

"HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY"

per il personale marittimo

(D.M. 15/02/2016)

DIRETTIVO

SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Gli impianti di bordo differiscono da quelli di terra per le condizioni particolari in cui sono chiamati a funzionare. Sulle navi l'importanza di alcuni servizi è vitale, perciò le protezioni devono essere in grado di eliminare il guasto nel più breve tempo possibile.

Tra i servizi vitali si devono considerare quelli necessari per navigare, governare, manovrare e tutti quei servizi connessi con la sicurezza delle persone.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

OBIETTIVI

Limitare i danni alle persone e all'impianto

Permettere le diverse condizioni di esercizio

Garantire la massima continuità di servizio alle zone di impianto non affette da guasti;

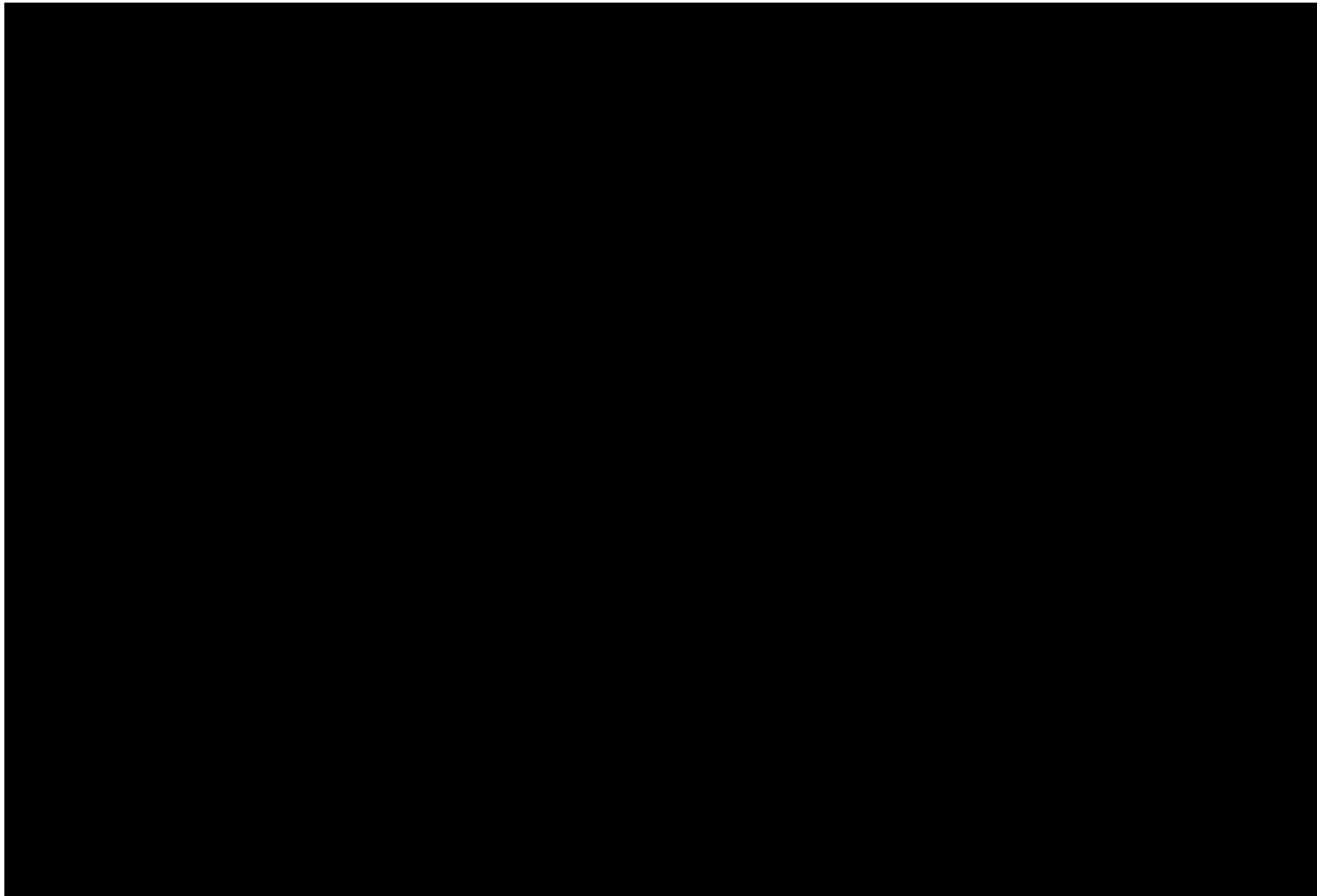
Attivare gli automatismi previsti.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

I sistemi di protezione NON prevengono i guasti, ma ne riducono gli effetti





I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Monitorare l'impianto al fine di isolare la parte che fallisce e mantenere il resto dell'impianto in servizio

Alcuni tipi di guasti sono generati da errori umani (interblocchi by passati) e per questo tipo di guasti non esistono protezioni che possono prevenirli



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Per la prevenzione dei guasti, in alcuni casi si possono utilizzare sistemi di monitoraggio preventivo (monitoraggio dell'isolamento dei thruster quando non sono in servizio)

Raccolta di dati di alcuni parametri per analizzarne il trend e programmare una manutenzione preventiva



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

La norma **CEI EN 62271-200** chiarisce che, se il quadro è installato, utilizzato e mantenuto secondo le istruzioni indicate dal costruttore, la probabilità che occorra un arco interno è piccola, ma non può ovviamente essere ignorata. Quando si progetta un impianto elettrico di media tensione e si sceglie un'apparecchiatura con involucro metallico, si deve tener conto della possibilità che si verifichino **guasti per arco interno**



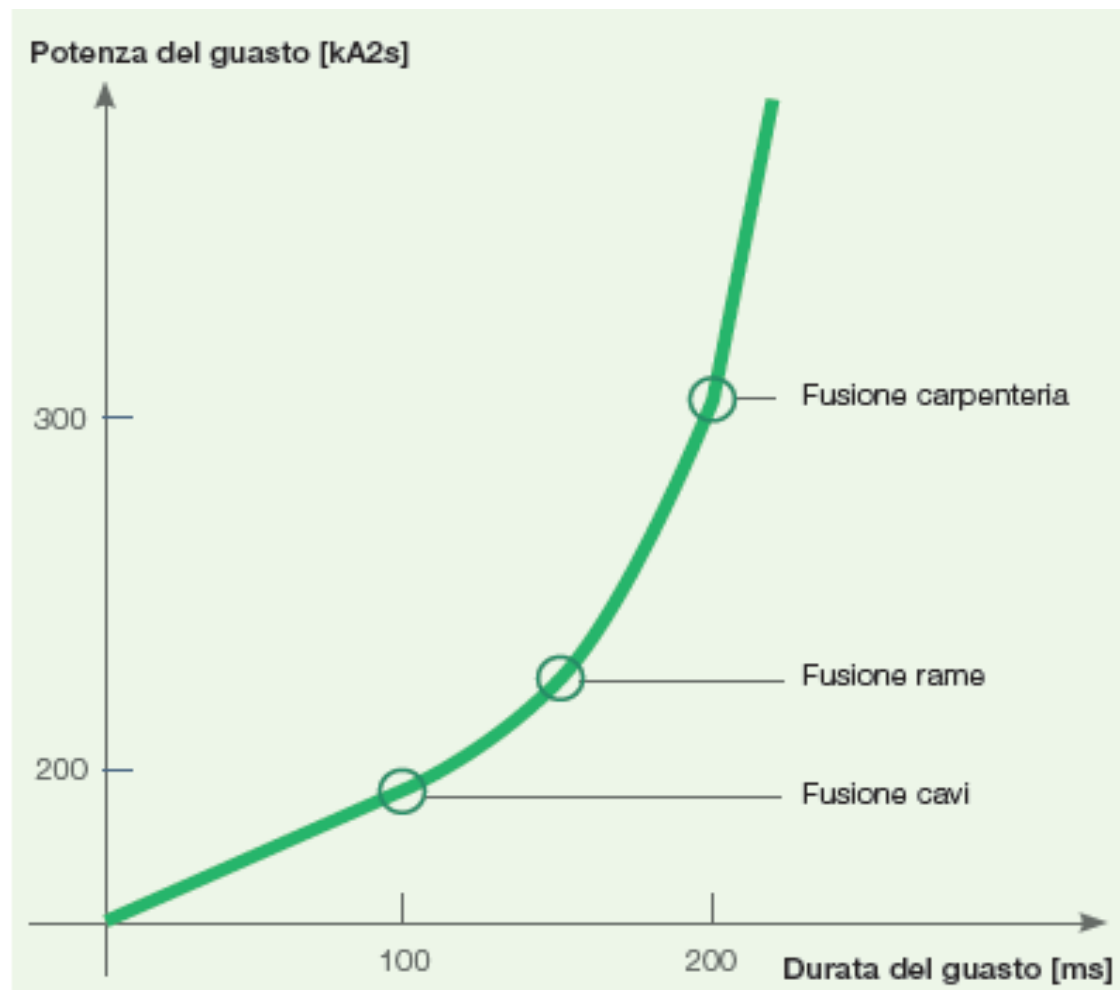
I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Un progetto intrinsecamente sicuro è il primo e più importante passo nel processo di riduzione del rischio.

Questo perché l'esperienza insegna che le misure protettive intrinseche al prodotto o al sistema rimangono efficaci nel tempo mentre gli altri passi, protezioni e informazioni, possono essere rimosse o non seguite.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Soluzioni

Rilevazione ed estinzione dell'arco, facendo aprire l'interruttore di alimentazione del guasto in modo selettivo.

Il tempo, infatti, è un parametro critico per la riduzione degli effetti dell'arco in quanto l'energia emessa aumenta rapidamente all'aumentare del tempo.

Ad esempio, un guasto della durata di 500 ms può causare notevoli danni all'impianto. Se l'arco dura circa 100 ms il danno è spesso limitato, se dovesse durare meno di 4 ms gli effetti sarebbero trascurabili.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Bisogna considerare che la parte più importante del tempo di estinzione del guasto è dovuta al tempo di interruzione dell'interruttore, mentre i sistemi di rilevamento agiscono in tempi inferiori ai 15 ms. E' quindi possibile rimanere complessivamente al di sotto dei 100 ms a patto di far aprire istantaneamente l'interruttore e che questo interruttore sia sufficientemente veloce.

In questo modo è possibile diminuire gli effetti termo-dinamici del guasto limitando così i danni all'impianto e diminuendo la pericolosità dell'evento.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

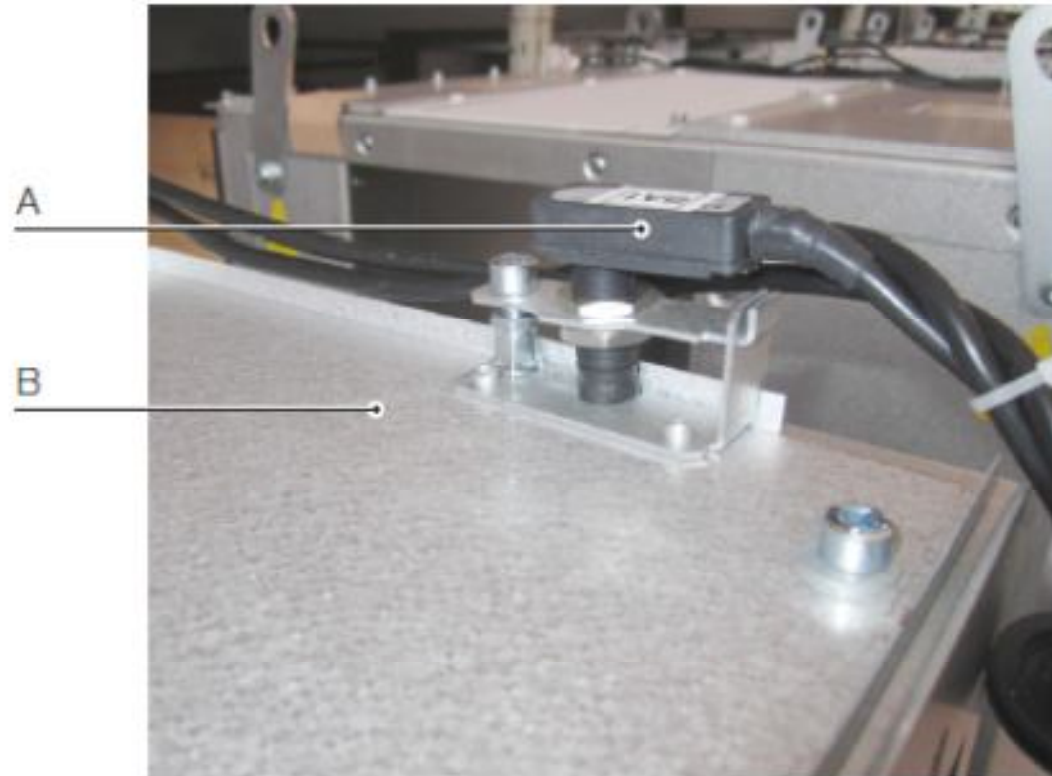
Sistema rilevamento della pressione

Questo sistema consiste nell'utilizzo di sensori di pressione posizionati nella parte alta del quadro vicino ai flap di uscita dei gas caldi generati dall'arco interno. L'onda d'urto di pressione generata dall'arco si propaga infatti in tempi brevissimi all'interno del quadro elettrico facendo intervenire i sensori che inviano il comando di apertura all'interruttore di alimentazione del quadro.

Il sensore è inserito direttamente nel circuito di comando degli interruttori di protezione. I contatti generano immediatamente un segnale di guasto non appena i flap di sovrappressione dell'unità si aprono a causa di un arco interno. Essendo i contatti dei sensori del tipo a posizione mantenuta, realizzano il blocco della chiusura degli interruttori dei quali hanno comandato l'apertura. Il tempo tipico di intervento dei sensori di pressione è di 15 ms al quale va aggiunto il tempo di interruzione dell'interruttore.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



- A) lth limiter
- B) flap di sfogo della pressione in acciaio



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Sistema rilevamento della luce

I primi sistemi per il rilevamento della luce prodotta dall'arco elettrico risalgono agli inizi degli anni '90; questi sistemi utilizzano sensori di luce localizzati denominati "sensori a lente" che vengono dislocati in più punti del compartimento di media tensione da proteggere contro l'arco interno.

Successivamente, più di dieci anni dopo, sono apparsi sul mercato sistemi di seconda generazione che utilizzano sensori di luce a fibra ottica in grado di assorbire la luce lungo tutta la lunghezza della fibra stessa. Il sistema a fibra ottica è lungo fino a 60 metri e fatto opportunamente scorrere nei compartimenti da proteggere essendo l'assorbimento della luce distribuito non sussiste il rischio che, a causa della struttura del quadro, il sensore a lente venga coperto e non "veda" l'arco.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Sistema rilevamento della luce

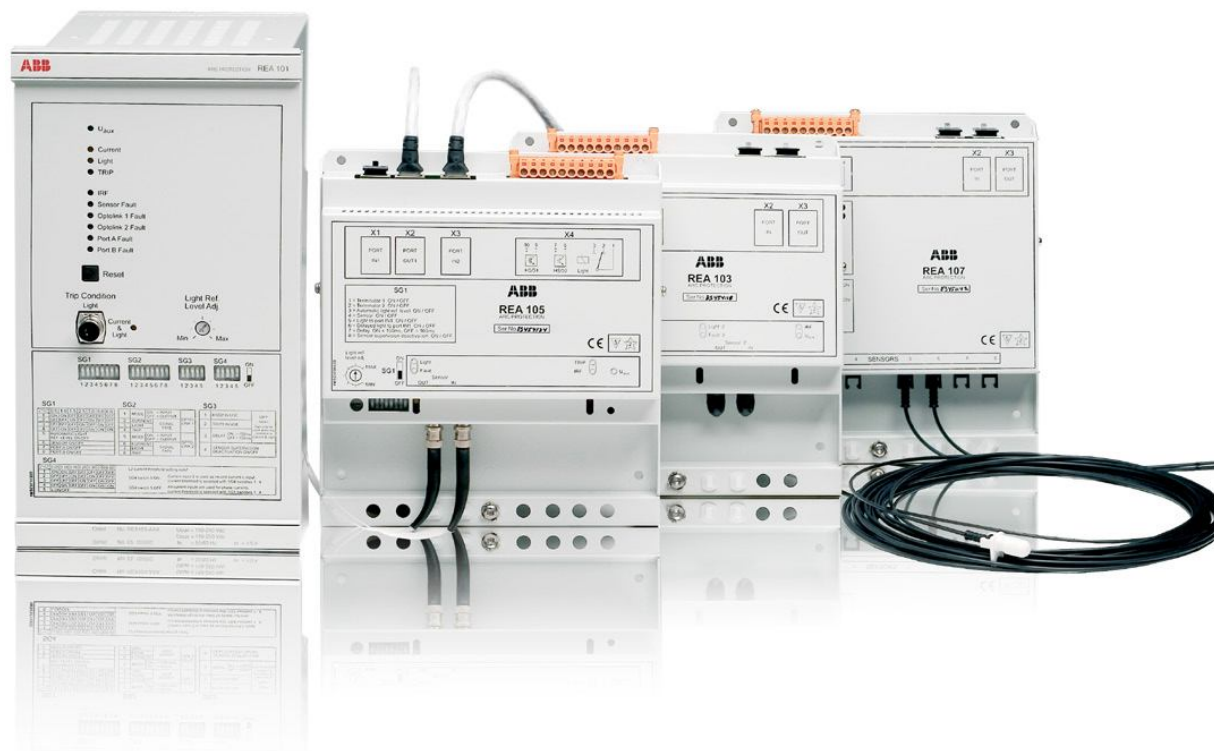
Inoltre, utilizzando la configurazione ad anello, è molto semplice realizzare un'autodiagnosi del sensore stesso. In termini di sicurezza contro falsi interventi, innanzi tutto il sistema legge solo la parte bassa dello spettro visibile incluso l'ultravioletto. In secondo luogo il sistema è collegato normalmente a dei sensori di corrente posti nelle unità di alimentazione principale del quadro elettrico che sono utilizzati per leggere istantaneamente le correnti di guasto di fase e di terra.

In questo modo è possibile controllare la correttezza della lettura dei sensori di luce in quanto, durante un guasto per arco interno, sono presenti sia la luce dell'arco che la corrente di guasto. Il sistema agisce indipendentemente dal sistema di protezione tradizionale esistente e quindi non vi è necessità di coordinamento con le altre protezioni.

Il tempo tipico di intervento è di 2,5 ms al quale va aggiunto il tempo di interruzione dell'interruttore.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

I sistemi di protezione devono individuare il guasto al più basso livello possibile (**Sensitività**)

Interrompere l'alimentazione di energia elettrica in quel punto nel più breve tempo possibile

Interrompere l'alimentazione di energia elettrica limitatamente a quell'apparato o porzione del network in cui è presente il guasto (**Selettività**)

Garantire il corretto funzionamento del impianto da essa protetto evitando false attivazioni (**semplicità**)



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

LA SELETTIVITÀ

Le esigenze di una sempre maggiore continuità di servizio, e quindi della necessità di creare il minimo disturbo alla rete a seguito di un corto circuito, sono alla base degli studi sulla selettività delle protezioni.

Per definizione si dice che un impianto è dotato di protezioni selettive se, in caso di guasto, le caratteristiche costruttive e d'intervento dei vari apparecchi di protezione sono tali da causare soltanto l'intervento dell'apparecchio più vicino al guasto, con la conseguenza di porre fuori servizio un settore limitato dell'impianto.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

La scelta degli interruttori per effettuare tale tipo di protezione viene fatta in base a:

- **corrente nominale;**
- **potere di interruzione**, che viene espresso dalla più alta corrente presunta che l'interruttore è in grado di interrompere sotto una data tensione e sotto determinate condizioni del circuito e d'uso;
- **potere di chiusura** sotto corto circuito rappresentato dalla più alta corrente di picco presunta che l'interruttore è in grado di stabilire sotto una data tensione e sotto una determinata condizione del circuito e d'uso.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Il loro intervento si realizza in un tempo totale costituito dalla somma dei seguenti tempi elementari:

T1: *tempo d'intervento* del relè ovvero ritardo che intercorre tra l'istante in cui si manifesta il guasto e quello in cui il relè è in condizioni di inviare il comando d'intervento all'interruttore;

T2: *tempo di ritardo* applicato al relè;

T3: *tempo proprio d'intervento meccanico* dell'interruttore (legato a caratteristiche costruttive e all'inerzia delle masse);

T4: *tempo d'arco* tra i contatti.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Pertanto dall'istante in cui la corrente si manifesta a quello in cui è estinta intercorre il tempo $T=T1+T2+T3+T4$.

Tale tempo non può in ogni modo essere inferiore a $T1+T3+T4$, **variando il tempo T2**. È proprio quest'ultimo elemento che consente di dosare gli interventi di più interruttori tutti sistemati in serie su una linea interessata da guasto, in modo tale che l'interruttore più a valle intervenga sempre prima dell'interruttore a monte.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

IL COORDINAMENTO

Il coordinamento delle protezioni può essere realizzato in dipendenza dalle caratteristiche dell'impianto e delle relative correnti di guasto secondo due criteri fondamentali:

selettività in grandezza
(selettività amperometrica)

selettività in tempo
(selettività cronometrica)



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

La selettività amperometrica tra le due protezioni è calcolata regolando la protezione a monte al di sopra della massima corrente che può interessare la protezione a valle.

Si ottiene graduando la soglia di intervento delle protezioni a valori di corrente superiori a quelli che possono interessare le protezioni a valle.

Con questa regolazione non è necessario introdurre tempi di ritardo tra le due protezioni e la protezione a monte può essere di tipo istantaneo in quanto interviene solo per guasti nella parte di impianto compresa tra le due protezioni.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

La selettività amperometrica è adottata quando le impedenze in gioco nell'impianto sono sufficientemente elevate per permettere una differenziazione netta dei valori di corrente di guasto nei diversi gradini dell'impianto stesso.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

La selettività di tipo cronometrico, è ottenuta graduando i tempi di intervento delle protezioni in modo che il relè più vicino al guasto intervenga in un tempo inferiore rispetto a quelli più lontani. Le regolazioni delle protezioni sono calcolate assegnando tempi man mano crescenti a partire dall'utenza fino ad arrivare alle sorgenti di energia.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Per quanto riguarda la graduazione in tempo questa deve tenere conto delle caratteristiche delle apparecchiature presenti nell'impianto, generalmente:

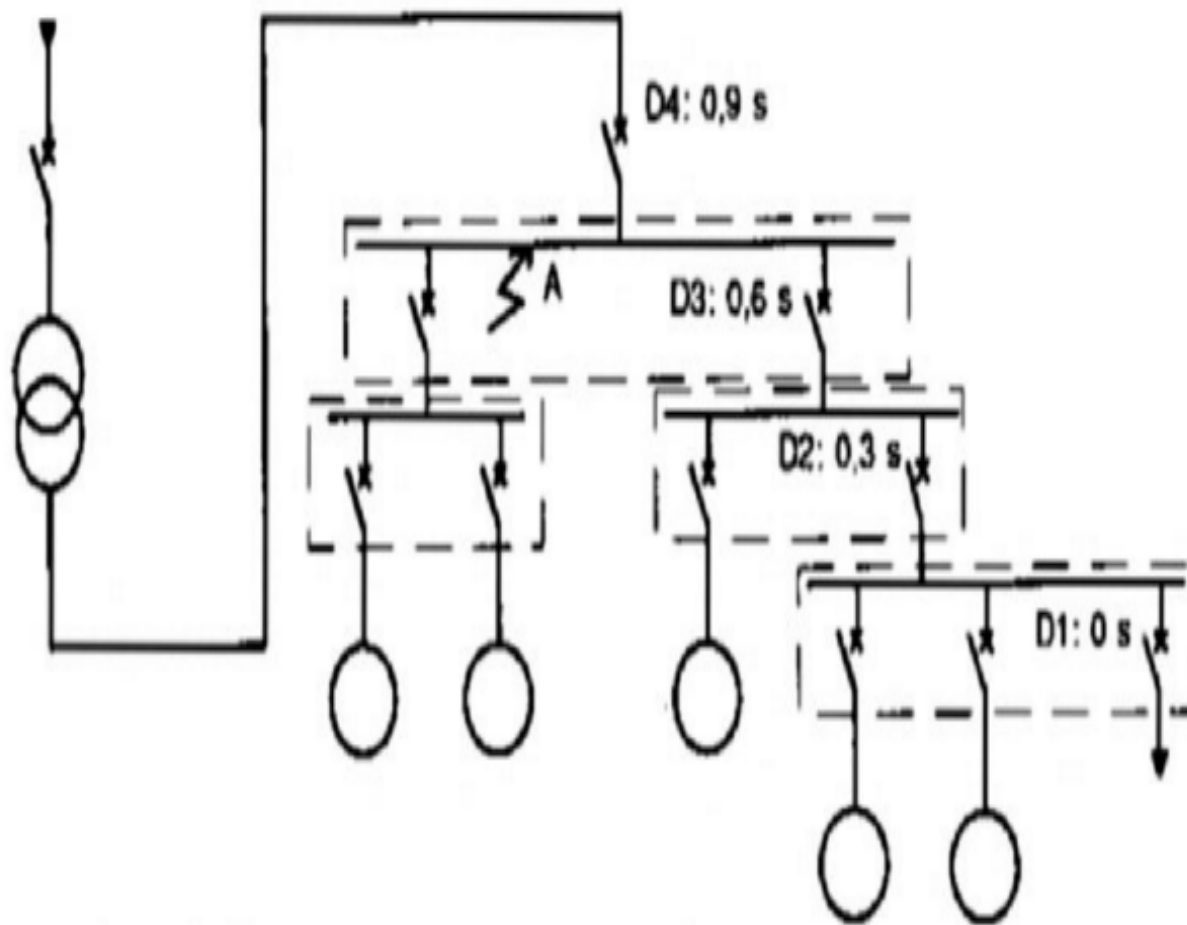
- **tempo di apertura** degli interruttori di media tensione:
≈ 60 ms;
- **tempo di inerzia** delle protezioni: ≈ 20 ms;
- **massimo errore** dell'intervento temporizzato: ≈ 60 ms;
- margine di sicurezza: ≈ 50-100 ms;

ΔT totale = 250 ms

Svantaggio tempi troppo lunghi di persistenza del guasto possono creare seri danni all'apparecchiatura



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

La selettività in tempo è il sistema più completo che consente una protezione selettiva totale sull'intero impianto anche nel caso che le impedenze di collegamento e dei diversi componenti non siano tali da differenziare a sufficienza le correnti di corto.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

La selettività in tempo è il sistema più completo che consente una protezione selettiva totale sull'intero impianto anche nel caso che le impedenze di collegamento e dei diversi componenti non siano tali da differenziare a sufficienza le correnti di corto.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Selettività per confronto

I sistemi di protezione che intervengono in base al principio del confronto proteggono solo apparecchiature ad esse direttamente collegate.

Il principio base del loro funzionamento è che la corrente entrante e quella uscente devono essere uguali, e un eventuale differenza provoca l'intervento della protezione (**Interruttore differenziale**)



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Rele di protezione per sovracorrenti

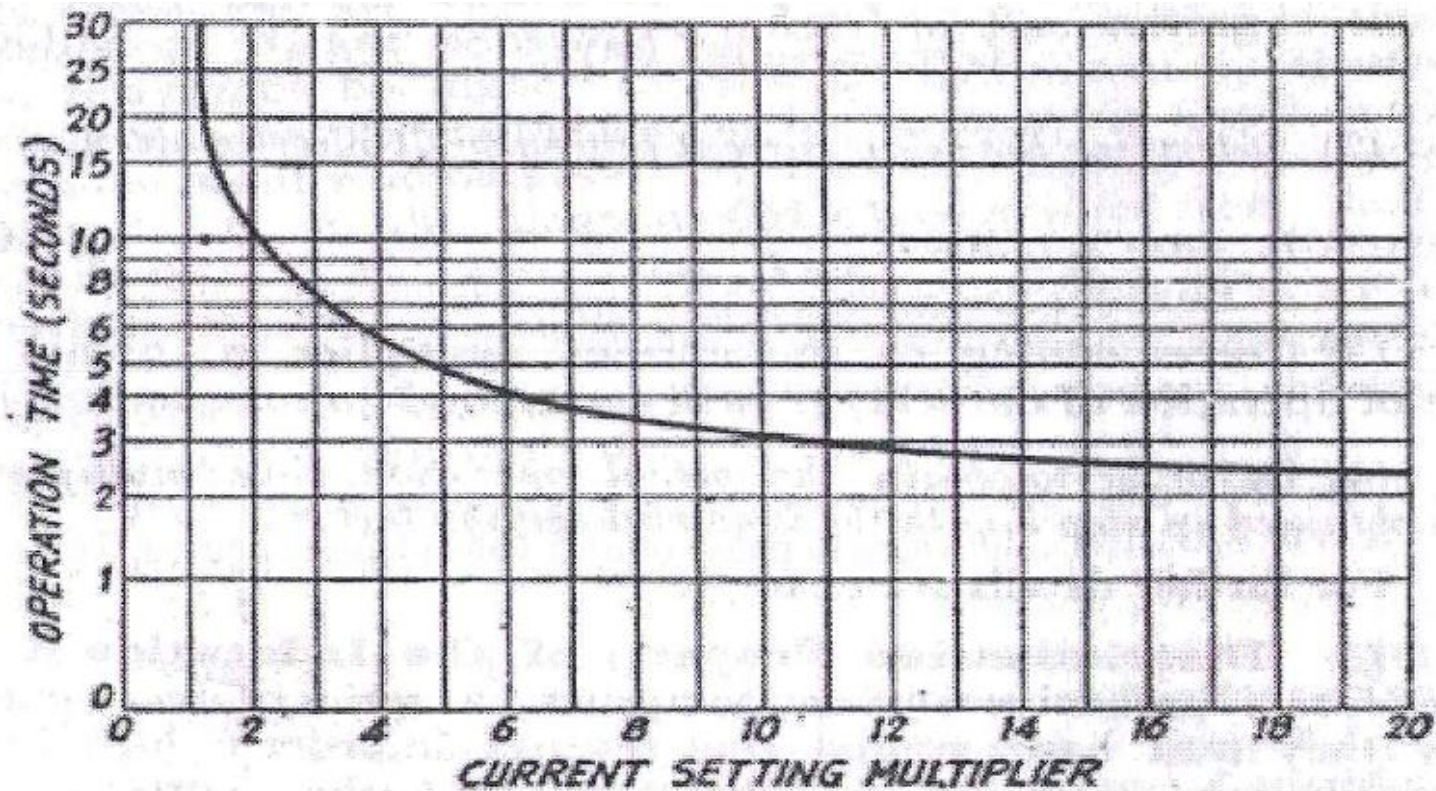
I rele di questo tipo si basano sulla lettura della corrente del circuito, il relè sarà attivato con un ritardo pre-impostato (Tempo definito o indipendente) qualora la corrente rilevata è maggiore di un valore prestabilito.

Rele di protezione a tempo inverso

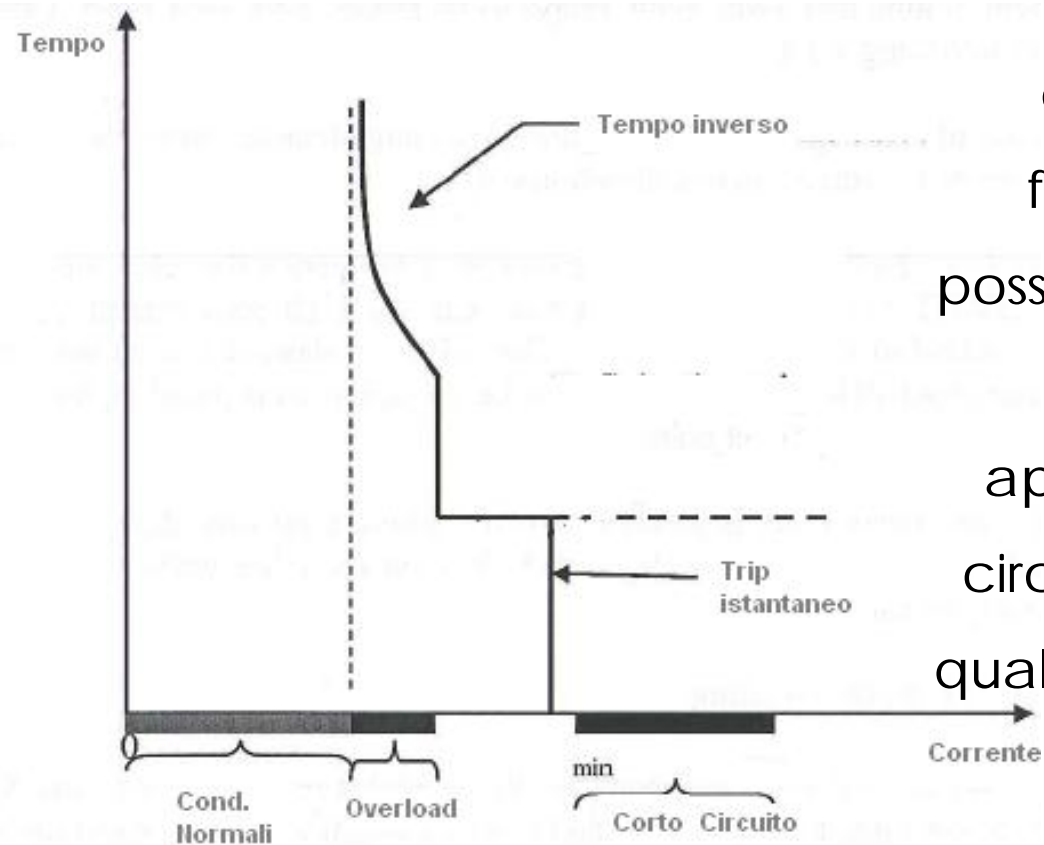
In questo caso il tempo di intervento è inversamente proporzionale all'entità del guasto.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



Basandosi su misure di corrente, tensione e/o frequenza, le protezioni possono essere programmate per disconnettere apparecchiature o parti di circuiti entro tempi specifici i quali possono dipendere dalla entità del guasto.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Fusibili

Essi sono noti per la loro semplicità di realizzazione, in caso di intervento (rottura del filamento).

Non sono ripristinabili, ma devono essere sostituiti con nuovi fusibili.

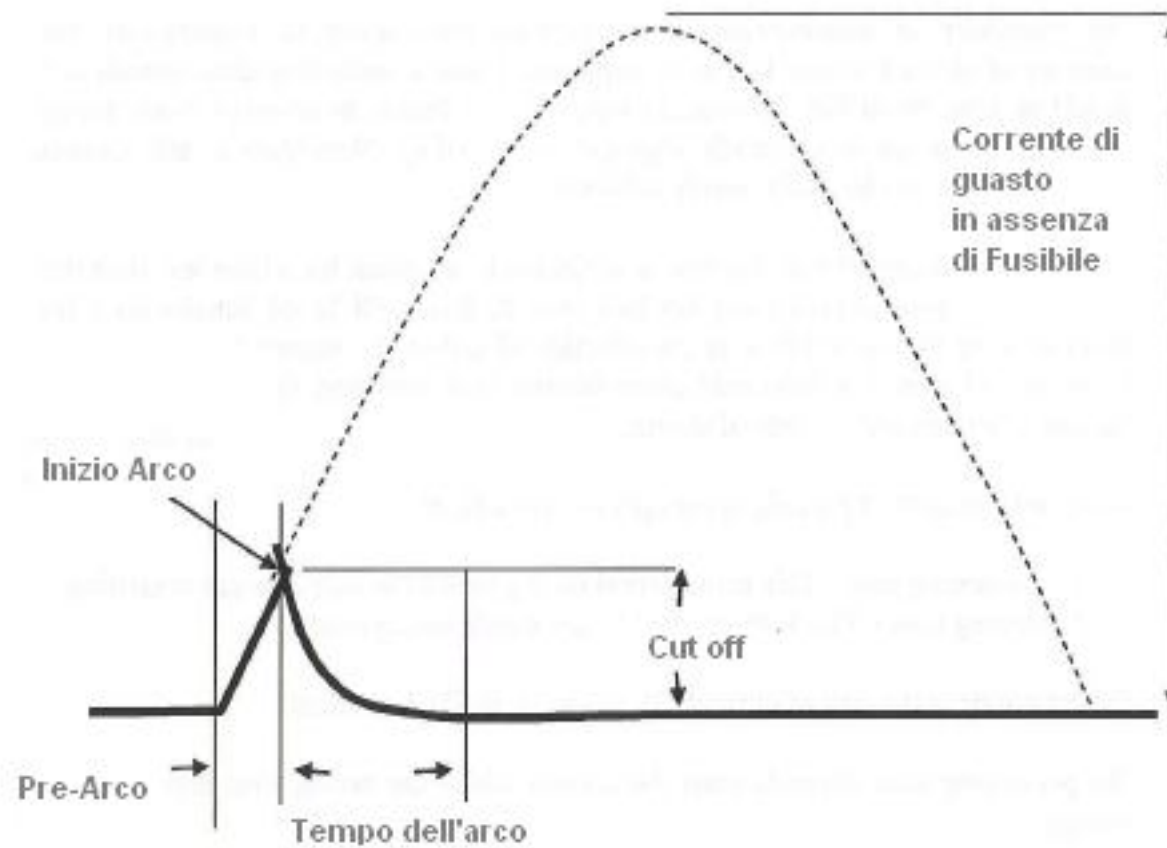
La loro funzione primaria è di interrompere le correnti di corto circuito.

Nel caso di cascata di più fusibili, la selettività può essere ottenuta se il tempo totale di intervento del fusibile a livello inferiore, è minore del tempo di pre-arco del fusibile a livello superiore.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

I fusibili



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Le protezioni per gli utenti di un network sono tipicamente divise in:

Motors feeders;

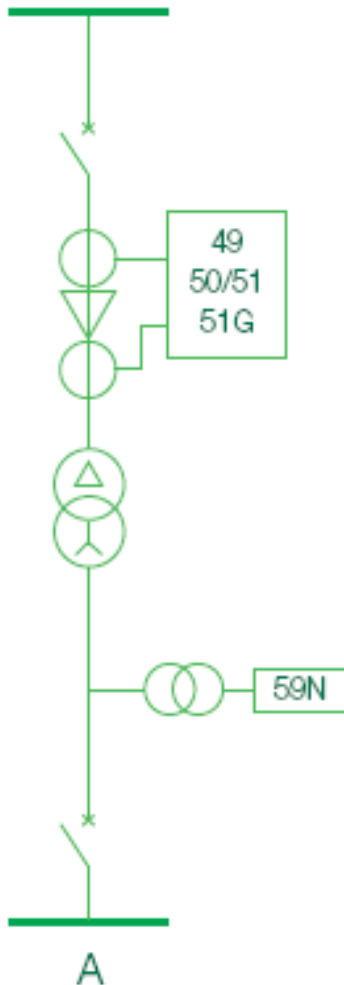
Transformers feeder.

I guasti o le condizioni anomale di funzionamento nei trasformatori e/o motori possono essere ricondotti a:

- Sovracorrenti e Cortocircuito (50) (51);
- Guasto a terra (64)
- Sovraccarico termico (49)
- Carico sbilanciato (46)
- Rotore bloccato (51LR)



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



'49' protezione termica per sovraccarico

Il sovraccarico di un trasformatore corrisponde ad un aumento di temperatura interna alla macchina e come conseguenza una riduzione di vita, **la protezione è di tipo a tempo dipendente inverso**.

'51/50' protezione di massima corrente

Codice 50: per la Norma si tratta di una protezione di massima corrente di tipo istantaneo. La definizione di relè istantaneo era valida per i relè elettromeccanici, oggi le varie soglie dei relè di massima corrente hanno sempre la possibilità di introdurre un ritardo. Nella prassi comune è considerata la protezione di massima corrente che individua correnti forti tipiche del cortocircuito;

Codice 51: per la Norma si tratta di una protezione di massima corrente del tipo a tempo dipendente (tempo inverso). Nella prassi comune si utilizza il codice 51 sia un relè di massima corrente con caratteristica a tempo dipendente (inverso) che con caratteristica a tempo indipendente (definito). In generale è considerata la protezione di massima corrente che individua correnti deboli tipiche del sovraccarico o dei cortocircuiti ad elevata impedenza di guasto.

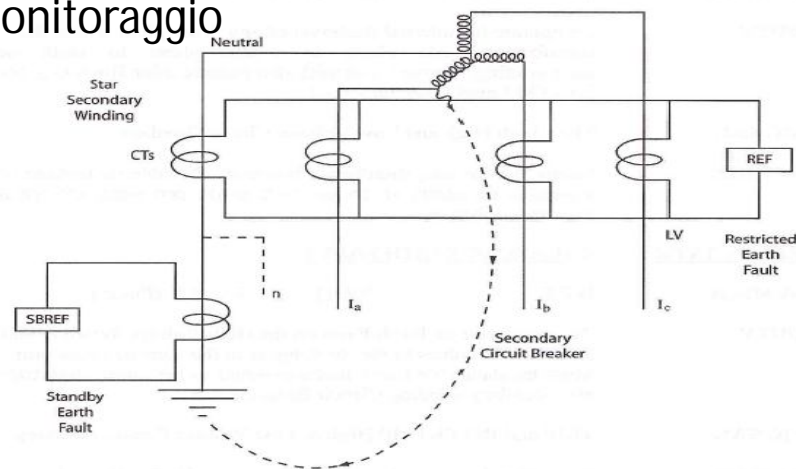
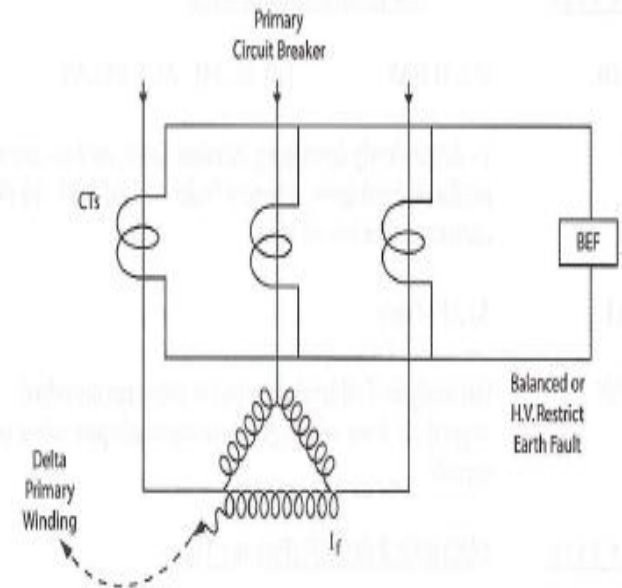


I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Nel caso di un trasformatore con primario a Delta, si considerano 3 TA (trasformatori di corrente) in modo da leggere le tre correnti di fase, in condizioni normali la somma delle correnti è zero.

In caso di guasto verso terra il sistema di correnti è Sbilanciato ed apre!

Nel caso di trasformatore con avvolgimento a Stella, Il principio è lo stesso e se il neutro è collegato a terra abbiamo un extra TA per il monitoraggio della corrente di guasto a terra.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

Le protezioni principali sono:

Overfrequency (81>)

Underfrequency (81<)

Undervoltage (27)

Le protezioni di under voltage sono utilizzate per:

- disconnettere grossi motori in caso di abbassamento della tensione,
- bloccare il breaker in posizione di aperto se la tensione è al di sotto di un valore minimo accettabile.

A seguito di un black out, ad esempio, tutti gli utenti precedentemente connessi alla rete devono essere riconnessi manualmente (essi non restano connessi alla sbarra durante il black out).



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

I guasti nei generatori possono essere suddivisi in due categorie principali:

a) Funzionamenti e condizioni di lavoro anormali quali:

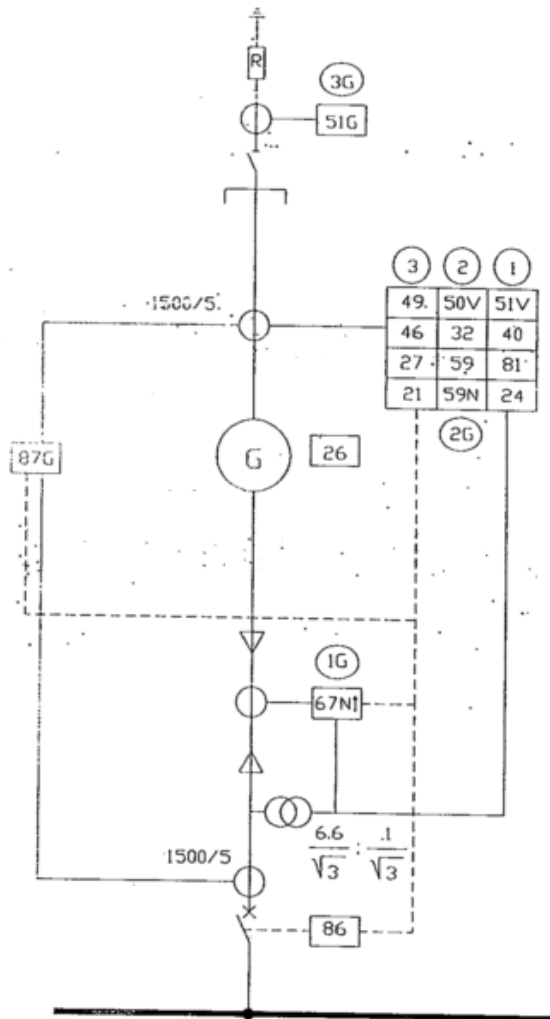
- sovraccarico;
- sovravelocità o rallentamenti;
- massima e minima tensione;
- carichi squilibrati;
- guasti di eccitazione (circuito di campo o regolatore di tensione);
- guasti del motore primo (o del regolatore di velocità).

b) Guasti all'isolamento, quali:

- guasti a terra (inclusi i guasti di rotore);
- guasti fase-fase e trifase;
- guasti tra le spire della stessa fase.



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



“46’ protezione di massima corrente di sequenza inversa

I carichi trifasi equilibrati producono una reazione di campo nello statore che ruota in sincronismo con il rotore. In presenza di carichi squilibrati la componente di sequenza inversa nella corrente di statore induce una corrente nel rotore con frequenza doppia della nominale. Questa corrente che percorre l’avvolgimento di rotore causa gravi riscaldamenti nel rotore.

Condizioni di carichi squilibrati possono essere imposte dalla rete esterna al generatore ad esempio da:

- carichi monofase;
- impedenze diverse tra le fasi (es.: differente serraggio morsetti di fase);
- circuito aperto su di una linea di trasmissione;
- guasti tra le spire;

‘32’ protezione di potenza inversa (ritorno d’energia)

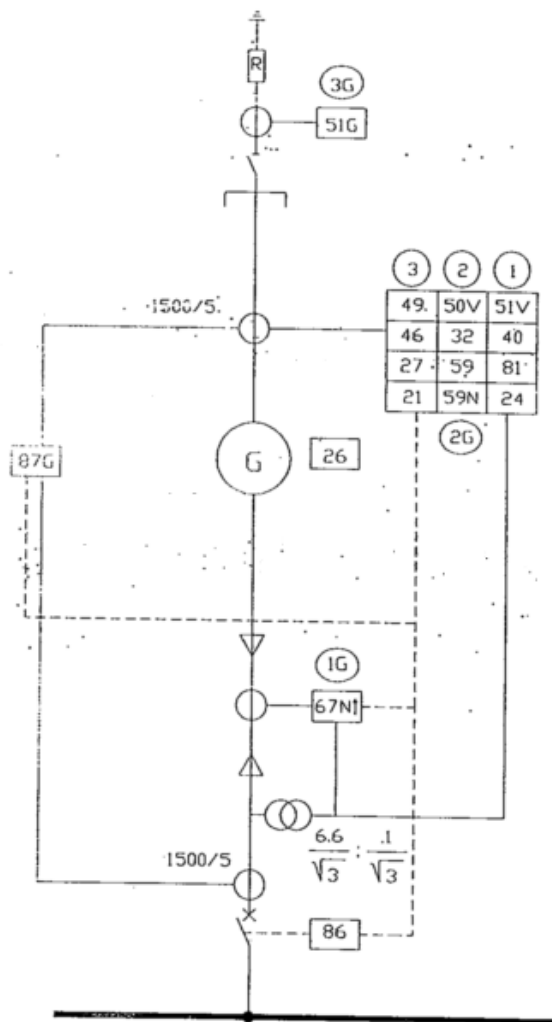
Quando, il generatore funziona come motore e la potenza attiva necessaria per mantenere in rotazione la macchina viene prelevata dalla rete. La regolazione della protezione deve essere calcolata per non provocare interventi intempestivi in condizioni transitorie quali ad esempio la messa in parallelo.

‘40’ protezione per guasti di eccitazione (mancanza campo)

La regolazione della protezione deve essere calcolata per non provocare interventi intempestivi in condizioni transitorie quali ad esempio la messa in parallelo della macchina con altre sorgenti



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



“87G” Protezione differenziale

La protezione principale dell'avvolgimento di statore viene affidata ad un relè differenziale a ritenuta.

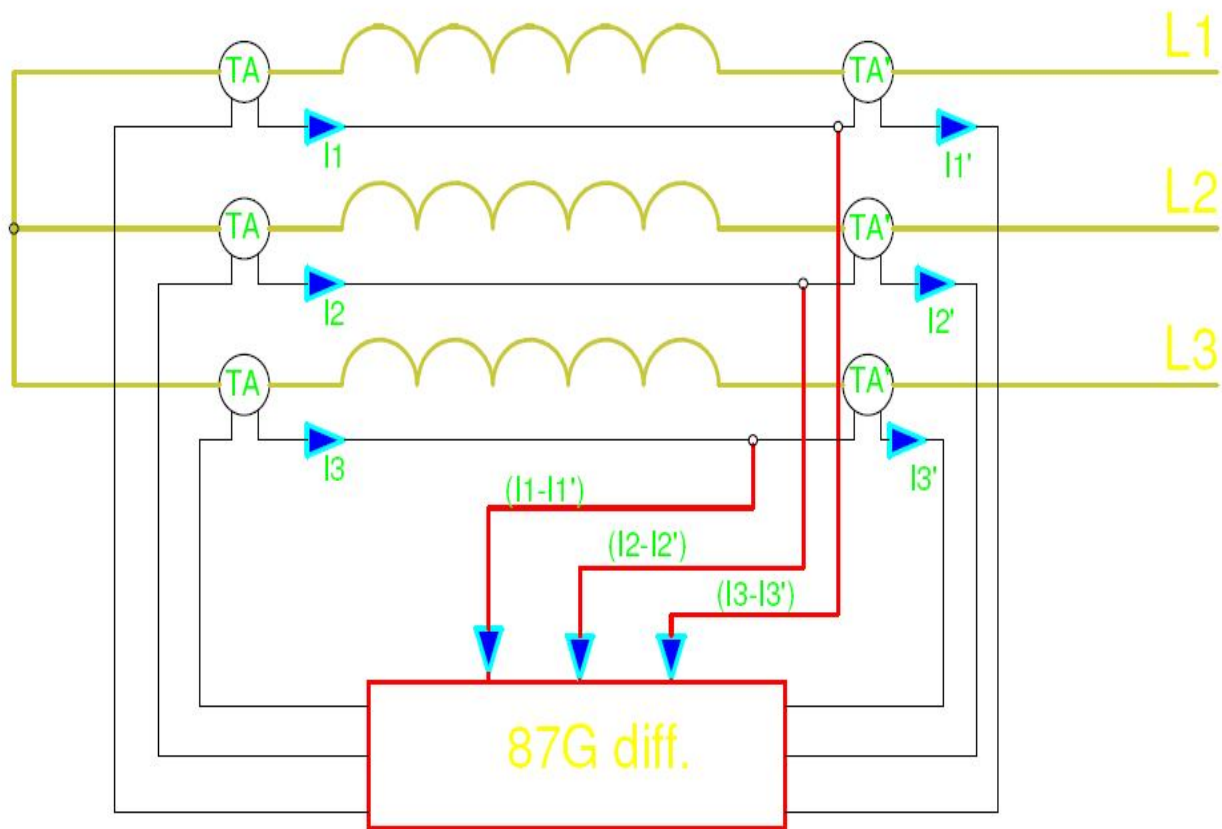
Questo relè confronta i valori di corrente ai terminali di ciascuna fase dell'avvolgimento e interviene quando la corrente differenziale supera il valore di taratura del relè; con ciò assicura anche una protezione contro i guasti fasi fase all'interno dell'avvolgimento di statore.

Al fine di ottenere una migliore stabilità per guasti esterni, il relè è normalmente di tipo compensato per incrementare il valore di intervento in caso di guasto passante (guasto esterno).

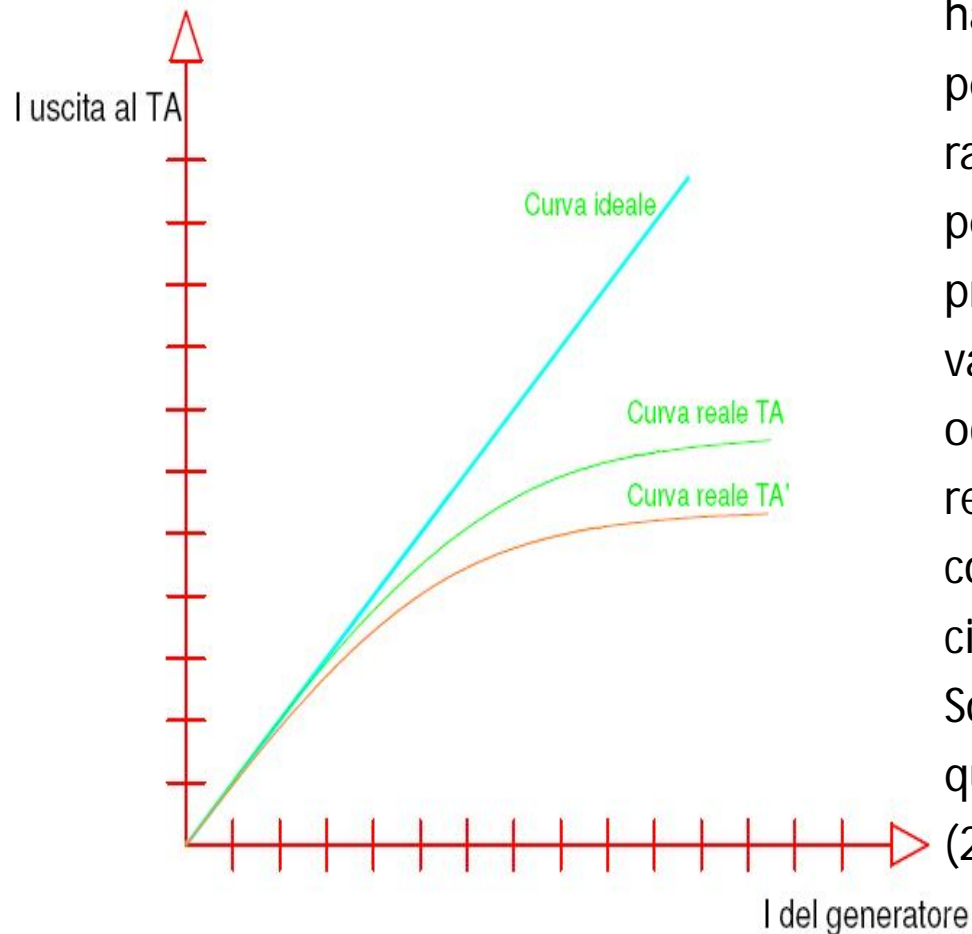
L'utilizzo della protezione differenziale può consentire di individuare anche i guasti a terra all'interno della zona protetta, ma la sua sensibilità è limitata dal valore della corrente di guasto a terra (decine di ampere in caso di neutro compensato).



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO



In generale, poiché i TA non solo non hanno rapporto di trasformazione perfettamente eguale $k_1 \neq k_2$, ma tale rapporto varia secondo due curve distinte per i due TA e dipende dalla “storia” pregressa dei nuclei magnetici, al variare della corrente primaria, occorrerebbe diminuire la sensibilità del relè aumentando il valore minimo di corrente per il quale il relè chiude il circuito di sgancio dell’interruttore. Soglie impostate sono dell'ordine di qualche % della corrente nominale: (2-4-5-7-8-14 % I_n)



I SISTEMI DI PROTEZIONE E LORO SEQUENZA DI INTERVENTO

I criteri che seguono sono, in genere, presi in considerazione dal PMS per l'avviamento di un DG in stand by:

- DG failure
- Richiesta di più potenza
- Blackout
- Overload, Underfrequency.
- Più in generale attivazione dei relè di protezione

A seconda del tipo di protezione intervenuta, il PMS può fermare immediatamente il DG, aprire bus tie e/o interconnettori, o semplicemente aprire l'interruttore del DG "difettoso" ma lasciarlo running.

In ogni caso quando un breaker viene trippato per intervento della protezione, esso è in genere locked out (K86) ed settato in "Manuale" al fine di evitare richiusure indesiderate. E, compito dell'operatore resettarlo e rimetterlo in automatico quando è stato risolto il problema

