

Seminario tecnico 6 maggio ore 14.30
Ordine degli Ingegneri della provincia di Palermo

La cabina di trasformazione MT/BT



Indice

PRIMA parte

(Regole tecniche per la realizzazione della cabina MT/BT)

Lo stato del neutro in MT	pag. 3
Regola tecnica per la connessione	pag. 14
Limiti e confronto tra distribuzione in BT ed in MT	pag. 33
Dimensionamento delle apparecchiature in MT	pag. 50
Il quadro MT	pag. 77

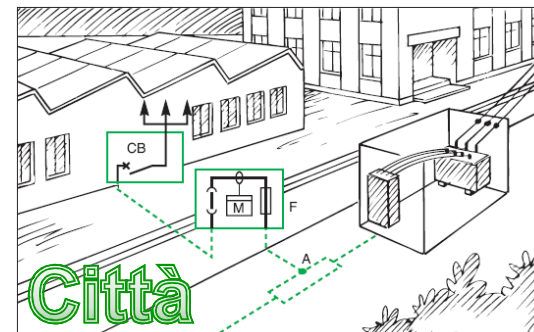
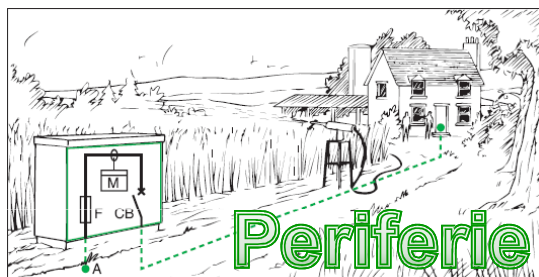
SECONDA parte

(Trasformatore protezioni ed esempi di cabine MT/BT)

Le protezioni sul lato MT	pag. 98
Il trasformatore	pag. 119
Indicazioni per la realizzazione del locale cabina	pag. 136
Architettura ed esempi di reti MT/BT	pag. 154
Norme di riferimento	pag. 177

Lo stato del neutro in MT

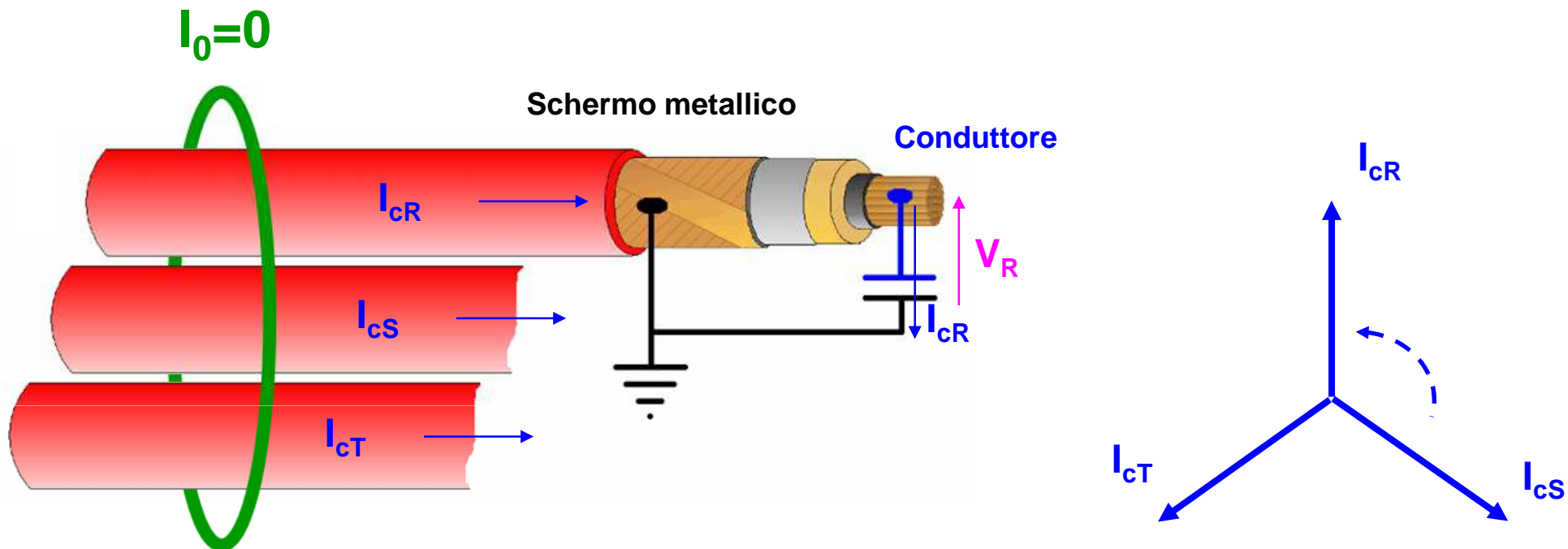
- L'esercizio della rete di media tensione in Italia avviene, prevalentemente, con neutro a terra tramite impedenza, **neutro compensato**.



- Una quota non trascurabile di reti di distribuzione, tuttavia, è esercita a **neutro isolato**.

- E' in genere necessario che le protezioni per i **guasti a terra** di cui è dotato l'impianto dell'utente **siano sempre in grado di funzionare correttamente, a prescindere dallo stato del neutro** (ad esempio bobina di Petersen in manutenzione).
- Le protezioni **richieste dal fornitore** per rilevare un **guasto a terra** per tutti gli utenti sono:
 - la **51N** (guasto a terra);
 - e/o la **67N** (direzionale di guasto a terra).
- Lo stato del neutro non comporta differenze nel caso di guasti **bifase o trifase**.

Rete MT in assenza di guasti



- Le correnti capacitive presenti tra i conduttori R S e T e gli schermi dei cavi, sono uguali in modulo ma sfasate di 120° .
- La loro somma misurata dal toroide I_0 è uguale a 0.

Diagramma vettoriale

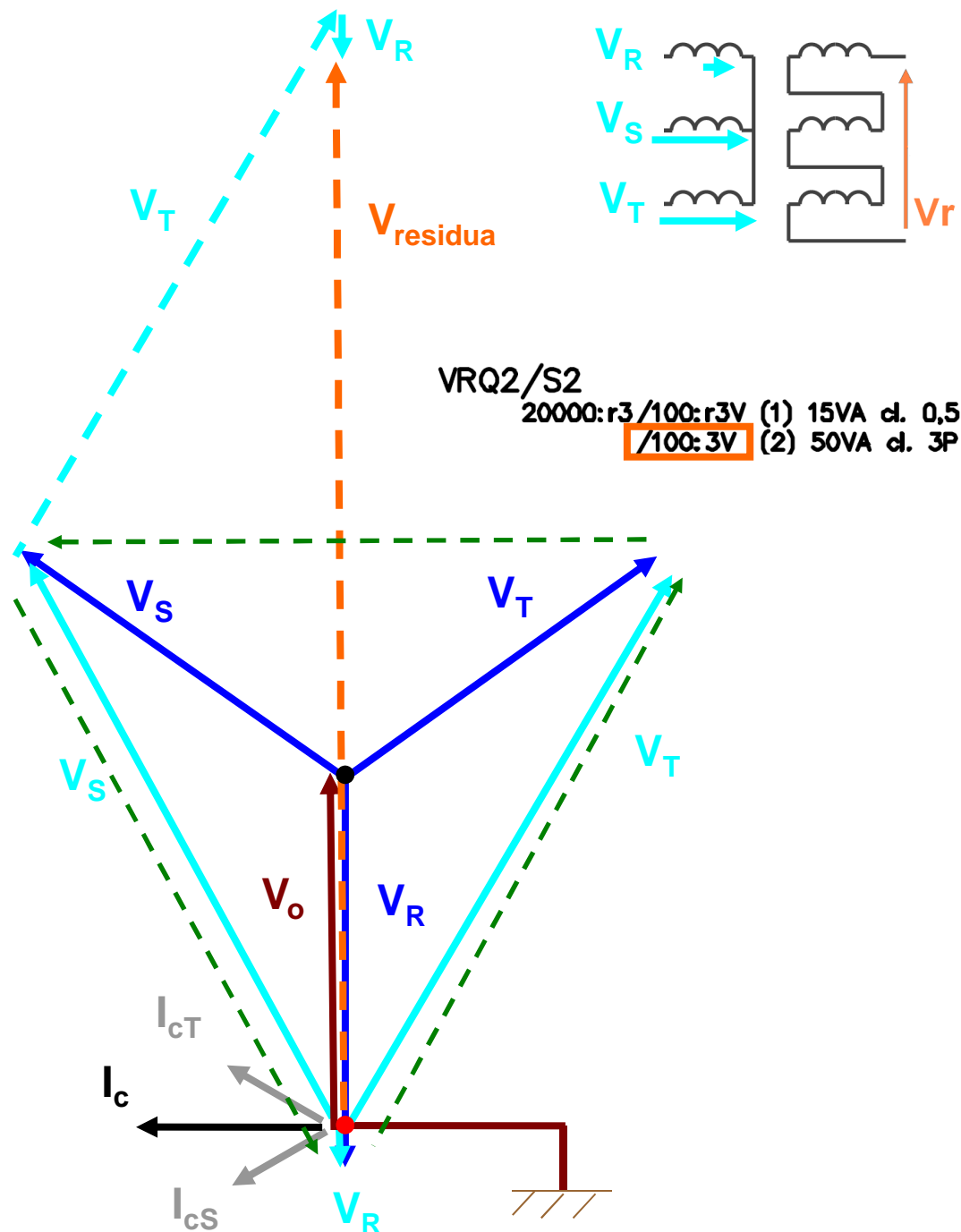
in presenza di guasto a terra

- ➔ In blu le tensioni stellate in assenza di guasto a terra.
- ➔ In azzurro le tensioni stellate in presenza di guasto a terra.

➔ **V_o** è la tensione omopolare rispetto a terra

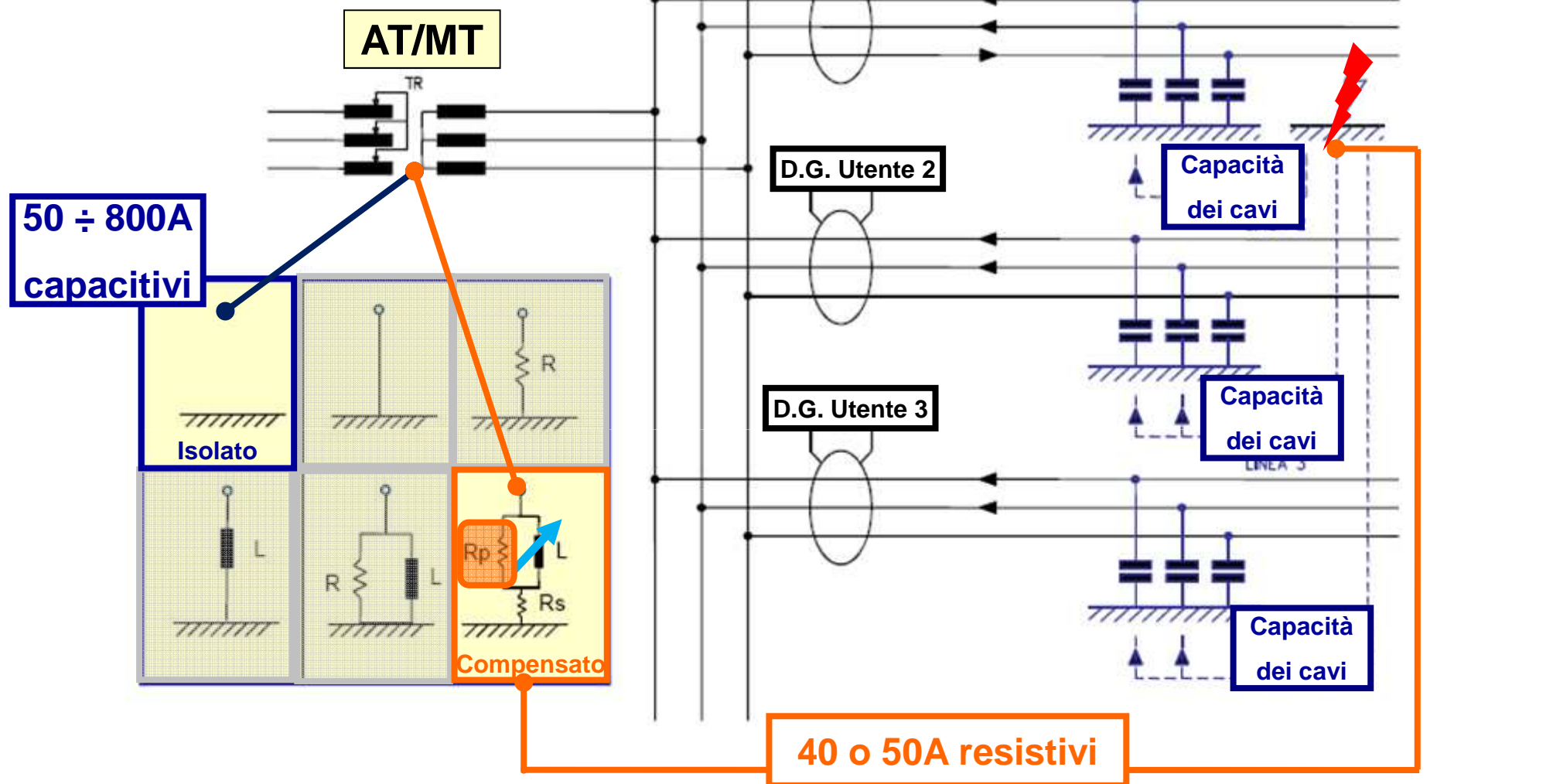
$$V_o = 1/3 V_{\text{residua}} = 1/3 (V_S + V_T)$$

- ➔ Le tensioni concatenate in MT **rimangono invariate.**
- ➔ Di conseguenza anche sul lato BT a valle dei trasformatori DYn11 le tensioni **rimangono invariate.**



Messa a terra

secondario TR AT/MT



- La corrente di guasto a terra dipende dalla lunghezza delle linee.
- **L'induttanza variabile L** compensa **le capacità delle linee** alimentate dal distributore.
- **La resistenza Rp** permettono la circolazione di una corrente di terra resistiva.

Calcolo del contributo capacitivo delle linee MT

□ La formula seguente tratta dalla CEI 0-16 permette il calcolo **indicativo** del contributo (in Ampere) alla corrente di guasto monofase a terra delle linee elettriche:

$$I_F = U (\quad + \quad) A$$



- **L1** è la somma delle lunghezze in km delle **linee aeree**;
- **L2** è la somma delle lunghezze in km delle **linee in cavo**.
- **U** è la tensione nominale concatenata della rete espressa in kV.

Calcolo esatto della capacità dei cavi

❑ Per il calcolo esatto del contributo capacitivo si devono utilizzare i dati della **capacità dei cavi** forniti dai costruttori.

❑ **La reattanza capacitiva**

$$X_c = 1 / (2 \pi \times f \times C) \times L \times 1.000.000 \text{ } [\Omega/\text{km}]$$

• per un cavo da 95 mm² di 1 km: $X_c = 1 / (6,28 \times 50 \times 0,23) \times 1.000.000 \times 1 = 13.847 \text{ } [\Omega/\text{km}]$

• per una linea a 15 kV: $I_c = \sqrt{3} V / X_c = 1,73 \times 15.000 / 13.847 = 1,88 \text{ } [\text{A}/\text{km}]$

➔ Con due cavi in parallelo la capacità (della terna) raddoppia.

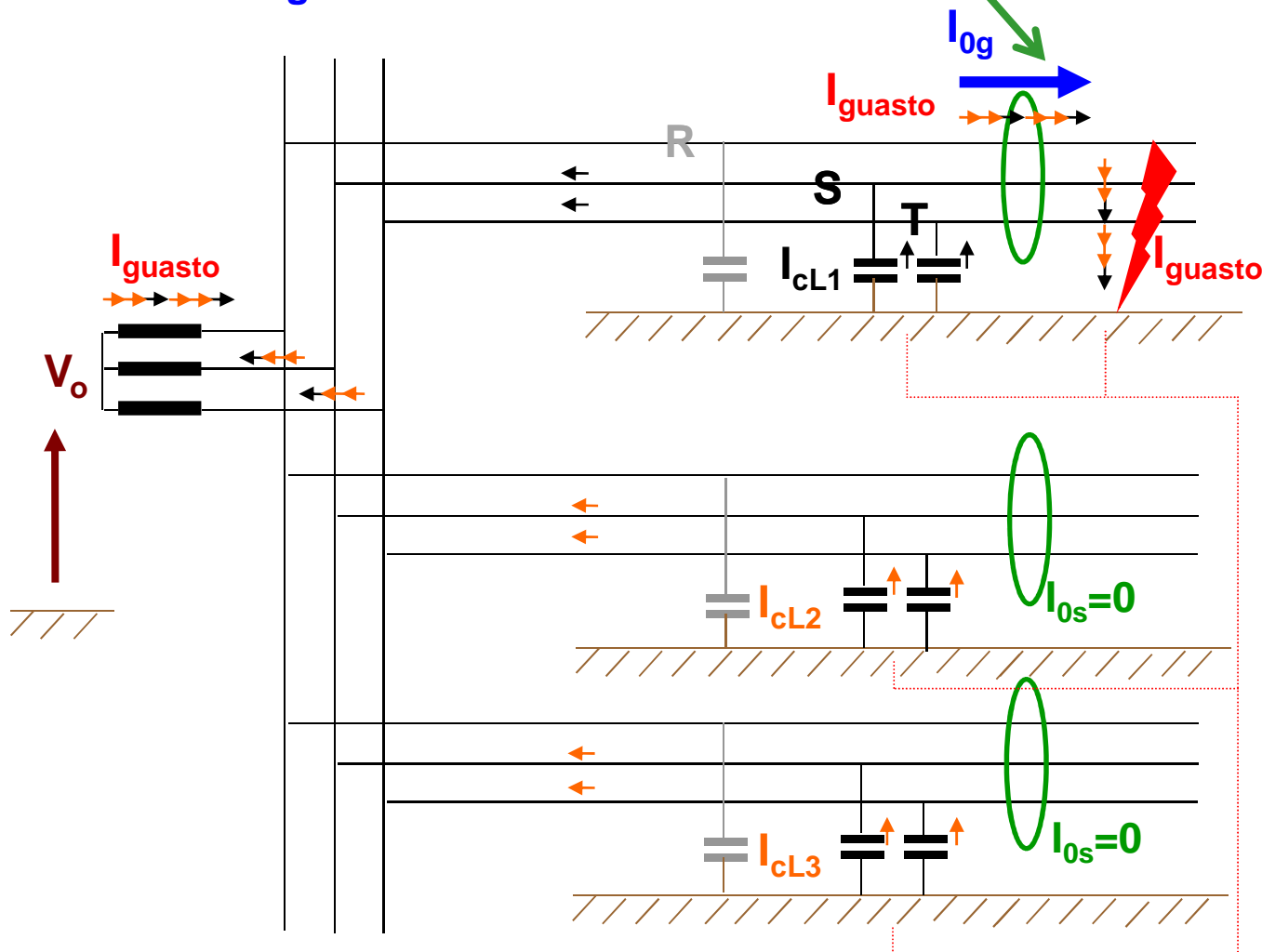
sezione cross-section	Capacità
(mm ²)	12/20 kV (μF/km)
25	0,18
35	0,17
50	0,19
70	0,21
95	0,23
120	0,25

Contributo capacitivo dei cavi [50 Hz]				
Tensione	15	V (kV)		
Sezione	Capacità	Xc	Icap.	Semplif.
[mmq]	[μF/km]	[Ω/km]	A/km	A/km
1x(1x3x35)	0,17	18734	1,39	3
1x(1x3x50)	0,19	16762	1,55	3
1x(1x3x95)	0,23	13847	1,88	3
1x(1x3x120)	0,25	12739	2,04	3
1x(1x3x150)	0,27	11795	2,20	3
2x(1x3x95)	0,46	6923	3,75	6
2x(1x3x120)	0,5	6369	4,08	6
2x(1x3x150)	0,54	5898	4,41	6

Linea MT utente "corta"

$$\bar{I}_{0g} = (\bar{I}_{cL1} + \bar{I}_{cL2} + \bar{I}_{cL3})$$

(..... I_{guasto} )

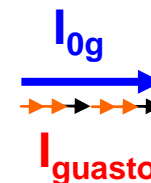


I_{0g} corrente vista dal toroide

I_{cL} corrente capacitiva della linea

Linea guasta:

corrente omopolare $I_{0g} = I_{\text{guasto}}$



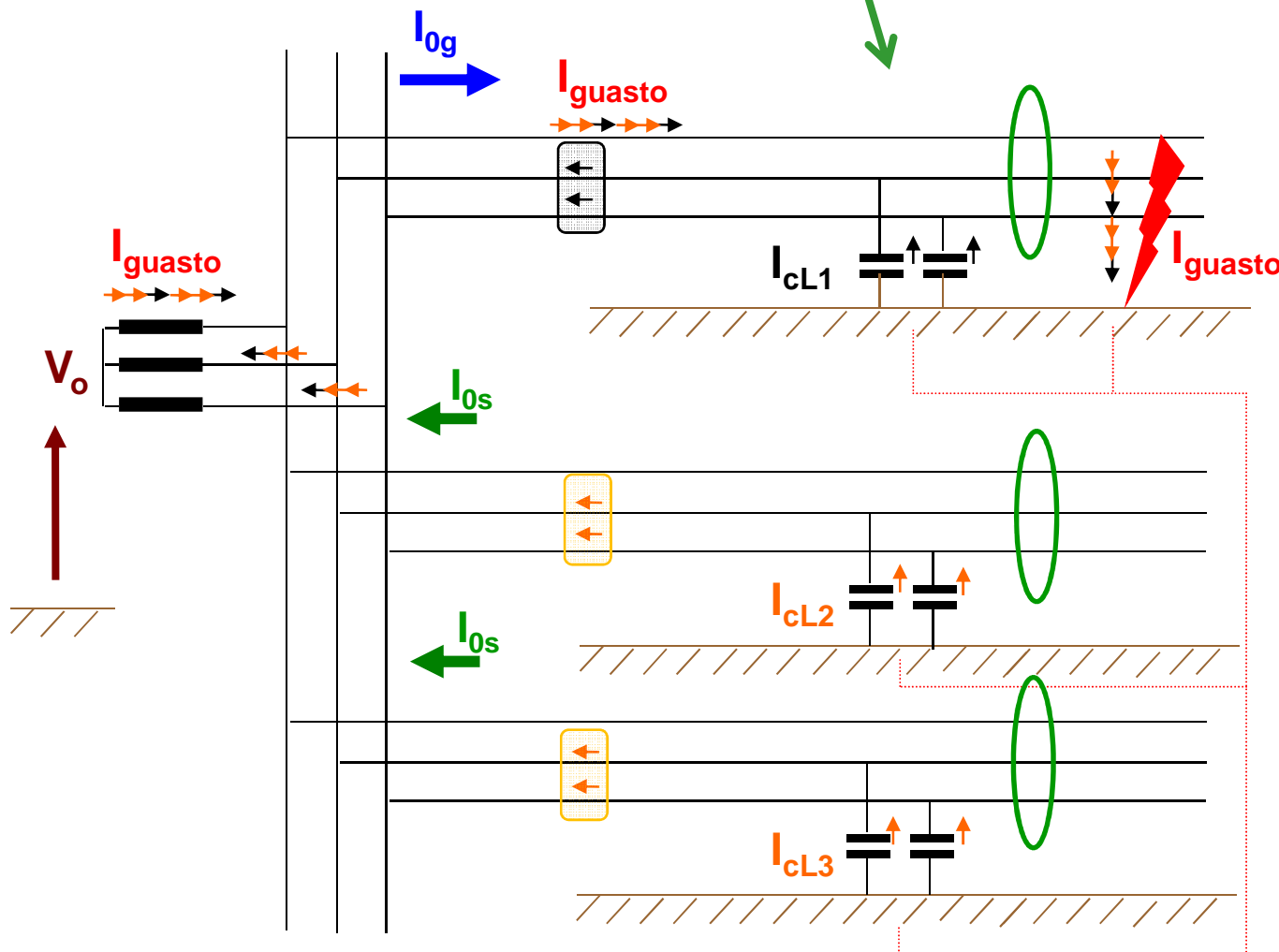
Linee sane:
corrente omopolare

$$I_{0s} = 0$$

51N

Linea MT utente “lunga”, neutro isolato

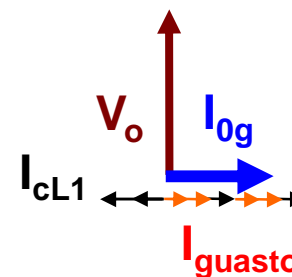
$$\bar{I}_{0g} = (\dots\dots I_{\text{guasto}} \dots\dots) - \bar{I}_{cL1}$$



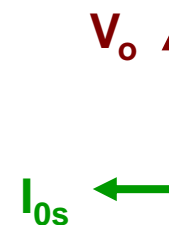
I_{0g} corrente vista dal toroide

I_{cL} corrente capacitiva della linea

Linea guasta: corrente omopolare I_{0g} capacitiva



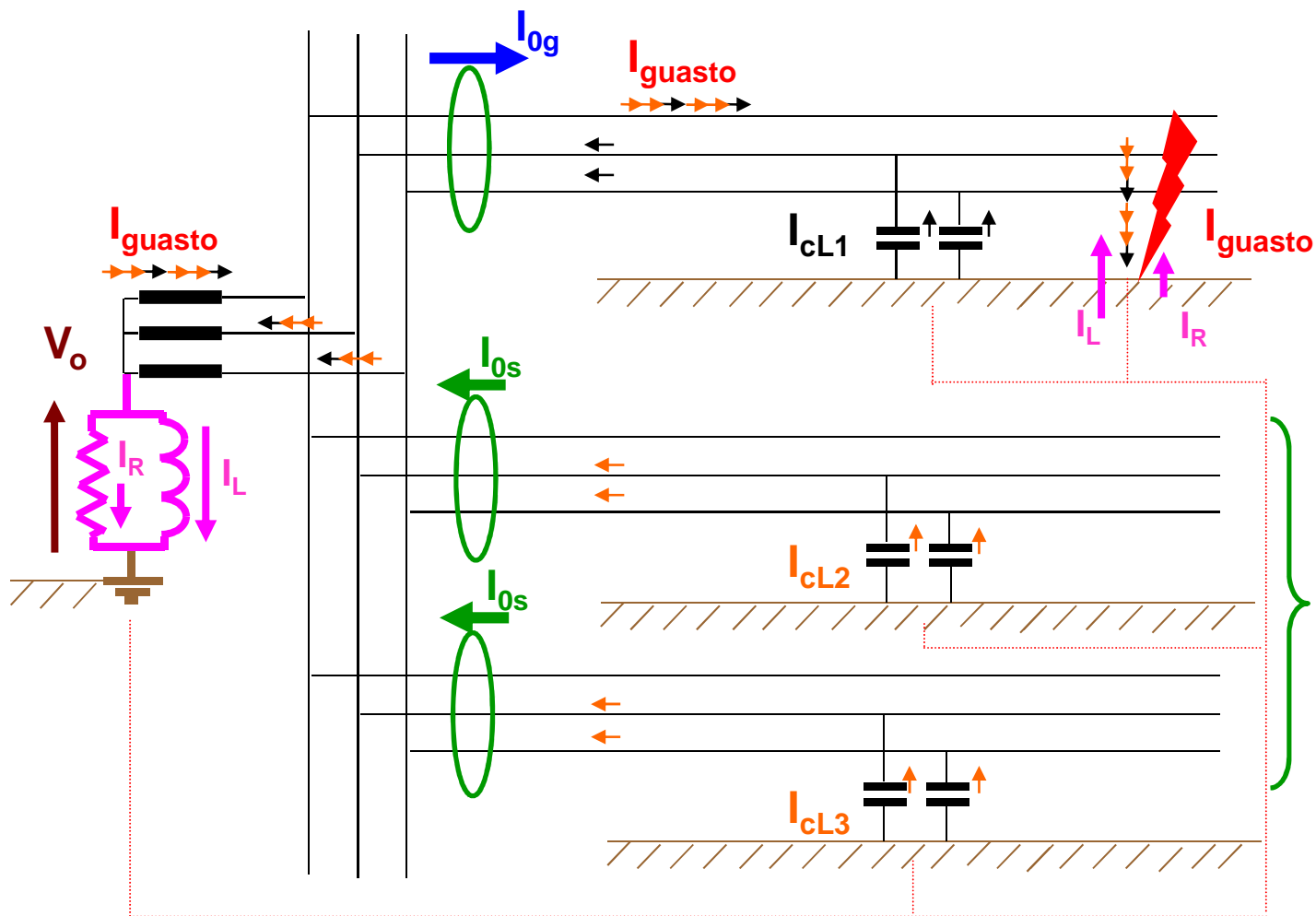
Linee sane: corrente Omopolare I_{0s} capacitiva



67N

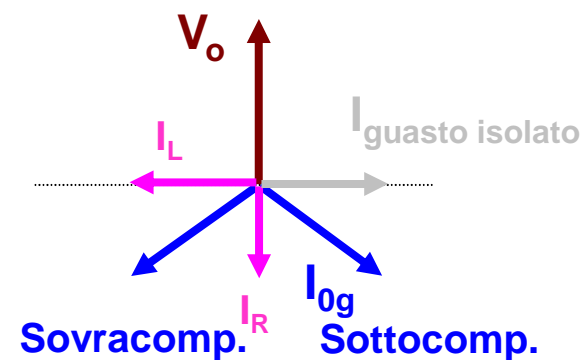
Linea MT utente “lunga”, neutro compensato (bobina di Petersen)

$$\bar{I}_{0g} = (\dots\dots I_{\text{guasto}} \dots\dots) - \bar{I}_{cL1} + (\bar{I}_L + \bar{I}_R)$$



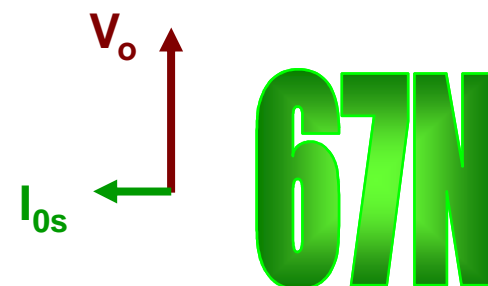
Linea guasta:

corrente omopolare I_{0g} resistiva e capacitiva (sottocompensazione) o induttiva (sovracompensazione)



Linee sane:

corrente omopolare I_{0s} capacitativa

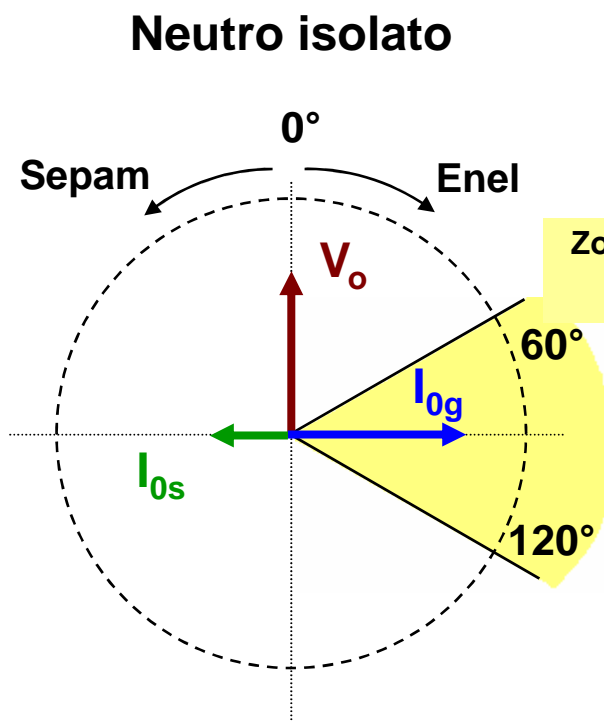
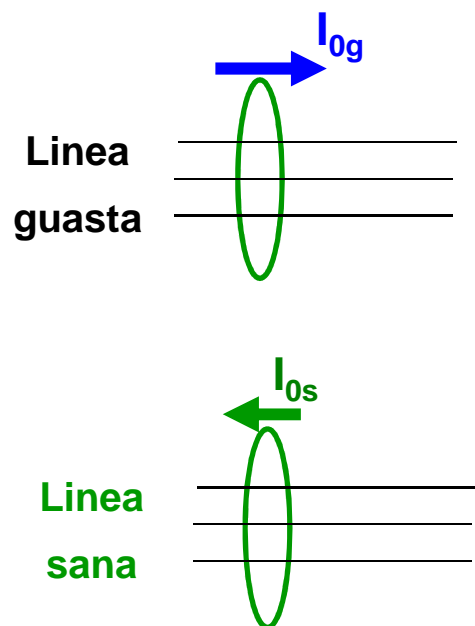


67N

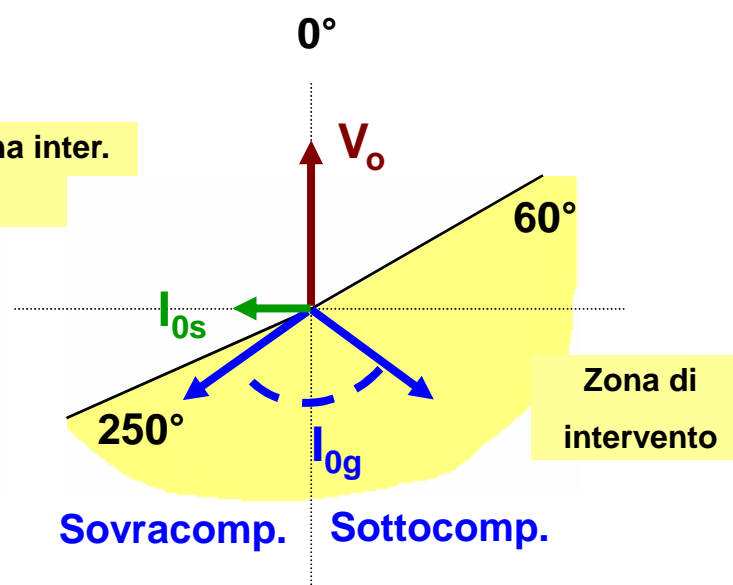
Seconda soglia

Impostazione della direzionale di terra (67N)

- Le protezioni direzionali sulla rete con neutro a terra tramite impedenza, vanno impostate con una **doppia soglia** per contemplare, nei periodi di manutenzione della bobina di Petersen, il funzionamento anche a neutro compensato.



Neutro a terra tramite impedenza



Ente fornitore		Relè Sepam	
$\Phi 1$ [°]	$\Phi 2$ [°]	Limite 1 [°]	Limite 2 [°]
60	120	240	300
60	250	110	300

Esempio di tabella di regolazione fornitore

Tabella 1: TARATURA DEL SISTEMA DI PROTEZIONE GENERALE						
Tipologia impianto	Descrizione Protezioni	Soglie di intervento			Tempo di Intervento ⁽⁴⁾	Note
Guasto di fase	I> (51.S1) alfa	0,02		(5)	NIT	richiusure escluse.
	I> (51.S1) beta	0,14		(5)	NIT	richiusure escluse.
	I> (51.S1) K	0,12		(5)	NIT	richiusure escluse.
	I> (51.S1)	76	A	(2) (5)	NIT	richiusure escluse.
	I>> (51.S2)	250	A	(2) (5)	0,5 s	richiusure escluse.
	I>>> (50.S3)	600	A	(2)	0,12 s	richiusure escluse.
Con protezione per i guasti a terra costituita SOLO da massima corrente omopolare	I ₀ > (51N.S1)	2	A	(2)	0,45 s	Rete utente poco estesa
Con protezione per i guasti a terra costituita da una direzionale di terra abbinata ad una massima corrente omopolare (1) Primo guasto di terra		V ₀ ⁽⁶⁾	I ₀ ⁽²⁾	Φ ⁽³⁾		
	67N.S1	2 V	2 A	(60-120)°	0,17 s	Rete utente molto estesa con contributo al guasto > 80% di 2A = 1,6A ~ 400mt 20kV ~ 533mt 15kV
	67N.S2	5 V	2 A	(60-250)°	0,45 s	
	I ₀ >> (51N.S2)	56	A	(2)	0,17 s	

(1) La soglia S2 della protezione 51N deve comunque essere sempre impostata in caso di neutro compensato.

(2) Corrente al primario misurata tramite TA, TA omopolare od equiv. (somma vettoriale delle 3 correnti di fase)

(3) L'angolo è positivo se la I₀ è in ritardo (in senso orario) sulla V₀

(4) Comprensivo di tempo di ritardo intenzionale e di tempo di apertura interruttore. NIT = Tempo Normalmente Inverso

(5) In alternativa al valore indicato o in mancanza dello stesso è possibile disabilitare la protezione di massima corrente di fase di prima soglia I> (51.S1) a tempo normalmente inverso (NIT) ed impostare la protezione

È facoltà dell'Utente implementare valori di regolazione minori (ovvero soglie in corrente più ridotte e/o tempi di intervento più brevi) qualora le caratteristiche del proprio impianto lo richiedano.

CEI 0-16 nota bene

Regola tecnica per la connessione


L'AUTORITÀ PER L'ENERGIA ELETTRICA E IL GAS in data 2008-02 pubblica

il documento:

<i>Norma Italiana</i> CEI 0-16	
<i>Data Pubblicazione</i> 2008-02	<i>Edizione</i> Prima

In precedenza sino al 2006 esistevano le DK 5600 emesse da ENEL

DK 5600
Febbraio 2003 Ed. III - 1/27

 <small>L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA. Divisione Infrastrutture e Reti</small>	CRITERI DI ALLACCIAMENTO DI CLIENTI ALLA RETE MT DELLA DISTRIBUZIONE	DK 5600
		Giugno 2006 Ed. V - 1/40

Ad oggi il più recente aggiornamento è datato **2014-09**

<i>Norma Italiana</i> CEI 0-16
--

<i>Data Pubblicazione</i> 2014-09

Pagine 344

Oggetto e scopo della Norma

- Definire i criteri tecnici per la connessione degli Utenti alle reti elettriche di distribuzione con tensione nominale in corrente alternata superiore a 1 kV fino a 150 kV.
- Le soluzioni tecniche indicate nel presente documento rappresentano lo stato dell'arte attualmente praticabile. Soluzioni alternative, possono essere praticate, a condizione che siano preventivamente sottoposte ed accettate dall'AEEG.
- Gli impianti oggetto della presente Norma devono essere costruiti a regola d'arte e a tal fine è sufficiente la rispondenza alle norme del CEI.

Campo di applicazione

La presente Norma si applica:

- ALLE RETI delle **IMPRESE DISTRIBUTRICI** di energia elettrica
- AGLI IMPIANTI ELETTRICI degli **UTENTI** dei servizi di distribuzione e di connessione alle reti di distribuzione, (UTENTI).
- ALLE NUOVE CONNESSIONI (applicazione integrale)
- La sua applicazione agli impianti degli **UTENTI GIA' CONNESSI** è definita dall'AEEG.

Caratteristiche degli Utenti e loro classificazione

•Utenti ATTIVI.



impianti che contengono qualsiasi macchinario (rotante o statico) che converta ogni forma di energia utile in energia elettrica in corrente alternata previsto per **funzionare in parallelo** (anche transitorio) con la rete. A questa categoria appartengono anche tutti gli utenti che installano **sistemi di accumulo diversi dagli UPS**.

•Utenti PASSIVI.

impianti non ricadenti nella definizione precedente.



Caratteristiche delle reti

- Livelli di tensione e frequenza
Reti MT due valori di tensione di esercizio:

15 kV e 20 kV

Alcune porzioni del sistema di MT sono esercite con differenti livelli:

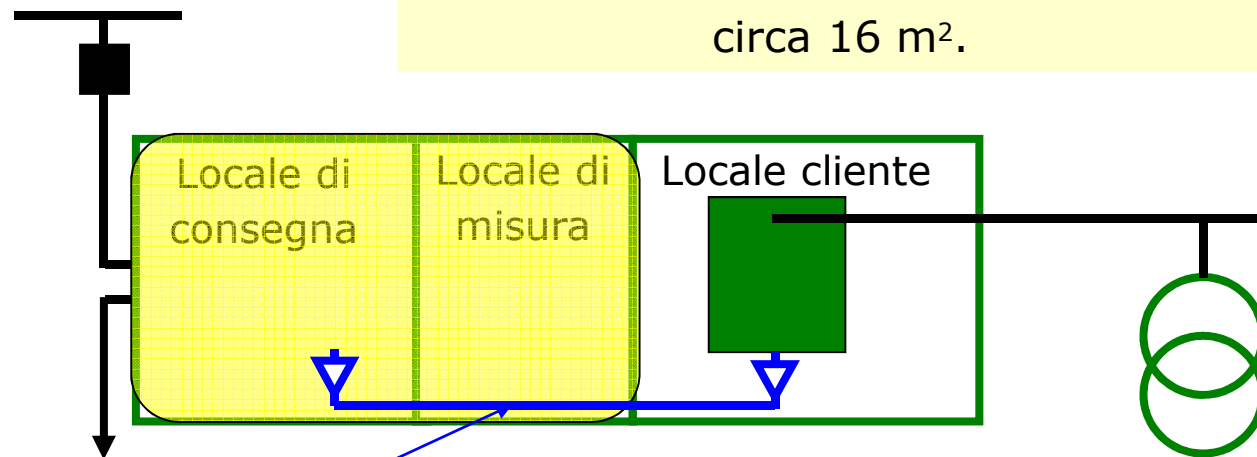
8.4 kV, 9kV, 22kV, 23kV ecc

La frequenza nominale (f_n) è di 50 Hz.

- Stato del neutro
La rete MT è gestita prevalentemente con **neutro messo a terra tramite impedenza** costituita da, reattanza induttiva e resistenza o da semplice resistenza. Alcune porzioni di reti MT, attualmente non trascurabili, sono esercite a **neutro isolato**.

I locali

A titolo indicativo l'occupazione di superficie complessiva di locale consegna e misure deve essere di circa 16 m².



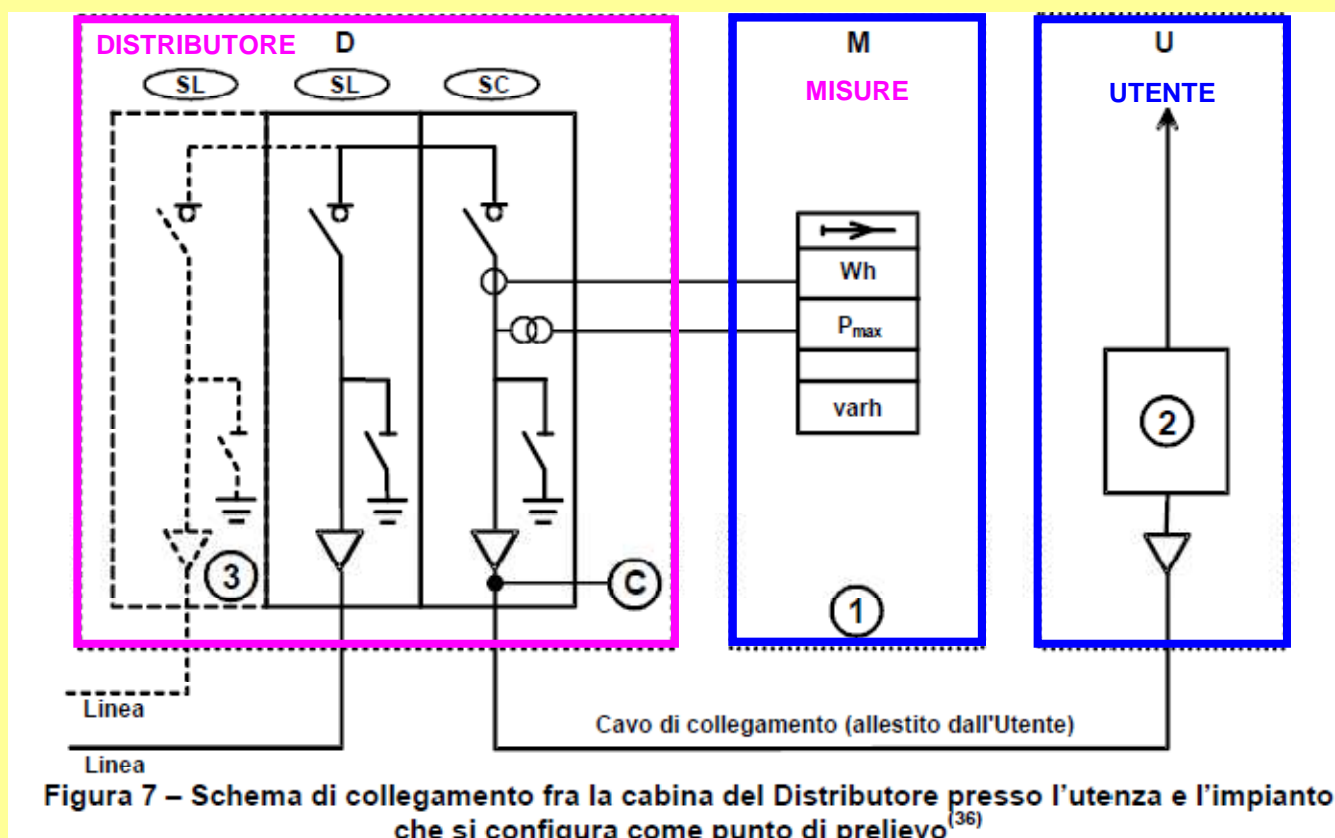
Cavo di **sezione minima 95 mm²** in rame o equivalente in alluminio.
Collegamento **≤ 20metri**.

$$S \geq \frac{I_{cc} \times \sqrt{t}}{K}$$

t tempo di intervento della protezione del fornitore,
con eventuale richiusore rapido.

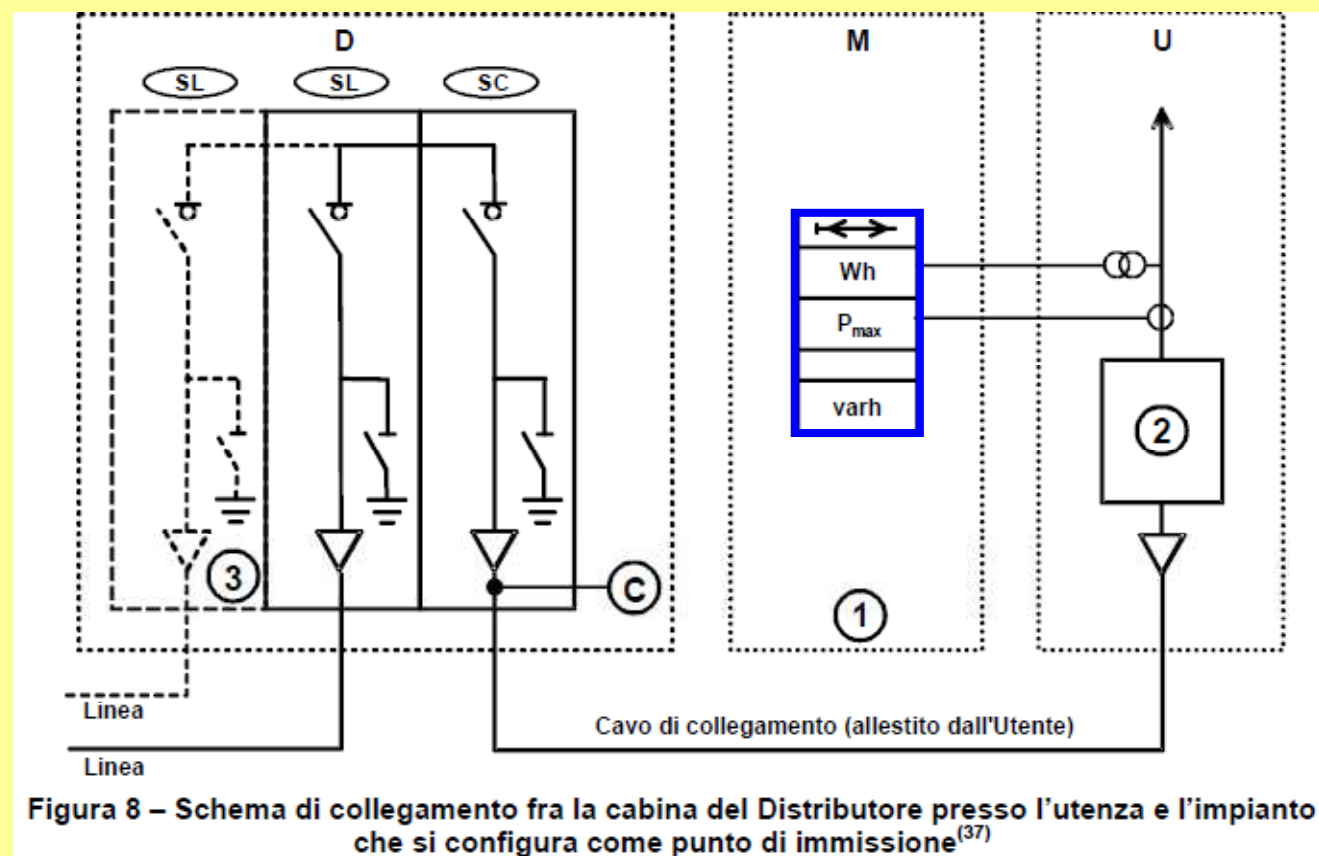
Schema Utente passivo

Schema dell'impianto per la connessione. Utente passivo



Schema Utente attivo

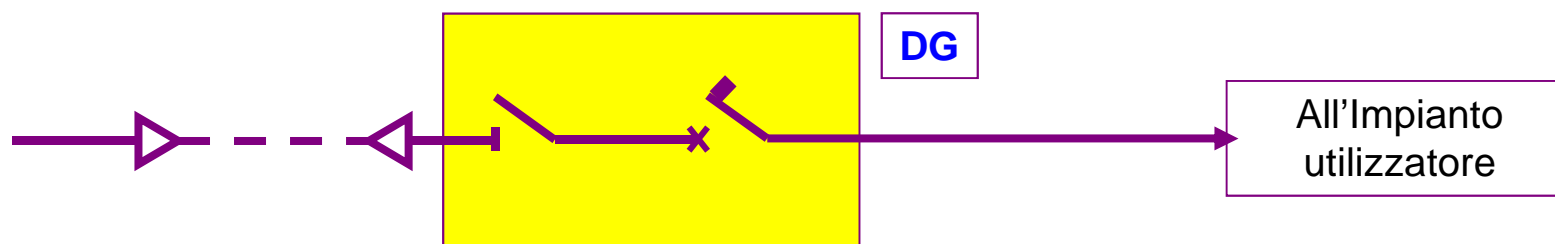
Schema dell'impianto per la connessione. Utente attivo



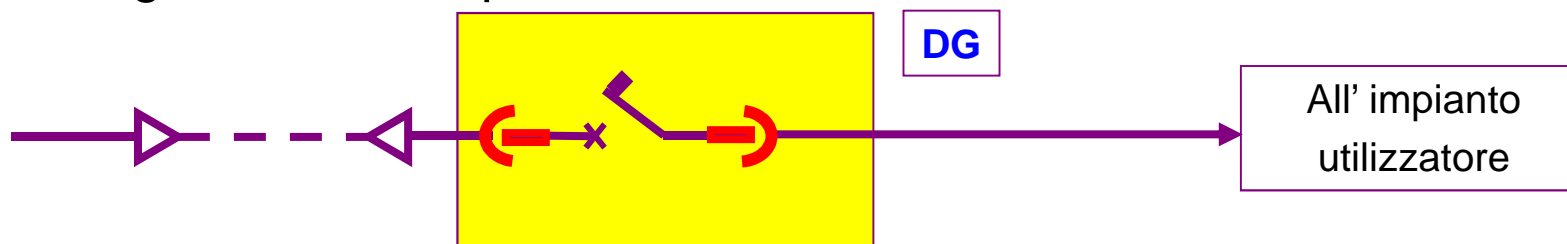
Dispositivo Generale

Dispositivo Generale DG di Utente:

- Apparecchiatura di manovra e sezionamento la cui apertura (comandata dal Sistema di Protezione Generale) assicura la separazione dell'intero impianto dell'Utente dalla rete, tipicamente costituito da:
- **Sezionatore tripolare** CEI EN 62271-102 e **interruttore tripolare** CEI EN 62271-100 con sganciatore di apertura, in esecuzione fissa.

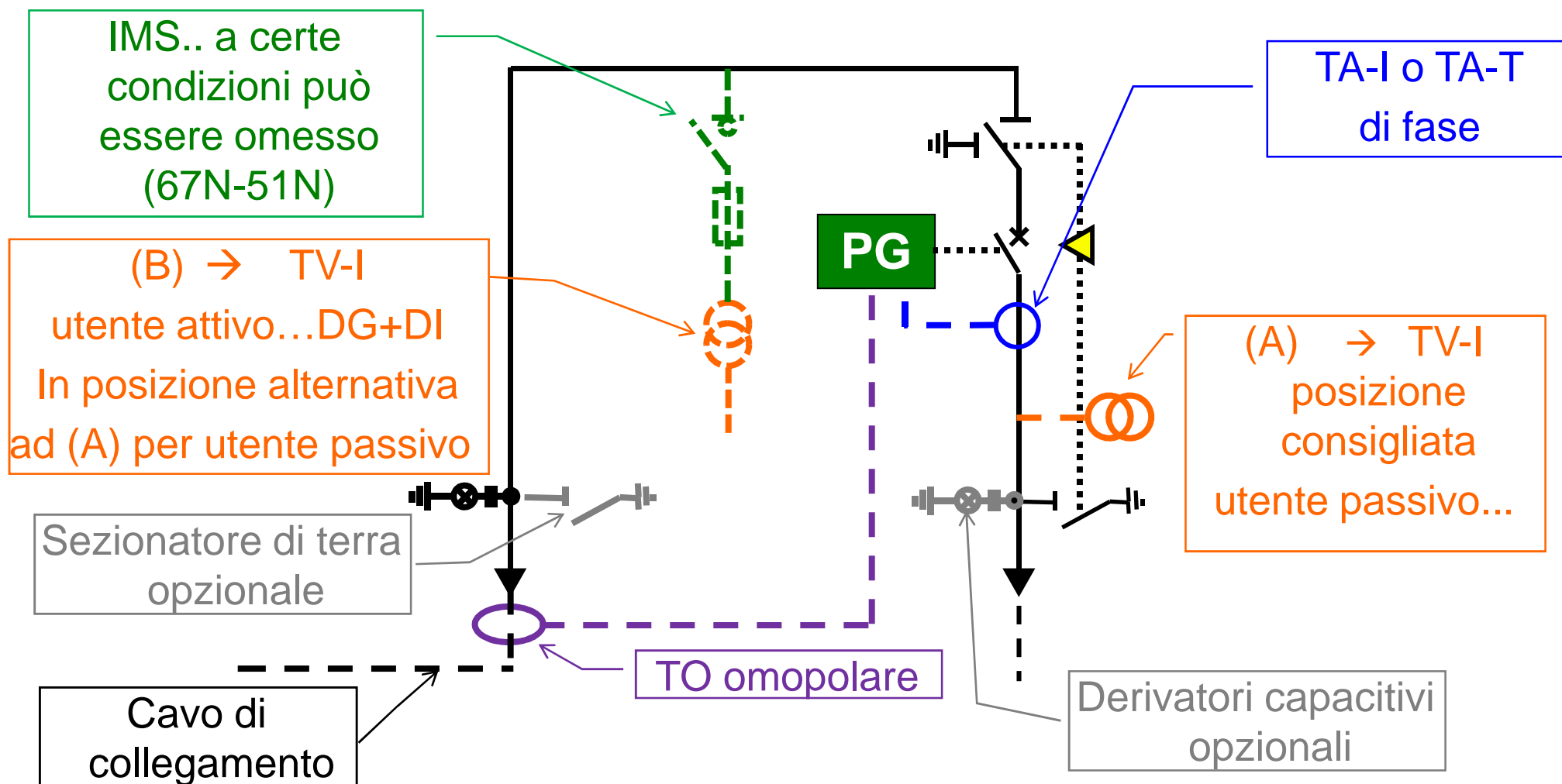


- **Interruttore tripolare in esecuzione estraibile** conforme alla CEI EN 62271-200 con sganciatore di apertura.



Schema di connessione generale

Schema d'impianto di utenza per la connessione: Caso Generale

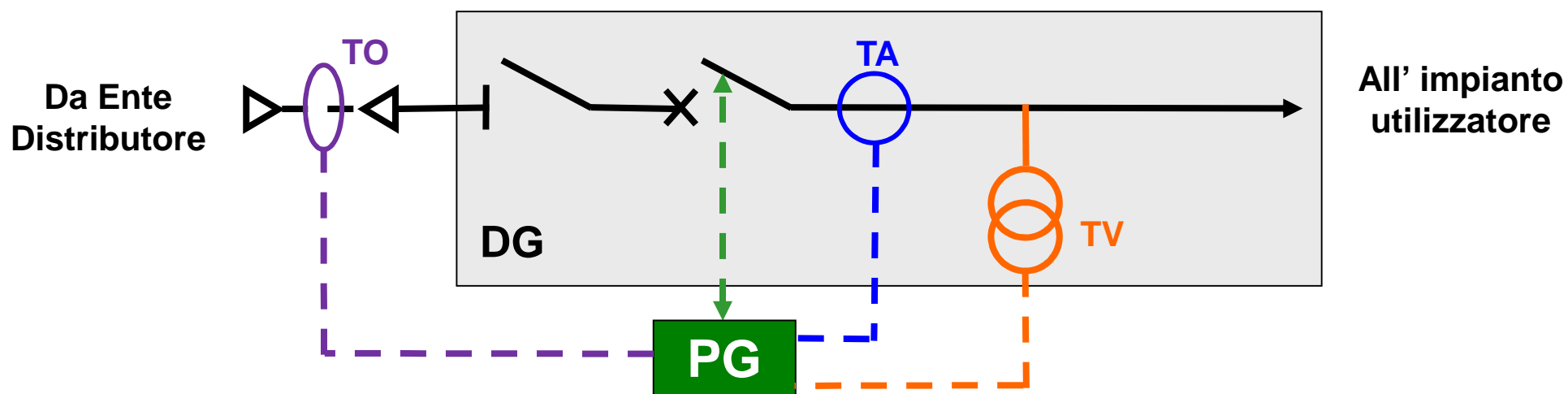


SPG

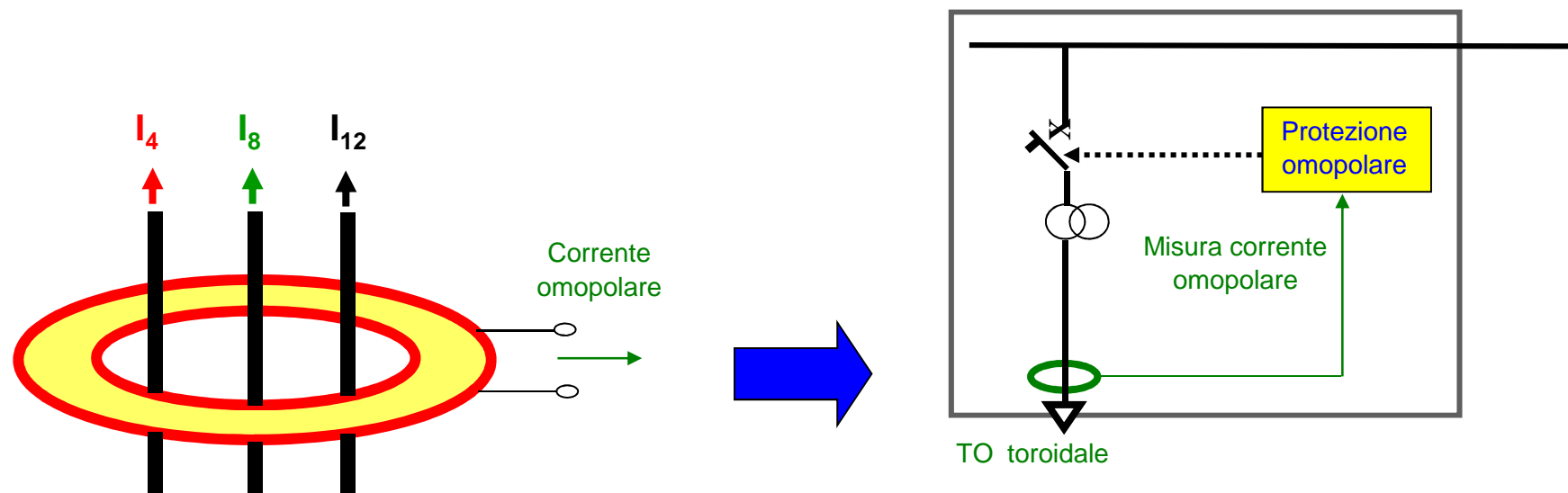
Sistema di Protezione Generala associato al DG è composto da :

- Trasduttori di corrente di fase (TA)
- Trasduttore di corrente di terra omopolare (TO)
- Eventuali trasduttori di tensione (TV)
- Relè di protezione con relativa alimentazione (PG)
- Circuiti di apertura dell'interruttore

Il SPG deve funzionare correttamente in tutto il campo di variabilità delle correnti e delle tensioni che si possono determinare nelle condizioni di guasto per le quali è stato previsto.



Impianto con protezione 51N

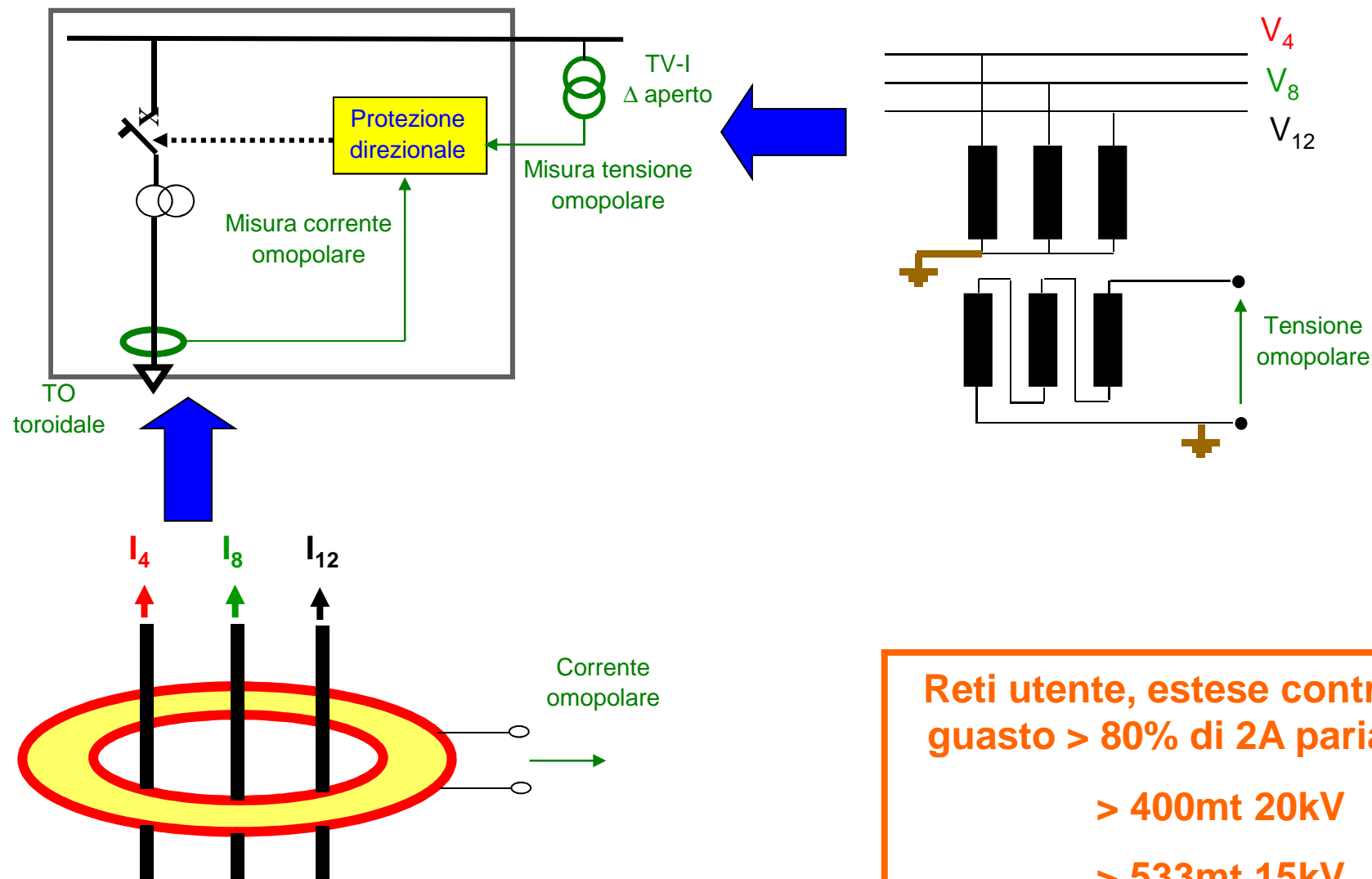


Reti utente, estese contributo al guasto < 80% di 2A paria a 1,6A

< 400mt 20kV

< 533mt 15kV

Impianto con protezione 67N



Reti utente, estese contributo al guasto > 80% di 2A paria a 1,6A

> 400mt 20kV

> 533mt 15kV

Schema Protezione Generale

Sistema di Protezione Generale non integrato



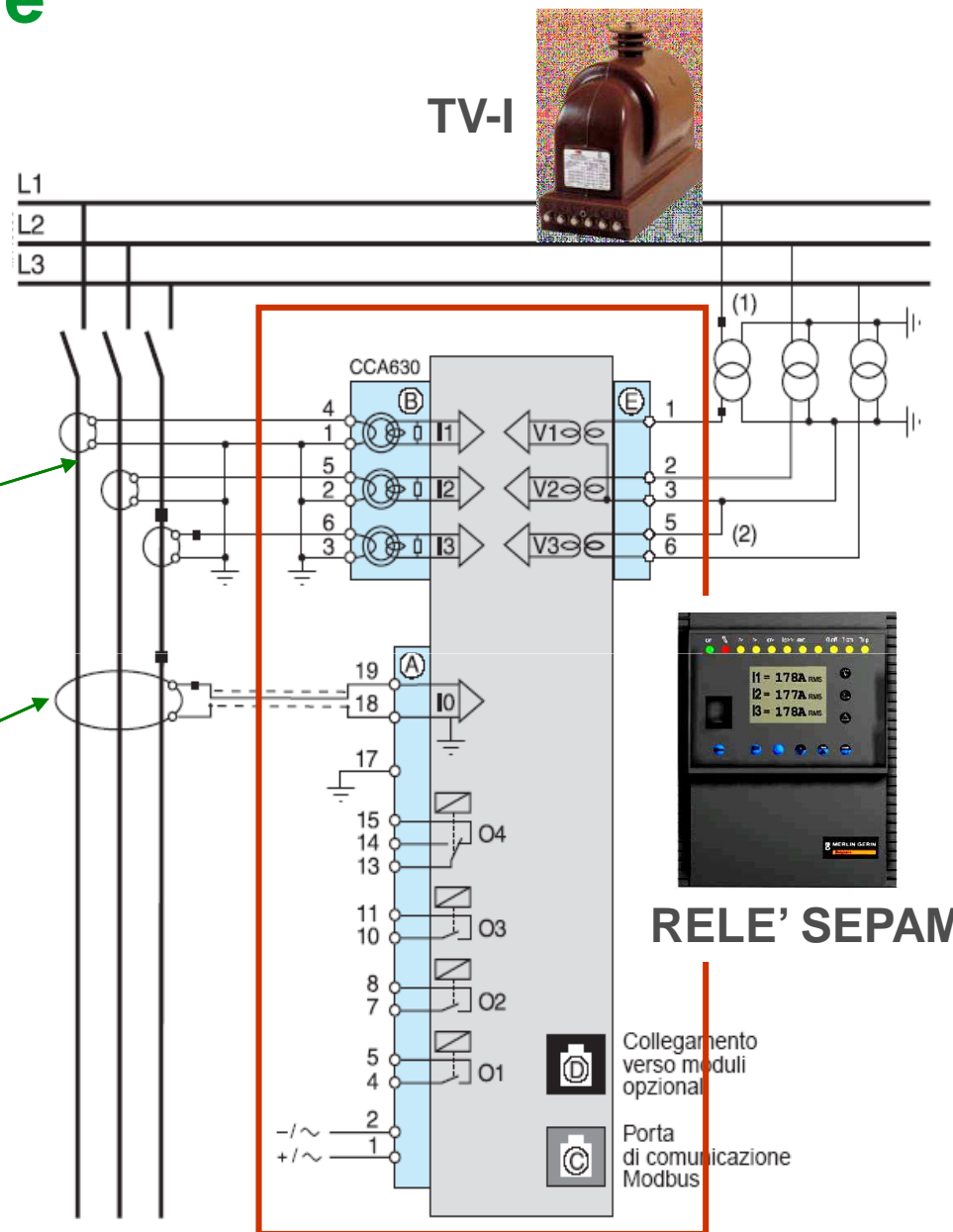
TA-I tradizionali



TA-T LPCT



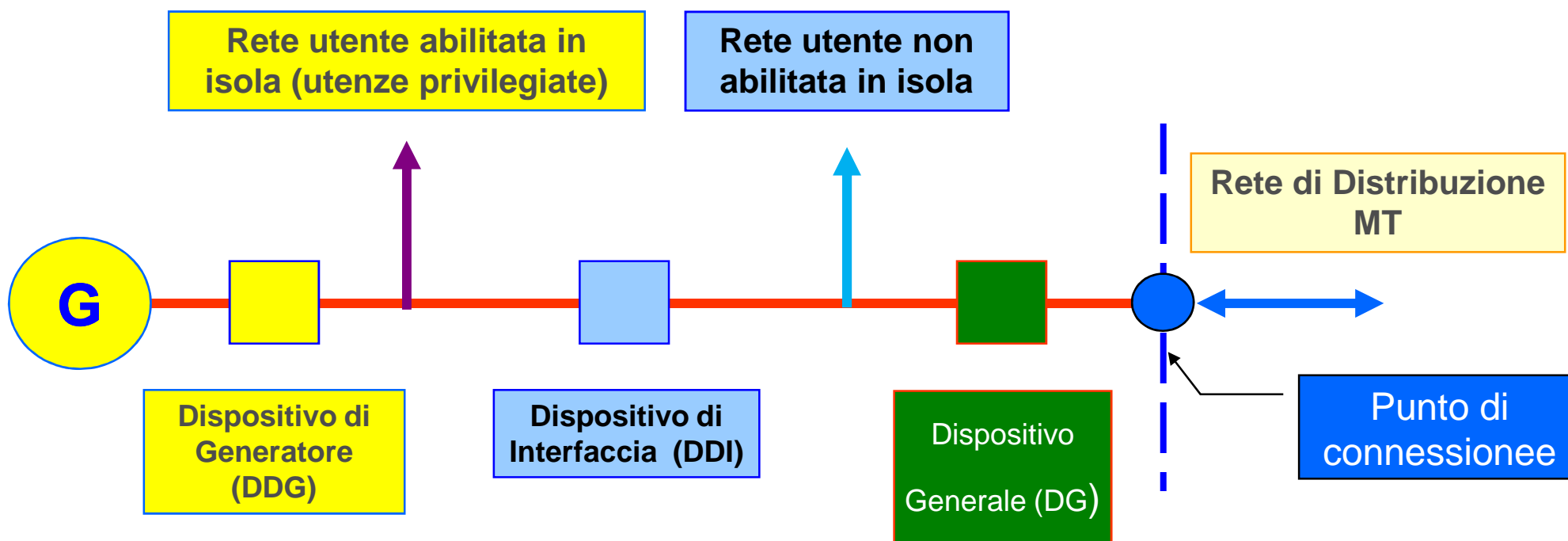
TO Toroidale



(1) questo tipo di collegamento permette il calcolo della tensione rimanente.
(2) ponticello per il collegamento dei morsetti 3 e 5 forniti con connettore CCA626.

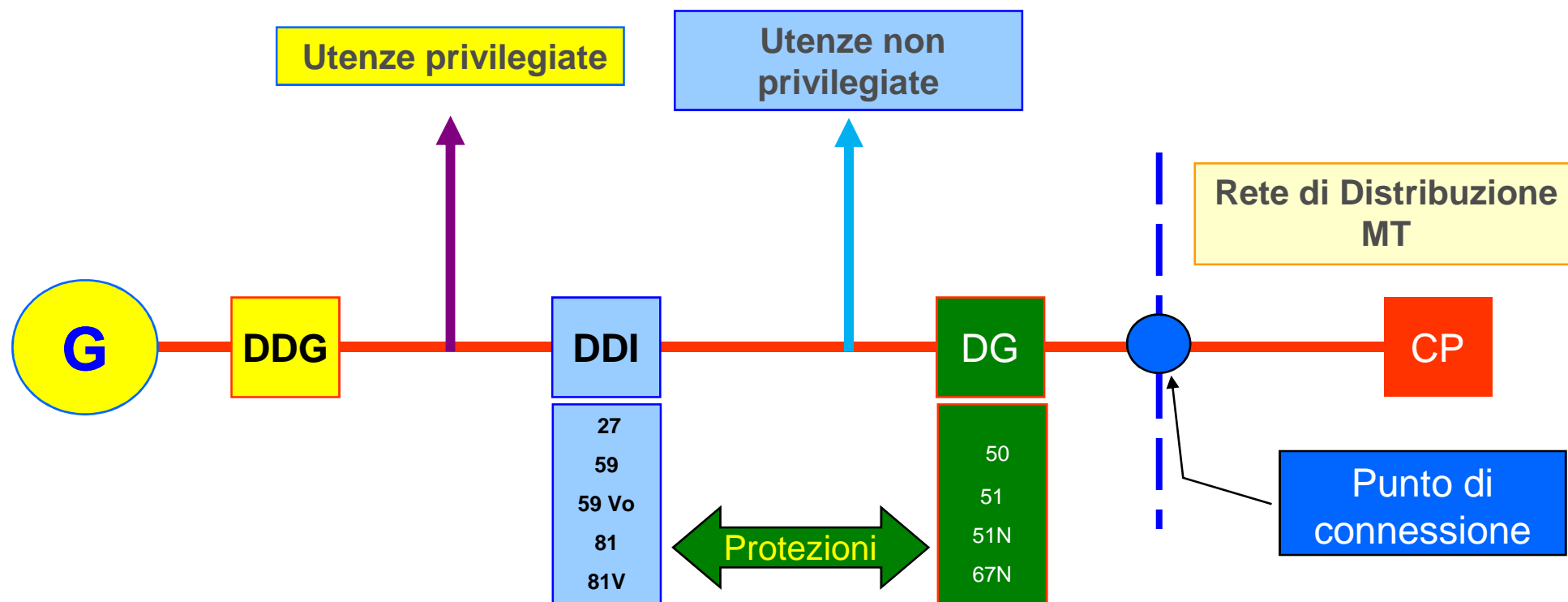
Schema di connessione per utenti attivi

In caso di connessione di **utenti attivi**, dovranno essere rispettate le prescrizioni contenute nella norma CEI 11-20 se non in contrasto con la norma CEI 0-16



Protezione asservite al DG e al DDI

- Elenco delle funzioni di protezione per la Protezione Generale (PG) e per la Protezione di Interfaccia (PI)



Limiti sulle sezioni di trasformazione MT-BT

- Scopo limitare la complessiva **potenza di cortocircuito** della sezione di trasformazione afferente a un singolo **sistema di sbarre BT**.
- Il Distributore, deve comunicare il limite alla potenza massima del singolo trasformatore e/o di più trasformatori in parallelo sulla stessa sbarra BT **(riferiti ad una V_{cc} del 6%)**.
- Tale limite alla potenza massima (comunicato dal Distributore) non deve essere generalmente superiore a **2000 kVA (reti a 20 kV) e 1600 kVA (reti a 15 kV)**.
- Limiti inferiori possono essere definiti dal Distributore nel caso di strutture particolari della rete MT esistente.

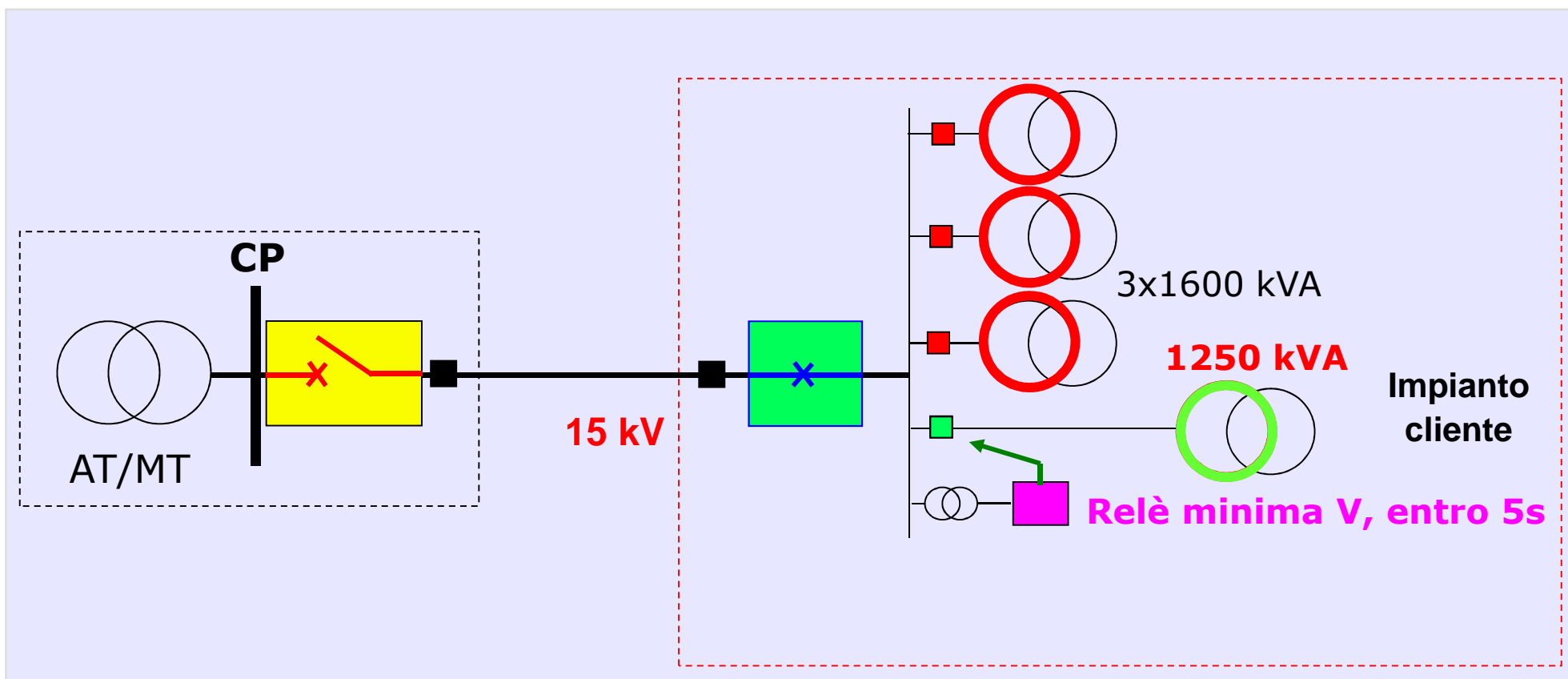
Limiti sulla energizzazione contemporanea

Limiti sulla energizzazione contemporanea dei trasformatori MT-BT installati

- Lo scopo è quello di contenere le **correnti di inserzione**, riferite a trasformatori con correnti di inserzione pari a quelle indicate nella Guida CEI 99-4.
- L'Utente non può installare trasformatori per una potenza complessiva superiore a 3 volte i limiti indicati (**6000kVA a 20kV 4800kVA a 15kV**) per ciascun livello di tensione, anche se con sbarre BT separate.
- In caso di installazione di trasformatori di potenza complessiva eccedente la potenza limite, si devono prevedere opportuni dispositivi/accorgimenti.

Limiti sulla energizzazione contemporanea

- Tali dispositivi devono intervenire in caso di mancanza di tensione per un tempo superiore a **5s**.



Limiti e confronto tra distribuzione in BT ed in MT

Norma Italiana

CEI 0-16

Potenza MW	Livello di tensione della rete
$\leq 0,1$	BT
0,1 - 0,2	BT
0,2 - 3 Limite superiore elevato a 6 MW per impianti di produzione	MT
3 - 10 Limite inferiore elevato a 6 MW per impianti di produzione	MT
	AT
10 – 100 impianti di utilizzazione 10 – 200 impianti di produzione	AT

- Tabella 4 – Valori indicativi di potenza che è possibile connettere sui differenti livelli di tensione delle reti di distribuzione

Perdite AT MT BT nella rete elettrica nazionale

Sono le perdite di energia, misurate in kWh, che si manifestano nel processo di trasporto dell'energia elettrica, dai siti di produzione al luogo di fornitura.

La tabella riporta i valori % di tali perdite per ogni livello di tensione così come recentemente modificate [dall'Autorità per l'Energia Elettrica](#) e il Gas a seguito della Delibera ARG/elt 196/11 del 30.12.2011

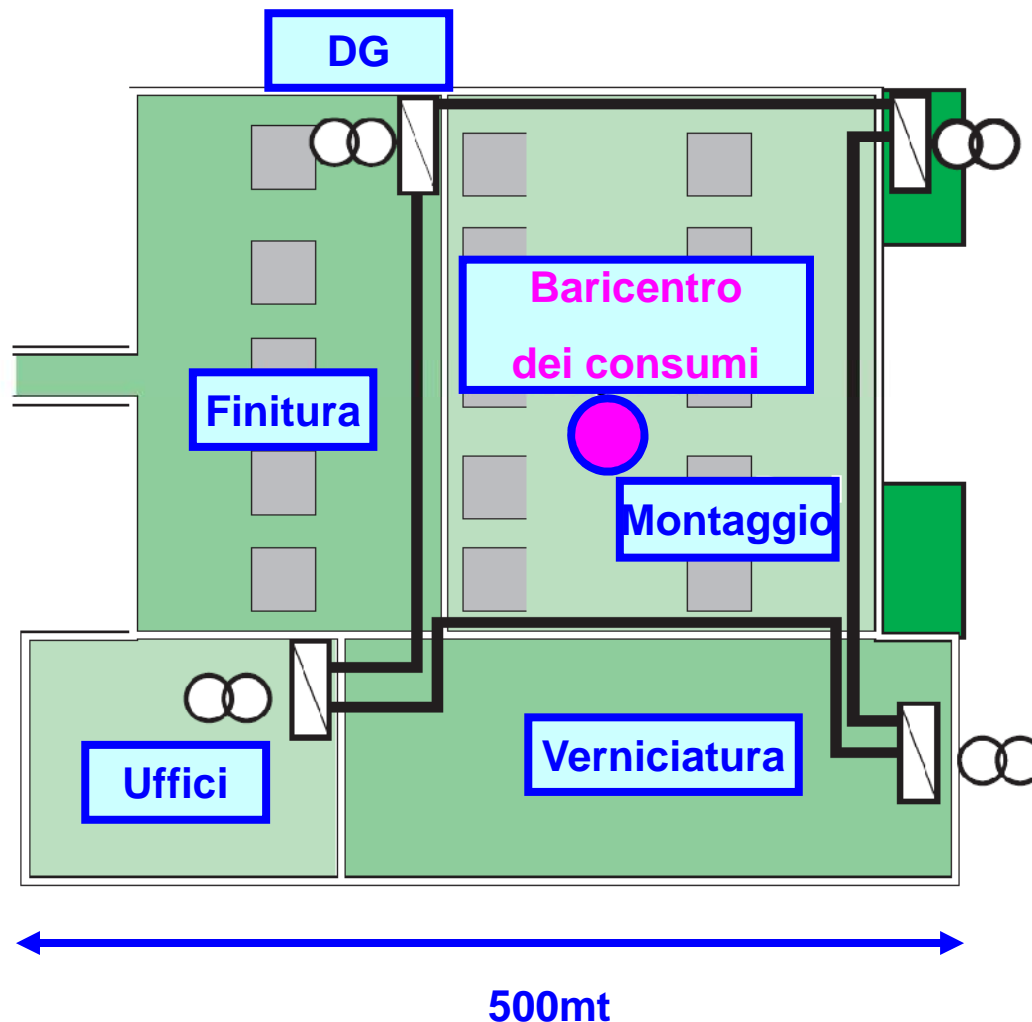


Bassa tensione BT:	10,4%
Media tensione MT:	4,7%
Alta tensione AT:	0,7% per tensione pari a 380 kV
	1,1% per tensione pari a 220 kV
	1,8% per tensione uguale o inferiore a 150 kV

Dislocazione delle cabine

- Il numero delle cabine MT/BT ed il loro posizionamento rispetto ai carichi,

→ determina ancora prima della scelta delle sezioni dei conduttori, le perdite nelle linee elettriche.

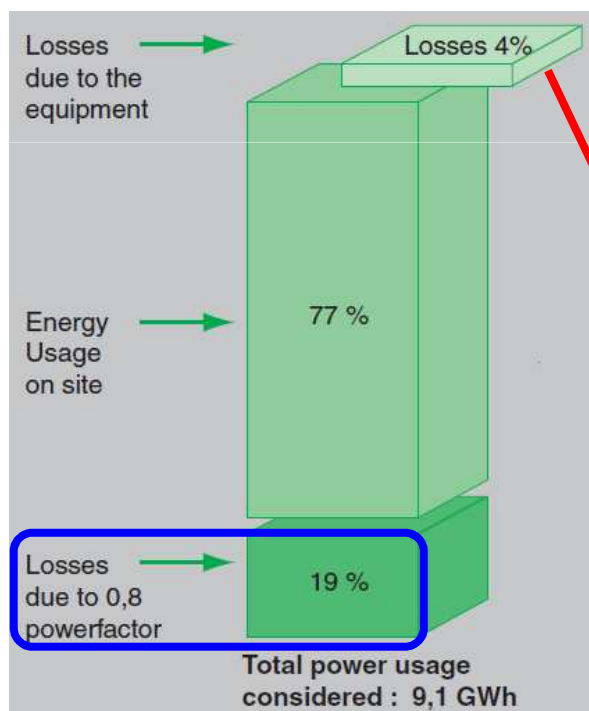


Perdite in un sito industriale



→ Il sito è di 10.000 mq con una potenza installata pari a 3.500 kVA

- Potenza media nei periodi di carico = 1.400 kW.
- L'installazione utilizza il 50% della potenza installata.
- Il sito è attivo 6.500 su 8.760 ore per anno.
- Consumo 9,1 GWh/anno corrispondenti a
 $\times 0,18 \text{ €/kWh} = 1.638 \text{ k€/anno}$.



→ $4 / (4+77) = 4,9\%$ sono le perdite sulla potenza attiva costano:

$$\rightarrow 1.638 \times 4,9/100 = 80 \text{ k€/anno}$$

- Quadri
- Cavi
- Trasformatori

→ 19% della potenza non è disponibile (PF = 0,8)

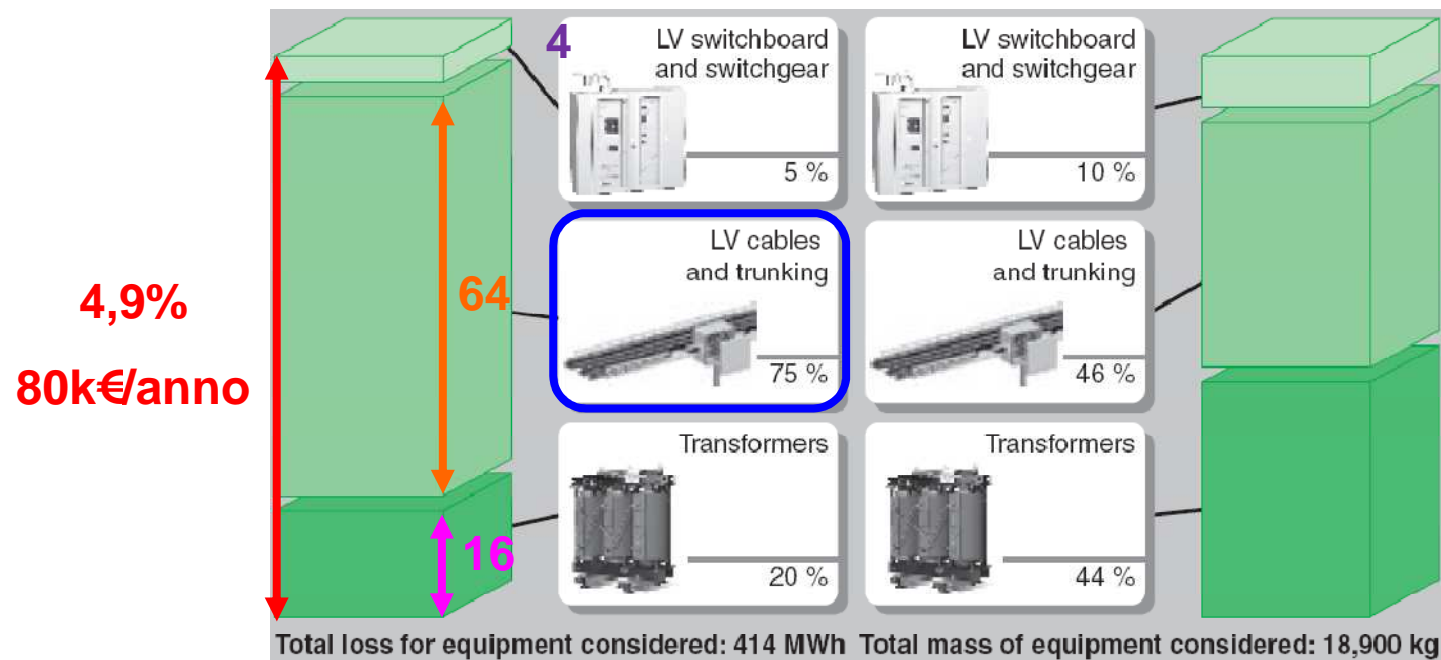
Costi elettrici anno 2015

MT 0,18 €/kWh

BT 0,21 €/kWh

Perdite in un sito industriale

→ Le perdite complessive della distribuzione elettrica **80 k€/anno** possono essere ripartite indicativamente come dalla seguente immagine:



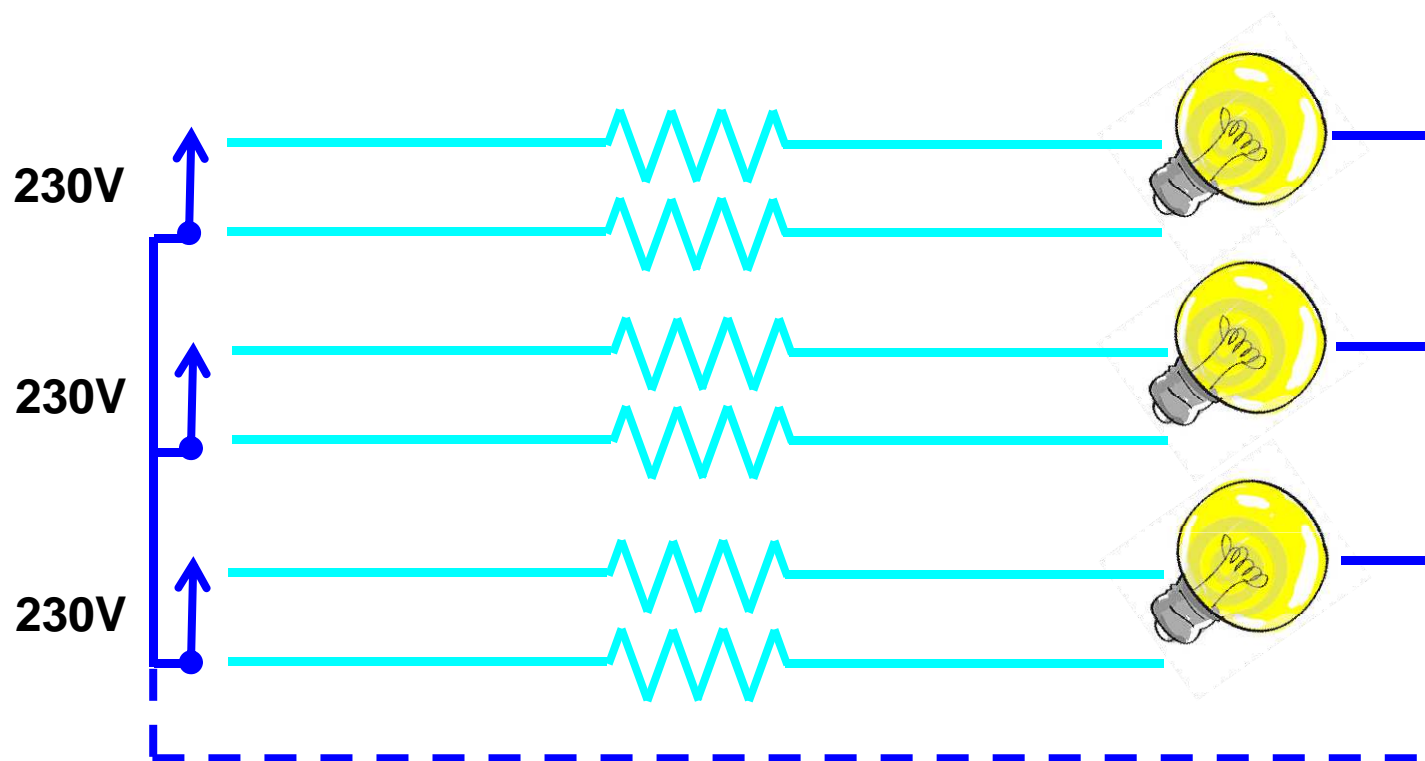
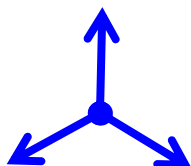
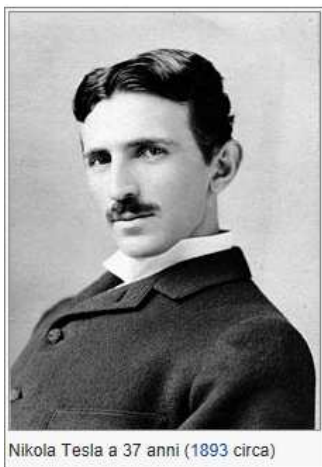
→ Quadri BT 5/100 x 80 = 4 k€/anno

→ Trasformatori 20/100 x 80 = 16 k€/anno (rendimento TR 99%)

→ Cavi 80/100 x 80 = 64 k€/anno

→ 75% del 4,9% corrisponde a 3,7% dato comparabile con il valore della caduta di tensione %.

Tesla e il sistema trifase



→ Perdite dimezzate

→ Perdite dimezzate

→ Tra il sistema monofase e quello trifase le perdite vengono ridotte del 75% a parità di rame

Confronto MT-BT, dati di base

□ Gli esempi sono realizzati con i seguenti dati:

- Costo dell'energia in MT 0,18 €/kWh
- Costo dell'energia in BT 0,21 €/kWh
- Potenza assorbita da 10 a 300 kW con PF 0,9
- Un ciclo di lavoro di 8 ore su 24 ore per 365 giorni all'anno pari a 2.920 su 8.760 ore/anno
- **10 anni di servizio** dell'impianto pari a 29.200 ore di funzionamento
- ΔV massimo del tratto di cavo 4%

Utenza

Costi

□ Sono da valutare:

- Costi di installazione
- Costi di manutenzione
- Costi di acquisto dell'energia
- Perdite nei cavi e nel trasformatore
- Spazi impiegati dalla cabina e dai cavi
- Variazione della tensione tra funzionamento a vuoto e a carico

Acquisto e trasp. a 100 mt in BT di 100 kW



Sezione conduttori [mm ²] fase neutro		R _{cavo} [Ω]	ΔV _{cavo} [%]
3 x (1x70)	1x70	0,034	2,34

P [kW]	PF	Tensione [V]	I _b [A]
100	0,90	400	160

❑ Costi d'installazione

- Cavi BT 4 x 100 = 400 mt
9 k€

❑ Costi dell'energia

$$29.200 \times 100 \text{ [kW]} \times 0,21 / 10^3 =$$

613 k€

❑ Costi per le perdite nei cavi

$$3 \times 0,034 \times 160^2 \times 29.200 \times 0,21 / 10^6 =$$

17 k€

➔ **Totale 639 k€**

Acquisto e trasp. a 100 mt in MT di 100 kW

①



Sezione conduttori [mm ²] fase	R _{cavo} [Ω]	ΔV _{cavo} [%]
3 x (1x35)	0,0671	0

PF	Tensione [V]	I _b [A]
0,90	15.000	4

❑ Costi d'installazione

- Cavi MT 3 x 100 = 300 mt
7 k€
- Una cabina MT con celle AT7
Una cabina MT con celle GAM2+IM
Un trasformatore da 250 kVA
80 k€
- Costi di manutenzione delle cabine
15 k€

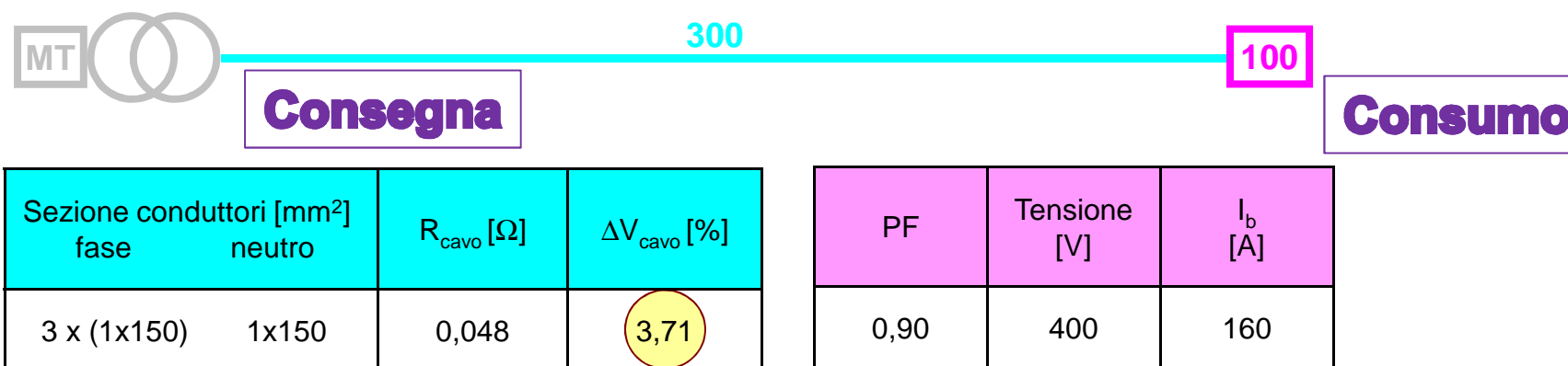
❑ Costo dell'energia

- $29.200 \times 100 \text{ [kW]} \times 0,18 / 10^3 = \mathbf{526 \text{ k€}}$
- Costo per le perdite nel trasf. da 250 kVA
a vuoto $0,88 \times 87.600 = 77.000 \text{ kWh}$
a carico $3,3 \times 29.200 \times (111/250)^2 = 19.000 \text{ kWh}$
totale $(77.000 + 19.000) \times 0,18 / 10^3 = \mathbf{17 \text{ k€}}$
- Costi per le perdite nei cavi
 $3 \times 0,067 \times 4^2 \times 29.200 \times 0,18 / 10^6 = \mathbf{0,02 \text{ k€}}$

➔ **Totale 645 k€**

Utente MT trasp. a 300 mt in BT di 100 kW

②



Costi d'installazione

- Cavi BT 4 x 300 = 1.200 mt
42 k€

Costi per le perdite nei cavi

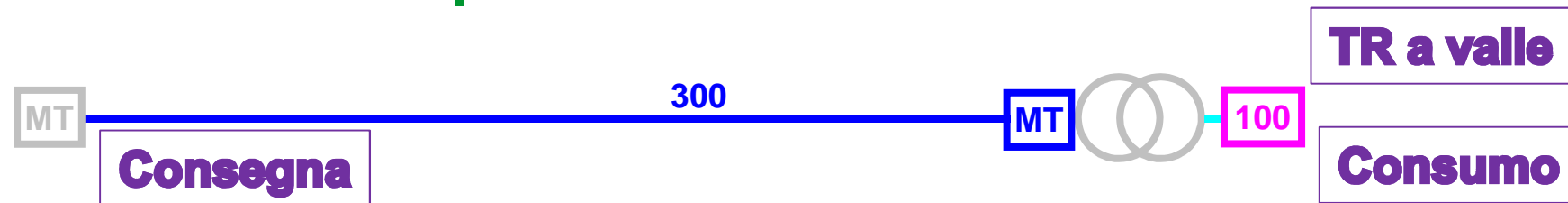
$$3 \times 0,048 \times 160^2 \times 29.200 \times 0,18 / 10^6 =$$

21 k€

→ Totale **63 k€**

Utente MT trasp. a 300 mt in MT di 100 kW

②



Sezione conduttori [mm ²] fase	R _{cavo} [Ω]	ΔV _{cavo} [%]
3 x (1x35)	0,201	0

PF	Tensione [V]	I _b [A]
0,90	15.000	4

❑ Costi d'installazione

- Cavi MT 3 x 300 = 900 mt
21 k€
- Una cabina MT con celle GAM2+IM
20 k€

❑ Costi per le perdite nei cavi

$$3 \times 0,201 \times 4^2 \times 29.200 \times 0,18 / 10^6 =$$

0,06 k€

➔ Totale **41 k€**

Utente MT trasp. a 100 mt in BT di 300 kW

③



Sezione conduttori [mm ²] fase neutro		R _{cavo} [Ω]	ΔV _{cavo} [%]
3 x (1x240)	1x240	0,010	2,59

PF	Tensione [V]	I _b [A]
0,90	400	481

❑ Costi d'installazione

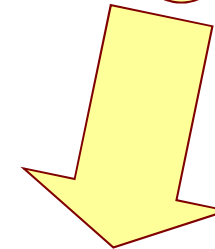
- Cavi BT 4 x 100 = 400 mt

19 k€

❑ Costi per le perdite nei cavi

$$3 \times 0,01 \times 481^2 \times 29.200 \times 0,18 / 10^6 =$$

38 k€



- ❑ Visto il valore elevato proviamo il raffronto con una sezione doppia

➔ **Totale 57 k€**

Utente MT trasp.a 100 mt in BT (sez. 2X) di 300 kW

③



Sezione conduttori [mm ²] fase neutro		R _{cavo} [Ω]	ΔV _{cavo} [%]
3 x (2x240)	2x240	0,005	1,29

PF	Tensione [V]	I _b [A]
0,90	400	481

❑ Costi d'installazione

- Cavi BT 8 x 100 = 800 mt

39 k€

❑ Le perdite si dimezzano
ma raddoppia il costo
dell'installazione

❑ Costi per le perdite nei cavi

$$3 \times 0,005 \times 481^2 \times 29.200 \times 0,18 / 10^6 =$$

19 k€

➔ **Totale 58 k€**

Utente MT trasp. a 100 mt in MT di 300 kW

③



Sezione conduttori [mm ²] fase	R _{cavo} [Ω]	ΔV _{cavo} [%]
3 x (1x35)	0,067	0

PF	Tensione [V]	I _b [A]
0,90	15.000	13

❑ Costi d'installazione

- Cavi MT 3 x 100 = 300 mt

7 k€

- Una cabina MT con celle GAM2+IM

20 k€

❑ Costi per le perdite nei cavi

$$3 \times 0,067 \times 13^2 \times 29.200 \times 0,18 / 10^6 =$$

0,17 k€

→ Totale 27 k€

Utente BT trasp. a 1200 mt in BT 400 V di 10 kW

④



Sezione conduttori [mm ²] fase neutro		R _{cavo} [Ω]	ΔV _{cavo} [%]
3 x (1x50)	1x50	0,588	3,91

PF	Tensione [V]	I _b [A]
0,90	400	16

❑ Costi d'installazione

- Cavi BT 4 x 1.200 = 4.800 mt

49 k€

❑ Costi per le perdite nei cavi

$$3 \times 0,588 \times 16^2 \times 29.200 \times 0,21 / 10^6 =$$

3 k€

→ Totale 52 k€

Utente BT trasp. a 1200 mt in BT 690 V di 10 kW

④



Sezione conduttori [mm ²] fase neutro	R _{cavo} [Ω]	ΔV _{cavo} [%]
3 x (1x16) 1x16	1,848	3,69

PF	Tensione [V]	I _b [A]
0,90	690	9

❑ Costi d'installazione

- Cavi BT 4 x 1.200 = 4.800 mt

30 k€

- Costo 2 trasformatori BT/BT

3 k€

❑ Costi per le perdite nei cavi

$$3 \times 1,848 \times 9^2 \times 29.200 \times 0,21 / 10^6 =$$

3 k€

❑ Costo delle perdite nei 2 trasformatori da 12 kVA

- a vuoto 2 x 0,1 x 87.600 = 17.520 kWh
- a carico 2 x 0,28 x 29.200 = 16.352 kWh
- totale (17.520 + 16.352) x 0,21 / 10³ =

7 k€

→ Totale 43 k€

Riepilogo

Costi	Dati del carico				Dati del cavo						Perdite nel cavo		
	Potenza [kW]	Lunghezza [km]	Tensione [V]	PF	N° cavi	Sezione cavi [mmq]	Resistenza [ohm/km]	R cavo [ohm]	Inominale [A]	DVcavo %	T. servizio [ore]	Costo [€/kWh]	Costi k€/10 anni
①	100	0,1	0,4	0,9	1	70	0,35	0,035	160	2,34	29200	0,21	16,56
	100	0,1	15	0,9	1	35	0,671	0,067	4	0	29200	0,18	0,02
②	100	0,3	0,4	0,9	1	150	0,17	0,051	160	3,71	29200	0,18	20,68
	100	0,3	15	0,9	1	35	0,671	0,201	4	0	29200	0,18	0,06
③	300	0,1	0,4	0,9	1	240	0,104	0,010	481	2,59	29200	0,18	37,96
	300	0,1	0,4	0,9	2	240	0,104	0,005	481	1,295	29200	0,18	18,98
	300	0,1	15	0,9	1	35	0,671	0,067	13	0	29200	0,18	0,17
④	10	1,2	0,4	0,9	1	50	0,5	0,600	16	3,91	29200	0,21	2,84
	10	1,2	0,69	0,9	1	16	1,54	1,848	9	3,69	29200	0,21	2,94

Riepilogo				
Es.	Potenza kW	Lunghezza km	Tensione [V]	Totale [€]
①	100	0,1	0,4	639
	100	0,1	15	645
②	100	0,3	0,4	63
	100	0,3	15	41
③	300	0,1	0,4	57
	300	0,1(2 cavi)	0,4	58
	300	0,1	15	27
④	10	1,2	0,4	52
	10	1,2	0,69	43
Soluzione economicamente più conveniente				
Soluzione intermedia				
Soluzione economicamente meno conveniente				



Dimensionamento delle apparecchiature in MT

DATI AMBIENTALI

Installazione:

all'interno (I)

all'esterno (E)

PARAMETRI

Temperatura ambiente

max. valore istantaneo

max. valore medio nelle 24h

minima (I)

minima (E)

Umidità relativa

max. valore medio nelle 24h

max. valore medio nel mese

Altitudine

Inquinamento

Vibrazioni dovute a cause esterne

all'apparecchiatura o ad effetti sismici

Velocità del vento (E)

Spessore del ghiaccio (E)

Irraggiamento solare (E)

Disturbi elettromagnetici indotti

VALORI NORMALI

$\leq 40^{\circ}\text{C}$

$\leq 35^{\circ}\text{C}$

$\geq -5^{\circ}\text{C}$ (-15°C , -25°C)

$\geq -10^{\circ}\text{C}$ (-25°C , -30°C , -40°C)

$\leq 95\%$

$\leq 90\%$ (attenzione alla condensa)

$\leq 1000\text{m}$

in pratica nessuno (da specificare)

trascurabili

$\leq 34\text{m/s}$

$\leq 1 \div 10\text{mm}$ (20mm)

$\leq 1000 \text{ W/m}^2$

$\leq 1,6 \text{ kV}$

Parametri elettrici

I principali aspetti che caratterizzano un sistema di distribuzione sono:

- La **tensione nominale** ed il relativo livello di isolamento;
- La **corrente di cortocircuito** ai differenti livelli di distribuzione;
- Le correnti nominali assegnate nei nodi dell'impianto e quindi dei relativi apparecchi.

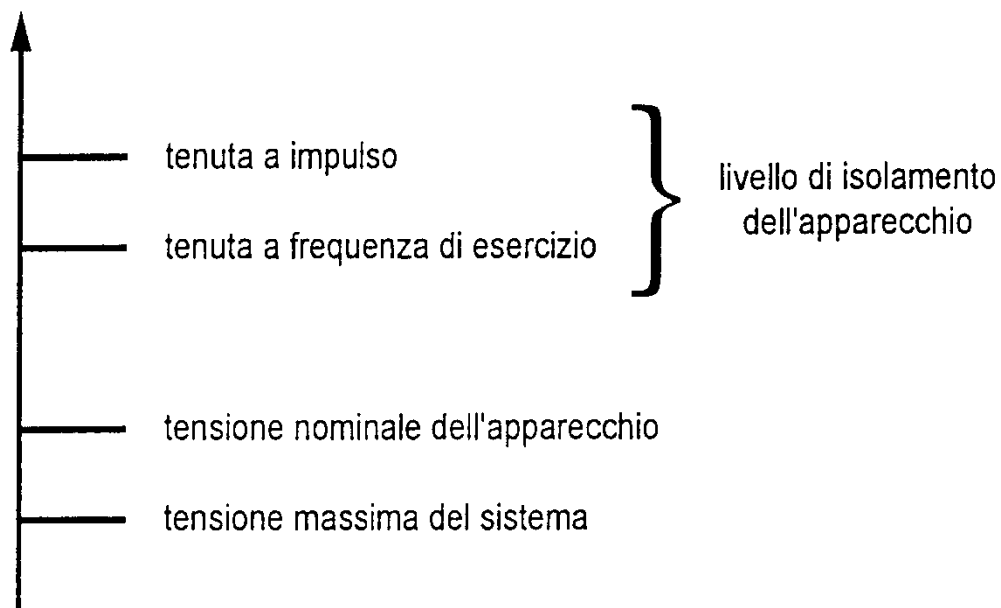
Tensione nominale

La tensione nominale di una rete, è definita come:

la tensione di riferimento di progetto, tensione alla quale sono riferite le principali caratteristiche operative;

Strettamente legata alla tensione nominale è la più alta tensione per i componenti della rete, che concerne il livello di isolamento alla normale frequenza di lavoro e che è definita come :

- Il massimo valore di tensione a cui può essere usato il componente, per le normali operazioni in qualunque istante ed in qualunque punto della rete.



Tensione nominale e livello di isolamento

Tabella 1a – Livelli di isolamento nominali per tensioni nominali di campo I, serie I

Tensione nominale U_r kV (valore efficace)	Tensione di tenuta di breve durata nominale a frequenza di esercizio U_d kV (valore efficace)		Tensione di tenuta a impulso atmosferico nominale U_p kV (valore di picco)	
	Valore comune	Sulla distanza di sezionamento	Valore comune	Sulla distanza di sezionamento
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195

Valore ridotto

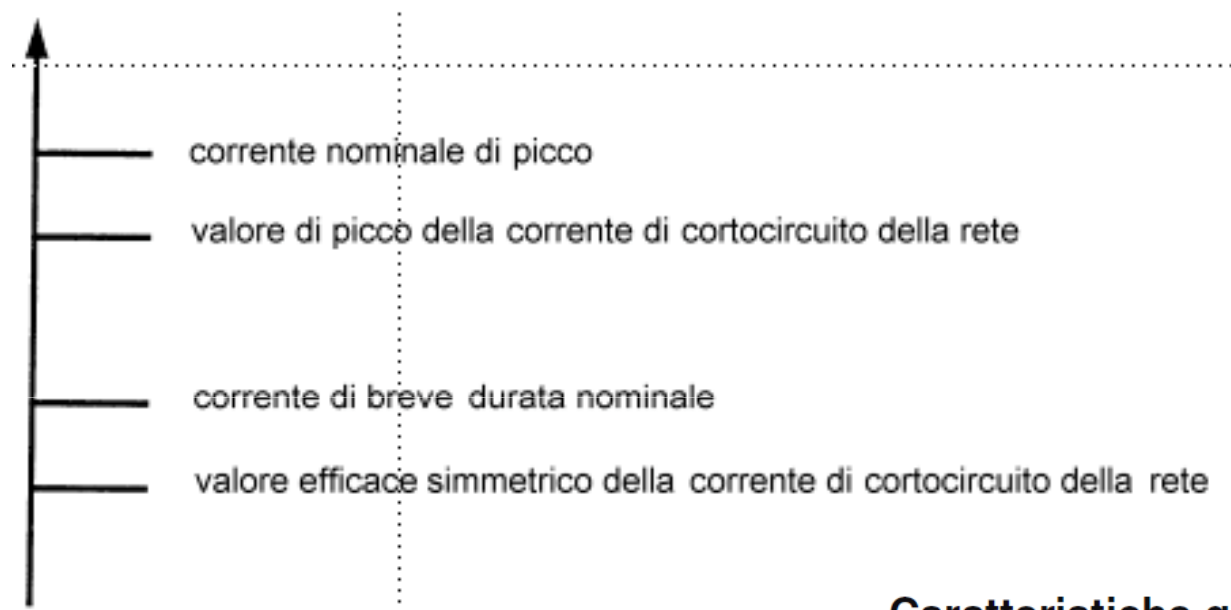
Valore pieno

Norma Italiana

CEI EN 62271-1

Corrente nominale e di corto circuito

L'apparecchiatura deve essere scelta in base alla **corrente nominale** e di **corto circuito** nel punto dell'impianto in cui viene installata.



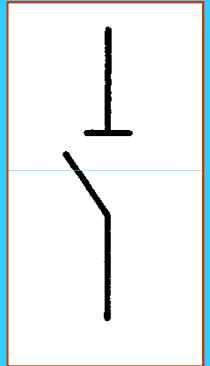
Caratteristiche generali

Massimo potere di interruzione

tensione nominale (kV)	7,2	12	17,5	24
unità	630-800 A			
IM, IMB ⁽²⁾ , IM-U ⁽²⁾ , IM-P, NSM ⁽²⁾	25 kA		20 kA	
QM	25 kA		20 kA	
DM1-A, DM1-P, DM1-R, DM1-G, DM1-J, DM2	16 kA			
AT7-A, AT7-B	25 kA			
CRM con fusibili				

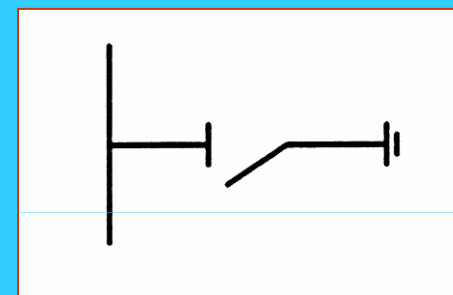
⁽²⁾ Limitata a 630 A

Sezionatore di Linea Norma CEI EN 62271-102

- E' un dispositivo di sicurezza, seziona il circuito tra monte e valle.
 - **Manovra a vuoto** (non ha, né potere di interruzione, né potere di stabilimento).
- Tensione nominale.
 - Livello di isolamento nominale.
 - Frequenza nominale.
 - Corrente termica nominale e sovratemperatura.
 - Corrente di breve durata nominale.
 - Corrente nominale di picco.
- 
- **Deve essere inter-bloccato** con l'apparecchio di manovra che apre e chiude sotto carico il circuito.
 - La sua posizione di aperto o chiuso deve essere riconosciuta in modo sicuro:
 - sezionamento visibile;
 - catena cinematica sicura.

Sezionatore di Terra Norma CEI EN 62271-102

- E' un dispositivo di sicurezza che permette di collegare il circuito principale con l'impianto di terra.
- Tensione nominale.
- Livello di isolamento nominale.
- Frequenza nominale.
- Corrente di breve durata nominale.
- Corrente nominale di picco.
- Potere di stabilimento su cortocircuito.
- Serve, unitamente al sezionatore di linea, alla sicurezza del personale quando si deve accedere al circuito interessato.



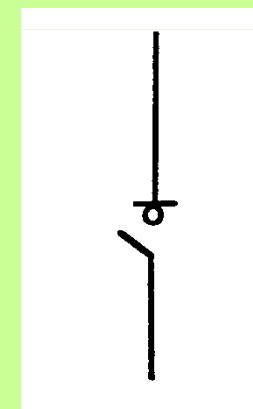
Interruttore di manovra e Interruttori di manovra sezionatore IMS

Norma CEI EN 60265-1

Interrompe la corrente nominale.

Stabilisce nel circuito sia la corrente nominale sia la corrente di cortocircuito. Deve essere protetto contro il cortocircuito da un dispositivo di protezione a monte. Svolge anche la funzione di sezionatore se rispondente alle relative norme.

- Tensione nominale.
- Livello di isolamento nominale.
- Frequenza nominale.
- Corrente termica nominale e sovratemperatura.
- Potere di interruzione nominale (in funzione del carico).
- Potere di stabilimento nominale.
- Corrente di breve durata nominale.
- Corrente nominale di picco.



Interruttore di manovra e Interruttori di manovra sezionatore IMS

Norma CEI EN 60265-1

Gli interruttori di manovra-sezionatori IMS sono apparecchi di costruzione più semplice ed economica rispetto agli interruttori.

Sono apparecchi di **MANOVRA** che hanno la caratteristica di **SEZIONARE** il circuito di potenza (caratteristica che non ha l'interruttore, se non in caso di interruttore estraibile), rispondendo alle prescrizioni di norma relative ai sezionatori.

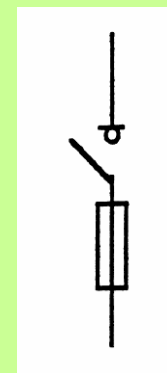
Per effettuare le manovre di apertura di correnti di carico **hanno una camera di interruzione**.

Devono essere in grado di chiudere anche in condizioni di guasto (cortocircuito) e sopportare la propria corrente nominale di breve durata.

Interruttore di manovra e Interruttore di manovra-sezionatore combinato con fusibile Norma CEI EN 62271-105

• Combinazione costituita da un apparecchio di manovra (eventualmente munito di relè di protezione contro i sovraccarichi) e di fusibili limitatori di corrente. La fusione di un fusibile deve provocare l'apertura dell'apparecchio di manovra. Il fusibile è quindi provvisto di un percussore in grado di provocare l'apertura automatica dell'apparecchio accoppiato (*).

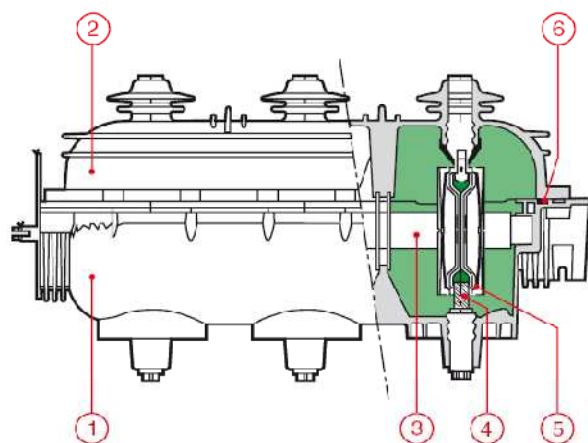
- Tensione nominale.
- Corrente termica nominale e sovra-temperatura.
- Frequenza nominale.
- Livello di isolamento nominale.
- Potere di interruzione nominale.
- Potere di stabilimento nominale.



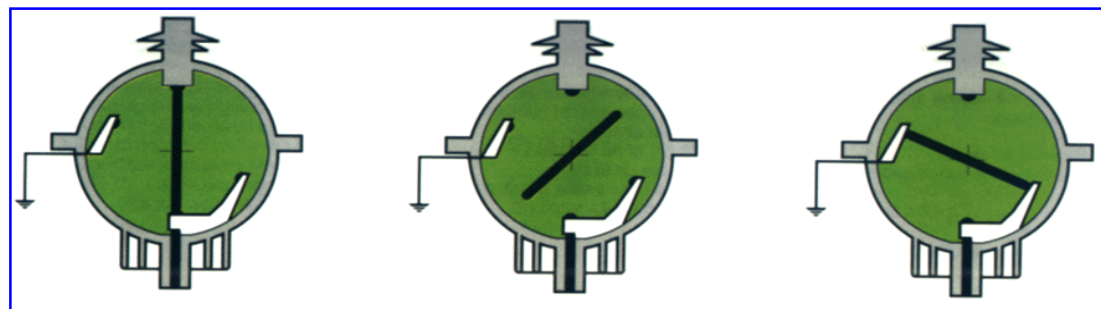
Il combinato permette di utilizzare un apparecchio di manovra anche per correnti di cortocircuito superiori a quelle nominali.

Il combinato viene provato come apparecchio unico.

Esempio e Descrizione dell' IMS all'interno della gamma SM6



- ① involucro isolante
- ② coperchio
- ③ albero di comando
- ④ contatto fisso
- ⑤ contatto mobile
- ⑥ guarnizione di tenuta



Chiuso

Aperto

A Terra

Fusibili Norma CEI EN 62282-1

- “Apparecchio” che Interrompe il circuito attraverso la fusione di un elemento fusibile, quando la corrente supera un determinato valore per un certo tempo stabilito dalla curva di intervento (caratteristica I-t a tempo inverso). Al di sopra di un determinato valore della corrente di guasto presunta, **la corrente viene limitata in modo significativo**, sia in valore di picco che e in energia specifica limitata.

- Tensione nominale.
- Corrente nominale.
- Frequenza nominale.
- Potere di interruzione nominale.
- Curva tempo-corrente.
- Curva di limitazione.



Fusibili Norma CEI EN 62282-1

- E' abitualmente associato o combinato con un apparecchio di manovra. Ad intervento avvenuto, fusione del fusibile, occorre sostituirlo e ciò comporta il sezionamento del circuito a monte.
- E' utilizzato principalmente nella **protezione di trasformatori "piccoli" di distribuzione MT/BT**, di motori, di batterie di condensatori e di trasformatori di tensione ed anche a protezione delle reti

QM (375 mm)

Interruttore di manovra-sezionatore combinato con fusibili



Per la scelta dei fusibili tipo Fusarc CF fare riferimento alle tabelle di pag. 49.



Guida alla scelta dei Fusibili

- Protezione trasformatore di distribuzione MT/BT, criteri che fissano la scelta della corrente nominale del fusibile.
- I trasformatori di distribuzione sottopongono i fusibili a 3 condizioni principali:
 - 1 Sopportare senza intervenire intempestivamente i valori di cresta della **corrente transitoria** che accompagna la messa in servizio del trasformatore:
 - 2 **Interrompere le correnti di guasto lato BT** entro i tempi di tenuta dei trasformatori.
 - 3 **Evitare il campo di funzionamento** a valori inferiori della corrente di minima interruzione **per un guasto lato BT**.

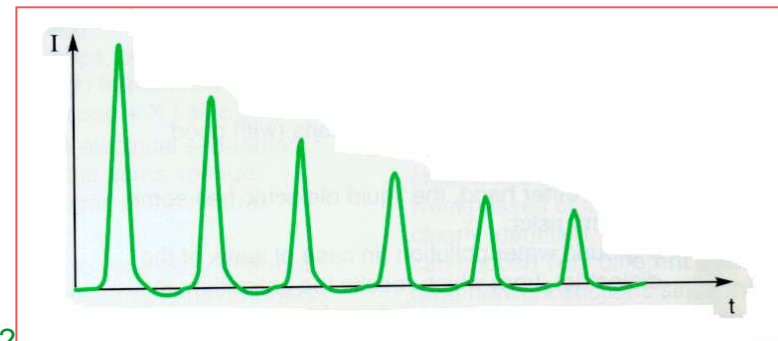


Tabella di scelta

Tabella di scelta (corrente nominale in A, impiego senza sovraccarico a - 5° C < t < 40° C). ⁽¹⁾

Fusarc CF caso generale, norme CEI EN 60282-1 e dimensioni DIN 43625. Nella gamma SM6 per garantire i requisiti normativi (CEI-EN 62271-105) e le relative prove, si raccomanda l'utilizzo dei fusibili Fusarc CF.

tensione nominale (kV)	tensione di esercizio (kV)	potenza del trasformatore (kVA)																
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
12	3,3	16	25	40	50	50	80	80	100	125	125	160*	200*					
	5,5	10	16	31,5	31,5	40	50	50	63	80	100	125	125	160*	160*			
	6,6	10	16	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	160*			
	10	6,3	10	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	100	125*	200*	
24	13,8	6,3	10	16	16	20	25	31,5	31,5	40	50	50	63	80	80	100*	125*	125*
	15	6,3	10	10	16	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100*	125*	125*
	20	6,3	6,3	10	10	16	16	25	25	31,5	40	40	50	50	63	80	100*	125*
	22	6,3	6,3	10	10	10	16	20	25	25	31,5	40	40	50	50	80	80	100*

* consultateci

- La corrente nominale dei fusibili corrisponde a una installazione in aria libera con un sovraccarico del trasformatore del 30% oppure a una installazione in quadro senza sovraccarico del trasformatore.

Interruttori Norma CEI EN 62271-100

- Tecnica di interruzione in VUOTO



- Tecnica di interruzione in SF₆



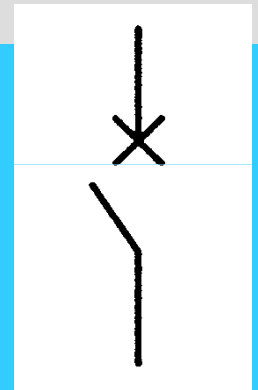
- L'interruttore riassume in sé la duplice funzione di apparecchio di manovra e protezione .

Oggi le principali tecniche di interruzione utilizzate in MT sono due:

- tecnica di interruzione in **VUOTO**
- tecnica di interruzione in **GAS SF₆** (esafloruro di zolfo)

Interruttori Norma CEI EN 62271-100

- Interrompe e stabilisce la corrente sia in condizioni normali sia in condizioni di **cortocircuito**.
 - Se in versione "**estraibile**" svolge anche la funzione di **sezionatore**.
- Tensione nominale.
 - Livello di isolamento nominale.
 - Frequenza nominale.
 - Corrente termica nominale e sovratemperatura.
 - Potere di interruzione nominale in cortocircuito.
 - Potere di interruzione nominale di linee a vuoto, cavi a vuoto, batteria singola e multipla di condensatori.
 - Potere di stabilimento su cortocircuito.
 - Corrente di breve durata nominale.
 - Corrente nominale di picco.
 - Tensione nominale di alimentazione dei circuiti ausiliari.



Interruttori Norma CEI EN 62271-100

- Funzionamento in condizioni di normale esercizio
- In queste condizioni, gli interruttori sono chiamati a interrompere:
- Correnti di carico
 - Correnti capacitive
 - linee a vuoto
 - cavi a vuoto
 - batterie di condensatori
 - Correnti induttive
 - magnetizzanti di trasformatori
 - motori a vuoto o in fase di avviamento
 - reattori
- Oltre agli interruttori, **anche gli interruttori di manovra-sezionatori** e i contattori possono compiere queste operazioni, **purché previsti per tale scopo**.

Interruttori Norma CEI EN 62271-100

- Funzionamento in condizioni di guasto
- I guasti in una rete MT possono essere attribuiti a:
 - Cause esterne all'impianto
 - fulminazioni
 - corpi estranei in contatto con parti attive (es. rami su una linea, cavi tranciati da una scavatrice)
 - Cause interne all'impianto
 - sovratensioni di manovra provenienti dalla rete
 - errata manovra dell'apparecchiatura
 - cedimento dell'isolamento in un punto dell'impianto
 - sovraccarico dei componenti (piuttosto raro)
 - mancanza di una manutenzione adeguata o non correttamente eseguita
- Le apparecchiature di protezione (interruttori e fusibili) devono intervenire per salvaguardare l'impianto e **limitare i danni alle persone e alle cose.**

Tecnologie costruttive interruttori in SF6

Distribuzione
secondaria



SF1-SFSet

Distribuzione
primaria



LF1 – LF2 – LF3

Tecnologie costruttive interruttori in VUOTO

Distribuzione
secondaria



Evolis

Distribuzione
primaria



Evolis

Caratteristiche delle apparecchiature

Le funzioni tipiche di diversi tipi di apparecchiatura sono mostrate sulla figura seguente:

Apparecchio	Funzione isolamento	Funzione di manovra su correnti		Caratteristiche principali
		In servizio	Su guasto	
Sezionatore	sì	no	no	Tenuta ingressi-uscite Sezionatore di terra : potere di chiusura su guasto
Interruttore di Manovra Sezionatore	sì	sì	no	Interruzione e chiusura della corrente normale di carico Potere di chiusura su corto-circuito In associazione con fusibile : potere di interruzione nella zona di non fusione del fusibile
Contattore	no sì, se estraibile	sì	no	Potere nominale di interruzione e di chiusura Poteri max in interruzione ed in chiusura Caratteristiche di servizio e durata
Interruttore	no sì, se estraibile	sì	sì	Potere di interruzione in cto cto Potere di chiusura su cto cto
Fusibile	no	no	sì	Potere di interruzione minimo su cto cto Potere di interruzione max su cto cto

Trasformatori di misura

Definizioni generali

Trasformatore di misura

Trasformatore destinato ad alimentare strumenti di misura, contatori, relè o apparecchi analoghi (321-01-01, modificata).

Sono apparecchi elettromagnetici statici con le seguenti funzioni:

- riprodurre proporzionalmente il valore della grandezza elettrica del circuito su cui sono inseriti;
- isolare galvanicamente il circuito di alta tensione da quello di bassa tensione.

Si dividono in 2 grandi categorie:

trasformatori di **corrente** TA o LPCT ;

trasformatori di **tensione** TV.

Trasformatori di misura

61869-1

61869-1

GENERAL
REQUIREMENTS
FOR
INSTRUMENT
TRANSFORMERS

Classe di precisione

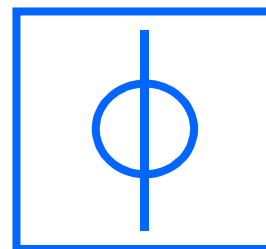
Designazione assegnata a un trasformatore di corrente i cui errori rimangono entro limiti prescritti, in condizioni di impiego specificate.

Prestazione

Impedenza del circuito secondario in ohm con indicazione del suo fattore di potenza.

Trasformatore di corrente

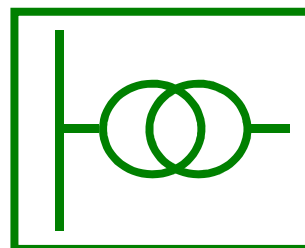
Trasformatore di misura in cui la corrente secondaria, in condizioni normali di impiego, è praticamente proporzionale alla corrente primaria e sfasata rispetto a questa di un angolo prossimo a zero per un senso appropriato delle connessioni [IEV 321-02-01].



CEI EN 61869-2

Trasformatore di tensione

Trasformatore di misura in cui la tensione secondaria, in condizioni normali di impiego, è praticamente proporzionale alla tensione primaria e sfasata rispetto a questa di un angolo prossimo a zero per un senso appropriato delle connessioni [IEV 321-03-01].



CEI EN 61869-3

Calcolo della potenza necessaria (VA)

Calcolo della potenza (VA)

Consumo indicativo

Tipo di strumento o apparecchio		Consumo max (VA)
Amperometro	Elettromagnetico	3
	Digitale	1
Trasduttore	Autoalimentato	3
	Con alimentazione esterna	1
Contatore	Induzione	2
	Digitale	1
	Wattmetro, Varmetro	1
Protezione	Relè microprocessore	0,2÷1
	Relè differenziale	1÷8

TA

Consumo in VA dei cavetti di collegamento in rame

Sezione (mm ²)	Consumo (VA/m)	
	1 A	5 A
2.5	0,008	0,2
4	0,005	0,13
6	0,003	0,09
10	0,002	0,05

Attenzione: per il calcolo tenere conto della distanza tra il TA e lo strumento moltiplicato per due (un'andata e un ritorno).

Consumo indicativo

Apparecchio		Consumo max (VA)
Voltmetro	elettromagnetico	5
	elettronico	1
Trasduttore	autoalimentato	5
	con alimentazione esterna	2
Contatore	induzione	5
	elettronico	4
	wattmetro, varmetro	5
Protezione	relè microprocessore	1

TV

I consumi dei moderni relè elettronici sono in genere molto più bassi rispetto ai (VA) resi disponibili dai TA e dai TV.

Ferrorisonanza

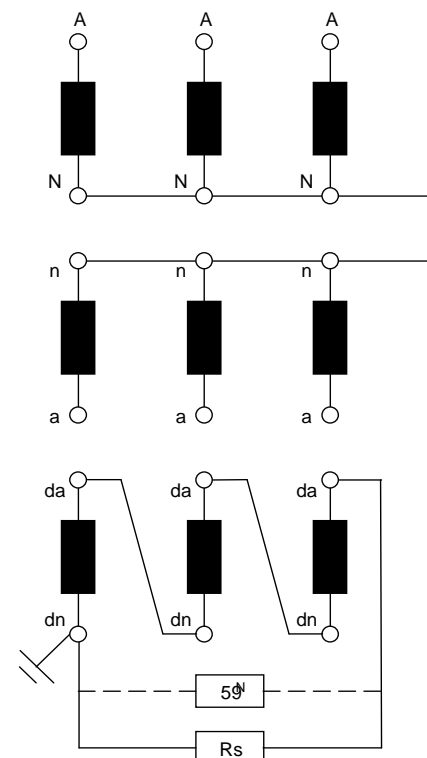
❑ **Sovratensioni di manovra** dovute a guasti a terra specie in reti con neutro isolato, provocano la saturazione del nucleo del TV (fase-terra) e quindi una riduzione sensibile della induttanza di magnetizzazione: questa può raggiungere valori tali da entrare in risonanza con le capacità della rete.

❑ Effetti

- Notevole aumento della corrente primaria e conseguente **danneggiamento del TV** per dilatazione termica

❑ Soluzioni

- Resistenza di smorzamento sull'avvolgimento secondario del triangolo aperto
- Punto di lavoro lontano dal ginocchio di saturazione



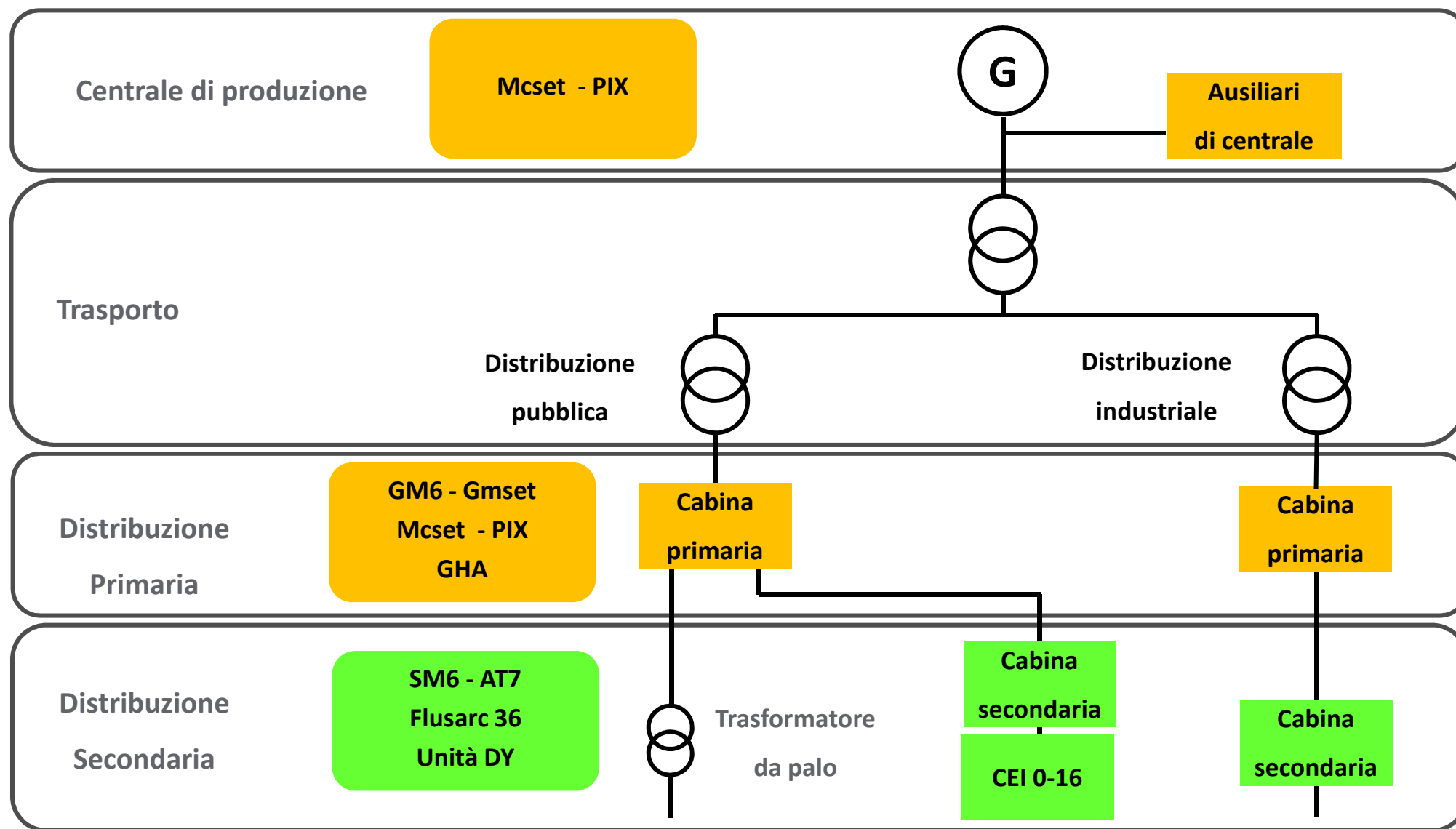
R_s = resistenza di smorzamento
59N = relè omopolare di tensione

Il quadro MT

- ❑ E' costituito da un insieme di unità funzionali adatte a realizzare lo schema elettrico di progetto.



Campo di applicazione dei quadri di MT



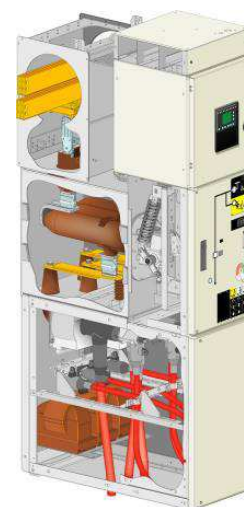
Quadri Elettrici di Media Tensione per Cabine MT-BT

Distribuzione
secondaria



SM6

Distribuzione
primaria



GMset



GM6

Generalità

In corrispondenza dei nodi della rete dovranno essere installati, per ogni linea entrante o uscente, dei dispositivi di manovra, protezione, sezionamento e di messa a terra.

L'insieme di questi dispositivi all'interno di un involucro metallico prende il nome di **QUADRO ELETTRICO**

Nella rete elettrica i quadri di media tensione si trovano:

- nella **GENERAZIONE**: sui circuiti di potenza, sui circuiti degli ausiliari della centrale
- nella **DISTRIBUZIONE**: nella cabina “**primaria**” e in quella “**secondaria**”
- nel **PROCESSO INDUSTRIALE**

Generalità

Esistono due modalità costruttive per le cabine di Media Tensione:

- Cabine di media tensione a giorno, per i quali devono essere rispettate le condizioni di sicurezza dettate dalle norme **CEI EN 61936-1**; “oggi poco utilizzati se non in casi particolari”
- Cabine di Media Tensione realizzate con apparecchiature prefabbricate in involucro metallico dette anche Quadri elettrici in accordo alla norma **CEI EN 62271-200**



Definizioni

Unità Funzionale

parte di un'apparecchiatura con involucro metallico comprendente tutti i componenti dei circuiti principali e dei circuiti ausiliari che concorrono all'espletamento di una specifica funzione.

Compartimento

parte di un'apparecchiatura con involucro metallico totalmente racchiusa in un involucro ad eccezione delle aperture necessarie per l'interconnessione, il comando, o la ventilazione.

Definizioni

Le **unità funzionali** si distinguono in:

- arrivo/partenza;
- congiuntore;
- risalita;
- misure.

All'interno di ciascuna unità' arrivo/partenza e congiuntore si trova sempre:

- un apparecchio di manovra principale (es. interruttore);
- un apparecchio di sezionamento.

All'interno di ciascuno **compartimento** si possono inoltre trovare:

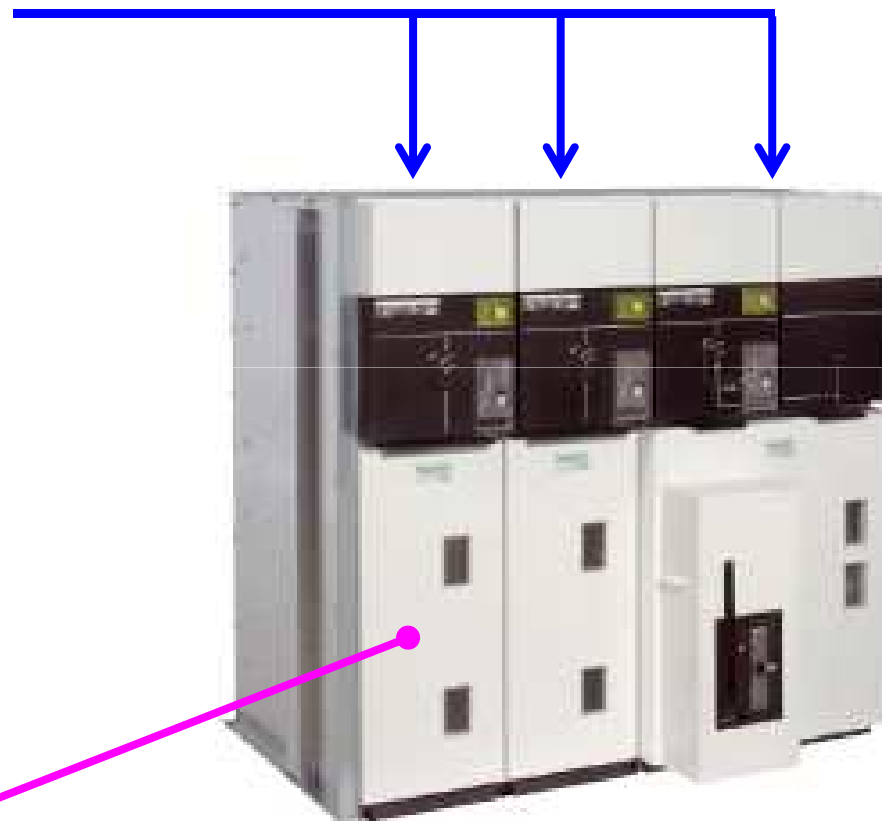
- un sezionatore di messa a terra;
- trasformatori di corrente TA e di tensione TV.

Principali cambiamenti CEI EN 62271-200

■ Esempio di Unità Funzionali,

Unità Funzionale:

Parte di un'apparecchiatura comprendente tutti i componenti dei circuiti principali e dei circuiti ausiliari che concorrono all'espletamento di una specifica funzione alla quale esse sono preposte, per es. UF Arrivo/Partenza Congiuntore



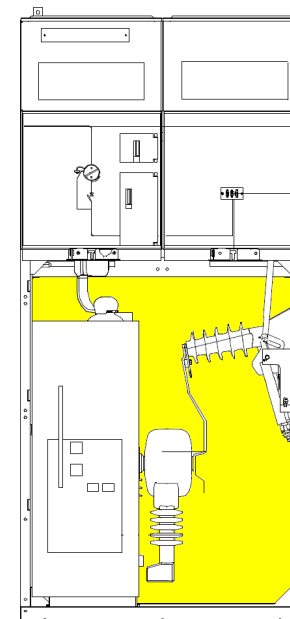
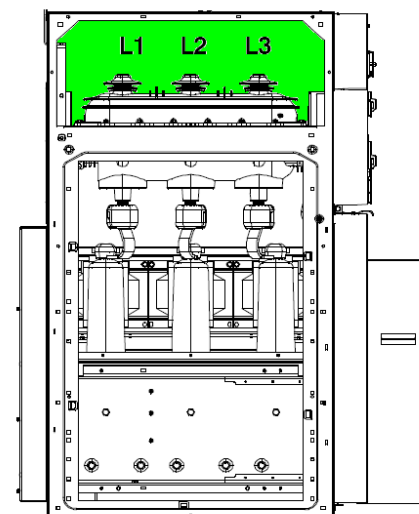
■ Assieme di Unità Funzionali (chiamato quadro nella 99-4).

Esempi di compartimenti (SM6)

- Il costruttore ne definisce il numero e i contenuti.
- Ciascun Compartimento è definito come:
 - Fisso;
 - Estraibile;
 - Eventualmente, Accessibile.

**Compartimento
sbarre**

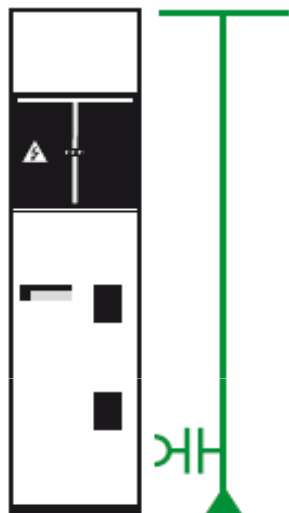
**Compartimento
MT**



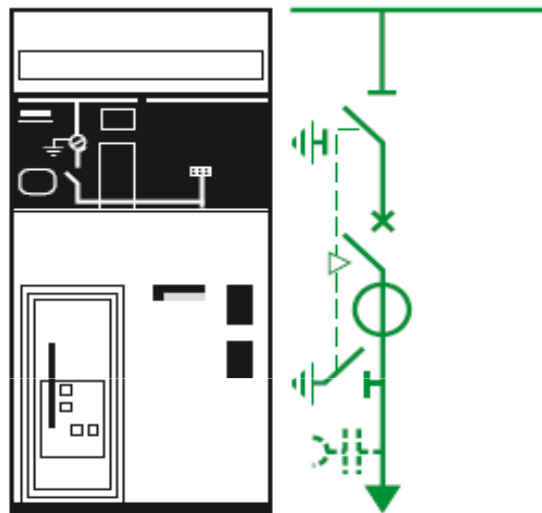
Compartimenti in relazione alla accessibilità

Tipo di compartimento	Descrizione
Accessibile tramite interblocco	L'accesso è controllato da dispositivi di interblocco costituenti parte integrante del quadro. Garantiscono che le parti attive del compartimento siano fuori tensione prima dell'accesso.
Accessibile Secondo procedura per mezzo di interblocchi a chiave	L'accesso è controllato da una procedura che prevede l'impiego di interblocchi con chiave
Accessibile Mediante attrezzo	Il compartimento può essere aperto solo con utilizzo di attrezzi
NON Accessibile	L'apertura del compartimento comporta il suo irreparabile danneggiamento, ad esempio compartimento sbare di un quadro isolato in gas SF ₆

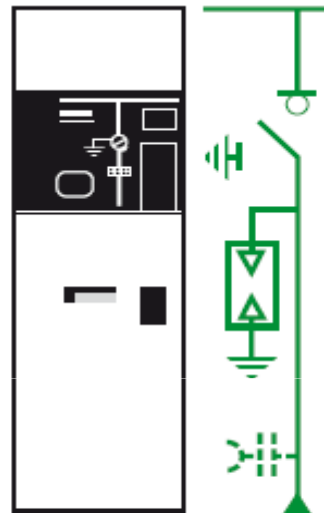
Esempi di Unità Funzionali (SM6)



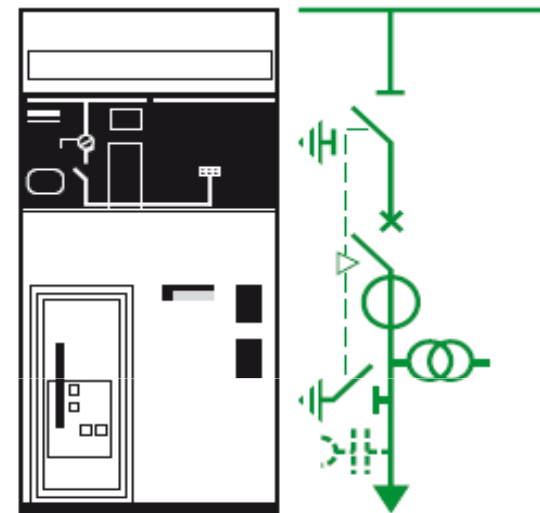
**Arrivo o partenza
GAM2 (375 mm)**



**Interruttore con sezionatore
e partenza cavo
DM1-A (750 mm)
(SFset - SF1)**



**Arrivo o partenza
con scaricatori
IMP (500 mm)**



**Interruttore con sezionatore
e partenza cavo
DM1-P (750 mm)
(SF1)**

Esempi monoblocco AT7 (SM6)

Tensione max Isolamento : 17,5-24KV

Corrente massima : 630 A

Corrente massima di guasto : 12,5-16 kA 24 kV 1sec.
: 20 kA 17,5 kV 1sec.

Dimensioni		AT7-A	AT7-B
	: Altezza	2050	1875
	: Profondità	1220	1220
	: Fronte	750	875

Plus : Soluzione monoblocco pronta all'installazione
: TA TLP130 multi-range (da 5 a 1250A)

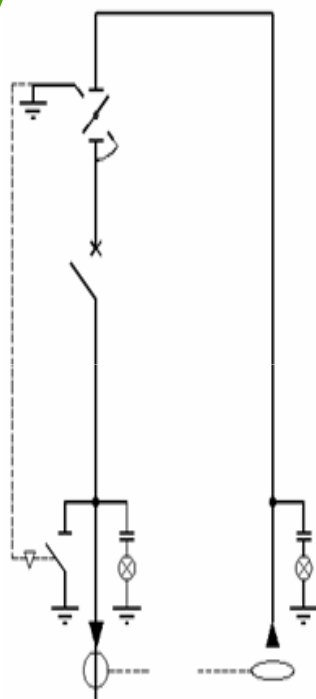


Esempi monoblocco AT7 (SM6)

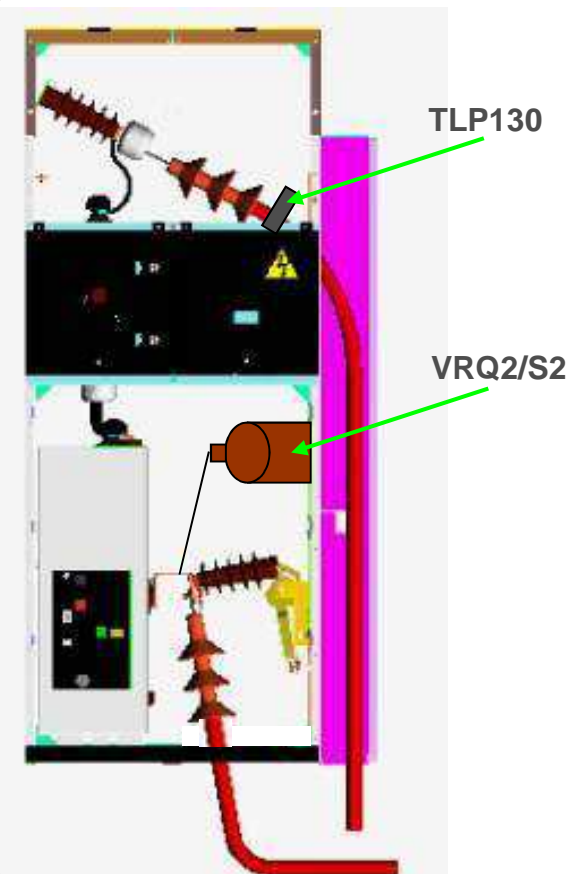
AT7-A



AT7-B



AT7-B con TV

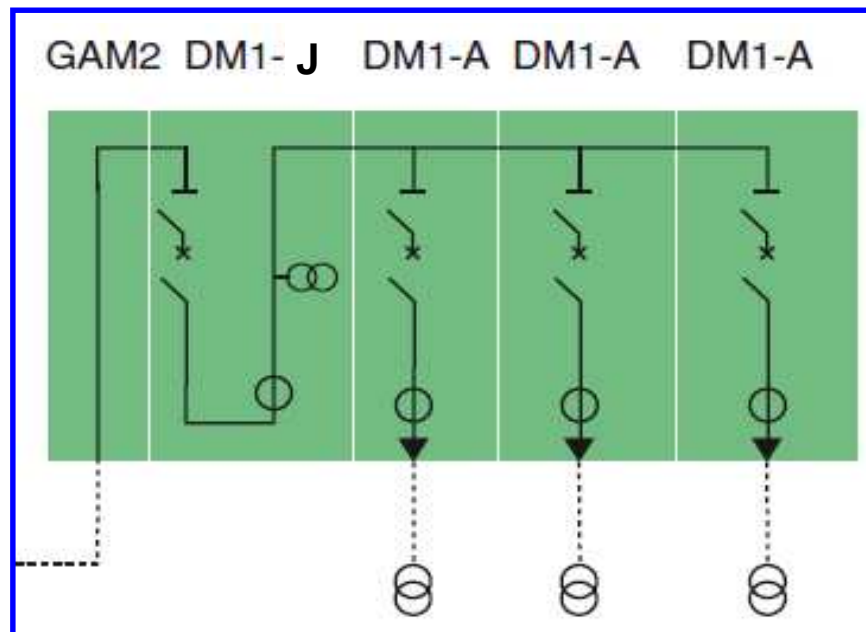


LSC esempi SM6

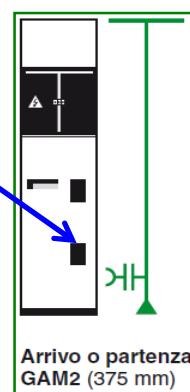


LSC categoria che definisce la possibilità di mantenere sotto tensione altri compartimenti e/o unità funzionali quando si apre un compartimento ad alta tensione accessibile

PI - Partizione Isolante

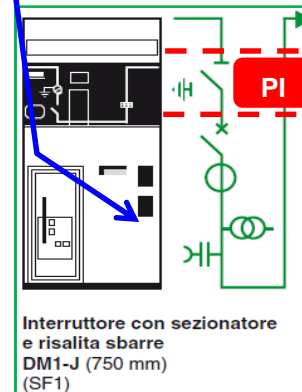


Compartimento
connessioni e sbarre
unico accessibile
tramite attrezzo e
procedura



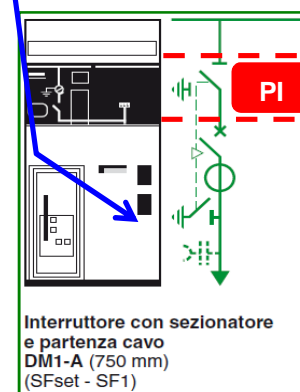
LSC1

Compartimento
interruttore e risalita
sbarre accessibile
tramite attrezzo



LSC2

Compartimento
interruttore e
connessione accessibile
tramite interblocco con
SEZ linea a monte

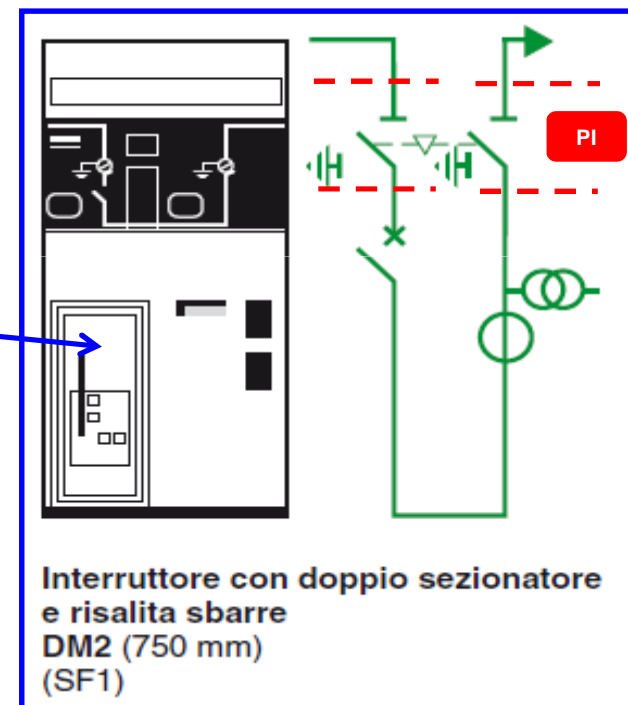


LSC2

LSC esempi SM6



Compartimento interruttore accessibile tramite
interblocco con i SEZ di linea a monte e a valle



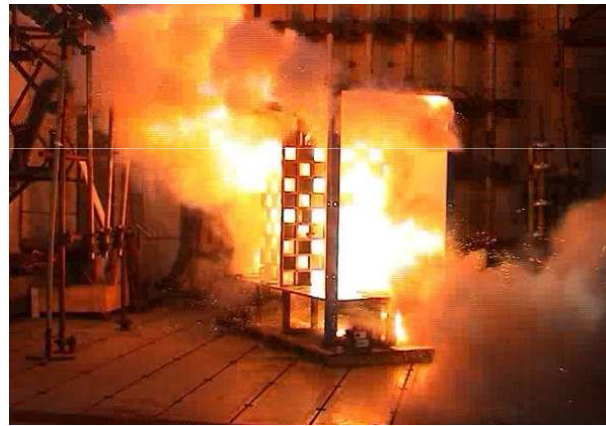
LSC2B

Cos'è l'arco interno

- E' una condizione molto severa di guasto (corto circuito) che può verificarsi in un quadro elettrico.
- I suoi effetti negativi sono molteplici:



Prima della prova



Durante la prova



Dopo la prova

- Statisticamente è un evento raro ma i suoi effetti sono distruttivi e molto pericolosi ->

Principali cause

1. Terminazione cavi non eseguita correttamente ;
2. Utensili dimenticati seguito manutenzione ;
3. Condizioni ambientali severe (inquinamento e/o umidità);
4. Forzatura blocchi meccanici o manovre errate;
5. Sovratensioni (di origine atmosferica o di manovra);
6. Guasto ai componenti;
7. Intrusione di elementi esterni



**Topo
trifase...!!**

Principali cause “piccola fauna”




- Intrusione di elementi esterni (piccola fauna)



Quadro Classificato IAC CEI EN 62271-200

- La CEI EN 62271-200 ha introdotto una prova meglio specificata, con l'introduzione di nuove definizioni, la prestazione di tenuta all'arco interno è una prestazione assegnata come “OPZIONALE”.
- Quando è specificata la categoria “Classe di tenuta all'Arco Interno”, il Costruttore è “OBBLIGATO” a fornire i valori tipici della prestazione e tutte le informazioni relative.
- Tali informazioni sono sufficienti al fine di realizzare e rendere ripetibile la prova di tipo corrispondente, senza accordo complementare, in quanto la procedura di prova è totalmente ed esattamente definita.



Contiene gas fluorurati ad effetto serra disciplinati dal protocollo di Kyoto Sistema a pressione sigillato Contains fluorinated greenhouse gases covered by Kyoto protocol Sealed pressure system									
 Schneider Electric				Type DM1-A			N° 0820040N		
				Instruct. ref.			03838706NA		
				IEC62271-200			2003		
U_r 24 kV		f_r 50 Hz		U_p 125 kV		U_d 50 kV			
		I_r 630 A		I_k 16 kA		 NHJDB-40002			
		I_p 40 kA		t_k 1 s					
P_{re} 40 kPa		Year manufact.		IAC A FL		Merlin Gerin			
SF_6 0.21 kg		2008		12.5 kA 1 s					



DOMANDE prima parte

☐ 1) Per un allacciamento da 0,15 MW secondo la Norma CEI 0-16 è prevista indicativamente l'alimentazione dell'utente in ?

- A Solo in bassa tensione.
- B Solo in media tensione.
- C Entrambe.

☐ 2) Per installazioni di apparecchiature sopra i 1000 mt di altitudine è possibile ridurre il livello di isolamento ?

- A Si è ammesso dalla norma ma con il consenso dell'utente.
- B SI.
- C NO mai.

☐ 3) Interruttore di Manovra Sezionatore può interrompere ?

- A Qualsiasi tipo di corrente.
- B La corrente nominale e di corto circuito.
- C La corrente nominale.

Indice

PRIMA parte

(Regole tecniche per la realizzazione della cabina MT/BT)

Lo stato del neutro in MT	pag. 3
Regola tecnica per la connessione	pag. 14
Limiti e confronto tra distribuzione in BT ed in MT	pag. 33
Dimensionamento delle apparecchiature in MT	pag. 50
Il quadro MT	pag. 77

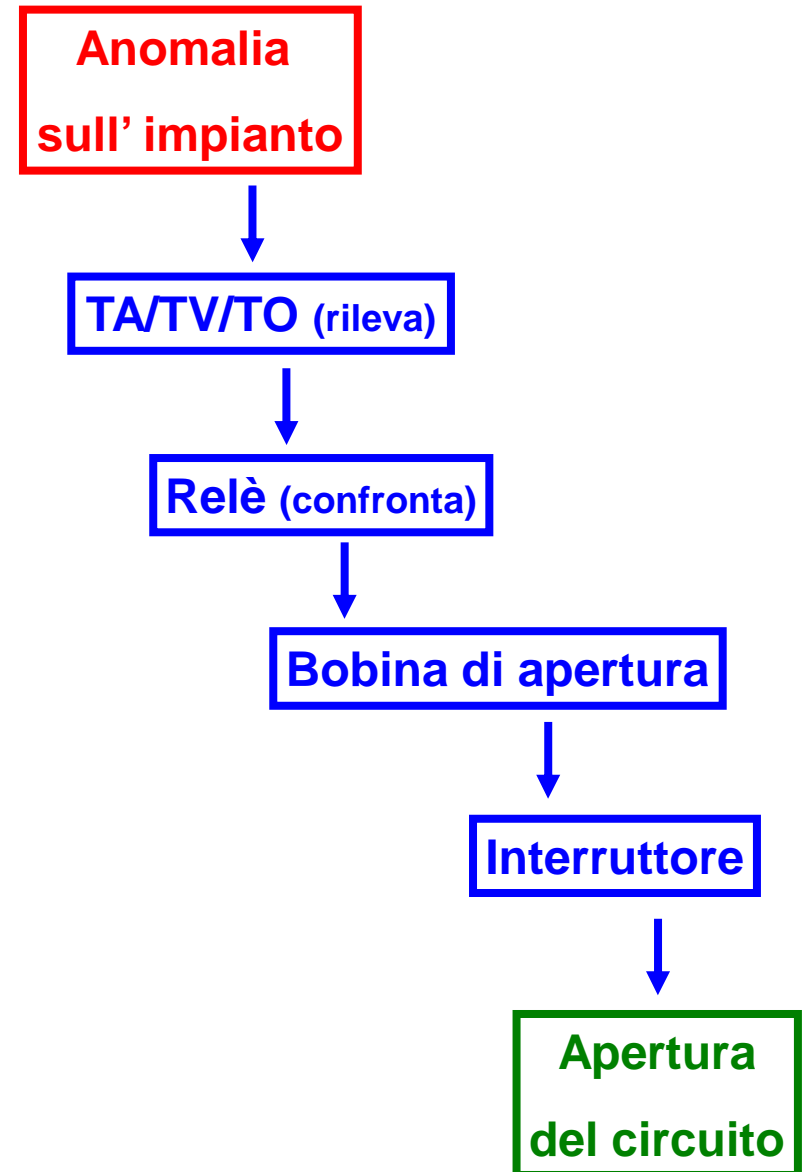
SECONDA parte

(Trasformatore protezioni ed esempi di cabine MT/BT)

Le protezioni sul lato MT	pag. 98
Il trasformatore	pag. 119
Indicazioni per la realizzazione del locale cabina	pag. 136
Architettura ed esempi di reti MT/BT	pag. 154
Norme di riferimento	pag. 177

Generalità

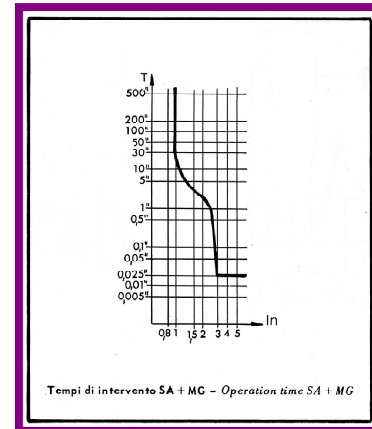
- ❑ Un interruttore per svolgere la funzione di protezione deve essere dotato di dispositivi idonei a rilevare le sovracorrenti ed in grado di attivare il comando di apertura.
- ❑ I dispositivi di protezione possono essere:
 - relè diretti;
 - relè indiretti senza alimentazione ausiliaria;
 - relè indiretti con alimentazione ausiliaria.
- ❑ I relè di massima corrente possono essere con caratteristica di intervento a tempo dipendente, indipendente, istantaneo oppure con una combinazione di queste.



Relè diretti

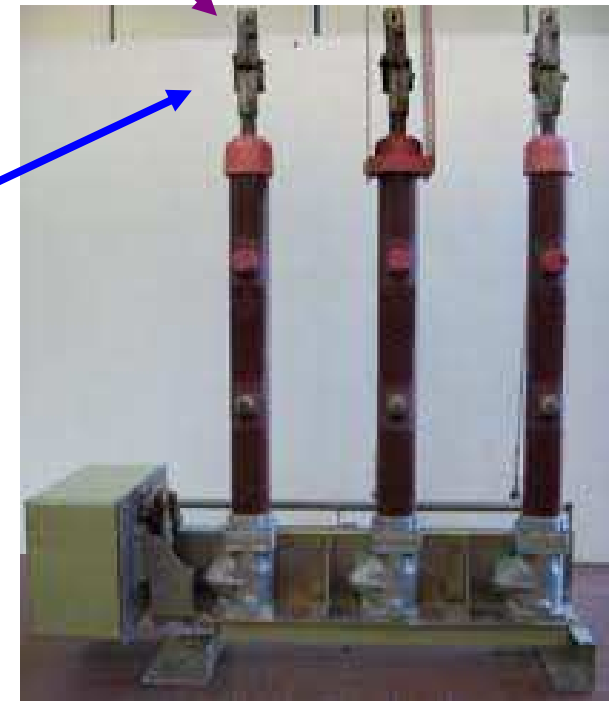
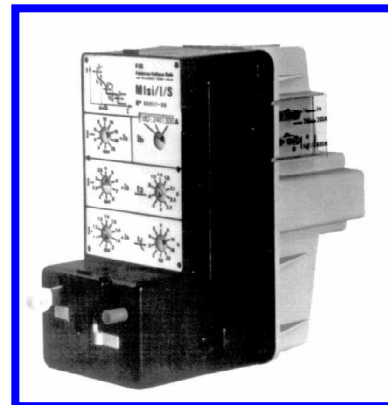
→ Elettromeccanici

- Comandano meccanicamente l'apertura dell'interruttore
- Storici e semplici
- Necessitano di manutenzione
- Selettività solo cronometrica



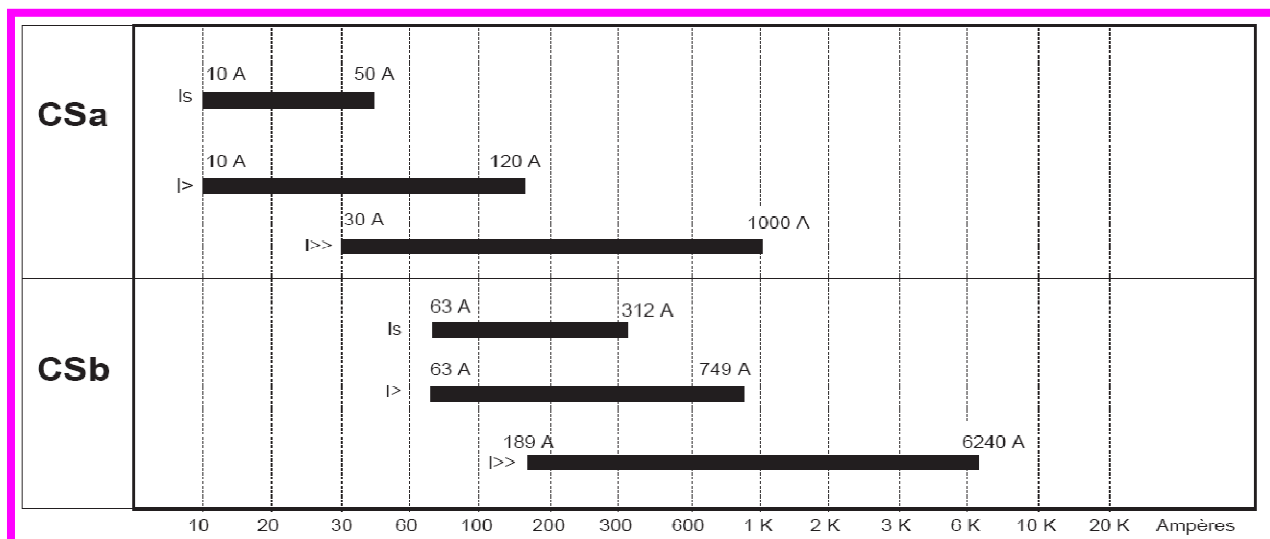
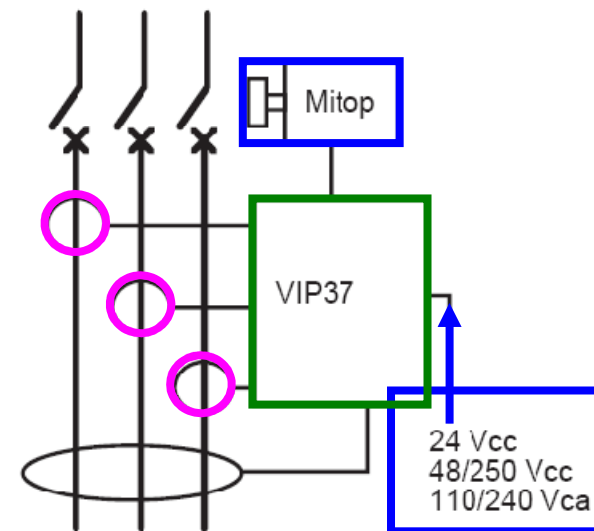
→ Elettronici

- Comandano meccanicamente l'apertura dell'interruttore
- Montati sul polo dell'interruttore inglobano il TA
- Non permettono lo scarico dei dati
- Non comunicano con gli altri relè



Protezioni elettroniche integrate tipo VIP37 PT

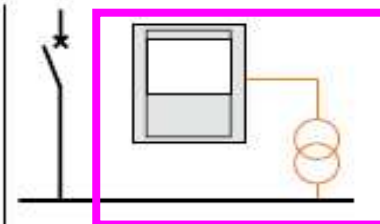
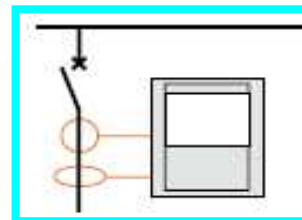
- ❑ Autoalimentate
- Abbinate ad apposito sganciatore dedicato
- Ampio campo di regolazione
- Con valori bassi di guasto a terra verificare i **limiti di attivazione** per le funzioni Io>.



Protezioni elettroniche indirette tipo “Sepam”



Sepam serie 20

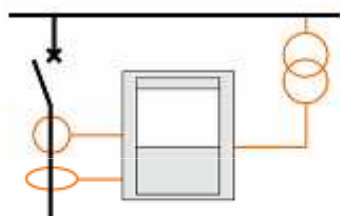


→ Conforme alla CEI 0-16
Allegato D “Sistema non
integrato” **con bobina di
minima tensione.**

→ Esempio di relè con i soli
ingressi di corrente (50,51/51N)
→ o di tensione (27,59/59Vo).

Protezioni			
Corrente		■	■
Tensione			■ ■
Frequenza			■ ■
Specifiche		guasto interruttore	disaccoppiamento per derivata di frequenza
Applicazioni			
Sottostazione		S20 ⁽⁴⁾	S24
Sbarre			B21 B22
Trasformatore		T20	T24
Motore		M20	
Caratteristiche			
Ingressi e uscite logici	Ingressi	da 0 a 10	da 0 a 10
	Uscite	da 4 a 8	da 4 a 8
Sensori di temperatura		da 4 a 8	da 4 a 8
Canale	Corrente	3I + Io	
	Tensione		3V + Vo
	LPCT ⁽¹⁾	Sì	Sì
Porte di comunicazione		da 1 a 2	da 1 a 2
Matrice ⁽²⁾		Sì	Sì

Sepam serie 40



→ Conforme alla CEI 0-16
Allegato D “Sistema non integrato”.

Con bobina a lancio di corrente e data logger.



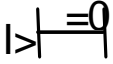
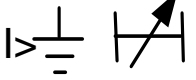
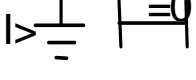
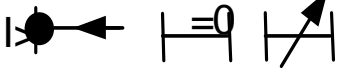
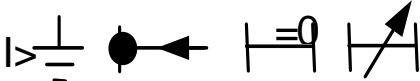
Protezioni									
	Corrente	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tensione	■	■	■		■	■	■	
	Frequenza	■	■	■		■	■	■	
	Specifiche		massima corrente di terra direzionale	massima corrente di fase e di terra direzionale	massima corrente di terra direzionale		massima corrente di terra direzionale	massima corrente di fase e di terra direzionale	massima corrente di terra direzionale
Applicazioni									
	Sottostazione	S40 ⁽⁶⁾	S41 ⁽⁶⁾	S42 ⁽⁶⁾	S43	S50 ⁽⁴⁾	S51 ⁽⁴⁾	S52 ⁽⁴⁾	S53 ⁽⁴⁾
	Sbarre								
	Trasformatore	T40		T42		T50 ⁽⁶⁾		T52 ⁽⁶⁾	
	Motore		M41						
	Generatore	G40							
	Condensatore								
Caratteristiche									
Ingressi e uscite logici	Ingressi	da 0 a 10							
	Uscite	da 4 a 8							
Sensori di temperatura		da 0 a 16							
Canale	Corrente	3I + Io							
	Tensione	3V							
	LPCT ⁽¹⁾	Sì							
Porte di comunicazione		da 1 a 2							
Controllo	Matrice ⁽²⁾	Sì							
	Editor equazioni logiche	Sì							

→ Esempio di relè con i ingressi di **corrente** e **tensione** (67N).

The technical drawing illustrates the electrical and mechanical specifications for a 100 kVA MT/BT cabinet. It is divided into several key sections:

- Top Left (Supply):** Shows the incoming supply with three phases (L1, L2, L3) at 24 kV, 12.5 kA, and 50 Hz. It details the main switch (QM1) and associated protection devices (SN1.1, SN1.2).
- Top Right (TV Section):** Labeled "TV" in red, it shows the transformer section with three primary windings (TV91, TV92, TV93) and two secondary windings (L1V, L2V, L3V). It includes a "Resistenza antiferrorisonanza" (anti-resonance resistor) and a "Vo per 67N" (67N voltage) connection.
- Bottom Left (TA Section):** Labeled "TA" in red, it shows the current transformer section with three primary windings (TA11, TA12, TA13) and two secondary windings (L1, L2, L3). It includes a "MORSETTIERA SIGILLABILE" (sealable terminal block) and a "COPRIMORSETTI SIGILLABILI" (sealable terminal cover).
- Bottom Right (TO Section):** Labeled "TO" in red, it shows the terminal block section with three primary windings (TA41, TA42, TA43) and two secondary windings (L1, L2, L3). It includes a "MORSETTIERA SIGILLABILE" and a "COPRIMORSETTI SIGILLABILI".
- Mechanical Details:** The bottom right corner shows a cross-section of the cabinet with dimensions: 122.5, 137, 110, 10, 160, 224, and 160. It also shows a "N.3 fori Ø6.5±0.1" (3 holes Ø6.5±0.1) and a "P2" label.

Codici delle protezioni

Codice ANSI	Definizione della funzione	CEI EN 60617-7	DK5600	CEI 0-16
51	Massima corrente di fase temporizzata		51.1 	<div>I></div> <div>I>></div>
50	Massima corrente di fase istantanea		51.2	<div>I>>></div>
51N	Massima corrente di terra temporizzata		51N	<div>I_o></div>
50N	Massima corrente di terra istantanea		51N	<div>I_o>></div>
67	Massima corrente di fase direzionale			Non richiesta
67N	Massima corrente omopolare direzionale		67	<div>67N (NI)</div> <div>67N (NC)</div>

I> Sovraccarico nei trasformatori

Taratura tipica DG: (non è sempre richiesta)

- ❑ Dipende dal tipo di macchina, trasformatore in olio oppure a secco e dalle condizioni di impiego (temperatura ambiente, carico normale, sovraccarichi brevi).
- ❑ Non è indispensabile se viene già realizzata **sull'interruttore generale in bassa tensione** oppure tramite altri dispositivi quali **centraline termometriche** asservite a sonde di temperatura interne alla macchina.
- ❑ Devono essere selettive con gli sganciatori degli interruttori in bassa tensione.



Trasformatore MT/BT	DYn11
potenza [kVA]	800
Vcc%	6
V primario [kV]	15
In primario [A]	31
Icc 3f sec.rif.prim. [A]	493
V secondario [kV]	0,4
In secondario [A]	1155
Icc 3f [A]	18.500

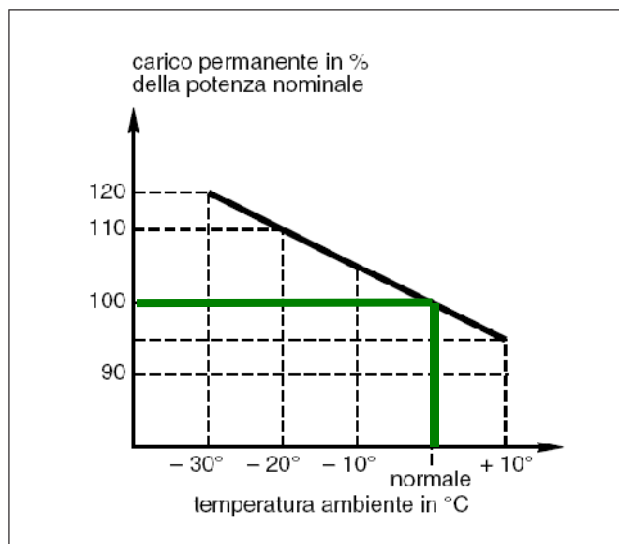
I> (= 31A + sovraccarico, facoltativa se realizzata in BT)

N.B. Se il fornitore richiede una regolazione della I> è per proteggere la linea di consegna e/o per limitare il prelievo di potenza.

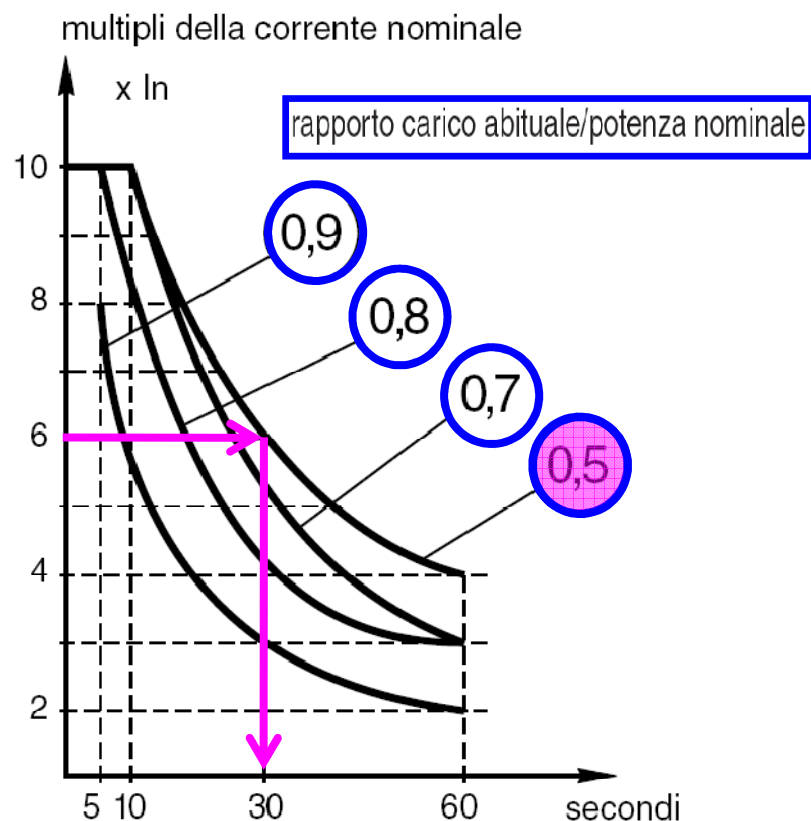
I> Sovraccarico nei trasformatori in resina

□ I trasformatori sono progettati per poter funzionare a potenza nominale con le seguenti temperature ambientali:

- massima: **40°C**
- media giornaliera: **30°C**
- media annuale: **20°C**



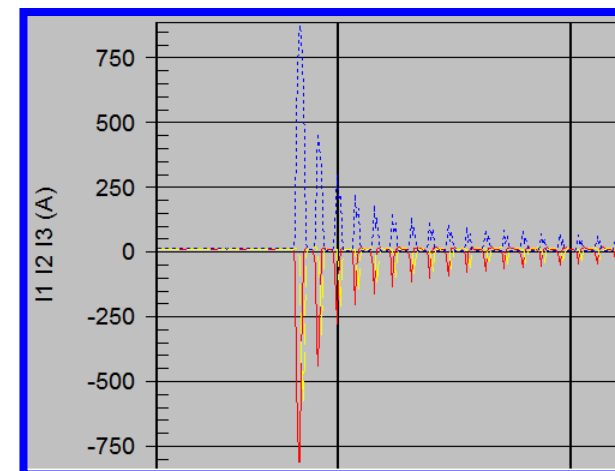
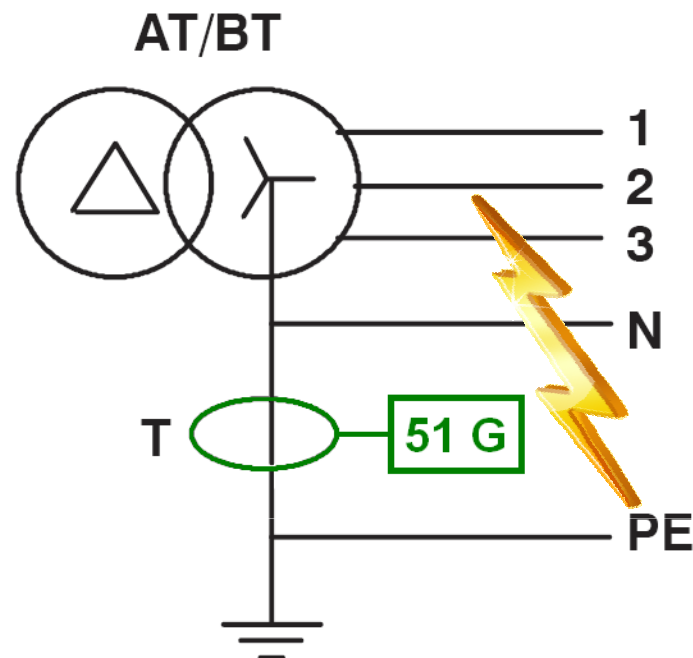
→ Le curve riportano i **sovraccarichi** temporanei ammissibili indicati dal costruttore (senza l'utilizzo di barre di ventilazione sono molto limitati).



I>> Cortocircuito sul lato BT

Taratura tipica DG: I 250 A, t 500 ms

- ❑ Interviene per corto circuiti sul secondario del trasformatore.
 - Protegge il trasformatore per guasti a monte dell'interruttore generale in bassa tensione. Deve essere selettiva con gli sganciatori degli interruttori in bassa tensione.
 - Il tempo di intervento deve essere inferiore a **2 secondi** che è il limite di tenuta termica del trasformatore.
 - ➔ Deve intervenire, in assenza di protezioni sul centro stella del trasformatore (**51 G**), per un guasto monofase a terra sul lato BT.
 - Con i trasformatori Dyn11 la sua taratura deve essere inferiore a:
 $I_{cc\ BT} / \text{rapporto trasformazione} / \sqrt{3}$
(per ricavare il valore di guasto monofase al primario).
- ➔ Non deve intervenire per la corrente di inserzione del trasformatore.



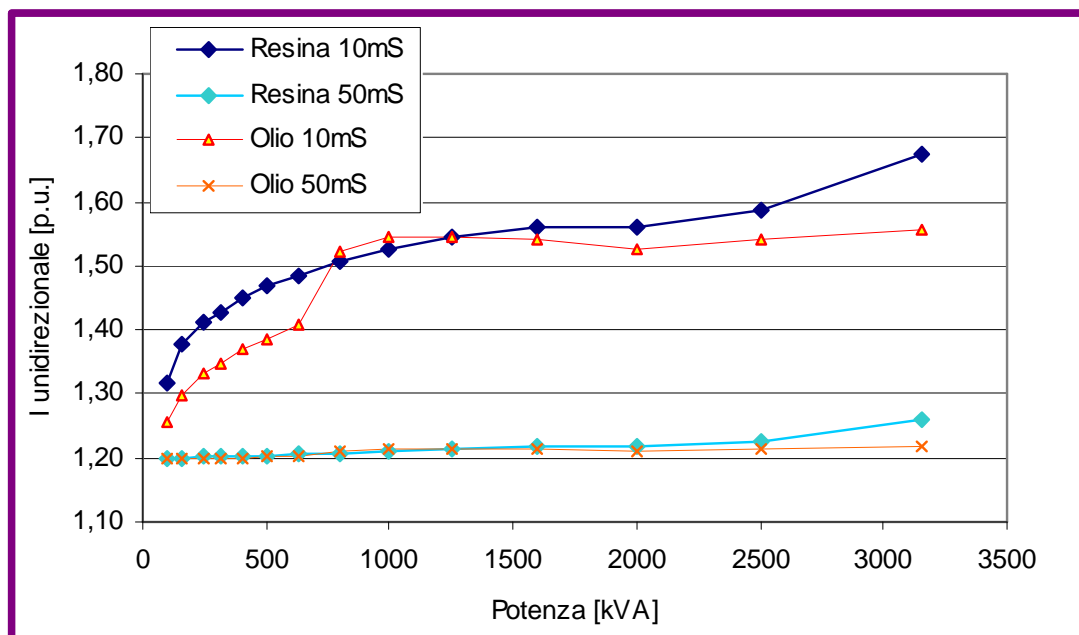
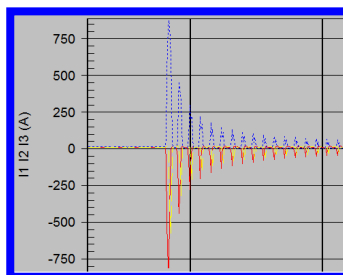
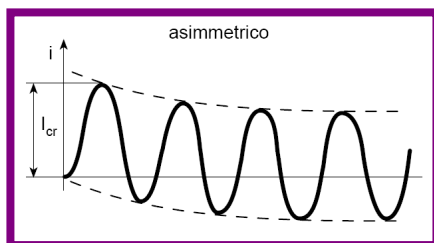
I>>> Cortocircuito sul lato MT

Taratura tipica DG: I 600 A, t 120 ms

□ Interviene istantaneamente per corto circuiti sulla linea di alimentazione in MT e sul primario del trasformatore.

➔ Non deve intervenire per la corrente di inserzione del trasformatore.

➔ Per essere selettiva con la protezione in BT **non deve intervenire per guasti sul lato BT**. La sua regolazione deve essere aumentata del **20÷60%** rispetto alla corrente di cortocircuito passante del trasformatore per considerare la componente unidirezionale presente nell'istante iniziale del cortocircuito.



Relazione tra correnti di corto in BT ed in MT

Trasformatore MT/BT	DYn11
potenza [kVA]	800
Vcc%	6
V primario [kV]	15
In primario [A]	31
Icc 3f sec.rif.prim. [A]	493
V secondario [kV]	0,4
In secondario [A]	1155
Icc 3f [A]	18.500

	Guasto in BT			Conseguenza in MT		
Fase	R	S	T	R	S	T
Trifase	1	1	1	1,000	1,000	1,000
Bifase	0,866	0,866	0	0,500	1,000	0,500
Monofase	1	0	0	0,577	0,577	0,000

	Guasto in BT [A]			Conseguenza in MT [A]		
Fase	R	S	T	R	S	T
Trifase	18.500	18.500	18.500	493	493	493
Bifase	16.000	16.000	0	246	493	246
Monofase	18.500	0	0	285	285	0

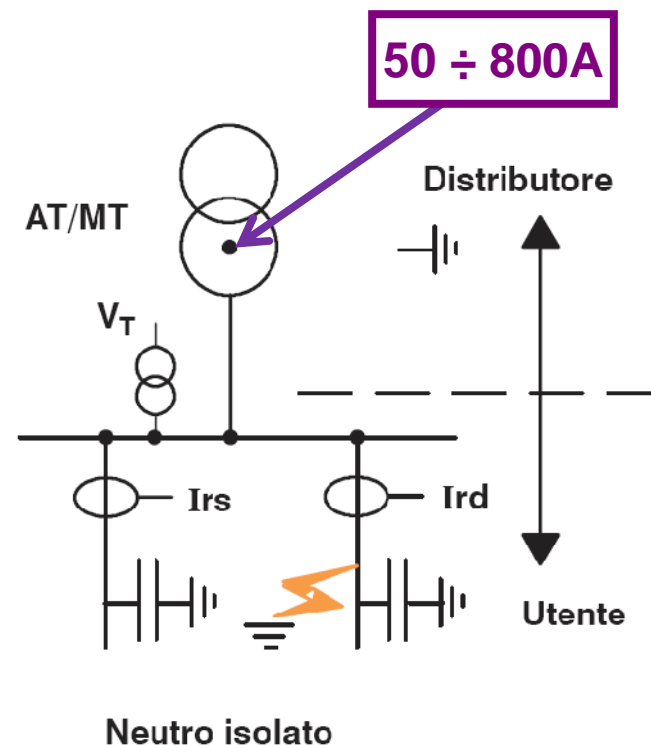
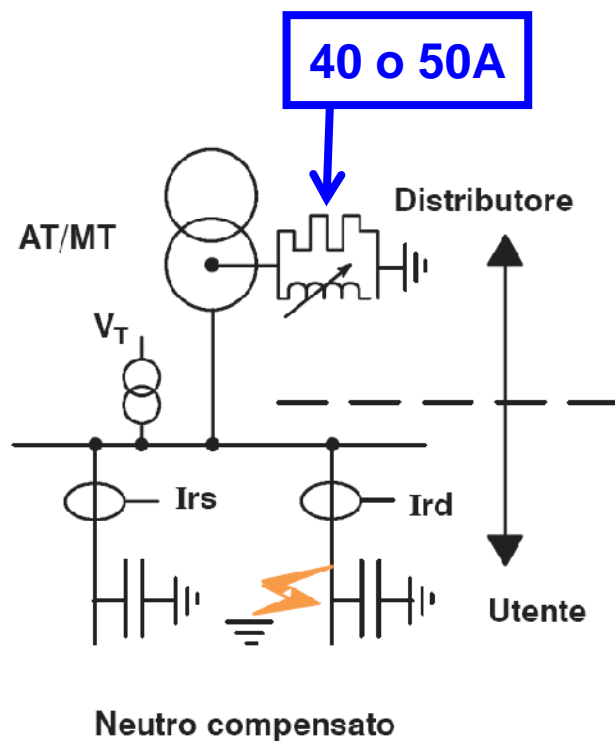
La soglia $I_{>>}$ deve intervenire per un guasto monofase solitamente in un tempo $\leq 0,5s$ (in assenza di protezioni specifiche come la 51G)

La soglia $I_{>>>}$ “possibilmente” non deve intervenire per un guasto trifase (per avere selettività con la protezione BT)

Io> Protezione omopolare, guasto a terra MT

Taratura tipica DG: Io 2 A, t 170 ms

- ❑ Protegge dai guasti a terra del cavo e/o dell'avvolgimento primario del trasformatore.
- ❑ Il valore massimo della Io dipende dal sistema di neutro.



67N Protezione omopolare direzionale guasto a terra MT

Taratura tipica DG: I_o 2 A, U_o 2 V, settore intervento $60^\circ \div 120^\circ$, t 170 ms (Neutro isolato)

I_o 2 A, U_o 5 V, settore intervento $60^\circ \div 250^\circ$, t 450 ms (Neutro compensato)

CEI 0-16

❑ Per un corretto funzionamento della protezione 51N la lunghezza massima del **cavo** presente nell'impianto dell'utente può essere calcolata con la seguente formula semplificata:

$$I_F = U (0,003 L_1 + 0,2 L_2)$$

❑ Dove

- U è la tensione nominale tra le fasi della rete in kV;
- L_1 è la somma delle lunghezze in km delle linee aeree;
- L_2 è la somma delle lunghezze in km delle linee in cavo.

❑ Utilizzata al posto della $I_o >$ per cavi > **530mt a 15 kV**, > **400mt a 20 kV**
(per una taratura della I_o a 2 A)

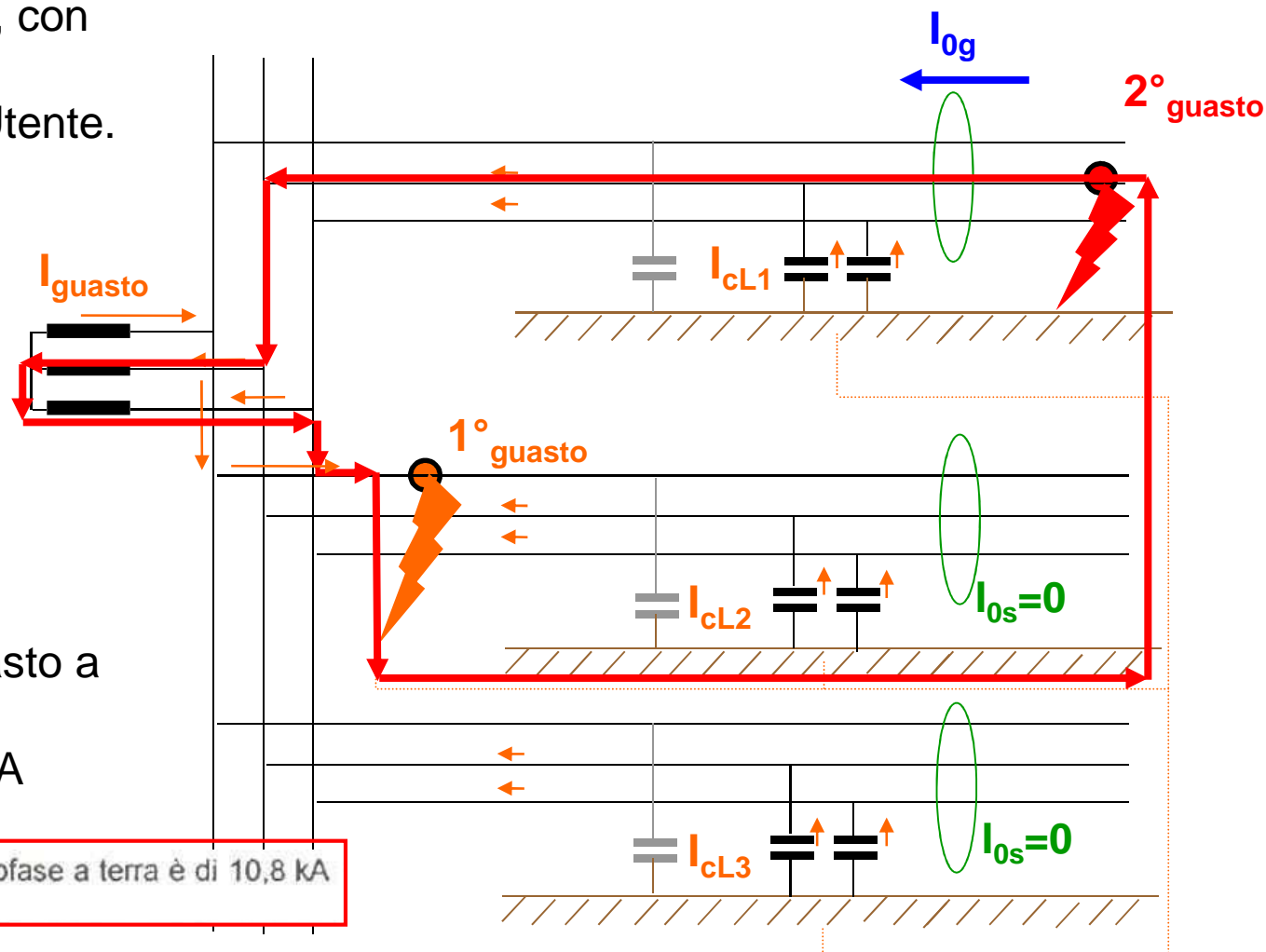
Io>> Protezione omopolare per il doppio guasto a terra in MT

Valore tipico: 140 % della I di guasto monofase a terra t 170 ms

- ❑ La soglia rileva il guasto doppio monofase a terra, con uno dei punti di guasto all'interno dell'impianto Utente.

➔ La corrente di doppio guasto a terra potrebbe arrivare a:
 $I_{cc} \text{ trifase} \times \sqrt{3}/2 = 10,8 \text{ kA}$

La corrente di doppio guasto massimo monofase a terra è di 10,8 kA (CEI 0-16, par. 5.2.1.8).



Coordinamento delle protezioni

□ Generalità

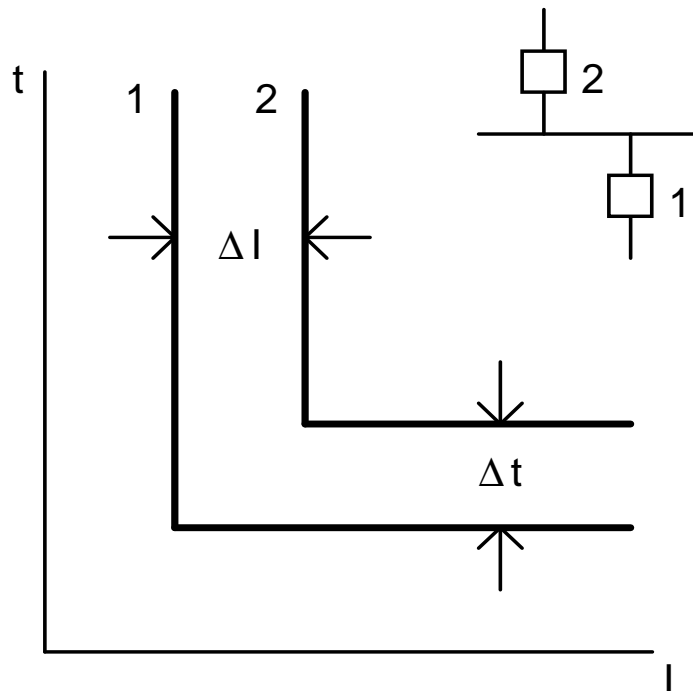
□ Il coordinamento selettivo tra dispositivi di protezione di massima corrente posti in serie su un circuito, può essere realizzato mediante uno o una combinazione dei seguenti metodi:

- **Cronometrica** per differenza dei tempi di intervento;
- **Amperometrica** per differenza delle correnti di guasto;
- **Energetica** per limitazione dell'energia passante;
- **Logica** con scambio di informazioni.

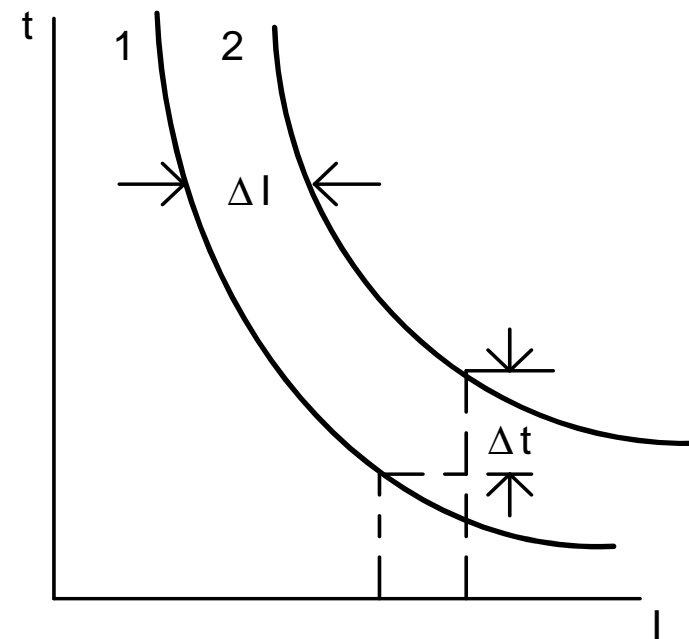
□ Nota: Il coordinamento selettivo delle protezioni va effettuato tenendo sempre presente che lo **scopo primario** di queste ultime **è di proteggere** il circuito sotteso dalle sovracorrenti di breve e lunga durata.

Selettività cronometrica

- Con tempi di intervento crescenti in direzione della sorgente di alimentazione.
- A titolo indicativo i margini in tempo da considerare per i dispositivi a tempo indipendente sono:
 - 250 ms tra interruttori di Media Tensione (tempo interruzione guasto 70 ms)
 - 100 ms tra interruttori di Bassa Tensione (tempo interruzione guasto 10÷30 ms)



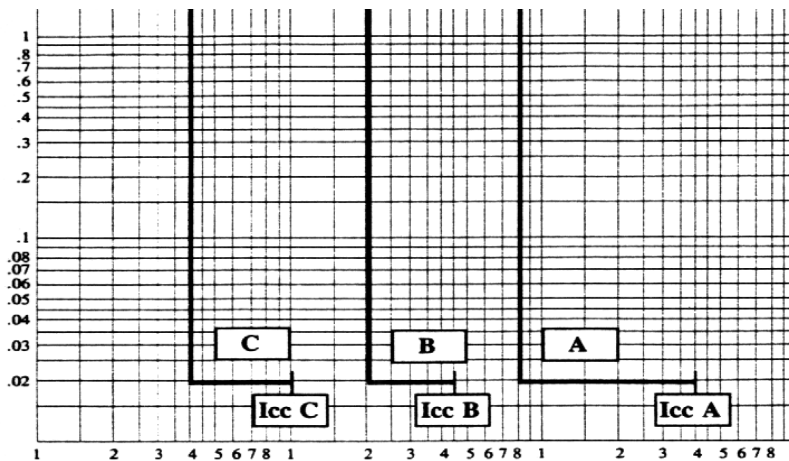
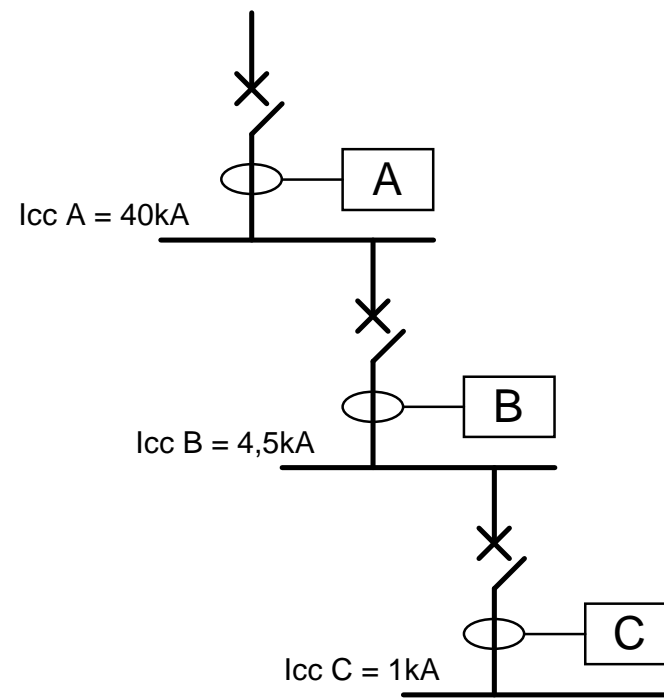
Dispositivi di protezione a tempo indipendente



Dispositivi di protezione a tempo dipendente

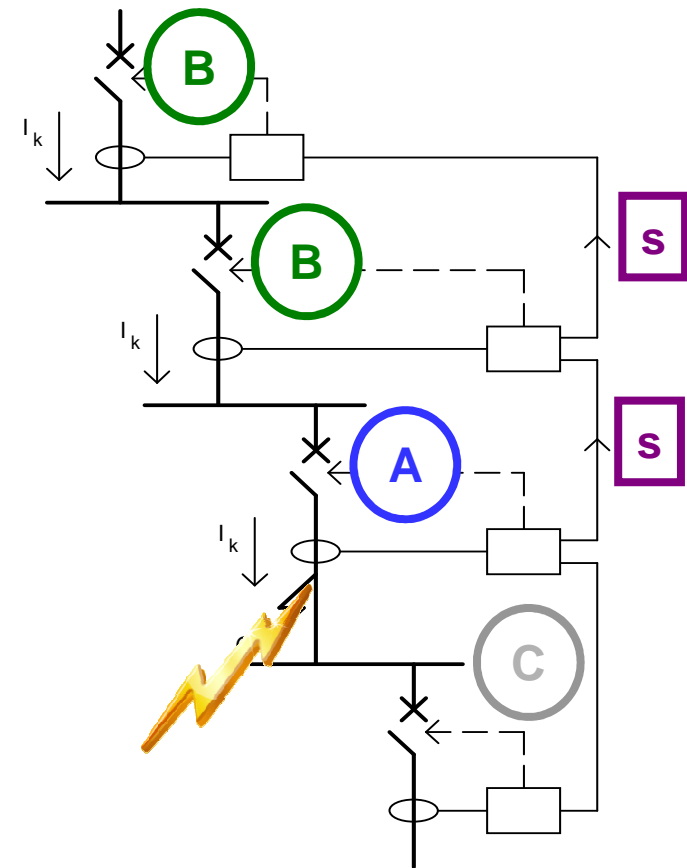
Selettività amperometrica

- La localizzazione del punto di guasto è realizzata regolando opportunamente la soglia della corrente di intervento.
- Per la taratura occorre considerare per le protezioni indirette un margine del 10%-20% della corrente regolata sulla protezione a valle dovuto a:
 - errori dei TA
 - errori delle protezioni



Selettività logica

- ❑ Viene realizzato utilizzando dispositivi di protezione in serie intercollegati mediante un opportuna connessione.
- ❑ I dispositivi che “vedono” transitare una corrente di valore superiore alla soglia di intervento inviano un segnale di attesa e/o blocco al dispositivo installato immediatamente a monte.
- ➔ Il dispositivo **A** posto subito a monte del guasto, non ricevendo il segnale di attesa e/o blocco, interviene con il solo ritardo richiesto per lo scambio di informazioni.
- ❑ Questo metodo consente di mantenere lo stesso tempo di intervento per tutti i dispositivi della catena selettiva ed è quindi particolarmente utile quando questi sono numerosi.



A = interruttore che apre

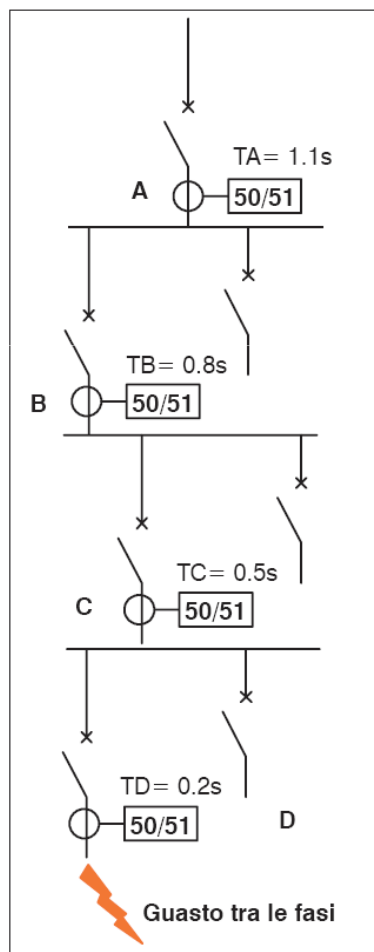
B = interruttore bloccato

S = segnale di attesa

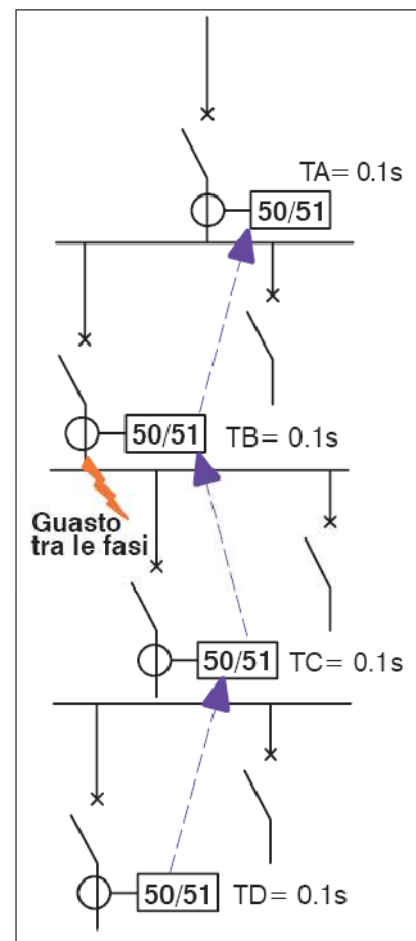
C = interruttore non vede il guasto

Selettività logica, tempi di intervento

- Tempi di intervento con selettività cronometrica.



- Tempi di intervento con selettività logica.



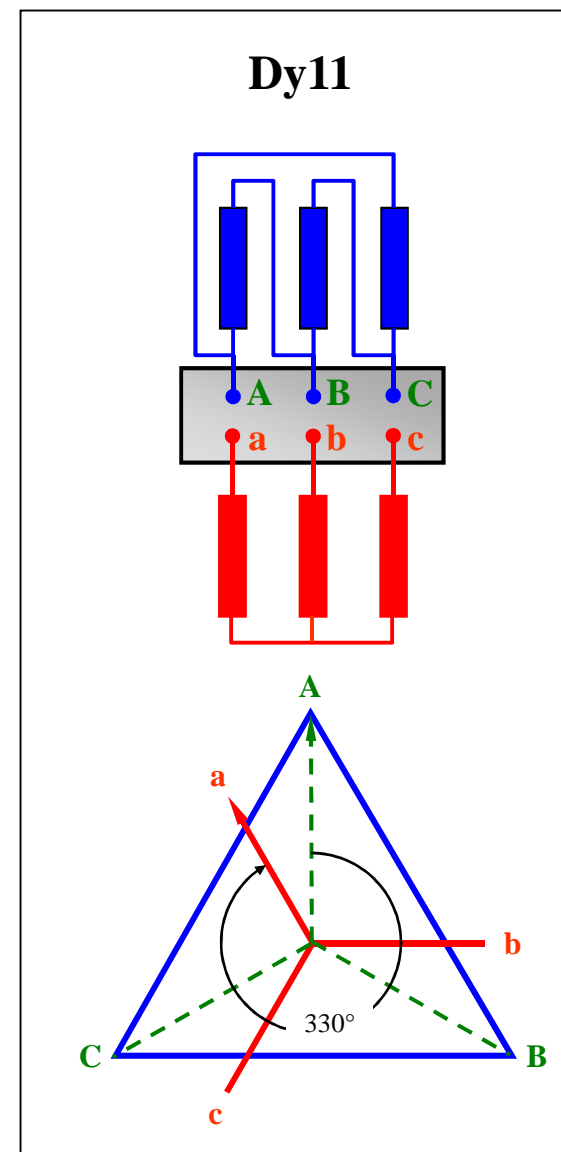
Il trasformatore

- ❑ Il trasformatore è una macchina elettrica di tipo statico a induzione elettromagnetica, che ha lo scopo di trasferire energia elettrica generalmente tra **due diversi sistemi di tensione** e alla stessa frequenza.
- ❑ Il tipo di tecnologia dei trasformatori a dielettrico **liquido o a secco** influisce su alcune caratteristiche, su alcune protezioni da attivare e sui possibili luoghi d'installazione.
- ❑ E' necessario conoscere le **caratteristiche elettriche e termiche** dei trasformatori per capire il loro comportamento e la loro resistenza alle sollecitazioni durante il servizio o in caso di guasto.



Gruppo vettoriale

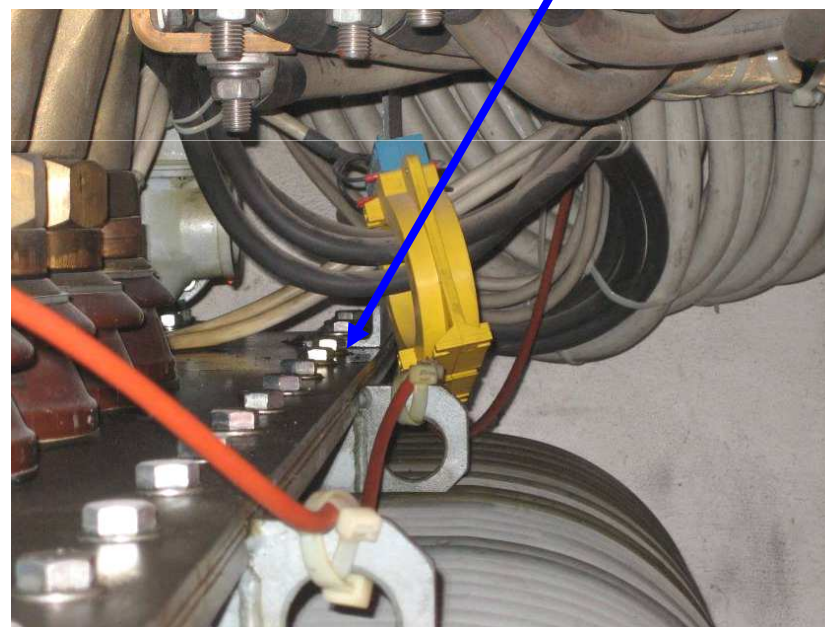
- ❑ Il più diffuso è il DYn11 dove:
 - D primario a triangolo
 - Y secondario a stella
 - n neutro accessibile
 - 11 è l'angolo tra tensioni primarie e secondarie
- ❑ La norma **CEI 0-16 al punto 8.5.10** impone per la trasformazione MT/BT trasformatori trifasi con collegamento a triangolo sul primario. Per esigenze particolari (quali saldatrici, azionamenti, ecc.) possono essere adottati collegamenti diversi previsti accordi con il Distributore.



I trasformatori Yyn0

- ❑ Il collegamento Yy0 dei trasformatori in olio comporta un basso valore della corrente di guasto a terra sul secondario.
- ❑ Le protezioni di massima corrente, in caso di guasto a terra, non sono in grado di intervenire.
- ❑ I trasformatori Yy0 non dovrebbero essere utilizzati per alimentare sistemi TN con presenza di carichi monofasi, al variare del carico monofase le tensioni di fase possono diventare fortemente squilibrate.

Il cassone
consente la
chiusura della
lo sul lato
primario



I trasformatori Ucc%

- ❑ E' la tensione che applicata al primario del trasformatore, con i morsetti del secondario chiusi in cortocircuito, fa circolare nel secondario la corrente nominale.
- ❑ Consente la determinazione delle correnti assorbite in caso di cortocircuito tra i morsetti del secondario
- $I_{cc} = I_{nominale} \times 100 / U_{cc}\%$, se si trascura l'impedenza a monte.
- ❑ Le tensioni di cortocircuito sono standardizzate e sono in funzione della potenza del trasformatore: generalmente da 4 a 6% per trasformatori MT/BT.

- ❑ Esempio per un trasformatore da 800kVA

→ **1156A** x 100/6 = **19 KA**

trasformatore in resina a norma CEI 14-12				
potenza nominale [kVA]	400	500	630	800
corrente nominale secondaria [A]	578	723	910	1156
perdite [kW]	a vuoto			
	1,20	1,40	1,65	2,00
	a carico (120°C)			
	5,50	6,50	7,80	9,40
tensione di cortocircuito % (120°C)	6	6	6	6
corrente a vuoto %	1,5	1,5	1,3	1,3
resistenza equivalente a 120°C [mΩ]	5,49	4,15	3,14	2,34
reattanza equivalente [mohm]	23,36	18,75	14,91	11,77
impedenza equivalente a 120°C [mΩ]	24,00	19,20	15,24	12,00
corrente di cortocircuito trifase a valle [kA]	9,5	11,9	14,9	18,8

I trasformatori in parallelo

- ❑ Per avere un corretto funzionamento in parallelo bisogna garantire:
 - un identico rapporto di trasformazione a vuoto e la stessa tensione nominale primaria
 - devono appartenere allo stesso gruppo (es.DYn11)
 - devono avere la stessa Ucc%
 - solamente in tal caso la corrente totale del carico si suddivide fra i due trasformatori in proporzione alle rispettive potenze nominali.
 - se le Ucc% sono diverse, si carica di più il trasformatore avente minore valore di Ucc%.

 - ❑ La corrente di circolazione tra i due trasformatori deve essere dello stesso ordine di grandezza della corrente a vuoto.
- ➔ Esempio nel caso di Pn= 800kVA $I_{\text{circ.}} \leq 1,3/100 \times 1156 = 15\text{A}$

trasformatore in resina a norma CEI 14-12											
potenza nominale [kVA]	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
corrente nominale secondaria [A]	145	231	361	455	578	723	910	1156	1445	1806	2312
perdite [kW]	a vuoto										
	0,46	0,65	0,88	1,03	1,20	1,40	1,65	2,00	2,30	2,80	3,10
a carico (120°C)											
	2,3	3	3,8	4,60	5,50	6,50	7,80	9,40	11,00	13,10	16,00
tensione di cortocircuito % (120°C)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
corrente a vuoto %	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2

Trasformatori a secco

- ❑ Trasformatori: è stato emanato il Regolamento 584/2014 che imporrà l'immissione nel mercato dal 1 luglio 2015 di trasformatori a basse perdite.
- ❑ La CEI EN 50541-1 definisce dei valori di potenza da preferire (sottolineati).

Perdite a vuoto da Tavola 5 EN 50541-1 (U_m 17.5 - 24kV)

Perdite a vuoto del Regolamento in confronto con quelle esistenti nel mercato private italiano.

Potenza (kVA)	C_0 (W)	A_0 (W)	ΔA_0 compared to C_0 (%)
100	460	280	-39
160	650	400	-38
250	880	520	-41
400	1200	750	-38
630	1650	1100	-33
800	2000	1300	-35
1000	2300	1550	-33
1250	2800	1800	-36

Perdite a carico da Tavola 5 EN 50541-1 (U_m 17.5 - 24kV)

Fino a 630 kVA le perdite rimangono B_k

Potenza (kVA)	B_k (W)	A_k (W)	ΔA_k compared to B_k (%)
800	9800	8000	-18
1000	11000	9000	-18
1250	13000	11000	-15
1600	16000	13000	-19

The values of the rated power are:

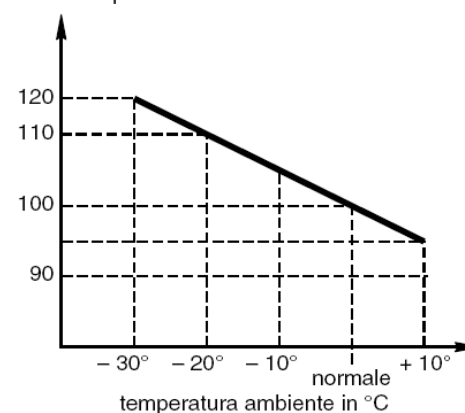
100-160-200-250-315-400-500-630-800-1 000-1 250-1 600-2 000-2 500-3 150 kVA

The underlined values are preferred.

Potenza nominale in relazione alla ventilazione

- ❑ Nel funzionamento con raffreddamento naturale AN (aria naturale) si può utilizzare un trasformatore per una temperatura ambiente max di 40°C.
- A temperature superiori bisogna ridurre la potenza secondo le tabelle fornite dai costruttori.
- ❑ Nella serie T-Cast la potenza nominale può essere aumentata del 30% con l'applicazione di ventilatori di raffreddamento forzato.

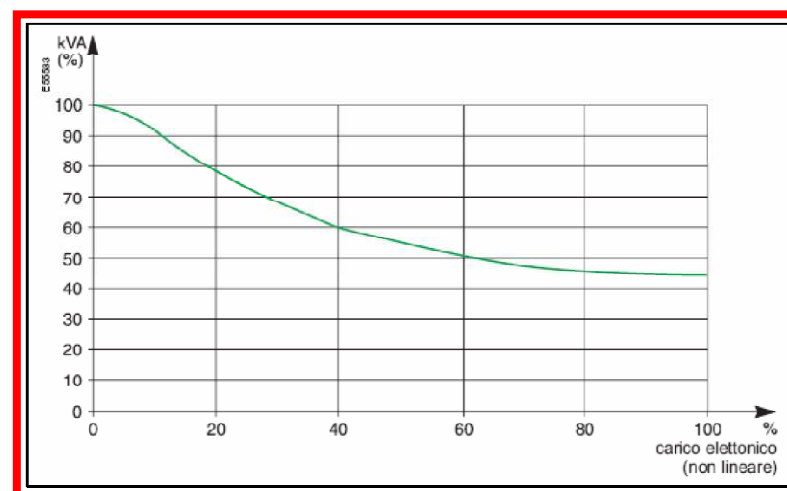
carico permanente in %
della potenza nominale



temperatura ambiente massima (°C)	carico ammissibile
40	P
45	0,97 x P
50	0,94 x P
55	0,90 x P



➔ Attenzione alla riduzione di potenza dovuta ai carichi non lineari



Le perdite

- ❑ Convenzionalmente le perdite vengono suddivise in:
- ❑ Perdite **a vuoto**, legate al processo di magnetizzazione del nucleo e sono localizzate prevalentemente nei lamierini magnetici costituenti lo stesso.
- ❑ Nei trasformatori a **basse perdite** si riesce anche a:
 - limitate le correnti a vuoto
 - ridotti i fenomeni di vibrazioni
 - limitare il livello di rumore.
- ❑ Perdite dovute **al carico**, dette anche perdite in cortocircuito, legate alle perdite per effetto Joule sugli avvolgimenti percorsi dalle correnti di carico, oltre che sulle masse ferrose prossime agli stessi avvolgimenti.
- ❑ Perdite addizionali dovute al flusso disperso.



Le perdite

- ❑ I valori delle perdite in cortocircuito previste dalla norma CEI 14-12 sono da ritenersi assoluti e prescindono dalla classe d'isolamento del materiale utilizzato.
- ❑ Nella scelta della temperatura di riferimento per la misurazione ci si riferisce come stabilito dalle norme alla classe d'isolamento secondo la formula di riferimento:

$$T_f = \Delta T + \text{temp amb. } 20^\circ\text{C}$$

ad esempio nel caso di isolante in **classe F** la temperatura di riferimento sarà:

$$T_f = (100^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}) = 120^\circ\text{C}$$

trasformatore in resina a norma CEI 14-12															
potenza nominale [kVA]		100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
corrente nominale secondaria [A]		145	231	361	455	578	723	910	1156	1445	1806	2312	2890	3613	4552
perdite [kW]	a vuoto	0,46	0,65	0,88	1,03	1,20	1,40	1,65	2,00	2,30	2,80	3,10	4,00	5,00	6,30
	a carico (120°C)	2,3	3	3,8	4,60	5,50	6,50	7,80	9,40	11,00	13,10	16,00	20,00	23,00	26,00
tensione di cortocircuito % (120°C)		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7
corrente a vuoto %		2,5	2,3	2,0	1,8	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
resistenza equivalente a 120°C [mΩ]		32,72	16,84	9,70	7,40	5,49	4,15	3,14	2,34	1,76	1,34	1,00	0,80	0,59	0,42
reattanza equivalente [mohm]		90,25	57,59	37,15	29,56	23,36	18,75	14,91	11,77	9,44	7,56	5,92	4,73	3,79	3,53
impedenza equivalente a 120°C [mΩ]		96,00	60,00	38,40	30,48	24,00	19,20	15,24	12,00	9,60	7,68	6,00	4,80	3,84	3,56
corrente di cortocircuito trifase a valle [kA]		2,4	3,8	6,0	7,5	9,5	11,9	14,9	18,8	23,3	28,9	36,6	45,2	55,7	59,8
condotto Canalis compatto Cu	tipo							KTC-10	KTC-13	KTC-16	KTC-20	KTC-25	KTC-32	KTC-40	KTC-50
	In [A]							1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000
condotto Canalis compatto Al	tipo							KTA-10	KTA-13	KTA-16	KTA-20	KTA-25	KTA-32	KTA-40	
	In [A]							1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	

Massimo rendimento

- Il massimo rendimento si ha in corrispondenza del fattore di utilizzazione K_U pari a:

$$K_U = \sqrt{\frac{P_o}{P_{CU}}}$$

- P_o = perdite a vuoto.
- P_{cu} = perdite nel rame.

- Nel caso precedente avremo $\sqrt{(1.750/9.400)} = 43\%$

Il rendimento, $\cos \varphi$

- Al variare della percentuale di carico ed del $\cos \varphi$ si modifica anche il rendimento del trasformatore.

Dati dell'impianto						
Potenza complessiva trasformatori			800 [kVA]		Carico [%]	
Potenza media assorbita dall' impianto			222 [kVA]		27,8	
Dati del trasformatore						
Tipologia costruttiva		Resina	Freq. [Hz]		50	
Potenza [kVA]		800	Tensione di c.to c.to [%]		6	
Tensione [kV]	Primaria	15	Secondaria	0,4	Rapp.trasf.	37,5
Perdite [kW]	Avvolgim.	9,4	Nucleo	1,75		
I nominale [A]	Primario	31	Secondario	1155		
Icc [A]	Primario	513	Secondario	19245		
Imped.equiv.secondario [mΩ]	12,00		R equ.sec.	2,35	X equ.sec.	11,77
Condizioni ambientali			T amb. [°C]	40	Altit. [mt]	<1000
cos φ	1		0,9		0,7	
Carico [%]	Rendim. [%]	Cad. tens. [%]	Rendim. [%]	Cad. tens. [%]	Rendim. [%]	Cad. tens. [%]
100	98,63	1,35	98,48	3,74	98,05	5,08
95	98,67	1,27	98,53	3,54	98,11	4,82
90	98,72	1,20	98,58	3,35	98,18	4,57
85	98,76	1,12	98,62	3,16	98,24	4,31
80	98,80	1,05	98,67	2,97	98,30	4,05
75	98,84	0,98	98,71	2,78	98,35	3,80
70	98,88	0,91	98,75	2,59	98,40	3,54
65	98,91	0,84	98,79	2,40	98,45	3,29
60	98,94	0,77	98,83	2,21	98,50	3,03
55	98,97	0,70	98,85	2,03	98,53	2,78
50	98,99	0,63	98,87	1,84	98,56	2,53
45	99,00	0,56	98,88	1,65	98,57	2,27
40	98,99	0,50	98,88	1,47	98,57	2,02
35	98,97	0,43	98,86	1,28	98,54	1,77
30	98,93	0,37	98,81	1,10	98,48	1,51
27,8	98,90	0,34	98,78	1,02	98,43	1,40
20	98,69	0,24	98,55	0,73	98,11	1,01
15	98,39	0,18	98,22	0,55	97,72	0,75
10	97,75	0,12	97,50	0,36	96,81	0,50
5	95,75	0,06	95,30	0,18	94,04	0,25



- Risparmio annuo

$$\left\langle (1 - 0,9843) \times 200 [kW] - (1 - 0,9878) \times 200 [kW] \right\rangle \times 0,19 \left[\frac{\text{€}}{kWh} \right] \times 8760 \left[\frac{h}{\text{anno}} \right] / 1000 \approx 1,1 \left[\frac{k\text{€}}{\text{anno}} \right]$$

Classi per trasformatori a secco

- ❑ La normativa definisce tre classi:
 - Ambientali
 - Climatiche
 - Comportamento al fuoco

- ❑ Questi fattori sono importanti non solamente durante l' esercizio ma anche durante il **magazzinaggio** prima dell'installazione.

Norma Italiana

CEI 14-8

Data Pubblicazione

1999-03

Edizione

Seconda

Classificazione

14-8

Fascicolo

5069 C

Titolo

Trasformatori di potenza a secco

Classi	Articoli	Umidità e inquinamento			Climatiche		Comportamento al fuoco		
Prove		E0	E1	E2	C1	C2	F0	F1	F2
1) a bassa temperatura	ZB 2	–	–	–	SI	SI ^(*)	–	–	–
2) al colpo di calore a -5 °C	ZB 3.1	–	–	–	SI	NO	–	–	–
3) al colpo di calore a -25 °C	ZB 3.2 a/b	–	–	–	NO	SI	–	–	–
4) di condensazione	ZA 2.1	NO	SI	NO	–	–	–	–	–
5) di condensazione e di penetrazione dell'umidità	ZA 2.2 a/b	NO	NO	SI	–	–	–	–	–
6) comportamento al fuoco	ZC 2; ZC 3	–	–	–	–	–	NO	SI	SI
7) funzionamento con incendio esterno (da definirsi)	–	–	–	–	–	–	NO	NO	SI
(*) Non necessaria quando sia effettuata la prova di cui in ZB 3.2a.									

Classe ambientale C2

❑ Classe C2

- Il trasformatore è atto a funzionare, essere trasportato ed essere immagazzinato a temperature ambiente sino a -25°C .

❑ La prova

- Il trasformatore è portato a -25°C in 8 ore
- Tenuto 12 ore a -25°C
- Test shock termico a -25°C
- Prove dielettriche e ispezione visiva.



Prova classe C2.

Classe climatica E2

❑ Classe E2

- Il trasformatore è soggetto a consistente condensa o a intenso inquinamento o ad una combinazione di entrambi i fenomeni

❑ La prova

- Resistenza alla condensazione
- 6 ore con oltre 93% di umidità
- Prova di tensione indotta.
- Penetrazione umidità
- 6 giorni a 50°C con il 90% di umidità
- Prove dielettriche e ispezione visiva.



Prova classe E2.

Comportamento al fuoco F1

□ Classe F1

- È richiesta una infiammabilità ridotta. Entro un tempo determinato, il fuoco deve **autoestinguersi**.
- Deve essere minima l'emissione di sostanze tossiche e di **fumi** opachi.
- I materiali e i prodotti della combustione devono essere praticamente esenti da composti alogeni e dare solo un limitato contributo di energia termica ad un incendio esterno.

□ La prova

- Si brucia al di sotto della bobina alcol etilico per 20 minuti
- Posizionando un pannello radiante a 750°C per 40 minuti
- Si posiziona posteriormente alla bobina uno schermo riflettente

The fire behaviour test is conducted in a specific test chamber according to procedure described in IEC60076-11 Standard:



Alloggiamento

- ❑ Una o più celle, dotate di pareti o pannelli divisori e quanto necessario per la sistemazione dei trasformatori, complete eventualmente di telai e reti metalliche di protezione.
- ❑ I trasformatori possono più semplicemente venire alloggiati in box metallici di tipo prefabbricato in grado di assicurare la protezione contro i contatti diretti.



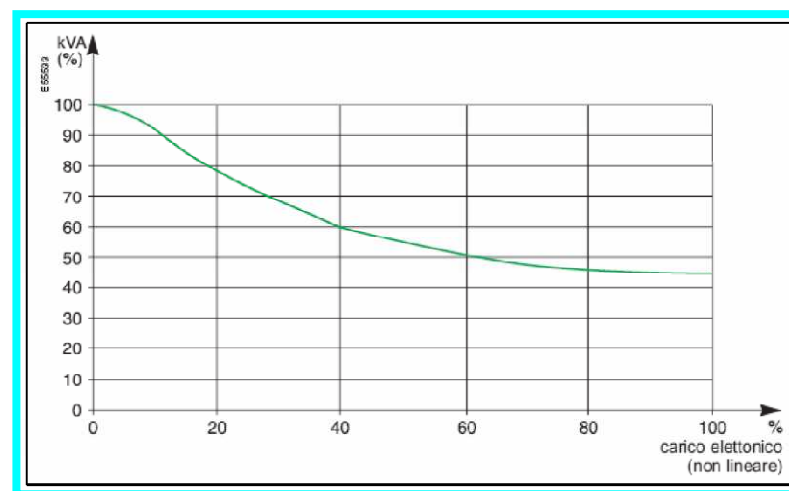
Con armadio di protezione IP31.



Frazionamento trasformatori



Vn		15	[kV]		
Potenza max. assorb.	PF	Carico elettr.	Coeff. di decas.	Coeff. di carico	Potenza necess.
[kW]	[p.u.]	[%]	[%]	[%]	[kVA]
100	0,9	20	80	60	230
200	0,9	20	80	60	460
400	0,9	20	80	60	930
600	0,9	20	80	60	1390
1000	0,9	20	80	60	2310
1500	0,9	20	80	60	3470
2000	0,9	20	80	60	4630
3000	0,9	20	80	60	6940



Norma Italiana
CEI 14-12

100 – 160 – 200 – 250 – 315 – 400 – 500 – 630 – 800 – 1000 – 1250 – 1600 – 2000
– 2500 kVA.

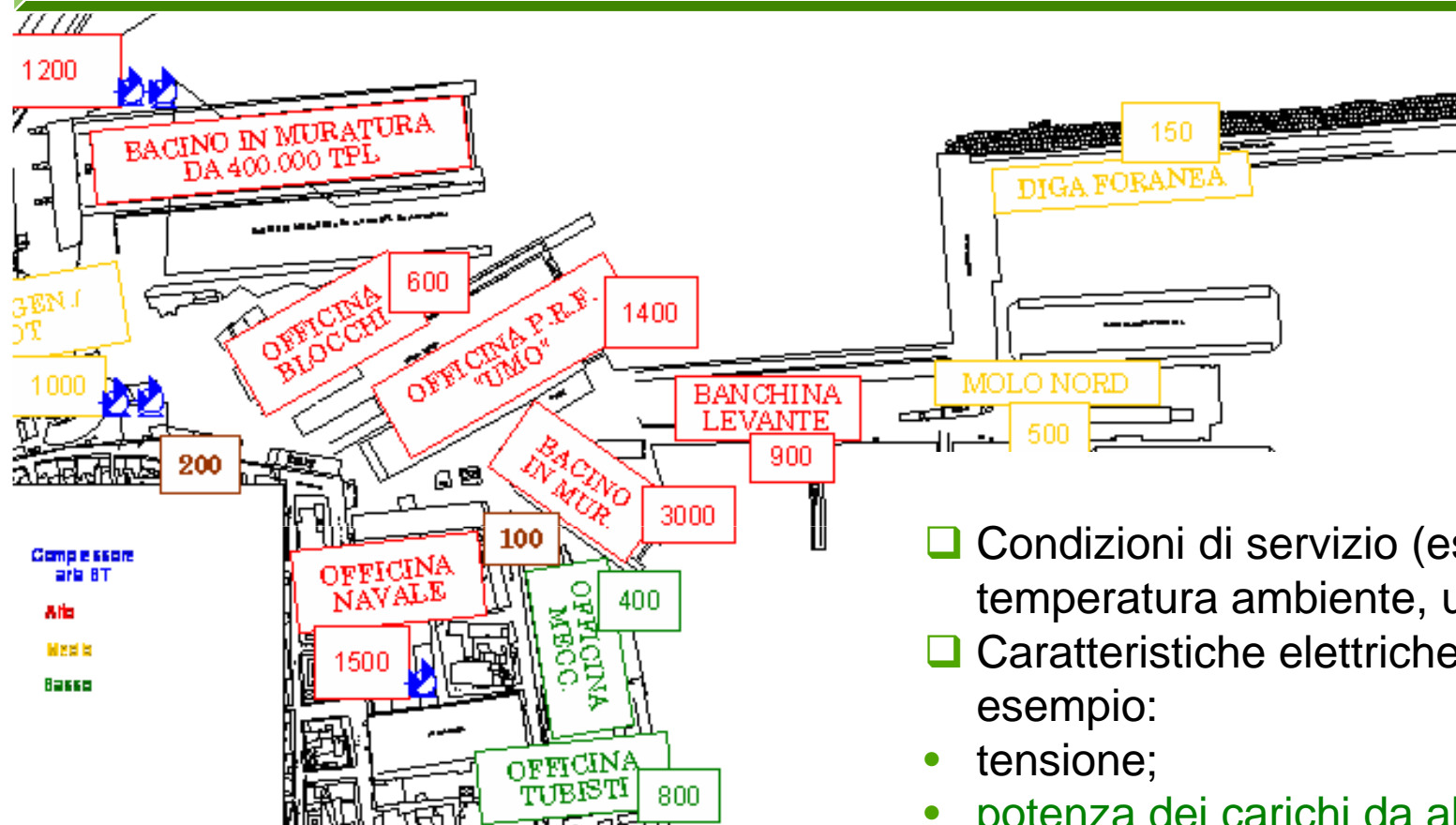
Vengono preferiti i valori sottolineati.

Disponibili a magazzino con Vn 15 o 20 kV (1600 ?)

Potenza necess.	Bassa continuità elettrica							Alta continuità elettrica						
	TR1	TR2	TR3	Carico	Carico con TR-1	Carico con TR-1 + AF	Vcc	TR1 [kVA]	TR2 [kVA]	TR3 [kVA]	TR4 [kVA]	Carico	Carico con TR-1	Vcc
[kVA]	[kVA]	[kVA]	[kVA]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kVA]	[kVA]	[kVA]	[kVA]	[%]	[%]	[%]
230	250			0,56			6,00	250	250			0,28	0,56	6,00
460	500			0,56			6,00	400	400			0,35	0,69	6,00
930	1000			0,56			6,00	800	800			0,35	0,69	6,00
1390	630	630		0,66	1,32	1,06	6,00	630	630	630		0,44	0,66	6,00
2310	1250	1250		0,56	1,11	0,89	6,00	1000	1000	1000		0,46	0,69	6,00
3470	1250	1250	1250	0,56	0,83	0,67	6,00	1000	1000	1000	1000	0,52	0,69	6,00
4630	1600	1600	1600	0,58	0,87	0,69	6,00	1250	1250	1250	1250	0,56	0,74	6,00
6940	2500	2500	2500	0,56	0,83	0,67	9,38	2000	2000	2000	2000	0,52	0,69	7,50

Indicazioni per la realizzazione del locale cabina

Generalità



**Planimetria con
priorità e potenza dei
carichi da alimentare**

Baricentro dei consumi

- ☐ Condizioni di servizio (es. altitudine, temperatura ambiente, umidità, polveri, ecc.).
- ☐ Caratteristiche elettriche della fornitura, ad esempio:
 - tensione;
 - **potenza dei carichi da alimentare;**
 - corrente di cortocircuito e sua durata;
 - corrente di guasto monofase a terra e sua durata.
- ☐ Disponibilità di spazi atti ad essere utilizzati per la cabina.

Ubicazione del locale cabina

- ❑ A seconda della disponibilità degli spazi, vengono identificate le seguenti configurazioni:
 - locale cabina isolato **separato dall'edificio** servito;
 - locale cabina **compreso nella volumetria** dell'edificio servito;
 - locale cabina in copertura dell'edificio servito.
- ❑ Altitudine \leq di 1000mt



Tipi di cabine MT/BT

- ❑ Cabine con apparecchiature prefabbricate
- ❑ Cabine a giorno
- ❑ Cabine prefabbricate



Requisiti del locale cabina

- ❑ Non sorgere in vicinanza di luoghi a maggior rischio in caso di incendio o con pericolo di esplosione.
- ❑ Disponga di un accesso, sia per il personale, sia per autocarri con gru.
- ❑ Avere le pareti, pavimenti e soffitti secondo la norma CEI EN 61936-1, comprese le eventuali fosse e/o serbatoi di raccolta liquidi.
- ❑ Essere dotato di **adeguata ventilazione** a circolazione d'aria naturale o eventualmente meccanica (artificiale).
- ❑ Non essere soggetto a **infiltrazioni d'acqua** o allagamenti.
- ❑ Non contenere né inglobare alcuna tubazione per fluidi che siano estranei al servizio della cabina.
- ❑ Aver un' **adeguata illuminazione** per facilitare le operazioni di controllo e di manutenzione, nonché quelle di evacuazione in caso di necessità.



Resistenza al fuoco

- ❑ Le pareti e i soffitti dei locali dove sono installati i trasformatori devono avere la resistenza al fuoco indicata in tabella, in relazione al tipo di trasformatore:

Norma Italiana

CEI EN 61936-1

Tipo di trasformatore	Classe	Protezione
Trasformatori isolati in olio tipo (O)	Volume del liquido	
	$\leq 1\ 000\text{ l}$	EI 60 rispettivamente REI 60
	$> 1\ 000\text{ l}$	EI 90 rispettivamente REI 90 o EI 60 rispettivamente REI 60 e protezione automatica a getto
Trasformatori isolati in liquido a bassa infiammabilità tipo (K)	Potenza nominale/tensione max.	
Senza protezione maggiorata	(nessunna restrizione)	EI 60 rispettivamente REI 60 o protezione automatica a getto
Con protezione maggiorata	$\leq 10\text{ MVA e } U_m \leq 38\text{ kV}$	EI 60 rispettivamente REI 60 o distanza di separazione 1,5 m orizzontali e 3,0 m verticali
Trasformatori a secco tipo (A)	Classe di comportamento al fuoco	
	F0	EI 60 rispettivamente REI 60 o distanza di separazione 0,9 m orizzontali e 1,5 m verticali
	F1	Pareti ritardanti la fiamma



Propagazione incendi

- ❑ Per evitare che eventuali incendi possano propagarsi all'esterno del locale attraverso i passaggi dei cavi o dei condotti sbarre, specie se le condutture elettriche penetrano in un luogo a maggior rischio in caso di incendio, devono essere predisposte **barriere tagliafiamma** aventi resistenza al fuoco almeno uguale a quella delle pareti della compartimentazione antincendio.



- ❑ Due trasformatori affiancati, se sono isolati in olio O1 è **opportuno** siano separati da una separazione almeno REI 60 per evitare che la fuoriuscita di olio in fiamme da un trasformatore possa incendiare l'altro trasformatore.
- La separazione tra i trasformatori affiancati è comunque **consigliabile**, per operare in sicurezza in occasione di interventi su un solo trasformatore.

Fossa di raccolta dell'olio

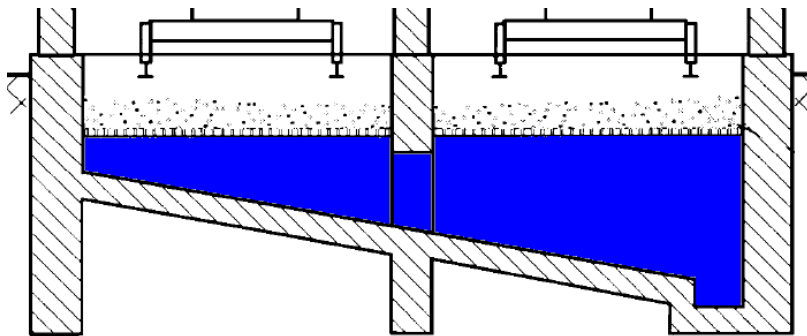
- ❑ La fossa di raccolta dell'olio serve per impedire che l'olio inquina l'ambiente circostante e, se infiammato, propaghi l'incendio.

Norma Italiana

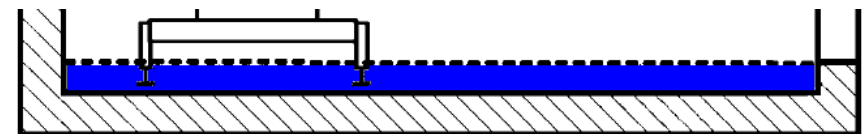
CEI EN 61936-1

- ❑ Art. 8.8.1.1 A titolo di riferimento, dove non esistano regole nazionali e/o locali, si dovrebbe prevedere il contenimento per apparecchiature immerse in liquido che ne contengano più di **1 000 l**.

- ❑ Esempio fossa e serbatoio integrati

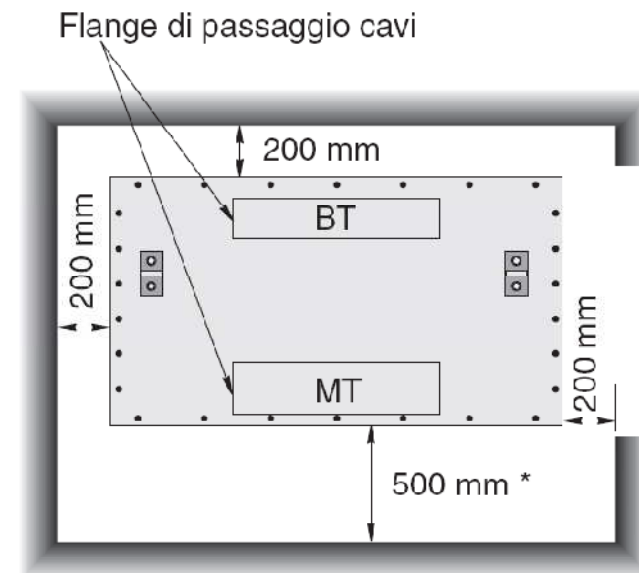
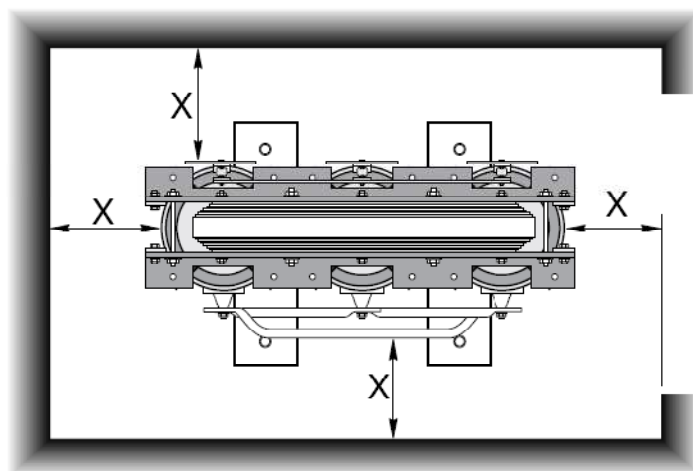


- ❑ Esempio per piccoli trasformatori



Trasformatori in resina

- La protezione contro i contatti diretti di un trasformatore può essere effettuata con un involucro metallico (tipico dei trasformatori a secco), oppure con barriere.



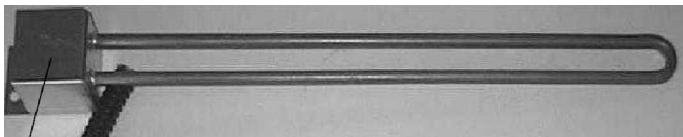
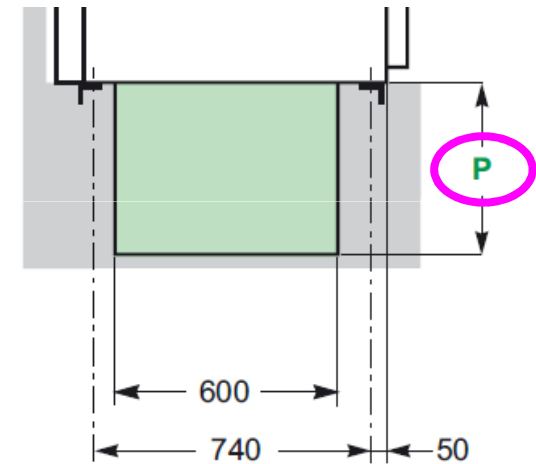
* 500 per accesso alle prese di regolazione, ma con minimo 200 mm

Isolamento (kV)	Quota X (mm)	
	parete piena	grigliato
7,2	90	300
12	120	300
17,5	220	300
24	220	300
36	320	320

Vano cavi

- ❑ Quando l'ingresso dei cavi ai quadri avviene dal basso, occorre predisporre cunicoli e tubazioni annegate nel pavimento.
- ❑ Se i cavi sono numerosi, è consigliabile il pavimento galleggiante (i cavi MT e BT vengono in genere separati, ma possono anche coesistere).
- ❑ E' importante segregare gli ingressi dei cavi in modo da impedire l'ingresso di animali.
- ❑ La profondità dei cunicoli deve consentire la sistemazione dei cavi rispettando il raggio di curvatura.
- ❑ In caso di umidità prevedere le apposite resistenze anticondensa.

- ❑ Esempio quadro SM6
In 630A Icc 12,5kA



50w

630 A						
Sez. cavo (mm ²)	Tutte le unità		Altri scomparti			
			CVM		DM1A, DM1P, DM1R, DMVLA	
	12.5 kA/1s	16 kA/1s	12.5 kA/1s	16 kA/1s	12.5 kA/1s	16 kA/1s
Profondità P (mm)						
S < 120	330	550	330	550	330	550

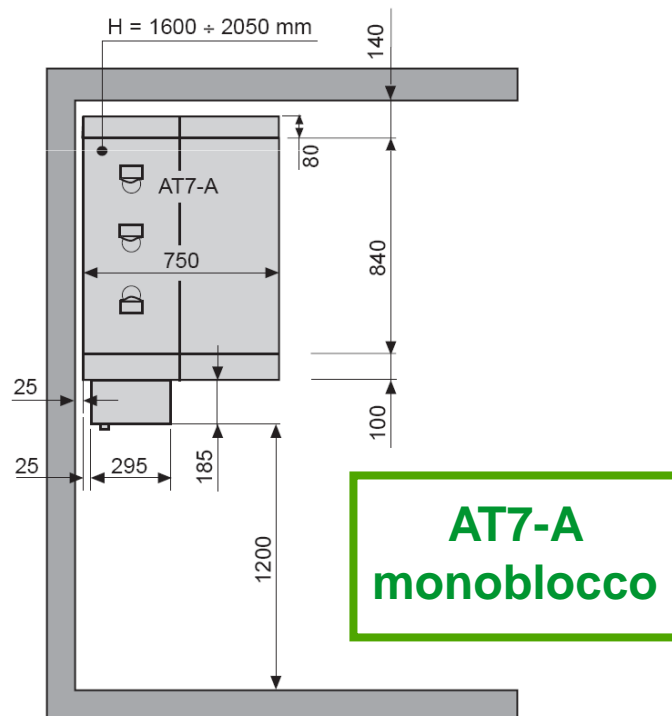
Passaggi e dimensioni

- ❑ I passaggi (previsti per il transito delle persone) devono essere larghi almeno **800 mm**, al netto di eventuali sporgenze; se dietro un quadro chiuso è previsto il transito delle persone, la larghezza del passaggio può essere ridotta a **500 mm**.
- ❑ L'altezza del locale deve essere ovviamente superiore a quella dei quadri e dei trasformatori, con un minimo di 2 m.
- ➔ Lo spazio per l'evacuazione deve sempre essere almeno pari a **500 mm** anche quando parti mobili o porte aperte invadono le vie di fuga.

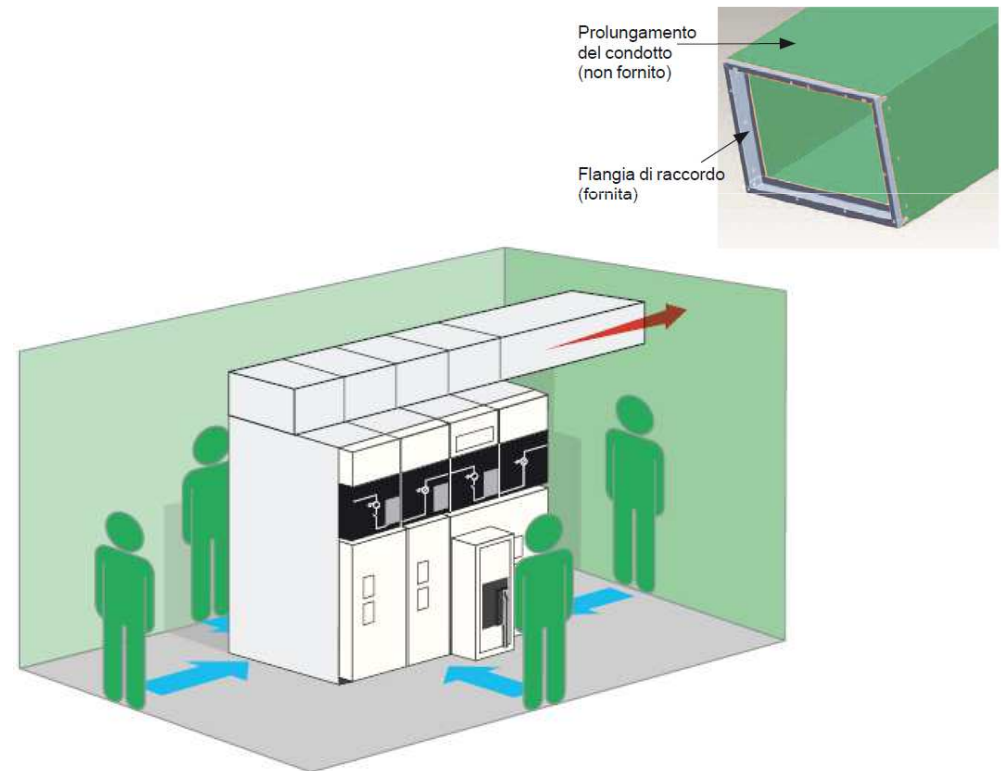


Spazio per i quadri di Media Tensione

- ❑ Rispettare le indicazioni dettate dal costruttore.



- ❑ Attenzione agli eventuali spazi riservati all'evacuazione dei gas.

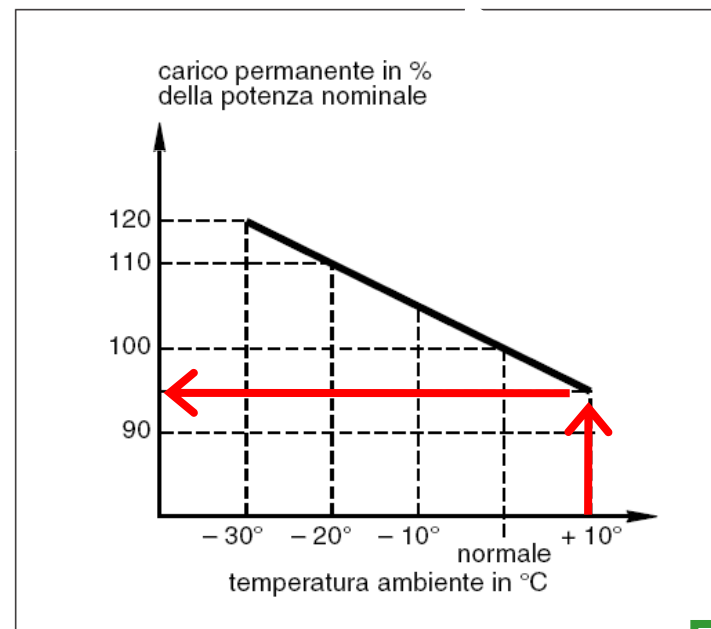


Particolarità per ventilazione e condizionamento

□ Generalità

- Il locale viene progettato in modo da mantenere la temperatura interna entro i limiti stabiliti per le apparecchiature elettriche in esso contenute, tenendo conto della quantità di calore prodotto. Se necessario occorre prevedere la ventilazione **naturale o forzata**.
- Il numero, la dislocazione e la sezione delle aperture di ventilazione devono essere scelti in funzione della **ubicazione delle apparecchiature** e della quantità di calore da smaltire.

■ massima: 40°C
■ media giornaliera: 30°C
■ media annuale: 20°C.

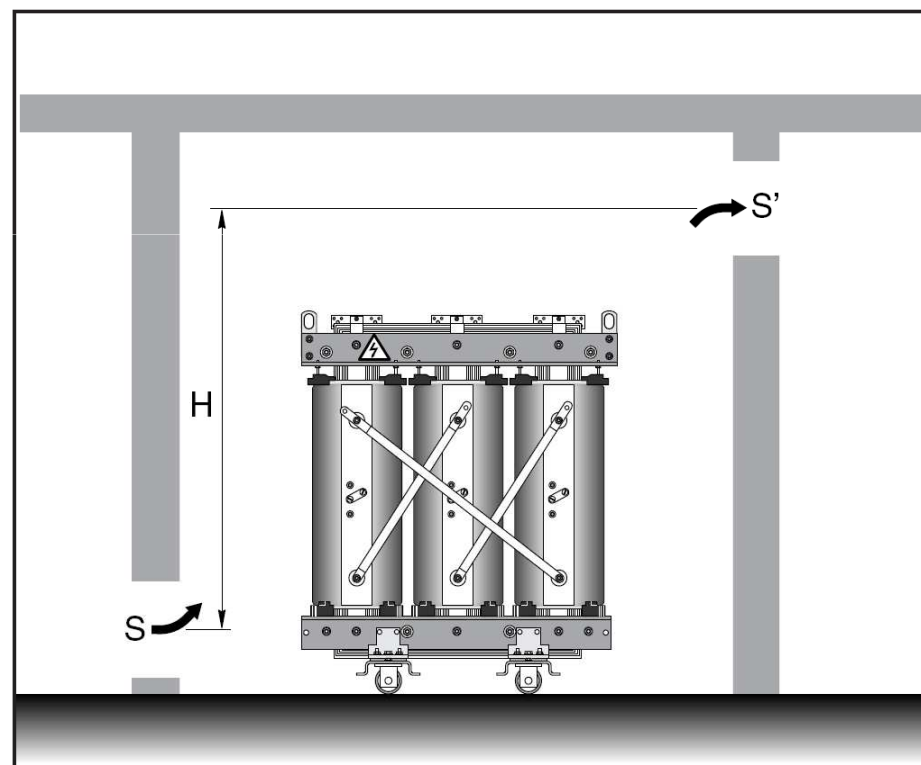


T Cast

Ventilazione naturale

$$S' = 1,10 \times S$$

- ❑ Nel locale è necessario prevedere:
- nella parte inferiore, una o più prese d'aria con bordo inferiore opportunamente sopraelevato rispetto al pavimento del locale (indicativamente 20 cm);
- nella parte superiore, camini oppure finestre preferibilmente aperte verso l'aria libera.



Esempio di calcolo per ventilazione naturale

Formula di calcolo della ventilazione naturale

P = somma delle perdite a vuoto e delle perdite dovute al carico del trasformatore, espressa in kW a 120°C, e delle perdite, espresse in kW, provenienti da una qualsiasi apparecchiatura presente nel locale.

S = superficie dell'apertura d'entrata (detraendo la superficie dell'eventuale grigliatura) in m².

S' = superficie dell'apertura di uscita (detraendo la superficie dell'eventuale grigliatura) in m².

H = altezza fra le due aperture espressa in m.

$$S = \frac{0,18P}{\sqrt{H}} \quad \text{e} \quad S' = 1,10 \times S$$

Questa formula è valida per una temperatura ambiente media annua di 20°C.

Soluzione economica
e affidabile

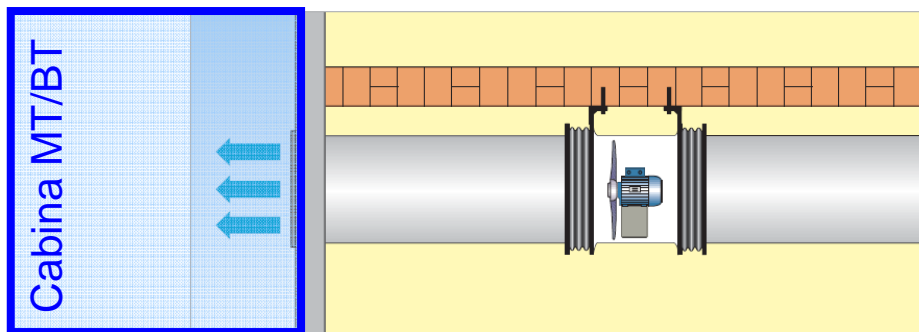


Ventilazione forzata

- A volte occorre adottare, **essiccatori** di aria per evitare l'eventuale formazione di condensa e/o **ventilazione forzata** indipendentemente dai mezzi previsti per il raffreddamento dell'apparecchiatura.

- **Nota:**

- Il limite della velocità dell'aria per non sollevare polvere è di 3m/s.
- ➔ Per ambienti con elevato grado di inquinamento, potrebbe essere necessario pressurizzare il locale cabina per evitare l'ingresso di polveri conduttrici o potenzialmente conduttrici.



$$Q = \frac{P \cdot 860}{c_p \cdot d \cdot \Delta T}$$

P = perdite totali da dissipare (kW);

d = densità dell'aria (1,13 kg/m³ a 40 °C);

c_p = calore specifico dell'aria (0,242 kcal/kg °C);

ΔT = differenza di temperatura dell'aria tra ingresso e uscita (°K);

860 = costante espressa in kcal/h/kW;

Q = portata d'aria (m³/h).

Ventilazione forzata:

Ipotizzando **19 kW** di potenza dissipata da un trafo da 1.600 kVA si ottiene:

$19 \times 860 / 0,242 / 1,13 / 20^\circ\text{C} = 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$

Si può quindi utilizzare un aspiratore da circa 5.000 m³/h con regolatore a 3

velocità, con un consumo per 4 mesi di

circa **0,18 kW** x 120 giorni x 24 ore

= 518 kWh x 0,18 €/kWh

= **100 €/anno**

Condizionamento d'aria a ciclo aperto

- ❑ Per condizioni d'esercizio particolari, ad esempio **cabine interrate**, può essere necessario un condizionamento dell'aria per mantenere la temperatura e il grado di umidità della cabina entro i limiti prefissati.
- ❑ N.B.
 - Valutare la ridondanza dei gruppi e i costi di esercizio.



❑ Attenzione all'effetto tappo.



Esempio di errato condizionamento:
Sono in funzione 2 gruppi su 3 al massimo della potenza nominale:
4,3 kW x 2 x 120 giorni x 24 ore
= 24.768 kWh corrispondenti a
24.768 x 0,18 =
4.500 €/anno

Condizionamento d'aria a ciclo chiuso

- ❑ Per condizioni d'esercizio particolari, ad esempio ambiente con forte **inquinamento dell'aria**, può essere necessario un condizionamento a ciclo chiuso.
- ❑ Per asportare **19kW** di potenza dissipata dal trasformatore occorre indicativamente assorbire dalla rete 7kW se si utilizza un gruppo con EER=3 (escluso dissipazioni del locale).
- ❑ N.B.
- La resina dei trasformatori soffre **differenze di temperatura** troppo elevate.



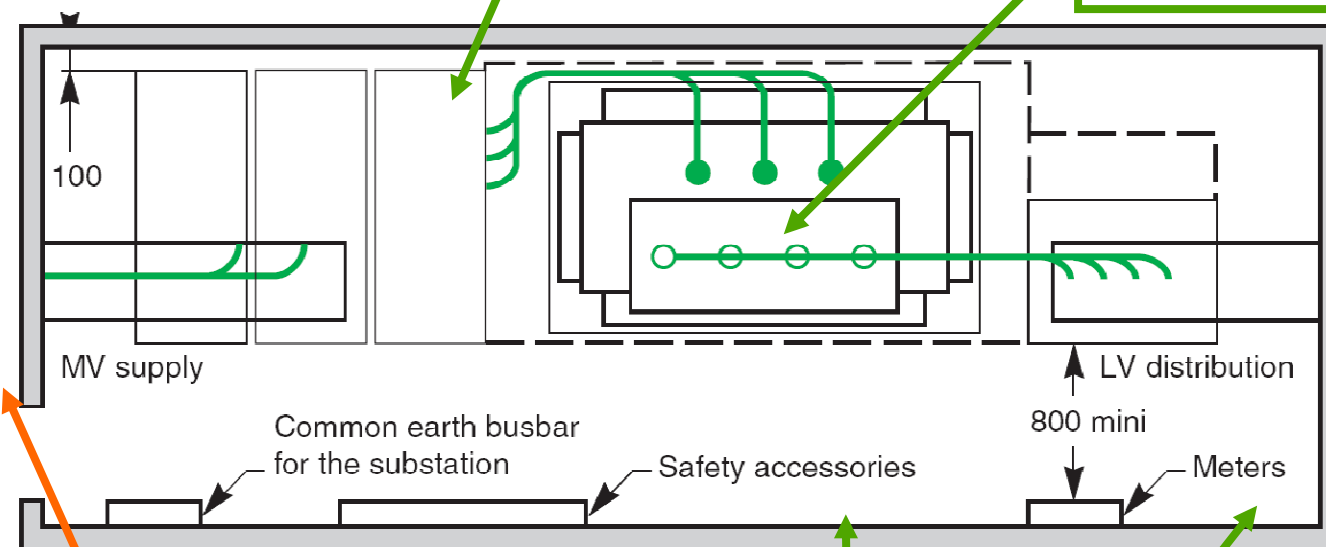
Disposizione apparecchiatura

- ❑ Dedicare idonei spazi per i trasformatori, quadri MT, rifasamento e gli altri accessori.
- ❑ Prevedere le opportune uscite ad esempio per la sostituzione del trasformatore.
- ❑ Attivare la ventilazione forzata con un consenso dal termostato ambiente.
- ❑ Allarme ottico acustico ad esempio per watch-dog relè MT.

**Rifasamento
a vuoto TR**



Estrattore



**Sirena
ottica/acustica**



Termostato



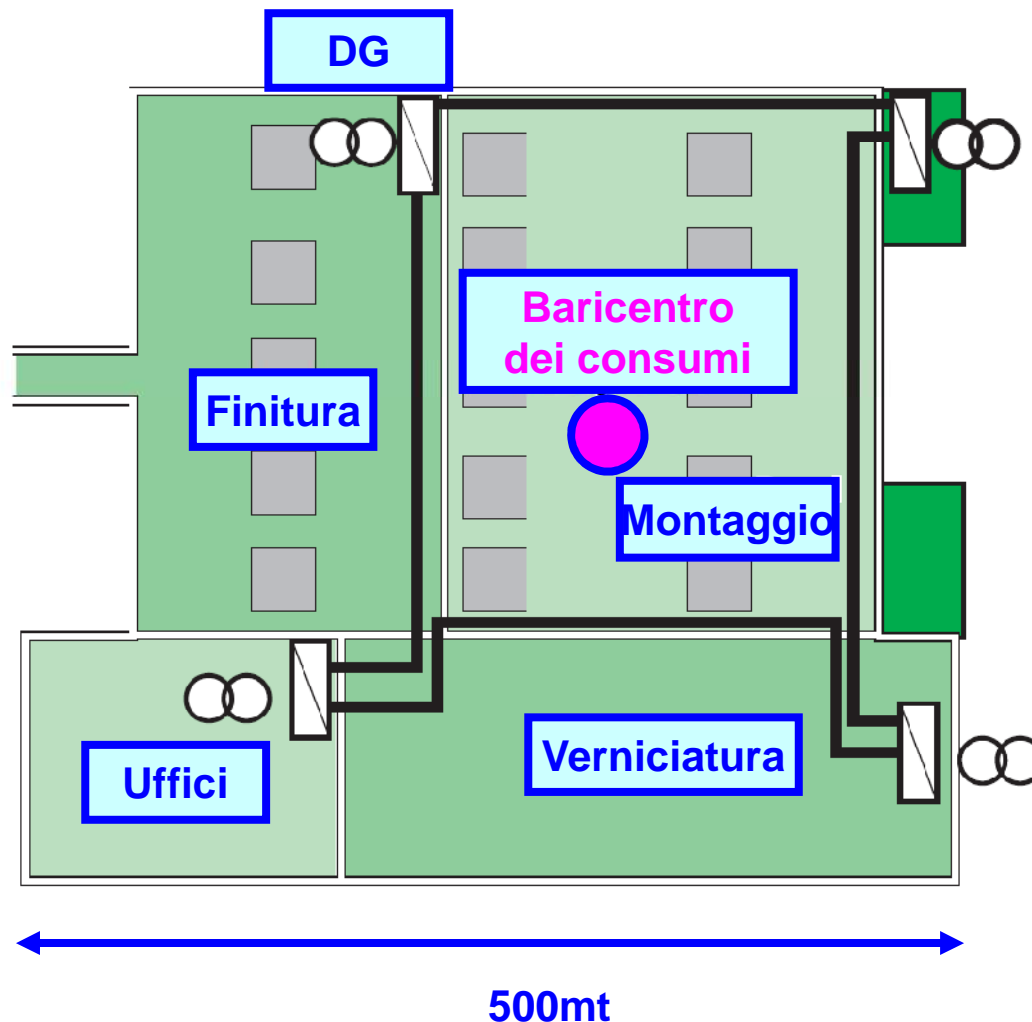
UPS



Architettura ed esempi di reti MT/BT

□ La scelta dello schema elettrico della cabina dipende da diversi elementi quali:

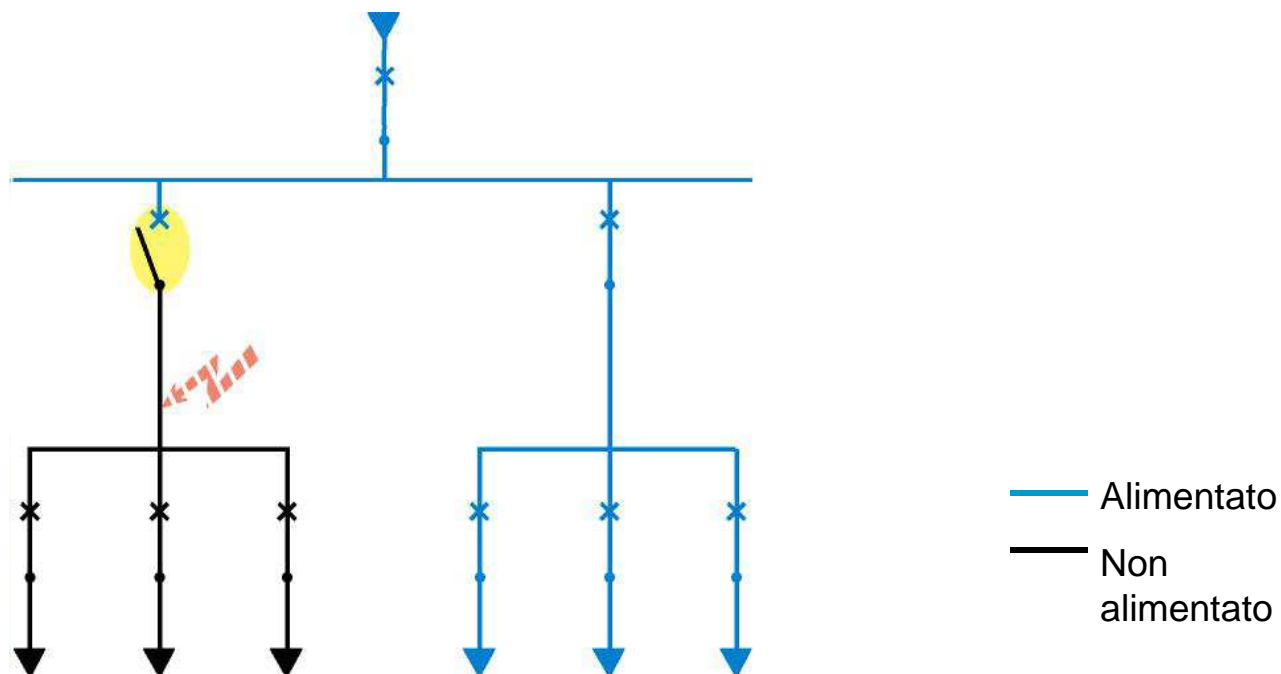
- il numero delle linee di alimentazione;
- il numero dei trasformatori;
- le esigenze del servizio, ecc.



Distribuzione radiale

- ❑ Reti con estensioni piccole o medie

Radiale semplice



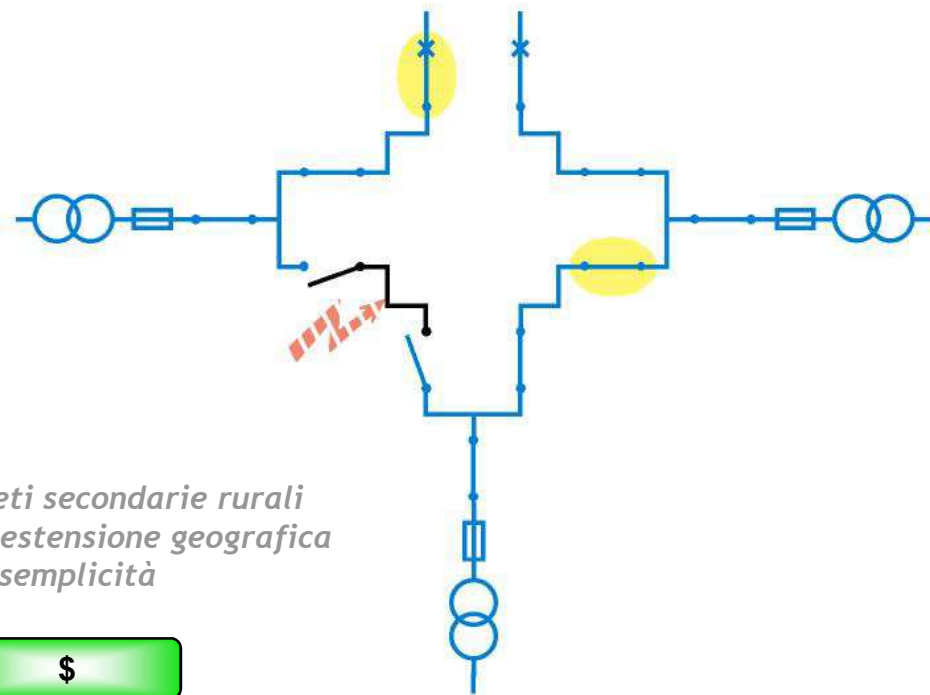
*Piccola industria e terziario:
costi ridotti*



Distribuzione ad anello

Reti con grandi estensioni

Anello aperto

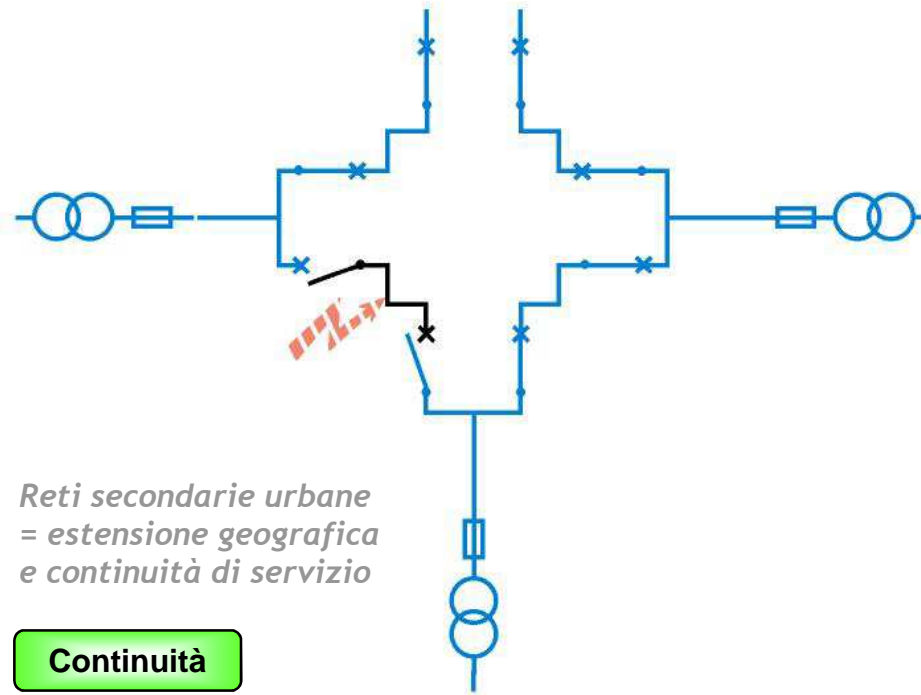


*Reti secondarie rurali
= estensione geografica
e semplicità*

\$

Continuità

Anello chiuso



*Reti secondarie urbane
= estensione geografica
e continuità di servizio*

Continuità

Gestione

\$

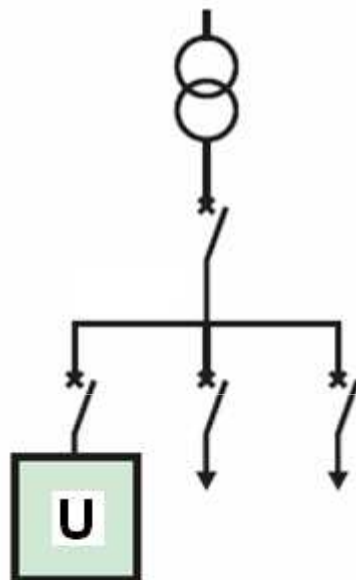
— Alimentato

— Non
alimentato

■ Punti forti

■ Punti deboli

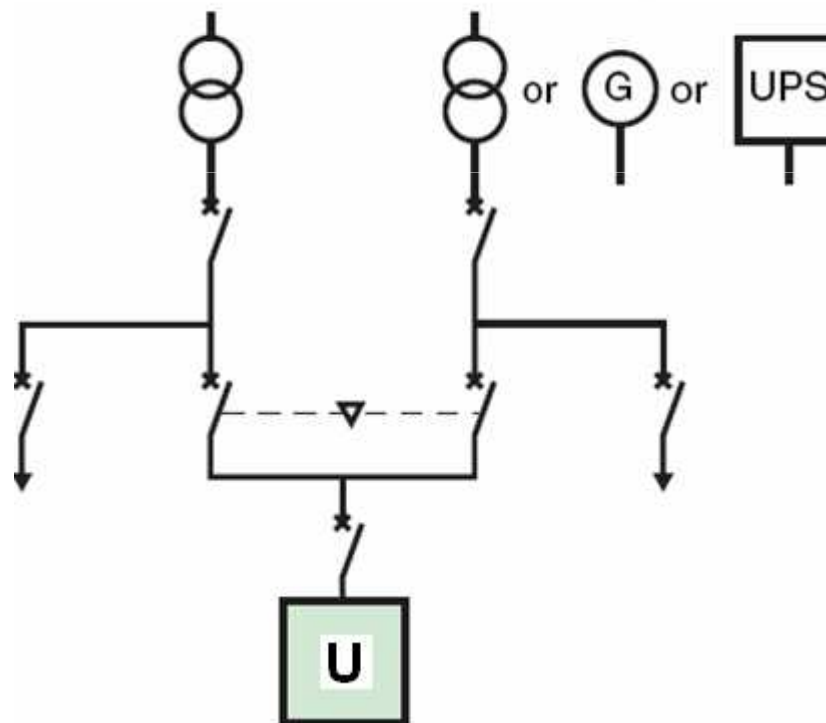
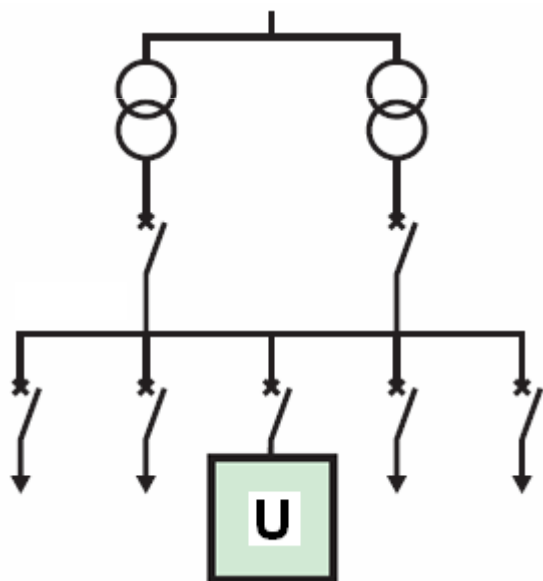
Singolo trasformatore MT/BT



❑ La continuità di servizio non è assicurata se il carico è alimentato da un solo trasformatore MT/BT (radiale semplice), specie in mancanza di un gruppo elettrogeno di emergenza.

Doppio trasformatore MT/BT

- La continuità di servizio migliora se si dispone di un secondo trasformatore (di scorta) di potenza sufficiente per alimentare, da solo, l'intero impianto.
- Il trasformatore di scorta può essere mantenuto fuori tensione, in tensione a vuoto pronto per alimentare il carico, oppure in parallelo con l'altro.



Secondo trasformatore come riserva fredda

❑ Le perdite nel ferro e nel rame sono dovute ad un trasformatore, ad esempio nel caso di una macchina in resina da 1250 kVA caricata a $\frac{3}{4}$ della potenza nominale corrispondono a:

potenza nominale [kVA]	1250	
corrente nominale secondaria [A]	1806	
perdite [kW]	a vuoto	2,80
	a carico (120°C)	13,10

Perdite nel nucleo	TR1	2,800	kW
	TR2	/	
Perdite negli avvolgimenti in base alla % di carico	TR1 al 100%	13,100	kW
	TR1 al 75%	7,369	kW
	TR2	/	
Perdite totali		10,169	kW

$$P_{cu} = R \cdot I^2$$

$$P_{cu_{75\%}} = P_{cu_{100\%}} \cdot 0,75^2$$

➔ Costo per un ciclo di lavoro di 4000 su 8760 ore all'anno pari a **10.000 [€]**

- ❑ Questa configurazione non garantisce al momento della messa in tensione che il trasformatore di scorta funzioni correttamente, in modo particolare per macchine in olio soggette all'umidità dell'ambiente.
- In questo caso lo scambio delle macchine va effettuato ogni 3/6 mesi.



Secondo trasformatore come riserva calda

- Le perdite nel ferro sono dovute ai due trasformatori, mentre le perdite nel rame sono relative al singolo trasformatore in servizio.

Perdite nel nucleo	TR1	2,800	kW
	TR2	2,800	kW
Perdite negli avvolgimenti in base alla % di carico	TR1 al 100%	13,100	kW
	TR1 al 75%	7,369	kW
	TR2	/	
Perdite totali		12,969	kW

$$P_{cu} = R \cdot I^2$$

$$P_{cu_{75\%}} = P_{cu_{100\%}} \cdot 0,75^2$$

➔ Costo per un ciclo di lavoro di 4000 su 8760 ore all'anno pari a **14.900 [€]**

- In caso di sovratensione sul primario, entrambe le macchine sono interessate dalla sovratensione.



Secondo trasformatore sempre in servizio

- Le perdite nel ferro sono prodotte dai due trasformatori, mentre le perdite nel rame si riducono. Infatti, le perdite nel rame con un singolo trasformatore, sono proporzionali a quadrato della corrente I : con due trasformatori in parallelo le perdite diventano:

Perdite nel nucleo	TR1	2,800	kW
	TR2	2,800	kW
Perdite negli avvolgimenti in base alla % di carico	TR1 al 100%	13,100	kW
	TR1 al 37,5%	1,842	kW
	TR2 al 100%	13,100	kW
	TR2 al 37,5%	1,842	kW
Perdite totali		9,284	kW

$$P_{cu} = R \cdot I^2$$

$$P_{cu_{75\%}} = 2 \cdot P_{cu_{100\%}} \cdot 0,375^2$$

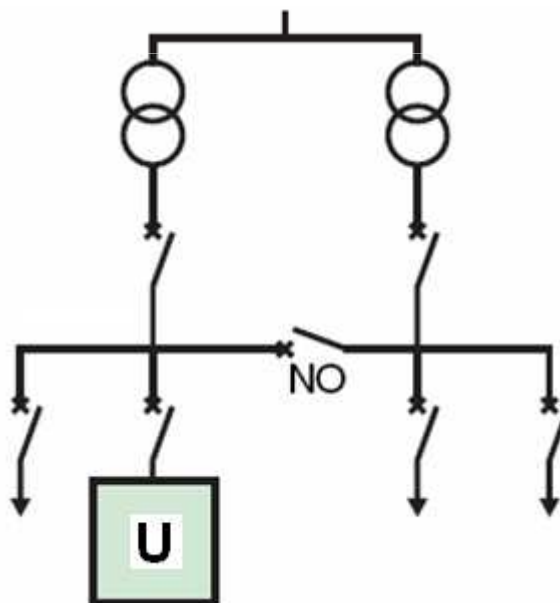
➔ Costo per un ciclo di lavoro di 4000 su 8760 ore all'anno pari a **12.100 [€]**

- Con i due trasformatori in parallelo raddoppia la corrente di cortocircuito sulla sbarra BT.
- Aumentano le sollecitazioni elettrodinamiche e di conseguenza il danno per un eventuale arco elettrico.



Secondo trasformatore con congiuntore aperto

- ❑ Invece di mettere i due trasformatori in parallelo è preferibile suddividere il carico su due sbarre, ciascuna alimentata da un trasformatore, unite tramite un congiuntore normalmente aperto. Si evita così di aumentare la corrente di cortocircuito. In caso di guasto o manutenzione su un trasformatore, si chiude il congiuntore e l'altro trasformatore può alimentare da solo tutto l'impianto (radiale doppio).
- Lo stesso dicasi per un guasto su un cavo.



Esempio ① dati



Esempi MT corso C1.iew



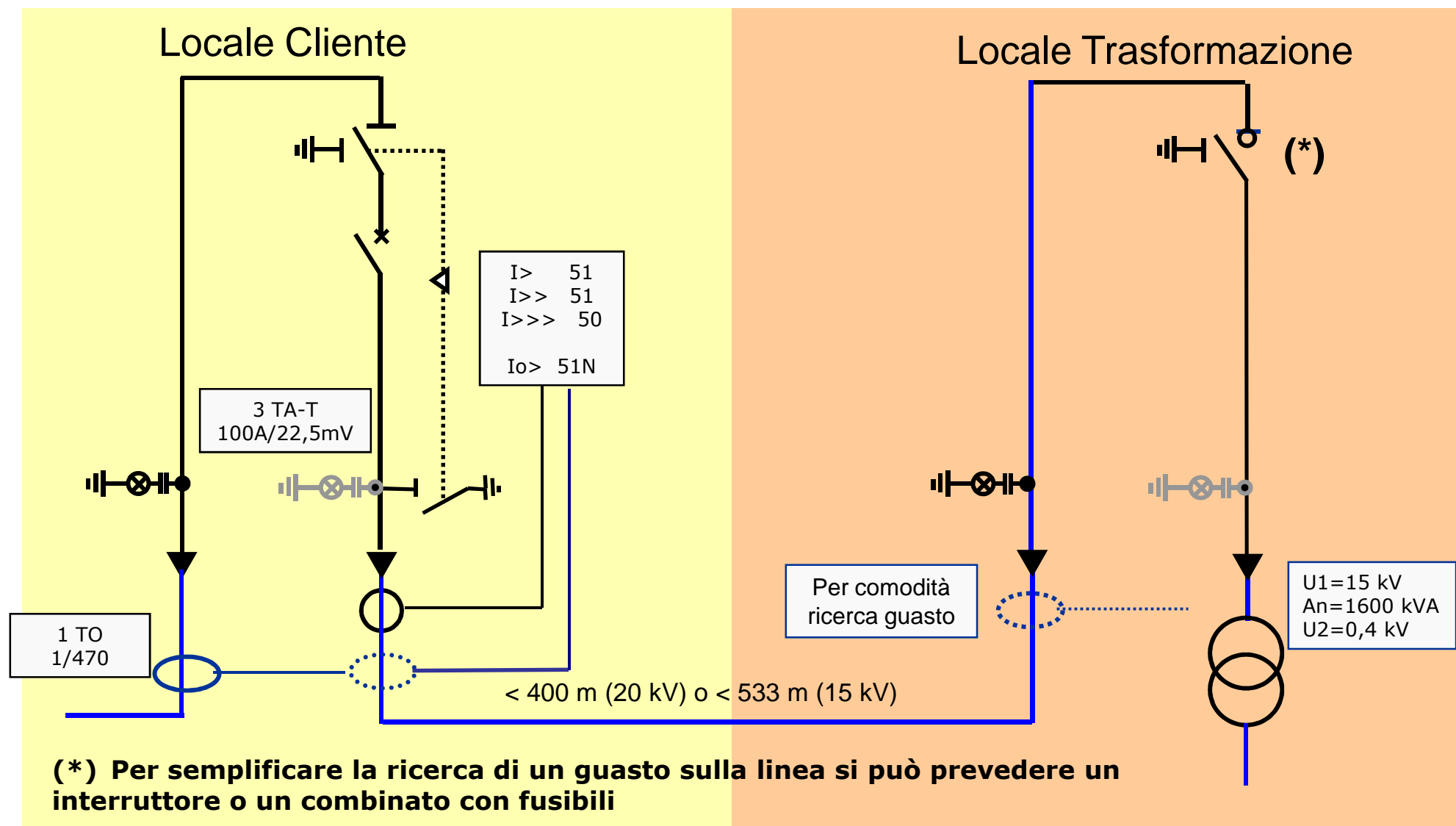
□ n° 1 trasformatore (**1600 kVA**) installato in un locale di trasformazione diverso dal locale di ricezione con linea uscente < di 400 m (20 kV) oppure < 533 m (15 kV)

- potenza fino a 2000 o 2500 kVA a 20 kV
- potenza fino a 1600 o 2000 kVA a 15 kV

□ Protezione Generale richiesta:

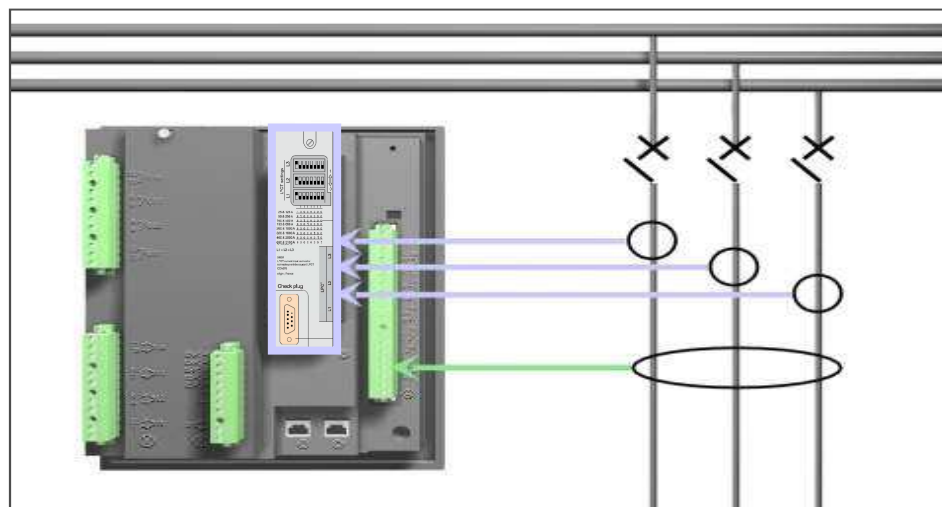
- protezione di fase I>>> “50” – I>> “51” – I> “51”
- protezione omopolare di terra Io> “51N”

Esempio ① schema radiale



Esempio ① protezione generale

SEPAM serie 20 tipo S20



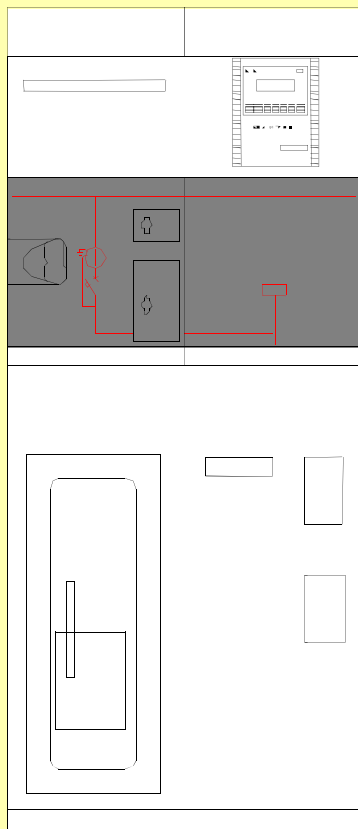
Funzioni di protezione:

- 50/51 massima corrente di fase
- 50N/51N massima corrente omopolare
- bobina di minima tensione

Esempio ① fronte quadro

Locale Ricezione

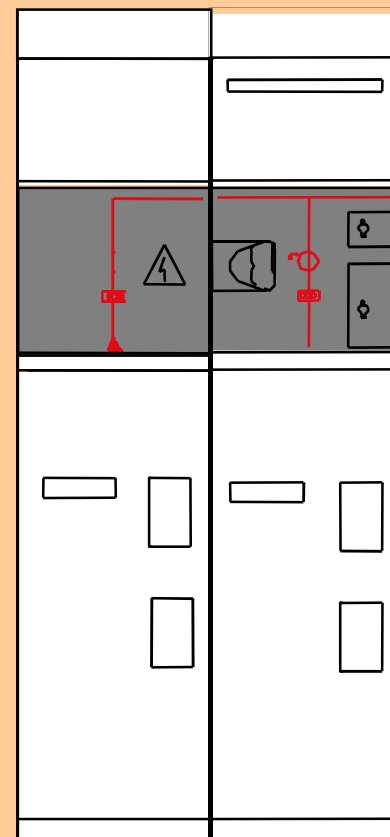
AT7-B



Locale Trasformazione

GAM2

IM



Esempio ② dati

- N° 2 o più trasformatori (**400 kVA e 1600 kVA**) installati in un locale di trasformazione diverso dal locale cliente con linea uscente > di 400 m (20 kV) oppure > 533 m (15 kV) con:

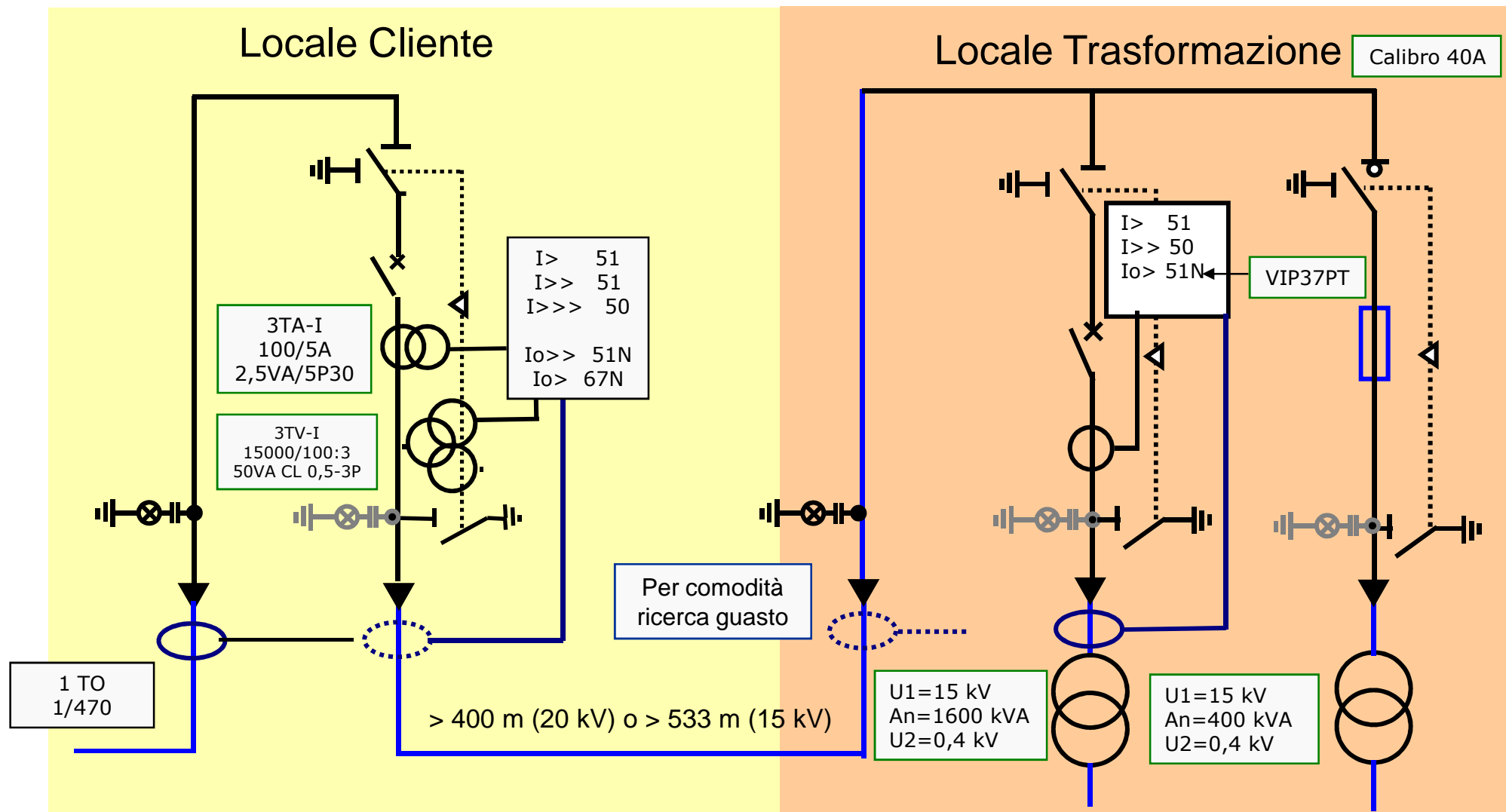
- potenza singolo trasformatore inferiore a 2000 kVA a 20 kV
- potenza singolo trasformatore inferiore a 1600 kVA a 15 kV
- e complessivamente inferiori a:

6000 kVA a 20 kV o 4800 kVA a 15 kV

- Protezione Generale richiesta:

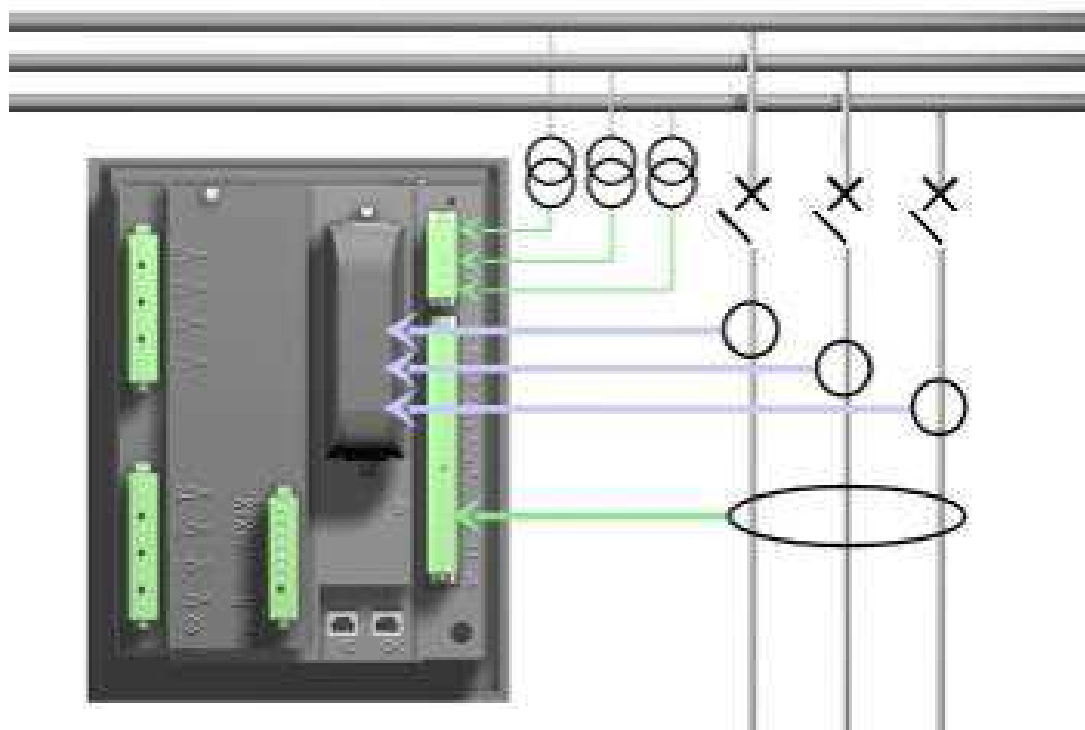
- protezione di fase $I_{>>> 50} - I_{>> 51} - I_{> 51}$
- protezione omopolare di terra $I_{o>> 51N}$
- protezione direzionale di terra $I_{o> 67N}$

Esempio ② schema radiale



Esempio ② protezione generale

□ SEPAM serie 40 tipo S41



□ Funzioni di protezione:

- 50/51 massima corrente di fase
- 50N/51N massima corrente omopolare
- 67N massima corrente direzionale di terra

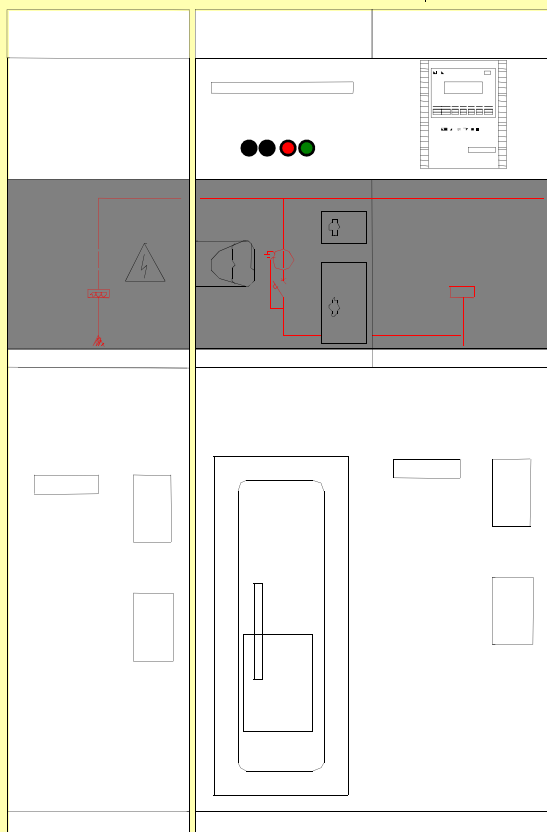
□ Bobina a lancio di corrente e data-logger.

Esempio ② fronte quadro

Locale Cliente

GAM2

DM1P-SF1

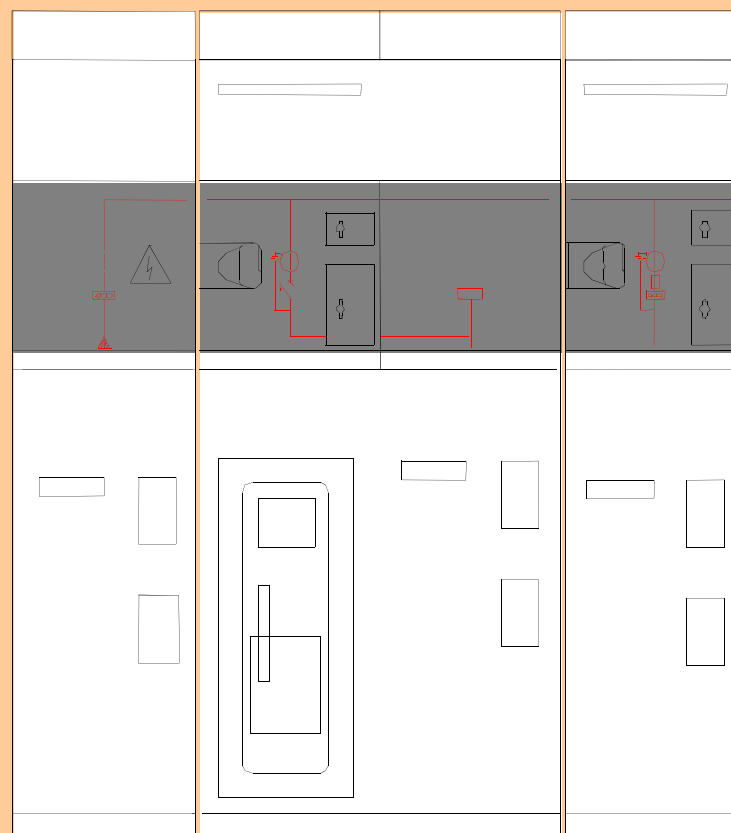


Locale Trasformazione

GAM2

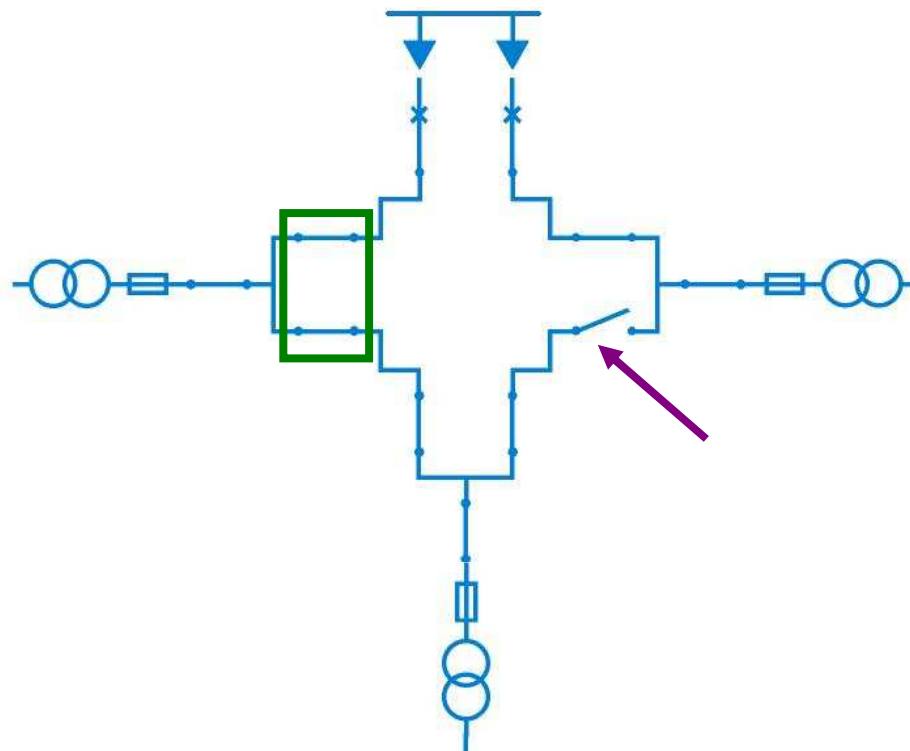
DM1A SF-SET

QM



MT Schema ad anello aperto

- Lo schema ad anello aperto ha i pregi del radiale è meno costoso per la minore lunghezza totale dei cavi impiegati. In caso di guasto in un punto dell'anello, con opportune manovre è possibile sezionare il tronco guasto e continuare ad alimentare tutte le cabine di trasformazione.
- Una volta rialimentate le cabine, il cavo guasto può essere riparato senza ulteriori interruzioni.



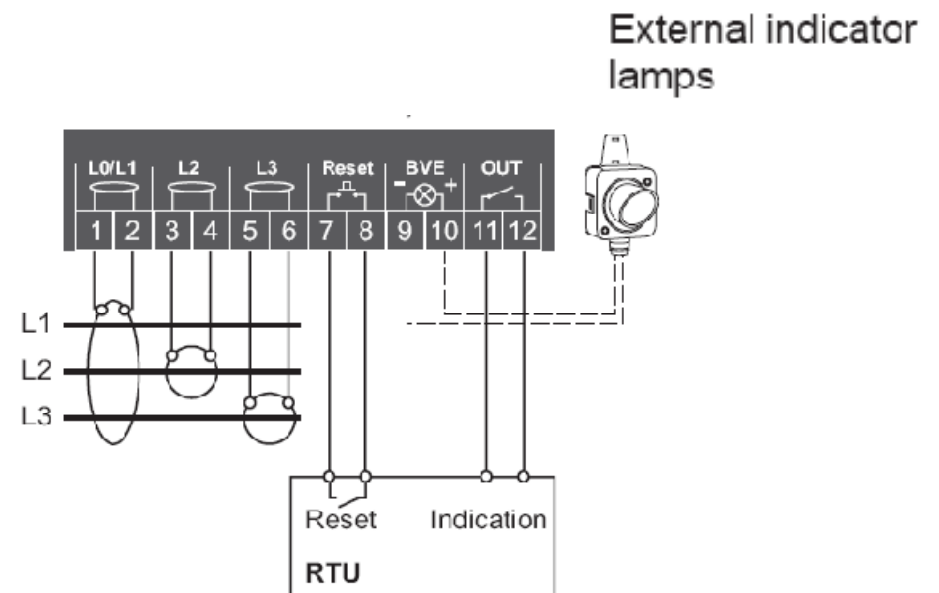
□ Interruttore di Manovra Sezionatore

□ Interruttore

➔ Nel punto di apertura conviene mantenere il cavo in tensione.

Esempio ③ dati

- ❑ Anello aperto
- ❑ Esempio con:
 - entra-esci con sezionatori motorizzati;
 - rilevatori di passaggio guasto tipo Flair;
 - sistema di supervisione per rialimentare in automatico le cabine.
- ❑ E' realizzabile tipicamente anche con interruttori a comando manuale o motorizzato e relè 50/51/51N.

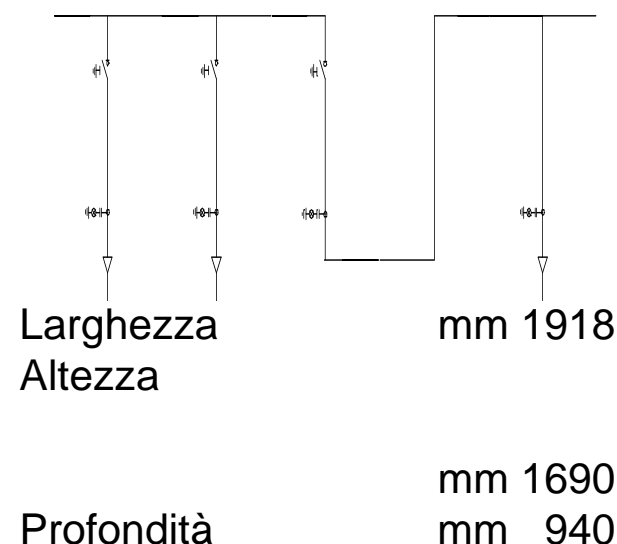
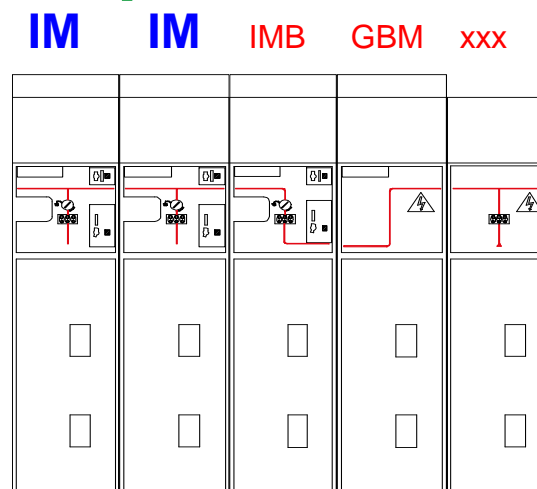


Esempio ③ schema anello aperto, fronte quadro

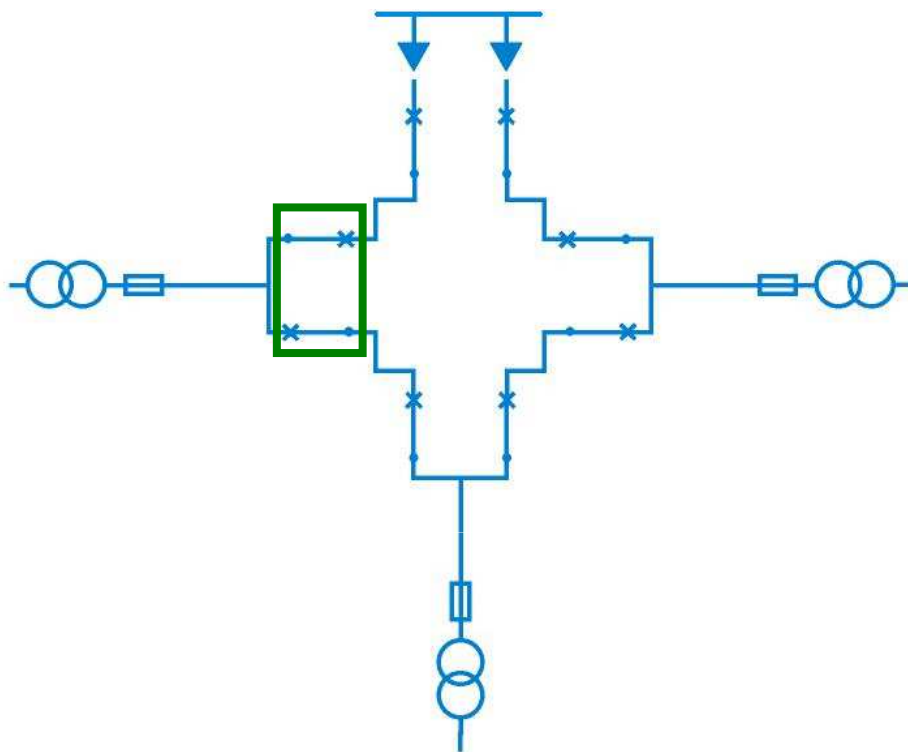
□ Anello aperto

Entra Esce Anello

IM24kV-12.5kA-630A Unità' arrivo/partenza con IMS - IAC AFL12,5kA 1s
 Derivatore capacitivo e lampade presenza di tensione Us da 10 a 20 kV
 Com man a passaggio di punto morto tipo CIT
 Motorizz. CIT (mot + cont aux 1NA+1NC+CO)220Vca-230Vca
 Cont aux supplementari su IMS/SEZ (1NA su IMS/SEZ + 1NA+1NC su SEZ DI TERRA)
 Blocco chiave su SEZ TERRA chiave libera in posizione di aperto
 Canalina superiore bassa tens per Unità' di larghezza 375mm
 2 lampade si segnalaz Rosso=apparecch chiuso + verde=apparecch aperto
 Manipolatore di comando Apri/Chiudi interruttore
 Selettore locale/distanza
 Interruttore automatico protezione circuiti aux
 23DV sensore guasti fase-terra (24-48Vcc) e assenza-presenza tensione primaria
 MF1 TA toroitale di fase diam. 130mm
 CTRH2200 TA toroitale omopolare diam. 130mm completo di cavi
 Cavetteria per TA tipo MF1 - MFH 0,3m collegamento tipo A e B
 BVE lampada di segnalazione da esterno (alimentata dal relè)



MT Schema ad anello chiuso



□ Le reti ad anello chiuso sono impiegate solo in impianti particolari ad esempio con un numero di cabine elevato, dove è richiesta la massima continuità di servizio.

- Richiedono un sistema di protezione complesso (protezioni direzionali) e il costo dell'impianto risulta più elevato.
- In genere, negli impianti alimentati dalla rete di distribuzione pubblica MT, dove il punto debole è l'affidabilità della rete esterna, risulta poco utile aumentare l'affidabilità della rete interna.



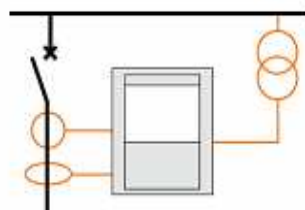
□ Solo interruttore.

Esempio ④ dati

❑ Anello chiuso

❑ Esempio con:

- entra-esci con interruttori motorizzati
- relè direzionale Sepam 42 con protezioni 67 e 67N collegati in selettività logica



Protezioni				
	Corrente	■	■	■
	Tensione	■	■	■
	Frequenza	■	■	■
	Specifiche		massima corrente di terra direzionale	massima corrente di fase e di terra direzionale
Applicazioni				
	Sottostazione	S40 ⁽⁶⁾	S41 ⁽⁶⁾	S42 ⁽⁶⁾
	Sbarre			
	Trasformatore	T40		T42
	Motore		M41	
	Generatore	G40		
	Condensatore			
Caratteristiche				
Ingressi e uscite logici	Ingressi	da 0 a 10		
	Uscite	da 4 a 8		
Sensori di temperatura		da 0 a 16		
Canale	Corrente	3I + Io		
	Tensione	3V		
	LPCT ⁽¹⁾	Sì		
Porte di comunicazione		da 1 a 2		
Controllo	Matrice ⁽²⁾	Sì		
	Editor equazioni logiche	Sì		

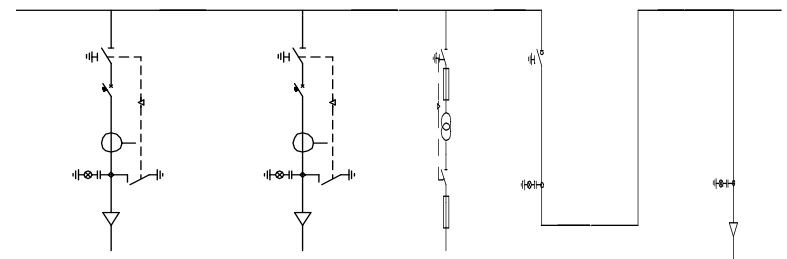
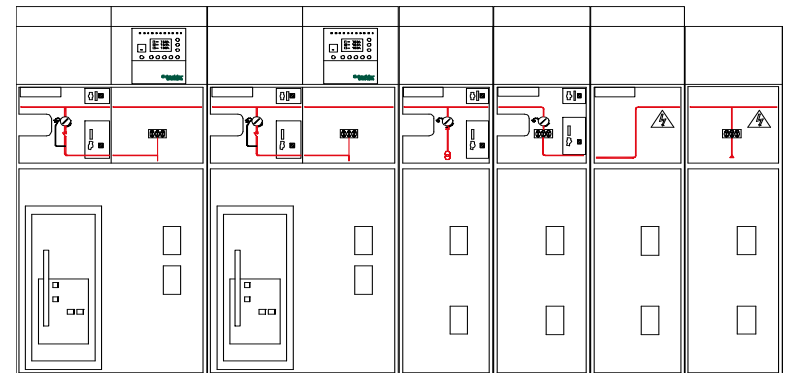
Esempio ④ schema anello chiuso, fronte quadro

■ Anello chiuso

Entra Esce Anello Chiuso

DM1A SF1 24kV-12.5kA-630A Unita' interr. semplice sez. e TA - IAC AFL12,5kA 1s
 Derivatore capacitivo e lampade presenza di tensione Us da 10 a 20 kV
 TA ARM3/N1F 100/5A 25kAx1s 2,5VA 5P30 - 7,5VA 5P10 - cl.1
 Contatti ausiliari su interr (2NA+2NC+1CO)
 Blocco chiave (PROFALUX/NOGAPI) su interr chiave libera in pos. di aperto
 Sganc di chiusura e relè antiric per com RI manuale 48Vcc
 Motor per com RI (motore + contamanovre)48Vcc
 Interr. con ciclo di operazioni standard (O-03mn-CO-3mn-CO)
 Sganc semplice di apertura 48Vcc
 Com man a manovra dipendente tipo CS1
 Cont aux su IMS/SEZ (1NA+1NC+1CO)
 Cont aux supplementari su IMS/SEZ (1NA su IMS/SEZ + 1NA+1NC su SEZ DI TERRA)
 Blocco chiave su SEZ TERRA chiave libera in posizione di chiuso
 Blocco chiave su SEZ TERRA chiave libera in posizione di aperto
 Blocco chiave su IMS/SEZ chiave libera in posizione di aperto
 Blocco chiave su SEZ chiave libera in posizione di chiuso per Unita' interrutt
 Pannello BT per SEPAM1000. Unita' senza arrivo cavi alto
 2 lampade si segnalaz Rosso=apparecch chiuso + verde=apparecch aperto
 Manipolatore di comando Apri/Chiudi interruttore
 Selettore locale/distanza
 Interruttore automatico protezione circuiti aux
 Alimentaz. aux. Sepam 1000+ da 48/250 Vcc
 Sepam S42 CEI 0-16 con visore conn. TA std
 MES114, modulo 10 ingressi 4 uscite (ingressi alim 24/250 Vcc)
 Toroide omopolare chiuso tipo CSH 160 Diam=160mm CEI 0-16

DM1A DM1A CM IMB GBM XXX



Larghezza
 Altezza
 Profondità

mm 3043
 mm 1690
 mm 1220

Elenco delle principali norme impiantistiche

☐ Norme generali.

- Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in corrente alternata.
- Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente finale(*).
- Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici.

CEI 11-1
CEI 11-35
CEI 0-2

CEI 11-1	
Data Pubblicazione	Edizione
1999-01	Nona + Ec 1
Classificazione	Fascicolo
11-1	5025
Titolo	
Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata	

Scaduta in data
01/11/2013

Norma Italiana	Data Pubblicazione
CEI EN 61936-1	2011-07
La seguente Norma è identica a: EN 61936-1:2010-11.	

Titolo
**Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a.
Parte 1: Prescrizioni comuni**

Norma Italiana	Data Pubblicazione
CEI EN 50522	2011-07
La seguente Norma è identica a: EN 50522:2010-11.	
Titolo	
Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.	

Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale

Norma Italiana

CEI 11-35

Data Pubblicazione

2004-12

Edizione

Seconda

- (*) Sono escluse dalla guida CEI 11-35:
- le cabine dei distributori pubblici;
 - le cabine delle ferrovie dello stato;
 - le cabine per miniere;
 - le cabine per impianti a bordo di navi;
 - le cabine prefabbricate.

□ **Norme e guide per il dimensionamento degli impianti.**

- Calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti trifase a corrente alternata. CEI 11-25
- Correnti di cortocircuito. Calcolo degli effetti (CEI EN80865-1). CEI 11-26
- Guida di applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali a bassa tensione. CEI 11-28
- Guide per il dimensionamento degli impianti di terra.
- Guida per l'esecuzione degli impianti di terra di stabilimenti industriali per sistemi di I, II e III categoria. CEI 11-37
- Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario. CEI 64-12
- Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo. CEI 11-17
- Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne. CEI 11-4
- Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in c.a. e 1500V in c.c.. CEI 64-8

□ **Norme per esercizio e lavori su impianti.**

- Esecuzione di lavori sotto tensione su impianti elettrici di categoria II e III in corrente alternata. CEI 11-15
- Lavori su impianti elettrici. CEI 11-27
- Esercizio degli impianti elettrici. CEI 11-48
- Esercizio degli impianti elettrici (allegati nazionali). CEI 11-49
- Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria. CEI 11-20
- Guida alle verifiche degli impianti elettrici utilizzatori. CEI 64-14

Elenco delle principali norme di prodotto

• Interruttori a corrente alternata a tensione superiore a 1000V (CEI 17-1).	CEI EN 62271-100
• Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata e a tensione superiore a 1000V (CEI 17-4).	CEI EN 62271-102
• Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori per tensioni nominali superiori a 1kV e inferiori a 52 kV (CEI 17-9/1).	CEI EN 62271-103
• Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori combinati con fusibili ad alta tensione per corrente alternata (CEI 17-46).	CEI EN 62271-105
• Sottostazioni prefabbricate ad alta tensione/bassa tensione.	CEI EN 62271-202
• Fusibili a tensione superiore a 1000V. Fusibili limitatori di corrente (CEI 32-3).	CEI EN 60282-1
• Trasformatori di corrente (CEI 38-14).	CEI EN 61869-2
• Trasformatori di tensione (CEI 38-12).	CEI EN 61869-3
• Apparecchiature prefabbricate con involucro metallico per tensioni da 1 a 52kV (CEI 17-6).	CEI EN 62271-200
• Prescrizioni comuni per l'apparecchiatura di manovra e di comando ad alta tensione.	CEI EN 62271-1
• Trasformatori di potenza (CEI 14-4/1).	CEI EN 60076/1
• Guida di carico per trasformatori immersi in olio.	CEI 14-15
• Trasformatori di potenza a secco.	CEI 14-8
• Apparecchiatura a bassa tensione. Interruttori automatici (CEI 17-5).	CEI EN 60497-2
• Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione (quadri BT) (CEI 17-13/1).	CEI EN 60439-1
• Apparecchiature a bassa tensione. Interruttori di manovra, sezionatori, interruttori di manovra-sezionatori e unità combinate con fusibili (CEI 17-11).	CEI EN 60947-3
• Grado di protezione degli involucri (codice IP) (CEI 70-1).	CEI EN 60529

DOMANDE seconda parte

☐ 1) In un ambiente dove è richiesta un' infiammabilità ridotta e consigliabile utilizzare?

- A Un trasformatore in classe E2.
- B Un trasformatore in classe F1.
- C Un trasformatore in classe F0.

☐ 2) Per il funzionamento della protezione direzionale occorrono ?

- A Il TA toroidale ed i trasformatori di tensione.
- B I TA di fase ed il TA toroidale.
- C Solo il TA toroidale.

☐ 3) Per ottenere una maggiore continuità della rete elettrica è preferibile realizzare ?

- A Una distribuzione ad anello chiuso.
- B Una distribuzione di tipo radiale.
- C Una distribuzione ad anello aperto.