

# Novità introdotte nella terza edizione della norma CEI 0-16 per il sistema di protezione di interfaccia (SPI) degli utenti attivi.

Il Sistema di Protezione di Interfaccia (SPI), associato al Dispositivo Di Interfaccia (DDI), è composto da:

- *trasformatori/trasduttori di tensione, con le relative connessioni al relè di protezione;*
- *relè di protezione di interfaccia (PI) con relativa alimentazione;*
- *circuiti di apertura dell'interruttore.*

In attesa di una infrastruttura di rete di comunicazione del Distributore (DSO) che implementi la funzione di telescatto dei dispositivi di interfaccia (DDI) degli utenti attivi, la Guida Tecnica/Allegato A70 di Terna ha richiesto urgentemente modifiche alla **logica di funzionamento delle protezioni di frequenza dei SPI**, in ragione di due diversi obiettivi:

- **garantire il distacco rapido della generazione** in occorrenza di guasti sulla rete a cui è connessa, consentendo il successo delle richiuse automatiche tripolari presenti nelle reti di distribuzione MT e a beneficio della qualità del servizio; tale risultato è conseguibile con il ricorso a **soglie restrittive di frequenza**;
- **garantire il mantenimento di connessione della generazione alla rete** in caso di variazione lenta della frequenza (variazione che accompagna tipicamente perturbazioni sulla rete AT). Il risultato è conseguibile con il ricorso a **soglie permissive di frequenza**.

La discriminazione tra i due comportamenti anzidetti è affidata alla logica di sblocco voltmetrico introdotta proprio dalla **Guida Tecnica/Allegato A70** di Terna. Tale logica abilita le soglie restrittive di massima e minima frequenza (rapide e ad alta sensibilità) solo in occorrenza di guasti sulla rete MT; invece per variazioni di frequenza di altra origine (ad esempio quelle che interessano la rete AT) risultano abilitate le sole soglie permissive (ritardate e a bassa sensibilità).

La **terza edizione della Norma CEI 0-16** ha introdotto, per i sistemi di protezione SPG e SPI, la corretta definizione delle tipologie dei trasformatori di misura sia voltmetrici che amperometrici destinati all'uso con apparecchiature elettriche di misura e con dispositivi di protezione che funzionano a frequenze nominali comprese tra 15 Hz e 100 Hz, con chiari riferimenti alle normative di prodotto.

- **TA-I: Trasformatori di corrente di tipo induttivo, conformi alla norma CEI EN 60044-1**
- **TA-NI: Trasformatori di corrente non induttivi, conformi alla norma CEI EN 60044-8**, tipologie di trasformatori di recente apparizione sul mercato, si basano su una tecnologia che annovera tra i componenti dispositivi ottici equipaggiati con componenti elettrici, su bobine del tipo in aria (con o senza integratore incorporato), su bobine con nucleo in ferro con uno shunt integrato, utilizzato come convertitore corrente-tensione, o equipaggiati con componenti elettronici. Il loro principio di funzionamento è sempre basato sulle leggi dell'induzione elettromagnetica.
- **TV-I: Trasformatori di tensione di tipo induttivo, conformi alla norma CEI EN 60044-2**
- **TV-NI: Trasformatori di tensione non induttivi, conformi alla norma CEI EN 60044-7**. Anche queste tipologie di trasformatori sono di recente apparizione sul mercato. Costruttivamente sono dei divisori capacitivi o capacitivi-resistivi; essi sono altresì degli apparecchi privi di avvolgimenti su nucleo magnetico.

Sono state inoltre recepite le esigenze di semplificare l'installazione dei trasformatori di misura del SPI nei quadri elettrici, rendendone possibile anche l'installazione a valle del Dispositivo di Interfaccia (DDI) oltre che a monte. Circa i TV, sia induttivi (TV-I) che non induttivi (TV-NI), la Norma ha fissato le seguenti regole:

- la frequenza, le tensioni concatenate e/o di fase, le tensioni di sequenza diretta e inversa devono essere misurate mediante TV-I collegati fra due fasi MT o BT, oppure direttamente da tensioni concatenate in BT (senza impiego di TV) oppure mediante TV-NI collegati fase-terra. La misura di frequenza con TV induttivi (TV-I) fase-terra non è ammessa. Per tali TV è ora richiesta la classe di precisione 0,5-3P. La tensione residua deve essere misurata direttamente da TV-I stella-triangolo aperto oppure come somma vettoriale delle tre tensioni di fase misurate da TV-I o TV-NI inseriti fase-terra.

- Se i TV-I sono posizionati a valle del Dispositivo Generale (DG) e dei TA di fase del Sistema di Protezione Generale (SPG) non sono richieste protezioni dei TV-I, mentre, se posizionati a monte del DG o dei TA di fase del SPG, i TV-I devono essere protetti sul lato MT con un IMS combinato con fusibili ( $I_n \leq 6,3 A$ ).

- Qualunque protezione dei TV induttivi stella-triangolo aperto per misura di tensione residua (magnetotermici, fusibili, ecc), in caso di intervento, deve determinare l'apertura del DDI.

- E' ammessa l'installazione dei TV-NI a monte del DG o dei TA di fase del SPG senza necessità di alcuna protezione, in quanto la Norma ha ritenuto trascurabile la possibilità che i TV-NI introducano guasti sulla rete MT.

- I TV-I o TV-NI per la misura di frequenza, sono di norma da installare a monte del DDI. Per i soli generatori statici (ed asincroni non autoeccitati), è comunque ammesso installarli a valle del DDI purché il SPI sia dotato di un automatismo tale da escludersi all'apertura del DDI e da impostare automaticamente i tempi di intervento delle soglie  $81 > .S2, 81 < .S2, 59N$  a  $0,20 s$  per un tempo di almeno  $30 s$  dopo la chiusura del DDI.

- È ammesso l'impiego di TV-I con due avvolgimenti secondari, uno per misura e il secondo per protezione, seppur alimentati dallo stesso avvolgimento primario.

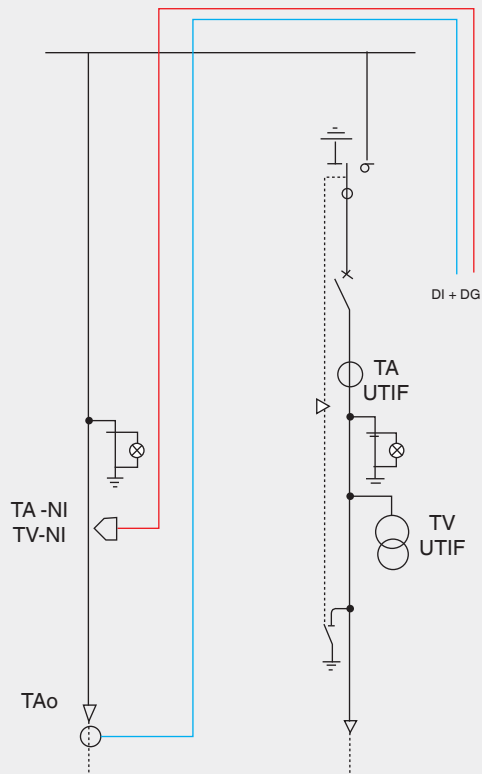
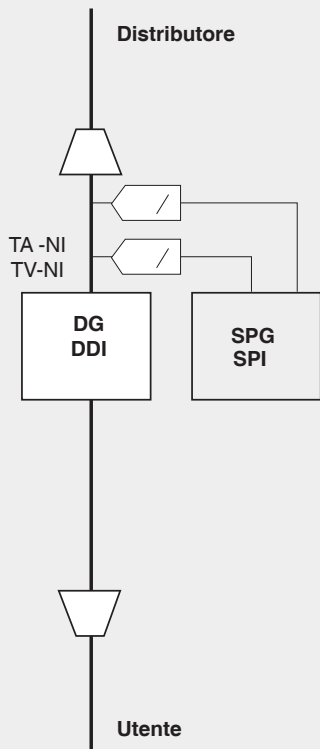
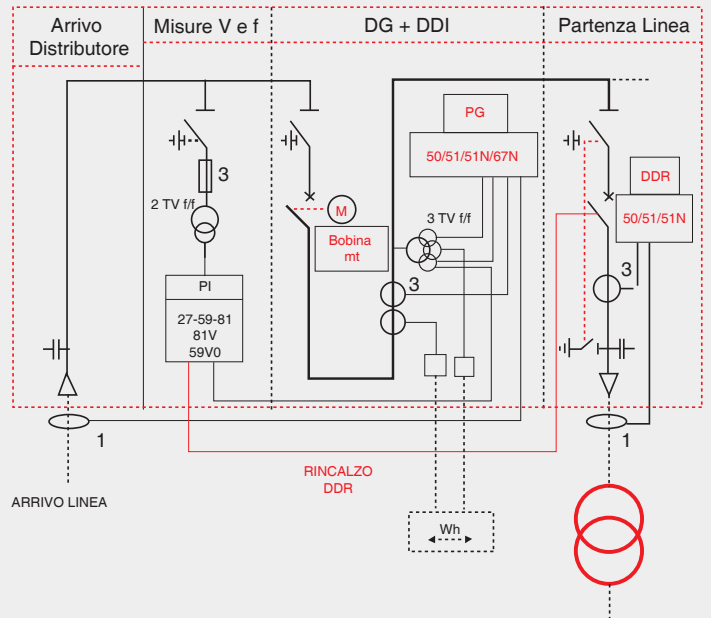
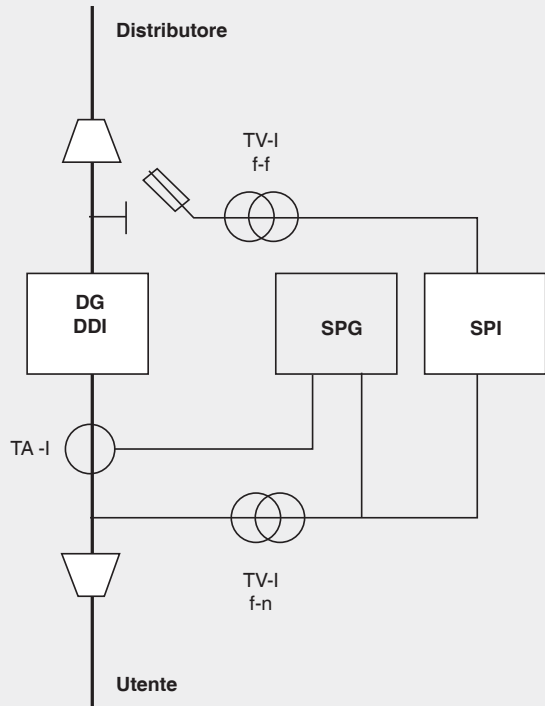
- I TV-I o TV-NI per la misura di tensione residua sono di norma da installare a monte del DDI. E' comunque ammesso installarli a valle purché i generatori statici o asincroni non autoeccitati attendano un tempo di almeno  $30 s$  prima di effettuare il parallelo con la rete MT del DSO, oppure per tutti i generatori (ad eccezione dei generatori sincroni), purché il SPI sia dotato di un automatismo tale da escludersi all'apertura del DDI e da impostare automaticamente i tempi di intervento delle soglie  $81 > .S2, 81 < .S2, 59N$  a  $0,20 s$  per un tempo di almeno  $30 s$  dopo la chiusura del DDI.

- I collegamenti tra i TV per la misura di tensione residua ed il relè di protezione di interfaccia (PI) deve essere realizzato mediante cavo bipolare twistato e schermato di sezione  $\geq 1,5 \text{ mm}^2$  (se PI e TV-I risiedono all'interno dello stesso locale/cabina) oppure con cavo bipolare twistato, schermato e armato di sezione  $\geq 1,5 \text{ mm}^2$  se PI e TV-I non risiedono nello stesso locale/cabina. La funzione garantita dall'armatura del cavo può essere assolta con misure alternative che garantiscano un'opportuna protezione meccanica. Se PI e TV fanno parte dello stesso quadro MT, il collegamento tra le due apparecchiature può essere realizzato con normali conduttori non twistati non schermati e non armati.

- In caso di SPI con misure di frequenza in BT e distanze elevate dai TV di tensione residua (oltre  $300 \text{ m}$ ), è ammesso incorporare la funzione  $59N$  ed installarla in prossimità di tali TV. In tal caso la protezione  $59N$  deve inviare alla PI sia lo scatto sia l'avviamento per sblocco voltmetrico. Con tale soluzione deve essere previsto un opportuno monitoraggio di continuità della connessione tra protezione  $59N$  e PI, prevedendo l'apertura del DDI qualora la connessione risulti assente.

Di seguito sono riportati due esempi di schemi di posizionamento dei TA e TV del SPG e SPI; per ulteriori schemi si rimanda comunque all'allegato H - Norma CEI 0-16.

Di seguito sono riportati due esempi di schemi di posizionamento dei TA e TV del SPG e SPI; per ulteriori schemi si rimanda comunque all'allegato H della Norma CEI 0-16.



## Caratteristiche dell'UPS.

L'UPS, al fine di garantire la massima continuità di servizio, deve avere le seguenti minime caratteristiche:

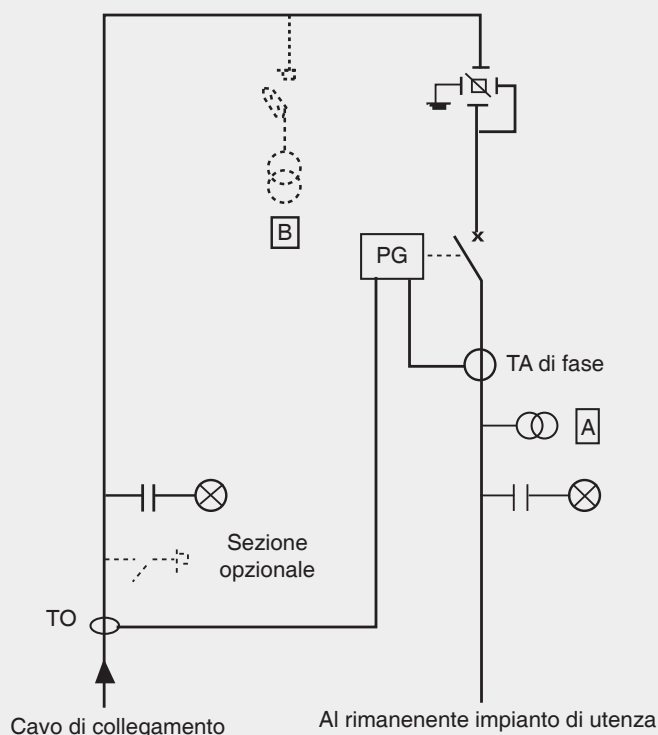
- Consentire la rienergizzazione dell'impianto a seguito di una pro-lungata mancanza dell'alimentazione all'UPS; è necessario che quest'ultimo sia provvisto di un accorgimento tale da mantenere una carica residuale sufficiente alla chiusura dell'in-teruttore generale. La funzionalità cold start (partenza senza rete di alimentazione presente) è fondamentale;
- Evitare qualsiasi forma di micro interruzione nel momento del pas-saggio da funzionamento da rete a funzionamento da batteria. Per questo l'UPS deve essere a tempo d'intervento zero (on line a doppia conversione - Voltage and Frequen-

cy Independent VFI);

- Fornire un'alimentazione con una forma d'onda di tensione sinusoidale; rammentiamo che le bobine a mancanza di tensione sono dei componenti elettromeccanici che se alimentati con onde di tensione non propriamente sinusoidali possono essere sede di ulteriori perdite con conseguenti surriscaldamenti tali da comprometterne l'integrità e quindi essere causa di prolungati fuori servizio;
- Predisporre almeno un allarme che evidenzi immediatamente la mancanza dell'alimentazione normale e il passaggio a quella di emergenza, al fine di consentire il sollecito avvio degli opportuni interventi per il tempestivo ripristino dell'alimentazione ausiliaria.

## Implicazioni costruttive della norma e riferimento ai Quadri MT.

Il DG deve essere costituito da una o più apparecchiature che realizzano le funzioni di sezionamento e apertura del circuito di collegamento tra il punto di consegna e l'impianto utente. Nel caso di due organi distinti, sezionatore ed interruttore, la loro sequenza nello schema della figura seguente

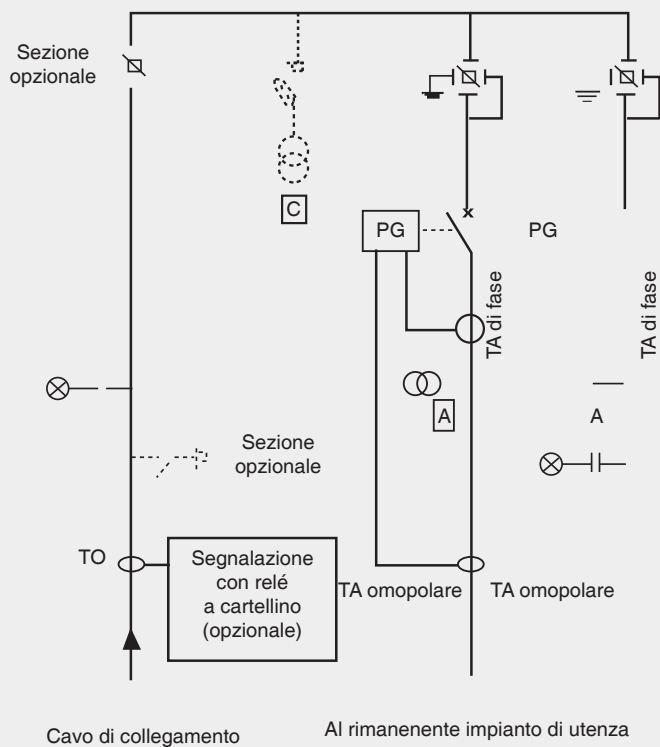


NOTA - Il TV tratteggiato in derivazione sulla sbarra, indicato con B, è un'alternativa alla soluzione indicata con A (soluzione consigliata)

(Schema di impianto di utenza per la connessione: caso generale) può essere invertita. L'utente ha facoltà di adottare soluzioni diverse da quelle indicate nella **Norma per realizzare il DG** cioè l'apparecchiatura o le apparecchiature di potenza che sezionano o interrompono il collegamento con il distributore a condizione che siano state provate le funzioni di sezionamento, CEI EN 62271-102 e di interruzione, CEI EN 62271-100. Gli schemi e le apparecchiature prescritte per il DG devono essere integrati degli apparecchi necessari alla conduzione dell'impianto; per esempio verso il trasformatore MT/BT deve essere prevista la messa a terra del cavo di alimentazione dell'impianto utente per la manutenzione periodica. La scelta dello schema con doppio montante deve essere attentamente ponderata perché in caso di ampliamento dell'impianto le modifiche necessarie per aggiungere anche una sola partenza interessano tutte le unità funzionali del quadro di media tensione e l'intero sistema di protezione.

Nel testo della Norma si legge: *"Le apparecchiature MT, in particolare quelle del DG, devono essere costantemente mantenute efficienti dall'utente"* e si prosegue ricordando con quale schema si possa minimizzare il costo della manutenzione del quadro di media tensione al fine di non dover richiedere l'intervento del distributore per la messa in sicurezza del cavo di collegamento.

Per realizzare lo stesso obiettivo si possono utilizzare quadri di media tensione e connettori cavi esenti da manutenzione utilizzando per esempio Gas Insulated Switchgear. Per gli impianti realizzati con apparecchiature di distribuzione secondaria (fino a 630 A, 16kA) non è da trascurare anche la possibilità di prevedere una partenza di scorta del quadro di media tensione che in fase di prima installazione costa molto meno di un'eventuale ampliamento successivo.



NOTA - Il TV tratteggiato in derivazione sulla sbarra, indicato con C, è un'alternativa alla soluzione indicata con A e B

La **Norma CEI 0-16** prescrive che l'impianto di utenza per la connessione debba sempre essere collegato alla rete mediante attraverso uno o più dispositivi di sezionamento ed interruzione. In particolare sono sempre necessari i seguenti dispositivi:

- **Sezionatore generale**, posto immediatamente a valle del punto di connessione e destinato a sezionare l'impianto di utenza dalla rete;

- **Interruttore generale**, posto immediatamente a valle del sezionatore generale e in grado di escludere dall'impianto di rete per la connessione l'intero impianto di utenza. Tale dispositivo è normalmente da prevedere per tutte le tipologie di utenti.

L'insieme di sezionatore generale e interruttore generale, tipicamente realizzato in un unico involucro, è definito **Dispositivo Generale (DG)**. Il DG si concretizza quindi nella forma di un quadro elettrico di media tensione.

L'interruttore generale può essere omesso pur

di rispettare tutte le seguenti condizioni:

- la sbarra dell'utente sia posta immediatamente a valle del punto di connessione e sia equipaggiata al più con una terna di trasformatori/trasduttori voltmetrici;

- a tale sbarra siano attestati non più di due montanti con interruttore di protezione (entrambe le condizioni sono illustrate nella figura seguente).

In caso di omissione del dispositivo generale (DG), le funzioni normalmente attribuite a tale dispositivo sono assolte dai dispositivi immediatamente attestati alla sbarra utente (dispositivi di montante), su ciascuno dei quali si devono prevedere le protezioni e le regolazioni tipiche del DG. La funzione di sezionamento per il sezionatore di linea deve essere conforme alla **Norma CEI EN 62271 – 102** se fisso, oppure alla **Norma CEI EN 62271-200** se la funzione di sezionamento viene conseguita mediante l'estraibilità dell'interruttore.

## Il Dispositivo di Interfaccia secondo la Norma CEI 0-16.

Qualora il DDI sia installato sul livello MT, esso deve essere costituito da:

- **un interruttore tripolare in esecuzione estraibile** con sganciatore di apertura a mancanza di tensione, oppure

- **un interruttore tripolare con sganciatore** di apertura a mancanza di tensione e un sezionatore installato a monte o a valle dell'interruttore; l'eventuale presenza di due sezionatori (uno a monte e uno a valle del DDI) è da prendere in considerazione da parte dell'utente, in funzione delle necessità di sicurezza in fase di manutenzione.

Qualora il DDI sia installato sul livello BT, esso deve essere costituito da un interruttore automatico con bobina di apertura a mancanza di tensione manovrabile dall'operatore, ovvero da un contattore coordinato con dispositivi di protezione da cortocircuito atti al sezionamento (fusibili) conforme alla Norma CEI EN 60947-4-1 (categoria AC-1 o AC-3 rispettivamente in assenza o presenza di carichi privilegiati fra l'uscita in c.a. del sistema di generazione e dispositivo di interfaccia).

# Dimensionamento dei conduttori di terra e di protezione.

Il conduttore di terra deve essere in grado, anche in funzione delle condizioni di posa, di:

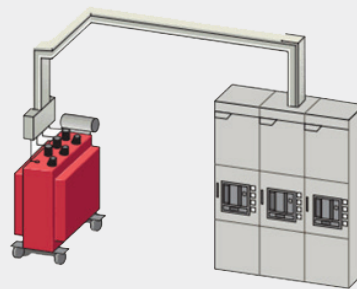
- portare al dispersore la corrente di guasto;
- resistere alla corrosione;
- resistere ad eventuali sforzi meccanici.

Le condizioni di cui sopra si ritengono convenzionalmente soddisfatte quando i conduttori di terra hanno sezioni non inferiori a quelle indicate in Tab.1.

Tabella – Sezioni minime dei conduttori di terra

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

# Tabelle Trasformatori



collegamento di un trasformatore ad un quadro di distribuzione

KVA	Perdite a vuoto 75°C	Perdite a carico 75°C	Perdite a carico 120°C	Tensione di corto circuito %	LpAdb(A)	Peso Totale Kg	Lunghezza mm	Larghezza mm	Altezza mm	Interasse ruote mm
50	260	700	805	6	50	500	1.060	650	980	520
100	400	2.050	2.358	6	51	600	1.100	650	1.200	520
160	550	3.100	3.565	6	52	750	1.300	730	1.250	520
250	750	3.500	4.025	6	54	1.000	1.300	700	1.400	520
315	900	4.000	4.600	6	55	1.150	1.350	850	1.400	670
400	1.000	5.850	6.728	6	56	1.350	1.450	850	1.400	670
500	1.150	6.300	7.245	6	57	1.550	1.450	800	1.600	670
630	1.350	7.600	8.740	6	58	1.800	1.550	800	1.600	670
800	1.550	9.200	10.580	6	59	2.100	1.450	1.000	1.750	670
1.000	2.100	11.000	12.650	6	60	2.500	1.550	1.050	1.850	820
1.250	2.150	13.000	14.950	6	62	2.850	1.550	1.050	1.850	820
1.600	2.600	15.000	17.250	6	64	3.500	1.800	1.300	2.200	820
2.000	3.600	18.500	21.275	6	65	4.550	1.850	1.300	2.300	1.070
2.500	4.100	22.000	25.300	6	66	4.900	1.950	1.350	2.300	1.070
3.150	4.500	25.000	28.750	6	69	5.200	1.950	1.350	2.300	1.070

Tab. a – Conformi alle norme CEI EN 60076-1 - Trasformatori Resina Perdite Normali - CEI 14-8

KVA	Perdite a vuoto 75°C	Perdite a carico 75°C	Perdite a carico 120°C	Tensione di corto circuito %	LpAdb(A)	Peso Totale Kg	Lunghezza mm	Larghezza mm	Altezza mm	Interasse ruote mm
50	260	600	690	6	50	500	1.060	650	980	520
100	400	1.680	1.932	6	51	600	1.100	650	1.200	520
160	500	2.450	2.818	6	52	750	1.300	730	1.250	520
250	670	2.900	3.335	6	54	1.000	1.300	700	1.400	520
315	850	3.850	4.428	6	55	1.150	1.350	850	1.400	670
400	940	4.700	5.405	6	56	1.350	1.450	850	1.400	670
500	1.100	5.600	6.440	6	57	1.550	1.450	800	1.600	670
630	1.270	6.900	7.935	6	58	1.800	1.550	800	1.600	670
800	1.500	8.000	9.200	6	59	2.100	1.450	1.000	1.750	670
1.000	1.750	9.600	11.040	6	60	2.500	1.550	1.050	1.850	820
1.250	1.950	11.400	13.110	6	62	2.850	1.550	1.050	1.850	820
1.600	2.400	14.000	16.100	6	64	3.500	1.800	1.300	2.200	820
2.000	3.100	17.200	19.780	6	65	4.550	1.850	1.300	2.300	1.070
2.500	3.800	20.000	23.000	6	66	4.900	1.950	1.350	2.300	1.070
3.150	4.500	21.500	24.725	6	69	5.200	1.950	1.350	2.300	1.070

Tab. b – Conformi alle norme CEI EN 60076-1 - Trasformatori Resina Perdite Ridotte - CEI 14-12 DIN 42.523

<i>KVA</i>	<i>Perdite a vuoto W</i>	<i>Perdite in cc W</i>	<i>Tensione di corto circuito %</i>	<i>Corrente a vuoto W</i>	<i>Peso Olio Kg</i>	<i>Peso Totale Kg</i>	<i>Lunghezza mm</i>	<i>Larghezza mm</i>	<i>Altezza mm</i>	<i>Interasse ruote mm</i>
50	150	850	4	1.9	130	400	900	560	1.320	420
100	250	1.400	4	1.5	170	500	970	670	1.390	520
160	360	1.850	4	1.3	200	520	1.300	720	1.450	520
250	520	2.600	4	1.1	210	520	1.320	740	1.480	520
315	630	3.200	4	1	260	1.250	1.300	900	1.500	520
400	740	3.650	4	0.9	280	1.380	1.370	930	1.530	670
630	900	5.800	4/6	0.8	300	1.790	1.550	950	1.630	670
800	1.100	7.500	6	0.7	400	2.450	1.580	980	1.700	670
1.000	1.300	9.000	6	0.7	520	2.460	1.800	1.200	1.900	820
1.250	1.800	12.000	6	0.6	640	2.480	1.850	1.200	1.930	820
1.600	2.000	13.000	6	0.5	800	3.600	1.950	1.250	2.100	820
2.000	2.400	16.000	6	0.5	900	5.400	2.600	1.610	2.180	1.070
2.500	2.900	21.000	6	0.5	1.050	5.700	2.750	1.780	2.310	1.070
3.000	3.350	24.200	6	0.4	1.250	6.200	2.800	1.820	2.380	1.070

Tab. c – Trasformatori in Olio Conformi alle norme CEI EN 60076 - 1 Perdite Ridotte ENEL - CEI - UNEL 21010/88

<i>KVA</i>	<i>Perdite a vuoto W</i>	<i>Perdite in cc W</i>	<i>Tensione di corto circuito %</i>	<i>Corrente a vuoto W</i>	<i>Peso Olio Kg</i>	<i>Peso Totale Kg</i>	<i>Lunghezza mm</i>	<i>Larghezza mm</i>	<i>Altezza mm</i>	<i>Interasse ruote mm</i>
50	290	1.400	4	6	130	400	900	530	1.300	420
100	440	2.400	4	5	170	500	950	650	1.350	520
160	600	3.500	4	4	220	520	1.200	700	1.410	520
200	700	4.250	4	4	230	520	1.200	700	1.450	520
250	800	4.900	4	3	230	520	1.250	720	1.500	670
315	920	5.950	4.5	2.8	300	1.350	1.300	910	1.500	670
400	1.060	6.950	5	2.2	300	1.380	1.350	910	1.500	670
500	1.200	8.000	5	2	340	1.740	1.400	960	1.600	670
630	1.400	9.950	6	1.9	340	1.790	1.550	1.000	1.620	670
800	1.600	11.700	6	1.8	420	2.450	1.600	1.020	1.700	670
1.000	1.800	13.900	6	1.6	500	2.460	1.800	1.150	1.880	820
1.250	2.300	15.900	6	1.5	640	2.800	1.850	1.150	1.910	820
1.600	2.700	20.400	6	1.4	790	3.800	1.950	1.250	2.050	820
2.000	3.300	26.000	6	1.4	890	5.400	2.550	1.600	2.150	1.070
2.500	3.900	31.000	6	1.3	1.000	5.700	2.750	1.700	2.300	1.070
3.000	5.050	32.000	6	1.2	1.180	6.200	2.800	1.800	2.350	1.070

Tab. d – Trasformatori in Olio Conformi alle norme CEI EN 60076 - 1 Perdite Ridotte ENEL - CEI - UNEL 21001/74

Tab. 1 – Barre in Lega di Alluminio

<b>Intensità Nominale (A)</b>		<b>800</b>	<b>1000</b>	<b>1250</b>	<b>1400</b>	<b>1600</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3200</b>	<b>3600</b>	<b>4000</b>
Formazione del Sistema		1	1	1	1	1	2	2	2	3	3
Numero bulloni per giunto		condotto	condotto	condotto	condotto	condotto	condotti	condotti	condotti	condotti	condotti
Dim. del Sistema (mm)		1x1	1x1	1x2	1x2	1x2	2x1	2x2	2x2	3x2	3x2
Numero e dimensioni barre e fase (mm)		190x137	190x137	254x137	254x137	254x137	344x137	472x137	472x137	690x137	690x137
Sez. fase e neutro (mmq)		1	1	1	1	1	2	2	2	3	3
Tens. nominale di isolamento U <sub>i</sub> (V)		(75x6.45)	(100x6.45)	(130x6.45)	(150x6.45)	(175x6.45)	(111x6.45)	(150x6.45)	(175x6.45)	(150x6.45)	(175x6.45)
Tens. di prova dielettrica in c.a. V <sub>eff</sub> (V)		484	645	839	968	1129	1432	1935	2258	2903	3386
Resistenza in c.c. (mohm/100m) (1)		750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
Resistenza in c.c. (mohm/100) (2)		3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Reattanza (mohm/100m)		7.66	5.75	4.41	3.83	3.30	2.57	1.9	1.65	1.30	1.12
Impedenza (mohm/100m)		7.90	5.90	4.80	4.00	3.50	2.70	2.10	1.80	1.40	1.20
Corrente nominale accessibile di breve durata (KA) per c.c. trifase *	Trasp.	2.80	2.10	1.80	1.60	1.40	1.20	0.90	0.80	0.75	0.70
	Distr.	8.38	6.26	5.13	4.31	3.77	2.95	2.28	1.97	1.59	1.39
Corrente nominale accessibile di breve durata (KA) per c.c. fase-N *	Trasp.	100	100	100	100	100	200	200	200	300	300
	Distr.	75	75	75	75	75	150	150	150	225	225
Corrente nominale accessibile di breve durata (KA) per c.c. fase-PE *	Trasp.	60	60	60	60	60	120	120	120	180	180
	Distr.	45	45	45	45	45	90	90	90	135	135
Corrente nominale di picco ammissibile (KA) per c.c. trifase **	Trasp.	60	60	60	60	60	120	120	120	180	180
	Distr.	45	45	45	45	45	90	90	90	135	135
Corrente nominale di picco ammissibile (KA) per c.c. fase-N **	Trasp.	176	176	176	176	176	352	352	352	528	528
	Distr.	141	141	141	141	141	282	282	282	423	423
Corrente nominale di picco ammissibile (KA) per c.c. fase-PE **	Trasp.	106	106	106	106	106	211	211	211	317	317
	Distr.	85	85	85	85	85	169	169	169	254	254
Energia specifica passante ammissibile di breve durata (A <sup>2</sup> s)*10 <sup>4</sup> riferita ad 1 sec per c.c. trifase *	Trasp.	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	40.000	40.000	40.000	90.000	90.000
	Distr.	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	22.500	22.500	22.500	50.625	50.625
Energia specifica passante ammissibile di breve durata (A <sup>2</sup> s)*10 <sup>6</sup> riferita ad 1 sec per c.c. fase-N *	Trasp.	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	14.400	14.400	14.400	32.400	32.400
	Distr.	2.025	2.025	2.025	2.025	2.025	8.100	8.100	8.100	18.225	18.225
Energia specifica passante ammissibile di breve durata (A <sup>2</sup> s)*10 <sup>6</sup> riferita ad 1 sec per c.c. fase-PE *	Trasp.	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	14.400	14.400	14.400	32.400	32.400
	Distr.	2.025	2.025	2.025	2.025	2.025	8.100	8.100	8.100	18.225	18.225
Sez. cond. di protezione (mmq Fe)		2014	2014	2458	2458	2458	3735	4646	4646	6832	6832
Sez. cond. di protezione (mmq Cu)		209.5	209.5	255.6	255.6	255.6	390.3	483.1	483.1	710.5	710.5
Massa (Kg/m) Trasp.		26	28	34	34	38	57	72	76	108	114
Massa (Kg/m) Distr.		23	25	32	32	36	56	68	72	102	108
Dim. angolo diedro (mm)		400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400
Dim. angolo piano (mm)		500x500	500x500	620x620	620x620	620x620	654x654	838x838	838x838	1056x1056	1056x1056
Resistenza spirale di guasto (mohm/100m)***		18	16	13	12	11	8	7	6	4	4
Reattanza spirale di guasto (mohm/100m)***		39	37	32	32	30	21	19	18	13	12
Impedenza spirale di guasto (mohm/100m)***		<44	<42	<36	<36	<33	<24	<22	<20	<15	<15
Resistenza spirale di guasto (mohm/100m)****		15.80	11.80	9.60	8.00	7.00	5.40	4.20	3.60	2.80	2.40
Reattanza spirale di guasto (mohm/100m)****		2.80	2.10	1.80	1.60	1.40	1.20	0.90	0.80	0.75	0.70
Impedenza spirale di guasto (mohm/100m)****		16.05	15.21	9.77	8.16	7.14	5.53	4.30	3.69	2.90	2.50

Tab. 1 – Barre in Rame

Intensità Nominale (A)		1000	1200	1350	1600	2000	2500	3200	3600	4000	5000
Formazione del Sistema		1 condotto	1 condotto	1 condotto	1 condotto	2 condotti	2 condotti	2 condotti	2 condotti	3 condotti	3 condotti
Numero bulloni per giunto		1x1	1x1	1x2	1x2	2x1	2x1	2x2	2x2	3x1	3x2
Dim. del Sistema (mm)		190x137	190x137	190x137	254x137	344x137	344x137	472x137	472x137	498x137	690x137
Numero e dimensioni barre e fase (mm)		1 (75x6)	1 (100x6)	1 (111x6.45)	1 (130x6)	2 (75x6)	2 (111x6.45)	2 (130x6)	2 (150x6.45)	3 (111x6.45)	3 (150x6.45)
Sez. fase e neutro (mmq)		450	600	716	780	900	1432	1560	1935	2148	2903
Tens. nominale di isolamento U. (V)		750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
Tens. di prova dielettrica in c.a. $V_{pr}$ (V)		3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Resistenza in c.c. (mohm/100m) <b>(1)</b>		4.65	3.49	2.98	2.73	2.36	1.49	1.38	1.05	1.00	0.70
Resistenza in c.c. (mohm/100) <b>(2)</b>		4.84	3.56	3.04	2.79	2.47	1.70	1.50	1.20	1.08	0.80
Reattanza (mohm/100m)		2.80	2.40	2.30	2.10	1.80	1.20	0.90	0.90	0.70	0.60
Impedenza (mohm/100m)		5.59	4.29	3.81	3.49	3.06	2.08	1.75	1.50	1.29	1.00
Corrente nominale accessibile di breve durata (KA) per c.c. trifase *	Trasp.	100	100	100	100	200	200	200	200	300	300
	Distr.	75	75	75	75	150	150	150	150	225	225
Corrente nominale accessibile di breve durata (KA) per c.c. fase-N *	Trasp.	60	60	60	60	120	120	120	120	180	180
	Distr.	45	45	45	45	90	90	90	90	135	135
Corrente nominale accessibile di breve durata (KA) per c.c. fase-PE *	Trasp.	60	60	60	60	120	120	120	120	180	180
	Distr.	45	45	45	45	90	90	90	90	135	135
Corrente nominale di picco ammissibile (KA) per c.c. trifase **	Trasp.	176	176	176	176	352	352	352	352	528	528
	Distr.	141	141	141	141	282	282	282	282	423	423
Corrente nominale di picco ammissibile (KA) per c.c. fase-N **	Trasp.	106	106	106	106	212	212	212	212	317	317
	Distr.	85	85	85	85	170	170	170	170	254	254
Corrente nominale di picco ammissibile (KA) per c.c. fase-PE **	Trasp.	106	106	106	106	212	212	212	212	317	317
	Distr.	85	85	85	85	170	170	170	170	254	254
Energia specifica passante ammissibile di breve durata ( $A^2s$ )* $10^6$ riferita ad 1 sec per c.c. trifase *	Trasp.	10.000	10.000	10.000	10.000	40.000	40.000	40.000	40.000	90.000	90.000
	Distr.	5.625	5.625	5.625	5.625	22.500	22.500	22.500	22.500	50.625	50.625
Energia specifica passante ammissibile di breve durata ( $A^2s$ )* $10^6$ riferita ad 1 sec per c.c. fase-N*	Trasp.	3.600	3.600	3.600	3.600	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400	32.400
	Distr.	2.025	2.025	2.025	2.025	8.100	8.100	8.100	8.100	18.225	18.225
Energia specifica passante ammissibile di breve durata ( $A^2s$ )* $10^6$ riferita ad 1 sec per c.c. fase-PE*	Trasp.	3.600	3.600	3.600	3.600	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400	32.400
	Distr.	2.025	2.025	2.025	2.025	8.100	8.100	8.100	8.100	18.225	18.225
Sez. cond. di protezione (mmq Fe)		2014	2014	2014	2458	2458	3735	4646	4646	5493	5493
Sez. cond. di protezione (mmq Cu)		209,5	209,5	209,5	255,6	255,6	390,3	483,1	483,1	571,3	710,5
Massa (Kg/m) Trasp.		37	43	46	55	75	93	110	108	140	180
Massa (Kg/m) Distr.		34	40	43	53	69	87	106	102	130	174
Dim. angolo diedro (mm)		400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400	400x400
Dim. angolo piano (mm)		500x500	500x500	620x620	620x620	654x654	654x654	838x838	838x838	808x808	1056x1056
Resistenza spira di guasto (mohm/100m)***		14.34	13.25	13	11.19	8.17	7	6.10	6.10	5	4
Reattanza spira di guasto (mohm/100m)***		39	37	36	32	21	21	20	19	13	13
Impedenza spira di guasto (mohm/100m)***		<43	<41	<40	<36	<24	<24	<22	<20	<15	<15
Resistenza spira di guasto (mohm/100m)****		9.68	7.12	6.08	5.58	4.94	3.40	3	2.40	2.16	1.65
Reattanza spira di guasto (mohm/100m)****		2.80	2.40	2.30	2.10	1.80	1.20	0.90	0.80	0.70	0.60
Impedenza spira di guasto (mohm/100m)****		10.07	7.51	6.50	5.96	5.26	3.60	3.13	2.56	2.27	1.75

(1)- Valore misurato in corrente continua a regime termico raggiunto con la corrente nominale

(2)- Valore misurato a 50 Hz a regime termico raggiunto con la corrente nominale

(\*) Valore efficace della corrente simmetrica

(\*\*) Valore di picco nel primo semiperiodo

(\*\*\*) I Valori indicano resistenza, reattanza, impedenza di guasto tra una fase e il conduttore di protezione di una linea di lunghezza = 100m (spira di guasto di lunghezza = 200m)

(\*\*\*\*) I Valori indicano resistenza, reattanza, impedenza di guasto tra una fase e il conduttore di neutro di una linea di lunghezza = 100m (spira di guasto di lunghezza = 200m)

## Cavi MT.

E' da tutti riconosciuta l'importanza che assume la rete di distribuzione dell 'energia elettrica in media tensione, in quanto essa viene a trovarsi ad uno stadio intermedio dell ' intero processo di distribuzione, che parte dall 'ente erogatore e giunge fino all'utente. Per assicurare un buon livello di prestazioni affiancato ad un elevato indice di affidabilità degli impianti, riveste medesima importanza la qualità del cavo e dei propri accessori.

### Caratteristiche sistemi trifase

Tensione nominale U (kV)	Tensione massima Um (kV)	Categoria del sistema	Durata massima (in ore) di ogni funzionamento continuo con fase a terra (*)	Tensione di isolamento dei cavi
3	3,6	A/B	Fino a 8 / oltre 8	1,8 / 3,6
6	7,2	A/B	Fino a 8 / oltre 8	3,6/6
10	12	A/B	Fino a 8 / oltre 8	6/8,7
15	17,5	A/B	Fino a 8 / oltre 8	8,7/12
20	24	A/B	Fino a 8 / oltre 8	12/15
30	36	A/B	Fino a 8 / oltre 8	18/26
45	52	A/B	Fino a 1 / oltre 1	26/45

**U:** Tensione nominale d'isolamento tra due conduttori

**Um:** Tensione massima di utilizzo del cavo

**Uo:** Tensione nominale d'isolamento fra un conduttore e la terra

(\*) Di norma il funzionamento complessivo non dovrebbe superare le cento ore annuali circa; dove indicato "oltre 8 ore", il funzionamento annuo può durare anche qualche settimana.

### Massima corrente (ka) ammissibile in condizione di corto circuito per la durata di 1 secondo con temperatura iniziale di 90°C

		sezioni														
		10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
Rame		1.4	2.3	3.6	5.0	7.1	10	14	17	21	26	34	43	57	72	90
Alluminio		0.92	1.5	2.3	3.2	4.6	6.4	8.7	11	14	17	22	28	37	46	58

### RESISTENZA D'ISOLAMENTO PER FASE (MOhm/km)

Sezione Nominale [mm <sup>2</sup> ]	Tensione nominale - Nominal voltage Uo/U						
	1.8/3kV	3.6/6kV	6/10kV	8.7/15kV	12/20kV	18/30kV	26/45kV
10	1590	-	-	-	-	-	-
16	1360	1505	1645	1990	-	-	-
25	1140	1315	1445	1760	2130	-	-
35	995	1180	1300	1595	1830	2455	-
50	885	1075	1185	1460	1680	2155	-
70	755	945	1045	1300	1505	1950	2105
95	655	835	925	1155	1345	1760	1905
120	595	770	855	1070	1250	1645	1785
150	540	705	785	990	1160	1535	1665
185	485	645	720	910	1070	1420	1550
240	430	580	645	820	965	1295	1415
300	390	530	590	755	890	1200	1310
400	350	470	520	670	790	1070	1165
500	340	450	470	600	720	980	1065
630	330	400	420	540	650	890	970

I valori della portata di corrente indicati nelle successive tabelle ed espressi in Ampère sono stati calcolati seguendo il metodo indicato dalle norme CEI 20-21, in accordo con le modifiche introdotte nella pubblicazione internazionale IEC 287. I calcoli sono eseguiti considerando:

- temperatura max del conduttore: 90°C
- temperatura ambiente per posa: 30°C

#### Coefficienti di correzione delle portate di corrente

Temp. Ambiente °C (*)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Cavi in terra	1.04	1.00	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80	-	-	-	-
Cavi in aria (**)	-	1.09	1.05	1.00	0.95	0.90	0.85	0.79	0.74	0.67	0.60

(\*) temperatura ambiente diversa da quella di riferimento


(\*\*) senza esposizione diretta al sole

#### Cavi tripolari (o terne di cavi unipolari a trifoglio) posati in terra.

Numero di cavi o terne in orizzontale	2	3	4	6
Distanza fra i cavi o terne	7 cm	0.84	0.74	0.67
	25 cm	0.86	0.78	0.74

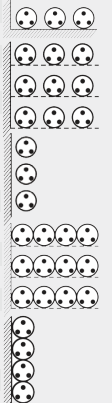
#### Cavi tripolari (o terne di cavi unipolari a trifoglio) posati in tubo interrato

Numero di cavi orizzontali	1	2	3
	0.82	0.69	0.61



#### Cavi tripolari posati in aria

Numero di terne orizzontali Singolo strato	1	2	3	6	9
	0.95	0.90	0.88	0.85	0.84
Numero strati in verticale	1	1.00	0.98	0.96	0.93
	2	1.00	0.95	0.93	0.90
	3	1.00	0.94	0.92	0.89
	6	1.00	0.93	0.90	0.87
Numero di cavi in verticale	1	1.00	0.93	0.90	0.87
	2	0.95	0.84	0.80	0.75
Numero di cavi in orizzontale	1	0.95	0.84	0.80	0.75
Numero strati in verticale	2	0.95	0.80	0.76	0.71
	3	0.95	0.78	0.74	0.70
	6	0.95	0.76	0.72	0.68
Numero di cavi in orizzontale	1	0.95	0.78	0.73	0.68
	2	0.95	0.78	0.73	0.68



#### Cavi unipolari posati a trifoglio in aria

Numero di terne orizzontali Singolo strato	1	2	3	6	9
	0.95	0.90	0.88	0.85	0.84
Numero strati in verticale	1	1.00	0.98	0.96	0.93
	2	1.00	0.95	0.93	0.90
	3	1.00	0.94	0.92	0.89
	4	1.00	0.93	0.90	0.87
Numero di terne orizzontali Singolo strato	1	0.92	0.89	0.88	
Numero strati in verticale	1	1.00	0.97	0.96	
	2	0.97	0.94	0.93	
	3	0.96	0.93	0.92	
	6	0.94	0.91	0.90	
Numero di terne verticali	1	0.94	0.91	0.89	
Numero di terne verticali	1	0.89	0.86	0.84	



## Fusibili per Media Tensione.

I fusibili per Media Tensione sono progettati per la protezione di impianti di Media Tensione (linee elettriche, trasformatori, motori, condensatori, interruttori) contro gli effetti termici e dinamici causati da una corrente che supera il valore tollerato per grandezza e durata. Grazie al costo limitato, alla sostanziale assenza di manutenzione ed alle dimensioni decisamente ridotte, i fusibili costituiscono spesso la soluzione migliore per la protezione di apparecchiature ed impianti di Media Tensione.

Normalmente, infatti, l'utilizzo di altri sistemi di protezione comporta costi eccessivi rispetto al valore dell'apparecchiatura da proteggere.

L'impiego di questo tipo di fusibili porta all'utilizzatore i seguenti vantaggi: garanzia d'intervento con corrente minima; bassi valori di potenza dissipata (ne permettono l'utilizzo anche in ambienti chiusi); assoluta affidabilità del sistema di sgancio (percussore); elementi di fusione di alta qualità; fusibili utilizzabili in ambienti indoor e outdoor; elevati valori del potere d'interruzione; alta capacità di limitare la corrente.

La tensione nominale dei fusibili MT deve essere uguale o superiore alla tensione di fase del sistema protetto. Normalmente, i produttori prescrivono un campo di tensioni all'interno del quale il fusibile può essere correttamente utilizzato.

Va però detto che, durante la fase di arco, possono generarsi tensioni d'arco anche molto elevate (superiori all'isolamento nominale dei fusibili).

Le Norme internazionali prevedono valori massimi che i fusibili non debbono mai superare. Bisogna, quindi, assicurarsi che la massima tensione d'arco durante l'interruzione non superi il livello d'isolamento generale del circuito nel quale il fusibile è inserito.

La scelta della corrente nominale della cartuccia deve essere eseguita tenendo conto dei seguenti parametri:

- 1) *corrente in servizio ordinario del circuito nel quale il fusibile è inserito;*
- 2) *fenomeni transitori nel circuito (ad esempio, nel caso d'inserzione e distacco di trasformatori, motori o batterie di condensatori);*
- 3) *coordinamento con altri dispositivi di protezione.*

I fusibili devono comunque essere scelti in modo che la massima corrente di carico non superi il valore della corrente nominale del fusibile e che il valore della minima corrente d'interruzione sia appropriato alla particolare applicazione (tenendo, quindi, conto di eventuali sovraccarichi funzionali). La protezione dei trasformatori viene di solito effettuata sulla base di opportune tabelle che i produttori mettono a disposizione degli utilizzatori (tabelle pagine che seguono).

Si ricorda che la normativa raccomanda di sostituire tutti e tre i fusibili anche quando sia intervenuto solo un fusibile di un sistema trifase (a meno di essere assolutamente certi che nessuna sovracorrente sia passata attraverso i fusibili non intervenuti).

### Caratteristiche elettriche standard

Tensione nominale (kV)	Range di utilizzo (kV)	Corrente nominale (A)	Massima corrente d'interruzione (kA)	Minima corrente d'interruzione (kA)	Diametro (mm)	Lunghezza L (mm)	Resistenza a freddo (mΩ)	Potenza dissipata (W)				
7,2	3/7,2	6	50	25	53	192	200	10				
		10		46			55	6,6				
		16		60			37	11,8				
		20		80			31	15,3				
		25		105			24,5	22,1				
		32		130			18,2	30,1				
		40		178			13,2	36,9				
		50		220	8,5		25,9					
		63		270	7		42,8					
		80		360	5,2		50,3					
		100		540	4,6		66,4					
		125		610	3,4		101					
		160		810	2,7		135					
		12		6/12	6		50	25	53	292	309	15,4
10	46		87		10,4							
16	60		61		19,4							
20	80		47		23,2							
25	105		37		33,5							
32	130		27,5		45,6							
40	178		20		55,9							
50	220		14,3		43,6							
63	270		10,6		64,8							
80	360		8		77,3							
100	540		7,2		104							
125	610		5,1		152							
160	810		4		200							
17,5	10/17,5		6		50	25		53	367		445	23,4
		10	46	131		15,6						
		16	60	82,6		26,4						
		20	80	68,6		37,9						
		25	105	54,3		49,2						
		32	130	38,9		65,7						
		40	178	29,5		78,1						
		50	220	19,8		65,2						
		63	270	15,8		101						
		80	360	12		122						
		100	540	9,8		166						
		125	610	7,2		219						
		160	810	6,1		339						
		24	10/24	6		50	25	53		442	550	28,9
10	46			162	19,2							
16	60			102	32,6							
20	80			85	46,9							
25	105			67	60,7							
32	130			48	81,1							
40	178			36,4	96,4							
50	220			24,5	80,5							
63	270			19,5	125							
80	360			14,8	151							
100	540			13,5	228							
125	610			9,9	301							
36	20/36			6	40		25	53	537		770	40,5
				10			46				226	26,9
		16	60	142		45,6						
		20	80	119		65,7						
		25	105	93,8		84,9						
		32	130	67,2		113						
		40	178	50,9		134						
		50	220	34,3		112						
		63	270	27,3		175						

(fonte: fusibili Italtel)

## Protezione trasformatori

Potenza trasformatore (kVA)	6/7,2 kV				10/12 kV				20/24 kV				30/36 kV			
	Corrente primario trasformatore (A)		Corrente nominale fusibile (A)		Corrente primario trasformatore (A)		Corrente nominale fusibile (A)		Corrente primario trasformatore (A)		Corrente nominale fusibile (A)		Corrente primario trasformatore (A)		Corrente nominale fusibile (A)	
	6 kV	7,2 kV	I <sub>Min</sub>	I <sub>Max</sub>	10 kV	12 kV	I <sub>Min</sub>	I <sub>Max</sub>	20 kV	24 kV	I <sub>Min</sub>	I <sub>Max</sub>	30 kV	36 kV	I <sub>Min</sub>	I <sub>Max</sub>
50	4,8	4,1	10	16	2,9	2,4	6	10	1,5	1,2	4	6	0,96	0,8	2	4
75	7,2	6,2	16	20	4,3	3,6	10	16	2,2	1,8	4	6	1,4	1,2	4	6
100	9,6	8,2	25	32	5,8	4,8	10	16	2,9	2,4	6	10	1,9	1,6	6	10
125	12,1	10,3	32	40	7,2	6	16	20	3,6	3	6	10	2,4	2	6	10
160	15,4	13,2	40	50	9,2	7,7	20	25	4,6	3,8	10	16	3,1	2,6	6	10
200	19,2	16,4	40	50	11,5	9,6	25	32	5,8	4,8	10	16	3,8	3,2	10	16
250	24,1	20,6	50	63	14,4	12	32	40	7,2	6	16	20	4,8	4	10	16
315	30,3	26	50	63	18,2	15,2	40	50	9,1	7,6	20	25	6,1	5,1	16	20
400	38,5	33	63	80	23	19,2	50	63	11,5	9,6	25	32	7,7	6,4	20	25
500	48,1	41,2	80	100	28,8	24	50	63	14,4	12	32	40	9,6	8	20	25
630	60,6	51,9	100	125	36,4	30,3	63	80	18,1	15,2	40	50	12,1	10,1	25	32
800	76,9	66	100	125	46,2	38,5	80	100	23,1	19,2	50	63	15,4	12,8	40	50
1.000	96,2	82,5	125	160	57,7	48,1	100	125	28,8	24,1	50	63	19,2	16	50	63

(fonte: Italtel)

# Calcolo della corrente di cortocircuito.

Di seguito forniamo delle indicazioni di massima relative ai parametri tipici che caratterizzano i principali componenti che si trovano in un impianto. La conoscenza di questi parametri risulta vincolante per poter eseguire un'analisi dell'impianto.

## Rete di distribuzione

In una rete di media tensione l'unico parametro normalmente noto è la tensione nominale. Per valutare le correnti di cortocircuito è necessario conoscere la potenza di cortocircuito della rete che può variare indicativamente tra 250MVA e 500MVA per reti fino a 30kV. Salendo con il livello di tensione la potenza di cortocircuito può variare indicativamente tra 700MVA e 1500MVA. Nella tabella 1 vengono riportati i valori di tensione della rete di distribuzione in MT e i relativi valori della potenza di cortocircuito ammessi dalla norma CEI EN 60076-5.

Tensione della rete di distribuzione [kV]	Potenza di cortocircuito della rete europea [MVA]	Potenza di cortocircuito della rete nord-americana [MVA]
7.2-12-17.5-24	500	500
36	1000	1500
52-72.5	3000	5000

## Generatore sincrono

I dati solitamente noti per una macchina elettrica sono la tensione nominale  $V_n$  e la potenza apparente nominale  $S_n$ .

Per la macchina sincrona, come per ogni macchina elettrica, per una analisi completa occorre inoltre valutare:

- il comportamento a regime per l'analisi dei problemi di stabilità statica;
- il comportamento in transitorio quando il carico varia bruscamente per l'analisi dei problemi di stabilità dinamica, in particolare quando si verifica un cortocircuito trifase.

Risulta quindi necessario conoscere i valori delle reattanze di macchina, in particolare:

- per il primo tipo di problema il parametro determinante è la reattanza sincrona;
- per il secondo la reattanza transitoria con le relative costanti di tempo e la reattanza subtransitoria.

Nella nostra trattazione non scenderemo nel dettaglio dell'analisi statica e dinamica dei fenomeni legati al generatore, ma ci limiteremo a studiare e determinare:

- il valore massimo della corrente negli istanti iniziali del cortocircuito, da cui dipendono, tra l'altro, gli sforzi sugli avvolgimenti, sui collegamenti generatore-trasformatore, sulle fondazioni dell'alternatore.
- l'andamento della corrente di cortocircuito che risulta fondamentale per il corretto coordinamento delle protezioni nella rete alimentata.

La corrente di cortocircuito nel grafico tempo/corrente ha un tipico andamento in cui, prima di assumere il suo valore di regime, raggiunge valori più elevati che si smorzano progressivamente. Questo comportamento è giustificabile con il fatto che l'impedenza della macchina, che praticamente è costituita dalla sola reattanza, non ha un valore definito ma varia istante per istante, perché il flusso magnetico, da cui essa dipende, non assume immediatamente la configurazione di regime. Ad ogni configurazione del flusso corrisponde un diverso valore dell'induttanza fondamentale per il diverso percorso delle linee magnetiche.

Inoltre non c'è un solo circuito ed una sola induttanza, ma più induttanze (dell'avvolgimento d'armatura, dell'avvolgimento di campo, dei circuiti smorzatori), che sono anche tra di loro mutuamente accoppiate.

Per semplificare, vengono presi in considerazione i seguenti parametri:

reattanza subtransitoria diretta  $X''d$   
 reattanza transitoria diretta  $X'd$   
 reattanza sincrona diretta  $X_d$

L'evoluzione nel tempo di questi parametri condiziona l'andamento della corrente di cortocircuito nel generatore.

Le reattanze sono generalmente espresse in p.u. (per unit) e in percentuale. Sono cioè riferite alle grandezze nominali delle macchina. Possono essere determinate con la seguente relazione:

$$x_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot X}{V_n} \cdot 100$$

Dove:

$X$  è il valore effettivo in ohm della reattanza considerata;

$I_n$  è la corrente nominale della macchina;

$V_n$  è la tensione nominale della macchina.

### Trasformatore

Consideriamo una macchina MT/BT con avvolgimento primario a triangolo e avvolgimento secondario stella a terra. I parametri elettrici normalmente noti e che caratterizzano la macchina sono i seguenti:

- potenza apparente nominale  $S_n$  [kVA]
- tensione nominale primaria  $V1n$  [V]
- tensione nominale secondaria  $V2n$  [V]
- tensione di cortocircuito in % vk% (valori tipici sono 4% e 6%)

Con questi dati è possibile determinare la corrente nominale primaria e secondaria e le correnti in condizioni di guasto.

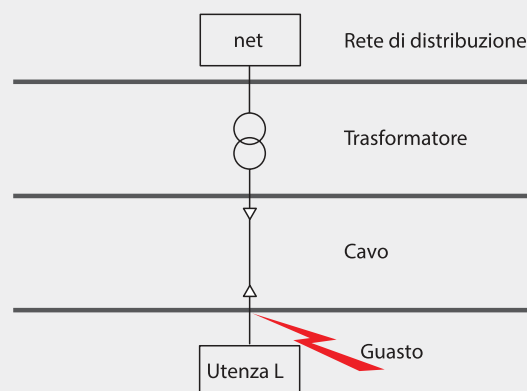
Nella tabella che segue si riportano i tipici valori della tensione di cortocircuito vk% in relazione alla potenza nominale dei trasformatori (riferimento norma CEI EN 60076-5).

Potenza nominale $S_n$ [kVA]	Tensione di cortocircuito $V_{k\%}$
$\leq 630$	4
$630 < S_n \leq 1250$	5
$1250 < S_n \leq 2500$	6
$2500 < S_n \leq 6300$	7
$6300 < S_n \leq 25000$	8

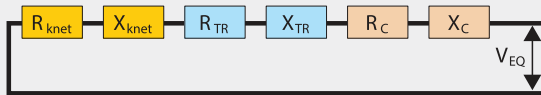
La capacità di lavorare in condizioni di sovraccarico dipende dalle caratteristiche costruttive di ogni singolo trasformatore. A livello generale e come informazione di massima si può considerare la capacità di lavorare in condizioni di sovraccarico per trasformatori in olio come indicato nella norma ANSI C57.92 e riportato in tabella.

Multiplo della corrente nominale del trasformatore	Tempo [s]
25	2
11.3	10
6.3	30
4.75	60
3	300
2	1800

Con riferimento alla rete elettrica schematizzata nella figura che segue, si ipotizza un cortocircuito sui morsetti del carico. La rete può essere studiata e rappresentata utilizzando i parametri resistenze e reattanze di ogni componente elettrico. I valori di resistenza e reattanza devono essere tutti riportati allo stesso valore di tensione assunta come riferimento per il calcolo della corrente di cortocircuito. Il passaggio dai valori di impedenza  $Z1$  riferiti ad una tensione superiore ( $V1$ ) ai valori  $Z2$ , riferiti ad una tensione inferiore ( $V2$ ), avviene attraverso il rapporto di trasformazione  $K = V1 / V2$  secondo la seguente relazione:  $Z2 = Z1 / K^2$ .



La struttura della rete elettrica presa in considerazione permette una rappresentazione con elementi in serie; si ottiene così un circuito equivalente come quello rappresentato in figura 2 che permette il calcolo dell'impedenza equivalente vista dal punto di guasto.



Nel punto del cortocircuito viene posizionata

una sorgente di tensione equivalente (VEQ) con valore:

$$V_{EQ} = \frac{c \cdot V_n}{\sqrt{3}}$$

Il fattore "c" dipende dalla tensione del sistema e tiene conto dell'influenza dei carichi e della variazione della tensione di rete.

In base a queste considerazioni passiamo a determinare i valori di resistenza e reattanza che caratterizzano gli elementi che compongono l'impianto.

