

Capitolo 5

Impianti in bassa tensione

Abbiamo visto nei capitoli precedenti che l'energia elettrica viene trasmessa, su lunghe distanze, per mezzo di linee trifasi in Alta Tensione, mentre viene distribuita attraverso le linee in Media Tensione che raggiungono i diversi punti di fornitura, detti anche di consegna, dei singoli utenti. Gli impianti di categoria 2 vengono alimentati direttamente in Media Tensione, mentre quelli di categoria 0 e 1, ai quali questo capitolo è dedicato, vengono alimentati in bassa tensione. Chi cura tutta questa serie di passaggi e consegne, tranne in alcune zone dove operano delle Aziende Municipalizzate, in Italia è l'Enel; questo scenario, tuttavia, è destinato a cambiare radicalmente con la privatizzazione dell'Enel, una procedura appena iniziata, quando si è messo mano a questo libro.

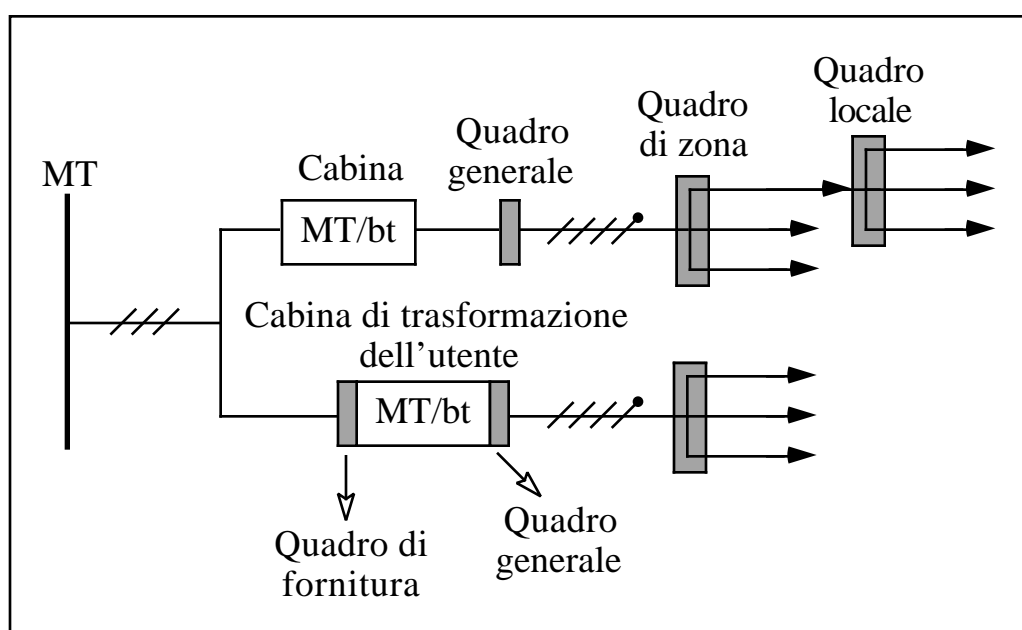


Figura 5.1: passaggio MT/bt.

Il passaggio MT/bt avviene tramite **cabine di trasformazione**. Per le piccole utenze, come ad esempio quelle domestiche, la fornitura dell'energia elettrica in bassa tensione viene curata direttamente dall'ente erogatore; nel caso di utenze superiori a 200 kW, l'ente erogatore fornisce l'energia elettrica direttamente in MT e l'utente dovrà realizzare e mantenere la propria cabina di trasformazione, che diventa parte integrante dell'impianto. Il limite imposto di 200 kW può variare da zona a zona, a seconda delle disponibilità dell'Enel.

Nei punti di fornitura, sia in MT che in bt, è situato un **quadro elettrico**, in cui è presente un interruttore generale ed i contatori di misura dell'energia elettrica fornita. Facendo riferimento allo schema mostrato in Figura 5.1, si vede che dal punto di fornitura si diramano più linee di zona da cui si dipartono più linee locali che conducono direttamente agli impianti utilizzatori, raggiungendo i singoli apparecchi o le prese a spina. Ancora una volta, nei punti di ramificazione sono collocati dei quadri elettrici, detti quadri generali, di zona e locali.

Negli impianti in bassa tensione, oltre agli interruttori, sono presenti i **contattori**, detti comunemente teleruttori: si tratta di dispositivi di manovra idonei all'apertura ed alla chiusura dei circuiti sotto carico, in presenza di correnti e tensioni con valori prossimi a quelli nominali. Essi non sono quindi adatti per alcuna manovra in condizioni di cortocircuito, ma sono caratterizzati da grande affidabilità consentendo un numero elevatissimo di manovre nell'arco della loro vita. Trovano pertanto impiego nei circuiti di alimentazione dei motori, delle macchine operatrici e vengono spesso azionati automaticamente, mediante circuiti ausiliari che favoriscono una certa rapidità di manovra. È utile segnalare che, a parità di valori nominali, sono molto più compatti ed economici degli interruttori.

Prima, tuttavia, di parlare di cabine, di quadri e di introdurre i principali tipi di impianti in bassa tensione, introduciamo due importantissimi dispositivi di protezione: il fusibile ed il relè. Parafrasando l'articolo 285 del D.P.R. 547 del 27 aprile 1955, si può dire che i circuiti elettrici devono essere provvisti di valvole fusibili, interruttori automatici o simili, atti ad impedire che nelle condutture e negli apparecchi elettrici abbiano a riscontrarsi correnti di intensità tale da far loro assumere temperature pericolose oppure eccessive; qualora, in relazione a particolari usi o caratteristiche dell'impianto, l'interruzione automatica della corrente possa determinare condizioni di pericolo, i circuiti devono essere protetti contro i sovraccarichi di corrente mediante altri idonei dispositivi.

5.1 Fusibili

Quante volte ci è capitato di sentire, dopo che nelle nostre case si era interrotta l'alimentazione elettrica, che si era 'bruciata una valvola', o che era 'saltata una valvola' (almeno nelle regioni meridionali d'Italia). In realtà, la parola 'valvola' andrebbe sostituita con 'fusibile'.

Ma che cosa è un fusibile?

Un fusibile è uno tra i più semplici, spesso anche tra i più rapidi, dispositivi di protezione contro le sovracorrenti (di cui abbiamo già parlato nel terzo capitolo). Si tratta di un corto conduttore in lega, a basso punto di fusione, tipicamente

alloggiato in un apposito contenitore ceramico. Non appena il calore dissipato per effetto Joule supera quello di fusione, il conduttore fonde ed il passaggio della corrente si interrompe. Si intuisce, allora, che, proprio per le loro caratteristiche, i fusibili non possono discriminare tra un sovraccarico ed un cortocircuito: il tempo di intervento dipende, essenzialmente, dal raggiungimento del regime termico che ne condiziona la funzione e risulta tanto più piccolo, quanto più elevato risulta il valore della corrente che attraversa il fusibile.

Esaminiamo la definizione data partendo dalla norma CEI 32 - 1.

2.1.1. Fusibile

Dispositivo che, mediante la fusione di uno o più elementi fusibili a tal fine progettati e proporzionati, apre il circuito nel quale è inserito, interrompendo la corrente quando essa supera un valore specificato per una durata sufficiente. Il fusibile comprende tutte le parti che costituiscono il dispositivo completo.

2.1.3. Cartuccia

Parte del fusibile, comprendente l'elemento fusibile o gli elementi fusibili, prevista per essere sostituita dopo che il fusibile ha operato.

2.1.5. Elemento fusibile

Parte della cartuccia prevista per fondere quando il fusibile opera. La cartuccia può comprendere più elementi fusibili in parallelo.

La Figura 5.2 riporta una caratteristica tempo-corrente, detta anche *caratteristica di intervento*, di un fusibile: da essa si può facilmente desumere quanto tempo occorre al dispositivo per agire in corrispondenza di un dato valore efficace di corrente. La corrente I_M rappresenta la minima corrente di fusione del dispositivo. In realtà, è possibile determinare le condizioni di intervento del fusibile solo entro una determinata banda di incertezza, legata a molti fattori, tra cui piccole differenze costruttive: per questo motivo abbiamo disegnato non una linea sottile, ma una curva bandata. In tal modo possiamo dividere questo piano in due zone: la zona F è quella di sicura fusione; l'altra zona S rappresenta tutte quelle condizioni di funzionamento per le quali l'intervento della protezione non è necessario.

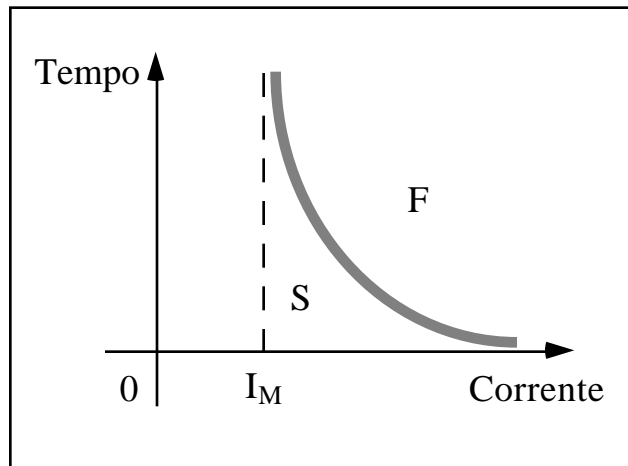


Figura 5.2: caratteristica tempo-corrente di un fusibile.

Spesso vengono richiesti tempi di intervento particolarmente rapidi, per esempio quando si voglia proteggere strumenti di misura o delicate apparecchiature elettroniche: in tal caso si può ricorrere a fusibili di tipo rapido oppure ultrarapido, etichettati, rispettivamente, sull'involucro con le sigle 'F' o 'FF', che, in buona sostanza, sono costituiti da un corto conduttore caricato con una molla già tesa che, forzando la rottura prima che si raggiunga la temperatura di fusione, realizza il richiesto aumento di rapidità (Figura 5.3).

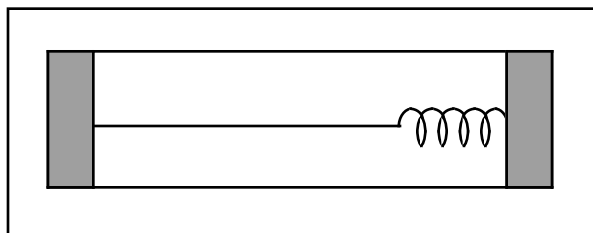


Figura 5.3: fusibile con molla pre-tesa.

In Figura 5.4a abbiamo riportato il simbolo circuitale usato per i fusibili, mentre in Figura 5.4b è, invece, riportata l'indicazione (tratto spesso) dell'estremo che resta in tensione dopo l'intervento.

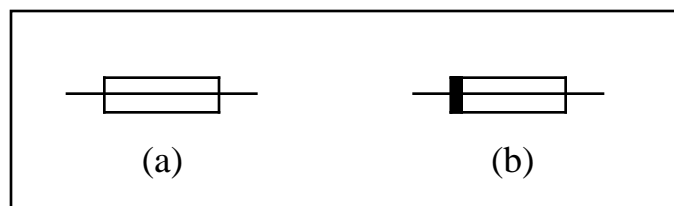


Figura 5.4: simboli circuitali usati per i fusibili.

Quali sono i 'dati di targa' di un fusibile?

Quando sarete chiamati a scegliere un fusibile, usate come riferimento i seguenti parametri:

- » la **corrente nominale**, detta anche portata, che rappresenta la massima corrente che può percorrere il fusibile senza fonderlo;
- » la **forma d'onda della corrente**, avendo presente che il regime stazionario rappresenta la condizione certamente più gravosa;
- » il **potere nominale di interruzione**, definito come per gli interruttori;
- » la **tensione nominale**, riferita alle prestazioni del fusibile, che deve essere non inferiore a quella di esercizio normale della linea da proteggere.

Il corpo di un fusibile è in vetro per i fusibili di piccola portata (da frazioni di milliampere a qualche ampere), consentendo un controllo visivo immediato dello stato del conduttore interno; per gli altri di portata maggiore (alcune decine di ampere), dotati di una spia di segnalazione di intervento, il corpo è in ceramica. L'elemento fusibile è sistemato al centro del contenitore ed i dati caratteristici, che riguardano la massima corrente e la tensione nominale, sono incisi sul corpo o sui cappellotti metallici di testata.

Quali le principali cause che determinano l'intervento di questi dispositivi?

Sono sostanzialmente tre: sovraccarico del circuito, invecchiamento, cavo danneggiato o guasto di un'apparecchiatura. Esaminiamoli in qualche dettaglio.

A) Sovraccarico del circuito

Collegando più apparecchiature, la cui portata complessiva supera quella del circuito stesso, cosa che si verifica di frequente quando si ricorre a una spina multipla per collegare diversi apparecchi a un'unica spina, si determina un sovraccarico che produce la fusione del conduttore del fusibile. In tal caso bisogna ridurre il carico del circuito e sostituire il fusibile.

B) Invecchiamento

Il filo metallico che costituisce il vero elemento di sicurezza del fusibile finisce, con il tempo, per corrodersi e rompersi senza una causa apparente. In tal caso è necessario sostituire il fusibile.

C) Cavo danneggiato o guasto di un'apparecchiatura

In questi casi, il fusibile spesso brucia producendo una sorta di scoppio. Pertanto, prima di sostituirlo, è necessario localizzare e riparare il guasto del cavo o dell'apparecchio.

Come si sostituisce un fusibile?

Le cartucce fusibili sono, tipicamente, avvitate in apposite scatole mediante portacartucce in ceramica. Negli impianti più vecchi si possono trovare direttamente nel quadro di distribuzione. Sulla estremità visibile recano un dischetto

di colore diverso a seconda della portata del fusibile, come riassunto nella tabella che segue.

Colore	Portata (A)
verde	6
rosso	10
grigio	16
blu	20
giallo	25
nero	32

La fusione di questo dischetto consente di riconoscere il fusibile bruciato.

Prima di sostituire un fusibile, è buona norma aprire sempre l'interruttore generale. Poi svitare il tappo a vite, controllando se il dischetto è fuso o meno. In caso affermativo, sostituire la cartuccia danneggiata con una della stessa portata. Dato che la cartuccia va in tensione non appena viene in contatto con la rete di alimentazione, per evitare scosse, ricordatevi che essa non va inserita direttamente nell'alloggiamento, ma che è necessario servirsi dell'apposito tappo a vite. In alcuni impianti con dispositivo di sicurezza a fusibili, il portacartucce può essere del tipo a pinze, meno comune di quello a tappo descritto. In tal caso, per sostituire la cartuccia bruciata, è sufficiente aprire le pinze e toglierla.

In realtà, la norma CEI 64 -8 non prevede l'apertura dell'interruttore, sostenendo quanto segue:

6.6.04. Criteri per la scelta e la installazione dei fusibili

I fusibili che per l'esercizio ordinario sono affidati a persone non addestrate devono essere scelti od installati in modo tale che il ricambio delle cartucce possa effettuarsi sotto tensione senza pericolo. I fusibili con portacartuccia a vite devono essere installati in modo tale che il contatto centrale risulti collegato al lato alimentazione. I fusibili-sezionatori devono essere installati in modo tale che a circuito aperto le cartucce si trovino fuori tensione.

La Figura 5.5 mostra una forma piuttosto diffusa di coordinamento di protezione con un fusibile: quando si preveda la possibilità che la corrente di cortocircuito possa superare il potere di interruzione nominale dell'interruttore automatico I, è opportuno inserire a monte di questo il fusibile F. La piccola scarica indica simbolicamente la sezione nella quale si è verificato il guasto.

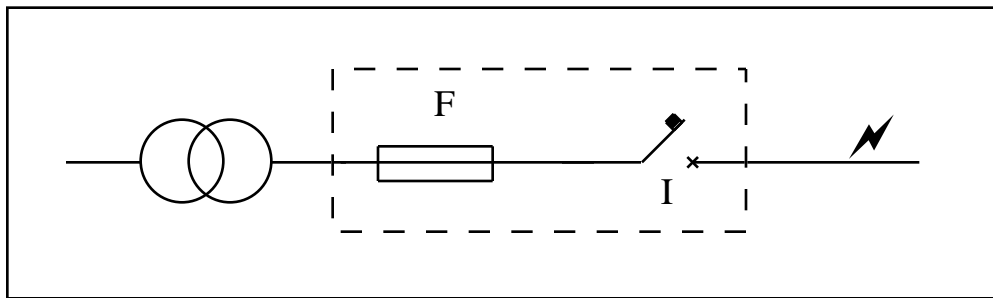


Figura 5.5: coordinamento di protezione con un fusibile.

Un suggerimento pratico prima di terminare questo paragrafo: in previsione di un caso d'emergenza, è opportuno tenere, accanto alla scatola portafusibili oppure al quadro di distribuzione, una torcia elettrica, un cacciavite con il manico isolante ed una scorta di fusibili di diversa portata.

5.2 Relè

A differenza del fusibile, un relè (adattamento dalla voce francese 'relais') è un dispositivo capace di agire su un interruttore e, per questo, è conosciuto anche come sganciatore. In senso lato, con il termine relè intenderemo un dispositivo capace di instaurare determinate connessioni in un circuito elettrico quando si verifichi una prestabilita condizione in un altro. Si tratta, dunque, di un'ampia classe di dispositivi concepiti per pilotarne altri di comando o di segnalazione, in funzione di una o più grandezze caratteristiche dei circuiti. In relazione alla grandezza alla quale sono 'sensibili' possiamo avere relè voltmetrici, amperometrici, wattmetrici, termici e così via. Si badi bene che, in alcuni campi tecnologici, il termine relè viene usato in un'accezione un po' diversa; si pensi, ad esempio, al relè hertziano che è una stazione amplificatrice intermedia di un ponte-radio che riceve il fascio in una direzione e ne irradia un altro in una direzione diversa.

I relè si possono classificare in vari modi. Una prima maniera di procedere è distinguerli in base al **valore della grandezza agente**, secondo le seguenti quattro classi:

- » il relè **di massima** interviene quando il valore della grandezza agente supera un prefissato valore di taratura;
- » il relè **di minima** interviene quando il valore della grandezza agente è più piccolo di un determinato valore di taratura;
- » il relè **differenziale** agisce sulla base del valore che assume la differenza tra due grandezze omogenee e, generalmente, è di massima, intervenendo se questa differenza supera il valore di taratura;
- » il relè **direzionale** è sensibile al segno della grandezza agente.

Esiste anche un differente schema di classificazione basato sul **tipo di azione svolta**:

- » il relè **ad azione diretta** è caratterizzato dal fatto che un organo mobile agisce direttamente sul dispositivo comandato;
- » il relè **ad azione indiretta** interviene sul dispositivo comandato non direttamente, ma mediante un altro meccanismo;
- » il relè **con blocco**, detto anche a riarmo manuale, è utile ad evitare il ripristino quando il guasto è ancora in atto, dato che, dopo l'intervento, occorre una azione esterna per ripristinare la posizione;
- » il relè **senza blocco** è caratterizzato da uno sganciatore che riassume automaticamente la posizione di riposo;
- » il relè **di blocco** determina l'esclusione dell'impianto protetto;
- » il relè **di segnalazione** serve a segnalare un'anomalia di funzionamento che, se pericolosa, prevede una successiva fase di esclusione.

Chiameremo **caratteristica di intervento** la relazione che lega il tempo di intervento alla grandezza agente, tipicamente una corrente. Il tempo di intervento va inteso come l'intervallo temporale che intercorre tra l'istante in cui si verifica l'anomalia capace di produrre l'intervento del relè e quello in cui l'intervento effettivamente avviene. Questa caratteristica viene data, di norma, in scala logaritmica e può essere di due tipi: indipendente dal tempo, come la curva (a) di Figura 5.6, quando il tempo di intervento non dipende dal valore assunto dalla grandezza agente, oppure dipendente dal tempo, come la curva (b).

Un **relè a scatto istantaneo** è caratterizzato da un tempo di intervento che dipende dalla sola inerzia delle varie parti che costituiscono il meccanismo. Invece, un **relè a scatto ritardato** è caratterizzato da un tempo di intervento che può essere variato, entro certi limiti, da un opportuno dispositivo.

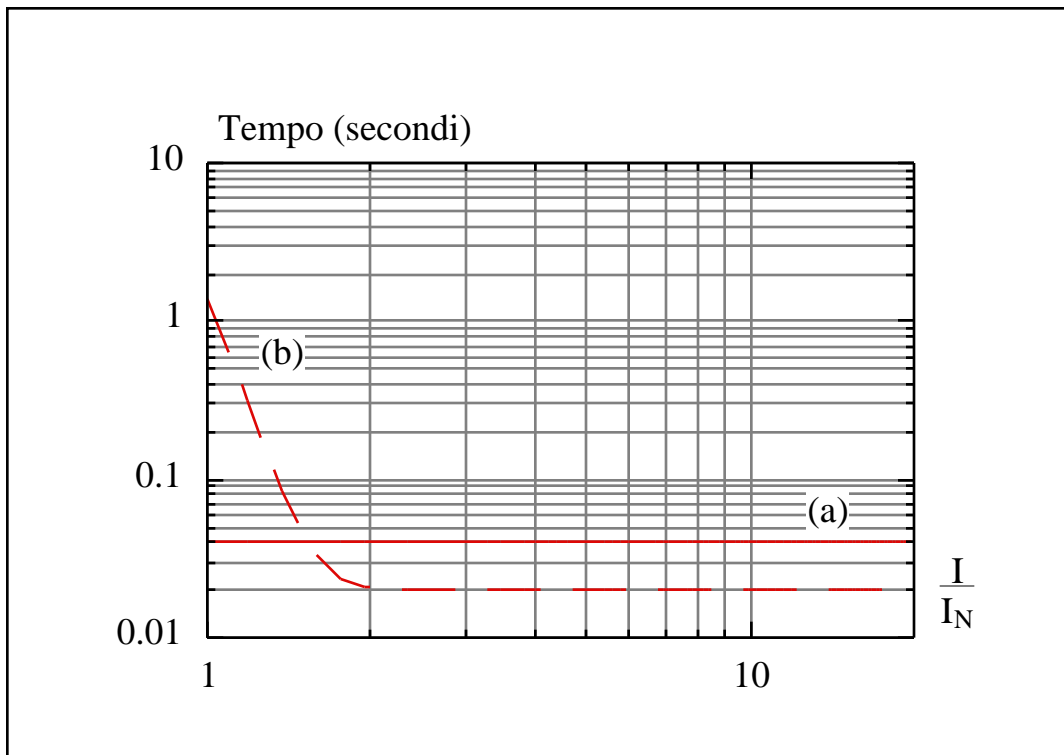


Figura 5.6: relè a tempo (a) indipendente e (b) dipendente.

Si passano, adesso, in rapida rassegna i diversi tipi di relè, classificati questa volta in base al loro principio di funzionamento di base.

• **Relè elettromagnetico**

Un relè elettromagnetico, schematicamente rappresentato in Figura 5.7, è un dispositivo costituito da un elettromagnete fisso (E) e da un nucleo magnetico mobile (NM), detto anche *ancoretta magnetica*.

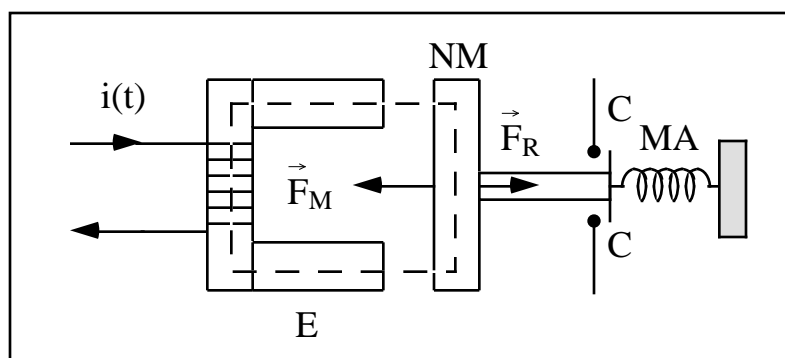


Figura 5.7: rappresentazione schematica di un relè elettromagnetico.

Per effetto della corrente $i(t)$ il campo magnetico creato dall'elettromagnete può vincere la resistenza della molla antagonista (MA) e realizzare il collegamento elettrico per mezzo dei contatti (C). In particolare, se la forza magnetica di attrazione risulta superiore a quella di tipo resistente elastica dovuta alla molla, trascurando gli attriti comunque presenti, il nucleo mobile viene attirato

dall'elettromagnete; in caso contrario, esso non si muove. La Figura 5.8 illustra la caratteristica (ideale) di intervento di questo tipo di relè: se la corrente non supera la corrente di soglia I_S , il relè non interviene, mentre per correnti superiori alla soglia il tempo di intervento è praticamente costante, dipendendo solo dall'inerzia delle parti meccaniche in movimento. Dato che la forza dipende dal quadrato della corrente, questo tipo di relè può operare sia in corrente continua che in corrente alternata.

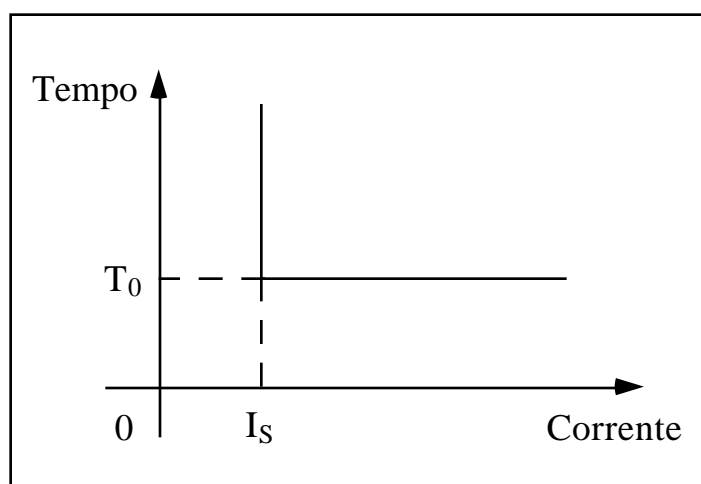


Figura 5.8: caratteristica di intervento di un relè elettromagnetico.

• Relè termico

Osservando lo schema di Figura 5.9, si nota che la lamina L è costituita da due metalli, dotati di diverso coefficiente di dilatazione termica.

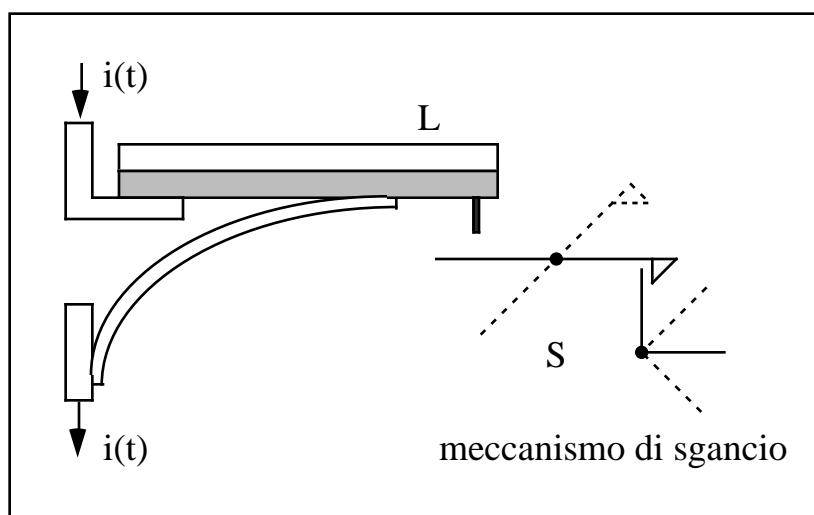


Figura 5.9: schema di principio di un relè termico.

Il passaggio della corrente di comando $i(t)$, riscaldando i due metalli, provoca un incurvamento della lamina che aziona il meccanismo di sgancio S . Si tratta, dunque, di un dispositivo di sgancio sensibile alla temperatura e, per il ripristino manuale

del meccanismo di sgancio, occorre che la lamina bimetallica sia sufficientemente raffreddata. Tempi e soglie di intervento dipendono dal regime termico esistente: una stessa variazione di corrente può provocare o meno lo sgancio del relè a seconda che la lamina sia già calda o parta, invece, da una temperatura relativamente bassa. Una tipica caratteristica di intervento è mostrata in Figura 5.10.

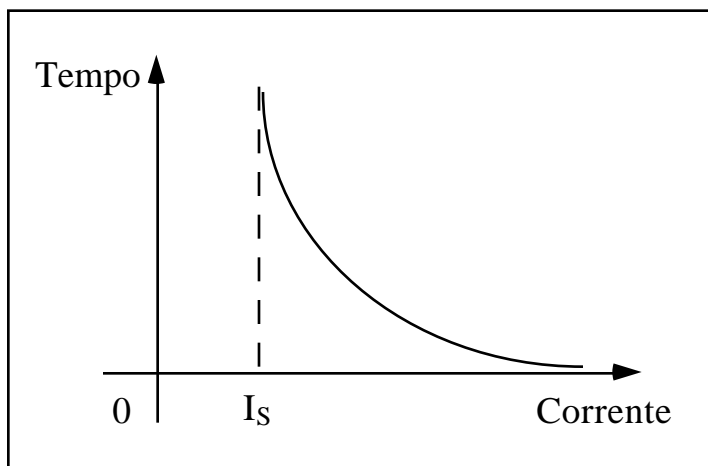


Figura 5.10: caratteristica di intervento di un relè termico.

Questo tipo di dispositivo trova la sua maggiore applicazione nei casi in cui sia prevedibile una sovracorrente piuttosto intensa e di breve durata, come avviene, ad esempio, all'avviamento di un motore asincrono: d'altra parte l'inerzia termica di questo relè serve a prevenire aperture intempestive del circuito di alimentazione, ma assicura comunque la desiderata protezione nel caso di sovracorrente protratta nel tempo.

Prima di concludere, vale la pena completare quanto detto con le definizioni più precise di sganciatore date dalla pubblicazione IEC 157 - 1, recepite dalla norma CEI 17 - 5.

2.3.7. Sganciatore

Dispositivo meccanicamente connesso con l'interruttore, che libera gli organi di ritegno e permette l'apertura (o la chiusura) dell'interruttore.

2.3.8. Sganciatore istantaneo

Sganciatore che interviene senza ritardo intenzionale.

2.3.10. Sganciatore di massima corrente

Sganciatore che provoca l'apertura dell'interruttore, con ritardo o senza, quando la corrente nello sganciatore supera un valore determinato.

2.3.11. Sganciatore di massima corrente a tempo indipendente

Sganciatore che agisce con un ritardo definito, che può essere regolabile ma è indipendente dal valore della corrente che ne provoca l'intervento.

2.3.12. Sganciatore di massima corrente a tempo inverso

Sganciatore che agisce con un ritardo inversamente dipendente dal valore della corrente che ne provoca l'intervento.

2.3.16. Sganciatore termico per sovraccarico

Sganciatore a tempo inverso la cui azione (compreso il ritardo) è determinata dall'effetto termico della corrente che percorre lo sganciatore stesso.

2.3.19. Sganciatore di minima tensione

Sganciatore di tensione che provoca l'apertura (o la chiusura) dell'interruttore, con o senza ritardo, quando la tensione ai terminali dello sganciatore scenda al di sotto di un valore prestabilito.

• Relè magnetotermico

Come lo stesso nome suggerisce in maniera inequivocabile, questo tipo di relè discende dalla combinazione di un relè termico con un relè elettromagnetico e, in quanto tale, sfrutta le caratteristiche di entrambi per realizzare una più efficace protezione.

Dall'esame della caratteristica di intervento, mostrata in Figura 5.11, si desume che per correnti non troppo elevate è previsto l'intervento del relè termico, che garantisce tempi di intervento inversamente proporzionali al quadrato del valore efficace della sovracorrente, mentre per correnti superiori ad un valore di soglia I_M interviene quello elettromagnetico, che agisce in tempi rapidissimi per le correnti di cortocircuito.

L'ampia variabilità dei parametri di proporzionamento rende questo tipo di protezione estremamente adattabile; la possibilità di regolare la soglia I_M dello sganciatore magnetico (operazione che andrebbe fatta sempre da personale qualificato) aumenta, poi, la flessibilità d'uso.

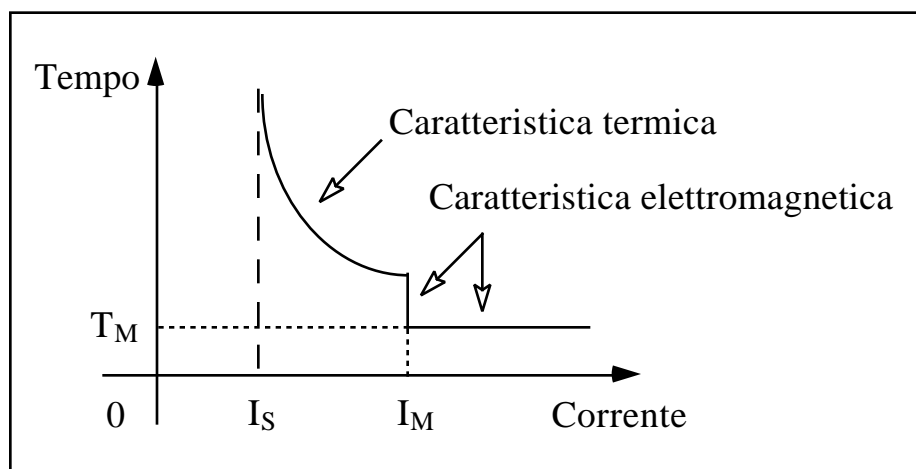


Figura 5.11: caratteristica di intervento di un relè magnetotermico.

• Relè differenziale

Lo schema di principio di questo dispositivo nella versione monofase è schematizzato nella regione tratteggiata di Figura 5.12. Attorno ad un nucleo di materiale ferromagnetico vengono avvolti in senso contrario due avvolgimenti aventi lo stesso numero N_1 di spire. Nel caso che non sia presente alcuna corrente di dispersione nell'impedenza di carico Z , questi due avvolgimenti sono percorsi dalla stessa corrente e non inducono alcun flusso magnetico nel nucleo ferromagnetico.

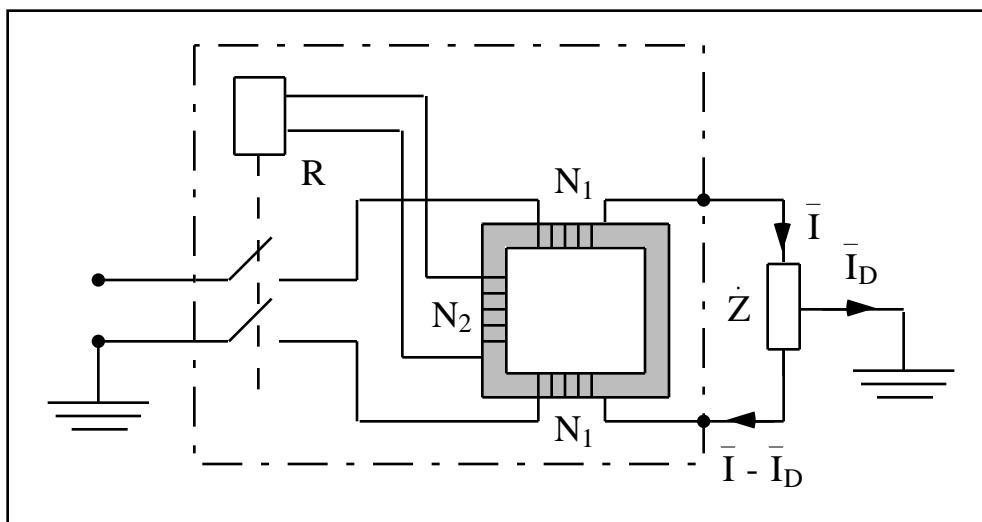


Figura 5.12: schema di principio di un relè differenziale.

Non appena si manifesta una qualche corrente dispersa nell'impedenza, si genera nel materiale ferromagnetico un flusso non nullo che, se sufficientemente elevato, può indurre nell'avvolgimento di N_2 spire una tensione sufficiente ad azionare il relè R, capace di provocare l'apertura degli interruttori ed il distacco dell'alimentazione. Dalle modalità descritte di funzionamento discende immediatamente che questa protezione risulta utilizzabile *soltanto* in regime sinusoidale.

La caratteristica ideale di intervento, mostrata in Figura 5.13, è molto simile a quella del relè elettromagnetico, con la differenza che la corrente di intervento può assumere, in questo caso, valori molto piccoli. Ciò comporta che questo dispositivo risulta molto sensibile.

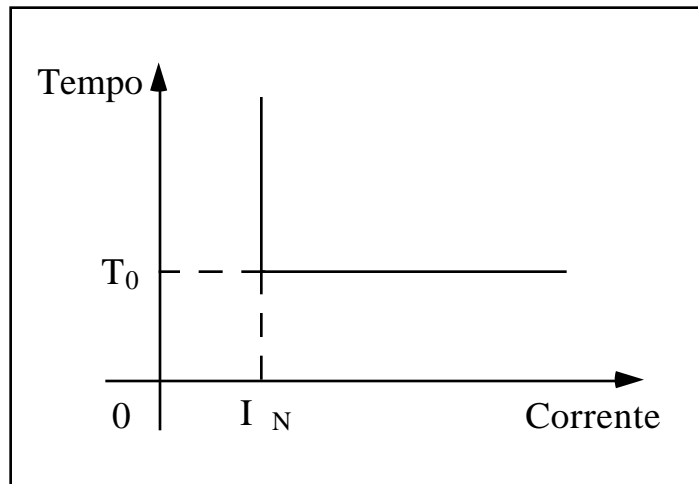


Figura 5.13: caratteristica di intervento di un relè differenziale.

La versione con corrente nominale $I_N = 0.3 \text{ A}$ viene con successo impiegata per la protezione dei motori oppure altre apparecchiature contro i cosiddetti guasti a terra, di cui si dirà ampiamente nel prossimo capitolo, interamente dedicato alla Sicurezza Elettrica. Una maggiore sensibilità, $I_N = 0.03 \text{ A}$, lo rende particolarmente idoneo a costituire l'unica forma di protezione attiva per la sicurezza personale contro i rischi della folgorazione e, per questa sua particolarità, è conosciuto anche come *salvavita*.

• Relè amperometrico

Il relè elettromagnetico realizza, per come è concepito, la funzione di relè amperometrico dato che la forza di attrazione dipende dalla corrente di eccitazione. Nella Figura 5.14 esso svolge il ruolo di **relè a massima corrente**: non appena la corrente $i(t)$ supera un certo valore di soglia, il relè R apre il circuito di alimentazione, scollegando il dispositivo D . Il resistore R_0 limita solo la corrente di eccitazione del relè.

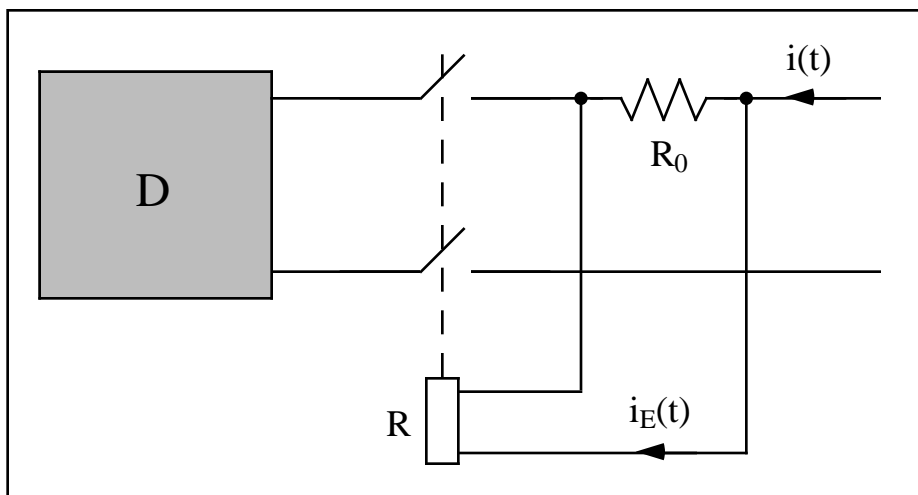


Figura 5.14: relè a massima corrente.

La differenza di potenziale che si stabilisce ai capi del relè rappresenta un problema molto simile all'autoconsumo degli amperometri.

In maniera duale, un relè **a minima corrente** opera non appena la corrente di eccitazione scende al di sotto di una prefissata soglia.

• Relè voltmetrico

La Figura 5.15 suggerisce come un relè elettromagnetico possa essere con successo usato come dispositivo di protezione **a massima tensione**.

Quando la tensione $v(t)$ tra i due conduttori supera un certo valore di soglia, la corrente che circola attraverso il relè, opportunamente limitata dal resistore R_0 , provoca l'apertura dei contatti con conseguente disinserimento dell'alimentazione.

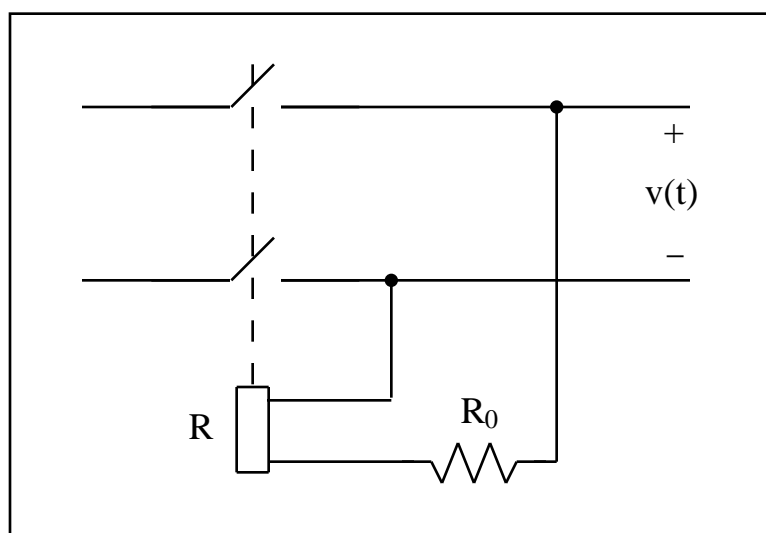


Figura 5.15: relè a massima tensione.

In maniera duale, un relè **a minima tensione** scatta non appena la tensione di lavoro scende al di sotto di una prefissata soglia.

• Relè statici

Si tratta di dispositivi elettronici, economici ed affidabili, con caratteristiche simili a quelle dei relè già esaminati. I segnali rilevati da opportuni sensori vengono elaborati per via elettronica e l'interruttore meccanico viene, in taluni casi, sostituito con un interruttore a semiconduttore la cui apertura e chiusura può essere comandata proprio da questi segnali elettronici elaborati.

Questo tipo di protezione sugli interruttori di bassa tensione ha avuto diffusione piuttosto lenta a causa dell'elevato costo rispetto a quello tradizionale. Solo da una decina di anni, i costruttori si sono mostrati sensibili al problema, dato il grande sviluppo dell'Elettronica Digitale (microprocessori) che ha portato alla riduzione dei costi dei componenti elettronici.

5.3 Selettività delle protezioni

L'intervento di un interruttore o di un fusibile comporta l'esclusione di tutte le utenze a valle. Pertanto, per mettere fuori servizio il minor numero possibile di linee, i diversi dispositivi di intervento devono essere opportunamente coordinati fra loro. A tal riguardo la norma CEI 32 - 1 definisce la 'selettività in caso di sovracorrente' come il coordinamento delle caratteristiche di due o più dispositivi di protezione contro sovracorrente tale che, in caso di sovracorrenti entro limiti stabiliti, il dispositivo inteso per operare entro questi limiti sia l'unico ad intervenire.

Consideriamo, ad esempio, la sezione di impianto mostrata in Figura 5.16: da una linea principale 1 si dipartono le linee 2, 3 e 4.

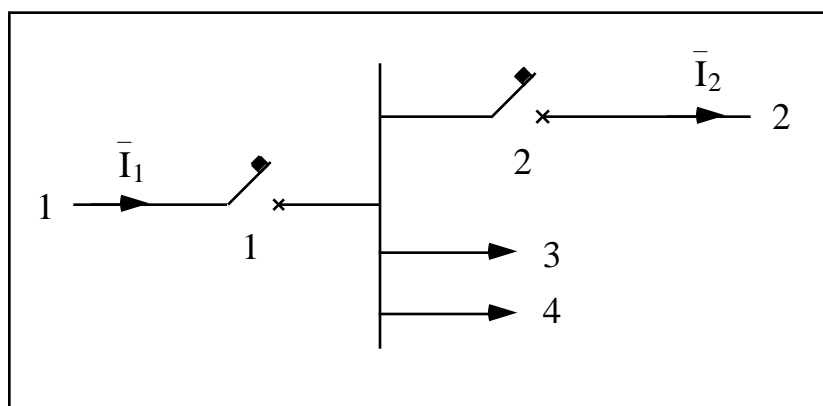


Figura 5.16: esempio di protezione selettiva.

La protezione viene detta selettiva quando un guasto sulla linea 2 determina solo l'intervento dell'interruttore 2 e, con evidente vantaggio per la continuità di servizio, la rimanente parte dell'impianto continua ad essere alimentata. Ciò si può realizzare se le caratteristiche di intervento dei due interruttori, supposti di tipo magnetotermico, sono come quelle mostrate in Figura 5.17, che riporta su un solo grafico le caratteristiche di intervento dei due interruttori diversi. Per una corrente di guasto inferiore ad I_{N1} , ma superiori ad I_{N2} , il solo interruttore 2 interviene; nel caso in cui la corrente di guasto è più grande di I_{N1} , intervengono entrambi gli interruttori.

Particolare cura deve essere posta dal progettista dell'impianto anche nella scelta delle diverse correnti di soglia: se anche nelle linee derivate circolasse una corrente leggermente inferiore a quella di soglia, per cui i diversi interruttori non intervengono, l'interruttore della linea primaria, attraversata da una corrente pari alla somma delle correnti circolanti nelle diverse linee, non deve intervenire.

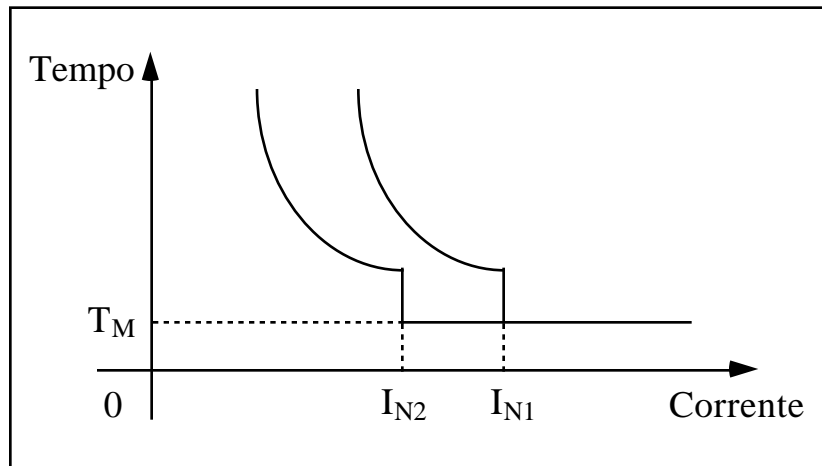


Figura 5.17: caratteristiche di interventi degli interruttori 1 e 2.

5.4 Protezione delle apparecchiature

La protezione contro le sovracorrenti, in special modo quelle dovute a cortocircuiti, è affidata, per quanto detto nei paragrafi precedenti, agli interruttori automatici ed ai fusibili. Quando abbiamo studiato gli impianti in Media Tensione, abbiamo avuto modo di sottolineare che, per un'efficace protezione attiva contro le sovratensioni, bisognava usare gli scaricatori. Questi dispositivi, tuttavia, non possono da soli garantire l'integrità delle apparecchiature sia a causa dei 'fisiologici' ritardi di intervento, sia per i possibili mancati interventi. Pensate, ad esempio ad un salvavita costituito, come ben sappiamo, da una molla pre-caricata; ebbene, se nel momento del guasto la molla non scatta, il dispositivo perde tutta la sua efficacia (e per questo motivo andrebbero verificati frequentemente i salvavita delle nostre abitazioni). Quando i dispositivi di protezione attiva perdono la loro efficacia, dobbiamo affidarci alla protezione passiva che consiste nel sovradimensionamento dei componenti, capaci di sopportare, seppure per intervalli di tempo di durata limitata, correnti e tensioni superiori a quelle nominali. Ciò vuol dire che le apparecchiature elettriche devono funzionare senza danneggiarsi non solo in condizioni nominali in regime permanente, ma anche in condizioni che superino quelle nominali in via transitoria. Che le apparecchiature (oppure i loro prototipi) possano sopportare questo sovraccarico va testato per mezzo di alcune prove, sviluppate secondo modalità rigidamente controllate dalle norme (CEI 42). Si tratta delle prove di corrente e prove di tensione.

» Prove di corrente

Le prove di corrente sono sostanzialmente di due tipi diversi. Il primo tipo di prova viene eseguito mantenendo per parecchio tempo le condizioni nominali di esercizio allo scopo di controllare se le varie sovratensioni che si instaurano nelle diverse apparecchiature vengono ben tollerate o meno. Il secondo tipo riguarda correnti

molto più elevate di quelle nominali, trattenute per intervalli di piccola durata, e serve a controllare il grado di sopportazione delle apparecchiature degli sforzi elettrodinamici. La tipica prova che viene fatta sugli interruttori è la verifica del potere di interruzione e consiste in specifiche prove di apertura sotto carico.

» Prove di tensione

Le prove di tensione hanno lo scopo di verificare che i componenti elettrici siano in grado di sopportare le sovratensioni, sia lente che veloci. In genere, si eseguono la cosiddetta prova di tenuta in alternata, nella quale viene applicata per un minuto una tensione alla frequenza di 50 Hz, e la prova ad impulso, nella quale viene applicata una forma d'onda standard di tensione, che cresce fino al valore massimo V_{MAX} in un tempo di $1.2 \mu s$ e poi decresce fino a $0.5 V_{MAX}$ in $50 \mu s$. In entrambe le prove, le tensioni sono di valore notevolmente superiore a quelle nominali.

5.5 Cabine di distribuzione

La cabina elettrica è una vera e propria officina elettrica connessa talvolta ad un sistema di bassa tensione ed uno di media, talaltra a due sistemi in media tensione.

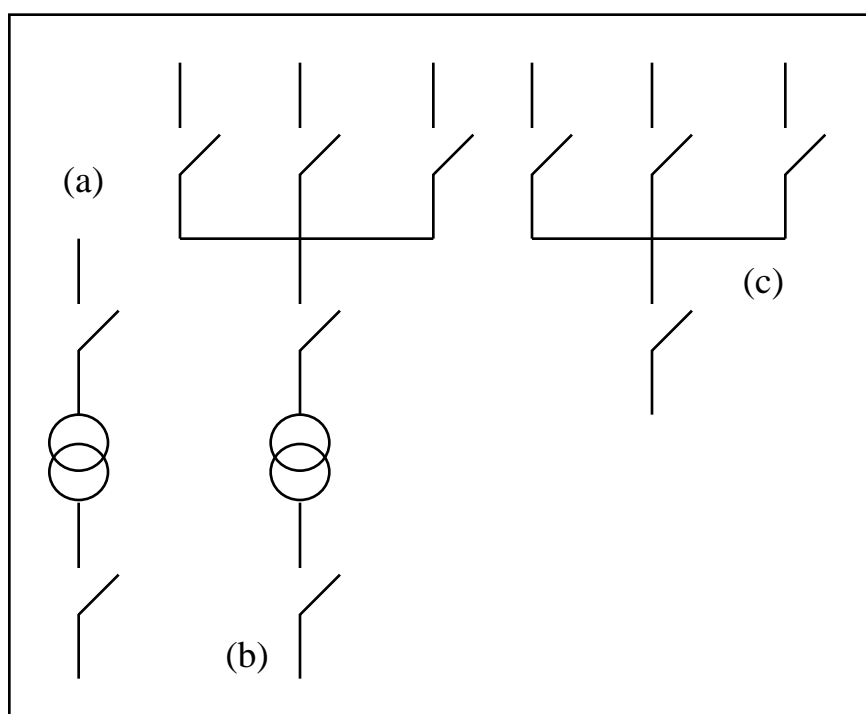


Figura 5.18: schemi fondamentali di cabine elettriche.

Essa può realizzare molteplici funzioni tra le quali la trasformazione, la conversione, la regolazione e lo smistamento dell'energia elettrica. Gli schemi di principio di una cabina di trasformazione (a), di una cabina di trasformazione e smistamento (b), di una cabina di smistamento (c) sono riportati in Figura 5.18.

Esaminiamo solo una cabina del tipo (a) di Figura 5.18, dato che gli altri due tipi, (b) e (c), presentano analoghi problemi.

» Quadro MT

Il primo blocco di una cabina di trasformazione è il quadro MT, mostrato in Figura 5.19.

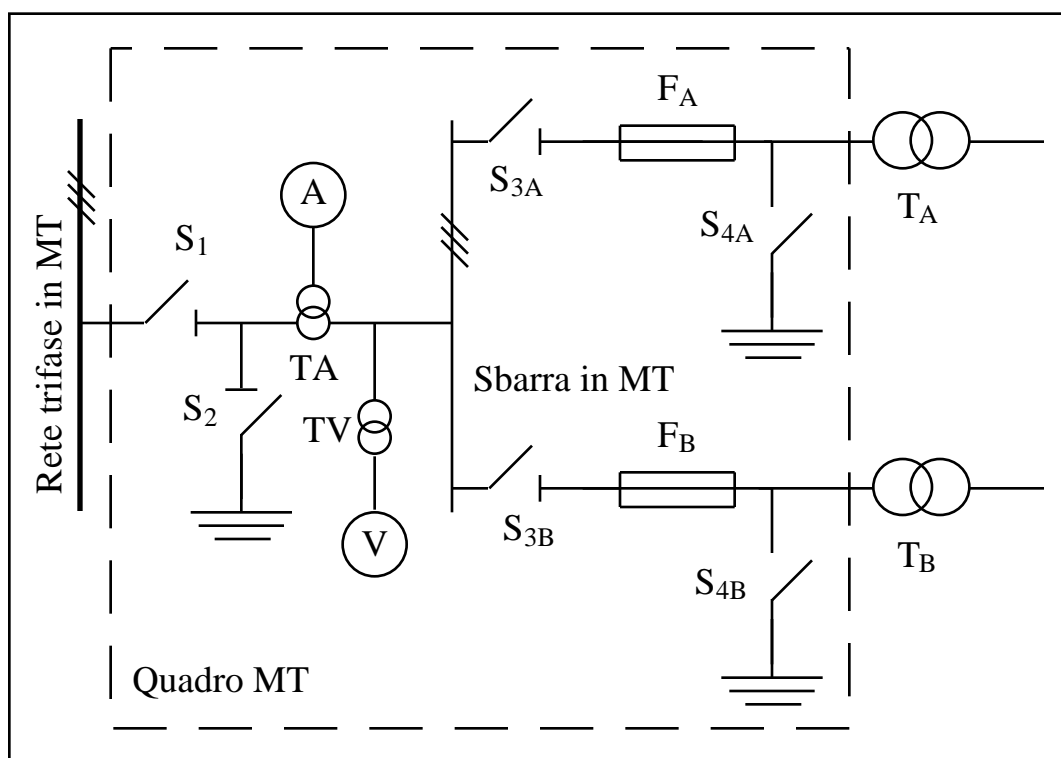


Figura 5.19: quadro MT di una cabina di trasformazione.

Partendo dalla linea in media tensione, incontriamo, innanzitutto, il sezionatore tripolare di linea S_1 e quello di terra S_2 : il primo consente l'apertura evidente del circuito a vuoto, in assenza di corrente, isolando l'intera cabina; il secondo mette a terra, in modo evidente, la cabina quando essa è isolata. È bene osservare che S_2 può chiudere solo se S_1 è aperto, oppure S_1 può chiudere solo se S_2 è aperto. Proprio a valle di S_2 sono inseriti due trasformatori di misura, un TA ed un TV, ai quali sono collegati un amperometro ed un voltmetro per misurare, rispettivamente, la corrente e la tensione. Sulle tre sbarre in MT vengono collegati i primari dei trasformatori attraverso sezionatori tripolari sotto carico, fusibili e sezionatori di terra. I sezionatori tripolari S_{3A} ed S_{3B} svolgono la funzione di collegare o di escludere i due trasformatori. Essi devono essere capaci di interrompere o stabilire la corrente a vuoto dei trasformatori che può essere parecchie volte più grande di quella nominale. I fusibili F_A e F_B servono da protezione contro i cortocircuiti. Infine, i sezionatori tripolari di terra S_{4A} e S_{4B} permettono la messa a terra per lavori delle linee a valle.

» Trasformatori

Il cuore della cabina sono i due trasformatori T_A e T_B : essi hanno i secondari in bt collegati a stella, con centro stella accessibile, in modo tale da poter alimentare sia carichi trifasi alla tensione concatenata, che carichi monofasi alla tensione stellata. Dovendo funzionare in parallelo, vanno scelti gemelli. Nel caso di installazione di trasformatori in un centro abitato è necessario adottare particolari accorgimenti, al fine di attenuare la propagazione del ronzio che si accompagna al funzionamento della macchina. La causa principale della rumorosità di un trasformatore è la 'magnetostrizione', che consiste nel cambiamento di forma e dimensione di un materiale ferromagnetico nella direzione del campo di induzione magnetica, qualora quest'ultima vari nel tempo. Dato che nei trasformatori il flusso legato all'induzione del campo magnetico è variabile a frequenza industriale, il nucleo vibra e può trasmettere le vibrazioni alla cassa esterna, agli appoggi ed alle strutture murarie eventualmente presenti. Questo ronzio, seppure a frequenza relativamente bassa, diventa insopportabile per la sua continuità, specialmente durante le ore notturne. La limitazione del rumore è di tale importanza che sono stati normalizzati (norme NEMA) il limite superiore di rumorosità ammessa, in relazione alla potenza del trasformatore, e le modalità da seguire nelle misure di rumorosità della macchina.

» Quadro bt

Il secondo blocco che costituisce una cabina di trasformazione è il quadro bt, schematizzato in Figura 5.20. Gli interruttori quadripolari automatici S_{5A} ed S_{5B} sono deputati alla protezione contro i sovraccarichi ed i cortocircuiti. Lungo la sbarra di bassa tensione è posto il sezionatore quadripolare di linea S_6 , tenuto chiuso quando funziona un solo trasformatore; quando i due trasformatori funzionano simultaneamente, esso viene tenuto aperto per limitare la corrente di guasto in caso di cortocircuito a valle dei trasformatori. Le linee quadripolari trifasi o bipolari monofasi alimentano i quadri elettrici di zona e sono protette da un interruttore automatico quadripolare o bipolare con relè magnetotermico o differenziale S_7 .

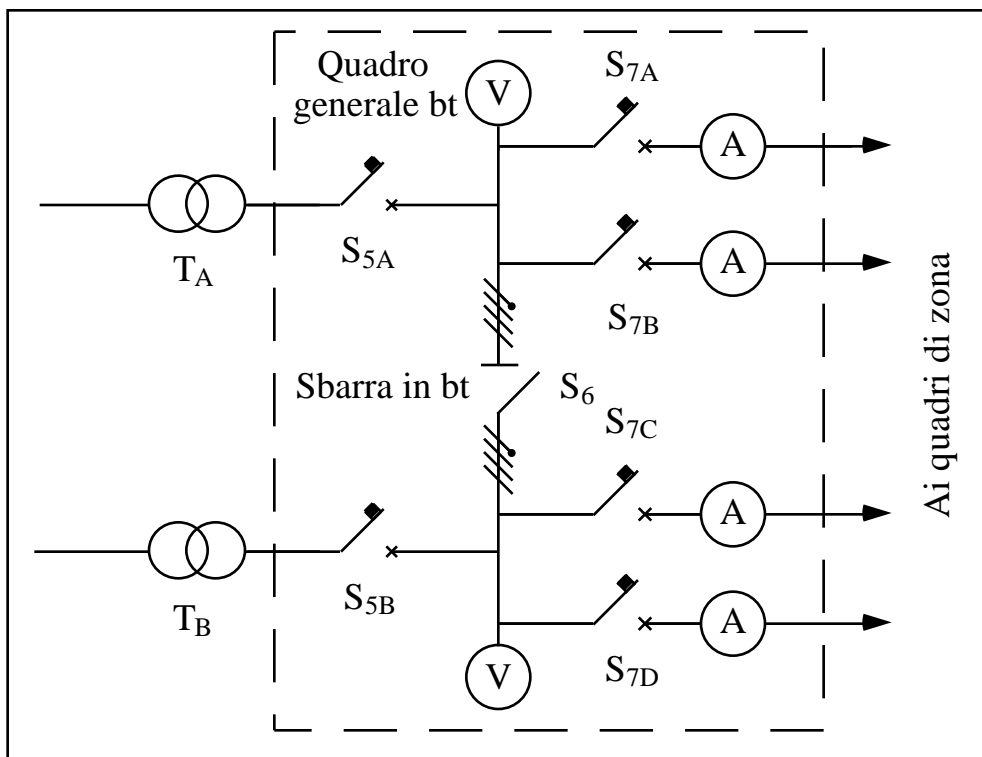


Figura 5.20: quadro bt di una cabina di trasformazione.

L'eliminazione del calore prodotto dalle perdite dei trasformatori con raffreddamento naturale, collocati in locali chiusi adibiti a cabine di trasformazione, richiede un ricambio di aria tale che la temperatura ambiente, e conseguentemente quella delle varie parti dei trasformatori, sia compatibile con quanto prescritto dalle Norme CEI. La ventilazione delle cabine, pertanto, è di grande importanza per la vita dei trasformatori che molto spesso sono soggetti a guasti per l'eccessiva temperatura raggiunta a causa di una insufficiente circolazione di aria. Una cabina di trasformazione possiede, inoltre, un proprio impianto di terra che svolge diverse funzioni. Il dispersore è spesso costituito da una rete metallica interrata sotto la cabina o da una anello interrato che la circonda. Tra l'impianto di terra e ciascuna fase di media tensione vengono spesso inseriti scaricatori per proteggere l'intero impianto da eventuali sovratensioni di manovra o da fulminazioni. A ciò bisogna aggiungere il fatto che una cabina deve essere dotata di un insieme di accessori ed accorgimenti, tesi a garantire l'incolumità del personale addetto. In una cabina devono, pertanto, essere presenti:

- un impianto di illuminazione ordinaria ed uno di emergenza con batteria in tampone;
- uno o più sistemi di estinzione del fuoco, in dipendenza delle dimensioni della cabina;
- lo schema elettrico completo della cabina;

- una serie di cartelli ammonitori, come, ad esempio, divieto di ingresso all'esterno ed indicazione del livello di tensione all'interno;
- un cartello in cui siano indicate le misure da adottare in caso di infortuni da elettrocuzione (la folgorazione elettrica);
- una pedana isolante in corrispondenza del quadro MT;
- un paio di guanti isolanti;
- un fioretto isolante, solo nel caso di montaggi a giorno.

Infine, le cabine sono da intendersi come 'ambienti a maggior rischio in caso di incendio'. È pertanto necessario prendere provvedimenti per evitare che possa determinarsi l'incendio e propagarsi una volta che si sia formato: i componenti vengono scelti ed installati in modo da non presentare pericolo di innesco o di propagazione di incendio per i materiali adiacenti. Tutti i cavi installati all'interno dei quadri devono essere rispondenti alla norma CEI 20 - 22.

Prima di concludere questo paragrafo è opportuno fare un cenno alle **cabine da palo**. Esse sono attrezzate con un trasformatore di potenza, in genere non superiore a 100 kVA, e vengono adoperate per l'alimentazione di reti rurali di bassa tensione, di impianti di cantieri edili stradali ed agricoli, di elettropompe. Possono far parte integrante di una linea MT oppure essere installate su una sua derivazione. Nel primo caso, il trasformatore è rigidamente collegato ai conduttori della linea in MT senza possibilità di sezionamento; nel secondo caso, il sezionamento si può effettuare in corrispondenza del sostegno immediatamente precedente quello su cui è installato il trasformatore. Anche se meno preferibile per ragioni di sicurezza, il sezionamento può anche realizzarsi sulla testa del palo di sostegno del trasformatore.

5.6 Quadri elettrici

Come avrete certamente intuito da quanto detto in precedenza, i quadri elettrici sono contenitori in cui arrivano e da cui partono le linee elettriche. In essi trovano posto vari dispositivi di protezione, di manovra e di misura (CEI 17 - 13). Ogni tratto di linea elettrica in partenza, in particolare, è protetto da un interruttore automatico multipolare per tutti i conduttori di fase ed eventualmente per il neutro. I **quadri in MT**, che tipicamente contengono interruttori automatici, fusibili, sezionatori, trasformatori di misura e strumentazione varia, differiscono da quelli in bt per il maggior peso e per le maggiori dimensioni dato che, al crescere della tensione, aumentano le distanze tra i diversi elementi in tensione e tra questi e la massa. Pensate che un interruttore tripolare in MT può pesare alcune centinaia di chilogrammi ed è montato su ruote per consentirne l'estrazione.

I **quadri in bt** contengono interruttori automatici, fusibili, sezionatori, strumenti di misura ed apparecchiature di manovra di vario tipo, come ad esempio i contattori. In particolare, i *quadri generali* vengono dimensionati per correnti nominali fino a 3 kA ed hanno una struttura meccanica in profilati di acciaio alla quale sono saldati i pannelli di chiusura delle lamiere; i *quadri di zona* sono dimensionati per correnti nominali fino a circa 700 A e sono costituiti da cassette normalizzate, in metallo oppure in resina termoindurente, nei quali sono alloggiati i vari componenti; i *quadretti locali e quadretti per abitazione*, dimensionati per correnti nominali fino a 60 A, hanno di solito struttura di contenimento in lamiera o resina termoindurente, nella quale sono montati i componenti modulari, raggruppati in settori e montati su barre unificate DIN (la sigla DIN, acronimo di Deutsche Industrie-Norm, indica norme nate in Germania e poi adottate anche in Italia; esse vengono largamente usate in diversi campi, persino nella fotografia, in mancanza di tabelle e norme italiane corrispondenti).

5.7 Tipologie degli impianti utilizzatori

Facendo riferimento alle norme CEI 11 - 1 e 64 - 8/2, per impianto elettrico utilizzatore, detto anche rete di distribuzione interna, intenderemo l'insieme dei circuiti di alimentazione, degli apparecchi utilizzatori e delle prese a spina, comprese le relative apparecchiature di manovra, sezionamento, interruzione e protezione, che stanno 'a valle' di un punto di fornitura.

• Grandi utenze industriali

Per grandi impianti industriali intendiamo impianti che richiedono una fornitura di potenza elettrica superiore a 200 kW. La fornitura avviene, in questi casi, direttamente in media tensione e la cabina viene posta, per quanto possibile, nel baricentro dei carichi; se sono richieste potenze più elevate, si possono utilizzare più cabine posizionate in base alle dimensioni dell'edificio ed alla dislocazione dei carichi. Quando si progetta questo tipo di impianti è bene tener presente due cose: la continuità del servizio e la flessibilità. La prima garantisce che gli apparecchi utilizzatori possano funzionare in maniera ininterrotta; la seconda consente di riconfigurare facilmente l'impianto ogni qual volta si presenta la necessità di cambiare qualche utilizzatore.

Una struttura che garantisce un'elevata continuità del servizio è quella ad **anello**: un esempio è mostrato in Figura 5.21. In questa figura tutte le apparecchiature di protezione e manovra sono state omesse, tranne i sezionatori tra i carichi che svolgono la funzione di isolare la parte di linea soggetta ad un guasto senza togliere l'alimentazione agli altri carichi. Anche l'intervento dei dispositivi di protezione deve essere selettivo in maniera tale da sezionare la sola parte di circuito oppure il

solo apparecchio interessato al guasto. La distribuzione generale avviene attraverso cunicoli e cavedi; nei vari reparti i cavi sono posati entro tubi a parete oppure entro canaline, con calate in corrispondenza delle diverse utenze.

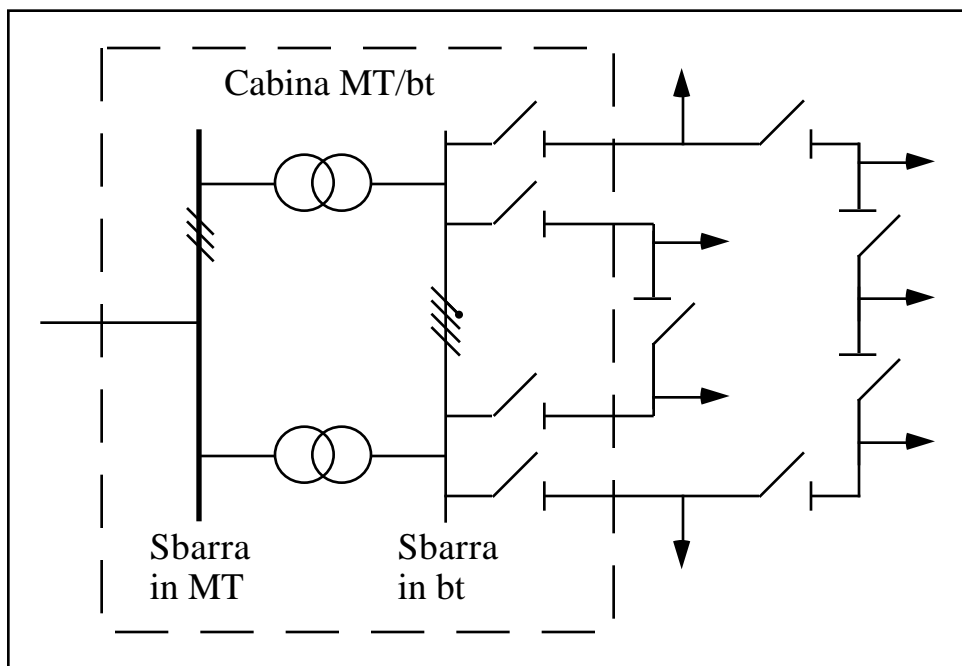


Figura 5.21: struttura ad anello di una grossa utenza industriale.

Un'altra soluzione che offre un'affidabilità ancora maggiore è rappresentata dalle **reti magliate**, come, ad esempio, quella di Figura 5.22, che verificano pure i requisiti di flessibilità.

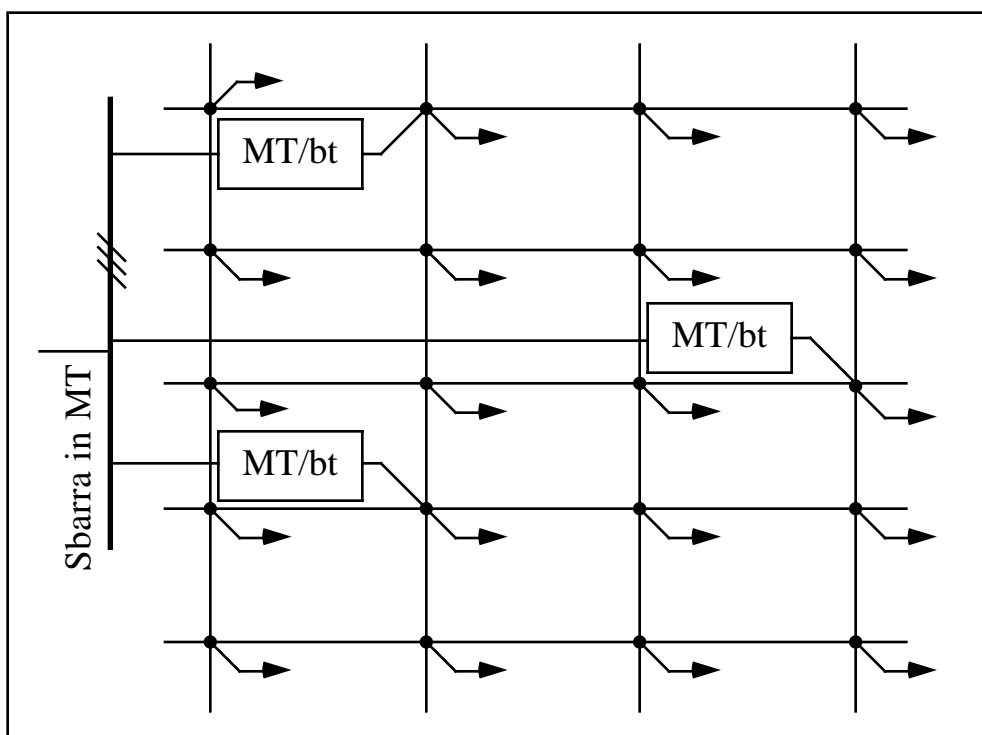


Figura 5.22: struttura magliata per una grossa utenza industriale.

In ciascun nodo della maglia sono inseriti sistemi di protezione e sezionamento non riportati nella figura. Nel ramo proveniente dalla cabine di trasformazione la protezione è sempre assicurata tramite un interruttore automatico.

Molto diffuso è anche l'uso di **blindosbarre**. Se in un reparto è previsto l'impiego di apparecchi di potenza non troppo elevata, utilizzati per la produzione in linea, risulta vantaggioso usare un sistema a sbarre blindate, mostrate in Figura 5.23, che hanno il vantaggio di avere un connettore speciale che comprende anche i fusibili di protezione.

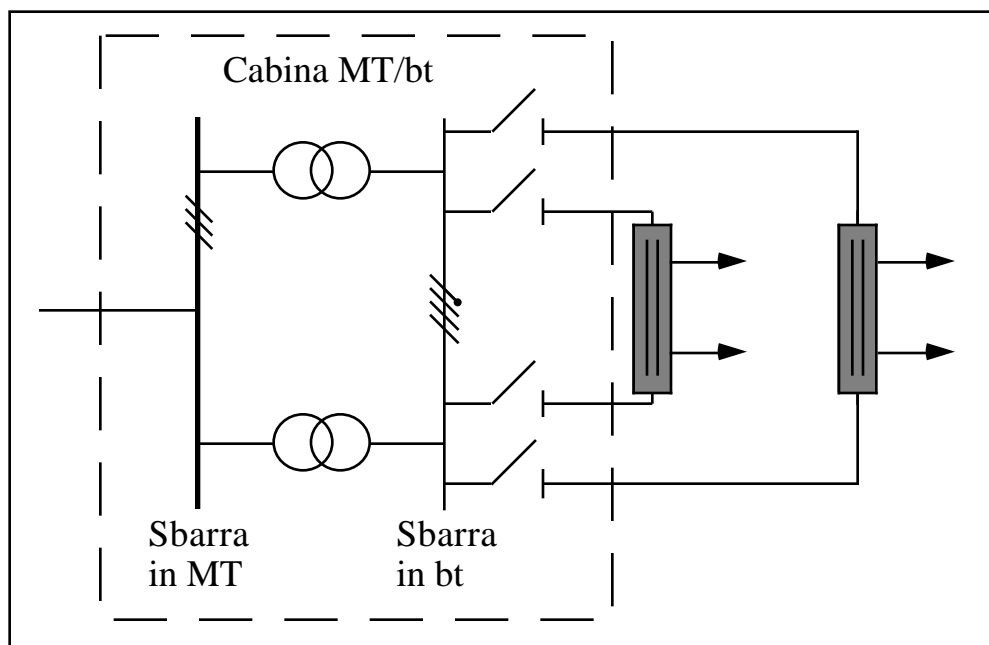


Figura 5.23: sistema con blindosbarre.

• Grandi utenze civili

Quando si progettano grandi utenze civili come scuole, ospedali, banche, università, grandi magazzini, che richiedano comunque una potenza inferiore ai 200 kW, dato il loro notevole sviluppo verticale e/o orizzontale, è opportuno porre un quadro 'Q' in ogni piano, alimentato direttamente dalle linee che partono dalla cabina elettrica. Le principali soluzioni adottate per distribuire l'energia elettrica in ogni piano vengono ora passate in rapida rassegna.

» Unica linea montante

Si tratta della soluzione, mostrata in Figura 5.24, più semplice che si preferisce adottare nel caso dobbiamo alimentare molte utenze di piccola potenza. Consiste in un'unica linea montante, detta anche semplicemente montante, dalla quale vengono derivati i diversi quadri.

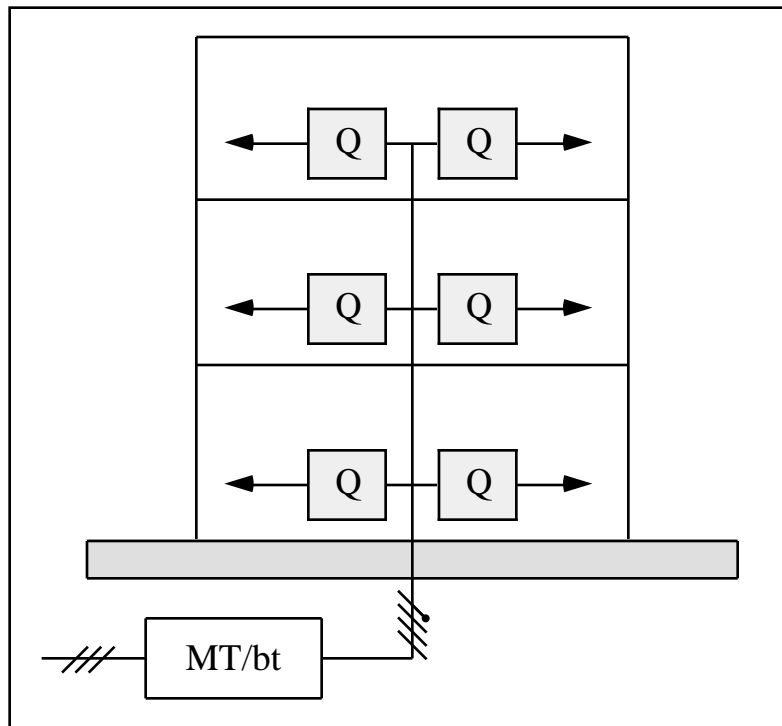


Figura 5.24: soluzione ad unica linea montante.

» Più linee montanti

Si tratta di una soluzione, schematizzata in Figura 5.25, analoga alla precedente che si adotta se i livelli di potenza sono più elevati. Offre anche una maggiore garanzia di continuità del servizio e di selettività delle protezioni.

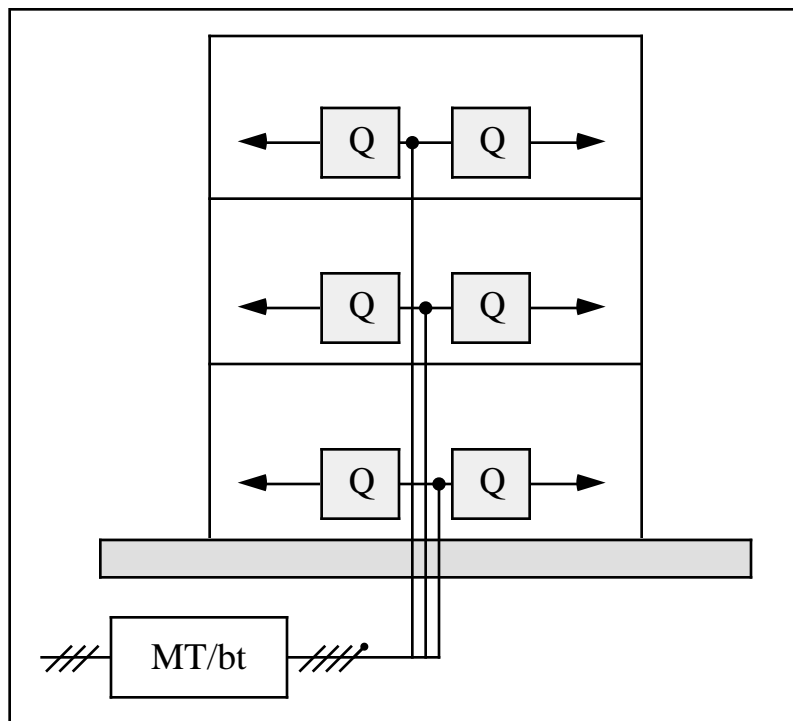


Figura 5.25: soluzione a più montanti.

» Anello sezionabile

Questa volta, come mostra la Figura 5.26, ci si trova di fronte ad una soluzione ad anello, sezionabile sia in cabina, sia in un punto superiore, non riportato nel disegno. Il vantaggio fondamentale è l'alimentazione con metà dell'anello in caso di guasto.

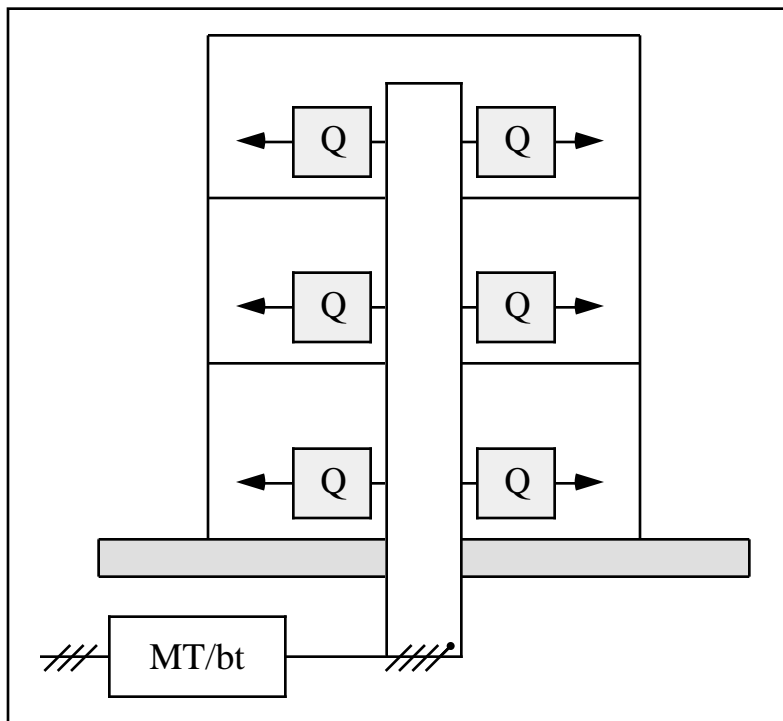


Figura 5.26: soluzione ad anello sezionabile.

» Doppia cabina

Se l'edificio presenta una notevole estensione verticale e carichi che richiedono elevata potenza anche in prossimità della sommità, si pensi ad impianti di condizionamento, ascensori e montacarichi, è abitudine usare una seconda cabina e quindi un montante in media tensione, mostrata in Figura 5.27. Se l'edificio piuttosto che in altezza si estende in larghezza, si adottano analoghe soluzioni che, solo per brevità, non discutiamo.

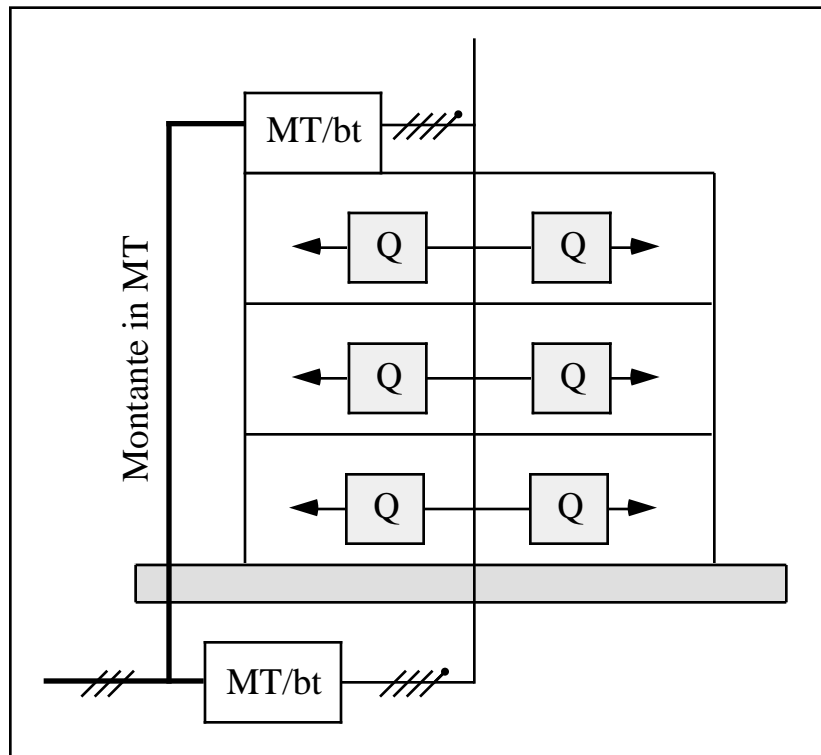


Figura 5.27: soluzione con doppia cabina.

Vale la pena di sottolineare che le linee che vanno dal quadro generale di bassa tensione verso i quadri di piano vengono d'abitudine alloggiati in cunicoli, preferibilmente praticabili, alle cui pareti sono fissate mensole o canaline dove sono posati i cavi elettrici. La salita ai piani avviene entro camini ispezionabili, detti *cavedi*, nei quali i cavi sono ancorati e distanziati, per consentire lo smaltimento del calore, per mezzo di opportuni morsetti.

Il quadro di piano alimenta gruppi di quadri locali che, a loro volta, servono diverse utenze. I cavi sono posati entro canaline metalliche o di materiale plastico, provviste di un coperchio asportabile e fissate lungo le pareti. Per motivi estetici vengono spesso nascoste dentro le controsoffittature, dove 'viaggiano' assieme ai condotti degli impianti termici. L'alternativa alle canaline sono i pavimenti flottanti, preferibili quando in prossimità dell'apparecchio utilizzatore si vogliono dislocare le prese di alimentazione. In sede di progetto, i volumi destinati a impianti di questo tipo non superano, di norma, il 20% della cubatura complessiva.

• **Piccole utenze**

Per le utenze che richiedono modeste potenze, la fornitura di energia elettrica viene effettuata direttamente in bassa tensione. Più precisamente, quando si tratta di laboratori artigianali, uffici, grandi negozi, l'alimentazione viene realizzata con un cavo quadripolare con tensione concatenata di 400 V; per utenze domestiche e piccoli negozi, invece, si adotta la fornitura monofase a 230 V con cavo bipolare,

derivato tra una fase ed il neutro, e le varie utenze vengono collegate in modo che il carico complessivo risulti, per quanto possibile, equilibrato sulle tre fasi.

» Complessi di piccole utenze

Nei centri commerciali e nei condomini, le singole utenze, come accennato, vengono alimentate per mezzo di un cavo bipolare contenente un conduttore di fase ed un neutro. Inoltre possono essere presenti utenze comuni sia monofasi, come luce per le scale, citofoni, campanelli, sia trifasi, come condizionamento, ascensori, scale mobili. Se la potenza assorbita da queste utenze comuni è elevata, la fornitura avviene in MT ed è presente, oltre alla cabina dell'ente erogatore, anche una cabina dell'utente che deve alimentare le singole piccole utenze. Inoltre, in un vano comune è abitudine installare un quadro centralizzato, come quello schematizzato in Figura 5.28, e tipicamente protetto da un armadio, nel quale l'ente erogatore provvede ad installare i diversi contatori, protetti da un interruttore automatico magnetotermico, non riportato nello schema, a valle del quale è posto il punto di fornitura.

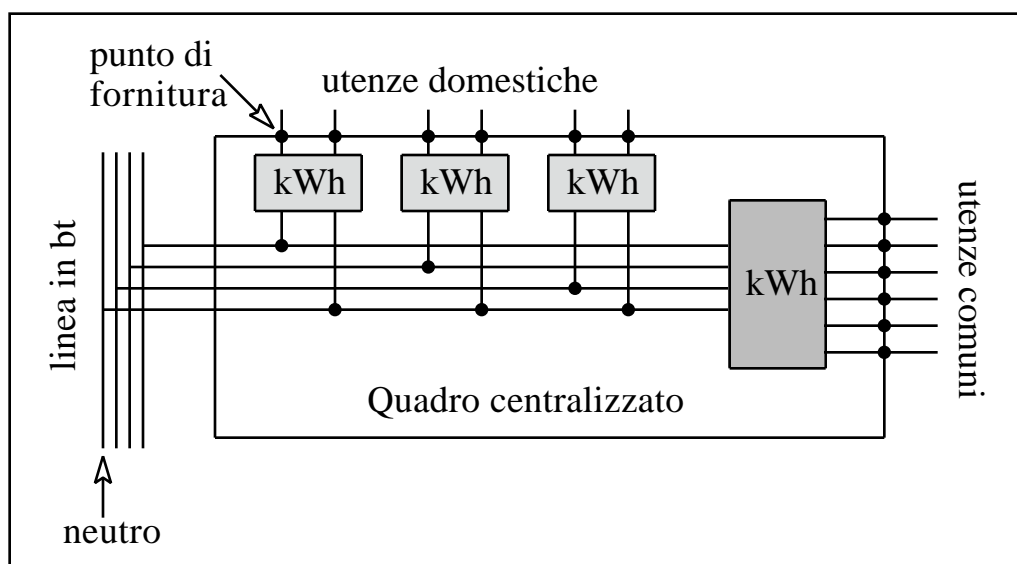


Figura 5.28: distribuzione ad un complesso di piccole utenze.

Il singolo utente è collegato a questo quadro per mezzo di una linea in cavo che raggiunge il cosiddetto quadretto per abitazioni. All'estremità di questa linea l'utente deve installare un interruttore differenziale.

» Distribuzione interna per piccole utenze

Si è, finalmente, giunti all'interno di un appartamento, dove è presente il quadro locale dal quale si dipartono le linee che distribuiscono l'energia nei diversi ambienti della casa. Nel quadro è installato un interruttore automatico generale, come indicato in Figura 5.29. Come si discuterà più approfonditamente nel

prossimo capitolo, per realizzare le opportune protezioni, si possono utilizzare sia interruttori magnetotermici che interruttori differenziali, con sensibilità che va tarata a seconda delle caratteristiche delle differenti destinazioni. Per la sala da bagno, si applicano norme speciali (CEI 64 - 8/7).

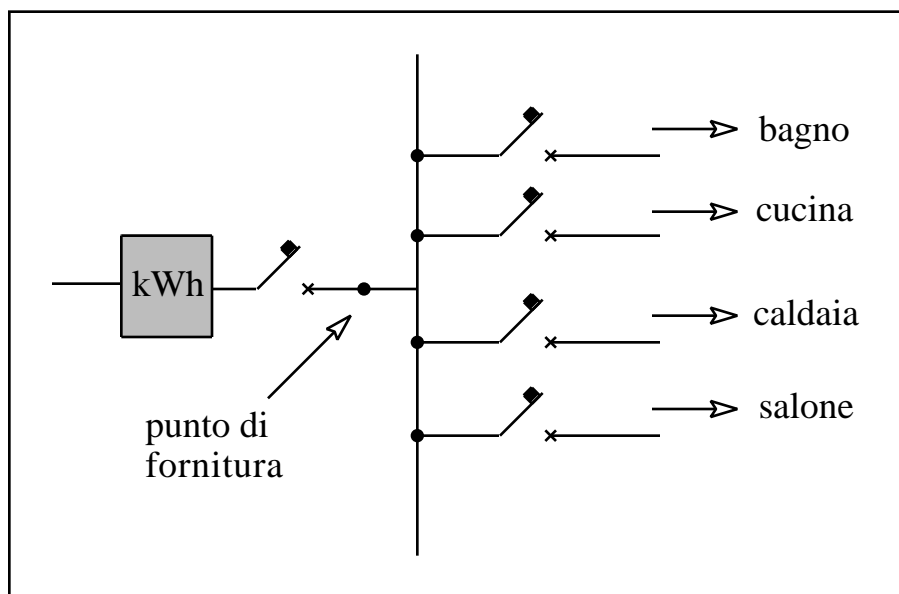


Figura 5.29: schema di un impianto domestico.

I cavi vanno posati in tubazioni di PVC corrugato che possono essere realizzate sotto traccia, vale a dire annegate nell'intonaco, oppure poste in pannelli prefabbricati. Esse devono, in ogni caso, seguire percorsi orizzontali e verticali, mai obliqui. Il loro corretto sviluppo va tenuto in debito conto nelle fasi di progettazione dell'impianto, ma è opportuno anche individuare esigenze che possono presentarsi durante l'esercizio. È assolutamente vietato mettere nelle stesse tubazioni linee elettriche in bt e linee di segnale, radiotelevisive o telefoniche (CEI 11 - 1 e 64 - 50).

5.8 Protezioni contro sovracorrenti e cortocircuiti

In questo paragrafo verranno analizzati gli effetti delle sovracorrenti e dei cortocircuiti sulle apparecchiature e sui sistemi di alimentazione. In particolare, vedremo gli effetti fisici sui conduttori e sugli isolanti ed i possibili metodi di protezione, considerando:

- portata e dimensionamento di cavi;
- sovracorrenti ed effetto Joule;
- protezioni contro le sovracorrenti;
- corrente di cortocircuito;
- protezioni contro il cortocircuito.

• Portata e dimensionamento di cavi

A causa della corrente che lo percorre, un cavo elettrico di resistenza R aumenta la propria temperatura dissipando, per effetto Joule nell'ambiente circostante, una potenza pari a

$$P_{\text{ASS}} = R I^2 .$$

L'aumento di temperatura corrispondente deve essere compatibile con la sezione del conduttore (si sta considerando un cavo, non un fusibile!) e con il tipo di isolante utilizzato. Il valore di resistenza di un cavo dipende dalle sue dimensioni fisiche, lunghezza e sezione, e dalla resistività del materiale utilizzato. Anche l'aumento di temperatura dipenderà quindi da questi valori. Un cavo con una sezione maggiore avrà una resistenza minore e, quindi, sopporterà meglio alti valori di corrente.

Gli isolanti che vengono utilizzati per la protezione dei cavi elettrici devono poter sopportare le temperature di servizio senza compromettere le loro prestazioni isolanti e meccaniche.

Si chiama 'durata dell'isolante' il tempo che un isolante impiega per deteriorarsi ad una certa temperatura.

Viene anche definita una 'massima temperatura di servizio': si tratta della temperatura che non deve mai essere superata per poter assicurare una ragionevole durata di vita dell'isolante, in genere 20 o 30 anni. Valori di massima temperatura di servizio per gli isolanti commerciali (PVC) variano tra 50 °C ed 80 °C. È ovvio che ad una temperatura di servizio maggiore corrisponde una durata di vita dell'isolante minore.

Un conduttore ed un isolante, a regime, hanno la stessa temperatura di funzionamento. Appare chiaro che a seconda dell'isolante utilizzato, bisogna calcolare le dimensioni della sezione (r^2) del conduttore, di lunghezza L , in modo da garantire la massima durata dell'isolante per una data corrente. Si può anche partire dalla massima durata di vita dell'isolante e ricavare così la portata del cavo (I_P) per una data sezione, secondo la relazione

$$\frac{L}{r^2} I_P^2 = 2 \quad r L \quad (T_S - T_A) \quad I_P = \sqrt{\frac{2 \quad r^3}{r^2} (T_S - T_A)} ,$$

essendo r la resistività del conduttore, λ la conducibilità termica fra il conduttore, che come già sottolineato coincide con quella dell'isolante, e l'ambiente, supposti a temperatura T_S e T_A , rispettivamente. La portata di un conduttore è influenzata da diversi fattori quali la temperatura ambiente, le caratteristiche fisiche del

conduttore, lo scambio termico fra conduttore ed ambiente ed, ovviamente, dalle caratteristiche dell'isolante utilizzato.

La tabella che segue riporta la portata in regime permanente, per numero di conduttori, di cavi unipolari o multipolari, in tubi o sotto modanature, isolati in PVC.

Sezione nominale dei conduttori (mm ²)	Portata (A) (4 conduttori)	Portata (A) (3 conduttori)	Portata (A) (2 conduttori)
1	10.5	12	13.5
1.5	14	15.5	17.5
2.5	19	21	24
4	25	28	32
6	32	36	41
10	44	50	57
16	59	68	76
25	75	89	101
35	97	111	125
50	-	134	151

Quest'altra tabella, invece, riporta la portata in regime permanente, per numero di conduttori, di cavi unipolari (su passerelle) isolati in gomma o polietilene reticolato.

Sezione nominale dei conduttori (mm ²)	Portata (A) (4 conduttori)	Portata (A) (3 conduttori)	Portata (A) (2 conduttori)
1	15	17	19
1.5	19.5	22	24
2.5	26	30	33
4	35	40	45
6	46	52	58
10	63	71	80
16	85	96	107
25	112	127	142
35	138	157	175
50	168	190	212

• Sovracorrenti ed effetto Joule

Dopo aver visto le condizioni di normale funzionamento di un cavo e dell'isolante che lo protegge, si esamini ora come si comportano questi elementi quando

sottoposti ad una sovracorrente. Come si è già avuto modo di dire, una sovracorrente rappresenta una corrente di valore superiore alla portata nominale del cavo in esame. In condizioni normali, il cavo è percorso da una corrente che lo porta alla massima temperatura di servizio; nel caso di una sovracorrente, questa temperatura aumenterà e, se questa nuova situazione dovesse perdurare per un tempo sufficientemente lungo, la temperatura del conduttore si stabilizzerà su un nuovo valore più elevato. Ogni sovracorrente causa una sollecitazione termica che porta a sua volta ad una perdita di vita del cavo. Si deve, pertanto, stabilire qual è il livello di perdita di vita accettabile per un cavo. Normalmente si ritiene accettabile una perdita di vita del 10% causata da tutti gli eventi di sovracorrente che si verificano lungo l'intera vita del cavo.

• **Protezioni contro le sovracorrenti**

I dispositivi di protezione devono assicurare una idonea protezione del cavo ed allo stesso tempo assicurare le massime prestazioni dell'impianto con conseguente continuità di servizio anche al limite delle capacità nominali. Occorre, dunque, dimensionare in maniera adeguata le protezioni in base alle correnti nominali di intervento che devono essere maggiori, al limite uguali, a quelle di impiego del circuito.

Portata del cavo (A)	Fusibili (norma CEI 32 - 1): corrente nominale massima	Interruttori automatici (norma CEI 23 - 3): corrente nominale massima
10.5	8	10
14	10	14
19	12	15
25	20	25

La tabella precedente mostra alcuni valori di portata di cavi unipolari in rame, isolati in PVC, posati in tubi o sotto modanature, e delle relative protezioni contro sovraccarico realizzate mediante fusibili o interruttori automatici.

• **Corrente di cortocircuito**

Il cortocircuito è una situazione anomala che si verifica quando due punti di un circuito a diverso potenziale, entrano in contatto con impedenza trascurabile. La corrente di cortocircuito risultante è essenzialmente composta da due termini: un termine simmetrico, corrente risultante nelle nuove condizioni di funzionamento, ed un termine asimmetrico decrescente in modo esponenziale, dovuto alla presenza di induttanze nel circuito. All'istante iniziale, infatti, la corrente risultante di

cortocircuito deve essere pari alla corrente circolante nelle induttanze presenti nel circuito; dopo alcune costanti di tempo, la corrente di cortocircuito coincide con il termine simmetrico.

Viene definita ‘corrente presunta di cortocircuito’ in un punto dell’impianto, la corrente causata da un cortocircuito, considerando il dispositivo di protezione di impedenza trascurabile.

• **Protezioni contro il cortocircuito**

L’inserimento di un qualunque dispositivo di protezione varia l’impedenza totale del circuito con conseguente diminuzione della corrente. Anche in questo caso è necessario installare dei dispositivi in grado di aprire il circuito ed interrompere così gli effetti, a volte devastanti, di questo tipo di guasto. I mezzi che abbiamo a disposizione sono sempre i soliti: fusibili ed interruttori automatici. In ogni caso è necessario garantire sia l’apertura del circuito per valori di corrente maggiori di quella nominale di intervento, sia la protezione degli apparecchi e dei conduttori a valle del dispositivo di protezione.

Come per le sovracorrenti, i dispositivi di protezione devono poter assicurare continuità di servizio (corrente nominale maggiore oppure uguale a quella massima di esercizio). Inoltre, questi dispositivi devono avere il cosiddetto ‘potere d’interruzione’ non inferiore alla corrente presunta di cortocircuito nel punto in cui sono installati.

I fusibili sono in grado di proteggere il circuito tanto meglio, quanto maggiore è la corrente di cortocircuito: si deduce, quindi, che la condizione peggiore si ha al termine del circuito dove la corrente è minima. Se la condizione di sicurezza è soddisfatta in questo punto allora è soddisfatta per tutto il circuito.

In caso di cortocircuito, gli interruttori automatici operano solo con gli sganciatori magnetici. Infatti, l’elevato valore delle correnti in gioco porta immediatamente l’interruttore ad operare nella zona di questo tipo di sganciatore. Questa particolarità permette di operare in sicurezza per correnti ‘piccole’ (cortocircuito in fondo alla linea), mentre potrebbe essere pericolosa nel caso di cortocircuito all’inizio della linea. In questo caso, la corrente è molto grande, ma il tempo di intervento dello sganciatore magnetico non varia proporzionalmente. Si devono, pertanto, verificare le due condizioni: all’inizio ed alla fine del circuito. L’interruttore automatico può essere abbinato con un fusibile, chiamato in questo caso protezione di back-up. Dimensionando opportunamente le correnti nominali di intervento, è possibile fare in modo che il fusibile intervenga per correnti di cortocircuito elevate, mentre l’interruttore automatico solo per quelle basse. Si ha così una doppia protezione e si ha il vantaggio di dover sostituire il fusibile solo in caso di guasto grave.

Esistono anche una serie di dispositivi, noti come ‘limitatori di corrente’, adatti alla protezione nel caso di cortocircuiti. Questi dispositivi possono interrompere una corrente di cortocircuito (di valore quindi molto elevato) prima che questa possa raggiungere il suo valore massimo. Per la realizzazione di dispositivi limitatori di corrente, si sfruttano le caratteristiche elettrodinamiche della corrente che permettono di realizzare contatti in grado di auto-separarsi in caso di elevata corrente.

Quando un dispositivo di protezione a massima corrente, come un fusibile, entra in funzione durante un cortocircuito, si crea un arco tra i contatti: sono state messe a punto, per questa evenienza, alcune tecniche che permettono di frazionare e raffreddare l’arco in modo da aumentare la tensione ai suoi capi e diminuire così la corrente di cortocircuito. Si cerca anche di aumentare le tensioni d’arco utilizzando degli appositi frazionatori che causano, tra l’altro, un veloce raffreddamento ed una dispersione più efficace dell’arco.

5.9 Sorgenti di campo in ambiente domestico

Negli ambienti domestici, numerosi oggetti di uso quotidiano, alimentati da energia elettrica, quando in uso, generano un campo elettrico e magnetico. Mentre l’esposizione al campo elettrico, anche in punti prossimi agli apparecchi in uso, non raggiunge quasi mai un’intensità elevata, lo stesso non si può dire per il campo magnetico, generato soprattutto dagli apparecchi di elevata potenza e caratterizzati da un alto assorbimento di corrente. I più comuni elettrodomestici che producono campi magnetici significativi sono: fornello elettrico, aspirapolvere, rasoio elettrico, phon, casco asciugacapelli, tostapane, ferro da stiro, coperta elettrica, frullatore, frigorifero, lavatrice, lavastoviglie, lampada ad incandescenza, forno elettrico, forno a microonde.

Per alcuni apparecchi di tipo ‘fisso’, quali il frigorifero, il forno elettrico, la lavatrice e la lavastoviglie, è sufficiente mantenersi ad una distanza minima di qualche decina di centimetri per non essere esposti ad alcun campo. Per gli altri apparecchi, i campi magnetici prodotti sono a volte maggiori di quelli rilevabili in prossimità di una linea ad alta tensione, ma decrescono molto rapidamente appena ci si allontana dalla sorgente. È questo il caso del rasoio elettrico, che è addirittura a contatto con l’utilizzatore e che presenta un elevato valore di campo magnetico. Più in generale, le apparecchiature che generano campi magnetici di intensità elevata sono quelle in cui vi sono elementi di riscaldamento a resistenza (ad esempio phon, casco asciugacapelli, tostapane) e quelli in cui sono presenti grossi motori ad elevata potenza e, quindi, con un elevato assorbimento di corrente. Ad esempio, possiamo ascrivere a questa categoria l’aspirapolvere ed il forno a microonde, nel quale è presente un grosso trasformatore di potenza che fornisce l’energia alle sorgenti di

radiofrequenze. Ma anche elettrodomestici di taglia inferiore, come il frullatore, possono generare nelle loro vicinanze campi magnetici di tutto rispetto: ciò è dovuto allo scarso isolamento fornito dall'involucro esterno al campo originato dal piccolo motore che provvede al funzionamento.

Tra i dispositivi di uso quotidiano, un discorso a parte merita il videoterminale, che negli ultimi anni si è diffuso notevolmente negli ambienti lavorativi e domestici. I campi prodotti dai videoterminali coprono praticamente tutto lo spettro elettromagnetico; in particolare, le bobine per la deflessione orizzontale emettono campi con frequenze nell'intervallo (15 ÷ 35) kHz, mentre l'alimentazione, il trasformatore e le bobine di deflessione verticale generano campi alla frequenza di 50 Hz. Deboli radiazioni alle radiofrequenze sono poi dovute ai circuiti elettronici interni al videoterminale ed ai segnali inviati dai computer. Infine, all'interno del tubo catodico, vengono prodotti raggi X di intensità ridotta e che comunque vengono quasi totalmente assorbiti dal vetro dello schermo. Vista la quantità e la diversità delle radiazioni prodotte dalle apparecchiature videoterminali, in virtù del loro tempo di utilizzo, in genere dell'ordine delle ore, era naturale che nascessero preoccupazioni su eventuali rischi per la salute derivanti dall'uso frequente di questo tipo di apparecchiature. Ma numerosi studi, tra cui quelli anche dell'Organizzazione Mondiale per la Sanità, hanno escluso che le emissioni di campi elettromagnetici da videoterminali potessero essere responsabili dei disturbi lamentati dagli utilizzatori. Effetti quali emicranie, giramenti di testa, stanchezza, affaticamento visivo, sono da imputarsi principalmente ad aspetti di tipo ergonomico.

In questa ottica, il D.L. 626/94 ed il successivo D.L. 242/96 prescrivono una serie di accorgimenti per evitare rischi per la salute nell'utilizzo dei videoterminali. Questi riguardano il tipo di sedia utilizzato, la posizione assunta dall'operatore, posizione ed orientamento dello schermo, tipo di illuminazione naturale ed artificiale, temperatura ed umidità nel locale.

• **Campo magnetico generato da elettrodomestici**

Abbiamo già avuto modo di sottolineare che il campo magnetico decresce allontanandosi dalla sorgente. Nella Tabella che segue abbiamo riportato i valori dell'induzione magnetica (campo B misurato in milionesimi di tesla) a varie distanze e per una frequenza di 50 Hz. Per ogni elettrodomestico è indicato un intervallo di valori, in quanto le emissioni dipendono anche dalle particolari tecniche costruttive, diverse tra i vari modelli degli apparecchi in esame, e dalla posizione.

Elettrodomestico	B (3 cm)	B (30 cm)	B (1 m)
-------------------------	-----------------	------------------	----------------

Asciugacapelli	(8 ÷ 2500) μ T	(0.01 ÷ 1) μ T	(0.005 ÷ 0.01) μ T
Aspirapolvere	(200 ÷ 800) μ T	(2 ÷ 20) μ T	(0.13 ÷ 2) μ T
Forno a microonde	(75 ÷ 200) μ T	(4 ÷ 8) μ T	(0.25 ÷ 0.6) μ T
Forno elettrico	(1 ÷ 50) μ T	(0.15 ÷ 0.5) μ T	(0.04 ÷ 0.01) μ T
Frullatore	(60 ÷ 700) μ T	10 μ T	(0.01 ÷ 0.15) μ T
Lavatrice	(0.8 ÷ 50) μ T	(0.15 ÷ 0.3) μ T	(0.1 ÷ 0.15) μ T
Rasoio elettrico	(15 ÷ 1500) μ T	(7 ÷ 9) μ T	(0.1 ÷ 0.3) μ T
Tostapane	(7 ÷ 18) μ T	(0.06 ÷ 0.7) μ T	< 0.01 μ T

È interessante notare come per alcuni elettrodomestici, quali il rasoio oppure il casco asciugacapelli, il valore dell'induzione magnetica a breve distanza sia addirittura superiore, anche in maniera significativa, rispetto a quello trovato in prossimità delle linee elettriche.

5.10 Cenni sulla tariffazione dell'energia

L'assorbimento di potenza con un basso fattore di potenza rappresenta un onere per le società distributrici dell'energia elettrica, che, per legge, sono autorizzate ad adottare differenti tariffe per il 'chilowattora' assorbito con basso oppure con alto fattore di potenza. D'altra parte, i contatori elettrici registrano soltanto l'energia attiva, pari al prodotto tra la potenza attiva ed il tempo. La penalità, cioè il maggior costo (C), adottata per il basso fattore di potenza viene calcolata in base allo scarto tra il fattore di potenza minimo consentito, ad esempio 0.8 in ritardo per gli impianti di forza motrice, ed il fattore di potenza effettivamente attuato, secondo la formula

$$C = (0.8 - \cos \phi) b U ,$$

laddove b rappresenta il costo unitario dell'energia (Euro/kWh) ed U è l'energia assorbita e registrata dal contatore in un certo intervallo di tempo, tipicamente un bimestre. Il valore del $\cos \phi$ da utilizzare in questa formula è il valore medio nell'intervallo di tempo registrato, dato che la potenza assorbita dall'utilizzatore non è mai costante, ma fluttuante, ed è ovvio che la penalità scatta solo se il fattore di potenza è inferiore a 0.8. Per non andare incontro a penalità, che incidano sul costo di esercizio dell'impianto, è conveniente installare una batteria di condensatori di adeguata capacità per attuare il rifasamento totale o, più in generale, parziale: solo considerazioni di carattere sia tecnico che economico possono suggerire la

convenienza o meno di andare incontro a maggiori spese di impianto, relative all'installazione della batteria di condensatori, per poter ottenere un minor costo di esercizio.

Per quel che riguarda le tariffe, il costo (C) dell'energia elettrica assorbita dall'impianto, normalmente definito consumo mensile o bimestrale, può essere conteggiato secondo la tariffa binomia oppure secondo la tariffa a consumo libero.

La **tariffa binomia** corrisponde alla relazione

$$C = A P + B U ,$$

dove P è la potenza contrattuale, misurata in chilowatt, U è l'energia assorbita, misurata in chilowattora, A (Euro/kW) e B (Euro/kWh) sono i cosiddetti parametri unitari. Il costo unitario dell'energia, rappresentato dal parametro B, varia in relazione alla potenza contrattuale, diminuendo al crescere della stessa. I due addendi della tariffa binomia tengono conto, il primo (AP), dell'entità della potenza impegnata dall'utente, indipendentemente dal consumo, il secondo (BU), dell'entità dell'energia elettrica realmente fornita all'utente. La eventuale penalità (C) per il basso fattore di potenza si aggiunge quale terzo addendo.

La **tariffa a consumo libero** conteggia unicamente l'energia assorbita, non tenendo conto della potenza impegnata: essa è consentita per piccole potenze installate e per consumi mensili non elevati.

Appendice: norme CEI

Le norme del Comitato Elettrotecnico Italiano (norme CEI), in costante aggiornamento per adattarsi agli sviluppi tecnologici ed all'evoluzione del concetto di sicurezza, sono costituite da un grosso numero di *fascicoli* che coprono l'intera materia elettrica. I fascicoli contenenti le norme ed il loro elenco possono essere acquistati presso l'Associazione Elettrotecnica Italiana (AEI), domiciliata in viale Monza 259, Milano. Qui di seguito riportiamo l'elenco delle norme che si riferiscono agli argomenti affrontati in questo volume.

CEI 3 - 4 segni grafici per schemi

CEI 3 - 15 segni grafici per schemi

CEI 3 - 19 segni grafici per schemi

CEI 3 - 20 segni grafici per schemi

CEI 3 - 23 segni grafici per schemi

CEI 11 - 1 impianti di produzione, trasporto e distribuzione dell'energia elettrica - Norme generali

CEI 11 - 8 impianti di produzione, trasporto e distribuzione dell'energia elettrica - Impianti di terra

CEI 11 - 17 impianti di produzione, trasporto e distribuzione dell'energia elettrica - Linee in cavo

CEI 11 - 18 impianti di produzione, trasporto e distribuzione dell'energia elettrica - Dimensionamento degli impianti in relazione alla tensione

CEI 17 - 1 interruttori a corrente alternata a tensione superiore a 1000 V

CEI 17 - 4 sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata ed a tensione superiore a 1000 V

CEI 17 - 5 apparecchiature a bassa tensione - Parte 2: interruttori automatici

CEI 17 - 6 apparecchiature prefabbricate con involucro metallico per tensioni da 1 kV a 52 kV

CEI 17 - 9 interruttori di manovra ed interruttori di manovra - sezionatori per alta tensione

CEI 17 - 11 apparecchiature a bassa tensione - Parte 3: interruttori di manovra, sezionatori, interruttori di manovra - sezionatori ed unità combinate con fusibili

CEI 17 - 13 apparecchiature assiemate di protezione per bassa tensione (quadri bt)

CEI 32 - 1 fusibili a tensione non superiore a 1000 V per corrente alternata e a 1500 V per corrente continua

CEI 32 - 3 fusibili a tensione superiore a 1000 V

CEI 36 isolatori per tensione superiore a 1000 V

CEI 37 scaricatori

CEI 42 tecnica delle prove ad alta tensione

CEI 44 equipaggiamento elettrico delle macchine industriali

CEI 64 - 2 impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione

CEI 64 - 4 impianti elettrici in locali adibiti ad uso medico

CEI 64 - 8 impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata ed a 1500 V in corrente continua

CEI 64 - 10 impianti elettrici nei luoghi di pubblico spettacolo e di trattenimento

CEI 64 - 50 edilizia residenziale - Guida per l'integrazione nell'edificio degli impianti elettrici utilizzatori, ausiliari e telefonici

CEI 70 - 1 grado di protezione degli involucri (codice IP)

CEI 81 - 1 protezione delle strutture contro i fulmini