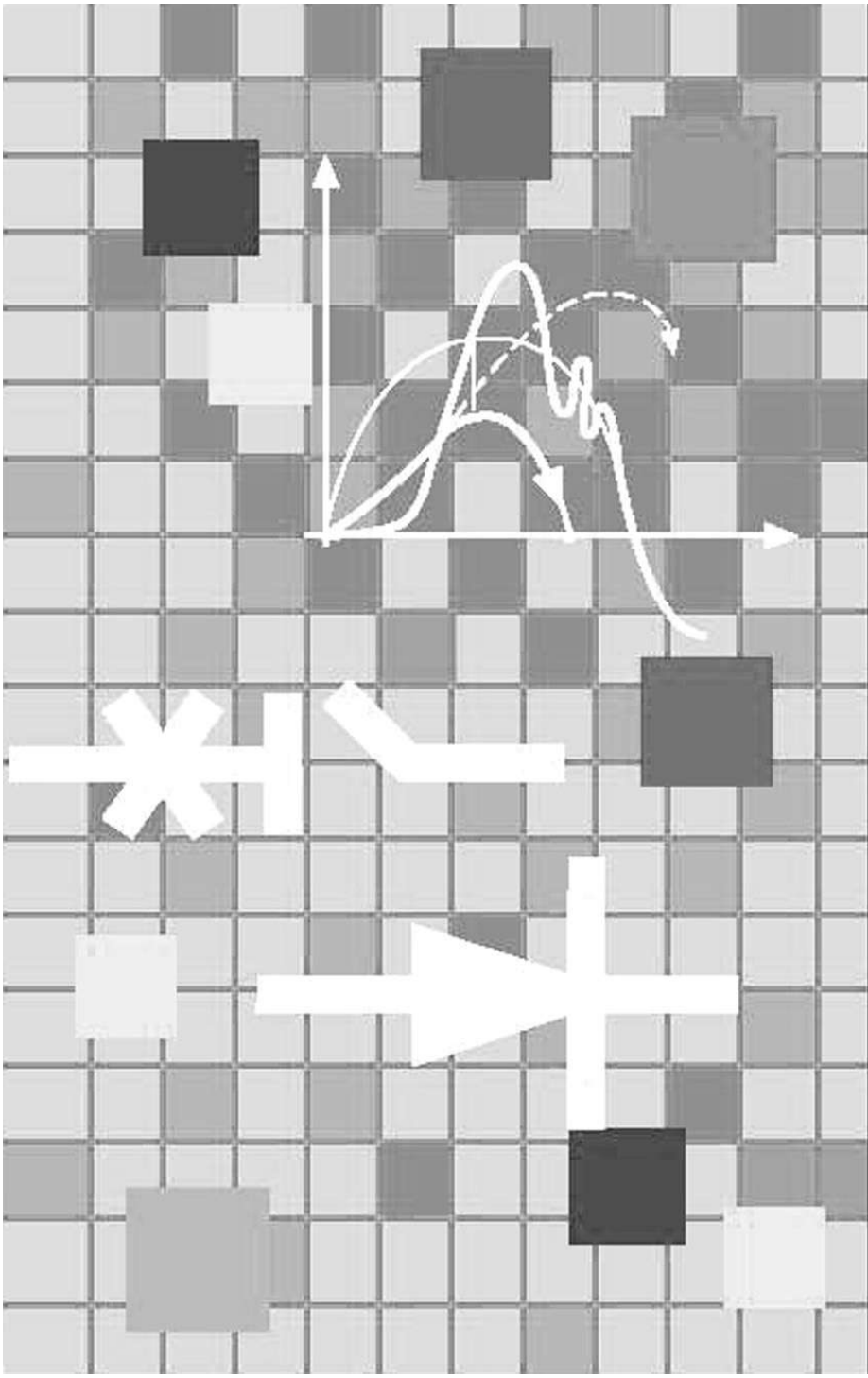
Dossier tecnico n° 1/MT-BT

Regole/ norme per la realizzazione di una cabina MT/BT a regola d'arte e criteri di scelta dell'apparecchiatura



a brand of Schneider Electric

Merlin Gerin

Schneider Electric SpA
MKT Division

20041 AGRATE (MI) (italia)
Tel. (039) 6558111
Tfax (039) 6056900
www.schneiderelectric.it

Edizione **GIUGNO '05**

Dossier Tecnico n. 1/MT-BT

Regole/norme per la realizzazione di una cabina MT/BT a regola d'arte e criteri di scelta dell'apparecchiatura

Indice

1. Introduzione 3

2. Norme di riferimento 4
2.1 Generalità 4
2.2 Norme e guide riguardanti gli impianti elettrici 4
2.3 Norme apparecchiature e componenti 4

3. Criteri di allacciamento alla rete del Distributore 5

4. Criteri di scelta delle apparecchiature 6
4.1 Tipiche informazioni che il distributore (ENEL) fornisce all'utente MT 6
4.2 Scelta del quadro MT 7
4.3 Scelta del cavo MT 9
4.4 Scelta del trasformatore MT/BT 11
4.5 Scelta condotto sbarre 22
4.6 Scelta del quadro BT 23

5. Ventilazione della cabina MT/BT 26
5.1 Determinazione dell'altezza e delle sezioni delle aperture di ventilazione 26
5.2 Formula di calcolo della ventilazione naturale 26
5.3 Ventilazione forzata del locale 27

6. Targhe, avvisi e schemi in cabina 28
6.1 Cartelli sulla porta d'accesso della cabina e su ogni lato di eventuali recinzioni 28
6.2 Cartelli all'interno della cabina 29

7. Interblocchi di sicurezza 31

8. Trasformatori di misura TA – TV 34

Appendice A 37

La progettazione e la costruzione di una cabina elettrica richiedono una completa conoscenza degli aspetti normativo–legislativi, al fine di una corretta definizione dello schema elettrico e di una oculata scelta delle apparecchiature in relazione alla continuità di esercizio e alla sicurezza del personale.

Questo documento è destinato prevalentemente a chi volesse informazioni in linea generale sul tema Cabina MT/BT. Si tralasciano volutamente alcuni temi, come la parte edile e l'impianto di terra, in quanto sono argomenti ampiamente trattati rispettivamente nei documenti specifici dell'ENTE DISTRIBUTORE, nella NORMA CEI 11–1 e nella Guida CEI 11–37.

In questo documento verranno prese in considerazione le cabine MT/BT, idonee ad alimentare insediamenti di attività industriale medio piccola: in questo contesto non vengono analizzate le grandi cabine dedicate all'industria pesante di processo. Tratteremo quindi delle cabine per potenze installate da 100 kVA fino a qualche MVA.

La cabina di trasformazione ha la sua ragione di esistere quando risulta evidente la sua convenienza tecnico economica, tenendo conto del costo della realizzazione della cabina in relazione alla diverso costo dell'energia, a seconda che sia fornita in bassa anziché in media tensione.

Come l'Ente distributore può alimentare l'Utente

L'Ente distributore può consegnare l'energia direttamente in bassa tensione oppure in media tensione in conseguenza di situazioni che dipendono

da parte dell'ENTE:

- per indisponibilità locale di linee a bassa tensione,
- per saturazione delle linee a disposizione;

da parte dell'UTENTE:

- per l'entità della potenza ed energia richiesta,
- per l'utilità di avere una propria rete MT per la distribuzione ai reparti.

In questi casi l'utente deve provvedere direttamente alla costruzione e gestione in proprio delle cabine o stazioni di trasformazione, per disporre della bassa tensione per il suo utilizzo. Tendenzialmente ENEL rende disponibile l'energia in BT fino a potenze ≤ 100 kW.

Quindi, in definitiva, si possono avere i seguenti casi :

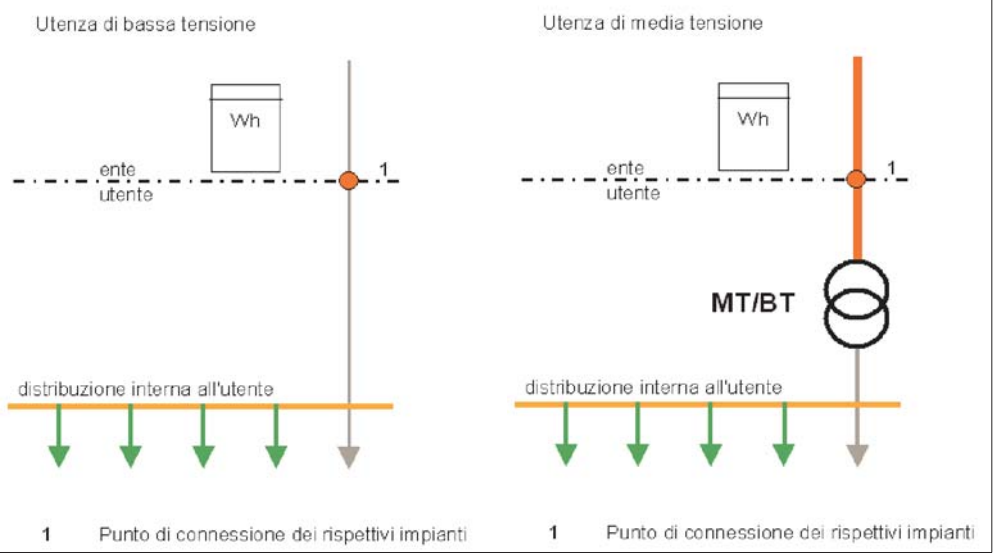


Fig.1 Modi di connessione degli utenti al Distributore

In alcuni casi anche per potenze di 200 – 300 kW sarebbe possibile l'allacciamento diretto alla bassa tensione, ma può essere tuttavia conveniente per l'utente la costruzione di una cabina di trasformazione.

L'allacciamento in media tensione è in relazione al minor costo dell'energia e alla sua migliore qualità, anche se, a seguito della delibera dell'Autorità per l'Energia, anche le reti in bassa tensione usufruiranno dei miglioramenti qualitativi imposti alle reti di distribuzione in media tensione. In ogni caso la distribuzione in media tensione risulta sempre più affidabile.

2.1 Generalità

Tutti i componenti delle cabine di trasformazione e le cabine stesse devono rispondere a specifiche normative per la definizione di caratteristiche funzionali, prestazioni, condizioni di installazione, di prova e di sicurezza. Un'apparecchiatura progettata e costruita secondo le norme CEI è sicuramente un'apparecchiatura realizzata a regola d'arte (Legge 186 del 1 marzo 1968).

Le principali norme CEI applicabili alla progettazione, costruzione, esercizio e manutenzione di una cabina elettrica sono le seguenti:

2.2 Norme e Guide riguardanti gli impianti elettrici

- CEI 11–1 Impianti elettrici con tensione superiore a 1000 V in corrente alternata
- CEI 11–17 Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica, Linee in cavo
- CEI 11–20 Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria
- CEI 11–37 Guida per l'esecuzione degli impianti di terra di stabilimenti industriali per sistemi di I, II e III categoria
- CEI 11–35 Guida all'esecuzione delle cabine elettrica d'utente
- CEI 64–8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua

2.3 Norme apparecchiature e componenti

Apparecchiature e componenti MT

- CEI EN 60298 Apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico per tensioni da 1 kV a 52 kV
- CEI 14–4 Trasformatori di potenza
- CEI 14–8 Trasformatori di potenza a secco
- CEI 17–1 Interruttori a corrente alternata a tensione superiore a 1000 V
- CEI 32–3 Fusibili MT
- CEI 20–13 Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 kV a 30 kV

Apparecchiature e componenti BT

- CEI EN 60439–1 Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (Quadri BT)
- CEI EN 60439–2 Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (Quadri BT) Prescrizioni particolari per i condotti sbarre.

La conformità a una norma tecnica, come le norme CEI, presuppone che l'apparecchiatura risponda a tutti i requisiti previsti dalla norma stessa; in particolare le prestazioni relative al comportamento al cortocircuito, al comportamento termico, alle caratteristiche dielettriche, ecc..., sono dedotte in maniera inequivocabile da tutta una serie di prove dette PROVE DI TIPO.

Queste prove hanno quindi lo scopo di verificare la conformità di un dato TIPO di apparecchiatura alle prescrizioni della norma.

Le prove di tipo sono effettuate su un esemplare di apparecchiatura o su parti della stessa, costruita secondo lo stesso progetto o secondo progetti simili e sono effettuate per iniziativa del costruttore.

All'interno del documento normativo, sono descritte altre prove, chiamate PROVE INDIVIDUALI, il cui scopo è di rilevare sia i difetti inerenti i materiali utilizzati per la costruzione, sia le anomalie dell'assemblaggio, e che vanno eseguite su tutte le apparecchiature nuove dopo il loro montaggio.

Prove di tipo eseguite in maniera parziale o non completamente in conformità con quanto prescritto dalla norma non sono sufficienti per poter affermare che l'apparecchiatura sia rispondente ad una determinata norma.

Esempio:
Verifica del livello di isolamento (prova richiesta dalla norma CEI EN 60298 relativa ai quadri MT). Al fine di assegnare un livello di isolamento (es.. 24kV) all'apparecchiatura, non è sufficiente eseguire soltanto la prova a frequenza industriale a 50 kV valore comune, ma occorre effettuare anche la prova a impulso atmosferico. Per questo motivo, a fronte di caratteristiche dichiarate dal costruttore, è bene chiedere la dimostrazione oggettiva che la prestazione sia frutto effettivo della serie di prove richieste dalla norma. Questa attestazione può essere fornita attraverso l'esibizione di documenti come Rapporti di Prova, Certificati di prova e Certificati di Conformità emessi da laboratori accreditati o da ENTI di certificazione.

3 Criteri di allacciamento alla rete del Distributore

I criteri di allacciamento di un UTENTE alla rete di media tensione sono le regole stabilite dal DISTRIBUTORE DI ENERGIA, che devono essere rispettate ai fini dell'ottenimento di un contratto di fornitura.

Un esempio di criterio di allacciamento è il documento ENEL DK5600 IV Ed. marzo 2004 di recente pubblicazione, che ha lo scopo di definire i criteri e le modalità per la connessione dei clienti alla rete MT di ENEL Distribuzione S.p.A., ne stabilisce il campo di applicazione, le disposizioni generali, le linee generali di realizzazione degli impianti, le caratteristiche dei locali ove tali impianti saranno ubicati e tutta la documentazione necessaria per dimostrare che la cabina sia stata realizzata totalmente in linea con i criteri stabiliti da ENEL.

Le prescrizioni tecniche riportate in questo documento impongono apparecchiature più o meno sofisticate in funzione dell'impianto dell'UTENTE; per esempio l'utilizzo del relè di terra direzionale è vincolato alle situazioni impiantistiche sotto descritte:

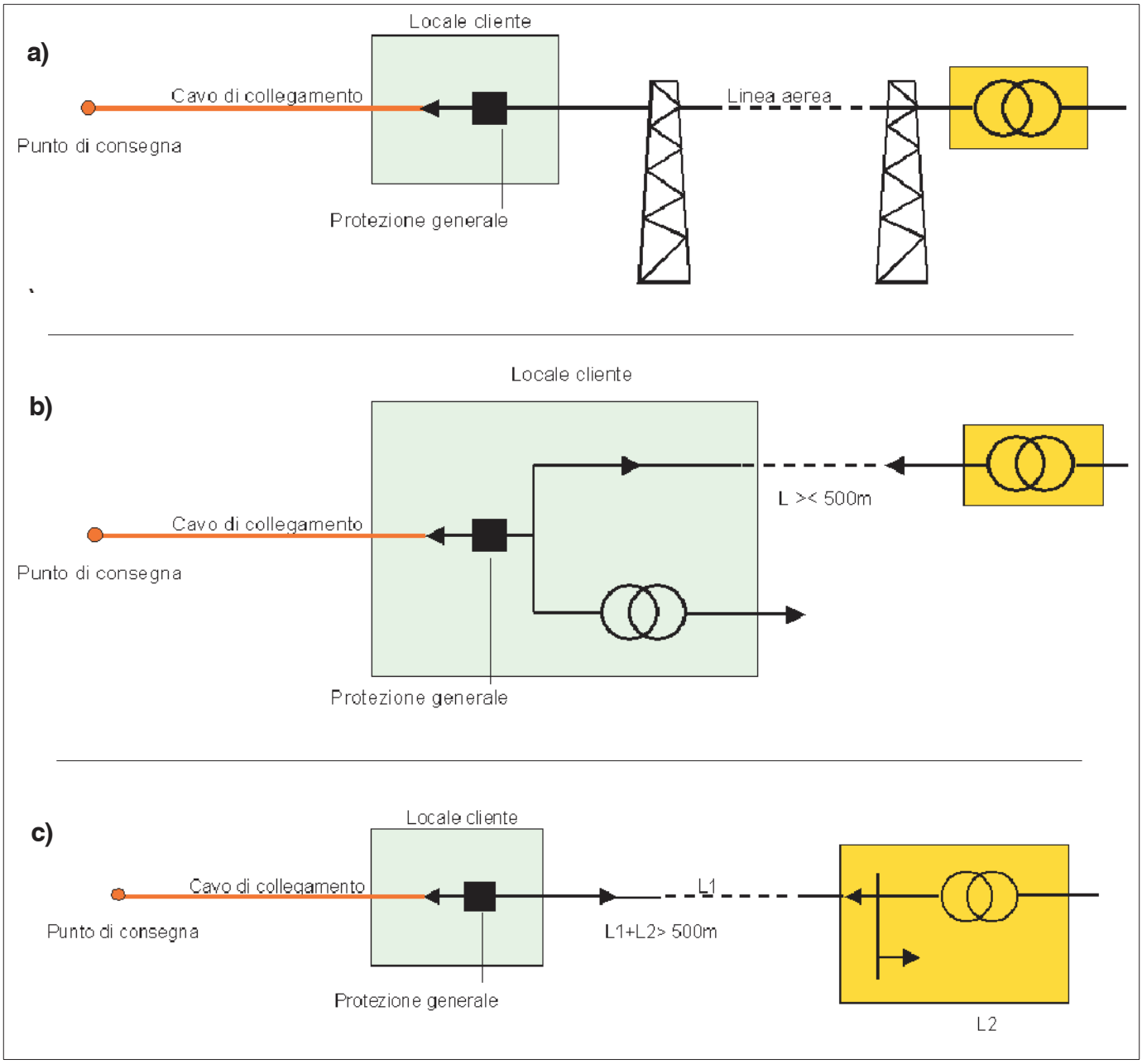


Fig. 2.

Il relè di terra direzionale (67) è richiesto soltanto se l'impianto l'utilizzatore ha le seguenti caratteristiche:

a) una linea in media tensione aerea in conduttori nudi, di qualsiasi lunghezza;

b) due o più cabine di trasformazione, indipendentemente dalla lunghezza dei cavi;

c) una rete cavi in media tensione di lunghezza maggiore di 500m

4 Criteri di scelta delle apparecchiature

Le apparecchiature e i principali componenti che in genere si trovano all'interno della Cabine MT/BT sono essenzialmente i seguenti:

- **Quadri MT**
- **Cavi MT** completi di terminazioni di interconnessione tra il quadro MT e il Trasformatore MT/BT
- **Trasformatore MT/BT**
- **Condotti Sbarre o cavi BT** di interconnessione fra i trasformatore e il quadro BT
- **Quadri BT**
- **Cavi BT** completi di terminazioni

Prima di descrivere i criteri fondamentali per la scelta delle apparecchiatura da installare in cabina, è necessario definire gli elementi di base che determinano lo schema di una cabina; di seguito, ne viene riportata una sintesi:

- stabilire la reale potenza degli impianti da alimentare e le sue fluttuazioni nel tempo (giorno, settimana lavorativa e non, ecc...);
- individuare le ipotesi di eventuale futuro ampliamento degli impianti e del corrispondente incremento della potenza necessaria;
- definire il limite di riserva necessaria (potenza totale divisa su uno o più trasformatori), o desiderata, valutando il rischio per disservizi occasionali a seguito di semplificazioni accettate per contenere la spesa iniziale d'impianto;
- stabilire se, in periodi non lavorativi, si devono alimentare servizi indispensabili, e in caso affermativo qual è la potenza necessaria (piccolo trasformatore dedicato ai servizi non interrompibili);
- chiedere all'ente distributore i parametri della rete di distribuzione (prendendo ad esempio la lettera di comunicazione ENEL): la tensione, il valore della massima corrente di cortocircuito, il valore massimo e il tempo previsto per l'interruzione della corrente da disperdere a terra in caso di guasto;
- definire la posizione più favorevole delle cabine di trasformazione, in riferimento alle utenze servite, a valle della cabina di consegna, che è sempre accessibile da pubblica via..

A partire da queste informazioni sarà possibile procedere ragionevolmente alla stesura dello schema dei circuiti principali e integrarli con quanto occorre per il controllo, le misure, le protezioni, gli interblocchi, ecc...

Lo schema deve comprendere infatti tutte le indicazioni necessarie all'installatore per l'acquisto dei componenti e per la definizione delle opere indispensabili alla costruzione della cabina.

4.1 Tipiche informazioni che il distributore (ENEL) fornisce all'utente MT

Neutro messo a terra tramite impedenza	**(ente distributore)**
Corrente di guasto monofase a terra	**50 A**
Tempo di eliminazione del guasto monofase a terra molto maggiore di 10s (U_{TP}=75V)	
Livello di isolamento delle apparecchiature	**24 kV**
Corrente di cortocircuito simmetrica al punto di allacciamento	**12,5 kA**
Dispositivo Generale DG	
InterruttoreProtezione Generale PG caratteristiche prescritte dall'ente distributore (ENEL vedi DK5600 ed marzo 2004) e relative tarature	

4.2 Scelta del Quadro MT

Una soluzione ottimale può essere un quadro composto da una serie di unità funzionali di tipo protetto, con isolamento principale in aria, equipaggiate con apparecchiature di interruzione e sezionamento in SF6

- interruttore di manovra–sezionatore IMS,
- interruttore tipo SF1 e/o SFset
- sezionatore di messa a terra.

e con livello di isolamento richiesto quale il 24 kV.

Il grado di protezione minimo dell'involucro esterno sarà IP2XC, secondo le norme CEI–EN 60529.

Caratteristiche elettriche principali del Quadro

Tensione di esercizio	**10 – 15 – 20 – 22 – 23 kV**
Tensione nominale	**24 kV**
Frequenza di esercizio	**50 Hz**
Tenuta dielettrica a freq. industriale	**50 kV X 1 min**
	60 kV X1 min sulla distanza di sez.
Tenuta dielettrica all'impulso	**125kV**
	145kV sulla distanza di sez.
Corrente di breve durata ammissibile	**12,5 kA per 1 s**

Potere d'interruzione

Il dispositivo di interruzione installato all'interno del quadro deve avere un potere d'interruzione consono alla massima corrente di cortocircuito da interrompere.

Nel caso di IMS posto a valle del dispositivo generale (DG), a protezione di Trasformatori di potenza fino a 800 kVA, le correnti che possono essere interrotte sono dell'ordine del centinaio di ampere massimi.

Quando l'IMS è combinato con fusibili questi ultimi sono in grado di interrompere anche correnti dell'ordine delle decine di kA (24 kV – 20 kA).

Nel caso dell'interruttore, tipico come arrivo, come dispositivo generale DG, oppure come partenza Trasformatori con potenze superiori a 800 kVA, è un apparecchio che può interrompere decine di kA (24kV – 16kA).

Quadro MT come soluzione per cabina MT/BT

Fig. 3 Quadro tipo SM6

Parti principali componenti un Quadro MT

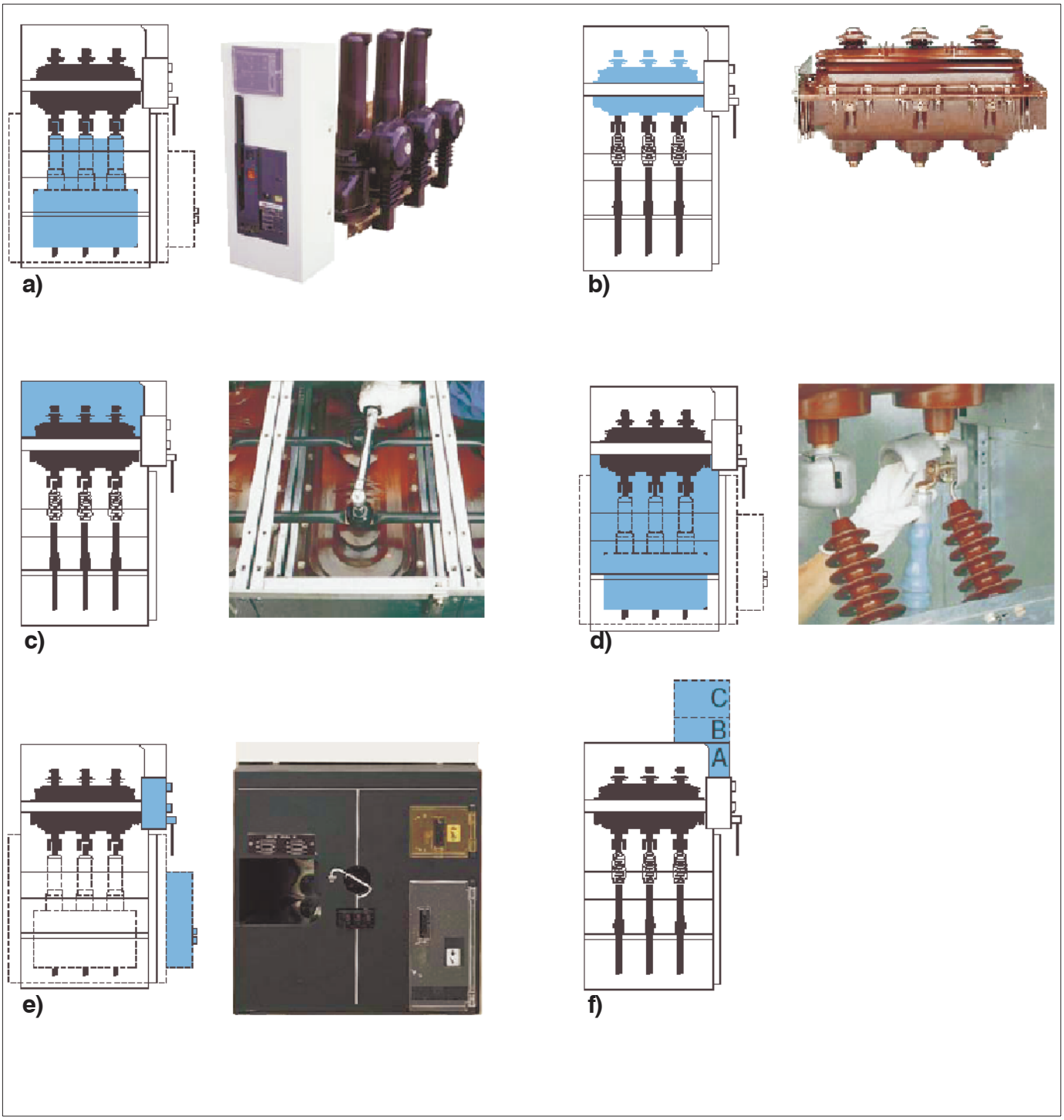


Fig. 4 Parti principali componenti un quadro SM6

a) interruttore

b) interruttore di manovra sezionatore, sezionatore

c) cella sbarre

d) cella linea ed apparecchiature

e) comando

f) cella BT

Ai fini della sicurezza del personale, sono da preferire soluzioni che prevedano la tenuta all'arco interno (legge 626).

In Appendice A è riportato, a titolo di esempio, uno schema unifilare per una soluzione di quadro MT per un impianto che preveda un arrivo da Ente distributore e due partenze trasformatore.

4.3 Scelta del cavo MT

Il collegamento ai trasformatori o tra gruppi separati di apparecchiature in MT viene quasi sistematicamente effettuato con cavi generalmente con isolamento solido in gomma etilenpropilenica (EPR), con rivestimento esterno protettivo in mescole di polivinilcloruro (PVC).

- Il conduttore del cavo può essere in rame o in alluminio.
- L'isolante è una mescola di gomma etilenpropilenica ad alto modulo G7, la quale presenta ottime caratteristiche elettriche e meccaniche.
- Lo schermo, realizzato con fili o nastri di rame disposti ad elica, deve essere connesso a terra ad entrambe le estremità; è ammesso il collegamento a terra ad una sola estremità nei casi previsti dalla norma CEI 11–17, art. 3.3.02.
- L'eventuale armatura è costituita da fili o nastri d'acciaio ed ha lo scopo di aumentare la resistenza meccanica del cavo alle sollecitazioni esterne; questa tipologia di cavo è consigliata per le pose interrate all'interno dei siti industriali.
- La guaina esterna è generalmente in PVC, ma non ha la funzione di isolamento del cavo, bensì solo di protezione meccanica

I cavi di media tensione sono designati con una sigla (fig.6) preceduta dalla formazione dei conduttori e seguita dalle tensioni nominali d'isolamento(CEI UNEL 35011).

Nella figura 5, è rappresentato un esempio di scelta del cavo di collegamento tra il punto di prelievo nel locale consegna ENEL (DK 5600) e il locale cliente.

In genere, anche per ragioni di facilità di messa in opera, sarebbe opportuno ricorrere sempre a cavi unipolari.

In questo caso tra il punto di prelievo dell'energia nel locale consegna (del distributore) e il dispositivo di protezione generale DG nel locale utente, è richiesto un cavo 12/20 kV (Um tensione massima) 24 kV anche se l'alimentazione risulta 15 kV, sezione 95 mm^2

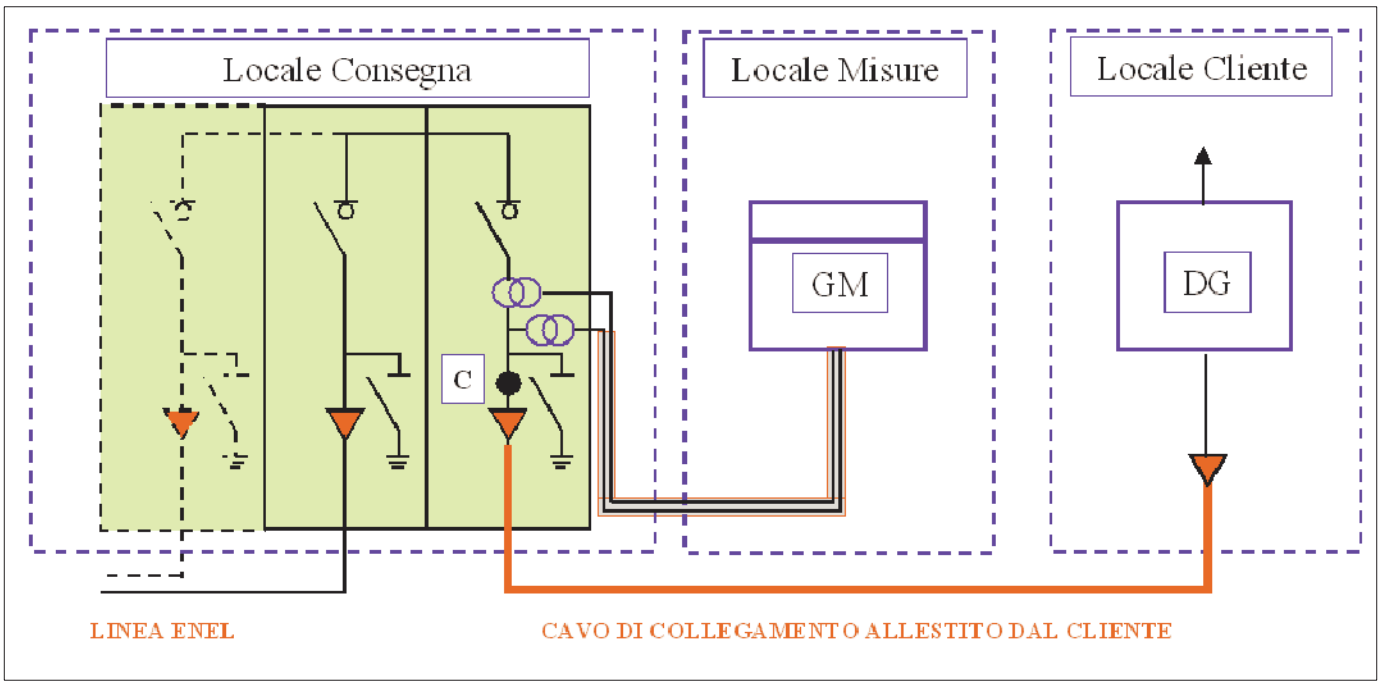


Fig. 5 Locali consegna, misura e cliente per l'allacciamento alla rete ENEL

a	b	c	d	e	f	g
1x95	R	G7	H1		R	12/20kV

Fig. 6 Esempio di designazione di un cavo in media tensione

a) Cavo unipolare formato da 1 conduttore di sez. 95 mm^2

b) Conduttori in rame a corda rigida rotonda, normale, compatta

c) Mescola a base di gomma etilenpropilenica ad alto modulo (HPER)

d) Schermo a nastri o piattine o fili di rame

e) Riunione delle anime per formare un cavo rotondo(N.A.)

f) Guaina esterna a base di PVC, qualità Rz

g) Tensioni nominali d'isolamento (Uo/U) Uo tensione verso terra, U tensione tra le fasi, Um tensione massima uguale a 1,2 volte la tensione nominale tra le fasi che in questo caso è 24 kV

ANIMA
Conduttore: corda rotonda compatta di rame rosso.

SEMICONDUTTIVO INTERNO
Elastomerico estruso (solo per cavi con tensione >= 6/10 kV).

ISOLANTE
Mescola di gomma ad alto modulo G7.

SEMICONDUTTIVO ESTERNO
Elastomerico estruso (solo per cavi con tensione >= 6/10 kV) pelabile a freddo.

SCHERMATURA
A filo di rame rosso.

GUAINA
PVC, di qualità Rz, colore rosso.
Marcatura: PIRELLI (Q) EPRO-SETTE <tensione> <anno>.

Fig. 7 Cavo unipolare in media tensione

In questo caso, quindi, per il collegamento tra il punto di prelievo dell'energia nel locale consegna (del distributore) e il dispositivo di protezione generale DG nel locale utente, è richiesto un cavo 12/20 kV (Um tensione massima) 24 kV, anche se l'alimentazione risulta 15 kV, sezione 95 mm^2.

La portata

La portata di un cavo dipende principalmente dai seguenti fattori:

- sezione e resistività del conduttore,
- condizioni di posa,
- tipo di isolante (in relazione alla temperatura che gli consente una durata di vita appropriata).

Criteri di scelta

Dati da considerare per la scelta :

- Tensione di esercizio;
- Corrente da trasmettere;
- Condizioni di posa (che per brevi collegamenti si possono trascurare).

In definitiva, la scelta consiste nella determinazione della tensione nominale (o grado d'isolamento dei cavi), con riferimento alla durata massima di funzionamento con una fase a terra, senza distinzione tra neutro a terra o neutro isolato.

Conoscendo inoltre la corrente di cortocircuito Icc e la sua durata t, la sezione del cavo deve rispettare anche la seguente disequazione:

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

dove K è un coefficiente che è funzione delle temperature iniziale e finale di cortocircuito per conduttori di rame ed alluminio.

Terminali per i cavi ad isolamento solido

L'esecuzione di una terminazione di cavo è un'operazione molto delicata, che richiede la massima attenzione. Numerosi casi di cedimento dielettrico sono riconducibili a un'errata realizzazione delle terminazioni: per questo motivo è necessario attenersi scrupolosamente alle indicazione dei costruttori dei cavi e del tipo di quadro MT a cui devono essere connessi, oppure acquistare i tratti di cavo necessari, completi di terminazioni già preventivamente realizzate e provate dallo stesso costruttore.

4.4 Scelta del Trasformatore MT/BT

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.

Fig. 8 Trasformatori in resina, in olio con serbatoio di espansione e sigillato

Tecnologie

■ I trasformatori a dielettrico liquido possono essere sigillati ermeticamente con riempimento integrale, oppure dotati di vaso di espansione.

I primi sono adatti in particolare per cabine non presidiate (zero manutenzione), condizioni ambientali gravose – se il serbatoio è adeguatamente protetto (parti attive protette), applicazioni per carichi ciclici (buona inerzia termica).

D'altra parte, il liquido dielettrico presenta dei rischi insiti quali:

– inquinamento delle falde acquifere (in caso di perdite del dielettrico), da cui viene l'obbligo di fornire un contenitore per la raccolta di eventuali fuoriuscite del liquido isolante;

– fuoco, che è il motivo per cui sono proibiti in alcuni edifici.

Questi rischi sono presi in considerazione nei vari regolamenti e norme che riguardano le condizioni di installazione e limiti di utilizzo.

I secondi, con vaso di espansione o meglio con conservatore d'olio, risolvono il problema della compensazione delle variazioni di volume dell'olio, che, in conseguenza di variazioni di temperatura della macchina (in funzione del carico e/o della temperatura ambiente), sottoporrebbero a pressioni o depressioni anomale l'involucro metallico della macchina.

Il cassone del trasformatore viene quindi collegato ad un serbatoio, utile anche a garantire un opportuno battente d'olio sopra gli avvolgimenti e le parti in tensione all'interno della cassa. L'aria che inevitabilmente entra nel serbatoio in conseguenza alla variazione di volume deve essere opportunamente essiccata con filtro contenente del SILICA – GEL. Attenzione: occorre sostituire i sali quando esausti.

■ I trasformatori "a secco" sono più indicati per:

– installazione in ambiente controllato: polvere, umidità, temperatura, ecc. e devono essere periodicamente puliti e spolverati,

– edifici, in particolare quelli di grande altezza, dal momento che questi trasformatori hanno una buona resistenza alle fiamme (esempio classe F1 in conformità CEI 14 – 8 "IEC60726") e soddisfano i criteri di non tossicità dei fumi.

– Altri luoghi ove se ne consiglia l'utilizzo sono in generale quelli ove il rischio di incendio deve essere minimizzato per la forte presenza di persone per esempio in centri commerciali, cliniche, ospedali, grandi uffici, strutture sportive, ecc.

Caratteristiche nominali principali

Tensione primaria nominale (Ur)

L'applicazione della norma IEC 71 (coordinamento dell'isolamento) consente di scegliere il livello di isolamento e la tenuta all'impulso atmosferico.

Tensione di cortocircuito (Ucc)

Essa consente la determinazione della corrente assorbita dal primario in caso di cortocircuito tra i morsetti del secondario, Ic = 100 Ir/Ucc % se si trascura l'impedenza a monte.

Questa fornisce anche l'impedenza del trasformatore, necessaria per calcolare la corrente di cortocircuito che si verifica nel sistema di distribuzione di B.T.
Z =Ucc % Vr/100 Ir

Le tensioni di cortocircuito sono standardizzate e sono in funzione della potenza del trasformatore: da 4 a 6% per trasformatori MT/BT.

Circuito magnetico e perdite a vuoto

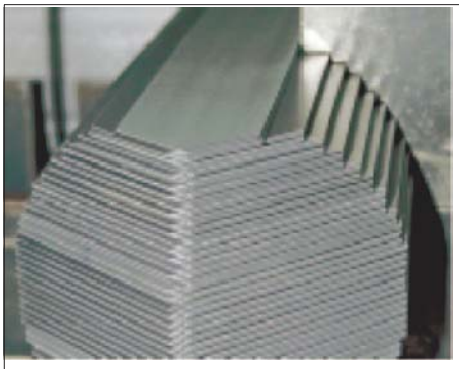
Il circuito magnetico è costituito da lamierini al silicio a grani orientati, isolati con ossidi minerali (isocarlite). La qualità dei lamierini, la loro modalità di taglio e di impacchettamento condizionano le prestazioni del circuito magnetico.

Le perdite a vuoto (Po) corrispondono alla potenza attiva assorbita dalla macchina quando viene applicata la tensione nominale a uno dei due avvolgimenti alla frequenza nominale e con l'altro avvolgimento a circuito aperto.

Le perdite principali nel circuito magnetico sono:

le perdite per isteresi (inversione del campo magnetico)

le perdite per correnti parassite (Foucault), correnti che circolano sul nucleo magnetico



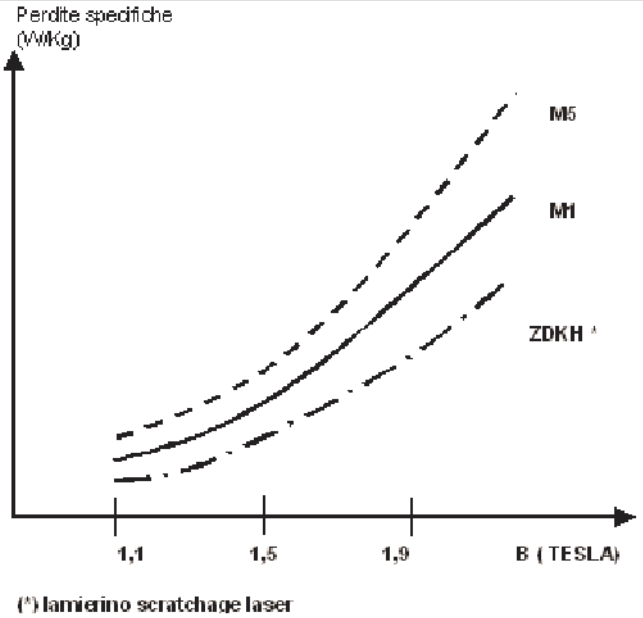


Fig. 9 Lamierini costituenti il circuito magnetico del trasformatore e andamento delle perdite di varie tipologie di lamierino in funzione dell'induzione B

Corrente a vuoto

E' la corrente necessaria alla magnetizzazione del circuito magnetico ed è il valore di corrente che si instaura su un avvolgimento quando questo viene alimentato alla tensione nominale alla frequenza nominale e l'altro avvolgimento è a circuito aperto. Questa corrente viene espressa in % della corrente nominale della macchina.

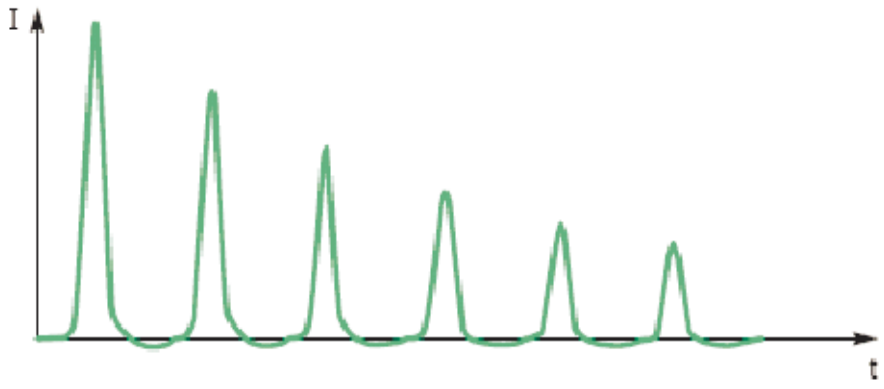
Correnti di inserzione

In particolari condizioni sfavorevoli (trasformatore a vuoto, elevato flusso residuo e inserzione allo zero di tensione con un flusso iniziale della stessa polarità del flusso residuo), il nucleo magnetico viene saturato, con l'avvolgimento che arriva a tre volte il proprio flusso nominale. A causa di questa saturazione, l'induttanza apparente della bobina cala significativamente e si avvicina al comportamento di una bobina in aria (aumento del flusso disperso).

La corrente risultante nell'avvolgimento può perciò raggiungere valori di picco molto alti, fino ad una decina di volte la corrente nominale massima, con una forma d'onda della corrente estremamente distorta a causa dei fenomeni di saturazione (vedi fig. 10).

Questo fenomeno di inserzione si attenua con una costante di tempo che dipende dal trasformatore, legata alle sue caratteristiche magnetiche e al flusso di dispersione. La costante di tempo è dell'ordine di qualche centinaio di millisecondi per i trasformatori di distribuzione.

La conoscenza delle correnti di inserzione è necessaria per determinare la scelta e/o le regolazioni dei dispositivi di protezione contro il cortocircuito posti sul primario del trasformatore.



S_T (kVA)	$k_I = i_{oi}/I_{TN}$	T_I (S)
50	15	0.10
100	14	0.15
160	12	0.20
250	12	0.22
400	12	0.25
630	11	0.30
1000	10	0.35
1600	9	0.40
2000	8	0.45

i_{oi} = valore max di picco della corrente di inserzione

I_{TN} = corrente nominale del trasformatore

T_I = costante di tempo

Fig. 10 Andamento della corrente di inserzione e tabella con i parametri caratteristici del fenomeno

La corrente di inserzione può essere calcolata ad un determinato tempo t con la formula seguente

$$I(t) = Ie \times e^{\frac{-t}{\tau}}$$

dove: I(t) è la corrente all'istante generico t, Ie è il valore massimo di picco eτ è la costante di tempo della macchina.

Rumore e misura del rumore

Il rumore, in particolare per i trasformatori di distribuzione, è provocato dalla magnetostrizione dei lamierini del circuito magnetico. Il livello di rumore può essere espresso in 2 modi:

In termini di pressione acustica Lp (A), questo valore si ottiene con il calcolo della media quadratica dei valori misurati ad una distanza normalizzata dal perimetro del trasformatore su un trasformatore alimentato a vuoto.

In termini di potenza acustica Lw (A), questo valore viene calcolato a partire dalla pressione acustica.

Lw (A) = Lp(A) + 10 Log S

Lw(A) = potenza acustica in dB (A)

Lp (A) = pressione acustica in dB (A)

S = superficie equivalente in m2 =**1,25xHxP**; con H= altezza al coperchio del trasformatore (in metri) e P= perimetro da una distanza specificata dal perimetro del trasformatore (in metri).

Il rumore essenzialmente è legato all'induzione magnetica di lavoro e alla qualità dei lamierini.

Fig. 11 Misura del rumore: posizioni tipiche del microfono per la misura del rumore su trasformatori a secco senza involucro

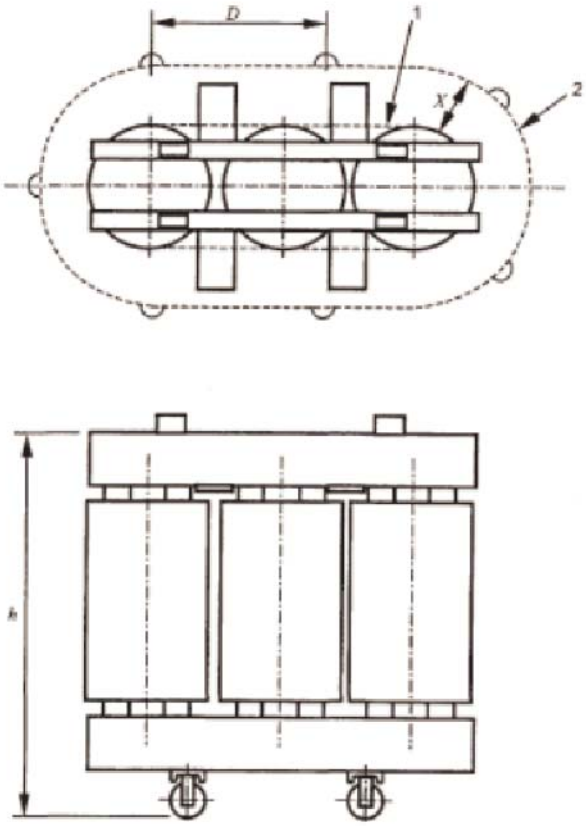
1 Superficie principale di irraggiamento

2 Contorno prescritto

h Altezza del nucleo e armature

D Distanza fra i microfoni

X Distanza di misura



Perdite dovute al carico

Le perdite dovute al carico sono riconducibili essenzialmente alle perdite sui circuiti principali percorsi da corrente ohmiche (RI2), alle perdite addizionali (per correnti di Foucault) negli avvolgimenti e alle perdite addizionali varie sulle masse metalliche "non attive" "ferro".

Queste perdite sono proporzionali al quadrato della corrente di carico e si esprimono ad una temperatura di riferimento normalizzata.

75° C per trasformatori in olio

120° C per trasformatori in resina

Considerazioni generali sulla scelta dei trasformatori in funzione delle perdite a vuoto e a carico.

Nei trasformatori in olio lo scambio termico tra conduttori e fluido refrigerante ha una efficacia elevata. Si possono quindi dimensionare gli avvolgimenti per valori elevati di densità di corrente, con la conseguenza però di aumentare le perdite a carico.

Nei trasformatori a secco lo scambio termico è inferiore, in quanto il mezzo refrigerante è costituito dall'aria. Gli avvolgimenti debbono essere perciò dimensionati per una densità di corrente inferiore, con minori perdite nel rame.

Nei trasformatori in olio, le distanze d'isolamento fra gli avvolgimenti e il nucleo possono essere notevolmente ridotte, a causa dell'elevata rigidità dielettrica del fluido isolante.

Le bobine possono essere quindi avvicinate al nucleo, con conseguente riduzione del traferro, e il nucleo magnetico può essere ridotto di dimensioni, ottenendo una diminuzione delle perdite a vuoto (perdite per isteresi e per correnti parassite).

Nei trasformatori a secco, l'isolante è costituito dall'aria e presenta una rigidità dielettrica molto inferiore a quella dell'olio. E' necessario quindi mantenere distanze di isolamento più elevate tra le bobine ed il nucleo, con un aumento del traferro e conseguente incremento delle perdite a vuoto.

Un modo per contenere tali perdite è quello di diminuire il perimetro delle bobine degli avvolgimenti, favorendo il concatenamento del flusso magnetico. Gli avvolgimenti realizzati con nastri, anziché con fili, favoriscono il contenimento delle dimensioni delle bobine .

In sintesi, i trasformatori in olio hanno perdite a vuoto inferiori rispetto ai trasformatori a secco e perdite a carico superiori.

Ne consegue che, nella scelta del trasformatore, si deve tenere conto del tipo di funzionamento per cui esso è previsto: se l'utilizzo prevalente è con bassi carichi o addirittura a vuoto, è preferibile un trasformatore in liquido; in caso contrario, si può utilizzare un trasformatore a secco a perdite ridotte.

Se, invece, il trasformatore deve funzionare per la maggior parte del tempo con un carico oltre il 50% di quello nominale è preferibile un trasformatore a secco.

Tensione di cortocircuito e relative valutazioni

La tensione di cortocircuito vcc è quella tensione che è necessario applicare tra i terminali di linea di un avvolgimento per farvi circolare la corrente nominale quando i terminali dell'altro avvolgimento sono in cortocircuito. Questa tensione può essere suddivisa in due componenti una resistiva, in fase con la corrente, ed una induttiva, in quadratura, rispettivamente:

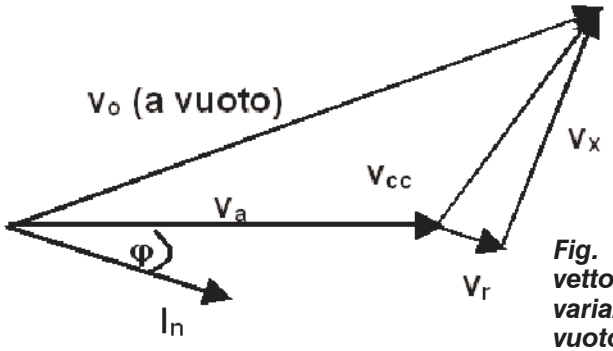


Fig. 12 Diagramma vettoriale relativo alla variazione di tensione da vuoto a carico del trasformatore

La tensione di cortocircuito limita la corrente di cortocircuito: ciò significa che, a parità di potenza del trasformatore, maggiore è la vcc, minore sarà la corrente di cortocircuito che si stabilirà nel caso di cortocircuito franco ai morsetti. Quindi ai fini della corrente di cortocircuito si deve tendere a far si che la vcc sia la più alta possibile.

La corrente di cortocircuito è data dalla seguente espressione:

$$I_{cc} = \frac{I_N}{v_{cc}} \times 100$$

La caduta di tensione in maniera semplificata è data dalla seguente espressione :

$$Dv = v_r \cos\phi + v_x \operatorname{sen}\phi$$

Conseguentemente la caduta di tensione può raggiungere valori tali per cui la tensione a carico disponibile alle utenze non risulta più accettabile.

La vcc in questo caso deve essere la più bassa possibile. La vcc tensione di cortocircuito "naturale" è quella che minimizza i costi della macchina e ottimizza sia le perdite a vuoto che in cortocircuito.

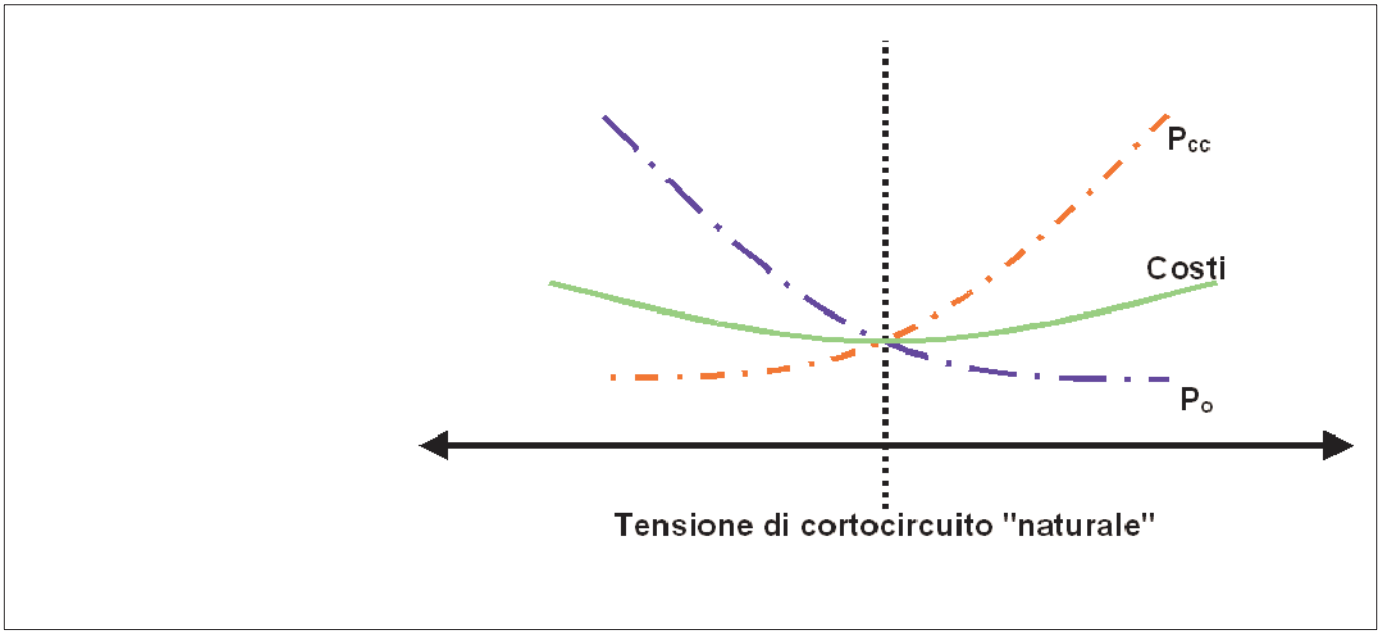


Fig. 13 Andamento delle perdite e dei costi unitari di una macchina in funzione della vcc%

Tolleranze

A causa delle inevitabili differenze nella qualità delle materie prime e della irregolarità di fabbricazione, oltre che agli errori di misura, è ammesso che i valori ottenuti alle prove possano differire da quelli calcolati, dato che sono necessarie tolleranze sui valori garantiti.

	Articolo	Tolleranza
1.	a) Perdite totali b) Perdite parziali (a vuoto o a carico)	+ 10% delle perdite totali + 15% di ognuna delle perdite parziali, a condizione che la tolleranza per le perdite totali non sia superata
2.	Rapporto di trasformazione a vuoto sulla presa principale per una prima specifica coppia di avvolgimenti	Il più basso dei due seguenti valori: a) ± 0,5 % del rapporto dichiarato b) ±1/10 della reale impedenza percentuale di corto circuito sulla presa principale
	Rapporto di trasformazione su altre prese per la stessa coppia di avvolgimenti	Deve essere concordato, comunque non inferiore al minore dei due valori di cui in a) e b) precedenti
3. Impedenza di cortocircuito per : • trasformatori con avvolgimenti separati e a due avvolgimenti, oppure • una specificata prima coppia di avvolgimenti separati in un trasformatore a più avvolgimenti		
	a) Presa principale	Quando il valore dell'impedenza è ≥10% ± 7,5 % del valore dichiarato Quando il valore dell'impedenza è < 10% ± 10 % del valore dichiarato
	b) Qualsiasi altra presa della coppia di avvolgimenti	Quando il valore dell'impedenza è ≥10% ± 10 % del valore dichiarato Quando il valore dell'impedenza è < 10% ± 15 % del valore dichiarato
4. Impedenza di corto circuito per: • una coppia di avvolgimenti auto–connessi, oppure • una seconda coppia specificata di avvolgimenti separati in un trasformatore a più avvolgimenti		
	a) Presa principale	± 10 % del valore dichiarato
	b) Qualsiasi altra presa della coppia	± 15 % del valore dichiarato
	• Ulteriori coppie di avvolgimenti	Da concordare comunque ≥ 15%.
5. Corrente a vuoto		+ 30% del valore dichiarato

Note:
(1) Nel caso di trasformatori a più avvolgimenti, le tolleranze sulle perdite devono intendersi per ogni coppia di avvolgimenti a meno che la garanzia non precisi che esse si riferiscono ad una definita combinazione del carico.
(2) Per certi autotrasformatori e trasformatori booster la piccolezza della loro impedenza giustifica tolleranze più ampie. Trasformatori che hanno ampi campi di regolazione, in particolare se il campo è asimmetrico, possono anch'essi richiedere considerazione particolare.
Per contro, per esempio, quando un trasformatore deve essere associato a unità già esistenti, può essere giustificato specificare e concordare più esigue tolleranze sulle impedenze. I problemi relativi a speciali tolleranze devono essere evidenziati al momento della richiesta d'offerta e le tolleranze riviste concordate fra costruttore e acquirente.
(3) L'espressione "valore dichiarato" dovrebbe essere intesa come valore dichiarato dal costruttore.

Prove

Le prove sui trasformatori si suddividono in prove di accettazione, prove di tipo e prove speciali.

PROVE DI ACCETTAZIONE

Misure

– Della resistenza degli avvolgimenti

– Del rapporto di trasformazione e controllo dei collegamenti

– Della tensione di cortocircuito e delle perdite dovute al carico

– Delle perdite e della corrente a vuoto

Verifiche dielettriche

– prove con tensione applicata

– prova con tensione indotta

– misura delle scariche parziali

PROVE DI TIPO:

– prova di riscaldamento

– prova ad impulso

PROVE SPECIALI:

– prova di cortocircuito

– misura del livello di rumore

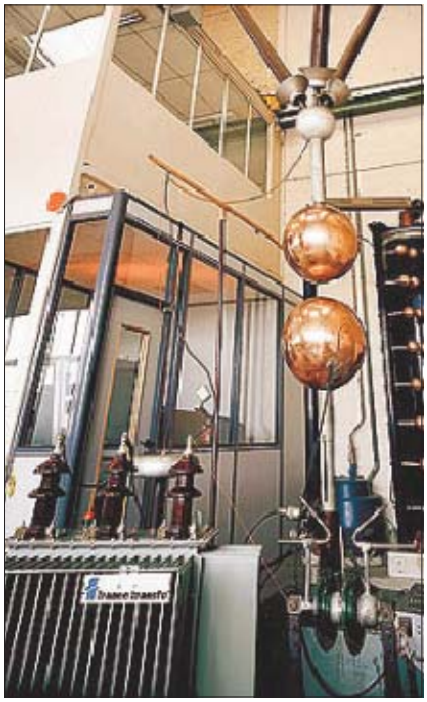


Fig. 14 Trasformatore in sala prove

Sovratemperature

I limiti di sovratemperatura per trasformatori in olio e in resina sono riassunti nelle tabelle seguenti :

Limiti di sovratemperatura per i trasformatori in olio

parti	sovratemperature max ° K
Avvolgimenti: classe di isolamento A (sovratemperatura misurata con il metodo della variazione della resistenza)	65, quando la circolazione dell'olio è naturale o forzata non guidata 70, quando la circolazione dell'olio è forzata e guidata
Olio nella parte superiore (sovratemperatura misurata con termometro)	60, quando il trasformatore è munito di un conservatore o è ermetico 55, quando il trasformatore non è munito di un conservatore nè è ermetico

Limiti di sovratemperatura per i trasformatori in resina

parte	temperatura del sistema isolante (°C)	sovratemperaturemassime (° C)
Avvolgimenti: (sovratemperatura misurata con il metodo della variazione della resistenza)	105 (A)	60
	120 (E)	75
	130 (B)	80
	155 (F)	100
	180 (H)	125
	200	135
	220	150
Nucleo, parti metalliche e materiali adiacenti		La temperatura in nessun caso dovrà raggiungere valori tali da danneggiare il nucleo stesso, altre parti o materiali adiacenti

Trasformatori in resina

E' un trasforrmatore senza rischio di inquinamento, senza manutenzione dielettrica, di facile installazione ed auto–estinguente.

Prevalentemente è un trasformatore per interno

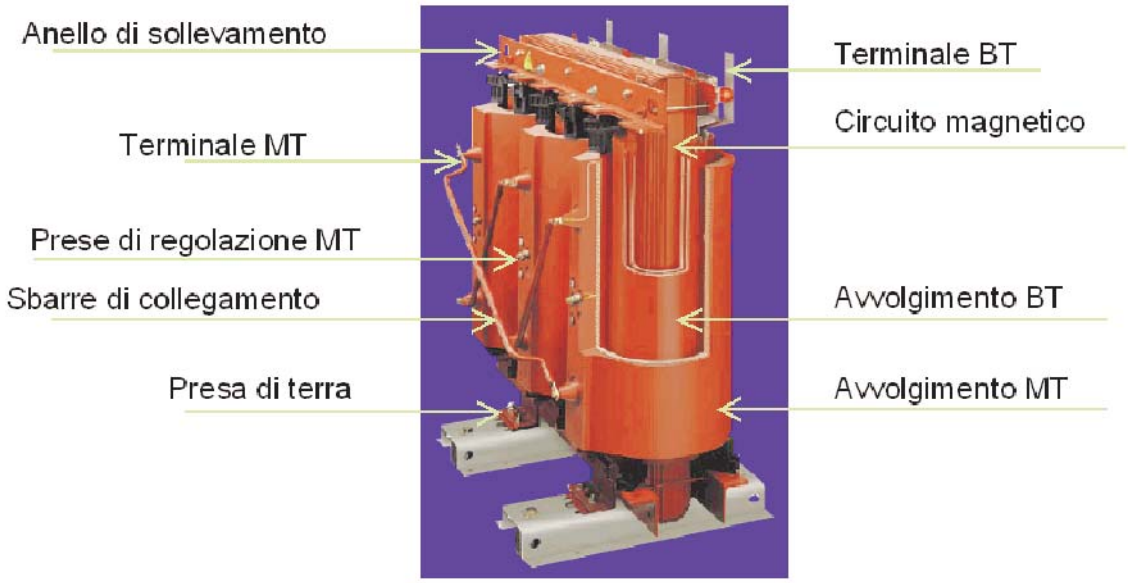


Fig. 19 Trasformatore in resina, elementi costituenti principali

Fig. 15 Trasformatore in esecuzione a giorno (IP00), con possibilità di tre isolatori a spina tipo ELASTIMOLD (parte fissa)

Fig. 16 Trasformatore in esecuzione con armadio di protezione IP31
Questa soluzione comprende:un pannello imbullonato lato MT per accesso ai collegamenti MT ed alle prese di regolazione, 2 piastre isolanti per il passaggio dei cavi a mezzo pressacavi sul tetto dell'armadio, 1 botola posta nella parte inferiore lato MT per l'eventuale arrivo dal basso dei cavi MT.

Fig. 17 Barretta di regolazione rapporto di trasformazione e sonde termometriche con cassetta di centralizzazione

Fig. 18 Sistema di ventilazione forzata, collegamenti lato BT

Calcolo della potenza dei trasformatori

Ai fini della determinazione della potenza della singola macchina, si può procedere seguendo lo schema di flusso seguente:

Fig. 20 Rappresentazione schematica del calcolo della potenza di un trasformatore

Per la protezione dei trasformatori si faccia riferimento al relativo quaderno tecnico.

Influenza del sovraccarico e della temperatura ambiente sui trasformatori

La potenza e le condizioni di installazione e di utilizzo della macchina influenzano il servizio reso dalla stessa.

Durante il funzionamento il trasformatore è sede di perdite nel ferro (perdite a vuoto) e nel rame (perdite a carico).Questa energia viene dispersa termicamente nell'ambiente circostante, grazie ad un salto termico $\Delta T = K\ (Tm - Ta)$, proporzionale alla temperatura della macchina Tm meno la temperatura ambiente Ta. E' quindi normale che la macchina sia calda durante il funzionamento: ricordiamo che anche il valore delle perdite risulta normalizzato. Ad una certa temperatura ambiente, la temperatura della macchina Tm è funzione prevalentemente delle perdite dovute al carico; se il carico aumenta, aumentano le perdite relative e di conseguenza aumenta Ta. Più aumenta Ta, più rapido è il degrado degli isolanti impiegati, con la conseguenza che aumenta il rischio di cedimento dielettrico. Si ha lo stesso effetto se, a parità di perdite legate al carico, aumenta la temperatura ambiente Ta. Più aumenta Ta, più si innalza la temperatura della macchina Tm.

Le classi di isolamento normalmente usate sono:

Classe B per trasformatori in olio sovratemperatura max 80 °C

Classe F per trasformatori in resina sovratemperatura max 100 °C

Classe H per trasformatori a secco sovratemperatura max 125/150 °C

4.5 Scelta del condotto sbarre

Il condotto sbarre, destinato al trasporto e alla distribuzione di forte potenza, trova applicazione sia nelle cabine elettriche, quale collegamento trasformatore–quadro o quadro–quadro, sia nella distribuzione principale di energia elettrica negli insediamenti industriali, commerciali e nel terziario.

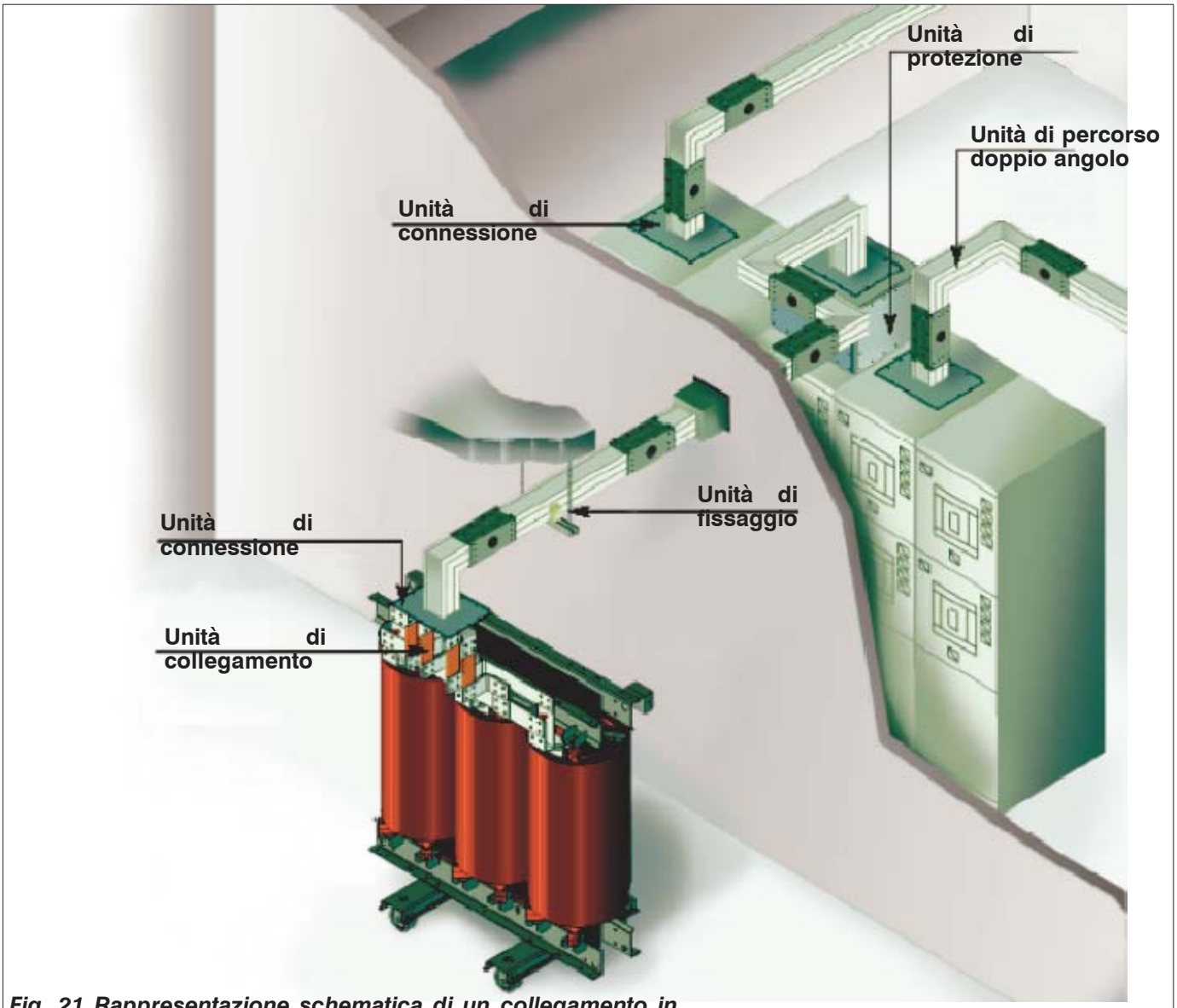


Fig. 21 Rappresentazione schematica di un collegamento in condotto tra un trasformatore e un quadro BT

Il condotto sbarre è una validissima alternativa al collegamento in cavo per i seguenti motivi :

- Flessibilità alla eventuale esigenza di ampliamento dell'impianto
- Ingombri molto ridotti
- Prodotto certificato secondo una norma che lo contestualizza nei quadri BT
- In totale armonia con il Quadro BT (Involucro metallico con grado di Protezione IP)
- Verificato al comportamento termico (correnti nominali) e al cortocircuito (picco e valore efficace)
- Costi inferiori al cavo per correnti superiori a 630 A
- Riduzione del rischio d'incendio con un ottimo comportamento dei materiali isolanti
- Facilità di montaggio e d'impiego

Non lo è per i seguenti motivi:

- Percorsi poco lineari o molto corti per cui i pezzi speciali per un condotto sbarre non ne giustificano la scelta

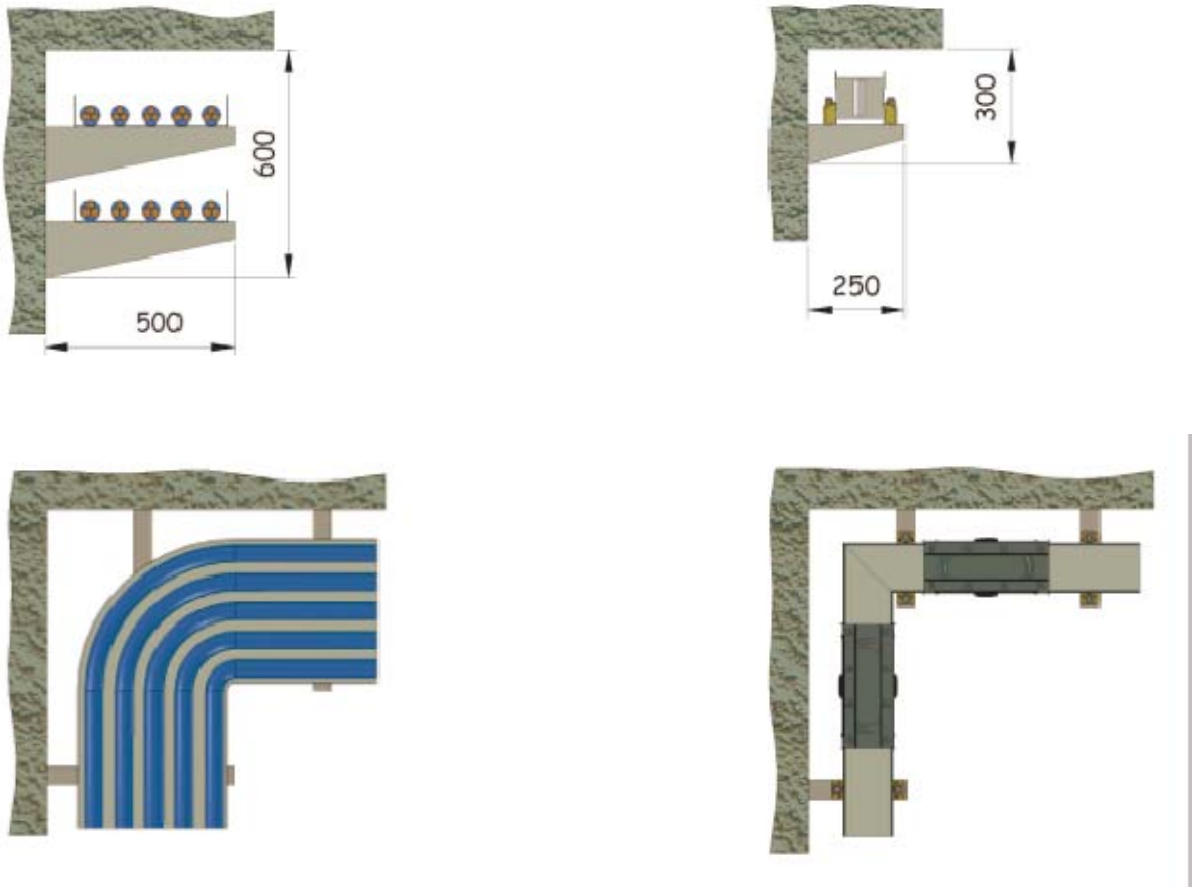


Fig. 22 Comparazione di installazione tra la soluzione in cavo e la soluzione in condotto sbarre

4.6 Scelta del Quadro BT

I quadri di distribuzione in bassa tensione, installati a valle dei trasformatori di potenza MT/BT, sono del tipo Power Center normalmente equipaggiati con interruttori generali di arrivo (aperto e /o scatolato) e interruttori per le partenze.

I quadri devono essere progettati in conformità alla norma CEI EN 60439–1 " Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione (Quadri BT)

Generalmente la struttura è caratterizzata da quattro zone funzionali:

- Zona sistema sbarre
- Zona apparecchiature
- Zona ausiliari
- Zona connessioni di potenza

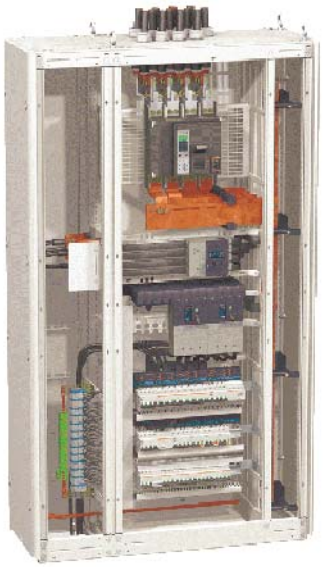
Normalmente queste quattro zone sono racchiuse in un involucro metallico.

Gli apparecchi installati all'interno del quadro devono avere caratteristiche adeguate quali:

– Tensioni di esercizio/isolamento

– Tenuta al cortocircuito in funzione della corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione.

– Corrente nominale e potere di interruzione adeguato, relativamente all'interruttore di arrivo.



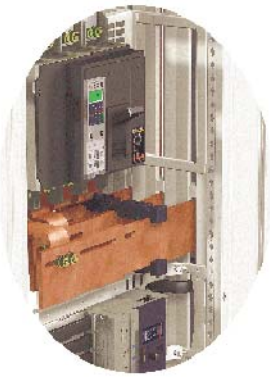


Fig. 23 Struttura di un Quadro BT e particolari: collegamento di un apparecchio al sistema sbarre, sistema sbarre orizzontali

Le forme di segregazione

Lo scopo principale delle segregazioni è di permettere operazioni di manovra, manutenzione, ispezione o altro, nella massima sicurezza e continuità di servizio dell'impianto.

Una forma di segregazione si ottiene attraverso la suddivisione interna, tramite diaframmi o barriere. Si possono così ottenere forme di segregazione 2, 3, 4, previste dalla norma CEI EN 60439–1.

Le forme di segregazione hanno lo scopo di garantire:

la protezione delle persone contro i contatti diretti con parti attive di frazioni di scomparto o celle adiacenti;

la protezione contro il passaggio di corpi solidi estranei tra frazioni di scomparto o celle adiacenti

limitare la probabilità d'innesco di un eventuale arco interno.

La forma di segregazione va scelta quindi in funzione del grado di sicurezza, manutenibilità e continuità di servizio che si vuole conferire al Quadro BT. Forme di segregazione tipo 4 sono quelle che meglio rispondono alle caratteristiche precedentemente menzionate.

Di seguito, le varie forme di segregazione e le figure che le descrivono:

Forma 1: nessuna segregazione interna

Forma 2a: Segregazione delle sbarre dalle unità funzionali, con terminali non separati dalle sbarre

Forma 2b: Segregazione delle sbarre dalle unità funzionali, con terminali separati dalle sbarre

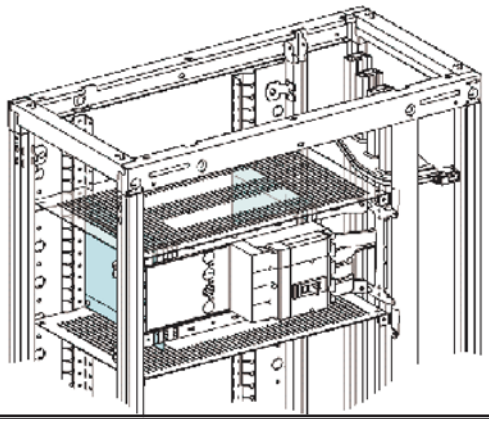
Forma 3a: Separazione delle sbarre dalle unità funzionali, separazione delle unità funzionali tra loro più separazione dei terminali tra loro, con gli stessi non separati dalle sbarre.

Forma 3b: Separazione delle sbarre dalle unità funzionali, separazione delle unità funzionali tra loro più separazione dei terminali tra loro, con gli stessi separati dalle sbarre.

Forma 4a: Separazione delle sbarre dalle unità funzionali, separazione delle unità funzionali tra loro più separazione dei terminali tra loro, con gli stessi nella medesima cella come unità funzionale associata.

Forma 4b: Separazione delle sbarre dalle unità funzionali, separazione delle unità funzionali tra loro più separazione dei terminali tra loro, con gli stessi non nella medesima cella come unità funzionale associata.

Fig. 24 Separazione tra unità funzionali e sistema sbarre per la forma 3, la forma 3b si ottiene con l'aggiunta dei separatori orizzontali



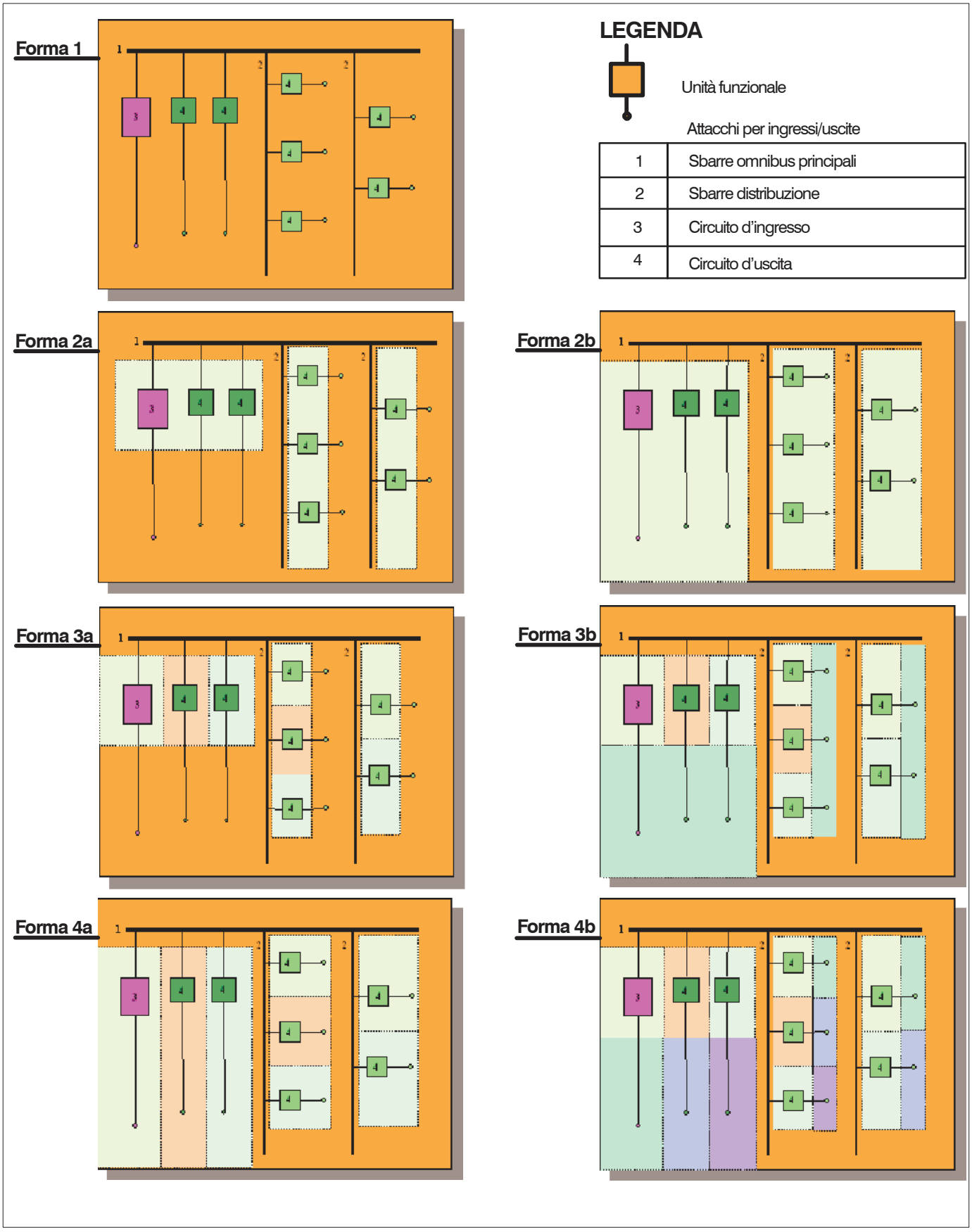


Fig. 25 Le quattro forme di segregazione interne dei quadri BT

Le prestazioni dei trasformatori e le loro perdite (ferro/rame) sono garantite dai costruttori con riferimento ai limiti fissati dalle norme CEI UNEL 21010. Queste norme stabiliscono che la temperatura dell'aria ambiente di installazione, in nessun caso, deve essere superiore a :

- 20˚C come media annuale;
- 30˚C come media giornaliera;
- 40˚C massima;

ammettendo una sovratemperatura media degli avvolgimenti di 65˚K, e di 60˚K per gli strati superficiali più caldi dell'olio o del fluido isolante. Per quanto riguarda i trasformatori in resina, la sovratemperatura media degli avvolgimenti ammissibile sarà di 100˚K per la classe di isolamento F .

I limiti di sovratemperatura, nel caso di trasformatori previsti per ambienti con elevate temperature del mezzo refrigerante o per condizioni speciali di raffreddamento in aria, dovranno essere ridotti in questi termini:

Se il trasformatore è previsto per funzionare con una temperatura dell'aria di raffreddamento superiore di non oltre 10˚K a uno dei valori massimi indicati precedentemente, le sovratemperature ammissibili per gli avvolgimenti devono essere ridotte:

- di 5˚K se l'eccesso di temperatura è inferiore o uguale a 5˚K;
- di 10˚K se questo eccesso di temperatura è superiore a 5˚K e inferiore o uguale a 10˚K.

Se questo eccesso di temperatura supera uno dei valori indicati precedentemente per oltre 10 ˚K, le sovratemperature ammissibili dovranno essere oggetto di accordo tra costruttore ed acquirente.

L'acquirente della macchina dovrebbe altresì specificare ogni condizione ambientale che possa determinare restrizioni nei riguardi dell'aria di raffreddamento o produrre elevate temperature dell'aria ambiente.

Ricordiamo che le temperature di riferimento per le perdite a carico saranno in accordo con le nuove sovratemperature scelte (ad esempio sarà possibile specificare un'unità appartenente alla Classe F con una sovratemperatura massima di 80˚K invece che di 100˚K).

Risulta quindi importante garantire un'efficace circolazione dell'aria di raffreddamento intorno ai trasformatori, quando sono installati in locali chiusi come le cabine di trasformazione d'utente.

Le modalità di raffreddamento potranno essere la ventilazione naturale oppure la ventilazione forzata.

5.1 Determinazione dell'altezza e delle sezioni delle aperture di ventilazione

Nel caso generico di raffreddamento naturale (AN), la ventilazione del locale ha lo scopo di dissipare per convezione le calorie prodotte dalle perdite totali di funzionamento del trasformatore.

Una buona ventilazione sarà determinata da un'apertura d'entrata d'aria fresca di sezione S, nella parte bassa del locale, e da un'apertura di uscita dell'aria calda S', situata in alto, sulla parte opposta del locale, ad un'altezza H dall'apertura d'ingresso (figura 26).

È opportuno considerare che una circolazione d'aria insufficiente determina una riduzione della potenza nominale del trasformatore.

5.2 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. In pratica, si possono considerare unicamente le perdite dei Trasformatori che costituiscono la principale fonte di calore, incrementando del 10–15% il loro valore, per tener conto delle altre apparecchiature (Quadro e condotto sbarre BT).

S = superficie dell'apertura d'entrata (detraendo la superficie dell'eventuale grigliatura) in m^2.

S' = superficie dell'apertura di uscita (detraendo la superficie dell'eventuale grigliatura) in m^2.

H = altezza fra le due aperture espressa in m.

$$S = \frac{0.18P}{\sqrt{H}} \quad \text{e } S' = 1.10 \times S$$

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

Per non perturbare la circolazione dell'aria è prudente prevedere una distanza

di almeno 200 mm. tra il trasformatore e le pareti.

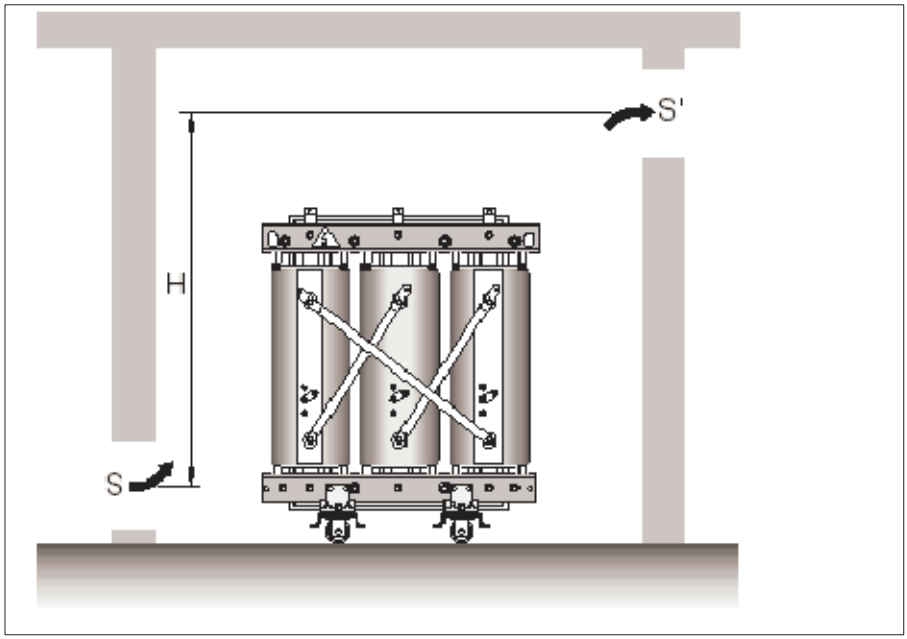


Fig. 26 Ventilazione naturale del locale

5.3 Ventilazione forzata del locale

La ventilazione forzata è necessaria se il locale dove è installato il trasformatore è esiguo o mal ventilato, se la temperatura media annua è superiore a 20°C o in caso di sovraccarichi frequenti del trasformatore.

Per non perturbare la convezione naturale nel locale, occorrerà installare un estrattore d'aria verso l'esterno, nell'orifizio di uscita situato nella parte superiore (figura 27).

L'estrattore può essere comandato da un termostato.

Portata consigliata (m^3/secondo) a 20°C = 0,10P per trasformatori in resina, e 0,05P per trasformatori in olio.

P = totale delle perdite da evacuare, in kW, emesse da tutte le apparecchiature presenti nel locale.

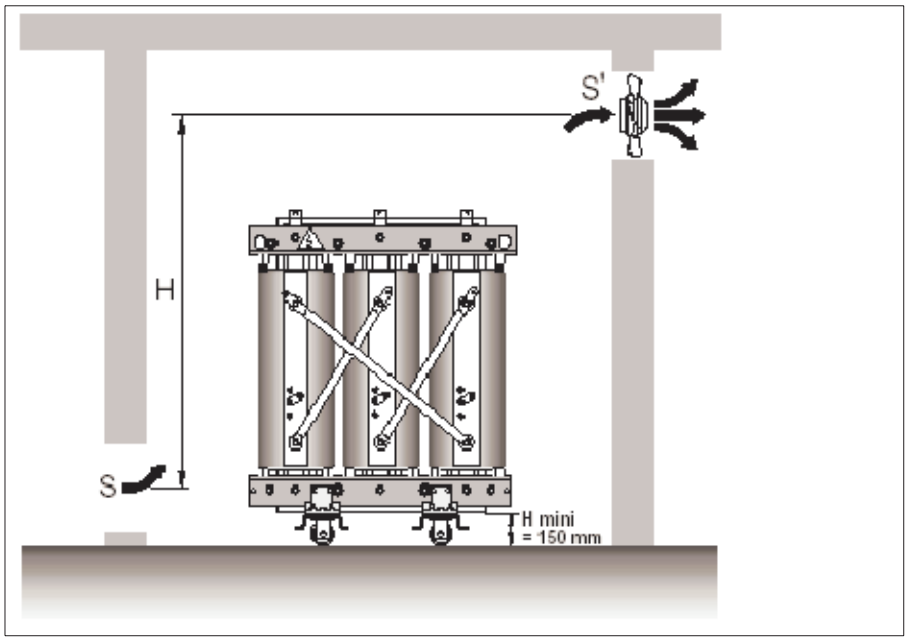


Fig. 27 Ventilazione forzata del locale

6 Targhe, avvisi e schemi in cabina

Nella cabina MT/BT si dovranno installare i cartelli (di divieto, avvertimento e avviso) sotto elencati, realizzati (pittogrammi ed eventuali scritte) secondo le disposizioni di legge. I colori dei segnali e dei relativi contrasti devono essere conformi a quanto richiesto dal Decreto legislativo 493/96 e alle Norme UNI. Un esempio di corretta collocazione dei cartelli, delle targhe e dei segnali è il seguente:

6.1 Cartelli sulla porta di accesso della cabina e su ogni lato di eventuali recinzioni:

Fig. 28 Cartello di divieto di accesso alle persone non autorizzate.

a)

b)

Fig. 29 Cartello di avvertimento "tensione elettrica pericolosa"

a) generico

b) per cabine elettriche in alta tensione(>400 V c.a.; 600V c.c.).

Eventuale identificazione della cabina elettrica sulla porta d'ingresso al locale, oltre ai due precedenti:

Fig. 30 Divieto di usare acqua per spegnere incendi

6.2 Cartelli all'interno della cabina:

Nelle officine e cabine elettriche deve essere permanentemente esposto uno schema dell'impianto con chiare indicazioni relative alla connessione ed alle apparecchiature essenziali.

Fig. 31 Cartello di identificazione dei circuiti con diverse colorazioni per i diversi livelli di tensione e per i conduttori di messa a terra e Cartello di identificazione della tensione di una cabina elettrica (quadro elettrico).

Fig. 32 Istruzioni relative ai soccorsi d'urgenza da prestare ai colpiti da corrente elettrica, compilato nelle parti relative ai numeri telefonici da contattare in caso di necessità (medici, ospedali, ambulanze, ecc. più vicini)

Fig. 33 Istruzioni a disposizione del personale addetto alla manutenzione, "non effettuare manovre";

Sulle eventuali uscite d'emergenza, apporre l'apposito segnale. Per cabine elettriche complesse è opportuno che sia esposto una schema unifilare, che in caso di urgenza permetta una rapida comprensione delle manovre da eseguire.

Si consiglia inoltre la predisposizione di una tasca porta documenti fissata alla parete. I dati relativi alla regolazione degli interruttori, le sezioni dei cavi ecc. possono essere riportati su schemi diversi e tenuti a disposizione per gli interventi di manutenzione o modifica.

Fig. 34 Esempio di cartelli sulla porta di una Cabina Elettrica e del relativo locale batterie

Elemento essenziale per la corretta esecuzione in sequenza delle manovre nell'ambito delle cabine è che il personale addetto sia addestrato allo scopo. L'utilizzo di idonei interblocchi atti ad impedire operazioni indebite e pericolose viene considerato come elemento addizionale e non necessario, qualora non espressamente prescritto dalle Norme; ad esempio le apparecchiature prefabbricate sono dotate degli interblocchi già previsti dalla Norma CEI EN 60298 e dalla Norma CEI EN 60439–1.

Nel caso si adottino interblocchi è preferibile l'impiego di quelli meccanici, cioè dispositivi che impediscono (o permettono) manovre a mezzo chiavistelli; possono essere utilizzati interblocchi elettrici ridondanti (ad esempio due contatti in serie) nei casi in cui non risulti possibile installare quelli meccanici.

Per cabine con due alimentazioni munite di interblocco che ne impedisce il funzionamento in parallelo permanente, è consentito che il dimensionamento al cortocircuito sia fatto tenendo conto del maggiore dei contributi al cortocircuito delle due alimentazioni.

Per l'esecuzione dei lavori fuori tensione le Norme CEI EN 50110–1 e CEI 11–27 stabiliscono che "Dopo aver identificato gli impianti elettrici corrispondenti si devono osservare nell'ordine specificato le seguenti cinque prescrizioni essenziali a meno che non vi siano ragioni essenziali per agire diversamente":

1) sezionare completamente;

2) assicurarsi contro la richiusura;

3) verificare che l'impianto sia fuori tensione;

4) eseguire la messa a terra e in corto circuito;

5) provvedere alla protezione contro le parti attive adiacenti.

La norma CEI EN 60298 stabilisce che "per ragioni di sicurezza e per agevolare l'esercizio si devono prevedere interblocchi fra i differenti componenti l'apparecchiatura". Riportiamo di seguito due esempi di interblocchi. I quadri in questione sono conformi alla norma CEI 17–6 per la II categoria e conformi alla norma CEI EN 60439–1 per la I categoria ed inoltre trasformatori MT/BT protetti da grigliati o racchiusi in involucri metallici.

ESEMPIO 1
Interblocchi per l'accesso ad un TRASFORMATORE MT/BT protetto a monte da una Unità Funzionale SM6 tipo DM1

Scopo degli interblocchi

– Impedire la chiusura del sezionatore di terra e accesso alla zona cavi MT se l'interruttore BT non è bloccato in aperto oppure in posizione di estratto.

– Impedire l'accesso al trasformatore se il sezionatore di terra non è chiuso a terra

PROCEDURA
ESEGUIRE ANELLAMENTO
CHIAVE A con CHIAVE C
CHIAVE B con CHIAVE D

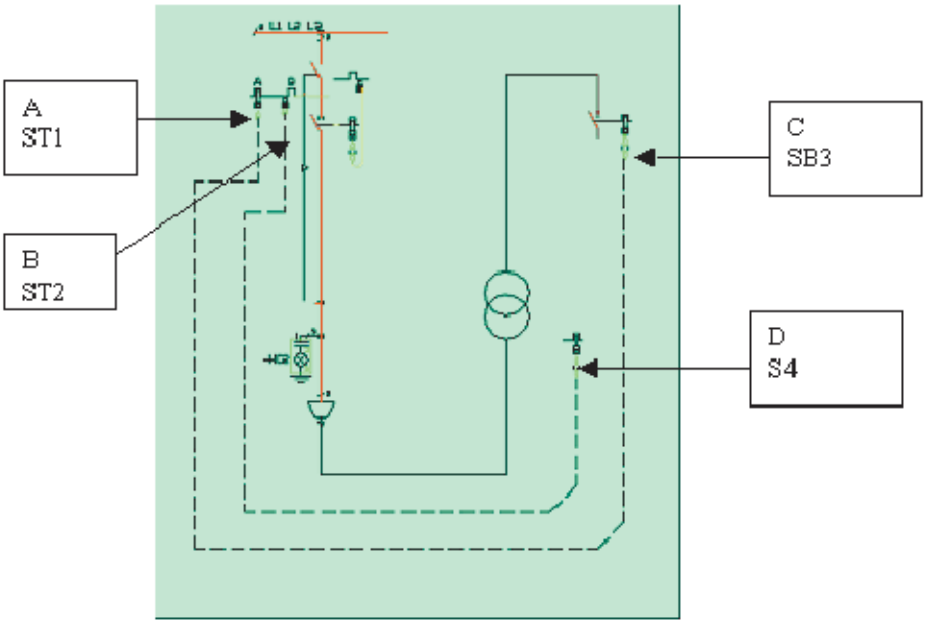


Fig. 35 Esempio1, schema unifilare corredato di interblocchi

(a) Aprire l'interruttore BT la chiave (C_A) è libera nella serratura SB3

(b) Mettere la chiave (A_C) nella serratura ST1 e sbloccare il sezionatore di messa a terra della cella MT

(c) Aprire l'interruttore MT, l'apertura del interruttore MT permette l'apertura del sezionatore di linea a monte

(d) Aprire il sezionatore di linea a monte, l'apertura del sezionatore di linea permette la chiusura del sezionatore di terra

(e) Chiudere il sezionatore di terra la chiave (A_C) è prigioniera nella serratura ST1, la chiusura del sezionatore di terra permette l'apertura del pannello d'accesso al compartimento MT cavi

la chiave (B_D) è libera nella serratura ST2
d) mettere la chiave (D_B) nella serratura S4 e aprire la porta box trafo, con la porta aperta la chiave (D_B) è prigioniera nella serratura S4

Per la messa in servizio, procedere in maniera inversa.

ESEMPIO 2
Interblocchi tra due Unità Funzionali su rete con distribuzione ad anello

Scopo degli interblocchi:

– Impedire la chiusura del sezionatore di terra di una unità se il sezionatore di isolamento dell'altra non è aperto

PROCEDURA
ESEGUIRE ANELLAMENTO
CHIAVE A con CHIAVE D
CHIAVE B con CHIAVE C

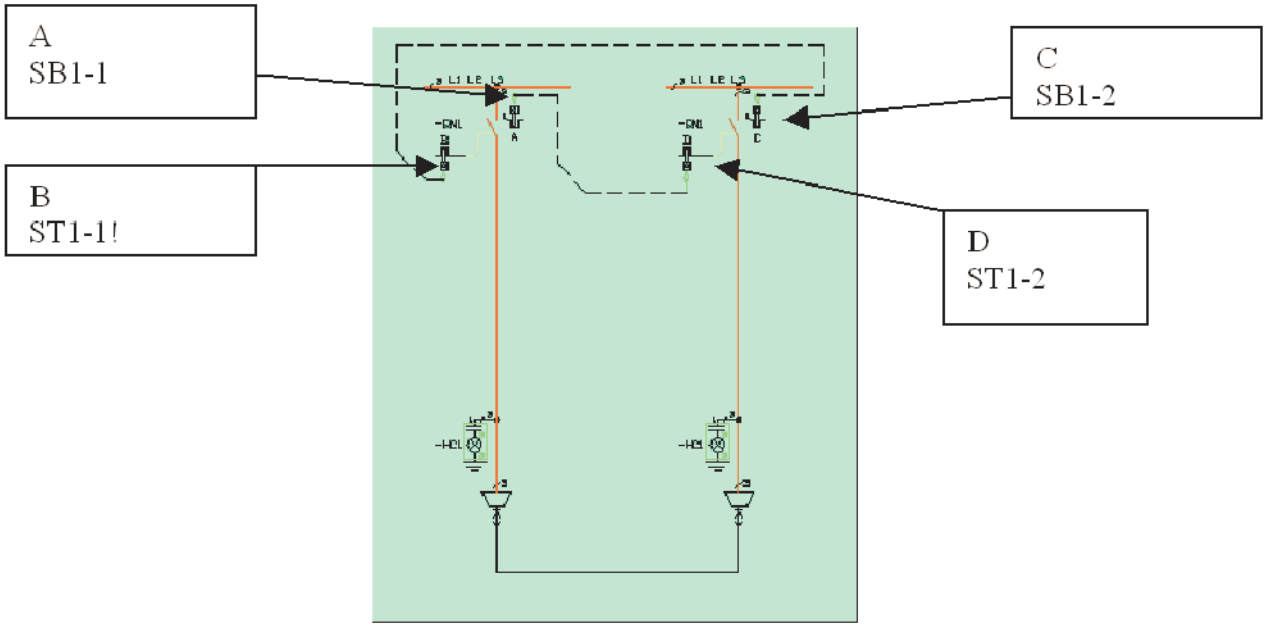


Fig. 36 Esempio2, schema unifilare corredato di interblocchi

Accesso zona cavi Unità Funzionale1

a) Aprire il sezionatore IMS di isolamento della Unità Funzionale2 chiave (C_B) è libera nella serratura SB1–2

b) Mettere la chiave (B_C) nella serratura ST1–1 e sbloccare il sezionatore di messa a terra della Unità Funzionale1

c) Aprire il sezionatore IMS di isolamento della Unità Funzionale1, l'apertura del sezionatore IMS della Unità Funzionale1 permette la chiusura del sezionatore di terra della Unità Funzionale1

d) Chiudere il sezionatore di terra della Unità Funzionale1 la chiave (B_C) e prigioniera nella serratura ST1–1, la chiusura del sezionatore di terra permette

l'apertura del pannello d'accesso al compartimento MT cavi della Unità Funzionale1

Per la messa in servizio, procedere in maniera inversa.

Accesso zona cavi Unità Funzionale2

e) Aprire il sezionatore IMS di isolamento della Unità Funzionale1 la chiave (A_D) è libera nella serratura SB1–1

f) Mettere la chiave (D_A) nella serratura ST1–2 e sbloccare il sezionatore di messa a terra dello della Unità Funzionale2

g) Aprire il sezionatore IMS di isolamento della Unità Funzionale2, l'apertura del sezionatore IMS della Unità Funzionale2 permette la chiusura del sezionatore di terra della Unità Funzionale2

h) Chiudere il sezionatore di terra della Unità Funzionale2 la chiave (D_A) è prigioniera nella serratura ST1–2, la chiusura del sezionatore di terra permette

l'apertura del pannello d'accesso al compartimento MT cavi della Unità Funzionale2

Per la messa in servizio, procedere in maniera inversa.

Nella impossibilità di collegare direttamente i relè di protezione sulla rete MT è necessario l'utilizzo di:

Trasformatori di Corrente (TA)

Trasformatori di Tensione (TV)

Scopo dei TA e dei TV è di riportare al loro secondario l'immagine fedele della corrente e della tensione presente nei conduttori MT, oltre che assicurare l'isolamento galvanico tra la MT e i circuiti di misura e di protezione. Inoltre devono essere in grado di proteggere i circuiti di misura e di protezione dalle sovracorrenti che interessano la rete MT.

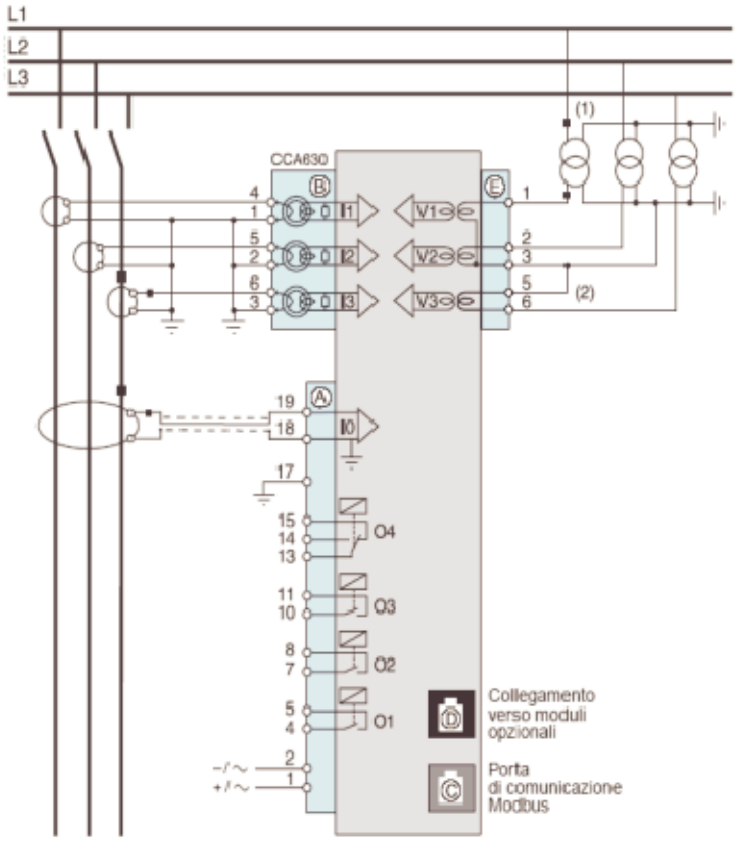
Le protezioni in corrente utilizzano direttamente l'informazione fornita ai secondari dei TA per rilevare le seguenti correnti:

cortocircuito

sovraccarico

calcolare lo stato termico di una macchina

Altre protezioni che dobbiamo aggiungere sono quelle che utilizzano anche le grandezze provenienti dai TV, per esempio la protezione direzionale.



(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.

Fig. 37 Sistema di protezione composto da TA TV e relè di protezione

Di seguito alcuni trasformatori di corrente e di tensione di recente costruzione:

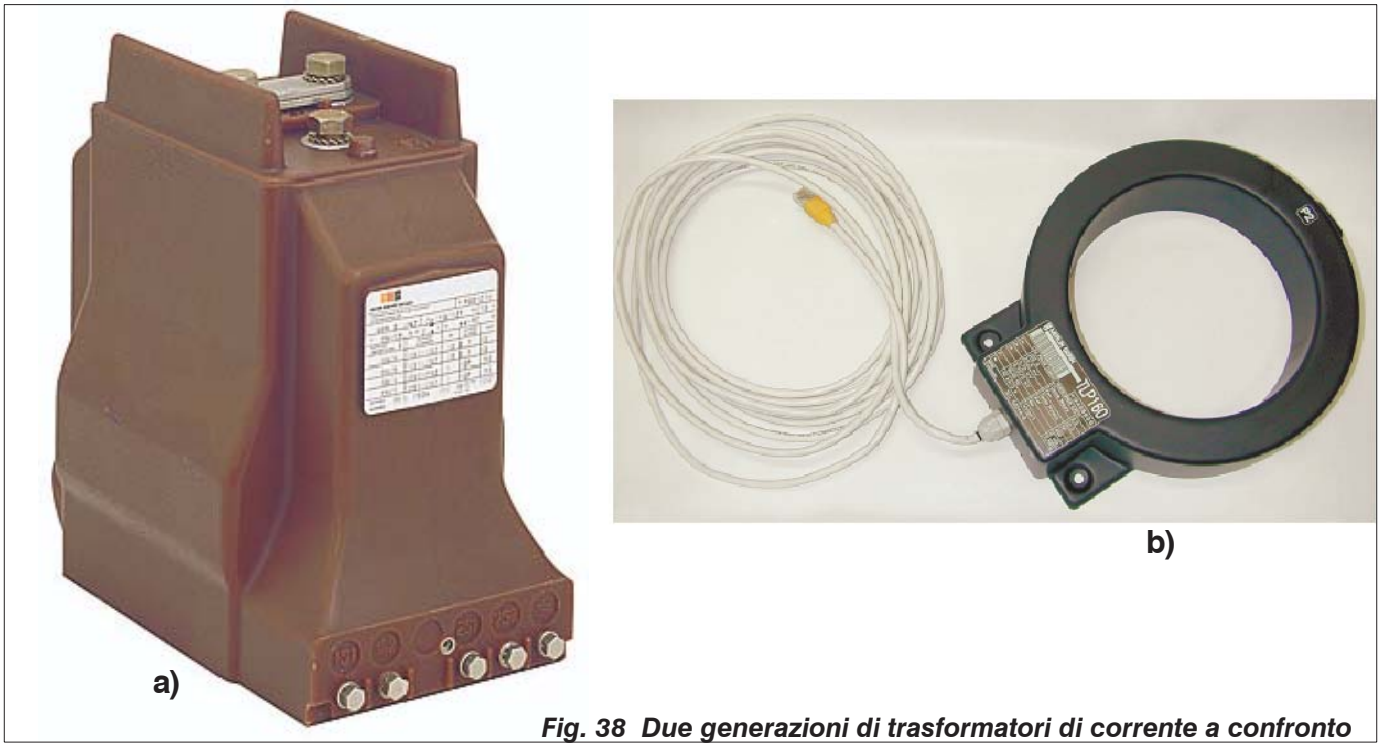


Fig. 38 Due generazioni di trasformatori di corrente a confronto

a) Trasformatore di corrente tradizionale, a portante con primario avvolto

b) LPCT (Low Power Current Trasformer IEC 60044–8): trasformatori di corrente a basso consumo e uscita in tensione

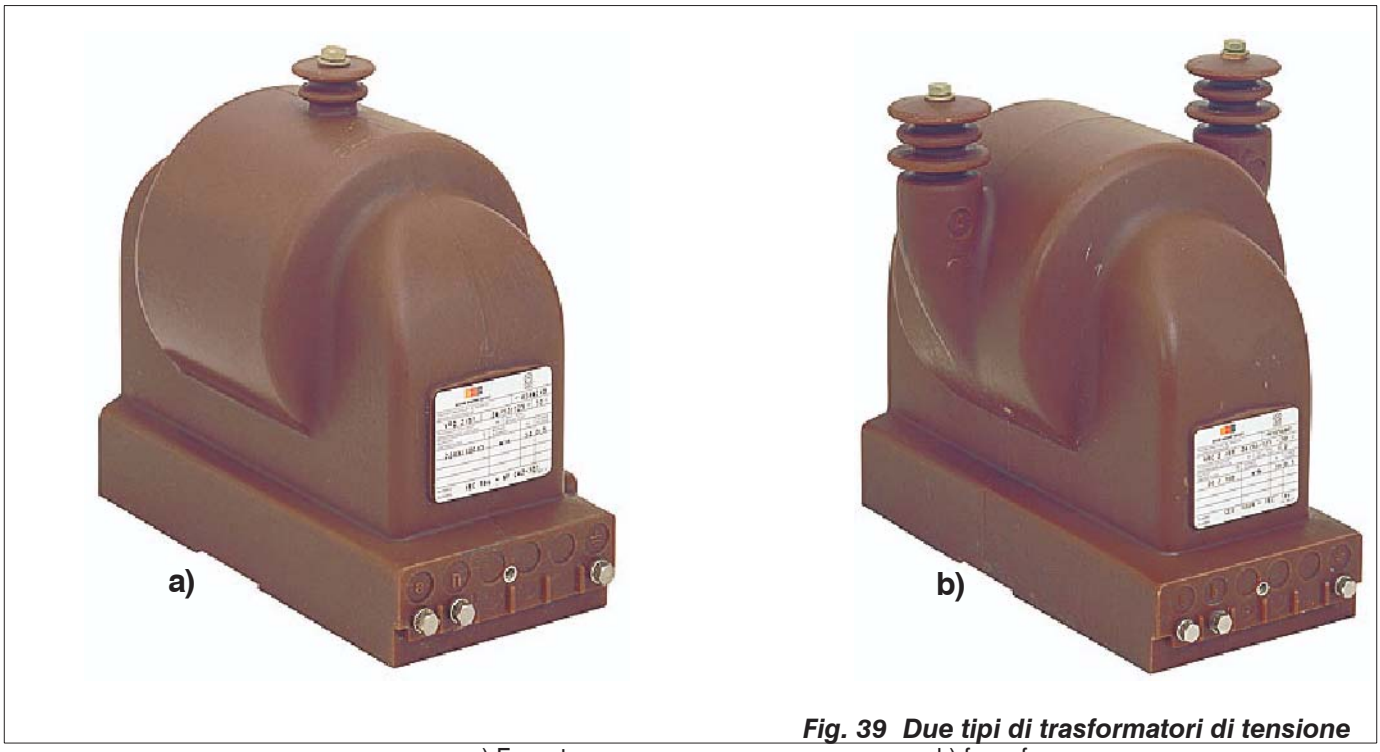


Fig. 39 Due tipi di trasformatori di tensione

a) Fase–terra

b) fase–fase

Il maggiore distributore di energia elettrica ENEL sul documento DK5600 (par. 6.3 riduttori di corrente e di tensione) suggerisce che :

La protezione di fase deve essere alimentata da TA che ne garantiscano il funzionamento fino a 10 kA primari (Icc su sbarre MT del cliente)

A titolo di esempio, TA unificati 300/5 o /1 A con classe 10P30 assicurano il rispetto delle condizioni previste.

TA dello stesso rapporto, ma con classe 10P15, possono essere impiegati nei casi in cui il cliente risulti allacciato su una linea uscente da una Cabina Primaria con trasformatore AT/MT di potenza inferiore a 40 MVA

La protezione di terra omopolare o direzionale deve essere alimentata da un TA toroidale con rapporto 100/1 A con classe 5P20, per garantire il funzionamento della protezione 51N anche sul doppio guasto a terra

La protezione direzionale deve essere alimentata da dei TV da collegare rigidamente alla sbarra MT per garantirne il corretto funzionamento

I TV devono avere classe di precisione 6P, fattore di tensione 1,9 per 30s e rapporto di trasformazione tale da fornire 100V sul secondario a triangolo aperto a seguito di un guasto monofase a terra sul sistema MT.

Sulla DK 5600 si afferma pure che :

Nel caso non si utilizzino TA e TV come specificato e suggerito, sarà il sistema di protezione a garantire prestazioni equivalenti a quelle fornite da una protezione alimentata con TA e TV con le caratteristiche precedentemente indicate.

Il costruttore del sistema di protezione deve allora certificare che il prodotto o il sistema siano rispondenti ai requisiti indicati nella DK5600. Il sistema deve funzionare correttamente per tutti i valori di corrente e tensione che si possono manifestare nelle condizioni di guasto previste.

Per un maggiore approfondimento su questi temi si rimanda al quaderno tecnico specifico.

ESEMPIO DI SCHEMA UNIFILARE

Impianto che prevede
N° 1 Arrivo da Ente Distributore
N°2 Partenze Trasformatori posizionati nel locale cliente con :
potenza singolo trasformatore uno da 1600 kVA e l'altro 250 kVA a 20 kV

Protezioni Generale richiesta:
protezione di fase 50 –51
protezione omopolare di terra 51N

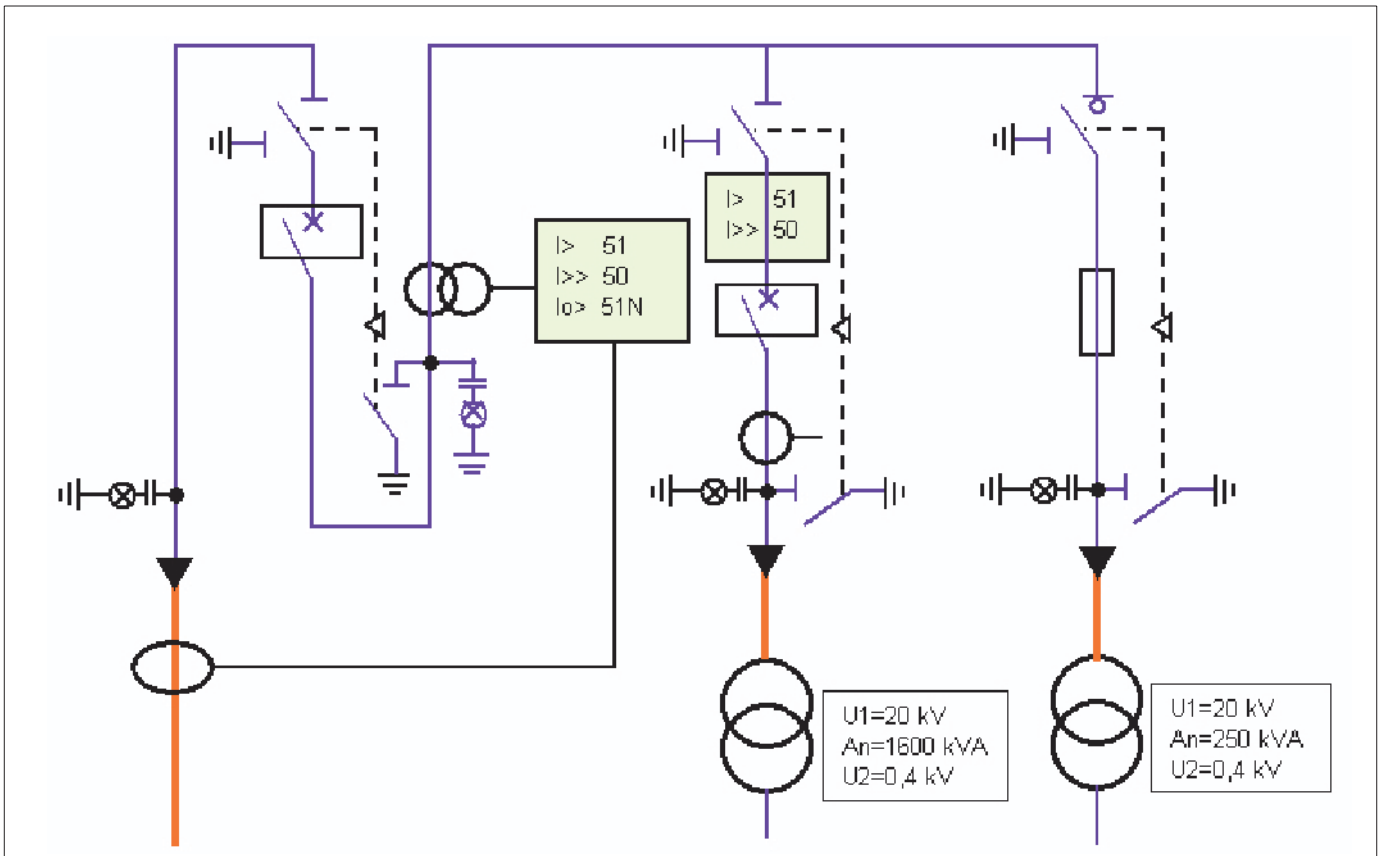


Fig. A1 Schema Unifilare per Cabina MT/BT

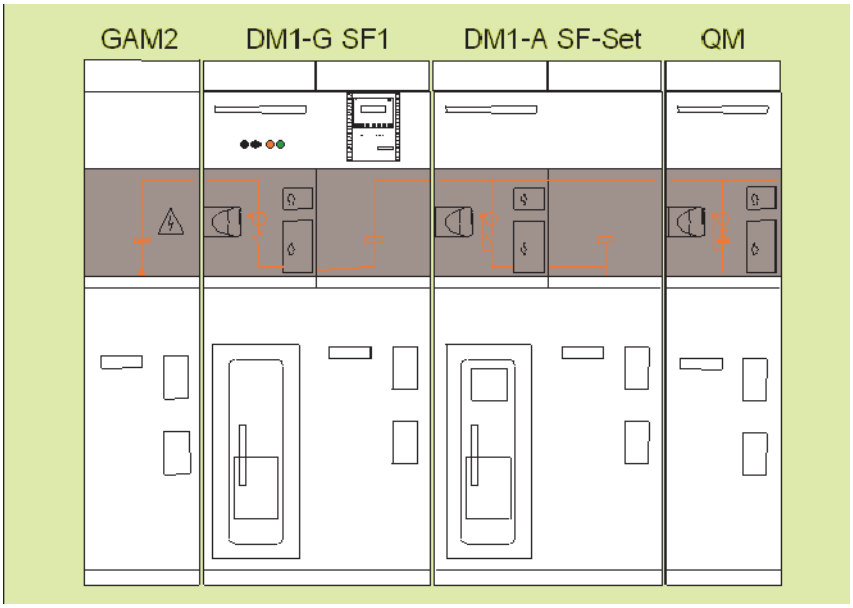


Fig. A2 Fronte quadro

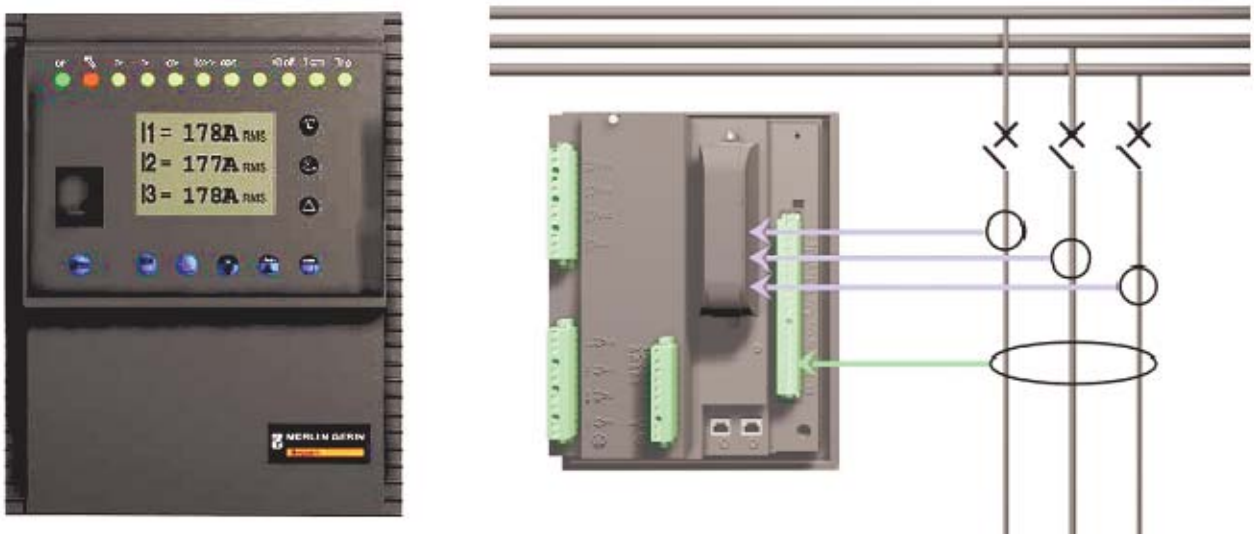


Fig. A3 Funzioni di protezione generale SEPAM serie 20 tipo S20:

– 50/51, massima corrente di fase

– 50N/51N, massima corrente omopolare