

## LEZIONE 10 MAGGIO 2007

**Sistema TT:** La condizione per la protezione è, come già visto,  $R_E \leq \frac{U_L}{I_{5s}}$ , ovvero

$R_E \leq \frac{U_L}{I_a}$ , con  $I_a$  corrente di intervento entro 5 secondi, per cui, per un interruttore magnetotermico

da 10A avremo  $R_E \leq \frac{50}{50} = 1 \Omega$ , valore problematico da ottenere per la resistenza di terra. Se

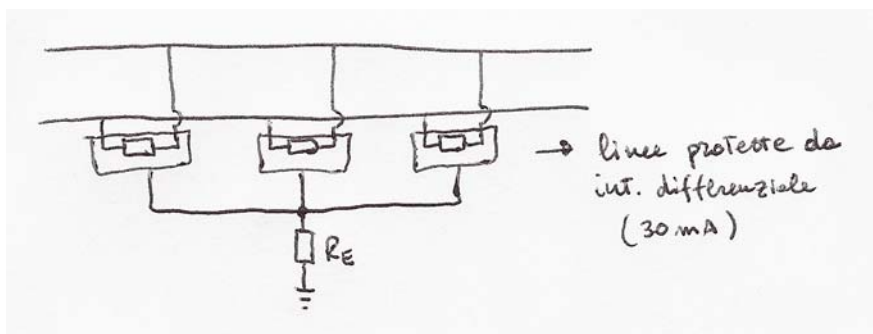
raddoppiassimo la corrente, portandola a 20A, allora verrebbe  $R_E \leq 0,5 \Omega$ , valore ancora più arduo da ottenersi: vorrebbe dire ricostruire l'impianto di terra, raddoppiarlo nella estensione, ammesso che la legge sia lineare (in realtà non è lineare); però anche se dovessimo raddoppiarlo perché investire così tanto sull'impianto di terra solo perché sono cambiati i carichi? Perché il magnetotermico non è un dispositivo che nasce per questioni di sicurezza soprattutto in un sistema di tipo TT dove la corrente di guasto si richiude verso terra. Quindi il magnetotermico teoricamente è un dispositivo che si può utilizzare per la sicurezza di un sistema TT, ma praticamente non lo si utilizza perché non è tecnicamente conveniente farlo. Un'altra soluzione potrebbe essere quella di utilizzare fusibili; non è che le cose vadano molto meglio perché la corrente d'intervento entro 5 secondi di un fusibile è circa 3/4 volte la corrente nominale. Quindi va un pochino meglio rispetto al magnetotermico ma non tanto, siamo su quell'ordine di grandezza. Poi anche qui la corrente di intervento è legata alla corrente nominale per cui se si cambia la taglia cambia la corrente di intervento. Invece il dispositivo differenziale questi problemi non li ha perché la corrente nominale del dispositivo differenziale è scorrelata dalla corrente di intervento differenziale. Nel denominatore di  $R_E \leq \frac{U_L}{I_a}$  quando si usa l'interruttore differenziale occorre mettere la corrente che fa intervenire

il dispositivo in 5 secondi, cioè la corrente differenziale. Allora la relazione diventa  $R_E \leq \frac{U_L}{I_{diff}}$ .

Supponiamo di avere lo stesso caso, lo stesso impianto ipotizzato fino ad ora: quindi un interruttore differenziale che avrà una corrente nominale di 10A però una  $I_{diff}$  che sarà per esempio di 50 mA (la  $I_n$  è da 10A, l'impianto aveva un interruttore da 10A, quindi anche il differenziale sarà per lo meno da 10A di corrente nominale): se sostituiamo i dati avremmo 1000  $\Omega$ ; mentre utilizzando un magnetotermico si deve fare un impianto di terra da 1  $\Omega$  nella stessa situazione utilizzando un differenziale si fa un impianto di terra 'mille volte peggiore' (in realtà è ben più che mille volte perché la legge non è lineare), comunque un impianto da 1000  $\Omega$  che si realizza con grandissima facilità, basteranno un paio di picchetti (in generale in un terreno normale) per avere qualche centinaia di  $\Omega$ . Quindi si vedete subito la differenza per cui nel sistema TT è possibile utilizzare dispositivi di qualunque tipo però di fatto si utilizza l'interruttore differenziale. C'è una questione che rimane aperta e che riguarda però un contrasto normativo: qui noi abbiamo calcolato 1000  $\Omega$ , ma le normative sulla sicurezza e in modo particolare il decreto sulla sicurezza nei luoghi di lavoro - D.P.R. 547/1955 - che è un decreto ancora in vigore, non abrogato, e che stabilisce che il massimo valore della resistenza di terra negli ambienti lavorativi sia di 20  $\Omega$ , perché quando è stato scritto quel D.P.R. ancora il differenziale non c'era, il TT non si usava, c'era tutto un altro sistema. Il problema di quella legge è che ha un vizio di fondo che la normativa più recente ha abolito, cioè tutta la legislazione tecnica dalle direttive europee fino al recepimento della normativa italiana adesso non porta informazioni tecniche; rimanda per l'aspetto tecnico alle norme, agli enti normatori che devono fare le norme che evolvono e la legge dà soltanto la cornice degli obiettivi attesi, il livello di sicurezza che si vuole raggiungere. Invece in quella legge che non è stata mai abrogata che fa parte del pacchetto di "Leggi sulla sicurezza" ci sono riportate anche indicazioni tecniche e questo crea un problema, ha creato molti problemi e contenziosi proprio su questo discorso dell'impianto di terra perché da un lato c'è una legge che stabilisce che gli impianti vanno fatti a regola d'arte e che (secondo l'art. 2) tutto ciò che è fatto secondo le norme del CEI è a regola d'arte, per cui se uno segue le regole CEI è tranquillo che sta facendo le cose a regola d'arte, (se

può, perché a volte non può sempre seguirle, allora deve inventarsi soluzioni che comunque portino a considerare che le ha fatte a regola d'arte, e appunto la norma allora prevede che stia facendo comunque le cose a regola d'arte). Quindi da un lato una legge che dice che tutto quello che fa il CEI è perfetto e dall'altro lato c'è l'altra legge precedente che dice "guarda che devi fare  $20\ \Omega$ " che non sono scritti da nessuna parte nelle norme CEI. E questo crea molti problemi, tanti contenziosi. Adesso l'orientamento della giurisprudenza è quello di dare ragione alle norme; è un orientamento giurisprudenziale, non significa che ci siano delle leggi che danno ragione, significa che danno ragione alle norme la maggior parte delle sentenze della cassazione, che sono quelle che fanno la giurisprudenza cioè che costituiscono i riferimenti rispetto ai quali i giudici si possono orientare nella scelta, nella scrittura delle sentenze. La tendenza generale è comunque dare ragione alla norma. E' chiaro che se si fa un impianto da  $15\ \Omega$  nessuno può dire niente, tanto di guadagnato, il problema è che se non si riesce a farlo e si sta applicando la norma si può dire: "perché essere accusati di omicidio colposo se è stato fatto tutto perfettamente?": il rischio zero non esiste: una persona è morta folgorata nonostante le ditte abbiano fatto tutto perfettamente, ed il pubblico ministero, dall'altra parte può dire: "no è morto perché se c'è una norma più severa bisogna rispettare comunque la norma più severa". Questi sono i contenziosi nei quali ci si trova e l'orientamento è però verso la norma, su una base giuridica anche abbastanza logica perché il D.P.R. 547/1955 prevede il superamento delle prescrizioni tecniche, però non con scelte lasciate all'autonomia del progettista ma sono scelte che vengono stabilite, quindi con soluzioni alternative che abbiano una dichiarazione di adeguatezza che viene rilasciata dal ministero. Allora la giurisprudenza ha inteso che la norma in quanto per legge portatrice della regola dell'arte, è di fatto dotata di una patente di adeguatezza, implicitamente, per cui supera il D.P.R. 547/1955, ma stiamo parlando di cavilli giuridici.

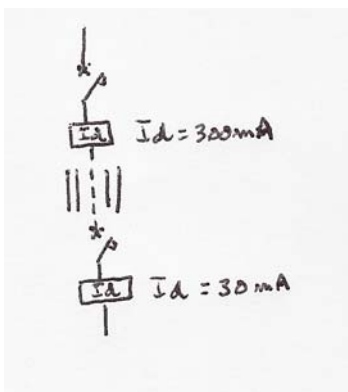
Per quanto riguarda i valori degli impianti di terra, comunque normalmente non si sta mai al limite, si cerca di stare sempre ragionevolmente al di sotto dei valori limite, quindi se anziché mettere come valore  $50\text{mA}$  (nella relazione) avessimo messo  $30\text{mA}$  avremmo ottenuto  $1667\ \Omega$  di resistenza di terra; si cerca di stare su valori più bassi e ci sono vari motivi per questo. Un primo motivo è che l'impianto di terra è comunque, per quanto ben fatto, per quanto verificato e misurato periodicamente, soggetto ad invecchiamento, per cui non è impossibile che nel corso della sua vita nasca con un valore per poi andare peggiorando nel tempo perché magari qualche elemento si corrode, un conduttore si stacca etc.: allora se si sta a  $1000\ \Omega$  e si perde un pezzo di impianto di terra si va subito fuori quindi bisogna avere un certo margine di sicurezza. Questo è il primo motivo per cui non si sta così tirati sul valore massimo. Altro motivo è legato al funzionamento del differenziale:



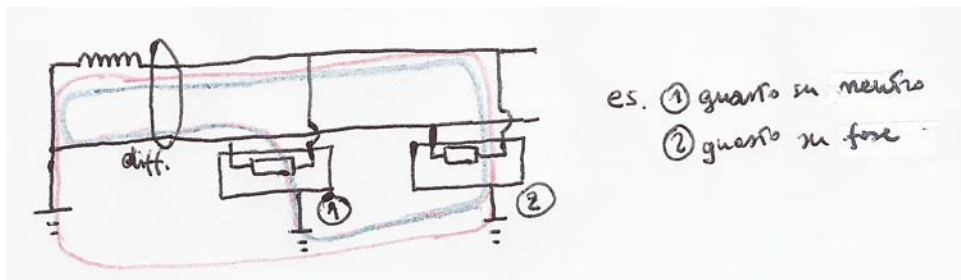
Sono simboleggiate le linee ed i cavi corrispondenti con un impianto monofase. Il tutto va poi ad un unico impianto di terra. Poi capiremo perché l'impianto di terra è bene che sia unico, ma per ora prendiamolo come dato certo (che l'impianto di terra sia unico nel nostro ambiente). Ciascuna linea è protetta da interruttore differenziale, da  $30\text{mA}$ . Come dimensionare l'impianto di terra è molto semplice in questo caso perché sono tutti e tre uguali i differenziali: sarà dimensionato sui valori di  $30\text{mA}$  per cui qui potremmo teoricamente mettere una resistenza di  $1667\ \Omega$ . Ciascuno dei differenziali però non interviene per una corrente di dispersione di  $15\text{mA}$ , quindi potrebbero teoricamente affluire  $(15 \times 3) = 45\text{mA}$ : è un'ipotesi molto forte, perché si sommano i moduli delle

correnti; significa ipotizzare che tutte e tre le correnti di dispersione siano in fase tra di loro, ovviamente non sarà così però stiamo facendo un'ipotesi solo per avere un'idea. Avremmo una tensione di contatto a vuoto che sarà  $45\text{mA} \times 1667\Omega = 75\text{V}$ , che permangono indefinitamente, perché nessuno dei tre differenziali deve intervenire. Questo esempio è tirato per i capelli perché abbiamo ipotizzato che le correnti siano tutte in fase fra di loro e che quindi si sommino. È un esempio molto forte tant'è che la norma non si preoccupa minimamente di questa situazione, ma un po' di margine di sicurezza è buona norma averlo, quindi se anziché portare l'impianto di terra a  $1600\Omega$  lo si porta a  $500\Omega$ , cosa che non è poi così difficile da fare, si sta più tranquilli per quanto riguarda gli eventuali peggioramenti nel corso del tempo dell'impianto e si sta anche tranquilli rispetto ai problemi delle correnti di dispersione che non fanno scattare il dispositivo, quindi è buona norma evitare di stare proprio a fare gli impianti di terra a  $1667\Omega$ . Qui abbiamo visto tre linee, ciascuna con il suo differenziale, con impianto di terra unico, allora per gli interruttori differenziali si parla di due tipi di selettività. Quando sono disposti così (come in figura sopra) si parla di selettività orizzontale: da un quadro da cui partono più linee ciascuna con il suo differenziale (poi ci sarà anche una selettività verticale perché dovremmo avere una gerarchia dal quadro principale fino al quadro ultimo). Allora vediamo meglio come si dimensiona l'impianto di terra con riferimento alla selettività orizzontale. Se c'è una linea protetta da un differenziale da  $30\text{mA}$ , un'altra protetta da un differenziale da  $300\text{mA}$  perché magari deve alimentare più motori, allora l'impianto di terra lo dimensiono sui  $30$  o sui  $300$ ? Vediamo cosa accade: in 1a ipotesi se si dimensiona l'impianto di terra per il valore di  $30\text{mA}$  -> la RE è di  $50\text{V}/30\text{mA}$  ovvero circa  $1600\Omega$ , e se il guasto avviene sulla linea dove c'è l'interruttore differenziale da  $30\text{mA}$  le cose vanno bene ma se il guasto avviene sul differenziale da  $300\text{mA}$  le cose non vanno bene perché inizia ad intervenire da  $300\text{mA}$ , c'è tutto un campo di situazioni pericolose; considerando  $150\text{mA}$  per una resistenza di  $1600\Omega$  si trova una tensione che è molto più grande di  $50\text{V}$ . Ciò significa che bisogna ridimensionare l'impianto di terra: la tensione di contatto a vuoto è sicuramente più grande di  $50\text{V}$  e dura per un tempo infinito perché il differenziale non sente nessun guasto, quindi quando si fa la selettività orizzontale l'impianto di terra va dimensionato sul peggiore dei dispositivi cioè quello che ha la corrente  $I_{diff}$  più grande perché dimensionando l'impianto di terra sul valore di  $300\text{mA}$  si ha  $R_E = 50/300 = 160\Omega$ , un valore di resistenza che chiaramente va benissimo per tutti i guasti che si verificano sulle linee da  $30\text{mA}$ . Quindi selettività orizzontale significa che l'impianto di terra va dimensionato per il dispositivo che ha la più grande corrente d'intervento in  $5$  secondi; ovvero se addirittura una di queste linee fosse protetta non con differenziale ma con magnetotermico e quindi avremmo una  $I_a$  di  $50\text{A}$  come nell'esempio iniziale che abbiamo fatto, il dispositivo con corrente di intervento più grande è il magnetotermico, e quindi per garantire sicurezza bisogna fare un impianto di terra da  $1\Omega$  che sicuramente va anche benissimo per tutte quelle linee con differenziale ma che è lo stretto necessario per l'unica linea protetta con magnetotermico. Se non si fa così si mette a rischio la sicurezza di tutti.

Altro problema invece è quello che riguarda la selettività verticale. Qui in figura per esempio ci sono due interruttori differenziali, uno in cascata all'altro.

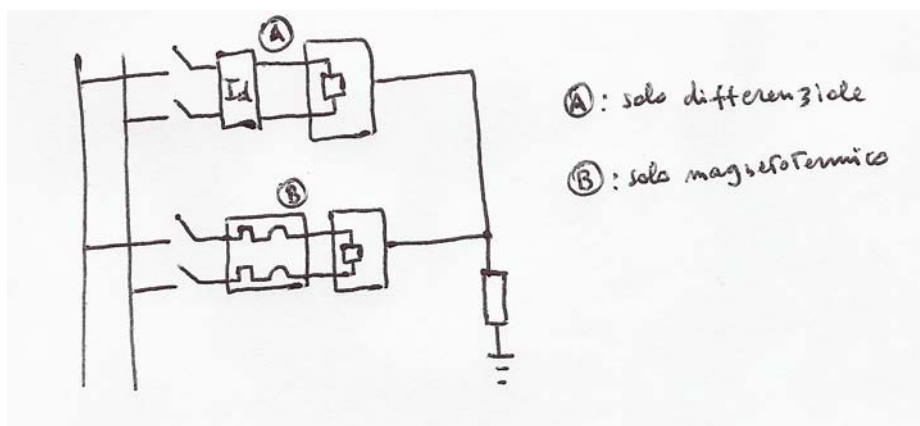


Abbiamo detto che per riuscire ad ottenere selettività verticale dobbiamo usare dispositivi di categoria diversa, ad esempio a valle di tipo G ed a monte di tipo S ed in più si devono anche differenziare le correnti di intervento: quindi vuol dire che nell'esempio c'è con un  $I_d$  da 300 mA ed un  $I_d$  da 30 mA; allora di nuovo c'è il problema, si dimensiona per 30 oppure per 300? Se si è certi che tutti i guasti si potranno verificare soltanto a valle del dispositivo più piccolo essi saranno sentiti dal dispositivo più piccolo e allora non avrebbe senso dimensionare l'impianto di terra sul valore del dispositivo più scarso. Quindi la regola è che in questo caso si dimensiona dell'impianto di terra per il differenziale da 30 mA; questa regola però va presa solo con la precisazione già fatta: se tutti i guasti si verificano a valle dell'ultimo differenziale, allora è quello che governa l'impianto di terra perché la corrente differenziale non potrà mai superare (nel caso) i 30 mA. Per fare un'ipotesi se si usa una canale metallica che porta i conduttori e per esempio si verifica un guasto, con la canale metallica collegata all'unico impianto di terra, i guasti si possono avere non soltanto a valle del dispositivo più piccolo ma anche a monte del dispositivo. Se invece si usa un tubo dentro una parete, una distribuzione sotto traccia in un tubo in PVC, è chiaro che non si può avere un contatto indiretto col muro perché il muro non è una massa. Col cavo è distribuito in canale metallica lì si può avere un contatto indiretto con la massa, basta che il cavo abbia un difetto di isolamento e mette in tensione la canale quindi si può avere un guasto che in questo caso sta a monte del dispositivo più piccolo; ma allora l'unico dispositivo che protegge tutto è quello con  $I_d$  più grande, perché l'altro non può neanche rendersi conto che c'è un guasto e invece solo il dispositivo con  $I_d=300\text{mA}$  se ne rende conto ma con le sue correnti di intervento. E allora in queste ipotesi quando i guasti stanno a monte vale la regola della selettività orizzontale: quello che conta allora è il dispositivo peggiore, cioè con la più grande corrente di intervento. Riassumendo: dispositivi differenziali per i sistemi TT: in orizzontale conta quello con la corrente di intervento più grande; in verticale, ed in assenza di possibilità di guasti se non a valle dell'ultimo, allora conta la  $I_d$  dell'ultimo, ma in presenza di possibilità di guasti vale la regola della selettività orizzontale. L'impianto di terra è unico nei sistemi TT per 2 motivi: con due impianti distinti non c'è equalizzazione del potenziale, ovvero toccando le due masse dei due impianti ci si porta in situazione di pericolo, per cui all'unico impianto va collegato tutto, masse e masse estranee; secondariamente, supponendo di poter escludere il primo caso, si rischia di far funzionare male il differenziale:



supponendo due guasti, uno su una fase e l'altro sul neutro, (se fosse un sistema trifase basterebbero due difetti su due fasi) la corrente di guasto anziché richiudersi totalmente attraverso la terra della cabina e far intervenire il differenziale ritorna almeno in buona parte attraverso l'altro impianto di terra, sempre dal terreno (la corrente passerà per i percorsi a minima resistenza e più saranno vicini i due impianti più l'effetto è forte): il ritorno della corrente dall'altro impianto di terra 'indebolisce' il differenziale, e questo è un motivo per non fare impianti di terra separati. Se sono collegati, se è unico, allora l'"indebolimento" del differenziale è sicuramente più forte, ma si ha la garanzia di intervento del magnetotermico per il cortocircuito che ne deriva (il doppio guasto ora è un corto).

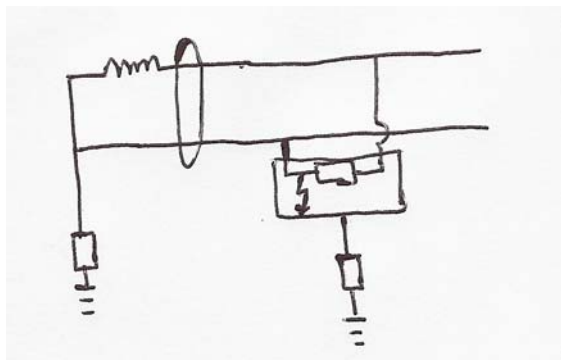
Un caso tipico, unico impianto di terra, diversi appartamenti, tra cui uno (o più) senza il differenziale:



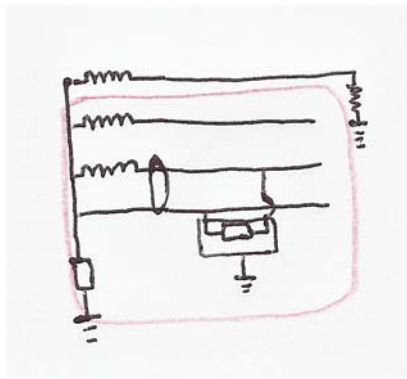
gli impianti sono tutti collegati all'impianto di terra, progettato per aver inserito in ciascun impianto il differenziale da 30mA, che avrà una  $R_e$ , ad esempio, di 500-1000  $\Omega$ . Se nasce un guasto nell'appartamento B, che non ha adeguato la protezione, accade che quando B ha un guasto a massa le condizioni di sicurezza non sono rispettate: possono permanere tensioni  $U_{co}$  maggiori di 50 V per tempi maggiori di 5 s., teoricamente per tempi infiniti: la corrente passa nell'impianto di terra, ed il guasto di B non può essere rilevato dai dispositivi degli altri appartamenti, che sentiranno, ad esempio, i tubi dell'acqua in tensione, potranno prendere scosse toccando delle masse, tutto per colpa dell'utente B. E' una situazione critica ma frequente, specie negli ambienti cittadini in cui gli impianti di terra sono 'addossati' l'uno all'altro, per cui i problemi derivanti da questi guasti sono propagati anche ai palazzi adiacenti. E' quindi molto importante che se ci si collega allo stesso impianto i dispositivi siano adatti a quell'impianto di terra e viceversa: la legge 46/90 consente agli impianti entrati in esercizio prima della legge di derogare la norma: o non connessione all'impianto di terra ma protezione con differenziale ad alta sensibilità o interruttore coordinato con l'impianto di terra esistente. In assenza di impianto di terra il dispositivo differenziale interverrà solo quando la persona farà il contatto, ma si può accettare questo nonostante il maggior rischio. Ma il non mettere il dispositivo adeguato e collegarsi comunque all'impianto di terra NON è ammesso.

Quindi il professore parla delle vicissitudini della cabina di Via Aosta, dei difetti di comunicazione di ENEL, delle necessità per la cabina di avere un impianto di terra tale per cui successivamente è stato necessario trivellare fino a 120 metri per installare i picchetti, frinteso insieme alle altre soluzioni proposte da ENEL per la corretta gestione della cabina dagli abitanti della zona, che a causa di un utente con scaldacqua a massa, che portava l'impianto di terra in tensione, davano invece la colpa della scosse prese dai tubi dell'acqua alla cabina che allora era ancora spenta. Successivamente ci sono stati problemi di rumore, per cui i trasformatori non verranno mai fatti lavorare in sovraccarico e le ventole rimosse, poi problemi di temperatura e di campi magnetici, tutti risolti con campi di misure che hanno dato esito positivo entro i limiti.

### Guasti sul neutro:

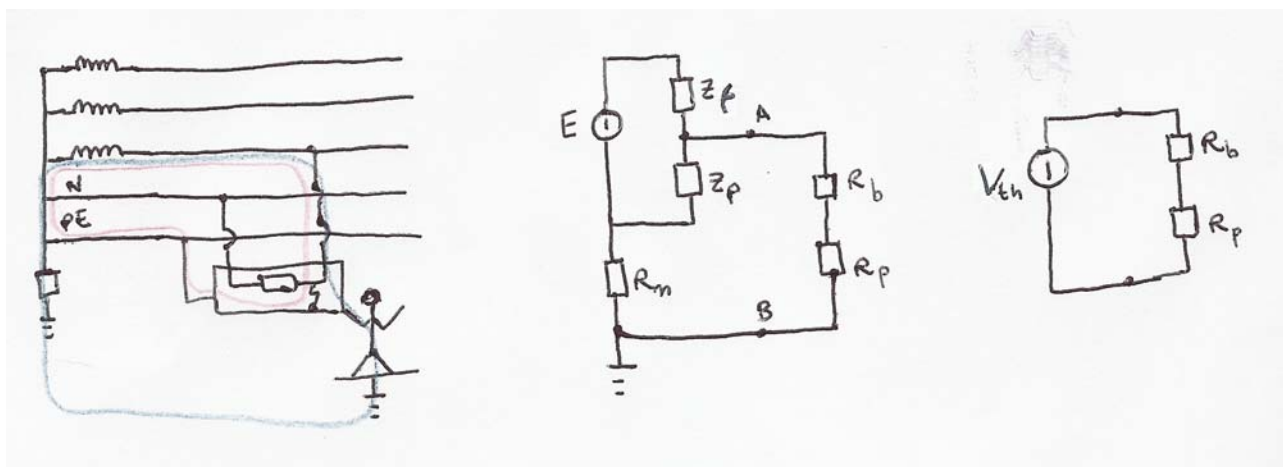


preso in esempio un sistema monofase con protezione differenziale, in caso di guasto, il differenziale in pratica interviene, in realtà non dovrebbe: la corrente di intervento, essendo il neutro teoricamente a potenziale zero, dovrebbe essere nulla, ma poiché il potenziale di neutro non è nullo per vari motivi, quali squilibrio nelle tensioni del sistema trifase, o per guasto, il differenziale può scattare e se lo fa per difetto di isolamento sul neutro, c'è qualche problema nell'impianto: occorre ricordare che anche dalla norma il neutro è considerato conduttore attivo, con livello di isolamento uguale a quello degli altri conduttori di fase, per cui se il differenziale è intervenuto è stato sia perché il potenziale di neutro ha superato una certa soglia, ed è comunque da verificare perché ciò si è verificato, ma soprattutto se c'è stato un difetto di isolamento del conduttore di neutro. Cioè non basta correggere il potenziale del neutro ma occorre verificarne lo stato di isolamento del conduttore. Altra situazione negli impianti trifase:



il differenziale può scattare anche se una corrente di guasto a terra si richiude sul neutro: ne aumenta il potenziale, aumenta la tensione delle altre fasi, l'isolamento delle apparecchiature viene stressato, aumentano le correnti di dispersione verso terra (caso tipico negli impianti vecchi) ed interviene la protezione: anche in assenza quindi di guasto evidente, per i motivi esposti, può scattare il differenziale, solo per difetti di isolamento. L'intervento del differenziale è quindi sinonimo anche che ci sono difetti di isolamento che vanno verificati, ad esempio le guarnizioni di apparecchiature per l'illuminazione esterna non tengono più, etc..

**Sistema TN:** le masse sono collegate tramite i conduttori di protezione o di neutro al centro stella del sistema:



caso monofase (nell'esempio in figura, TN-S): una persona tocca la massa che a causa del guasto va in tensione: la corrente di guasto segue il percorso in figura (quello in blu; in assenza della persona la corrente segue il circuito metallico (in rosso) in cui la corrente è elevata) quindi una parte della corrente torna attraverso il terreno: cerchiamo di capire quale tensione raggiunge quella massa in presenza di quel guasto: ne rappresentiamo il circuito equivalente e lo analizziamo con Thevenin: la



corrente di guasto (sempre quella in blu, in figura) passa dal conduttore di fase di impedenza  $Z_f$  al conduttore di protezione con impedenza  $Z_p$ ; qui le impedenze contano perché le correnti sono elevate; la persona che tocca la massa ha una resistenza  $R_b$  ed i suoi piedi rispetto a terra hanno resistenza  $R_p$ ; infine la corrente di guasto si chiude con  $R_n$ . Facendo l'ipotesi conservativa per la sicurezza che la persona sia molto lontana dalla terra di cabina, e quindi che i suoi piedi siano a potenziale zero, svolgendo i calcoli nel circuito troviamo che :

tensione di contatto  $U_{co}$ :  $V_{ab}=V_{th} = ( \text{conta solo il partitore } Z_f-Z_p ) = E \frac{Z_f}{Z_p + Z_f}$  ed inoltre:

impedenza di Thevenin:  $Z_{th} = R_n + \frac{Z_f Z_p}{Z_p + Z_f}$  in cui  $Z_{th}$  assume valori di impedenza molto piccoli,

per cui la  $Z_{th}$  è trascurabile rispetto a  $(R_b+R_p)$ , per cui il modello di riferimento diventa quello

disegnato in figura, l'ultimo a destra, in cui quindi  $U_{co}$  è pari a  $V_{th} = E \frac{Z_f}{Z_p + Z_f}$  : non dipende dalla

circolazione di corrente nel carico, e per avere sicurezza deve essere inferiore ad  $U_L$ , cioè sotto la tensione limite: allora l'unico parametro di progetto su cui poter agire è  $Z_p$ , si può agire sulla sezione del conduttore, si dovrebbe quindi portare il conduttore PE ad avere sezioni molto maggiori di quelle dei conduttori di fase, cosa che non è ragionevole: allora, con  $Z_f=Z_p$ , ed avendo ad esempio 110 V sulla massa come  $U_{co}$ , se una persona toccherà la massa la tensione scenderà un po', e tra l'altro la persona non avrà mai i piedi a contatto col terreno a potenziale nullo, per cui  $U_{co}$  diventerà realisticamente di 90-92 V, e per cui possiamo calcolare il tempo massimo di contatto: corrisponde un tempo massimo (curve tensione-tempo) per gli ambienti ordinari di 0,4 s., mentre per gli ambienti a maggior rischio il tempo è di 0,2 s. Così possiamo garantire la protezione nei sistemi TN, con l'eliminazione del guasto entro i tempi previsti (norme 64-8). Per avere la garanzia che il dispositivo intervenga entro il tempo indicato, analizzando il circuito, bisogna misurare l'impedenza dell'anello di guasto  $Z_g$  e, data la  $I_g = E / Z_g$ , avremo che dovrà essere  $I_g \geq I_a$ , quindi  $Z_g \leq E / I_a$ ; quindi 220/ $I_a$  (per 0,4 s.) e trovo l'impedenza massima di riferimento. Dovrò ad esempio intervenire aumentando la sezione dei conduttori o scegliendo protezioni dal tempo di intervento più basso. Il vantaggio del sistema TN è che la condizione suindicata viene raggiunta facilmente con un dispositivo magnetotermico, per cui è possibile la protezione dai contatti indiretti senza dover ricorrere al differenziale. In tutte le considerazioni fatte finora l'impianto di terra non è entrato in gioco, (mentre è fondamentale negli impianti TT, ricordiamo); nel TT l'impianto di terra serve per la protezione dai guasti lato BT, mentre nel TN serve per i guasti provenienti dalla cabina: due funzioni e regole di funzionamento e dimensionamento differenti. Il vantaggio del sistema TT è che non vengono trasferite  $U_{co}$  pericolose in caso di guasto MT, ed è difatti il sistema usato dai distributori, in quanto le masse vanno al potenziale di terra, e non a quello imposto dal conduttore di protezione PE.

Riassumendo: sistema TN, no problemi guasti BT ma attenzione al controllo dei parametri della cabina, c'è distribuzione sia della tensione che della sicurezza; sistema TT, non è possibile gestire la sicurezza su grande scala, ogni utente provvede in proprio anche col suo impianto di terra. Si può comunque usare il differenziale sul TN, ma non si può usarlo in un sistema TN-C, in cui il conduttore di neutro e quello PE coincidono; poiché il conduttore PE non deve essere interrompibile, non posso realizzare un sistema TN-C; se scelgo il conduttore di neutro a sezione più piccola di quello di fase, allora devo proteggerlo dal sovraccarico (possibile in un sistema trifase squilibrato), ed allora non può essere questo un sistema TN-C. Quindi nei sistemi TN-C non si può in generale usare il differenziale; nei sistemi TN-S, invece, può non servire: se è rispettata la  $Z_g \leq E / I_a$  con un magnetotermico, il differenziale non serve, ed il vantaggio, a parte il costo, è quello di non avere rischi per interventi non voluti causati da correnti di dispersione, e poiché il sistema TN nasce per piccole e medie industrie, con macchine che lavorano ed è facile la presenza di correnti di dispersione incompatibili col differenziale, il non doverlo usare è già un gran vantaggio. Si perde però in protezione addizionale per contatti diretti: allora il buon senso

progettuale prevedrà una linea per le apparecchiature fisse impiegate senza differenziale; la linea prese prevista per gli apparecchi portatili e con possibile uso di prolunghe, sarà invece dotata di protezione differenziale (tipicamente da 30mA). Una regola generale per i sistemi TN: si deve garantire  $Z_g < Z_x$  affinché per  $I_a$  si intervenga entro 0,2-0,4 s.; la tensione limite non interessa. Nei circuiti di distribuzione (quelli principali, da quadro a quadro, senza carichi derivati) la probabilità del contatto indiretto è pressoché nulla, ed inoltre in caso di guasto ci sarebbero grosse correnti con sicuro intervento delle protezioni: il tempo di 0,4 s. è quindi eccessivamente basso, e difatti qui le norme concedono la deroga per cui va bene che  $Z_g \leq E / I_a$  ( $E=U_{co}$  per le norme) ma con tempo di intervento di 5 secondi (le protezioni interverranno comunque prima). Nei circuiti secondari, dai quadri ai carichi fissi, è ancora consentito il tempo massimo di 5 s.; non è invece mai consentito questo per le linee prese, per cui il tempo di intervento è quello già stabilito di 0,4 s. Le precedenti norme, ora non più in vigore, ponevano anche però una condizione alla deroga, e cioè che entro i 5 s. non si manifestassero tensioni tra masse e masse estranee superiori a 50 V.; per problemi di equipotenzializzazione dei sistemi TN, in cui essendo le correnti di guasto elevate, e le impedenze dei conduttori sì basse ma non trascurabili in quanto comunque generatrici di cadute di tensione, non si riesce a portare, nonostante i collegamenti equipotenziali, masse e masse estranee (massa piano terra e tubo dell'acqua del terzo piano, ad esempio) allo stesso potenziale. Ora le recenti norme hanno però semplificato l'argomento.