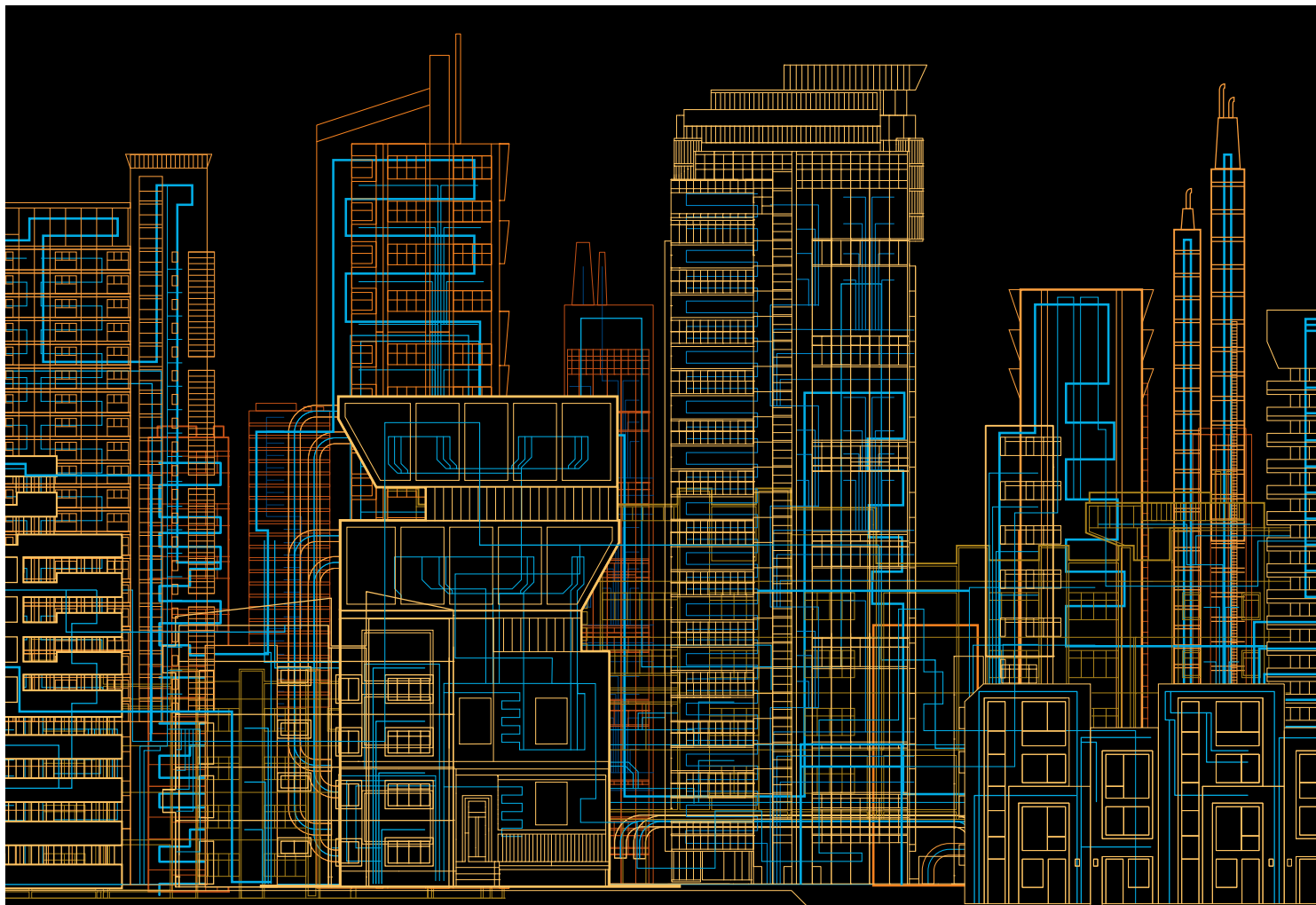




Medium voltage products

Quaderno di Applicazioni Tecniche No. 15

Le cabine di trasformazione MT/BT (utenti passivi)

Indice

2	1. Le cabine di trasformazione MT/BT	37	6. Schema dell'impianto di utenza per la connessione e quadro elettrico di MT
2	1.1 Introduzione	37	6.1 Schema dell'impianto di utenza
2	1.2 Normativa e documentazione di riferimento	40	6.2 Soluzioni di quadro di MT
3	1.3 Definizioni e tipologie classiche	42	7. Trasformatori di potenza
4	2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina	48	7.1 Caratteristiche principali
4	2.1 Connessione della cabina	46	7.2 Scelta dei trasformatori sulla base delle perdite e dell'efficienza energetica
5	2.2 Struttura della cabina	46	7.3 Requisiti e classi di efficienza dei trasformatori
6	2.3 Soluzioni costruttive	49	7.4 Criterio di scelta dei trasformatori basato sulla capitalizzazione delle perdite
7	2.4 Principali requisiti	49	7.5 Esempio di trasformatore per cabina di trasformazione
9	2.5 Caratteristica della struttura	51	7.6 Livello di rumore nei trasformatori
9	Prescrizioni strutturali	51	7.7 Perdite nella cabina
9	Prescrizioni per l'azione sismica	52	8. Apparecchi e Sistemi BT
13	Prescrizioni per l'azione degli incendi	52	8.1 Collegamento trasformatore quadro BT
14	2.6 Dimensionamento termico e ventilazione	52	8.2 Il quadro di BT
15	2.7 Illuminazione artificiale	54	9. Le cabine prefabbricate
15	2.8 I cavi elettrici in cabina: sede, entrate e separazione dei circuiti	56	10. Altri requisiti dell'impianto elettrico della cabina
16	2.9 Impianti di terra	56	10.1 Sovratensioni
18	2.10 Dispositivi di messa a terra funzionali alla connessione	56	10.2 Armoniche e campi elettrici e magnetici
19	2.11 Targhe, avvisi e schemi	59	11. Richiesta di connessione
22	3. Schemi di principio della connessione	60	12. Ispezioni e prove in sito prima della messa in servizio
23	4. Dimensionamento e scelta delle apparecchiature e dei componenti	61	13. Manutenzione della cabina elettrica
23	4.1 Sezionatori, interruttori di manovra, apparecchi multifunzione	65	14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica
26	4.2 Interruttori	65	14.1 Stima della potenza di alimentazione di un piccolo stabilimento industriale
27	4.3 Trasformatori di misura e protezione	67	14.2 Calcolo di corto circuito e coordinamento delle protezioni
27	Trasformatori di tipo induttivo (TA-I, TA-T, TO, TV-I)	67	Teoria del calcolo della corrente di cortocircuito
27	Trasformatori di corrente (TA-I, TA-T, TO) di tipo induttivo	71	Dimensionamento dell'impianto elettrico e coordinamento delle protezioni
30	Trasformatori di tensione (TV-I) di tipo induttivo	80	15. Conclusione dell'esempio e scelta della apparecchiature: l'offerta ABB
31	Sensori di corrente e tensione non induttivi (TA-NI, TV-NI)		
32	5. Relè di protezione		

1. Le cabine di trasformazione media tensione/bassa tensione (MT/BT)

1.1 Introduzione

Oggetto della presente Guida Tecnica sono le cabine elettriche di trasformazione MT/BT; in accordo con la normativa di riferimento, la trattazione sarà limitata alle cabine con potenza installata limitata a 2000 kVA o due trasformatori MT/BT da 1000 kVA.

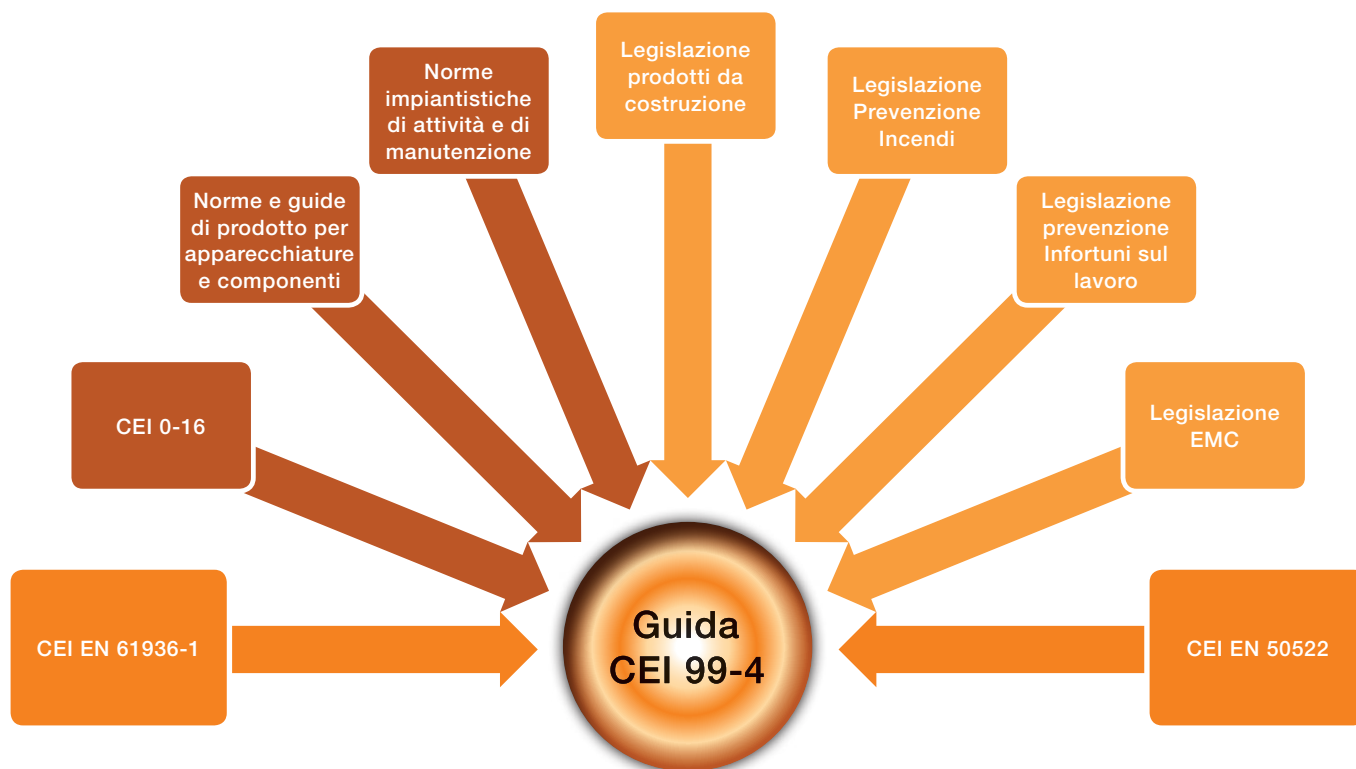
Scopo della presente guida è quello di dare una panoramica delle indicazioni e prescrizioni previste dalla normativa vigente per il progetto e la costruzione delle cabine al fine di orientare il progettista e l'Utente verso scelte impiantistiche corrette.

Nel documento verranno solo accennati alcuni argomenti quali il dimensionamento dell'impianto di terra e la parte edile per approfondire le quali si rimanda alla normativa specifica. Infine, nel documento non vengono trattate le problematiche relative agli Utenti attivi ovvero che producono energia elettrica in corrente alternata con funzionamento in parallelo (anche transitorio) con la rete.

1.2 Normativa e documentazione di riferimento

Il quadro generale che rappresenta in modo sintetico la principale normativa di riferimento relativa alla progettazione e costruzione di una cabina di MT/BT è rappresentato nella figura seguente.

Come si può vedere il panorama è complesso, ma d'altra parte la cabina elettrica di MT/BT è la sintesi di diverse attività di progettazione (elettrica, meccanica, edile, di installazione, ecc.) ed è quindi necessario considerare anche le disposizioni legislative contro gli incendi, sulla sicurezza, sui prodotti da costruzione al fine di ottenere un risultato a regola d'arte.



Di seguito viene proposto un elenco, non esaustivo, delle principali Norme di riferimento utilizzate nella stesura della presente Guida tecnica.

- IEC TS 62271-210: High-voltage switchgear and controlgear - Part 210: Seismic qualification for metal enclosed and solid-insulation enclosed switchgear and controlgear assemblies for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV
- CEI 99-4: Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/Utente finale
- CEI EN 61936-1: Classificazione CEI: 99-2, Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni
- CEI EN 50522: Classificazione CEI:99-3, Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI EN 62271-1: Apparecchiatura di manovra e di comando ad alta tensione, Parte 1: Prescrizioni comuni
- CEI EN 62271-200: Apparecchiature prefabbricate con involucro metallico per tensioni da 1 kV a 52 kV
- CEI EN 62271-202: Sottostazioni prefabbricate ad alta tensione/bassa tensione
- CEI EN 50532: Assieme compatto di apparecchiature per stazioni di distribuzione
- CEI 11 – 17 e variante V1: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica. Linea in cavo;
- CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in c.a. e 1500 V in c.c.;
- Guida CEI 11 - 37: Guida per l'esecuzione degli impianti di terra nei sistemi utilizzatori di energia alimentati a tensione maggiore di 1 kV.
- CEI 64-12, Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario
- CEI EN 50272-2: Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni, Parte 2: Batterie stazionarie
- DK 5600 ed.IV -Marzo 2004: Criteri di allacciamento di clienti alla rete MT della distribuzione

Si sottolinea che la Legge 1 marzo 1968, n.186 e il Decreto Ministeriale 22 gennaio 2008, n.37, aggiornato con Decreto 19 luglio 2010, assegnano un ruolo giuridico alle norme CEI. L'articolo 2 della Legge e l'articolo 6 del Decreto affermano infatti che gli impianti devono essere costruiti a regola d'arte, e che è possibile raggiungere questo obiettivo se si seguono le Norme CEI.

1.3 Definizioni e tipologie classiche

Una cabina elettrica è una parte dell'impianto elettrico che comprende le terminazioni delle linee di trasmissione o distribuzione, apparecchiature e quadri elettrici e che può anche includere dei trasformatori. La cabina elettrica comprende in genere anche tutti i dispositivi necessari al controllo ed alla protezione. A seconda della funzione svolta, può essere definita come cabina di trasformazione, conversione, trasmissione o distribuzione. La cabina elettrica di trasformazione MT/BT, quindi, è costituita dall'insieme dei dispositivi dedicati alla trasformazione della tensione fornita dalla rete di distribuzione in media tensione (es. 20 kV), in valori di tensione adatti per l'alimentazione delle linee in bassa tensione (es. 400 V).

Le cabine elettriche possono essere suddivise in cabine pubbliche e cabine private:

- **cabine pubbliche:** sono di pertinenza della società di distribuzione dell'energia elettrica e alimentano le utenze private in corrente alternata monofase o trifase (valori tipici della tensione per i due tipi di alimentazione possono essere 230 V e 400 V). Si dividono a loro volta in cabine di tipo urbano o rurale, costituite da un solo trasformatore di potenza ridotta. Le cabine urbane sono generalmente costruite in muratura mentre quelle rurali sono spesso installate all'esterno direttamente sul traliccio della MT.
- **cabine private:** si possono spesso considerare come cabine di tipo terminale, cioè cabine in cui la linea in MT si ferma nel punto di installazione della cabina stessa. Sono di proprietà dell'Utente e possono alimentare sia utenze civili (scuole, ospedali, ecc.), sia utenze di tipo industriale con fornitura dalla rete pubblica in MT. L'Utente deve mettere a disposizione della società distributrice un apposito locale, accessibile al personale della società, in cui saranno installate le apparecchiature di competenza della società di distribuzione. Le soluzioni costruttive possono essere varie, anche se negli ultimi tempi si va sempre più diffondendo l'impiego di cabine di tipo prefabbricato.

2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

2.1 Connessione della cabina

La Norma CEI 0-16 suggerisce tre passi per l'individuazione dell'impianto per la connessione.

Passo 1, scelta del livello di tensione e punto della rete di distribuzione al quale l'Utente può essere connesso in relazione alla tipologia, alla taglia e alle esigenze di esercizio dell'impianto Utente e alle esigenze e alle caratteristiche della porzione di rete di distribuzione interessata.

Tali scelte sono operate dal Distributore sulla base dei dati di seguito elencati.

1. Taglia dell'impianto, che deve essere compatibile con i criteri di esercizio della rete. In generale devono essere valutati i profili di tensione, la selettività delle protezioni nonché lo sfruttamento delle linee e dei trasformatori.
2. Dislocazione dei carichi circostanti sia nell'assetto della rete attuale che previsionale.
3. Caratteristiche della rete limitrofa.
4. Contributo degli eventuali generatori alla potenza di cortocircuito considerando tutti i contributi dell'impianto (generatori, motori, ecc.).
5. Livelli di disturbo immessi (variazioni rapide, armoniche, flicker, dissimmetria delle tensioni) dalle utenze sia attive che passive che devono essere tali da non far superare i livelli stabiliti dalla Norma CEI EN 61000-2-12 per la rete MT.

6. Esigenze dell'Utente in merito alla continuità del servizio.
7. Esigenze dell'Utente in merito a variazioni lente, buchi di tensione, potenza di cortocircuito, qualità della tensione.
8. Possibilità di sviluppo della rete ai fini del soddisfacimento delle esigenze di cui ai punti precedenti.

I valori indicativi di potenza che è possibile connettere sui differenti livelli di tensione delle reti di distribuzione sono indicate dalla norma nella tabella seguente.

Potenza MW	Livello di tensione della rete
$\leq 0,1$	BT
0,1 - 0,2	BT
	MT
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

Passo 2, scelta dello schema d'inserimento dell'impianto (entra-esce, antenna, ecc.).

Per la determinazione dello schema di connessione è necessario tener conto di:

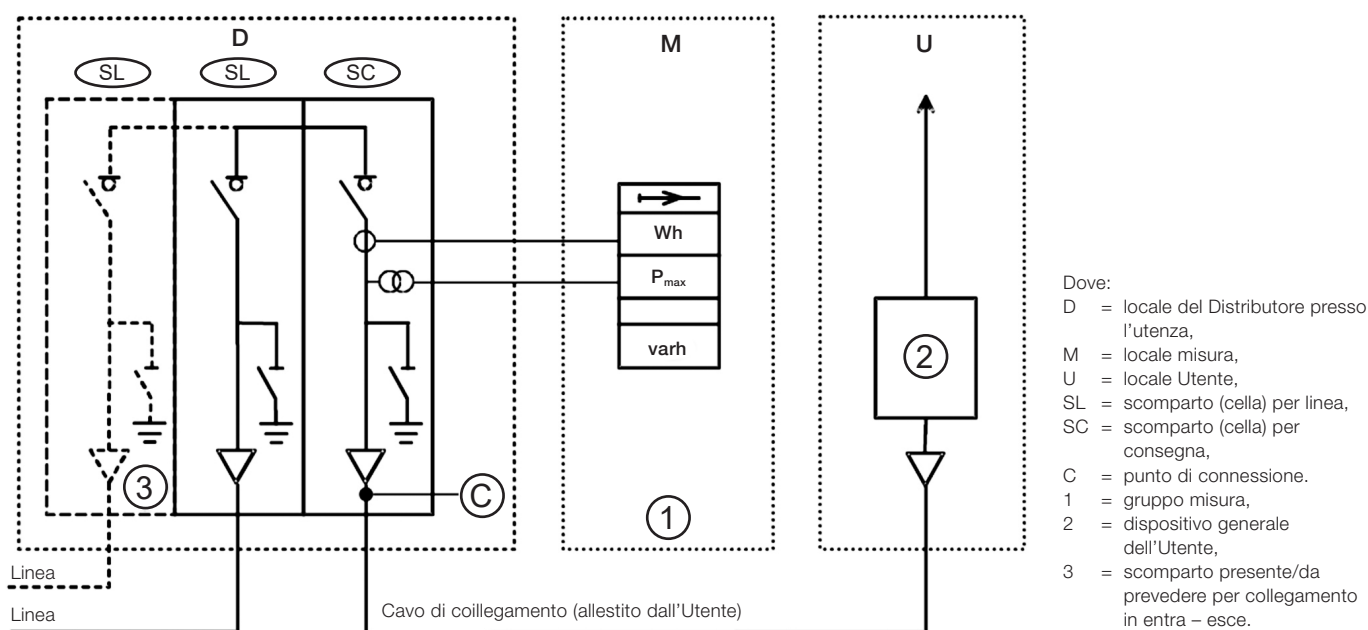
- taglia dell'impianto;
- posizione dell'impianto rispetto alla rete e la presenza, nell'area di interesse, di impianti di produzione, di linee, di stazioni, di cabine primarie e secondarie;
- esercizio della rete cui l'impianto è connesso;
- possibilità di sviluppo della rete;
- dispositivi di protezione e automazione presenti sulla rete del Distributore;
- esigenze dell'Utente in merito alla continuità e alla qualità del servizio.

Passo 3, scelta dello schema di connessione (sistemi di sbarra e organi di manovra e d'interruzione, in relazione alla manutenzione e al sistema di protezione della rete). A prescindere dalla soluzione di connessione prescelta, per l'impianto di rete presso l'utenza si ha sempre la situazione impiantistica indicata nella figura seguente.

2.2 Struttura della cabina

Queste cabine sono nella maggioranza dei casi ubicate nei locali stessi dello stabilimento da esse alimentato e sono costituite fondamentalmente da tre locali distinti, di cui i primi due sono a disposizione dell'ente Distributore:

- **locale del Distributore (D)**: dove sono installate le apparecchiature di manovra dell'ente Distributore. Tale locale deve avere dimensioni tali da consentire l'eventuale realizzazione del sistema entra esci che l'ente Distributore ha facoltà di realizzare anche in un secondo tempo per soddisfare le proprie nuove esigenze. Nel locale consegna è presente il punto di prelievo che rappresenta il confine e la connessione tra l'impianto di rete pubblica e l'impianto di utenza.
- **locale misura (M)**: in cui sono collocati i gruppi di misura. Entrambi questi locali devono avere l'accesso da strada aperta al pubblico, per permettere l'intervento al personale autorizzato indipendentemente dalla presenza dell'Utente.
- **locale Utente (U)**: destinato a contenere il trasformatore e le apparecchiature di manovra e protezione in MT e BT di pertinenza dell'Utente. Tale locale deve normalmente essere adiacente agli altri due locali.



Schema di collegamento fra cabina del Distributore presso l'utenza e l'impianto dell'Utente passivo (CEI 0-16, fig.7)

2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

2.3 Soluzioni costruttive

Relativamente alle soluzioni costruttive, la Guida CEI 99-4 distingue i seguenti casi:

- **Cabina a giorno** (impianto all'interno di tipo aperto secondo CEI EN 61936-1): impianto in cui non è previsto l'utilizzo di componenti di MT dotati di involucro in grado di assicurare la protezione contro i contatti diretti e che pertanto necessita di essere completato in opera con le misure di sicurezza atte a proteggere le persone contro tali rischi in accordo alla CEI EN 61936-1. L'impianto viene eseguito direttamente sul posto collegando opportunamente i componenti ed è quindi praticamente impossibile eseguire delle prove per verificare il livello di isolamento conseguito e la capacità di sostenere gli effetti delle correnti di cortocircuito. La soluzione costruttiva tipica di una cabina a giorno per interno, quindi costruita in un locale chiuso al riparo dagli agenti atmosferici, risulta costituita in generale da:
 - una o più celle, dotate di pareti o pannelli divisorii, per la sistemazione dei componenti di MT;
 - una o più celle, dotate di pareti o pannelli divisorii e quanto necessario per la sistemazione dei trasformatori;
 - barriere di protezione quali telai, grigliati e reti metalliche; rigidamente fissate con grado di protezione minimo IPXXB;
 - componenti di BT sistemati su strutture aperte o dentro armadi chiusi.



- **Cabina realizzata in opera o premontata con apparecchiature prefabbricate** (impianto all'interno di tipo chiuso CEI EN 61936-1): impianto i cui componenti elettrici sono dotati di involucro in grado di assicurare la protezione contro i contatti diretti e che viene realizzato mediante l'impiego di apparecchiature prefabbricate, come ad esempio i quadri di MT e di BT in accordo alla Norma di prodotto CEI EN 62271-200. Per cabina realizzata in opera si intende il locale in calcestruzzo o laterizio o altro materiale idoneo ad ospitare le apparecchiature elettriche collaudato direttamente in loco. La soluzione costruttiva tipica, di una cabina per interno con apparecchiature prefabbricate, è la seguente:
 - quadro di MT costituito da un insieme di unità funzionali in accordo al progetto;
 - una o più celle, dotate di pareti o pannelli divisorii e quanto necessario per la sistemazione dei trasformatori alloggiati in box metallici di tipo prefabbricato o, in caso contrario, complete eventualmente delle protezioni contro i contatti diretti;
 - quadro di BT costituito da un insieme di unità funzionali.



– **Cabina prefabbricata** in accordo alle Norme CEI EN 62271-202 e CEI EN 50532: la cabina prefabbricata viene considerata come un apparecchio conforme alla norma di prodotto e che ha quindi superato tutte le prove di tipo previste. La norma di prodotto, oltre alle caratteristiche nominali e alle procedure di prova, dedica una particolare attenzione alla protezione delle persone, che viene garantita dall'impiego di componenti sottoposti alle prove di tipo e da una adeguata progettazione e costruzione dell'involucro. I componenti principali di una sottostazione prefabbricata sono oltre all'involucro:

- trasformatori di potenza;
- apparecchiatura di media e bassa tensione;
- interconnessioni di media e bassa tensione;
- apparecchiatura e circuiti ausiliari.



2.4 Principali requisiti

Circa l'ubicazione, la cabina può essere all'interno della volumetria dell'edificio da alimentare o separata. È prevista anche l'ubicazione sulla copertura dell'edificio da servire, ovviamente previo attento studio dei carichi statici e dinamici cui la soletta verrà sottoposta. In ogni caso l'ubicazione delle cabine deve essere tale da permettere al personale autorizzato l'accesso alla stessa quando necessario per eseguire le manovre di servizio e la manutenzione dei componenti della cabina, anche di quelli di maggior ingombro e peso, come i trasformatori.

Inoltre, è opportuno che il locale cabina risponda ai requisiti previsti dalle norme (CEI 99-4, cap. 5 e CEI 0-16, par. 8.5.9) relativamente a:

- a) campi magnetici a bassa frequenza
- b) accessi
- c) pareti, pavimenti e solai e quant'altro in accordo alla norma la Norma CEI EN 61936-1
- d) ventilazione
- e) infiltrazioni d'acqua o allagamenti
- f) carichi meccanici statici e dinamici previsti e delle sovrappressioni interne causate da archi elettrici
- g) illuminazione

Le cabine devono essere provviste di porte con chiusura a chiave o comunque richiedere l'uso di utensili per la loro apertura o rimozione onde evitare l'accesso alle persone non autorizzate. In particolare il locale ospitante i complessi di misura deve essere sempre accessibile sia dall'Utente che dal Distributore.

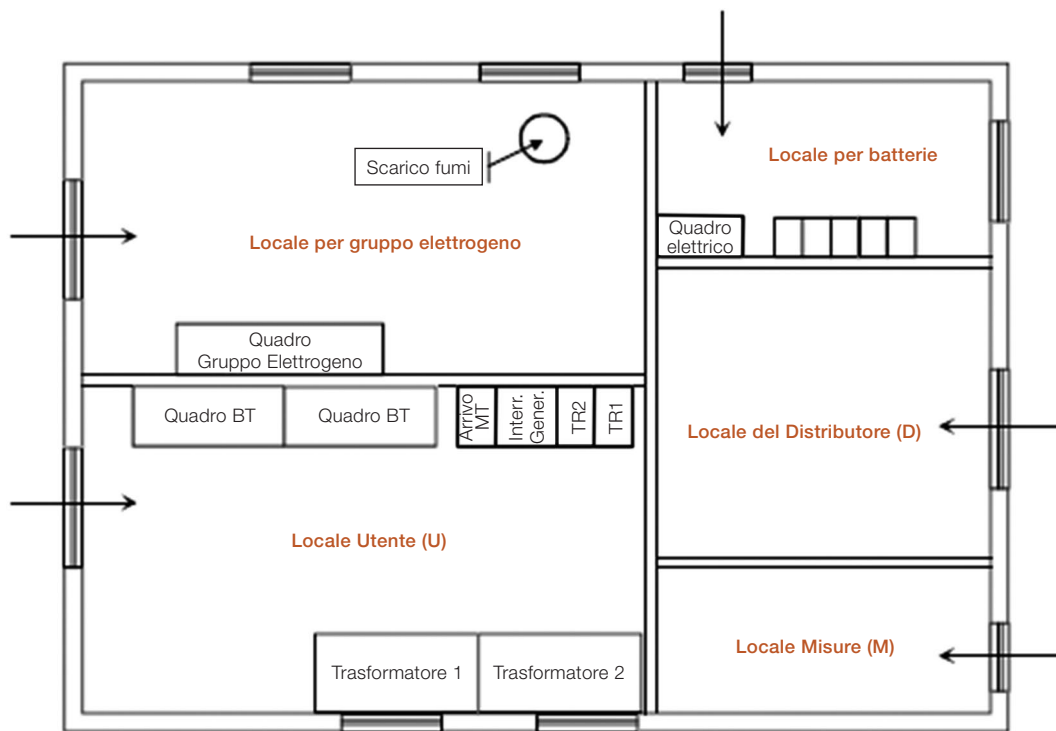
La posizione dei locali deve essere tale che le linee MT, necessarie per la connessione, possano essere costruite e mantenute nel rispetto delle vigenti norme sugli impianti e sulla sicurezza, nonché sull'inquinamento elettromagnetico. La separazione, in termini di responsabilità nell'esercizio, nella conduzione e nella manutenzione dei diversi locali, deve essere ben individuabile sugli schemi planimetrici.

La misura dell'energia prelevata da un Utente in un punto di prelievo deve avvenire in prossimità del punto di connessione in MT attraverso trasformatori di tensione e di corrente di misura di competenza del Distributore. Le dimensioni del locale di connessione devono di regola consentire l'adozione dello schema di inserimento in entra-esce, che potrebbe rendersi necessario in un secondo tempo. A titolo indicativo l'occupazione di superficie complessiva di locale consegna e misure deve essere di circa 16 m².

I dettagli costruttivi devono essere forniti nella documentazione di connessione a cura del Distributore; in ogni caso il progetto del locale per l'impianto di rete presso l'utenza deve essere conforme alle prescrizioni emanate dal Distributore.

2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

Esempio di soluzione di cabina (non esecutivo) con apparecchiature addossate alle pareti (CEI 99-4, fig. A.3)



Prima di posizionare le apparecchiature all'interno di una cabina, bisogna verificare che siano rispettate le distanze corrette nelle aree di servizio, come corridoi, passaggi, accessi e vie di fuga.

A tal proposito la CEI 99-4 definisce che la larghezza di un corridoio di manovra all'interno di una cabina deve essere sufficiente per eseguire qualsiasi manovra o operazione di manutenzione. La larghezza di questo corridoio deve essere pari ad almeno 800 mm.

In particolare, assicurarsi che le porte in posizione aperta o gli apparecchi di manovra meccanici che sporgono dall'apparecchiatura di manovra e di comando non riducano la larghezza del corridoio a meno di 500 mm.

I passaggi per l'installazione o la manutenzione posti dietro pareti solide (es. apparecchiature chiuse) non devono essere inferiori a 500 mm.

In sostanza, il personale dovrà sempre disporre di accessi chiari e sicuri. Anche in altezza, sotto i soffitti, coperture o involucri, con la sola eccezione dei cunicoli cavi, è richiesta un'altezza minima di 2000 mm.

Per quanto riguarda le vie di fuga, ai fini della Norma CEI EN 61936-1, le uscite devono essere previste in modo che la lunghezza della via di fuga all'interno del locale non superi i 20 m per tensioni fino a 52 kV. La lunghezza consigliata per le vie di fuga, tuttavia, è non superiore ai 10 m. Oltre tale lunghezza è consigliabile che i passaggi siano accessibili da entrambi i lati.

2.5 Caratteristica della struttura

Prescrizioni strutturali

Per quanto riguarda la costruzione del manufatto edile e relativi accessori, si deve far riferimento al DM (infrastrutture) 14.01.2008 e s.m.i. "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008. Nel decreto vengono definiti i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni in relazione ai requisiti richiesti di resistenza e stabilità. Va inoltre considerato il Regolamento (UE) 305/2011, entrato in vigore il 1 luglio 2013, che sostituisce in via definitiva la Direttiva CPD 89/106/CEE. Il Regolamento intende disciplinare l'immissione sul mercato europeo di tutti i prodotti (materiali, manufatti, sistemi, ecc.) che sono realizzati per diventare parte permanente di opere di costruzione (edifici ed opere di ingegneria civile), i quali devono assicurare il rispetto di almeno uno dei seguenti requisiti, i primi sei previsti già dalla precedente direttiva CPD 89/106 a cui si aggiunge l'ultimo:

- resistenza meccanica e stabilità
- sicurezza in caso di fuoco
- igiene, sicurezza e ambiente
- sicurezza in uso
- protezione contro il rumore
- risparmio energetico
- uso sostenibile delle risorse naturali per la realizzazione delle costruzioni.

Il Regolamento UE 305 definisce, in particolare, i carichi e gli impatti, nominali e/o caratteristici, applicabili alle costruzioni, e quindi anche all'involucro di una cabina, che di conseguenza devono possedere una robustezza meccanica sufficiente per resistervi; essi sono:

- carichi permanenti strutturali e non strutturali quali i pesi propri dei materiali
- carichi variabili che comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera (persone, automezzi, ecc.)
- azione sismica
- combinazione dell'azione sismica con le altre azioni
- azioni del vento
- azioni della neve
- azioni della temperatura
- azioni eccezionali quali incendi, esplosioni, urti.

Prescrizioni per l'azione sismica

Dato che l'Italia è uno Stato ad alta esposizione sismica è importante considerare questa azione nel progetto della cabina e nella scelta delle apparecchiature elettriche. Ancora una volta è importante affidarsi a costruttori qualificati che abbiano progettato e provato le proprie apparecchiature in accordo alle norme di riferimento. Infatti, le forti vibrazioni provocate dal sisma si riflettono pesantemente sul comportamento del quadro elettrico.

Ne è un riprova il fatto che la Guida CEI 99-4, alla nota 1 afferma che la specifica tecnica IEC TS 62271-210 "High-voltage switchgear and controlgear - Part 210: Seismic qualification for metal enclosed and solid-insulation enclosed switchgear and controlgear assemblies for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV", quando pubblicata, verrà recepita dal CEI indipendentemente dal recepimento CENELEC.

In passato il territorio nazionale era classificato in zone secondo caratteristiche di sismicità; a ciascuna zona era attribuito un valore di pericolosità di base, espresso in termini di accelerazione massima su suolo rigido (g).

L'attuale fonte di riferimento è il sito dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) <http://esse1.mi.ingv.it/>. Da tale sito è possibile ricavare i valori dell'accelerazione ag per varie probabilità di eccedenza in 50 anni, corrispondenti a diversi periodi di ritorno.

Tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso mediante una griglia di calcolo (passo 0,05°, pari a circa 5,5 Km, in latitudine e longitudine) i cui punti vengono individuati da codici numerici (ID). Per ciascuno dei 16852 punti, ordinati da ovest ad est e da nord a sud, vengono forniti i valori medi (50° percentile) e quelli corrispondenti al 16° e al 84° percentile.

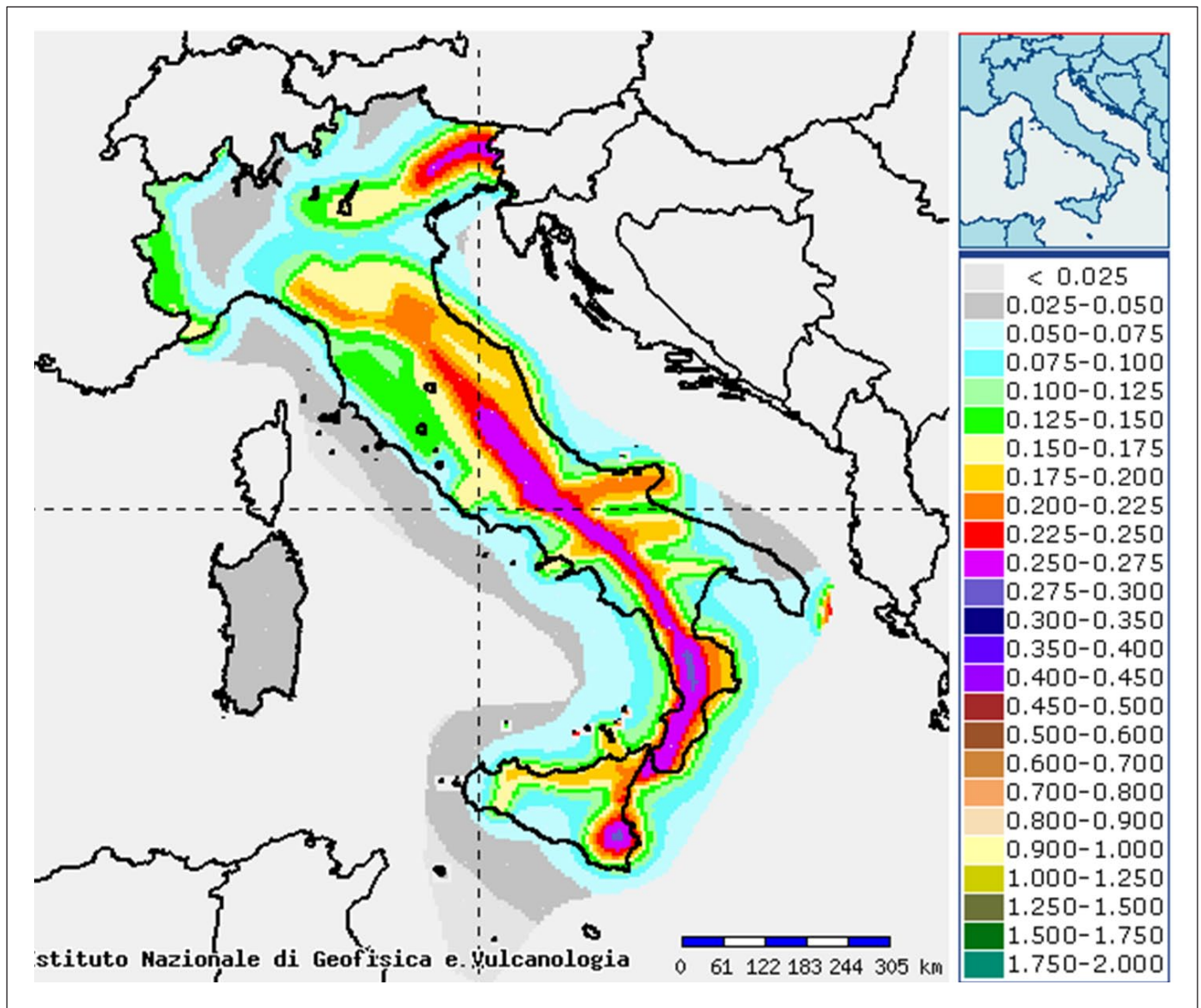
Utilizzando la Mappa interattiva di pericolosità sismica è possibile accertare facilmente il valore di accelerazione ag corrispondente al territorio in cui è ubicata la cabina e chiedere al costruttore del QMT di fornire un prodotto adeguato, corrispondente a quanto definito dalla Specifica Tecnica IEC/TS 62271-210, in particolare per quanto riguarda il livello di severità:

- livello 1, consigliato per picchi di accelerazioni del suolo/pavimento fino a 0,5 g;
- livello 2, raccomandato per le accelerazioni di picco al suolo/pavimento fino a 1,0 g.

Si tenga presente che i valori di ag forniti dal sito richiedono un uso consapevole e pertanto il loro utilizzo viene effettuato sotto la responsabilità dell'utente.

2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

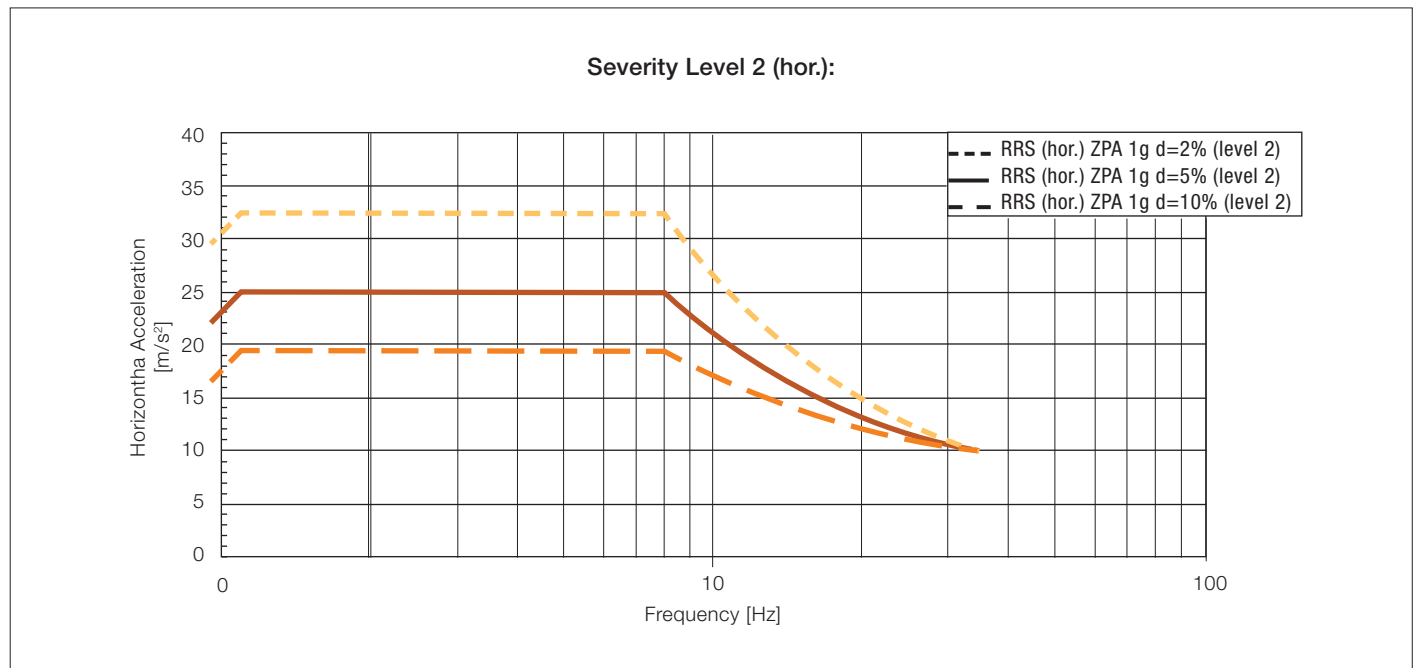
Di seguito viene presentata la mappa di pericolosità sismica disponibile sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.



Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Le unità funzionali del quadro ABB UniSec sono state testate fino al livello 2, equivalente alla Norma IEEE 693 high performance level.
 Di seguito vengono presentate le RRS corrispondenti al livello di severità 2 indicate nella IEC/TS 62271-210.

La forma dello spettro (Required Response Spectra, o RRS) è tale da simulare varie condizioni legate all'intensità, alla profondità e alla distanza dall'epicentro del sisma, al tipo di suolo e alla posizione sopraelevata del quadro, posto ai piani superiori.



Severity Level 2 (horizontal) – Zero period acceleration (ZPA) = 1 g

2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

In figura sono indicate le posizioni degli accelerometri durante il test sismico.

CESI

TEST REPORT

APPROVED

B1021565

ISIMES

IPH

FGH

Photo 3

Accelerometer positions

AT= Control Positions on base frame

A1= Structure

A2= Structure

A3= busbar

A4= WBC carriage

A5= Transformer TA

A6= Fuse

A7= Pole base

A8= Autotransformer

CESI

TEST REPORT

APPROVED

B1021565

ISIMES

IPH

FGH

Client

ABB Research & Development

Address of the client

Via Friuli 4
24044 - Dalmine (BG)

Manufacturer

ABB Research & Development

Tested samples/items

ABB UniSec Switchgear 17.5 kV

Tests carried out

SEISMIC TESTS

Standards/Specifications

• IEEE Std 693 (2005)

Tests date

from 30th May 2011 to 6th June 2011

The results reported in this documents relate only to the tested samples/items.
Partial reproduction of this document is permitted only with the written permission from CESI.

No. of pages

34

No. of pages annexed

43

Issue date

10/10/2011

Prepared

PPR - Baldassarri Riccardo

Verified

PPR - Pucci Gino, PPR - Vidori Mauro

Approved

PMI - The Manager - Arcidiaco Lorenzo

CESI S.p.A.
Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 2125440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

CESI S.p.A.
Testing & Certification Division
Testing Operations Area
"Milan Platform"
Manager

Page 1/34

Prescrizioni per l'azione degli incendi

Per quanto concerne la resistenza al fuoco, la norma prescrive che le modalità di classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione dovranno essere individuate in conformità al Decreto del Ministero dell'Interno del 16/02/2007. Nel suddetto DM viene riportata la seguente tabella esplicativa per quanto riguarda la classificazione:

Simboli			
R	Capacità portante	P o Ph	Continuità di corrente o capacità di segnalazione
E	Tenuta	G	Resistenza all'incendio della fuliggine
I	Isolamento	K	Capacità di protezione al fuoco
W	Irraggiamento	D	Durata della stabilità alla temperatura costante
M	Azione meccanica	DH	Durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temperatura
C	Dispositivo automatico di chiusura	F	Funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore
S	Tenuta al fumo	B	Funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore

Le classificazioni sono normalmente espresse in minuti, es. per solai e tetti, REI 60 indica mantenimento della capacità portante, della tenuta e dell'isolamento al fuoco per 60 minuti. In particolare, per quanto riguarda le attività soggette a controllo di prevenzione incendi, e nel nostro caso cabine con macchine elettriche fisse con presenza di liquidi isolanti combustibili in quantitativi superiori a 1 m³ e cabine inserite nella volumetria dei fabbricati soggetti a controllo di prevenzione incendi, la resistenza al fuoco delle strutture dovrà essere certificata secondo le modalità previste dall'Allegato II del DM 07/08/2012 facendo ricorso alla modulistica disponibile sul sito www.vigilfuoco.it.

Nella seguente tabella tratta dalla Norma CEI EN 60695-1-40, Prove relative ai pericoli di incendio, Parte 1-40: Guida per la valutazione dei pericoli di incendio dei prodotti elettrotecnici - Liquidi isolanti, possiamo trovare la classificazione dei liquidi isolanti relativamente al punto di combustione ed al potere calorifico:

Fire point		Net heat of combustion	
Class O	≤ 300 °C	Class 1	≥ 42 MJ/kg
Class K	> 300 °C	Class 2	< 42 MJ/kg
			≥ 32 MJ/kg
Class L	No measurable fire point	Class 3	< 32 MJ/kg

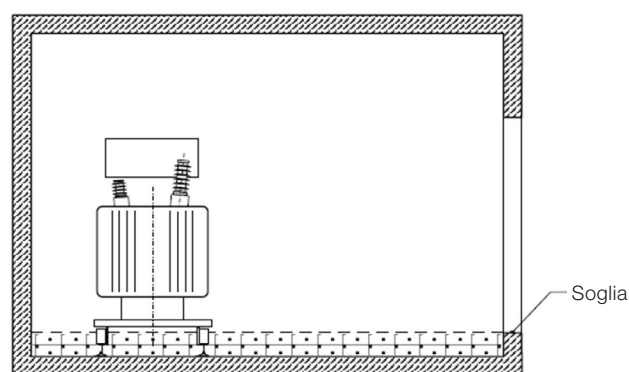
Example Mineral transformer oil (IEC 60296) has a classification of O1.

Ed infine arriviamo alla Norma CEI EN 61936-1 che prescrive i requisiti che dovrebbe possedere il locale cabina nel caso di incendio di trasformatori con diverse caratteristiche e cioè:

- REI 60 per trasformatori fino a 1000 litri di olio tipo O
- REI 90 per trasformatori oltre 1000 litri di olio tipo O
- REI 60 per trasformatori a secco in classe F0 mentre sono sufficienti pareti non combustibili nel caso di trasformatori a secco in classe F1 (CEI EN 60076-11 Trasformatori di potenza Parte 11: Trasformatori di tipo a secco).

Per trasformatori con contenuto di olio superiore a 1000 litri è necessario far riferimento anche al DM 15 luglio 2014: Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, l'installazione e l'esercizio delle macchine elettriche fisse con presenza di liquidi isolanti combustibili in quantità superiore ad 1 m³. G.U. 5 agosto 2014, n. 180.

Sempre nel caso di cabine contenenti trasformatori in olio, al fine di non inquinare l'ambiente, la Norma CEI EN 61936-1 stabilisce che deve essere previsto un accorgimento per il contenimento dell'olio isolante prevedendo un pavimento impermeabile con delle soglie di contenimento intorno all'area dove il trasformatore è collocato o convogliando il liquido fuoriuscito in un'opportuna area di contenimento all'interno dell'edificio. Nel definire il volume di contenimento si dovrà considerare il volume totale del liquido isolante contenuto nel trasformatore e dell'acqua scaricata dal sistema antiincendio.



Nella figura si vede la sezione del locale trasformatore dove l'area tratteggiata indica il volume di contenimento.

Per lo smaltimento dei prodotti della combustione in caso di incendio si dovrà tenere conto della Normativa di Prevenzione Incendi.

2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

2.6 Dimensionamento termico e ventilazione

Le apparecchiature durante il loro funzionamento non devono superare il valore massimo di temperatura per non degradare i materiali isolanti o dover ricorrere a declassamenti.

Nel locale dove sono collocate le apparecchiature 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.

Ovviamente, le prese d'aria non possono attingere da locali che si trovino a temperature elevate o da luoghi che siano classificati con pericolo di esplosione secondo la Norma CEI 31-30 e devono comunque assicurare un grado di protezione tale da impedire la penetrazione di acqua o neve, l'ingresso di animali e oggetti in grado di provocare incidenti.

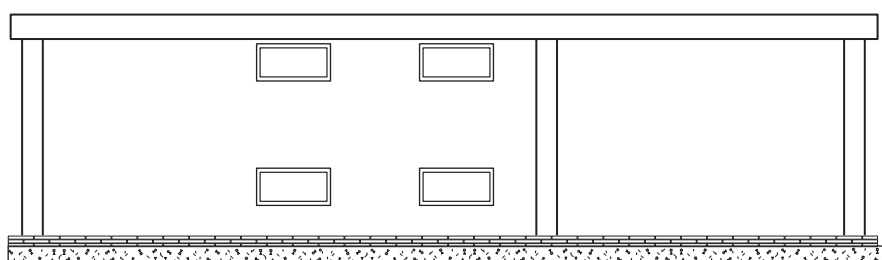
Nel caso in cui vi siano apparecchiature isolate in SF₆, si ricorda che tale gas conforme alla Norma CEI 10-7 non è

tossico; dato però che può generare insufficienza di ossigeno (ciò avviene quando la percentuale di ossigeno nell'aria scende al di sotto del 18%) è necessario prevenire una concentrazione eccessiva. A tal fine, nei locali che si trovano sopra il livello del suolo, è sufficiente la ventilazione naturale. Nei locali al di sotto del livello del suolo se è possibile una concentrazione dannosa si deve prevedere la ventilazione forzata. Ciò vale anche per i vani (es, cunicoli) posti al di sotto degli apparecchi in SF₆. Tuttavia la ventilazione forzata può essere omessa quando il volume di gas SF₆ del compartimento di maggiori dimensioni dell'apparecchiatura, rapportato alla pressione atmosferica, non supera il 10% del volume del locale.

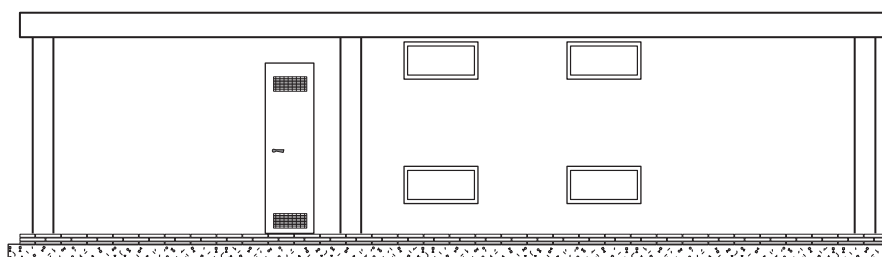
L'intero Allegato J della Norma CEI 99-4 è dedicato al Dimensionamento termico e ventilazione del locale.

Sempre a proposito di ventilazione, nell'Allegato B della Norma CEI 99-4 viene riportata una sintesi delle prescrizioni della Norma CEI EN 50272-2 relative alla ventilazione dei locali batterie e un esempio indicativo. Durante la carica le batterie sviluppano idrogeno e ossigeno come risultato del processo di elettrolisi. La ventilazione dei locali batterie è necessaria per mantenere la concentrazione di idrogeno nel volume di aria interessato al di sotto del pericolo di esplosione ovvero del 4%.

Esempio di viste di cabina (non esecutivo) per evidenziare le finestrelle di aerazione (CEI 99-4, fig A.5)



Vista frontale



Vista posteriore

2.7 Illuminazione artificiale

Per permettere l'esercizio della cabina in modo più facile e sicuro, l'illuminazione artificiale dovrebbe garantire un livello di illuminamento di 200 lx riferiti, salvo diversa indicazione, ad un fattore di uniformità di almeno 0,7 (UNI EN 12464-1). Per l'illuminazione di emergenza/sicurezza, ad esempio, per individuare le vie di fuga e le uscite di cabina, il livello d'illuminamento deve essere almeno pari a 1 lx ottenibile mediante l'utilizzo di apparecchiature illuminanti autonome (ad esempio dotando gli operatori di un apparecchio portatile per l'illuminazione con autonomia di un'ora).

2.8 I cavi elettrici in cabina: sede, entrate e separazione dei circuiti

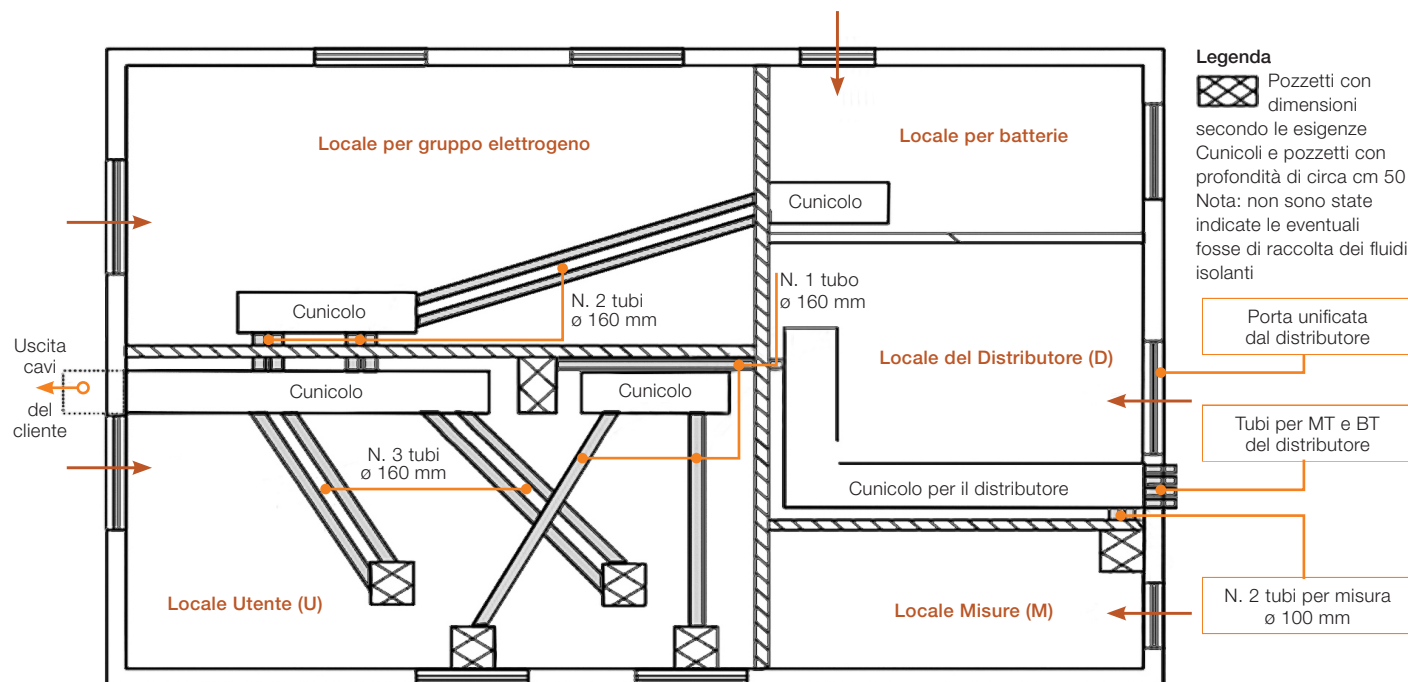
Dal punto di vista dei cavi, nelle cabine possiamo avere le seguenti situazioni:

- vano sottoquadro praticabile, ovvero uno scantinato pedonabile, sotto il piano di appoggio dei quadri elettrici, per il quale si raccomanda un'altezza netta non minore di 1,7 m. Questa soluzione è adatta al caso in cui i cavi entranti e uscenti dalla cabina siano interrati e in numero elevato
- pavimento flottante, a piastrelle asportabili ed intercapedine ispezionabile per i cavi per la quale si consiglia un'altezza

non inferiore a 0,6 m; Questa soluzione è adatta al caso in cui il numero dei cavi entranti ed uscenti sia limitato mentre il numero dei cavi di interconnessione tra i quadri della stessa cabina sia elevato

- cunicoli, ovvero pavimento fisso e cavi contenuti in cunicoli prefabbricati o realizzati in opera
- passerelle o sistemi equivalenti (vedere CEI EN 61936-1); i collegamenti tra i vari componenti sono realizzati prevalentemente impiegando sistemi di sospensione dei cavi a soffitto e a parete realizzati in materiale isolante o metallico
- il Distributore normalmente indica in che modo devono essere realizzati il fori per il passaggio dei cavi, tra la parte del locale cabina del Distributore e quella di ricezione del cliente. In ogni caso, tutte le aperture verso l'esterno devono essere realizzate in conformità alla Norma CEI 11-17 e alla Norma CEI EN 61936-1 per evitare l'ingresso di animali, acqua e per prevenire il propagarsi di eventuali incendi
- si sottolinea inoltre il rispetto della Norma CEI EN 61936-1 e della norma di prodotto dei cavi per le dimensioni e il posizionamento dei cunicoli e tubi protettivi annegati nella muratura che devono permettere di rispettare i raggi di curvatura dei cavi e consentire la libera dilatazione
- l'armatura o lo schermo metallico dei cavi possono essere considerati segregazione metallica. Pertanto i cavi di MT che vengono posati su passerelle, cunicoli, tubazioni, ecc., possono coesistere con cavi di BT

Esempio di cabina elettrica (non esecutivo) con evidenza dei condotti a pavimento e dei cunicoli (CEI 99-4, fig. A.2)



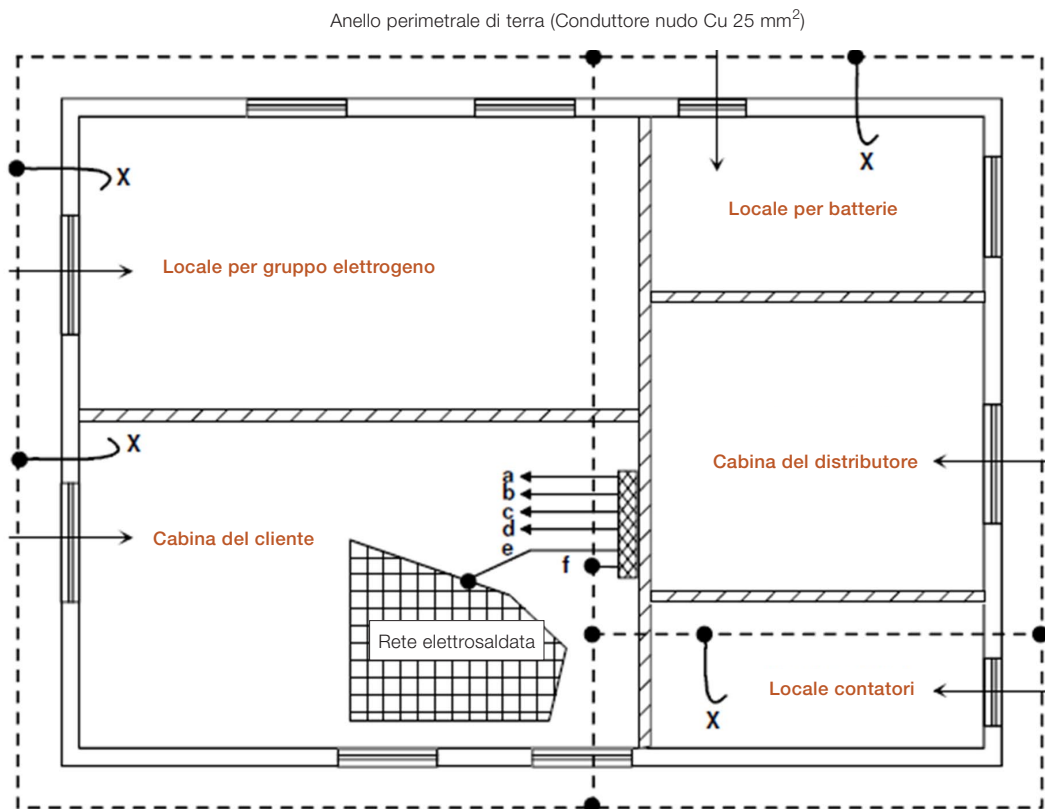
2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

2.9 Impianti di terra

Una particolare attenzione va posta alla progettazione e realizzazione dell'impianto di terra di cabina. L'impianto di terra non viene trattato direttamente dalla CEI 99-4 che rimanda per i dettagli alle norme CEI EN 50522 per i sistemi MT e CEI 64-8 limitatamente ai sistemi BT pertinenti.

Nella figura sottostante, tratta dalla Norma CEI 99-4, sono illustrate, a solo titolo di esempio, alcune particolarità dell'impianto di terra al fine di richiamare l'attenzione sugli elementi componenti l'impianto di terra.

Esempio di impianto di terra di cabina (non esecutivo) e relativo collettore (CEI 99-4, fig. A.4)



Vediamo per le tre tipologie di cabine i principali requisiti dell'impianto di terra.

Cabina isolata (separata dall'edificio)

- Se necessario inserire nello scavo di fondazione un dispersore ad anello perimetrale, realizzato in conduttore direttamente interrato in terreno vergine.
- Tutti i ferri di armatura degli elementi della fondazione possono essere utilizzati come dispersore.
- Dato che gli elementi strutturali laterali del fabbricato per questioni di staticità risultano legati tra loro, se necessario è opportuno vengano collegati alla rete elettrosaldata sottopavimento per ottenere una migliore equipotenzialità.
- Tutti gli elementi che concorrono alla formazione del dispersore dovranno essere collegati (singolarmente o a gruppi) al collettore della cabina.

Cabina compresa nella volumetria dell'edificio

- Il dispersore farà parte del dispersore generale dell'edificio, (considerato magliato o ad anello o equivalente) e sarà costituito da elementi di fatto, utilizzando i ferri delle fondazioni, eventualmente integrati da dispersore intenzionale.
- Tutti gli elementi che concorrono alla formazione del dispersore sono collegati al collettore generale di terra dell'edificio, che non necessariamente è collocato nel locale cabina.
- Il collettore di cabina è comunque collegato al collettore generale.
- In particolare in cabina e nelle sue immediate vicinanze, dovranno essere presi provvedimenti per realizzare l'equalizzazione del potenziale. Inoltre, dovranno essere valutati i provvedimenti per limitare i potenziali dovuti a guasto a terra.

Cabina in muratura tradizionale o in prefabbricato sulla copertura di un edificio

- Il dispersore farà parte del dispersore generale dell'edificio, e dovrà essere costituito da elementi di fatto, in particolare per l'equalizzazione del potenziali si consiglia siano collegati, i ferri di armatura dei pilastri e la soletta della copertura.
- Il collettore di cabina verrà collegato alla struttura dell'edificio direttamente al piano ove sarà posizionata la cabina.

Elementi del dispersore

- Il dispersore potrà essere realizzato ad anello con corda di rame o tondo di acciaio secondo la Norma CEI EN 50522 e Guida CEI 11-37.
- Se necessario, l'anello potrà essere integrato con degli sbracci o con un secondo anello più esterno a profondità maggiore, eventualmente integrato, ad esempio, con picchetti in acciaio ramato di lunghezza 1,50 m completi di collare per il fissaggio della corda di rame.
- Per la tipologia ed utilizzo degli elementi di fatto fare riferimento alla Guida CEI 64-12 o CEI 11-37.
- Vanno presi tutti i provvedimenti per limitare gli effetti della corrosione con particolare attenzione agli accoppiamenti di metalli diversi (vedi norme UNI oppure le Guide CEI 11-37 e CEI 64-12 negli ambiti pertinenti).
- Il terreno di riempimento intorno al dispersore dovrà essere del tipo vegetale e non contenere materiale di risulta.

Collettore di terra

- Il collettore di terra (a barra forata non necessariamente unica, o ad anello) deve costituire il punto di connessione tra gli elementi del dispersore di cabina, il dispersore del complesso in cui la cabina è inserita (se richiesto), i conduttori di terra MT, i conduttori di protezione BT e i conduttori equipotenziali. I condotti orizzontali, per effettuare tali collegamenti, vengono preferibilmente predisposti nel pavimento della cabina.
- Si dovranno lasciare liberi dalla gettata del pavimento le riprese dei ferri di armatura previsti quali punti di collegamento.
- Per facilitare le operazioni di manutenzione e verifica è opportuno che i singoli conduttori che arrivano al collettore siano segnalati.
- I conduttori di protezione, equipotenziali e di terra, se non nudi, devono essere con guaina di colore giallo/verde.
- Il dimensionamento relativo alle sezioni del collettore e di tutti i conduttori di protezione viene effettuato dal progettista, in funzione della corrente di guasto a terra in MT e BT.
- I conduttori equipotenziali per l'impianto MT, se di rame, devono avere una sezione minima di 16 mm², (vedere CEI EN 50522). Per gli impianti BT, i conduttori equipotenziali principali, se in rame, devono avere una sezione minima di 6 mm² (vedere la Norma CEI 64-8 per gli impianti pertinenti).

2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

2.10 Dispositivi di messa a terra funzionali alla connessione

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:

- 1) sezionare la parte di impianto interessata al lavoro;
- 2) prendere provvedimenti contro la richiusura intempestiva dei dispositivi di sezionamento;
- 3) verificare che l'impianto sia fuori tensione;
- 4) eseguire la messa a terra e in corto circuito delle parti sezionate;
- 5) provvedere alla protezione verso le eventuali parti attive adiacenti.

Per quanto riguarda il punto 4), per la realizzazione della connessione, si deve far riferimento alla Norma CEI 0-16, par 8.2.1 dove si sottolinea che l'esecuzione della messa a terra ed in cortocircuito dell'impianto AT (tensione superiore a 1 kV) può essere effettuata con due modalità:

- applicando i dispositivi mobili;
- utilizzando, ove esistenti, le apparecchiature predisposte per effettuare la messa a terra ed in cortocircuito della parte d'impianto.

L'Utente può, quindi, adottare una delle seguenti soluzioni impiantistiche:

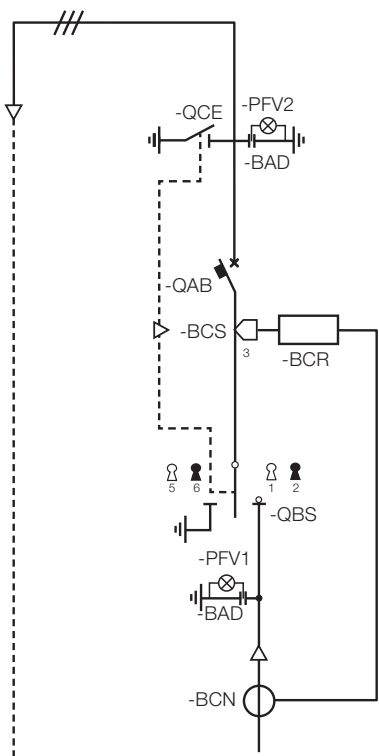
1. Non predisporre alcun sezionatore di terra immediatamente a valle dei terminali del cavo di collegamento alla rete (nel locale Utente, lato rete); in questo caso la messa a terra richiesta dalla Norma CEI 11-27 deve essere conseguita mediante l'impiego di dispositivi di messa a terra mobili realizzati secondo la Norma CEI EN 61230: Lavori sotto tensione - Dispositivi portatili di messa a terra o di messa a terra e in cortocircuito.



In particolare, l'Utente deve accertare anch'egli l'assenza di tensione sul cavo in questione, metterlo a terra e in cortocircuito con i dispositivi di messa a terra suddetti. Sul pannello la cui rimozione consente l'accesso ai terminali del cavo, deve essere apposto idoneo avviso recante "PANNELLO RIMOVIBILE SOLO DOPO L'INTERVENTO DEL DISTRIBUTORE".

2. Predisporre un sezionatore di terra immediatamente a valle dei terminali del cavo di collegamento alla rete (nel locale Utente, lato rete); in questo caso gli incaricati del Distributore stesso devono consegnare una chiave - non duplicabile per l'Utente - che viene liberata una volta chiuso il sezionatore di terra dello scomparto (cella) di consegna del Distributore e che consente la chiusura del primo sezionatore di terra dell'Utente. Su tale sezionatore di terra, deve essere apposto idoneo avviso recante "SEZIONATORE MANOVRABILE SOLO DOPO L'INTERVENTO DEL DISTRIBUTORE".

La scelta dell'una o dell'altra soluzione deve essere comunicata al Distributore preliminarmente alla connessione. A connessione esistente, l'Utente non può cambiare soluzione se non con il preventivo assenso scritto del Distributore.

[illegible]

Nella cabina MT/BT si dovranno installare i cartelli (di divieto, avvertimento e avviso) realizzati (pittogrammi ed eventuali scritte) secondo le disposizioni del Decreto Legislativo 81/2008 e s.m.i., Allegato XXV e Norma UNI EN ISO 7010:2012.

Alcuni esempi di cartelli utilizzabili in una cabina elettrica sono riportati successivamente.

- All'esterno di ciascuna porta d'accesso e su ogni lato di eventuali recinzioni:

- 19

2. Progetto e caratteristiche costruttive della cabina

Dovranno anche essere segnalate eventuali sorgenti autonome di energia in corrispondenza del dispositivo di sezionamento del circuito, la presenza di batterie di accumulatori o condensatori sulle porte delle celle corrispondenti ed infine, per cabine elettriche complesse, è opportuno che sia esposto lo schema unifilare.



Vietato alterare lo stato dell'interruttore



Cartello di divieto di accesso alle persone non autorizzate



Divieto di spegnere con acqua



Cartello di avvertimento di pericolo tensione elettrica pericolosa



Cartello di avvertimento di pericolo materiale infiammabile o alta temperatura



Cartello di avvertimento di pericolo per sorgente autonoma di energia

Da notare che i pittogrammi normalizzati possono essere combinati e integrati con scritte esplicite ai fini di una loro maggiore completezza e comprensione.



Cartello di avvertimento con riferimento esplicito alla disattivazione dell'impianto elettrico prima di iniziare lavori su di esso



Cartello combinato con divieti ed avvertimento che può essere integrato con scritte esplicite sotto uno o più elementi combinati



Cartello combinato con divieto ed avvertimento con indicazione esplicita dei divieti e degli obblighi



Cartello di identificazione dei circuiti con diverse colorazioni per i diversi livelli di tensione e per i conduttori di messa a terra



Cartello di identificazione della tensione di una cabina elettrica (quadro elettrico)



Cartello di identificazione del locale batterie di accumulatori

Di seguito si riporta il cartello per i primi soccorsi d'emergenza; la norma raccomanda di compilare i dati richiesti nella parte inferiore del cartello al fine di rendere tempestivo l'arrivo dei soccorsi.

AGIRE SUBITO - IL RITARDO È FATALE...

SOCCORSI D'URGENZA DA PRESTARE AI COLPITI DA CORRENTE ELETTRICA

AZIONE IMMEDIATA

È indispensabile quando la folgorazione compromette l'attività della respirazione e del cuore se il colpito non viene soccorso entro 3 o 4 minuti, può subire conseguenze irreparabili. Accertare innanzitutto che l'infortunato sia fuori dal contatto con le parti in tensione e dare quindi immediatamente inizio alla respirazione artificiale. **NON RITARDARE IL SOCCORSO NEPPURE PER CHIAMARE IL MEDICO**, salvo che i soccorritori siano almeno due o che l'unico soccorritore possa richiamare l'attenzione di altri senza abbandonare l'infortunato.

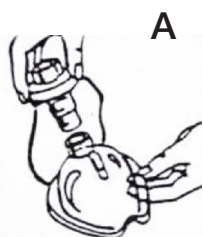
NON TOCCARE

il colpito se non si è sicuri che il medesimo non è più a contatto, o immediatamente vicino alle parti in tensione. In caso contrario togliere tensione. Qualora il circuito non possa essere prontamente interrotto, isolare adeguatamente la propria persona con guanti isolanti, panni asciutti, collocandosi su tavole di legno secco, ecc. e rimuovere l'infortunato afferrandolo preferibilmente per i vestiti se asciutti. In alternativa allontanare dall'infortunato, con un solo movimento rapido e deciso, la parte in tensione usando fioretti, pezzi di legno secco o altri oggetti in materiale isolante. Non toccare con la propria persona altri oggetti specialmente se metallici. **IN CASO DI INDISPONIBILITÀ DELLA MASCHERA ORONASALE POTRÀ ESSERE UTILIZZATA LA TECNICA BOCCA BOCCA O BOCCA NASO EVENTUALMENTE CON L'INTERPOSIZIONE DI UN FAZZOLETTO O DI UNA GARZA.**

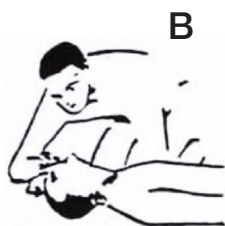
RESPIRAZIONE ARTIFICIALE

con maschera oronasale:

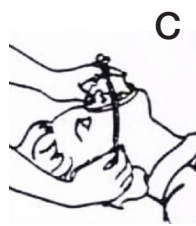
1. Adagiare il colpito sulla schiena e collocarsi dal lato della sua testa. 2. Munirsi dell'apposita maschera oronasale e posizionare correttamente il gruppo valvola nel collo della maschera (v. fig. A). 3. Piegare alquanto all'indietro il capo dell'infortunato (per aprire il passaggio dell'aria) ponendogli una mano sotto la nuca mentre con l'altra si fa leva sulla fronte (v. fig. B). 4. Applicare la maschera coprendo il naso e la bocca dell'infortunato avendo cura che lo stesso mantenga la posizione indicata in fig. B (v. fig. C). 5. Dare due lente e profonde insufflazioni ed osservare il sollevamento del torace dell'infortunato. Quando il torace ritorna in posizione naturale, praticare un ciclo regolare di 12-15 insufflazioni per minuto (v. fig. D).



A



B



C



D

IMPORTANTE: se l'infortunato vomita togliere la maschera, girare da un lato la testa e ripulire la bocca. Prima di riutilizzare la maschera soffiare nella maschera per ripulirla.

MASSAGGIO CARDIACO

Se oltre all'arresto della respirazione si constata anche l'assenza dei battiti del cuore (per ricercare questo segno comprimere con due dita il collo dell'infortunato ai lati del pomo di Adamo) occorre effettuare il massaggio esterno del cuore mediante compressioni ritmiche del torace. Per fare ciò: 1. Applicare le due mani sovrapposte con il palmo rivolto in basso in corrispondenza della parte inferiore dello sterno (v. fig. a lato). 2. Esercitare pressioni ritmiche energetiche verticali usufruendo del peso del corpo e staccando ogni volta le mani dal torace per permettergli di espandersi per elasticità. 3. Continuare con un ritmo di 50-60 pressioni al minuto. Il massaggio cardiaco deve essere sempre preceduto della respirazione artificiale con insufflazione orale. Pertanto mentre il primo soccorritore pratica la respirazione con maschera oronasale, un secondo effettuerà contemporaneamente un massaggio cardiaco. Nel caso in cui il soccorritore sia solo dovrà comportarsi così: iniziare con 5 massaggi del cuore - effettuare una insufflazione orale - riprendere con altri 5 massaggi - effettuare una insufflazione e così via. Sospendere le manovre di insufflazione soltanto quando l'infortunato avrà ripreso a respirare da solo e le pupille ritorneranno a restringersi: controllare però ancora per qualche tempo se la respirazione spontanea si mantiene. In caso contrario continuare anche durante il trasporto in ospedale e finché subentri personale sanitario specializzato.



Dopo la ripresa il colpito non deve essere rimosso finché non possa respirare normalmente senza assistenza. Egli deve essere esaminato da un medico prima che gli sia permesso di camminare. Non gli deve essere dato nessun stimolante, se non prescritto dal medico. Ricordare ancora la **TEMPESTIVITÀ È ESSENZIALE**.

IN PRESENZA DI USTIONI

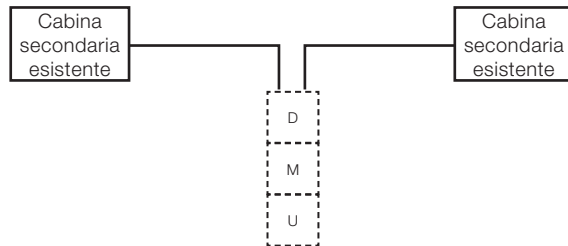
1. Iniziare innanzitutto la respirazione artificiale ed eventualmente il massaggio cardiaco se l'infortunato non respira e non presenta attività cardiaca. 2. Non rimuovere i vestiti bruciati e non rompere le vesciche. 3. Non applicare lozioni o pomate. 4. Ricoprire la parte ustionata con garza sterile, asciutta. Trattare in tal modo (ricercando se vi sono) anche le ustioni nei punti di uscita della corrente. 5. Se l'infortunato non ha perso conoscenza ed è in grado di inghiottire, gli si possono dare per bocca 300 gr. di acqua (una scodella) nella quale siano stati disciolti il bicarbonato e il sale da cucina contenuti nelle bustine in dotazione. Se l'infortunato vomita cessare immediatamente la somministrazione del liquido. 6. Trasferire senza indugio l'infortunato all'ospedale.

MEDICI PIÙ VICINI tel.
..... tel.
OSPEDALE PIÙ VICINO tel.
AMBULANZA PIÙ VICINA tel.

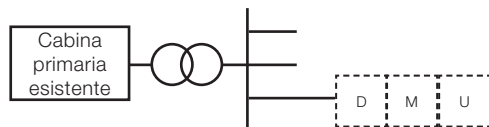
**ACCERTARSI PERÒ CHE IL COLPITO
NON TOCCHI ANCORA PARTI IN TENSIONE**

3. Schemi di principio della connessione

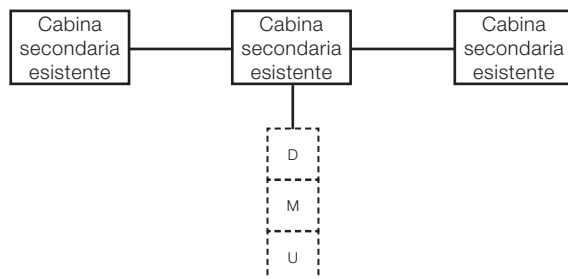
Gli schemi di principio inerenti l'inserimento dell'impianto di Utente sulla rete del Distributore degli impianti di connessione sono riportati nelle figure seguenti:



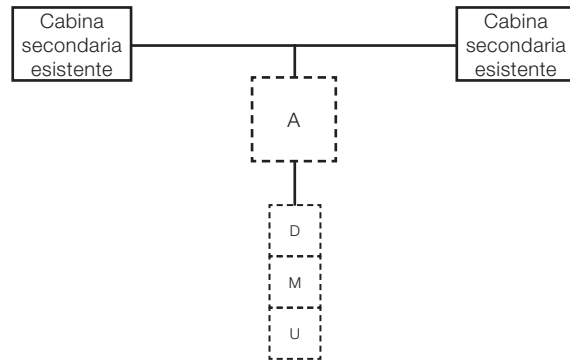
Schema A: Inserimento in entra-esce per la connessione in prossimità di una linea esistente, in modo da generare due soli tratti di linea afferenti a due cabine secondarie distinte. Secondo tale schema è possibile la rialimentazione dell'Utente offrendo una maggiore continuità del servizio.



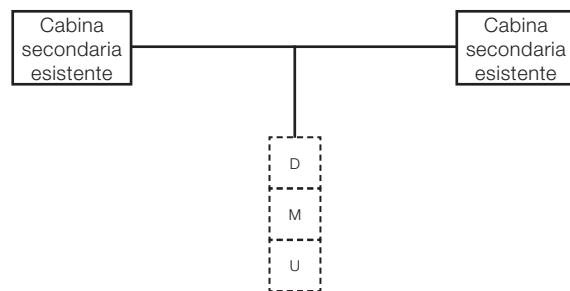
Schema B1: Inserimento in antenna da stazione AT/MT; in questo caso si prevede la realizzazione di una linea alimentata direttamente da una cabina primaria AT/MT. Tale tipologia d'inserimento può essere adottata qualora non sia possibile tecnicamente l'inserzione lungo una linea esistente. In ogni caso, il locale dedicato all'impianto di rete presso l'utenza deve poter ospitare le apparecchiature per un'eventuale adozione successiva dell'inserimento in entra-esce.



Schema B2: Inserimento in antenna da cabina MT/BT per la connessione tramite un tratto di linea connesso alle sbarre MT di una cabina di distribuzione esistente. Il locale dedicato all'impianto di rete presso l'utenza deve poter ospitare le apparecchiature per un'eventuale adozione successiva dell'inserimento in entra-esce.



Schema C: Inserimento in antenna con O.d.M. (organo di manovra, eventualmente in cabina aggiunta A) lungo una linea esistente. A partire da O.d.M., si prevede una linea dedicata all'alimentazione di un'utenza. L'eventuale locale dedicato all'O.d.M. deve poter ospitare le apparecchiature per una possibile adozione successiva dell'inserimento in entra-esce.



Schema D: Inserimento in derivazione rigida a T su una linea MT esistente di un tratto di linea con il solo interruttore in corrispondenza dell'impianto di rete per la connessione. Tale schema è il più semplice ed il meno oneroso, ma riduce l'affidabilità delle reti; esso offre inoltre una continuità del servizio inferiore. Questa connessione è da intendersi come eccezionale.

Concludendo, a prescindere dalla soluzione di connessione prescelta, per l'impianto di rete presso l'utenza si ha sempre la situazione impiantistica della figura a pagina 5. A partire dal cavo MT a valle del punto di connessione, la figura indica lo schema dell'impianto di un Utente passivo per la connessione. Con riferimento alla suddetta figura, la cabina del Distributore presso l'utenza è la cabina realizzata per connettere l'impianto dell'Utente.

4. Dimensionamento e scelta delle apparecchiature e dei componenti

La scelta dello schema elettrico della cabina, e quindi delle relative apparecchiature, dipende da diversi elementi quali:

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

Se è vero che le apparecchiature e i componenti delle cabine devono essere scelti in base alle caratteristiche nominali ed alle condizioni ambientali del luogo di installazione è altresì importante, sulla base di quanto visto nei capitoli precedenti, adottare in fase di progettazione della cabina gli accorgimenti necessari affinché le temperature di funzionamento non superino i valori massimi ammissibili consentiti dalle Norme di prodotto degli apparecchi, per non pregiudicarne la vita elettrica e la sicurezza.

Con riferimento in particolare alla Norma CEI 0-16, sono elementi fondamentali per la connessione alla rete del Distributore il dispositivo generale o DG e il Sistema di protezione associato al Dispositivo Generale (ovvero Sistema di Protezione Generale, SPG nel seguito).

L'SPG è composto da:

- trasformatori/trasduttori di corrente di fase e di terra (ed eventualmente trasformatori/trasduttori di tensione) con le relative connessioni al relè di protezione
- relè di protezione con relativa alimentazione
- circuiti di apertura dell'interruttore.

Di seguito vengono illustrate le principali caratteristiche tecniche e le possibilità di scelta di questi dispositivi.

4.1 Sezionatori, interruttori di manovra, apparecchi multifunzione

Nei sistemi MT deve essere previsto un dispositivo di sezionamento a monte di ogni interruttore di manovra che non soddisfi le Norme dei sezionatori, ad esempio un interruttore automatico non estraibile, e anche sulle linee di alimentazione o con possibile alimentazione di ritorno.

I fusibili di MT, in particolare, devono essere associati ad un dispositivo di manovra e sezionamento che ne consenta la sostituzione in sicurezza, come ad esempio un interruttore di manovra sezionatore.

Viceversa, gli interruttori automatici in esecuzione estraibile delle apparecchiature prefabbricate con involucro metallico trattate nella Norma CEI EN 62271-200 svolgono anche la funzione di sezionamento.

I sezionatori non essendo dotati di potere di chiusura e interruzione, devono essere manovrati in assenza di corrente e sono in genere interbloccati con i relativi apparecchi di manovra in modo da impedire la loro apertura o chiusura sotto carico.

Inoltre ad ogni dispositivo di sezionamento è opportuno associare un sezionatore di terra interbloccato con la sua posizione di aperto o sezionato.

Per i motivi suddetti è spesso preferibile prevedere un apparecchio multifunzione; questi apparecchi, in quanto coordinati, consentono infatti di risolvere tutte le problematiche relative agli interblocchi con soluzioni meccaniche testate in fabbrica.

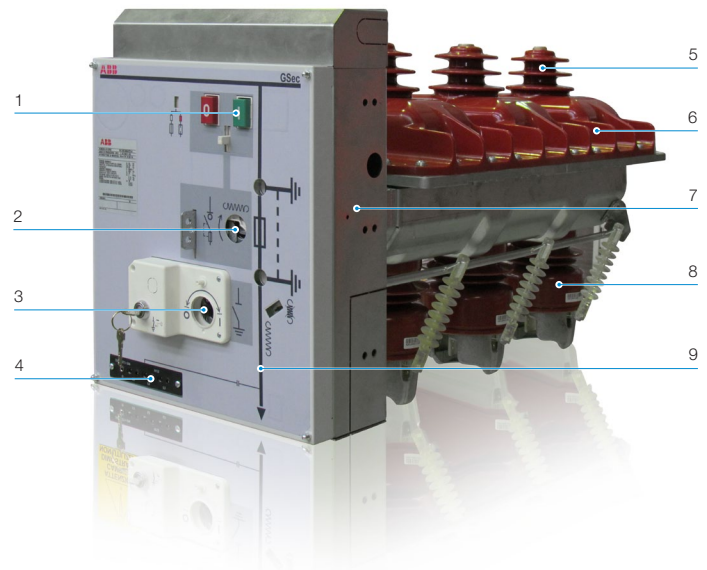
4. Dimensionamento e scelta delle apparecchiature e dei componenti

Esistono fondamentalmente due tipi di apparecchi multifunzione:

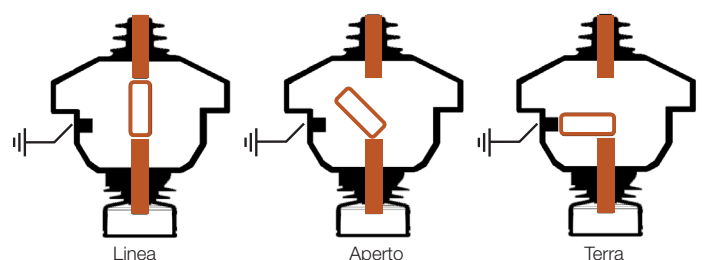
- interruttore di manovra-sezionatore di linea/sezionatore di terra
- interruttore/sezionatore di linea/sezionatore di terra

L'interruttore di manovra-sezionatore/sezionatore di terra ABB tipo GSec segue appunto questa filosofia costruttiva. Il contenitore è formato da due semi gusci; quello superiore in resina epossidica isolante consente di ridurre al minimo le distanze verso le pareti del quadro elettrico e quindi di ottenere soluzioni particolarmente compatte. Il semi guscio inferiore, invece, è di acciaio inossidabile e consente la segregazione metallica tra il comparto sbarre e il comparto adiacente del quadro elettrico, consentendo la messa a terra dei due compartimenti e quindi al personale di operare nella massima sicurezza. Grazie a questa soluzione è possibile progettare quadri elettrici classificati come PM (Partizione Metallica).

In accordo alla Norma CEI EN 62271-1, l'apparecchio è classificato come "sistema a pressione sigillato" in quanto non sono richiesti interventi relativi al gas durante la sua vita operativa, in questo caso per 30 anni. Anche l'elevato numero di manovre meccaniche (classe M2=5000 manovre con comando a molla singola e classe M1=1000 manovre con comando a doppia molla) ed elettriche (classe E3 sui contatti di linea con 5 chiusure su correnti di corto circuito e 100 interruzioni alla corrente nominale) contribuisce a farne un dispositivo praticamente privo di manutenzione. A migliorare ulteriormente la compattezza contribuisce anche l'integrazione delle prese capacitive e degli attacchi cavi direttamente sugli isolatori inferiori. Il quadro può quindi montare un sistema VPIS (Voltage Presence Indicating System) ovvero un sistema di segnalazione di presenza della tensione sui cavi collegati all'apparecchio stesso in accordo alla Norma IEC 61958. A completamento delle misure in favore della sicurezza troviamo la segnalazione meccanica della posizione dell'apparecchio, segnalazione collegata direttamente all'albero di manovra dello stesso (come da Annex A delle IEC 62271-102).



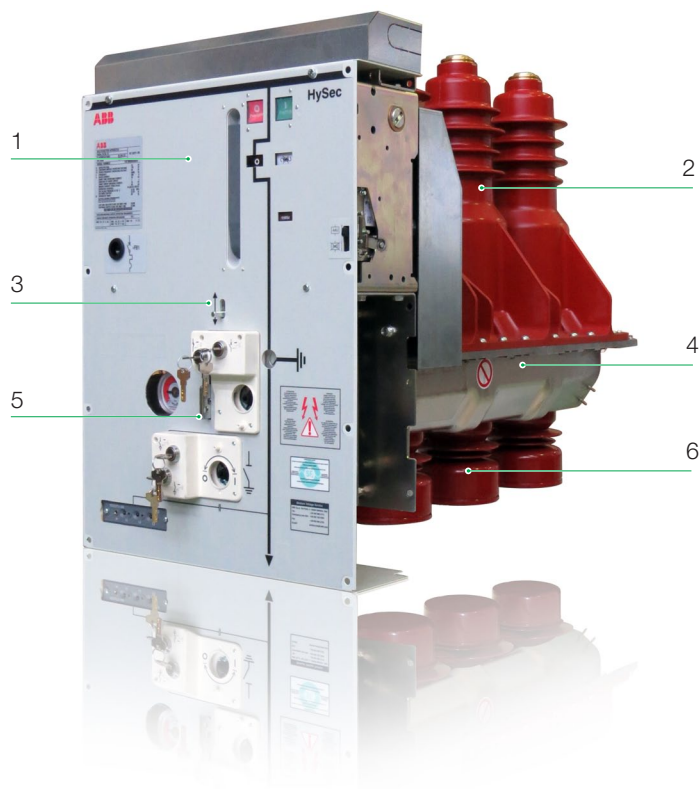
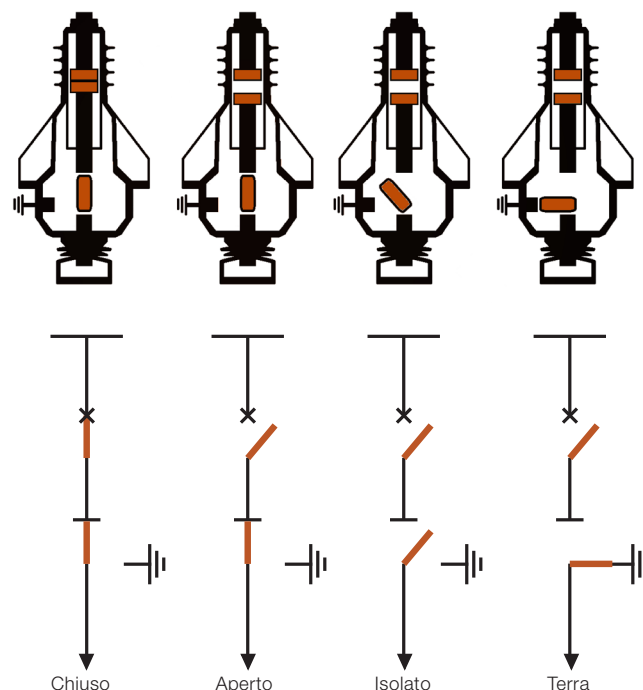
- | | |
|--|---------------------------|
| 1. Pulsanti di chiusura e di apertura | 5. Isolatori superiori |
| 2. Innesto leva per la manovra di linea | 6. Involucro (power part) |
| 3. Innesto leva per la manovra di terra | 7. Sede del comando |
| 4. Lampade presenza tensione (se previste) | 8. Isolatori inferiori |
| | 9. Schema sinottico |



Un'ulteriore evoluzione di questo concetto è l'apparecchio multifunzione ABB denominato HySec, soluzione integrata e molto compatta che unisce le funzioni di tre diversi dispositivi: l'interruttore, il sezionatore di linea e il sezionatore di terra; come nel caso del GSec, la parte inferiore in acciaio inossidabile consente la segregazione metallica tra il comparto cavi e il comparto sbarre garantendo la massima sicurezza per l'operatore durante l'installazione o la manutenzione del quadro ma, al tempo stesso, garantendo la continuità di servizio. Anche in questo caso è da considerare che gli interblocchi tra le varie funzioni fanno parte dell'apparecchio stesso e sono quindi testate in fabbrica. La soluzione integrata è quindi particolarmente interessante per l'utilizzo nei quadri di media tensione per la distribuzione secondaria.

Nella parte superiore è integrata la funzione di interruttore e a tal scopo nel semiguscio superiore è alloggiato un interruttore in vuoto. Il semiguscio inferiore alloggia un interruttore di manovra-sezionatore di linea (per isolare i cavi dalle sbarre) e sezionatore di terra (per mettere a terra i cavi stessi). L'utilizzo delle ampole in vuoto per l'interruzione delle correnti di corto circuito consente di isolare in modo brillante la camera d'arco dell'interruttore dal restante ambiente, riempito di SF₆, che è quindi finalizzato all'isolamento e al funzionamento del sezionatore. L'interruzione in vuoto, inoltre, garantisce elevate prestazioni elettriche.

L'apparecchio è molto flessibile in quanto può essere utilizzato sia come unità di ingresso che di uscita. Inoltre il numero molto limitato di componenti che caratterizza questa soluzione integrata e il fatto che sia testata come un unico apparecchio la rende intrinsecamente molto affidabile. In accordo alla Norma CEI EN 62271-1, l'apparecchio è classificato come "sistema a pressione sigillato" in quanto non sono richiesti interventi relativi al gas durante la sua vita operativa, in questo caso per 30 anni. A migliorare ulteriormente la compattezza contribuisce anche l'integrazione delle prese capacitive e degli attacchi cavi direttamente sugli isolatori inferiori.



1. Comando della parte interruttiva
2. Involucro in resina della parte interruttiva
3. Interblocco meccanico tra sezionatore di linea e sezionatore di terra
4. Parte inferiore in acciaio inossidabile
5. Comando del sezionatore di linea e del sezionatore di terra
6. Isolatori inferiori con le prese capacitive integrate

4. Dimensionamento e scelta delle apparecchiature e dei componenti

4.2 Interruttori

È importante sottolineare che come dispositivo generale DG è consigliato utilizzare un interruttore perché la norma impone a tutti gli Utenti MT la protezione contro i guasti a terra. La scelta del dispositivo generale può quindi ricadere o nel già visto apparecchio multifunzione o, nel caso sia richiesta una soluzione più tradizionale e con caratteristiche elettriche più performanti in termini di corrente nominale e di potere d'interruzione, sugli interruttori. Ovviamente la Norma CEI 99-4 sottolinea che nei sistemi MT gli interruttori devono avere un potere di interruzione e di chiusura adeguato alla corrente di cortocircuito calcolata nel punto di installazione. Suggerisce altresì di predisporre un allarme che evidenzii immediatamente la mancanza di energia del comando al fine intervenire immediatamente per il ripristino della sua alimentazione (vedi anche Norma CEI 0-16).

Gli interruttori ABB della serie VD4/R e HD4/R con comando laterale sono stati progettati specificatamente per l'utilizzo nei quadri di distribuzione secondaria e trovano impiego nelle cabine di trasformazione MT/BT del settore industriale in genere e del terziario. L'impiego degli interruttori in vuoto presenta particolari vantaggi nei sistemi di potenza dove sono richieste frequenti manovre con correnti d'esercizio normali. Gli interruttori in vuoto VD4/R presentano un'affidabilità di funzionamento elevata e una lunga durata. L'interruttore di media tensione in gas HD4/R, utilizza il gas SF_6 per estinguere l'arco elettrico e come mezzo isolante. Anche questo interruttore come il precedente è realizzato con tecnica a poli separati. La costruzione è compatta, resistente e di peso limitato ed è un sistema a pressione sigillato a vita (norme IEC 62271-1).



Interruttori in gas HD4/R-Sec



Interruttori in vuoto VD4/R-Sec
(con relè REF601 e sensori di corrente)

4.3 Trasformatori di misura e protezione

I TA (trasformatori di corrente o amperometrici) e i TV (trasformatori di tensione o voltmetrici) vengono previsti negli impianti per ridurre i valori di corrente e tensione dell'impianto a valori tali da poter essere rilevati da apparecchiature di misura e protezione; altra funzione importante è quella di rendere galvanicamente indipendenti i circuiti secondari di misura e protezione rispetto al circuito primario di potenza, garantendo quindi una maggiore sicurezza per gli operatori. Per una maggior comprensione adottiamo le sigle definite dalla Norma CEI 0-16:

- TA-I: Trasformatori/trasduttori di corrente di tipo induttivo
- TA-NI: Trasformatori/trasduttori di corrente non induttivi
- TA-T: Trasformatori/trasduttori di corrente di tipo induttivo senza avvolgimento primario (di tipo toroidale)
- TO: Trasformatore/trasduttore di corrente residua di tipo induttivo senza avvolgimento primario (di tipo toroidale).
- TV-I: Trasformatori/trasduttori di tensione di tipo induttivo
- TV-NI: Trasformatori/trasduttori di tensione non induttivi, impiegabili sulle reti MT

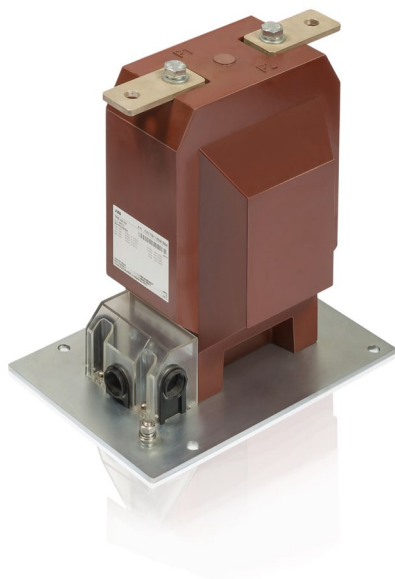
Trasformatori di tipo induttivo (TA-I, TA-T, TO, TV-I)

I principali riferimenti Normativi per i TA e TV anche di tipo induttivo (con lamierini in ferro) nelle reti di media tensione sono:

CEI EN 61869-1: Trasformatori di misura, Parte 1: Prescrizioni generali

CEI EN 61869-2: Trasformatori di misura, Parte 2: Prescrizioni addizionali per trasformatori di corrente

CEI EN 61869-3: Trasformatori di misura, Parte 3: Prescrizioni addizionali per trasformatori di tensione induttivi



In queste Norme sono riportate le caratteristiche costruttive e la definizione delle classi di precisione. Va considerato che la classe di precisione per TA e TV di misura ed i TV di protezione, è funzione del carico che viene collegato al secondario: la precisione è garantita solo quando il carico secondario è maggiore del 25% della prestazione nominale del trasformatore. Considerando gli attuali bassi consumi della apparecchiatura collegata al secondario è quindi essenziale che anche la prestazione dei TV (sia di misura che di protezione) come pure dei TA di misura sia limitata per garantire che il trasduttore operi all'interno della classe di precisione per cui è stato previsto.

Trasformatori di corrente (TA-I, TA-T, TO) di tipo induttivo

Una precisazione importante va fatta a proposito dei TA relativamente alla forma costruttiva ed al metodo di misura. Il riferimento è in particolare ai TA toroidali che sono TA a tutti gli effetti e come tali devono essere classificati. Il TA può essere di:

- tipo avvolto TA-I (come normalmente sono i TA all'interno dei quadri di media tensione) con riportati all'esterno i due morsetti terminali del circuito primario e i morsetti terminali del circuito secondario. Il circuito primario può essere in questo caso con numero di spire anche diverso da 1;
- tipo a barra passante TA-T in cui vi è un pezzo di sbarra (generalmente di rame) già annegata nella resina. In questo caso i terminali dell'avvolgimento primario sono gli estremi della sbarra, mentre gli estremi dell'avvolgimento secondario vengono riportati sui morsetti esterni. Il numero di spire primarie in questo caso è comunque sempre pari a 1;
- tipo toroidale TO ove il primario non è previsto e sarà costituito dai cavi MT che passano nel foro centrale del TA; gli estremi dell'avvolgimento secondario vengono riportati sui morsetti esterni. Il numero di spire primario in questo caso è comunque in generale pari a 1 a meno che non venga fatto passare il conduttore più volte nel TA. Questi TA possono anche essere costruiti di tipo apribile per una più facile installazione in impianti esistenti.



4. Dimensionamento e scelta delle apparecchiature e dei componenti

Per tutte le tipologie di TA, le classi di precisione sono analoghe e definite in accordo alla norma.

A seconda di come il TA viene inserito in rete può eseguire misure di significato diverso. In particolare:

il TA che viene inserito su una sola fase (ad esempio TA toroidale che abbraccia solo una fase) misura correnti di linea (di fase);

il TA che viene inserito sulle tre fasi (ad esempio TA toroidale che racchiude al suo interno i conduttori delle tre fasi) misura la somma vettoriale delle correnti (in realtà la somma dei flussi) e quindi la corrente omopolare.

Quanto precedentemente evidenziato per indicare che indipendentemente dalla forma costruttiva, la misura che si ottiene al secondario dei TA è funzione del modo con cui viene inserito in rete.

I TA servono a tradurre correnti dal circuito di potenza al circuito di misura. Sono dalla norma classificati in due tipologie:

- TA di misura a cui si collegano strumenti di misura quali amperometri, wattmetri, convertitori, ecc.;
- TA di protezione al cui secondario vengono collegati i relè di protezione. Questa classificazione fa riferimento a sistemi di misura e protezioni indipendenti. Oggi con le apparecchiature digitali (Unità REF) la protezione e la misura sono svolte dal medesimo apparecchio e non sono previsti ingressi separati da TA con caratteristiche differenti (misura e protezione). Conseguentemente per ottenere corretto utilizzo dei relè digitali, i TA vanno scelti con la doppia classe di precisione ad esempio:

100/1 - 4 VA - Cl. 0,5 + 5P10

Le due classi di precisione sono definite per diversi campi di funzionamento del TA e possono quindi coesistere.

Analogamente a quanto descritto per i TA, lo stesso ragionamento si può fare per i TV. Quindi quando si utilizzano relè digitali della famiglia RE_, l'accortezza è di scegliere TV con la doppia classe di precisione, ad esempio:

6000: $\sqrt{3}$ / 100: $\sqrt{3}$ - 10 VA - Cl. 0,5 + 3P

TA di misura

Dato essenziale nella scelta delle caratteristiche dei TA di misura è che la classe di precisione è garantita per carichi secondari maggiori del 25% rispetto alla prestazione nominale.

Quando la strumentazione era elettromeccanica era quindi logico acquistare TA con elevate prestazioni, ma oggi, con la strumentazione digitale, possono essere acquistati TA con prestazioni veramente limitate (tipicamente 5 massimo 10 VA).

I TA di misura hanno come prerogativa la caratteristica di saturare per correnti di poco al di sopra della corrente nominale primaria per garantire la protezione degli strumenti (tipicamente in grado di sopportare al massimo 20 I_n per 0,5 secondi) in caso di cortocircuito. Per i TA di misura, in accordo alla norma, deve quindi essere definito un fattore di sicurezza (F_s) tale per cui, per correnti superiori a $F_s \times I_n$, il TA è sicuramente saturato (proteggendo conseguentemente il circuito secondario).

Nella realtà il TA non viene caricato al secondario fino alla sua prestazione nominale ma ad un carico inferiore. Il fattore di sicurezza reale (F'_s) risulta quindi maggiore del nominale ed una verifica è essenziale per garantire che la strumentazione collegata al circuito secondario risulti adeguatamente protetta. Il fattore limite di sicurezza vero, può essere calcolato con la relazione seguente:

$$F'_s = F_s \cdot \frac{S_{TA} + S_N}{S_{TA} + S_{VERO}}$$

F'_s = fattore di sicurezza vero al carico secondario reale;

F_s = fattore di sicurezza nominale del TA;

S_N = prestazione nominale del TA;

S_{TA} = autoconsumo del TA = $R_{TA} \times I_{2N}^2$;

I_{2N} = corrente nominale secondaria del TA;

R_{TA} = resistenza secondaria del TA a 75 °C;

S_{VERO} = carico vero a secondario del

TA = $I_{2N}^2 \times (R_{STRUMENTI} + R_c)$;

R_c = resistenza del circuito di cablaggio;

$R_{STRUMENTI}$ = carico (autoconsumo) della strumentazione collegata al secondario del TA.

Due esempi possono essere di ausilio relativamente alla scelta delle caratteristiche dei TA di misura ed agli errori che si commettono in caso di sovradimensionamento.

Si consideri un TA con rapporto 100/1 con carico secondario costituito da un amperometro (autoconsumo 0,5 VA) ed un convertitore multifunzione (autoconsumo 0,5 VA). Resistenza del circuito secondario tra morsetti del TA e strumentazione 0,1 ohm.

Esempio 1

TA 100/1 - Cl. 0,5 - 4 VA - $F_s = 5$ - $R_{TA} = 0,8$ ohm

Il carico reale secondario è pari a 1,1 VA ovvero il 27,5% della prestazione nominale, quindi la classe di precisione è garantita.

Il fattore di sicurezza reale vale:

$$F'_s = F_s \cdot \frac{S_{TA} + S_N}{S_{TA} + S_{VERO}} = 5 \cdot \frac{0,8 + 4}{0,8 + 1,1} = 12,6$$

Il TA satura per correnti inferiori alla tenuta degli strumenti collegati al secondario e quindi risulta adeguatamente dimensionato.

Esempio 2

TA 100/1 - Cl. 0,5 - 10 VA - $F_s = 10$ - $R_{TA} = 0,8$ ohm

Il carico reale secondario è pari a 1,1 VA ovvero 11,5 % della prestazione nominale, quindi la classe di precisione non è garantita. Il fattore di sicurezza reale vale:

$$F'_s = F_s \cdot \frac{S_{TA} + S_N}{S_{TA} + S_{VERO}} = 10 \cdot \frac{0,8 + 10}{0,8 + 1,1} = 57$$

Il TA satura per correnti superiori alla tenuta degli strumenti collegati al secondario e quindi in caso di cortocircuito in rete si può avere la distruzione degli strumenti e la conseguente apertura del circuito secondario con grave rischio per la sicurezza del personale (sovratensioni). Risulta quindi evidente come ogni secondario dei TA di misura debba essere accuratamente dimensionato onde evitare gravi danni all'impianto in caso di guasto e poter ottenere misure nella classe di precisione richiesta.

TA di protezione

I TA che vengono associati alle protezioni hanno la peculiarità di non saturare fino a quando l'intervento della protezione non è garantito per la massima corrente di cortocircuito. Il parametro che nei TA di protezione definisce il valore entro cui la risposta risulta lineare è il fattore limite di precisione (FL) normalmente pari a 10-15-20 oppure anche maggiore.

Nella scelta delle caratteristiche del TA di protezione (prestazione e fattore limite di precisione) occorre rispettare le seguenti condizioni:

- la prestazione del TA deve essere superiore al carico secondario (relè e cablaggio);
- i TA da associare alle protezioni di massima corrente non devono saturare fino a quando non ne è garantito il sicuro funzionamento. Generalmente per i relè ABB si può considerare che la saturazione deve avvenire almeno al doppio del valore di regolazione con un minimo di 20 In, ma valori precisi sono reperibili nei cataloghi delle varie tipologie di relè;
- i TA da associare a protezioni particolari quali relè differenziali, distanziometrici, ecc. devono avere fattore di sicurezza definiti caso per caso e riportati nei cataloghi dei relè;
- i TA devono saturare per valori appropriati di corrente al fine di leggere correttamente le sovracorrenti e allo stesso tempo di preservare i relè ed i circuiti secondari in caso di cortocircuito. Tipicamente i relè di massima corrente hanno una sopportabilità pari a 100 In per 1 secondo e 250 In di picco, ma valori più precisi sono reperibili nei cataloghi dei vari relè.

L'ultima condizione è generalmente poco considerata e può essere causa di gravi danni ai componenti se non verificata.

Come per il fattore limite di sicurezza per i TA di misura, anche per i TA di protezione il fattore limite di precisione vero deve essere calcolato in funzione del carico realmente collegato al secondario, e può essere calcolato con la relazione seguente:

$$F'_L = F_L \cdot \frac{S_{TA} + S_N}{S_{TA} + S_{VERO}}$$

F'_L = fattore limite di precisione vero al carico secondario reale;

F_L = fattore limite di precisione nominale del TA;

S_N = prestazione nominale del TA;

S_{TA} = autoconsumo del TA = $R_{TA} \times I_{2N}^2$;

I_{2N} = corrente nominale secondaria del TA;

R_{TA} = resistenza secondaria del TA a 75 °C;

S_{VERO} = carico vero a secondario del TA = $I_{2N}^2 \times (R_{RELE'} + R_C)$;

R_C = resistenza del circuito di cablaggio;

$R_{RELE'}$ = carico (autoconsumo) dei relè collegati al TA.

4. Dimensionamento e scelta delle apparecchiature e dei componenti

Come per i TA di misura, due esempi possono essere significativi per la verifica delle caratteristiche di TA di protezione. Si consideri un TA con rapporto 100/1 con carico secondario costituito da un relè di massima corrente (autoconsumo 0,05 VA). Resistenza del circuito secondario tra morsetti del TA e relè 0,1 ohm, quindi il carico reale secondario è pari a 0,15 VA.

Esempio 1

TA 100/1 – 4 VA – 5P10 - $R_{TA} = 0,8$ ohm

Il fattore limite di precisione reale vale:

$$F'_L = F_L \cdot \frac{S_{TA} + S_N}{S_{TA} + S_{VERO}} = 10 \cdot \frac{0,8 + 4}{0,8 + 0,15} = 50,5$$

Il TA satura per corrente sufficientemente elevata per una protezione di massima corrente (massima regolazione del relè in generale non superiore a 20 In). Il relè e tutto il circuito secondario (morsetti e cavetteria) sono adeguatamente protetti da correnti di cortocircuito molto elevate.

Esempio 2

TA 100/1 – 10 VA – 5P20 - $R_{TA} = 0,8$ ohm

Il fattore limite di precisione reale vale:

$$F'_L = F_L \cdot \frac{S_{TA} + S_N}{S_{TA} + S_{VERO}} = 20 \cdot \frac{0,8 + 10}{0,8 + 0,15} = 227$$

Se il TA è inserito in un circuito in cui la corrente di cortocircuito è elevata (ad esempio un quadro da 31,5 kA) in caso di cortocircuito anziché l'intervento della protezione per comandare l'apertura dell'interruttore, si ha la probabile distruzione del relè con le conseguenze che è possibile immaginare.

Risulta quindi evidente come anche per i TA di protezione, ogni secondario debba essere accuratamente calcolato onde evitare gravi danni in impianto in caso di guasto e poter garantire la sicura la protezione della parte di rete sottesa.

Trasformatori di tensione (TV-I) di tipo induttivo

Per i trasformatori di tensione sia per strumenti di misura che per relè di protezione vale la stessa regola dei TA di misura relativamente al campo entro cui è garantita la classe di precisione: la classe di precisione è garantita solo se il

carico secondario è maggiore del 25% della prestazione nominale. Non è facile riuscire a garantire che un TV operi nella classe di precisione quando al secondario si collega una strumentazione (relè o strumenti di misura) che ha un autoconsumo di frazioni di VA.

L'utilizzo di carichi zavorra (resistenze) da inserire al secondario dei TV quando questi sono stati scelti con prestazioni troppo elevate per poter garantire la classe di precisione, ha due inconvenienti:

- si aggiunge nel circuito (che può anche essere di protezione) un elemento che si può guastare e quindi riduce l'affidabilità complessiva del sistema;
- si introduce un elemento riscaldante nella cella misure del quadro con evidenti problemi di estrazione del calore.

Nella scelta dei TV occorre tener conto anche di eventuale ferrorisonanza. Il fenomeno della ferrorisonanza è un aspetto tipico dei TV, inseriti su reti in cavo con neutro isolato o non efficacemente messo a terra. La capacità del cavo, insieme all'induttanza dei TV, costituisce un circuito oscillante (R L C). Sul circuito si possono quindi verificare delle condizioni per cui il circuito stesso entri in risonanza (reattanza capacitiva=reattanza induttiva satura del TV) e, pur cessando la causa che ha provocato la saturazione (ad esempio un guasto a terra), permane un'oscillazione transitoria (a frequenza multipla di quella della rete) di energia reattiva messa in gioco dai componenti del circuito oscillante. A causa della frequenza di questa oscillazione, si produce una permanente ed elevata circolazione di corrente nel solo avvolgimento primario. Essendo tale corrente solo magnetizzante, l'avvolgimento secondario è scarsamente interessato, per cui si ha un elevato riscaldamento al primario e trascurabile al secondario. L'anormale riscaldamento degli avvolgimenti produce sempre una forte pressione interna con conseguente rottura dell'involucro esterno. Gli accorgimenti che si prendono per evitare fenomeni di ferrorisonanza sono principalmente:

- aumentare l'impedenza di magnetizzazione del TV;
- utilizzare TV che lavorano ad induzione inferiore a quella preconizzata;
- utilizzare TV con lamierini ad alta permeabilità;
- inserire resistenze di smorzamento (o comunque dispositivi con resistenza non lineare) in serie agli avvolgimenti secondari collegati a triangolo aperto (il relè di tensione deve essere collegato in parallelo alla resistenza antiferrorisonanza).
- utilizzare il dispositivo ABB VT Guard Pro collegato al triangolo aperto, che provvede ad aumentare la resistenza all'aumentare della tensione.

Per la misura delle tensioni omopolari (necessarie per identificare i guasti a terra) si utilizzava in passato una terna secondaria dei TV collegata a triangolo aperto. Nelle moderne apparecchiature digitali non è più necessario prevedere questo secondario dei TV in quanto la tensione omopolare (somma vettoriale delle tre tensioni di fase) viene calcolata internamente al relè stesso (spesso il segnale che proviene dal secondario a triangolo aperto ha una precisione inferiore).

Sensori di corrente e tensione non induttivi (TA-NI, TV-NI)

Essendo estremamente ridotta la potenza assorbita dai dispositivi che vengono collegati sul circuito secondario non è più necessario disporre di circuiti magnetici per l'accoppiamento tra circuito primario e secondario. Sono stati quindi sviluppati sensori di corrente o TA in aria (bobina di Rogowsky) e sensori di tensione (partitori di tensione) che eliminano gli aspetti negativi dei trasformatori di tipo induttivo (ciclo di isteresi). Si fa riferimento in particolare a:

- saturazione: con i sensori di corrente non esiste il fenomeno della saturazione (non vi è ferro) e quindi la definizione del fattore limite di precisione non è più un problema;
- prestazione: si è visto negli esempi precedenti come sia difficile conciliare la prestazione dei trasformatori di misura con i carichi collegati al secondario. Infatti la necessità di avere almeno il 25% di carico per garantire la precisione non è più un problema;
- correnti e tensioni nominali primarie: la linearità di risposta consente di coprire il 95% delle applicazioni con solo due o tre tipi di trasduttore con vantaggi notevoli per la standardizzazione delle celle del quadro e la possibilità di una loro rapida riconversione;
- non esiste più la necessità di avere TA o TV di misura e/o TA o TV di protezione in quanto la precisione è costante e non vi è più la problematica della saturazione.

Le Norme di riferimento (in corso di revisione) per i sensori di corrente e di tensione sono:

- CEI EN 60044-8: Trasformatori di misura, Parte 8: Trasformatori di corrente elettronici
- CEI EN 60044-7: Trasformatori di misura, Parte 7: Trasformatori di tensione elettronici

Per i sensori di corrente o TA in aria, la principale caratteristica è che si tratta di trasformatori in cui il circuito magnetico è sostituito dall'aria. Dato peculiare di questi tipi di TA è che il segnale secondario non è proporzionale alla grandezza primaria, bensì alla sua derivata (che opportunamente integrata nei dispositivi collegati al secondario consente di ottenere la misura della corrente). Come già evidenziato non si hanno fenomeni di saturazione, ma come aspetto negativo vi è in generale la classe di precisione che allo stato attuale della progettazione non raggiunge le caratteristiche che si possono avere per i TA di misura di tipo induttivo.

Per i sensori di tensione la principale caratteristica è l'assenza del fenomeno di ferrorisonanza (ovvio in quanto non esiste più ferro). Questo è un vantaggio non trascurabile ove vi è ancora l'utilizzo di reti esercite con il neutro isolato. Come per i TA in aria, anche per i partitori di tensione (TV), allo stato attuale della tecnologia, la classe di precisione non raggiunge ancora quella dei TV di tipo induttivo.

Gli interruttori ABB della serie VD4/R e HD4/R possono essere equipaggiati con due o tre sensori di corrente; tre sensori di corrente sono necessari per eseguire le funzioni di protezione di massima corrente istantaneo omopolare e massima corrente a tempo inverso omopolare per sommatoria vettoriale delle correnti di fase; qualora tali funzioni vengano eseguite con trasformatore di corrente toroidale esterno, possono essere installati solo due sensori di corrente; a richiesta è disponibile il trasformatore toroidale esterno.

I sensori di corrente sono del tipo in aria visto precedentemente (bobine di Rogowsky) incapsulate in resina epossidica.



5. Relè di protezione

La Norma CEI 99-4 ribadisce che ogni circuito equipaggiato con interruttore deve essere dotato di dispositivi di protezione contro le sovracorrenti che agiscono sul comando di apertura dell'interruttore. I dispositivi di protezione possono essere:

- relè diretti montati a bordo interruttore e alimentati direttamente dalla corrente primaria (non utilizzati in media tensione)
- relè indiretti senza alimentazione ausiliaria
- relè indiretti con alimentazione ausiliaria

I relè di massima corrente devono essere scelti tenendo conto delle caratteristiche del circuito da proteggere e del coordinamento selettivo delle protezioni; nel caso venga imposta dal Distributore una protezione con intervento istantaneo, può risultare impossibile realizzare un coordinamento selettivo delle protezioni nell'ambito della rete interna di distribuzione MT (qualora presente) causa l'intervento istantaneo dell'interruttore generale. In questo caso è possibile però limitare il disservizio conseguente a guasto nella rete interna adottando ad esempio uno schema di distribuzione adeguato (ad es. radiale doppio, anello aperto) e opportuni dispositivi per individuare il tronco guasto oppure realizzare una selettività amperometrica con la rete in BT. La Norma CEI 0-16 ha introdotto regole generali per le protezioni della connessione tra Utenti e Distributori. Nella norma sono definite in dettaglio anche le relative caratteristiche e regolazioni. Le protezioni che vengono previste sul punto di connessione tra Utenti e Distributori non hanno lo scopo di proteggere le macchine e gli impianti, ma solo di definire i valori contrattuali superati i quali l'Utente deve disconnettersi dalla rete del Distributore.

Quindi l'installazione di una protezione sul punto di consegna non è garanzia di adeguata protezione della rete a valle. In generale il sistema di protezione deve prevedere almeno le seguenti funzioni:

- protezione di massima corrente di fase con tre soglie:
 - prima soglia con caratteristica di intervento a tempo molto inverso per la protezione da sovraccarichi ($I>$);
 - seconda soglia per identificare guasti di cortocircuito polifase di lieve entità nella rete Utente ($I>>$);
 - terza soglia per identificare guasti di cortocircuito polifase nella rete Utente ($I>>>$);
- protezione di massima corrente omopolare (o di terra): questa protezione può essere realizzata in due modi differenti a seconda del contributo capacitivo della rete Utente verso il Distributore. In particolare se il contributo della rete Utente verso il Distributore è inferiore all'80% del valore richiesto dal Distributore, la protezione può essere del tipo non direzionale in caso contrario deve essere necessariamente di tipo direzionale (con direzione di intervento per correnti che fluiscono dal Distributore verso la rete Utente).
- Per reti con contributo capacitivo inferiore o uguale all'80% della regolazione imposta sono richieste due soglie di massima corrente omopolare con le seguenti caratteristiche:
 - prima soglia con caratteristica di intervento a tempo definito per identificare guasti monofase a terra nella rete Utente ($I_{0>}$);
 - seconda soglia con caratteristica di intervento a tempo definito per identificare doppio guasto monofase a terra nella rete Utente ($I_{0>>}$).
- Per reti con contributo capacitivo superiore all'80% della regolazione imposta sono richieste tre soglie di massima corrente omopolare con le seguenti caratteristiche:
 - prima soglia di tipo direzionale con caratteristica di intervento a tempo definito per identificare guasti monofase a terra nella rete Utente con regime di neutro compensato ($I_{0->}$ la Norma la denomina 67N.S1);
 - seconda soglia di tipo direzionale con caratteristica di intervento a tempo definito per identificare guasti monofase a terra nella rete Utente con regime di neutro isolato ($I_{0->}$ la Norma la denomina 67N.S2);
 - terza soglia di tipo non direzionale con caratteristica di intervento a tempo definito per identificare doppio guasto monofase a terra nella rete Utente ($I_{0>>}$).

Per capire quando è necessaria la 67N si può procedere come di seguito indicato.

Nel caso di sistemi con neutro isolato, è possibile determinare convenzionalmente il valore (in Ampere) della corrente di guasto monofase a terra secondo la seguente formula empirica:

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

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 e

L_2 è la somma delle lunghezze in km delle linee in cavo, in condizioni normali collegate metallicamente fra loro durante il funzionamento della rete.

La formula sopra riportata è approssimata; valori più precisi possono essere calcolati secondo la Norma CEI EN 60909 (CEI 11-25).

Nel caso di sistema con neutro a terra tramite impedenza, il valore della corrente di guasto monofase a terra è indipendente dall'estensione della rete MT e viene definito convenzionalmente dal Distributore.

In ogni caso, come esempio, dato che la taratura richiesta della protezione è di solito 2A, applichiamo la formula prendendo questo valore, quindi l'80% di 2 A fanno 1,6A (I_0). Inoltre negli impianti industriali e del terziario di piccole e medie dimensioni non sono presenti linee aeree, quindi si può applicare una ulteriore semplificazione alla formula:

ovvero $I_F = 0,2 U L$.

Abbiamo quindi:

$L = I_F / (0,2 U)$ e infine sostituendo I_0 a I_F : $L = 1,6 / (0,2 U)$

Applicando la formula abbiamo che dovremo adottare la protezione 67N:

– con Tensione rete di 20 kV per linee in cavo MT > 400m

– con Tensione rete 15 kV per linee in cavo MT > 533m

Per gli altri valori di tensione di rete si può calcolare la lunghezza massima ancora con la formula sopra indicata.

Nella norma sono riportate anche alcune regolazioni tipiche delle protezioni ed in ragione di queste regolazioni si possono fare alcune considerazioni.

Le regolazioni minime indicate sono:

I>	Protezione di massima corrente di fase: prima soglia (attivazione opzionale)	Da concordare con il Distributore
I>>	Protezione di massima corrente di fase: seconda soglia	≤ 250 A, tempo di estinzione sovracorrente ≤ 500 ms
I>>>	Protezione di massima corrente di fase: terza soglia	≤ 600 A, tempo di estinzione sovracorrente ≤ 120 ms
I0>	Protezione di massima corrente omopolare prima soglia (impiegata solo in assenza della 67N) Per reti con neutro isolato	≤ 2 A, tempo di estinzione del guasto ≤ 170 ms
	Per reti con neutro compensato	≤ 2 A, tempo di estinzione del guasto ≤ 450 ms
I0>>	Protezione di massima corrente omopolare Per reti con neutro isolato (impiegata solo con presenza 67N. S2)	valore 140% della corrente di guasto monofase a terra comunicata dal Distributore; tempo di estinzione del guasto: ≤ 170 ms
	Per reti con neutro compensato (sempre presente anche con 67N)	valore 140% della corrente di guasto monofase a terra comunicata dal Distributore (tipicamente, 70 A reti a 20 kV e 56 A per reti a 15 kV); tempo di estinzione del guasto: ≤ 170 ms
I0-> S1	Protezione direzionale di terra soglia 67N.S1 (selezione guasti a terra in regime di neutro compensato)	I_0 : 2 A, U_0 : 5 V; settore di intervento (ritardo di I_0 rispetto a U_0): $60^\circ \div 250^\circ$; tempo di estinzione del guasto: ≤ 450 ms;
I0-> S2	Protezione direzionale di terra soglia 67N.S2 (selezione guasti a terra in regime di neutro isolato)	I_0 : 2 A, U_0 : 2 V; settore di intervento (ritardo di I_0 rispetto a U_0): $60^\circ \div 120^\circ$; tempo di estinzione del guasto: 170 ms;

5. Relè di protezione

In alternativa alle regolazioni sopra esposte, per gli Utenti di reti a neutro compensato che non necessitano della protezione 67N.S1 e 67N.S2, può essere impiegata la sola soglia $I_{0>}$, con le seguenti regolazioni: valore 2 A; tempo di estinzione del guasto: 170 ms.

Nota bene: per tempo di estinzione della sovracorrente (estinzione del guasto), si intende la somma del tempo di intervento della protezione, del tempo di apertura dell'interruttore fino alla completa estinzione della corrente. Quindi nel calcolare le regolazioni delle protezioni occorre sottrarre il tempo di apertura dell'interruttore (tipicamente 60-70 ms).

Le regolazioni indicate, che comunque debbono essere concordate caso per caso, evidenziano che è possibile in generale ottenere una buona e selettiva protezione solo per guasti a terra in regime di neutro compensato, mentre per guasti a terra in regime di neutro isolato o in caso di cortocircuito polifase (bifase a terra oppure no e trifase) la selettività tra protezioni MT all'interno della rete Utente è praticamente impossibile (tenuto conto dei tempi di manovra degli interruttori).

La norma prevede che in casi particolari si possa utilizzare anche la selettività logica ma questo deve essere concordato tra Utente e Distributore.

Altra funzione di protezione richiesta dalla CEI 0-16 che deve essere prevista in alcuni impianti è la minima tensione che ha però una applicazione di automatismo e non di protezione vera e propria. Ove la potenza totale dei trasformatori che possono essere rimagnetizzati contemporaneamente a seguito della mancanza di tensione (se gli interruttori rimangono chiusi) sia maggiore del valore riportato nella norma, è richiesto di procedere ad un distacco ed una seguente reinserzione a gradini per impedire che correnti di inserzioni troppo elevate facciano intervenire le protezioni di massima corrente che non sono dotate di funzione 'blocco magnetizzazione'.

Data la criticità nell'accoppiamento tra trasformatori di corrente e relè l'adozione di soluzioni integrate relè/TA come nel caso degli interruttori ABB della serie VD4/R e HD4/R può annullare i rischi di una scelta sbagliata. Non a caso la norma raccomanda di porre particolare attenzione al coordinamento tra trasformatori di corrente e relè.

Nel caso di impiego di relè indiretti con alimentazione ausiliaria è necessario disporre di una sorgente indipendente (solitamente una batteria di accumulatori) che assicuri l'alimentazione anche in caso di guasto. Inoltre la mancanza della sorgente ausiliaria deve essere opportunamente segnalata.



Nelle cabine di trasformazione per la connessione degli Utenti Passivi di MT alla rete del Distributore, ABB propone il REF 601 versione CEI (protezioni e curve di intervento conformi alla CEI 0-16, con soglie impostabili come già alla specifica ENEL DK 5600). Le funzioni di protezione disponibili sono:

- protezione di massima corrente (codice ANSI 50 - 51), bifase o trifase a seconda che siano connessi due o tre sensori di corrente
- protezione di guasto a terra omopolare (codice ANSI 50N - 51N) mediante sommatoria vettoriale interna dei tre sensori di fase oppure mediante toroide di guasto a terra esterno più due o tre sensori di corrente
- rilevamento della corrente magnetizzante di un trasformatore trifase per evitare lo scatto intempestivo all'inserzione (codice ANSI 68).

L'unità prevede fino a 3 ingressi da sensori di corrente TA-NI del tipo a bobina di Rogowsky.

I sensori di corrente sono disponibili in versione integrata negli interruttori KEVCR24 OC2. Nel caso sia necessario il sensore omopolare nel kit CEI 0-16 sono previsti i modelli TO11S3 o TO21S3 (foro da 110 mm o da 210 mm).

Le protezioni installate sono:

- Protezione contro il sovraccarico $I > (51)$
- Protezione con ritardo contro il cortocircuito polifase $I >> (51)$
- Protezione istantanea contro il cortocircuito polifase $I >>> (50)$
- Protezione contro il guasto monofase a terra $I_0 > (51N)$
- Protezione contro il doppio guasto monofase a terra $I_0 >> (50N)$

Altre importanti caratteristiche del REF 601, sono:

- pulsanti per la manovra elettrica locale dell'interruttore (pulsante di apertura e di chiusura; l'interruttore laterale è sempre fornito con sganciatore di apertura; per comandare la chiusura da REF 601 occorre ovviamente richiedere l'applicazione dello sganciatore di chiusura)
- 5 indicatori distinti: "relè funzionante", "relè in soglia di intervento", "relè scattato", "relè intervenuto per supero corrente di fase", "relè intervenuto per supero corrente di guasto a terra"
- HMI costituita da display LCD e tasti "a frecce", "invio" e "uscita" per navigazione facilitata all'interno dei menù "misura", "registrazione dati", "registro eventi", "impostazioni", "configurazione", "test"
- tre livelli di Utente con diverse operazioni permesse e due password
- visualizzazione continua della corrente sulla fase più caricata e della corrente di terra
- registrazione del valore delle correnti che hanno causato l'intervento del dispositivo
- memorizzazione del numero di aperture operate dal dispositivo
- registro eventi (memorizzazione dei parametri prima descritti negli ultimi 5 interventi del dispositivo) su memoria non-volatile
- apertura dell'interruttore tramite sganciatore di minima tensione (versione CEI 0-16)
- alimentatore multi-tensione 24...240 V AC/DC

IL REF601 può essere montato anche a bordo quadro. In questo caso è previsto il kit di componenti seguente:

- REF601
- sensori TA-NI CEI 0-16 toroidali per montaggio su cavo (KECA 250 B1)
- sensore omopolare TO CEI 0-16 TO11S3 o TO21S3
- sganciatore a mancanza di tensione.

Nel caso sia necessaria una protezione generale più sofisticata è possibile utilizzare il REF 542plus. Questo dispositivo è estremamente versatile, può essere impiegato per la protezione di qualunque tipo di carico (linea, trasformatore, motore, ...), può effettuare funzioni di automazione e controllo a livello di unità funzionale e quadro e dispone di un interfaccia grafica per la visualizzazione dello stato ed il comando dell'interruttore.

Nella versione base CEI 0-16 il dispositivo è composto da:

- 1 alimentatore a tensione fissa 110 V DC
- 1 modulo main board
- 1 modulo di ingresso uscita binario (14 ingressi, 8 uscite, 1 watchdog)
- 1 modulo di ingresso analogico per 3 sensori di corrente, 3 sensori di tensione, 1 sensore di corrente omopolare
- 1 unità di interfaccia HMI e cavo di collegamento con la base unit
- 1 kit di connessione per il cablaggio dell'unità all'interno del pannello.



5. Relè di protezione

Data la grande versatilità, sono disponibili a richiesta diverse configurazioni aggiuntive, per soddisfare ogni esigenza. Le configurazioni software che possono essere caricate sul dispositivo sono di due tipi:

Configurazione A, priva delle protezioni direzionali di terra. Tale configurazione è adeguata per impianti semplici, caratterizzati dall'assenza di linee aeree, dalla ridotta estensione delle linee in cavo e dall'installazione di tutti i trasformatori MT/BT in un unico locale Utente.

Le protezioni installate sono:

- Protezione contro il sovraccarico $I >$ (51)
- Protezione con ritardo contro il cortocircuito polifase $I >>$ (51)
- Protezione istantanea contro il cortocircuito polifase $I >>>$ (50)
- Protezione contro il guasto monofase a terra $I o >$ (51N)
- Protezione contro il doppio guasto monofase a terra $I o >>$ (50N)
- Opzionalmente la protezione di minima tensione 27 per il distacco dei trasformatori aggiuntivi.

Non essendo richieste le protezioni direzionali, le misure di tensione non sono necessarie.

In tale caso, il KIT è così composto:

- Unità REF542plus
- 3 sensori di corrente tipo KECA per la misura delle correnti di fase 1
- 1 sensore omopolare di terra tipo TO11S3 o TO21S3 per la misura della corrente di terra.

Configurazione B, con protezioni direzionali di terra, utilizzata negli altri casi sempre per Utenti Passivi.

Le protezioni installate sono:

- Protezione contro il sovraccarico $I >$ (51)
- Protezione con ritardo contro il cortocircuito polifase $I >>$ (51)
- Protezione istantanea contro il corto circuito polifase $I >>>$ (50)
- Protezione contro il guasto monofase a terra $I o >>$ (50N)
- Protezione direzionale contro il guasto a terra per neutro compensato 67N NC
- Protezione direzionale contro il guasto a terra per neutro isolato 67N NI
- Opzionalmente la protezione di minima tensione 27 per il distacco dei trasformatori aggiuntivi

Le protezioni direzionali di terra richiedono la misura delle tensioni per il calcolo della tensione residua; in questo caso quindi nel KIT sono utilizzati i sensori combinati di tensione e corrente (combisensor). il KIT è così composto:

- unità REF542plus
- 3 combisensor tipo KEVCD 24 AE3 per la misura delle correnti di fase e delle tensioni di fase.
- 1 sensore omopolare di terra tipo TO11S3 o TO21S3 per la misura della corrente di terra.

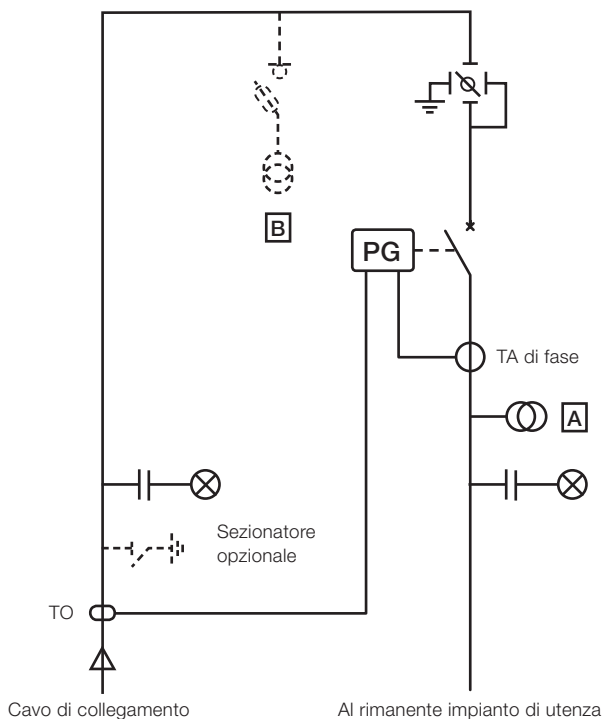
6. Schema dell'impianto di utenza per la connessione e quadro elettrico di MT

Il quadro elettrico di MT ha la il compito di contenere i dispositivi precedentemente descritti in modo sicuro in accordo alla normativa di prodotto CEI EN 62271-200. Il Quadro deve trovare posto nel locale Utente della cabina elettrica quindi è uno degli elementi più importanti per il dimensionamento fisico del locale.

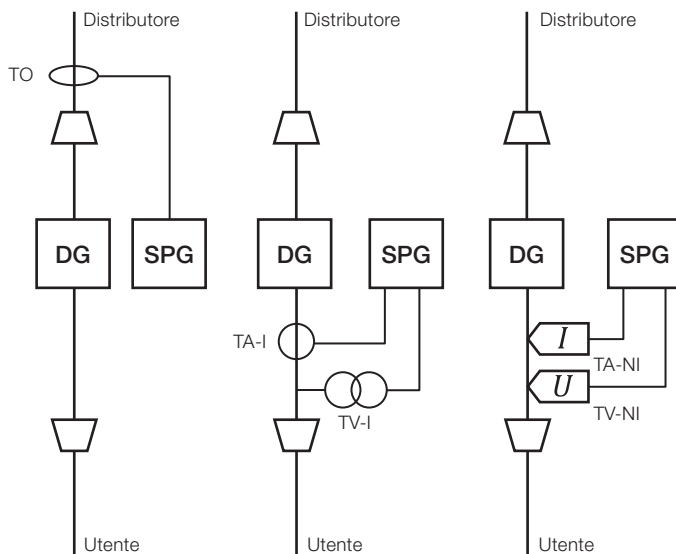
La configurazione del quadro di MT, oltre a contenere l'arrivo del cavo di collegamento e il DG, dipende dallo schema elettrico dell'impianto dell'Utente.

6.1 Schema dell'impianto di utenza

Lo schema da adottare per la generalità delle utenze per il quadro MT immediatamente a valle del cavo di collegamento è di seguito illustrato nella figura seguente. A seconda delle necessità protettive, è necessario completare lo schema con una terna di trasformatori/trasduttori che possono essere del tipo TV-I o TV-NI.



Il TV tratteggiato in derivazione sulla sbarra, indicato con B, è un'alternativa alla soluzione consigliata indicata con A. Come si intuisce dalla figura precedente, il posizionamento ideale del toroide omopolare TO è a monte del DG; la soluzione ideale sia per i TA e TV induttivi che per i trasduttori non induttivi è il loro posizionamento subito a valle del DG.

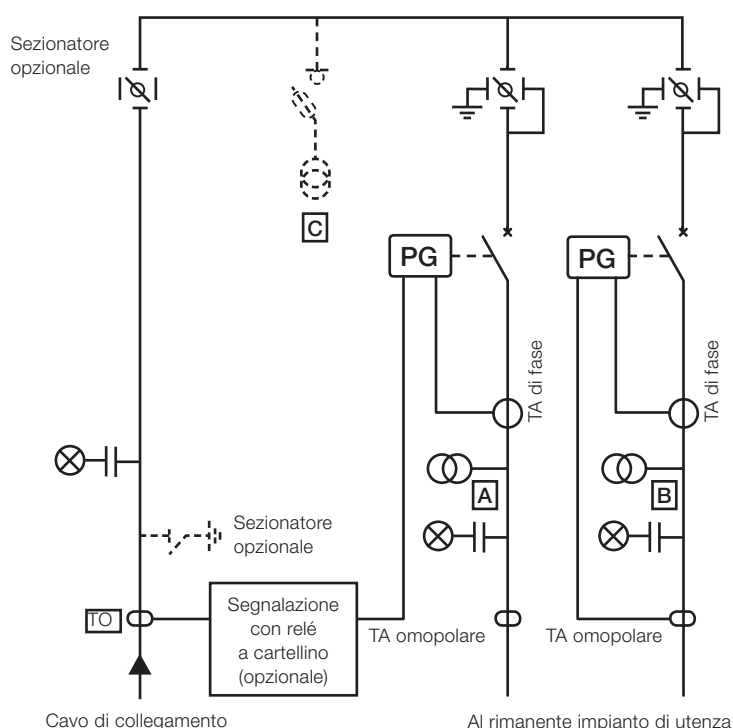


DG = Dispositivo Generale
SPG = Sistema di Protezione Generale

È consentito anche il posizionamento del TV-I a monte dell'interruttore automatico o dei TA di fase ma in questo caso dovranno essere protetti, lato MT, con un IMS combinato con fusibili ($I_n \leq 6,3 \text{ A}$) a protezione del primario dei TV-I. Da sottolineare che l'intervento di eventuali fusibili primari e/o di eventuali protezioni del circuito secondario deve in ogni caso provocare l'apertura del DG, oppure la commutazione della funzione della protezione 67N (protezione direzionale per guasto a terra) in 51N (protezione di massima corrente omopolare), mantenendo i medesimi valori impostati relativi alle soglie di intervento di corrente omopolare ripristinando la protezione 67N nel più breve tempo possibile in modo da evitare scatti intempestivi in caso di guasto monofase a terra esterno alla rete dell'Utente. Qualora invece i TV siano derivati a valle di DG e TA di fase, non vi sono vincoli circa la protezione primaria dei TV medesimi. I TV-NI, infine, non necessitano di protezione lato MT.

6. Schema dell'impianto di utenza per la connessione e quadro elettrico di MT

La norma prevede un secondo caso: in un impianto MT con due soli montanti MT, è possibile omettere il Dispositivo Generale (DG) qualora le funzioni normalmente attribuite al DG siano assolte dagli interruttori attestati alla sbarra Utente (dispositivi generali di linea). Per quanto attiene il cavo di collegamento, in una simile configurazione si intende che tale cavo abbia termine ai morsetti di monte del primo sezionatore come illustrato nella figura seguente:



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

Per questa tipologia di impianto, devono essere rispettate le seguenti condizioni:

- unico quadro MT (sono escluse le esecuzioni a giorno);
- nessuna apparecchiatura ulteriore, rispetto ai due montanti MT con interruttore indicati.

Vale anche in questo caso quanto detto a proposito del primo schema relativamente alla posizione dei TV-I qualora necessari per il funzionamento della protezione 67N.

In questa seconda tipologia, relativamente alle funzioni di protezione si deve considerare che le protezioni I>, I>> dell'impianto Utente sono realizzate con i relè che equipaggiano ciascun dispositivo di montante, ma imponendo che la somma delle soglie di ciascun relè rispetti i vincoli

imposti dal Distributore oppure sommando i segnali secondari dei TA di fase dei due montanti.

Il sezionatore generale (se installato) deve essere interbloccato con la posizione di "aperto" di entrambi gli interruttori automatici a valle, oppure essere un interruttore di manovra-sezionatore.

La protezione contro i cortocircuiti (I>>>), invece è normalmente impostata sulla corrente di guasto per cortocircuito di ciascun montante.

Attenzione! Qualora si impieghi questa soluzione con i due trasformatori in parallelo sul lato BT, al fine di evitare di avere tensione sul lato MT di un trasformatore a causa del collegamento in parallelo sulla BT, saranno necessari opportuni interblocchi tra gli interruttori MT e BT di ciascun trasformatore.



6. Schema dell'impianto di utenza per la connessione e quadro elettrico di MT

6.2 Soluzioni di quadro di MT



Vediamo ora una soluzione concreta; nel primo caso esaminato nel paragrafo precedente ovvero con arrivo dal Distributore e un solo trasformatore in cabina, vediamo la soluzione ABB (figura a) con quadro UniSec composto da:

- N° 1 unità HBC con apparecchio multifunzione HySec + N° 1 unità RLC ingresso cavi a sinistra
- Presenza tensione lato sbarre e lato cavi
- Apparecchio multifunzione HySec p230 composto da:
 - Interruttore in vuoto con o senza motorizzazione
 - Sezionatore in SF₆

- Relè di protezione REF 601 senza comunicazione (51, I>; 51, I>>; 50, I>>>; 51N, I>; 50N, I>>, 68) con 3 sensori di corrente e toroide per guasto a terra, conformi alla Norma CEI 0-16
- Predisposizione per la messa a terra mediante fioretto lato sbarre.

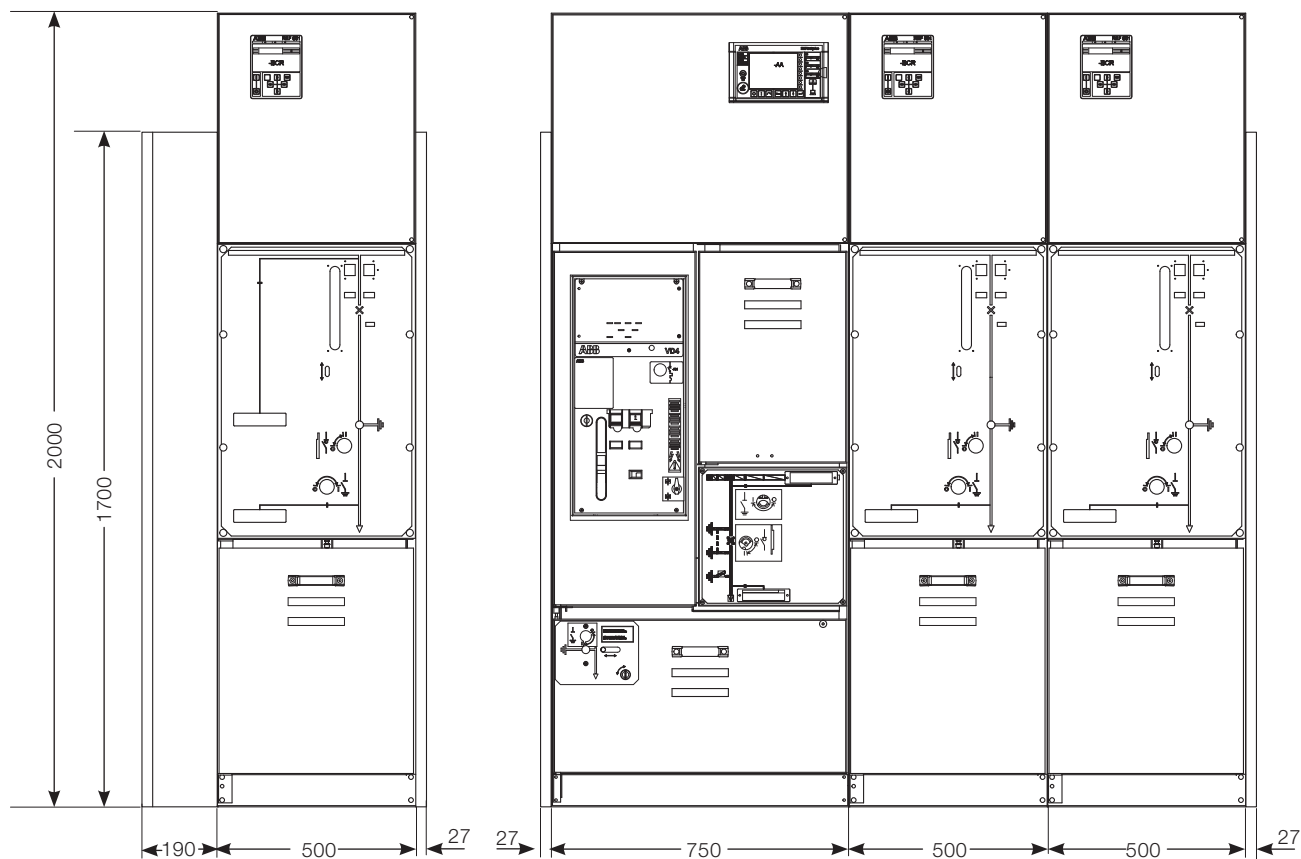


Figura a

Figura b

Per quanto riguarda invece il secondo caso indicato dalla norma, nell'esempio riportato di seguito consideriamo un quadro UniSec (figura b) composto da:

- N° 1 Arrivo linea con Unità SBR (Unità arrivo CEI 0-16)
- Presenza tensione lato sbarre e lato cavi
- Interruttore VD4/R-Sec p230 con o senza motorizzazione
- Unità di protezione e controllo REF542plus (51, I>; 51, I>>; 50, I>>>; 51N, Io>; 50N, Io>>; 67NI; 67NC) con Data Logger e 3 sensori corrente/tensione ABB tipo KEVCD montati all'interno del compartimento sbarre e toroide per guasto a terra conformi alla Norma CEI 0-16
- Sezionatore GSec
- Sezionatore di terra lato Distributore con chiave di responsabilità del Distributore, in accordo alla Norma CEI 0-16

N° 2 Protezione trasformatore con Unità HBC

- Presenza tensione lato cavi.
- Apparecchio multifunzione HySec p230 composto da:
 - Interruttore in vuoto con o senza motorizzazione
 - Sezionatore in SF₆
- Relè di protezione REF 601 senza comunicazione (51, I>; 51, I>>; 50, I>>>; 51N, Io>; 50N, Io>>; 68) con 3 sensori di corrente e toroide per guasto a terra, conformi alla Norma.

7. Trasformatori di potenza

7.1 Caratteristiche principali

Il trasformatore è la parte più importante della cabina di trasformazione. La sua scelta condiziona la progettazione della cabina ed è effettuata sulla base di diversi fattori, principalmente:

- Caratteristiche dell'impianto dell'Utente
- Livello di continuità di servizio richiesta
- Ubicazione della cabina elettrica

Alcune caratteristiche importanti devono quindi essere considerate e definite in accordo alla normativa di prodotto CEI EN 60076:

- Tipo di trasformatore, ad esempio con n avvolgimenti separati o autotrasformatore, ecc.
- Monofase o trifase
- Frequenza
- A secco o in liquido isolante e in questo caso che tipo di liquido (olio, liquido sintetico o naturale, ecc.)

- Per interno o esterno
- Tipo di raffreddamento
- Potenza nominale per ciascun avvolgimento
- Tensione nominale per ciascun avvolgimento (e quindi rapporto di trasformazione)
- Presenza di commutatore a vuoto o a carico
- Collegamenti e metodo di messa a terra del sistema per ogni avvolgimento

Altri dati saranno da definire o chiarire con il costruttore:

- tensione di corto circuito percentuale $U_{cc}\%$
- corrente a vuoto percentuale $I_0\%$
- perdite nel rame alla corrente nominale P_{cu} e perdite nel ferro alla tensione nominale P_{fe}
- corrente a vuoto
- gruppo CEI di collegamento, indicato convenzionalmente con un numero che, moltiplicato per 30, dà il valore dell'angolo di ritardo della tensione di fase lato BT rispetto a quella del lato MT.



In funzione del tipo di raffreddamento i trasformatori sono identificati come segue:

- AN** raffreddamento a circolazione naturale d'aria;
- AF** raffreddamento a circolazione forzata d'aria;
- ONAN** raffreddamento a circolazione naturale di olio e di aria;
- ONAF** raffreddamento a circolazione naturale di olio e forzata di aria;
- OFAF** raffreddamento a circolazione forzata di olio e di aria.

La scelta più frequente cade sui tipi AN e ONAN perché, non essendo le cabine mai presidiate, è sconsigliabile utilizzare macchine che impieghino ventilatori o circolatori di olio.

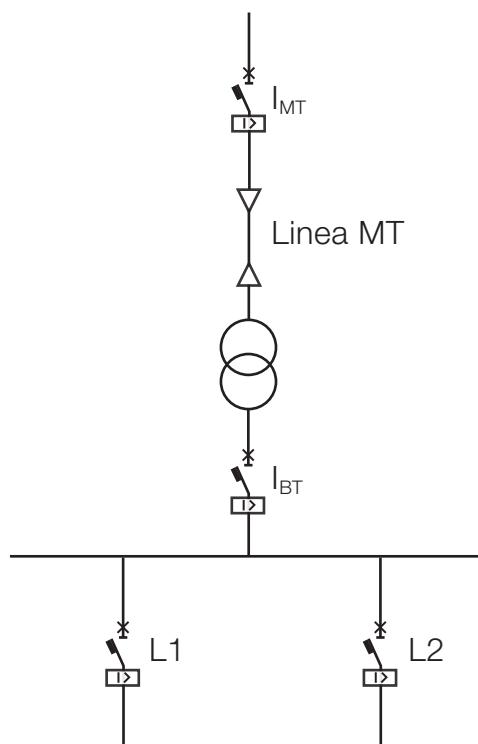
D'altro canto, il Distributore, all'atto della richiesta di connessione, deve comunicare il limite alla potenza massima del singolo trasformatore o di più trasformatori in parallelo sulla stessa sbarra BT riferita alle tensioni di cortocircuito tipiche riportate nella Norma CEI EN 60076-5 ($U_{cc} = 6\%$ per trasformatori con potenza nominale maggiore di 630 kVA), che l'Utente può installare nel proprio impianto al fine di evitare l'intervento della protezione di massima corrente installata sulla linea MT che lo alimenta in caso di cortocircuito sulle sbarre BT del trasformatore. Tale limite alla potenza massima (comunicato dal Distributore) normalmente è di 2000 kVA (reti a 20 kV) e di 1600 kVA (reti a 15 kV).

È normalmente previsto che il cliente debba utilizzare trasformatori MT/BT con:

- **primario a triangolo, (Δ)** poiché con tale collegamento le terze armoniche delle correnti magnetizzanti (distorte per la non linearità del circuito magnetico) ed eventuali correnti di carico omopolari sono libere di circolare nei lati nel triangolo non riversandosi in rete; i flussi magnetici risultano ancora sinusoidali e di conseguenza anche le f.e.m. indotte al secondario. Inoltre, qualora si abbiano carichi squilibrati al secondario, la corrente di reazione richiamata al primario circola unicamente nell'avvolgimento corrispondente senza interessare gli altri due; se ciò avvenisse, come nel collegamento a stella, le correnti in tali avvolgimenti sarebbero magnetizzanti e provocherebbero una dissimmetria nelle tensioni di fase. Solo quando sono previste applicazioni particolari (saldatrici, azionamenti, ecc.) il collegamento può non essere a triangolo, concordando la scelta con l'ente Distributore.
- **secondario stella a terra, (Y_{terra})** per rendere facilmente disponibili le tensioni concatenate e di fase, ma soprattutto per ragioni di sicurezza, in quanto nell'eventualità di guasto tra lato media e bassa, la tensione al secondario resta prossima al valore di fase garantendo pertanto una maggior sicurezza per le persone e preservando l'isolamento.

Il trasformatore è connesso al punto di prelievo del locale consegna attraverso il quadro elettrico di MT e il cavo di collegamento in rame che deve avere una sezione minima di 95mm^2 indipendentemente dalla potenza fornita. Tale cavo risulta essere di proprietà dell'Utente e deve essere il più corto possibile (massimo 20 m comprese le terminazioni). Qualora i locali di consegna e di Utente non siano adiacenti o addirittura in strutture separate, è ammesso derogare da tale prescrizione purché si impieghi un cavo in tratta unica con protezione meccanica addizionale (vedi Norma CEI 11-17) ma previo consenso del Distributore.

In generale, la scelta sul numero di trasformatori da installare dipende da considerazioni di tipo impiantistico circa l'affidabilità e la flessibilità necessari nell'utilizzo dell'energia elettrica. Si può affermare che per la richiesta di piccole potenze (indicativamente fino a 630kVA - 800kVA) si può installare un solo trasformatore, mentre per potenze superiori (indicativamente fino a 1000kVA - 2000kVA) sia conveniente suddividere la potenza su più unità in parallelo. Dal punto di vista impiantistico la cabina più semplice è con un solo trasformatore MT/BT; tale soluzione è semplice, economica, ma non flessibile in quanto il fuori servizio o la manutenzione su un componente comporta l'interruzione dell'alimentazione a tutto l'impianto.



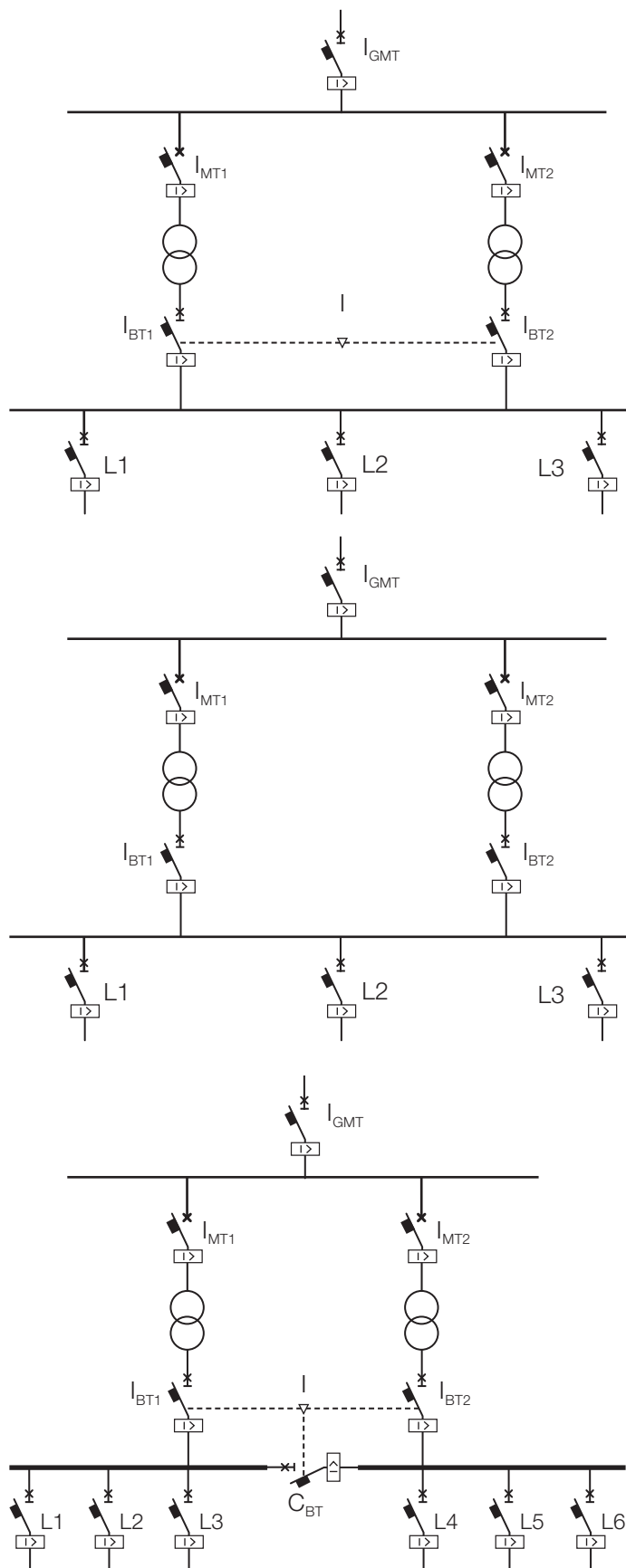
7. Trasformatori di potenza

Qualora la continuità di servizio richieda lo giustifichi, una soluzione più costosa ma più flessibile consiste nel predisporre un secondo trasformatore di riserva al primo. In questo caso i due interruttori di BT sono interbloccati per evitare il funzionamento in parallelo. Ovviamente, oltre al dispositivo di manovra e sezionamento sull'arrivo linea MT è conveniente prevedere un'apparecchiatura di manovra, sezionamento e protezione anche sui singoli montanti MT dei due trasformatori (I_{MT1} e I_{MT2}).

In questo modo con l'apertura del dispositivo di monte e di valle di un trasformatore è possibile garantire il sezionamento e accedere alla macchina senza mettere fuori servizio tutta la cabina.

Un'ulteriore possibilità, sempre nel caso in cui non si superi la potenza complessiva di di 2000 kVA a 20 kV e di 1600 kVA a 15 kV, è quella di gestire i due trasformatori in parallelo. Il funzionamento in parallelo dei trasformatori genera maggiori problematiche nella gestione della rete. Infatti, il fuori servizio di una macchina potrebbe richiedere una certa flessibilità nella gestione carichi, assicurando l'alimentazione di quelli considerati prioritari tramite opportuni automatismi. Questa soluzione è semplice, abbastanza economica e flessibile.

Infine, l'ultima configurazione proponibile è anche quella che offre la maggior flessibilità. L'utilizzo prevalente è negli impianti dove è richiesta un'elevata continuità di servizio. La manutenzione dei montanti trasformatori e di porzioni dell'impianto è possibile continuando ad esercire la porzione rimanente. Dal punto di vista del costo, oltre al secondo trasformatore è necessario inserire un congiuntore nel quadro di BT per la gestione del parallelo. Nel caso si esercisca l'impianto a congiuntore chiuso è necessario rispettare i limiti imposti dal Distributore; viceversa è necessario introdurre un opportuno interblocco che impedisca al congiuntore di essere chiuso quando entrambi gli interruttori di arrivo dal trasformatore sono chiusi al fine di evitare il parallelo stesso. Questa modalità di gestione, a parità di potenza dei trasformatori installati, permette di avere un valore inferiore della corrente di cortocircuito sulla sbarra. In altre parole, ogni trasformatore stabilisce il livello di cortocircuito per la sbarra di propria competenza senza dover considerare il contributo



di altre macchine. Anche in questo caso con un trasformatore fuori servizio, con l'eventuale chiusura del congiuntore si passa ad un sistema con sbarra unica alimentata dal solo trasformatore sano, e deve essere prevista una logica di gestione carichi con il distacco di quelli non prioritari. Nel caso di più trasformatori in parallelo, bisogna considerare i limiti imposti dalla Norma CEI 0-16 e trattati nella Guida CEI 99-4 sull'energizzazione contemporanea dei trasformatori installati.

Per ottemperare a tale requisito, l'Utente non può installare trasformatori per una potenza complessiva superiore a tre volte i limiti di potenza già indicati per ciascun livello di tensione, anche se con sbarre BT separate. Qualora la potenza installata sia superiore il limite indicato, si devono prevedere nel proprio impianto opportuni dispositivi al fine di evitare la contemporanea energizzazione di quei trasformatori che determinano il superamento delle limitazioni suddette. Tali dispositivi devono intervenire in caso di mancanza di tensione superiore a 5 s e provvedere alla rienergizzazione dei trasformatori secondo quantità complessive non superiori ai limiti sopra determinati, con tempi di rientro intervallati di almeno 1 s.

La Guida CEI 99-4, Allegato F, fornisce delle indicazioni di massima per una valutazione del valore di picco della corrente d'inserzione di trasformatori in olio e del tempo di ritardo minimo necessario per evitare interventi intempestivi della protezione:

In pratica viene dato nella tabella il rapporto K_i tra la corrente nominale del trasformatore (i_{oi}) e il valore massimo di picco della corrente di inserzione (I_{Tn}) in funzione della potenza del trasformatore stesso e della costante di tempo T_i della corrente di inserzione. Nel grafico, invece, troviamo la regolazione del relè di massima corrente MT sul primario del trasformatore in modo da evitare il suo intervento alla messa in tensione; la curva separa il campo di possibile intervento del relè (a sinistra della curva) da quello di sicuro non intervento (a destra della curva), dove:

t_r = regolazione del tempo di ritardo;

I'_r = regolazione soglia in corrente (valore primario).

Per capire l'utilizzo della tabella e del grafico riportiamo anche l'esempio seguente:

Dati del trasformatore: 800 kVA; 15 kV; $I_{Tn} = 30,8$ A

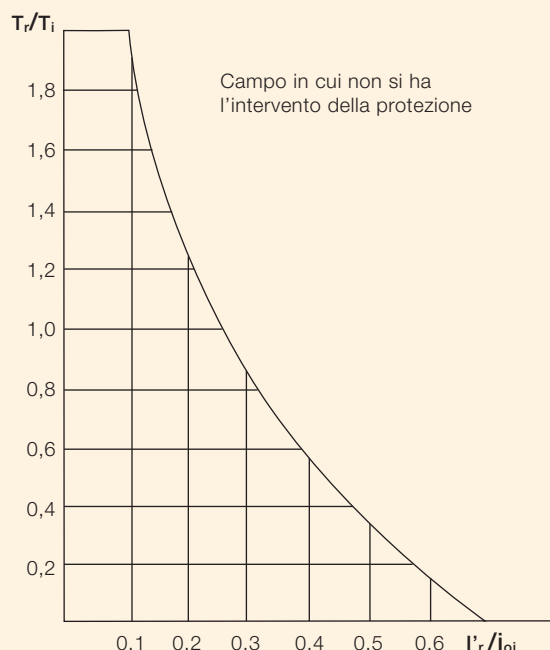
Nella tabella troviamo:

$K_i = 10$; $i_{oi} = 10 \cdot 30,8 = 308$ A; $T_i = 0,3$ s.

Ipotizzando $I'_r = 50$ A otteniamo che $I'_r/i_{oi} = 50 / 308 = 0,16$

Infine in corrispondenza a tale valore sulla curva troviamo $t_r/T_i = 1,45$ ovvero $t_r = 1,45 \cdot 0,3 = 0,44$ s, che è il tempo di ritardo minimo per non avere interventi intempestivi.

Potenza del trasformatore S_r (kVA)	Corrente nominale primaria I'_r (A)		K_i	Costante di tempo T_i (s)
	15 kV	20 kV		
50	1,9	1,4	15	0,10
100	3,8	2,9	14	0,15
160	6,2	4,6	12	0,20
250	9,6	7,2	12	0,22
400	15,4	11,5	12	0,25
630	24,2	18,2	11	0,30
800	30,8	23,1	10	0,30
1000	38,5	28,9	10	0,35
1250	48,1	36,1	9	0,35
1600	61,6	46,2	9	0,40
2000	77,0	57,7	8	0,45



7. Trasformatori di potenza

7.2 Scelta dei trasformatori sulla base delle perdite e dell'efficienza energetica

I requisiti EU MEPS (European Minimum Energy Performance Standard, ossia i requisiti europei minimi in materia di efficienza energetica) stabiliscono il livello minimo obbligatorio di efficienza per tutti i trasformatori immessi sul mercato europeo. Sono stati introdotti ai sensi della Direttiva 2009/125/CE del parlamento europeo e del consiglio, anche nota come Direttiva EcoDesign, che istituisce un quadro di riferimento per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all'energia (ERP). Nell'ambito degli ERP, i trasformatori sono stati identificati come uno dei gruppi di prodotti prioritari per il loro considerevole potenziale in termini di risparmio energetico. Le perdite annuali totali prodotte dall'attuale parco trasformatori ammontano infatti, nei 28 stati membri dell'Unione Europea, a circa 100 TWh, pari a 40 milioni di tonnellate (Mt) di emissioni di CO₂.

Per l'attuazione della direttiva riguardo ai trasformatori, la Commissione Europea ha adottato, come quadro giuridico di riferimento, il regolamento n. 548/2014 che fissa i requisiti minimi in materia di efficienza applicabili ai trasformatori. Lo scopo del regolamento è quello di prevenire l'immissione sul mercato europeo di prodotti non efficienti. Il regolamento è obbligatorio in tutti i suoi elementi e direttamente applicabile in ciascuno dei 28 Stati membri dell'UE1. I requisiti EU MEPS si applicano ai trasformatori di distribuzione, sia di tipo a secco che immersi in un liquido, nonché ai trasformatori di potenza aventi una potenza nominale minima di 1 kVA, utilizzati nelle reti di trasporto e di distribuzione della corrente elettrica o per applicazioni industriali. A partire dal 1 luglio 2015, i trasformatori non conformi al regolamento non possono più essere immessi sul mercato europeo. È responsabilità, soprattutto del costruttore, assicurarsi che i trasformatori siano conformi al regolamento. La produzione o l'importazione nel mercato europeo di trasformatori non conformi è illegale a partire dal 1 luglio 2015. Tuttavia, specialmente durante il periodo di transizione, può essere consigliabile fare riferimento al regolamento per quanto riguarda il livello minimo di efficienza richiesto.

La Commissione Europea ha inoltre previsto che dal 1 luglio 2021 tutti i trasformatori devono essere conformi ai requisiti di efficienza previsti dal livello "Fase 2" del regolamento che sono più stringenti. La Commissione ha altresì in programma di eseguire, al più tardi nel corso dell'anno 2017, una valutazione "intermedia" del regolamento durante la quale i livelli dei requisiti previsti per la "Fase 2" saranno riesaminati e potrebbero essere modificati.

7.3 Requisiti e classi di efficienza dei trasformatori

I livelli massimi consentiti di perdite per i trasformatori con potenza nominale massima non superiore a 3150 kVA sono basati sulla classificazione delle Norme CEI EN 50464-1:2007 e successiva variante /A1:2012 e CEI EN 50541-1:2011.

Va sottolineato che le suddette Norme EN sono in fase di unificazione e revisione al fine di supportare il regolamento in maniera più diretta. Scompariranno completamente le classi di efficienza inferiori a quelle previste nel regolamento EU MEPS.

La Norma CEI EN 50464-1 prevede per i trasformatori in olio di media/bassa tensione 4 classi di perdite dovute al carico e 5 classi di perdite a vuoto.

Nelle 2 tabelle seguenti si indicano i valori prescritti per le perdite dovute al carico P_k e le perdite a vuoto P_0 per trasformatori con tensioni nominali fino a 24 kV.

Perdite dovute al carico (P_k)

Potenza nominale	C_k	B_k	A_k	Impedenza di cortocircuito
KVA	W	W	W	%
50	1100	875	750	4
100	1750	1475	1250	
160	2350	2000	1700	
250	3250	2750	2350	
315	3900	3250	2800	
400	4600	3850	3250	
500	5500	4600	3900	
630	6500	5400	4600	6
630	6750	5600	4800	
800	8400	7000	6000	
1000	10500	9000	7600	
1250	13500	11000	9500	
1600	17000	14000	12000	
2000	21000	18000	15000	
2500	26500	22000	18500	

Perdite a vuoto (P_o)

Potenza nominale	D_o		C_o		B_o		A_o		Impedenza di cortocircuito
kVA	P_o	L_{WA}	P_o	L_{WA}	P_o	L_{WA}	P_o	L_{WA}	%
	W	dB(A)	W	dB(A)	W	dB(A)	W	dB(A)	
50	145	50	125	47	110	42	90	39	4
100	260	54	210	49	180	44	145	41	
160	375	57	300	52	260	47	210	44	
250	530	60	425	55	360	50	300	47	
315	630	61	520	57	440	52	360	49	
400	750	63	610	58	520	53	430	50	
500	880	64	720	59	610	54	510	51	
630	1 030	65	860	60	730	55	600	52	
630	940	65	800	60	680	55	560	52	6
800	1150	66	930	61	800	56	650	53	
1000	1400	68	1100	63	940	58	770	55	
1250	1750	69	1350	64	1150	59	950	56	
1600	2200	71	1700	66	1450	61	1200	58	
2000	2700	73	2100	68	1800	63	1450	60	
2500	3200	76	2500	71	2150	66	1750	63	

Nella Norma CEI EN 50541-1 troviamo invece la tabella analoga per trasformatori a secco con tensioni nominali 17,5 e 24 kV e impedenza di corto circuito del 6%:

U_m	S_r	P_k	P_k	P_o	L_{WA}	P_o	L_{WA}	P_o	L_{WA}
kV	kVA	A_k	B_k	A_o	dB (A)	B_o	dB (A)	C_o	dB (A)
17,5 e 24	100	1800	2050	280	51	340	51	460	59
	160	2600	2900	400	54	480	54	650	62
	250	3400	3800	520	57	650	57	880	65
	400	4500	5500	750	60	940	60	1200	68
	630	7100	7600	1100	62	1250	62	1650	70
	800	8000	9400	1300	64	1500	64	2000	72
	1000	9000	11000	1550	65	1800	65	2300	73
	1250	11000	13000	1800	67	2100	67	2800	75
	1600	13000	16000	2200	68	2400	68	3100	76
	2000	16000	18000	2600	70	3000	70	4000	78
	2500	19000	23000	3100	71	3600	71	5000	81
	3150	22000	28000	3800	74	4300	74	6000	83

7. Trasformatori di potenza

Tornando ai requisiti EU MEPS, le classi indicate per i trasformatori di distribuzione immersi in liquido con $U_m \leq 24$ kV sono le seguenti secondo quanto previsto per le due fasi:

	Fase 1	Fase 2
25–1000 kVA	C_k, A_0	$A_k, A_0-10\%$
1001–3150 kVA	B_k, A_0	$A_k, A_0-10\%$

Mentre per i trasformatori di tipo a secco sempre con $U_m \leq 24$ kV, abbiamo:

	Fase 1	Fase 2
25–630 kVA	B_k, A_0	$A_k, A_0-10\%$
631–3150 kVA	A_k, A_0	$A_k, A_0-10\%$

A decorrere dal 1 luglio 2015, sulla targa dei dati di funzionamento dei trasformatori che rientrano nell'ambito di applicazione del regolamento, dovranno necessariamente figurare le seguenti informazioni relative al prodotto, in aggiunta a quelle richieste ai sensi della Norma EN 60076-1:

- valori e nome delle classi di perdita a carico e di perdita a vuoto per i trasformatori ≤ 3150 kVA
- informazioni sul peso di tutti i componenti principali di un trasformatore (compresi almeno il conduttore, la sua natura e il materiale di base)

CE		ABB	
Type TNOSCT-100/11PNS UNI			
No. 1LPL525913		Year of manufacture 2014	
Rated power 100		kV-A	
		No. of phases 3	
TRANSFORMER to specification EN (IEC) 60076-1			
Rated voltage [V]		Current [A]	
HV 11000 ± 2x2.5%		5.25	
LV 415		139.10	
		Insulation level AC3	
Tap no. HV voltage [V]		Connection symbol	
1 11550		Cooling ONAN	
2 11275		Rated frequency 50 Hz	
3 11000		Short-circuit imp. 3.88 %	
4 10725		Load losses 1750 W	
5 10450		No-load losses 145 W	
Ambient temp 40°C		Total mass 463 kg	
*temperature rise of.		Mass of active part 279 kg	
Windings 60K		Mass of oil 100 kg	
Oil 55K		Type of oil Mineral Nytro Taurus	
		Oil to IEC 60296	
Windings material HV/LV: Al/Al		Core material: grain-oriented electrical steel	
Mass of windings: 53kg		Mass of core: 169kg	

Come si può dedurre dai valori illustrati nelle tabelle delle perdite, valori che derivano ovviamente dalle diverse caratteristiche costruttive, i trasformatori in olio hanno perdite a vuoto inferiori rispetto ai trasformatori a secco e perdite a carico paragonabili.

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 olio; in caso contrario, si può utilizzare un trasformatore a secco a perdite ridotte.

7.4 Criterio di scelta dei trasformatori basato sulla capitalizzazione delle perdite

Sia la Norma CEI 99-4 che la CEI EN 50464-1 trattano la scelta dei trasformatori basata sulla capitalizzazione delle perdite, indice di quanto importante sia questo parametro nel processo di scelta.

Questo metodo, infatti, permette una valutazione economica del costo delle macchine basandola sulle perdite e quindi considerando il reale esercizio; la formula utilizzata è del tipo:

$$C_c = C_T + A P_0 + B P_K$$

Dove:

C_c costo capitalizzato;

C_T prezzo all'offerta;

A valore monetario per W delle perdite a vuoto;

P_0 perdite a vuoto garantite in W;

B valore monetario per W delle perdite a carico;

P_K perdite dovute al carico in W.

Nel valutare l'acquisto del trasformatore è bene considerare non solo il costo iniziale ma quello capitalizzato su un certo numero di anni di esercizio, per tener conto delle perdite. Il risultato dell'analisi infatti può dimostrare come più conveniente l'acquisto di una macchina a perdite ridotte anche se più costosa piuttosto di una con perdite più alte ma più economica.

7.5 Esempio di trasformatore per cabina di trasformazione

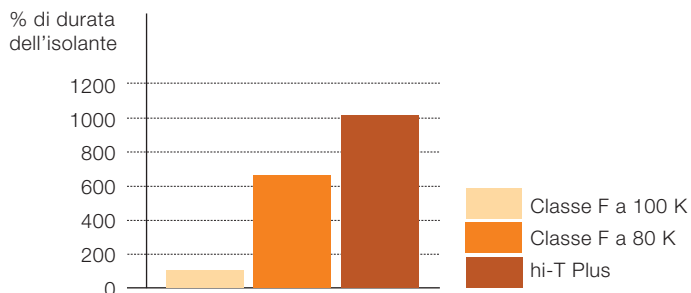
L'ubicazione della cabina può essere determinante nella scelta del trasformatore; nelle cabine elettriche ubicate all'interno di edifici pubblici o con elevata presenza di persone quali centri commerciali, ospedali, strutture sportive, può essere necessario limitare al minimo il rischio di incendio e quindi consigliata l'installazione di trasformatori a secco in classe F1 con minima infiammabilità ed emissione di fumi.

Un'ottima soluzione per le cabine elettriche suddette possono essere i trasformatori a secco ABB hi-T Plus inglobati in resina. Questi trasformatori sono in classe d'isolamento H (la più elevata con riferimento alla IEC 60076-11) ma anziché raggiungere la massima temperatura del punto più caldo ammessa dalla Norma di 180 °C, sono progettati per raggiungere una temperatura più bassa, al massimo i 155 °C. Ne conseguono enormi vantaggi in termini di durata dell'isolamento e/o possibilità di sovraccarico (secondo la IEC 60076-12). Infatti, grazie a questi 25 K di differenza nei trasformatori ABB hi-T Plus la vita media attesa dell'isolamento è più di dieci volte superiore a quella di un trasformatore standard in classe F che funziona alla stessa temperatura del punto più caldo ed è quasi doppia rispetto ai trasformatori più grandi e costosi di classe F con una sovratemperatura limitata a 80 K.



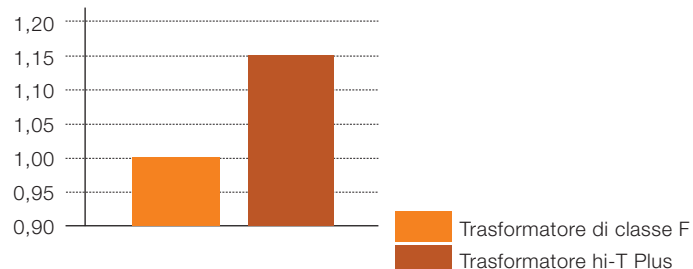
7. Trasformatori di potenza

Durata dell'isolante prevista, supponendo che $F_{100K} = 100\%$



In alternativa, questi trasformatori si possono sovraccaricare permanentemente fino al 115% del carico nominale, senza che ciò incida negativamente in termini di durata. Durante tale sovraccarico la temperatura massima del punto caldo raggiungerebbe i 180 °C in accordo alla Norma IEC 60076-12.

Sovraccarico



Tali prestazioni di isolamento superiori rendono i trasformatori ABB hi-T Plus la soluzione ideale per reti con un elevato livello di distorsione armonica, picchi di carico, sovraccarichi improvvisi e temperature ambiente elevate.

I trasformatori hi-T Plus abbinano inoltre valori di perdite estremamente ridotte A_0A_k , quindi le perdite più basse secondo la Norma CEI EN 50464-1 e in pieno accordo al Regolamento Europeo MEPS, che permettono di ridurre i costi delle perdite.

Per renderci conto del beneficio tra un trasformatore hi-T Plus e un normale trasformatore a secco applichiamo il metodo di capitalizzazione delle perdite già illustrato e proposto dalla Norma CEI 99-4.

Ipotizziamo che con un carico di 1100 kVA, grazie alle capacità di sovraccarico, sia possibile scegliere un trasformatore hi-T Plus da 1000 kVA invece che un normale trasformatore da 1250 kVA:

- Trasformatore hi-T Plus a perdite ridotte con $P_0 = 1550$ W (A_0) e $P_k = 9000$ W (A_k)
- Trasformatore a secco a perdite normali con $P_0 = 2800$ W (C_0) e $P_k = 13000$ W (B_k)

Si possono fare i seguenti calcoli.

Supponendo che il trasformatore abbia un carico del 60% della potenza per 16 ore al giorno durante i 230 giorni lavorativi e il 10% nelle restanti 8 ore, mentre durante i 135 giorni festivi sia il 10% per tutte le 24 ore, con il trasformatore a perdite ridotte si avranno le seguenti perdite annuali:

$$P_0 = 365 \times 24 \times 1,55 = 13578 \text{ kWh};$$

$$P_k = 230 \times 16 \times 0,6 \times 0,6 \times 9,0 = 11923 \text{ kWh};$$

$$P_k = 230 \times 8 \times 0,1 \times 0,1 \times 9,0 = 165 \text{ kWh};$$

$$P_k = 135 \times 24 \times 0,1 \times 0,1 \times 9,0 = 292 \text{ kWh}.$$

In totale si avranno circa 25958 kWh di perdite.

Con il trasformatore a secco a perdite normali invece si avranno le seguenti perdite annuali:

$$P_0 = 365 \times 24 \times 2,80 = 24528 \text{ kWh};$$

$$P_k = 230 \times 16 \times 0,6 \times 0,6 \times 13,0 = 17222 \text{ kWh};$$

$$P_k = 230 \times 8 \times 0,1 \times 0,1 \times 13,0 = 239 \text{ kWh};$$

$$P_k = 135 \times 24 \times 0,1 \times 0,1 \times 13,0 = 421 \text{ kWh}.$$

In totale si avranno circa 42410 kWh di perdite.

Volendo poi valutare il costo delle perdite su un arco di utilizzo di 10 anni e supponendo che i costi medi dell'energia per fascia oraria siano:

$$A = 0,098 \text{ €/kWh e } B = 0,13 \text{ €/kWh},$$

si ottengono i seguenti valori:

Trasformatore hi-T Plus a perdite ridotte:

$$A \times P_0 = 13578 \times 0,098 \times 10 = 13306 \text{ €}$$

$$B \times P_k = 12380 \times 0,13 \times 10 = 16094 \text{ €}$$

Costo totale delle perdite pari a circa 29400 €.

Trasformatore a secco a perdite normali:

$$A \times P_0 = 24528 \times 0,098 \times 10 = 24037 \text{ €}$$

$$B \times P_k = 17882 \times 0,13 \times 10 = 23247 \text{ €}$$

Costo totale delle perdite pari a circa 47285 €.

Il risparmio calcolato è quindi di 17884 € in 10 anni.

Normalmente il trasformatore a basse perdite ha un costo di acquisto superiore ma con questo risparmio si otterrebbe un tempo di ritorno dell'investimento molto basso, probabilmente inferiore ai 2 anni.

7.6 Livello di rumore nei trasformatori

Nella scelta degli apparecchi e dei componenti occorre tener conto del rumore trasmesso nell'ambiente interno ed esterno alla cabina. La Norma CEI 99-4 raccomanda che il livello di rumore sia compatibile con le caratteristiche dell'ambiente di installazione e con i regolamenti vigenti.

Nelle cabine di trasformazione la maggiore fonte di rumore sono i trasformatori stessi. I limiti del livello di potenza sonora (dB) emessa sono fissati dalle Norme CEI EN 50464-1:2007 e CEI EN 50541-1:2011. Nelle stesse tabelle utilizzate per le perdite a carico e a vuoto troviamo anche i livelli di potenza sonora L_{WA} espressi in dB.

7.7 Perdite nella cabina

Per determinare la portata d'aria necessaria e la sezione delle aperture per la ventilazione, si deve conoscere la quantità di calore complessivo prodotto dalle perdite nella cabina.

Fin quando il calore prodotto non è pari a quello smaltito all'esterno tramite il sistema di ventilazione (regime termico) la temperatura interna aumenta. Il componente che produce le maggiori perdite è il trasformatore; possiamo quindi utilizzare alcuni metodi semplificati aggiungendo alle perdite del trasformatore una stima delle perdite degli altri componenti.

La Norma CEI 99-4 ne suggerisce tre:

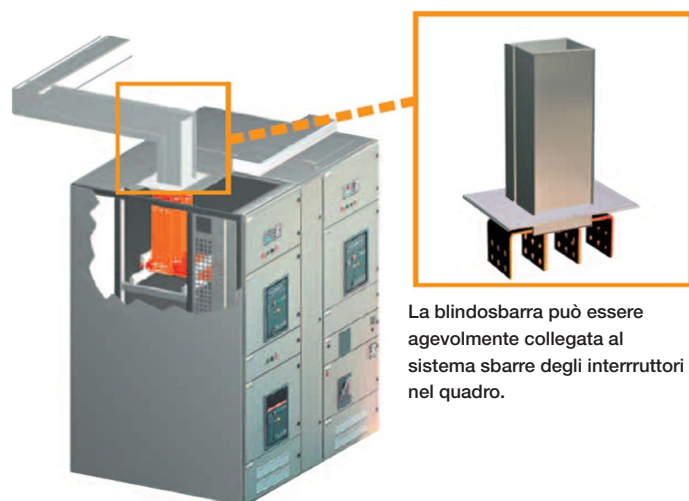
- considerare come perdite aggiuntive un valore circa il 10%÷15% delle perdite totali del trasformatore
- considerare per le perdite aggiuntive dei valori riferiti al m^2 di superficie della cabina (valori tipici attorno a $100 \text{ W/m}^2 \div 200 \text{ W/m}^2$)
- considerare le perdite dei componenti fornite dai costruttori e stimare un valore delle perdite dei cavi.

8. Apparecchi e Sistemi BT

8.1 Collegamento trasformatore quadro BT

Normalmente nella cabina, la connessione tra il trasformatore MT/BT e il quadro BT viene effettuata in condotto sbarre. Il condotto sbarre rappresenta una valida alternativa al collegamento in cavo in quanto è molto compatto alle alte correnti rispetto alla soluzione in cavo e si collega naturalmente sia ai terminali di BT del trasformatore (vedi figura) da un alto, sia alle sbarre del quadro di BT all'altra estremità. Inoltre i condotti sbarre hanno il vantaggio di avere caratteristiche elettriche e meccaniche già definite e testate in fabbrica dal costruttore e di ridurre il rischio di incendio rispetto all'utilizzo dei cavi.

Non da ultimo, i condotti sbarre risultano più economici dei cavi per correnti elevate.



La blindosbarra può essere agevolmente collegata al sistema sbarre degli interruttori nel quadro.

8.2 Il quadro di BT

I quadri di distribuzione in bassa tensione, installati a valle dei trasformatori di potenza MT/BT, sono equipaggiati con l'interruttore generale di arrivo (aperto o scatolato) e con un certo numero di interruttori per le partenze con caratteristiche elettriche (tensione nominale, corrente nominale, potere di interruzione), in numero e configurazione che dipendono dall'impianto elettrico da alimentare.

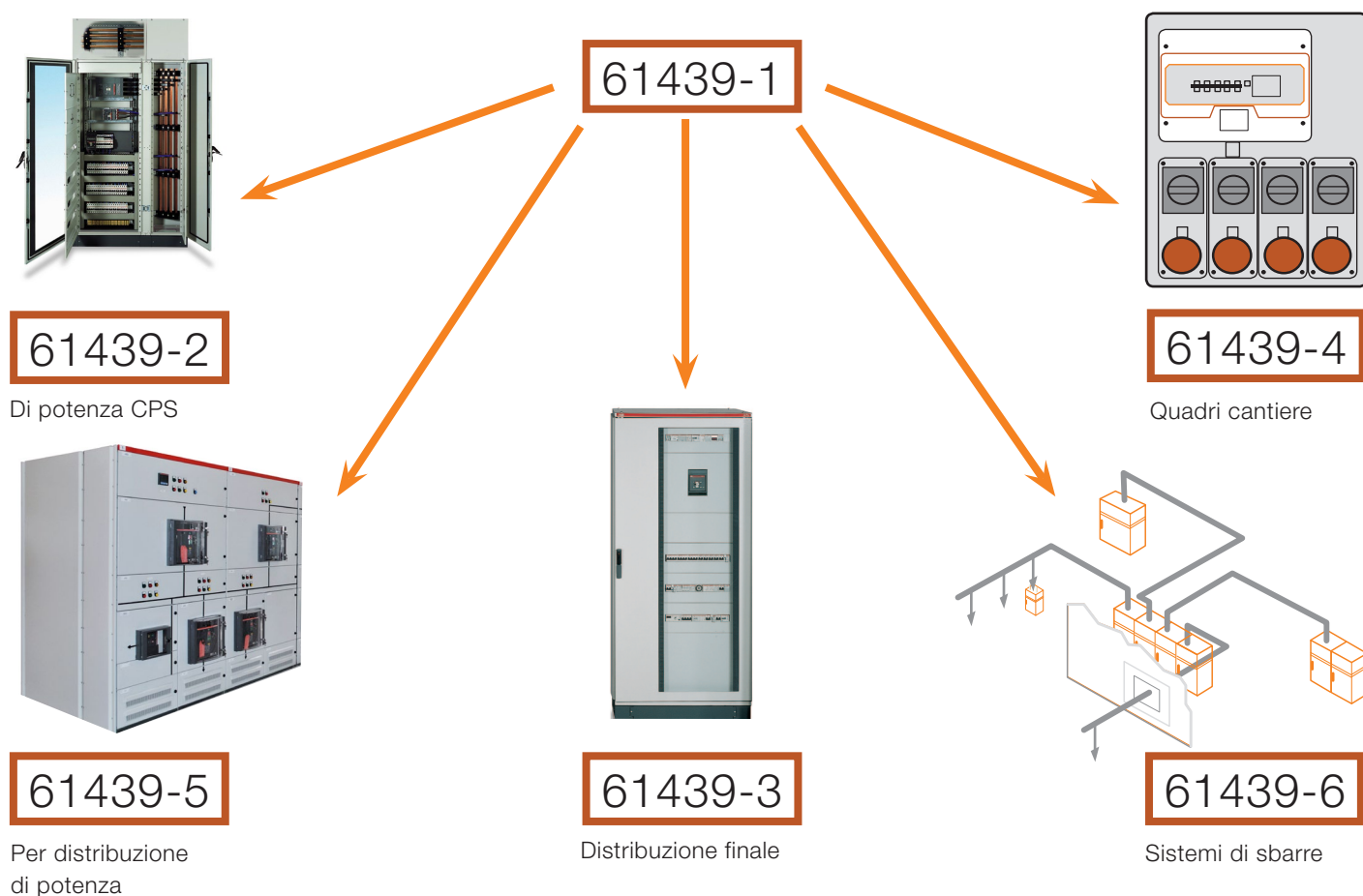
Non entreremo quindi nel dettaglio di questo componente fondamentale della cabina.

La norma di riferimento per i quadri elettrici di BT è la CEI EN 61439-1, che è la norma base, seguita da tutte le sotto norme della famiglia 61439 (6 totali):

- 1) La CEI 61439-1: "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 1: "Regole Generali"
- 2) La CEI EN 61439-2: "Quadri di potenza"
- 3) La CEI EN 61439-3: "Quadri di distribuzione"
- 4) La CEI EN 61439-4: "Quadri per cantiere"
- 5) La CEI EN 61439-5: "Quadri per distribuzione di potenza"
- 6) La CEI EN 61439-6: "Sistemi di condotti sbarre"

La norma base stabilisce i requisiti relativi alla costruzione, sicurezza e manutenibilità dei quadri elettrici, identificando le caratteristiche nominali, le condizioni ambientali di servizio, i requisiti meccanici ed elettrici e le prescrizioni relative alle prestazioni

Inoltre, sia per le protezioni contro i contatti diretti che per i contatti indiretti valgono le prescrizioni della Norma CEI 64-8.



Nella figura seguente abbiamo degli esempi di Power Center realizzati con quadri ABB tipo ArTù K e interruttori ABB (interuttori modulari System Pro M, scatolati Tmax serie T e serie XT ed aperti Emax) con un livello di integrazione ottimale

e certificato. Elementi fondamentali da considerare per la progettazione della cabina sono le dimensioni del quadro per il dimensionamento del locale Utente e la dissipazione ai fini del calcolo della ventilazione naturale o forzata.



9. Le cabine prefabbricate

La norma di riferimento per questi prodotti è la Norma CEI EN 62271-202. Le cabine prefabbricate contengono tutte le apparecchiature elettriche necessarie per il funzionamento della cabina: il trasformatore, i quadri di MT e di BT, le connessioni e tutti gli ausiliari. Dato che queste cabine sono spesso collocate in ambienti accessibili al pubblico, la norma prescrive test specifici per assicurare la protezione delle persone contro l'arco interno. In particolare per l'arco interno sono previste tre classi in funzione dell'accessibilità: classe IAC-A per cabine che garantiscano la protezione al personale operativo all'interno o all'esterno della cabina stessa; classe IAC-B per cabine che garantiscano la protezione al pubblico su tutti i lati; infine il classe IAC-AB per cabine che garantiscano la protezione ad entrambi, operatori e pubblico. Nelle versioni accessibili all'interno, in combinazione con i quadri per la distribuzione secondaria UniSec, le cabine prefabbricate ABB CSS (Compact Secondary Substations) sono in grado di garantire la classe IAC-AB fino a 20 kA per 1 s quindi, oltre alla sicurezza interna per gli operatori autorizzati, anche la sicurezza esterna per operatori e pubblico, in accordo sia alla CEI EN 62271-202 che alla Norma CEI EN 62271-200 per quanto riguarda il quadro.

Relativamente alle condizioni operative, la norma chiede di definire la classe della struttura in corrispondenza alla potenza massima nominale della cabina prefabbricata. Si verifica, infatti, un aumento di temperatura del trasformatore, maggiore rispetto alla sovratemperatura in aria libera, che dipende dalle caratteristiche della struttura oltre che dalle condizioni di servizio. La classe definisce quindi in K la sovratemperatura Δt che si verifica sul trasformatore durante il funzionamento in cabina:

Class 5: $\Delta t \leq 5$ K, Class 10: $\Delta t \leq 10$ K, Class 15: $\Delta t \leq 15$ K, Class 20: $\Delta t \leq 20$ K, Class 25: $\Delta t \leq 25$ K, Class 30: $\Delta t \leq 30$ K.

Prendiamo, ad esempio, il trasformatore hi-T Plus in classe di isolamento H quindi con temperature massima raggiungibile di 180 °C. La Norma CEI EN 62271-202 fornisce il seguente grafico per determinare il coefficiente di carico del trasformatore in funzione della classe nominale della cabina e della temperatura media ambiente in un determinato periodo di tempo. Ipotizziamo le seguenti condizioni ambientali: Temperatura ambiente media durante l'anno di 10 °C, in particolare la temperatura ambiente media durante l'inverno sia di 0 °C e la temperatura ambiente media durante l'estate sia di 20 °C.



Consideriamo un trasformatore da 630 kVA con carico medio durante l'anno di 600 kVA.

Utilizzando la figura DD.7 della Norma, in corrispondenza alla temperatura di 10 °C e ad un coefficiente di carico di 0,95, troviamo che dovremo richiedere al costruttore la classe 25. Considerando invece la situazione peggiore, ovvero in estate a 20 °C di temperatura media e con lo stesso coefficiente di carico, sarà necessario richiedere la classe 15.

L'armatura metallica di cui è dotata la cabina realizza una maglia equipotenziale di terra omogenea su tutta la struttura, che successivamente collegata all'impianto di terra protegge le apparecchiature interne da sovratensioni atmosferiche e limita a valori trascurabili gli effetti delle tensioni di passo e contatto. L'intera struttura viene interamente assemblata e collaudata con le apparecchiature elettriche in fabbrica ed è pronta per essere collocata in cantiere per la successiva messa in servizio. Le attività di installazione sono quindi limitate ai collegamenti in cavo tra le diverse cabine ed i

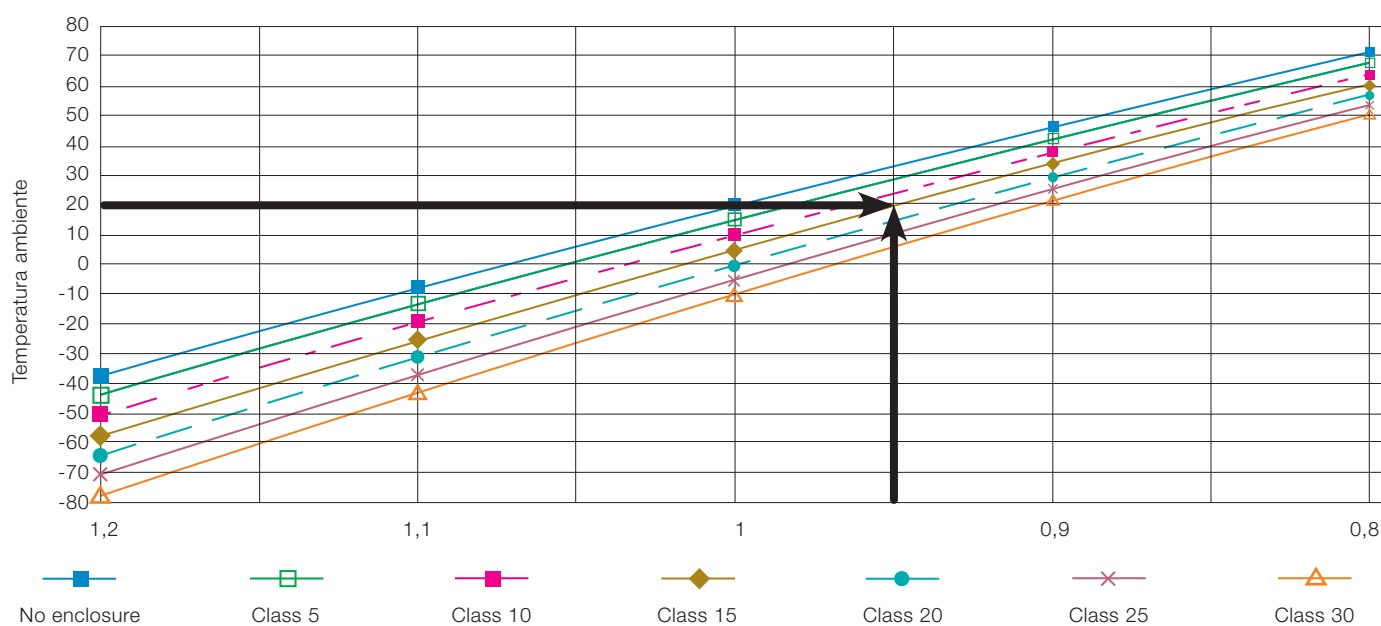
quadri di distribuzione. Il trasporto della cabina non richiede l'impiego di mezzi per trasporti eccezionali e qualora si renda necessario spostare la cabina in un altro luogo l'operazione è semplice e richiede tempi brevi. Le cabine sono corredate di un basamento con le stesse caratteristiche dell'involucro la cui pianta ha le stesse dimensioni della cabina.

Le cabine sono disponibili in tre materiali diversi: acciaio, cemento e GRP (Glass-fiber Reinforced Polyester), quest'ultimo con interessanti caratteristiche di leggerezza, robustezza e capacità termica e trasparenza alle onde elettromagnetiche, utile in caso di impiego di sistemi di comunicazione per la gestione delle reti (es. smart grid).

I vantaggi principali offerti dalle cabine prefabbricate sono quindi:

- facile trasportabilità
- immediata installazione in sito previa posa del basamento
- prodotto costruito in piena conformità alla CEI EN 62271-202
- prodotto collaudato in fabbrica con tutte le varie componenti e quindi immediatamente utilizzabile.

Figura DD.7 - Classe di isolamento 180 °C (H) per coefficiente di carico per trasformatori a secco in cabina.



10. Altri requisiti dell'impianto elettrico della cabina

È importante non trascurare nel progetto dell'impianto elettrico della cabina, alcuni requisiti citati nella Norma CEI EN 61936-1 relativamente a sovratensioni, armoniche e campi elettrici e magnetici, molto importanti per l'impatto che possono avere sulla salute delle persone e sulla durata delle apparecchiature elettriche.

10.1 Sovratensioni

Per quanto riguarda le sovratensioni, la norma chiede che le apparecchiature siano protette dalle sovratensioni prodotte da manovre di apertura o chiusura e da scariche atmosferiche. La norma prescrive anche di effettuare analisi per verificare la presenza di tali sovratensioni durante l'esercizio in modo da non superare i valori di tenuta delle apparecchiature. Ove tali limiti fossero superati il progettista deve prevedere opportune protezioni.

Da sottolineare che la scelta di tali dispositivi di protezione dipende dal sistema di messa a terra del neutro e dal dimensionamento dell'impianto di terra.

La CEI 0-16 si limita a indicare che eventuali sovratensioni impulsive possono danneggiare i componenti elettronici sia di controllo che di potenza nonché i motori, i cavi e il macchinario elettrico in genere, danneggiando i circuiti e perforando gli isolamenti.

I modelli della rete sono spesso molto complicati e necessitano di tecnici esperti in simulazioni ma ottengono il risultato di evidenziare i fenomeni transitori più pericolosi per l'impianto.

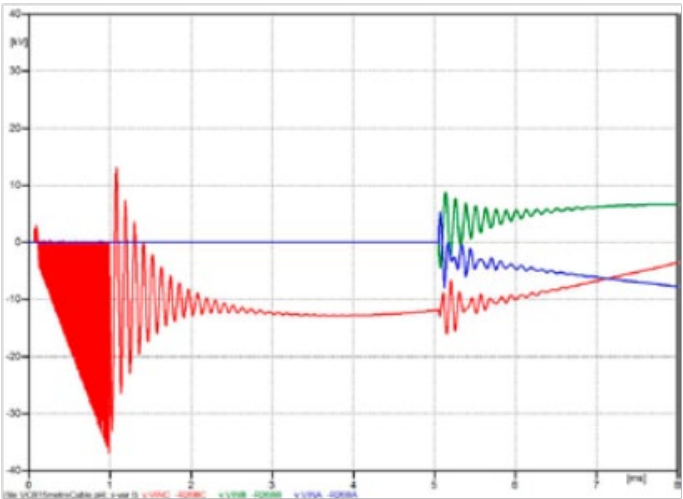
ABB, grazie all'esperienza maturata come costruttore di apparecchiature elettriche, è in grado di supportare chi si trovi a progettare impianti complessi con studi appropriati finalizzati a:

- Calcolo delle sovracorrenti transitorie dovute all'inserzione di banchi di condensatori.
- Calcolo delle sovracorrenti transitorie dovute all'inserzione di banchi di filtraggio
- Calcolo dei transitori di inserzione di trasformatori di Potenza
- Calcoli di Ferrorisonanza
- Calcolo e analisi della Transient Recovery Voltage
- Calcolo delle sovratensioni di manovra e loro soppressione
- Calcolo correnti di avviamento di motori critici
- Analisi delle rete al fine di analizzare in generale le condizioni anomale che si possono verificare nell'impianto, individuando i punti critici da controllare

10.2 Armoniche e campi elettrici e magnetici

Armoniche

I disturbi massimi, tra cui le armoniche, che possono essere immessi nella rete sono indicati dal Distributore tenendo conto dei margini disponibili nella zona di rete interessata. Gli stessi apparecchi utilizzatori possono essere sensibili alle armoniche; la Norma CEI 0-16 ne fornisce un elenco con le relative possibili conseguenze.



Armoniche	Condensatori	Sovrariscaldamento e danneggiamento condensatori
	Relè di protezione	Interventi intempestivi relè di protezione
	Collegamenti a basso livello di potenza	Malfunzionamento sistemi di controllo e trasmissione dati
	Motori e macchine rotanti	Incremento delle perdite di motori, trasformatori e cavi e conseguente sovrariscaldamento
	Trasformatori	
	Cavi elettrici	

Negli impianti industriali alcuni apparecchi contribuiscono alla generazione di armoniche e vanno, quindi, verificati; essi sono:

- Forni industriali (a induzione, HF, UHF, arco)
- Motori (asincroni, a velocità variabile)
- Convertitori (AC/DC, AC/AC e ciclo-convertitori)
- Apparecchiatura per elettroerosione
- Lampade a scarica
- Televisori
- Apparecchiatura per radiologia

Un cenno va fatto per i condensatori di rifasamento (bassa e media tensione); si devono installare in modo tale da non presentare pericolo di innesco o propagazione di incendio per i materiali adiacenti, e in modo tale da non amplificare le correnti armoniche presenti nell'impianto e quindi senza peggiorare il livello di inquinamento elettromagnetico in bassa frequenza (vedere IEC/TR 61000-3-6).

Campi elettromagnetici

La Norma CEI 99-4 nell'Allegato I tratta il problema dei possibili interventi di riduzione del campo elettromagnetico (CEM) associabile a cabine MT/BT.

Dal punto di vista legislativo, per l'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a frequenza industriale, il riferimento è la Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" ed il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti."

Inoltre, circa il posizionamento della cabina presso l'utenza in considerazione degli ambienti circostanti, si devono considerare i requisiti del DM 29 maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti", in relazione alla distanza di prima approssimazione (DPA) relativamente all'esposizione ai campi elettromagnetici e del DM 29 maggio 2008, a

"Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica".

Infine, per quanto riguarda i metodi di mitigazione dei campi magnetici generati dalle cabine MT/BT, la Norma CEI 99-4 rimanda a quanto riportato nella Guida CEI 106 – 12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine MT/BT".

Sulla base di quanto previsto dal suddetto quadro normativo di riferimento, nella progettazione di nuove cabine che si trovino in prossimità di aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si deve tener conto per l'induzione magnetica dell'obiettivo di qualità definito nel DPCM dell'8 luglio 2003 di 3 μ T.

All'interno delle fasce di rispetto delle cabine, definita come lo spazio circostante che comprende tutti i punti caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità, non deve essere prevista alcuna destinazione d'uso che comporti una permanenza maggiore di 4 ore giornaliere.

Da segnalare che il proprietario o gestore, contestualmente ai dati di progetto deve fornire all'autorità competente per il procedimento autorizzativo anche le distanze di prima approssimazione, definite come la distanza da tutte le facce del parallelepipedo della cabina stessa che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro più di DPA, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le DPA delle cabine di trasformazione (MT/BT) si può far riferimento al DM 29/05/2008, paragrafo 5.2.1.

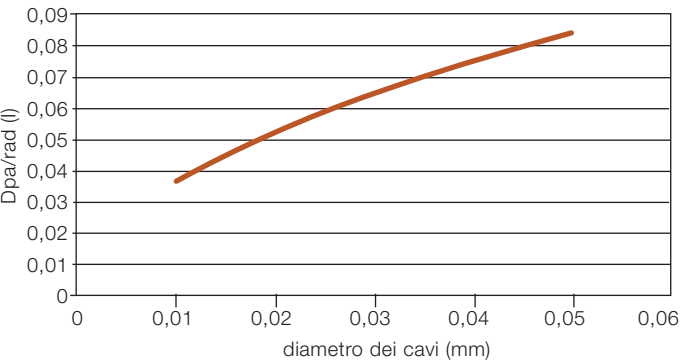
10. Altri requisiti dell’impianto elettrico della cabina

Per determinare la DPA il proprietario/gestore della cabina deve:

- 1. Usare la curva riportata nel grafico seguente per calcolare il valore di DPA/radice della corrente per la tipologia di cavi in uscita dal trasformatore MT/BT
- 2. Moltiplicare tale valore per la radice della corrente e arrotondare al mezzo metro superiore

Equazione della curva: $\frac{Dpa}{\sqrt{I}} = 0,40942 * x^{0,5241}$

Dpa = Distanza di prima approssimazione (m);
I = corrente nominale (A);
x = diametro dei cavi (mm)



Nella tabella successiva si riportano a titolo di esempio le DPA per fasce a 3 µT calcolate in alcuni casi reali.

Diametro dei cavi (m)	Tipologia trasformatore (kVA)	Corrente (A)	Dpa (m)
0,010	250	361	1
	400	578	1
	630	909	1,5
0,012	250	361	1
	400	578	1,5
	630	909	1,5
0,014	250	361	1
	400	578	1,5
	630	909	1,5
0,018	250	361	1,5
	400	578	1,5
	630	909	2
0,022	250	361	1,5
	400	578	1,5
	630	909	2
0,027	250	361	1,5
	400	578	2
	630	909	2,5
0,035	250	361	1,5
	400	578	2
	630	909	2,5

Come valore indicativo, quindi, per le cabine secondarie standard la DPA varia tra 1,0 m e 2,5 m.

11. Richiesta di connessione

Prima del perfezionamento della connessione, l'Utente deve fornire per la cabina (sia quelle inserite in edifici che quelle costituenti un fabbricato a sé stante) la dichiarazione attestante che le prestazioni delle strutture siano rispondenti a quanto prescritto ed accompagnate da:

- copia originale certificato di agibilità ed accatastamento
- copia originale di tutte le autorizzazioni e permessi vari
- certificato di collaudo delle opere in cemento armato (legge 1086)
- certificati di conformità degli impianti tecnologici dell'edificio
- elaborati grafici definitivi “as built” sia edili che elettromeccanici
- elaborati grafici definitivi per le linee AT ed MT aeree ed in cavo
- copia atti notarili e servitù
- libretti di uso e manutenzione comprensivi dei disegni costruttivi delle apparecchiature
- fascicolo dell'opera
- schede di verifica e di collaudo controfirmate dal tecnico esecutore e dal produttore attestanti la rispondenza dei locali alla Norma CEI 99-2 (in caso di cabina costruita in loco o in edifici civili) o la rispondenza dei locali e degli impianti degli stessi alla Norma CEI 17-103 (in caso di cabina bassa in box prefabbricato)
- tabelle di taratura delle protezioni
- tabelle di tesatura
- relazione impianto di terra

Infine, relativamente all'ambiente circostante, il posizionamento dei locali deve rispondere ai requisiti del DM 29 maggio 2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”, in relazione alla distanza di prima approssimazione (DPA) relativamente all'esposizione ai campi elettromagnetici.

Completato favorevolmente il controllo di tutta la documentazione sopra elencata, l'ente Distributore provvederà a redigere il “Verbale di collaudo ed accettazione definitiva delle opere di rete per la connessione”.

12. Ispezioni e prove in sito prima della messa in servizio

Prima della messa in servizio si devono eseguire ispezioni e prove per verificare la conformità dell'installazione dei componenti elettrici alle specifiche tecniche applicabili che devono essere oggetto di accordo tra fornitore ed utilizzatore. La Norma CEI 99-4 riporta a sua volta le disposizioni della Norma CEI EN 61936-1.

La verifica si può eseguire con le seguenti modalità:

- ispezione a vista
- prove funzionali
- misure.

In realtà, le ispezioni e prove su parti degli impianti elettrici possono essere effettuate dopo la consegna e anche dopo il completamento dell'impianto.

Tipicamente vengono eseguiti i seguenti controlli:

- verifica delle caratteristiche dei componenti elettrici per le condizioni di funzionamento previste
- verifica delle distanze minime di isolamento tra parti attive e tra parti attive e terra
- prova di tensioni per cavi
- verifica delle altezze minime e delle distanze tra le barriere
- ispezioni a vista e/o prove funzionali di componenti elettrici e di parti dell'impianto
- prove funzionali e/o misure su dispositivi di protezione, di monitoraggio, di misura e di comando
- ispezioni delle targhe, delle segnalazioni di sicurezza e dei dispositivi di sicurezza
- verifica impianto di terra come previsto dalla Norma CEI EN 61936-1.

13. Manutenzione della cabina elettrica

Nel D.LGS. 81/08 "Impianti e apparecchiature elettriche", articolo 80 "Obblighi del datore di lavoro" si stabilisce che il datore di lavoro deve, tra l'altro, predisporre le procedure di uso e manutenzione atte a garantire nel tempo la permanenza del livello di sicurezza raggiunto con l'adozione delle misure prese. Una cattiva manutenzione, infatti, genera con il tempo quelle condizioni di rischio che le norme tecniche e i costruttori cercano di limitare introducendo regole e innovazioni in fase di progettazione e costruzione.

Esiste una norma specifica, la Norma CEI 78-17 2015: Manutenzione delle cabine elettriche MT/MT e MT/BT dei clienti/utenti finali (revisione della precedente edizione CEI 0-15 2006) il cui scopo è quello di proporre un metodo manutentivo basato sull'individuazione di tutti i componenti della cabina da mantenere.

Inoltre, con la Deliberazione 29 dicembre 2011, ARG/elt 198/11, al punto 39.2 Allegato A -, l'AEEG (Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il sistema idrico) richiede agli Utenti MT, con potenza disponibile in prelievo inferiore o uguale a 400 kW, che godono dei requisiti semplificati, di effettuare la manutenzione ai sensi della Norma CEI 0-15 (ora CEI 78-17) referutando su apposito registro, come condizione per avere accesso all'indennizzo nel caso non risulti rispettato il livello specifico di continuità del servizio specificato da parte del Distributore.

Nella norma sono fornite le disposizioni tecniche per eseguire in sicurezza i lavori di manutenzione necessari per il corretto esercizio delle cabine elettriche e dei relativi impianti connessi con riferimento anche alla Norma CEI 0-16.

Si fa riferimento quindi a:

- tutti i componenti elettrici di MT e BT della cabina di ricezione e delle eventuali cabine MT/MT di distribuzione dell'utente finale (es: interruttori, sezionatori, quadri elettrici, trasformatori, convertitori, batterie, condensatori, impianti di terra, ecc.)
- tutti i componenti alimentati dalla rete MT del cliente finale (es: interruttori, quadri elettrici, motori, ecc.)
- tutti i cavi MT
- tutti i sistemi di sicurezza deputati alla salvaguardia delle persone che operano sugli impianti e/o in loro prossimità (in accordo alle Norme CEI 11-27 e CEI 11-15) e degli stessi impianti elettrici (es: costruzioni, recinzioni, uscite di sicurezza, estintori e sistemi antincendio, apparecchiature per illuminazione di emergenza, cartelli, serrature, interblocchi, relè di protezione, ecc.).

Le disposizioni riguardano anche i componenti utilizzati per la produzione sia di MT che di BT, anche se dislocati in locali diversi, che però non sono oggetto della presente pubblicazione.

Ricordiamo che la manutenzione può essere correttiva o preventiva:

- la manutenzione correttiva comporta il rinnovo o la sostituzione dei componenti affetti da un guasto in modo da riportare l'impianto in condizioni di esercizio
- la manutenzione preventiva invece, è finalizzata a contenere il degrado dei componenti conseguente al loro utilizzo.

Un caso particolare di manutenzione preventiva è la manutenzione predittiva che consiste nel verificare lo stato di conservazione dei componenti e, quindi, di anticiparne il deperimento utilizzando metodi per determinare il tempo di vita residuo dei componenti, segnalando la necessità di manutenzione o sostituzione anche con componenti di nuova generazione.

In quest'ultimo caso ABB propone i prodotti MyRemoteCare e MySiteCare.

MyRemoteCare offre la possibilità di memorizzare le informazioni di diagnostica relative ai singoli dispositivi e di utilizzarli per generare rapporti e segnalazioni di allarme. Inoltre, l'analisi dei dati storici e dei trend consente di determinare le deviazioni nel tempo dai comportamenti standard. In questo modo i tecnici del Service di ABB possono analizzare da remoto i dati diagnostici degli interruttori, ma anche di dispositivi di bassa media e alta tensione e di trasformatori, segnalando eventuali problemi, verificando le cause e intraprendendo se del caso le manutenzioni necessarie a breve o a lungo termine. I responsabili della manutenzione possono verificare le attività pianificate ed effettuate dagli esperti ABB consultando il portale MyRemoteCare.

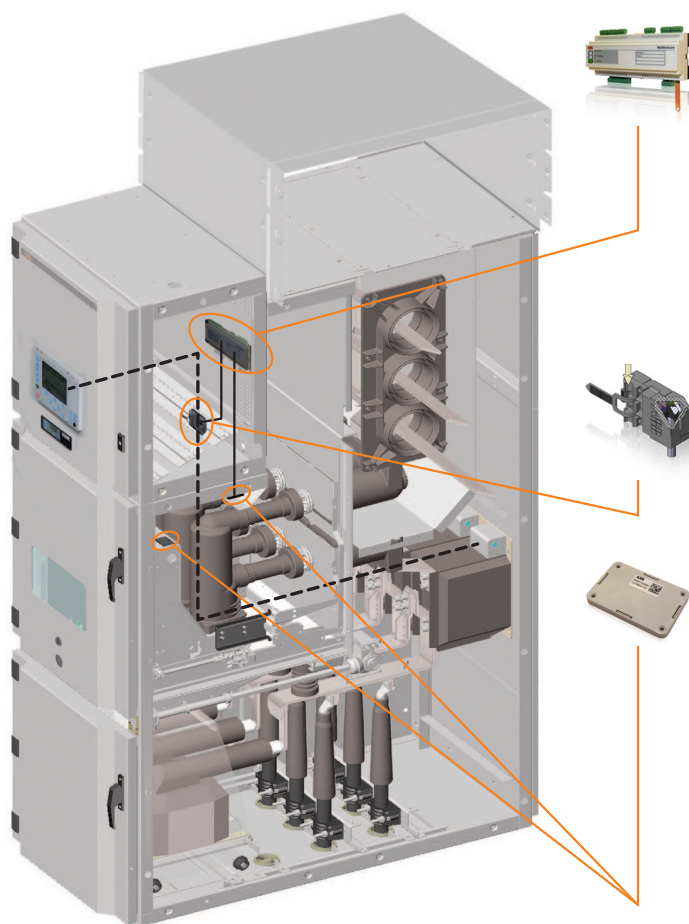
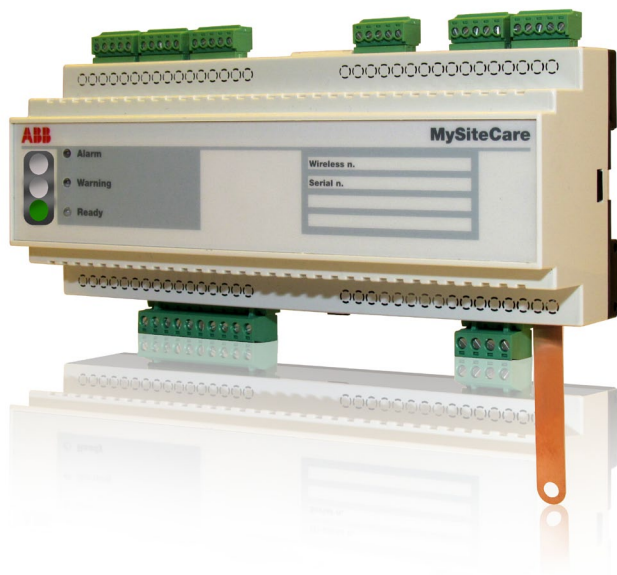
Il sistema raccoglie le informazioni di diagnostica principalmente tramite MySiteCare ovvero un dispositivo universale di diagnostica per interruttori.

Il dispositivo di monitoraggio e diagnostica MySiteCare acquisisce i dati tipici degli interruttori e li elabora in dati diagnostici così da determinare le condizioni di funzionamento e consentire di pianificare la manutenzione. Il dispositivo può raccogliere le seguenti informazioni:

- dati meccanici: tempi di aperture e chiusura, tempo di carica delle molle del comando, tentativi falliti di carica delle molle, numero di manovre, tempi morti;
- dati ambientali, quali le temperature nei compartimenti dell'unità funzionale;
- dati diagnostici veri e propri quali la stima della vita residua e l'usura dei contatti.

Sulla base di questi dati il dispositivo elabora algoritmi di diagnostica predittiva fornendo indicazioni sulle condizioni meccaniche, elettriche e funzionali dell'interruttore.

13. Manutenzione della cabina elettrica



Nessuna modifica è necessaria al quadro, all'interruttore o al relè di protezione. I componenti da installare sono l'unità centrale, il sensore di corrente e il dispositivo di identificazione wireless (RDIF) che memorizza in modo univoco i dati dell'interruttore e li trasmette all'unità centrale. Gli algoritmi predittivi sono configurati dai tecnici ABB al momento dell'installazione.

Le informazioni elaborate da ciascun MySiteCare sono trasmesse tramite un concentratore e rete telefonica al Centro Dati ABB.

In assenza di eventi significativi che vengono comunicati immediatamente, lo stato dell'impianto viene aggiornato ogni 24 ore. I tecnici specializzati di ABB possono accedere al portale via Internet per consultare i dati diagnostici e fornire il supporto necessario.

Da ultimo, come ulteriore soluzione al problema della manutenzione, consideriamo anche l'aggiornamento e il retrofit delle apparecchiature in modo da adeguarle allo stato dell'arte in termini di tecnologia e sicurezza.

Dopo un'opportuna analisi dello stato delle apparecchiature, infatti, può risultare conveniente la loro completa sostituzione anziché ricorrere alla consueta manutenzione ordinaria. Ad esempio, è possibile aggiornare vecchi interruttori ormai obsoleti dal punto di vista tecnologico, come gli interruttori in aria o in olio ridotto, con moderni interruttori in SF₆ o in vuoto dove siano implementate tutte le soluzioni atte ad aumentare la sicurezza del personale.

La soluzione proposta da ABB in questo caso si chiama OneFit: Il nuovo interruttore viene adattato meccanicamente ed elettricamente tramite una verifica effettuata in sito sul quadro esistente da personale esperto e qualificato. Il risultato è un miglioramento non solo delle prestazioni tipiche di un nuovo apparecchio, ma anche e soprattutto della sicurezza.

Nessuna modifica è necessaria al quadro, all'interruttore o al relè di protezione. I componenti da installare sono l'unità centrale, il sensore di corrente e il dispositivo di identificazione wireless (RDIF) che memorizza in modo univoco i dati dell'interruttore e li trasmette all'unità centrale. Gli algoritmi predittivi sono configurati dai tecnici ABB al momento dell'installazione.

Le informazioni elaborate da ciascun MySiteCare sono trasmesse tramite un concentratore e rete telefonica al Centro Dati ABB.

In assenza di eventi significativi che vengono comunicati immediatamente, lo stato dell'impianto viene aggiornato ogni 24 ore. I tecnici specializzati di ABB possono accedere al portale via Internet per consultare i dati diagnostici e fornire il supporto necessario.

Da ultimo, come ulteriore soluzione al problema della manutenzione, consideriamo anche l'aggiornamento e il retrofit delle apparecchiature in modo da adeguarle allo stato dell'arte in termini di tecnologia e sicurezza.

Dopo un'opportuna analisi dello stato delle apparecchiature, infatti, può risultare conveniente la loro completa sostituzione anziché ricorrere alla consueta manutenzione ordinaria. Ad esempio, è possibile aggiornare vecchi interruttori ormai obsoleti dal punto di vista tecnologico, come gli interruttori in aria o in olio ridotto, con moderni interruttori in SF₆ o in vuoto dove siano implementate tutte le soluzioni atte ad aumentare la sicurezza del personale.

La soluzione proposta da ABB in questo caso si chiama OneFit: Il nuovo interruttore viene adattato meccanicamente ed elettricamente tramite una verifica effettuata in sito sul quadro esistente da personale esperto e qualificato. Il risultato è un miglioramento non solo delle prestazioni tipiche di un nuovo apparecchio, ma anche e soprattutto della sicurezza grazie a soluzioni quali interblocchi tra interruttore e portella, comando remoto, inserzione/estrazione a portella chiusa e quant'altro messo a disposizione dalla moderna tecnologia in termini di protezione e monitoraggio.

Affrontando il tema dell'appalto e dell'esecuzione dei lavori di manutenzione, ricordiamo che il Datore di lavoro/committente della Società proprietaria della cabina e degli impianti, nel caso tale attività venga affidata totalmente o parzialmente ad un'impresa esterna, ha la piena responsabilità sia della scelta dell'impresa appaltatrice che della verifica dell'idoneità del relativo personale come richiesto dall'art. 26 del D.Lgs. 81/08 e s.m.i.

Tutti gli interventi devono essere eseguiti nel rispetto dei provvedimenti legislativi e delle norme tecniche di riferimento. La documentazione relativa agli specifici interventi di manutenzione può consistere in un "fascicolo di manutenzione", che può essere anche informatizzato e che deve comunque essere disponibile presso l'impianto, nel quale si trovino gli schemi elettrici e la raccolta delle schede tecniche.

Le schede di manutenzione, della cui preparazione è responsabile il titolare dell'impianto elettrico, sono basate sui manuali tecnici e di manutenzione dei costruttori dei componenti e servizi, e devono contenere almeno quanto segue:

- identificativo della cabina
- codifica o n° progressivo della scheda
- denominazione del circuito e/o elemento in esame
- descrizione sintetica delle verifiche o interventi
- intervallo temporale massimo tra gli interventi
- interventi particolari effettuati e, se non effettuati, per quale motivo
- data dell'esecuzione e sigla dell'addetto alla manutenzione
- esito dell'intervento
- firme dei manutentori ed eventuali note

La Norma CEI 78-17 riporta in Allegato B degli esempi di schede manutentive complete di tutte le informazioni necessarie al fine di fornire un metodo per la loro preparazione e compilazione. Le schede devono ovviamente essere adattate all'impianto reale. Di seguito troviamo un esempio di scheda riportato nella norma alla quale si rimanda, ovviamente, per la necessaria completa trattazione.

13. Manutenzione della cabina elettrica

- Identificativo CABINA MT/MT o MT/BT xx xxx - QMT-A/CFE1-MT - SCHEDA N. 1 -

Interruttore in SF₆ per la Protezione Generale dell'impianto (PG)

NB: Consultare le schede dei costruttori, se esistenti o reperibili - Gli interventi si eseguono a seguito di esame visivo e/o strumentale		Periodo Max	Esito	Sigla	Data	Esito	Sigla	Data	Esito	Sigla	Data	Esito	Sigla	Data	Esito	Sigla	Data	Note
1	PGISF ₆ - Controllo generale e installazione	1 anno																
2	PGISF ₆ - Controllo integrità parti isolanti e pulizia	1 anno																
3	PGISF ₆ - Controllo e pulizia contatti principali di innesto e connessione	1 anno																
4	PGISF ₆ - Verifica funzionamento elettrico	1 anno																
5	PGISF ₆ - Verifica tensioni ausiliarie	1 anno																
6	PGISF ₆ - Controllo pressione gas nei poli ed eventuale rabbocco	1 anno																
7	PGISF ₆ - Esecuzione ciclo di manovra O-CO	1 anno																
8	PGISF ₆ - Controllo inserzione - prova - estratto	1 anno																
9	PGISF ₆ - Sostituzione componenti di usura del comando meccanico	5 anni																
10	PGISF ₆ - Regolazione del meccanismo di comando	5 anni																
11	PGISF ₆ - Rilievo tempi di apertura e chiusura e confronto con dati nominali	2 anni																
12	PGISF ₆ - Controllo usura contatti d'arco, se possibile	5 anni																
13	PGISF ₆ - Verifica funzionalità relé di protezione integrato con apparecchiatura di test	2 anni																
14	PGISF ₆ - Pulizia e lubrificazione meccanismi di comando	2 anni																
15	PGISF ₆ - Sostituzione del comando meccanico solo al raggiungimento del limite delle manovre previste dal costruttore																	
16	PGISF ₆ - Sostituzione dei poli solo al raggiungimento del limite delle interruzioni in corrente previste dal costruttore																	
17	–																	
Esito complessivo degli interventi periodici																		
Nelle colonne “Esito” scrivere “P” se l'intervento manutentivo è positivo - oppure - “PI” se il controllo è positivo previo intervento - oppure - “NA” quando l'intervento viene rimandato a sessioni successive - oppure - “NP” se il componente non è presente - oppure - “VN” acronimo di VEDERE NOTA (da riportare nella colonna NOTE a fianco) - oppure - “B” se gli interventi saranno eseguiti da costruttore/centro assistenza - oppure - “C” se le necessarie sostituzioni parziali o totali saranno eseguite dal costruttore/centro assistenza secondo indicazioni da riportare nella colonna delle NOTE a fianco. Nella colonna “Sigla” apporre sigla identificativa dell'addetto alla manutenzione e nella colonna “Data” scrivere la data di esecuzione dell'intervento.																Firme dei Manutentori		
																1		
																2		
																3		
																4		
																5		

14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica

14.1 Stima della potenza di alimentazione di un piccolo stabilimento industriale

Prendiamo come esempio un piccolo stabilimento industriale. La produzione prevede un ciclo termico stabilizzato in forno per cui non è consentito un black-out totale. Lo stabilimento è inoltre posto in un'area ad elevata densità abitativa.

Il punto di partenza per il progetto è la stima dei consumi delle varie utenze.

Se nel valutare la potenza necessaria si considerasse la somma delle potenze nominali di tutte le apparecchiature e

utenze si otterrebbe un valore sicuramente eccessivo per due ragioni:

- alcune apparecchiature possono non essere utilizzate alla loro piena potenza
- le apparecchiature non funzioneranno tutte contemporaneamente

Di ciò si tiene conto con due coefficienti: rispettivamente il fattore di utilizzazione K_u ed il fattore di contemporaneità K_c . L'ideale sarebbe avere i dati effettivi, come nel caso di rifacimento di un impianto esistente per il quale siano disponibili i diagrammi di carico; tuttavia, nel caso di nuovi progetti, spesso il diagramma di carico non è disponibile e quindi bisogna stimare il carico effettivo utilizzando fattori desunti statisticamente su categorie di impianti omogenei come quello proposto dalla Guida CEI 99-4, Allegato E e qui allegato.

Tipo di impianto	Fattori di contemporaneità				
	Tipo di ambiente				
	Unità abitative individuali	Edifici civili uso abitazione	Uffici, negozi, magazzini, reparti	Alberghi, ospedali	Impianti industriali di media e grande potenza
Illuminazione	66% della potenza installata	75% della potenza installata	90% della potenza installata	75% della potenza installata	90% della potenza installata
Riscaldamento (vedi anche 3 o 6)	100% della potenza delle apparecchiature fino a 10A + 50% del rimanente	100% dell'utenza maggiore + 50% del rimanente	100% dell'utenza maggiore + 75% del rimanente	100% dell'utenza maggiore + 80% della seconda + 60% del rimanente	100% dell'utenza maggiore + 75% del rimanente
Cucine	100% della potenza delle apparecchiature fino a 10A + 30% delle apparecchiature oltre i 10A permanentemente connesse	100% dell'utenza maggiore + 80% della seconda + 60% del rimanente	–	100% dell'utenza maggiore + 80% della seconda + 60% del rimanente	–
Motori (con esclusione di ascensori, montacarichi, gru, ecc.)	–	–	100% del maggior motore + 80% del secondo + 60% dei rimanenti	100% del maggior motore + 80% del secondo + 60% dei rimanenti	Da considerare caso per caso
Scaldabagni	Non è ammesso un fattore di contemporaneità				
Prese	100% dell'utenza maggiore + 25% del rimanente	100% dell'utenza maggiore + 25% del rimanente	100% dell'utenza maggiore + 40% del rimanente	100% dell'utenza maggiore + 75% delle stanze + 25% del rimanente	25% dell'utenza installata

In alternativa si può utilizzare la tabella 101 della Norma CEI EN 61439-2:

Table 101 - Values of assumed loading

Type of load	Assumed loading factor
Distribution - 2 and 3 circuits	0.9
Distribution - 4 and 5 circuits	0.8
Distribution - 6 and 9 circuits	0.7
Distribution - 10 or more circuits	0.5
Electric actuator	0.2
Motors ≤ 100 KW	0.8
Motors > 100 KW	1.0

14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica

Nell'esempio riportato la Potenza utilizzata al quadro elettrico generale di BT risulta essere di 732 kVA.

Considerando i valori delle potenze nominali dei trasformatori disponibili in commercio si può ipotizzare di installare due trasformatori da 400 kVA, che pur conducendo ad una soluzione più costosa rispetto a quella con un solo trasformatore da 800 kVA, tuttavia può essere giustificata dalla necessità di avere una maggiore continuità di servizio in caso di guasti o di manutenzione ordinaria.

In questa situazione i due trasformatori sono caricati al 92% ($732/800=0,92$) della loro potenza nominale e in caso di fuori servizio di uno dei due si potrà comunque fornire il 55% della potenza richiesta.

Le altre caratteristiche della cabina sono:

- La cabina è alimentata da un cavo interrato
- I trasformatori sono chiusi in parallelo sul secondario in modo da garantire l'alimentazione dell'impianto di BT da parte di entrambi
- L'estensione della rete MT interna è inferiore a 400 m

	Utilizzatore	S nominale KVA	Ku	S utilizzata KVA	Kc	S utilizzata KVA	S utilizzata KVA	S utilizzata KVA
Reparto A	motori (3)	150	0,8	120	0,8	96	134	732
	prese varie	80	1	80	0,25	20		
	illuminazione	20	1	20	0,9	18		
Reparto B	compressori (2)	130	0,8	104	0,8	83,2	140,45	
	prese varie	85	1	85	0,25	21,25		
	illuminazione	40	1	40	0,9	36		
Reparto C	motori (2)	50	0,8	40	0,8	32	131,25	
	forni (1)	70	1	70	1	70		
	prese varie	45	1	45	0,25	11,25		
	illuminazione	20	1	20	0,9	18		
Reparto D	prese varie	155	1	155	0,25	38,75	92,75	
	illuminazione	60	1	60	0,9	54		
Reparto E	motori (3)	125	0,8	100	0,8	80	141	
	prese varie	100	1	100	0,25	25		
	illuminazione	40	1	40	0,9	36		
Reparto F	prese varie	155	1	155	0,25	38,75	92,75	
	illuminazione	60	1	60	0,9	54		
	Sotto quadro							
	Quadro di reparto							
	Quadro generale di BT							

14.2 Calcolo di corto circuito e coordinamento delle protezioni

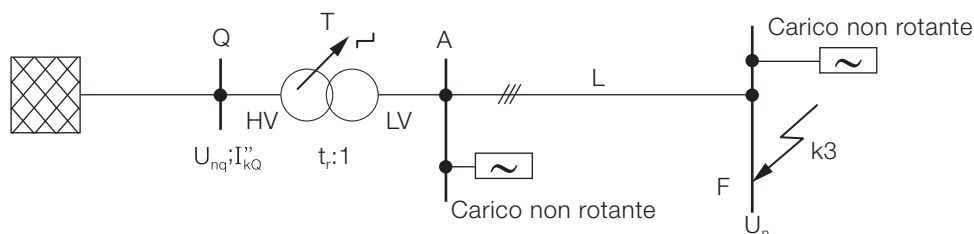
Teoria del calcolo della corrente di cortocircuito

Per trattare la teoria del calcolo delle correnti di corto circuito faremo riferimento alla Norma IEC 60909-0 "Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents". Con riferimento alla rete elettrica schematizzata in figura 1, si ipotizza un cortocircuito sui morsetti del carico. La rete può essere studiata e rappresentata utilizzando i parametri resistenze e reattanze di ogni componente elettrico.

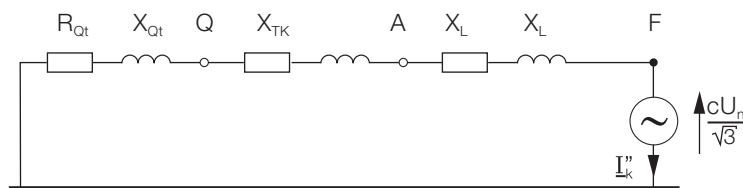
I valori di resistenza e reattanza devono essere tutti riportati allo stesso valore di tensione assunta come riferimento per il calcolo della corrente di cortocircuito.

Il passaggio dai valori di impedenza Z_1 riferiti ad una tensione superiore (U_1) ai valori Z_2 , riferiti ad una tensione inferiore (U_2), avviene attraverso il rapporto di trasformazione $K = U_1/U_2$ secondo la seguente relazione:

$$Z_2 = Z_1/K^2$$



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



14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica

Nel punto del cortocircuito viene posizionata una sorgente di tensione equivalente (U_{eq}) con valore:

$$U_{eq} = c U_n / \sqrt{3}$$

Il fattore “c” dipende dalla tensione del sistema e tiene conto dell’influenza dei carichi e della variazione della tensione di rete. Di seguito si riporta la tabella tratta dalla Norma IEC 60909-0.

Nominal voltage U_n	Voltage factor c for the calculation of	
	maximum short-circuit currents $C_{max}^{1)}$	minimum short-circuit currents C_{min}
Low voltage 100 V to 1000V (IEC 60038, table I)	1.05 ³⁾ 1.10 ⁴⁾	0.95
Medium voltage > 1kV to 35 kV (IEC 60038, table III)	1.10	1.00
High voltage ²⁾ > 35 kV (IEC 60038, table IV)		

¹⁾ $C_{max} U_n$ should not exceed the highest voltage U_m for equipment of power systems.
²⁾ If no nominal voltage is defined $C_{max} U_n = U_m$ or $C_{min} U_n = 0,90 \times U_m$ should be applied
³⁾ For low-voltage systems with a tolerance of + 6%, for example systems renamed from 380 V to 400 V
⁴⁾ For low-voltage systems with a tolerance of + 10%.

Rete di alimentazione

Nella maggior parte dei casi l’impianto risulta essere alimentato da una rete di distribuzione in media tensione, di cui abbastanza facilmente possono essere disponibili il valore della tensione di alimentazione U_{nQ} e la corrente iniziale di cortocircuito I''_{kQ} .

Sulla base di questi dati e di un coefficiente correttivo per la variazione di tensione causata dal cortocircuito è possibile determinare l’impedenza diretta di cortocircuito della rete con la seguente formula:

$$Z_Q = c U_{nQ} / (\sqrt{3} I''_{kQ})$$

Per il calcolo dei parametri resistenza e reattanza di rete, qualora non sia disponibile un valore preciso per la R_Q , possono essere utilizzate le seguenti formule approssimate:

$$X_Q = 0,995 Z_Q$$

$$R_Q = 0,1 X_Q$$

Trasformatore

L’impedenza della macchina può essere calcolata attraverso i parametri nominali della macchina stessa (tensione nominale U_{rT} ; potenza apparente S_{rT} ; tensione di corto circuito alla corrente nominale in percento u_{kr}) utilizzando la formula seguente:

$$Z_T = (u_{kr} / 100\%) (U_{rT}^2 / S_{rT})$$

La componente resistiva può essere determinata attraverso la conoscenza del valore delle perdite totali

P_{krT} riferite alla corrente nominale secondo la relazione seguente:

$$R_T = P_{krT} / (3 I_{rT}^2)$$

La componente reattiva può essere determinata con la classica relazione

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Cavi

Il valore di impedenza di questi elementi di connessione dipende da diversi fattori (tecniche costruttive, temperatura, ecc.) che condizionano la resistenze lineare R'_L e la reattanza lineare X'_L . Questi due parametri espressi per unità di lunghezza sono forniti dal costruttore del cavo; in alternativa valori di riferimento si possono trovare nella IEC 60909-2. In genere i valori di resistenza sono riferiti ad una temperatura di riferimento di 20 °C; per temperature di esercizio θ diverse con la formula seguente è possibile riportare il valore di resistenza alla temperatura di esercizio.

$$R'_{L\theta} = [1 + \alpha (\theta - 20)] R'_{L20}$$

dove:

α è il coefficiente di temperatura che dipende dal tipo di materiale (per il rame, alluminio e leghe di alluminio vale 4×10^{-3} con buona approssimazione).

Quindi molto semplicemente abbiamo che:

$$R_L = L R'_L \text{ e } X_L = L X'_L$$

con L lunghezza della linea in cavo.

Calcolo della corrente di cortocircuito

Le definizioni dei valori delle resistenze e delle reattanze di cortocircuito dei principali elementi che costituiscono un circuito permettono il calcolo delle correnti di cortocircuito nell'impianto.

Con riferimento alla figura 2, attraverso la modalità di riduzione di elementi in serie si determina:

- il valore di resistenza totale di cortocircuito $R = \sum R_i$

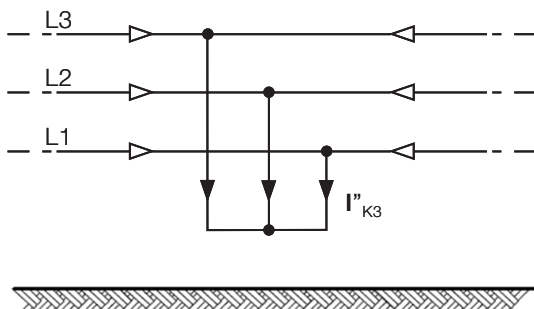
- il valore di reattanza totale di cortocircuito $X = \sum X_i$

Noti i due parametri precedenti è possibile determinare il valore di impedenza diretta totale di cortocircuito Z

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Determinata l'impedenza equivalente vista dal punto di guasto, è possibile procedere con il calcolo della corrente di cortocircuito iniziale trifase simmetrica:

$$I''_{k3} = c U_n / \sqrt{3} Z$$



Il corto circuito trifase è generalmente considerato come il guasto che provoca le correnti più elevate (tranne che in condizioni particolari). In assenza di macchine rotanti, o quando la loro azione è scemata, rappresenta anche la corrente permanente di cortocircuito ed è il valore preso come riferimento per determinare il potere di interruzione del dispositivo di protezione.

Calcolo del contributo motori

In caso di cortocircuito, il motore inizia a funzionare come un generatore e alimenta il guasto per un tempo limitato e corrispondente a quello necessario per eliminare l'energia che risulta immagazzinata nel circuito magnetico del motore. Attraverso una rappresentazione elettrica del motore con la propria reattanza subtransitoria si può calcolare il valore numerico del contributo del motore.

In bassa tensione, la Norma CEI EN 60909-0 fornisce le indicazioni minime per cui il fenomeno deve essere preso in considerazione, dovrà essere

$$\sum I_{rM} \leq 0,01 I''_k$$

dove:

$\sum I_{rM}$ rappresenta la somma delle correnti nominali dei motori connessi direttamente alla rete dove avviene il cortocircuito. I''_k è la corrente iniziale di cortocircuito trifase determinata senza contributo motori.

Nel caso in cui se ne debba tener conto, l'impedenza dei motori può essere calcolata con la formula:

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR} / I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} I_{rM}} = \frac{1}{I_{LR} / I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}}$$

dove:

U_{rM} è la tensione nominale del motore

I_{rM} è la corrente nominale del motore

S_{rM} è la potenza apparente nominale del motore

($S_{rM} = P_{rM} / (\eta_{rM} \cos \varphi_{rM})$)

I_{LR} / I_{rM} è il rapporto tra la corrente di rotore bloccato e la corrente nominale del motore.

Spesso la corrente I_{LR} è un dato di difficile reperibilità perciò è prassi comune considerare tale valore come multiplo della corrente nominale del motore. I valori tipici del rapporto I_{LR} / I_{rM} variano da 4 a 6.

Infine, per gruppi di motori di bassa tensione collegati tramite cavi si può, con buona approssimazione, utilizzare il rapporto $R_M / X_M = 0,42$ con $X_M = 0,922 Z_M$.

14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica

Calcolo della corrente di picco

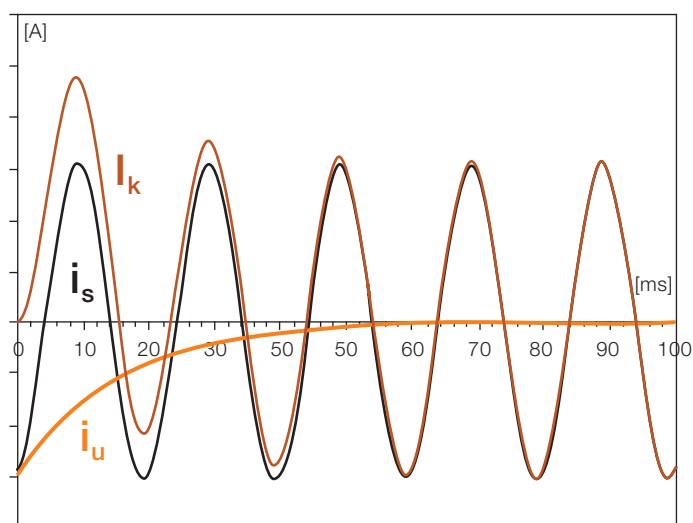
La corrente di cortocircuito I''_k può essere considerata composta da due componenti:

- una componente simmetrica i_s con forma d'onda sinusoidale e appunto simmetrica rispetto all'asse orizzontale dei tempi.
- una componente unidirezionale i_u con andamento esponenziale dovuto alla presenza di una componente induttiva. Tale componente è caratterizzata da una costante di tempo $\tau=L/R$ (con "R" si intende la resistenza e con "L" l'induttanza del circuito a monte del punto di guasto) e si estingue dopo 3-6 volte τ

La componente unidirezionale durante il periodo transitorio rende la corrente di cortocircuito asimmetrica, caratterizzata da un valore massimo detto valore di picco che risulta superiore rispetto a quello che competerebbe ad una grandezza puramente sinusoidale. In generale possiamo dire che, considerando il valore efficace della componente simmetrica della corrente di cortocircuito I_k , il valore del primo picco di corrente può variare da

$$\sqrt{2} I''_k \text{ a } 2 \sqrt{2} I''_k.$$

Trascorso il periodo transitorio la corrente di cortocircuito diventa praticamente simmetrica. Un esempio di andamento delle correnti è riportato nella figura seguente.



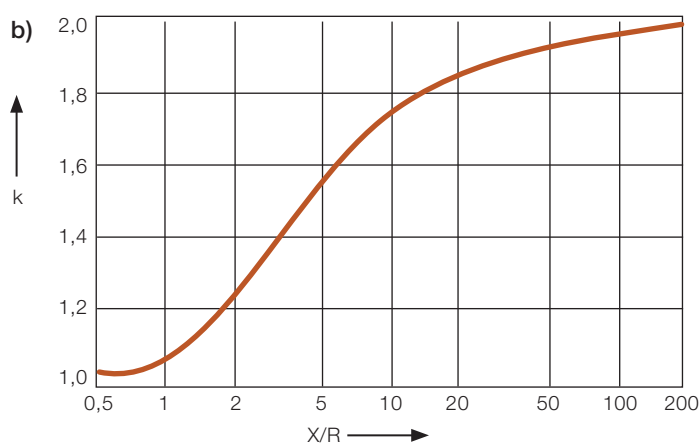
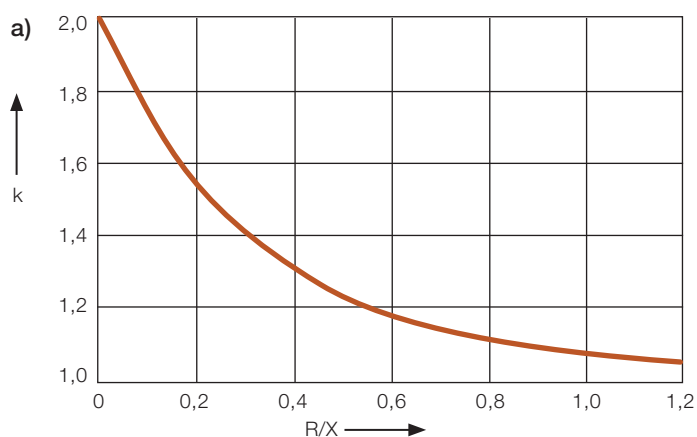
La Norma CEI EN 60909-0 fornisce indicazioni utili per il calcolo della corrente di picco, in particolare indica la relazione seguente:

$$i_p = k \sqrt{2} I''_k$$

dove il valore di k può essere valutato con la seguente formula approssimata:

$$k = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}}$$

oppure attraverso i grafici seguenti che riportano appunto il valore di "k" in funzione del parametro "R/X" o "X/R"



Dimensionamento dell'impianto elettrico e coordinamento delle protezioni

La conoscenza di alcuni parametri risulta vincolante per poter eseguire il dimensionamento dell'impianto. Per i calcoli relativi e lo studio di coordinamento delle protezioni è stato utilizzato il software e-Design di ABB.

Dati della rete di distribuzione

Partiremo da un esempio di lettera di informazioni fornita dal Distributore contenente i livelli massimi di cortocircuito trifase e di guasto a terra che possono interessare l'impianto:

Oggetto: Informazioni riguardanti la rete di alimentazione del Distributore per il dimensionamento delle apparecchiature, la taratura dei dispositivi di protezione, il progetto e la verifica dell'impianto di terra relativi alla fornitura:

Ditta: xxxxxxxx – Cabina xxxxxx - Via xxxxxxxx – xxxxx

Con riferimento alla vostra richiesta del xx.xx.xxxx rendiamo noto che:

- 1) il vostro impianto di terra è compensato
- 2) la cabina in oggetto è alimentata dalla linea MT "xxxxx" in partenza dalla Cabina Primaria di "xxxxx";
- 3) presenta le seguenti caratteristiche:
 - Tensione nominale: 20 kV $\pm$ 10%
 - Frequenza nominale: 50 Hz $\pm$ 1% (95% dell'anno)
 - Corrente di cortocircuito trifase: 12,5 kA
 - Stato del neutro: compensato
 - Corrente di guasto monofase a terra: 50 A
 - Tempo di eliminazione del guasto monofase a terra: 10 s
 - Tempo di eliminazione del doppio guasto a terra: < 0,2 s
 - Caratteristiche dell'alimentazione MT: Conformi alla Norma CEI EN 50160

È utile sottolineare che il valore della corrente di guasto monofase a terra ed il relativo tempo di eliminazione del guasto sopra indicati, possono subire variazioni per effetto dell'evoluzione della rete di distribuzione; pertanto, nel controllare periodicamente il Vostro impianto di terra, si dovrà tener conto dei nuovi parametri comunicati secondo la Norma CEI 0-16.

Nella lettera possiamo trovare quindi alcuni dati importanti quali la tensione nominale 20 kV, la corrente di cortocircuito trifase 12,5 kA, sappiamo che si tratta di una rete a neutro compensato con una corrente di guasto monofase a terra di 50 A.

Sviluppo dell'esempio proposto

Sviluppiamo ora l'esempio proposto con la valutazione dei principali parametri elettrici della rete e la scelta degli interruttori e delle protezioni per la corretta gestione dell'impianto, in particolare effettuando il coordinamento delle protezioni.

Descrizione delle caratteristiche dell'impianto (come da lettera del Distributore).

Rete di distribuzione:

- tensione nominale $U_{nQ}=20\text{kV}$
- corrente di cortocircuito $I''_{kQ}=12,5\text{kA}$

Trasformatori di cabina 20/0,4 kV con i seguenti dati:

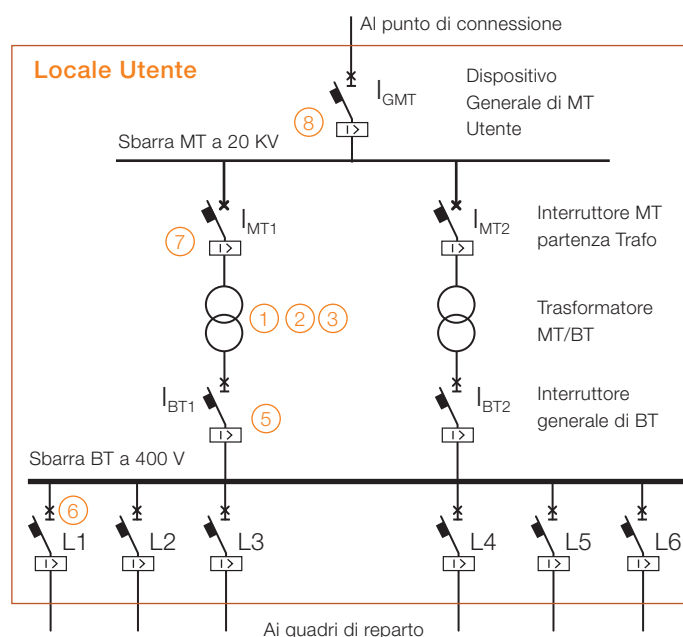
- potenza nominale: $S_{rT}=400\text{kV}$
- tensione di cortocircuito: $u_{kr}\%=4\%$
- corrente nominale primaria: $I_{rT1} = 11,5\text{ A}$
- corrente nominale secondaria: $I_{rT2} = 578,0\text{ A}$
- corrente di inserzione: $I_i = 12\text{ I}_{rT1} = 138\text{ A}$
- costante di tempo inserzione $T_i = 0,25\text{ s}$

Corrente di corto circuito lato sbarre BT:

- Tensione nominale: $U_{rLV} = 400\text{ V}$
- Corrente di corto circuito a valle di uno dei due trasformatori $I''_{kLV} = I_{rT2} / u_{kr} = 15\text{ kA}$, corrispondenti a $I''_{kMV} = 300\text{ A}$

Al quadro di bassa tensione sono collegati i quadri di reparto con cavi di diversa lunghezza.

Lo schema unifilare semplificato dell'impianto in analisi è qui illustrato.



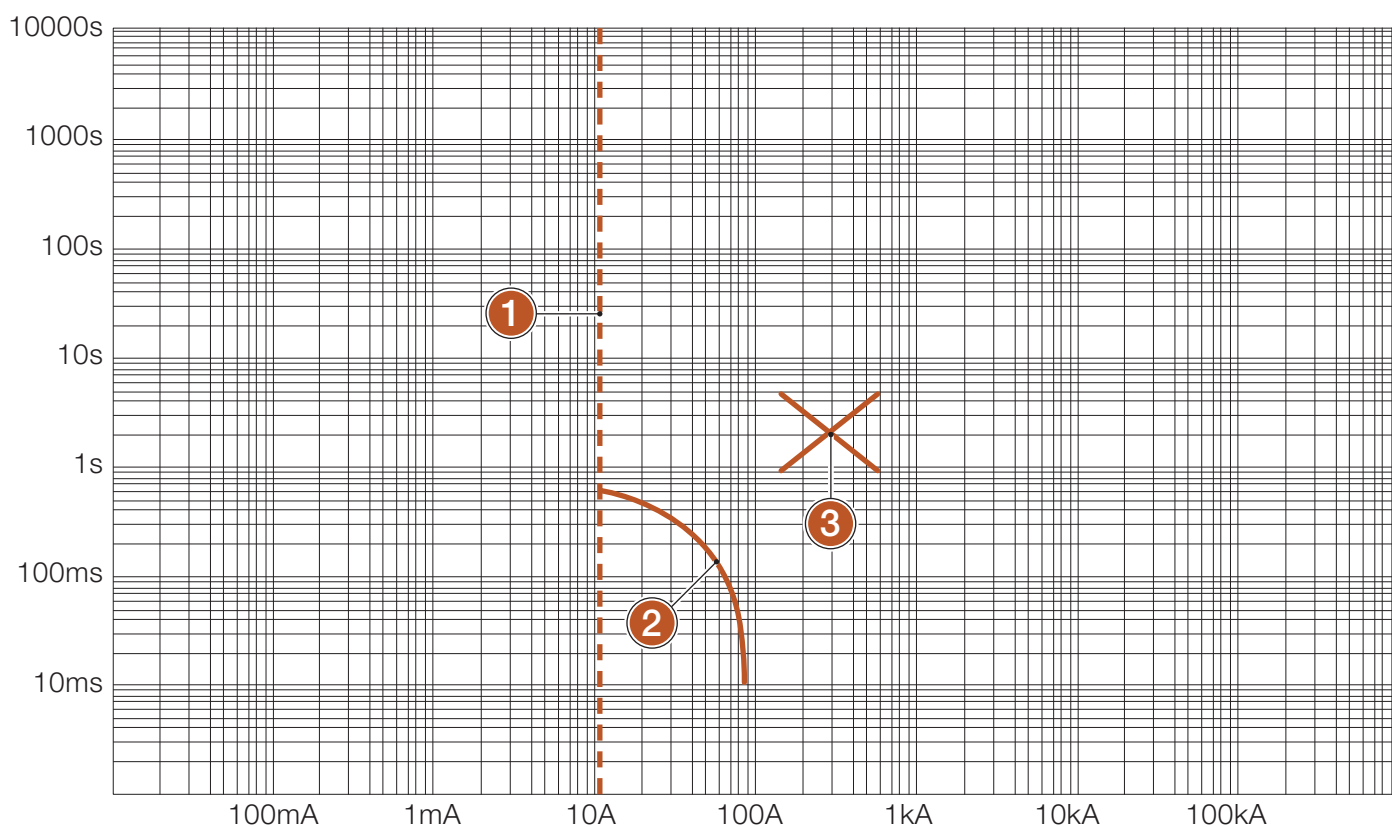
14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica

L'impianto lato MT è costituito da un arrivo linea con unità interruttore e due partenze trasformatore dotate di interruttori. Le protezioni, non essendo prevista la protezione 67N, sono del tipo REF601 versione CEI 0-16.

Nel grafico seguente, in scala logaritmica, troviamo i

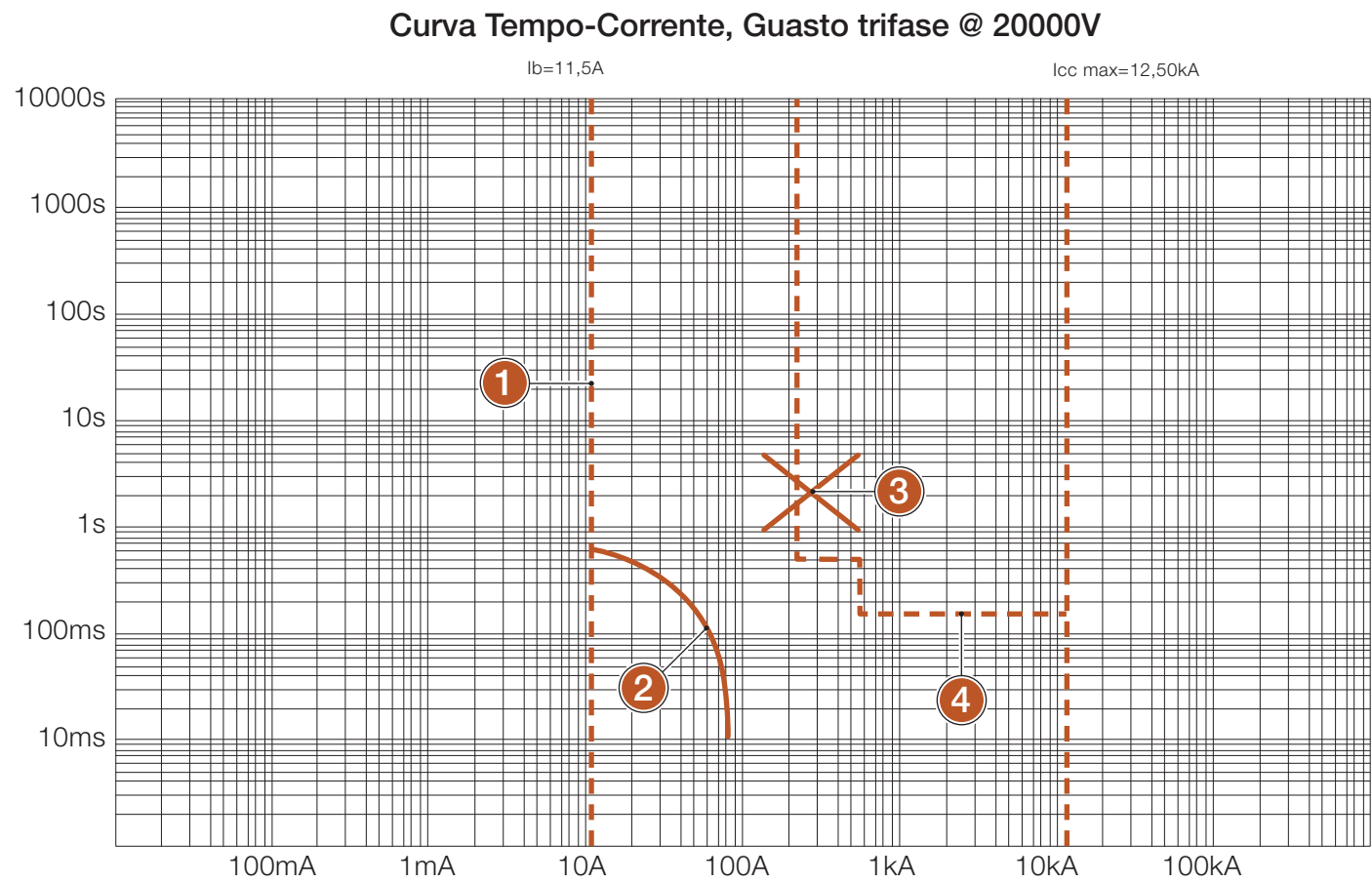
seguenti parametri, necessari per definire la protezione del trasformatore: la curva di inserzione del trasformatore da 400 kVA (1), la sua corrente nominale (2) e la corrente di corto circuito simmetrica lato BT riferita al primario per 2 s (3) necessaria per la protezione termica del trasformatore ($I''_{kMV} \times 2s$).

Curva Tempo-Corrente, Guasto trifase @ 20000V



Sulla base di quanto già visto nel capitolo relativo ai relè di protezione, valgono i limiti imposti dalla norma nel caso specifico:

I>>	Protezione di massima corrente di fase: seconda soglia	≤ 250 A, tempo di estinzione sovracorrente ≤ 500 ms	I>>>	Protezione di massima corrente di fase: terza soglia	≤ 600 A, tempo di estinzione sovracorrente ≤ 120 ms
-----	--	---	------	--	---



La curva 4 è relativa ai valori massimi regolabili sulla protezione in accordo alla Norma CEI 0-16.

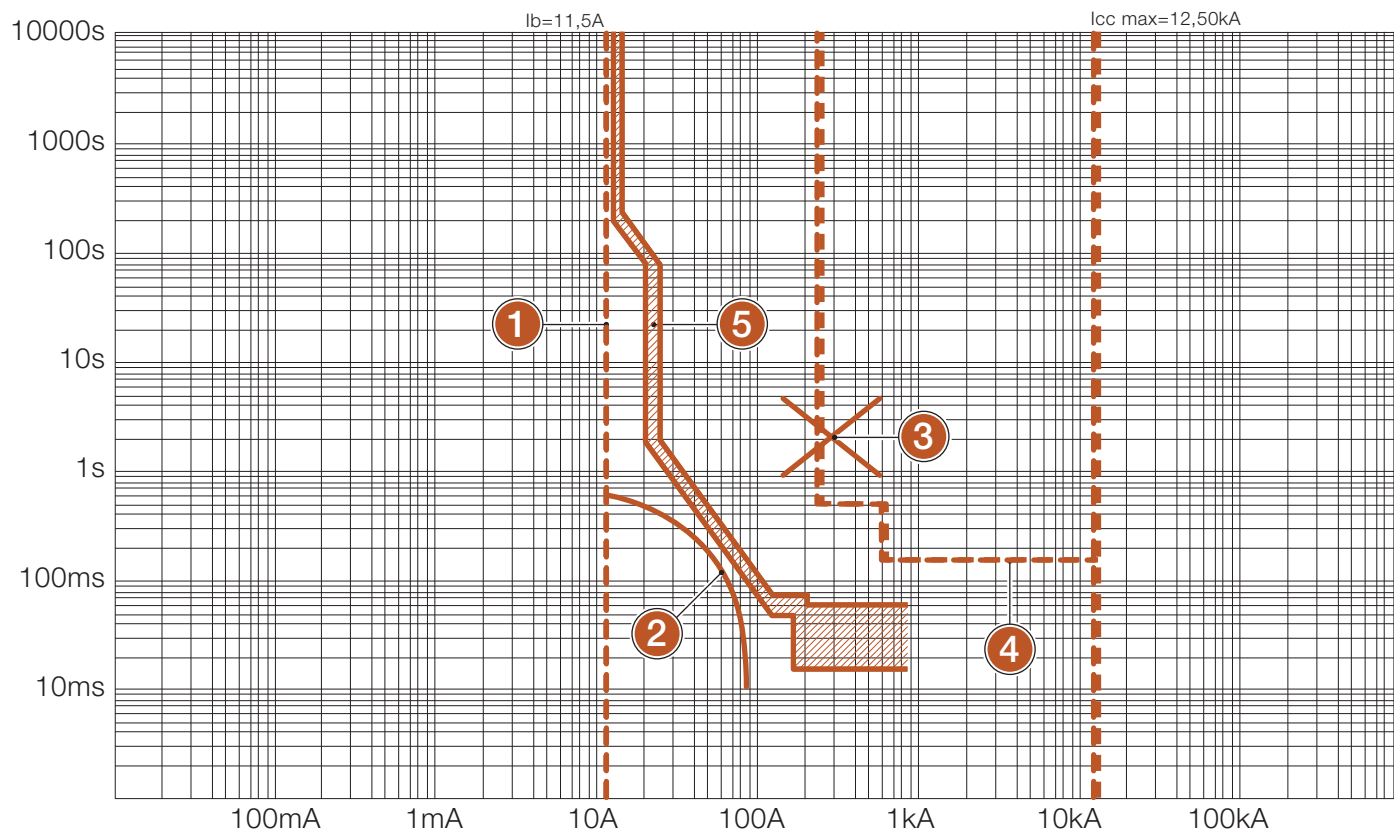
14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica

Passiamo ora alla bassa tensione; le caratteristiche degli interruttori generali di BT devono essere scelte in modo da essere selettive con i relè degli interruttori dei sotto-quadri A, B, C, D ma, al tempo stesso, proteggere il trasformatore contro il sovraccarico, ricordando che la corrente secondaria $I_{IT2} = 578 \text{ A}$.

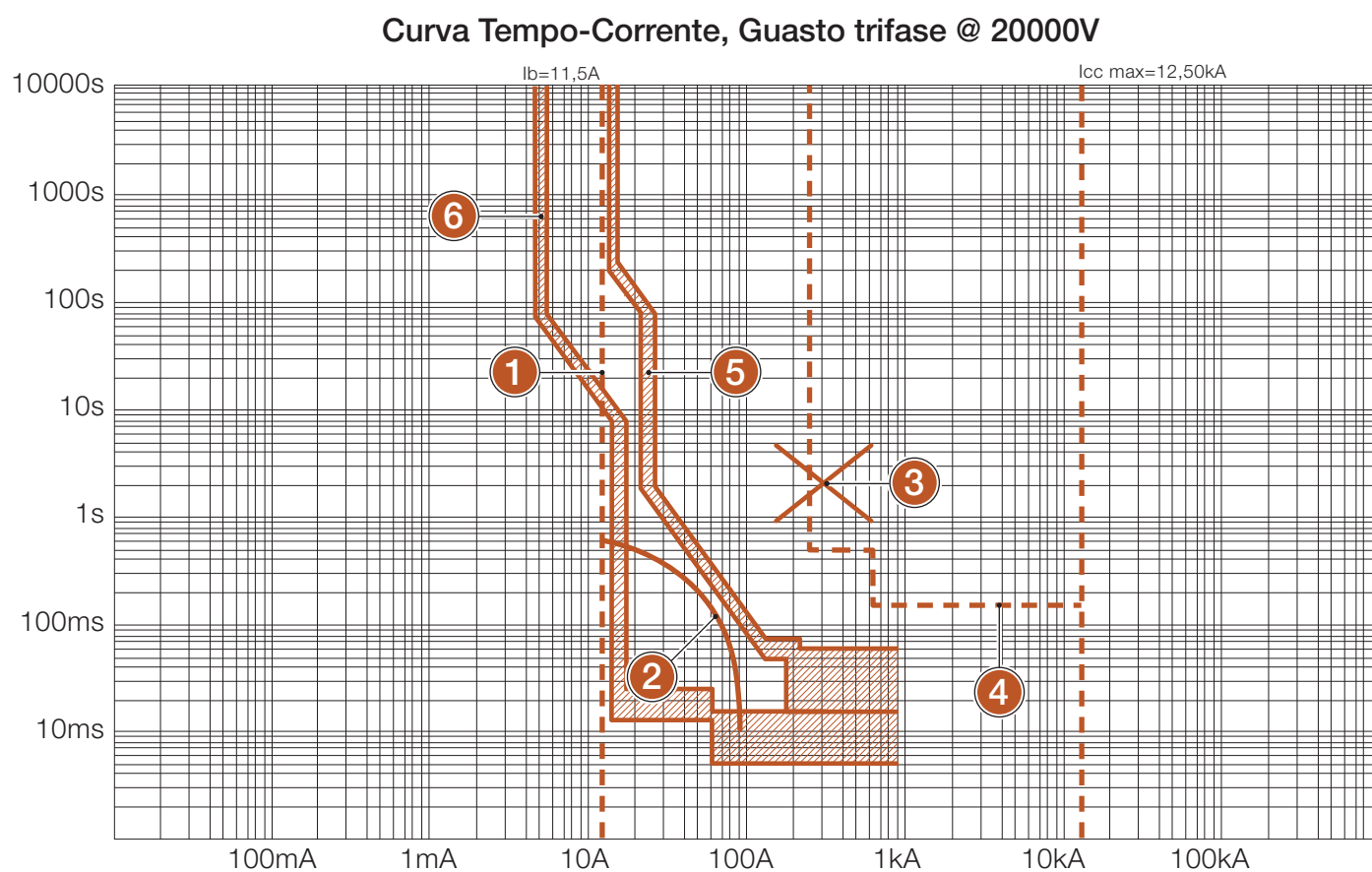
Tenendo conto delle tolleranze previste dalla Norma CEI EN 60947-1, si può considerare il sicuro intervento ad un valore superiore a 1,2 volte il valore regolato (ed il sicuro non intervento ad un valore inferiore a 1,05 il valore regolato).

Scegliendo come interruttore un interruttore aperto Emax new X1B 630, dotato di relè elettronico PR332 LSIG, $I_n = 630 \text{ A}$, con regolazione della curva L a 0,96, otteniamo una corrente di regolazione pari a 605 A che riportata al primario equivale a 12,1 A. La tolleranza andrà quindi da 12,7 A ($1,05 I_r$) a 14,5 ($1,2 I_r$). È stata quindi selezionata la curva S, $I^2t = \text{cost}$, con regolazione $1,8 I_n = 1134 \text{ A}$ equivalente a 23 A e tempo 0,06 s per ottenere una selettività cronometrica. Infine l'intervento istantaneo avverrà a $15 I_n = 9450 \text{ A}$ equivalenti al primario a 189 A con un tempo nominale di intervento di 10 ms. La curva (5) è stata disegnata di seguito con le rispettive tolleranze.

Curva Tempo-Corrente, Guasto trifase @ 20000V



L'utilizzo di relè elettronici PR221 su tutti gli interruttori Tmax del quadro generale di BT garantisce comunque la selettività degli interruttori generali di BT con tutte le partenze verso i quadri di reparto. Nel grafico seguente si riporta la curva relativa alla partenza più critica verso il reparto A (6).



14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica

Passiamo ora alla regolazione del relè di massima corrente relativo all'interruttore della partenza da 20 kV verso il trasformatore da 400 kVA. La condizione più importante da soddisfare è la protezione del trasformatore contro il corto circuito, mentre la protezione contro il sovraccarico può essere demandata all'interruttore di bassa tensione. Dovrà inoltre proteggere il trasformatore per guasto sul montante di bassa tensione a monte dell'interruttore e tuttavia non dovrà intervenire a causa della corrente di inserzione del trasformatore. Infine dovrà essere selettivo con l'interruttore generale di MT, il quale a sua volta dovrà soddisfare alle richieste del Distributore e della norma, e con gli interruttori di bassa tensione.

Come sappiamo la prima soglia di massima corrente $I_{>}$ è opzionale e in questo esempio risulta difficile realizzare la selettività con l'interruttore di BT. Per cui si utilizzerà una protezione a due soglie a tempo indipendente $I_{>>}$ e $I_{>>>}$. La protezione dovrà rispondere ai seguenti requisiti:

- prima soglia esclusa
- la regolazione della seconda soglia deve essere superiore alla corrente regolata della seconda soglia S dell'interruttore di BT che riportata al primario è 23 A. Applicando la tolleranza otteniamo 27,6 A.
- essere selettivo in generale con gli interruttori di BT

- deve intervenire in meno di 2 s alla corrente di corto circuito $I''_{kMV} = 300$ A (tenuta al corto circuito del trasformatore)
- il tempo dovrà comunque essere inferiore al valore imposto di 0,5 s per la seconda soglia,
- avere la regolazione della terza soglia maggiore della corrente di corto circuito per guasto in BT. A questo proposito la norma suggerisce di adottare per dispositivi di protezione installati alle due estremità di un circuito d'impedenza non trascurabile, quali ad esempio i trasformatori, un coefficiente α con cui moltiplicare la corrente di corto circuito iniziale al fine ottenere la selettività tra i due dispositivi a monte e a valle. Il coefficiente tiene conto dell'asimmetria della corrente e per i trasformatori varia da 1,2 per trasformatori da 50 kVA a 1,6 per trasformatori da 2500 kVA. Quindi dovremo regolare la seconda soglia ad un valore superiore a $1,4 I''_{kMV} = 1,4 \cdot 300 = 420$ A.
- dovrà , infine essere inferiore al valore imposto di 600 A ed con un tempo inferiore a 0,12 s.

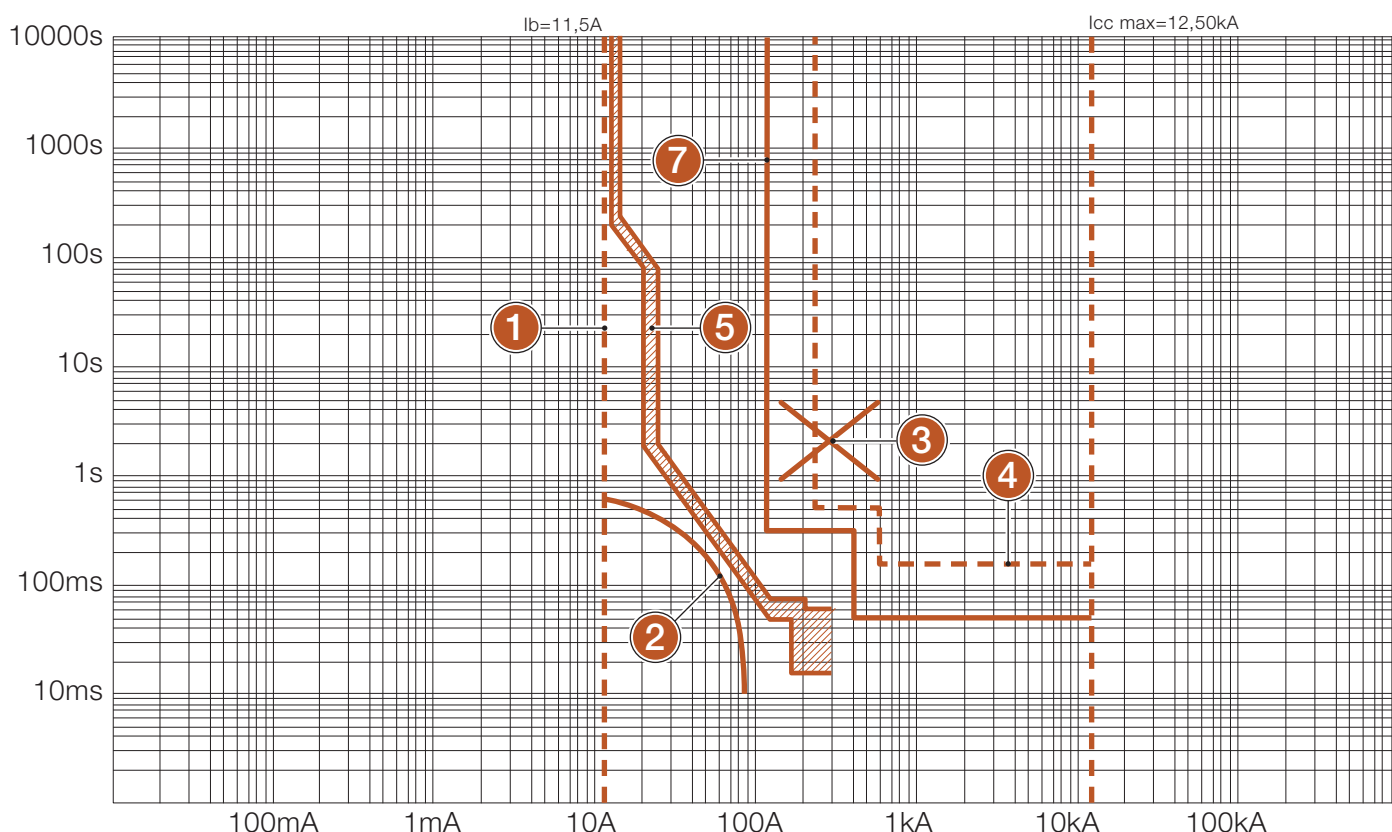
Otteniamo, quindi la curva (7) dove:

$I_{>}$ esclusa

$I_{>>} = 120$ A, $t_{>>} = 0,3$ s

$I_{>>>} = 416$ A, $t_{>>>} = 0,05$ s

Curva Tempo-Corrente, Guasto trifase @ 20000V

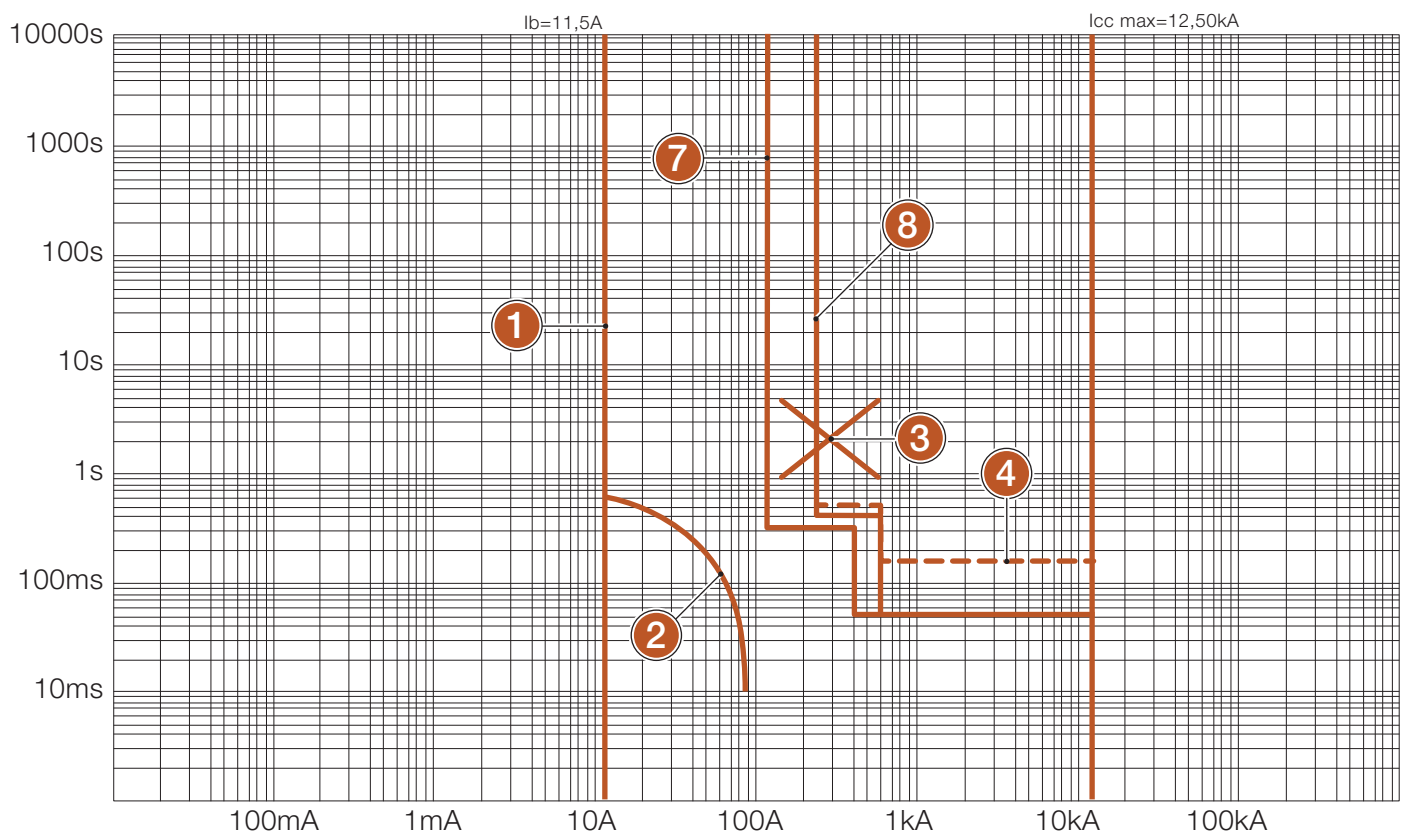


Rimane da regolare solo il relè del dispositivo generale DG. La regolazione deve soddisfare i seguenti requisiti:

- soddisfare i limiti imposti
- essere selettivo con le protezioni dei due interruttori posti a protezione dei trasformatori
- proteggere il tratto tra il punto di consegna e i trasformatori

Dato che questo è l'ultimo gradino di selettività richiesto possiamo far coincidere le due regolazioni in corrente con quanto imposto dalla norma, quindi 250 A per la seconda soglia e 600 A per la terza (la prima sempre esclusa). Per quanto riguarda i tempi sceglieremo 0,4 s per la seconda soglia e 0,05 s per la terza (8).

Curva Tempo-Corrente, Guasto trifase @ 20000V

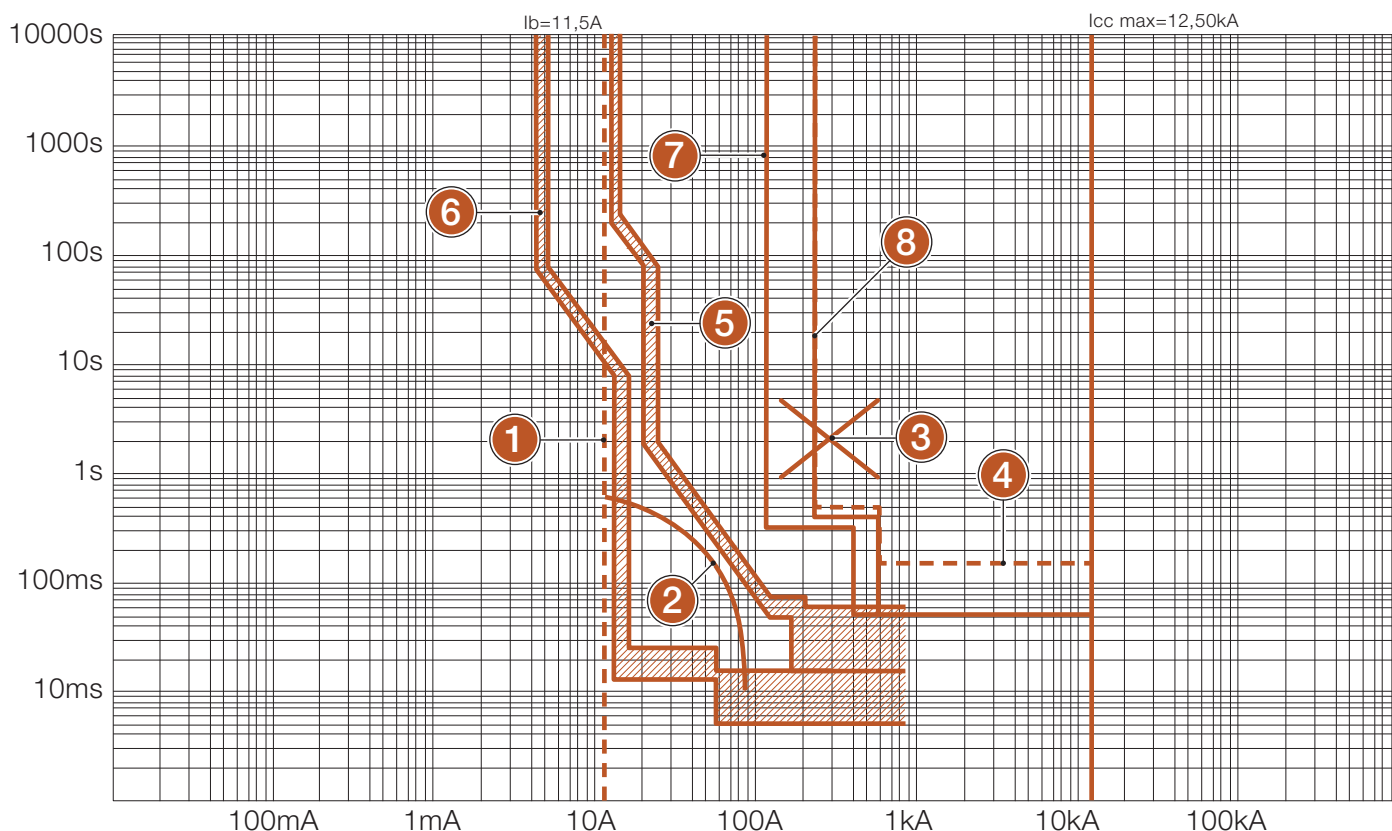


14. Esempio di progetto di una cabina per la parte elettrica

Si può notare che, avendo già scelto per la protezione di trasformatore di MT (7) come tempo di intervento per la terza soglia il valore istantaneo di 0,05 s, non è possibile avere selettività su tutto il range di correnti di corto circuito. Sopra i 600 A, quindi, interverranno sia gli interruttori dei trasformatori che il DG. Tuttavia possiamo notare che la selettività copre

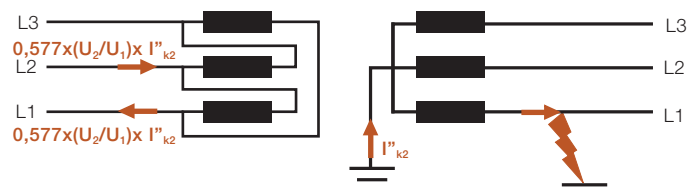
tutto il campo delle correnti di corto circuito di bassa tensione (600 A riportata al primario) e si ha comunque selettività per guasti in MT fino alla terza soglia della protezione del DG. Nel grafico seguente vediamo il riepilogo generale dello studio di coordinamento:

Curva Tempo-Corrente, Guasto trifase @ 20000V



Verifichiamo ora il coordinamento delle protezioni per guasto a terra.

Nel caso di trasformatore con collegamento triangolo-stella con neutro a terra, un guasto fase-terra sul lato secondario dà luogo a una corrente di linea sul lato primario che è uguale a $1/\sqrt{3} = 0,577$ volte il guasto trifase (I''_{k2}).



Conseguentemente la regolazione della prima o seconda soglia di corrente del relè lato MT dovrebbe essere $< 0,577 I''_{k2}$.

Nel nostro caso abbiamo che $I''_{kLV} = 15$ kA corrispondenti a $I''_{kMV} = 300$ A al primario e quindi $300 \times 0,577 = 173$ A. La corrente di guasto è quindi superiore alla soglia di 120 A impostata per la protezione di MT del trasformatore (curva 7) che interverrà per correnti di guasto a terra lato BT superiori a:

$$120 \times (20000/400) / 0,577 = 10397 \text{ A}$$

Per quanto riguarda, invece, il guasto a terra sul trasformatore e sul montante di media tensione, la protezione dovrà oltre a proteggere il trasformatore, anche rispettare i limiti imposti dal Distributore e dalla norma. Nel nostro esempio il Distributore, nella lettera di Informazioni, comunicava:

- Corrente di guasto monofase a terra: 50 A
- Tempo di eliminazione del guasto monofase a terra: 10 s
- Tempo di eliminazione del doppio guasto a terra: < 0,2 s

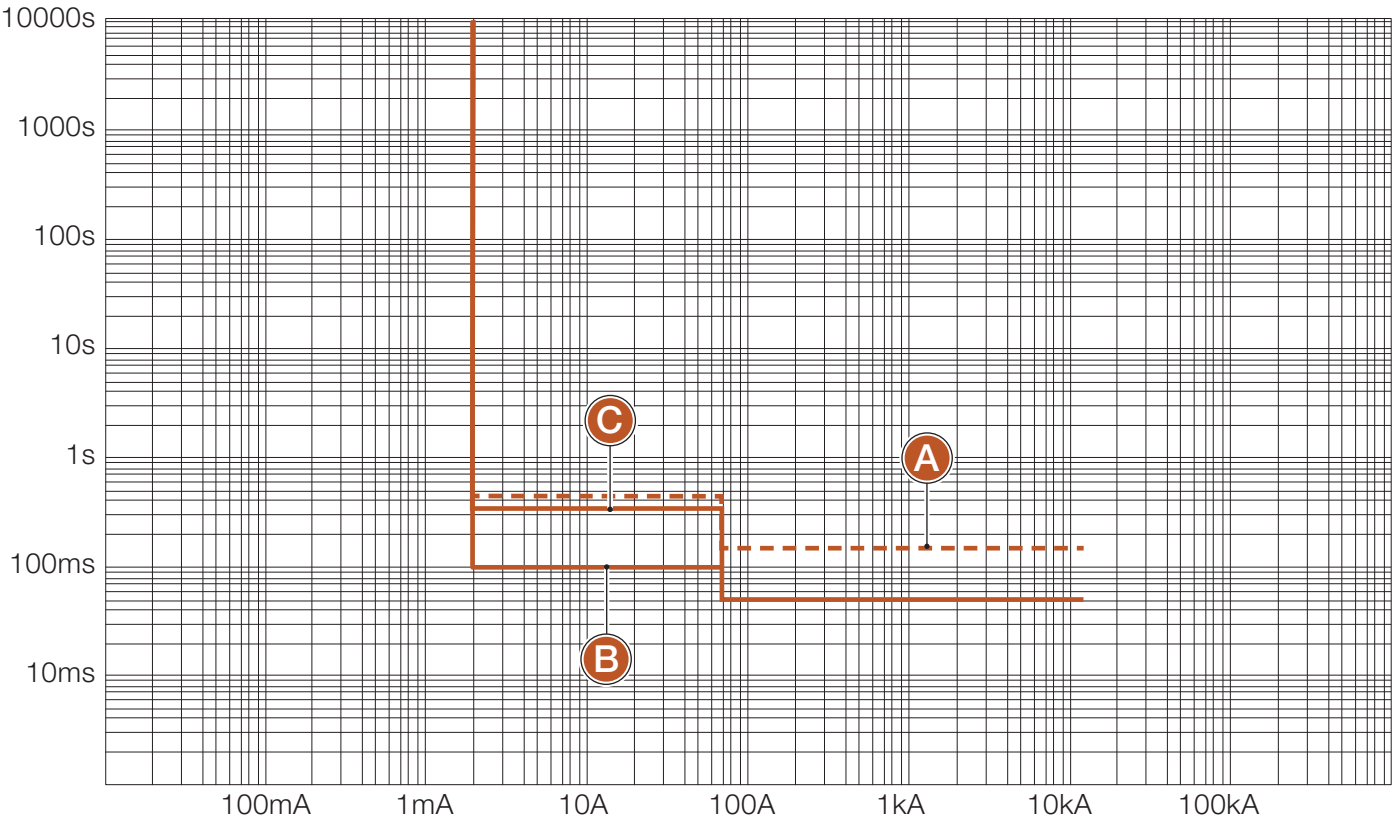
Ed inoltre la Norma CEI 0-16 impone per le reti a neutro compensato:

$I_{o>}$	Protezione di massima corrente omopolare prima soglia (per reti con neutro compensato)	$\leq 2\text{ A}$, tempo di estinzione del guasto $\leq 450\text{ ms}$
$I_{o>>}$	Protezione di massima corrente omopolare seconda soglia (per reti con neutro compensato)	$\leq 70\text{ A}$ (140% della corrente di guasto monofase a terra comunicata dal Distributore = 50 A); tempo di estinzione del guasto: $\leq 170\text{ ms}$

I limiti imposti sono evidenziati nella (curva A). Impostiamo quindi la prima soglia $I_{o>}$ sulla corrente richiesta di 2 A con il tempo più basso permesso dalla protezione REF601 per la prima soglia, ovvero 0,1 s. La seconda soglia $I_{o>>}$ verrà ancora una volta regolata al limite richiesto dalla Norma di 70 A (50 A x 1,4) e con tempo istantaneo a 0,05 s (curva B).

Impostiamo, infine, la protezione del DG in modo che sia, se possibile, selettiva con quella del trasformatore. Lasciamo, quindi, inalterate le due regolazioni in corrente ai valori imposti dal Distributore (2 A e 70 A) e impostiamo il tempo della prima soglia al valore massimo consentito (0,45 s) meno il tempo di intervento dell'interruttore, diciamo 0,35 s. Regoliamo, infine la seconda soglia sempre al valore imposto di 70 A e con tempo di intervento sempre al valore istantaneo di 0,05 s (curva C). La selettività sulle seconde soglie non è garantita, ma le protezioni sono comunque selettive fino al valore di corrente di guasto fornita dal Distributore.

Curva Tempo-Corrente, Guasto fase-terra @ 20000V



15. Conclusione dell'esempio e scelta della apparecchiature: l'offerta ABB

Ricapitoliamo, per l'esempio proposto, le scelte fatte e definiamo le apparecchiature necessarie.

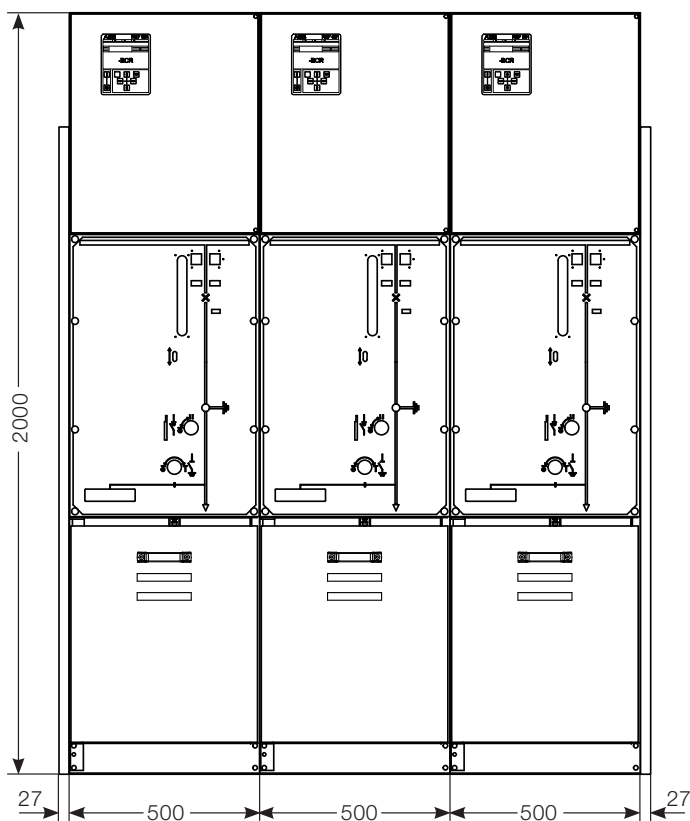
Quadro di media tensione:

- L'impianto lato MT, a valle del punto di consegna, verrà realizzato con un quadro ABB UniSec. Il quadro è composto da N° 1 Arrivo linea con Unità HBC ed apparecchio multifunzione HySec + N° 2 partenze trasformatore con unità HBC dotate di apparecchi multifunzione HySec.
- Le protezioni, non essendo prevista la protezione 67N, sono del tipo REF601.
- L'unità DG è dotata di sensori di corrente omologati KECA 250 B1 e TA toroidale TO11S3 da 100 A.
- Le unità partenza trasformatori sono dotate di TA da 30A e TA toroidale TO11S3 da 100 A.

In particolare avremo la seguente composizione:

Unità Arrivo HBC CEI 0-16

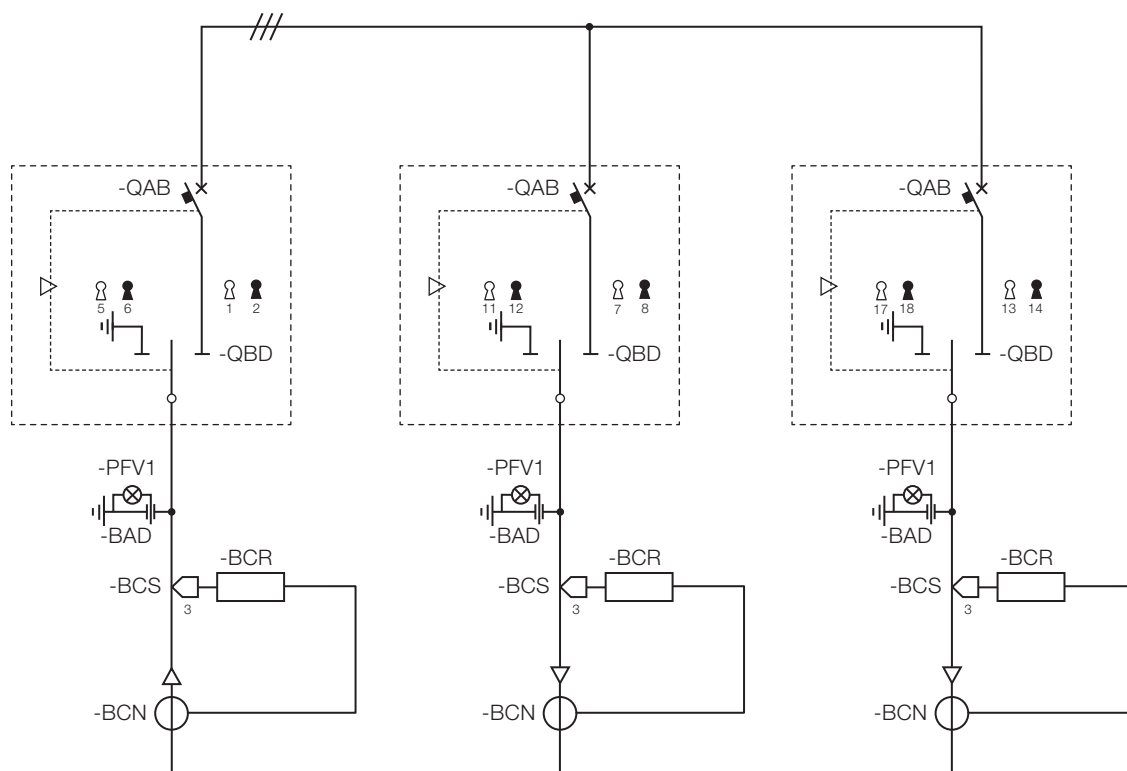
- Presenza tensione lato cavi.
- Apparecchio multifunzione HySec p230 composto da:
 - Interruttore in vuoto senza motorizzazione con sganciatore di apertura, sganciatore di chiusura, contamanovre, contatti ausiliari 6NA + 6NC;
 - Sezionatore in SF₆ con:
 - 1 chiave rimovibile con sezionatore di linea in posizione di chiuso e 1 chiave rimovibile in posizione di aperto;
 - 1 chiave rimovibile con sezionatore di terra in posizione di chiuso e 1 chiave rimovibile in posizione di aperto.
 - Sezionatore di terra lato distributore con chiave di responsabilità del distributore, in accordo alla Norma CEI 0-16.
- Relè di protezione REF 601 con Data Logger, comunicazione Modbus e uscita seriale RS 485 (51, I>; 51, I>>; 50, I>>>; 51N, I₀>; 50N, I₀>>, 68) con 3 sensori di corrente e toroide per guasto a terra, conformi alla Norma CEI 0-16.



Unità partenza trasformatore

- Presenza tensione lato cavi.
- Apparecchio multifunzione HySec p230 composto da:
 - Interruttore in vuoto senza motorizzazione con sganciatore di apertura, sganciatore di chiusura, contatti ausiliari 6NA + 6NC e contamanovre;
 - Sezionatore in SF₆ con:
 - 1 chiave rimovibile con sezionatore di linea in posizione di chiuso e 1 chiave rimovibile in posizione di aperto;
 - 1 chiave rimovibile con sezionatore di terra in posizione di chiuso e 1 chiave rimovibile in posizione di aperto.
 - Relè di protezione REF 601 senza comunicazione (51, I>; 51, I>>; 50, I>>>; 51N, I₀>; 50N, I₀>>, 68) con 3 sensori di corrente e toroide per guasto a terra, conformi alla Norma IEC.

Dimensioni complessive (HxLxP) [mm]: 2000x1554x1248;
di seguito lo schema elettrico del quadro.



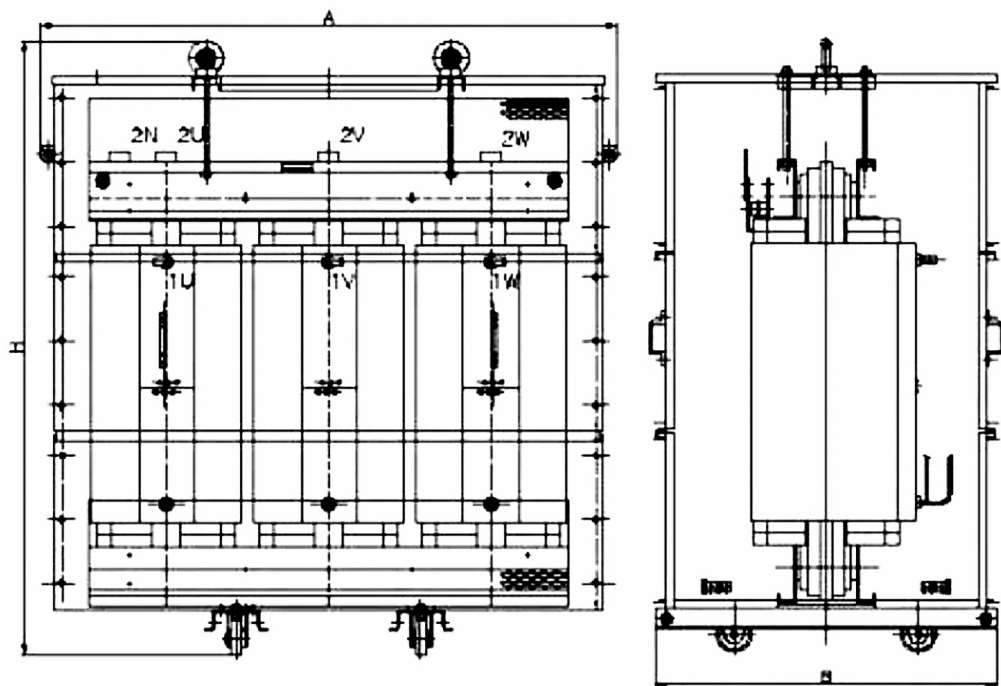
Per lo sfogo dei gas conseguenti ad un guasto per arco interno, la soluzione tecnicamente più appropriata per evitare la fuoriuscita di gas incandescenti e la creazione di sovrappressioni all'interno della cabina è quella di richiedere lo scarico al di fuori del locale. In questo caso occorre predisporre un opportuno condotto di scarico del gas, prestando attenzione all'accessibilità delle persone alla zona di fuoriuscita del gas e proteggendo l'estremità del condotto

in modo da evitare l'ingresso di acqua, polvere, piccoli animali e corpi estranei. Meno onerosa è la possibilità di richiedere il quadro con unità dotate di filtri per la tenuta all'arco. In questo caso i gas vengono convogliati all'interno del filtro che provvede a raffreddarli e ad abbassare la pressione prima che siano rilasciati all'interno del locale. Nell'esempio rappresentato è stata scelta la seconda soluzione.

15. Conclusione dell'esempio e scelta della apparecchiature: l'offerta ABB

Trasformatori

Due trasformatori MT/BT a secco 20/0,4 kV da 400 kVA con avvolgimenti inglobati in resina tipo ABB hi-T Plus, avvolgimento primario a triangolo (Δ) e avvolgimento secondario stella a terra (Y_{g}). Classe F1 per ridurre il rischio d'incendio.



Valori garantiti

Norme di riferimento		IEC 60076, EN 50541-1 Regolamento UE 548/2014 – Eco Design
Perdite a vuoto, P_o	[W]	750 (+ 0 Tol.)
Perdite a vuoto, P_k a 75 °C	[W]	4840 (+ 0 Tol.)
Perdite a vuoto, P_k a 120 °C	[W]	5500 (+ 0 Tol.)
Livello potenza sonora L_{wa}	[dB]	60

Valori preliminari IP00

Lunghezza (Appross.)	[mm]	1546
Larghezza (Appross.)	[mm]	826
Altezza (Appross.)	[mm]	1565
Interasse ruote (Appross.)	[mm]	670x670
Diametro ruote (Appross.)	[mm]	125
Peso totale	[kg]	1680

Quadro di bassa tensione

Quadro di bassa tensione ABB tipo ArTù K, IP65, dotato dei seguenti interruttori:

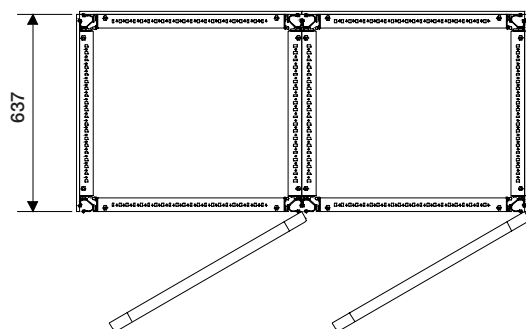
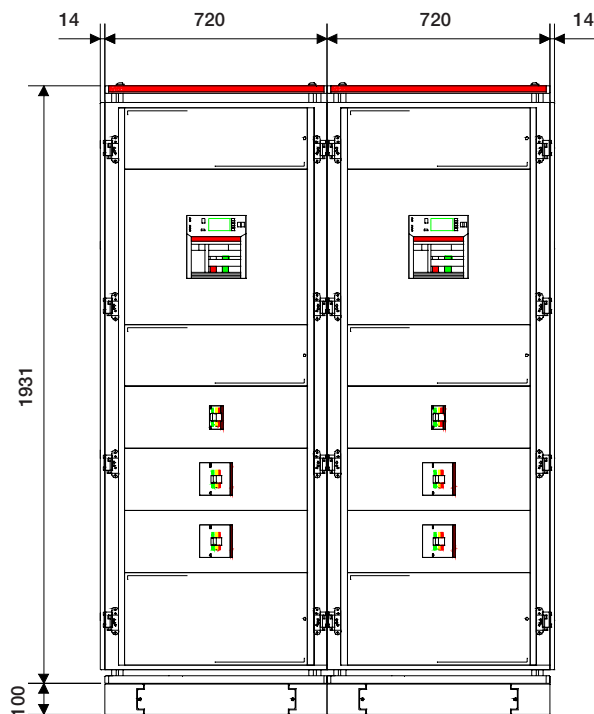
2 interruttori aperti serie Emax new tipo X1B 630 con sganciatore PR332/P LSIG In=630 A

4 interruttori scatolati serie Tmax tipo T4N 250 con sganciatore PR221DS-LS/I In=250 A

2 interruttori scatolati serie Tmax tipo T2N 160 con sganciatore PR221DS-LS In=250 A

Dimensioni complessive (HxLxP) [mm]: 2031x1468x637

Con queste apparecchiature lo spazio necessario per il locale Utente della cabina è ora ben definito.



15. Conclusione dell'esempio e scelta della apparecchiature: l'offerta ABB

Cabina prefabbricata

A conclusione dell'esempio, ipotizziamo di scegliere, per evitare qualunque problema strutturale e di inadempienza verso leggi e normative, una cabina prefabbricata.

Il tipo atto a contenere le apparecchiature è costituito da due moduli il primo contenente il locale misure e il locale Utente con il quadro di MT UniSec e il quadro di BT ArTù K.

Il secondo modulo contenente i due trasformatori MT/BT posti in locali separati e con accessi indipendenti al fine di poter eseguire la manutenzione separata di uno senza de-energizzare il secondo.

La fondazione è anch'essa prefabbricata in modo tale che l'intercapedine che si viene a creare tra il fondo della fondazione e il pavimento della cabina sia utilizzabile per il passaggio dei cavi MT/BT, evitando la progettazione e realizzazione di una fondazione in opera completa di cunicoli. I due moduli dovranno infine venire accoppiati ad un monoblocco con il locale Distributore conforme alle specifiche tecniche del Distributore stesso.

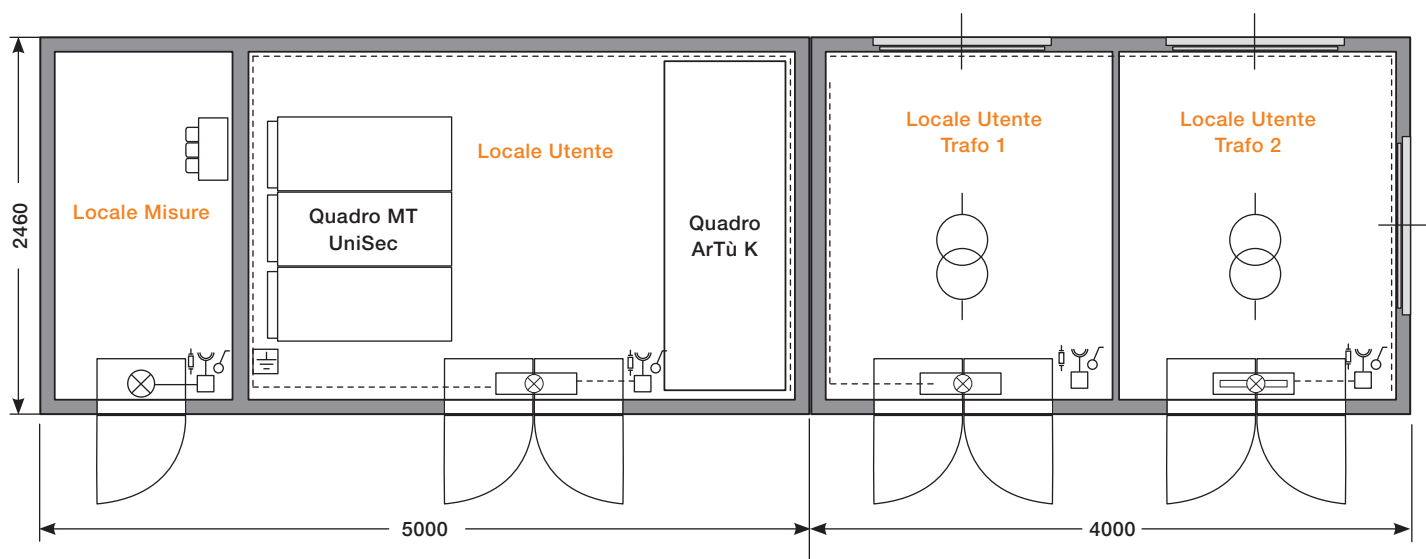


ABB S.p.A.
ABB SACE Division
Medium Voltage Products
Via Friuli, 4
I-24044 Dalmine
Tel.: +39 035 6952 111
Fax: +39 035 6952 874
e-mail: info.mv@it.abb.com

www.abb.com

Dati e immagini non sono impegnativi. In funzione dello sviluppo tecnico e dei prodotti, ci riserviamo il diritto di modificare il contenuto di questo documento senza alcuna notifica.

© Copyright 2017 ABB. All rights reserved.