

**SIEMENS**



# Apparecchi di manovra in media tensione

Di Roberto Zanarotti

[siemens.it](https://www.siemens.it)

## INDICE

<b>A 1</b>	<b>Interruttori</b>
A 1.1	Estinzione dell'arco
A 1.1 a	Flusso spegni arco dipendente dalla corrente
A 1.1 b	Flusso spegni arco indipendente dalla corrente
A 1.1 c	Flusso spegni arco combinato
A 1.1 d	Esecuzioni degli interruttori
A 1.2	Interruttori in olio
A 1.3	Interruttori in olio ridotto
A 1.4	Interruttori ad espansione – in acqua
A 1.5	Interruttori in aria compressa
A 1.6	Interruttori con soffio magnetico
A 1.7	Interruttori in SF <sub>6</sub>
A 1.8	Interruttori sottovuoto
<b>A 2</b>	<b>Interruttori di manovra-sezionatori (sezionatori sotto carico)</b>
A 2.1	Ad autoformazione di gas
A 2.2	In aria (a compressione)
A 2.3	In SF <sub>6</sub>
A 2.4	In vuoto
<b>A 3</b>	<b>Interruttori-sezionatori, sezionatori di terra e a tre posizioni</b>
A 3.1	Sezionatori
A 3.2	Sezionatori di terra
A 3.3	Sezionatori a tre posizioni
<b>A 4</b>	<b>Contattori</b>
A 4.1	Contattori in aria
A 4.2	Contattori in vuoto
A 4.3	Contattori in SF <sub>6</sub>

## A 1 Interruttori

### A 1.1 Estinzione dell'arco

Per l'interruzione di archi in corrente alternata si utilizza il naturale passaggio per lo zero della corrente (estinzione al valore zero) - diversamente dall'estinzione dell'arco in corrente continua. Di conseguenza il compito principale di un mezzo d'estinzione dell'arco consiste nel deionizzare la distanza di apertura al passaggio per lo zero della corrente, ripristinando così rapidamente la rigidità dielettrica. L'obiettivo principale di ogni principio di estinzione deve essere quello di mantenere ridotta l'energia d'arco per ottenere la minima sollecitazione delle camere d'arco.

Prima di approfondire i singoli principi di estinzione, viene descritto in modo riassuntivo il funzionamento degli interruttori "tradizionali". Per interruttori tradizionali si intendono tutti gli apparecchi di interruzione ad eccezione degli interruttori sottovuoto. Ad accomunare questi interruttori è il fatto che per estinguere l'arco viene generato un movimento relativo fra arco e mezzo d'estinzione dell'arco. Nella maggior parte degli interruttori ciò si verifica mettendo in movimento il mezzo d'estinzione soffiandolo sull'arco per deionizzare il più rapidamente possibile il percorso di apertura in prossimità del passaggio per lo zero della corrente. Tuttavia, esistono anche interruttori in cui è l'arco che viene costretto a muoversi nel mezzo d'estinzione. Si tratta dei cosiddetti interruttori "rot-arc", ovvero interruttori con un arco rotante. In base a questo principio funzionano spesso gli interruttori in SF<sub>6</sub>.

Il raffreddamento uniforme dell'arco durante l'intero processo d'interruzione, ovvero anche al suo massimo, aumenta obbligatoriamente la potenza dell'arco e l'energia d'arco e quindi la sollecitazione della camera d'estinzione, per il seguente motivo:

in funzione della propria intensità di corrente e del mezzo in cui avviene, ogni arco ha al suo interno una determinata

temperatura e in accordo una determinata resistenza. Un intenso raffreddamento abbassa la temperatura dell'arco e aumenta la resistenza. Per il mantenimento del flusso di corrente (arco) sale di conseguenza la tensione d'accensione che comporta un aumento della potenza dell'arco. *In pratica, la potenza dell'arco è il prodotto della resistenza d'arco per il quadrato della corrente. All'aumentare della resistenza, aumenta quindi la potenza che l'interruttore è chiamato ad aprire.*

Ci sono anche principi di estinzione in cui si sfrutta la maggior produzione di energia che viene liberata con il raffreddamento dell'arco, per generare un flusso spegni arco nel mezzo d'estinzione dell'arco e in tal caso si parla di effetto di estinzione in funzione della corrente. Anche con questi principi di estinzione occorre mirare a limitare il flusso spegni arco per non aumentare eccessivamente il dispendio energetico. Nella pratica non esiste tuttavia una correlazione temporale fra il momento dell'apertura dei contatti -con una distanza di estinzione sufficientemente grande- e un passaggio per lo zero della corrente (l'intervento non è sincronizzato con la semionda di corrente), per cui nella maggior parte delle manovre di apertura il flusso spegni arco è maggiore del necessario. Ciò comporta, come sopra descritto, un lavoro dell'arco inutilmente elevato.

#### A 1.1 a Flusso spegni arco dipendente dalla corrente

Il flusso spegni arco dipendente dalla corrente è ideale soprattutto per l'apertura di ridotte correnti induttive (apertura "morbida"). Aprendo correnti capacitive sussiste però il rischio di riaccensioni, poiché la distanza di apertura dopo l'estinzione dell'arco non viene raggiunta in modo sufficientemente rapido, a causa del fenomeno di *rallentamento del movimento del contatto mobile durante l'apertura di correnti capacitive*. Inoltre, durante l'apertura di correnti ridotte, si producono lunghi tempi d'arco poiché non vengono generati flussi spegni arco o questi sono solo minimi e quindi insufficienti.

#### A 1.1 b Flusso spegni arco indipendente dalla corrente

Il flusso spegni arco indipendente dalla corrente deve essere molto potente, considerando che viene dimensionato per l'interruzione delle correnti di cortocircuito e pertanto nella maggior parte dei casi è anche in grado di interrompere le correnti capacitive senza riaccensioni (apertura "dura"). Ridotte correnti induttive possono però essere interrotte così bruscamente da provocare elevate sovratensioni di manovra

#### A 1.1 c Flusso spegni arco combinato

Pertanto, di norma il flusso spegni arco "combinato" è la soluzione più vantaggiosa per coprire tutte le situazioni di apertura. Si realizza una forma della camera di apertura che garantisce la formazione di un flusso spegni arco forzato-indipendente dalla corrente- sotto dimensionato rispetto a

quello necessario a interrompere le correnti di corto circuito. Un ulteriore flusso spegni arco dipendente dalla corrente è mantenuto relativamente ridotto; limitando così il rischio di elevate sovratensioni di manovra nell'apertura di ridotte correnti induttive. D'altro canto, il flusso spegni arco è però sufficiente a interrompere correnti capacitive senza riaccensioni; con l'interruzione di correnti ridotte anche i tempi d'arco non diventano troppo lunghi. Il forte flusso spegni arco necessario per l'interruzione di correnti di cortocircuito viene generato dalla corrente stessa e si sovrappone al flusso forzato sempre presente.

Ad esempio, l'interruttore 3AC (interruttore T) in olio ridotto ha un flusso spegni arco combinato.

I processi degli interruttori sottovuoto sono fondamentalmente di altro genere e pertanto verranno descritti nei dettagli in seguito.

### A 1.1 d Esecuzioni degli interruttori

In questo capitolo si approfondiscono, dal punto di vista costruttivo, alcuni argomenti già visti nei capitoli precedenti. Al momento nel campo della media tensione sono utilizzati, *alcuni non più prodotti*, interruttori con i seguenti principi di estinzione:

- interruttori in olio
- interruttori in olio ridotto
- interruttori in acqua
- interruttori in aria compressa
- interruttori in SF<sub>6</sub>
- interruttori con soffio magnetico (interruttori in aria)
- interruttori sottovuoto

I primi 5 tipi di interruttori (dagli interruttori in olio fino agli interruttori in SF<sub>6</sub>) hanno in comune innanzitutto il fatto che in tutti l'estinzione dell'arco avviene per effetto di un gas poiché anche negli interruttori immersi in un fluido le elevate temperature dell'arco generano la formazione di gas o vapori.

Negli interruttori in olio viene generato *idrogeno* dall'olio. Data la sua elevata conduttività termica l'idrogeno ha ottime caratteristiche di estinzione e un buon comportamento dielettrico grazie alla sua elevata tensione d'arco (13,5 volte quella dell'aria). Questa caratteristica è chiamata anche effetto idrogeno.

### A 1.2 Interruttori in olio

A contraddistinguere gli interruttori in olio sono i due collegamenti di corrente o contatti d'ingresso per polo disposti verso l'alto e realizzati tramite isolatori passanti (che implicano esecuzioni speciali del quadro). Nell'esecuzione più semplice non sono presenti camere d'arco, l'arco viene suddiviso in 2 semiarchi e allungato con l'ausilio di una traversa. Tutti i 3 poli si trovano in una cassa comune. Il principale vantaggio dell'interruttore in olio è in generale la buona caratteristica dielettrica degli olii utilizzati. Gli svantaggi dell'interruttore in olio sono: il

grande volume d'olio, la grande energia d'arco (elevata lunghezza dell'arco, lunga durata dell'arco) e la notevole quantità di gas generata di conseguenza, che esce dall'interruttore e in parte fa fuoriuscire olio. Non è da escludere la possibilità di esplosione della cassa poiché le pressioni prodotte sono difficili da contenere a causa dell'ampia superficie della cassa stessa.

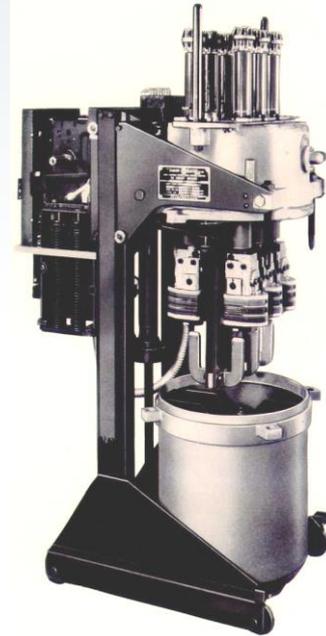
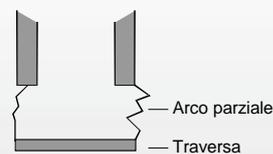


Figura -1: interruttore in olio



Alcuni di questi svantaggi vengono eliminati completamente o in parte negli interruttori in olio con camere d'arco. Le caratteristiche di manovra di queste esecuzioni corrispondono all'incirca a quelle di un interruttore in olio ridotto con flusso spegni arco dipendente dalla corrente.

Nel complesso gli interruttori in olio non rivestono più un ruolo di rilievo. Anche nei Paesi anglosassoni nei quali in passato predominavano, si registra da anni un trend in notevolissimo calo.

### A 1.3 Interruttori in olio ridotto

L'interruttore in olio ridotto si contraddistingue per i vantaggi dell'interruttore in olio ma non ne ha gli svantaggi. Negli interruttori in olio ridotto per l'estinzione dell'arco si utilizza un flusso d'olio. Questo flusso d'olio viene generato dall'arco stesso oppure prodotto dalla manovra dell'interruttore con l'ausilio di appositi dispositivi supplementari.

Il flusso di olio, dipendente dalla corrente, viene generato da una opportuna deviazione della bolla di gas *prodotta dall'arco* o da un cilindro differenziale.

Il flusso d'olio indipendente dalla corrente si ottiene con dispositivi di pompaggio oppure sfruttando la compensazione di volume del contatto di apertura mobile (camera d'arco fissa), possibile però solo spostando il contatto di apertura verso il basso.

I maggiori vantaggi si ottengono combinando un flusso d'olio dipendente dalla corrente con un flusso d'olio indipendente dalla corrente (interruttori T). Un soffio radiale (flusso trasversale) dell'arco di norma è più efficace di uno assiale (flusso longitudinale), tuttavia con il flusso radiale sussiste il pericolo che l'arco venga prolungato artificialmente e raffreddato in eccesso prima di raggiungere la distanza minima di estinzione, il che comporta un forte aumento della potenza d'arco.

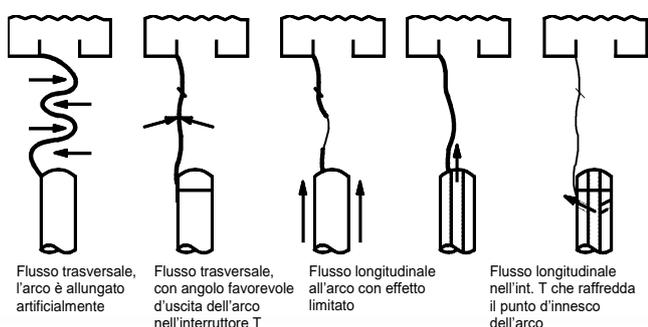


Figura 2: estinzione dell'arco in interruttori in olio ridotto



A sinistra: interruttore chiuso  
 Al centro: interruzione una piccola corrente  
 A destra: interruzione di corrente elevata (cortocircuito)

Figura 3: esempio di un interruttore in olio ridotto con flusso spegni arco combinato

## A 1.4 Interruttori ad espansione – in acqua

Negli interruttori in acqua l'arco genera idrogeno dall'acqua, l'arco avviene quindi nello stesso mezzo di estinzione degli interruttori in olio.

Gli interruttori in acqua funzionano per lo più in base al principio di espansione, ovvero l'arco è avvolto da gas ad elevata pressione generato dall'acqua. In conseguenza la camera di estinzione si solleva dalla propria sede. Lo spazio circolare che si forma provoca una compensazione di pressione. Poiché viene costantemente generato del nuovo gas, la pressione si mantiene elevata. Solamente quando la corrente si avvicina al proprio passaggio per lo zero, lo sviluppo di gas si indebolisce e la pressione diminuisce istantaneamente. L'acqua che circonda l'arco evapora immediatamente, deionizzando la distanza di apertura.

A causa della conduttività residua e di una determinata conduttività permanente dell'acqua sono *naturalmente* e con sicurezza limitate le correnti con elevate frequenze che si originano nel transitorio; non si verifica nemmeno l'interruzione improvvisa di piccole correnti induttive (chopping) mentre si verificano facilmente riaccensioni in caso di interruzione di correnti capacitive.

A causa della conduttività dell'acqua si formano lame d'aria allineate con il percorso di apertura principale.

La conduttività è svantaggiosa anche con la chiusura su un cortocircuito poiché il prearco e quindi lo sviluppo di gas (bruciatura del contatto mobile) sono molto elevati; in questo caso un rimedio può essere rappresentato da elevate velocità di chiusura e dalla chiusura in aria con la lama d'aria. Lo svantaggio principale dell'interruttore in acqua dovrebbe tuttavia essere la sua esecuzione complessa che ha indotto a costruirne in alternativa questa versione. Ad oggi nel mondo non vengono più prodotti interruttori in acqua.

A sinistra: interruttore chiuso  
 Al centro: interruzione una piccola corrente  
 A destra: interruzione di corrente elevata (cortocircuito)

## A 1.5 Interruttori in aria compressa

Gli interruttori in aria compressa presentano sempre un flusso spegni arco indipendente dalla corrente e pertanto sono ben idonei all'apertura di correnti capacitive. Ma senza dispositivi supplementari generano elevate sovratensioni di manovra all'interruzione di correnti induttive. Per evitare le sovratensioni di manovra occorre aprire in parallelo ai contatti di apertura impedenze *smorzatrici* di valore ohmico elevato.

Il motivo principale per cui gli interruttori in aria compressa non controllano, *limitano*, bene le correnti transitorie ad elevate frequenze consiste nella mancanza dell'effetto idrogeno. Per effetto idrogeno si intendono le buone capacità di estinzione e dielettriche dell'idrogeno, la cui conduttività termica è 17 volte quella dell'aria e il cui calo di tensione d'arco è 13,5 volte quello dell'aria. Per controllare meglio la tensione *di recupero*, vengono pertanto spesso disposte in parallelo ai contatti di apertura impedenze con basso valore resistivo, che riducono l'ampiezza dei transitori.

Per gli interruttori in aria compressa esiste una posizione di estinzione favorevole dei contatti che non deve essere superata altrimenti la pressione necessaria per l'estinzione diminuisce per effetto della pressione di rimbalzo generata dall'arco; la distanza di separazione dei contatti non è poi sufficiente a rendere la distanza di apertura resistente alle riaccensioni. Pertanto, a valle del contatto di apertura occorre attivare una lama d'aria o prevedere di aggiungere alla corsa di estinzione del contatto di apertura anche una corsa di isolamento.

Poiché l'interruttore in aria compressa deve sempre accumulare un notevole volume d'aria che deve essere immediatamente convogliato sul percorso di apertura tramite complicate disposizioni delle valvole, e a causa dei necessari accorgimenti illustrati sopra (resistenze in parallelo, corsa del contatto di apertura a due stadi e/o lama d'aria), questa esecuzione di interruttore è relativamente complessa e per la media tensione risulta economica per lo più solo con correnti di cortocircuito e di esercizio nominali elevate.

Altri svantaggi degli interruttori in aria compressa sono:

- in caso di mancanza di aria compressa gli interruttori non possono essere aperti;
- è necessario mantenere ulteriori distanze di sicurezza a causa dei gas prodotti all'apertura che fuoriescono dagli apparecchi;
- gli interruttori possono solo essere realizzati con comandi ad aria compressa;
- a causa del notevole fabbisogno d'aria, da impiegare, nel più breve tempo possibile sono necessarie elevate pressioni d'esercizio e ampie sezioni dei tubi, il che in combinazione con l'intenzione di realizzare un'alimentazione dell'aria compressa nel rispetto della sicurezza comporta un impianto complesso e quindi costoso;
- con un'elevata umidità dell'aria è possibile la comparsa di problemi di isolamento poiché il sistema dei contatti è aperto;
- l'elevata rumorosità di manovra.

A causa dei costi elevati (sia per l'interruttore stesso che per il relativo impianto ad aria compressa e la sua manutenzione) e poiché nel frattempo sul mercato sono stati introdotti altri interruttori senza olio, che nel complesso controllano meglio le diverse operazioni di manovra, l'interruttore in aria compressa oggi ha perso pressoché del tutto la propria importanza. Viene ancora impiegato per applicazioni speciali, come interruttore di generatori (elevate correnti di cortocircuito ed esercizio).

## A 1.6 Interruttori con soffio magnetico

Gli interruttori con soffio magnetico funzionano essenzialmente con la cosiddetta estinzione a corrente continua, ovvero la tensione d'arco viene aumentata fino a diventare maggiore della tensione sorgente. Vengono applicati i seguenti metodi di estinzione:

- a) l'arco viene spinto da un soffio magnetico fra le piastre isolanti, l'estinzione è favorita dal raffreddamento dell'arco causato dalle pareti,
- b) l'arco viene suddiviso in numerosi archi parziali da lamiere conduttive, sfruttando la caduta catodica. Per caduta catodica si intende un processo in base al quale, in seguito allo spostamento più rapido degli elettroni verso l'anodo rispetto allo spostamento più lento degli ioni verso il catodo, immediatamente dopo l'estinzione dell'arco viene generato a monte del catodo uno spazio privo di elementi di carica, che presenta immediatamente una rigidità dielettrica di circa 250 V.

A causa del riconsolidamento relativamente lento del percorso di apertura dopo l'interruzione della corrente gli interruttori con soffio magnetico non sono esenti da riaccensioni nell'interruzione di correnti capacitive. Inoltre, poiché sono molto costosi (costi di produzione e manutenzione) vengono progressivamente sostituiti da altri interruttori senza olio (interruttori in vuoto, interruttori in SF<sub>6</sub>).

## A 1.7 Interruttori in SF<sub>6</sub>

**Proprietà fisiche del gas SF<sub>6</sub>, utilizzo come dielettrico e come mezzo d'estinzione dell'arco**

*L'esafluoruro di zolfo è ormai universalmente utilizzato come mezzo d'interruzione dell'arco sopra i 52kV mentre in media tensione sta conoscendo un declino che appare inarrestabile in favore dell'utilizzo del vuoto. Fino a 52kV - nel mondo- si utilizzano ormai solo tre tecniche d'interruzione: olio, SF<sub>6</sub> e vuoto. Da due decenni l'utilizzo dell'esafluoruro di zolfo - come mezzo di estinzione- si è attestato intorno al 22%. mentre nello stesso periodo il vuoto ha continuato la sua crescita arrivando a fine 2008 al 67%. Come dielettrico isolante in grado di assicurare la tenuta dielettrica di sistemi sigillati, l'SF<sub>6</sub> è invece oggi la miglior soluzione e garanzia di sistemi affidabili in condizioni ambientali estreme. La sua manipolazione è semplice e sicura essendo un gas inerte, non tossico e ininfiammabile e il processo produttivo è diffuso in tutto il mondo; storicamente il lancio industriale è avvenuto negli anni 40 del secolo scorso negli Stati Uniti.*

*Ci interessano alcune sue proprietà chimico-fisiche.*

*Il gas Sf<sub>6</sub> alla pressione atmosferica ha un coefficiente di convezione doppio rispetto a quello dell'aria: raffredda meglio; ha una spiccata affinità elettronica: cattura elettroni liberi trasformandosi in ione negativo. La massa dello ione di Sf<sub>6</sub> è 250.000 volte superiore alla massa dell'elettrone. Nei mezzi dielettrici è importante che gli elettroni liberi non risultino in eccesso per evitare la ionizzazione del mezzo stesso. Nel gas SF<sub>6</sub> gli ioni caricati negativamente si sostituiscono agli elettroni ed essendo pesanti risultano anche molto lenti, in presenza di un campo elettrico non riescono ad assumere le velocità necessarie a ionizzare, per collisione, altre particelle. Sono*

così impedisce le valanghe elettroniche e il gas presenta un'elevata rigidità dielettrica.

Queste caratteristiche lo rendono idoneo a limitare la densità elettronica nello spazio di separazione dei contatti dopo l'estinzione dell'arco ed evitare così la sua riaccensione.

Per ridurre il grado di ionizzazione di un gas è fondamentale ottenere una rapidissima dispersione del calore prodotto dall'arco e naturalmente è fondamentale limitare l'energia d'arco che scalda in gas. Per far questo si crea un forte soffio longitudinale all'arco che però presenti anche una componente radiale per ottenere un restringimento forzato della sezione dell'arco.

L'elevata densità del gas SF<sub>6</sub> e il suo maggiore calore specifico rispetto all'N<sub>2</sub> (Azoto) lo rende più efficace a realizzare il raffreddamento dell'arco rispetto a quanto riescano a fare gli interruttori in aria.

Occorre tener presente che la conducibilità termica di un dielettrico dipende dalla sua temperatura. I picchi più elevati di conducibilità termica si hanno in prossimità delle temperature di dissociazione delle molecole dei gas. La dissipazione del calore avverrà con bassi gradienti di temperatura in corrispondenza dei valori massimi di conducibilità termica.

Alle relative temperature di dissociazione, bassa per l'SF<sub>6</sub> e alta per l'N<sub>2</sub> corrispondono dei valori di conducibilità elettrica: trascurabile per l'SF<sub>6</sub> e buona per l'N<sub>2</sub>.

Per queste proprietà fisiche l'arco in SF<sub>6</sub> si stabilisce con conducibilità termica bassa, elevati gradienti di temperatura e conducibilità elettrica assente. Avrà di conseguenza un diametro piccolo e concentrato con forti variazioni di temperatura lungo il suo raggio: elevati gradienti termici. L'andamento fortemente decrescente della temperatura si appiattirà verso i 2000°K quando la sezione dell'arco sarà molto piccola e la conducibilità elettrica trascurabile.

L'arco in N<sub>2</sub> avrà un diametro maggiore e presenterà dei gradienti di temperatura inferiori. La costante di tempo dell'arco in SF<sub>6</sub> sarà minore di quella in N<sub>2</sub>: microsecondi anziché decine di microsecondi.

Nella fase finale del transitorio quando le temperature sono ancora elevate l'affinità elettrica dell'SF<sub>6</sub>, già descritta, assicurerà un elevato grado di rigidità dielettrica al gas compreso tra i contatti d'apertura.

Durante la dissociazione del gas i vapori metallici e altre sostanze presenti nella camera si legano con lo zolfo formando composti solidi e gassosi. I composti gassosi sono irritanti e tossici e quindi occorre assicurare la perfetta tenuta della camera di estinzione dell'arco e l'efficacia di appositi elementi assorbenti che sono installati nella camera d'estinzione al fine di catturare tali sostanze. Le sostanze solide sono polveri bianche che risultano isolanti.

È indispensabile assicurare che non ci sia penetrazione di umidità che darebbe luogo alla formazione di acido fluoridrico e quindi alla corrosione delle camere con conseguente pericolo di perdita delle sostanze tossiche, la fase di riempimento delle camere è quindi delicata e deve

essere preceduta da una perfetta esecuzione del vuoto in modo da eliminare ogni traccia di umidità residua.

La costruzione delle camere deve assicurare una perfetta tenuta degli accoppiamenti tra gli elementi che le compongono, infatti è fondamentale evitare che l'umidità penetri con l'invecchiamento dell'interruttore nelle camere. A questo proposito si sono sviluppate diverse tecnologie, due sono le più utilizzate: camere chiuse con guarnizioni e camere saldate esenti da guarnizioni. I costruttori sono in grado di fornire le perdite relative dei due sistemi e la loro tenuta nel tempo.

In alta tensione quanto esposto spiega il successo dell'utilizzo d'interruttori in SF<sub>6</sub> a scapito della soluzione in aria. Per motivi che vedremo più avanti nel dettaglio in media tensione la possibilità di utilizzare il vuoto come dielettrico rende più semplice, vantaggiosa e sicura la costruzione degli interruttori, anche i dati statistici di mercato ci mostrano che gli Utilizzatori di tutto il mondo preferiscono gli interruttori in vuoto quando si tratta di impianti con tensione d'esercizio inferiore ai 52kV.

### Interruttori in SF<sub>6</sub>

La dissertazione fatta nel capitolo precedente rende più semplice la descrizione dell'interruttore in SF<sub>6</sub>. Questo gas ha ottime caratteristiche di estinzione dell'arco e dielettriche (isolamento). Confrontandolo con l'azoto, sul quale si basa fondamentalmente l'effetto di estinzione dell'interruttore in aria compressa, si nota che la sua conducibilità termica alle elevate temperature che compaiono nell'arco (da 3.000 a 10.000 K) è sostanzialmente minore di quella dell'azoto. Il gradiente di temperatura radiale quindi è essenzialmente più ripido, il diametro dell'arco minore e quindi la costante di tempo dell'arco in prossimità del passaggio della corrente per lo zero è apprezzabilmente inferiore. La costante di tempo dell'arco che rappresenta un parametro per l'incremento della resistenza dell'arco all'interruzione dell'alimentazione di energia, per l'SF<sub>6</sub> può arrivare anche ad essere solo circa 1/100 del valore dell'azoto. Il consolidamento della tensione al termine del flusso di corrente è pertanto significativamente più efficace.

Inoltre, l'SF<sub>6</sub> a temperature inferiori a 3.000 K ha una conducibilità termica notevolmente maggiore dell'azoto, il che favorisce la dispersione del calore.

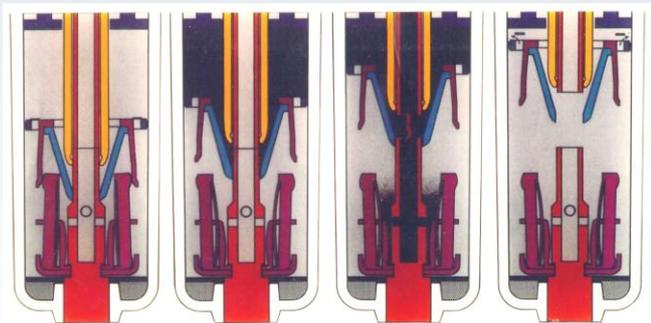
Poiché l'SF<sub>6</sub> è costoso e oggi anche per una maggior sensibilità ai temi ambientali, gli interruttori sono realizzati solo con circuito di gas chiuso o meglio sigillato.

Esistono fondamentalmente 3 esecuzioni:

- interruttori a due pressioni
- interruttori "puffer" (auto soffio)
- interruttori con azione estinguente autoregolante

Gli interruttori a due pressioni non sono più prodotti (furono prodotti per esempio da Siemens dal 1963 al 1970). Sono stati sostituiti dagli interruttori con auto soffio, in cui il flusso del mezzo d'estinzione dell'arco è generato dal meccanismo di comando. Poiché questo flusso è concepito per l'interruzione dell'intera corrente di cortocircuito, gli

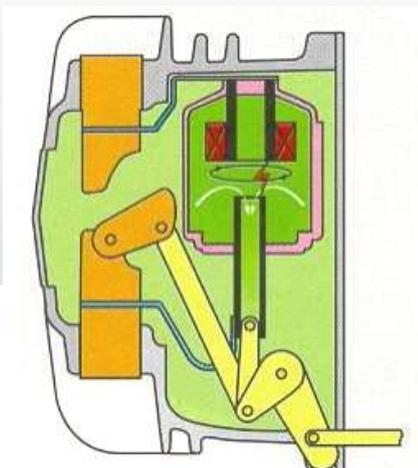
interruttori con auto soffio in SF<sub>6</sub> rientrano fra i cosiddetti interruttori "duri" ovvero generano elevate sovratensioni transitorie all'apertura di ridotte correnti induttive sia per strappo della corrente, che a causa di riaccensioni. Sono invece idonei all'apertura di correnti capacitive.



**Figura -4: principio di estinzione di un interruttore ad auto compressione in SF<sub>6</sub>**

Gli interruttori con auto soffio sono (soprattutto per motivi di costo e a causa delle suddette sovratensioni di comando) sempre più spesso sostituiti dagli interruttori in SF<sub>6</sub> con azione autoestinguente. Si tratta d'interruttori in cui l'effetto estinguente è generato in funzione della corrente primaria; ciò può avvenire in due modi:

- Attraverso l'arco è generato un flusso di gas di grandezza dipendente dal valore dell'intensità di corrente (ad esempio interruttori con auto soffio)
- L'arco è costretto attraverso l'effetto della corrente a girare nell'SF<sub>6</sub> (interruttori rot-arc o roll-arc).



**Figura5: esempio di un interruttore con auto soffio**

Questi interruttori sono detti interruttori "morbidi" a causa del loro effetto di estinzione che *si autoregola* in funzione della corrente, ovvero generano solo minime sovratensioni transitorie all'apertura di ridotte correnti induttive. Poiché però possono aver problemi all'apertura di correnti capacitive (tempi di spegnimento molto lunghi con il pericolo di fallimento dell'apertura a causa del flusso di gas dielettrico assente o solo molto ridotto), vengono in parte dotati di una bobina supplementare per garantire una perfetta capacità di apertura capacitiva. Purtroppo, questo comporta che all'apertura di correnti induttive molto ridotte

(per esempio all'apertura di trasformatori a vuoto) siano generate elevate sovratensioni transitorie.

## A 1.8 Interruttori sottovuoto

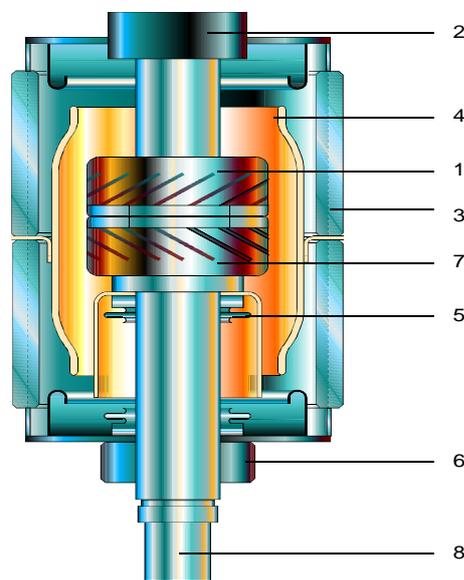
Nel vuoto l'arco si estingue in modo completamente diverso da un arco nel gas. Questo principio di estinzione viene descritto dettagliatamente di seguito.

Il polo dell'interruttore sottovuoto (interruttore V) è l'ampolla in vuoto di (1 Contatto fisso

- 2 Flangia di collegamento
- 3 Isolatore (ceramica)
- 4 Camera d'arco
- 5 Soffietto metallico
- 6 Bussola di guida
- 7 Contatto mobile
8. Perno di azionamento e collegamento

Figura -6).

È costituita da una camera d'estinzione che si trova fra due isolatori ceramici. Bussole conduttrici collegano i contatti con gli attacchi esterni. Un contatto è solidale con l'involucro, l'altro è mobile. Nell'ampolla il soffietto metallico saldato sul contatto mobile consente la corsa di apertura e realizza il sicuro collegamento di tenuta del vuoto con l'involucro dell'ampolla. La distanza d'apertura dei contatti è appena di alcuni millimetri. La pressione interna alle ampolle è meno di 10<sup>-7</sup> bar. L'interruttore sottovuoto non ha un mezzo d'estinzione dell'arco. Le caratteristiche del materiale dei contatti e la geometria dei contatti stessi determinano il suo comportamento e la capacità di apertura.

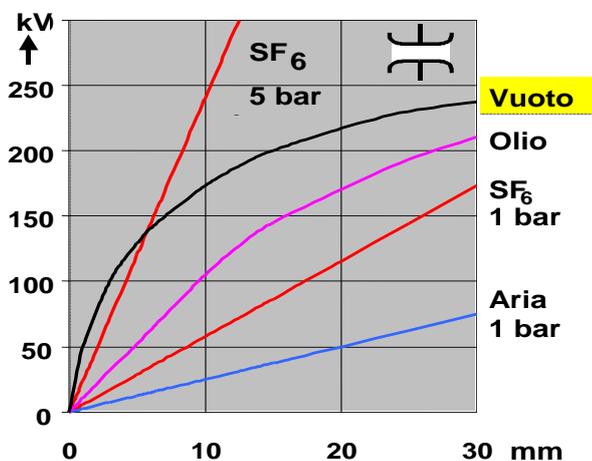


- 1 Contatto fisso
- 2 Flangia di collegamento
- 3 Isolatore (ceramica)
- 4 Camera d'arco
- 5 Soffietto metallico
- 6 Bussola di guida
- 7 Contatto mobile
8. Perno di azionamento e collegamento

### Figura -6: esecuzione di un'ampolla in vuoto

Dopo la separazione dei contatti, la corrente d'arco fa evaporare del materiale dalle superfici dei contatti. Quindi la corrente d'arco attraversa un plasma di vapori metallici fino al successivo passaggio per lo zero. In prossimità dello zero di corrente l'arco si estingue e in seguito alla ricombinazione degli elementi di carica il vapore metallico perde la propria conduttività in pochi microsecondi. In questo modo la distanza di apertura viene rapidamente deionizzata e riconsolidata. Il vapore metallico condensa sulle superfici del contatto. Solo una percentuale molto ridotta condensa sulle pareti della camera d'arco. Questa agisce da schermo al vapore per impedire una ripercussione conduttiva sugli isolatori.

La rigidità dielettrica nel vuoto è molto elevata. La Figura 7 mostra un confronto fra la resistenza alla tensione applicata a contatti piatti (campo debole non omogeneo) in diversi mezzi d'estinzione dell'arco. Nel vuoto l'andamento iniziale della curva caratteristica è il più ripido: anche solo con una distanza di pochi millimetri fra i contatti viene raggiunta una resistenza alla tensione di prova a impulso assai elevata. Poi la curva si appiattisce, ovvero a partire da un certo valore l'aumento della corsa non determina pressoché più ulteriori incrementi della rigidità dielettrica. Gli interruttori sottovuoto da 7,2 a 36 kV di tensione nominale presentano distanze di apertura fra 5 mm e 25 mm.



### Figura 8: tensioni di scarica in funzione della corsa del contatto in diversi mezzi d'estinzione dell'arco

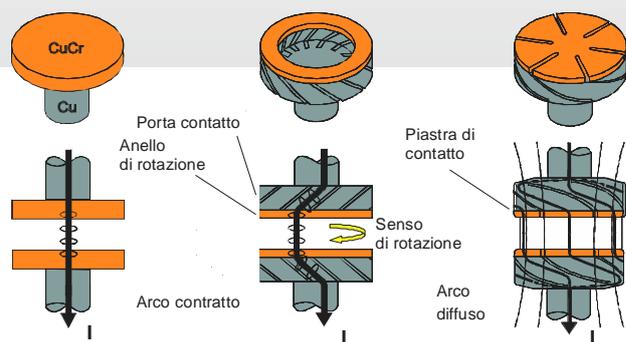
All'interruzione di correnti di esercizio e di cortocircuito, i cui valori momentanei rimangono al di sotto dei 10 kA, la corrente passa attraverso un arco diffuso. All'interruzione di correnti maggiori di 10 kA l'arco si contrae, il campo magnetico intrinseco lo riduce. In questo modo i contatti verrebbero riscaldati in modo inammissibile nei punti alla base dell'arco. Per impedire il surriscaldamento locale delle superfici dei contatti, l'arco viene messo in movimento o obbligato a rimanere diffuso anche al di sopra dei 10 kA. Ciò si ottiene ad esempio con le seguenti geometrie dei contatti: contatto con campo magnetico radiale e contatto con campo magnetico assiale (Contatto piatto Contatto con campo magnetico radiale Contatto con campo magnetico assiale

Figura-9).

Il contatto con campo magnetico radiale impedisce un surriscaldamento locale dei contatti mettendo in movimento, rotazione, l'arco contratto o concentrato.

I due porta contatti con fresature opposte formano un percorso di corrente preferenziale. In questo modo si genera un campo magnetico radiale supplementare. Insieme alla corrente che attraversa l'arco si genera una forza che consente all'arco di percorrere gli anelli di rotazione dei contatti. In questo modo il riscaldamento alla base dell'arco viene distribuito su tutta la superficie circolare del contatto

Se il valore istantaneo nel corso della semionda di corrente scende al di sotto dei 10 kA, l'arco ritorna diffuso ovvero scorre di nuovo con numerosi singoli archi paralleli (all'interruzione di correnti < 10 kA l'arco rimane generalmente diffuso). In ognuno degli archi parziali passa una corrente di ca. 100 A. I numerosi archi parziali si estinguono, uno alla volta, sempre più seguendo la diminuzione della corrente durante la semionda, fino a quando rimane solo un singolo arco.



Contatto piatto Contatto con campo magnetico radiale Contatto con campo magnetico assiale

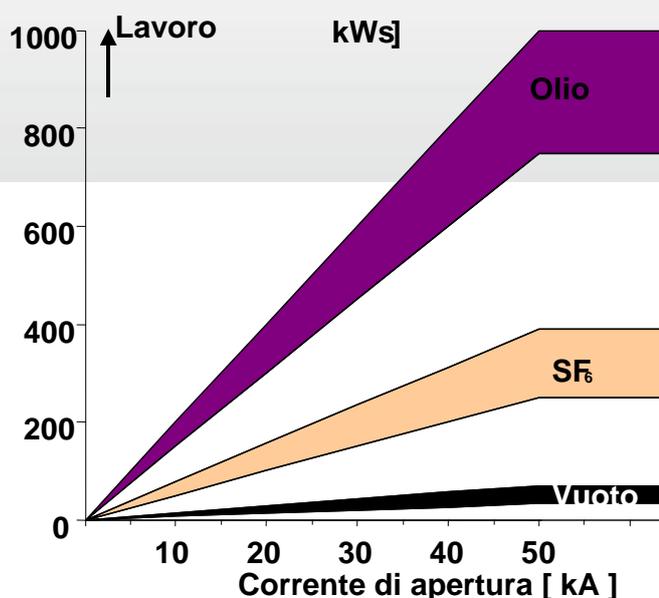
### Figura 9: forme dei contatti per interruttori sottovuoto in funzione della corsa del contatto in diversi mezzi d'estinzione dell'arco

Per correnti di apertura dell'arco si utilizza un altro metodo. Due porta contatti con fresature disposte nello stesso senso formano un percorso di corrente incanalato. In

questo modo si forma un campo magnetico assiale supplementare che tiene diffuso l'arco anche con correnti molto alte. L'arco è quindi distribuito in modo uniforme su tutta la superficie di contatto in modo che non compaiano sollecitazioni termiche locali inammissibili.

Il dispendio di energia durante l'estinzione è minimo. Le cause sono la breve durata dell'arco, la piccola distanza fra i contatti e il fatto che l'arco non venga raffreddato. Ne risulta una durata del contatto elettrico estremamente alta che non si ottiene nemmeno approssimativamente con nessun altro principio di estinzione. *Questo è il motivo principale per cui l'interruttore in vuoto oggi è quello che necessita di minor manutenzione, legata solo alle verifiche sull'azionamento, con lunghi intervalli e costi trascurabili.*

In virtù del rapido riconsolidamento della distanza di apertura gli interruttori sottovuoto interrompono correnti capacitive senza riaccensioni. Poiché il rapido riconsolidamento della distanza di apertura non viene ottenuto con un potente flusso del mezzo d'estinzione dell'arco ma attraverso le caratteristiche dei contatti, diversamente dagli interruttori tradizionali all'apertura di ridotte correnti induttive non si generano obbligatoriamente maggiori sovratensioni transitorie. Inoltre, negli interruttori sottovuoto l'intensità della corrente d'arco dipende dal materiale dei contatti. *Proprio lavorando sui materiali di cui sono costituiti i contatti si sono resi disponibili oggi moderni interruttori in vuoto che anche con correnti di interruzione basse, come all'apertura di trasformatori a vuoto, non lasciano più comparire sovratensioni transitorie inammissibilmente elevate.*



**Figura 10: confronto dell'energia d'arco di diversi mezzi d'estinzione**

Per la loro buona capacità di estinzione in alcuni casi particolari, rare applicazioni, gli interruttori sottovuoto tendono a sovratensioni in seguito a riaccensioni multiple. Queste sovratensioni vengono però controllate senza problemi con adeguati circuiti protettivi (ad es. limitatori di sovratensione). *Il caso tipico è la manovra su motori e reattanze. In fase d'avviamento o con rotore bloccato si possono creare sovratensioni a causa del riaddescamento multiplo o dello strappamento di correnti virtuali. L'interruttore può essere equipaggiato con un limitatore di sovratensione*

Poiché i moderni interruttori sottovuoto mostrano nel complesso il comportamento di estinzione più equilibrato in tutte le condizioni operative, nel frattempo sono diventati gli interruttori maggiormente utilizzati. Oggi nel mondo rappresentano oltre il 67% del mercato globale (dati aggiornati al 2008).

## A 2 Interruttori di manovra-sezionatori (sezionatori sotto carico)

Gli interruttori di manovra (sezionatori) sono impiegati per il comando di correnti di carico (fino alla rispettiva corrente di esercizio nominale). Poiché al momento della chiusura di un'utenza non è da escludere la presenza di cortocircuiti, gli interruttori di manovra-sezionatori oggi sono in genere dotati di potere di chiusura in cortocircuito. In combinazione con fusibili gli interruttori di manovra-sezionatori possono essere impiegati anche per l'interruzione di correnti di cortocircuito. L'apertura del cortocircuito è affidata ai fusibili. Questi fanno intervenire l'interruttore di manovra-sezionatore tripolare e in tal modo separano la derivazione difettosa dalla rete.

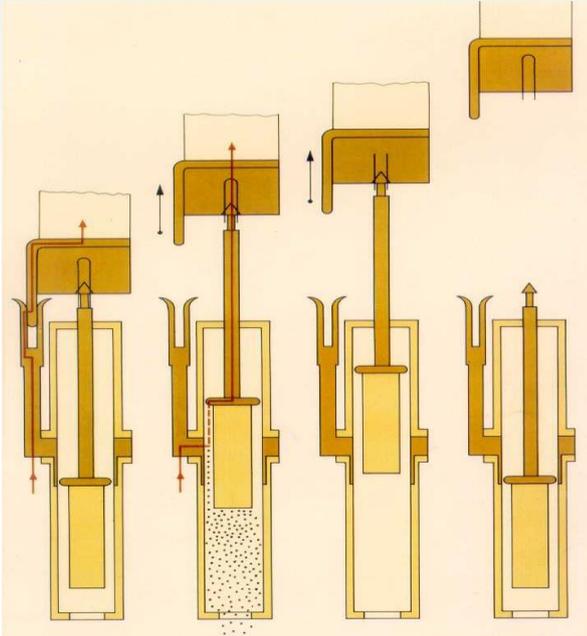
Le norme differenziano fra interruttori di manovra-sezionatori monofunzione e interruttori di manovra-sezionatori multifunzione. Gli interruttori monofunzione sono impiegati per casi speciali, ad es. come interruttori per condensatori. In generale prevale il mercato degli interruttori di manovra-sezionatori multifunzione. Attualmente nel campo della media tensione vengono utilizzati interruttori di manovra-sezionatori e/o sezionatori sotto carico con i seguenti principi di estinzione:

- ad autoformazione di gas
- in aria (a compressione)
- in SF<sub>6</sub>
- in vuoto
- 

Gli interruttori in SF<sub>6</sub> sono impiegati solo in quadri realizzati su misura per questi dispositivi.

## A 2.1 Ad autoformazione di gas

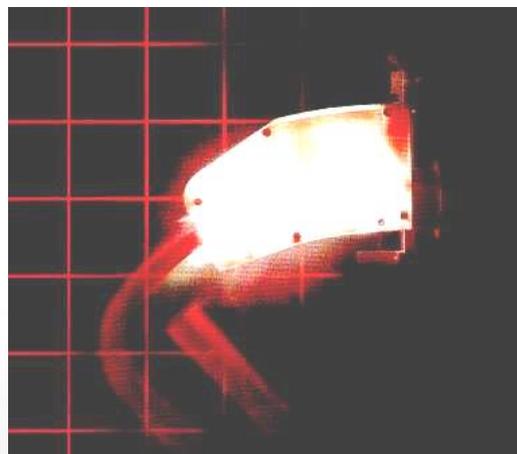
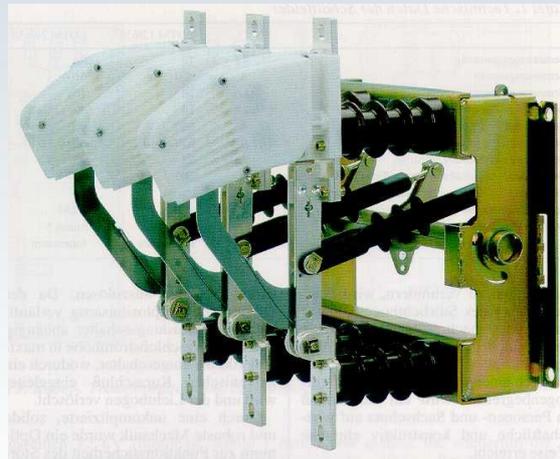
Negli apparecchi ad autoformazione di gas per l'effetto dell'arco viene generato un gas da un mezzo isolante che avvolge l'arco e in cui lo stesso si sviluppa. L'effetto di estinzione corrisponde quindi all'incirca a quello degli interruttori in olio in cui come descritto per gli interruttori di potenza viene generato gas dall'olio (idrogeno).



**Figura Error! No text of specified style in document.11 mostra lo schema di apertura del contatto principale e di estinzione (tipo 3CF Siemens).**

Poiché il materiale dal quale è generato il gas non si può rinnovare come avviene per l'olio con un ricircolo costante, la durata *meccanica* non è lunga. Pertanto, questi interruttori di manovra-(sezionatori) vengono impiegati solo dove la frequenza di apertura è minima, ad esempio in stazioni di rete. Ciò nonostante gli interruttori di manovra-(sezionatori) con autoformazione di gas sono frequentemente impiegati, poiché presentano il miglior rapporto prezzo-prestazioni.

**Figura Error! No text of specified style in document.11: apertura con principio dell'autoformazione di gas**



**Figura 12: esempio di un sezionatore con camera d'arco chiusa (tipo LDTM Driescher)**

## A 2.2 In aria (a compressione)

Negli apparecchi in aria l'estinzione dell'arco è effettuata da un flusso d'aria generato durante il movimento di apertura dal comando dell'interruttore, tale da deionizzare rapidamente il percorso di apertura dopo il passaggio della corrente per lo zero. Questi apparecchi sono particolarmente adatti all'apertura di correnti capacitive e in condizioni di cortocircuito a terra poiché in entrambi i casi dopo l'interruzione della corrente compare un'elevata tensione di ritorno, che la distanza di apertura può sopportare bene grazie al suo rapido riconsolidamento.

## A 2.3 In SF<sub>6</sub>

Le principali caratteristiche dell'SF<sub>6</sub> come gas estinguente sono state descritte al paragrafo sugli interruttori.

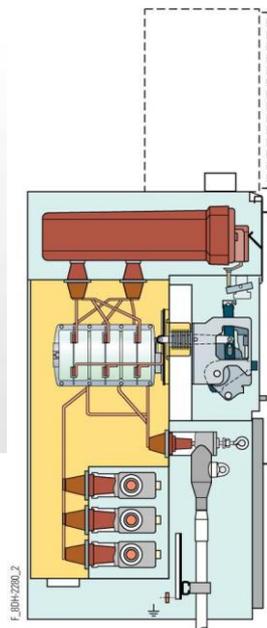
Negli apparecchi in SF<sub>6</sub> il flusso spegni arco viene normalmente generato dal meccanismo di comando. Poiché i sezionatori sotto carico devono solo interrompere correnti

di esercizio - le correnti di guasto solo in misura molto limitata- il flusso spegni arco può essere dimensionato relativamente debole, in modo da ridurre al minimo il rischio di eccessive sovratensioni transitorie per l'interruzione di corrente all'apertura di ridotte correnti induttive.

La durata elettrica e il potere di apertura degli interruttori di manovra-sezionatori (sezionatori sotto carico) in SF<sub>6</sub> sono maggiori che negli apparecchi descritti ai due precedenti paragrafi. Questo è uno dei vantaggi che giustificano i costi più elevati rispetto ai suddetti apparecchi.

Altri vantaggi sono:

- poiché gli interruttori di manovra-sezionatori in SF<sub>6</sub> necessitano di un circuito del gas chiuso, il contatto può essere incorporato in un compartimento chiuso ermeticamente e riempito di SF<sub>6</sub> che in tal modo si rende il quadro indipendente dall'ambiente circostante
- oltre ad apertura e chiusura, il contatto può assumere altre funzioni come la messa a terra con potere di chiusura.



Interruttore di manovra-sezionatore in SF<sub>6</sub> (tipo 8DH10 TR Siemens).

L'apparecchio è chiuso in una capsula di acciaio inossidabile interamente saldata ed esente da guarnizioni, l'azionamento è esterno. La camera dei fusibili, visibile nella parte alta del quadro, è dotata di guarnizioni a tenuta.

L'interruttore di manovra-sezionatore e i fusibili sono isolati dall'ambiente esterno, risultano insensibili alle condizioni ambientali e possono essere utilizzati in ambienti inquinati.

Si nota il rinvio meccanico che collega la camera del fusibile con l'azionamento dell'apparecchio. Obbligatoriamente dopo l'intervento del fusibile a seguito di un guasto deve essere comandata l'apertura del sezionatore

## A 2.4 In vuoto

Gli interruttori di manovra-sezionatori (sezionatori sotto carico) in vuoto offrono tutti i vantaggi del principio di apertura in vuoto.

- Ampolle esenti da manutenzione
- Elevata durata
- Impiego universale: nessuna limitazione d'uso in tutti i campi di applicazione dei sezionatori sotto carico

è opportuno impiegare gli apparecchi in vuoto in correlazione con impianti dotati di interruttori di potenza in vuoto per poterne sfruttare in modo coerente i suddetti vantaggi. Infatti, possono interrompere molto frequentemente la corrente nominale d'esercizio e in questo modo è possibile aprire quotidianamente trasformatori non sotto carico ad es. in reti industriali per ridurre al minimo le perdite a vuoto e risparmiare così sui costi di esercizio, **oppure eseguire operazioni automatiche di configurazione degli assetti negli impianti di produzione da energie rinnovabili e aumentare moltissimo il rendimento complessivo del sistema.**

La protezione contro il cortocircuito avviene, come per gli altri interruttori, con fusibili. Come combinazione fusibile-sezionatore sotto carico, l'apparecchio sottovuoto può essere abbinato con tutti i fusibili HRC AT fino alle massime correnti di esercizio.

## A 3 Interruttori-sezionatori, sezionatori di terra e a tre posizioni

### A 3.1 Sezionatori

I sezionatori servono all'apertura e chiusura di circuiti elettrici pressoché privi di corrente. Possono pertanto commutare correnti trascurabili (correnti fino a 500 mA, ad es. correnti capacitive di sbarre o trasformatori di tensione) o correnti più elevate se fra i poli all'apertura non avviene alcuna sostanziale variazione della tensione, ad es. allo scambio di una sbarra di un quadro con doppio sistema di sbarre, se l'accoppiamento trasversale è chiuso in parallelo.

**L'effettivo compito dei sezionatori è però la generazione di un isolamento per poter lavorare senza pericolo sugli impianti a valle che sono stati "disattivati" dal sezionatore. Pertanto, l'isolamento deve soddisfare severi requisiti di affidabilità, identificabilità e resistenza alla tensione.**

#### Correnti superficiali

Per motivi di sicurezza i sezionatori devono essere realizzati in modo che nessuna pericolosa corrente superficiale possa arrivare dai collegamenti su un lato ai collegamenti posti sull'altro lato del sezionatore. Ciò significa che il percorso di

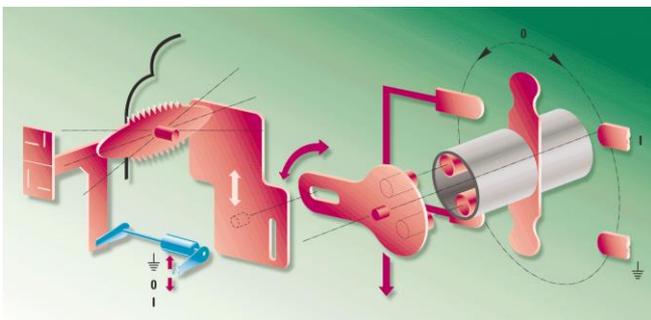
sezionamento può essere interrotto da materiale isolante solo se l'isolamento in oggetto è protetto in modo efficace dall'inquinamento e dall'umidità durante l'esercizio, ad esempio con un involucro ermetico, come nei quadri isolati in gas. Talvolta un rinforzo in materiale isolante non può essere evitato dal percorso del sezionamento, ad esempio per garantire la stabilità meccanica dell'interruttore. In tal caso un collegamento di terra interposto deve disperdere a terra in modo affidabile le possibili correnti superficiali.

**Indicatore di posizione:** la posizione di un sezionatore per motivi di sicurezza sul lavoro deve sempre essere chiaramente riconoscibile; con un

- *isolamento visibile* oppure un
- affidabile, sicuro **dispositivo di indicazione della posizione**.

*Per anni il Decreto del Presidente della Repubblica n. 547 del 27/04/1955 ha prescritto solo un tipo d'isolamento "visibile", tale obbligo impediva l'utilizzo di apparecchi isolati in SF<sub>6</sub> che sono riconosciuti come più sicuri perché insensibili all'inquinamento e in generale alle condizioni ambientali. Preso atto dei progressi tecnologici e delle norme internazionali, il Legislatore ha abrogato l'articolo 293 del D.P.R. n. 547; rimane però necessario adottare un sistema di indicazione della posizione che sia esente da errore evitando di utilizzare per esempio sensori di posizione ma piuttosto applicando la segnalazione direttamente sull'asta di comando del sezionatore.*

In sostanza fra i contatti mobili e l'indicatore di posizione è da prevedere una "catena cinematica" che deve soddisfare restrittivi requisiti di resistenza meccanica. Nella catena di trasmissione cinematica deve esserci un collegamento meccanico continuo per garantire una trasmissione sicura del movimento. Molle, limitatori di forza o di coppia non possono essere parte di questa catena. È opportuno ricordare che esiste uno standard la Norma IEC 60129.



Catena cinematica provata secondo IEC 60129

Per quanto riguarda le esecuzioni dei sezionatori, almeno in Europa non ci sono pressoché differenze fra le diverse marche. In generale sono prodotti sezionatori a leva. Sono comunque diffuse anche altre esecuzioni, ad esempio i sezionatori rotanti (o detti anche sezionatori passanti). Questi presentano due isolamenti parziali e possono pertanto essere installati in modo che oltre alla funzione di separazione assumano anche quella di isolatori passanti poiché possono essere integrati a parete fra due vani segregati.

I sezionatori possono essere eliminati se su lato del quadro viene generato in altro modo un isolamento, ad esempio in quadri con modulo interruttore estraibile o carrello mediante spostamento dell'interruttore.

## A 3.2 Sezionatori di terra

I sezionatori di terra sono impiegati per la messa a terra e in cortocircuito di parti di quadri, cavi o linee. Consentono di lavorare senza rischi sui dispositivi, precedentemente disattivati.

I sezionatori di terra sono in linea di principio sezionatori a tre poli che mettono in cortocircuito e a terra i relativi circuiti. Pertanto, devono essere progettati per le massime sollecitazioni in cortocircuito possibili sul luogo d'installazione ovvero dinamicamente per la corrente impulsiva di cortocircuito di picco  $I_p$  e termicamente per la corrente efficace alternata di cortocircuito ( $I_k$  e  $I_k$ ). Pertanto devono resistere alla corrente di cortocircuito permanente  $I_k$  fino a quando l'interruttore (o i fusibili) a monte non hanno aperto il cortocircuito.

Se al posto di sezionatori di terra vengono impiegati sezionatori di terra rapidi, è possibile mettere a terra e in cortocircuito senza rischi anche se per errore l'impianto non era stato precedentemente disattivato.

In tal caso il sezionatore di terra rapido deve chiudere in presenza di tensione, stabilire e reggere la corrente di cortocircuito di picco e permanente fino all'intervento di interruttori o fusibili a monte.

La costruzione dei sezionatori di terra (rapidi) è molto simile a quella degli interruttori di manovra-sezionatori (sezionatori sotto carico) a leva. I sezionatori di terra (rapidi) vengono spesso installati sui sezionatori o sugli interruttori di manovra-sezionatori ma sono spesso disponibili anche singolarmente o integrati in quadri.

I sezionatori di terra vengono per lo più interbloccati con il relativo sezionatore, sezionatore sotto carico o lo spostamento del carrello o modulo interruttore per impedire la messa a terra in presenza di tensione. Con l'impiego di sezionatori di terra *rapidi*, questo interblocco può essere eliminato.

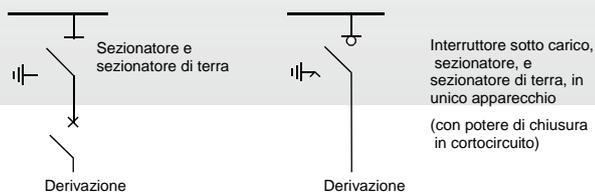
### A 3.3 Sezionatori a tre posizioni

I sezionatori a tre posizioni combinano in un solo apparecchio le funzioni di sezionamento e messa a terra. Come dice il nome, sono possibili tre posizioni per cui l'interruttore chiude, separa o mette a terra e in cortocircuito la partenza sottesa. *In pannelli interruttore l'interruttore a tre posizioni combina per lo più le funzioni di sezionatore di linea e di sezionatore di terra senza potere di chiusura in cortocircuito (a sinistra in Figura 13). Il sezionatore predispone soltanto la messa a terra della derivazione, mentre è con la chiusura dell'interruttore che viene eseguita l'effettiva messa a terra e in cortocircuito della derivazione. Nei pannelli sezionatore sotto carico invece l'interruttore a tre posizioni svolge per lo più funzioni di sezionatore di linea e sezionatore di terra rapido con potere di chiusura in cortocircuito.*

**La procedura di messa a terra descritta è comunemente richiesta dalle Aziende che devono gestire una rete di distribuzione articolata e importante e applicata in tutte le sottostazioni, presso le industrie chimiche, petrolchimiche e ovunque ci sia una distribuzione in media con delle potenze importanti. Per la distribuzione di energia presso piccoli utilizzatori le soluzioni sono spesso diverse e si tende ad utilizzare apparecchiature separate con comandi separati.**

**Si vorrebbe semplificare il comando del quadro per evitare errori di manovra. In realtà è proprio con i QMT prefabbricati prodotti dagli stessi costruttori che forniscono le apparecchiature sciolte che si ottiene una sicura separazione dei comandi delle diverse funzioni, sezionamento e messa a terra, anche quando realizzate con il medesimo apparecchio.**

**Spesso si sacrifica la sicurezza che si ottiene mettendo a terra con tutto il potere di chiusura di un interruttore per utilizzare un sezionatore rapido integrato, in genere, in un quadro prefabbricato dal costo contenuto.**



**Figura 13: interruttori a tre posizioni combinati in una derivazione**

Gli interruttori a tre posizioni sono tipici dei quadri isolati in gas poiché le buone caratteristiche di isolamento dell'SF<sub>6</sub> consentono un'esecuzione compatta. Anche il comando è semplice e di dimensioni ridotte: sono necessarie solo brevi rotazioni poiché le proprietà dielettriche del gas consentono brevi distanze di apertura delle lame. Nel sezionatore sotto carico a tre posizioni l'SF<sub>6</sub> viene contemporaneamente impiegato come isolante e come mezzo d'estinzione dell'arco.

### A 4 Contattori

I contattori sono apparecchi di manovra sotto carico, ovvero vengono utilizzati per la commutazione in esercizio di utenze, come motori, trasformatori e condensatori. Presentano anche un limitato potere di chiusura in cortocircuito ma questo generalmente non è sufficiente per le sollecitazioni da cortocircuito che si verificano nel luogo di installazione. Pertanto, vengono installati a monte apparecchi con capacità di apertura e chiusura in cortocircuito. Normalmente si tratta di fusibili ma possono anche essere interruttori.

I contattori hanno una lunga durata elettrica e meccanica. Assai superiore a quella dei sezionatori sotto carico. Pertanto, vengono utilizzati soprattutto dove occorre un'elevata frequenza di manovra.

Per i contattori si considerano le seguenti esecuzioni:

- contattori in aria
- contattori sottovuoto
- contattori in SF<sub>6</sub>

#### A 4.1 Contattori in aria

I contattori in aria sono apparecchi che funzionano analogamente agli interruttori con soffio magnetico (vedere anche il capitolo A 1.6 Interruttori con soffio magnetico). Poiché i contattori in aria rispetto ai contattori moderni sono molto grandi e complessi, oggi non rivestono più un ruolo significativo.

#### A 4.2 Contattori in vuoto

I contattori in vuoto sono identici agli interruttori in vuoto per quanto riguarda l'estinzione dell'arco (vedere il capitolo A 1.8 Interruttori sottovuoto). I contattori in vuoto si differenziano dagli interruttori in vuoto per la loro durata meccanica ed elettrica notevolmente superiore.

Sono costruiti con comandi più leggeri che assicurano forze di manovra ridotte rispetto agli interruttori; quindi i contattori aprono correnti di esercizio e correnti di cortocircuito molto ridotte.

Questi apparecchi hanno semplici comandi magnetici, ma molto agili

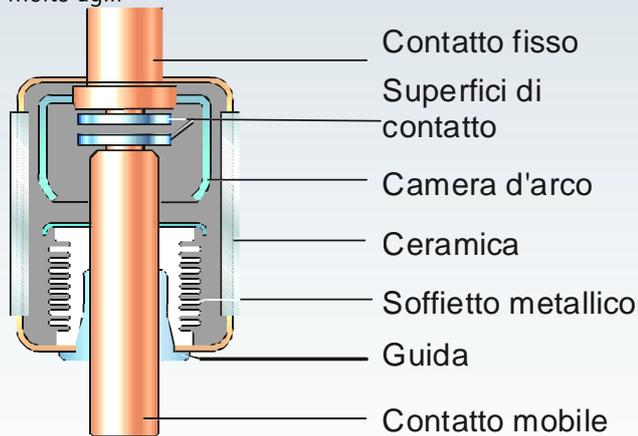
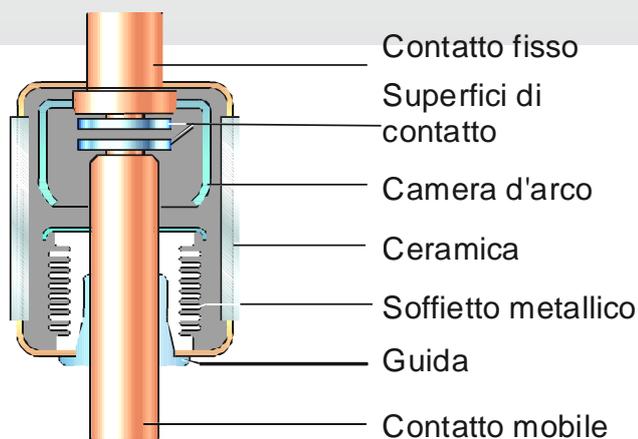
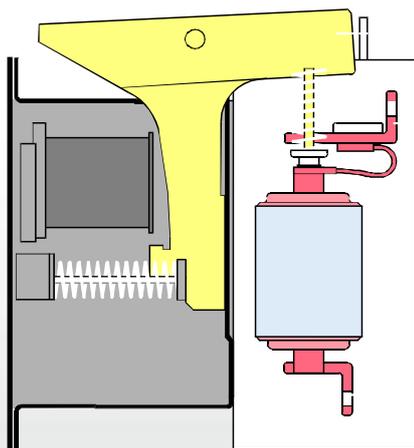


Figura 14; le ampole si differenziano da quelle utilizzate per gli interruttori in vuoto essenzialmente per il soffietto più lungo, dimensionato per un maggior numero di manovre. I moderni contattori in vuoto possono commutare la relativa corrente di esercizio nominale anche fino a un milione di volte. Per questo motivo e per quelli descritti al capitolo "Interruttori" oggi il contattore in vuoto è il principio di estinzione più utilizzato al mondo.



**Figura 14: disegno di un contattore e dei delle ampole in vuoto**

## A 4.3 Contattori in SF<sub>6</sub>

I contattori in SF<sub>6</sub> funzionano come gli interruttori in SF<sub>6</sub> con azione autoestinguente (interruttori rot-arc) come descritto al capitolo "Interruttori". Rispetto al contattore in vuoto, presentano vantaggi per la commutazione di correnti induttive ma svantaggi per la commutazione capacitiva. Le differenze fondamentali dei contattori in SF<sub>6</sub> riguardano però gli aspetti operativi. La durata meccanica ed elettrica è assai inferiore rispetto a quella dei contattori sottovuoto. Inoltre, la loro esecuzione è più complessa e il numero dei loro componenti è maggiore rispetto ai moderni contattori in vuoto e pertanto sono più soggetti ai guasti.

## Bibliografia

- [1] Ansgar Müller  
Siemens AG  
Mittelspannungstechnik Schaltgeräte und Schaltanlagen  
Ausgabe 19D0 • 2005-07 Siemens AG