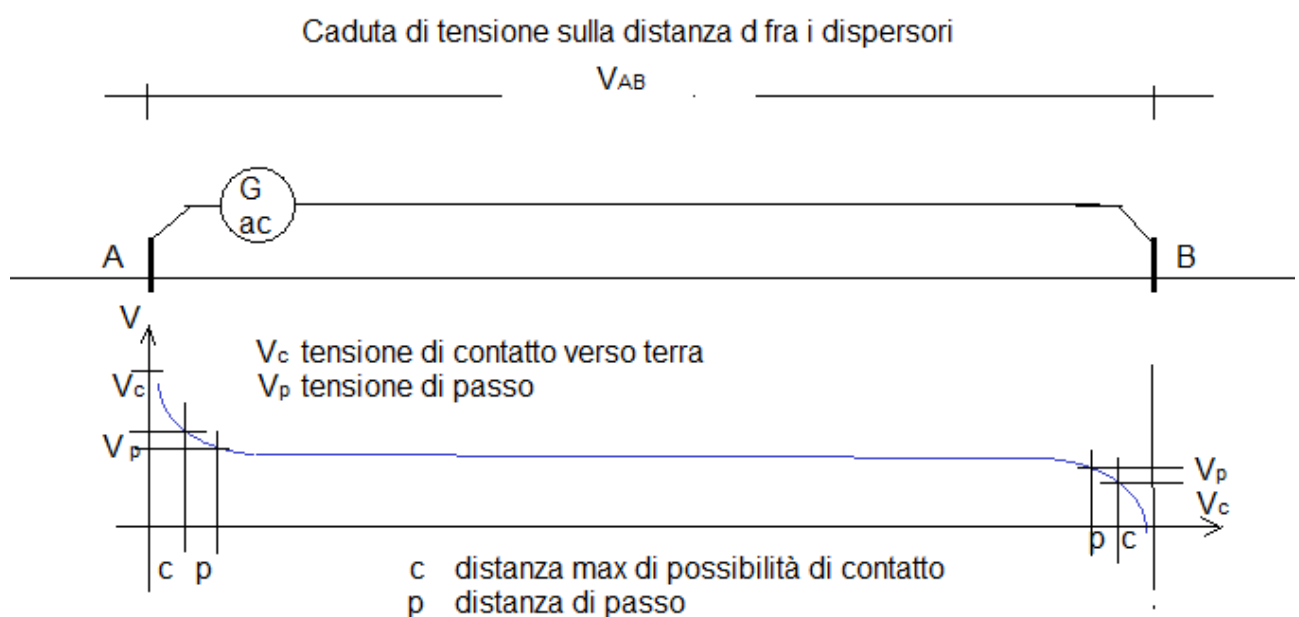
Se in teoria il valore di R_t viene raggiunto all'infinito, in pratica la differenza fra la curva e la asintotica diventa minima dopo una distanza che è caratteristica dell'estensione dell'impianto disperdente e della tipologia del terreno. In genere si considera una distanza pari a 5 volte la dimensione massima dell'estensione della rete di terra o della profondità di una puntazza. In realtà tale indicazione non ha molto

significato: primo perché il terreno non rispetta le ipotesi teoriche di omogeneità e isotropia poste e secondo perché dipende dalla conducibilità del terreno e dalle direzioni in cui essa risulta minore o maggiore. Il modo migliore per determinare la resistenza di terra è quello di effettuare alcune misure a distanza variabile e tracciare la curva. Quando l'ultima misura tende ad appiattire la curva verso l'asintoto interpolato e la differenza è compresa entro il 5% il valore può essere accettato senza problemi. La curva andrebbe tracciata secondo le quattro direzioni di due assi ortogonali in modo da valutare la direzione di minor resistenza. Infatti il terreno risente fortemente dalla presenza di tubazioni metalliche o da diversità di composizione tipo presenza di argille, roccia calcarea o silicea, terreni vergini o di riporto, vie d'acqua superficiali e sotterranee, ecc. Il valore della resistenza di terra cambia significativamente anche a seguito delle variazioni di stato del terreno da secco a umido e bagnato.

La corrente immessa nel terreno da un dispersore deve richiudersi sull'altro rispetto al quale esiste la differenza di potenziale. Nel terreno si suddivide in infiniti percorsi in parallelo con intensità inversamente proporzionali alla resistenza del percorso stesso. La sezione di terreno interessato, nei tratti intermedi fra i due dispersori, non è infinita come si ipotizza in teoria, ma ha valori finiti pur avendo valori molto elevati che riducono la densità di corrente a valori estremamente bassi, è variabile lungo il percorso e comunque è tale che la corrente compresa in ogni sezione sia costante ed uguale a quella entrante e uscente dai dispersori. Dette R_{tA} e R_{tB} le resistenze di terra dei due dispersori e V_{AB} il valore efficace della tensione applicata dall'esterno su di essi, la corrente che circola nel terreno è

$$I_t = V_{AB} / (R_{tA} + R_{tB}) \quad e$$

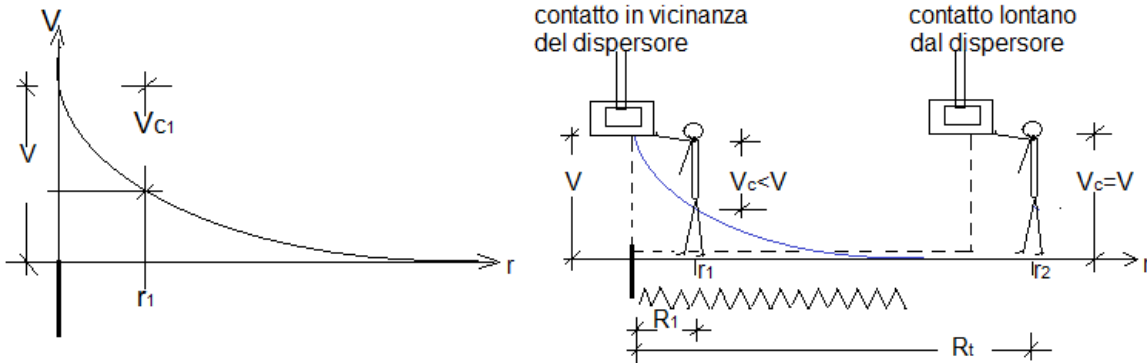
poiché le resistenze di ciascun dispersore variano con la distanza dal dispersore anche le cadute di tensione varieranno con la distanza. Il gradiente di tensione per unità di lunghezza sarà massimo in vicinanza dei due punti di applicazione della tensione al terreno e minimo nel tratto intermedio.



La tensione di contatto V_c ad una distanza r dal dispersore A è data da

$$V_c = R_{rA} I_t = R_{rA} V_{AB} / (R_{tA} + R_{tB}) = [K (r - r_0) / r r_0] V_{AB} / (R_{tA} + R_{tB})$$

Tensione di contatto a distanza r_1 dal dispersore



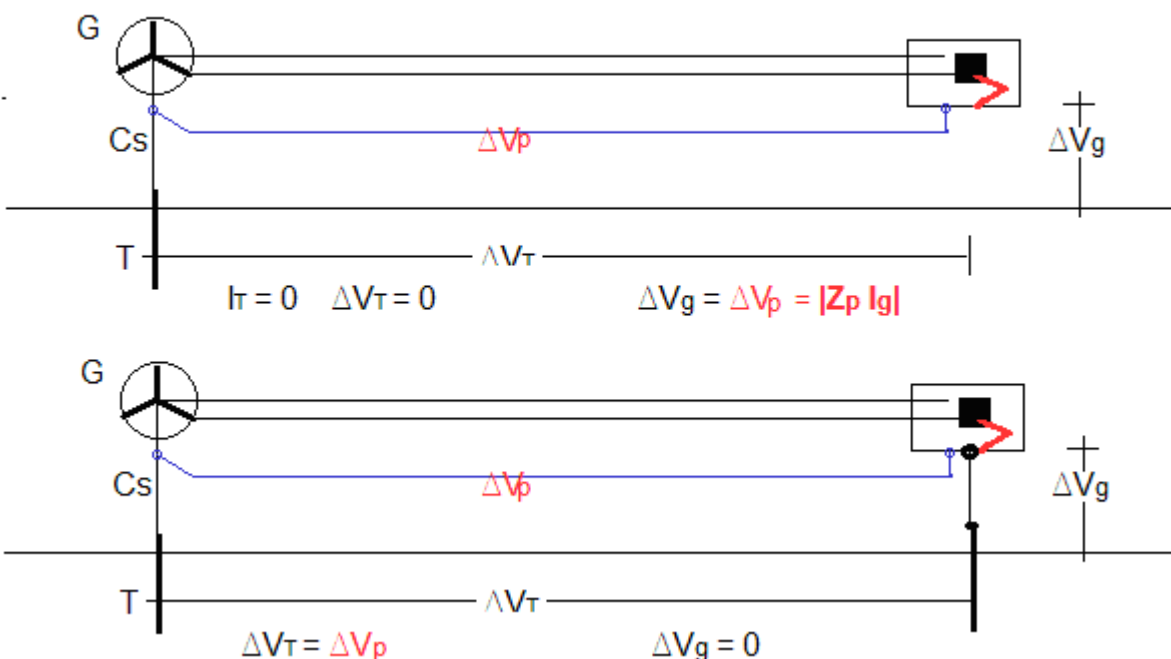
Nel contatto “lontano” si trascura la caduta di tensione nella resistenza all’appoggio dei piedi.

La configurazione sopra illustrata è caratteristica di un sistema elettrico TT.

Nel sistema TN le masse sono connesse direttamente al centro stella del trasformatore tramite i conduttori del circuito di protezione destinati ad essere percorsi dalle eventuali correnti di guasto. Qualora ciò avvenga la differenza di potenziale fra il punto in guasto e il terreno circostante è la stessa che si ha fra il punto e il terreno in cui è messo a terra il centro stella e corrisponde alla caduta di tensione nel conduttore di protezione. Tale ΔV_g può assumere anche valori pericolosi e non ammissibili in termini di tensione di contatto.

Per ovviare a questa situazione è necessario estendere l’impianto di terra come in un sistema TT, con tutte le masse connesse, in cui i conduttori di terra non sono più dedicati a condurre le correnti di guasto ma a rendere equipotenziale il terreno

Messa a terra in sistema TN



Il dimensionamento di un impianto di terra dipende dalla valutazione di vari elementi

- se il sistema è TT o TN
- dalla estensione planimetrica degli elementi da proteggere
- dalla corrente massima di guasto che potrebbe verificarsi in uno degli elementi protetti
- dalla probabilità che l'impianto di terra sia interessato da scariche atmosferiche
- dalla opportunità che la resistenza di terra sia limitata sotto i 2 ohm in modo da assicurare le minime tensioni di contatto come già visto nell'analisi delle tensioni di contatto verso masse estranee

Rimanendo nel sistema TT , in particolare nei cantieri, una prima valutazione approssimata, non necessariamente calcolata ma indotta da tutto quanto detto può essere utilizzata applicando i seguenti criteri:

- estendere la rete di terra con corda in rame nuda da 50 mmq direttamente interrata dal punto di consegna all'utenza più lontana e intervallare dispersori a puntazza in corrispondenza delle strutture più imponenti quali gru o ponteggi elevati.
- utilizzare collettori fra dispersori e nodi di terra di sezione almeno 16 mmq e comunque non inferiori al conduttore di terra di maggior sezione allacciato al nodo e collegare masse e masse estranee ai nodi con conduttori di sezione pari (e non metà) a quelli della linea di alimentazione. (le differenze di costo sono insignificanti perché gli installatori elettrici hanno l'abitudine di far pagare le matassine portate in cantiere e non l'effettivo metraggio impiegato)
- le gru vanno messe a terra attraverso i quattro spigoli di base ed i ponteggi, se necessario, almeno in due punti

Se l'impianto di terra di cantiere viene a trovarsi in vicinanza di un impianto di terra preesistente o interferisce per sovrapposizione, i due impianti vanno connessi e resi un unico impianto di terra.

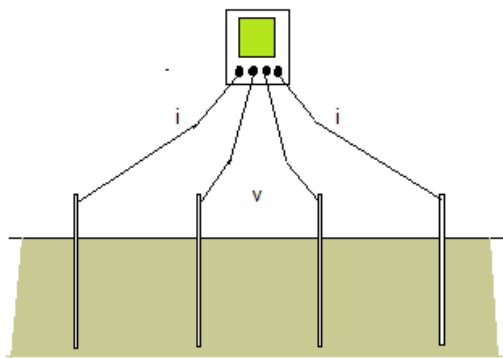
Più che nelle installazioni che richiedono scavi e sbancamenti o dove è disponibile terreno libero, i problemi per una adeguata "messa a terra" si trovano nei piccoli lavori tipo ristrutturazioni di facciate di edifici o negli interni di questi. La presenza di strada in asfalto o di marciapiede e , spesso, la mancanza di un giardino, anche piccolo, rende problematico il posizionamento di dispersori dedicati al cantiere. La soluzione più semplice è verificare, eseguendo qualche misura, se l'edificio in lavorazione è dotato di impianto di terra e quanto è il suo valore. Crearsi un nodo di terra e collegarlo direttamente con conduttore isolato di non piccola sezione (almeno 16-25 mmq) al primo nodo di terra dell'impianto esistente evitando di sfruttare le terre delle prese esistenti nell'edificio.

Se, infine, non esiste impianto di terra né vi è la possibilità di realizzarlo, va studiata la soluzione del lavoro in ambiente isolato, con alimentazione IT tramite trasformatore di sicurezza e allarme per primo guasto. Ma una analisi del genere è bene che un ingegnere civile la lasci ad un ingegnere elettrotecnico che ne abbia esperienza.

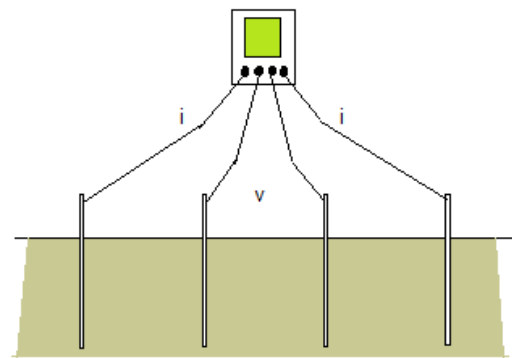
misure di resistività del terreno e della resistenza di terra:

Quando si compiono misure nei terreni è sempre necessario considerare che una misura eseguita in corrente continua in un senso è diversa dalla misura eseguita in senso opposto.

-misura di resistività : detta anche “dei 4 picchetti”, segue i due metodi di determinazione indicati in figura. i picchetti esterni conducono corrente mentre fra i due intermedi viene misurata la caduta di tensione. In questo modo è eliminato l’effetto resistivo dei picchetti. La resistività di terra può variare da 0,01Ω m per terreni bagnati molto salini fino a 100 kΩm sulla roccia dove la conducibilità è pressoché nulla. La misura va compiuta in ca e ripetuta almeno su due direzioni ortogonali fra loro.

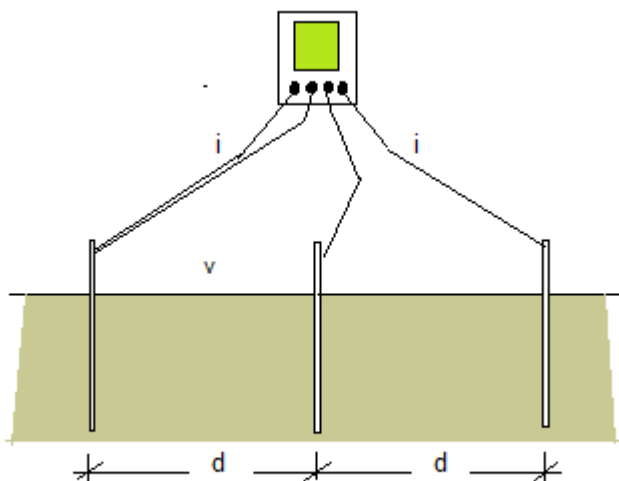


Misura di resistività secondo Wenner $\rho = 2\pi dR$
 $R = v / i$



Misura di resistività secondo Schlumberger
 $\rho = \pi(d^2 - A^2/4) R/4$ $R = v / i$

-misura della resistenza di terra: rispetto ad un dispersore singolo viene eseguita con il metodo dei 3 punti di misura. La figura che segue indica il circuito da realizzare e quanto detto precedentemente ne chiarisce il significato. Rilevando la tensione nel punto intermedio fra il dispersore e la sonda di corrente se ne elimina l’interferenza.

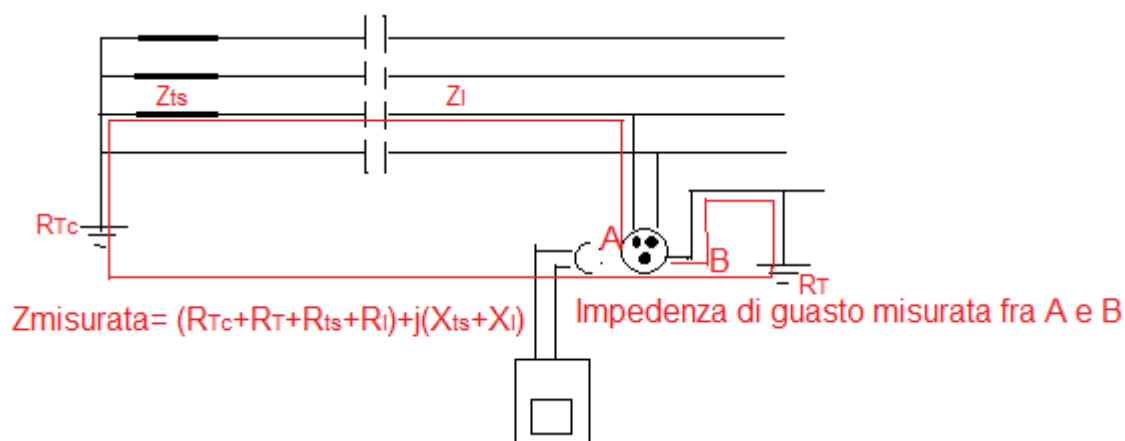


Misura della resistenza di terra di un dispersore
 $R = v / i$

La resistenza di terra va sempre misurata quando all’impianto è connessa una protezione contro le scariche atmosferiche. In questo caso la resistenza totale deve

essere inferiore a 10 Ω. Spesso va individuata attraverso la misura dei singoli dispersori ed il valore di resistenza totale di terra determinato con il parallelo dei valori misurati. Il valore ottenuto va specificato nella denuncia dell'impianto contro le scariche atmosferiche da inviare all'INAIL.

- misura semplificata della resistenza di terra: alcuni "misuristi" suggeriscono di eseguire nei sistemi TT misure semplificate di terra tramite la misura dell'impedenza di guasto a terra (vedi figura che segue). Il valore così dedotto è affetto da errori non indifferenti anche se, essendo maggiore del reale, è a favore della sicurezza quando si calcola la tensione di contatto con il prodotto $U_c = R_T \cdot I_g$ con I_g corrente di sgancio del differenziale (ormai reso obbligatorio dalla 46/90 e 37/08). L'errore introdotto nella misura è dovuto al fatto che in serie alla resistenza di terra utente vengono a trovarsi la resistenza di terra della cabina di trasformazione e l'impedenza di fase del trasformatore del Distributore e della linea di alimentazione. Se quest'ultima è trascurabile non lo sono le prime due e l'errore commesso è dello stesso ordine del valore che si vuole misurare.



Inoltre bisogna prestare attenzione che in qualche punto il neutro non sia a terra, altrimenti la corrente di misura richiude su di esso ed esclude la resistenza di terra. Ovviamente il metodo non è applicabile ad un sistema TN ove le correnti di guasto hanno il percorso privilegiato del conduttore di protezione.

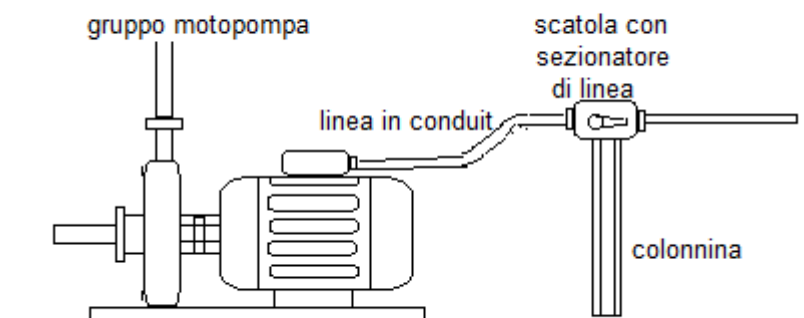
MODULO 3

20/3/2015

Attrezzature elettriche e macchine: in qualsiasi cantiere si trovano attrezzature e macchine con alimentazione elettrica che possiamo distinguere in fisse, spostabili e portatili. Sono apparecchiature fisse quelle che vengono posizionate e ancorate in una postazione che rimane inalterata per tutta la durata dei lavori quali gru a torre, centrali di betonaggio, banchi da lavoro per tagliaferri e piegaferri, paranchi elettrici, ascensori, compressori. ecc.. Per apparecchiature spostabili si intendono quelle poste su supporti semplicemente appoggiati che possono essere spostati a mano o con l'ausilio di un apparecchio di sollevamento come richiesto dal luogo di lavorazione, quali, ad es. le saldatrici, i quadri di zona su cavalletto, le miscelatrici intonaci ecc. Gli apparecchi portatili sono tutti quelli che vengono azionati tenendoli con le mani: trapani, avvitatori, levigatrici, flessibili con disco a taglio, vibratorii del getto in cemento, martelli elettrici a percussione, ecc.

Normalmente le apparecchiature fisse e spostabili sono in classe 1 e per tutti questi apparecchi, azionati dall'energia elettrica, è obbligo disporre nelle immediate vicinanze, in posizione chiaramente visibile e a portata di mano dell'operatore, un sezionatore-interruttore che interrompa l'alimentazione in caso di pericolo. In sostituzione può essere installato un pulsante di emergenza che faccia sganciare il contattore posto sulla linea di alimentazione.

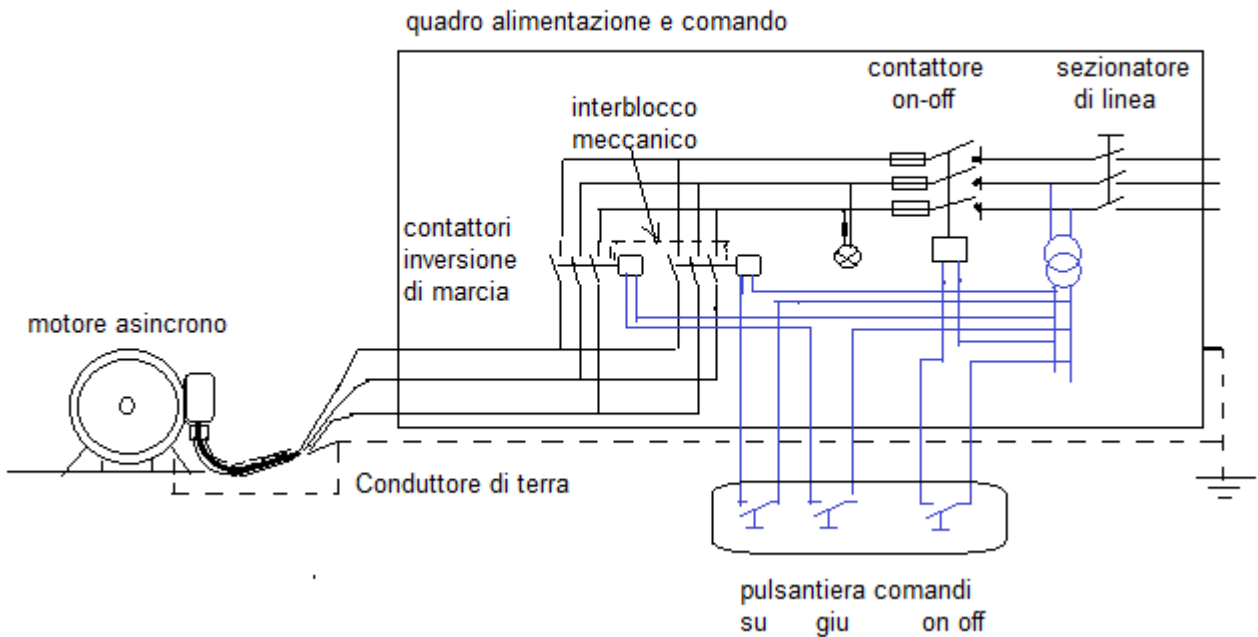
Sezionatore di linea in prossimità di una macchina



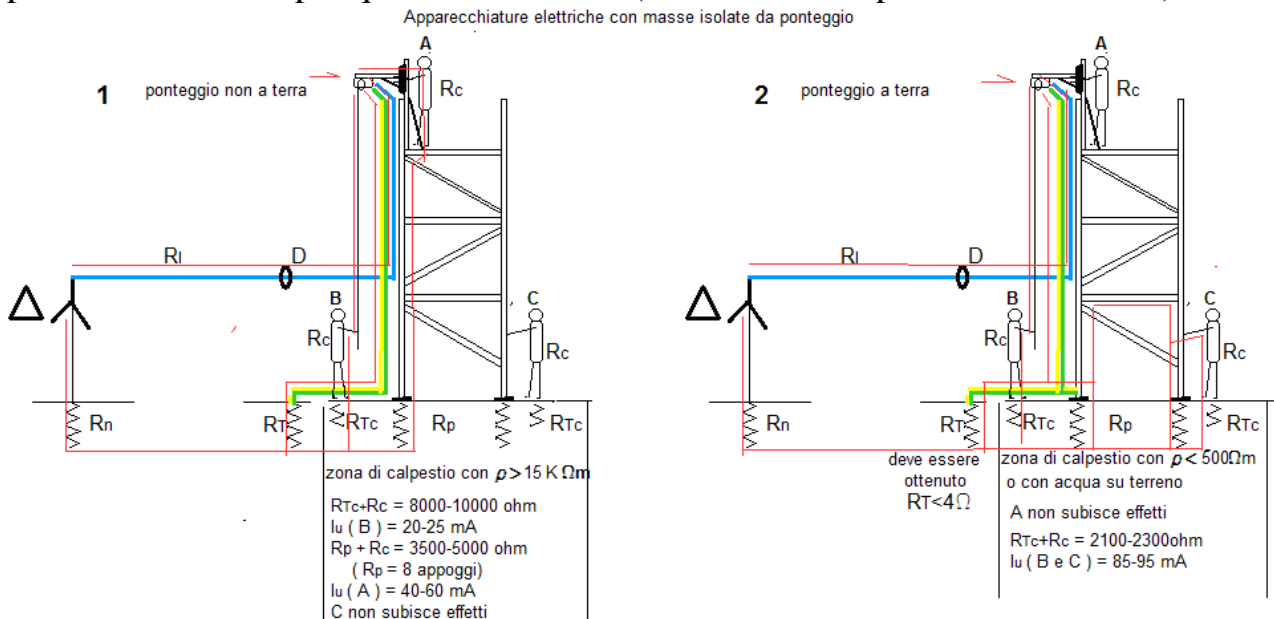
Normalmente l'equipaggiamento elettrico di bordo macchina comprende uno o più motori elettrici, un quadretto con sezionatore e fusibili o interruttore di protezione, i contattori dell'azionamento diretto e inverso, la segnalazione luminosa di presenza tensione, una pulsantiera di comando. La messa a terra avviene collegando il conduttore di terra al corrispondente morsetto nella morsettiera del motore o attraverso uno specifico nodo di terra al quale afferiscono i conduttori di protezione dei motori e del quadro elettrico. Nel caso delle gru a torre, del silos della stazione di betonaggio, delle betoniere e dei compressori non è sufficiente la sola messa a terra dei motori, ma è opportuno e talvolta necessario, specie in ambiente molto bagnato, collegare all'impianto di terra anche la struttura metallica di sostegno in modo da assicurare comunque e sempre una equipotenzialità con il terreno. Per le gru a torre è obbligo mettere a terra, con almeno due conduttori, di sezione 35-50mmq, i quattro

spigoli della base oltre i conduttori di terra delle apparecchiature elettriche. Le terre supplementari tornano utili in caso di fulminazione diretta sulla struttura elevata. La figura che segue rappresenta lo schema della alimentazione di un motore di movimentazione di un argano o per lo spostamento avanti-indietro. Per la sicurezza dell'operatore i comandi sono alimentati in categoria zero 12-24 V tramite trasformatore di sicurezza.

Schema di alimentazione e comando di motori con inversione di marcia

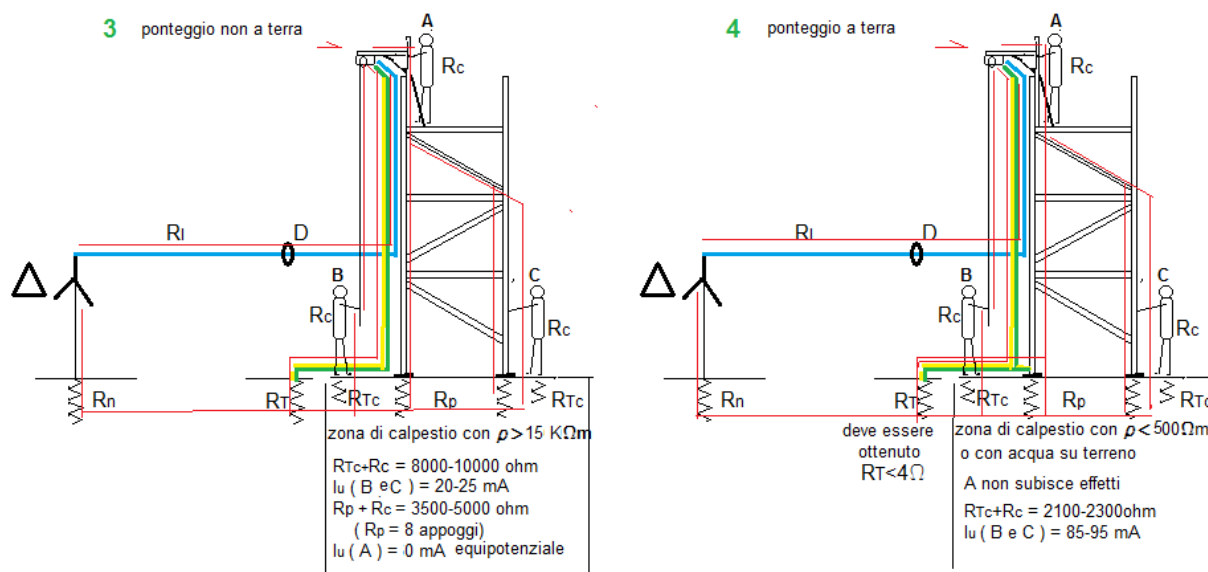


Un particolare riferimento sulle messe a terra può essere fatto per i ponteggi prendendo ad esempio quattro casi limite (cavo di acciaio per il sollevamento)



(asfalto umido $50 \text{ K}\Omega\text{m}$; cemento umido $100 \text{ K}\Omega\text{m}$; terreno umido $4 - 25 \Omega\text{m}$; sabbia e ghiaia bagnate $200 - 500 \Omega\text{m}$)

Le tensioni di contatto V_c son immediatamente ricavabili dal prodotto $V_c = R_c I_u$



Gli apparecchi e le attrezzature portatili possono essere sia di classe 1 che di classe 2 o autoalimentate, cioè con propria batteria incorporata. Difficilmente hanno guasti all'isolamento interno mentre è più facile che provochino danni all'operatore a causa di contatti diretti accidentali durante il loro uso. Da questo punto di vista sono più sicuri gli attrezzi elettrici in classe 1 di quelli in classe 2 o autoalimentati in quanto la messa a terra riduce la tensione di contatto. Particolarmente pericolosi sono quegli apparecchi soggetti a vibrazioni in cui a lungo andare le vibrazioni possono provocare deficienze di isolamento o lo spostamento dei conduttori dai propri morsetti. Non sempre la presenza di conduttore di terra e di differenziale da 0,5A ha protetto da gravi incidenti. Anche i martelli a percussione possono presentare gli stessi pericoli ma in genere l'operatore è poggiato su pavimentazioni ad elevata resistività e la protezione è affidata ad un differenziale da 0,03 A. Nei luoghi bagnati è molto difficile far sostenere differenziali da 0,03 A e vengono più facilmente impiegati differenziali a sensibilità inferiore.

In realtà per la sicurezza sarebbe meglio utilizzare mezzi ad aria compressa anziché elettrici sopportando l'onere della installazione di un compressione e della tubazione dell'aria. Le condizioni di stato di tutte le attrezzature elettriche vanno controllate con una discreta frequenza e comunque prima di darle in uso al personale al momento della formazione del cantiere.

Impianti preesistenti alla formazione del cantiere: la regola vorrebbe che il committente fornisca al progettista una visione complessiva del luogo di lavoro, compresa l'indicazione degli impianti aerei e interrati esistenti. In realtà, specie se il committente non è strutturato tecnicamente, il compito viene lasciato allo stesso progettista delle opere il quale, in genere, si preoccupa più degli impianti idrici, del gas e delle fognature e molto meno di quelli elettrici. Così avvengono con una certa frequenza danni durante le escavazioni o nelle movimentazioni di gru o incidenti per lavorazioni in prossimità di linee solo apparentemente protette.

Come sappiamo bene se durante uno scavo la benna dell'escavatore taglia un cavo interrato in tensione, tutta la macchina entra in tensione per contatto diretto e, specialmente se gommata, chiunque dall'esterno venga in contatto con essa subisce gli effetti del contatto diretto. Se cingolato il metallo si comporta come un dispersore, ma di ridotta efficacia essendo solo per contatto superficiale e la macchina rimane ad un livello di tensione ancora pericoloso. L'operatore a bordo non ha conseguenze trovandosi in un ambiente allo stesso potenziale, ma chi tocca la macchina stando a terra o lo stesso operatore se scende tenendosi al passamano, si trova in pieno "sotto tensione". Analoga situazione si ha se una gru o autogru va a toccare un conduttore nudo di una linea aerea. E' evidente che ha importanza anche la tensione di esercizio della linea interessata, se a bassa tensione o in media tensione, ma gravi danni alle persone possono derivare anche da una linea a 380/225 V. Nell'indagine non deve essere trascurata nemmeno la presenza di linee in cavo isolato e con guaina della distribuzione urbana in bassa tensione. Spesso le giunzioni alle derivazioni dei vari utenti non sono isolate ed è facile venirne in contatto da parte di chi lavora su una impalcatura.

Una escavazione "al buio" può provocare rotture ai conduttori interrati dell'impianto di terra con conseguente perdita di efficacia dello stesso impianto.

Troppo spesso si riscontra che gli spezzoni tagliati vengono malamente giuntati se non addirittura lasciati aperti.

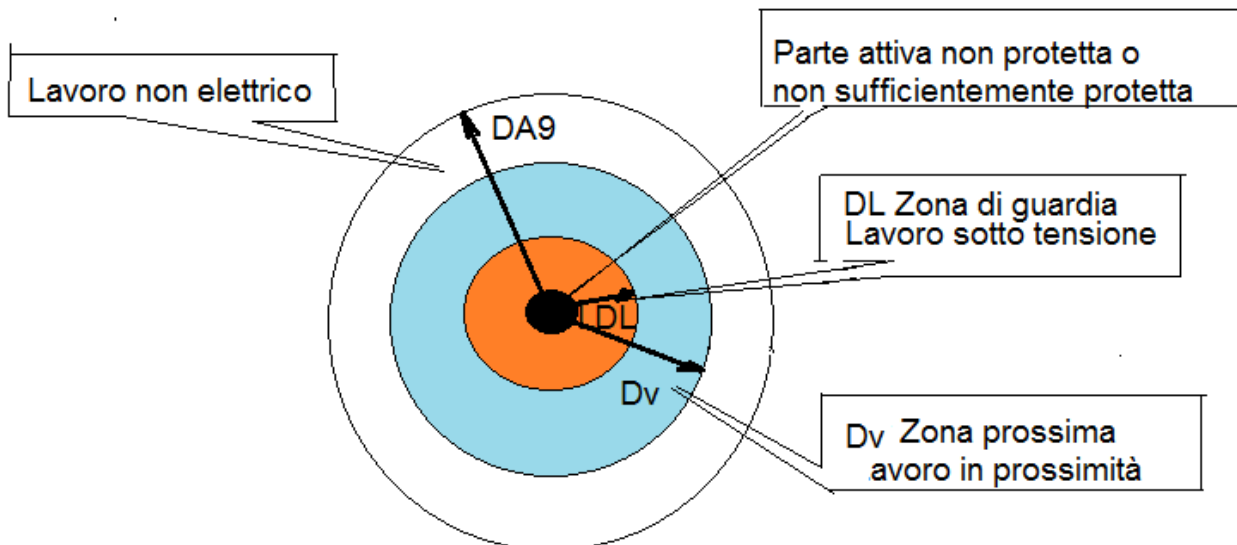
Anche nei piccoli cantieri interni agli edifici civili è necessario prestare la massima attenzione agli impianti elettrici. Una vecchia regola vorrebbe che le linee sotto intonaco anche se contenute in tubazioni, avessero percorsi rettilinei orizzontali, da scatola a scatola, in alto o a 30 cm dal pavimento e le calate verticali fino alle prese e agli interruttori. Con l'evolversi dei tempi ed il peggiorare delle lavorazioni molto spesso questa regola non viene più seguita per cui risulta difficoltoso individuare, anche solo approssimativamente i percorsi degli impianti elettrici.

E' sempre e comunque opportuno togliere tensione a tutto l'impianto e non solo alla zona in lavorazione perché può capitare di trovare conduttori in tensione provenienti da alimentazioni diverse da quelle aperte.

Lavori in prossimità di impianti elettrici:

Gli art. 82 e 83 Capo III del DL 81/08 e la norma CEI 11-27 regolano i lavori eseguiti in prossimità di linee elettriche non protette o non sufficientemente protette ed i lavori eseguiti sotto tensione. Per quanto ora interessa ci riferiamo ai lavori in prossimità definiti da distanze normalizzate.

Le zone di rispetto stabilite dalla norma sono rappresentate nel seguente diagramma circolare



E' opportuno precisare che le zone non si riferiscono a lavori specifici sull'impianto elettrico, ma a qualsiasi tipo di lavoro (anche di falegnameria) avvenga entro le distanze comprese nei vari cerchi. Nella fascia DA9, definita come lavoro non elettrico, qualsiasi tipo di lavoro deve essere messo in sicurezza rispetto al rischio elettrico. Oltre la zona DA9 non è più considerato lavoro in prossimità di impianti elettrici.

La tabella che segue dà le distanze DL, Dv e DA9 in funzione della tensione nominale:

Tensione nominale kV	Distanza DL Zona di guardia mm	Distanza Dv Zona prossima mm	Distanza DA9 Lavori non elettrici m
≤ 1	no contact	300	3
3	60	1120	3,5
6	90	1120	3,5
10	120	1150	3,5
15	160	1160	3,5
20	220	1220	3,5
30	340	1320	3,5
45	480	1480	5
110	1000	2000	5
220	1600	3000	7

Precisiamo ulteriormente che "Lavoro non elettrico" è il lavoro di qualsivoglia genere che venga eseguito entro la fascia compresa fra le distanze Dv e DA9 in cui l'operatore può essere ancora soggetto a rischio elettrico per vicinanza a conduttori non protetti o non sufficientemente protetti. Se il lavoro è eseguito da PES o PAV, che sanno valutare il rischio elettrico, non vi sono particolari prescrizioni. Se invece è svolto da PEC vanno applicate le procedure indicate nel seguito. Fuori del limite DA9 qualsiasi lavoro non ricade sotto la CEI 11-27.

Per definire esattamente la fascia di lavoro non elettrico devono essere determinate e segnalate le distanze D_v e DA_9 in funzione della tensione della parte attiva accessibile indicate nella precedente tabella. Se nel lavoro interviene un PEC ma insieme ad un PES o PAV, il rischio elettrico è gestito da questi attraverso la supervisione e la sorveglianza e non vi sono altre necessità. Se invece è svolto solo da PEC e il pericolo è dovuto alla presenza di linee aeree nude e all'uso di attrezzature e macchine, è necessario che venga applicata la misura di sicurezza prevista nell'art. 6.4.4 relativa alle altezze da terra massime che devono essere rispettate, oltre le quali non si può andare anche con il massimo sbraccio delle attrezzature.

Rispetto al punto più basso della linea devono essere tenute le seguenti altezze massime a partire da terra :

- 4 m da terra se la linea è in bt o in MT
- 3 m da terra se la linea è in AT (> 35 kV)

Le distanze da terra verso la linea è bene siano rispettate anche lateralmente.

Se vi è necessità di superare tali distanze il datore di lavoro deve rivolgersi ad un PES che elabori un documento con le prescrizioni di sicurezza necessarie e verifichi che vengano attuate.

In particolare nei cantieri edili posti a distanza minore di DA_9 da parti in tensione non protette o non sufficientemente protette, va valutata la possibilità di tenere il più possibile lontano mezzi e persone o adottare misure supplementari di protezione in modo da impedire l'accesso alla zona, oppure concordare con il Gestore della rete i mezzi di protezione, compresa la messa fuori tensione e in sicurezza della linea

Interventi sotto tensione: escludendo a priori l'esecuzione di modifiche e riparazioni sotto tensione che in un cantiere non devono mai avvenire e per eseguire le quali va sempre tolta tensione al settore di impianto che ne è soggetto, ci limitiamo al caso molto frequente di dover eseguire misure su parti attive in tensione. Le norme 11/27 e 11/48 prescrivono le condizioni operative e i mezzi di protezione individuali che devono essere: elmetto con visiera completa, guanti con grado di isolamento adeguato alla tensione, abiti non incendiabili a temperature elevate, scarpe antinfortunistiche ad elevato grado di isolamento. Inoltre le operazioni di misura possono essere eseguite soltanto da PES o da PAV con l'assistenza antinfortunistica di un PES. Un esempio riguardante un operatore che effettua una misura di tensione su un quadro è riportato nella figura che segue:

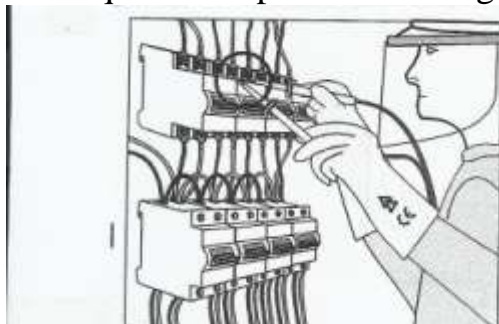


Figura 4

Esempio di misura che deve essere eseguita da PES o PAV idonee ai lavori sotto tensione in BT (PEI) indossando i guanti isolanti, l'elmetto, la visiera di protezione contro il cortocircuito e idoneo vestiario contro l'arco elettrico.

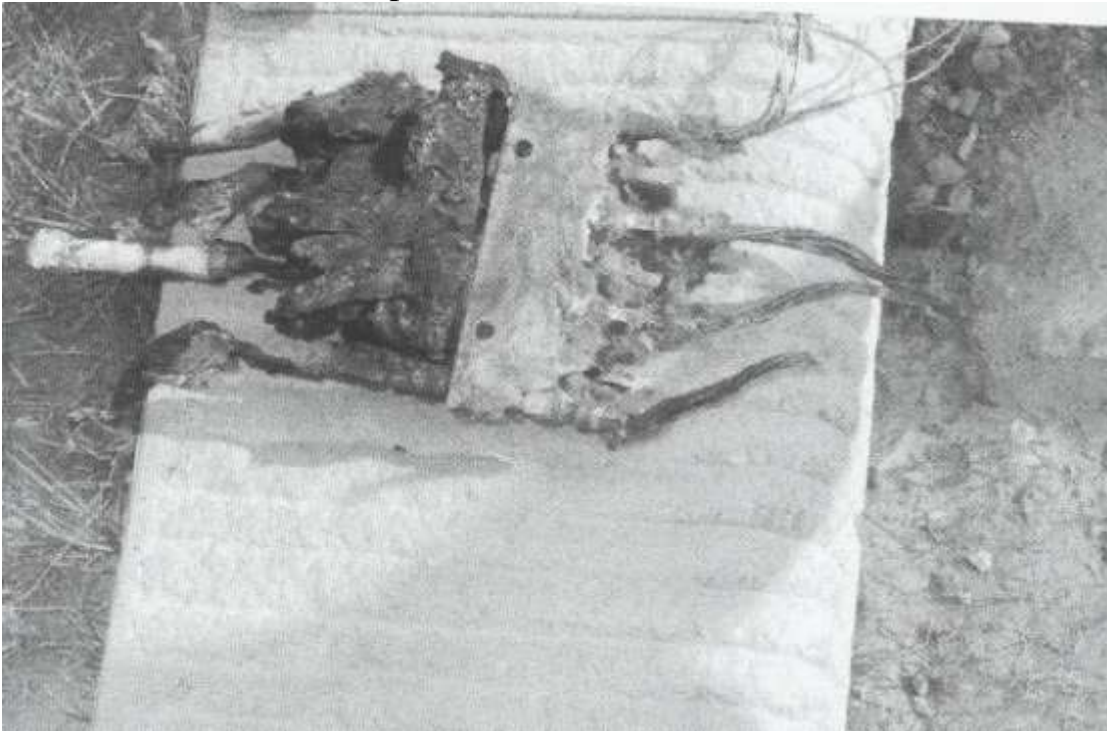
Il quadro aperto presenta una protezione verso le parti attive minore di IPXXB come in fig. 2, ma il tipo di puntali impiegati (dimensioni e forma della punta di contatto nuda) e della distanza delle parti attive tra di loro e verso le masse, c'è rischio di contatto accidentale e di cortocircuito accidentale.

Guasti importanti Corto circuito e flash d'arco:

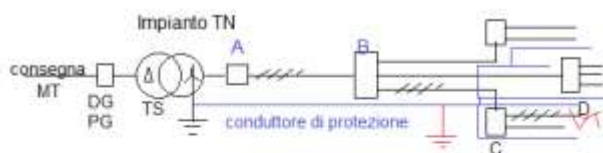
a) Corto circuito: avviene quando due o più elementi attivi in tensione vengono a contatto netto o con bassissima resistenza. In queste condizioni la corrente assume il valore massimo possibile compatibile con l'impedenza a monte.

Si sviluppa attraverso un transitorio somma della evoluzione libera, decrescente esponenzialmente, e della componente permanente. Nella valutazione della intensità di un c.to c.to si considera il solo valore della componente permanente, mentre la resistenza che i componenti devono offrire agli sforzi elettrodinamici si presume sia stata considerata in sede di progettazione.

In un sistema trifase simmetrico ed equilibrato i valori efficaci delle correnti permanenti di c.to c.to hanno il massimo valore nel corto circuito trifase, mentre il minimo si ha per guasto verso terra. Il minimo valore è quello sul quale va tarato l'intervento dell'interruttore, mentre il massimo obbliga la scelta dello stesso interruttore sulla base del potere di interruzione.



Determinazione della corrente di corto circuito in un impianto TN e in un impianto TT



Corto circuito nel punto D

TS 630 kVA-15/0,4 KV- V_{cc}=6% X_{cc}=0,025Ω

linea AB 2x(3x240)+1x240mmq, L=40m, R=0,002Ω, X=0,004Ω

linea BC 3x50+1x25mmq, L50m, R=0,02Ω, X=0,005Ω

linea CD 3x25+1x16mmq, L20m, R=0,016Ω, X=0,002Ω

$$I_{cc} \text{ trifase in D} = V / \sqrt{(\sum R)^2 + (X_{cc} + \sum X)^2} = 400 / \sqrt{(0,038)^2 + (0,036)^2} = 7,7 \text{ kA}$$

$$I_{cc} \text{ fase-neutro} = 5,1 \text{ kA} \quad \text{conduttore di protezione} = \text{neutro} \quad I_{cc} \text{ fase-PE} = 5,1 \text{ kA}$$

Impianto TT



Il distributore dell'energia normalmente eroga in bt da cabine con TS 250kVA o 400kVA e serve con 40506 linee dorsali numerosi Utenti. Un c.to c.to in uno di questi provoca una caduta di tensione sul TS e sulla linea di consegna che non supera il 20% della tensione a vuoto. Ciò significa che al punto di consegna durante il guasto si troverà una tensione pari all'80-90% di quella di esercizio. E' questa tensione che va considerata nel calcolo della corrente di c.to c.to

Linea AB 3x35+1x25mmq L= 50m R= 0,028Ω X= 0,0037Ω

Linea BC 2x16 L= 30m R= 0,047Ω X=0,003Ω

$$I_{cc} \text{ monofase in C} = 0,8V / \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} = 178 / \sqrt{(0,14)^2 + (0,013)^2} = 1271 \text{ A}$$

verso terra è necessaria l'installazione di un differenziale



b) L'arco elettrico in aria: avviene sempre quando il campo elettrico imposto da una differenza di potenziale supera la rigidità dielettrica dell'aria che è pari a 20-30 kV/cm se secca, 5-10 kV/cm se umida, 3-5 kV se bagnata. Si forma una corrente elettronica e ionica in un tunnel in cui il riscaldamento prodotto per effetto Joule fa diminuire esponenzialmente la resistenza del condotto ed aumentare il

numero di elettroni liberi fino ad arrivare ad una scarica ove il materiale assume le caratteristiche di plasma ad alta temperatura (fino 25000 °C in un diametro di 2-10 mm) con emissione di onde termiche ed elettromagnetiche, compresi fotoni nel campo del visibile. Con il riscaldamento e la dilatazione dell'aria l'arco, inizialmente di lunghezza limitata da qualche decimo di mm al mm, si espande e va a coinvolgere tutte quelle parti conduttrici con differenza di potenziale rispetto al punto di innesco, formando più archi con estensioni di molti dm. I metalli interessati dal tunnel d'arco sublimano con proiezione di gocce fuse. Se l'arco avviene in aria libera l'onda d'aria espansa nello spazio circostante può mantenere temperature superiori a 600-700 °C alla distanza di 1,5 metri e 400 °C ad oltre 2 metri. Se l'arco avviene in ambiente chiuso può facilmente produrre l'esplosione del contenitore se questo non è predisposto per scaricare e/o sopportare la pressione esercitata dall'onda in espansione.

Quando si interrompe spontaneamente un arco? Il tunnel d'arco ha una resistenza che limita la corrente e che decresce esponenzialmente con l'aumentare della temperatura. Aumenta invece con l'espandersi dell'arco in lunghezza per cui può spengersi naturalmente quando raggiunge una lunghezza tale da produrre una caduta $Ra Ia > Va$ ove le grandezze e il parametro appartengono all'arco. Raramente un operatore è investito direttamente dalla corrente d'arco, con maggior frequenza i danni che subisce sono dovuti all'onda di calore o alla proiezione di schegge metalliche fuse. Normalmente in un impianto la corrente d'arco provoca l'intervento delle protezioni ma è inferiore a quella del c.to c.to per cui i tempi di intervento sono, il più delle volte, determinati dalla curva a tempo inverso della protezione.

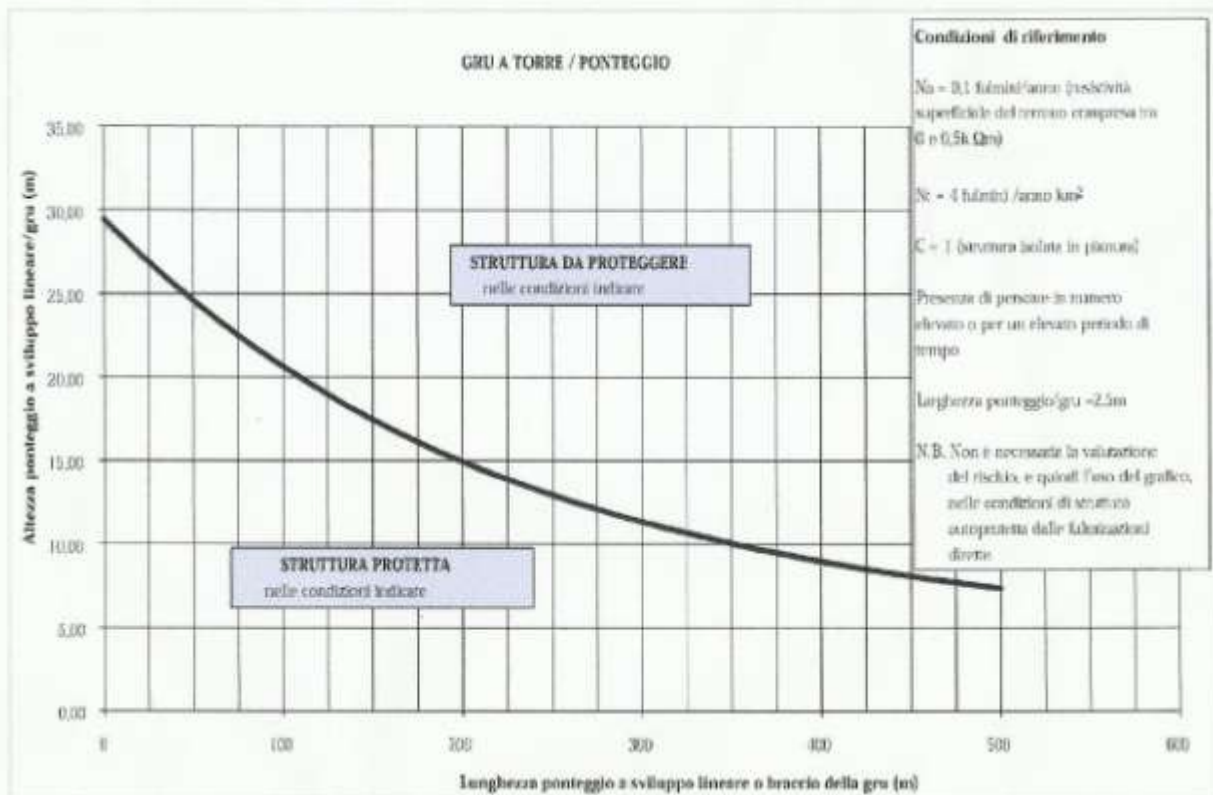
Un flash d'arco su un quadro è riportato nella figura che segue:



eventi atmosferici: comunque si formino gli addensamenti di cariche elettriche nei cumulo nubi, caratteristici dei temporali, si sa che nel terreno vengono richiamate specularmente uguali quantità di cariche distribuite su identiche superfici. Nel caso più frequente la nube ha carica negativa e il terreno positiva, ma può avvenire anche il contrario. Le cariche così distribuite e l'aria interconnessa vengono a costituire un enorme condensatore assolutamente disomogeneo e anisotropo, variante da istante a istante, con densità di carica diversa da punto a punto e differenza di potenziale dell'ordine del 10^{exp9} volt . Il fenomeno ha andamento dinamico e lo spostamento delle cariche elettriche ha densità $J=\sigma E$

Le cariche sulla nube e nel terreno tendono ad addensarsi sulle protuberanze conduttrici variabili della nube e morfologiche del terreno (montagne, colline, alti edifici, torri, pennoni, alberi di alto fusto, ecc.) . In corrispondenza aumenta il campo elettrico nell'aria per cui, quando il campo elettrico supera la rigidità dielettrica dell'aria (bagnata scende a 3-5 kV/cm dai 20-30 kV/cm se asciutta) parte la scarica che si propaga dalla nube a terra e viceversa con intensità di corrente di cresta dell'ordine da 10 a 200 kA e durata da qualche msec a qualche sec. La scarica complessiva, visibile, è in realtà una successione di scariche dette "colpi. Nel tunnel d'arco si ha sviluppo di calore con temperature fino a 25000-30000 °C ed emissione di onde elettromagnetiche con frequenze dai 500 kHz ai GHz fino ai raggi x e γ . Per il fenomeno noto come potere disperdente delle punte, risultano privilegiate per la generazione della scarica le strutture più acuminate in corrispondenza delle quali si ha il maggior addensamento di linee di campo elettrico.

Nei cantieri edili tali strutture sono essenzialmente le gru a torre, i ponteggi, gli alti silos. La loro capacità di generare la scarica, dipende non solo dall'avere elementi "a punta" ma anche dalla loro altezza e dalla loro estensione. La curva che segue (CEI 64/17) dà le probabilità di fulminazione di gru e ponteggi, in funzione della altezza e della estensione, nelle condizioni di base riportate a lato, distinguendo la zona superiore ad alta probabilità in cui è necessario provvedere all'impianto di scarica a terra e la zona inferiore in cui la struttura può essere considerata probabilisticamente autoprotetta.



Può essere considerata autoprotetta anche quando nelle immediate vicinanze vi sono alberi o edifici provvisti di impianto contro le scariche atmosferiche, sufficientemente alti da poter comprendere la struttura nel cono di protezione.

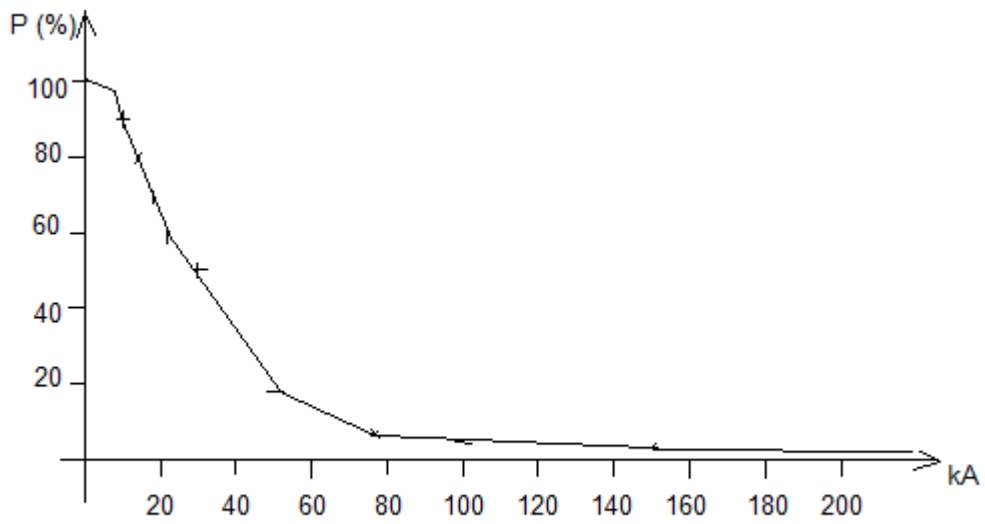
I danni che una scarica diretta su un ponteggio o una gru può provocare ad una persona sono essenzialmente di due tipi: termico e per tensione di contatto o indotta. Una persona che si trovi all'interno della struttura metallica non subisce danni elettrici ma può essere investita dall'onda di calore fino a subire gravi ustioni. Una persona che si trovi a toccare la struttura percorsa dalla scarica stando in piedi sul terreno viene a trovarsi ad una tensione di contatto che è inferiore alla tensione di scarica, in quanto anche la tensione del terreno si alza, ma che è pur sempre di qualche migliaio di volt in funzione dell'impedenza d'onda della corrente di scarica. Nel caso della gru, una persona che toccasse il gancio subirebbe invece una tensione di contatto notevolmente maggiore per i motivi già visti nelle precedenti riunioni. Anche una persona che si trovasse nelle immediate vicinanze della struttura, ad una distanza compresa fra il metro e i due metri subirebbe un'onda di calore tanto più intensa quanto più è elevata la scarica (da 10000 a 200000 A), mentre se si trovasse a distanza entro i 50cm, anche senza toccare la struttura, oltre l'onda di calore potrebbe subire effetti indotti quali stordimento o svenimento ma senza conseguenze durevoli date le alte frequenze contenute nell'onda elettromagnetica.

Se la struttura fosse isolata da terra con materiali di resistività almeno dell'ordine del 10 alla sesta, le cariche richiamate dal terreno alla sommità sarebbero notevolmente minori e la scarica sarebbe improbabile, ma i materiali normalmente usati come appoggi, a cominciare dalle tavole in legno, non possono essere considerati come isolanti sia per la loro conducibilità superficiale dovuta allo sporco e all'acqua, sia per la conducibilità volumetrica che non permette di considerare il legno come isolante a meno di trattamenti specifici.

Può sembrare un paradosso ma la messa a terra della struttura con adeguati conduttori capaci di sopportare la corrente di scarica (50mmq) favorisce la fulminazione in quanto facilita l'addensamento delle cariche dal terreno alla sommità ($J=\sigma E$), ma ha lo scopo di indirizzare direttamente la corrente nel terreno evitando altri percorsi dannosi.

In effetti gli impianti contro le scariche atmosferiche non sono "contro" ma a "favore" della generazione della scarica che però viene localizzata ove è installato l'impianto. Si ricorda che la resistenza di terra destinata ad assorbire la corrente del fulmine deve essere $\leq 10 \Omega$.

Cosa può accadere se una struttura sopraelevata non è messa direttamente a terra e viene colpita da un fulmine? La risposta è semplice: la corrente di scarica trova comunque la via a minor impedenza per arrivare a terra per cui può deviare direttamente o in parallelo, verso quelle masse, tipo motori o apparecchiature poste sulla struttura, che hanno conduttori verso terra, distruggendo le linee non adeguate a sopportarla e continuare su tutto l'impianto fino a che non riesce a ripartirsi sul terreno. E' ovvio che si allarga la zona di un possibile contatto da parte delle persone presenti e quindi la presenza di un pericolo. Non è raro che i danni all'impianto si abbiano fino al quadro generale.



Frequenze cumulate percentuali dell'intensità della corrente di fulmine

MODULO 4

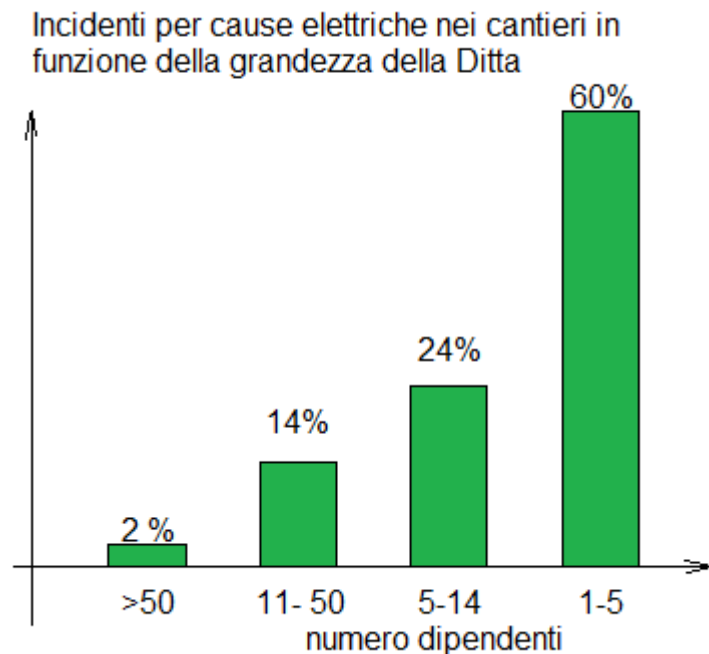
27/3/2015

Statistiche incidenti nei cantieri edili:

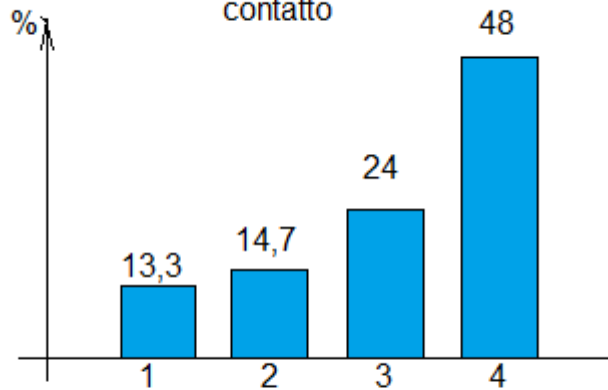
Cause varie di infortuni mortali nei cantieri edili	
Causa di infortunio	percentuale
Caduta dall'alto	41,9
Travolti da gru, carrelli elevatori, ruspe, autocarri	25,1
Per crolli di strutture o seppellimenti	10,0
Colpiti da materiali e attrezzi da lavoro	11,0
Folgorazione dall'impianto elettrico	9,4
Altre cause	2,6

Periodo giornaliero di maggior frequenza degli incidenti: tarda mattinata 45,9 %

Giorni di maggior frequenza degli incidenti: lunedì e venerdì 60%



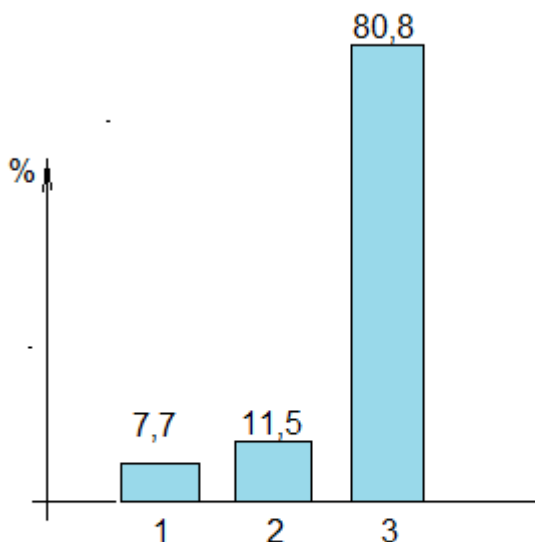
Infortunati per folgorazione in relazione al tipo di contatto



- 1 contatto diretto su conduttori avariati
- 2 contatto diretto su connessioni fra conduttori
- 3 contatto indiretto su apparecchi di sollevamento
- 4 contatto indiretto su macchine e strutture in luoghi molto bagnati o con acqua

Folgorazioni per contatto diretto della persona con linee aeree o attraverso mezzi di sollevamento nell'anno 2011	2
Incidenti per cause elettriche con invalidità temporanea nell'anno 2011	62
Incidenti per flash d'arco con gravi ustioni nell'anno 2011	5

Infortunati per folgorazione in relazione alle cause di un contatto indiretto



- 1 inversione sull'apparecchio o sulla presa del conduttore di fase con quello di protezione
- 2 interruzione del conduttore di protezione
- 3 contatto fra conduttore di fase e conduttore di protezione o con la massa per distacco dal proprio morsetto

- Cause di situazioni pericolose:
 - * Cavi danneggiati, consunti, con tagli sulla guaina
 - * Giunzioni malamente eseguite, guaina cavo non fissata nel pressacavo delle spine e prese
 - * Cavi volanti portati sulle impalcature o distribuiti sul terreno privi di protezione
 - * Lavoro sotto tensione in un quadro elettrico. Rischio di arco-flash.
 - * Ignoranza o mancanza di attenzione verso impianti elettrici esistenti
 - * Mancanza di manutenzione agli apparecchi e macchine
 - * Mancanza di controllo periodico sul mantenimento delle caratteristiche elettriche di apparecchiature e attrezzi, in particolare dopo urti violenti
 - * Infiltrazioni d'acqua nei quadri e negli impianti bordo macchina
 - * Sottodimensionamento dei conduttori
 - * Dispositivi di interruzione errati e mancanza di controllo circa la affidabilità di risposta degli interruttori differenziali
 - * tensioni di contatto indiretto elevate perduranti tempi lunghi
 - * Affidamento riparazioni a personale non qualificato
 - * Mancanza dell'impiego di impianti a sicurezza intrinseca nei luoghi a maggior pericolo (es. luoghi con acqua)
 - * Inosservanza e/o ignoranza delle necessarie precauzioni nell'uso degli impianti e apparecchi elettrici
 - * Inosservanza delle distanze di sicurezza da linee aeree o mancanza della loro messa in sicurezza
 - * Uso improprio o non uso dei mezzi di protezione collettivi e individuali

Leggi e norme: il DL 81/08 regola gli impianti elettrici, compresi quelli dei cantieri, con le disposizioni di cui al Titolo III capo III, articoli da 80 a 87 e i riferimenti agli allegati VIII e IX. Le prescrizioni sono rese attuative dal riferimento alle Norme di buona tecnica, cioè alle CEI, nazionali e armonizzate in sede UE e UNI. Le norme CEI non insegnano a progettare e costruire gli impianti elettrici, ma pongono i requisiti per il raggiungimento del minimo rischio considerato normalmente accettabile, nel giusto rapporto costo/beneficio.

Ciò significa che l'applicazione della norma da parte di chi non ha la giusta esperienza e le dovute conoscenze teoriche può lasciare lo spazio, in molti casi, anche a rischi non trascurabili.

Fra i vari obblighi del datore di lavoro è stabilito, con l'art. 80, che debba preoccuparsi di effettuare una analisi dei rischi di cui viene dato un elenco generico:

- * contatti elettrici diretti
- * contatti elettrici indiretti
- * innesco e propagazione di incendi e di ustioni dovuti a sovratemperature pericolose, archi elettrici e radiazioni
- * innesco di esplosioni
- * fulminazione diretta e indiretta
- * sovratensioni

* altre condizioni di guasto ragionevolmente prevedibili

Considerata la genericità delle voci di elenco è molto più semplice e immediato eseguire l'analisi rischi sulla base dell'elenco più specifico sopra esposto che permette anche di individuare, caso per caso, i DPC ed i DPI da adottare.

Per quanto riguarda i DPI la norma CEI 11/48 (2014) fornisce il seguente elenco degli equipaggiamenti, attrezzi e dispositivi da impiegare durante l'esecuzione dei lavori elettrici:

- calzature, guanti e sovrascarpe isolanti
- visiera di protezione del viso e degli occhi
- protezioni della testa
- idonei indumenti di protezione
- tappeti, piattaforme e pedane isolanti
- schermi isolanti flessibili e rigidi
- attrezzi isolati e isolanti
- tondi ed aste di manovra
- blocchi, avvisi, cartelli
- dispositivi e sistemi per la rivelazione della tensione
- apparecchiature per l'individuazione dei cavi
- dispositivi di messa a terra e in cortocircuito

E' importante prendere atto che il DPR 81/08 porta in primo piano la problematica del rischio elettrico senza alcun riferimento alla "Regola dell'arte", rilevando, di fatto, che non è sufficiente garantire la conformità ad essa ma è necessario individuare ed organizzare la corretta applicazione di tutte le misure di sicurezza per ridurre o eliminare i "Rischi residui", vale a dire quelli presenti in impianti così detti "a norma".

Come noto l'analisi rischi si basa sul semplice concetto modellato dalla relazione probabilistica cumulativa nel tempo $R(t)=P(t) T(t) D(p)$

in cui P(t) è la probabilità che al tempo t si presenti la situazione di pericolo, T(t) è la durata probabile del tempo di esposizione di una persona o animale o cose all'evento pericoloso al tempo t e D(p) è il danno probabile che ne consegue.

E' ovvio che per la definizione stessa di sicurezza debba essere $S= 1-P(t)$.

L'Analisi del Rischio consiste nell'uso sistematico di tutte le informazioni disponibili, fornite da una adeguata cultura tecnica nonché derivate da esperienze personali e di altri, al fine di pervenire alla identificazione dei pericoli e dei danni, valutare il rischio e pervenire alla riduzione dello stesso.

Dal punto di vista operativo e delle misure di prevenzione i rischi possono essere:

- * Eliminabili (es. impiego dell'aria compressa anziché energia elettrica)
- * Riducibili (es. aumentare le protezioni meccaniche dei cavi)
- * Ritenibili (es. lavori in prossimità di impianti elettrici non protetti)
- * Trasferibili (es. confinamento in luogo precluso accessibile solo se il sistema elettrico è fuori tensione)

dal punto di vista della tipologia del pericolo possono essere:

- * Convenzionali (sono i più noti in quanto normalmente presenti sulla generalità degli impianti)
- * Specifici (legati alla particolarità dell'impianto e del luogo)
- * Per carenza organizzativa (inefficiente organizzazione del lavoro in termini gestionali, metodologici e operativi)

La norma CEI 11/27 individua per gli impianti elettrici le seguenti figure di operatori:

- PES : persona esperta con specifica istruzione ed esperienza capace di eseguire anche attività di predisposizione e supervisione delle misure di prevenzione e protezione dei lavoratori
- PAV : persona avvertita, adeguatamente addestrata e istruita in relazione alle opere da compiere, informata da PES sui pericoli che il lavoro comporta.
- PEC : persona comune, priva di conoscenze nel campo delle attività elettriche che quindi non è in grado di giudicarne o prevederne i pericoli

La stessa norma suddivide i preposti in quattro categorie individuate per funzioni:

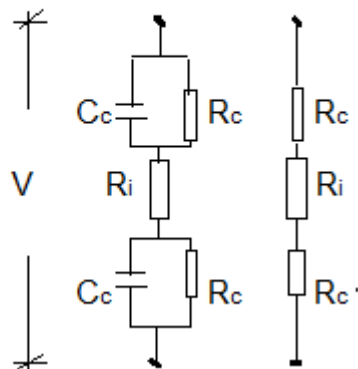
- URI (PRI) : unità (o persona) responsabile di un impianto elettrico durante il normale esercizio.
- RI : persona designata alla conduzione di un impianto elettrico: deve essere PES in quanto è tenuto a predisporre tutte le prevenzioni in merito alla sicurezza elettrica e dare le dovute istruzioni.
- URL : unità responsabile della esecuzione del lavoro elettrico
- PL (preposto al lavoro): persona preposta alla conduzione del lavoro. Ha la responsabilità della conduzione operativa del lavoro sul posto di lavoro, deve essere un PES e solo in casi semplici può essere un PAV.

Sia il DL 81/08 che le norme obbligano in modo assoluto al mantenimento degli impianti elettrici nelle migliori condizioni di efficienza e sicurezza tramite manutenzione, pulizia, esami periodici e prove strumentali di verifica.

A prescindere dai rapporti codificati con l'Inail per le denunce e le verifiche degli impianti di terra e contro le scariche atmosferiche, tutti i componenti attivi: cavi, motori, quadri, prese e spine, prolunghe, è necessario che a intervalli predeterminati, ad es. ogni due mesi durante i lavori e sempre alla dismissione del cantiere prima del ricovero in magazzino o alla impostazione del cantiere, vengano sottoposti ad una serie di operazioni di manutenzione

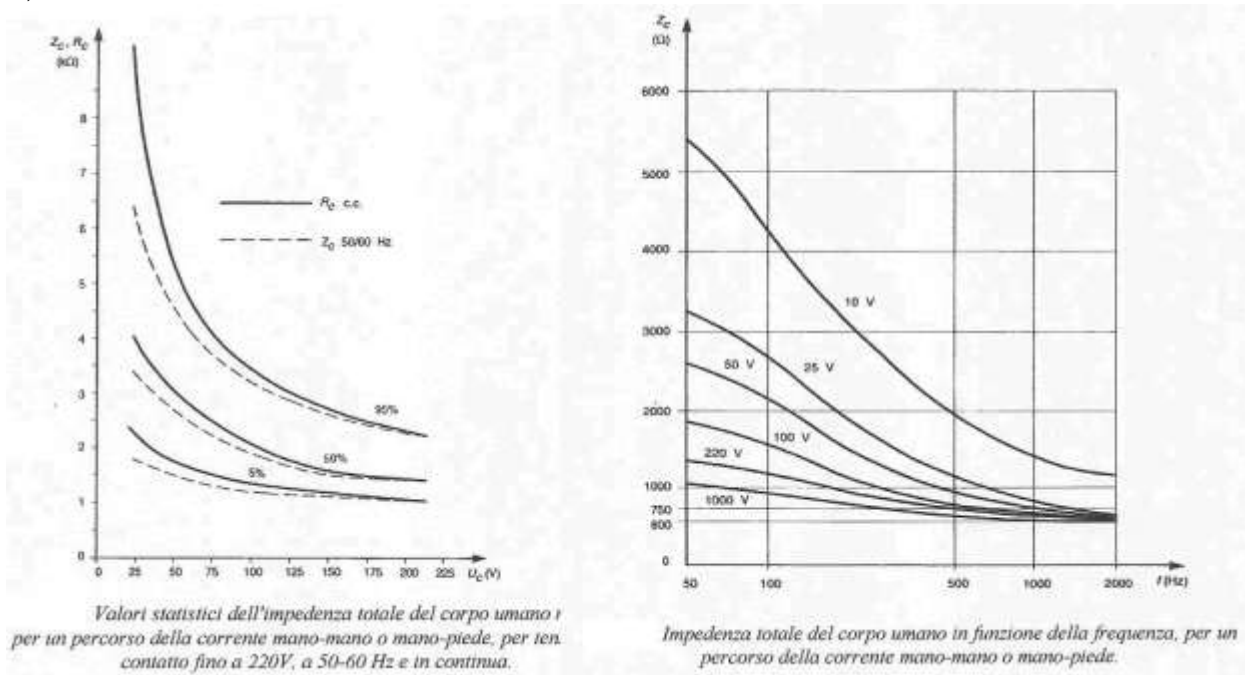
Cenni sugli effetti fisiopatologici della corrente elettrica:

Schema equivalente del corpo umano



L'impedenza è estremamente variabile da individuo a individuo, secondo l'età e le condizioni fisiologiche del corpo: rispetto alla situazione "normale" durante la digestione o in un momento di stress si abbassa notevolmente così come la sera è più bassa rispetto alla mattina.

Varia anche in funzione dei valori della tensione applicata, della frequenza e dei punti di contatto: mano-mano o mano-piede o mano-torace e così via, nonché con la pressione della pelle nelle zone sotto tensione. In termini di effetti dannosi le correnti alle frequenze industriali risultano essere le più pericolose. Per piccolissimi valori di corrente le cellule non subiscono cambiamenti di stato sensibili e la corrente non viene avvertita dall'organismo come evento eccezionale. Viene quindi ad esistere una soglia di percezione variabile anch'essa da individuo a individuo e normalizzata in 0,5-1 mA



Come è naturale anche all'interno del corpo animale le correnti percorrono le vie a minor resistenza che sono: il sistema nervoso ed il sistema ematico attraverso i quali vanno poi ad interessare i muscoli, il cuore, i reni ed il resto. La resistenza offerta da tali circuiti dipende molto anche dai punti di applicazione della tensione e posta

uguale a “I” la corrente lungo l’ipotetico percorso fra mano sinistra e piedi (molto favorevole alla fibrillazione ventricolare) può essere quantificato un uguale effetto per mezzo di una corrente equivalente $I_e = I / F$ che fluisce in altri percorsi

*mano sinistra- mano destra	F = 0,4
*mano destra-schiena	F = 0,3
*mano sinistra-schiena	F = 0,7
*mano destra-torace	F = 1,3
*mano sinistra-torace	F = 1,5
*glutei-mani	F = 0,7

La risposta delle cellule ad una corrente perturbante indica che gli effetti negativi del potenziale d’azione dipendono dal prodotto intensità di corrente x tempo di applicazione

A parte gli effetti momentanei di correnti minime (10-20 mA) applicate per tempi molto ridotti (100-200 msec) che possono dare molto fastidio, ma non hanno conseguenze permanenti, gli effetti veramente pericolosi e dannosi possono individuarsi nei seguenti:

- * Tetanizzazione
- * Arresto della respirazione
- * Fibrillazione ventricolare
- * Ustioni

- Tetanizzazione: sotto l’azione dell’onde di corrente (durata ogni semionda 10 msec) con valore efficace superiore ai 15-20 mA i muscoli si contraggono e rilassano ma il tempo di contrazione è inferiore a quello di rilassamento per cui dopo alcuni cicli il muscolo arriva alla contrazione totale. Se la mano stringe un conduttore in tensione non riesce più ad aprirsi e staccarsi e la corrente continua a fluire portando ad ulteriori gravi conseguenze. Viene valutato che la tetanizzazione è causa del 10% dei decessi.
- Arresto della respirazione: per correnti dell’ordine 20-30 mA che vanno ad interessare i muscoli delegati alla espansione e contrazione polmonare, si ha tetanizzazione e blocco della respirazione con conseguente asfissia. Spesso è avvenuto che per correnti superiori ai 500 mA la contrazione muscolare è stata talmente violenta da far esplodere gli alveoli polmonari.
- Fibrillazione ventricolare: il muscolo cardiaco si contrae 60-70 volte al minuto, pilotato da impulsi elettrici (potenziali di azione) emessi dal nodo seno atriale che attraverso le fibre conduttrici di His e Purkinje agiscono sui ventricoli per il pompaggio del sangue.

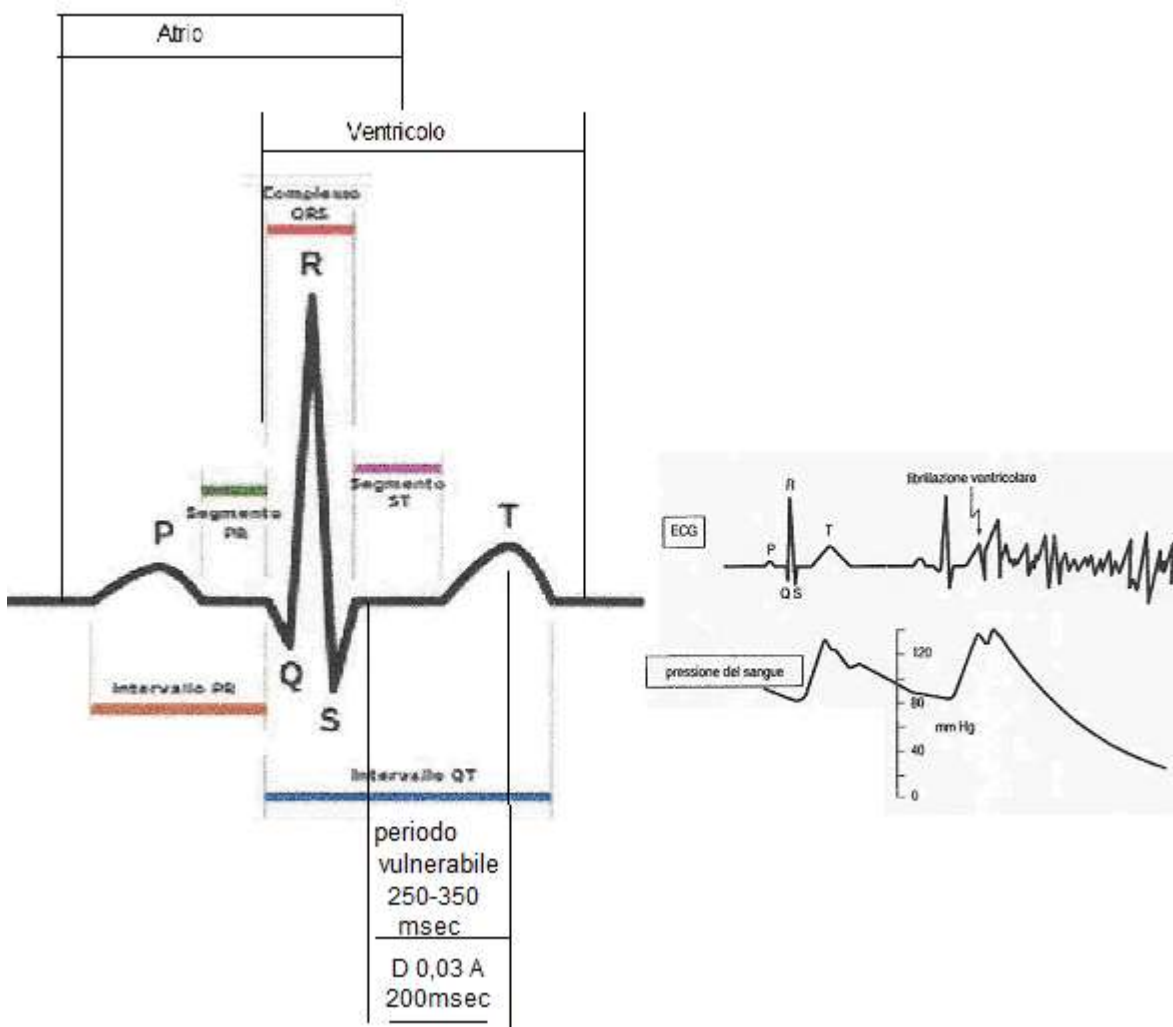
Una corrente dell’ordine dei 200-500 μ A che va a percorrere direttamente il cuore si sostituisce ai normali impulsi e lo manda in fibrillazione ventricolare (raramente atriale). Il circuito “cuore” è in parallelo con numerosi altri circuiti interni per cui la corrente che dall’esterno penetra nel corpo è dell’ordine dei 300-500 mA. Durante la fibrillazione la pompa cardiaca va in cavitazione, la pressione scende rapidamente e il sangue non viene più pompato.

La fibrillazione permane anche se cessa la causa che l’ha prodotta e si rende necessario fermare il cuore (defibrillatore) e lasciarlo ripartire

naturalmente.

Nell'emissione degli impulsi da parte del seno atriale, rivelati dallo elettrocardiogramma, esiste un particolare periodo, detto "periodo vulnerabile" corrispondente alla ripolarizzazione ventricolare, rappresentata dalla fase T dell'elettrocardiogramma, in cui si innesta la corrente perturbante. Detto periodo ha durata 250-300 msec, secondo il ritmo delle pulsazioni.

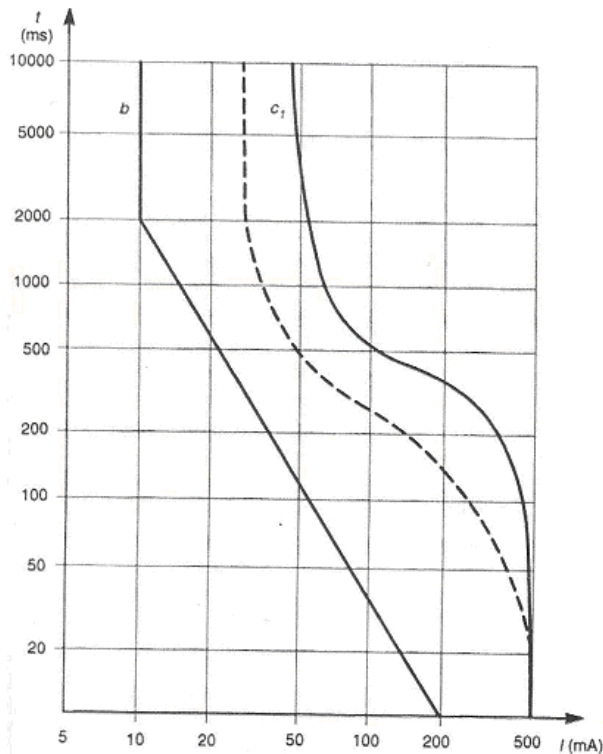
Confrontando questo periodo con quello minimo di intervento di una protezione differenziale ad alta sensibilità (0,03 A) pari a 200 msec, risulta evidente che se il corpo viene a trovarsi sotto una tensione che gli impone una corrente superiore ai 300 mA (200 μ A nel cuore) nell'attimo in cui inizia la fase vulnerabile, la corrente permane per tutti i 200 msec di intervento del differenziale e può innescarsi la fibrillazione ventricolare.



Quindi considerare come tensione di contatto di sicurezza verso terra il prodotto $R_T \Delta I$ (resistenza di terra per corrente di intervento del differenziale) non ha alcun significato reale ed il differenziale riesce a limitare i danni solo se la corrente esterna è applicata in un intervallo della attività cardiaca diverso da quello "vulnerabile".

- Ustioni: avvengono nei punti di contatto in cui si trova applicata la tensione. Se la densità di corrente $\delta = I / S$ è molto elevata la quantità di calore prodotto $Q = \rho v \delta^2 t$ (ρ resistività della pelle, v volume della zona interessata dal contatto, t tempo di esposizione) produce ustioni caratteristiche dette “marchio elettrico” in cui sono constatabili sublimazioni di cellule epiteliali e carbonizzazione dello strato basale. Se invece la superficie interessata dalla corrente è sufficientemente ampia da mantenere una bassa densità di corrente, i punti di contatto possono rivelarsi per mezzo di un diffuso rossore della pelle o addirittura senza alcun segno visibile a occhio nudo.

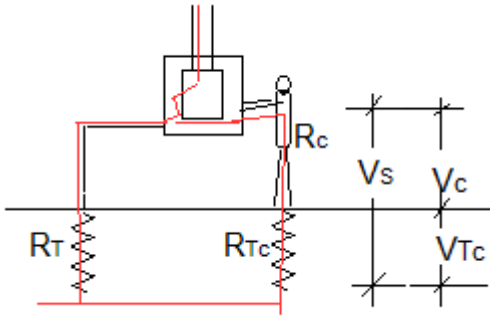
L'identificazione dei limiti delle correnti a frequenza industriale statisticamente pericolose in funzione del tempo di applicazione è stata formulata dalla IEC (International Electrothecnical Commission) tramite le curve del diagramma corrente-tempo, già visto nei moduli precedenti .



Curva degli effetti della corrente nel corpo umano adottata internazionalmente

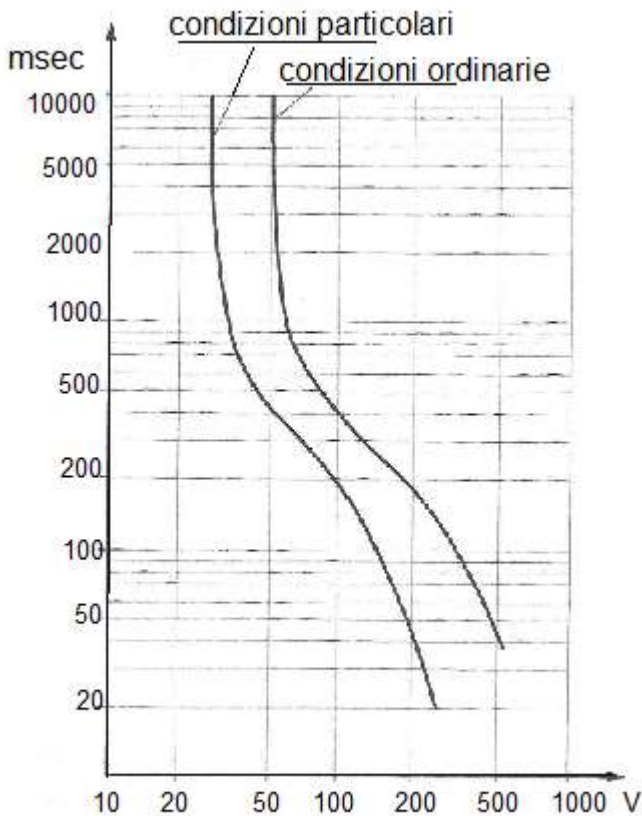
- linea intera: 10 mA soglia di sensibilità
- linea intera: da 10 mA a 200 mA sensibile ma non danno
- fra linea intera e tratteggiata: possibile contrazione muscolare, entro i tempi delimitati rari danni permanenti
- fra linea tratteggiata e successiva entro i tempi delimitati contrazione muscolare, difficoltà respiratorie, probabile fibrillazione ventricolare
- oltre i tempi delimitati e oltre la seconda curva intera: contazione muscolare, danni polmonari, fibrillazione ventricolare, danni permanenti

In pratica ci si riferisce, più che ai limiti di corrente pericolosa, ai limiti di “Tensione Pericolosa” legata a quelli di corrente dalla legge di Ohm tramite la resistenza serie del corpo umano R_c e la resistenza della persona verso terra R_{Tc} . La R_{Tc} rappresenta l'effetto disperdente dei piedi in parallelo nel terreno.



Nel ricavare la curva di sicurezza tensione-tempo ci si riferisce prudenzialmente al percorso mani-piedi di una persona che tocchi con entrambe le mani l'apparecchio elettrico ed abbia i piedi sul suolo. In serie alla resistenza del corpo umano si assume la resistenza equivalente R_{Tc} che simula il comportamento dei piedi analogo ad un dispersore. La R_{Tc} è valutata 1000Ω in ambienti normali (o interni) e 200Ω in ambienti particolari (o esterni).

$$V_s = I_c (R_c + R_{Tc})$$



curva di sicurezza tensione-tempo in condizioni ordinarie e particolari

Libretto d'uso dell'impianto e ditte esterne: devono essere tenuti in cantiere copia della dichiarazione di conformità, della denuncia all'INAIL dell'impianto di terra e, se attuato, dell'impianto di terra e dei collegamenti delle strutture metalliche contro le scariche atmosferiche. Inoltre deve essere tenuto un registro di cantiere contenente: le segnalazioni di guasti e le riparazioni- le modifiche attuate rispetto alla dichiarazione di conformità, anch'esse certificate- i controlli giornalieri e periodici firmati da un PES o PAV.

Se nel cantiere afferiscono per subappalto e/o forniture, Ditte per attività non elettriche ma che hanno loro apparecchiature elettriche, deve essere recepito il relativo POS che deve rispettare quello della Ditta appaltatrice e rispettare tutte e disposizioni di sicurezza da questa impartite. A regola la Ditta appaltatrice dovrebbe controllare che le apparecchiature e le attrezzature elettriche delle ditte esterne siano adeguate all'uso ed in buone condizioni. E' importante tenere un registro delle presenze delle Ditte esterne sia come orari che elenco persone.