

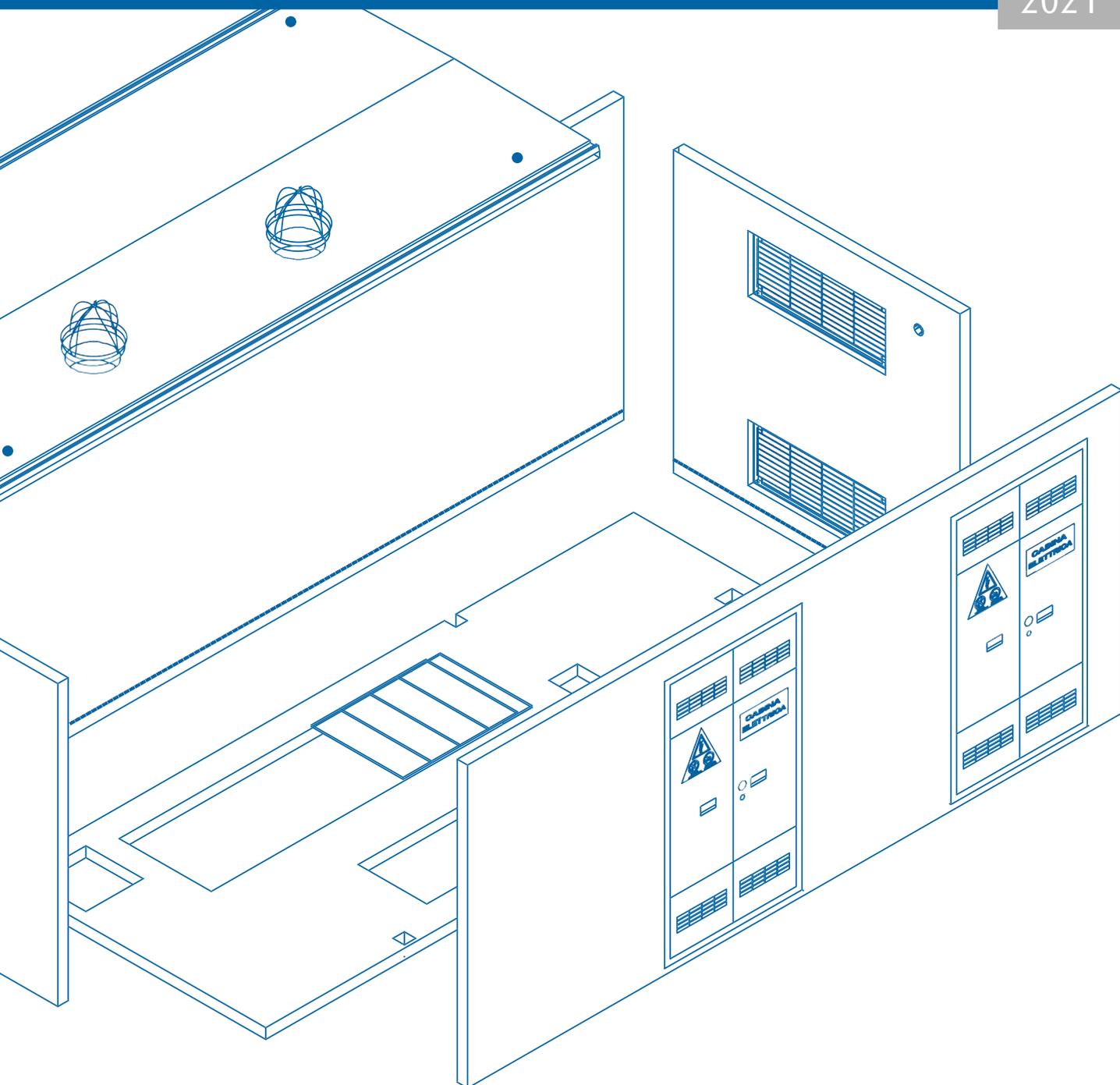


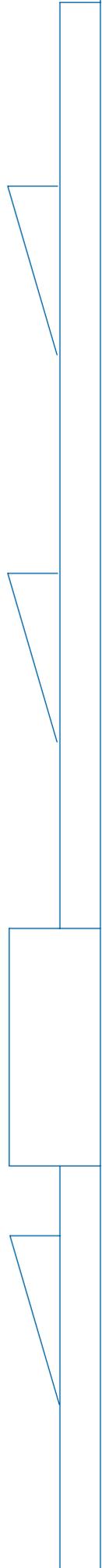
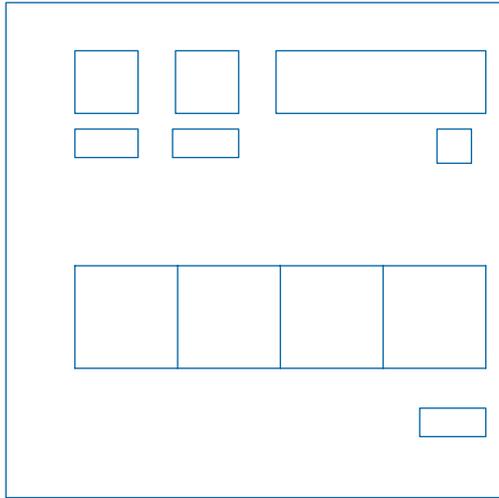
Guida Tecnica

# CABINE ELETTRICHE MT/BT

Progettazione del manufatto e dei principali componenti installati

2021





<b>Introduzione</b>	<b>pag. 5</b>
<b>CAPITOLO 1 - TIPOLOGIE DI CABINE ELETTRICHE MT/BT PREFABBRICATE E NON PREFABBRICATE</b>	<b>pag. 6</b>
1.1 Progettazione di una cabina non prefabbricata	
1.1.1 Progettazione del locale cabina	
1.1.2 Protezione e sicurezza della cabina	
1.1.3 Dimensionamento delle apparecchiature	
1.1.4 Prove e documentazioni	
1.2 Progettazione di una cabina prefabbricata	
1.2.1 Condizioni di servizio normali o speciali e caratteristiche nominali	
1.2.2 Caratteristiche costruttive dell'involucro	
1.2.3 Accessibilità, protezione dai contatti diretti e grado IP	
1.2.4 Messa a terra e protezione dai contatti indiretti	
1.2.5 Targa di identificazione	
1.2.6 Prove	
1.2.7 Guasti interni e classificazione tenuta arco interno	
1.2.8 Informazioni da fornire nelle richieste d'offerta	
1.2.9 Regole per il trasporto, l'installazione, il funzionamento, la manutenzione e la fine di vita in servizio	
1.3 DM 15-07-2014 Vigili del Fuoco	
<b>CAPITOLO 2 - CABINA DIGITALE</b>	<b>pag. 24</b>
2.1 Continuità di servizio	
2.2 Ridurre i tempi di ripristino	
2.3 Rispettare gli obblighi normativi	
2.4 Massimizzare la durata delle apparecchiature	
2.5 Monitorare ed ottimizzare i consumi energetici	
<b>CAPITOLO 3 - INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO DELLA CABINA</b>	<b>pag. 27</b>
3.1 Riferimenti normativi	
3.2 Campi elettromagnetici in cabina MT/BT e misura dell'induzione magnetica	
3.3 Criteri di progettazione del locale cabina	
<b>CAPITOLO 4 - MANUTENZIONE DELLA CABINA</b>	<b>pag. 31</b>
4.1 Tipologie di manutenzione	
4.2 La figura del manutentore	
4.3 Come effettuare la manutenzione	
4.4 Esempi di interventi di manutenzione	
4.5 Esempio manutenzione predittiva	
4.6 Manutenzione straordinaria preventiva: riduzione dell'inquinamento magnetico	
4.7 Manutenzione ed efficientamento energetico	
<b>CAPITOLO 5 - QUADRI ELETTRICI DI MEDIA TENSIONE</b>	<b>pag. 40</b>
5.1 Definizioni	
5.2 Caratteristiche dei QMT	
5.3 Unità funzionali, schemi e principi progettuali	
5.4 Apparecchi per la distribuzione secondaria utilizzati nei QMT	
5.5 Interblocchi, perdita della continuità di servizio, segregazioni e grado di protezione dei QMT	

---

**CAPITOLO 5 - QUADRI ELETTRICI DI MEDIA TENSIONE**

- 5.6** Accessibilità, tenuta all'arco interno e sfogo gas incandescenti dei QMT
- 5.7** Posizionamento del QMT nel locale
- 5.8** Messa a terra del QMT
- 5.9** Campi elettromagnetici (EMF) emessi dai QMT
- 5.10** Raffreddamento della cabina
- 5.11** Autoconsumo dei QMT
- 5.12** Qualifica sismica
- 5.13** Soluzioni digitali per QMT

**CAPITOLO 6 - TRASFORMATORI ELETTRICI**

pag. 54

- 6.1** Classificazione dei trasformatori MT/BT
  - 6.1.1** Trasformatori in liquido isolante
  - 6.1.2** Trasformatori a secco
    - 6.1.2.1** Trasformatori in aria
    - 6.1.2.2** Trasformatori in resina
    - 6.1.2.3** Classificazione dei trasformatori a secco
- 6.2** Identificazione in base al modo di raffreddamento
- 6.3** Tensione nominale e di cortocircuito
- 6.4** La potenza erogabile dal trasformatore
- 6.5** Tipo di servizio
- 6.6** Perdite a vuoto ( $P_0$ ) e a carico ( $P_k$ )
- 6.7** Rischio d'incendio
- 6.8** Manutenzione ed eco-compatibilità
- 6.9** Affidabilità e disponibilità
- 6.10** Rifasamento della corrente a vuoto
- 6.11** Campo elettromagnetico, inquinamento ambientale (EMF)
- 6.12** Ventilazione del locale trasformatori
- 6.13** Rumore
- 6.14** Protezione contro i contatti diretti

**CAPITOLO 7 - QUADRI ELETTRICI DI BASSA TENSIONE**

pag. 64

- 7.1** Norme di riferimento
- 7.2** Caratteristiche di specificazione per un quadro "Power Center"
- 7.3** Tenuta all'arco interno per un quadro "Power Center"
- 7.4** Altre caratteristiche e definizioni per il Power Center "intelligente"

**CAPITOLO 8 - COLLEGAMENTO IN CAVO E IN CONDOTTO SBARRE**

pag.71

- 8.1** Criteri di dimensionamento
- 8.2** Soluzione in cavo
- 8.3** Soluzione in condotto sbarre
- 8.4** Conclusioni

**ELENCO AZIENDE ANIE**

pag. 74

---

# INTRODUZIONE

La presente Guida Tecnica è frutto dell'esperienza dei costruttori leader nella progettazione e costruzione di cabine elettriche di distribuzione MT/BT e relativi componenti installati, associati a Federazione ANIE, che hanno condensato nel documento il loro know-how.

Si indicano i riferimenti normativi da seguire nella progettazione di una cabina elettrica MT/BT, sia essa prefabbricata che non prefabbricata, dando delle indicazioni per meglio seguire i dettami normativi. Negli ultimi anni infatti sono state aggiornate diverse norme, tra cui le regole di connessione alla rete, la guida alla realizzazione delle cabine (CEI 99-4) e il DM dei Vigili del Fuoco sulla prevenzione incendi quando vi sono liquidi isolanti combustibili.

Inoltre si approfondiscono anche tutti i riferimenti normativi e alcune indicazioni progettuali dei principali componenti che vengono installati in una cabina elettrica MT/BT, ovvero: il quadro di media tensione, il trasformatore e il quadro di bassa tensione.

Altri argomenti che vengono trattati sono l'inquinamento elettromagnetico della cabina e il sistema di distribuzione che può essere in cavi oppure in condotto sbarre.

Viene inoltre approfondito il tema delle tecnologie smart, con le funzioni che può svolgere una "cabina intelligente", grazie alle apparecchiature smart contenute al suo interno.

## CAPITOLO 1

# TIPOLOGIE DI CABINE ELETTRICHE MT/BT: PREFABBRICATE E NON PREFABBRICATE

Le cabine possono essere divise in due diverse tipologie:

- cabina realizzata in opera o premontata con apparecchiature prefabbricate: impianto che prevede l'utilizzo di componenti dotati di involucro in grado di assicurare la protezione contro i contatti diretti, come ad esempio i quadri MT e BT. Per cabina realizzata in opera si intende il locale in calcestruzzo o laterizio o altro materiale idoneo ad ospitare le apparecchiature elettriche, collaudato direttamente nel luogo di ubicazione. L'impianto viene eseguito collegando opportunamente tra di loro le apparecchiature per realizzare lo schema di progetto.
- cabina prefabbricata realizzata in stabilimento: l'impianto viene realizzato impiegando il prodotto "Sottostazione prefabbricata ad alta/bassa tensione" secondo le 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 superato le prove di tipo previste.

Esistono poi le cabine a giorno, che sostanzialmente è un impianto in cui non è previsto l'utilizzo di componenti 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. Per le cabine a giorno si deve porre particolare attenzione al dimensionamento delle distanze di isolamento e di sicurezza. Poiché tale soluzione non è più d'uso comune, qualora la si voglia impiegare, valgono le prescrizioni della Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2).

### 1.1 Progettazione di una cabina non prefabbricata

Nel caso di cabine a giorno o cabine realizzate in opera con unico trasformatore da 2000 kVA massimo o due trasformatori ciascuno da 1000 kVA massimo, i progettisti che seguono la regola dell'arte fanno riferimento alla Guida CEI 99-4 e alla CEI EN 61936-1 (ex CEI 11-1).

La distinzione tra cabine a giorno e cabine realizzate in opera sta nel fatto che nelle prime i componenti di media tensione non hanno involucro proprio tale da assicurare la protezione contro i contatti diretti: essi vanno disposti considerando le distanze minime di isolamento fase-fase e fase-terra e sono tenuti fuori dalla portata delle mani attraverso barriere con grado di protezione consigliato IP2X e altezza  $\geq 1800$  mm. L'impianto per interno di tipo aperto viene eseguito sul posto nel rispetto delle suddette distanze che ne garantiscono la tenuta dielettrica ed elettro-dinamica, in alcun modo verificabile sul posto con prove di collaudo finale. Nelle cabine realizzate in opera con locale in calcestruzzo, laterizio o



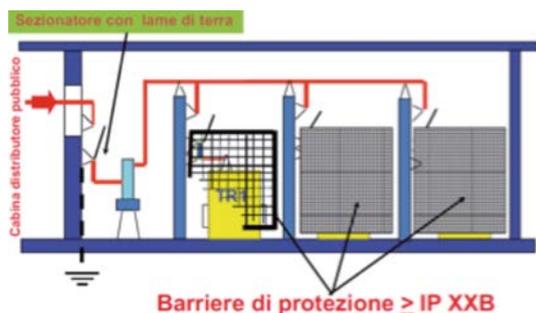


Figura 1.1: Barriere di protezione

altro materiale, i componenti MT del tipo prefabbricato e conformi alle specifiche norme di prodotto hanno un proprio involucro che assicura la protezione contro i contatti diretti.

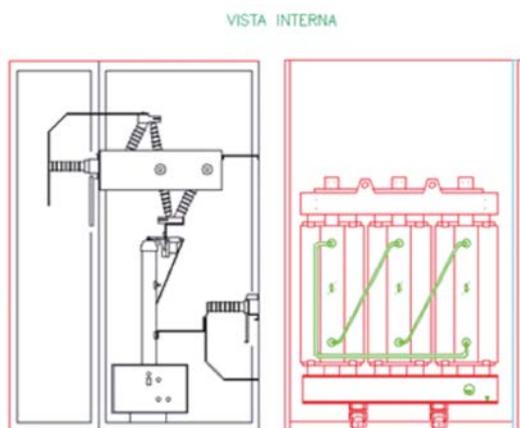


Figura 1.2: Vista interna dell'involucro di protezione del componente MT

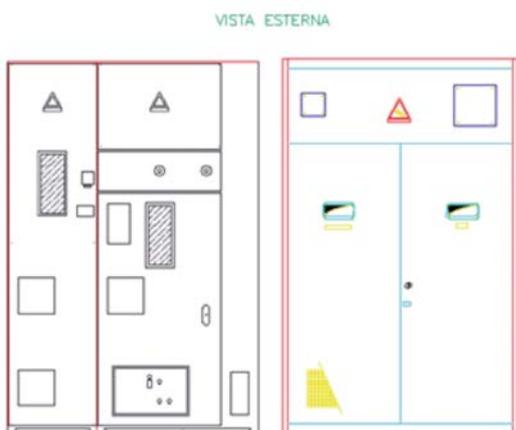


Figura 1.3: Vista esterna dell'involucro di protezione del componente MT

### 1.1.1 Progettazione del locale cabina

Per progettare il locale cabina occorre acquisire informazioni quali le condizioni di servizio (temperatura dell'aria esterna, altitudine, ...) tipologia e caratteristiche dei carichi alimentati dalla cabina, caratteristiche della rete elettrica del Distributore. La struttura della cabina deve essere realizzata in accordo alle normative vigenti nell'ambito delle costruzioni (DM 17.01.2018, DM n.24 del 09.01.2020) e della prevenzione incendi; al fine di evitare la propagazione di incendi, molta attenzione va, per esempio, posta dai progettisti a cunicoli e cavidotti che collegano la cabina alle costruzioni servite. In fase di scelta dell'ubicazione della cabina bisogna rispettare le giuste distanze rispetto a linee aeree, zone di stoccaggio di sostanze infiammabili e ad abitazioni e/o strutture esistenti che prevedono la permanenza di persone per più di 4 ore consecutive. Nel caso di cabina separata dagli edifici serviti, il locale che non abbia requisiti di resistenza al fuoco deve rispettare inoltre le distanze minime tipiche per i trasformatori installati all'aperto. Se ci sono invece pareti adiacenti l'edificio servito, esse devono avere la classificazione REI minima imposta dalle norme vigenti in tema antincendio.

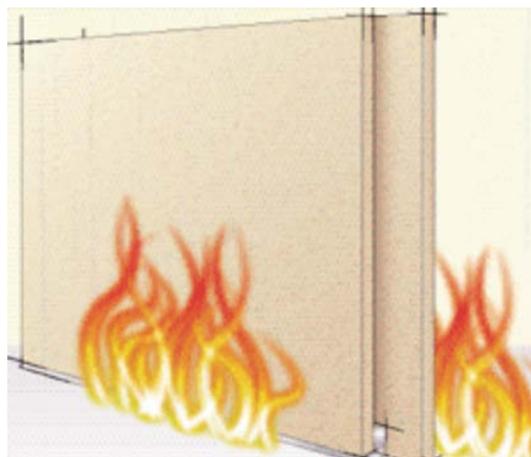
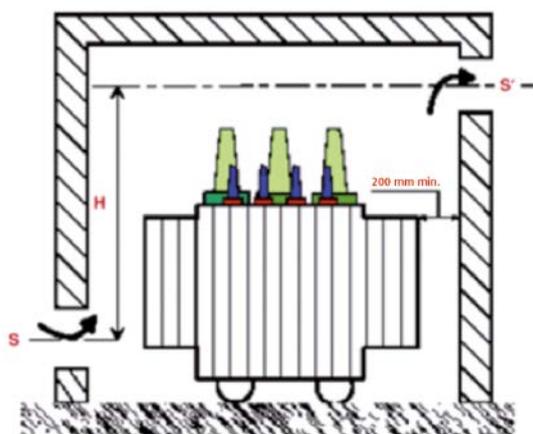


Figura 1.4: Parete della cabina per resistenza al fuoco

Altre tipologie di cabine possibili sono all'interno della volumetria dell'edificio servito o sulla copertura dello stesso, con tutte le conseguenze che ne scaturiscono dal punto di

vista della compartimentazione antincendio e delle verifiche strutturali dei solai di copertura. I locali cabina non devono essere sorgenti di campi magnetici a bassa frequenza, nel rispetto degli obiettivi di qualità definiti in  $\mu\text{T}$  (per quanto riguarda l'abbattimento dell'induzione magnetica fare riferimento alla parte della manutenzione); devono avere adeguata accessibilità da spazi pubblici; devono rispettare i requisiti strutturali imposti, oltre che dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, anche dalla Norma CEI EN 61936-1 con riferimento a pareti, pavimenti e solai, dimensionati tenendo conto dei carichi, statici e dinamici; devono essere opportunamente ventilati per convezione naturale o, quando necessario, con aerazione forzata e/o condizionata e non devono essere soggetti a infiltrazioni di acqua ed allagamenti. Il naturale ricambio d'aria deve fare riferimento alla potenza termica totale emessa dalle apparecchiature installate. Le aperture di ventilazione devono essere disposte su pareti opposte, al fine di creare un flusso d'aria in diagonale per effetto camino che richiami l'aria fresca dal basso e favorisca l'uscita del calore attraverso l'apertura opposta superiore.



**Figura 1.5:** Aperture di ventilazione per ricambio d'aria naturale

La guida 99-4 fornisce anche formule ed esempi per verificare la congruità dell'aerazione del locale e della posizione delle aperture nei locali per batterie stazionarie in funzione

dell'emissione di gas idrogeno dalle batterie.

Le aperture di ventilazione su porte e finestre devono avere grado di protezione minimo IPXXB.

Le porte esterne fanno parte dell'involucro, devono garantire pertanto il grado di protezione minimo richiesto e avere le caratteristiche di robustezza proprie dell'involucro stesso. I serramenti devono essere provvisti di un dispositivo di chiusura a chiave, oppure non deve essere possibile aprirli o rimuoverli, se prima non sono state aperte le porte utilizzate per le manovre correnti. Esse devono richiedere l'uso di utensili per la loro apertura o rimozione. Le porte lungo i percorsi di esodo devono aprirsi nella direzione del deflusso; quelle di accesso alla cabina dall'esterno devono potersi aprire con un angolo di almeno  $90^\circ$  ed essere dotate di un dispositivo in grado di mantenerle in posizione aperta.

Le vie di fuga all'interno del locale non devono superare i 20 m in accordo alle prescrizioni della Guida CEI 99-4, tuttavia l'esperienza mostra che, in caso di lunghezze superiori a 10 m, è consigliabile garantire doppia accessibilità/via di fuga su due lati opposti. Le porte di emergenza devono avere altezza minima di 2 m e luce netta di 75 cm.

Per il corridoio di manovra valgono le stesse caratteristiche delle cabine prefabbricate.

I cavi possono essere installati in scantinato pedonabile, alto minimo 1700 mm sotto il piano di appoggio dei quadri elettrici, oppure in pavimento flottante realizzato con piastrelle asportabili ed intercapedine ispezionabile con altezza minima 600 mm, oppure in cunicoli prefabbricati o realizzati in opera. La cabina ha pertanto pavimento fisso, oppure in aria libera su passerelle a sospensione.

I fori per i passaggi cavi devono evitare, attraverso idonea sigillatura, l'ingresso di animali ed acqua e la propagazione di eventuali incendi (per questo motivo, tutte le aperture per il passaggio dei cavi o condotti sbarre tra i locali contenenti apparecchiature e tra questi e l'ambiente esterno devono essere realizzati in conformità alla Norma CEI 11-17 e alla Norma

CEI EN 61936-1). Al di fuori della cabina possono essere previsti pozzetti in corrispondenza dei punti di ingresso in cabina. I cunicoli e i tubi protettivi devono essere dimensionati e posizionati in modo tale da rispettare i raggi di curvatura dei cavi. È buona norma lasciare il 30% di superficie della sezione del tubo libera. Occorre predisporre almeno una presa per l'alimentazione di servizio, un impianto di illuminazione artificiale tale da permettere l'esercizio in modo più facile e sicuro, oltre che un minimo di illuminazione di emergenza/sicurezza.

### 1.1.2 Protezione e sicurezza della cabina

La protezione dai contatti diretti viene garantita attraverso distanziamenti, involucri e barriere di adeguato grado di protezione IP2X e altezza minima 1800 mm.

La protezione dai contatti indiretti viene garantita attraverso l'impianto di terra esterno al quale sono collegati, attraverso il collettore di cabina, tutti i conduttori di protezione. Il collettore di terra interno alla cabina può essere realizzato o con barra forata o con anello di rame che percorre il perimetro interno della cabina. Il collettore e i conduttori di protezione vanno dimensionati considerando l'energia specifica passante, determinata dalla corrente di guasto a terra che potrebbe interessare ciascun circuito di terra e il tempo di estinzione del guasto, determinato dal dispositivo di protezione inserito nel circuito.

A seconda della tipologia di cabina, si distinguono due modalità di messa a terra. Nel caso di cabina separata dall'edificio servito, viene inserito un anello perimetrale con corda di rame o tondo di acciaio al quale vengono collegati anche i ferri di armatura, i dispersori così realizzati vanno disposti in terreno vegetale privo di materiale di risulta. Nel caso di cabina compresa nella volumetria dell'edificio o costruzione al piano superiore di uno stesso, si approfitta, per la messa terra, del dispersore dell'edificio.

In cabina vanno installati i cartelli di divieto,



Figura 1.6: Cartelli tipici installati in cabina

avvertimento e avviso, oltre che lo schema elettrico. Bisogna ben identificare tutte le fonti di alimentazione, la presenza di eventuali ritorni di tensione dal lato bassa tensione o da fonte alternativa di alimentazione come gruppo soccorritore, UPS, batterie, la presenza di trasformatori in parallelo e l'eventuale trascinamento MT/BT; è richiesto anche un avvertimento per la scarica delle batterie di rifasamento.

I mezzi di estinzione incendio, quali ad esempio estintori portatili, vanno collocati in luoghi facilmente accessibili e devono essere mantenuti efficienti e controllati almeno ogni 6 mesi.



Figura 1.7: Mezzo di estinzione incendio

Il pulsante di sgancio non è obbligatorio: normalmente comanda l'apertura del dispositivo generale della cabina, ma lascia in tensione la parte di impianto a monte (è conveniente usarlo per disalimentare l'edificio servito e non la cabina). Il progettista deve valutare la

necessità o meno della sua installazione in base alle prescrizioni dei VVFF.



Figura 1.8: Pulsante di sgancio per apertura DG cabina

### 1.1.3 Dimensionamento delle apparecchiature

Per dimensionare e scegliere le apparecchiature e i componenti bisogna prima fare l'analisi dei carichi considerando i fattori di contemporaneità e di utilizzazione. Il dimensionamento parte dall'individuazione della temperatura di progetto dalla quale potrebbe scaturire un declassamento delle apparecchiature.

I componenti devono sopportare le correnti di sovraccarico e di corto circuito legate alla configurazione impiantistica, allo stato del neutro e ai tempi di intervento delle protezioni.

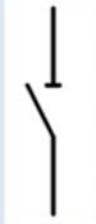
Lo schema elettrico va scelto in base ad esigenze di continuità del servizio, alla potenza necessaria in modo centralizzato o distribuita su più punti di prelievo, alle correnti di corto circuito che scaturiscono dalla potenza dei trasformatori e dalla tensione di corto circuito  $V_{cc}\%$  e ai limiti imposti dal Distributore sulle correnti di inserzione e sulla massima potenza energizzabile contemporaneamente. Lo schema potrebbe essere del tipo radiale semplice, radiale doppio, ad anello, con trasformatori in parallelo, uno di scorta all'altro, con congiunture di barre, con scambio rete-gruppo elettrogeno...

I cavi MT devono essere dotati di uno schermo o di guaina metallica. La schermatura è messa a terra su entrambe le estremità, ma è ammesso collegarne a terra una sola estremità in caso di collegamenti brevi ( $\leq 1$  km). Le connessioni elettriche non devono presentare punti deboli né caldi: devono essere realizzate con metalli che non diano luogo a coppie elettrolitiche. Le

superfici di contatto vanno opportunamente trattate e protette.

I cavi MT possono coesistere con i cavi BT in quanto lo schermo metallico dei cavi collegato a terra funge da segregazione metallica.

I dispositivi di manovra MT vanno scelti in conformità alle prescrizioni del Distributore e della CEI 0-16 per quanto riguarda il Dispositivo Generale (DG), che può essere composto da un interruttore tripolare in esecuzione fissa abbinato ad un sezionatore oppure da un interruttore in esecuzione estraibile. Per la parte di impianto in MT a valle del DG, i dispositivi possono variare tra sezionatori, interruttori, interruttori di manovra sezionatori (IMS) o IMS combinati fusibili.

Interruttori	Sezionatori
	
Atti ad aprire o chiudere un circuito percorso da correnti di intensità non trascurabile, anche quella di cortocircuito	Atti ad aprire o chiudere, in modo visibile o mediante un dispositivo indicatore affidabile, un circuito percorso da correnti di intensità trascurabile

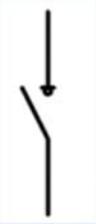
IMS	Fusibili
	
Atti ad effettuare manovre di apertura e di chiusura in presenza di correnti normali e che in posizioni di aperto assicurano il sezionamento del circuito.	Atti ad aprire un circuito in presenza di cortocircuiti o sovraccarichi

Figura 1.9: Tipologie di dispositivi di manovra MT

La scelta del tipo di isolamento per il trasformatore tra resina, olio minerale o estere (naturale o sintetico) è legata a diversi fattori quali costi, rischio di incendio, inquinamento del suolo e coefficiente termico della macchina.



**Figura 1.10:** Trasformatore isolato in olio e trasformatore isolato in resina

Per l'isolamento in SF<sub>6</sub>, usato in cabine sopra il livello del suolo, è sufficiente la ventilazione naturale con aperture vicino al pavimento in quanto trattasi di gas pesante (in caso di cabine sotterranee potrebbe essere richiesta la ventilazione forzata).

I servizi ausiliari di cabina necessari per assicurare il funzionamento dei dispositivi di protezione, la manovra di interruttori e i circuiti ausiliari possono essere alimentati dal secondario di un TV fase-fase (se a monte del DG deve essere protetto con fusibili), o a monte del generale BT o da un gruppo batterie.

Gli interblocchi sono considerati un elemento addizionale e non necessario: qualora previsti si preferiscono gli interblocchi meccanici rispetto a quelli elettrici. Possono essere previsti interblocchi meccanici tra un sezionatore MT e l'interruttore MT associato, tra la manovra di un IMS e il sezionatore di terra, tra l'interruttore BT e l'interruttore MT, tra il sezionatore di terra in MT e la porta di accesso al trasformatore e tra due interruttori BT.

I circuiti di cabina devono essere protetti contro il sovraccarico, il cortocircuito e contro i guasti a terra. Agli interruttori di protezione vanno abbinati a tale scopo dei relè di protezione che

possono essere direttamente montati a bordo interruttore e alimentati dalla corrente primaria, oppure del tipo indiretti ma alimentati dal carico o ancora del tipo indiretti con alimentazione esterna. Le caratteristiche di intervento possono essere a tempo dipendente, indipendente o a scatto istantaneo.

I trasformatori di corrente usati in abbinamento ai relè di protezione devono essere del tipo di protezione con adeguata prestazione e precisione.

I TA e i TV di misura ad uso fiscale, oltre a rispettare i requisiti minimi di precisione, devono anche essere provvisti di morsettiere sigillabili di prova e misura.

I TV, qualora installati a monte dell'interruttore DG, vanno protetti con IMS combinato fusibile.



**Figura 1.11:** Trasformatori di misura

Lo studio del coordinamento delle protezioni sullo stesso livello o su differenti livelli di tensione limita la messa fuori servizio al solo circuito guasto. Il coordinamento si può basare sulla differenza dei tempi di intervento, sulla differenza delle correnti di guasto, sulla limitazione dell'energia passante o sulla selettività logica e scambio di informazioni tra relè a monte e a valle. Qualsiasi metodo venga usato è necessario in primis garantire la selettività tra le protezioni dell'utente e quelle del Distributore.

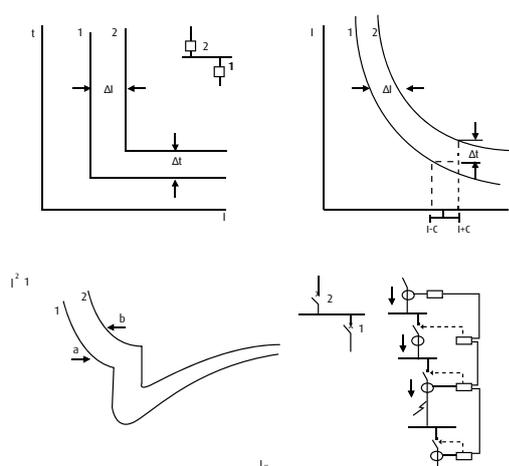


Figura 1.12: Selettività delle protezioni

Con riferimento all'installazione del quadro BT, descritto nel capitolo 6, bisogna distinguere i power center installati in cabine isolate da quelli cosiddetti per interno, cioè compresi nella volumetria dell'edificio servito, generalmente posizionati in locali tecnici dedicati: nel primo caso il quadro generale di cabina prevede nella maggioranza dei casi soltanto l'interruttore protezione del trasformatore e gli ausiliari di cabina ed è costruito con un grado minimo di segregazione in forma 1 e con interruttori in esecuzione fissa; nel secondo caso, invece, esso comprende anche il primo livello di distribuzione BT e, in funzione del livello di continuità di servizio richiesto, si possono raggiungere forme di segregazione più spinte (fino a 4B) e prevedere l'installazione di interruttori in esecuzione estraibile.

#### 1.1.4 Prove e documentazioni

Dopo la consegna e dopo il completamento dell'impianto si devono eseguire ispezioni a vista, prove funzionali e misure per verificare la conformità dell'installazione dei componenti elettrici alle specifiche tecniche applicabili. La consistenza, le specifiche applicabili e la documentazione nel suo complesso devono essere oggetto di accordo tra fornitore ed utilizzatore.

Occorre verificare le caratteristiche dei componenti elettrici (compresi i valori nominali assegnati) per le condizioni di funzionamento previste, le distanze minime di isolamento tra parti attive e tra parti attive e terra, eseguire la prova di tensioni per cavi, verificare le altezze minime e le distanze tra le barriere, eseguire ispezioni a vista e/o prove funzionali sui componenti elettrici e su parti dell'impianto, eseguire prove funzionali e/o misure su dispositivi di protezione, di monitoraggio, di misura e di comando, eseguire ispezioni delle targhe, delle segnalazioni di sicurezza e dei dispositivi di sicurezza e verificare l'impianto di terra come previsto dalla Norma CEI EN 61936-1. La documentazione fornita per ogni impianto riguarda l'impianto di terra, disegni dell'impianto (planimetrie, piante e sezioni), opere civili (tavole architettoniche e progetto strutturale), schemi elettrici, schemi circuitali e tabelle, schemi di cablaggio, manuali di istruzione per il montaggio, per la messa in servizio, per l'esercizio e la manutenzione, liste dei pezzi di ricambio, schemi funzionali, certificazione, rapporti di prove nonché istruzioni per il riciclaggio e la rottamazione.

#### 1.2 Progettazione di una cabina prefabbricata

Per progettare, realizzare, assemblare, sottoporre alle prove di tipo e collaudare in stabilimento il prodotto finito, i costruttori di cabine elettriche prefabbricate devono seguire la regola tecnica CEI EN 62271-202 classificazione italiana CEI 17-103 (ex CEI EN 61330).

Le cabine elettriche prefabbricate sono costituite da un involucro contenente uno o più trasformatori, apparecchiatura di manovra di bassa e media tensione, interconnessioni BT e MT in cavo e impianti ausiliari; possono essere installate in luoghi accessibili o meno al pubblico, a livello del terreno oppure parzialmente o completamente interrato, operabili dall'interno (walk-in type) o dall'esterno (non walk-in type). Il costruttore partendo dai requisiti di sicurezza delle persone (sia operatori dentro la cabina che eventuale pubblico presente attorno la

cabina) viene guidato nell'individuazione delle caratteristiche dei materiali da usare, degli impianti da realizzare e delle procedure di prova da seguire.

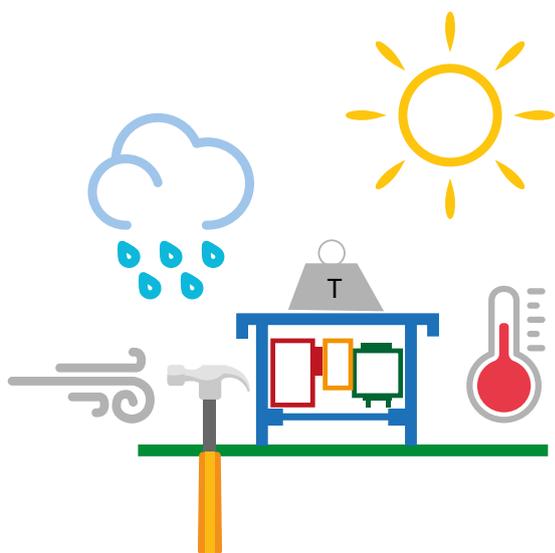


Figura 1.13: Valutazione delle condizioni di funzionamento della cabina

Oltre alle due norme tecniche sopraccitate, si vedano di seguito altri documenti, emanati dalle autorità competenti o dagli enti distributori, a cui fare riferimento per progettare e realizzare il manufatto prefabbricato:

- DM 17.01.2018 (NTC 2018) e relativa Circolare applicativa;
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Servizio Tecnico Centrale;
- Specifiche tecniche vigenti del distributore

Gli stabilimenti che producono cabine elettriche prefabbricate necessitano di un attestato di qualificazione che viene rilasciato dal Consiglio Superiore del LL.PP.

### 1.2.1 Condizioni di servizio normali o speciali e caratteristiche nominali

La cabina prefabbricata va progettata per essere utilizzata in condizioni di servizio normali

previste per l'esterno. In fase preliminare vanno esaminati i dati di ingresso e in particolare condizioni di servizio speciali quali: intervalli di temperatura di installazione differenti, altitudini superiori a 1000 m, sbalzi termici rapidi, neve e sabbia trasportate dal vento, esposizione anormale a vapore, umidità, fumi, gas esplosivi, eccessiva polvere o sale (a causa del traffico o dell'inquinamento industriale), terremoti o vibrazioni dovute a cause esterne all'apparecchiatura da fornire.

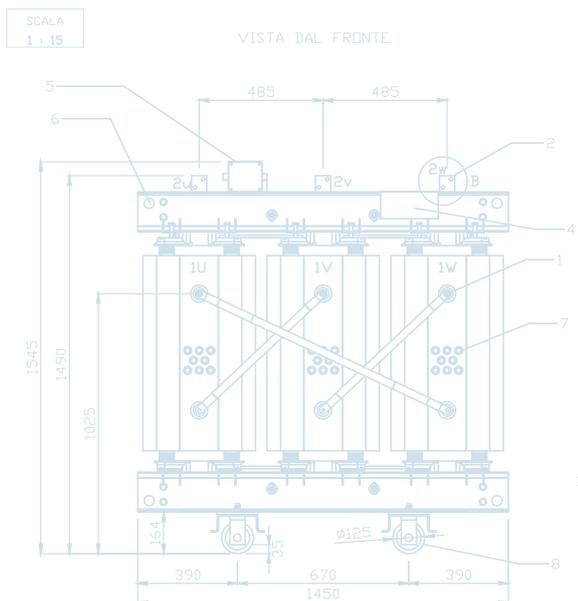
CONDIZIONI DI SERVIZIO NORMALI	
Installazione	Esterno
Temperatura ambiente	-10°C e +40°C
Temperatura ambiente media massima misurata nell'arco delle 24 h	35°C
Radiazione solare	≤ 1000 W/m <sup>2</sup>
Altitudine sul livello del mare	< 1000 m
Inquinamento <	Livello II
Velocità del vento <	34 m/s
Presenza di condensa	Prevista
Vibrazioni (sismicità)	Trascurabile
Carico massimo sul tetto	≤ 480 daN/m <sup>2</sup>

Tabella 1.1: Condizioni di servizio normali della cabina

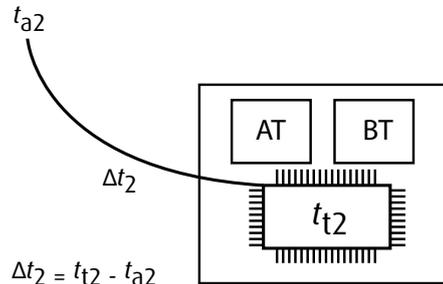
Le apparecchiature elettriche, come il quadro di media tensione e il trasformatore (già sottoposti alle prove di tipo in accordo alle specifiche

norme di prodotto) da installare all'interno della cabina, le caratteristiche di alimentazione della rete MT comunicate dal Distributore e i risultati delle prove di tipo, attribuiscono alla cabina elettrica prefabbricata le caratteristiche nominali, come la tensione nominale, le correnti nominali, le correnti di breve durata per i circuiti principali e di terra, la potenza massima e le perdite nominali (dettate dalla massima taglia di trasformatore installabile) e la classe nominale dell'involucro.

In particolare la classe nominale termica dell'involucro è un valore in kelvin che si ricava attraverso l'esecuzione di una prova di riscaldamento eseguita sulla cabina completa di apparecchiature. Il trasformatore, installato in cabina, è alimentato con una corrente sufficiente a generare le perdite nominali totali fino al raggiungimento dell'equilibrio termico. Stessa prova viene eseguita sul trasformatore portato fuori dalla cabina. La differenza in kelvin tra le sovratemperature raggiunte dal trasformatore installato in cabina e le sovratemperature rilevate nell'installazione fuori dall'involucro determina appunto la classe termica nominale dell'involucro. Questo valore è indice del declassamento termico da attribuire alle apparecchiature installate in cabina. Valori bassi della classe termica (5 K ÷ 10 K) implicano modesti declassamenti.



#### Misura della sovratemperatura del trasformatore in un involucro $\Delta t_2$



$$\Delta t_2 = t_{t2} - t_{a2}$$

Dove:

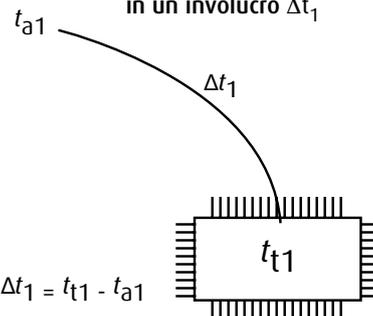
- $t_{a2}$ : è la temperatura dell'aria ambiente della camera di prova;
- $t_{t2}$ : sono le temperature del trasformatore misurate secondo le IEC 60076-2 e IEC 60076-11;
- $\Delta t_2$ : è la sovratemperatura del trasformatore all'interno dell'involucro.

Criteri di Accettazione

$$\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1$$

- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Classe 5: $\Delta t \leq 5K$   | Classe 20: $\Delta t \leq 20K$ |
| Classe 10: $\Delta t \leq 10K$ | Classe 25: $\Delta t \leq 25K$ |
| Classe 15: $\Delta t \leq 15K$ | Classe 30: $\Delta t \leq 30K$ |

#### Misura della sovratemperatura del trasformatore in un involucro $\Delta t_1$



$$\Delta t_1 = t_{t1} - t_{a1}$$

Dove:

- $t_{a1}$ : è la temperatura dell'aria ambiente della camera di prova;
- $t_{t1}$ : sono le temperature del trasformatore misurate secondo le IEC 60076-2 e IEC 60076-11;
- $\Delta t_2$ : è la sovratemperatura del trasformatore all'interno dell'involucro.

Figura 1.14: Misura della sovratemperatura del trasformatore

### 1.2.2 Caratteristiche costruttive dell'involucro

Per la realizzazione dell'involucro possono essere utilizzati diversi materiali (calcestruzzo, metallo, materiali sintetici, ecc.) che resistano al deterioramento nelle condizioni ambientali e nell'arco della vita prevista, a condizione che l'utilizzatore si attenga alle raccomandazioni di manutenzione indicate dal costruttore.

Il costruttore deve prendere adeguati provvedimenti contro la corrosione dell'acciaio d'armatura, contro gli effetti della penetrazione d'acqua, della carbonatazione del calcestruzzo, del gelo, della diffusione di cloruro e degli attacchi chimici (esempio di trattamento: tinteggiatura a intonaco rustico). L'involucro metallico va protetto contro la corrosione mediante l'uso di materiali appropriati, la verniciatura o con l'applicazione di rivestimenti di protezione. L'acciaio inossidabile o l'alluminio possono essere usati senza protezione.

Oltre a quanto sopra, i distributori possono chiedere ulteriori presidi contro la corrosione e il degrado del manufatto. I serramenti possono essere in VTR in alluminio o in acciaio inox.

Se l'involucro è parte del circuito conduttore principale di messa a terra, si devono prendere precauzioni per impedire la corrosione degli elementi e delle superfici di contatto nel percorso della corrente di terra, per mantenere la capacità di portare corrente durante la sua vita in servizio prevista.

I materiali utilizzati per l'involucro devono avere inoltre un livello minimo di tenuta all'incendio, che si sviluppi all'interno o all'esterno della sottostazione prefabbricata (calcestruzzo, metallo, mattoni, intonaco sono considerati ininfiammabili). L'involucro deve infine possedere una robustezza meccanica sufficiente (grado IK 10) e deve resistere ai carichi di progetto sul tetto (es. neve) e sull'involucro (es. vento) e agli impatti meccanici di progetto sulle porte e sui pannelli. Con riferimento all'involucro realizzato in cemento armato, in ambito di prefabbricazione bisogna attenersi alle prescrizioni del vigente DM 17.01.2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

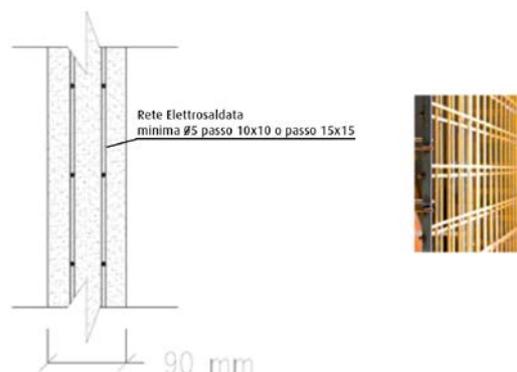


Figura 1.15: rete elettrosaldata d'armatura della parete della cabina

Il raffreddamento della sottostazione prefabbricata deve effettuarsi, per quanto possibile, mediante ventilazione naturale (effetto camino) attraverso le griglie di ventilazione di cui sono dotate le porte e le finestre. Le apparecchiature elettriche MT/BT vanno posizionate all'interno della cabina in modo da garantire agli operatori l'esecuzione di qualsiasi manovra o operazione di manutenzione. La larghezza del corridoio di manovra deve sempre essere  $\geq 500$  mm anche quando parti mobili o porte aperte, bloccate nella direzione di fuga, invadono le vie di fuga stesse. In distribuzione secondaria, le vie di fuga, quasi sempre, coincidono con le aree destinate alla manutenzione e l'esercizio, per accedere alle quali serve un passaggio. La Norma prescrive che i passaggi devono avere una larghezza minima di 800 mm.

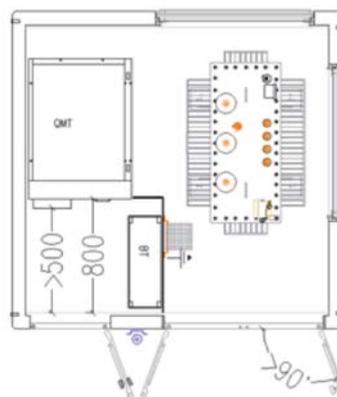


Figura 1.16: Posizionamento delle apparecchiature in cabina

Per l'installazione in bassa tensione all'interno della sottostazione prefabbricata (per esempio illuminazione, alimentazione ausiliaria) ci si attiene alla Norma CEI 64.8. Si dovrebbe prevedere uno spazio sufficiente per gli accessori, per es. leve di manovra e cartelli.

Con riferimento alla protezione dell'ambiente dall'eventuale fuoriuscita di liquidi pericolosi dall'apparecchiatura (per es. olio di un trasformatore, olio di un apparecchio), bisogna dapprima fare riferimento alle disposizioni locali vigenti (DPR, DM...).

Il dimensionamento della capacità dei serbatoi di raccolta deve tenere conto, nel caso per esempio di un solo trasformatore, del volume totale di olio dello stesso; nel caso di un serbatoio comune a più trasformatori, del volume totale di olio maggiore tra i due trasformatori.

### 1.2.3 Accessibilità, protezione dai contatti diretti e grado IP

Durante la progettazione bisogna prendere in considerazione il fatto che le normali manovre di esercizio, le ispezioni e la manutenzione devono potersi effettuare senza rischi, riducendo la possibilità di accesso non autorizzato attraverso l'uso di barriere, blocchi ed eventuali interblocchi. Devono essere forniti mezzi per garantire l'accesso in sicurezza per le manovre riguardanti il commutatore del trasformatore o per l'esecuzione di controlli, per esempio, aprendo una porta o, se necessario, smontando un pannello.

Il minimo grado di protezione degli involucri, contenenti parti attive, deve essere IP2X al fine di garantire la protezione delle persone dall'accesso a parti pericolose, nonché una protezione dell'apparecchiatura dall'ingresso di corpi estranei solidi.

Eventuali barriere per l'accesso al trasformatore devono avere grado minimo IP2X e altezza minima 1800 mm dal piano di calpestio.

Per qualsiasi parte accessibile dell'involucro della sottostazione, la temperatura massima ammissibile non deve superare 70 °C escludendo gli effetti della radiazione solare.

### 1.2.4 Messa a terra e protezione dai contatti indiretti

Deve essere fornito un circuito conduttore principale di messa a terra per collegare a terra tutte le parti metalliche della sottostazione prefabbricata. Esso deve essere costituito da un conduttore principale di messa a terra al quale ciascun componente è collegato attraverso un circuito unico.

Se il telaio dell'involucro, o l'armatura del calcestruzzo, è di materiale metallico bullonato o saldato, essa può servire da circuito conduttore principale di messa a terra.

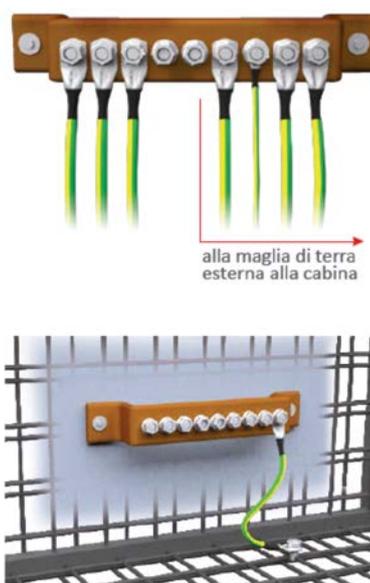


Figura 1.17: Collegamento impianto di terra

Il circuito conduttore principale di messa a terra deve essere progettato per sopportare la corrente di cortocircuito nominale e la corrente di picco nominale ammissibile nelle condizioni di messa a terra del neutro del sistema. Il valore dichiarato consegue dall'esito della relativa prova di tipo.

### 1.2.5 Targa di identificazione

Ciascuna sottostazione prefabbricata deve essere dotata di una targa duratura e chiaramente leggibile con le seguenti informazioni:

LOGO (nome del costruttore)
TIPO
NUMERO SERIE
ANNO FABBRICAZIONE
IAC
CEI EN 62271-202

Figura 1.18: Targa identificativa

### 1.2.6 Prove

Le prove di tipo obbligatorie servono a verificare la correttezza del progetto e la rispondenza alle prestazioni attese della sottostazione prefabbricata realizzata. Esse vengono eseguite sulla massima configurazione rappresentativa dei componenti di una sottostazione prefabbricata completa. La prestazione di una data combinazione differente da quella provata ma comparabile può essere dedotta dai risultati di prova.

Si elencano di seguito le prove di tipo:

- le interconnessioni MT e BT devono essere sottoposte alle prove di isolamento con tensione a impulso e alla frequenza di esercizio; le prove dielettriche non sono richieste quando l'interconnessione in media tensione è effettuata con cavi collegati da connessioni schermate a terra sottoposte a prove di tipo;
- individuata la taglia massima di trasformatore installabile, in condizioni di corto circuito lato bassa tensione e alimentazione lato MT corrispondente alla tensione di cortocircuito  $V_{cc}\%$ , il complesso MT/BT viene alimentato con correnti tali da dissipare la potenza termica nominale; in seguito al raggiungimento dell'equilibrio termico del trasformatore (sovratemperature dell'olio o degli avvolgimenti) vengono rilevate le sovratemperature dei punti critici e viene determinata la classe termica dell'involucro come già meglio dettagliato;
- i circuiti principali e di terra vengono sottoposti alla circolazione delle correnti di picco e di breve durata nominali;

- prove per la verifica del grado di protezione IP23D ("2" indica involucro protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 12,5 mm e contro l'accesso con un dito; "3" indica protetto contro la pioggia cadente con inclinazione massima di 60° rispetto la verticale; "D" indica protetto contro l'accesso con un filo di diametro 1 mm e di lunghezza pari a 100 mm);
- prove per verificare la resistenza dell'involucro della sottostazione prefabbricata alle sollecitazioni meccaniche (grado IK10); un pendolo con una massa di 5 kg in sospensione viene alzato di 40 cm e lasciato cadere per impattare contro diversi punti dell'involucro comprese porte e pannelli;
- per le sottostazioni prefabbricate di classe IAC-A, IAC-B o IAC-AB, prove per valutare gli effetti dell'arco dovuto a un guasto interno;
- prove di compatibilità elettromagnetica EMC (sull'apparecchiatura MT e BT).

È opportuno inoltre verificare l'esistenza di un sistema di sigillatura meccanico conforme alle prescrizioni della V1 alla norma CEI 11/17 in tutti i passaggi cavi ed il suo corretto dimensionamento e montaggio.

La prova del livello sonoro della sottostazione prefabbricata è una prova di tipo speciale soggetta ad accordo tra costruttore e utilizzatore. Le prove funzionali vanno eseguite sia come prove di tipo sia come prove di accettazione su ciascuna cabina prodotta: azionamento dell'apparecchiatura di manovra e di comando; azionamento meccanico delle porte della sottostazione prefabbricata; sistemazione di barriere isolanti; controllo della temperatura e del livello del liquido del trasformatore; controllo dell'indicazione della tensione; sistemazione dei dispositivi di messa a terra; esecuzione di prove sui cavi; sostituzione dei fusibili, se applicabile; azionamento del commutatore del trasformatore, pulizia delle griglie di ventilazione.

Le prove individuali e le verifiche vanno eseguite su ciascuna cabina prodotta e comprendono: la prova dielettrica sull'interconnessione in media tensione; la prova sui circuiti ausiliari e di comando; le prove funzionali di cui sopra; la verifica della corretta esecuzione del cablaggio; la prova dopo assemblaggio sul posto.

### 1.2.7 Guasti interni e classificazione tenuta arco interno

Il costruttore della cabina prefabbricata deve assicurare la protezione del pubblico e/o degli operatori in caso di guasti interni quale può essere un arco interno accidentale, innescatosi all'interno dell'apparecchiatura MT (non sono presi in considerazione archi innescatisi nel trasformatore o nell'apparecchiatura BT). Per realizzare questo obiettivo, il costruttore della sottostazione prefabbricata deve assicurarne la costruzione corretta e, volendo classificare la cabina a tenuta d'arco interno, deve verificare e dimostrare l'efficacia del progetto sottoponendo la cabina a prove di tipo indicate nella norma CEI EN 62271-202. Solo le sottostazioni che hanno superato le prove con successo si qualificano come classe IAC-A o IAC-B o IAC-AB.

Le lettere A e B si differenziano a seconda se si tratti di protezione degli operatori, del pubblico o di entrambi. L'operatore può trovarsi all'interno della sottostazione (se esercita dall'interno) o di fronte ad essa (se esercita dall'esterno). Tuttavia, il pubblico può trovarsi attorno alla sottostazione in qualsiasi momento. Il pubblico non si troverà mai all'interno della sottostazione o in prossimità del lato di utilizzo durante l'esecuzione di manovre a porte aperte (se esercita dall'esterno): queste aree sono considerate ad accesso limitato solo agli operatori. IAC-A Destinata a verificare la protezione degli operatori quando manovrano l'apparecchiatura della sottostazione e si basa su una accessibilità limitata al solo personale autorizzato (accessibilità di tipo A). Essa si applica alle sottostazioni manovrate dall'interno (con zona di manovra) o al lato di manovra alta tensione delle sottostazioni manovrate

dall'esterno (senza zona di manovra). La prova di tipo viene eseguita con la cabina a porte aperte sul lato di manovra MT simulando l'operatore mentre sta effettuando delle manovre davanti l'apparecchiatura MT.

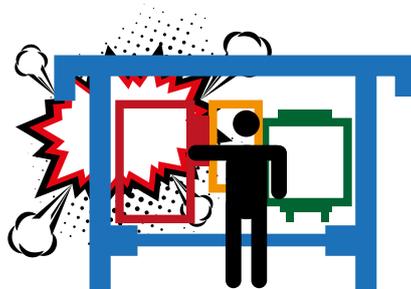


Figura 1.19: Classificazione arco interno IAC-A

IAC-B Verifica la protezione del pubblico attorno alla sottostazione con accesso non limitato (accessibilità di tipo B) a tutti i lati della sottostazione. Durante questa prova, tutte le porte della sottostazione sono chiuse simulando il pubblico che potrebbe trovarsi attorno la cabina.

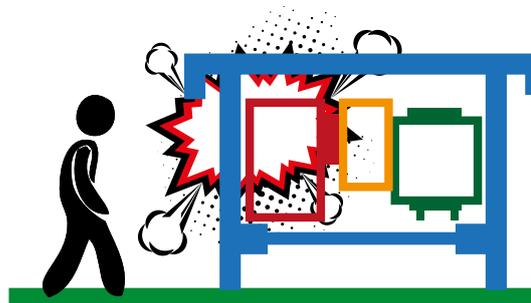


Figura 1.20: Classificazione arco interno IAC-B

IAC-AB Verifica la protezione sia degli operatori, quando manovrano l'apparecchiatura della sottostazione, che del pubblico attorno alla sottostazione. Questa classificazione si ottiene superando le prove di tipo IAC-A e IAC-B.

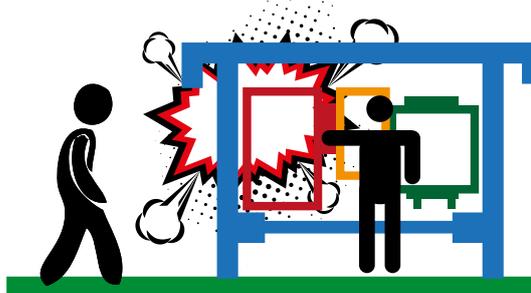


Figura 1.21: Classificazione arco interno IAC-AB

L'utilizzatore deve effettuare una scelta corretta, secondo le caratteristiche della rete, le procedure di esercizio e le condizioni di servizio, tenendo conto della probabilità che si producano archi interni. La Norma fornisce un elenco di punti dove l'esperienza mostra che i guasti possono essere per lo più localizzati. Essa fornisce anche le possibili cause dei guasti e le misure possibili per diminuire la probabilità di archi interni. Viene cioè condotta un'analisi dei rischi. Quando il rischio dovuto ad un arco interno è considerato trascurabile, non è necessario utilizzare una sottostazione prefabbricata di classe IAC-A, IAC-B o IAC-AB. Quando il rischio dovuto ad un arco interno è considerato rilevante, si dovrebbe utilizzare solo una sottostazione prefabbricata di classe IAC-A, IAC-B o IAC-AB.

### 1.2.8 Informazioni da fornire nelle richieste d'offerta

L'utilizzatore della cabina elettrica responsabile della progettazione elettrica deve comunicare nella richiesta di offerta oltre allo schema elettrico d'impianto tutti i dati fondamentali per la determinazione delle caratteristiche dell'involucro, compatibilmente con le condizioni di servizio e per una scelta appropriata delle apparecchiature da installare, considerando i parametri elettrici del sistema MT, così come comunicategli dal Distributore; restano a carico dell'utilizzatore le scelte riguardo il tipo di isolamento e il grado IP preferito per le apparecchiature e le decisioni circa la necessità o meno della classificazione IAC.

Oltre a queste informazioni, il richiedente dovrebbe indicare ogni condizione che potrebbe influire sull'offerta o sull'ordine, come condizioni speciali di assemblaggio o di montaggio sul posto (per es. vicinanza a pareti circostanti, incasso nei terrapieni, elementi che possono influenzare la ventilazione, ecc.), la posizione dei collegamenti esterni ad alta tensione, le norme locali relative agli incendi e al rumore e la durata di vita prevista.

Qualora l'utilizzatore intenda prescrivere speciali prove di tipo, deve fornire le relative informazioni.

Su richiesta del committente, il costruttore della cabina deve allegare nelle offerte l'elenco dei certificati o i rapporti di prove di tipo, compresa la giustificazione della scelta delle prove di tenuta all'arco interno per le classi IAC-A, IAC-B o IAC-AB, quando applicabile, i dettagli costruttivi, le dimensioni totali e la disposizione generale della cabina, le informazioni sulla disposizione delle connessioni esterne, le prescrizioni per il trasporto e l'installazione, le informazioni per il funzionamento e la manutenzione e la dichiarazione di conformità della sottostazione alla Norma.

### 1.2.9 Regole per il trasporto, l'installazione, il funzionamento, la manutenzione e la fine vita in servizio

Il produttore deve fornire tutte le istruzioni riguardanti il trasporto, lo stoccaggio, il montaggio, il funzionamento e la manutenzione di una sottostazione prefabbricata.



Figura 1.22: Trasporto della cabina

Le istruzioni per il trasporto e lo stoccaggio vengono fornite in un momento opportuno prima della consegna, e le istruzioni per il montaggio, il servizio e la manutenzione vengono fornite al più tardi al momento della consegna.

La massa di ciascuna unità di trasporto deve essere dichiarata dal costruttore ed indicata preferibilmente sull'etichetta dell'apparecchiatura. Devono essere forniti dispositivi di sollevamento in quantità sufficiente da consentire la movimentazione di ciascuna unità. Le istruzioni devono indicare chiaramente

il metodo preferenziale per sollevare in modo sicuro la sottostazione.

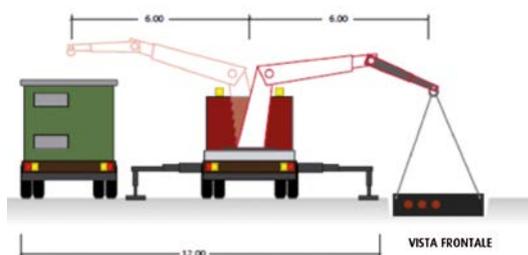


Figura 1.23: Sollevamento della cabina durante il trasporto

Il produttore deve fornire tutte le informazioni necessarie per consentire la preparazione del sito, come i necessari lavori civili di scavo, i terminali di messa a terra esterni e la posizione dei punti di accesso ai cavi.

In particolare, la posa in opera della cabina può avvenire o su vasca prefabbricata fornita dal costruttore (in questo caso il cliente dovrà predisporre uno scavo di sezione adeguata alle dimensioni della cabina e il fondo dello scavo dovrà essere accuratamente livellato e costipato con materiale inerte) oppure su basamento realizzato in opera a cura del committente.

Nel caso in cui si rendesse necessario, il tetto della cabina può essere asportato sempre con lo stesso sistema di sollevamento della cabina (per cabina monoblocco).

Il trasporto del manufatto avviene su rimorchi equipaggiati con sistema di traino o motrice.

Nel manuale di uso e manutenzione il produttore deve riportare istruzioni e frequenza consigliata e tutte le informazioni necessarie per permettere all'utilizzatore finale di smontare, riciclare e smaltire la sottostazione prefabbricata alla fine della sua vita, tenendo conto della protezione sia degli operatori che dell'ambiente.

### 1.3 DM 15-07-2014 Vigili del Fuoco

La prevenzione incendi riferita alla realizzazione di cabine elettriche, con particolare interesse verso i rischi legati alla presenza di liquidi combustibili, va condotta nel rispetto delle disposizioni dettate dal DM 15/7/2014 recante "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 m<sup>3</sup>" emanato dal Ministero dell'Interno nell'ambito del DPR 151/11 - Attività n.48 "Centrali termoelettriche, macchine elettriche fisse con presenza di liquidi isolanti combustibili in quantità superiori a 1 m<sup>3</sup>".

L'ambito di applicazione del suddetto DM abbraccia tutte le installazioni, sia di nuova realizzazione sia già esistenti in data 04/09/2014 (data di entrata in vigore del DM), con presenza di macchine elettriche fisse<sup>1</sup> con contenuto di liquido isolante combustibile<sup>2</sup> superiore a 1 m<sup>3</sup>. Sono interessate sia le fasi di sviluppo (progettazione) sia le fasi operative (installazione e esercizio) delle attività soggette al DM; ricadono nell'ambito di applicazione del DM anche le cabine elettriche MT/BT, di proprietà dell'Utente o del Distributore, che alloggiavano trasformatori MT/BT con volume complessivo di olio isolante superiore a 1 m<sup>3</sup>. In figura viene mostrato il diagramma di flusso che sintetizza l'ambito di applicazione del DM 15/07/2014.

<sup>1</sup> Il DM fornisce la seguente definizione di macchina elettrica fissa: installazione di macchina elettrica collegata ad una rete elettrica o ad un impianto elettrico comprensiva dei sistemi accessori a corredo.

<sup>2</sup> In mancanza di dettagli sulle proprietà distintive degli oli isolanti riguardo alle loro caratteristiche di infiammabilità, è da ritenersi combustibile qualsiasi tipologia di olio isolante.

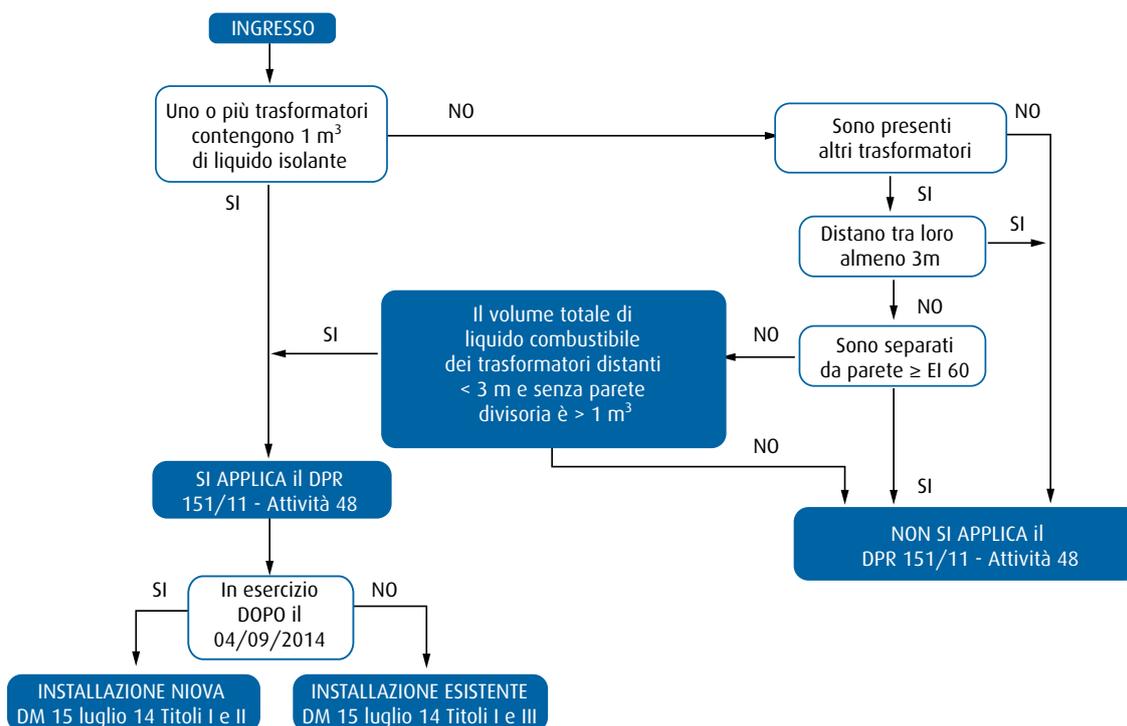


Figura 2.1: Flow chart su DM 15 luglio 2014

La struttura del DM dedica una sezione alle nuove installazioni (Titolo II) e una sezione alle installazioni esistenti (Titolo III), per ciascuna delle quali considera quattro tipologie di installazione (all'aperto, in locali esterni, in fabbricato destinato ad altro uso e in edifici a particolare rischio d'incendio). Viene stabilito che la sostituzione di una macchina elettrica o più macchine elettriche con altre, il cui quantitativo complessivo di liquido isolante combustibile non sia superiore del 10% rispetto al quantitativo di liquido isolante preso a riferimento per la progettazione dell'installazione, rappresenta variazione non sostanziale nell'ambito della prevenzione incendi, per cui è possibile trattarla come installazione esistente.

L'applicazione del DM risulta necessaria in tutti quei casi in cui si verificano contemporaneamente le tre seguenti condizioni:

- presenza di almeno una macchina elettrica fissa;

- contenente liquido isolante combustibile;
- in quantità superiore a 1 m<sup>3</sup> (si stima che il limite possa essere superato per trasformatori MT/BT di potenza non inferiori a 2000 kVA, ma la verifica va condotta sempre con riferimento ai dati riportati sulla targa dello specifico trasformatore).

Nel caso di più macchine elettriche fisse, è necessario considerare la somma di tutti i volumi di liquido isolante contenuti da ciascuna macchina, ad esclusione dei casi in cui si abbia a che fare con installazioni fisse distinte. Quest'ultime sono caratterizzate da almeno uno dei seguenti casi:

- macchine elettriche distanti tra loro non meno di 3 m;
- macchine elettriche separate da setti divisorii resistenti al fuoco, con prestazioni non inferiori ad EI 60<sup>3</sup> e con specificate dimensioni minime.

<sup>3</sup> Il codice "EI 60" fa parte della classificazione definita dal DM 16/02/2007 e fornisce informazioni riguardanti le caratteristiche di resistenza al fuoco dei materiali da costruzione. Nel caso specifico assume il seguente significato: E: Tenuta, I: Isolamento, 60: tempo di resistenza espresso in minuti.

Per tutte le macchine elettriche fisse soggette al DPR 151/11 (attività n.48) e, quindi, al DM 15/07/2014 è richiesto un sistema di contenimento del liquido isolante combustibile (*bacini di contenimento intorno alla macchina o sistema di convogliamento in un'area di raccolta*) per evitarne lo spandimento a seguito di un possibile cedimento del cassone causato, ad esempio, da un guasto interno alla macchina.

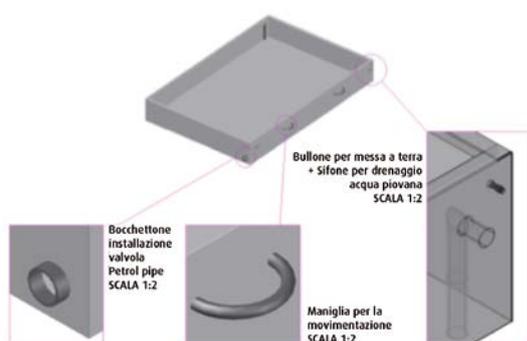
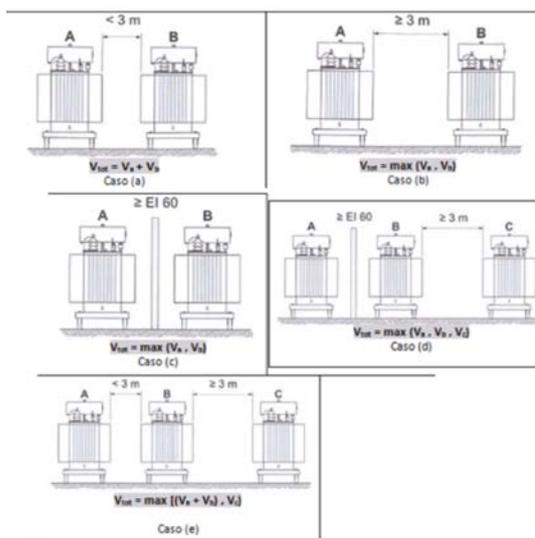


Figura 2.2: Sistema di contenimento del liquido isolante

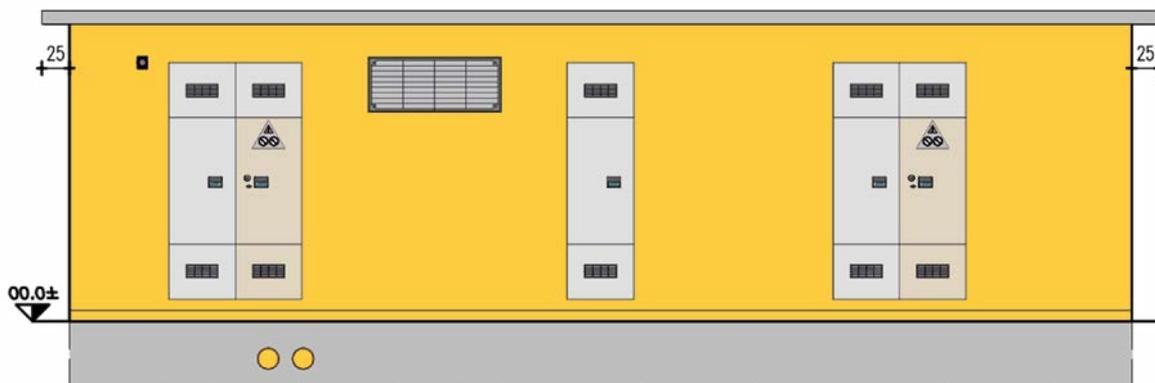
La capienza richiesta al sistema di contenimento, qualora esso sia comune a più macchine, è funzione della natura dell'installazione (nuova o esistente), del tipo di installazione delle macchine (all'interno o all'aperto) e dell'eventuale presenza di sistemi di estinzione dell'incendio (a causa del versamento di ulteriore liquido) conformemente al DM 7 gennaio 2005.

Limitatamente al caso di nuove installazioni ubicate all'interno di locali (esterni<sup>4</sup> o interni), la capienza del bacino di contenimento può essere scelta in accordo alla seguente casistica (vedi Tabella):

Tabella 2.1: Determinazione della capienza  $V_{tot}$  del bacino di contenimento per il liquido isolante combustibile nel caso di nuove installazioni poste all'interno di locali, in presenza di più macchine con volume complessivo di liquido isolante combustibile  $> 1 m^3$ , secondo il DM 15/7/14.



Sempre riguardo al caso di installazioni all'interno di locali ma con riferimento alle installazioni esistenti, il decreto stabilisce che è sufficiente che il sistema di contenimento sia dimensionato per contenere il liquido isolante della macchina elettrica di taglia maggiore (con riferimento al volume di liquido isolante).



4. Il DM fornisce la seguente definizione di locali esterni: area elettrica chiusa o cabina ubicate su spazio scoperto, anche in adiacenza ad altro fabbricato, purché strutturalmente separato e privo di pareti verticali comuni. Sono considerati locali esterni anche quelli ubicati sulla copertura piana dei fabbricati.

Da notare che, con riferimento alle cabine elettriche MT/BT, le macchine elettriche fisse che possono contenere volumi di liquido isolante superiore a 1 m<sup>3</sup> sono esclusivamente i trasformatori di potenza.

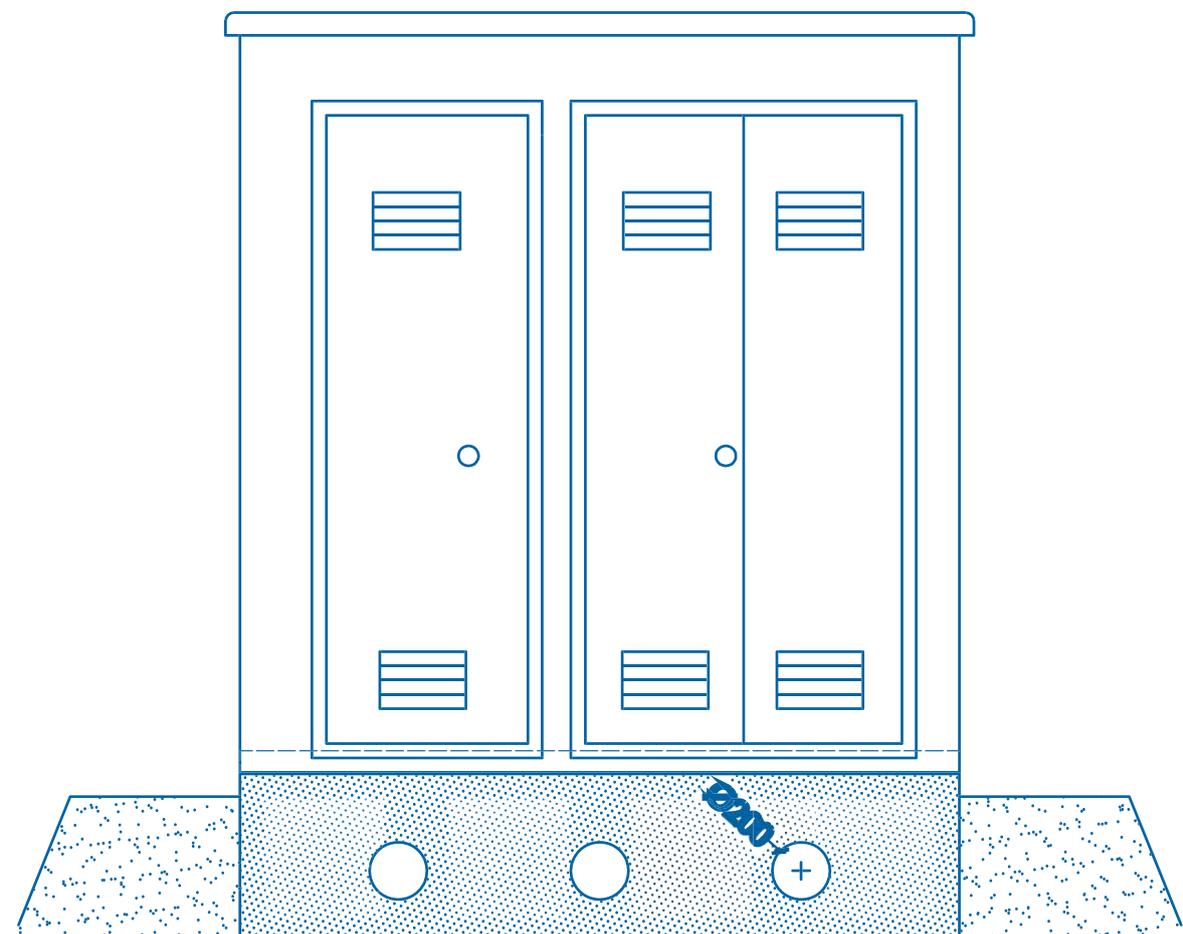
Il DM, all'interno del proprio ambito applicativo, fornisce i requisiti minimi che devono possedere gli accessi all'area degli impianti per consentire l'intervento dei mezzi di soccorso dei VV.FF. e indica quando è necessario predisporre i sistemi di estinzione, rilevazione o segnalazione di incendi e altre indicazioni utili

alla corretta progettazione e realizzazione del sito dell'impianto.

Limitatamente alle nuove installazioni in aree urbanizzate con quantitativi di liquido isolante combustibile superiori a 20 m<sup>3</sup>, è richiesto che i materiali della costruzione abbiano caratteristiche non inferiori a R/EI/REI 60 o R/EI/REI 90, in tutti gli altri casi (a patto che si tratti di locali fuori terra e mono-piano) è sufficiente realizzare la struttura del locale con materiali incombustibili (e.g. calcestruzzo, metallo, ecc.).

**Nota**

Relativamente ai fluidi alternativi utilizzabili come liquido isolante all'interno dei trasformatori (es. esteri), è stata emessa da un GdL formato da INAIL, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ed ISPRA, la Pubblicazione nr. 271 dal titolo "Isolanti nei trasformatori di Potenza: potenziali benefici nell'uso di fluidi innovativi" che introduce alcune considerazioni di tipo economico, ambientale, sociale e la valutazione della riduzione del rischio associato all'utilizzo di tali fluidi.



---

## CAPITOLO 2

# CABINA DIGITALE



In tutto il mondo si sta assistendo a rapidi cambiamenti nel modo con cui viene generata, distribuita e consumata l'energia elettrica: è la fase di "transizione energetica" descritta da tre fattori chiave:

- la Decarbonizzazione è un obiettivo fondamentale per rispettare gli Accordi della Conferenza di Parigi sul Clima;
- la Decentralizzazione della produzione avviene sempre di più sulle reti di distribuzione in media e bassa tensione, implicando la necessità di nuove regole per la sicurezza del sistema elettrico;
- la Digitalizzazione sta influenzando su ogni aspetto della società moderna, e in particolare, anche sul modo in cui gestiamo l'energia. La disponibilità di dispositivi e di soluzioni "intelligenti" consente di raggiungere l'efficienza e il controllo dei sistemi in accordo, per quanto riguarda l'Italia, con la Transizione 4.0.

In questo contesto, anche lo sviluppo delle fonti rinnovabili con produzione elettrica localizzata, influisce fortemente sull'aumento dell'elettificazione dei consumi, soprattutto per quanto riguarda i trasporti e i sistemi di riscaldamento.

Questo contesto energetico sta emergendo in Italia come evidenziato, sia dalla Strategia Energetica Nazionale che dalla proposta di Piano Nazionale Energia e Clima, sviluppati per contribuire agli obiettivi europei di energia e ambiente e mantenere la sicurezza energetica nazionale.

Il Piano Nazionale Energia e Clima prevede l'aumento al 32% della quota di fonti rinnovabili sul totale entro il 2030.

Particolare attenzione deve essere posta anche alla crescente sensibilità dei carichi elettrici alle interruzioni di servizio e, se in passato era sufficiente avere dispositivi tradizionali di media e bassa tensione per mantenere un

buon servizio, oggi questo non è più sufficiente. Nello specifico, la manutenzione va pensata e progettata affinché sia sempre efficace, rapida ed economica.

Le Cabine Elettriche di Trasformazione e Distribuzione hanno un ruolo rilevante per mantenere la continuità di servizio in un sistema elettrico sempre più sotto stress e a cui si chiedono prestazioni e servizio fino a poco tempo fa non presi in considerazione.

Per poter svolgere correttamente questo ruolo, è necessario concepire un'idea di cabina che sappia raccogliere i dati dalle apparecchiature ed inviare allarmi e suggerimenti per il miglioramento dell'efficienza e della vita delle apparecchiature stesse. Si devono sfruttare i vantaggi delle nuove tecnologie già sviluppate e presenti sul mercato.

Sono almeno cinque le funzionalità innovative a cui serve dare risposta ed essere capaci di metterle in pratica.

### 2.1 Continuità di servizio

Significa realizzare impianti di distribuzione elettrica moderni e flessibili che permettano alle aziende di ottimizzare i propri investimenti attraverso una pianificazione efficiente delle proprie attività e riducendo al massimo le interruzioni di servizio.

A questo scopo, deve essere possibile monitorare:

- i consumi
- la disponibilità al funzionamento dei componenti
- l'accesso ai locali da parte del personale o persone esterne
- le condizioni ambientali e di esercizio delle apparecchiature.

### 2.2 Ridurre i tempi di ripristino

Significa realizzare impianti di distribuzione elettrica che consentano di essere ripristinati velocemente, senza onerosi e complessi interventi specialistici. In altre parole, ciò significa:

- minimizzare le perdite economiche dovute all'indisponibilità del proprio impianto in caso di guasto;
- minimizzare il tempo in cui l'impianto sia esposto a condizioni di rischio;
- massimizzare la velocità e la semplicità nel ritornare nelle condizioni di esercizio normali.

### 2.3 Rispettare gli obblighi normativi

Significa realizzare impianti di distribuzione elettrica conformi alle normative vigenti in ambito di sicurezza e di efficienza energetica. Ciò significa anche e soprattutto:

- controllare le proprie manutenzioni,
- programmare e registrare gli interventi
- monitorare e registrare andamenti di consumo con dati storici e archivi di riferimento
- operare in condizioni di sicurezza.

### 2.4 Massimizzare la durata delle apparecchiature

Significa realizzare impianti di distribuzione elettrica adatti al servizio specifico per un lungo periodo di tempo. Ciò significa principalmente:

- ammortizzare gli investimenti aziendali su un lasso temporale più lungo;
- disporre di sistemi dotati di una durata di vita maggiore;
- migliorare i consumi energetici, le materie prime, la disponibilità di componentistica e ricambi necessari all'occorrenza.

## 2.5 Monitorare ed ottimizzare i consumi energetici

Significa realizzare impianti di distribuzione elettrica che consentano di controllare i consumi energetici. Ciò significa:

- ridurre i costi di produzione del singolo prodotto finito o servizio;
- confrontare trend ed andamenti di consumo con dati storici o di medie

Oggi le tecnologie e le logiche riferite ai concetti di IoT e Smart Factory hanno determinato l'ingresso massivo delle reti di comunicazione/informazione su tutti i settori. In questo panorama di innovazione, anche le infrastrutture di distribuzione di energia elettrica non possono che adeguarsi a questa continua trasformazione e la digitalizzazione delle cabine elettriche MT/BT passerà attraverso la digitalizzazione dei componenti installati, con una naturale ricaduta positiva sulle procedure di controllo e manutenzione.

Ad esempio il quadro elettrico di bassa tensione in cabina può rappresentare il punto nevralgico

dell'intero impianto elettrico dell'utente e risulta quindi indispensabile che da comune Power Center, si trasformi in un "Power Center Intelligente" integrando dei dispositivi sempre on-line che permettano tanto il controllo quanto il monitoraggio da remoto.

Lo stesso concetto si applica ai quadri di media tensione, che oggi possono essere già muniti di dispositivi "gateway" che, dialogando anche con i relè, comunicano all'utente le informazioni relative allo stato dei componenti. Questo comporta l'implementazione dei sistemi di monitoraggio e diagnostica che sono fondamentali per i programmi di manutenzione predittiva o controllata.

Un buon metodo che consente di prevenire i disservizi è il monitoraggio dell'impianto elettrico, che oggi può avvenire con il nuovo sistema internet of things (IoT), cioè collegare ogni apparecchiatura alla rete internet tramite apposite cassette dotate di connettori chiamati UP, tale procedura si definisce manutenzione controllata o predittiva e la norma di riferimento è la CEI 56-50.



---

## CAPITOLO 3

# INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO DELLA CABINA

La compatibilità elettromagnetica è la capacità di un sistema, di un dispositivo, di un apparato elettrico o elettronico di funzionare in modo soddisfacente nel proprio ambiente elettromagnetico senza generare disturbi elettromagnetici che possano disturbare il funzionamento di altri sistemi o nuocere a esseri viventi.

Le problematiche inerenti alla compatibilità elettromagnetica sono poste sostanzialmente in termini di emissione elettromagnetica e di immunità elettromagnetica di sistemi elettrici ed elettronici. Entrambi i fenomeni, soprattutto se siamo in una zona con presenza di dispositivi ad alta emissione e altri a bassa immunità, possono portare a danni anche gravi che vanno da anomalie di funzionamento fino ad arrivare alla distruzione dei componenti a bassa immunità.

Per quanto riguarda le cabine MT/BT, essendo alimentate dalla rete elettrica alla frequenza di 50 Hz, ricadiamo nei campi di frequenza estremamente basse ELF (Extra Low Frequency) da 1 a 300 Hz per cui i fenomeni elettromagnetici possono essere trattati separatamente come interazione di campo elettrico e campo magnetico.

Per quanto riguarda gli effetti del campo elettrico e magnetico sull'essere umano, un organismo biologico sottoposto ad un campo elettromagnetico viene perturbato, ma non è dimostrato che la perturbazione si traduca in un effetto biologico e l'effetto biologico non costituisce necessariamente un danno. Sicuramente l'esposizione a campi elettrici e magnetici ELF (50 Hz) induce nell'organismo

alterazioni delle distribuzioni delle densità di corrente, ma dai dati sperimentali acquisiti risulta che i campi ELF non sono classificabili come un agente cancerogeno certo.

### 3.1 Riferimenti normativi

La legislazione riguardante la protezione dai rischi di esposizione ai campi elettromagnetici è piuttosto articolata e il punto di partenza più significativo è la Legge 22 febbraio 2001 n. 36 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici che assicura la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici e magnetici, fissando anche un principio fondamentale: lo Stato decide, le regioni adeguano la propria legislazione.

Nel 2001 furono introdotti tre limiti: limite di esposizione, valore di attenzione e l'obiettivo di qualità che sono riportati più sotto, aggiornati, nella tabella Tabella 3.1: Valori limite di induzione, riferiti inizialmente, alla direttiva europea 2008/46/CE dell'aprile 2008 e, per l'Italia, al decreto legislativo del 3 Agosto 2009 N° 106.

Attualmente si deve fare riferimento alla Direttiva 2013/35/EU e al conseguente DL. 159 del 01/08/2016.

Quest'ultimo dispositivo di legge è in linea con i precedenti, per quanto riguarda i limiti di riferimento dei campi elettromagnetici e introduce nuovi concetti utili ai professionisti impegnati nell'applicazione delle soluzioni necessarie all'eliminazione dei rischi o alla loro riduzione al minimo.

Nel portale della Commissione europea, <https://ec.europa.eu/social/>, sono disponibili tre guide che, partendo dalle definizioni e attraverso esempi pratici, aiutano a decidere in quali casi è necessario adottare provvedimenti per la protezione dei lavoratori negli ambienti di lavoro; le tre guide sono: Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici volume 1, 2 e 3.

Sono definiti i valori di campo elettrico e magnetico entro i quali non serve alcuna valutazione, si passa a valori superiori per i quali serve una valutazione inerente i lavoratori a rischio, fino ai valori a partire dai quali sono necessarie misure di prevenzione.

Nel seguito di questo capitolo e nei successivi, quando si tornerà a parlare di EMF (campi elettromagnetici), saranno forniti elementi utili al calcolo, al controllo e alla riduzione dei campi elettromagnetici, senza entrare nei dettagli necessari ad assicurare la protezione dai rischi alla loro esposizione, per i quali si rimanda alle guide citate sopra.

Pensando nell'ottica del progettista e allo sviluppo di progetti di impianti di distribuzione possiamo fare riferimento ai limiti della seguente tabella già citata in questo capitolo:

**Tabella 3.1:** Valori limite di induzione

Induzione ( $\mu T$ ) a 50 Hz	Limite ICNIRP ( $\mu T$ )	Limite UE ( $\mu T$ )	Limite leggi italiane ( $\mu T$ )
Induzione ( $\mu T$ ) a 50 Hz	500 Soggetti professionalmente esposti	500 Per tutti i soggetti	100 Valore limite per tutti i soggetti
Induzione ( $\mu T$ ) a 50 Hz	100 Pubblico generico		10 Valore di attenzione per tutti i soggetti  Calcolato come media nelle 24 ore
Induzione ( $\mu T$ ) a 50 Hz			3 Obbiettivo di qualità per tutti i soggetti

La valutazione del rispetto di questi limiti deve essere verificata attraverso opportune misure tenendo conto che in cabina MT/BT la sorgente più critica di emissione elettromagnetica è il trasformatore MT/BT e poi le linee di distribuzione in bassa tensione.

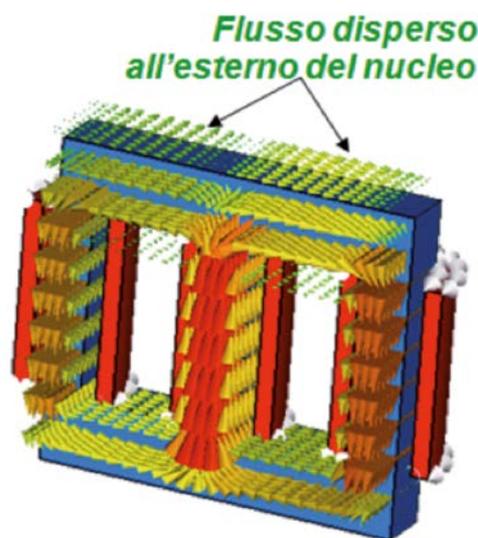
### 3.2 Campi elettromagnetici in cabina MT/BT e misura dell'induzione magnetica

Per la misura dell'induzione elettromagnetica e la valutazione dei campi elettromagnetici si rimanda alla norma CEI 211-6.

Per quanto riguarda la valutazione del campo magnetico in cabina, bisogna esaminare le sorgenti che contribuiscono maggiormente al fenomeno ed esse sono:

- trasformatori MT/BT
- vie cavi o condotti sbarre in bassa tensione

Per quanto riguarda i trasformatori MT/BT la maggior parte delle emissioni di campo magnetico attorno al trasformatore sono prodotte dalle correnti che percorrono gli avvolgimenti, esse generano flussi magnetici che si richiudono nel nucleo magnetico e all'esterno del nucleo magnetico, il cosiddetto flusso disperso. La massima emissione di campo magnetico intorno al trasformatore si ha per la massima corrente che può percorrere gli avvolgimenti ( $I_n$ ).



**Figura 3.1:** Flusso disperso all'esterno del nucleo

Il contributo del trasformatore al campo magnetico di cabina è dovuto al flusso disperso che genera un campo definito campo magnetico vagante.

Per ottemperare alle richieste di abbattimento del campo magnetico vagante, si possono costruire trasformatori MT/BT definiti a basse emissioni elettromagnetiche. Per ottenere un trasformatore a bassa emissione elettromagnetica si deve agire su:

1. sorgente emittente (usando materiali ad altissima permeabilità elettromagnetica)
2. schermatura (box di contenimento di adeguate caratteristiche schermanti)
3. accoppiamento tra i componenti (nucleo, avvolgimenti, box e uscite cavi o condotto sbarre).

I costruttori di trasformatori sono in grado di fornire, su richiesta, le mappature dell'andamento dell'induzione elettromagnetica all'esterno del trasformatore richiesto. La prova viene effettuata ponendo sonde di misura a distanza orizzontale di 1 metro dalle pareti del box, si parte prendendo a riferimento un piano orizzontale che taglia le pareti del box ad una certa quota  $h$  dal suolo e si ripete la precedente operazione per almeno altri 3 piani orizzontali.

Come si può notare (ESEMPIO trasformatore in prova: trasformatore a secco,  $P=1000$  kVA  $f=50$  Hz  $V_1/V_2=20/0,4$  kV/kV, materiale avvolgimenti=Al-Al, box, corto circuito a tensione ridotta  $V_1/V_2=1293/0$  V/V,  $I_1/I_2=28,9/1443,4$  A/A, collegamento in uscita in condotto sbarre) il valore di induzione elettromagnetica più elevato si ha nei punti di connessione con il condotto e pertanto il limite di  $3\mu T$  si allontana maggiormente dagli estremi del box schermante.

Il contributo maggiore al campo magnetico vagante essendo proporzionale alla corrente è dovuto ai cavi o condotti sbarre che effettuano il collegamento Trasformatore MT/BT e Power Center. Nel caso di collegamenti in cavo è opportuno valutare durante la posa il posizionamento reciproco delle fasi al fine

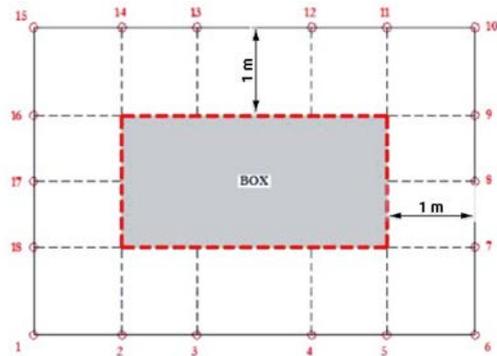


Figura 3.2: Griglia di misura

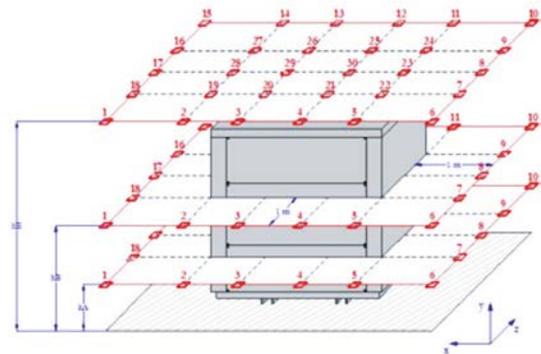


Figura 3.3: Piani di misura



Figura 3.4: Andamento dell'induzione elettromagnetica in corrispondenza del fondo basso del box



Figura 3.5: Andamento dell'induzione elettromagnetica in corrispondenza del centro del box

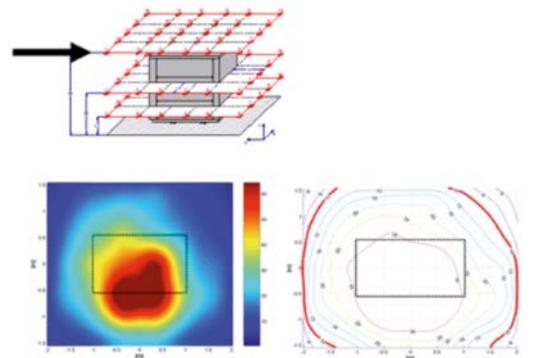
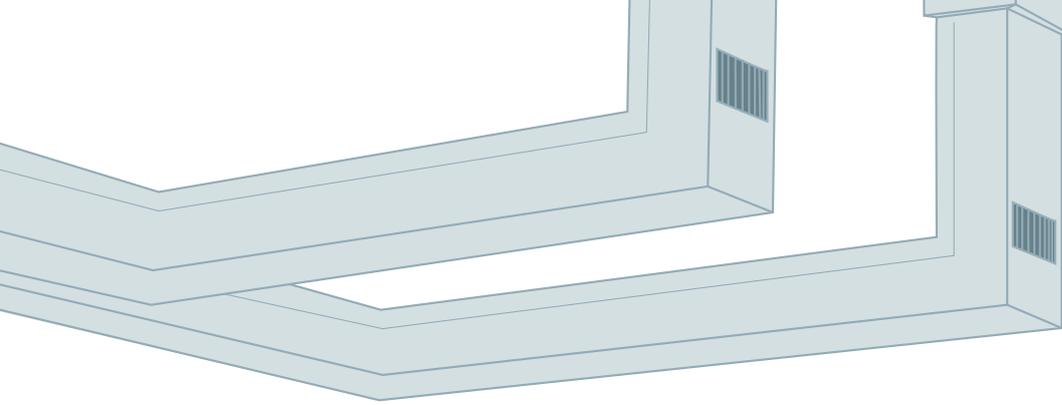


Figura 3.6: Andamento dell'induzione elettromagnetica in corrispondenza dell'attacco del condotto sbarre. il quadrato tratteggiato indica il box trasformatore



di evitare addensamenti di campo in direzioni specifiche. È possibile avvalersi delle formule riportate in figura per la valutazione del valore dell'induzione a una certa distanza P dal fascio di cavi.

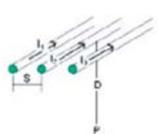
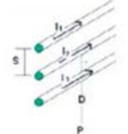
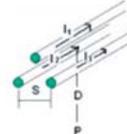
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$

Figura 3.7: Formule per valutazione induzione

Dove:

- B = induzione magnetica [mT]
- I = corrente che percorre i conduttori [A]
- S = distanza fra le fasi [m]
- D = distanza dalla terna di conduttori del punto "P" dove si vuole calcolare il valore di induzione magnetica [m]

Per abbattere ulteriormente il campo magnetico generato dai cavi si consiglia di posizionare le terne all'interno di canalizzazioni metalliche chiuse.

L'uso del condotto sbarre per il collegamento trasformatore - power center consente, per sua natura e progettazione, di ridurre notevolmente l'emissione di campo magnetico rispetto ai cavi.

Da prove sperimentali, a pari corrente che percorre la linea, risulta che il valore di 3 μT di induzione è raggiunto ad una distanza di circa la metà dalla sorgente se si usa un condotto sbarre rispetto ad una linea in cavo.

### 3.3 Criteri di progettazione del locale cabina

Per progettare correttamente, dal punto di vista dell'emissione elettromagnetica, gli spazi da dedicare ai componenti di cabina trasformatore e condotti sbarre, è necessario conoscere sia la mappatura di emissione di questi che l'ubicazione della cabina, soprattutto se quest'ultima è posizionata all'interno di un edificio. In quest'ultimo caso è possibile che, oltre la parete divisoria della cabina, vi possa essere un'attività lavorativa che preveda presenza di persone per cui per la legge italiana impone il limite di 3 μT. Questo valore è tendenzialmente raggiungibile alla distanza di qualche metro per trasformatori fino a 2000 kVA di tipo normale e quindi un'attività posta oltre una parete divisoria sarebbe da ritenersi fuori norma. Questa situazione può facilmente rientrare prevedendo un trasformatore a basse perdite e dotato di box schermante: il valore di 3 μT si trova a circa poco più di 2 metri dal perimetro del box.

L'aspetto critico è rappresentato dal punto di connessione delle linee di bassa tensione in uscita dal trasformatore: per minimizzare le emissioni si dovrà curare la connessione diminuendo la distanza tra le fasi, per esempio porre attenzione alla disposizione dei cavi oppure valutare l'installazione di un condotto sbarre.

---

## CAPITOLO 4

# MANUTENZIONE DELLA CABINA

Le Delibere dell'ARERA (Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente), come raccomandazione e incentivazione per gli Utenti che godono dei requisiti semplificati, e il D.lgs 81/08, come obbligo giuridico del datore di lavoro, indirizzano sempre più i clienti all'esecuzione della manutenzione delle proprie cabine MT/BT ai sensi della norma CEI 78-17. La manutenzione comprende tutti quegli interventi necessari per mantenere le cabine in stato di sicurezza elettrica ed efficienza, tali da prevenire guasti presso l'impianto di utenza che potrebbero evolversi in criticità per la sicurezza degli operatori e influire negativamente sulla qualità tecnica del servizio elettrico.

In particolare gli utenti MT, per i quali è richiesta un'applicazione parziale della CEI 0-16 in termini di adeguamento alla Regola Tecnica, in presenza di un unico trasformatore MT/BT con potenza non superiore a 400kVA e nel pieno rispetto di tutte le condizioni minime imposte dal "Testo integrato della qualità dei servizi di distribuzione e misura dell'energia elettrica", possono dichiarare a mezzo Dichiarazione di Adeguatezza di godere dei requisiti semplificati a condizione però di effettuare regolare manutenzione ai sensi della norma CEI 78-17 e di registrare gli interventi sulle schede della stessa norma. In questo modo questi Utenti, attraverso una continua tenuta sotto controllo dell'efficienza dei propri impianti e la riduzione dei guasti, partecipano attivamente al miglioramento della qualità dell'energia, possono godere degli indennizzi automatici nel caso in cui subiscano dal Distributore (per ciò penalizzato) interruzioni superiori al limite consentito dall'ARERA e non sono più tenuti a

versare in bolletta il CTS (Corrispettivo Tariffario Specifico).

La Norma si applica a tutti gli impianti elettrici riguardanti le cabine elettriche MT/MT e MT/BT, siano essi dedicati alla produzione di energia elettrica sia di tipo esclusivamente passivo. Essa, inoltre, riguarda anche gli impianti di produzione di energia elettrica in Bassa Tensione facenti parte di utenze connesse alla rete di Media Tensione.

### 4.1 Tipologie di manutenzione

La Norma definisce le varie tipologie di manutenzione:

- preventiva, interventi finalizzati a contenere il degrado normale d'uso nonché a far fronte ad eventi accidentali che comportino la necessità di primi interventi, che comunque non modifichino la struttura essenziale dell'impianto o la loro destinazione d'uso (anche detta manutenzione ordinaria);
- correttiva, interventi, con rinnovo e/o sostituzione di sue parti, che non modifichino in modo sostanziale le sue prestazioni, siano destinati a riportare l'impianto stesso in condizioni ordinarie di esercizio, richiedano in genere l'impiego di strumenti o attrezzi particolari, di uso non corrente (anche detta manutenzione straordinaria, es. adeguamento).

Non rientrano negli interventi di manutenzione quelli attinenti alla costruzione di nuove parti, di trasformazioni ed ampliamenti di impianti di cabine MT/BT, nonché tutte le manovre di esercizio e messa in sicurezza necessarie per poter eseguire gli interventi suddetti;

- manutenzione predittiva (controllata): è un particolare tipo di manutenzione preventiva, eseguita sulla base di previsioni, derivate dall'analisi e dalla valutazione dei parametri significativi dei componenti che consentono di estrapolare mediante idonei modelli il tempo residuo prima del guasto di un componente. Si applica soprattutto agli impianti elettrici di una certa complessità, o quando si è di fronte a particolari esigenze di sicurezza e continuità di servizio. Richiede il monitoraggio continuo o periodico, attraverso sensori o misure di variabili fisiche quali corrente, tensione, resistenze, temperatura, vibrazioni, stati di componenti, ecc. (ad esempio: telemisura, riprese termografiche, monitoraggio numero di manovre).

#### 4.2 La figura del manutentore

La Norma definisce le competenze richieste ai manutentori (qualificati dal datore di lavoro in accordo alla Norma CEI 11-27 o autorizzati secondo quanto prescritto dal DM 04/02/2011 e dalla Norma CEI 11-15 per interventi di manutenzione sotto tensione MT), indicazioni sulla scelta dell'impresa di manutenzione (abilitata e in possesso dei requisiti previsti dal DM 37/08) e sulla natura contrattuale delle prestazioni da affidare in appalto.

Il manutentore è una persona fisica o giuridica che ha la responsabilità complessiva della manutenzione, in particolare degli aspetti di sicurezza, tecnici e gestionali/amministrativi. Il manutentore può eseguire o fare eseguire, dal proprio personale o da terzi, operazioni manutentive manuali e/o strumentali sugli impianti di cabine MT/MT e/o MT/BT. Il manutentore deve essere un PES (persona esperta in ambito elettrico) e possedere i requisiti per il Preposto ai Lavori (PL).

Nel caso di una società proprietaria degli impianti che affidi parzialmente o totalmente le attività di manutenzione ad altra impresa, al datore di lavoro/committente incombe la responsabilità di scelta relativa all'impresa appaltatrice e della verifica dell'idoneità tecnico

professionale del personale di quest'ultima come richiesto dall'art. 26 del D.Lgs. 81/08 e s.m.i..

L'impresa manutentrice a seguito di contratto potrebbe anche essere identificata come Responsabile dell'impianto (RI: responsabile durante l'attività di manutenzione della sicurezza dell'impianto elettrico) per cui ha la responsabilità di redigere le schede di manutenzione. Essa deve compilare una lista delle apparecchiature e dei componenti presenti in ciascuna cabina, stabilirne approssimativamente lo stato di degrado, stabilirne quindi le periodicità per la manutenzione. Diversamente, se l'impresa manutentrice non si identifica con il RI, riceve le schede di manutenzione dal RI, ruolo svolto dalla Committenza.

#### 4.3 Come effettuare la manutenzione

Nel pianificare la manutenzione è consigliabile effettuare un controllo generale dell'impianto per valutarne lo stato di conservazione effettivo e verificare se sussistano anomalie tali da causare guasti gravi ed imminenti e se sussistano le condizioni di sicurezza fisica del personale addetto alla manutenzione (in caso di criticità per la sicurezza degli addetti, bisogna prevedere il fermo immediato dell'impianto; il fermo programmato invece nel caso di anomalie tecniche gravi). Una volta rimosse le criticità/anomalie classificate con priorità alta e predisposto il "fascicolo della manutenzione", si può procedere con la pianificazione della manutenzione preventiva a programma. Il fascicolo della manutenzione comprende gli schemi elettrici degli impianti oggetto della manutenzione, eventuale piano delle tarature, i manuali di uso e manutenzione rilasciati dai costruttori delle apparecchiature presenti in cabina e le schede di manutenzione redatte dal RI in accordo alla Norma CEI 78-17.

Prima di redigere le schede di manutenzione occorre individuare i Circuiti Funzionali Elettrici (CFE) specifici per l'impianto da sottoporre a manutenzione; occorre quindi rappresentare preventivamente su uno schema elettrico tutti

i componenti che riguardano un circuito avente una specifica e/o esclusiva funzione a un unico livello di tensione MT o BT; in questo modo si esegue la manutenzione senza trascurare alcun componente di ciascun CFE. Se un componente è presente su più circuiti funzionali deve essere compilata una scheda per ciascun circuito.

Per redigere le schede di manutenzione bisogna fare riferimento in primo luogo ai manuali dei costruttori e alle periodicità indicate dagli stessi.

In generale la frequenza degli interventi di manutenzione deve essere stabilita di volta in volta tenendo conto:

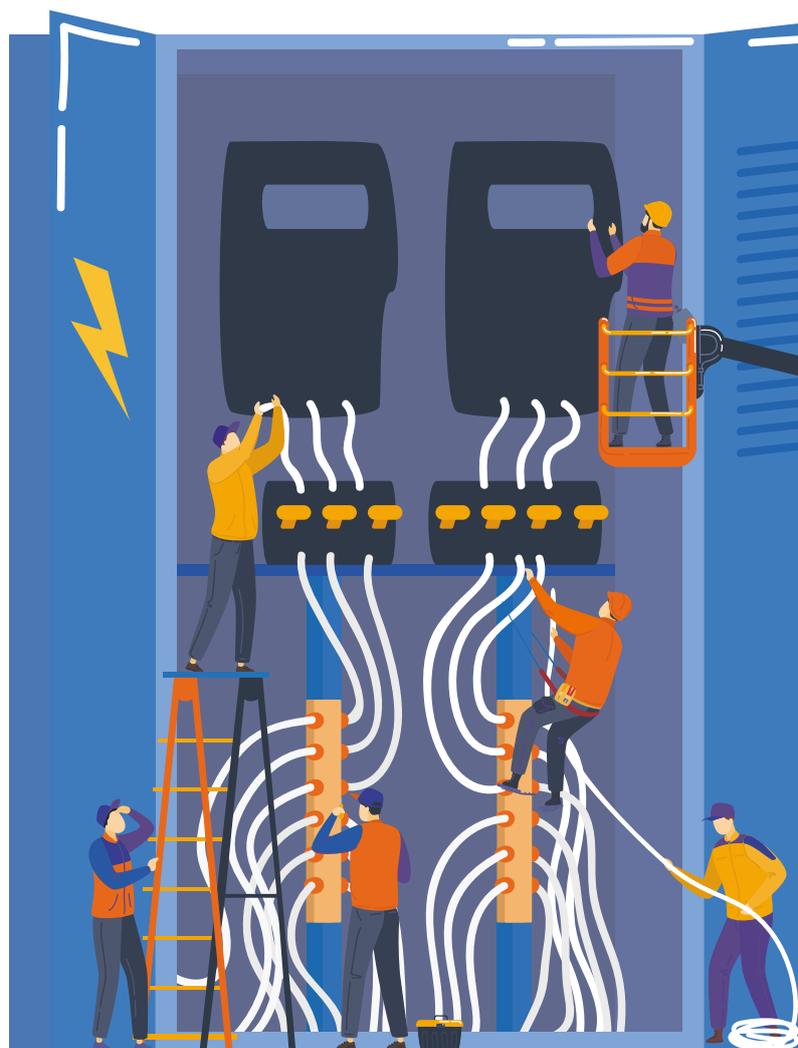
- delle modalità e gravosità del servizio e della vetustà dell'impianto e dei componenti;
- delle condizioni ambientali (es. penetrazione di acqua o corpi solidi, esposizione a temperature ambientali anormali molto alte o molto basse, esposizione ad irraggiamento solare diretto con presenza di raggi ultravioletti);
- dell'esposizione a inquinamento industriale elevata.

Le schede devono contenere solo gli elementi da mantenere realmente installati nell'impianto e, comunque, almeno i seguenti dati:

- identificativo della cabina MT/MT e/o MT/BT cui si riferisce la scheda;
- codifica o numero progressivo della scheda;
- denominazione del circuito funzionale e/o dell'elemento(i) da esaminare ai fini della manutenzione;
- verifiche/interventi: descrizione sintetica delle verifiche o degli interventi da eseguire sul(i) componente (i);
- periodicità massima: intervallo temporale massimo tra un intervento manutentivo e il successivo;
- provvedimento(i) assunto(i): interventi particolari che l'addetto alla manutenzione (o il manutentore) ha effettuato o non ha potuto effettuare per mancanza di attrezzature/materiali o per impossibilità tecniche;

- sigla dell'addetto alla manutenzione;
- data di esecuzione dell'intervento manutentivo;
- esito dell'intervento;
- firme dei manutentori;
- note, se necessario.

Il proprietario e/o il gestore dell'impianto elettrico è responsabile della conservazione delle schede per un periodo pari almeno a quello previsto dai provvedimenti legislativi, se esistenti, o almeno pari alla periodicità maggiore prevista tra tutte quelle indicate nel pacchetto di schede manutentive afferenti all'impianto di cabina MT/BT considerato.



**Tabella 4.1: Scheda tipica di manutenzione cabina**

Anno _____ Numero cabina MT/BT _____ N° PROGRESSIVO _____					
SCHEDA TR - L: Esame del Trasformatore in olio					
NB. Consultare le schede dei costruttori, se esistenti o reperibili - Gli interventi si eseguono a seguito di esame visivo e/o strumentale		Massima Periodicità	Data Esecuzione	Firma dell'addetto	Provvedimenti assunti o suggeriti
1	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo dati di targa e tipo di liquido isolante	5 anni			
2	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo rigidità dielettrica	5 anni			
3	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo presenza dispositivi contro la dispersione liquido	5 anni			
4	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo livello liquido isolante	1 anno			
5	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo stato dei sali essicatore aria	1 anno			
6	TR - L - Verifiche/Interventi: pulizia isolatori e controllo satao di conservazione	1 anno			
7	TR - L - Verifiche/Interventi: verifica intervento relè buchholz	1 anno			
8	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo indicatore temperatura, se presente	1 anno			
9	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo posizione aste spinterometriche	1 anno			
10	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo stato dei dispositivi meccanici per movimentazione TR	5 anni			
11	TR - L - Verifiche/Interventi: pulizia, controllo dei radiatori, controllo serraggio bulloneria	1 anno			
12	TR - L - Verifiche/Interventi: controllo serraggio delle connessioni	1 anno			
13					
14					
<b>Note</b>			Firma del Manutentore		

#### 4.4 Esempi di interventi di manutenzione

Controllo dei dati di targa:



Figura 4.1: Targa di un trasformatore

Controllo rigidità dielettrica olio: effettuare (attraverso la valvola di scarico posta sul fondo del cassone) prelievi periodici (circa un litro ogni 2-5 anni) di campioni d'olio da sottoporre ad analisi presso laboratorio per verificare la rigidità dielettrica dell'olio e rilevare tracce di umidità. Nei trasformatori di tipo ermetico il processo di ossidazione dell'olio è trascurabile.



Figura 4.2: Prelievo di campioni di olio dal trasformatore

Controllo presenza dispositivi contro la dispersione olio:



Figura 4.3: Vasca di raccolta olio

Controllo livello liquido isolante: verificare per i trasformatori con conservatore o con RIS il livello dell'olio e provvedere al reintegro, sino al livello stabilito. Perdite di olio possono essere indice di avvenute sovrappressioni interne.

Nel caso di conservatore, la segnalazione dell'indicatore di livello deve corrispondere approssimativamente alla temperatura ambiente. Alcuni costruttori consigliano di controllare il livello dell'olio ogni mese.

Verificare visivamente l'assenza di perdite di olio. Queste possono essere dovute al deterioramento delle guarnizioni o ad un loro errato posizionamento. Nelle macchine con conservatore è possibile aggiungere olio per rabbocco. Per effettuare il rabbocco nelle macchine di tipo ermetico bisogna essere autorizzati dal costruttore in seguito a formazione.



Figura 4.4: Verifica del livello dell'olio

Controllo stato dei Sali essiccatore aria: se esiste l'essiccatore d'aria, accertarsi che i fori per il passaggio dell'aria siano liberi e controllare che i sali igroscopici (silica gel) siano di colore arancione. Se sono di colore verde, significa che essi hanno già raccolto umidità e non assolvono più alla loro funzione di disidratanti dell'aria. Occorre togliere l'essiccatore e rigenerare i Sali mettendoli in forno a 110°-150°C finché

non siano ritornati di colore arancione. Alcuni costruttori consigliano di controllare i sali ogni tre mesi.



Figura 4.5: Rigenerazione Sali essiccatori

Pulizia isolatori e controllo stato di conservazione: controllare lo stato di conservazione degli isolatori (presenza di fessurazioni o rottura degli stessi), le condizioni di pulizia delle superfici nei casi in cui si renda necessario; procedere alla rimozione di incrostazioni facendo uso di solventi non tossici, unitamente all'azione abrasiva di apposite retine di lana d'acciaio; completare l'operazione passando sulle superfici degli isolatori stracci assorbenti.



Figura 4.6: Condizioni di pulizia degli isolatori

Verifica intervento relè Buchholz: verificare il funzionamento della protezione di Buchholz, in particolare dei galleggianti, dei circuiti ausiliari e l'apertura degli interruttori a monte e/o valle al raggiungimento dei prescritti livelli.

Pulire regolarmente la finestra di ispezione posta su un fianco del relè che permette di visualizzare se sono sviluppati gas all'interno del trasformatore. Se ve ne sono, bisogna osservare volume e colore; prelevarne un campione attraverso il rubinetto di sfiato ed analizzarlo.



Figura 4.7: Relè Buchholz

Controllo indicatore temperatura, se presente: Verificare il termometro per il controllo della temperatura del trasformatore. Rilevare dall'apposito indice trascinato le massime temperature raggiunte dal trasformatore. Verificare il funzionamento, allarme e sgancio, dell'eventuale relè termico (termometro con contatti elettrici che potrebbero ossidarsi). La massima temperatura dell'olio a 1000 m è 100°C, per gli avvolgimenti 105°C. Alcuni costruttori consigliano di controllare la massima temperatura raggiunta ogni mese.

Pulire regolarmente il quadrante e dopo anni di funzionamento controllare che all'interno del pozzetto non sia entrata acqua e sporcizia che potrebbero interferire con il corretto funzionamento del termometro.



Figura 4.8: Indicatore temperatura

Controllo posizione aste spinterometriche:



Classe tensione Voltage rating KV	Distanza Distance "S" mm
12	70
17,5	100
24	100
36	200

Figura 4.9: Aste spinterometriche

Controllo stato dei dispositivi meccanici per la movimentazione del trasformatore ogni 5 anni:



Figura 4.10: Dispositivi per movimentazione trasformatore

Pulizia, controllo radiatori: eventualmente liberarli da accumuli di sporcizia che impediscano il flusso di aria: è possibile pulire con uno spruzzo di acqua a bassa pressione; alcuni costruttori consigliano di pulire i radiatori ogni

tre mesi. Controllare lo stato di conservazione della verniciatura del cassone e dei radiatori. Controllo serraggio delle connessioni e della bulloneria: verificare in special modo quella delle valvole e quella del blocco ruote per evitare lo spostamento del trasformatore.



Figura 4.11: Stato di pulizia dei radiatori



Figura 4.12: Stato di serraggio delle connessioni

Verificare il livello di rumorosità: verificare il fissaggio di targhe e accessori e dei cavi di messa a terra; il rumore in condizioni di normale funzionamento dovrebbe presentare un livello costante anche al variare del carico, poiché dipende dalla sola magnetizzazione del nucleo ferromagnetico. Le vibrazioni, se presenti, possono ricondursi a cedimenti delle connessioni interne. In questi casi sollecitare possibili approfondimenti con rilievi strumentali per verificare l'eventuale presenza di c.c. fra le spire, allentamento pacco lamellare, ecc... Una frequenza di alimentazione anomala può portare la cassa e i radiatori in risonanza. Eventuali vibrazioni eccessive devono essere attenuate o eliminate con l'apposizione di tappeti in gomma sotto il trasformatore o manicotti in gomma smorzante (tipo giunti elastici).



Figura 4.13: Posizionamento gomma anti-vibrazioni

#### 4.5 Esempio manutenzione predittiva

Eseguire per mezzo di termovision il controllo preventivo, verificando l'esistenza di punti caldi, specialmente quando il trasformatore è sfruttato oltre il 70% della potenza nominale. In alternativa si può ricorrere a sensori per il rilievo costante della temperatura dei punti critici (24h/7gg). La presenza di punti caldi in prossimità degli isolatori può significare un allentamento della connessione.

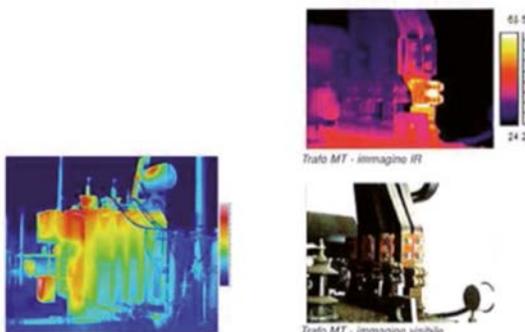


Figura 4.14: Termovision per controllo punti caldi

#### 4.6 Manutenzione straordinaria preventiva: riduzione dell'inquinamento magnetico

In ambito di interventi di manutenzione straordinaria è possibile inserire alcuni provvedimenti per ridurre o confinare campi magnetici inammissibili nel caso di cabine elettriche esistenti per le quali non sono rispettati i limiti di esposizione o i valori di attenzione in  $\mu T$  imposti dalla legislazione vigente.

Possibili soluzioni impiantistiche:

- **agire sulla disposizione delle apparecchiature:** allontanare nei limiti del

possibile le sorgenti che determinano valori di campo inammissibili (quadro BT e relativi collegamenti al trasformatore) dai muri della cabina confinanti con l'esterno ove si vuole ridurre il campo; in questa logica è opportuno posizionare i trasformatori in modo che i passanti MT siano rivolti verso la parete della cabina e i passanti BT siano invece rivolti verso il centro della cabina (questo ovviamente se i problemi sono oltre le pareti e non sopra il soffitto o sotto il pavimento).

- **agire sulla disposizione delle connessioni:** riguarda l'avvicinamento delle fasi dei collegamenti fra lato BT trasformatore e quadro BT, avvolgendo a elica i tre cavi unipolari o utilizzando cavi trifase;
- **scegliere tipologie di componenti più idonei:** è opportuno utilizzare unità modulari compatte e preferibilmente trasformatori in olio, invece che in resina, poiché la carpenteria metallica dei primi e il cassone in ferro del secondo rendono trascurabili i flussi dispersi nell'ambiente circostante, producendo un'efficace azione schermante;
- **schermare le sorgenti principali con materiali conduttori e/o ferromagnetici:** la soluzione con schermatura va utilizzata quando assolutamente necessaria, in quanto più costosa e con la necessità di un'accurata fase di studio. Le schermature sono realizzate in due modi distinti: utilizzando materiali ferromagnetici o conduttori. La schermatura può essere parziale, limitata cioè alle principali sorgenti di campo magnetico (cavi, quadri, trasformatore) o al limite ad alcune pareti, oppure totale, ovvero estesa all'intera cabina. La schermatura parziale consiste nell'avvolgere le principali sorgenti di campo con schermi ferromagnetici (se si vuole ridurre il campo nelle immediate vicinanze dello schermo), oppure con schermi conduttori (se si vogliono ottenere migliori risultati anche a distanze maggiori). L'accoppiamento dei due tipi di schermo, rappresenta la soluzione tecnica migliore per risolvere i casi più difficili; nel caso di fasci

di cavi, può essere effettuata con profilati sagomati a U di adeguato spessore. In questo caso lo schermo per essere efficace deve avere uno spessore di qualche millimetro; ciò conferisce per altro allo schermo buone proprietà meccaniche che lo rendono anche utilizzabile, se opportunamente sagomato, come struttura portante dei cavi da schermare; può interessare un'intera parte mettendo in opera lastre di materiale conduttore o ferromagnetico o di entrambi i tipi. In alcuni casi pratici può dare buoni risultati impiegare lamiere di acciaio commerciale di spessore  $3 \text{ mm} \div 5 \text{ mm}$ ;

- **allontanare la cabina da zone frequentate tenuto anche conto del fatto che il campo magnetico presente in corrispondenza di pareti esterne della cabina si riduce esponenzialmente con la distanza:** è sicuramente il provvedimento più economico e deve essere adottato in tutti quei casi in cui è possibile. È utile anche rendere inaccessibili, se possibile, le zone di terreno in cui l'induzione magnetica  $B$  assume valori superiori a quanto stabilito dalle norme (DPA Distanza di Prima Approssimazione e Fascia di Rispetto), tenendo conto del fatto che  $B$  decresce esponenzialmente con la distanza e quindi le parti da rendere inaccessibili sono limitate.

#### 4.7 Manutenzione ed efficientamento energetico

Una corretta manutenzione degli impianti, dei macchinari e delle infrastrutture garantisce un maggiore grado di efficienza energetica e ovviamente, anche per le cabine elettriche, gli interventi di manutenzione possono essere messi in atto a vantaggio di efficienza oltre che di sicurezza. Infatti, in generale, tutti i guasti che potrebbero influire negativamente sulla qualità del servizio elettrico possono anche causare consumi energetici eccessivi.

Ad esempio, grazie alle moderne tecnologie usate per l'analisi dei punti caldi, è possibile ridurre gli sprechi causati da perdite localizzate. A tale scopo si può procedere soprattutto attuando una manutenzione predittiva (in quanto si dovrebbe rimuovere la causa che genera il surriscaldamento prima che possa evolvere in un guasto effettivo).

Inoltre, una soluzione da considerare per ottimizzare il servizio di manutenzione predittiva è il monitoraggio da remoto. Grazie alle notifiche istantanee sullo stato del sistema, il monitoraggio delle condizioni da remoto consente di realizzare al meglio la diagnostica dei problemi e al tempo stesso migliora anche la gestione energetica grazie alla possibilità di individuare sprechi, ottimizzando i profili di carico e allocando correttamente i costi energetici.

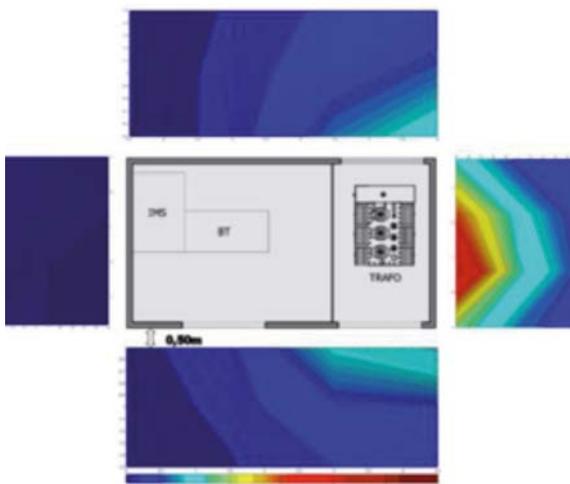


Figura 4.15: Esempio di distribuzione spaziale del vettore induzione magnetica  $B$  [ $\mu\text{T}$ ] attorno la cabina

# QUADRI ELETTRICI DI MEDIA TENSIONE

Il termine quadri elettrici di media tensione racchiude una varietà di apparecchiature elettriche molto ampia che presentano dimensioni, prestazioni, operatività e continuità d'esercizio differenti a seconda del campo di applicazione.

Le caratteristiche nominali generalmente arrivano fino a tensioni di 36 kV (la norma di riferimento ha campo di applicazione fino a 52 kV), correnti nominali di 4000 A e correnti di guasto fino a 63 kA.

Una prima classificazione riguarda il settore di utilizzo: distribuzione primaria, secondaria, quadri da generatore, ecc. Queste famiglie sono costruttivamente molto diverse tra di loro sia per le diverse prestazioni richieste e sia per le caratteristiche del tipo di servizio che devono garantire.

Oggetto di questa guida sono i quadri di media tensione per distribuzione secondaria che nel seguito saranno chiamati QMT o quadri di media tensione. Le varie considerazioni sono riferite a questa famiglia e, con eccezioni, possono essere applicabili ad altre tipologie di quadri.

### 5.1 Definizioni

#### Apparecchiatura

Termine generale relativo ad apparecchi di manovra e a loro combinazioni con apparecchi di comando, di misura, di protezione e di regolazione ad essi associati, nonché a insiemi di tali dispositivi e apparecchi con i relativi collegamenti, accessori, involucri e strutture di supporto.

#### Apparecchiatura con involucro metallico

Assieme di apparecchiature, completo a eccezione dei collegamenti esterni, racchiuso in un involucro metallico esterno destinato a essere collegato a terra.

#### Unità funzionale

Parte di un'apparecchiatura con involucro metallico comprendente tutti i componenti dei circuiti principali e dei circuiti ausiliari che concorrono all'espletamento di una specifica funzione. Di seguito l'acronimo UF verrà utilizzato al posto della forma estesa Unità Funzionale.

Con la terza edizione della normativa di prodotto IEC 62271-200 vengono introdotte anche le seguenti definizioni:

- in servizio: condizione dove al minimo una parte del quadro è alimentata.
- condizioni operative normali: in condizioni di servizio con tutte le porte e coperture propriamente chiuse e in sicurezza.
- uso normale: utilizzo del quadro come definito dalle istruzioni del produttore, corrispondente alle condizioni e operazioni in servizio.

### 5.2 Caratteristiche dei QMT

Nella distribuzione secondaria le prestazioni elettriche più diffuse sono: fino a 36 kV (solitamente 24 kV) con correnti nominali di 630 A (raramente fino a 1250 A) e correnti di guasto generalmente da 16 kA, fino a 21 kA per reti esercite a 20 kV.

Possono essere utilizzati per la realizzazione della rete di distribuzione secondaria del

distributore di energia, per la funzione di DG secondo CEI 0-16 e per la rete di distribuzione dell'Utilizzatore.

Le caratteristiche principali dei QMT per distribuzione secondaria ad oggi presenti sul mercato sono di seguito elencate:

- QMT prefabbricati con involucro metallico e provati con prove di tipo secondo CEI EN 62271-200
- Isolati in aria - AIS (Air Insulated Switchgear) - oppure in gas - GIS (GAS Insulated Switchgear) - oppure misti con isolamento in aria ma con alcune apparecchiature isolate in gas
- A tenuta d'arco interno secondo CEI EN 62271-200, IAC AF per installazioni con accessibilità solo frontale, IAC AFL per installazioni con accessibilità frontale e laterale e IAC AFLR per installazioni in isola con accessibilità su tutti i lati del quadro
- Categoria di perdita della continuità di servizio definita come Loss of Service Continuity Category (LSC): LSC1, LSC2, LSC2A e LSC2B
- Classe delle segregazioni: partizione con materiale isolante (PI) oppure partizione metallica (PM)
- Basso carico all'incendio
- Dotati di interblocchi di sicurezza secondo CEI EN 62271-200, per evitare errori di manovra durante l'esercizio
- Attività di manutenzione in accordo a quanto prescritto dai costruttori
- Con interruttore di manovra sezionatore isolato in aria oppure in SF6
- Con interruttori in SF6 oppure in vuoto, di tipo asportabile, estraibile oppure fisso; a comando a molle con eventuale motorizzazione
- Ingresso dei cavi dal basso, più raramente dall'alto
- Dotati di protezioni relativamente

semplici ma con possibilità di elevata integrazione con i sistemi di misura e con i software gestionali in uso presso gli utilizzatori, sfruttando lo standard IEC 61850, che permette anche un elevato grado di interfacciamento/comunicazione dell'impianto

- Dimensioni compatte variabili a seconda delle UF che compongono il QMT. Valori tipici per UF sono di seguito riportati
  - Air Insulated Switchgear: Larghezze 350, 500 mm e 750 mm; profondità 1050 mm e 1400 mm, altezze 1600 mm e 2200 mm
  - Gas Insulated Switchgear: Larghezze 375 mm, 430 mm, 500 mm, 572 mm; profondità circa 800 mm, altezze 1150 mm e 2200 mm.

Alcune di queste caratteristiche saranno trattate con maggiori dettagli nei paragrafi successivi.

L'utilizzo di QMT conformi alla Norma IEC/EN 62271-200 permette di garantire il massimo livello di sicurezza per le persone, soddisfare completamente i requisiti di sicurezza previsti dalla legislazione italiana e garantire il massimo livello di integrità per le strutture. Si tratta di una norma di buon senso anche se non puntualmente prescritta da leggi e regolamenti, attraverso l'utilizzo di quadri a tenuta all'arco interno.

Maggiori dettagli legati alla scelta dei QMT, si possono trovare nella pubblicazione edita da ANIE "La Norma CEI EN 62271-200 sui quadri elettrici in media tensione". Essa contiene gli elementi utili a guidare il Progettista nell'individuazione del QMT più aderente alle necessità del progetto.

Si suggerisce anche la lettura del paragrafo 8 della Norma CEI EN 62271-200 che, anche se contenuto in una Norma di prodotto normalmente dedicata ai costruttori, in realtà fornisce ai progettisti i più utili criteri di scelta dei QMT.

### 5.3 Unità funzionali, schemi e principi progettuali

La distribuzione dell'energia in media tensione si può realizzare attraverso l'applicazione di diversi schemi elettrici. Tali schemi sono

concretizzabili con l'impiego di QMT composti a loro volta da un certo numero di UF. Di seguito sono riportate le unità base utilizzate negli impianti più semplici.

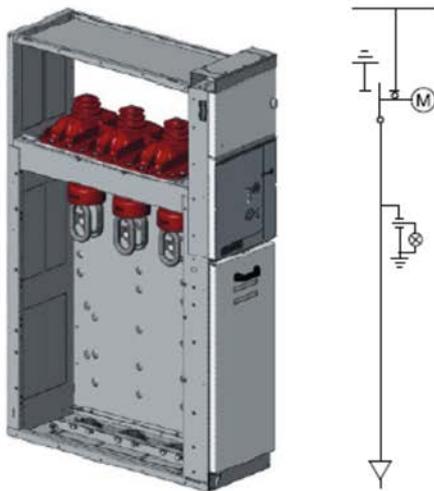


Figura 5.1: UF Interruttore di manovra-sezionatore

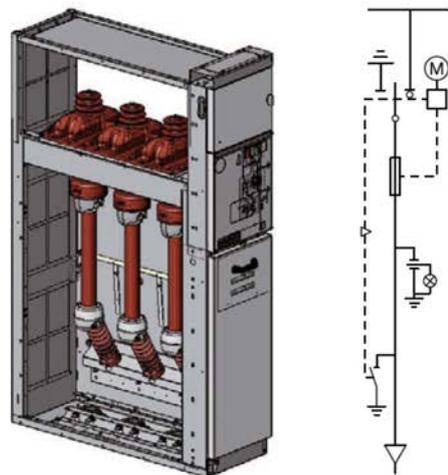


Figura 5.2: UF Interruttore di manovra-sezionatore combinato con fusibile

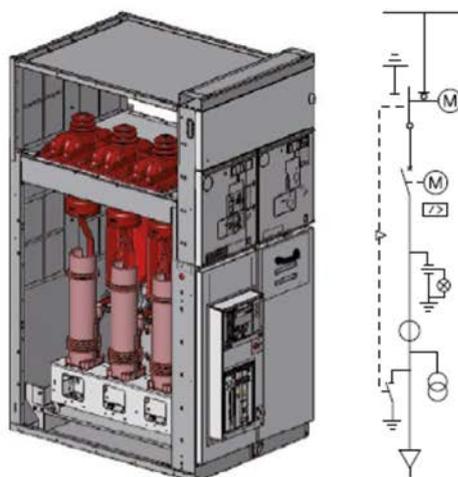


Figura 5.3: UF Interruttore con esecuzione fissa, removibile o estraibile ed equipaggiabile con TA e TV

Alcune di esse possono essere equipaggiate con dispositivi quali trasformatori di tensione, di corrente e sezionatori di terra integrati nel circuito principale. Qualora fosse necessario inserire nel circuito qualcuno di questi elementi, in alcuni casi si dovrà ricorrere all'introduzione di una UF aggiuntiva.

I circuiti ausiliari possono essere personalizzabili a seconda delle richieste del cliente finale.

I cataloghi dei vari costruttori riportano una vasta gamma di unità funzionali utilizzabili per la realizzazione dell'impianto dell'utilizzatore MT. Invece, per il collegamento con la rete del Distributore, la Norma CEI 0-16 fornisce tutti i requisiti necessari: prescrive schemi dettagliati per il sistema di protezione mentre lascia maggiore libertà al progettista di applicare lo schema di potenza a valle del DG che ritiene più opportuno, prescrivendo al minimo le due funzionalità più utili per la sicurezza d'esercizio e la protezione delle persone.

L'apparecchiatura di protezione definita come dispositivo generale (DG) dovrà avere, al minimo, le seguenti funzionalità:

- un interruttore MT in grado di aprire le correnti normali e quelle di guasto (corto circuito e guasto verso terra);
- un apparecchio (anche coincidente con il precedente) in grado di assicurare il sezionamento del circuito di potenza (stabilire la distanza di isolamento tra i contatti).

A queste prescrizioni, il progettista dovrà aggiungere quanto necessario alla corretta gestione dell'impianto perché la CEI 0-16 si occupa principalmente di escludere l'impianto dell'utente qualora causi perturbazioni sulla rete e non si occupa della protezione e gestione dell'impianto sottostante.

È importante chiarire che l'unico apparecchio di protezione ammesso dalle regole tecniche di connessione per realizzare la funzione di Dispositivo Generale sia l'interruttore di media tensione.

Il paragrafo 8 della CEI 0-16 intitolato

“Connessione alle reti MT”, riporta le prescrizioni e gli schemi da seguire per connettersi alla rete MT.

A tali schemi devono essere corredati con le apparecchiature funzionali mancanti. Per esempio, allo schema di Figura 5.4 “Schema di impianto di utenza per la connessione: caso generale”, si deve aggiungere un sezionatore di terra per permettere la messa a terra del cavo che collega il DG con il trasformatore (caso più semplice) come riportato in figura 5.5.

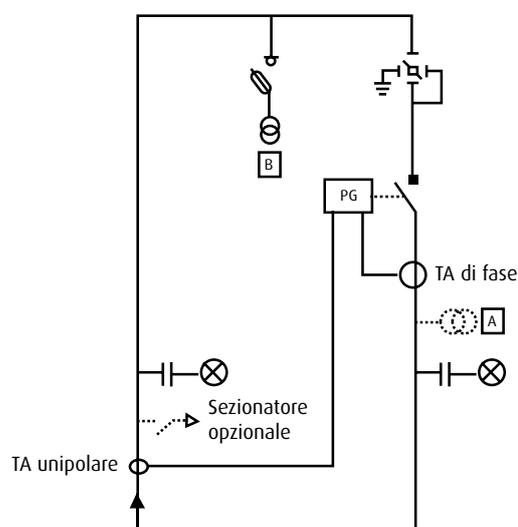


Figura 5.4: Schema di impianto di utenza per la connessione: caso generale

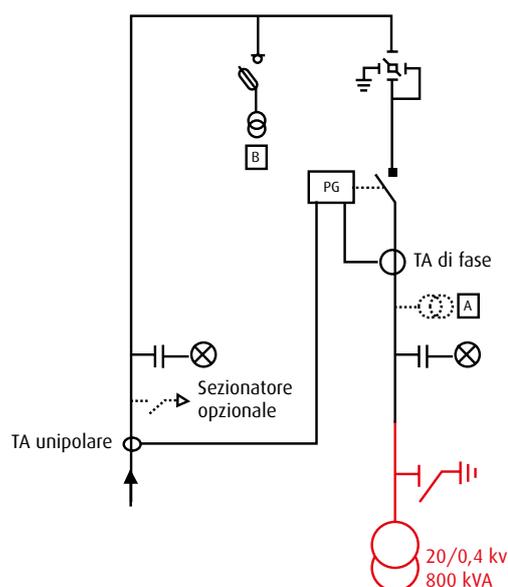


Figura 5.5: Schema connessione con sezionatore di terra

## 5.4 Apparecchi per la distribuzione secondaria utilizzati nei QMT

### Interruttori

Gli interruttori ad oggi maggiormente diffusi sono quelli con camera d'estinzione riempita in SF6 o in vuoto. Le due tecnologie, trattandosi di pura distribuzione di energia, sono equivalenti in termini di prestazioni e utilizzo sui carichi tipici.

La normativa di prodotto che regola queste apparecchiature è la CEI EN 62271-100. Tra le principali caratteristiche, oltre a tensione, corrente nominale e potere di interruzione, sono da considerare anche la durata meccanica, la durata elettrica e la probabilità di re-innesco durante interruzione di correnti capacitive.

Tabella 5.1: Classificazione degli interruttori

Caratteristica	Classe	Descrizione
Durata meccanica	M1	2.000 Manovre, durata normale
	M2	10.000 Manovre, manutenzione limitata
Durata elettrica	E1	Interruttore base che non ricade nella classe E2
	E2	Le parti d'interruzione del circuito principale non richiedono manutenzione
Probabilità di re-innesco durante le interruzioni di correnti capacitive	C1	Bassa, testata con prove di tipo
	C2	Molto bassa, testata con prove di tipo

La scelta della classe di durata meccanica ed elettrica è dettata dal tipo di servizio; in presenza di un numero di manovre rilevante sarà conveniente prescrivere un interruttore in classe M2-E2.

Le classi C1 o C2 sono invece da scegliere in funzione della tipologia dei parametri elettrici della rete ove l'interruttore è chiamato ad operare, sostanzialmente in relazione a manovra con correnti di linee e cavi a vuoto, ovvero manovra con correnti di batterie di condensatori. I Distributori di energia prescrivono interruttori in classe C2 perché è la classe che offre minore probabilità di re-innesco nel caso in cui l'interruttore è chiamato ad aprire lunghe linee di distribuzione senza carico e/o comandare l'inserzione di batterie di condensatori. Per questo negli impianti degli utilizzatori è possibile impiegare interruttori in classe C1.

### Sezionatore di linea e sezionatore di terra

Il sezionatore è un dispositivo in grado di assicurare nelle condizioni di aperto il sezionamento del circuito a valle. L'apertura e la chiusura del sezionatore devono avvenire "a vuoto", ovvero con correnti di intensità trascurabile: perciò il sezionatore viene solitamente impiegato per garantire la sicurezza in operazioni di manutenzione sul circuito.

Il sezionatore non è adatto all'apertura del circuito quando su di esso circola la corrente nominale e tantomeno correnti di sovraccarico e di corto circuito, ma deve essere in grado di portare (nella condizione "chiuso") la corrente nominale dichiarata dal costruttore. Il costruttore deve inoltre indicare la corrente che il sezionatore è in grado di sopportare in condizioni anormali di circuito (I<sub>cw</sub>: corrente ammissibile di breve durata): tale corrente ha la durata convenzionale di 1 s o 3 s ed entro tale tempo il circuito deve essere aperto mediante un interruttore automatico (che protegge il sezionatore dal cortocircuito e dal sovraccarico come qualsiasi altro componente elettrico).

Il sezionatore di terra invece garantisce la messa a terra di una parte del circuito principale dopo il

sezionamento in modo da operare su tale parte del circuito in condizioni di sicurezza. In genere sono associati ad ogni sezionatore di linea o ad altri apparecchi di manovra in esecuzione estraibile (es. interruttore).

La normativa di prodotto che regola queste apparecchiature è la CEI EN 62271-102. Tra le principali caratteristiche, oltre a tensione, corrente nominale e corrente ammissibile di breve durata, sono da considerare anche la durata meccanica e la durata elettrica per i sezionatori.

Tabella 5.2: Classificazione dei sezionatori

Caratteristica	Classe	Descrizione
Durata meccanica	M0	1.000 Manovre
	M1	2.000 Manovre
	M2	10.000 Manovre
Durata elettrica	E0	0 chiusure su corto

Tabella 5.3: Classificazione dei sezionatori di terra

Caratteristica	Classe	Descrizione
Durata meccanica	M0	1.000 Manovre
	M1	2.000 Manovre
Durata elettrica	E0	0 chiusure su corto
	E1	2 chiusure su corto
	E2	5 chiusure su corto

### Interruttore di manovra - sezionatore (IMS)

Il termine interruttore di manovra -sezionatore indica un dispositivo che, oltre alla funzione di sezionatore, svolge anche la funzione di aprire il circuito quando su di esso circola la corrente nominale. La normativa di prodotto che regola questa apparecchiatura è la CEI EN 62271-103. Tra le principali caratteristiche, oltre a tensione, corrente nominale e corrente ammissibile di breve durata sono da considerare anche la durata meccanica e la durata elettrica per gli IMS.

Tabella 5.4: Classificazione degli interruttori di manovra - sezionatori

Caratteristica	Classe	Descrizione
Durata meccanica	M1	1.000 Manovre
	M2	5.000 Manovre
Durata elettrica	E1	Durata base*
	E2	Durata media*
	E3	Durata alta*

\*maggiori dettagli sono forniti nella specifica di prodotto

### 5.5 Interblocchi, perdita della continuità di servizio, segregazioni e grado di protezione dei QMT

La manovra di tutte le apparecchiature deve essere eseguita nel rispetto delle logiche d'impianto. A tal fine la normativa di prodotto CEI EN 62271-200, prescrive che interblocchi e dispositivi di blocco devono essere utilizzati per prevenire manovre, accesso alle interfacce operative, inserimento ed estrazione di parti removibili. Qualora si voglia accedere ad uno scomparto tramite rimozione di porte o coperture, si possono avere vari casi a seconda che tali porte o coperture siano apribili o

removibili solo tramite utilizzo di attrezzi oppure apribili o removibili tramite interblocchi o una specifica procedura da seguire. L'accesso ad un compartimento dell'unità funzionale può avvenire anche nel caso in cui altri compartimenti o altre unità funzionali rimangano alimentate. In questo caso la normativa definisce varie classificazioni di perdita di continuità di servizio (LSC) a seconda di come è progettata l'unità funzionale: LSC1, LSC2, LSC2A, LSC2B. Per le varie definizioni si rimanda alla normativa di prodotto. La terza edizione della normativa IEC 62271-200 che sarà recepita anche a livello nazionale, fornisce una migliore descrizione mettendo anche a disposizione uno schema per meglio comprendere la classificazione.

Le partizioni tra i compartimenti delle varie UF possono essere metalliche (PM) oppure in materiale isolante (PI). Generalmente per i QMT viene anche prescritto un grado di protezione, definito come codice IP, contro la penetrazione di corpi solidi o liquidi in accordo alla normativa IEC 60529. I gradi di protezione maggiormente diffusi sono IP3X per le parti esterne ed IP2X per le parti interne al quadro.

Per particolari applicazioni possono anche essere richiesti gradi di protezione contro la penetrazione di liquidi, i più diffusi sono IPX1 o IPX2. La protezione contro gli urti meccanici è definita invece dal grado di protezione IK. La normativa di prodotto stabilisce che per installazioni interne i QMT debbano avere protezione minima definita dal grado IK07 (2 J). Particolari applicazioni possono richiedere gradi di protezione superiori.

### 5.6 Accessibilità, tenuta all'arco interno e sfogo gas incandescenti dei QMT

Il QMT di distribuzione secondaria è sempre installato in cabine il cui accesso è riservato a personale classificato come esperto o avvertito oppure a persone comuni sotto la sorveglianza di persone esperte o avvertite. In questo caso si parla di accessibilità di tipo A. Qualora l'accesso nella zona circostante al QMT non sia limitato ma concesso anche a personale generico, si

parla di accessibilità di tipo B.

Nel caso remoto in cui si verifichi un guasto all'interno dello scomparto, definito come arco interno, la normativa CEI EN 62271-200 prescrive di adottare soluzioni tecniche opportune al fine di proteggere le persone che si trovano nelle circostanze del quadro. La normativa definisce nel dettaglio la modalità di test dell'involucro tale da garantire la protezione richiesta.

Prescrivere questa caratteristica, contribuisce a tutelare il Progettista che applica il principio di eliminazione del rischio previsto dal Testo Unico sulla Sicurezza (DLgs 81/2008 e successivi aggiornamenti). La protezione può essere assicurata sul fronte del quadro (F), sul lato (L) e sul retro (R) in particolare con le combinazioni F, FL, FLR. Il quadro quindi è classificato contro l'arco interno con la dicitura, ad esempio, IAC A-FLR che significa *internal arc classification* per accessibilità di tipo A sul fronte, lato e retro del quadro. Per includere nel progetto la richiesta di tenuta all'arco interno è sufficiente indicare una breve sigla, ad esempio: IAC A-FL 16 kA, 1 s. Significa che il quadro deve essere testato con prove di tipo secondo CEI EN 62271-200 (fino a 16 kA per un secondo) e il personale, classificato come esperto che accede in cabina, potrà avvicinarsi al fronte e al lato del QMT. Deve essere installato a ridosso della parete posteriore per impedire che il personale possa accedere al retro poiché non è stato certificato accessibile (se si aggiunge la lettera R allora il QMT può essere installato con possibilità di accesso anche al retro). Di seguito sono riportate delle immagini per dare una chiara visione sull'accessibilità ai lati del quadro.



Figura 5.6: IAC A-FL



Figura 5.7: IAC A-FLR

Un'altra importante informazione, da includere nel progetto, è come direzionare il flusso dei gas incandescenti prodotti da un arco interno tale da evitare che il flusso possa investire il personale malauguratamente presente in cabina.

Le soluzioni tecnicamente disponibili sono le seguenti:

- Per evitare la fuoriuscita di gas incandescenti e la creazione di sovrappressioni all'interno della cabina, è possibile richiedere lo scarico al di fuori del locale secondo una delle varie possibilità offerte dai costruttori. In questo caso occorre predisporre un opportuno condotto di scarico del gas, prestando attenzione all'accessibilità delle persone alla zona di fuoriuscita dello stesso e proteggendo l'estremità del condotto in modo da evitare l'ingresso di acqua, polvere, piccoli animali e corpi estranei.
- Particolare attenzione deve essere riservata alla lunghezza e al numero di curve del condotto in accordo a quanto prescritto dal costruttore.
- Un'altra soluzione prevede sfoghi verso il sottopavimento o cunicolo cavi, ponendo attenzione a ridurre la possibilità che i cavi vengano danneggiati dagli effetti dell'arco interno. Anche in questo caso si deve porre particolare attenzione alle prescrizioni fornite dal costruttore sulla dimensione minima del cavedio.
- Altre soluzioni prevedono lo scarico dei gas in cabina. In questo caso è importante chiedere al costruttore le condizioni necessarie ad assicurare la rispondenza dell'installazione alle prove di tipo effettuate sul QMT; tipicamente la cabina deve avere una altezza non inferiore a quella usata durante le prove di tipo.

- Esiste infine la possibilità di richiedere QMT 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. Anche in questo caso è importante rispettare le condizioni di installazione fornite dal costruttore.

Esempi:

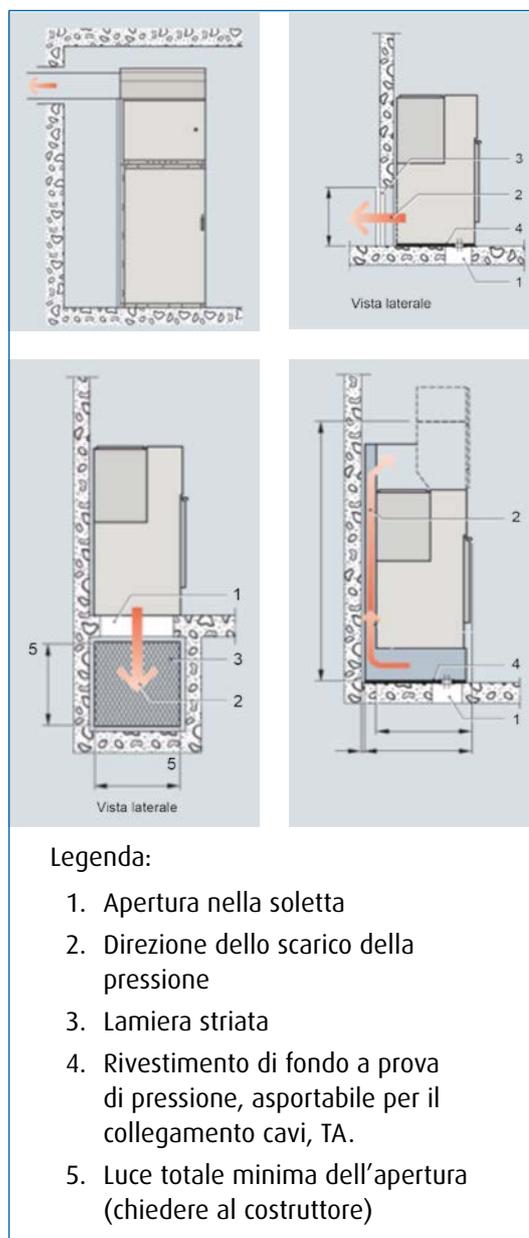


Figura 5.8: Sistema di canalizzazione della pressione verso l'esterno (1° immagine) o verso il retro (2° immagine) o verso il basso (3° immagine) o l'alto (4° immagine)

Un disegno esplicativo, inserito nel progetto, aiuterebbe l'interpretazione della specifica da parte dei fornitori e l'esecuzione dei lavori. La presenza della vista in pianta del QMT, inserito nella cabina, permetterebbe di indicare anche il posizionamento del quadro e la presenza delle idonee vie di fuga.

### 5.7 Posizionamento del QMT nel locale

Per il posizionamento del QMT nella cabina sono da tenere in considerazione le seguenti informazioni:

- Dimensioni del QMT.
- Distanza del QMT dalla parete.
- Minimi spazi liberi sui lati del QMT per il montaggio e per le operazioni di manutenzione.

Di seguito l'esempio di una soluzione di cabina:

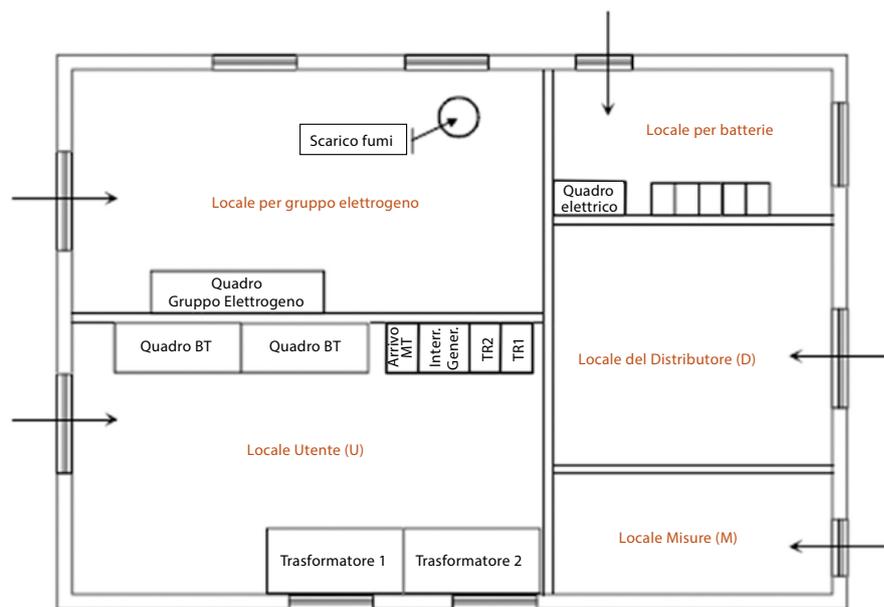


Figura 5.9: Esempio soluzione cabina (CEI 99-4 fig.A.3)

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.

### 5.8 Messa a terra del QMT

Per quanto riguarda la messa a terra del QMT e più in generale

della cabina MT/BT si fa riferimento alla norma CEI EN 50522 (Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.).

I costruttori di QMT rendono disponibile, ai fini della messa a terra dell'involucro metallico, uno o più punti di connessione, a cui collegare il relativo conduttore di protezione dedicato.

La posizione dei punti di connessione è

normalmente indicata sui documenti del costruttore. Si deve quindi prevedere un opportuno percorso al conduttore di protezione ai fini della sua connessione al morsetto di terra del QMT.

### 5.9 Campi elettromagnetici (EMF) emessi dai QMT

Se i QMT usati in distribuzione secondaria sono prefabbricati con involucro metallico, misure fatte nelle immediate vicinanze dell'involucro (fino a 36 kV) hanno mostrato valori di campo elettrico intorno ai 20 V/m, mentre il limite da rispettare è 5 kV; quindi per il campo elettrico non ci si deve preoccupare di fare calcoli particolari.

Già nella prima edizione della norma IEC 62271-200 si è data una chiara ed esaustiva giustificazione in merito ai vantaggi nell'utilizzo di quadri prefabbricati con involucro metallico. Una delle motivazioni fu appunto che l'involucro metallico fungendo da schermo mitiga l'intensità del campo elettrico generato dalle parti attive interne in alta tensione, all'esterno ed in prossimità del quadro stesso.

Si sa che a parità di corrente la distribuzione (forma/sagoma) del campo magnetico irradiato nello spazio circostante dipende dalla forma del circuito; ogni impianto avrà campi magnetici con distribuzione (forma) propria dipendente dal numero di UF, dalla loro forma costruttiva, dall'estensione del QMT.

Risulta impossibile fornire il modello del campo magnetico per ogni impianto; per questo motivo i costruttori forniscono lo spettro di emissione intorno al QMT, nel caso peggiore per famiglia di quadri, in modo che il progettista possa creare il modello del progetto sulla base del caso di maggior emissione possibile.

Le misure e i modelli disponibili mostrano chiaramente che intorno ai QMT, considerando le reali correnti di funzionamento dell'impianto, il campo magnetico a 1,5-2 metri sarà sicuramente inferiore a 3 microtesla e quindi l'influenza del QMT nel locale adiacente la cabina è quasi sempre trascurabile.

Esempio: caso peggiore di emissione di campo magnetico intorno a un QMT di distribuzione secondaria del tipo AIS (Air Insulated Switchgear).

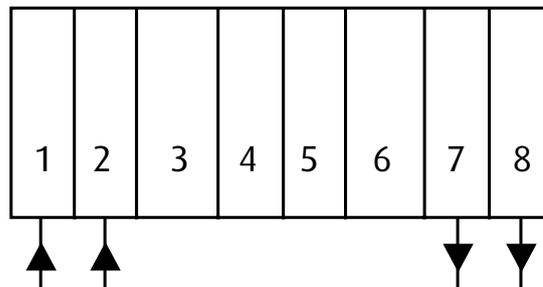


Figura 5.10: Configurazione del QMT

Il QMT è composto da otto scomparti, sulle sbarre fluiscono 1250 A, alimentato a sinistra, due interruttori chiusi a destra, le altre UF sono un congiunture (chiuso), due interruttori che non erogano corrente, una UF misure.

Misure effettuate:

- Campo elettrico a 20cm dal QMT: 20V/m
- Campo magnetico a 20cm dal QMT: sul retro 106 microtesla; sul fronte 65 microtesla; a destra 86 microtesla; a sinistra 39 microtesla.

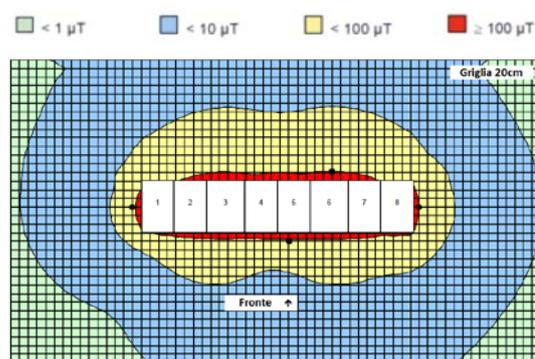


Figura 5.11: Rappresentazione grafica del campo magnetico (caso peggiore) intorno al QMT, visto dall'alto

Si ricava rapidamente che a 1,5-2 m dal QMT il valore di campo magnetico è inferiore a 10 microtesla, quando fluiscono 1250 A sulle sbarre. Se pensiamo che in realtà la maggior parte degli impianti di distribuzione secondaria

forniscono 100-200 A possiamo ipotizzare valori di campo magnetico inferiori a 1 microtesla già a 2 m dal QMT.

Poiché il locale da verificare potrebbe essere collocato anche sopra la cabina, è opportuno fornire la rappresentazione grafica del campo magnetico visto dal fronte del QMT e dal lato.

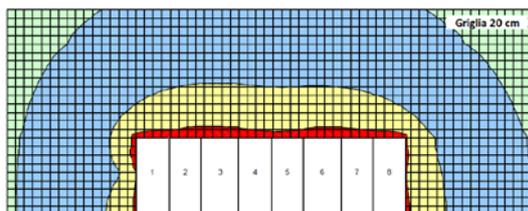


Figura 5.12: Rappresentazione grafica del campo magnetico (caso peggiore) intorno al QMT, visto dal fronte

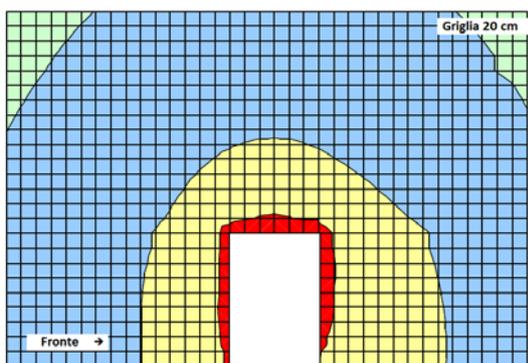


Figura 5.13: Rappresentazione grafica del campo magnetico (caso peggiore) intorno al QMT, visto dal lato (il fronte è a sinistra).

### 5.10 Raffreddamento della cabina

La cabina di trasformazione ha bisogno di un sistema di ventilazione naturale o forzata per smaltire il calore prodotto dalle perdite delle apparecchiature presenti.

Indicativamente servono 200 m<sup>3</sup>/h di aria fresca per kW di perdite, ipotizzando una differenza di temperatura tra aria in ingresso e in uscita di 15K. Il calore prodotto da un QMT è trascurabile rispetto a quello prodotto dagli altri elementi presenti in cabina, si pensi al trasformatore; se si vuole comunque tener conto del contributo del QMT i valori tipici sono riportati di seguito.

Tabella 5.5: Valori tipici di calore prodotto

Perdite in W indicative a:	200 A	300 A	400 A	630 A	800 A	1250 A
UF con interruttore	20	40	70	180	270	650
UF con sezionatore con fusibili (*)	70	-	-	-	-	-
UF con sezionatore	15	40	60	160	250	570
UF risalita	10	25	40	100	160	380
UF misura con 3 TA e 3 TV	30	65	115	280	460	700

(\*) escluso la perdita dei fusibili

### 5.11 Autoconsumo dei QMT

In ogni cabina è necessario sostenere tutti gli ausiliari presenti anche in mancanza di tensione (ausiliaria) di rete, per questo bisogna prevedere e dimensionare un UPS.

Gli assorbimenti degli ausiliari dei QMT sono da reperire sulla documentazione del Costruttore. Si possono fornire dei dati indicativi per un primo dimensionamento (riferiti a 230V AC).

Tabella 5.6: Assorbimenti ausiliari QMT

Motore dell'interruttore	Fino a 650 VA
Bobina di chiusura interruttore	Da 140 a 200 VA
Bobina di apertura	Da 50 a 200 VA
Bobina di minima tensione	200 VA (5 VA continuativi)



L'assorbimento dei relè di protezione è trascurabile così come quello di altri apparecchi di misura e automazione. Nel dimensionamento dell'UPS è utile tener conto che i valori indicati si riferiscono allo spunto, che dura circa 100 ms per le bobine e circa 200 ms per i motori, dopo di che si assiste ad una drastica riduzione della potenza assorbita.

### 5.12 Qualifica sismica

L'Italia è uno Stato ad alta esposizione sismica e le forti vibrazioni provocate dal sisma possono riflettersi pesantemente sul comportamento del quadro elettrico, tant'è che la "Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale" CEI 99-4, alla nota 1 afferma che la specifica tecnica CEI IEC TS 62271-210 (Apparecchiatura ad alta tensione - Parte 210: Qualificazione sismica per apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico e con involucro isolante per tensioni nominali superiori a 1 kV fino a 52 kV compreso), 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 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 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 CEI IEC TS 62271-210, in particolare per quanto riguarda 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 forniti dal sito richiedono un uso consapevole e pertanto il loro utilizzo viene effettuato sotto la responsabilità dell'utente.

### 5.13 Soluzioni digitali per QMT

Le sempre più crescenti innovazioni in tecnologie digitali e l'esponentiale diffusione di internet, aprono nuovi scenari sulla gestione della distribuzione secondaria con ripercussioni anche sui QMT. Se fino a ieri molte cabine dislocate sul territorio nazionale, oppure cabine di siti produttivi di attività terziarie, erano elementi comunicativi passivi o con scarsa capacità di scambiare informazioni, oggi grazie ai recenti sviluppi possono essere connesse ad una rete di telecomunicazioni con la possibilità di dialogare con costi relativamente contenuti.

Questo processo, meglio conosciuto come internet delle cose (IoT: internet of things), frutto della quarta rivoluzione industriale, sta trovando grande spazio in tutti i settori, compreso quello della distribuzione secondaria. La possibilità di dialogare con altri dispositivi o di fornire dati utili all'operatore su eventi che accadono nel tempo, permette di raggiungere una maggiore efficienza energetica e rendere intelligente la manutenzione delle apparecchiature.

Il concetto basilare può essere rappresentato con lo schema riportato nella figura di seguito.

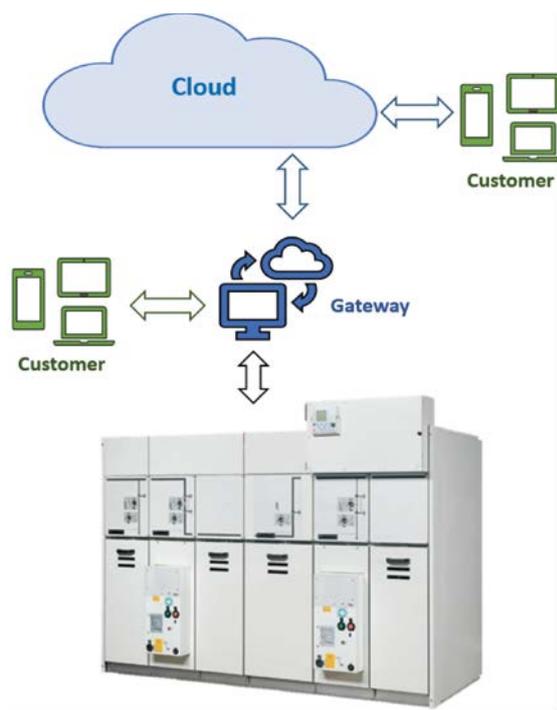


Figura 5.14: schema di comunicazione

Il QMT, tramite un dispositivo montato a bordo definito con il nome gateway, è in grado di comunicare e trasmettere le informazioni. Queste possono essere disponibili ai clienti connessi alla rete o direttamente con connessione wireless oppure di fronte al quadro tramite PC, tablet o smartphone, in ogni caso ovunque collegandosi al cloud sempre con gli stessi dispositivi.

Tramite cloud è possibile avere ulteriori livelli di monitoraggio tramite analytics dedicati o disporre di un supporto tramite tecnici specializzati che controllano l'impianto e analizzano/suggeriscono basandosi sui dati reali dell'impianto stesso.

Le apparecchiature elettriche contenute nel QMT quali interruttori, sezionatori o UF sono sempre più equipaggiate con dispositivi elettronici che le rendono intelligenti (smart) con la possibilità di raccogliere dati, fare alcune semplici elaborazioni e condividere il tutto con il gateway.

L'elettronica integrata si serve soprattutto di sensori, anch'essi integrati nelle parti che

compongono le apparecchiature, la cui funzione di rilevare "stati" risulta fondamentale per il monitoraggio.

L'elaborazione degli stati consente di diagnosticare l'apparecchiatura, cioè capire se determinati parametri rimangono entro limiti prestabiliti.

Le informazioni provenienti da attività di monitoraggio e diagnostica sono molto importanti per la manutenzione dei QMT, infatti a seconda di questi dati è possibile capire se le varie apparecchiature hanno bisogno di manutenzione o se necessitano di un intervento immediato poiché si stanno compromettendo alcuni parametri.

Manutenzione e diagnostica permettono anche di avere una maggiore efficienza dell'impianto andando a rilevare i flussi energetici nelle varie UF con la possibilità, ad esempio, di rilevare un consumo anomalo di un carico ed eventualmente spostarlo in fasce orarie più opportune. Segnalare la mancanza di tensione è fondamentale quando un'attività è momentaneamente chiusa in modo da non causare danni ad un sito produttivo o rilevare un consumo eccessivo può essere indicatore di una manutenzione necessaria.

Per la misura di grandezze elettriche (corrente e tensione) delle UF possono essere impiegati sia i tradizionali trasformatori di corrente (TA) e tensione (TV) sia sensori di corrente e tensione.



Figura 5.15: TV e TA (sopra), sensori di corrente e tensione (sotto)

Altre tipologie di sensori possono essere utilizzate per misurare altre grandezze. Nella valutazione dell'impiego si deve tenere in considerazione quali sono i reali benefici, in modo da avere un giusto compromesso tra complessità tecnica e costo. Tra le soluzioni ad oggi più richieste, si trovano il monitoraggio dello stato delle apparecchiature (aperto, chiuso, sezionato, terra), la misura della temperatura del circuito principale (attacchi cavi, sbarre e contatti di inserzione degli interruttori estraibili) e la pressione del gas per apparecchiature riempite con SF<sub>6</sub>.

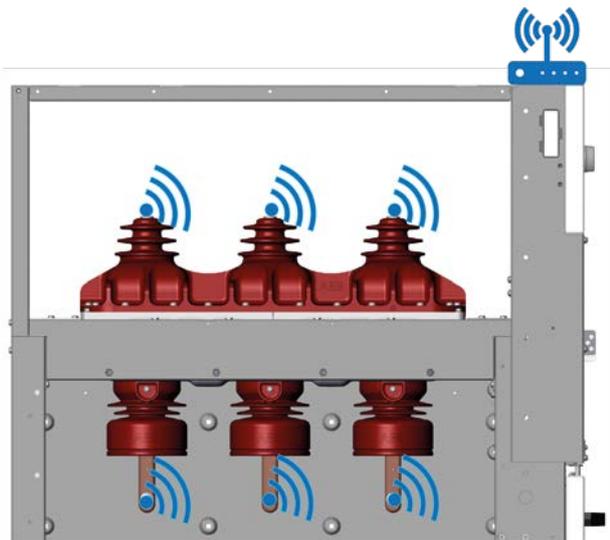
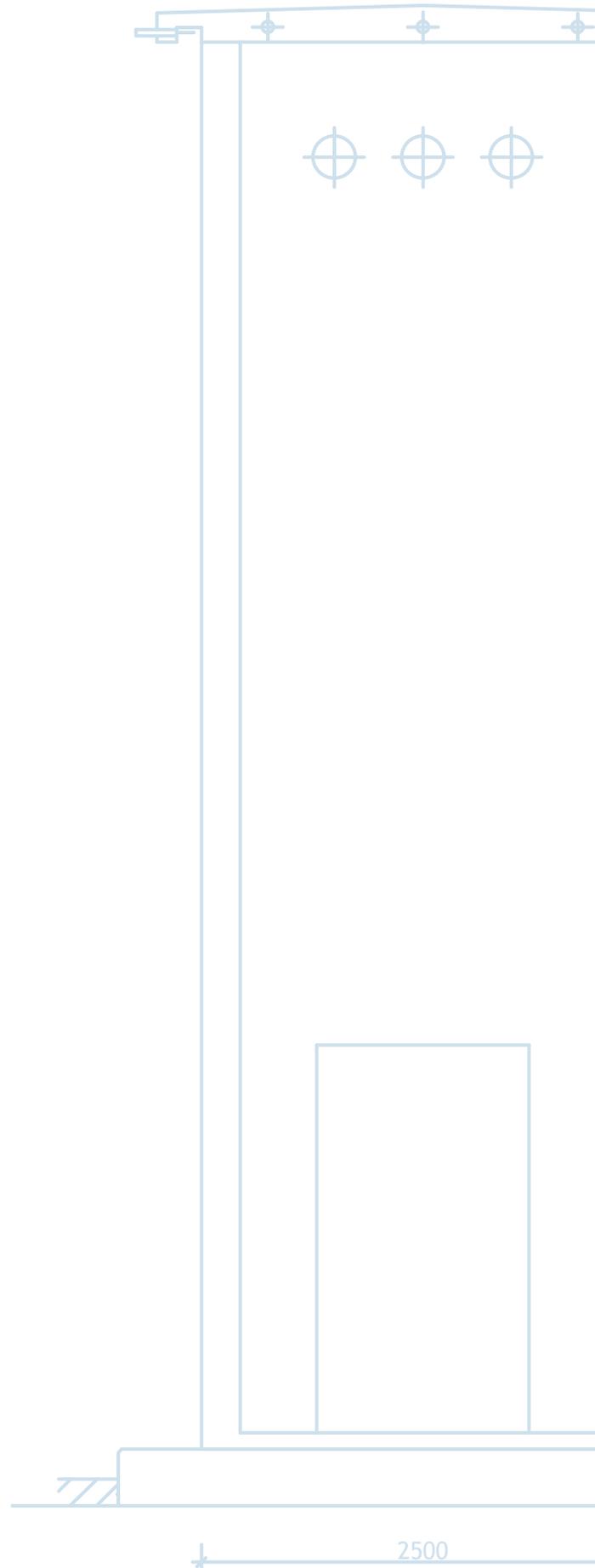


Figura 5.16: esempio posizione sensori di temperatura (vista laterale scomparto)

Altri sensori possono monitorare i parametri della cabina, ad esempio sensori ambientali (temperatura e umidità), allagamento o monitoraggio della porta di accesso alla struttura.

Il QMT può anche essere considerato come un concentratore di dati andando a raccogliere le proprie informazioni, quelle della cabina o di altre apparecchiature (trasformatori di potenza e quadri di bassa tensione) o addirittura raccogliere dati di altre fonti d'energia (acqua e gas), utilizzando i propri dispositivi di comunicazione per incanalare tutte le informazioni raccolte verso gateway e/o cloud.



---

## CAPITOLO 6

# TRASFORMATORI ELETTRICI

Il trasformatore è uno degli elementi dell'impianto di distribuzione che più incide sulla disponibilità dell'alimentazione elettrica dell'utilizzatore.

Rispetto al quadro di media tensione, preposto con le sue unità funzionali a realizzare l'allacciamento al distributore ed inoltre la protezione lato MT del trasformatore, o al quadro di bassa tensione Power Center, preposto alla protezione della distribuzione in bassa tensione, che sono altre parti d'impianto che hanno un ruolo importante sulla disponibilità della fornitura, il trasformatore è soprattutto una macchina elettrica con un suo rendimento.

Le perdite di energia, sia nel funzionamento a vuoto che a carico della macchina, rappresentano una voce di spesa, per l'utilizzatore, molto importante ma storicamente trascurata.

Nel 2010 RSE ha reso noto uno Studio sull'impiego di componenti di rete a basse perdite. In sintesi se si sostituissero 70.000 trasformatori in servizio dagli anni 80, nella rete del più grande Distributore italiano, con trasformatori a perdite più basse (AK-B0) il risparmio sarebbe di 36 milioni di Euro, equivalente allo spegnimento definitivo di un gruppo di generazione da 30MW. Le perdite dei trasformatori sono state oggetto di interesse anche da parte della Commissione Europea con Regolamento UE 548/2014 del 21/05/2014 e successiva integrazione riportata nel Regolamento UE 1783/2019 del 01/10/2019.

Il Regolamento fissa i requisiti (obbligatori) in materia di progettazione ecocompatibile per i trasformatori elettrici con una potenza minima di 1 kVA, utilizzati nelle reti di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Esso indica

le perdite massime a carico e a vuoto che devono essere rispettate dalle varie tipologie di trasformatori (per il dettaglio delle nuove norme si rimanda alla lettura del documento ANIE "Vademecum ANIE Energia sul Regolamento UE N. 548/2014"). Il contenimento delle perdite porta contemporaneamente alla riduzione della rumorosità, aspetto che può essere valorizzato per l'inserimento del trasformatore più vicino al carico, con impatto ambientale ridotto rispetto al passato.

### 6.1 Classificazione dei trasformatori MT/BT

I trasformatori di potenza MT/BT si distinguono in:

- trasformatori in liquido isolante;
- trasformatori a secco: in aria; in resina.

#### 6.1.1 Trasformatori in liquido isolante

I trasformatori che utilizzano liquido sono dotati di un involucro metallico contenente appunto il liquido isolante, generalmente olio minerale.

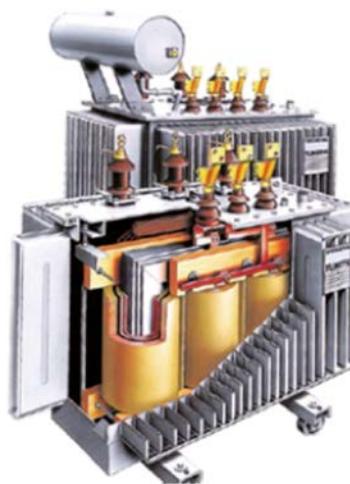


Figura 6.1: Trasformatore isolato in olio

Il liquido isolante fornisce l'isolamento tra gli avvolgimenti e verso le masse e rende efficace la dispersione del calore verso l'involucro. Il calore è poi smaltito verso l'ambiente esterno per irraggiamento e per convezione. Le variazioni del carico e/o della temperatura ambiente provocano l'aumento (o la diminuzione) del volume del liquido, occorre compensare queste variazioni collegando l'involucro ad un vaso d'espansione, denominato conservatore, costituito solitamente da un recipiente di forma cilindrica situato nella parte superiore del trasformatore.

Il conservatore è in comunicazione con l'ambiente per mezzo di un filtro, che ha la funzione di eliminare l'umidità dell'aria, infatti quando la temperatura diminuisce si ha come conseguenza la diminuzione del volume del liquido che richiama a sua volta aria umida nel conservatore ed è necessario quindi impedire l'ingresso di tale umidità. I cristalli di silicagel, contenuti nel filtro, preposti ad assorbire l'umidità devono essere periodicamente verificati ed eventualmente sostituiti.

Per questo sono nati trasformatori senza conservatore e con cassone sigillato. La necessaria capacità della struttura di assorbire le variazioni di volume del liquido è fornita da accorgimenti costruttivi dell'involucro e/o da un eventuale polmone di aria secca o di azoto.

### 6.1.2 Trasformatori a secco

Sono tutti quei trasformatori il cui circuito magnetico e gli avvolgimenti non sono immersi in un liquido isolante.

Lo smaltimento delle perdite può avvenire per circolazione naturale o forzata.

Nel raffreddamento naturale, il calore che si genera nel nucleo magnetico e negli avvolgimenti è asportato direttamente per irraggiamento e convezione attraverso l'aria ambiente.

Nel raffreddamento per circolazione forzata, la convezione è resa più efficace attraverso la creazione di una turbolenza d'aria intorno al

trasformatore. Si possono usare:

- appositi ventilatori installati direttamente sulla macchina;
- estrattori posti sopra il trasformatore;
- sistema di circolazione d'aria proprio della cabina di trasformazione.

I trasformatori a secco sono di due tipi:

- trasformatori in aria (con avvolgimenti non inglobati);
- trasformatori in resina (con avvolgimenti MT inglobati in isolante solido e avvolgimenti BT isolati in resina).

I trasformatori in resina vengono costruiti per potenze fino a 42 MVA con tensioni fino a 40,5 kV, e costituiscono una valida alternativa ai trasformatori isolati in liquido, specialmente per installazioni in cabine di edifici dove l'incendio rappresenta un rischio elevato e quindi da limitare e/o quando sono richiesti bassi costi di manutenzione.

#### 6.1.2.1 Trasformatori in aria

Nei trasformatori in aria, l'isolamento si realizza con una nastratura isolante e setti in materiale isolante oltre che rispettando adeguate distanze di isolamento in aria.

Questa forma costruttiva è sensibile all'umidità, all'inquinamento e alla presenza di sostanze chimicamente aggressive.

La tensione d'utilizzo è limitata a circa 20 kV. I materiali isolanti sono in classe H e possono funzionare a una sovratemperatura elevata, fino a 125 K. Prima della messa in servizio è bene sottoporli a riscaldamento per eliminare ogni traccia di umidità. Non possono quindi funzionare in servizio intermittente senza accorgimenti.

#### 6.1.2.2 Trasformatori in resina

I trasformatori a secco, con uno o più avvolgimenti inglobati, vengono denominati trasformatori in resina.



*Figura 6.2: Trasformatore isolato in resina*

I trasformatori in resina, rispetto ai trasformatori in olio minerale, riducono i rischi di incendio e di spargimento di sostanze inquinanti nell'ambiente.

Le bobine di media tensione sono colate in resina in autoclavi, nelle quali viene formato il vuoto per impedire inclusioni di bolle di gas negli isolanti. Gli avvolgimenti risultano inglobati in un involucro cilindrico, impermeabile, meccanicamente robusto e insensibile all'azione dei comuni agenti inquinanti.

Gli avvolgimenti di bassa tensione non sono incapsulati in resina, per evitare che le forti correnti circolanti sul secondario, producendo calore, possano danneggiare la colata isolante, troppo rigida rispetto alle dilatazioni dei conduttori. Gli avvolgimenti di media tensione sono realizzati in nastro di alluminio, che ha un coefficiente di dilatazione termica prossimo a quello della resina, per cui al variare della temperatura del trasformatore le tensioni meccaniche sono molto limitate. Gli avvolgimenti di bassa tensione sono realizzati con un conduttore costituito da un unico foglio di alluminio, alto quanto la bobina.

Questa tecnica costruttiva (nastri in MT e foglio in BT) diminuisce gli sforzi assiali provocati nel trasformatore dalle eventuali correnti di cortocircuito. Negli avvolgimenti di bassa tensione, l'isolamento è costituito da un foglio di materiale contenente resina epossidica, che un trattamento termico rende aderente all'alluminio. Le spire dell'avvolgimento

rimangono incollate l'una sull'altra e formano una struttura solida e resistente, ma al tempo stesso elastica. Le bobine di bassa tensione così costruite risultano insensibili alla condensa e all'inquinamento.

I trasformatori in resina sono isolati in classe F, con sovratemperatura massima di 100 K.

### 6.1.2.3 Classificazione dei trasformatori a secco

La norma di prodotto identifica con un codice alfanumerico le classi ambientali, climatiche e di comportamento al fuoco dei trasformatori a secco.

La norma CEI EN 60067-11 (2019) prevede 5 classi ambientali (l'edizione precedente della norma è applicabile fino al 19 settembre 2021):

- classe E0: assenza di umidità e ambiente pulito e asciutto;
- classe E1: condensa occasionale (per esempio durante i periodi di fuori servizio) e modesto tasso d'inquinamento;
- Classe E2: Condensa frequente o leggero inquinamento o combinazione di entrambi;
- Classe E3: Condensa frequente o medio inquinamento o combinazione di entrambi;
- Classe E4: Condensa frequente o forte inquinamento o combinazione di entrambi

Con riferimento allo shock termico sono definite 6 classi climatiche per il funzionamento, il trasporto e il magazzino:

- Classe C1: trasformatore adatto per funzionamento a temperatura ambiente non inferiore a  $-5^{\circ}\text{C}$ , ma può essere esposto durante il trasporto e il magazzino a temperatura ambientale non inferiore a  $-25^{\circ}\text{C}$ ;
- Classe C2: trasformatore adatto per funzionamento, trasporto e magazzino a  $-25^{\circ}\text{C}$ .
- Classe C3: trasformatore adatto per funzionamento a  $-25^{\circ}\text{C}$  e adatto al trasporto e magazzino a  $-40^{\circ}\text{C}$
- Classe C4: trasformatore adatto per

funzionamento a  $-40^{\circ}\text{C}$  e adatto al trasporto e magazzinaggio a  $-50^{\circ}\text{C}$

- Classe C5: trasformatore adatto per funzionamento a  $-50^{\circ}\text{C}$  e adatto al trasporto e magazzinaggio a  $-60^{\circ}\text{C}$
- Classe Cxy: trasformatore adatto per funzionamento a  $-y^{\circ}\text{C}$  e adatto al trasporto e magazzinaggio a  $-x^{\circ}\text{C}$ . Le classi xy saranno definite in accordo con il costruttore.

In relazione al comportamento al fuoco, la norma prevede due classi (F) [in precedenza erano tre]:

- classe F0: senza particolari limitazioni nei confronti dell'infiammabilità;
- classe F1: caratteristiche di autoestinguenza e di bassa emissione di sostanze tossiche e fumi opachi.

Sul mercato sono ormai prevalenti i trasformatori di serie in esecuzione E2/C2/F1 che permettono il funzionamento del trasformatore in servizio intermittente.

I trasformatori in aria (a secco, con avvolgimenti non inglobati), con o senza involucro, sono normalmente progettati e costruiti per installazione all'interno in locali asciutti.

## 6.2 Identificazione in base al modo di raffreddamento

I trasformatori vengono identificati, in base al modo di raffreddamento, con una sigla composta da quattro lettere. La prima e la seconda lettera indicano la natura e il tipo di circolazione del refrigerante in contatto con gli avvolgimenti; la terza e la quarta lettera indicano la natura e il tipo di circolazione del refrigerante esterno all'involucro. In assenza dell'involucro esterno, come avviene nei trasformatori a secco, si utilizzano solo le prime due lettere.

### Esempi di identificazione:

**ONAN (o KNAN):** trasformatore in olio (o liquido isolante con punto di infiammabilità  $> 300^{\circ}\text{C}$ ) a circolazione naturale e circolazione d'aria naturale.

**ONAF (o KNAF):** trasformatore in olio (o liquido isolante con punto di infiammabilità  $> 300^{\circ}\text{C}$ ) a circolazione naturale e circolazione d'aria forzata.

**OFAF (o KFAF):** trasformatore in olio (o liquido isolante con punto di infiammabilità  $> 300^{\circ}\text{C}$ ) a circolazione forzata e circolazione d'aria forzata.

**ODAF (o KDAF):** trasformatore in olio (o liquido isolante con punto di infiammabilità  $> 300^{\circ}\text{C}$ ) a circolazione forzata e guidata e circolazione forzata d'aria.

**AN:** trasformatore a secco a circolazione d'aria naturale.

**AF:** trasformatore a secco a circolazione d'aria forzata.

**ONAN/ONAF:** trasformatore in olio a circolazione naturale e circolazione d'aria naturale o forzata (in alternativa).

**ONAN/OFAF:** trasformatori in olio a circolazione naturale o forzata (in alternativa) e circolazione d'aria naturale o forzata (in alternativa).

**AN/AF:** trasformatore a secco a circolazione d'aria naturale o forzata (in alternativa).

## 6.3 Tensione nominale e di cortocircuito

Nei trasformatori MT/BT la tensione nominale primaria deve corrispondere alla tensione nominale della rete di media tensione su cui il trasformatore va collegato.

Il trasformatore deve essere in grado di funzionare correttamente fino alla massima tensione ( $U_m$ ) del sistema.

### La tensione secondaria si differenzia in:

- tensione a vuoto, misurata ai morsetti del trasformatore in assenza di carico;
- tensione a carico, misurata ai morsetti del trasformatore quando eroga la corrente nominale.

Per tensione secondaria, senza altre indicazioni, si intende quella a vuoto.

Per la regolazione della tensione, i primari dei trasformatori a secco sono dotati di prese "ponticellabili", mentre nei trasformatori in liquido appositi commutatori sono in grado di modificare la tensione nominale.

La tensione di cortocircuito di un trasformatore ( $U_z$ ) è il valore della tensione da applicare al primario affinché circoli nel secondario (in cortocircuito) la corrente nominale  $I_r$  ed è espressa come percentuale della tensione nominale. I valori della tensione di cortocircuito possono essere concordati con il costruttore del trasformatore. Molto diffusi sono i valori 4% fino a 630 kVA, trasformatori in olio, e 6% per potenze superiori e in generale per la resina.

#### 6.4 La potenza erogabile dal trasformatore

La potenza erogabile dal trasformatore dipende dalle temperature di progetto e anche dalla temperatura ambiente.

Le varie forme costruttive si differenziano per le temperature massime di funzionamento dei materiali isolanti impiegati. Di tali temperature si deve tener debito conto per la corretta regolazione dei sistemi di protezione, basati sulla rilevazione della temperatura degli avvolgimenti.

Ogni costruttore indica nel libretto d'istruzione le temperature massime accettabili, in particolare le temperature di allarme e di intervento del dispositivo di protezione.

Le norme di prodotto fissano, a seconda della tipologia costruttiva, le sovratemperature ammissibili per i trasformatori di distribuzione:

- trasformatori in olio: temperatura ambientale massima 40°C; sovratemperatura dell'olio 60 K; sovratemperatura degli avvolgimenti 65 K;
- trasformatori in resina (classe F): temperatura ambientale massima 40 °C; sovratemperatura degli avvolgimenti 100 K.

A queste sovratemperature occorre aggiungere la sovratemperatura propria del punto di applicazione del sensore: per trasformatori

in resina e in aria si assume in genere una sovratemperatura di 15 K, per trasformatori in olio 13 K. Con i valori sopracitati è possibile ricavare le temperature a cui tarare il dispositivo di allarme e d'intervento dell'interruttore di protezione del trasformatore.

Ad esempio, in un trasformatore in resina:

- temperatura d'intervento = (temperatura ambientale massima) + (sovratemperatura massima) + (sovratemperatura del punto di applicazione del sensore) = 40+100+15 °C = 155 °C;
- temperatura d'allarme = temperatura di sgancio - sovratemperatura del sensore = (155-15)°C = 140°C.

#### 6.5 Tipo di servizio

I trasformatori in liquido sono costruiti in maniera da favorire i moti convettivi del fluido isolante all'interno del contenitore. La veloce circolazione del liquido fa sì che la macchina raggiunga la temperatura di regime in breve tempo (alla corrente nominale in pochi minuti). I trasformatori a secco usano l'aria come mezzo di raffreddamento ed impiegano più tempo (fino a 1,5 h) a raggiungere la temperatura di regime (alla corrente nominale).

In questo intervallo di tempo, i trasformatori a secco risultano più sovraccaricabili rispetto ai trasformatori in liquido, e quindi particolarmente adatti ad alimentare carichi con frequenti spunti di corrente.

L'impiego dei ventilatori assiali, a bordo dei trasformatori in resina, permette di sovraccaricare il trasformatore fino al 150% della potenza nominale.

Il servizio continuo con ventilatori assiali è da evitare perché le perdite a carico aumentano con il quadrato della corrente; perciò, con un sovraccarico del 150%, esse diventano 2,25 volte il valore nominale.

I ventilatori servono solo per fronteggiare processi particolari, che possano provocare aumenti inammissibili della temperatura degli avvolgimenti o per avere una riserva di potenza disponibile in casi di emergenza quali, ad

esempio, la temporanea messa fuori servizio di un altro trasformatore.

### 6.6 Perdite a vuoto ( $P_0$ ) e a carico ( $P_k$ )

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

Nei trasformatori a secco lo scambio termico è inferiore, in quanto il mezzo refrigerante è costituito dall'aria.

Gli avvolgimenti debbono essere perciò dimensionati per una densità di corrente inferiore, con minori perdite per effetto Joule.

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

Le bobine possono quindi essere avvicinate al nucleo con conseguente riduzione del traferro ed il nucleo magnetico può essere ridotto di dimensioni, ottenendo una diminuzione delle perdite a vuoto (perdite per isteresi e per correnti parassite). Nei trasformatori a secco, l'isolante è costituito dall'aria e presenta una rigidità dielettrica molto inferiore a quella del liquido.

È necessario quindi mantenere distanze di isolamento più elevate tra le bobine e il nucleo, con un aumento del traferro e conseguente incremento delle perdite a vuoto.

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

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

### 6.7 Rischio d'incendio

I trasformatori in liquido isolante sono prodotti principalmente in olio minerale.

L'infiammabilità dell'olio minerale introduce un maggior rischio in caso d'incendio, ciò riduce l'impiego di questa forma costruttiva, soprattutto da quando il legislatore ha limitato l'utilizzo del PCB (Policlorobifenile), che rendeva non infiammabile l'olio isolante. Esistono altri liquidi (es. esteri naturali o sintetici) per limitare il pericolo in caso d'incendio, che solo recentemente hanno trovato uno spazio con tendenza all'incremento, ma che necessitano ancora di alcuni adeguamenti formali dal punto di vista Legislativo.

I trasformatori a secco contribuiscono in misura molto minore all'incendio.

In particolare, quelli in classe di comportamento al fuoco F1 sono costruiti interamente con materiali ritardanti la fiamma e autoestinguenti; hanno quindi una infiammabilità ridotta ed una emissione minima di gas tossici e fumi opachi.

Nei trasformatori in olio sono richiesti provvedimenti per evitare la propagazione dell'incendio e lo spargimento dei liquidi isolanti, quali pozzetti di raccolta, griglie di spegnimento e barriere di separazione resistenti al fuoco.

La capacità del pozzetto deve essere tale da contenere tutto l'olio del trasformatore e del liquido del sistema antincendio e/o dell'acqua piovana per i trasformatori installati all'esterno. È inoltre, richiesta (vedere paragrafo dedicato) una segregazione, che può essere realizzata con modalità differenti a seconda che l'installazione sia all'esterno o all'interno.

Per i trasformatori a secco di classe F1 (trasformatori in resina) non è richiesto alcun provvedimento di separazione, infatti sono autoestinguenti.

### 6.8 Manutenzione ed eco-compatibilità

I trasformatori isolati in liquido devono essere periodicamente ispezionati e mantenuti, al fine di garantire che il sistema isolante utilizzato conservi inalterate le proprie caratteristiche dielettriche.

I trasformatori in aria, sono particolarmente sensibili alle condizioni climatiche dell'ambiente in cui sono installati (umidità, polverosità, presenza di sostanze aggressive), necessitano

di manutenzione periodica; è inoltre opportuno sottoporli ad un graduale riscaldamento prima della rimessa in servizio.

I trasformatori in resina devono essere solo ispezionati periodicamente per accertare l'assenza di accumulo di polvere e sporco. I trasformatori a secco (in aria e in resina) possono essere considerati la forma costruttiva più rispettosa dell'ambiente, il che si rivela particolarmente importante nel momento in cui occorre smaltire la macchina che ha esaurito il proprio ciclo di vita lavorativa.

I trasformatori in resina possono, in alcuni casi, essere riparati sul posto; ad esempio, in caso di cortocircuito su una fase si riesce a sostituire in loco la bobina interessata dal guasto. I trasformatori in liquido devono essere, invece, riparati presso l'azienda produttrice (in officina).

### 6.9 Affidabilità e disponibilità

Nel trasformatore, la parte che più è soggetta ad inquinamento è il sistema isolante; il dielettrico può essere costituito da un singolo materiale, o da una combinazione di materiali diversi.

Con le prove di accettazione si verifica la tenuta dielettrica del sistema di isolamento scelto, in seguito occorre impedire che si modifichino le sue caratteristiche a seguito di sollecitazioni anomale o influenza di fattori esterni. La rigidità dielettrica dei liquidi isolanti diminuisce notevolmente in presenza di piccole tracce di umidità.

Nei trasformatori in resina l'affidabilità dell'isolamento è strettamente legata alla corretta realizzazione della colata sotto vuoto, che deve risultare libera da inclusioni di aria, gas o corpi estranei. Poiché la resina ha una rigidità dielettrica di  $120 \div 160$  kV/cm contro i circa 30 kV/cm dell'aria, le particelle gassose, accidentalmente presenti nella resina, riducono la rigidità dielettrica e all'interno delle bolle d'aria (vacuoli) si può formare un arco. Tale fenomeno prende il nome di scarica parziale. Il materiale isolante perde così le proprie caratteristiche dielettriche, dando origine ad una scarica disruptiva. La costruzione degli avvolgimenti di media tensione in nastro,

anziché in filo, sollecita in misura minore l'isolante interposto tra le spire e riduce il fenomeno delle scariche parziali.

### 6.10 Rifasamento della corrente a vuoto

L'energia magnetizzante di un trasformatore MT/BT può essere compensata mediante una batteria di condensatori collegata permanentemente ai morsetti dell'avvolgimento di bassa tensione. La potenza della batteria va scelta in funzione della potenza magnetizzante del trasformatore funzionante a vuoto.

Per il calcolo della potenza reattiva  $Q_c$  assorbita dai condensatori, occorre fare riferimento al valore della corrente a vuoto  $I_0$  riportato sul rapporto di collaudo del trasformatore. La potenza reattiva  $Q_c$  (kVAR) dei condensatori è data da  $Q_c = (I_0\% / 100) \cdot S_n$ , dove  $I_0\%$  è la corrente a vuoto percentuale ed  $S_n$  la potenza nominale apparente della macchina.

Ad esempio se prendiamo in considerazione un trasformatore con potenza apparente  $S_n = 630$  kVA e  $I_0\% = 0,8\%$ , la potenza reattiva del banco di condensatori sarà pari a  $Q_c = (0,8 / 100) \cdot 630 = 5$  kVA.

### 6.11 Campo elettromagnetico, inquinamento ambientale (EMF)

Il campo elettrico dei trasformatori a secco e dei trasformatori in olio, così come la componente dovuta ai loro collegamenti, è nel complesso trascurabile, poiché gli involucri dei trasformatori in olio e le carpenterie di protezione dei trasformatori a secco funzionano come gabbie di Faraday.

I campi magnetici, invece, possono rappresentare fonti di inquinamento ambientale.

L'induzione magnetica relativa ad un trasformatore a secco, senza carpenteria di protezione, da 630 kVA con tensione di cortocircuito 6% è circa 5 microTesla a 3 m di distanza.

Per un trasformatore in olio minerale delle stesse caratteristiche e nelle stesse condizioni, l'induzione magnetica scende a 3 microTesla.

Il valore dell'induzione magnetica (B) decresce rapidamente al crescere della distanza dal

trasformatore.

Per distanze comprese tra 1 m e 10 m da un trasformatore in resina si può calcolare il valore di B con la formula:

$$B(a) = 5\mu T \frac{u_k}{6\%} \sqrt{\frac{S_n}{630kVA}} \left(\frac{3m}{a}\right)^x$$

La formula empirica riportata si basa su diverse misure effettuate in sala prove per validare il modello. Si riporta di seguito lo spettro di emissione di un trasformatore da 1000 kVA alimentato alla sua corrente nominale.

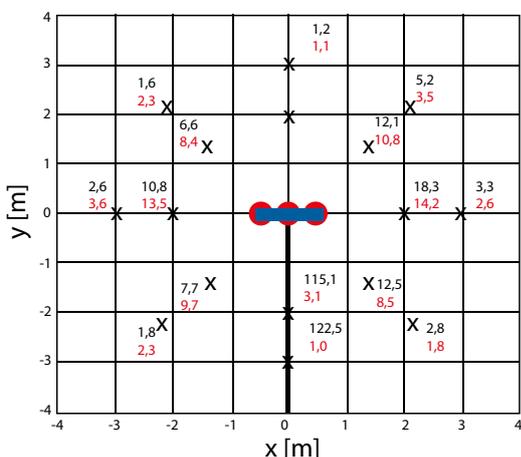


Figura 6.3: Spettro di emissione di un trasformatore

Il trasformatore è rappresentato visto dall'alto. Ha il secondario in corto circuito e viene alimentato a tensione ridotta in modo da far circolare nel secondario la corrente nominale. In rosso i valori del campo magnetico in microTesla con i morsetti del secondario in corto circuito.

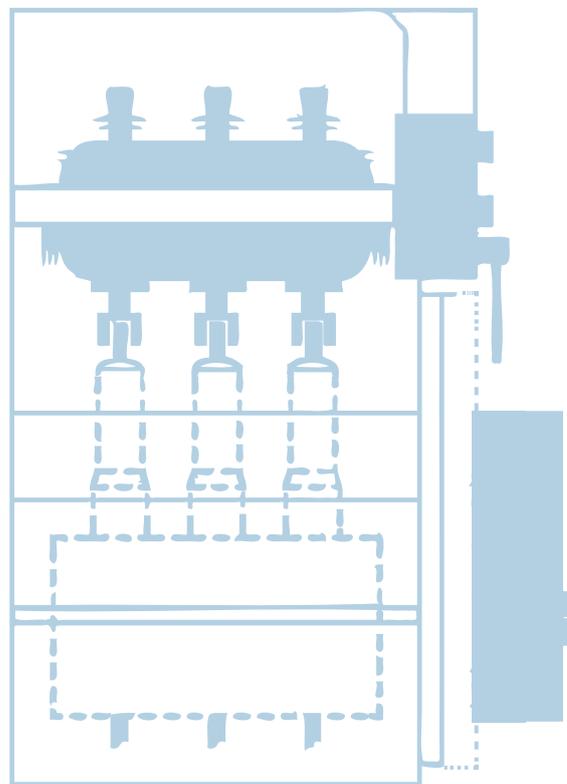
In nero i valori con il cortocircuito realizzato al termine di uno spezzone di 4 metri di cavo collegato al secondario. I valori in rosso sono propri del campo emesso dal solo trasformatore, i valori in nero tengono conto dell'effetto dei cavi che vanno verso il quadro di bassa tensione. Se nelle immediate vicinanze del trasformatore è prevista la presenza continuativa di persone,

uffici o officine, è bene posizionare il lato di bassa e il QBT dal lato della cabina non interessato alla vicinanza con le attività lavorative.

Dal lato opposto alla bassa tensione a tre metri dal trasformatore si misurano valori sotto la soglia dei 3 microTesla della legge quadro nr. 36 del 22/02/2011 sulla "protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", indicati come obiettivo di qualità, cioè il limite da non superare negli impianti di nuova progettazione.

Quindi il trasformatore di distribuzione non sarà mai responsabile del superamento dei limiti di legge nelle immediate vicinanze delle comuni cabine di trasformazione, basti pensare che l'esempio è relativo a un solo trasformatore mentre eroga 1400 A, quindi uno dei casi peggiori che si possono riscontrare in realtà.

È possibile limitare l'effetto del campo magnetico mediante: carpenterie di protezione del trasformatore; riduzione della tensione di cortocircuito; rivestimento del soffitto e delle pareti del locale cabina con pannelli di alluminio.

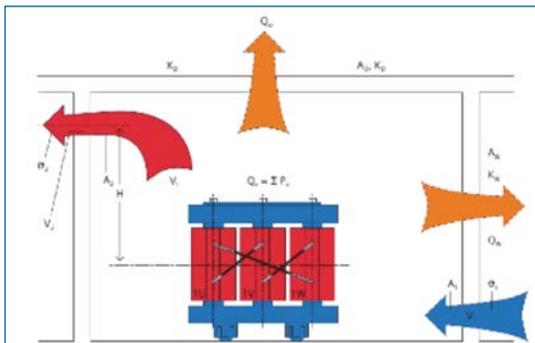


### 6.12 Ventilazione del locale trasformatori

La potenza nominale di un trasformatore è riferita alla temperatura ambiente: massima 40°C; media giornaliera 30°C; media annuale 20°C. Il rispetto di questi valori garantisce il corretto funzionamento del trasformatore per tutta la durata di vita prevista.

La circolazione d'aria necessaria alla ventilazione naturale si ottiene mediante aperture di aerazione, ricavate su due pareti contrapposte del locale.

Nell'esempio di calcolo della ventilazione naturale che segue, si trascura l'effetto di smaltimento del calore attraverso pareti e soffitto della cabina.



- $Q_v$ : perdite totali estratte dal locale
- $P_v$ : perdite del trasformatore (kW)
- $V$ : velocità dell'aria
- $A_{1,2}$ : superficie di entrata e uscita
- $A_{\Delta L}$ : riscaldamento dell'aria (k)  $\Delta\delta_L = \delta_1 = \delta_2$
- $H$ : distanza tra il trasformatore e l'uscita dell'aria
- $Q_w$ : perdite scambiate con l'esterno attraverso le pareti
- $Q_D$ : perdite scambiate con l'esterno attraverso il soffitto
- $K_{D,W}$ : cifra di trasmissione termica  $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$   
D - soffitto, W - Parete
- $V_L$ : quantità d'aria

Figura 6.4: Esempio di calcolo della ventilazione naturale di un trasformatore

Il calore prodotto dalle perdite del trasformatore si calcola con la seguente formula:

$$P_v = P_0 + 1,1 \times PK_{120} \times (S_{AF}/S_{AN})^2 \text{ (kW)}$$

Dove:  $S_{AF}$  è la potenza apparente del trasformatore con raffreddamento forzato (kVA) e  $S_{AN}$  è la potenza apparente del trasformatore con raffreddamento naturale (kVA).

La quantità di calore asportabile per ventilazione naturale  $Q_{v1} = P_v$  si calcola con la seguente formula:

$$Q_{v1} = 0,1 A_{1,2} \sqrt{H \Delta\theta_L^3} \text{ (kW)}$$

Sia dato:  $P_v = 10\text{ kW}$ ;  $\Delta\theta_L = 15\text{ k}$ ;  $H = 5\text{ metri}$

Si ricercano: Superficie d'aria in entrata  $A_1$  ed in uscita  $A_2$  e quantità (volume  $m^3$ ) in entrata e uscita  $V_L$

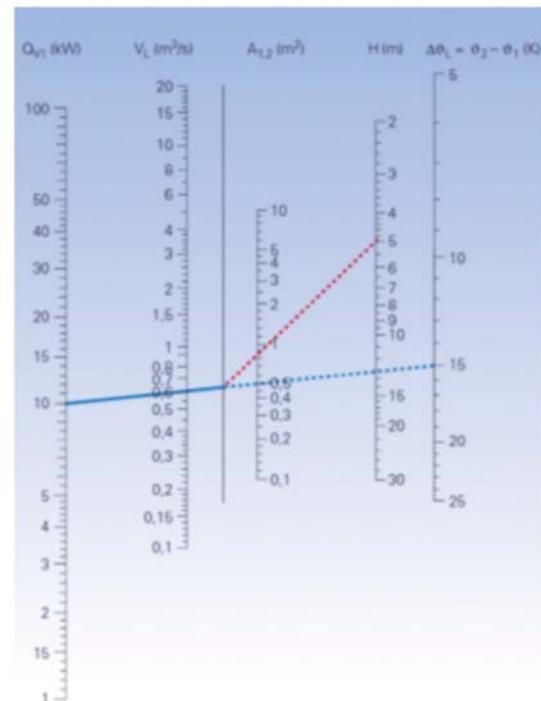


Figura 6.5: Grafico per valutazione ventilazione

Dal valore di  $Q_{v1} = 10 \text{ kW}$  tracciare una linea fino al valore di  $\Delta\vartheta_L = 15 \text{ K}$  (salto termico dato di progetto). La linea tracciata incrocia l'asse della quantità d'aria necessaria al raffreddamento nel punto corrispondente al valore di  $V_L = 0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Significa che, ipotizzando un salto termico di  $15\text{K}$ , per ogni  $\text{kW}$ , sono necessari circa  $200\text{m}^3/\text{ora}$  per raffreddare il trasformatore.

Tracciare una nuova linea dal punto in cui la precedente incontra la linea centrale non graduata fino al valore di  $H = 5 \text{ m}$ .

Questa nuova linea interseca l'asse della superficie  $A_{1,2}$  nel punto corrispondente al valore di  $0,78\text{m}^2$  cioè la superficie libera d'entrata ed uscita dell'aria di raffreddamento.

La ventilazione forzata si applica quando il locale non comunica con l'esterno e bisogna costruire una condotta oppure quando le dimensioni delle aperture non sono sufficienti. L'analisi di questo caso non può trovare qui lo spazio necessario.

### 6.13 Rumore

La principale fonte di rumore di un trasformatore (ronzio) è dovuta al fenomeno chiamato strizione magnetica (magnetostrizione: deformazione di un materiale ferromagnetico a seguito dell'applicazione di un campo magnetico esterno) presente nei lamierini del nucleo magnetico. Nei trasformatori di distribuzione essi dipendono dall'induzione, non però dal carico. Per i carichi speciali, le armoniche di tensione, dovute ad esempio al funzionamento dei convertitori, ne aumentano il livello di rumore.

La potenza acustica  $L_{WA}$  è una misura della quantità di rumore prodotto da una fonte acustica. Essa caratterizza il rumore della fonte ed è, contrariamente al livello di pressione acustica LPA, indipendente dal luogo di misura o dall'acustica nell'ambiente; per questo motivo è opportuno riferirsi ai valori di  $L_{WA}$  per la stesura di specifiche e documenti di progetto e non al valore di pressione acustica LPA.

Nelle norme di prodotto dei trasformatori

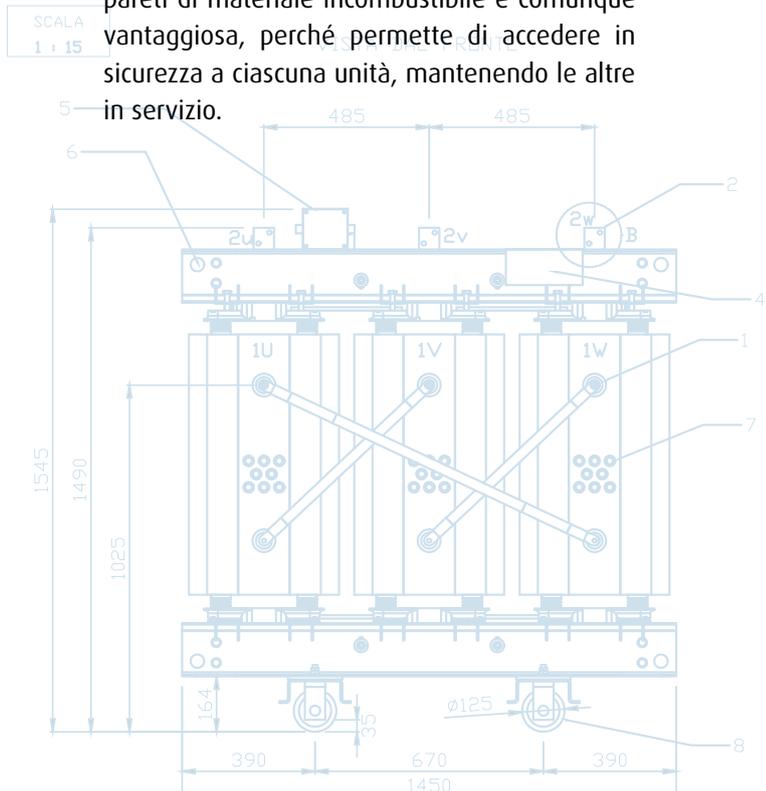
(esempio CEI EN 50541-1 per la resina) sono riportati i valori di  $L_{WA}$  per tutte le grandezze di trasformatori normalizzati.

### 6.14 Protezione contro i contatti diretti

Il trasformatore deve essere installato in modo da impedire contatti accidentali con i terminali e le superfici isolanti degli avvolgimenti. Le misure di protezione sono prescritte dalla norma CEI 99-2 che ha sostituito la CEI 11-1, con nuove definizioni. La protezione contro i contatti diretti consiste nell'impedire alle persone il contatto con le parti attive nude o di portarsi ad una distanza tale per cui possa avvenire una scarica, si possono adottare barriere di diverso tipo con un'altezza minima di  $1,8 \text{ metri}$ .

Verificate le condizioni per l'impedimento dei contatti accidentali, i trasformatori in resina possono essere installati, senza particolari accorgimenti, nello stesso locale con i quadri di media e bassa tensione.

Nel caso di più trasformatori in resina di classe F1 nello stesso locale, non sono prescritte particolari precauzioni contro gli incendi, né provvedimenti per la loro separazione. Una separazione tra i trasformatori, mediante pareti di materiale incombustibile è comunque vantaggiosa, perché permette di accedere in sicurezza a ciascuna unità, mantenendo le altre in servizio.



---

## CAPITOLO 7

# QUADRI ELETTRICI DI BASSA TENSIONE

I quadri di bassa tensione normalmente installati nelle cabine di trasformazione subito a valle dei trasformatori MT/BT (o dei generatori) sono conosciuti come "Power Center" (in italiano "quadri di potenza"), che però nell'accezione internazionale "Power assemblies" includono più diffusamente i quadri intesi per la distribuzione elettrica in bassa tensione, fino ad un livello secondario di distribuzione.

Il ruolo fondamentale e prioritario del power center è quello di distribuire la potenza elettrica garantendo la sicurezza delle persone e delle cose, ma, con l'evolversi delle esigenze di monitoraggio, misura e controllo sull'impianto, questa caratteristica non può rimanere separata dal contesto.

La funzione del quadro di bassa tensione e, nel nostro caso, del power center, cambia evolvendosi in un quadro per il controllo e per la gestione dell'energia a servizio dell'efficienza dell'impianto.

In questo senso, il quadro deve essere accessoriatato da una serie di strumenti di misura e da altri apparecchi di comando e controllo; con le moderne tecnologie sempre più i dispositivi di protezione integrano funzioni di misura dell'energia, comando e comunicazione a distanza, permettendo un controllo totale del sistema di distribuzione elettrica.

Un quadro siffatto diventa un componente attivo dell'impianto elettrico e adatto alla gestione dell'energia.

### 7.1 Norme di riferimento

La norma di riferimento è la CEI EN 61439-2: "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT). Parte 2: Quadri di potenza", da leggersi congiuntamente alla Parte 1 contenente le regole generali e a cui si rimanda per le modalità di applicazione e per le prescrizioni costruttive e di prestazione comuni a tutti i tipi di quadro BT.

I "power center", proprio a causa del loro campo d'applicazione e punto di installazione all'interno dell'impianto BT, presentano correnti d'impiego e valori di tenuta al corto circuito elevati, rappresentano il primo livello della distribuzione BT, e sono equipaggiati normalmente con interruttori, automatici e non, aperti e scatolati.

In generale, per un quadro di distribuzione principale per interno e generalmente posizionato in locali tecnici dedicati, si dovrebbe richiedere una forma di segregazione adeguata al livello di continuità di servizio che si vuole garantire (maggiore è il livello di continuità di servizio richiesto e più alta dovrà essere la forma di segregazione).

Per i power center si devono consentire manutenzione e interventi in sicurezza in una zona senza creare disservizio nelle altre, e quindi il quadro viene diviso in aree funzionali (celle) ed è equipaggiato con interruttori in esecuzione estraibile per velocizzare la sostituzione degli stessi.

La forma di segregazione 4 è in generale la caratteristica specifica per garantire queste

possibilità al power center, che costituisce l'elemento di base di tutto l'impianto al quale è richiesta una continuità di servizio estrema. Inoltre, per ottenere un maggiore livello di sicurezza in esercizio e durante la manutenzione la forma 4 è generalmente consigliata con la lettera aggiuntiva "B", la cui caratteristica

specificata è che "i terminali per conduttori esterni non sono nella stessa cella come unità funzionale associata ma sono in spazi o celle individuali, separati rinchiusi e protetti".

Si riporta di seguito la tabella 104 della Norma CEI EN 61439-2 che descrive i livelli di segregazione possibili.

Tabella 7.1: Forme di segregazione interna

Criteri principali	Criteri secondari	Forma
Nessuna segregazione interna		Forma 1
Segregazione delle sbarre da tutte le unità funzionali	I terminali per conduttori esterni non sono separati dalle sbarre	Forma 2a
	I terminali per conduttori esterni sono separati dalle sbarre	Forma 2b
<ul style="list-style-type: none"> <li>Segregazione delle sbarre da tutte le unità funzionali</li> <li>Segregazione di tutte le unità funzionali tra loro</li> <li>Segregazione dei terminali per conduttori esterni e dei conduttori esterni dalle unità funzionali ma non dai terminali delle altre unità funzionali</li> </ul>	I terminali per conduttori esterni non sono separati dalle sbarre	Forma 3a
	I terminali per conduttori esterni sono separati dalle sbarre	Forma 3b
<ul style="list-style-type: none"> <li>Segregazione delle sbarre da tutte le unità funzionali</li> <li>Segregazione di tutte le unità funzionali tra loro</li> <li>Segregazione dei terminali per conduttori esterni associati ad un'unità funzionale dai terminali di qualsiasi altra unità funzionale e dalle sbarre</li> <li>Segregazione dei conduttori esterni dalle sbarre</li> <li>Segregazione dei conduttori esterni associati ad un'unità funzionale dalle altre unità funzionali e dai loro terminali</li> <li>I conduttori esterni non necessitano di essere separati tra loro</li> </ul>	I terminali per conduttori esterni sono nella stessa cella come unità funzionale associata	Forma 4a
	I terminali per conduttori esterni non sono nella stessa cella come unità funzionale associata ma sono in spazi o celle individuali, separati rinchiusi e protetti	Forma 4b

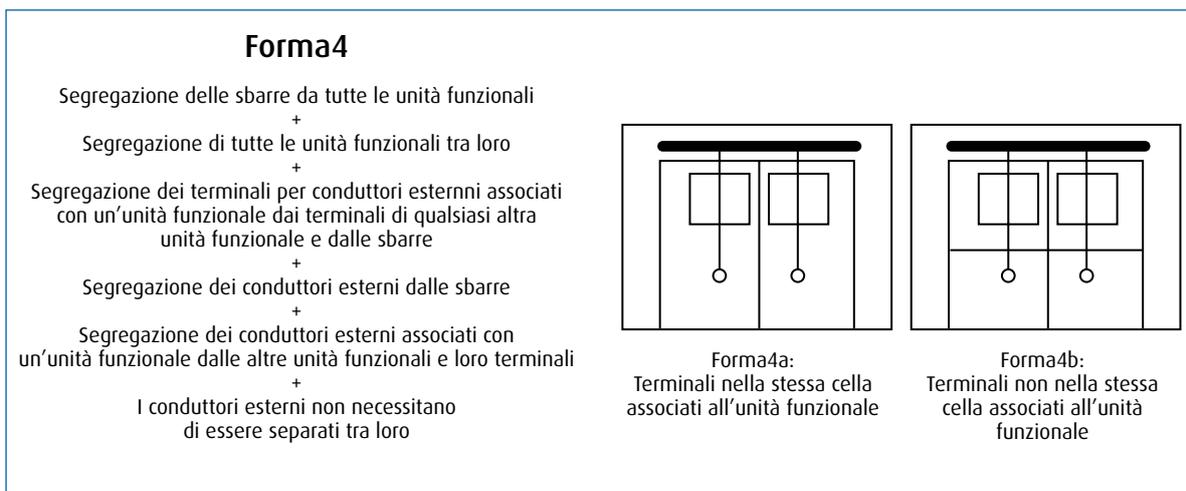


Figura 7.1: Forma di segregazione 4

Costruttivamente i power center comprendono una o più unità di ingresso; la corrente all'interno viene distribuita mediante idonei sistemi sbarre che posso essere anche più di uno, in funzione della presenza di congiuntori e arrivi linea da gruppi elettrogeni, ed un numero relativamente ridotto di unità di uscita.

Come già detto, caratteristiche peculiari di questi quadri sono gli elevati valori delle correnti nominali e di cortocircuito, e per poter garantire queste prestazioni i costruttori hanno sviluppato delle strutture metalliche rinforzate, atte a resistere alle elevate sollecitazioni elettromeccaniche. Questo tipo di struttura realizzata ad armadio "a pavimento" supporta, con diverse profondità, l'installazione di apparecchiature e di sistemi sbarre di grandi dimensioni.

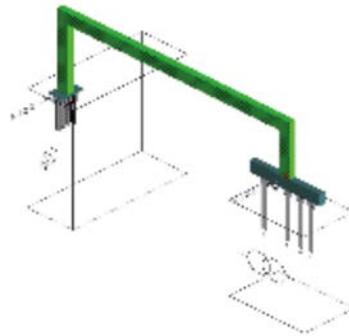
Il tipo costruttivo prevede scomparti divisi in più celle ad accesso selettivo, per permettere la manutenzione e l'intervento in condizioni di sicurezza in una sezione del quadro senza mandare fuori servizio le altre utenze.

## 7.2 Caratteristiche di specificazione per un quadro "Power Center"

La Tabella allegata mostra un esempio in cui sono indicate le caratteristiche in precedenza trattate relative ad un quadro Power Center posizionato in una cabina di trasformazione MT/BT, collegato al trasformatore attraverso un condotto sbarre prefabbricato (vedere Allegato BB della Norma CEI EN 61439-2).

La Figura illustra il collegamento di un quadro Power Center, posizionato in una cabina MT/BT, attraverso un condotto sbarre prefabbricato proveniente dal trasformatore.

L'Allegato BB della Norma CEI EN 61439-2 è un modello informativo da utilizzare in modo che l'utilizzatore identifichi le caratteristiche del quadro necessarie al costruttore del quadro per la realizzazione.



*Figura 7.2: Collegamento di un quadro Power Center attraverso un condotto sbarre prefabbricato*

Di seguito una tabella con le caratteristiche per identificare le informazioni necessarie al costruttore del quadro (Power Center) per la sua realizzazione.

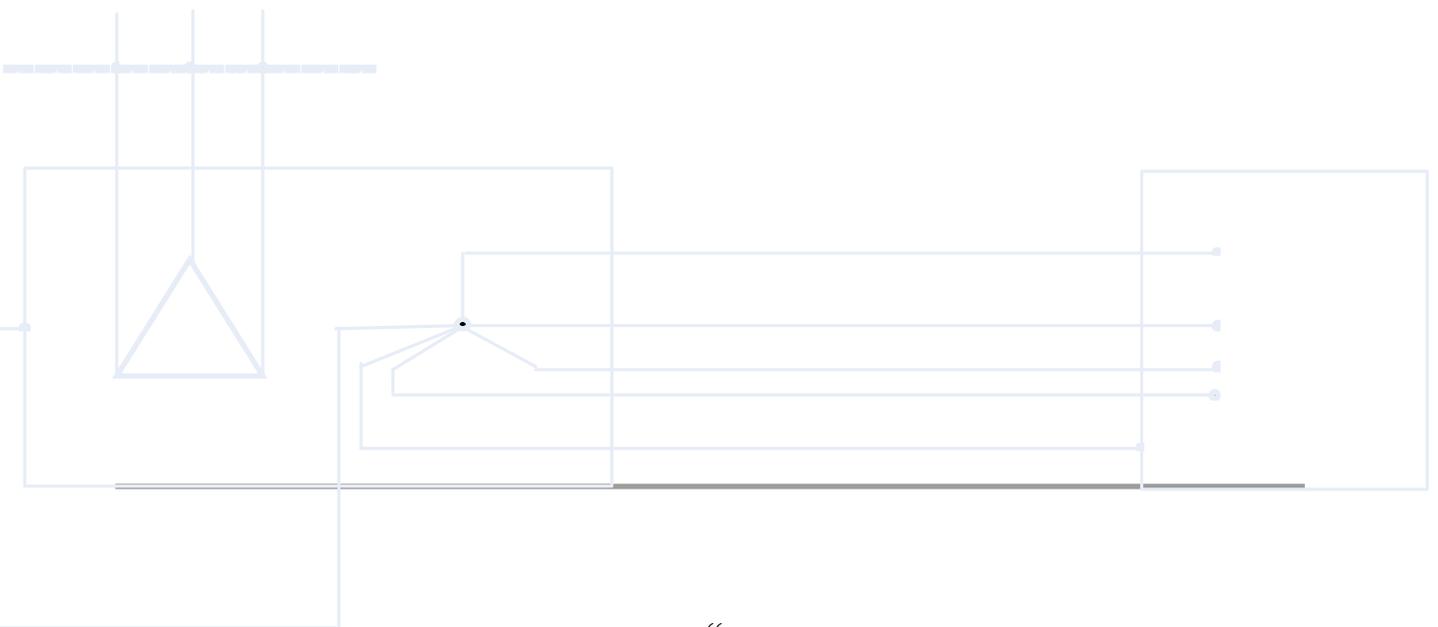


Tabella 7.2: Esempio di compilazione dell'allegato BB della Norma CEI EN 61439-2

Caratteristiche del quadro (vedi Allegato BB della CEI EN 61439-2)	Prescrizioni da riportare	Note
Protezione contro l'ingresso di corpi solidi e l'ingresso di liquidi	Interno: IP3X	IP30 poiché normalmente i quadri MT o i trasformatori non hanno IP superiori
Impatto meccanico esterno (IK) NOTA La Norma CEI EN non nomina in maniera specifica il grado IK	IK08	In cabina non esistono rischi agli urti importanti
Resistenza ai raggi UV (si applica solo ai quadri per esterno, se non diversamente specificato)	Non previsto	Il quadro è installato all'interno
Resistenza alla corrosione	Severità di prova A	Il quadro è installato all'interno
Temperatura dell'aria ambiente limite inferiore	Come previsto dalla norma	
Temperatura dell'aria ambiente limite superiore	Come previsto dalla norma	
Temperatura dell'aria ambiente massimo valore medio giornaliero	Come previsto dalla norma	
Temperatura dell'aria ambiente limite inferiore	Come previsto dalla norma	
Massima umidità relativa	Come previsto dalla norma	
Condizioni speciali di servizio: • vibrazioni; • condensa eccessiva; • inquinamento gravoso; • ambiente corrosivo; • campi elettrici e magnetici intensi; • funghi; • piccoli animali; • pericolo di esplosione; • vibrazioni e scosse intense; • inondazioni	Resistenza anticondensa Prevedere piastra pressa cavi sul fondo Non previste	Ambiente non particolarmente aggressivo ma con possibilità di piccoli animali / roditori dal cunicolo cavi inferiore
Dimensioni massime esterne e masse	(2400 x 600 x 2000) mm Massa 1850 Kg	Indicazioni necessarie per la realizzazione dei supporti di fissaggio / ferri di base
Tipo/i di conduttore/i esterno/i	Condotto sbarre	In questo caso il quadro dovrà essere predisposto per lo staffaggio ed il collegamento del condotto e garantire il grado di protezione richiesto
Verso del/i conduttore/i esterno/i	Dall'alto	
Materiale del conduttore esterno	Rame	
Dimensioni massime e masse dell'unità trasportata	800 x 600 x 2000 Massa 1000 Kg	
Metodi di trasporto (gru, muletto)	Gru	
Dettagli sull'imballaggio	Gabbia in legno	
Prescrizioni relative all'accessibilità in esercizio da parte di persone autorizzate per l'estensione	Utilizzo di celle per ogni unità o gruppo funzionale	Grado con richiesta di alta continuità di servizio e ampliamenti sotto tensione
Protezione contro i contatti diretti di parti interne pericolose in tensione durante la manutenzione o l'aggiornamento (ad esempio le unità funzionali, le sbarre principali, le sbarre di distribuzione)	Barriere ed involucri	In alternativa di tutte le parti attive
Forma di segregazione	Forma 4b	Consente l'aggiunta / sostituzione di unità funzionali anche con quadro sotto tensione

### 7.3 Tenuta all'arco interno per un quadro "Power Center"

La norma CEI EN 61439-2 non ritiene obbligatoria la verifica di tenuta all'arco interno dei quadri elettrici di bassa tensione, per poterne attestare la conformità.

In generale, in un quadro progettato e verificato seguendo le prescrizioni della norma di prodotto e realizzato a regola d'arte, mantenuto secondo il programma di manutenzione indicato dal costruttore, la possibilità che una perdita di isolamento al suo interno provochi un arco è altamente improbabile.

Tale possibilità è spesso legata a condizioni ambientali particolari e/o a operazioni post installazione, indipendenti dalla conformità iniziale assicurata dal costruttore del quadro alla consegna.

Nel caso remoto in cui ciò accada, l'arco interno può essere provocato da:

- errori commessi operando sul quadro, effettuando lavori di manutenzione o di modifica, per es. introducendo corpi estranei conduttivi, strumenti, attrezzi o altro e non rimuovendoli dopo l'uso
- penetrazione di piccoli animali attraverso aperture per il passaggio dei cavi, fori di ventilazione non protetti, ecc
- scelta o regolazione errata dei dispositivi di protezione contro il cortocircuito
- carichi di valore superiore e/o condizioni ambientali più gravose (temperatura, sovratensioni, ...) rispetto a quanto previsto in fase di progetto, che portino ad un degrado prematuro dell'isolamento
- sostituzione non corretta di componenti.
- eliminazione o non corretto riposizionamento di segregazioni
- carenza di manutenzione, ecc

Queste cause sono spesso evitabili assicurandosi che le prestazioni del quadro siano adeguate a quanto richiesto dall'applicazione, eseguendo rigorosamente un programma di manutenzione ed efficienti procedure operative.

Nello specifico, per il Power Center all'interno della Cabina MT/BT, l'argomento è di particolare interesse soprattutto per la caratteristica di distribuzione principale a cui il quadro deve rispondere e cioè garantire, per quanto possibile, la continuità di servizio all'intero impianto ad esso sotteso.

Da questo punto di vista, la possibilità d'arco interno implica un fattore di rischio che deve essere accuratamente analizzato e, di conseguenza, se ne deve valutare l'impatto e, infine, escluderlo quando occorre.

I costruttori di Power Center hanno la possibilità di provare la tenuta all'arco interno dei propri prodotti, utilizzando la pubblicazione CEI IEC/TR 61641: "Guida per la prova in condizioni d'arco dovuto a un guasto interno"

Questo Technical Report IEC (recepito dal CEI) fornisce indicazioni sui metodi di prova dei quadri in condizioni d'arco in aria dovuto a un guasto interno, al fine di valutarne la loro attitudine nel limitare i danni al loro interno ed il rischio di lesioni alle persone, nonché valutare la loro idoneità ad un ulteriore servizio.

In funzione delle valutazioni relative all'applicazione dell'impianto, alle esigenze di continuità di servizio e al rischio per la sicurezza di persone e cose all'interno dell'ambiente, può essere richiesta una classificazione diversa del quadro in base alla sua prestazione nei confronti della tenuta all'arco interno.

Ad esempio, per il Power Center si ha la possibilità di limitare il numero di persone che possono essere esposte ad un guasto con arco, posizionandolo in un'area ad accesso limitato (la Cabina MT/BT, per l'appunto). Nella pratica, se solamente il personale autorizzato ha accesso al QUADRO, allora il rischio di utilizzo non corretto e di errori di manipolazione viene ridotto.

In tal senso il TR 61641 fornisce nel suo Allegato A una tabella di sintesi qui riportata. All'interno del documento sono riportati i criteri classificazione e i relativi metodi di prova e di accettazione dei risultati attraverso cui il quadro può essere classificato.

Tabella 7.3: Tab A.1 – Opzioni per la classificazione

Elemento di classificazione	Classificazioni	Commenti
QUADRO provato secondo il presente Rapporto Tecnico	<b>CLASSE D'ARCO A:</b> protezione delle persone (Criteri da 1 a 5)	Quando esiste un accordo tra l'utilizzatore e il costruttore, si possono applicare meno criteri o differenti criteri.
	<b>CLASSE D'ARCO B:</b> protezione delle persone più arco limitato ad un'area definita nel QUADRO (Criteri da 1 a 6)	
	<b>CLASSE D'ARCO C:</b> protezione delle persone più arco limitato ad un'area definita nel QUADRO. Il funzionamento limitato dopo il guasto è possibile (Criteri da 1 a 7)	
	<b>CLASSE D'ARCO I:</b> QUADRO che fornisce la protezione mediante zone protette dall'innesco d'arco. (Criteri da 1 a 7)	
Accesso	Limitato (predefinito)	Solo le persone autorizzate hanno accesso al QUADRO.
	non limitato	Il QUADRO può essere posto in un luogo accessibile a chiunque, comprese le persone comuni.

#### 7.4 Altre caratteristiche e definizioni per il Power Center "intelligente"

Attraverso il Power Center "intelligente" e le sue apparecchiature, devono passare informazioni fondamentali per la gestione energetica dell'impianto, quali ad esempio:

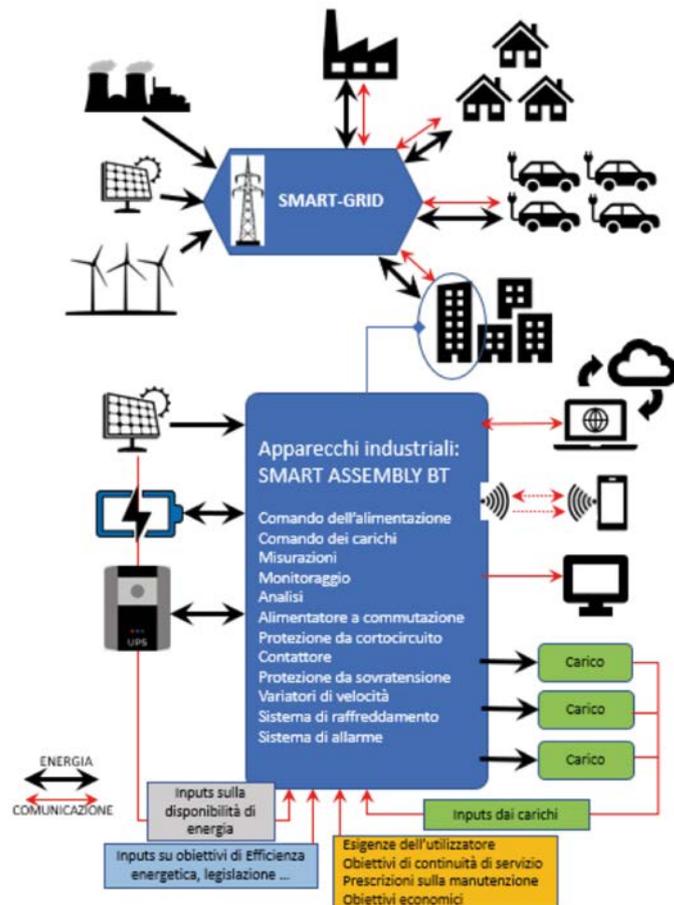
- le regolazioni dei dispositivi di protezione,
- il tipo di guasto che ha causato lo sgancio di un dispositivo,
- lo stato dell'installazione prima del fuori servizio,
- la gestione automatica di un distacco-riattacco carichi,

oltre a tutte le misure delle energie e delle potenze.

In questo contesto, l'utente deve poter avere,

attraverso soluzioni e tecnologia innovative, tutti gli elementi per:

- ottimizzare i consumi
- ripartire i costi per ogni attività, dipartimento, centri di costo
- ottimizzare e pianificare preventivamente la manutenzione
- analizzare i profili di carico
- prevenire costosi fuori servizio
- individuare gli sprechi
- migliorare l'affidabilità e la continuità di servizio dell'impianto
- intervenire in modo mirato a fronte di un problema grazie ad una precisa diagnostica degli eventi



### Definizione di “Quadro intelligente”:

Apparecchiatura assiemata a bassa tensione che integra le funzioni elettrotecniche tradizionali (in conformità alle prescrizioni della norma CEI EN 61439-2) e le funzioni di elaborazione dati o comunicazione digitale in un sistema collegato.

### Differenti tipi di “Quadro intelligente”

- Quadro intelligente “locale”
- Raccoglie i dati dai dispositivi installati all’interno del Quadro o installati all’esterno ma collegati al quadro
- Centralizza i dati
- Consente la visualizzazione e/o l’interpretazione dei dati localmente attraverso lo schermo di computer, smartphone o tablet
- I dati locali possono essere utilizzati per il normale funzionamento del quadro (Ad esempio: un misuratore d’energia con lo schermo)

- Quadro intelligente “connesso”
- Raccoglie i dati dai dispositivi installati all’interno del Quadro o installati all’esterno ma collegati al quadro
- Archivia i dati
- Invia e riceve i dati con continuità verso e dall’esterno del Quadro (utilizzando differenti tipi di comunicazione);
- Trasmette lo stato del dispositivo di protezione: aperto, chiuso, sganciato su guasto ...;
- Trasmette lo stato della misura: I, U, P, cos , temperatura...;
- Riceve l’informazione dallo stato della rete (tariffa oraria, ...);
- Riceve l’aggiornamento dei software e dei parametri di programmazione;
- Riceve gli ordini dall’esterno (smart grid);
- Il trattamento dei dati può avere un’azione sul dispositivo o sull’apparecchiatura e sul quadro.

---

## CAPITOLO 8

# COLLEGAMENTO IN CAVO E IN CONDOTTO SBARRE

La distribuzione dell'energia elettrica in cabina MT/BT in bassa tensione, cioè a valle del trasformatore, può essere fatta tramite cavi o condotti sbarre. Qui di seguito analizziamo i vantaggi e svantaggi di entrambe le soluzioni.

Innanzitutto si deve considerare che, indipendentemente dalla soluzione che si sceglierà, in cabina di trasformazione vi sono da trasmettere alti flussi di corrente e il valore della corrente di corto circuito trifase è in genere alta; progettualmente quindi bisogna scegliere il sistema di distribuzione che, compatibilmente con gli spazi ridotti, assolvà al meglio al compito.

### 8.1 Criteri di dimensionamento

La linea di distribuzione dal trasformatore al quadro generale di bassa tensione deve essere protetta, come previsto dalle norme, sia dal sovraccarico che dal corto circuito; generalmente, per questo tipo di connessione, la protezione dal sovraccarico è demandata all'interruttore generale di bassa tensione, mentre la protezione da corto circuito è demandata all'interruttore di media tensione che protegge anche il trasformatore.

L'obiettivo quindi è di predisporre una linea adatta a sopportare il sovraccarico previsto, introdurre una minima caduta di tensione al carico nominale e soprattutto a sopportare l'energia passante in condizioni di corto circuito.

### 8.2 Soluzione in cavo

Il Cavo presenta il vantaggio di essere flessibile, normalmente nelle cabine trova alloggio nei cavidotti a cunicolo che devono essere

predisposti fra il trasformatore e il Power Center di bassa tensione. È possibile anche posa aerea, ma in questo caso devono essere previste passerelle portacavi opportunamente vincolate a parete o a soffitto. Il problema principale dell'uso dei cavi è l'ingombro dei medesimi soprattutto quando è necessario predisporre vie in parallelo a causa dell'elevata corrente di linea che devono portare (per es. un trasformatore da 400 kVA Dyn11 20/0,4 kV  $v_{cc}\% = 4$  richiede, per una linea a valle di 10 metri, 2 cavi da 120 mm<sup>2</sup> di sezione in parallelo per fase. La stessa situazione ma con un trasformatore 2000 kVA  $v_{cc}\% = 6$  richiede 8 corde da 240 mm<sup>2</sup> in parallelo per fase).

### 8.3 Soluzione in condotto sbarre

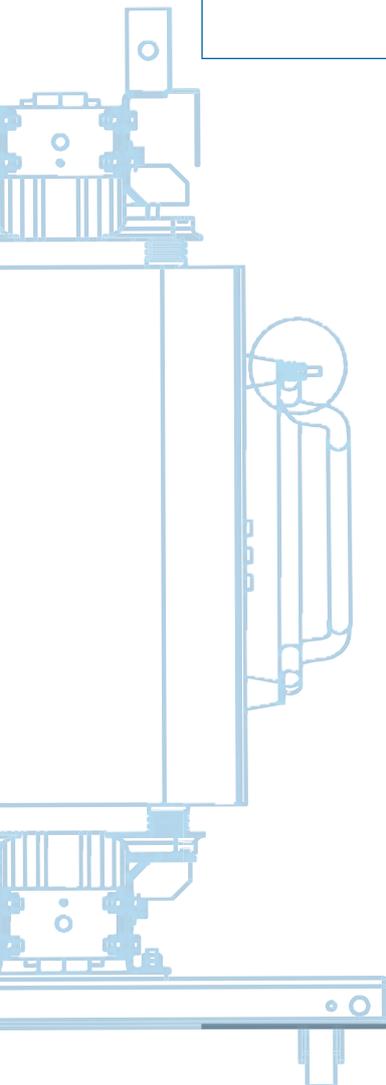
La soluzione in condotto sbarre risulta meno flessibile per via della rigidità meccanica del sistema ma può essere montato sia a pavimento che, più usualmente, a soffitto. In questo caso non sono necessari lavori di predisposizione dei cavedi e pertanto si possono disporre i componenti di cabina (quadri di media tensione, di bassa tensione e trasformatori MT/BT, UPS e Rifasatori) secondo le modalità consentite dagli spazi senza essere troppo vincolati alle geometrie dei cavedi. La soluzione in condotto sbarre, soprattutto per le elevate potenze, risulta più compatta e meno ingombrante in cabina. Il sistema condotto sbarre inoltre, per come viene previsto dai costruttori, offre una migliore garanzia di installazione in conformità alla regola dell'arte in termini di sovraccaricabilità, tenuta al corto circuito, campi elettromagnetici (EMF) e resistenza al fuoco.

## 8.4 Conclusioni

In conclusione la scelta fra l'installazione di vie cavi o condotto sbarre per l'alimentazione del Power Center può essere riassunta nella tabella seguente.

**Tabella 8.1:** Caratteristiche principali dell'installazione di cavi o di condotti sbarre

installazione	vantaggi	svantaggi
CAVO	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Flessibilità</li><li>2. Reperibilità diretta</li><li>3. minori perdite in linea a carico</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. necessità di cavedi</li><li>2. predisposizione di vie in parallelo</li><li>3. resistenza al fuoco</li><li>4. emissioni elettromagnetiche più elevate</li></ol>
CONDOTTO SBARRE	<ol style="list-style-type: none"><li>1. resistenza al fuoco</li><li>2. resistenza al sovraccarico e corto circuito</li><li>3. basse emissioni elettromagnetiche</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. necessaria la progettazione meccanica del costruttore</li><li>2. maggiori perdite in linea a carico</li></ol>







## ELENCO AZIENDE ANIE

### ELENCO AZIENDE ASSOCIATE SOTTOGRUPPO CABINE ELETTRICHE

A.S.C.C. • ARNA • BESTEFA DI ROCCO IAPICCA • BETONCABLO • CEP • CONTE COSTRUZIONI • DELTA TECHNOLOGY • EDILCEEM • EDILTEVERE • FERRARI GIUSEPPE • FRAMAR • GECAB PREFABBRICATI • ITALCABINE • NTET • PRECABL • ROXTEC ITALIA • SIPA • TCT • TMS CONTRACT

### ELENCO AZIENDE ASSOCIATE SOTTOGRUPPO QUADRI MEDIA TENSIONE

A.E.T. • ABB • BOFFETTI • BTICINO • CARAGLIO • CASAGRANDE ELETTROCONSTRUZIONI • CEP • COL GIOVANNI PAOLO • ELETTROPICENA SUD • G&W • ICET INDUSTRIE • IMEQUADRI DUESTELLE • IMESA • NTET • PHOENIX ELECTRONIC SYSTEM • SAREL • SCHNEIDER ELECTRIC • SEL • SIEMENS • SIMEC SISTEMI

### ELENCO AZIENDE ASSOCIATE SOTTOGRUPPO QUADRI BASSA TENSIONE

A.M. GENERAL CONTRACTOR • ABB • BTICINO • DELTA TECHNOLOGY • DKC EUROPE • DKC POWER SOLUTIONS • EAE ITALIA • ETA • EATON INDUSTRIES • ELETTROPICENA SUD • G&W • GEWISS • GHISALBA • HAGER BOCCHIOTTI • ICET INDUSTRIE • IMEQUADRI DUESTELLE • IMESA • LANDE ITALY • PALAZZOLI • POGLIANO BUSBAR • PRIMICERI • RITTAL • ROCKWELL AUTOMATION • SCHNEIDER ELECTRIC • SICES • SIEMENS • SIMEC SISTEMI • SKEMA • STEGO ITALIA • TERASAKI ELECTRIC

### ELENCO AZIENDE ASSOCIATE GRUPPO TRASFORMATORI

ABB • BTICINO • CELME • ELETTROMECCANICA COLOMBO • ELETTROMECCANICA TIRONI • GETRA POWER • GRID SOLUTION • IMEFY • LAGOR • MF TRASFORMATORI • OCREV • S.E.A. SOCIETA' ELETTROMECCANICA ARZIGNANESE • SEA MARCONI TECHNOLOGIES • SIEMENS ENERGY • SIRMET ELETTRICA • SPECIAL TRASFO • TESAR • TAMINI TRASFORMATORI • TMC TRANSFORMERS • TRAF0 ELETTRO SERVICE





**ANIE Energia:**  
Viale V. Lancetti, 43 - 20158 Milano - Tel. +39 023264.228 - Fax +39 023264.217  
energia@anie.it - [www.anienergia.anie.it](http://www.anienergia.anie.it)