

L'ETERNA GIOVINEZZA DEL FUSIBILE

Massimo Salmoiraghi (*)

Peculiarità e vantaggi di un dispositivo di protezione che negli anni ha saputo evolversi al meglio, sotto molteplici aspetti.

(*) Massimo Salmoiraghi, Responsabile Assicurazione Qualità Italweber S.p.A.

Essere nato per primo, tra i dispositivi elettrici di protezione contro le sovracorrenti, ha consentito al fusibile di raccogliere un nutrito bagaglio di esperienze che ne hanno fatto un componente affidabile e dalle prestazioni assai elevate. Ciò nonostante, il suo costo è molto contenuto rispetto a quello dei successori meccanicamente più complessi, quali l'interruttore automatico magnetotermico, anche nella versione più sofisticata, con caratteristiche limitatrici di corrente. L'ingegnosità del fusibile sta proprio nella sua semplicità, ed è una costante nel mondo della tecnica l'abbinamento tra semplicità e affidabilità; così come, sul versante opposto, alla complessità (fino ai limiti della sofisticazione tecnologica) fa riscontro una limitata affidabilità,

dovuta alla gamma dei possibili guasti funzionali e dei possibili difetti di costruzione riscontrabili su un componente complesso. Il fusibile, per ottemperare al proprio compito, che è quello di proteggere contro le sovracorrenti sia le linee che le utenze, mette in gioco se stesso; si sacrifica interamente, fondendosi, ma limitando tale effetto alla sua anima interna, il cosiddetto *elemento fusibile* che viene sacrificato al fine di interrompere nel minor tempo possibile il transito della corrente (figura 1).

L'evoluzione tecnologica, affinata in tanti anni di progettazione e fabbricazione dei fusibili, ha consentito di stilare curve di intervento tempo-corrente normalizzate (figura 2), nel rispetto delle quali il processo di interruzione dell'elemento fusibile si ripete con affidabilità e sicurezza su ogni componente, rimanendo confinato nei suoi effetti (il prearco, l'arco, l'interruzione e la relativa emissione di energia termica) all'interno dell'*involucro* o corpo contenitore.

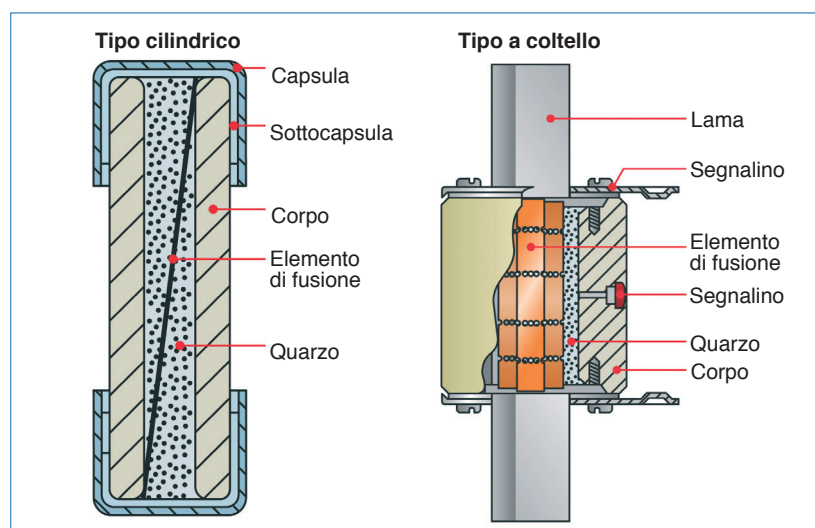
La prestazione del fusibile sta tutta qui. Ma non è poca cosa, trattandosi di dover interrompere anche forti valori di corrente entro un tempo massimo prestabilito e senza provocare danni all'ambiente esterno e ai punti di contatto elettrico tra la cartuccia fusibile e i conduttori di connessione ai circuiti.

La "magia" di questo dispositivo sta nell'essere in grado di immagazzinare l'energia termica necessaria per produrre l'interruzione dell'elemento fusibile interno e nel riuscire poi a smaltire tale energia verso l'aria circostante.

La tabella 1 riassume le peculiarità del fusibile-

FIGURA 1

Vista interna di fusibili:
a - tipo cilindrico;
b - tipo a coltello.



le, le quali ne fanno un dispositivo equiparabile o più vantaggioso rispetto ad altri, nell'utilizzo per la protezione contro le sovracorrenti.

L'analisi dei pro e dei contro è una stima che spetta al progettista o all'installatore, in relazione alle caratteristiche circuitali, ambientali e gestionali, nonché al livello delle protezioni richieste. Le peculiarità infatti si collocano in differenti campi; da quello funzionale a quello inerente la sicurezza; da quello gestionale a quello economico.

Adattabilità in relazione alle esigenze di protezione

In relazione a ciò che si deve proteggere contro le sovracorrenti, vale a dire: linee, trasformatori, motori, componenti elettronici o utenze di altro genere, la vasta gamma di fusibili a disposizione consente di *dedicare* le prestazioni del dispositivo alle esigenze protettive, commisurando le prime ai limiti di sopportabilità che caratterizzano le seconde.

Agendo sulle dimensioni, sulla configurazione geometrica e sul materiale di riporto dell'elemento fusibile, nonché sui parametri che influiscono sull'andamento dello scambio termico, è possibile modificare la curva d'intervento del dispositivo. Ne sortiscono caratteristiche d'intervento normali o ritardate o rapide o extrarapide (anche se le norme tecniche di prodotto oggi non fanno più riferimento a queste distinzioni). Ad esempio, per proteggere i semiconduttori sono necessarie curve d'intervento molto ripide, per garantire interventi extrarapidi che salvaguardino i componenti elettronici, assai esposti ai danni che le correnti di guasto sono in grado di produrre. Invece, per la protezione dei motori, caratterizzati da elevate correnti di spunto, si utilizzano i fusibili "aM", progettati espressamente per resistere alle ripetute sovracorrenti transitorie che caratterizzano gli avviamenti dei motori.

Elevato potere d'interruzione

Il potere di interruzione dei fusibili, vale a dire il valore della corrente di cortocircuito presunta che essi sono in grado di interrompere a un determinato valore di tensione e in condizioni d'impiego specificate, ne caratterizza le prestazioni rispetto a quelle degli interruttori automatici.

Se sulla bilancia di un ipotetico confronto si pongono, insieme al potere d'interruzione,

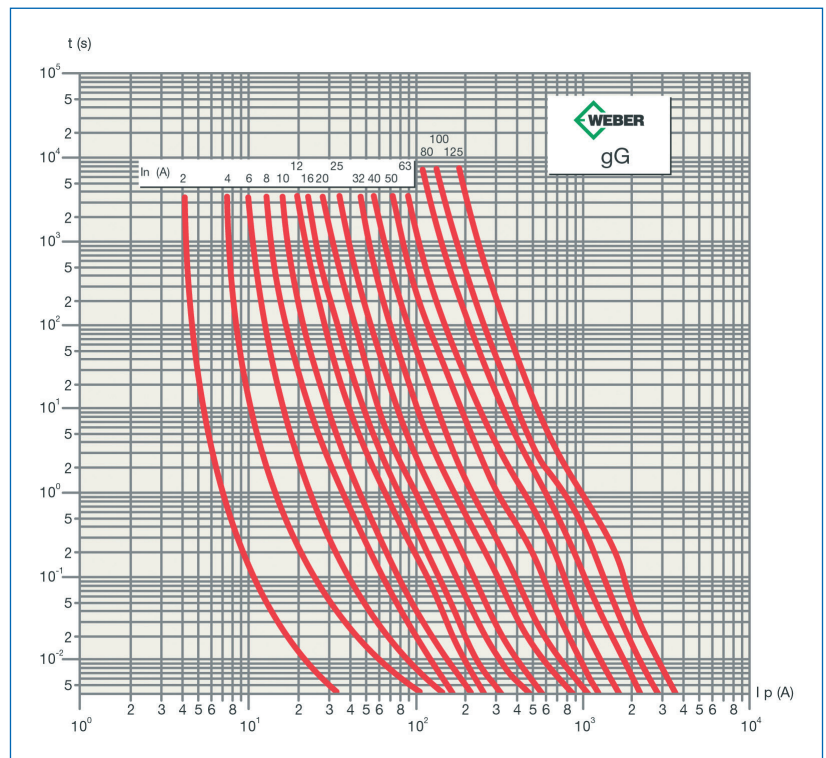


FIGURA 2

Curve d'intervento tempo/corrente di una serie di fusibili cilindrici per uso industriale.

anche il costo e le dimensioni d'ingombro, il vantaggio dei fusibili rispetto agli interruttori automatici diviene consistente.

In presenza di un'elevata corrente di cortocircuito, l'elemento fusibile si frammenta in più parti, con la formazione di più archi in serie, tra un segmento e l'altro. Su ogni arco si manifesta una tensione d'arco che si oppone alla corrente d'arco, agevolandone l'estinzione. La presenza di più archi fa sì che tale tensione raggiunga valori elevati, il che costringe la corrente d'arco ad azzerarsi prima del passaggio per lo zero della sinusoide. L'estinzione dell'arco è il risultato della sottrazione di energia attuata dalla sabbia di quarzo con cui sono normalmente riempiti gli involucri dei fusibili di potenza. Questa dinamica di interruzione, semplice ed efficace, è il motivo dell'affidabilità intrinseca dei fusibili.

Se il progettista ha cura di prevedere fusibili con potere d'interruzione non inferiore al valore della corrente presunta di cortocircuito nel punto d'installazione, il funzionamento della protezione sarà sempre *affidabile* e *sicuro*.

Limitazione della corrente di cortocircuito

Ciò che si teme dell'evento cortocircuito è l'energia passante (i^2t), assai elevata, messa in

- Elevata affidabilità funzionale
- Elevato potere d'interruzione
- Propensione "naturale" alla limitazione della corrente di cortocircuito
- Integrazione, in uno stesso dispositivo, della protezione delle linee contro i sovraccarichi e contro i cortocircuiti
- Possibilità di scelta delle caratteristiche di intervento in relazione al tipo di utenza
- Limitazione delle sovratensioni funzionali, grazie a una corretta scelta del dispositivo in relazione ai parametri di tensione del circuito
- Elevata affidabilità in materia di selettività verticale, configurabile a più livelli
- Funzionamento indipendente dalla temperatura ambiente
- Elevate capacità di smaltimento dell'energia termica prodotta dalla fusione dell'elemento sensibile interno
- Sicurezza di funzionamento, con assenza di fenomeni negativi dovuti all'invecchiamento
- Compatibilità con situazioni ambientali caratterizzate dalla presenza di polvere
- Dimensioni contenute
- Basso costo
- Possibilità di segnalazione automatica a distanza dell'avvenuto intervento
- Assenza di possibili funzionamenti anomali successivi al cortocircuito, grazie alla sostituzione integrale della cartuccia
- Sicurezza durante le operazioni di sostituzione della cartuccia

TABELLA I

Peculiarità e vantaggi dei fusibili

gioco dal guasto fase-fase o fase-terra. Tale energia produce effetti termici ed elettrodinamici distruttivi per le linee e le apparecchiature.

Per fronteggiarla egregiamente mediante interruttori automatici è necessario il ricorso ai tipi limitatori di corrente, di costo e di ingombro entrambi elevati.

Il fusibile è invece *di natura* un dispositivo limitatore di corrente, in quanto:

- più elevata è la corrente;
- più velocemente fonde l'elemento fusibile;
- più rapidamente s'incrementa la tensione d'arco che si oppone al permanere della corrente di sostegno dell'arco.

In termini grafici, l'effetto è quello riportato nella figura 3. Se l'intervento del fusibile avviene in un tempo inferiore a 5 ms, vale a dire entro meno di ??? di periodo della sinusoide a 50Hz, la corrente di cortocircuito non raggiunge il valore massimo teorico; il che consente di evitare i danni.

Solo i fusibili hanno la capacità di mantenere costante il valore dell'energia passante entro i 5 ms di durata del guasto.

In altri termini, grazie alle sue eccellenti capacità limitatrici, il fusibile è in grado di garantire la protezione anche all'aumentare del valore efficace della corrente di cortocircuito presunta (purché questa non superi quella nominale del dispositivo). Per farlo esso compensa l'aumento della corrente con la riduzione del tempo di intervento, mantenendo in tal modo costante il prodotto del quadrato della corrente teorica di cortocircuito (i^2) per il tempo di interruzione (t).

Limitazione delle sovratensioni funzionali

Come appena visto, la tensione gioca un ruolo essenziale nell'azzeramento della corrente d'arco. Più la tensione si innalza, più i tempi di interruzione della corrente si accorciano.

Il fusibile in questo senso è formidabile, ma occorre che il progettista lo sappia scegliere in modo corretto, vale a dire con una tensione nominale uguale o di poco superiore a quella del circuito. Questo per evitare che le sovratensioni d'arco danneggiano l'isolamento dei circuiti.

Un errore da cui guardarsi è, ad esempio, quello di utilizzare fusibili per bassa tensione, con tensione nominale pari a 400V, su circuiti a bassissima tensione (uguale o inferiore a 50V in corrente alternata).

Protezione delle condutture contro i sovraccarichi

I fusibili posti a monte di una conduttura sono in grado di proteggerla sia contro i cortocircuiti che contro i sovraccarichi.

In attesa che le norme – come avverrà tra non molto, in applicazione a intenzioni già espresse a livello internazionale – equiparino le prove sui fusibili a quelle che si eseguono sugli interruttori magnetotermici; prevedendo, in particolare, che la prova della corrente di sicuro intervento (I_f) sia effettuata a caldo (dopo una prova della corrente nominale I_n) e non a freddo, come avviene oggi; in attesa che ciò avvenga, dovendo il fusibile rispettare la relazione imposta dalla Norma CEI 64-8:

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

dove la corrente I_z esprime la portata della conduttura; il fusibile risulta penalizzato rispetto all'interruttore automatico, poiché per garantire la protezione contro i sovraccarichi obbliga il progettista a declassare del 10% la

portata del cavo.

Infatti, nei fusibili la corrente di sicuro intervento (I_f) deve risultare pari a 1,6 volte la corrente nominale (I_n) del dispositivo.

Ma, se $I_f = 1,6 I_n$, per il rispetto della relazione imposta dalla Norma CEI 64 - 8 ($I_f \leq 1,45 I_z$) occorre che sia:

$$1,6 I_n \leq 1,45 I_z$$

Vale a dire, in definitiva:

$$I_n \leq 0,9 I_z$$

Appunto ciò che si diceva: la corrente nominale del fusibile è richiesto sia non superiore al 90% di quella della conduttura.

Anche questa limitata distinzione rispetto agli interruttori automatici, nei quali vale invece la relazione $I_n \leq I_z$, verrà comunque presto a decadere.

Selettività verticale

Grazie alla normalizzazione delle curve di intervento è possibile garantire la selettività tra due fusibili per uso generale posti in serie, ovvero tra un fusibile principale posto a monte e più fusibili posti a valle, su varie derivazioni, purché la corrente nominale del dispositivo a monte sia almeno 1,6 volte superiore rispetto a quella del o dei dispositivi posti a valle.

Insensibilità alla temperatura ambiente

La caratteristica d'intervento dei fusibili è relativamente insensibile al variare della temperatura esterna; mentre la stessa cosa non si può dire per gli interruttori automatici, legati a una temperatura di funzionamento pari a 30 °C.

Normalizzazione dimensionale

Anche se suddivisi su più serie, caratterizzate da differenti forme (a tubetto, cilindrica, a coltello, a bulloni), i fusibili rispettano rigorosamente le dimensioni e le caratteristiche funzionali imposte dalle norme tecniche di prodotto (figura 4).

Nell'ambito di questo vasto panorama, gli utenti devono effettuare proprie scelte, in ordine per esempio alla corrente nominale fino a cui è necessario impiegare fusibili cilindrici, per poi passare a quelli a coltello (più conosciuti come fusibili NH).

È in questo modo, sostenuto anche a livello di

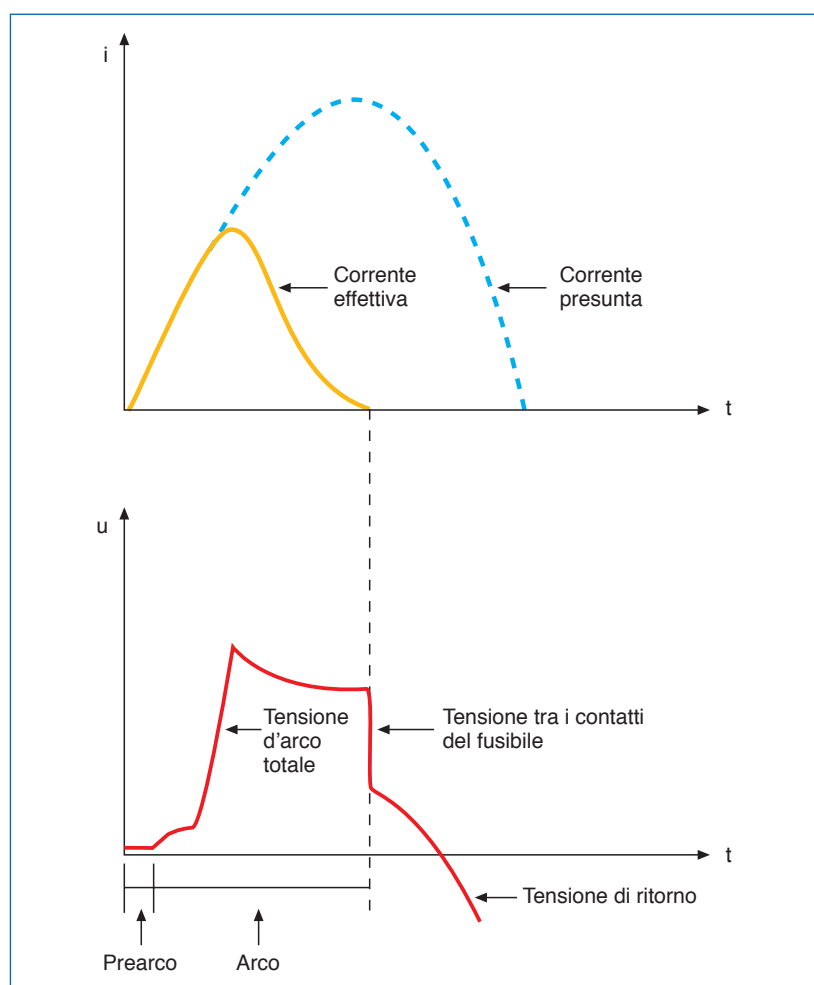


FIGURA 3

Limitazione della corrente di cortocircuito da parte di un fusibile e andamento della tensione d'arco che si manifesta al suo interno.

capitolato d'acquisto di macchinari e impianti, che si conseguono ottimizzazioni nella gestione a magazzino dei fusibili di ricambio.

Funzionalità post-cortocircuito

Certo che l'interruttore automatico è molto più pratico da richiudere, azionando una levetta o premendo un pulsante, rispetto alla cartuccia fusibile che va' sostituita. Ma, tale praticità diviene una lama a doppio taglio, ovvero una possibile leggerezza, nel momento in cui si richiude l'interruttore dopo un cortocircuito pensando che tutto sia come prima. Questa presupposizione, se vale per la prima volta, non è certo replicabile senza danno per le successive. Al ripetersi del cortocircuito l'interruttore andrebbe sostituito o, per le taglie e le forme costruttive che lo consentono, gli andrebbero controllati ed eventualmente sostituiti i contatti. Se ciò non viene fatto, il dispositivo di protezione non è più in grado di garantire l'interruzione delle sovracorrenti e introduce



FIGURA 4

Forme normalizzate dei fusibili per bassa tensione.

anche fenomeni di surriscaldamento e possibile saldatura delle pastiglie di contatto. Con i fusibili *tutto ciò non può accadere*. Se correttamente dimensionati, si sacrificano all'occorrenza e richiedono d'essere sostituiti con altri esemplari, pronti ad entrare in servizio garantendo perfettamente le stesse prestazioni dei loro predecessori.

Cessato allarme per un possibile funzionamento in monofase



FIGURA 5

Soluzione costruttiva per consentire la segnalazione d'intervento su un fusibile a coltello.

dei motori

Le perplessità che una volta emarginavano i fusibili dal possibile impiego per la protezione dei motori trifasi collegati a triangolo, per via del fatto che, in caso di intervento di un solo fusibile, la conseguente marcia in monofase non sarebbe stata idoneamente rilevata e impedita dal relè termico, oggi non ha più alcuna ragione d'essere. Infatti, da tempo ormai, i relè termici sono dotati di un dispositivo che in caso di funzionamento monofase ne modifica la caratteristica di funzionamento, provocando l'intervento del bimetallo e quindi l'apertura automatica del contattore a cui il relè si trova associato per valori di corrente decisamente inferiori a quello di taratura.

Segnalazione d'intervento

In caso di necessità, l'intervento di ogni fusibile – la sua interruzione e quella del circuito sul quale si trova inserito – può essere segnalato a distanza mediante la presenza, sulla cartuccia, di un percussore che, all'atto della fusione, aziona un microinterruttore (figura 5). La commutazione dei contatti sul fincorsa, liberi da tensione, può essere utilizzata per qualsiasi scopo attinente la gestione del sistema di protezione.

Affidabilità nel tempo

Essendo un dispositivo prettamente statico, il fusibile ha una vita molto lunga, esente da usura e relativamente indenne da situazioni ambientali non buone, soprattutto per quanto attiene la presenza di polvere in sospensione.

Esente da manutenzione

Per quanto sopra, l'insieme fusibile-portafusibile non richiede alcun intervento manutentivo, che non sia quello di verifica dei serraggi in presenza di vibrazioni frequenti o costanti.

Protezione contro i contatti diretti della base portafusibile

I morsetti della base portafusibile da installare all'interno di un quadro devono essere protetti da una copertura isolante, con grado di protezione minimo IP2X o IPXXB, che impedisca l'accesso alle parti attive della punta delle dita. Nei portafusibili a vite (figura 6), destinati ad accogliere i fusibili a cartuccia, la ghiera file-

tata, accessibile dall'esterno, deve essere sempre collegata al circuito in uscita; mentre il terminale di contatto opposto, collocato sul fondo del portafusibile, deve essere collegato al circuito in ingresso (passibile di trovarsi sotto tensione).

Sostituzione in sicurezza dei fusibili

Il D.P.R. 547/55 all'articolo 295, comma "b", prescrive che le valvole fusibili debbano "essere disposte, negli impianti a bassa tensione, a valle degli interruttori". Ma la prescrizione non è ripresa da alcuna norma tecnica. Il motivo è semplice: nel 1955, anno di pubblicazione del tuttora vigente D.P.R. 547 sulla sicurezza nei luoghi di lavoro, le soluzioni costruttive dell'insieme fusibile-portafusibile erano tutt'altro che protette contro i contatti diretti accidentali. Oggi l'evoluzione della tecnica ha finalmente portato a garantire, prima di tutto a livello di prodotti, la sicurezza degli utilizzatori e dei manutentori; per cui la sostituzione sotto tensione dei fusibili è una realtà percorribile, anche se beninteso dipende:

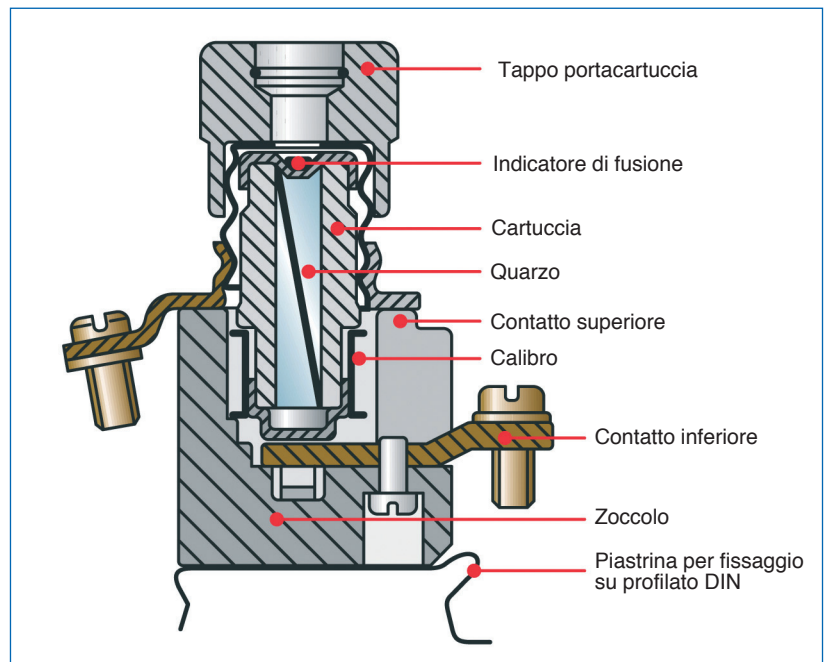
- dall'assenza di esecuzioni costruttive anti-quate (non protette);
- dalla qualità dei portafusibili commercializzati.

In caso di dubbio, che può nascere con maggiore frequenza per i fusibili a coltello e insorge giustamente sempre per i fusibili del tipo imbullonato, l'installazione a monte di un interruttore di manovra sezionatore, nonché il suo corretto impiego, risolvono la questione. Anzi no; manca una precauzione: la sostituzione dei fusibili deve essere sempre effettuata da personale qualificato, anche al fine di evitare possibili errori nella sostituzione della cartuccia, che deve avere caratteristiche identiche alla precedente.

Garanzia di sezionamento

Un fusibile intervenuto offre garanzie di sezionamento tra il morsetto di ingresso e quello in uscita.

Ma anche l'asportazione di una cartuccia fusibile o, per meglio dire, di una terna di cartucce può divenire garanzia di sezionamento dei circuiti a valle, in occasione ad esempio di interventi manutentivi fuori tensione. Ovviamente, alla garanzia di tipo elettrico va aggiunta quella organizzativa, circa il fatto che l'accesso ai portafusibili sia subordinato al



consenso da parte del responsabile dell'intervento manutentivo.

FIGURA 6

Portafusibile a vite.