

Università degli Studi di Padova  
Facoltà di Ingegneria  
Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica

***“Cabina Primaria AT/MT: dall’ $SF_6$  ad oggi”***

Relatore: *Prof. Fellin Lorenzo*

Laureando: *Perini Chiara*

Anno Accademico 2010/2011



## **Indice:**

### *Introduzione*

1. *Scelta degli schemi* *pag. 3*
  - 1.1 Schema della sezione AT
  - 1.2 Schema della sezione MT
  
2. *Caratteristiche delle apparecchiature prefabbricate con involucro metallico isolate in SF6* *pag. 7*
  - 2.1 Caratteristiche nominali
  - 2.2 Caratteristiche costruttive
  - 2.2 Collegamenti ai trasformatori e alle linee
  - 2.4 Circuiti di comando e segnalazione della sezione AT
  - 2.5 Circuiti di comando e segnalazione della sezione MT
  
3. *Caratteristiche dei trasformatori di potenza* *pag. 11*
  - 3.1 Trasformatori con caratteristiche unificate
  - 3.2 Sistemi di raffreddamento dei trasformatori di potenza
    - 3.2.1. Trasformatori AT/MT per cabine della distribuzione primaria
    - 3.2.2. Autotrasformatori di interconnessione e trasformatori elevatori di centrale
  
4. *Criteri di progettazione impiantistica* *pag. 17*
  - 4.1 Disposizione topografica ed installazione delle apparecchiature blindate
  - 4.2 Installazione dei trasformatori
  - 4.3 Opere civili e fondazioni
  - 4.4 Misure contro la fuoriuscita di olio ed SF6
  - 4.5 Misure antincendio
  
5. *Qualificazione sismica* *pag. 25*
  - 5.1 Modalità di esecuzione
  - 5.2 Risultati ottenuti
  
6. *Prove di collaudo* *pag. 31*
  - 6.1 Prove di tipo
  - 6.2 Prove d'accettazione e dopo l'installazione in sito
  - 6.3 Controlli diagnostici durante l'esercizio
  
7. *Cabina primaria AT/MT semplificata: una nuova realizzazione a ridotto impatto ambientale* *pag. 33*
  - 7.1 Configurazione della rete di distribuzione e modello di esercizio
  - 7.2 Un nuovo modello di configurazione della rete
  - 7.3 Schemi tipici per cabine primarie

- 7.4 Scelta dello schema unifilare semplificato per le nuove cabine primarie AT/MT
- 7.5 Le caratteristiche della cabina primaria semplificata
  - 7.5.1 La sezione AT
  - 7.5.2 La sezione MT
  - 7.5.3 Il trasformatore AT/MT
- 7.6 Uso delle nuove tipologie di apparecchiature
  - 7.6.1 Apparecchiature di Alta Tensione
  - 7.6.2 Apparecchiature di Media Tensione
- 7.7 I benefici attesi
  - 7.7.1 Benefici inerenti gli aspetti ambientali
- 7.8 Confronto dei costi di cabina

*Conclusioni*

*Bibliografia*

*Appendici*

## Introduzione

L'alimentazione elettrica ha sempre comportato, per gli Enti preposti al servizio elettrico, un notevole impegno per rendere disponibile un sistema idoneo a far fronte alle esigenze dell'utenza nel rispetto dei vincoli esistenti. Tale impegno va crescendo negli anni correnti, a causa dell'incremento dei fabbisogni di potenza con l'evoluzione dei carichi, mentre aumentano i vincoli imposti per la conservazione ed il rispetto dell'ambiente.

I Distributori di energia elettrica ed i Costruttori di componenti sono stati pertanto chiamati a studiare nuovi criteri di progettazione e nuove tecnologie costruttive per la realizzazione degli impianti e la costruzione delle apparecchiature elettriche. Tale studio portò alle soluzioni adottate da Enel, per la realizzazione delle Cabine Primarie della distribuzione, le quali prevedevano l'impiego di apparecchiature prefabbricate isolate in SF<sub>6</sub> sia per la sezione di alta tensione a 132, 150 o 220 kV sia per quella di media tensione 10, 15 e 20 kV.

Le caratteristiche offerte da tali apparecchiature permettono l'insediamento di nodi di trasformazione, anche di potenza elevata, in posizioni ottimali per lo schema di rete, permettendo anche il riclassamento di impianti a tensione inferiore ed il rifacimento di impianti tradizionali in esecuzione già esistenti, con il recupero di superfici importanti.

La realizzazione di impianti di trasformazione ad alta tensione di tipo tradizionale, in esecuzione fino a non molto anni fa, comprese le cabine primarie della distribuzione, incontravano sempre maggiori difficoltà, sia per il difficile reperimento di ampie superfici di terreno, sia perché tali impianti erano spesso incompatibili con l'ambiente in cui dovevano essere inseriti. Esisteva, già alla fine degli anni '80, un chiaro orientamento a un più largo impiego di impianti blindati AT isolati in SF<sub>6</sub>, che offrono i seguenti vantaggi:

- notevole riduzione delle dimensioni di ingombro;
- insensibilità all'inquinamento atmosferico;
- riduzione dell'impatto ambientale;
- riduzione degli oneri di manutenzione;
- riduzione dei tempi di montaggio in loco;
- sicurezza ed affidabilità;

oltre alle caratteristiche intrinseche dell'esafluoruro di zolfo che lo rendono idoneo per questo tipo di utilizzo e che sono: rigidità dielettrica elevata; eccezionale potere di estinzione; stabilità chimica e una capacità di trasmissione del calore superiore a quella dell'aria.

Oltre ai vantaggi suddetti, non è da trascurare quello derivante dal contenimento dei costi di investimento e di gestione della rete di media tensione, conseguente alla possibilità di collocare la cabina primaria in posizione ottimale rispetto ai carichi.

Per il costo e lo spazio occupato dall'apparecchiatura, si deve utilizzare la pressione dell'SF<sub>6</sub> più elevata possibile, compatibilmente con i seguenti punti:

- non si può utilizzare una densità minima superiore a quella di liquefazione alla temperatura minima di funzionamento;
- l'umidità relativa massima ammessa dipende dalla temperatura minima di funzionamento ed è indipendente dalla pressione del gas: ne deriva che tanto più è elevata la pressione di utilizzo, tanto più il gas deve essere privo di umidità;
- per i sistemi reali, la tenuta dielettrica dell'SF<sub>6</sub> non segue la legge di Paschen cioè:

$$E = 89p$$

dove E è il gradiente minimo di tenuta in kV/mm e p è la pressione assoluta espressa in MPa.

La tenuta dipende principalmente dai seguenti fattori:

- tipo di sollecitazione;
- grado di disuniformità del campo;
- rugosità della superficie degli elettrodi;
- presenza di particelle;
- area degli elettrodi.

Per tali motivi l'Enel, confortata dall'evoluzione dei quadri blindati isolati in SF<sub>6</sub>, ha messo a punto, nel periodo 1985-1989, una propria unificazione di apparecchiature prefabbricate isolate in SF<sub>6</sub> sia per la sezione AT che per la sezione MT delle cabine primarie.

La crescente sensibilità dell'opinione pubblica e degli operatori del mercato elettrico al recupero e conservazione dei valori ambientali, però, sta rapidamente indirizzando le soluzioni impiantistiche al maggiore rispetto del territorio, tenendo conto anche della economicità delle scelte adottate.

Per realizzare questo obiettivo, un consistente contributo è offerto dalle opportunità associabili all'evoluzione della rete elettrica, stimulate anche dalla liberalizzazione del mercato elettrico e dalla disponibilità, offerte dallo studio relativo alle tecnologie innovative, di nuovi componenti elettrici. Un ruolo fondamentale, riguardo le tecnologie elettriche nel rispetto del territorio, è indubbiamente atteso e svolto dalla rete di distribuzione.

Il risultato dell'impegno dei Distributori, negli ultimi anni, per progettare, realizzare e collaudare una nuova soluzione di cabina primaria AT/MT, con caratteristiche adeguate a soddisfare le istanze di migliore eco-compatibilità e costo ridotto, è riassumibile nella nuova cabina primaria, basata sui seguenti concetti:

- semplificazione degli schemi di stazione e di collegamento alla rete;
- compattezza;
- prefabbricazione delle stazioni AT e MT.

Essa offre in sintesi i seguenti vantaggi:

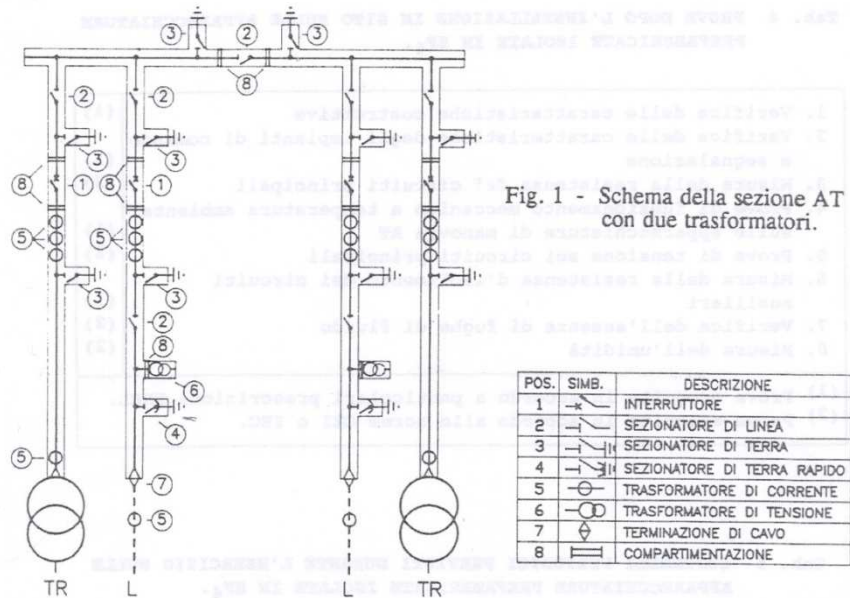
- riduzione dell'impatto ambientale della stazione AT/MT e delle linee MT;
- miglioramento della qualità del servizio reso all'utenza, in linea con le regole stabilite nel 1999 dall'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas;
- riduzione dei costi di investimento (costruzione e collaudo) e di esercizio (manutenzione e parti di ricambio);
- riduzione delle perdite di rete.

Si può concludere, inoltre, che la diffusa applicazione di questa cabina primaria e del telecontrollo nelle reti di distribuzione AT ed MT, potrà condurre ad un nuovo modello di sviluppo delle reti stesse e contribuire, in modo consistente, al conseguimento degli obiettivi sopra enunciati.

## 1. Scelta degli schemi

### 1.1 Schema della sezione AT

Lo schema unificato della sezione 132-150 kV in esecuzione blindata (Fig. 1) è un semplice sistema di sbarre con possibilità di sezionamento, due montanti trasformatore e due o più montanti linea, sostanzialmente lo stesso adottato per la soluzione “a giorno” (isolamento in aria).



Esso presenta in aggiunta i sezionatori di terra su ciascuna sezione del circuito principale ed i sezionatori di terra rapidi (con potere di stabilimento di corrente di corto circuito) per la messa a terra delle linee. Quando si ha la necessità di installare tre trasformatori, anziché due, lo schema assume una configurazione diversa (Fig. 2), con due sezionatori di sbarra per consentire una maggiore flessibilità di esercizio, soprattutto per quanto riguarda l'ipotesi di dover metter fuori servizio una semisbarra per manutenzione.

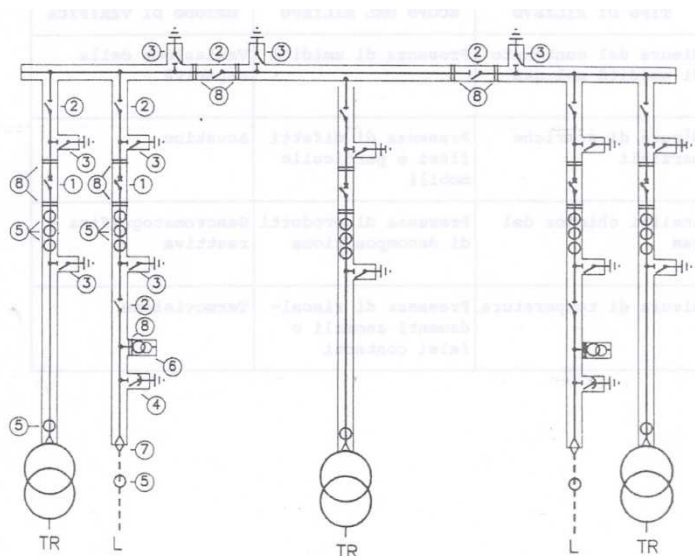


Fig. 2 – Schema della sezione AT con tre trasformatori

## 1.2 Schema della sezione MT

Anche lo schema unificato della sezione MT in esecuzione blindata in SF<sub>6</sub> non differisce fundamentalmente da quello adottato per la soluzione con apparecchiature prefabbricate isolate in aria. Nel caso più ricorrente di alimentazione da due trasformatori, esso è costituito da due semisbarre collegabili tramite congiunture e da un numero massimo di 16 moduli linea, oltre ai moduli trasformatore, servizi ausiliari, rifasamento e TV (Fig. 3).

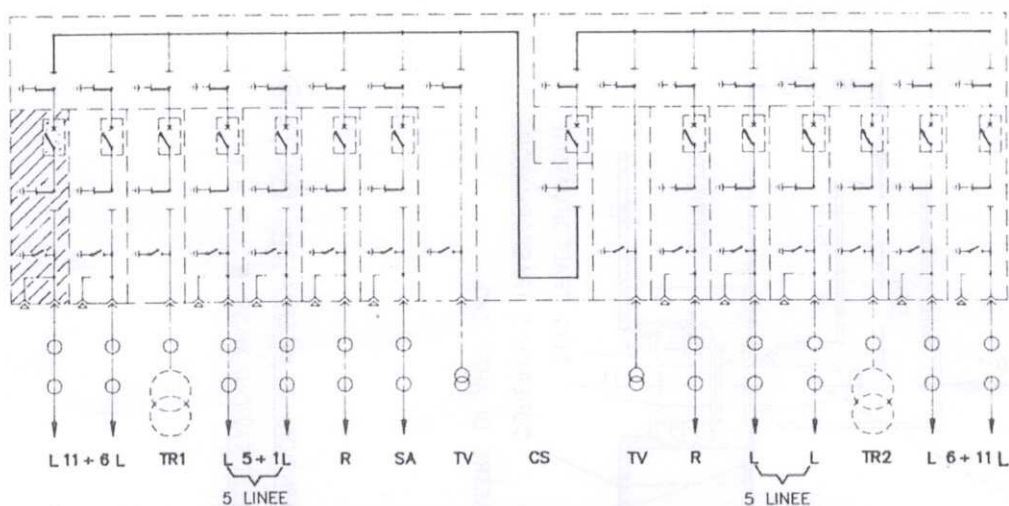


Fig. 3 – Schema della sezione MT alimentata da due trasformatori

Nel caso di alimentazione da tre trasformatori, lo schema unificato di riferimento è previsto per un numero massimo di 33 moduli linea (Fig. 4).

La composizione modulare del quadro consente inoltre la realizzazione di impianti più estesi, anche con schemi differenti, per far fronte ad esigenze particolari, derivanti ad esempio dalla presenza di trasformatori con due avvolgimenti secondari e/o dalla necessità di alimentare reti MT a diversi livelli di tensione.



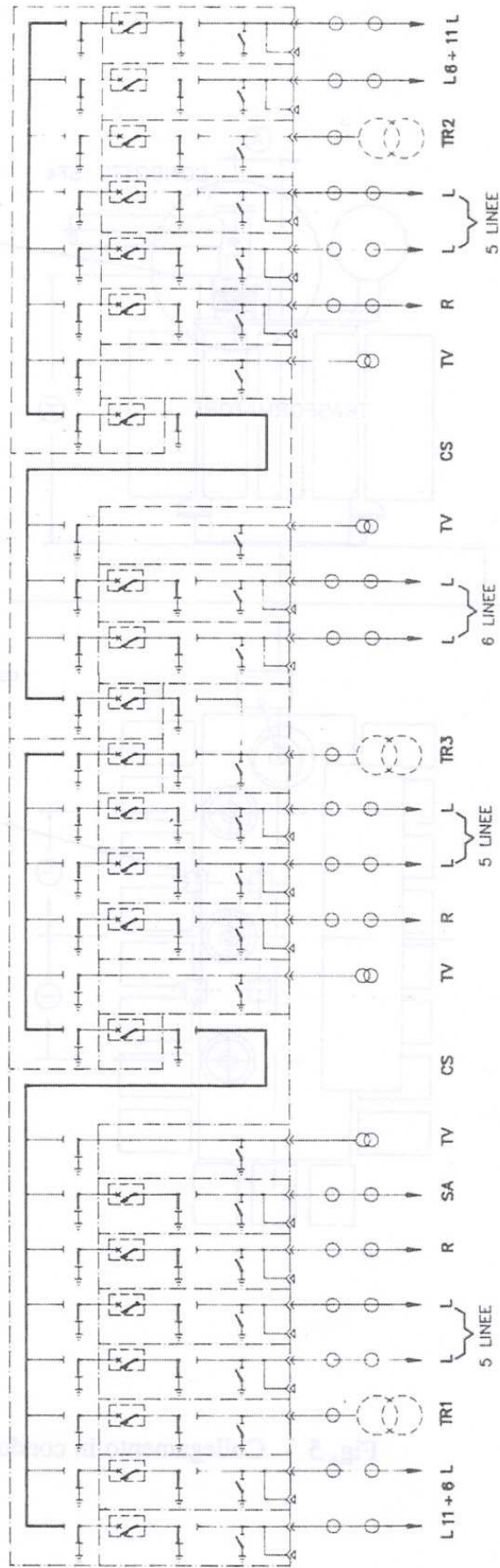


Fig. 4 - Schema della sezione MT alimentata da tre trasformatori.



## **2. Caratteristiche delle apparecchiature prefabbricate con involucro metallico isolate in SF<sub>6</sub>**

### *2.1 Caratteristiche nominali*

Le principali caratteristiche nominali della sezione AT e MT sono riportate in Tab.1. In particolare è stato unificato da Enel un solo tipo di apparecchiatura 145-170 kV con livello di isolamento ad impulso atmosferico di 650 kV sia per reti a 132 kV che per reti a 150 kV, mentre per apparecchiature a 245 kV è stato stabilito il livello di isolamento ad impulso atmosferico di 850 kV. Anche per la media tensione è stato unificato un solo tipo di apparecchiatura a 24 kV per reti esercite a 20, 15, 10 kV o ad altri valori particolari di tensione inferiori ai 24 kV.

La scelta di livelli ridotti di isolamento ad impulso atmosferico per la sezione AT è giustificata anche nel caso di alimentazione della cabina da rete AT aerea, poiché, in tal caso, è previsto l'impiego di scaricatori all'ingresso di ciascuna linea.

Il valore della corrente di corto circuito di 31,5 kA della sezione AT risulta maggiore rispetto a quello delle cabine in esecuzione "a giorno" (20 kA), in quanto l'apparecchiatura blindata è intrinsecamente in grado di resistere a tale valore di corrente. Inoltre, analogamente agli impianti AT in esecuzione "a giorno", è stato prescritto lo stesso valore di corrente nominale sia per i montanti di linea che per i montanti trasformatore, consentendo l'intercambiabilità tra i componenti.

### *2.2 Caratteristiche costruttive*

La sezione AT è realizzata con elementi modulari prefabbricati (apparecchi di manovra, TA, TV, elementi e raccordi di sbarra, elementi strutturali, ecc...) che vengono pre-assemblati in fabbrica fino a costituire i vari tipi di modulo (montante), che si differenziano per il tipo di collegamento alle linee e ai trasformatori e anche per il tipo di installazione (vedi Appendice).

La suddivisione del circuito principale in diverse compartimentazioni (Fig. 1 e 2) è stata stabilita in modo da facilitare le operazioni di manutenzione e consentire la sostituzione di eventuali componenti guasti, ovvero l'ampliamento dell'impianto, mettendo fuori servizio il minor numero di montanti possibile.

Anche la sezione MT è realizzata con moduli prefabbricati (montanti) (Fig. 3 e 4) che vengono assemblati per realizzare lo schema elettrico prescelto. Ogni modulo è suddiviso in compartimenti separati (cella sbarre, cella interruttore e sezionatori) ed è possibile sostituire agevolmente il comparto contenente l'interruttore ed i sezionatori del montante mantenendo in servizio la parte restante del quadro. La soluzione adottata prevede le tre fasi in un unico involucro e consente, tra l'altro, la visibilità diretta della posizione dei contatti dei sezionatori, mentre il gas di ciascun polo degli interruttori è separato da quello della rispettiva cella.

Sia per la sezione AT che per quella MT, ogni compartimentazione è dotata di attacchi per riempimento, reintegro e svuotamento di dispositivi per il controllo della densità del gas e di valvole di sicurezza contro le sovrappressioni interne.

### 2.3 Collegamenti ai trasformatori e alle linee

Il collegamento tra sezione AT e trasformatori è previsto mediante:

- connessione diretta in condotto SF<sub>6</sub>;
- cavi.

La connessione in condotto è da preferire ed è adottabile in tutti i casi in cui la macchina è installata in posizione adiacente alla sezione AT, sia all'esterno che all'interno.

La connessione in cavo è indicata in caso di percorsi particolarmente tortuosi e/o quando le macchine sono installate in un sito separato anche ad una certa distanza.

Il collegamento alle linee AT è previsto mediante l'inserimento diretto delle terminazioni in cavo negli involucri in SF<sub>6</sub> quando si è in presenza di rete AT in cavo. Quando invece l'alimentazione avviene da linee aeree la connessione è prevista in conduttori nudi mediante isolatori passanti SF<sub>6</sub>/aria in porcellana che fanno parte integrante dell'apparecchiatura.

Il collegamento tra sezione MT e trasformatore viene normalmente effettuato con cavi (due o più cavi per fase) che vengono attestati con terminali a spina agli isolatori passanti, che generalmente prevedono una presa sconnettibile da 1250 A dei montanti del quadro MT. Nel caso di trasformatori che richiedano collegamenti MT dimensionati per potenze  $\geq 50$  MVA, potranno essere considerate soluzioni diverse come l'impiego di condotti in SF<sub>6</sub>.

Il collegamento delle linee alla sezione MT è sempre realizzato con terminazioni di cavo sconnettibili da 400 A.

### 2.4 Circuiti di comando e segnalazione della sezione AT

Ogni modulo della sezione AT è dotato di un armadio di comando e controllo installato in posizione frontale al modulo stesso (vedi Appendice).

L'armadio dei moduli di linea e trasformatore contiene lo schema sinottico, i complessi di comando elettrico interruttore e sezionatori, i relè ausiliari dei dispositivi di controllo del gas e le protezioni di eventuali TV, appartenenti al montante.

L'armadio del modulo sezionamento sbarre contiene il complesso di comando elettrico dei sezionatori di modulo e i relè ausiliari dei dispositivi di controllo del gas del modulo e delle due semisbarre, nonché lo schema sinottico dell'intero impianto con tutte le segnalazioni.

Il collegamento tra l'armadio di modulo ed i comandi o le morsettiere dei vari apparecchi (interruttore, sezionatori, TA, TV, ecc.) è realizzato mediante cavi equipaggiati di connettori a prese multiple alle estremità.

Ogni armadio di modulo contiene inoltre una morsettiera per i collegamenti tra montanti e per i collegamenti al quadro di protezione e controllo unificato della cabina.

La manovra dei sezionatori è richiesta solo per sezionare parti di impianto soggette ad anomalie (ad esempio quando siamo in presenza di bassa densità del gas) o più in generale per interventi di manutenzione. Pertanto per i sezionatori sono stati previsti:

- il comando elettrico dall'armadio di modulo;
- l'apertura automatica in caso di anomalie per bassa pressione del gas;
- un comando manuale di emergenza.

Appositi circuiti di comando e controllo provvedono a dare i consensi e ad impartire i comandi per le aperture automatiche degli organi di manovra in caso di anomalie. In particolare è previsto un circuito che opera in base alle informazioni provenienti dai dispositivi di controllo della densità del gas SF<sub>6</sub> dei singoli scomparti con una prima soglia si “allarme”, una seconda di “aperture automatiche” ed una terza di “blocco manovre”.

### *2.5 Circuiti di comando e segnalazione della sezione MT*

Anche le modalità di manovra previste per la sezione MT in esecuzione blindata in SF<sub>6</sub> sono sostanzialmente le stesse della sezione unificata con isolamento in aria.

Per gli interruttori sono previste: la manovra in telecomando da un punto remoto; la manovra locale dal quadro protezione e controllo e la sola manovra di apertura dal fronte dell'interruttore stesso.

Per i sezionatori è possibile la sola manovra manuale dal fronte del modulo, asservita a blocchi meccanici di sicurezza.

Un circuito di controllo del gas provvede a dare un segnale di allarme in caso di bassa densità. Se tale anomalia si verifica all'interno dell'interruttore, si ha oltre all'allarme anche una seconda soglia di intervento che impartisce l'apertura automatica ed il successivo blocco del comando.

Le segnalazioni di allarme riguardanti tutti i compartimenti del quadro sono visualizzate sul fronte di ciascun modulo per consentire all'operatore l'accertamento di eventuali anomalie in atto, prima dell'esecuzione delle manovre manuali dei sezionatori.



### 3. Caratteristiche dei trasformatori di potenza

#### 3.1 Trasformatori con caratteristiche unificate

Una revisione sostanziale dell'unificazione, avvenuta nel triennio 1985-1988, ha portato alla realizzazione di una nuova serie di trasformatori AT/MT da 25, 40 e 63 MVA, la quale presentava i seguenti principali aspetti innovativi:

- ampliamento della gamma di potenze introducendo la taglia da 63 MVA;
- revisione dei valori delle tensioni di corto circuito per contenere in ogni caso in 12,5 kA il valore massimo della corrente di corto circuito sulla rete MT;
- ampliamento del campo di regolazione;
- riduzione delle perdite a vuoto e drastico contenimento del livello di rumore.

Per quanto riguarda le caratteristiche dimensionali, sono stati mantenuti i limiti di ingombro prescritti per la serie precedente, che consentono di trasportare le macchine in completo assetto di servizio fino alla taglia 40 MVA, mentre per il 63 MVA è possibile rientrare nella sagoma di trasporto previo smontaggio di radiatori, isolatori e conservatore.

Per quanto riguarda l'interfaccia macchina-impianto, sono state previste varianti costruttive con uscite AT:

- in aria, per collegamento in conduttori nudi a impianti in esecuzione tradizionale;
- in SF<sub>6</sub>, per collegamento diretto in condotto a impianti blindati in SF<sub>6</sub>;
- in olio, per collegamento tramite muffole alle terminazioni dei cavi AT.

L'unificazione dimensionale adottata ha portato a rendere praticamente uguali le macchine con uscite AT in SF<sub>6</sub> e in olio e consente l'intercambiabilità in impianto fra unità di Costruttori diversi e di taglia diversa. Questo è stato ottenuto unificando sostanzialmente un unico tipo di passante, valido sia per la connessione olio-SF<sub>6</sub> che per quella olio-olio e fissando le dimensioni che definiscono (Fig. 5):

- la posizione dei passanti sul coperchio del trasformatore;
- il piano ed i fori di accoppiamento tra le flange dei passanti e quelle dei condotti in SF<sub>6</sub> e delle muffole in olio;
- il fissaggio, sul coperchio del trasformatore, dei sostegni dei condotti e delle muffole.

Per l'isolatore passante olio-SF<sub>6</sub> e olio-olio è stata scelta la soluzione sporgente lato trasformatore per ragioni di sicurezza, in modo da garantire una separazione assoluta tra l'olio della macchina e il gas dell'apparecchiatura blindata.

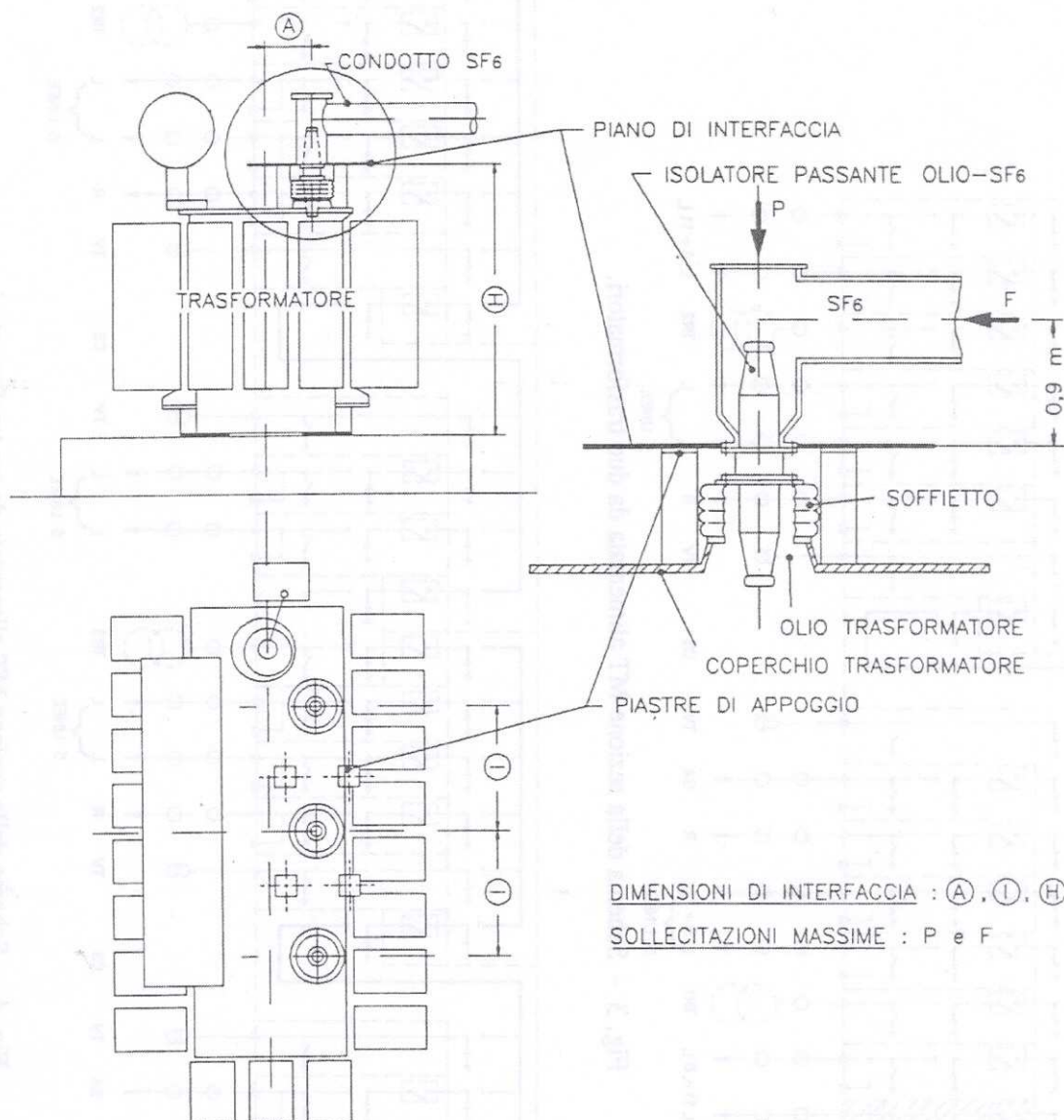


Fig. 5 – Collegamento in condotto SF<sub>6</sub> tra sezione AT e trasformatore

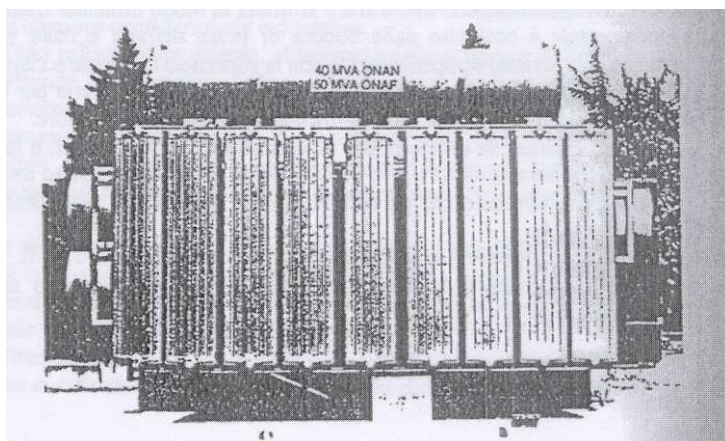
### 3.2 Sistemi di raffreddamento dei trasformatori di potenza

#### 3.2.1 Trasformatori AT/MT per cabine della distribuzione primaria

I trasformatori AT/MT per cabine della distribuzione primaria hanno taglia di potenza 16 – 25 – 40 – 63 MVA, alta tensione 132 o 150 kV e bassa tensione 10, 15 o 20 kV (in alcuni casi la potenza unitaria è maggiore, 100 MVA, e a volte l'alta tensione è di un gradino superiore: trasformazione 220kV/MT).

Per il sistema refrigerante, la soluzione tradizionale è costituita da radiatori addossati alla cassa (ONAN). Sono previsti anche dei ventilatori per funzionamento di emergenza, con i quali la potenza nominale ONAF si incrementa del 25% rispetto alla potenza nominale ONAN (Fig. 6).





*Fig. 6 – Trasformatore AT/MT da 40 MVA ONAN e 50 MVA ONAF*

Si deve osservare che le cabine di trasformazione primaria sono venute via via a trovarsi sempre più inglobate nel tessuto urbano delle grandi città. Questo fatto ha condizionato e sta condizionando in modo notevole la concezione impiantistica della stazione e i requisiti richiesti ai componenti.

L'esigenza primaria è di sfruttare in piena sicurezza spazi contenuti nel rispetto più rigoroso dell'impatto ambientale. Molto spesso i trasformatori sono installati al piano terra di edifici, ovvero in cabine sotterranee, mentre i sistemi di raffreddamento separati si trovano in posizione sopraelevata, a volte con dislivelli notevoli. In tal caso le casse devono essere a tenuta rinforzata perché devono sopportare la pressione idrostatica della colonna di liquido che le sovrasta. Proprio per questo si è andata consolidando la pratica di realizzare casse in grado di tenere una sovrappressione sul fondo di 200 kPa.

Spesso, sia per esigenze di spazio che per motivi di sicurezza, i trasformatori sono segregati in celle quasi "bunkerate" e allora è necessario coibentare adeguatamente le casse per impedire che la temperatura dell'ambiente raggiunga valori eccessivi. Si consideri che in condizioni normali la cassa di un trasformatore AT/MT dissipa orientativamente qualche decina di kW, il che, nelle condizioni di installazione suddette, risulterebbe manifestamente inaccettabile.

Gli scambiatori di calore separati a seconda dei casi possono essere refrigeranti ad acqua, aerotermi o batterie di radiatori.

Per quanto riguarda gli aerotermi, essi devono scaricare l'aria nell'ambiente esterno, attraverso griglie o bocche di lupo opportunamente protette e mimetizzate. In un contesto urbano devono essere rispettati precisi vincoli ambientali, quali il contenimento del livello di rumore e la limitazione sia della velocità che della temperatura dell'aria emessa. In molti impianti il problema è stato brillantemente risolto con impiego di aerotermi particolarmente avanzati a basso livello di rumore, equipaggiati con speciali silenziatori sui condotti dell'aria sia in aspirazione che in mandata (Fig. 7 e 8).

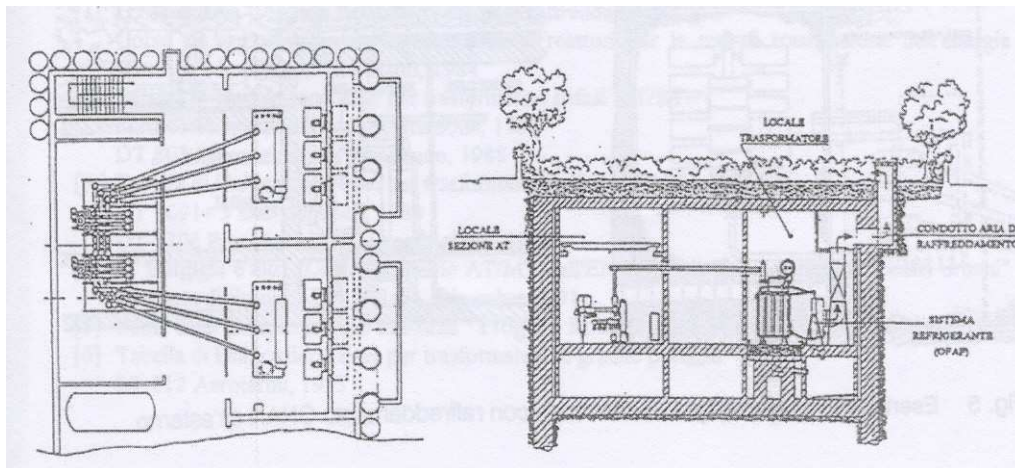


Fig. 7 – Esempio di cabina AT/MT sotterranea con raffreddamento OFAF

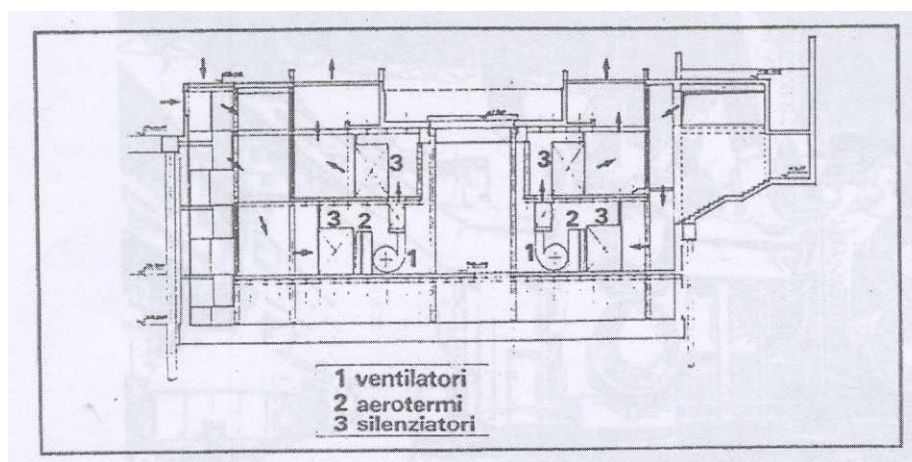


Fig. 8 – Schema della reale circolazione aria nella cabina AT/MT di Piazza Dante (Roma) con raffreddamento OFAF. Il livello di rumore alle griglie di areazione è inferiore a 45 dB.

Per quanto riguarda le batterie di radiatori, va da sé che queste debbano essere installate all'esterno, o sul tetto di edifici o in aree cintate come terrazzi o giardini; idonee barriere architettoniche, sovente con piante o siepi vengono studiate per favorire la coesistenza armonica di un impianto industriale nel territorio urbano (Fig. 9).

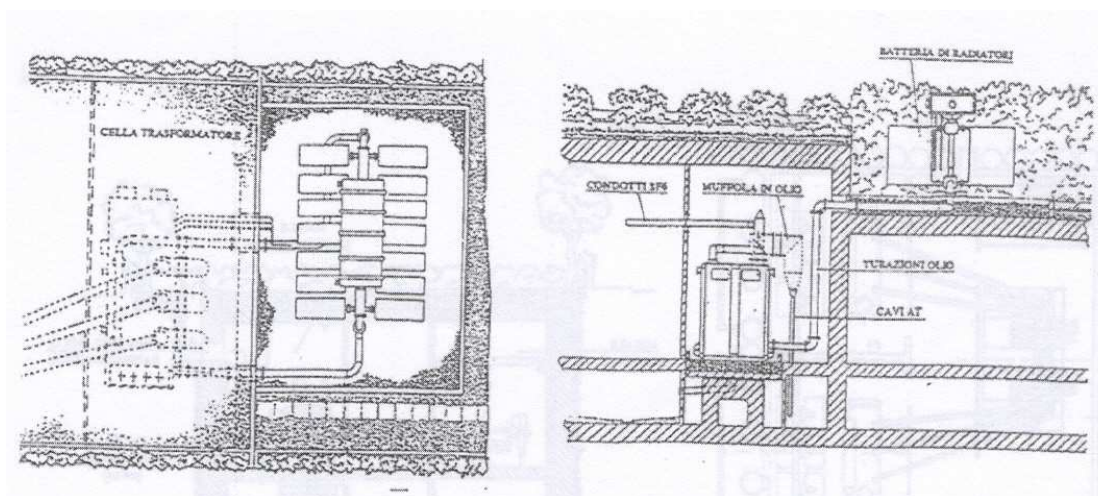


Fig. 9 – Esempio di cabina AT/MT sotterranea con raffreddamento ONAN all'esterno

Con le batterie di radiatori, il raffreddamento è in generale ONAN. Tuttavia bisogna tenere in conto che la distanza tra il sistema di raffreddamento e la cassa della macchina può comportare, nelle tubazioni, cadute di carico di qualche importanza; di contro può giocare a favore la posizione delle batterie di radiatori che solitamente di trovano ad una quota più elevata rispetto alla cella trasformatore, il che accentua la prevalenza termica per effetto camino. Una soluzione generalmente impiegata è quella di prevedere una piccola pompa in parallelo sulla tubatura di raccordo del sistema refrigerante-macchina. Lo scopo è quello di innescare e favorire la circolazione dell'olio senza tuttavia imporre una portata forzata, come avverrebbe se la pompa fosse installata in serie sul condotto principale.

### 3.2.2. *Autotrasformatori di interconnessione e trasformatori elevatori di centrale*

Queste sono le unità di trasformazione di taglia maggiore, di norma equipaggiate con aerotermini addossati alla cassa. Recentemente questi scambiatori sono stati oggetto di una unificazione tecnica che ha permesso di standardizzare le taglie, le prestazioni, le principali caratteristiche costruttive e sono state codificate le prove atte a verificarne i requisiti funzionali. Oltre ad ottimizzare il rendimento termico, particolare cura è stata posta per ridurre il livello di rumore emesso, dato che anche per grandi impianti elettrici l'esigenza di diminuire l'inquinamento acustico sta diventando sempre più pressante.

Le linee guida, determinate dall'unificazione tecnica promossa da Enel e Costruttori, che sono state seguite nella progettazione dei nuovi aerotermini possono essere così riassunte.

Grazie alle dimensioni aumentate, i fasci tubieri risultano distribuiti su pochi piani sovrapposti nel senso della profondità, che è risultata quasi dimezzata rispetto alle soluzioni precedenti. È ovvio che questo fatto favorisce l'efficienza dello scambio termico perché l'azione di raffreddamento della corrente d'aria è sfruttata in modo ottimale. L'altro particolare costruttivo fondamentale è costituito dalle bocche di presa dell'aria e delle ventole, anche queste di dimensioni massime compatibilmente con la superficie dell'apparecchio. In questo modo si riesce ad assicurare una grande portata d'aria pur limitandone la velocità e gli effetti di turbolenza che sono i principali responsabili del rumore.

I risultati ottenuti dalla sperimentazione di questi nuove tecniche di raffreddamento sono stati lusinghieri: il limite massimo ammesso della pressione sonora misurata a 2 m dalla bocca di aspirazione è stato fissato a 65dB(A), mentre vale la pena ricordare che gli aerotermini delle generazioni precedenti erano più rumorosi di quasi 20dB(A).



#### 4. Criteri di progettazione impiantistica

La progettazione impiantistica delle cabine primarie si deve adattare alle possibilità offerte dal sito, pertanto la scelta del tipo di installazione delle varie sezioni di impianto deve essere effettuata di volta in volta in relazione ai vincoli esistenti, in particolare nel caso di grandi centri urbani.

I tipi di installazione che si possono presentare sono i seguenti:

- a) impianto blindato AT e trasformatori all'esterno; impianti blindato MT, quadri protezione e controllo, ausiliari e servizi all'interno dell'edificio;
- b) trasformatori all'esterno; impianti rimanenti all'interno di locali di un edificio comune o di edifici separati;
- c) impianti e macchinario all'interno di locali di uno stesso edificio o di edifici separati.

Nelle Fig.10 e 11 sono illustrati due tipi di installazione e precisamente:

- cabina in superficie con trasformatori all'esterno e impianto blindato AT all'interno di un edificio separato (Fig.10)
- cabina completa in edificio sotterraneo con struttura mista in cemento armato e acciaio, realizzata in parte con elementi strutturali prefabbricati (Fig.11).

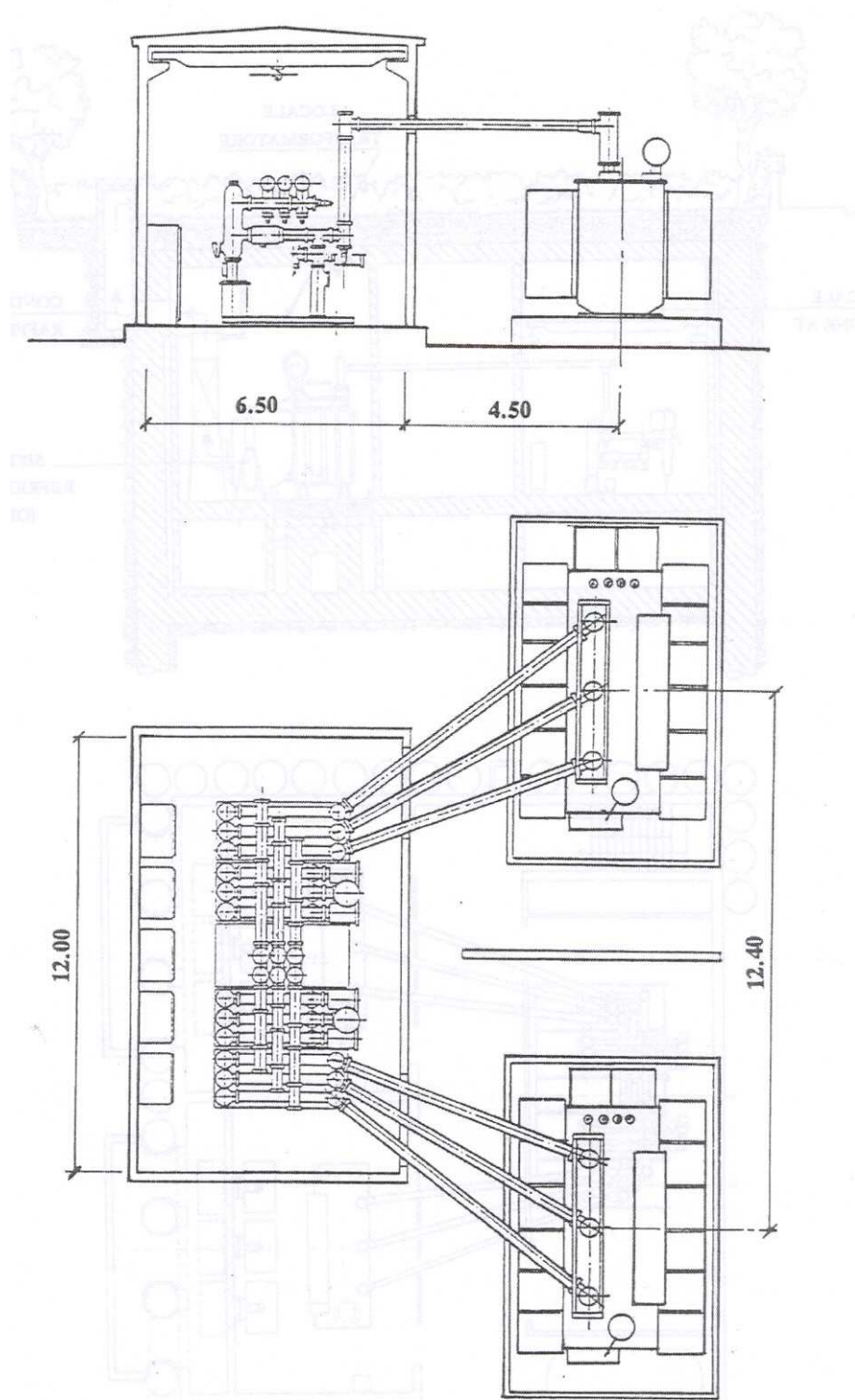


Fig. 10 – Esempio di cabina con sezione AT in edificio e trasformatori all'esterno



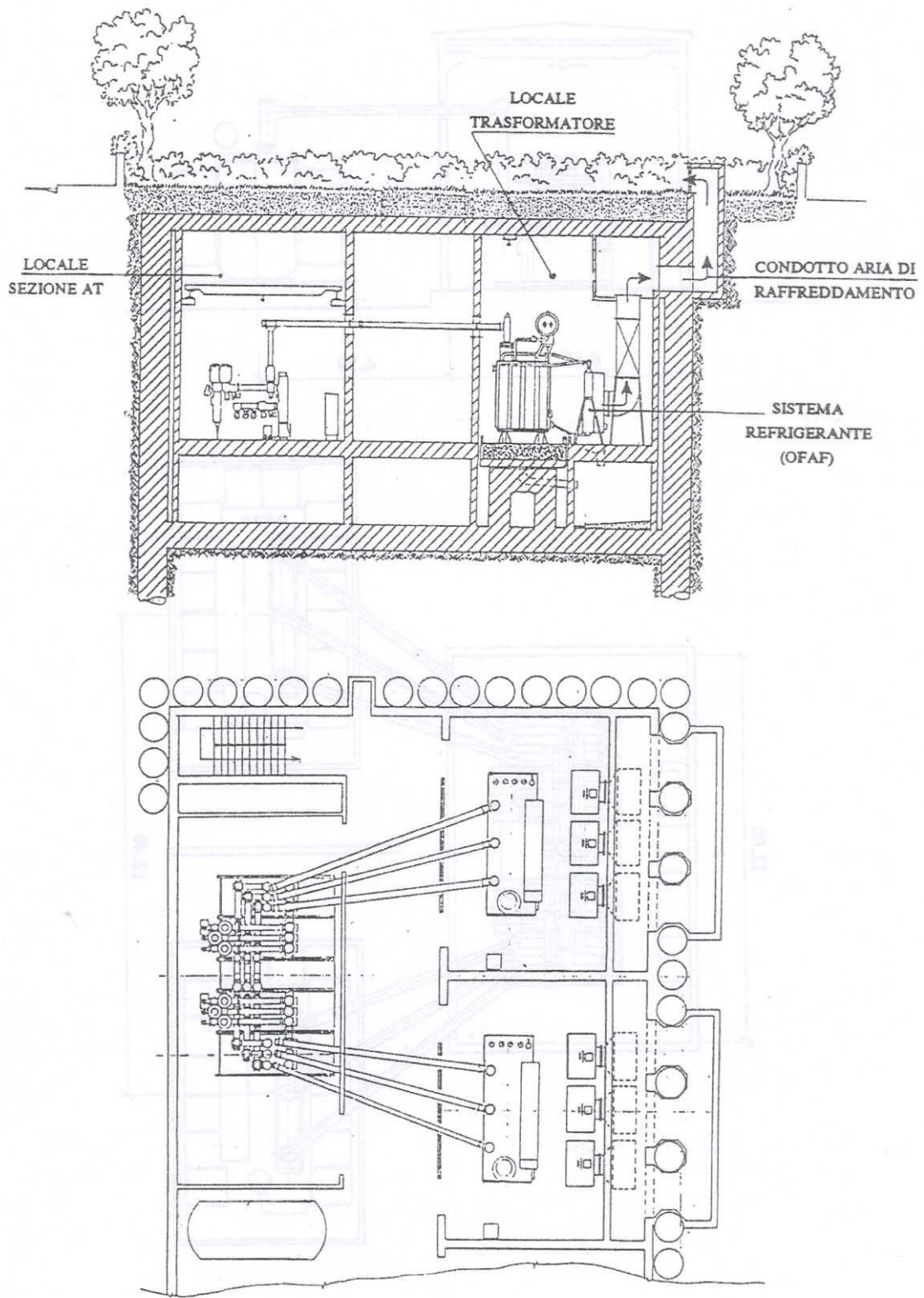


Fig. 11 – Esempio di cabina in edificio sotterraneo

#### *4.1 Disposizione topografica ed installazione delle apparecchiature blindate*

La composizione modulare, con montanti prefabbricati, della sezione AT e della sezione MT permettono la massima flessibilità nella realizzazione delle disposizioni topografiche di impianto richieste, anche con installazioni in fasi successive per ampliamenti.

Per quanto riguarda la sezione AT è preferibile l'ubicazione in posizione adiacente ai trasformatori per ridurre la lunghezza e semplificare il percorso dei collegamenti AT e consentirne la realizzazione in condotto SF<sub>6</sub>. Il montaggio delle terminazioni in cavo, normalmente previste in verticale per cavi provenienti dal basso, può anche essere orizzontale per cavi provenienti dalla parete del locale. Circa l'installazione, è preferibile quella all'esterno che rende minime le strutture da realizzare per le opere civili.

Per quanto riguarda la sezione MT, l'installazione va prevista sempre all'interno e l'ubicazione del locale deve essere scelta con l'obiettivo di contenere la lunghezza dei collegamenti di alimentazione dei trasformatori e, nel contempo, in modo da rendere ottimale il raccordo alle linee MT uscenti dalla cabina. Per l'ingresso dei cavi MT viene normalmente previsto un quadro secondario. Il quadro è disposto con moduli su una fila o su due file contrapposte e in questo ultimo caso il collegamento tra i due semiquadri è realizzato in condotto SF<sub>6</sub>.

#### *4.2 Installazione dei trasformatori*

L'installazione all'esterno dei trasformatori, quando possibile, è da preferire perché semplifica notevolmente la costruzione della cabina e permette di utilizzare macchine di tipo unificato e comunque con sistema refrigerante a circolazione naturale dell'olio (ONAN).

Quando il sito richieda l'installazione delle macchine all'interno, occorre risolvere il problema della refrigerazione dell'olio. In tal caso la soluzione migliore da ricercare è quella di installare batterie di radiatori all'esterno, nelle vicinanze delle macchine, magari al di sopra del locale che le ospita, in modo da mantenere il sistema a circolazione naturale (Fig. 12).

Qualora le soluzioni precedenti non siano realizzabili, occorre passare al sistema di raffreddamento forzato (OFAF) con l'impiego di aerotermini installati nello stesso locale o in locale separato. In questi casi è necessario provvedere allo smaltimento del calore convogliando l'aria calda all'esterno tramite ventilazione forzata. Questa soluzione, però, risulta la più complessa e la più costosa in quanto richiede l'adozione di particolari misure per contenere l'inquinamento acustico dell'ambiente circostante, come l'installazione di silenziatori sui condotti dell'aria oltre che l'impiego di aerotermini aventi livello di rumore contenuto.



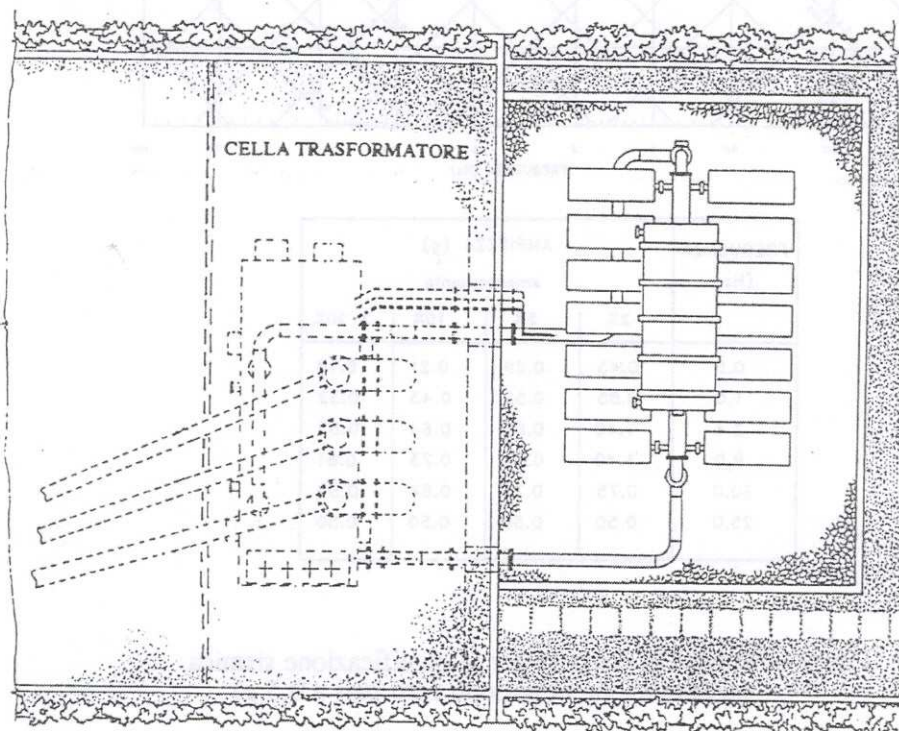
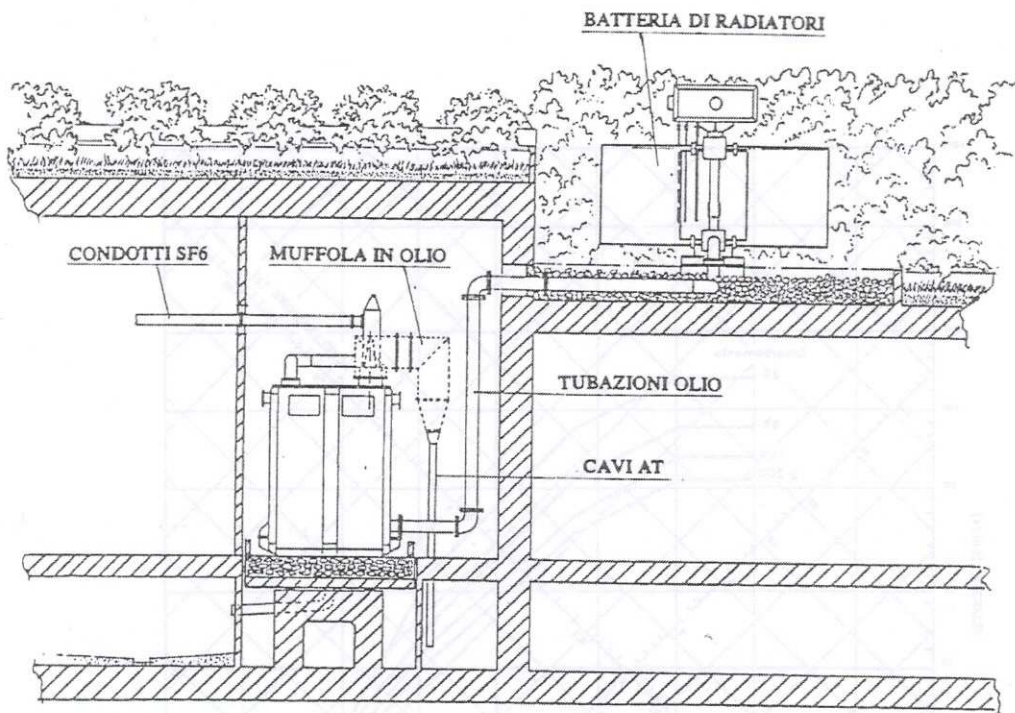


Fig. 12 – Esempio di installazione di trasformatore in locale sotterraneo e sistema refrigerante all'esterno

### 4.3 Opere civili e fondazioni

La realizzazione delle opere civili, in particolare nelle aree urbane, di cabine primarie è legata al tipo di installazione, che dipende, come già detto in precedenza, dalle caratteristiche offerte dal sito disponibile. Ne consegue che non può essere predisposta un'unificazione dimensionale completa delle opere civili da realizzare, ma solo di alcune parti di esse, per talune installazioni, mentre possono essere definiti dei criteri che devono essere rispettati.

Nel caso di installazione all'esterno dei trasformatori e dell'impianti AT, le relative opere civili, di tipo unificato, sono costituite da fondazioni separate anche per impiego in zone ad elevato rischio sismico. Le verifiche sismiche effettuate hanno infatti dimostrato la validità di tale soluzione anche nel caso di collegamento diretto in condotto blindato tra apparecchiature e trasformatori. Per questi ultimi la fondazione, costituita da due travi in cemento armato, risulta ancora idonea con alcune modifiche, quali l'unione in platea unica delle basi delle travi stesse. Anche per le apparecchiature blindate una semplice platea di fondazione, costituita da una piastra di cemento armato sufficientemente interrata, risulta valida. In caso di terreno avente caratteristiche scadenti è necessario bonificare il piano di posa e l'area circostante la fondazione mediante materiale sciolto adeguato (tout-venant) opportunamente rullato. È inoltre necessario vincolare alle relative fondazioni oltre alle apparecchiature anche i trasformatori. Per questi è stato studiato un sistema di bloccaggio che consente una facile sostituzione tra macchine di Costruttori e potenze differenti.

Nel caso di installazioni all'interno di edifici, le opere da eseguire vanno studiate tenendo conto, per quanto possibile, dei criteri nel seguito elencati:

- separazione meccanica tra le strutture dell'edificio e le fondazioni dei trasformatori e delle apparecchiature blindate AT;
- realizzazione delle varie strutture e pareti con materiali incombustibili;
- installazione delle diverse sezioni di impianto e dei trasformatori in locali separati segregati e controllo dei varchi di accesso e di intercomunicazione con porte antincendio;
- posa in opera di tamponature e/o sigillature nelle aperture tra locali, necessarie per il passaggio di cavi, tubazioni, ecc ..., con materiali resistenti al fuoco;
- posa separata tra cavi AT, cavi MT e cavi BT e sezionamento dei relativi cunicoli mediante diaframmi, in caso di lunghezze notevoli; separazione tra cavi MT di collegamento ai trasformatori e cavi MT delle linee in uscita evitando di concentrare troppe uscite nello stesso cunicolo.

### 4.4 Misure contro la fuoriuscita di olio ed SF<sub>6</sub>

I provvedimenti da adottare in ogni caso contro la fuoriuscita di olio di trasformatori, sia per installazioni all'interno che all'esterno, sono:

- vasche di dimensioni adeguate per il contenimento e la raccolta dell'olio ubicate al di sotto della macchina e del sistema refrigerante se separato, riempite di ciottoli;
- serbatoi interrati per l'accumulo dell'olio, collegati alle vasche tramite pozzetti o valvole parafiamma.

I provvedimenti per ovviare ad eventuali fuoriuscite di gas SF<sub>6</sub>, riguardano le installazioni all'interno e consistono nel prevedere una sufficiente ventilazione dei locali. La quantità di gas che può fuoriuscire dalle apparecchiature blindate risulta modesta in rapporto al volume del locale anche in caso di guasti importanti. Pertanto, si ritiene che in locali di edifici sopraelevati possa essere sufficiente una ventilazione naturale ottenibile con semplici accorgimenti nella

realizzazione dei manufatti. In edifici sotterranei (locali AT, MT e sottoquadri), si ritiene opportuno prevedere una ventilazione forzata con il controllo a distanza in caso di eventuali anomalie.

#### *4.5 Misure antincendio*

Oltre agli accorgimenti precedentemente esposti, possono essere necessarie ulteriori misure antincendio legate soprattutto alla presenza di trasformatori in olio. Nel caso di installazione di trasformatori all'esterno, può essere sufficiente la realizzazione di pareti tagliafiama tra le macchine. Tuttavia, in aree urbane, può essere consigliata anche l'installazione di impianti antincendio all'esterno, previsti con sistema di rilevazione ad aria compressa a bulbi termosensibili e spegnimento con acqua nebulizzata.

Nel caso di installazione dei trasformatori all'interno vengono di norma realizzati impianti antincendio ad acqua oppure con sistema che prevede la rilevazione mediante sensori ottici di fumo o rilevatori di altro tipo e lo spegnimento per saturazione del locale con gas inerte idoneo allo scopo. In questo caso è richiesta la chiusura ermetica del locale. In entrambi i casi può essere inoltre prevista un'ulteriore rete ad acqua, di spegnimento e/o di raffreddamento, con ugelli posti nei locali e bocchette esterne all'edificio alimentabili dalle autobotti VV.FF.



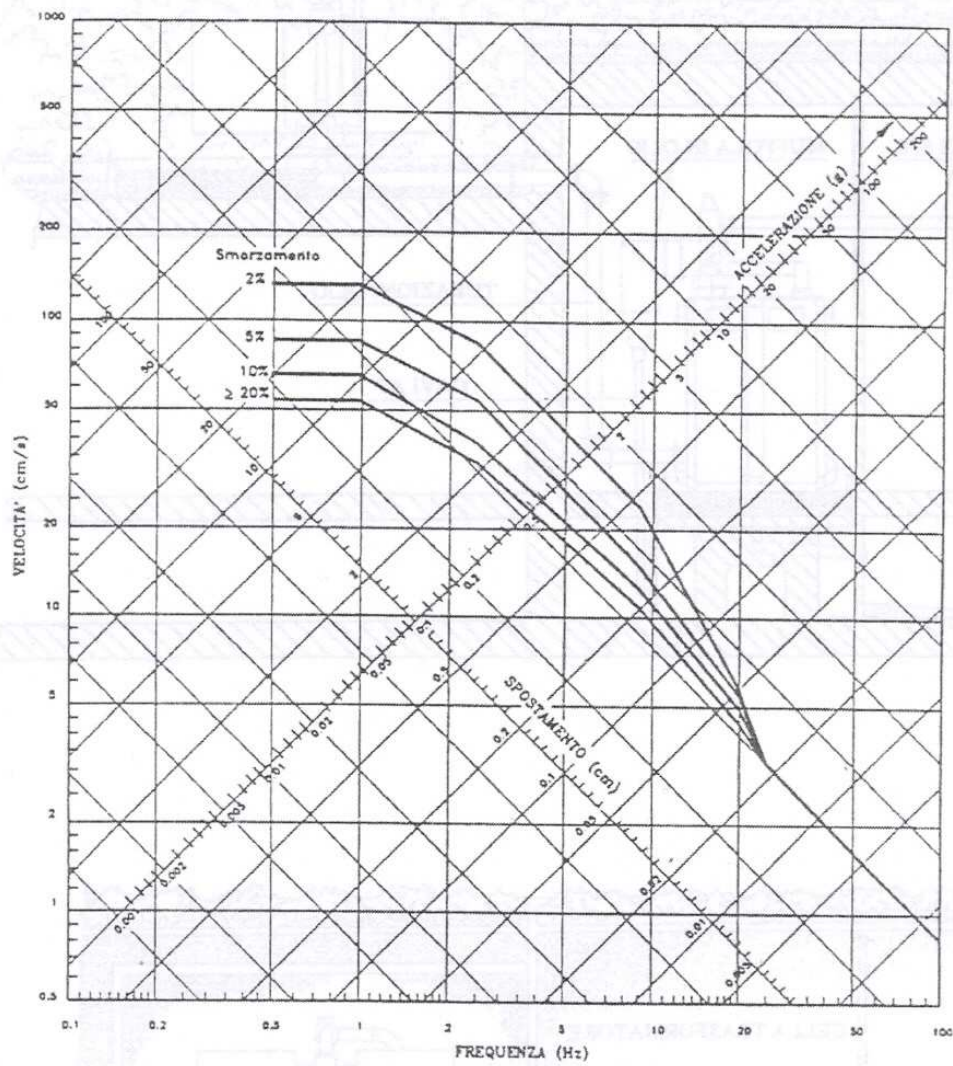
## 5. Qualificazione sismica

La qualificazione sismica viene condotta per verificare la capacità delle apparecchiature prefabbricate con involucro metallico, isolate in SF<sub>6</sub>, di resistere ai carichi sismici, in termini di mantenimento dell'integrità strutturale e della funzionalità, durante e dopo l'evento sismico, tenendo conto anche dell'interazione con il suolo o con l'edificio.

In particolare, il mantenimento dell'integrità strutturale comporta l'assenza di rotture nei circuiti principali, in quelli di controllo e ausiliari, ed anche nelle strutture di supporto. Eventuali deformazioni permanenti possono essere tollerate purché non pregiudichino l'integrità e il funzionamento dell'impianto dopo l'evento sismico.

Il mantenimento della funzionalità implica che l'impianto, durante e dopo il sisma, deve essere in grado di resistere alle sollecitazioni di tensione e di corrente proprie dell'impianto stesso, sia di tipo continuo (tensione di esercizio e correnti di carico) che di tipo transitorio (sovratensioni e correnti di guasto); inoltre le apparecchiature di manovra devono operare correttamente e i trasformatori di misura devono mantenere la loro classe di precisione.

La severità di riferimento per effettuare la verifica sismica è stata definita secondo quanto specificato nel documento IEC relativo alla verifica sismica degli interruttori AT con isolamento in aria (IEC Document 17° (Secretariat) 301: "Guide for seismic qualification of high voltage alternating-current circuit-breakers", Dicembre 1989). In particolare è stato scelto lo spettro di accelerazione al periodo zero pari a 0,5g (Fig. 13), a cui corrisponde un'intensità sismica compresa tra VIII e XI grado della scala Mercalli, in quanto esso involuppa, con sufficiente margine, nel campo delle frequenze dominanti del sisma ( 1 ÷ 33 Hz), gli spettri di risposta relativi agli eventi sismici verificatisi in Italia tra gli anni '70 e '80 (terremoti di Ancona, Friuli e Irpinia).



FREQUENZA (Hz)	AMPIEZZA (g)			
	smorzamento			
	2%	5%	10%	≥ 20%
0.5	0.43	0.29	0.21	0.18
1.0	0.85	0.52	0.43	0.32
2.4	1.40	0.87	0.64	0.52
9.0	1.40	0.87	0.73	0.61
20.0	0.75	0.70	0.64	0.52
25.0	0.50	0.50	0.50	0.50

Fig. 13 – Spettro di risposta per la qualificazione sismica  
(accelerazione al periodo zero pari a 0,5g)

## 5.1 Modalità di esecuzione

La verifica sismica viene necessariamente effettuata attraverso la combinazione di attività analitico - sperimentali, in quanto non è possibile provare sulla tavola vibrante le sezioni complete AT e MT a causa delle loro dimensioni. Come risulta dallo schema a blocchi di Fig.14, la modalità di qualificazione si è articolata in:

- verifica sismica preliminare dell'assieme da sottoporre alle prove di laboratorio;
- prove di laboratorio;
- verifica sismica finale dell'intera sezione d'impianto;
- prove in sito.

La verifica sismica preliminare dell'assieme da sottoporre alle prove di laboratorio viene effettuata analiticamente con un modello matematico tridimensionale (3D) per evidenziare situazioni di criticità, prima di intraprendere prove in laboratorio e per suggerire quindi anche le eventuali modifiche da apportare all'impianto.

Le prove di laboratorio sono state effettuate per verificare la funzionalità e l'integrità strutturale dell'assieme di prova ed inoltre per acquisire informazioni necessarie alla messa a punto del modello matematico dell'impianto.

La verifica sismica finale della intera sezione d'impianto viene condotta per via analitica, tenendo conto dell'interazione con il suolo o con l'edificio.

Le prove in sito vengono effettuate sulla sezione AT per avere un'ulteriore validazione del modello matematico utilizzato per la verifica sismica finale.

In occasione delle prove di laboratorio, le verifiche ed i controlli eseguiti durante e al termine dell'applicazione delle sollecitazioni dinamiche, forniscono le seguenti informazioni circa:

- l'entità delle sollecitazioni in alcune sezioni dell'assieme provato;
- l'integrità strutturale dell'assieme provato;
- il mantenimento della stabilità della posizione dei contatti principali ed ausiliari durante il sisma;
- il mantenimento della continuità elettrica e meccanica dei circuiti principali ed ausiliari durante il sisma;
- l'entità di eventuali perdite di SF<sub>6</sub> e del fluido di manovra (aria, olio) dei comandi degli interruttori in seguito al sisma;
- la variazione dei tempi di manovra degli interruttori e dei sezionatori in seguito al sisma;
- la variazione degli errori di rapporto e d'angolo dei trasformatori di misura in seguito al sisma;
- l'integrità dell'isolamento dei circuiti principali e secondari in seguito al sisma.

Le verifiche analitiche forniscono, per diversi tipi di terreno e per diversi tipi di fondazione:

- le sollecitazioni massime in tutte le sezioni dell'impianto ai fini della verifica dell'integrità strutturale;
- gli spostamenti relativi delle flange collegate tra loro ai fini di evidenziare possibili perdite di SF<sub>6</sub>;
- gli spostamenti di parti interne, in particolare dei conduttori, che se eccessivi potrebbero ridurre la tenuta alle sollecitazioni di tensione e di corrente;
- i valori e la distribuzione delle forze trasmesse alle fondazioni dalla cabina, comprendendo anche i trasformatori di potenza.

## 5.2 Risultati ottenuti

L'attività di qualificazione evidenzia quanto segue:

- il collegamento ai trasformatori con condotto in SF<sub>6</sub> non risulta critico a patto di dimensionare correttamente, dal punto di vista dinamico, le fondazioni e di vincolare convenientemente i trasformatori a quest'ultime;
- le parti dell'impianto più sollecitate sono risultate quelle in prossimità all'isolatore passante aria/SF<sub>6</sub> dei montanti di linea;
- la scelta di fondazioni separate per ciascun trasformatore e per la rimanente parte della sezione AT è risultata più conveniente da un punto di vista tecnico-economico, infatti, il maggior costo della fondazione unica non trova un apprezzabile riscontro in termini di riduzione delle sollecitazioni sull'apparecchiatura;
- le sollecitazioni maggiori si sono ottenute nel caso di terreni argillosi e quelle minori in terreni rocciosi, una situazione intermedia si è verificata in terreni sabbiosi.



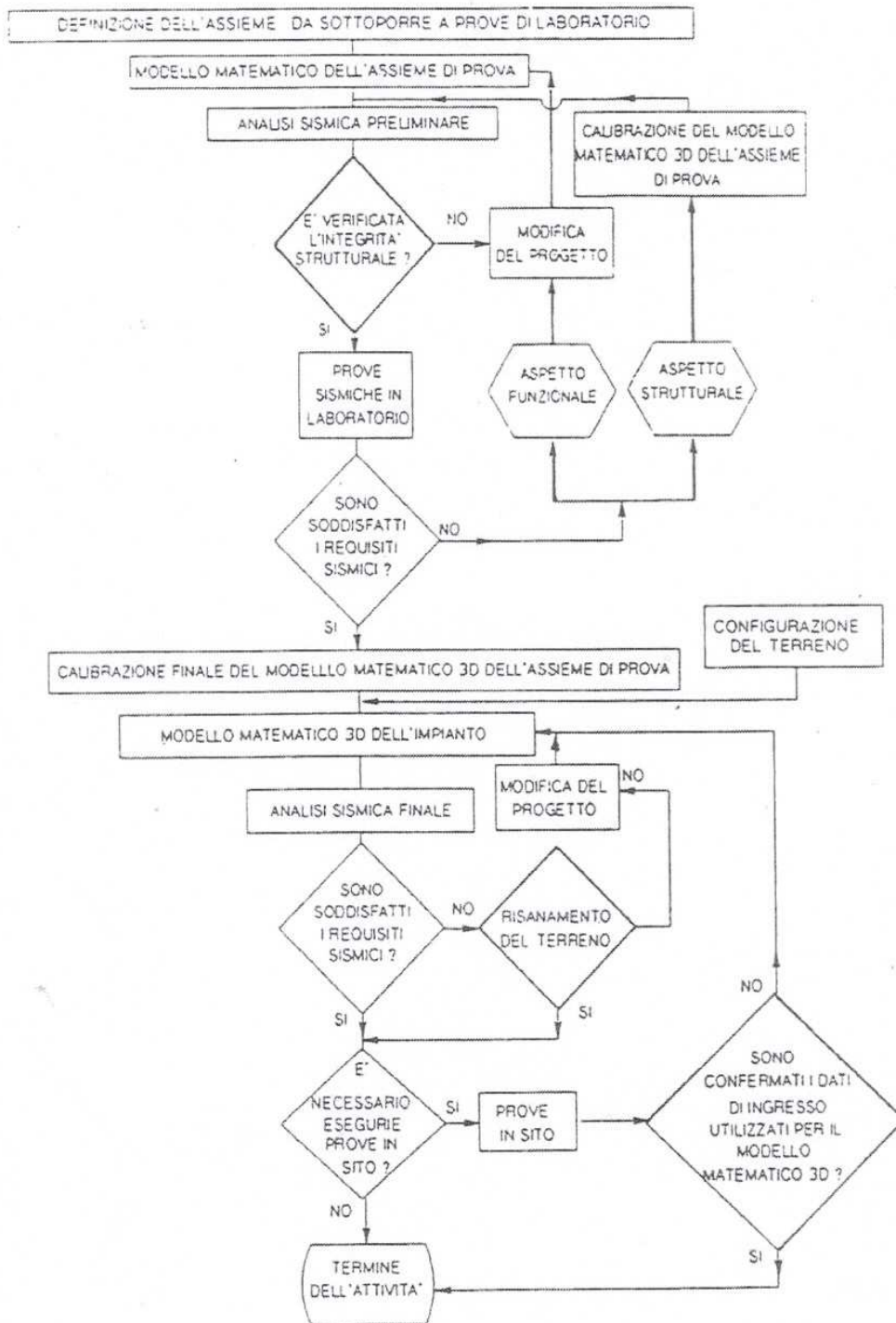


Fig. 14 – Sequenza delle attività analitico - sperimentali per la qualificazione sismica



## 6. Prove di collaudo

### 6.1 Prove di tipo

Le prove di tipo previste per l'omologazione dell'apparecchiatura prefabbricata isolata in SF<sub>6</sub> vengono effettuate sulla base di prescrizioni che in alcuni casi integrano le norme CEI o sopperiscono alla mancanza di una normativa specifica. (La Tab. 2 riporta l'elenco delle prove di tipo previste).

Al fine di tener conto anche delle sollecitazioni trasmesse tra componenti adiacenti presenti in ciascuna sezione, le prove vengono generalmente effettuate su un montante di linea completo nel caso di sezione AT e su un complesso costituito da un montante linea, trasformatore, TV e congiuntore sbarre nel caso della sezione MT.

Per quanto riguarda le modalità di prova, come nel caso delle soluzioni con isolamento in aria, si segnala:

- l'esecuzione delle prove di tensione sui circuiti principali ai valori nominali dopo l'esecuzione delle prove per la verifica dei poteri di stabilimento ed interruzione;
- l'esecuzione delle prove di comportamento meccanico effettuando 10000 e 5000 operazioni rispettivamente nel caso di interruttori AT e MT;
- l'esecuzione di prove di vita elettrica sugli interruttori MT e di prove di invecchiamento accelerato sugli isolamenti in materiale organico con le stesse modalità previste per i quadri isolati in aria.

### 6.2 Prove d'accettazione e dopo l'installazione in sito

Le Tab. 3 e 4 riportano rispettivamente l'elenco delle prove d'accettazione che vengono effettuate presso il costruttore e dopo l'installazione in sito.

Di particolare importanza per questo tipo di apparecchiatura sono le prove di tensione a frequenza industriale, eseguite dopo l'installazione in sito sui circuiti principali di ciascuna sezione di impianto. Infatti, queste prove consentono di evidenziare eventuali danni subiti durante in trasporto o il montaggio dell'apparecchiatura, ivi compresa l'inclusione di corpi estranei che possono pregiudicare l'integrità dell'isolamento durante l'esercizio.

### 6.3 Controlli diagnostici durante l'esercizio

Durante l'esercizio della cabina, il rilievo e l'elaborazione di determinate grandezze fisiche permettono di pervenire all'individuazione di evidenti situazioni di guasto o anomalie e alla valutazione degli effetti di un invecchiamento precoce dell'apparecchiatura.

Ai fini della verifica dello stato dell'isolamento durante l'esercizio della cabina, sono state introdotte in modo sistematico delle verifiche periodiche che prevedono la misura del contenuto di umidità nell'SF<sub>6</sub> e la misura di scariche parziali con metodi acustici e chimici. La misura del contenuto di umidità presente nell'SF<sub>6</sub> può essere effettuata con diversi metodi. I metodi più rigorosi sono quello basato sulla misura della temperatura di rugiada e quello gravimetrico, anche se raramente utilizzati a causa della loro complessità. Di più semplice utilizzo risultano invece i metodi basati sulla misura della variazione di conducibilità o di capacità di particolari trasduttori sensibili all'umidità.

La misura di scariche parziali, attraverso metodo tradizionale, non è praticabile in campo durante l'esercizio della cabina, mentre risulta praticabile con metodi alternativi, basati sulla rilevazione di grandezze correlate a fenomeni associati alla presenza di scariche parziali, servendosi di metodi acustici e chimici.

I metodi acustici si fondano sul rilievo delle vibrazioni indotte dalle scariche parziali sull'involucro esterno. Tali vibrazioni si misurano con sensori piezoelettrici messi a contatto con la superficie esterna dell'involucro metallico dell'apparecchiatura.

I metodi chimici permettono il rilievo del grado di decomposizione dell' $\text{SF}_6$  attraverso l'analisi dei prodotti derivanti dalla presenza di scariche parziali all'interno del blindato. I mezzi di analisi maggiormente utilizzati sono speciali tubi indicatori che forniscono solo la quantità globale dei prodotti di decomposizione e non la concentrazione di ciascun prodotto.

## 7. Cabina primaria AT/MT semplificata

La crescente sensibilità dell'opinione pubblica e degli operatori del mercato elettrico al recupero e conservazione dei valori ambientali, sta rapidamente indirizzando le soluzioni impiantistiche al maggiore rispetto del territorio, tenendo conto anche della economicità delle scelte adottate.

Per realizzare questo obiettivo, un consistente contributo è offerto dalle opportunità associabili all'evoluzione della rete elettrica stimolate anche dalla liberalizzazione del mercato e dalla disponibilità di nuovi componenti elettrici.

Nel trattare il tema delle tecnologie elettriche nel rispetto del territorio, un ruolo fondamentale è indubbiamente atteso e svolto dalla rete di distribuzione.

Il risultato dell'impegno dei Distributori, negli ultimi anni, per progettare, realizzare e collaudare una nuova soluzione di cabina primaria AT/MT con caratteristiche adeguate a soddisfare le istanze di migliore eco-compatibilità e costo ridotto, è possibile riscontrarlo nella recente soluzione adottata, basata sui seguenti concetti:

- semplificazione degli schemi di stazione e di collegamento alla rete;
- compattezza;
- prefabbricazione delle sezioni AT e MT.

Essa offre, in sintesi, i seguenti vantaggi:

- riduzione dell'impatto ambientale della sezione AT/MT e delle linee MT;
- miglioramento della qualità del servizio reso all'utenza, in linea con le regole stabilite nel 1999 dall'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas;
- riduzione dei costi di investimento (costruzione e collaudo) e di esercizio (manutenzioni e parti di ricambio);
- riduzione delle perdite di rete.

### 7.1 Configurazione della rete di distribuzione e modello di esercizio

Allo stato attuale, la rete di distribuzione italiana è esercita, per la parte AT, a 132 kV o 150 kV, mentre la maggior parte della rete MT è a 20 kV. Le cabine primarie sono normalmente provviste di due trasformatori, la cui potenza nominale è di 25 MVA o 40 MVA ONAN (31,5 MVA o 50 MVA ONAF) e, in alcuni casi, 16 MVA o 100 MVA.

La soluzione tradizionale prevede, per gli impianti extraurbani, una sezione AT per esterno isolata in aria e una sezione MT isolata in aria o SF<sub>6</sub>, installata in edificio. Nelle aree urbane sono utilizzate anche soluzioni con isolamento in SF<sub>6</sub>.

La rete MT è realizzata mediante linee dorsali congiungenti due cabine primarie AT/MT. Ciascuna dorsale è esercita in radiale, con sezionamento attuato normalmente in una cabina secondaria MT/BT intermedia. In caso di indisponibilità di una delle due cabine primarie, il collegamento è ripristinato nella cabina di sezionamento e l'intera dorsale è alimentata da una sola estremità. In caso di guasto in uno dei due tratti, il sezionamento viene spostato in un'altra cabina MT/BT intermedia e tutte le cabine MT/BT vengono rialimentate.

L'installazione di due trasformatori AT/MT fornisce una ridondanza del 100% nelle condizioni normali di esercizio.

In pratica, l'alimentazione in emergenza di tutte le linee MT afferenti ad una cabina primaria dalle cabine adiacenti, non risulta sempre di rapida attuazione a causa del tempo impiegato dagli operatori per le manovre manuali di sezionamento e riconnessione delle cabine MT/BT. Altre difficoltà possono derivare dall'insufficiente portata al limite termico della linea di "soccorso" per alimentare da una sola estremità un carico complessivo che sovente è aumentato nel tempo.

Poiché la statistica dei guasti in esercizio delle reti con linee in MT aeree mostra che circa il 90% delle interruzioni sono da attribuire alle linee MT e alle cabine secondarie, al fine di ridurre il numero delle interruzioni si è passati alla messa a terra del neutro con bobina di estinzione.

## 7.2 Un nuovo modello di configurazione di rete

Allo stato attuale, le nuove cabine AT/MT installate per far fronte all'aumento del carico e per migliorare la qualità del servizio, di fatto riducono la lunghezza e il carico dei singoli tratti di linea, rendendo tecnicamente possibile la controalimentazione del carico complessivo da una sola estremità. Questo recente sviluppo naturale della rete consente, in caso di necessità, nella maggior parte delle cabine primarie, di controalimentare il carico totale delle cabine adiacenti.

Questo scenario prevede la possibilità di diffusione di cabine primarie semplificate, equipaggiate con un solo trasformatore AT/MT (da 16 MVA, 25 MVA o 40 MVA) che alimenta un numero ridotto di linee MT, ciascuna provvista di interruttori di manovra/sezionatori di linea comandati a distanza in una parte delle cabine MT/BT.

Con la nuova configurazione di rete, la ridondanza per l'alimentazione del carico viene fornita non più da uno dei due trasformatori locali, bensì dalla rete stessa attraverso le cabine interfacciate. Questa condizione è sovente realizzabile con un modesto potenziamento della rete di distribuzione AT, che in Italia risulta già sufficientemente estesa e magliata.

L'allocazione delle cabine primarie può in molti casi avvenire nella fascia di asservimento delle esistenti linee AT, in virtù delle caratteristiche di compattezza e di miglior affidabilità della nuova soluzione impiantistica.

L'inserimento di cabine semplificate porterebbe il sistema di distribuzione ad evolvere verso il raddoppio del numero di linee MT e la riduzione della loro lunghezza mediamente del 50%.

La Fig. 1 mostra come può essere inserita una nuova cabina primaria semplificata AT/MT (CS) tra due cabine primarie esistenti (CP). Un vasto sistema, idealmente assunto con una regolare configurazione modulare, dovrebbe gradualmente evolvere nel lungo termine come segue:

- a) il numero totale delle nuove cabine AT/MT semplificate (dotate di un trasformatore) deve risultare circa il doppio del numero delle cabine attualmente presenti;
- b) la lunghezza delle linee di media tensione si riduce al 50 ÷ 60% delle linee originali e saranno circa il doppio di quelle esistenti;
- c) la caduta di tensione e le perdite sulle linee MT saranno di conseguenza ridotte al 25 ÷ 36% per ciascuna condizione di carico assegnato;

- d) il fattore di carico medio dei trasformatori AT/MT, durante il normale funzionamento a pieno carico, sarà aumentato del 50% circa per le cabine esistenti, del 75 ÷ 85% per le nuove cabine aventi da 3 a 6 stazioni adiacenti;
- e) lo sviluppo delle linee MT, fornito da ciascun trasformatore, sarà ridotto al 50 ÷ 60% dello sviluppo attuale;
- f) nonostante il ridotto aumento dello sviluppo totale delle linee MT, la capacità di distribuzione della potenza della rete raddoppia;
- g) come la maggior parte delle reti pubbliche MT in Italia, le linee sono gestite con neutro isolato da terra, la massima corrente di guasto a terra è ridotta in proporzione allo sviluppo della linea, la probabilità di auto estinzione dei guasti transitori fase-terra in linee aeree è aumentato;
- h) i punti b), e), g) di cui sopra e l'attuazione del controllo a distanza degli interruttori di carico nel lato MT/BT delle cabine, comporterà una sostanziale riduzione del tasso di "buchi" di tensione, così come il tasso e la durata dell'interruzione della fornitura ai consumatori;
- i) il numero di linee MT in uscita dalle cabine esistenti non avrà un ulteriore incremento; al contrario, le nuove cabine primarie semplificate serviranno anche le linee MT più distanti (fino ad un massimo di 10), diminuendo così la congestione delle linee MT nei pressi della cabina AT/MT.

### 7.3 Schemi tipici per cabine primarie

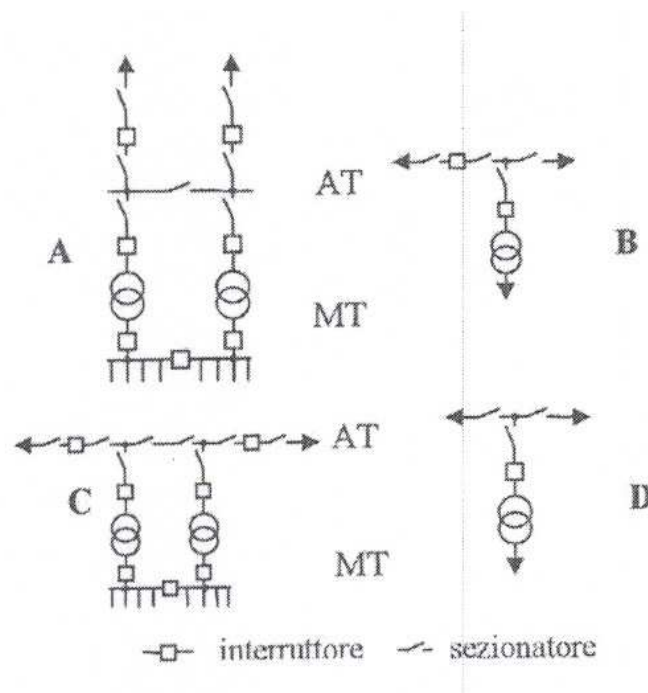


Fig. 15 – Schemi di principio tipici per cabine primarie AT/MT

Lo schema "A", noto anche come schema "H", è tipico quando vengono installati due trasformatori di potenza con il collegamento "entra - esci" alla rete AT.

Lo schema "B" è considerato più conveniente per la nuova soluzione di cabina primaria semplificata. La sezione AT è realizzata mediante un solo modulo di isolamento ibrido (aria ed SF<sub>6</sub>) semplificato.

L'aggiunta di un secondo modulo semplificato di tipo "B" realizza lo schema "C" che funzionalmente equivale allo schema "A" ma assicura una maggiore disponibilità, data la presenza di due sezionatori congiuntori di sbarra in serie. Questi ultimi, oltre che isolare elettricamente il modulo guasto, consentono di effettuare la manutenzione dei sezionatori stessi con un modulo in servizio.

Lo schema "D" può essere utilizzato per realizzare una cabina di modesta potenza in derivazione su linea di AT alimentata ai due estremi. A differenza dello schema B, esso non può essere iterato lungo una stessa linea di AT.

Nello schema "D", la cabina AT/MT può essere installata a qualche chilometro di distanza dalla linea di AT e viene collegata da una linea a semplice terna di tipo "leggero", percorsa dalla sola corrente assorbita dal trasformatore AT/MT, con la proporzionale riduzione del campo magnetico. In tal caso, i due sezionatori di linea possono essere installati sul sostegno di ormeggio della linea di AT nel punto di derivazione.

Si può notare che anche lo schema "B" potrebbe essere realizzato con il trasformatore AT/MT e la sezione MT ubicati a distanza dalla linea di AT laterale di tipo "leggero". Questa soluzione evita la realizzazione di una linea a doppia terna, o di due linee a semplice terna, tra il punto di derivazione e la cabina di trasformazione, necessarie quando quest'ultima è realizzata con lo schema "A" oppure "C". Tuttavia lo schema "B" associato alla linea laterale "leggera" richiede di realizzare sostanzialmente due cabine; una nel punto di derivazione; l'altra per la trasformazione nel sito di utilizzazione.

#### 7.4 Scelta dello schema unifilare semplificato per le nuove sottostazioni AT/MT

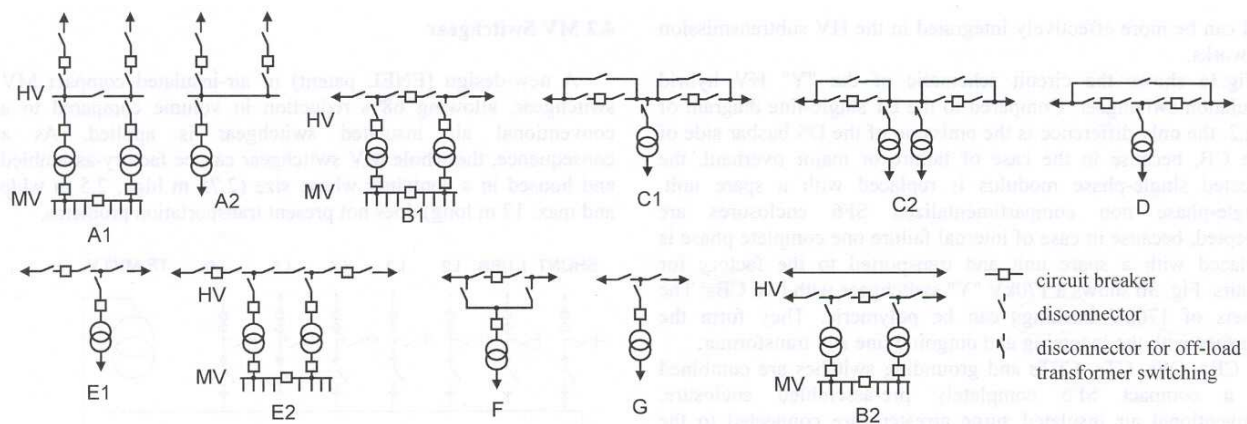


Fig. 16 – Tipici schemi unifilari di cabine di sottotrasmissione AT/MT

La Fig. 16 mostra una serie di schemi a singola linea che sono stati utilizzati, fino ad oggi, in vari paesi per la sottotrasmissione AT/MT in cabina. Al fine di semplificare gli schemi, sono stati rappresentati solo il CB e i sezionatori di alta tensione (DS), che sono essenziali per la configurazione di ogni schema. Si dovrebbero considerare dei trasformatori di corrente (TA) in serie ad ogni CB, degli scaricatori di sovratensioni (SA) collegati ai terminali del trasformatore di potenza, dei trasformatori capacitivi di tensione (CPT) nei pressi di ciascun morsetto di linea di alta tensione, un CB di media tensione estraibile o dotato di DS di messa a terra come accesso ai terminali di linea e di sbarra. Gli schemi sono stati redatti in ordine decrescente di grandezza del rapporto:

$$R = [n^\circ \text{ di CB di alta tensione}] / [n^\circ \text{ di alimentatori di alta tensione}].$$

Si suppone che la linea di alta tensione si in grado di alimentare le cabine da entrambi i lati.



Lo schema “A1” è noto anche come schema “H”. Esso è stato ampiamente applicato in Italia nelle cabine AT/MT dotate di due trasformatori e connesse ad anello. Questo schema convenzionale richiede un CB per ciascun alimentatore di alta tensione ( $R=1$ ). La ridondanza della capacità del trasformatore e il funzionamento della linea AT in anello chiuso assicura la continuità della fornitura della rete MT anche nel caso di fermo del trasformatore o interruzione della linea stessa. Anche se non frequente, la manutenzione dei DS che collega le due sezioni di sbarre può richiedere una breve interruzione della cabina. Questo DS viene installato per garantire una certa flessibilità di funzionamento, permette la manutenzione e le opere sulle sezioni di sbarra e sul DS dell'alimentatore.

Lo schema “A2” può essere utilizzato come fase iniziale dello schema A1.

Lo schema “B1” permette di risparmiare un CB rispetto allo schema A1. Tuttavia, un guasto permanente nella linea provoca una breve interruzione di un trasformatore e degli alimentatori MV pertinenti.

Lo schema “B2” è molto economico, presentando un rapporto  $R = 0,25$ . Veniva applicato nelle cabine con due trasformatori di capacità ridondanti. Il trasferimento dei segnali di intervento di alta affidabilità alla linea di controllo remoto è necessario per una efficace protezione dei trasformatori. I guasti della linea di alta tensione non transitoria causano il fuori servizio di un trasformatore. Un'applicazione dello schema B2 consiste nel suddividere lo schema stesso in sezioni che comprendano una linea di alta tensione e un trasformatore AT/MT, protetto da tre CB: il locale CB di alta tensione, un CB sul lato MT del trasformatore e un CB di alta tensione sulla linea remota terminale.

Gli schemi “C1”, “D”, “E1” ed “F” hanno in comune due CB per tre alimentatori ad alta tensione, vale a dire che il rapporto vale  $R = 0,66$ .

Lo schema “C2” ha un rapporto  $R = 0,5$ . Gli schemi C1 e C2, di origine nordamericana, utilizzano DS capaci di inserire e disinserire il trasformatore a vuoto. L'effetto dei rari guasti che possono interessare il trasformatore viene attenuato dall'apertura dei CB sulle due linee. Normalmente, i guasti della linea non causano l'interruzione dell'alimentazione del carico. Se un CB è temporaneamente by-passato per la manutenzione, un guasto alla linea associata causerà il fuori servizio di altri CB locali e l'interruzione del trasformatore.

L'uso di un sezionatore di by-pass nello schema “D” permette la commutazione del trasformatore con uno dei CB della linea, evitando il fuori servizio della linea.

Il diagramma “E1” è stato identificato come il più idoneo per la nuova cabina primaria AT/MT semplificata. L'uso di un CB sul lato AT del trasformatore facilita le manovre e la protezione della macchina. Un'interruzione forzata o prevista per la linea, risolta soltanto con un DS, provoca l'interruzione temporanea del trasformatore e degli alimentatori MT in dotazione. Questo evento sarà raro in quanto le linee ad alta tensione sono relativamente brevi e la richiusura unipolare ad alta velocità è prevista al fine di evitare l'interruzione del trasformatore di alimentazione nel caso di guasti di linea ingenti.

Come descritto nei paragrafi seguenti, la parte alta tensione delle cabine che presentano lo schema E1 è un modulo prefabbricato. Con l'aggiunta di un secondo modulo eguale, la cabina viene estesa come mostrato nello schema E2. Il secondo è un diagramma tipo “H” come lo schema A1, ma le due sezioni di sbarra di alta tensione sono legate da due DS in serie.

Lo schema “F” è complementare allo schema E1, ma a differenza di quest'ultimo presenta una configurazione a triangolo invece che a stella. Normalmente, uno dei due DS del trasformatore è aperto. Il regime si comporta quindi

come E1 e nel caso di interruzione di una linea per manutenzione, questa può essere effettuata senza l'interruzione della fornitura del trasformatore grazie a un pre-collegamento di questo alla linea che rimane in servizio per mezzo dei DS (la commutazione con i DS è possibile se il CB di linea è bloccato nella posizione di chiusura per breve periodo). I DS del trasformatore potrebbe essere utilizzato per by-passare il CB di linea per la manutenzione.

Il layout di un sistema a triangolo (schema F) è più complesso e costoso rispetto al layout di un sistema a stella (schema E1).

Si prevede che con lo schema E1 possono essere inserite fino a 5 ÷ 6 cabine semplificate in una linea di alta tensione compresa tra due cabine di alimentazione. La fattibile iterazione del regime E1 lungo una linea deriva dal fatto che un guasto potrebbe causare normalmente l'interruzione di non più di un trasformatore AT/MT.

Lo schema G è stato ampiamente utilizzato in diversi paesi per le piccole sottostazioni che compaiono lungo le linee di alta tensione. Questo regime presenta un rapporto  $R = 0,33$ , cioè molto basso. A differenza dello schema E1, il regime G non deve essere iterato lungo una linea, al fine di evitare l'interruzione simultanea di più di una cabina AT/MT.

### 7.5 *Le caratteristiche della cabina primaria semplificata*

La nuova cabina consiste in tre moduli funzionali che realizzano rispettivamente la sezione AT, la trasformazione AT/MT e la sezione MT. Essi sono completamente prefabbricati, assemblati e collaudati in fabbrica e risultano facilmente trasportabili in sito con mezzi normali.

La soluzione adottata offre altri vantaggi che derivano dalla sua compattezza, quali la facilità e rapidità di installazione in sito, l'agevole sostituzione in caso di guasto, la ridotta necessità di opere civili e la installabilità nella fascia di asservimento delle linee di AT.

L'assenza di fabbricati e il minimo investimento in opere civili (poche e semplici fondazioni), consentono inoltre di trasferire, con modesta spesa, la cabina in altro sito, qualora nel tempo dovessero cambiare la destinazione e l'utilizzo delle aree interessate.

#### 7.5.1 *La sezione AT*

Consiste preferibilmente in tre moduli monofasi indipendenti. Gli interruttori, i sezionatori ed i sezionatori di terra sono disposti in un involucro con isolamento in SF<sub>6</sub>. I trasformatori di corrente, di tipo toroidale, sono di bassa tensione, ubicati alla base dei passanti AT.

Nella Fig. 17 e 18 è mostrata una sezione AT nella versione "Y2", ovvero la sezione AT è costituita da un modulo integrato contenente due interruttori in SF<sub>6</sub>, rispettivamente collocati sul montante trasformatore (comando tripolare) e su uno dei due montanti linea (a comando unipolare) e un sezionatore motorizzato e telecomandato collocato anche esso su un montante linea. Il montante include sezionatori di linea comandabili da postazione remota e sezionatori di messa a terra motorizzati comandabili localmente.

Nelle installazioni urbane, in ambienti sotterranei e con arrivo di linea di AT in cavo, viene utilizzata la stessa soluzione ad "Y", dove i passanti aria/SF<sub>6</sub> sono sostituiti da interfacce olio/SF<sub>6</sub> 0 XLPE/SF<sub>6</sub>.

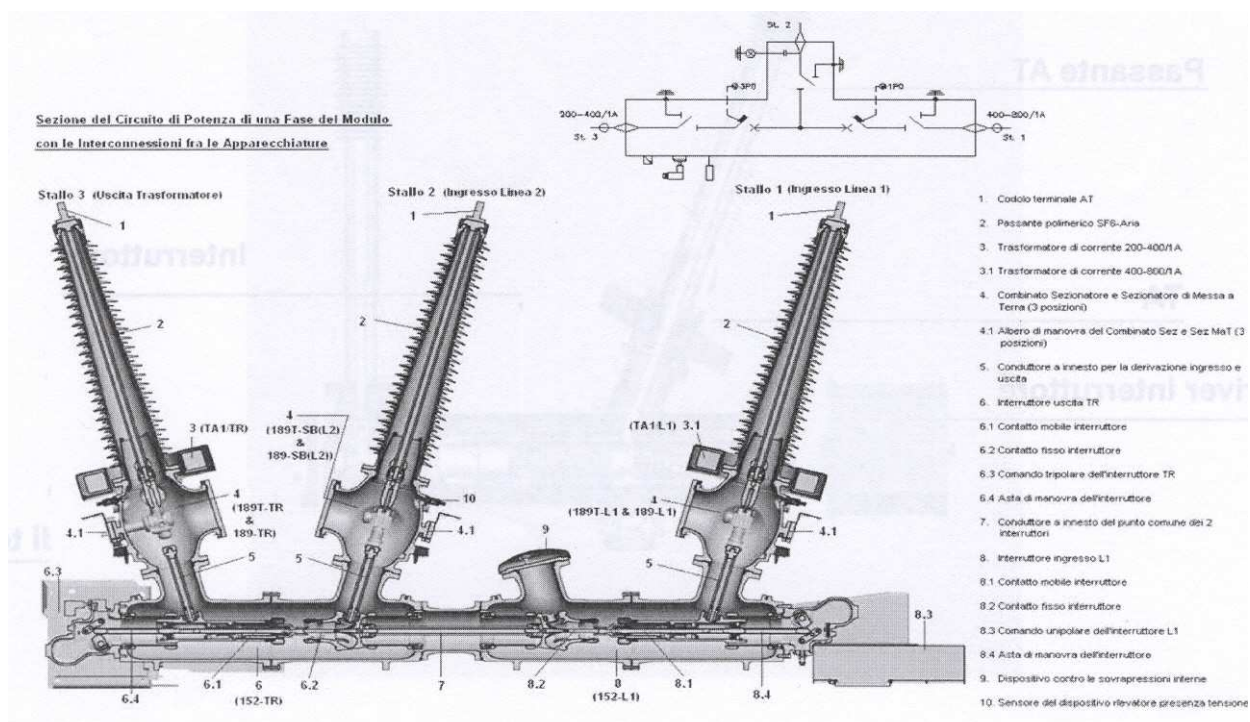


Fig. 17 – Modulo ibrido “Y2” della sezione AT (sezione interna)

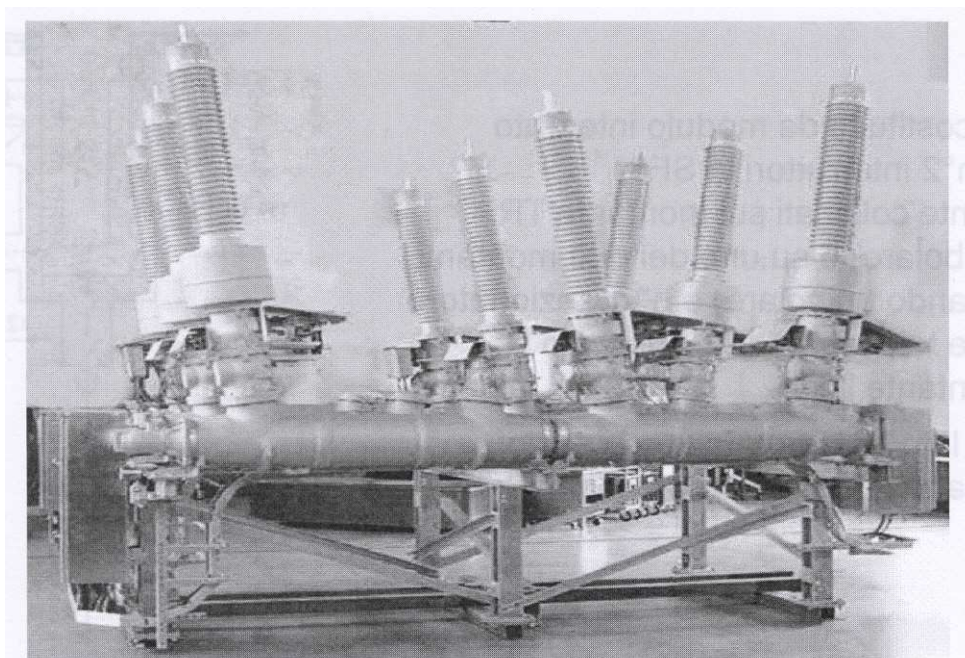


Fig. 18 – Modulo ibrido “Y2” della sezione AT (Approntamento in fabbrica)

### 7.5.2 La sezione MT

Viene adottata una nuova soluzione di apparecchiatura compatta, isolata in aria, che consente una consistente riduzione di volume. Di conseguenza, l'intera sezione MT può essere assemblata in fabbrica e allocata in un container di dimensioni accettate per il trasporto normale.

La Fig. 19 mostra lo schema unifilare di un quadro a 24 kV equipaggiato con 12 interruttori di linea e realizzato in container.

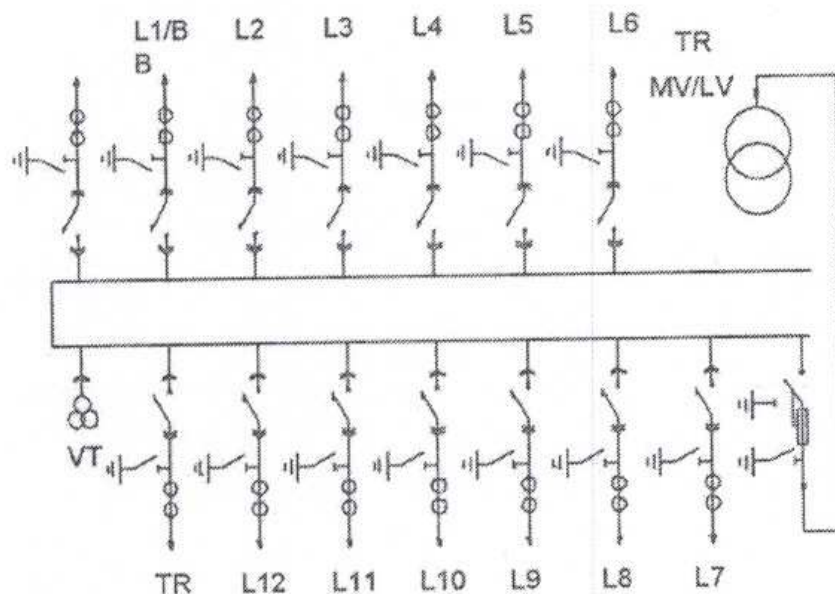


Fig. 19 – Schema unifilare di un quadro a 24 kV, di tipo compatto, equipaggiato con 12 interruttori di linea e alloggiato in un container.

### 7.5.3 Il trasformatore AT/MT

È disponibile una nuova soluzione di trasformatore che, a parità di progetto elettromagnetico rispetto al tipo tradizionale, meglio si presta a soddisfare le esigenze della nuova cabina primaria, soprattutto per quanto riguarda i requisiti di messa a terra del neutro con bobina di estinzione. Il campo di regolazione della tensione è stato ottimizzato.

Considerando le possibili sovratensioni temporanee per guasto monofase a terra ed il livello di protezione ad impulso atmosferico degli scaricatori, si è ritenuta accettabile la riduzione dei livelli di isolamento del neutro e del commutatore sottocarico ai valori relativi alla tensione di esercizio di 123 kV.

## 7.6 Uso delle nuove tipologie di apparecchiature

### 7.6.1 Apparecchiature di Alta Tensione

Una caratteristica importante e distintiva delle cabine primarie è il tipo di isolamento dei componenti. L'introduzione di nuove apparecchiature, dotate di un isolamento ibrido ( $\text{SF}_6$  – aria), ha portato alla sostituzione dei vecchi componenti in quanto si possono riscontrare i seguenti vantaggi:

- il disegno è molto compatto;
- l'installazione è veloce e affidabile in sito;
- non ci sono parti in tensione alla portata del personale addetto alla manutenzione o di servizio;
- una facile sostituzione in caso di guasto;
- si sono ridotte le esigenze riguardanti le opere civili.

Stimolati dai requisiti richiesti dai Distributori per questo nuovo tipo di cabina, alcuni dei principali produttori hanno sviluppato per i dispositivi di commutazione un design semplice, che richiede una manutenzione minima e che può essere più facilmente integrato nelle reti di sottotrasmissione di alta tensione.

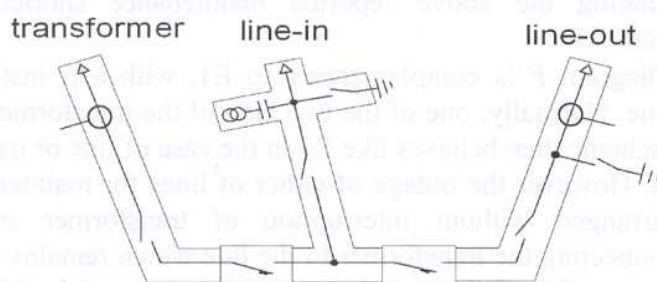


Fig. 20 – Schema di circuito di un prototipo di interruttore da 170 kV con isolamento ibrido

La Fig. 20 mostra il circuito schematico di un'apparecchiatura con isolamento ibrido ad "Y" di alta tensione. Rispetto allo schema E1 a singola linea di Fig. 16, l'unica differenza è l'omissione del DS lato sbarre della linea di CB, perché in caso di fallimento o di revisione radicale, solo il modulo monofase interessato viene sostituito con un apparecchio di ricambio.

CB, DS, CT, CPT e gli interruttori di messa a terra sono completamente pre-assemblati in un involucro compatto isolato in  $\text{SF}_6$ . Convenzionali scaricatori di sovratensione isolati in aria sono collegati ai terminati del trasformatore di alta tensione. L'apparecchio ad "Y" include un motore a controllo remoto gestito da dei DS associati a dei sezionatori di terra.

### 7.6.2 Apparecchiature di Media Tensione

Un nuovo design compatto, con isolamento in aria, è stato raggiunto nelle apparecchiature in MT, permettendo la riduzione del volume di circa il 68% rispetto ad un isolamento in aria convenzionale. Di conseguenza, l'intero apparecchio MT può essere montato in fabbrica ed alloggiato in un container le cui dimensioni non presentino problemi per il trasporto. Lo scarico del container dal camion viene facilmente e rapidamente eseguito grazie ad un sistema idraulico di bordo, facendo in modo che l'apparecchiatura si così pronta all'uso direttamente in sito. È semplicemente necessario creare il contenitore, montare le parti esterne ed effettuare

i collegamenti perché l'apparecchio possa ritenersi in funzione, risparmiando ingenti somme di denaro in campo ingegneristico, di produzione e montaggio.

Le principali caratteristiche dell'armadio dell'interruttore di MT sono: la presenza di apparecchiature per le telecomunicazioni, servizi ausiliare del trasformatore a secco in resina, aria condizionata, batterie a secco da 110V in continua e forniture locali situate nel contenitore walk-in. L'interruttore è costituito da due sezioni, assemblate back-to-back, che sono collegate da sbarre di rame. Esso comprende un alimentatore in ingresso del trasformatore a 1250 A, undici alimentatori di linea in uscita a 630 A, un box PT. Uno scomparto CB viene utilizzato come CB di shunt per l'autoestinzione di archi fase-terra in linee dove la rete MT è gestita con neutro non a terra. Se al posto del CB di shunt venisse installata una bobina Peterson, essa si troverebbe nei pressi del trasformatore.

## 7.7 I benefici attesi

La nuova soluzione di cabina primaria semplificata consente un'importante riduzione dei costi di installazione.

Ad esempio, una cabina con lo schema "C" di Fig. 16, comprendente due sezioni AT e due sezioni MT semplificate del tipo sopra descritto, consente un risparmio, sui costi delle opere civili e del terreno, di oltre il 40% rispetto ad una cabina convenzionale isolata in aria.

Il costo di una cabina convenzionale ad "H" isolata in SF<sub>6</sub> (GIS) è circa il 75% maggiore di una cabina con lo schema "C" (Fig. 16) realizzata con le nuove tecnologie. Una cabina con lo schema "B" (Fig. 16, un solo trasformatore), realizzata con le nuove tecnologie, ha un costo che non raggiunge il 50% del costo di una cabina convenzionale ad "H" con due trasformatori di pari potenza, isolata in aria.

D'altra parte, l'analisi economica eseguita per casi concreti mostra che il risparmio realizzabile nel costo della rete a MT, progettata con i principi innovativi, è maggiore del risparmio conseguibile nelle cabine primarie. In uno scenario di sviluppo della rete MT basato sulla diffusione delle cabine primarie di nuova concezione, è stato dimostrato che sono perseguibili i seguenti benefici:

- la caduta di tensione e le perdite delle linee MT si riducono, per effetto della riduzione della loro lunghezza;
- il fattore di carico dei trasformatori aumenta dal 50% al 75% per cabine aventi mediamente 4 stazioni adiacenti;
- la lunghezza complessiva delle linee MT, alimentate da ciascun trasformatore, si riduce del 50%. Come conseguenza, in un sistema a neutro isolato, la corrente per guasto monofase a terra si riduce in proporzione;
- l'applicazione del telecontrollo ad una parte delle cabine secondarie MT/BT, riduce drasticamente la frequenza e la durata delle interruzioni all'utenza.

### 7.7.1 Benefici inerenti gli aspetti ambientali: impatto visivo e campi elettromagnetici

La compattezza raggiunta dalla cabina primaria, la rende installabile nella fascia di asservimento delle linee di AT, anche nel caso di realizzazione con lo schema "C", come mostra la Fig. 21.

Nel caso in cui la trasformazione AT/MT sia prevista ad una certa distanza dalla linea AT, il relativo collegamento può essere eseguito in linea a semplice terna "leggera" di tipo compatto.



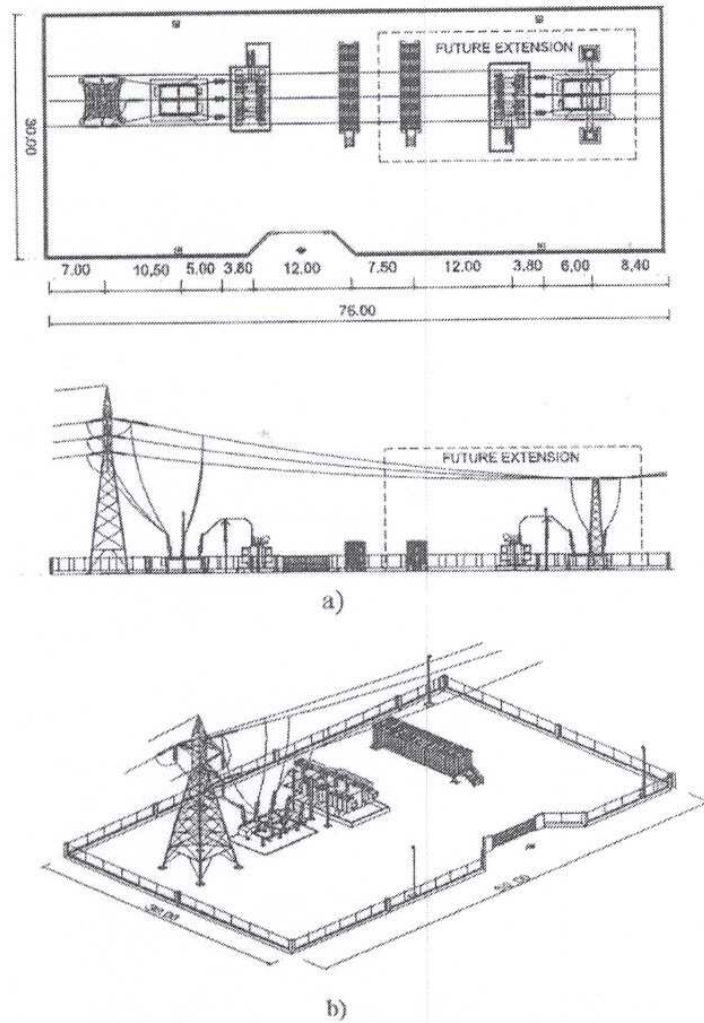


Fig. 21 – Pianta e sezione longitudinale (a) e veduta tridimensionale (b) di una stazione compatta a 170 kV realizzata secondo lo schema “C” di Fig. 16

L’impatto visivo delle nuove cabine sul territorio risulta minimizzato.

Per quanto concerne i campi elettromagnetici, una sostanziale riduzione di questi ultimi a 50 Hz è conseguibile con:

- l’impiego di un’apparecchiatura isolata prevalentemente in SF<sub>6</sub> con involucro metallico per la sezione AT, di dimensioni molto ridotte di quelle tipiche di un impianto isolato in aria;
- il prevedibile aumento del numero di cabine e la conseguente riduzione della lunghezza e della corrente di carico nelle linee di MT;
- l’impiego di una linea a semplice terna “leggera” compatta, percorsa dalla sola corrente assorbita dal trasformatore AT/MT per alimentare le eventuali cabine primarie ubicate a distanza dalla linea di AT.

Misure di campo elettromagnetico eseguite presso una cabina primaria del tipo descritto, di recente realizzazione, confermano i valori tipici degli impianti GIS.

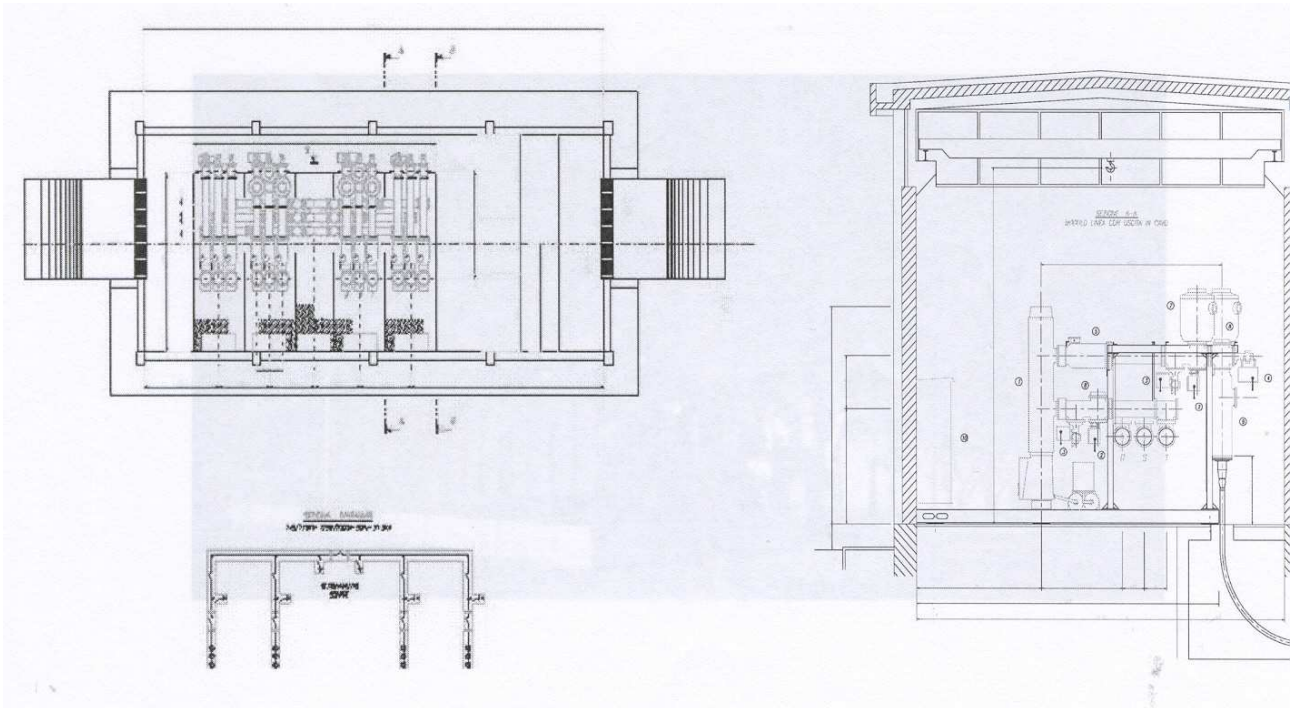
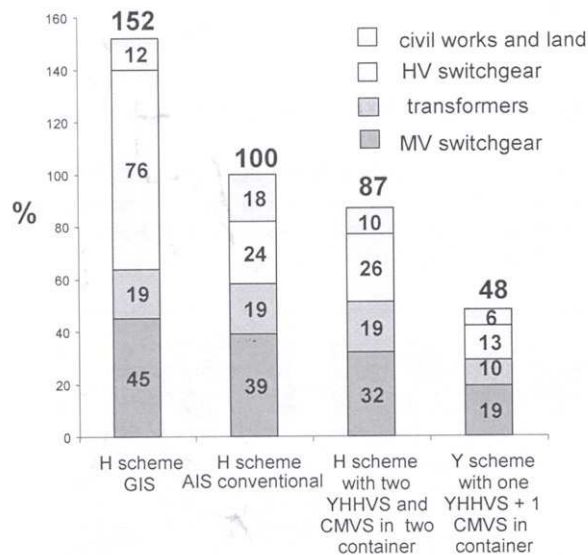


Fig. 22 – Lay-out sezione AT – Blindato AT in SF<sub>6</sub> (GIS)

### 7.8 Confronto dei costi di cabina

Il diagramma qui sotto, mette in evidenza i costi di quattro tipi di cabine 150/20 kV con caratteristiche diverse:



- Schema "H" (A1 in Fig.2) GIS (quadri isolati in gas), con due trasformatori;
- Schema "H" (A1 in Fig.2) convenzionalmente AIS (quadri isolati in aria), con due trasformatori;
- Schema "H" (E2 in Fig.2) formato da due apparecchiature AT Y-ibrida (YHHVS), due trasformatori e un'apparecchiatura compatta MT (CMVS) in due contenitori (uno lungo 12 metri e l'altro 9 metri);
- Schema "Y" (E1 in Fig.2) con un YHHVS, un trasformatore e un CMVS in un contenitore.



Il costo di una cabina Y semplificata 170/20 kV con un trasformatore da 25 MVA ed un'apparecchiatura MT in un contenitore (12 alimentatori in uscita), escludendo i costi di connessione alla linea AT e all'uscita delle linee MT, è di circa 750.000 € attualmente.



## Conclusioni

Nel corso degli anni '50, '60, '70, preoccupati della ricostruzione dell'apparato industriale dopo i danni provocati dalla guerra, non si poteva parlare di sensibilità ecologica ed economica, in quanto era prioritaria la questione produttiva e distributiva.

Agli inizi degli anni '80, erano in esercizio cabine in esecuzione "a giorno", cioè non inglobate in opere civili e con apparecchiature isolate in aria. Queste però determinavano un grande impiego di territorio, causando un eccessivo impatto sull'ambiente, oltre a essere caratterizzate da una certa vulnerabilità e presentando difficoltà di manutenzione e intervento nel caso di guasti, a causa dei forti campi magnetici presenti nell'area concernente la cabina stessa.

Alla fine degli anni '80 e inizi anni '90, si poteva già parlare di apparecchiature isolate in SF<sub>6</sub>, che presero immediatamente il posto delle vecchie apparecchiature isolate in aria, molto ingombranti e poco affidabili. L'esafluoruro di zolfo, grazie alle sue ottime caratteristiche isolanti e alla sua buona comprimibilità, sostituì immediatamente l'aria nell'isolamento delle apparecchiature delle cabine primarie, permettendo di realizzare componenti di ridotto ingombro e sicuramente più affidabili dei precedenti.

Nel corso degli anni, a causa della forte urbanizzazione e quindi di fronte alla mancanza di vaste aree per la costruzione di nuove cabine, si ricorse ad un'ulteriore compressione degli spazi, grazie all'introduzione di blindati totalmente isolati in SF<sub>6</sub>, che permettono l'installazione delle cabine anche a ridosso dei grandi centri di carico, ancor'oggi utilizzati nella maggior parte delle cabine primarie presenti nel territorio nazionale.

Recenti studi, però, misero in discussione l'impiego eccessivo dell'esafluoruro di zolfo nell'isolamento delle cabine AT/MT, in quanto venne constatato che esso contribuisce negativamente sull'ambiente, in quanto può essere incluso nella categoria dei "gas serra", oltre ad avere un costo eccessivo.

Ciò portò la ricerca verso soluzioni alternative, molto più attente alla questione ambientale.

Ecco che Enel, nella nuova soluzione di cabina primaria AT/MT semplificata, è riuscita a ridurre i costi di installazione e a suddividere la stessa in tre moduli funzionali completamente prefabbricati, assemblati, collaudati in fabbrica e facilmente trasportabili in sito con mezzi normali. Dalla sua elevata compattezza si possono ricavare altri vantaggi, quali la facilità e la rapidità di installazione in sito, l'agevole sostituzione in caso di guasto, la ridotta necessità di opere civili pur utilizzando, ancora, apparecchiature isolate in SF<sub>6</sub>.

Una più recente proposta ci viene da ABB, leader nelle tecnologie per l'energia e l'automazione. Essa, infatti, ha ideato una nuova cabina primaria AT/MT, ritornando all'esecuzione "a giorno" e ad apparecchiature isolate in aria. A differenza di ciò che è stato in passato, però, questa nuova soluzione adotterebbe apparecchiature compatte e affidabili tanto quanto lo sono quelle isolate in SF<sub>6</sub>, anche se l'isolamento viene effettuato in aria, riducendo nello stesso tempo i costi di installazione e manutenzione conseguenti.

Da ciò, si può dedurre che tecnologia e ricerca continueranno a portare ulteriori modifiche a strutture e peculiarità delle cabine primarie e delle loro apparecchiature, permettendo una perfetta integrazione con l'ambiente circostante e riducendo gradualmente i costi di installazione delle cabine stesse.



## Bibliografia

G. Babusci, A. Bargigia, S. Scalcino, R. Speziali: “*Affidabilità delle stazioni blindate per alta tensione isolate in SF<sub>6</sub>: scelta degli schemi, definizioni delle prescrizioni costruttive e di prova*”. Riunione AEI 1987.

C. Boatto, G. B. Gelli, B. Mazzoleni, M. Marchi, F. Seripa, L. Sfondrini: “*Standardisation de l'ENEL des appareillages blindes en SF<sub>6</sub> pour postes de distribution HT/MT*”. Riunione CIRED 1991.

G. Caprio, G. B. Gelli, R. Speziali: “*Aspetti innovativi delle nuove serie dei Trasformatori della distribuzione dell'ENEL*”. Riunione AEI 1989.

IEC Document 17° (Secretariat) 301: “*Guide for seismic qualification of high voltage alternating-current circuit-breakers*”. December 1989.

A. Bargigia, M. Salvetti, M. Vallino: “*An experience on seismic qualification of gas insulated substations*”. IEEE Power Engineering Society, 1992, Winter Meeting.

Norme per apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico per tensione superiore da 1 a 72,5 kV: Norme CEI 17-6/1988.

G. Babusci, G. Mazza: “*Prove sul quadro unificato MT per le cabine primarie e sui suoi componenti*”. Rassegna tecnica ENEL n° 2, 1984.

A . Bargigia, B. Mazzoleni, W. Mosca, A. Porrino, G. Rizzi: “*Performance of the metal-clad disconnecter and its impact on the insulation design of the gas insulated substation*”. Rapporto CIGRE 33,15/1988.

A . Bargigia, A. Bertazzi, B. Mazzoleni, A. Pigni: “*Diagnostica applicata alle stazioni blindate per alte tensioni isolate in SF<sub>6</sub>*”. Riunione AEI 1985.

A . Bargigia, W. Koltunowicz, A. Pigni: “*Detection of partial discharges in gas insulated substation*”. IEEE Power Engineering Society, 1991, Summer Meeting.

V. Colloca, E. Colombo, A. Di Mario, S. Sciarra: “*A new design for primary substations*”. CIGRE SC 23 Colloquium, Zurich 1999.

V. Colloca, E. Colombo, G. Como, C. Di Mario, F. Iliceto, F. Pozzana, S. Sciarra: “*Environmentally friendly, low cost HV/MV Distribution Substations using new compact HV and MV equipment*”. CIRED 2001, Amsterdam, Giugno 2001.

V. Colloca, E. Colombo, G. Pacini, P. Perna: “*Benefits expected from network planning strategies based on the application of prefabricated simplified substations*”. CIGRE SC 23 Colloquium, Ciudad Guaiana, Ottobre 2001.

V. Colloca, E. Colombo, G. Pacini, P. Perna: “*Exploitation of innovative technology in Distribution Network to face the challenge of the open market*”. Riunione annuale dell’AEI, Padova, Ottobre 2001.

R. Meda, P. Perna et al.: “*The automation of distribution primary substations: development and experimentation of the protection and control system*”. 45° Congresso nazionale ANIPLA, Ancona 2001.

E. Carlini, V. Colloca, E. Colombo, C. Di Mario, P. Lionetto, P. Ribaldone, F. Stevanato: “*Needs in the costumers connection to the Italian national grid and equipment for their implementation*”. CIGRE General Session, Paris 2002.

F. Iliceto: “*Sugli schemi di principio e di disposizione degli equipaggiamenti per stazioni elettriche ad alta tensione*”. L’Elettrotecnica, n° 4 of 1964.

S. Sciarra: “*Quadro elettrico compatto*”, European Patent N° 99830001.6 of 1999.

G. Scendrate: “*Problemi termici e sistemi di raffreddamento*”. Corso di aggiornamento “Trasformatori e reattori per le reti di trasmissione dell’energia Elettrica”, Politecnico di Milano, 1984.

Tabelle di Unificazione Enel per trasformatori trifasi MT/BT.

DT 801 Prescrizioni per la costruzione, 1998

DT 803 Prescrizioni per il collaudo, 1988

Tabelle di Unificazione Enel per trasformatori trifasi AT/MT.

DT 1091÷3 Dati nominali, 1989

DT 1106 Prescrizioni per la costruzione, 1988

A . Bargigia e altri: “*Cabine primarie AT/MT dell’ENEL per l’alimentazione dei centri urbani*”. Giornata di studio AEI, Milano, Dicembre 1991.

Pubbl. Enel Compartimento di Roma: *“Progetto Roma ‘90”*.

Tabella di Unificazione Enel per trasformatori di grande potenza  
LT 212 Aerotermini, 1993.

B. Mazzoleni: *“Caratteristiche ed applicazioni dell’apparecchiatura elettrica blindata per alte tensioni”*. Ed. Magrini Galileo.





Appendice

Tab. 1 – Caratteristiche nominali principali dell'apparecchiatura prefabbricata  
con involucro metallico isolata in SF<sub>6</sub>

GRANDEZZE NOMINALI	SEZIONE AT		SEZIONE MT
Tensione nominale [kV]	245	145-170	24
Tensione di tenuta ad impulso atmosferico:			
- verso massa [kV]	850	650	125
- sul sezionamento [kV]	950	750	145
Tensione di tenuta a frequenza di esercizio:			
- verso massa [kV]	360	275	50
- sul sezionamento [kV]	415	315	60
Corrente nominale in servizio continuo:			
- sbarre [A]	2000	2000	2500
- montanti [A]	2000	1250	630 (1) 2500
Corrente di breve durata ammissibile nominale:			
- circuiti principali [kA]	31,5	31,5	20
- circuiti di terra [kA]	31,5	20	20
Corrente di cresta ammissibile nominale:			
- circuiti principali [kA]	80	80	50
- circuiti di terra [kA]	80	50	50
Durata ammissibile nominale della corrente di corto circuito [s]	1	1	1
Potere di interruzione nominale in corto circuito [kA]	31,5	31,5	12,5(2) 20 (3)
(1) Per i montanti di linea, rifasamento e servizi ausiliari.			
(2) Per interruttori in cui è previsto il ciclo di prove di vita elettrica.			
(3) Per interruttori in cui non è previsto il ciclo di prove di vita elettrica.			

Tab. 2 – Prove di tipo per l'omologazione delle apparecchiature prefabbricate isolate in SF<sub>6</sub>

1. Verifica delle caratteristiche costruttive	(1)
2. Verifica delle caratteristiche degli impianti di comando e segnalazione	(1)
3. Misura della resistenza dei circuiti principali	(2)
4. Prove di riscaldamento	(2)
5. Prove di funzionamento meccanico a temperatura ambiente	(2)
6. Prove di funzionamento meccanico ad alta e bassa temperatura	(1)
7. Prove di comportamento meccanico	(1)
8. Prove di tensione sui circuiti principali e ausiliari	(1)
9. Misura di scariche parziali	(2)
10. Prove alla corrente di breve durata	(2)
11. Verifica dei poteri di stabilimento e interruzione	(1)
12. Prove di fughe di fluido	(1)
13. Prove sui trasformatori di corrente	(2)
14. Prove sui trasformatori di tensione	(2)
15. Prove integrative per elementi isolanti in materiale organico	(1)
(1) Prove eseguite in accordo a particolari prescrizioni ENEL.	
(2) Prove eseguite in accordo alle norme CEI o IEC.	

Tab. 3 – Prove d'accettazione sulle apparecchiature prefabbricate isolate in SF<sub>6</sub>

1. Verifica delle caratteristiche costruttive	(1)
2. Verifica delle caratteristiche degli impianti di comando e segnalazione	(1)
3. Misura della resistenza dei circuiti principali	(2)
4. Prove di funzionamento meccanico a temperatura ambiente sulle apparecchiature di manovra MT	(1)
5. Prove di tensione sui circuiti principali e ausiliari	(2)
6. Misura di scariche parziali	(2)
7. Prove di fughe di fluido	(2)
8. Prove sui trasformatori di corrente	(2)
9. Prove sui trasformatori di tensione	(2)
10. Misura dell'umidità	(2)
(1) Prove eseguite in accordo a particolari prescrizioni ENEL.	
(2) Prove eseguite in accordo alle norme CEI o IEC.	

Tab. 4 – Prove dopo l'installazione in sito sulle apparecchiature prefabbricate isolate in SF<sub>6</sub>

1. Verifica delle caratteristiche costruttive	(1)
2. Verifica delle caratteristiche degli impianti di comando e segnalazione	(1)
3. Misura della resistenza dei circuiti principali	(2)
4. Prove di funzionamento meccanico a temperatura ambiente sulle apparecchiature di manovra AT	(1)
5. Prove di tensione sui circuiti principali	(2)
6. Misura della resistenza d'isolamento dei circuiti ausiliari	(1)
7. Verifica dell'assenza di fughe di fluido	(2)
8. Misura dell'umidità	(2)
(1) Prove eseguite in accordo a particolari prescrizioni ENEL.	
(2) Prove eseguite in accordo alle norme CEI o IEC.	



*Vista di una cabina primaria 132-150 kV, dove si possono distinguere: un trasformatore di potenza, un interruttore AT tripolare, un sezionatore tripolare con lame terra, tre trasformatori di corrente, tre scaricatori AT, tre trasformatori di tensione induttivi*





*Vista dei componenti che realizzano la connessione tra una linea o un trasformatore e le sbarre di stazione, vale a dire apparecchiature di manovra e di misura che compiono le operazioni di apertura, chiusura e sezionamento della linea nonché la misura dell'energia elettrica in transito sulla linea*



*Organo di manovra che realizza la disconnessione, anche sotto carico, della linea dalle sbarre di stazione:  
“interruttore”*



*Pannello di Servizio Protezione Comando e Controllo*