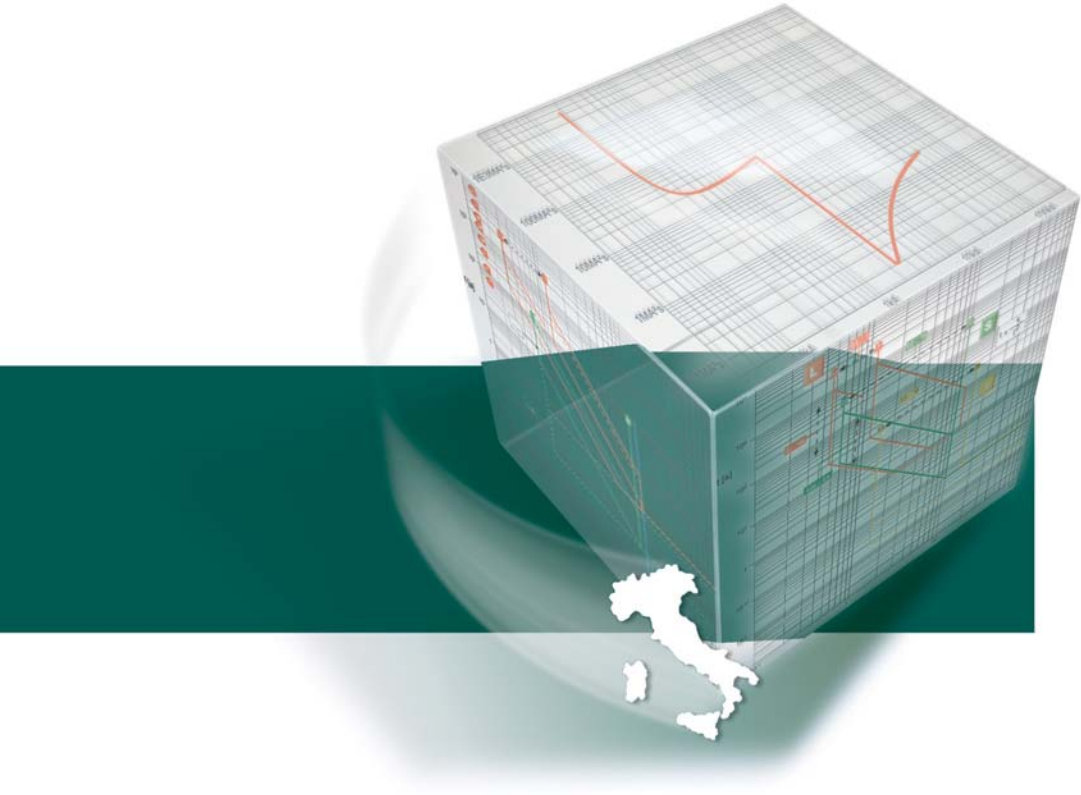
Electrical installation handbook
Volume 1

1ª edizione italiana

Dispositivi di protezione e controllo

1SDC008001D0901



Electrical installation handbook

Volume 1

Dispositivi di protezione e controllo

1a edizione italiana
Dicembre 2007

Pubblicato da ABB SACE
via Baioni, 35 - 24123 Bergamo

Tutti i diritti riservati

LINGUA	ANNO	EDIZIONE
Inglese	2003	Prima
	2004	Seconda
	2005	Terza
	2006	Quarta
	2007	Quinta
Spagnolo	2004	Prima
Italiano	2007	Prima

Indice

Introduzione 2

1 Norme
1.1 Aspetti generali 3
1.2 Norme IEC per gli impianti elettrici 15
2 Dispositivi di protezione e controllo
2.1 Dati di targa caratteristici degli interruttori 22
2.2 Definizioni principali 24
2.3 Tipi di sganciatori 28
2.3.1 Sganciatori termomagnetici e sganciatori solo magnetici 28
2.3.2 Sganciatori elettronici 30
2.3.3 Dispositivi differenziali 34
3 Caratteristiche generali
3.1 Caratteristiche elettriche degli interruttori 38
3.2 Curve d'intervento 45
3.2.1 Software "Curves 1.0" 45
3.2.2 Curve di intervento degli sganciatori termomagnetici 46
3.2.3 Funzioni di protezione degli sganciatori elettronici 51
3.3 Curve di limitazione 76
3.4 Curve di energia specifica passante 79
3.5 Declassamento in temperatura 80
3.6 Declassamento per altitudine 90
3.7 Caratteristiche elettriche degli interruttori di manovra-sezionatori 91
4 Coordinamento delle protezioni
4.1 Coordinamento delle protezioni 98
4.2 Tabelle di selettività 107
4.3 Tabelle di back-up 140
4.4 Tabelle di coordinamento tra interruttori e interruttori di manovra-sezionatori 144
5 Applicazioni speciali
5.1 Reti in corrente continua 148
5.2 Reti a frequenze particolari; 400 Hz e 16 2/3 Hz 159
5.3 Reti a 1000 Vc.c. e 1000 Vc.a. 176
5.4 Unità di commutazione automatica rete-gruppo (ATS) 188
6 Quadri
6.1 Quadri elettrici 190
6.2 Quadri MNS 198
6.3 Quadri di distribuzione ArTu 199
Appendice A: Protezione dagli effetti di corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione 202
Appendice B: Valutazione dell'aumento di temperatura secondo IEC 60890 211
Appendice C: Esempi applicativi: Funzioni avanzate di protezione con sganciatori PR123/P e PR333/P 225

Introduzione

Scopo ed obiettivi

Lo scopo di questo manuale per gli impianti elettrici è fornire al progettista e all'utilizzatore di impianti elettrici uno strumento di lavoro di rapida consultazione ed immediato utilizzo. Non vuole essere né una trattazione teorica, né un catalogo tecnico, ma, in aggiunta a quest'ultimo, mira ad essere d'aiuto nella corretta definizione delle apparecchiature, per le più comuni applicazioni impiantistiche.

Il dimensionamento di un impianto elettrico richiede la conoscenza di numerosi fattori, relativi per esempio, agli impianti utilizzatori, alle condutture elettriche e ad altri componenti; tali conoscenze comportano da parte del progettista la consultazione di numerosi documenti e cataloghi tecnici. Questo manuale, invece, ha l'obiettivo di fornire, in un unico documento, le tabelle per la definizione rapida dei principali parametri dei componenti dell'impianto elettrico e per la scelta dei dispositivi di protezione nelle diverse applicazioni impiantistiche. Vengono inclusi alcuni esempi applicativi per aiutare la comprensione delle tabelle di scelta.

Destinatari del manuale

Il manuale per gli impianti elettrici rappresenta uno strumento idoneo per tutti coloro che si occupano di impianti elettrici: può risultare utile sia all'installatore sia al tecnico della manutenzione tramite brevi ma importanti riferimenti elettrotecnici, oppure per il tecnico-commerciale grazie alle tabelle di scelta rapida.

Validità del manuale

Alcune tabelle riportano dei valori approssimati dovuti alla generalizzazione del processo di selezione, per esempio per ciò che riguarda le caratteristiche costruttive delle macchine elettriche. In ogni caso, ove possibile, vengono forniti i coefficienti di correzione per riportarsi a condizioni reali differenti da quelle ipotizzate. Le tabelle sono state sempre redatte in modo conservativo, a favore della sicurezza; per un calcolo più accurato, si consiglia di utilizzare il software DOCWin per il dimensionamento degli impianti elettrici.

1 Norme

1.1 Aspetti generali

In ogni campo tecnico, e in particolare nel settore elettrico, condizione sufficiente (anche se non necessaria) per la realizzazione di impianti a **"regola d'arte"**, e come requisito fondamentale per soddisfare correttamente le esigenze della committenza e della collettività, è il rispetto di tutte le relative norme giuridiche e tecniche.
Una conoscenza precisa delle norme è quindi il presupposto fondamentale per un approccio corretto alle problematiche degli impianti elettrici che devono essere realizzati in modo da garantire quel **"livello di sicurezza accettabile"** che non potrà mai essere assoluto.

Norme giuridiche
Sono tutte le norme dalle quali derivano le regole di comportamento per tutti quei soggetti che si trovano nell'ambito di sovranità di quello Stato.

Norme tecniche
Queste norme sono l'insieme delle prescrizioni in base alle quali devono essere progettate, costruite e collaudate le macchine, le apparecchiature, i materiali e gli impianti affinché sia garantita l'efficienza e la sicurezza di funzionamento.
Le norme tecniche, emanate da organismi nazionali ed internazionali, sono redatte in modo circostanziato e possono assumere rilevanza giuridica quando la stessa viene loro attribuita da una provvedimento legislativo.

	Campi di applicazione		
	Elettrotecnica ed Elettronica	**Telecomunicazioni**	**Meccanica, Ergonomia e Sicurezza**
Organismo internazionale	IEC	ITU	ISO
Organismo europeo	CENELEC	ETSI	CEN

Nel presente manuale sono presi in considerazione solo gli organismi del settore elettrico ed elettronico.

Comitato Elettrotecnico Internazionale (International Electrotechnical Commission)

Il Comitato Elettrotecnico Internazionale (IEC) è stato fondato ufficialmente nel 1906, con l'obiettivo di garantire la collaborazione internazionale per quanto riguarda la normalizzazione e la certificazione nel settore elettrico ed elettronico. L'associazione è formata dai Comitati Nazionali di oltre 40 nazioni in tutto il mondo.
IEC pubblica norme internazionali, guide tecniche e rapporti tecnici che costituiscono la base o comunque un importante riferimento per qualsiasi attività di normalizzazione nazionale ed europea.
Le norme IEC vengono normalmente pubblicate in due lingue: inglese e francese.
Nel 1991 IEC ha stipulato accordi di collaborazione con CENELEC (organismo europeo di normalizzazione), per la pianificazione comune delle nuove attività normative e per la votazione parallela sui progetti di norma.

1 Norme

CENELEC (Comitato Europeo per la Normalizzazione Elettrotecnica)

Il CENELEC *(Comitato Europeo per la Normalizzazione Elettrotecnica)* è stato istituito nel 1973. Attualmente comprende 30 paesi (Austria, Belgio, Bulgaria, Cipro, Repubblica Ceca, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Ungheria, Irlanda, Islanda, Italia, Latvia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Olanda, Norvegia, Portogallo, Polonia, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Svizzera, Regno Unito) e coopera con 8 affiliati (Albania, Bosnia e Herzegovina, Tunisia, Croazia, Repubblica ex-lugoslava di Macedonia, Serbia e Montenegro, Turchia, Ucraina) che dapprima hanno mantenuto i documenti nazionali in parallelo a quelli CENELEC e poi li hanno sostituiti con i Documenti di Armonizzazione HD).
La differenza tra le Norme EN ed i Documenti di Armonizzazione (HD) sta nel fatto che mentre le prime devono essere recepite dai diversi paesi in maniera identica e senza alcuna aggiunta o modifica, i secondi possono essere emendati per soddisfare particolari requisiti nazionali.
In generale le Norme EN vengono pubblicate in tre lingue: inglese, francese e tedesco.
Dal 1991 CENELEC collabora con IEC per accelerare la procedura di preparazione delle norme internazionali.
CENELEC tratta argomenti specifici, per i quali sussiste l'urgenza di una normazione.
Quando lo studio di un argomento specifico fosse già stato avviato dall'IEC, l'organismo europeo di normalizzazione (CENELEC) può decidere se accettare o, ove necessario, emendare i lavori già approvati dall'ente internazionale.

LE DIRETTIVE COMUNITARIE PER LE APPARECCHIATURE ELETTRICHE

Tra i suoi ruoli istituzionali, la Comunità Europea ha il compito di promulgare le direttive che devono essere adottate dai vari stati membri e quindi convertite in leggi nazionali.
Una volta recepite queste direttive godono di piena validità giuridica e diventano un riferimento per costruttori, installatori, rivenditori a cui spetta adempiere agli obblighi previsti dalla legislazione.
Le direttive si fondono sui seguenti principi:

- l'armonizzazione si limita ai requisiti essenziali;
- solo quei prodotti che rispettano i requisiti essenziali possono essere commercializzati e messi in servizio;
- le norme armonizzate, i cui numeri di riferimento sono pubblicati nella Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee e che sono trasposte nelle norme nazionali, sono ritenute conformi ai corrispondenti requisiti essenziali;
- l'applicazione delle norme armonizzate o di altre specifiche tecniche è facoltativa ed i costruttori sono liberi di scegliere altre soluzioni tecniche che garantiscono la conformità ai requisiti essenziali;
- i costruttori possono scegliere tra le diverse procedure di valutazione della conformità previste nella direttiva applicabile.

Lo scopo di ogni direttiva è di far sì che i costruttori ricorrano ad accorgimenti e misure tali che il prodotto non pregiudichi la sicurezza e la salute delle persone, degli animali e dei beni.

1 Norme

Direttiva "Bassa Tensione" 2006/95/CE

La Direttiva Bassa Tensione si riferisce a tutto il materiale elettrico, destinato ad essere utilizzato ad una tensione nominale da 50 a 1000 V in corrente alternata e da 75 a 1500 V in corrente continua.
In particolare si applica ad ogni dispositivo usato per la produzione, trasformazione, trasmissione, distribuzione ed utilizzo di energia elettrica, come macchine, trasformatori, apparecchi, strumenti di misura, apparecchi di protezione e materiali di cablaggio.
Non rientrano nel campo di applicazione della Direttiva le seguenti categorie di materiali:

- materiali elettrici destinati ad essere utilizzati in ambienti esposti a pericoli di esplosione;
- materiali elettrici per radiologia ed uso clinico;
- parti elettriche di ascensori e montacarichi;
- contatori elettrici;
- prese di corrente (basi e spine) per uso domestico;
- dispositivi di alimentazione di recinti elettrici;
- disturbi radio-elettrici;
- materiali elettrici speciali, destinati ad essere usati sulle navi o sugli aeromobili e per le ferrovie, conformi alle disposizioni di sicurezza stabilite da organismi internazionali cui partecipano gli Stati Membri.

Direttiva EMC 89/336/EEC* ("Compatibilità Elettromagnetica")

La Direttiva sulla Compatibilità Elettromagnetica riguarda tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche nonché i sistemi e le installazioni che contengono componenti elettrici e/o elettronici. In particolare le apparecchiature coperte da queste Direttiva sono suddivise nelle seguenti categorie in base alle loro caratteristiche:

- radioriceventi e telericeventi private;
- apparecchiature industriali;
- apparecchiature radiomobili;
- apparecchiature radiomobili e radiotelefoniche commerciali;
- apparecchiature mediche e scientifiche;
- apparecchiature di tecnologia dell'informazione (ITE);
- elettrodomestici ed apparecchiature elettroniche per uso domestico;
- apparecchi radio per l'aeronautica e la marina;
- apparecchi didattici elettronici;
- reti ed apparecchi di telecomunicazione;
- emittenti di radio e filodiffusione;
- illuminazione e lampade fluorescenti.

Le apparecchiature dovranno essere costruite in modo che:
a) le perturbazioni elettromagnetiche generate siano limitate ad un livello che permetta agli apparecchi radio e di telecomunicazione ed alle altre apparecchiature di funzionare in modo conforme alla loro destinazione d'uso;
b) gli apparecchi abbiano un adeguato livello di immunità intrinseca contro le perturbazioni elettromagnetiche, la quale permetta loro di funzionare in modo conforme alla loro destinazione d'uso.

Un'apparecchiatura è ritenuta conforme ai requisiti previsti nei punti a) e b) quando soddisfa le norme armonizzate specifiche per la sua famiglia di prodotti o, eventualmente, se queste non esistono, le norme generiche.

(*) La nuova Direttiva 2004/108/CE è diventata effettiva dal 20 Gennaio 2005. Tuttavia, è previsto un periodo di transizione (fino a Luglio 2009) durante il quale è possibile mettere sul mercato apparecchi che sono in accordo alla precedente Direttiva.
È previsto che la nuova Direttiva potrà essere applicata dal 20 Luglio 2007.

1 Norme

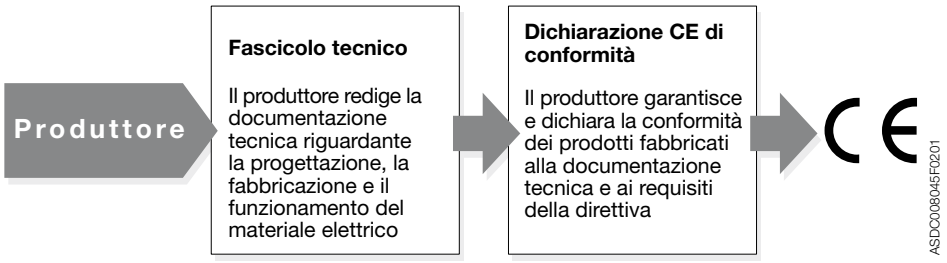
Marcatura di conformità CE

La marcatura CE indica la conformità a tutti gli obblighi imposti ai fabbricanti, in merito ai loro prodotti, in virtù delle direttive della Comunità Europea che ne prevedono l'apposizione.

CE

Quando la marcatura CE viene apposta su un prodotto, essa rappresenta una dichiarazione da parte della persona fisica o giuridica che l'ha apposta o che è responsabile di apporla a conferma che il prodotto è conforme a tutte le disposizioni applicabili in materia e che è stato sottoposto alle procedure di valutazione della conformità del caso. Ciò impedisce agli Stati Membri di porre dei limiti alla commercializzazione e alla messa in servizio di prodotti con marcatura CE, a meno che un tale provvedimento non sia giustificato dalla comprovata non-conformità del prodotto.

Diagramma di flusso per le procedure di valutazione della conformità stabilite nella Direttiva 2006/95/CE relativa al materiale elettrico destinato all'uso entro particolari limiti di tensione:



Omologazioni navali

Le condizioni ambientali che caratterizzano l'impiego di interruttori per applicazioni a bordo possono risultare diverse rispetto alle condizioni di servizio in ambienti industriali terrestri; infatti, l'applicazione marina può richiedere l'installazione in particolari condizioni, quali ad esempio:
- ambienti caratterizzati da temperature e umidità elevate, anche in atmosfera salina (ambiente caldo-umido salino);
- ambienti a bordo nave (sala macchine) dove gli apparecchi lavorano in presenza di vibrazioni caratterizzate da ampiezza e durata rilevanti.

Per assicurare il corretto funzionamento in tali ambienti, i registri navali richiedono che gli apparecchi siano sottoposti a specifiche prove di omologazione, tra le quali, le più significative risultano essere quelle relative alla resistenza alle vibrazioni, a sollecitazione dinamiche, all'umidità, al caldo-secco.

1 Norme

Gli interruttori ABB SACE (Tmax-Emax) sono omologati dai seguenti registri navali:

• **RINA**	Registro Italiano Navale	registro navale italiano
• **DNV**	Det Norske Veritas	registro navale norvegese
• **BV**	Bureau Veritas	registro navale francese
• **GL**	Germanischer Lloyd	registro navale tedesco
• **LRs**	Lloyd's Register of Shipping	registro navale inglese
• **ABS**	American Bureau of Shipping	registro navale americano

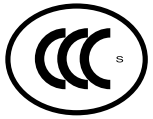
Si raccomanda di contattare ABB SACE per quanto riguarda le tipologie e le prestazioni degli interruttori omologati o di consultare la sezione certificati sul sito web **http://bol.it.abb.com.**

Marchi di conformità alle relative norme nazionali ed internazionali

I marchi di conformità nazionali ed internazionali sono riportati nella seguente tabella a titolo puramente informativo:

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
EUROPA		–	Marchio di conformità con le norme armonizzate europee elencate nell'Accordo ENEC.
AUSTRALIA		Marchio AS	Prodotti elettrici e non. Garantisce la conformità con SAA (Standard Association of Australia - Associazione australiana per le Norme).
AUSTRALIA		Marchio S.A.A.	Standard Association of Australia (S.A.A.). Autorità per l'Elettricità di New South Wales Sydney Australia
AUSTRIA		Marchio di prova austriaco	Apparecchiatura e materiali per l'installazione

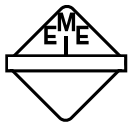
1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
AUSTRIA		Filo distintivo ÖVE	Cavi
BELGIO		Marchio CEBEC	Materiali per l'installazione ed apparecchi elettrici
BELGIO		Marchio CEBEC	Condotti e canali, conduttori e cavi flessibili
BELGIO		Certificazione di Conformità	Materiali per l'installazione ed apparecchiature elettriche (nel caso in cui non ci fossero delle norme o dei criteri nazionali equivalenti)
CANADA		Marchio CSA	Prodotti elettrici e non. Questo marchio garantisce la conformità con CSA (Canadian Standard Association (Associazione canadese per le norme)
CINA		Marchio CCC	China Compulsory Certification molti prodotti, per poter essere importati e commercializzati sul mercato locale, devono tenere la certificazione e il marchio CCC
Repubblica Ceca		Marchio EZU'	Electrotechnical Testing Institute (Istituto di prove elettrotecniche)
Repubblica Slovacca		Marchio EVPU'	Electrotechnical Research & Design Institute (Istituto per la ricerca e la progettazione elettrotecnica)

1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
CROAZIA		KONKAR	Electrical Engineering Institute (Istituto di Ingegneria Elettrica)
DANIMARCA		DEMKO Marchio di Approvazione	Materiali di bassa tensione. Questo marchio garantisce la conformità del prodotto con le richieste (di sicurezza) degli "Heavy Current Regulations"
FINLANDIA		Marchio di Sicurezza dell'Elektriska Inspektoratet	Materiali di bassa tensione. Questo marchio garantisce la conformità del prodotto con le richieste (di sicurezza) degli "Heavy Current Regulations"
FRANCIA		Marchio ESC	Apparecchi elettrici per uso domestico
FRANCIA		Marchio NF	Conduttori e cavi – Condotti e canalizzazione – Materiali di installazione
FRANCIA		Filo distintivo NF	Cavi
FRANCIA		Marchio NF	Utensili a motore portatili
FRANCIA		Marchio NF	Apparecchi elettrici per uso domestico

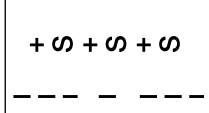
1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
GERMANIA		Marchio VDE	Per accessori di installazione quali spine, prese, fusibili, fili e cavi, nonché altri componenti (condensatori, sistemi di messa terra, supporti per lampade e dispositivi elettronici)
GERMANIA		Filo distintivo VDE	Cavi e fili elettrici
GERMANIA		Marchio VDE per cavo	Per cavi, fili elettrici isolati, condotti e canali per l'installazione
GERMANIA		Marchio VDE-GS per apparecchiatura tecnica	Marchio di sicurezza per apparecchiature tecniche da apporre dopo che il prodotto sia stato provato e certificato dal Laboratorio di Prove VDE di Offenbach; il marchio di conformità è il marchio VDE, che viene concesso sia per essere usato da solo che in combinazione con il marchio GS
UNGHERIA		MEEI	Istituto ungherese per la Prova e la Certificazione di apparecchiatura elettrica
GIAPPONE		Marchio JIS	Marchio che garantisce la conformità con le relative normative industriali giapponesi.
IRLANDA		Marchio IIRS	Apparecchiatura elettrica
IRLANDA		Marchio IIRS	Apparecchiatura elettrica

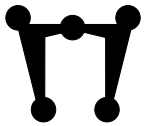
1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
ITALIA		Marchio IMQ	Marchio da apporre sul materiale elettrico per utenti non specializzati; certifica la conformità con la/e Norma/e europea/e
NORVEGIA		Marchio di Approvazione Norvegese	Approvazione obbligatoria di sicurezza per il materiale e le apparecchiature di bassa tensione.
OLANDA		KEMA-KEUR	Generale per tutte le apparecchiature
POLONIA		KWE	Prodotti elettrici
RUSSIA		Certificazione di Conformità	Prodotti elettrici e non. Garantisce la conformità con la normativa nazionale (Gosstandard della Russia)
SINGAPORE		SISIR	Prodotti elettrici e non
SLOVENIA		SIQ	Istituto Sloveno di Qualità e Metrologia
SPAGNA		AEE	Prodotti elettrici. Il marchio è sotto al controllo della Asociación Electrotécnica Española (Associazione Elettrotecnica Spagnola)

1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
SPAGNA		AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación. (Associazione Spagnola per la Normalizzazione e la Certificazione)
SVEZIA		Marchio SEMKO	Approvazione di sicurezza obbligatoria per materiale e apparecchiature di bassa tensione.
SVIZZERA		Marchio di Sicurezza	Materiale svizzero di bassa tensione soggetto ad approvazione obbligatoria (sicurezza).
SVIZZERA		–	Cavi soggetti ad approvazione obbligatoria
SVIZZERA		Marchio di Sicurezza SEV	Materiale di bassa tensione soggetto ad approvazione obbligatoria.
REGNO UNITO		Marchio ASTA	Marchio che garantisce la conformità con le relative “British Standards” (norme inglesi)
REGNO UNITO		Marchio BASEC	Marchio che garantisce la conformità con le “British Standards” (norme inglesi) per conduttori, cavi e prodotti accessori.
REGNO UNITO		Filo distintivo BASEC	Cavi

1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
REGNO UNITO		Marchio di Sicurezza BEAB	Conformità con le “British Standards” (norme inglesi) per apparecchi elettrici per uso domestico.
REGNO UNITO		Marchio di Sicurezza BSI	Conformità con le “British Standards” (norme inglesi)
REGNO UNITO		BEAB Kitemark	Conformità con le relative “British Standards” (norme inglesi) riguardanti la sicurezza e le prestazioni
U.S.A.		Marchio UNDERWRITERS LABORATORIES	Prodotti elettrici e non
U.S.A.		Marchio UNDERWRITERS LABORATORIES	Prodotti elettrici e non
U.S.A.		Riconoscimento UL	Prodotti elettrici e non
CEN		Marchio CEN	Marchio del Comitato Europeo per la Normalizzazione (CEN): attesta la conformità con le norme europee.
CENELEC		Marchio	Cavi

1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
CENELEC		Marchio di armonizzazione	Marchio di certificazione che attesta la conformità del cavo armonizzato con le relative norme armonizzate CENELEC – Filo distintivo
EC		Marchio Ex EUROPEA	Marchio che attesta la conformità con le relative norme europee dei prodotti destinati ad essere utilizzati nei luoghi con pericolo di esplosione
CEEel		Marchio CEEel	Marchio che si applica solo ad alcuni elettrodomestici (rasoi elettrici, orologi elettrici, ecc).

Dichiarazione di Conformità CE

La Dichiarazione di Conformità CE è la dichiarazione del produttore, che dichiara sotto la propria responsabilità che tutte le apparecchiature, le procedure o i servizi si riferiscono e sono conformi a norme specifiche (direttive) o ad altri documenti normativi.
La Dichiarazione di Conformità CE deve contenere le seguenti informazioni:
- nome ed indirizzo del produttore o del suo mandatario presente nella Comunità europea;
- descrizione del prodotto;
- riferimento alle relative norme e direttive armonizzate;
- qualsiasi riferimento alle specifiche tecniche per le quali è dichiarata la conformità;
- le ultime due cifre dell'anno in cui è stata apposta la marcatura CE;
- identificazione del firmatario.

Una copia della Dichiarazione di Conformità CE deve essere conservata dal produttore o dal suo rappresentante insieme alla documentazione tecnica.

1.2 Norme IEC relative ad impianti elettrici

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60027-1	1992	Letter symbols to be used in ectrical technology - Part 1: General
IEC 60034-1	2004	Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance
IEC 60617-DB-Snapshot	2007	Graphical symbols for diagrams
IEC 61082-1	2006	Preparation of documents used in electrotechnology - Part 1: Rules
IEC 60038	2002	IEC standard voltages
IEC 60664-1	2007	Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests
IEC 60909-0	2001	Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents
IEC 60865-1	1993	Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1: Definitions and calculation methods
IEC 60076-1	2000	Power transformers - Part 1: General
IEC 60076-2	1993	Power transformers - Part 2: Temperature rise
IEC 60076-3	2000	Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
IEC 60076-5	2006	Power transformers - Part 5: Ability to withstand short circuit
IEC/TR 60616	1978	Terminal and tapping markings for power transformers
IEC 60076-11	2004	Power transformers - Part 11: Dry-type transformers
IEC 60445	2006	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of equipment terminals and conductor terminations
IEC 60073	2002	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding for indicators and actuators
IEC 60446	2007	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of conductors by colours or alpha numerals
IEC 60447	2004	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Actuating principles
IEC 60947-1	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 1: General rules
IEC 60947-2	2006	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60947-3	2005	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units
IEC 60947-4-1	2002	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters
IEC 60947-4-2	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-2: Contactors and motor-starters – AC semiconductor motor controllers and starters
IEC 60947-4-3	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-3: Contactors and motor-starters – AC semiconductor controllers and contactors for non-motor loads
IEC 60947-5-1	2003	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-1: Control circuit devices and switching elements - Electromechanical control circuit devices
IEC 60947-5-2	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-2: Control circuit devices and switching elements – Proximity switches
IEC 60947-5-3	2005	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-3: Control circuit devices and switching elements – Requirements for proximity devices with defined behaviour under fault conditions
IEC 60947-5-4	2002	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5: Control circuit devices and switching elements – Section 4: Method of assessing the performance of low energy contacts. Special tests
IEC 60947-5-5	2005	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-5: Control circuit devices and switching elements - Electrical emergency stop device with mechanical latching function
IEC 60947-5-6	1999	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-6: Control circuit devices and switching elements – DC interface for proximity sensors and switching amplifiers (NAMUR)
IEC 60947-6-1	2005	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 6-1: Multiple function equipment – Transfer switching equipment
IEC 60947-6-2	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 6-2: Multiple function equipment - Control and protective switching devices (or equipment) (CPS)
IEC 60947-7-1	2002	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 7: Ancillary equipment - Section 1: Terminal blocks for copper conductors

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60947-7-2	2002	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 7: Ancillary equipment - Section 2: Protective conductor terminal blocks for copper conductors
IEC 60439-1	2004	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies
IEC 60439-2	2005	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 2: Particular requirements for busbar trunking systems (busways)
IEC 60439-3	2001	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 3: Particular requirements for low-voltage switchgear and controlgear assemblies intended to be installed in places where unskilled persons have access for their use - Distribution boards
IEC 60439-4	2004	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 4: Particular requirements for assemblies for construction sites (ACS)
IEC 60439-5	2006	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 5: Particular requirements for assemblies for power distribution in public networks
IEC 61095	2000	Electromechanical contactors for household and similar purposes
IEC/TR 60890	1987	A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear
IEC/TR 61117	1992	A method for assessing the short-circuit withstand strength of partially type-tested assemblies (PTTA)
IEC 60092-303	1980	Electrical installations in ships. Part 303: Equipment - Transformers for power and lighting
IEC 60092-301	1980	Electrical installations in ships. Part 301: Equipment - Generators and motors
IEC 60092-101	2002	Electrical installations in ships - Part 101: Definitions and general requirements
IEC 60092-401	1980	Electrical installations in ships. Part 401: Installation and test of completed installation
IEC 60092-201	1994	Electrical installations in ships - Part 201: System design - General
IEC 60092-202	1994	Electrical installations in ships - Part 202: System design - Protection

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60092-302	1997	Electrical installations in ships - Part 302: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies
IEC 60092-350	2001	Electrical installations in ships - Part 350: Shipboard power cables - General construction and test requirements
IEC 60092-352	2005	Electrical installations in ships - Part 352: Choice and installation of electrical cables
IEC 60364-5-52	2001	Electrical installations of buildings - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems
IEC 60227		Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V
	2007	Part 1: General requirements
	2003	Part 2: Test methods
	1997	Part 3: Non-sheathed cables for fixed wiring
	1997	Part 4: Sheathed cables for fixed wiring
	2003	Part 5: Flexible cables (cords)
	2001	Part 6: Lift cables and cables for flexible connections
	2003	Part 7: Flexible cables screened and unscreened with two or more conductors
IEC 60228	2004	Conductors of insulated cables
IEC 60245		Rubber insulated cables - Rated voltages up to and including 450/750 V
	2003	Part 1: General requirements
	1998	Part 2: Test methods
	1994	Part 3: Heat resistant silicone insulated cables
	2004	Part 4: Cord and flexible cables
	1994	Part 5: Lift cables
	1994	Part 6: Arc welding electrode cables
	1994	Part 7: Heat resistant ethylene-vinyl acetate rubber insulated cables
	2004	Part 8: Cords for applications requiring high flexibility
IEC 60309-2	2005	Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes - Part 2: Dimensional interchangeability requirements for pin and contact-tube accessories
IEC 61008-1	2006	Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) - Part 1: General rules
IEC 61008-2-1	1990	Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCB's). Part 2-1: Applicability of the general rules to RCCB's functionally independent of line voltage

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 61008-2-2	1990	Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCB's). Part 2-2: Applicability of the general rules to RCCB's functionally dependent on line voltage
IEC 61009-1	2006	Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs) - Part 1: General rules
IEC 61009-2-1	1991	Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBO's) Part 2-1: Applicability of the general rules to RCBO's functionally independent of line voltage
IEC 61009-2-2	1991	Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBO's) - Part 2-2: Applicability of the general rules to RCBO's functionally dependent on line voltage
IEC 60670-1	2002	Boxes and enclosures for electrical accessories for household and similar fixed electrical installations - Part 1: General requirements
IEC 60669-2-1	2002	Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2-1: Particular requirements – Electronic switches
IEC 60669-2-2	2006	Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2: Particular requirements – Section 2: Remote-control switches (RCS)
IEC 60669-2-3	2006	Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2-3: Particular requirements – Time-delay switches (TDS)
IEC 60079-10	2002	Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10: Classification of hazardous areas
IEC 60079-14	2002	Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 14: Electrical installations in hazardous areas (other than mines)
IEC 60079-17	2007	Explosive atmospheres - Part 17: Electrical installations inspection and maintenance
IEC 60269-1	2006	Low-voltage fuses - Part 1: General requirements
IEC 60269-2	2006	Low-voltage fuses. Part 2: Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons (fuses mainly for industrial application) examples of standardized system of fuses A to I

1 Norme

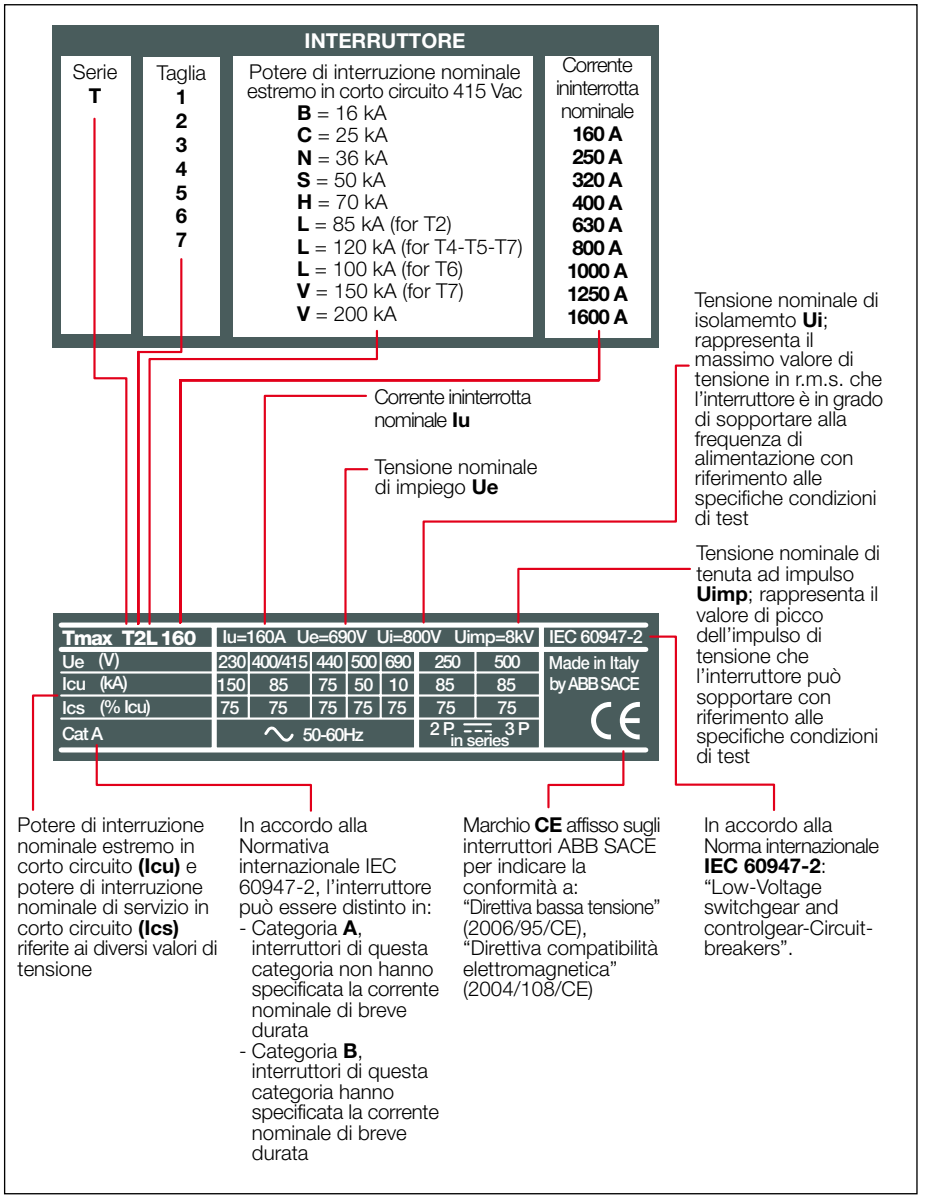
NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60269-3	2006	Low-voltage fuses - Part 3-1: Supplementary requirements for fuses for use by unskilled persons (fuses mainly for household and similar applications) - Sections I to IV: examples of standardized system of fuses A to F
IEC 60127-1/10		Miniature fuses -
	2006	Part 1: Definitions for miniature fuses and general requirements for miniature fuse-links
	2003	Part 2: Cartridge fuse-links
	1988	Part 3: Sub-miniature fuse-links
	2005	Part 4: Universal Modular Fuse-Links (UMF) Through-hole and surface mount types
	1988	Part 5: Guidelines for quality assessment of miniature fuse-links
	1994	Part 6: Fuse-holders for miniature cartridge fuse-links
	2001	Part 10: User guide for miniature fuses
EC 60364-1	2005	Low-voltage electrical installations Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions
IEC 60364-4-41	2005	Low-voltage electrical installations Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock
IEC 60364-4-42	2001	Electrical installations of buildings Part 4-42: Protection for safety - Protection against thermal effects
IEC 60364-4-43	2001	Electrical installations of buildings Part 4-43: Protection for safety - Protection against overcurrent
IEC 60364-4-44	2007	Low voltage electrical installation Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbance and electromagnetic disturbances
IEC 60364-5-51	2005	Electrical installations of buildings Part 5-51: Selection and erection of electrical equipment Common rules
IEC 60364-5-52	2001	Electrical installations of buildings Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment Wiring systems
IEC 60364-5-53	2002	Electrical installations of buildings Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment Isolation, switching and control
IEC 60364-5-54	2002	Electrical installations of buildings Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60364-5-55	2002	Electrical installations of buildings Part 5-55: Selection and erection of electrical equipment Other equipment
IEC 60364-6	2006	Electrical installations of buildings Part 6: Verification
IEC 60364-7	1984…2007	Electrical installations of buildings Part 7: Requirements for special installations or locations
IEC 60529	2001	Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
IEC 61032	1997	Protection of persons and equipment by enclosures - Probes for verification
IEC/TR 61000-1-1	1992	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 1: General - Section 1: application and interpretation of fundamental definitions and terms
IEC/TR 61000-1-3	2002	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 1-3: General - The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems

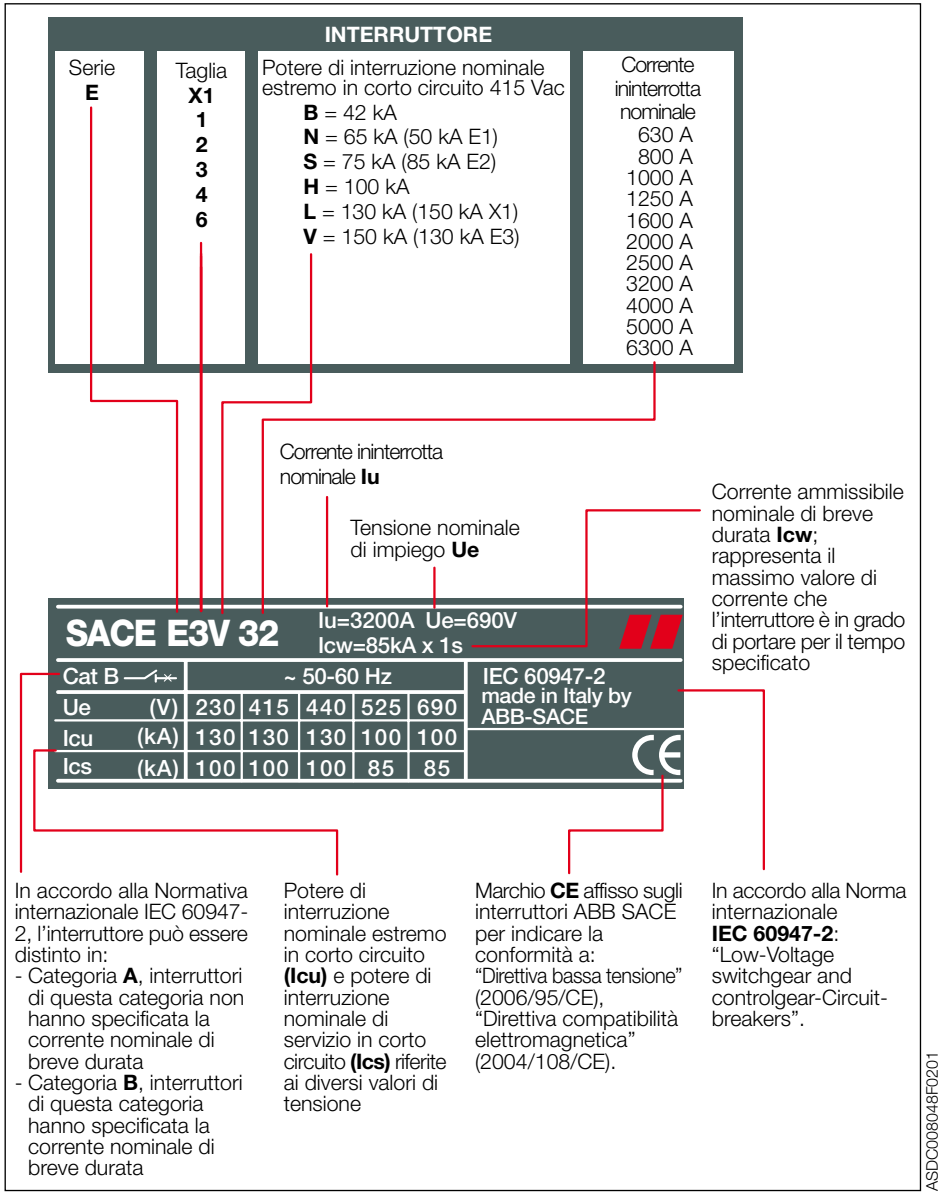
2.1 Dati di targa caratteristici degli interruttori

Interruttore scatolato: Tmax



2 Dispositivi di protezione e controllo

Interruttore aperto: Emax



2.2 Definizioni principali

Le definizioni principali relative agli apparecchi di protezione e manovra sono contenute nelle normative internazionali IEC 60947-1, IEC 60947-2 e IEC 60947-3.

Caratteristiche principali

Interruttore
Apparecchio meccanico di manovra, capace di stabilire, portare ed interrompere correnti in condizioni normali del circuito e anche di stabilire, portare per una durata specificata ed interrompere correnti in specificate condizioni anormali del circuito, come per es. quelle di cortocircuito.

Interruttore limitatore di corrente
Interruttore automatico con un tempo di interruzione sufficientemente breve per impedire che la corrente di cortocircuito raggiunga il valore di picco che altrimenti raggiungerebbe.

Interruttore rimovibile
Interruttore che possiede, in aggiunta ai contatti destinati all'interruzione, contatti che permettono la rimozione dell'interruttore stesso.

Interruttore estraibile
Interruttore che possiede, in aggiunta ai contatti destinati all'interruzione, contatti che permettono di scollegare l'interruttore dal circuito principale nella posizione di "estratto" e di raggiungere una distanza di sezionamento in accordo con le prescrizioni specificate.

Interruttore scatolato
Interruttore avente una scatola di supporto in materiale isolante stampato, che costituisce parte integrante dell'interruttore.

Interruttore di manovra-sezionatore
Dispositivo meccanico di manovra che, in posizione di aperto, risponde ai requisiti specificati per la funzione di sezionamento.

Sganciatore
Dispositivo, meccanicamente connesso ad un dispositivo meccanico di manovra, che libera gli organi di ritenuta e permette l'apertura o la chiusura del dispositivo di manovra.

2 Dispositivi di protezione e controllo

Tipi di guasto e correnti

Sovraccarico
Condizione di funzionamento in un circuito elettricamente sano che causa una sovracorrente.

Cortocircuito
Il collegamento accidentale o intenzionale, tramite una resistenza o impedenza relativamente bassa, di due o più punti in un circuito che sono normalmente a tensioni diverse.

Corrente differenziale (I_Δ)
Somma vettoriale delle correnti che circolano nel circuito principale dell'interruttore differenziale, espressa in valore efficace.

Prestazioni nominali

Tensioni e frequenze

Tensione nominale d'impiego (U_e)
La tensione nominale di impiego di un apparecchio è il valore di tensione che, unitamente alla corrente nominale d'impiego, determina l'uso dell'apparecchio stesso e alla quale sono riferite le prove applicabili e la categoria di utilizzazione.

Tensione nominale d'isolamento (U_i)
La tensione nominale di isolamento di un apparecchio è il valore di tensione al quale sono riferite le prove dielettriche e le distanze di isolamento superficiale. In nessun caso il massimo valore di tensione di impiego nominale può essere superiore al valore della tensione di isolamento nominale.

Tensione nominale di tenuta a impulso (U_{imp})
Valore di picco di una tensione a impulso di prescritta forma e polarità che l'apparecchio può sopportare senza guasti in condizioni specificate di prova e al quale sono riferiti i valori delle distanze d'isolamento in aria

Frequenza nominale
Frequenza di alimentazione per la quale l'apparecchio è progettato e alla quale corrispondono gli altri valori caratteristici.

Correnti

Corrente ininterrotta nominale (I_u)
La corrente nominale ininterrotta di un apparecchio è il valore di corrente, dichiarato dal costruttore, che l'apparecchio stesso può portare nel servizio ininterrotto.

Corrente differenziale nominale di intervento ($I_{\Delta n}$)
E' il valore efficace della corrente sinusoidale differenziale di intervento assegnato dal costruttore all'interruttore differenziale, al quale questo deve intervenire in condizioni specificate.

2 Dispositivi di protezione e controllo

Prestazioni in condizioni di corto circuito

Potere d'interruzione nominale estremo in cortocircuito (I_{cu})
Il potere d'interruzione nominale estremo in corto circuito di un interruttore è il valore della massima corrente di cortocircuito che l'interruttore è in grado di interrompere per due volte (secondo il ciclo O – t – CO), alla corrispondente tensione nominale di impiego. Dopo il ciclo di apertura e chiusura non è più richiesta l'attitudine dell'interruttore a condurre la sua corrente nominale.

Potere d'interruzione nominale di servizio in cortocircuito (I_{cs})
Il potere di interruzione nominale di servizio in cortocircuito di un interruttore è il valore di corrente che l'interruttore è in grado di interrompere per tre volte secondo un ciclo di operazioni di apertura, pausa e chiusura (O - t - CO - t – CO) ad una data tensione nominale di impiego (Ue) e ad un determinato fattore di potenza. Dopo il ciclo è richiesta l'attitudine dell'interruttore a condurre la sua corrente nominale.

Corrente nominale ammissibile di breve durata (I_{cw})
La corrente nominale ammissibile di breve durata è il valore della corrente che l'interruttore può portare nella posizione di chiuso per un tempo breve in condizioni d'impiego e comportamento specificati; l'interruttore deve poter portare tale corrente per tutta la durata del tempo di ritardo previsto per garantire la selettività tra gli interruttori posti in serie.

Potere di chiusura nominale in corto circuito (I_{cm})
Il potere di chiusura nominale in cortocircuito di un apparecchio è il valore, dichiarato dal costruttore, in corrispondenza alla tensione di impiego nominale, frequenza nominale, e ad uno specificato fattore di potenza in corrente alternata o costante di tempo in corrente continua. È espresso come il massimo valore di picco della corrente presunta in condizioni specificate.

2 Dispositivi di protezione e controllo

Categorie d'impiego

La categoria di utilizzazione di un interruttore deve essere stabilita a seconda che esso sia o non sia specificamente inteso per ottenere la selettività per mezzo di ritardo intenzionale, rispetto ad altri dispositivi posti in serie sul lato carico in condizioni di cortocircuito (tabella 4 IEC 60947-2).

Categoria A - Interruttori non specificamente previsti per la selettività in condizioni di cortocircuito in relazione ad altri dispositivi di protezione posti in serie sul lato carico, cioè senza ritardo intenzionale, applicabile in condizioni di cortocircuito, e perciò senza specificazione di corrente nominale di breve durata.

Categoria B - Interruttori specificamente previsti per la selettività di cortocircuito rispetto ad altri dispositivi di protezione posti in serie sul lato carico,cioè con un ritardo intenzionale (che può essere regolabile) applicabile in condizioni di cortocircuito. Questi interruttori hanno specificata la corrente nominale di breve durata.
Un interruttore viene classificato in categoria B se il suo valore di Icw è superiore a (tabella 3 della IEC 60947-2):

il maggiore tra 12·In e 5 kA	per In ≤ 2500A
30 kA	per In > 2500A

Durata elettrica e meccanica

Durata meccanica
La durata meccanica (o vita meccanica) di un apparecchio esprime il numero di cicli di manovra senza carico (ogni ciclo di manovra consiste in una manovra di chiusura e di apertura) che l'apparecchio è in grado di effettuare senza revisioni o sostituzioni di parti meccaniche (è ammessa la manutenzione ordinaria).

Durata elettrica
La durata elettrica (o vita elettrica) di un apparecchio esprime il numero di cicli di manovra sotto carico e la resistenza dei contatti all'usura elettrica nelle condizioni specificate nella relativa Norma di prodotto.

2.3 Tipi di sganciatori

L'interruttore automatico deve controllare e proteggere, in caso di guasto o malfunzionamento, gli elementi di impianto ad esso connessi. Per svolgere tale funzione, in seguito al rilevamento di una condizione anomala (in impianti in bassa tensione generalmente associata a sovracorrenti), lo sganciatore agisce in un tempo definito comandando l'operazione di apertura della parte interruttiva.
Gli sganciatori di protezione degli interruttori scatolati ed aperti ABB SACE sono in grado di controllare e proteggere qualsiasi impianto, dai più semplici a quelli che richiedono requisiti particolari, grazie alle loro ampie possibilità di regolazione sia delle soglie che dei tempi di intervento.
Tra i dispositivi sensibili alle sovracorrenti, possiamo avere:

- sganciatori termomagnetici e sganciatori solo magnetici;
- sganciatori elettronici;
- sganciatori differenziali.

La scelta e la regolazione dello sganciatore di protezione si basano sia sulle caratteristiche dell'impianto da proteggere, sia sulle necessità di coordinamento con altri dispositivi; in generale, elementi discriminanti nella selezione sono la soglia, il tempo e la caratteristica della curva di intervento richiesti.

2.3.1 SGANCIATORI TERMOMAGNETICI E SGANCIATORI SOLO MAGNETICI

Gli sganciatori termomagnetici utilizzano un bimetallo e un elettromagnete per rilevare i sovraccarichi e i corto circuiti; sono adatti per la protezione di reti sia in corrente alternata sia in corrente continua.

La seguente tabella indica i tipi di sganciatori termomagnetici e solo magnetici disponibili per interruttori Tmax.

interruttori	sganciatori termomagnetici					
	MF	MA	TMF	TMD	TMA	TMG
T1	-	-	■	■	-	-
T2	■	■	-	■	-	■
T3	-	■	-	■	-	■
T4	-	■	-	■	■	-
T5	-	-	-	-	■	■
T6	-	-	-	-	■	-

Legenda
MF Sganciatori solo magnetici fissi
MA Sganciatori solo magnetici regolabili
TMG Sganciatore termomagnetico per protezione generatori
TMF Sganciatore termomagnetico con soglia termica e magnetica fissa
TMD Sganciatore termomagnetico con soglia termica regolabile e magnetica fissa
TMA Sganciatore termomagnetico con soglia termica e magnetica regolabile

Distribuzione di potenza

int. scat.	T1	T2	T3	T4	T5		T6	
In \ Iu	160	160	250	250	400	630	630	800
1,6		TMD						
2								
2,5								
3,2								
4								
5								
6,3								
8								
10								
12.5								
16	TMF TMD	TMD TMG						
20		TMD		TMD				
25		TMD TMG						
32		TMD		TMD				
40		TMD TMG	TMG					
50		TMD		TMD				
63		TMD TMG	TMD TMG					
80				TMA				
100								
125								
160								
200					TMA TMG	TMA TMG		
250								
320								
400								
500								
630							TMA	
800								TMA

Protezione motori

int. scat.	T2	T3	T4
In \ Iu	160	250	250
1	MF		
1,6			
2			
2,5			
3,2			
4			
5			
6,5			
8,5			
10			MA
11			
12,5			
20	MA		
25			MA
32	MA		
52			MA
80			
100		MA	
125			
160			
200			

Legenda
MF Sganciatori solo magnetici fissi
MA Sganciatori solo magnetici regolabili
TMG Sganciatore termomagnetico per protezione generatori
TMF Sganciatore termomagnetico con soglia termica e magnetica fissa
TMD Sganciatore termomagnetico con soglia termica regolabile e magnetica fissa
TMA Sganciatore termomagnetico con soglia termica e magnetica regolabile

2 Dispositivi di protezione e controllo

2.3.2 SGANCIATORI ELETTRONICI

Questi sganciatori sono collegati a trasformatori amperometrici (tre o quattro in base al numero di conduttori da proteggere), che, posizionati all'interno dell'interruttore, svolgono la doppia funzione di fornire l'alimentazione necessaria per il corretto funzionamento dello sganciatore (autoalimentazione) e di rilevare il valore della corrente che attraversa i conduttori attivi; sono perciò compatibili solo con reti in corrente alternata.
Il segnale proveniente dai trasformatori e dalle bobine di Rogowsky viene opportunamente elaborato dall'elettronica (microprocessore) che lo confronta con le soglie impostate. Quando il segnale supera le soglie, lo sgancio dell'interruttore è comandato tramite un solenoide d'apertura che agisce direttamente sul gruppo di comando dell'interruttore.
Nel caso di un'alimentazione ausiliaria in aggiunta all'autoalimentazione, la tensione deve avere un valore di 24 Vc.c. ± 20%.

Oltre alle normali funzioni di protezione, gli sganciatori forniscono:

- misurazioni di correnti (PR222, PR232, PR331, PR121);
- misurazioni di correnti, tensione, frequenza, potenza, energia, fattore di potenza (PR223, PR332, PR122) inoltre per PR333 e PR123 è disponibile la misurazione delle distorsioni armoniche;
- comunicazione seriale con controllo e comando a distanza per la gestione completa dell'impianto (PR212, PR222, PR223, PR232, PR331, PR332, PR333, PR121, PR122, PR123).

La seguente tabella riporta i tipi di sganciatori elettronici disponibili per gli interruttori Tmax e Emax.

interruttori	sganciatori elettronici per interruttori ABB SACE										
	PR221	PR222	PR223	PR231	PR232	PR331	PR332	PR333	PR121	PR122	PR123
T2	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T4	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-
T5	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-
T6	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-
T7	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-	-
X1	-	-	-	-	-	■	■	■	-	-	-
E1	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E2	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E3	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E4	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E5	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E6	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■

2 Dispositivi di protezione e controllo

La seguente tabella mostra le correnti nominali disponibili per gli interruttori Tmax e Emax.

int. scat.	T2	T4		T5		T6			T7			
In \ Iu	160	250	320	400	630	630	800	1000	800	1000	1250	1600
10	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	-	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-
320	-	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	■	■	-	-	-	■	■	■	■
630	-	-	-	-	■	■	-	-	■	■	■	■
800	-	-	-	-	-	-	■	-	■	■	■	■
1000	-	-	-	-	-	-	-	■	-	■	■	■
1250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■
1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■

int. aperti		E3H-V E2S	E3 N-S-H-V E2N-S-L E1B-N	E2B-N-S-L	E3 S-H-V-L E2B-N-S		E3 N-S-H-V	E4S-H-V		E6V	E6H-V		
		X1B-N-L		X1B-N									
In \ Iu	630	800	1250*	1600	2000	2500	3200		4000	3200	4000	5000	6300
400	■	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-	-
630	■	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-	-
800	-	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-	-
1250	-	-	■	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-
1600	-	-	-	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	■	■	■	■	■	-	-	-	-
2500	-	-	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-	-
3200	-	-	-	-	-	-	■	■	■	■	■	■	■
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	■	-	■	■	■
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■
6300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■

* Valido anche per Iu = 1000 A (non disponibili per E3V e E2L).

Esempio di lettura della tabella
L'interruttore E3L è disponibile con Iu=2000A e Iu=2500A, ma non con Iu=3200A.

2.3.2.1 FUNZIONI DI PROTEZIONE DEGLI SGANCIATORI ELETTRONICI

Le funzioni di protezione disponibili per gli sganciatori elettronici sono:

L - Protezione da sovraccarico con ritardo a tempo lungo inverso
Funzione di protezione dai sovraccarichi con intervento ritardato a tempo lungo inverso (I^2t=k), non escludibile.

L - Protezione da sovraccarico in conformità con la Norma IEC 60255-3
Funzione di protezione da sovraccarichi con intervento ritardato a tempo lungo inverso e curva d'intervento secondo la Norma IEC 60255-3; trovano la loro applicazione nel coordinamento con fusibili e con protezioni di media tensione.

S - Protezione da corto circuito con ritardo regolabile
Funzione di protezione da correnti di corto circuito con ritardo regolabile; grazie al ritardo impostabile questa protezione è particolarmente utile quando è necessario ottenere coordinamenti selettivi i tra diversi dispositivi.

2 Dispositivi di protezione e controllo

S_2- Doppia S
Questa funzione permette di impostare indipendentemente e contemporaneamente due soglie della funzione di protezione S, in modo tale da ottenere selettività in condizioni molto critiche.
D - Protezione direzionale da corto circuito con ritardo regolabile
La protezione direzionale, che è simile alla funzione S, è in grado di intervenire in modo diverso in base alla direzione della corrente di corto circuito; è particolarmente idonea nelle reti magliate o con linee d'alimentazione multiple in parallelo.
I - Protezione da corto circuito con intervento istantaneo
Funzione per la protezione istantanea da corto circuito.
EFDP – Early Fault Detection and Prevention
Con questa funzione, lo sganciatore è in grado di individuare il cortocircuito alla sua nascita favorendo la selettività tra interruttori.
Rc - Protezione differenziale
Questa funzione è particolarmente adatta dove è richiesta la protezione differenziale per la protezione contro i contatti indiretti.
G - Protezione contro i guasti a terra con ritardo regolabile
Funzione che protegge l'impianto da guasti a terra con intervento ritardato e regolabile.
U – Protezione dallo sbilanciamento di fase
Funzione di protezione che interviene nel caso in cui venga rilevato uno sbilanciamento tra le correnti delle singole fasi protette dall'interruttore.
OT - Protezione contro la sovratemperatura
Funzione di protezione che comanda l'apertura dell'interruttore qualora la temperatura all'interno dello sganciatore possa pregiudicarne il funzionamento.
UV - Protezione da minima tensione
Funzione di protezione che interviene quando la tensione di fase scende al di sotto della soglia impostata.
OV - Protezione da sovratensione
Funzione di protezione che interviene quando la tensione di fase supera la soglia impostata.
RV - Protezione da tensione residua
Protezione in grado di rilevare delle tensioni anomale sul conduttore di neutro.
RP - Protezione da inversione di potenza attiva
Protezione che interviene quando il flusso della potenza attiva si inverte rispetto al funzionamento normale.
UF - Protezione da minima frequenza
Questa protezione di frequenza comanda l'apertura dell'interruttore (o genera un allarme) quando la frequenza scende sotto la soglia impostata
OF - Protezione da massima frequenza
Questa protezione comanda l'apertura dell'interruttore (o genera un allarme) quando la frequenza sale al di sopra della soglia impostata.
M - Memoria termica
Grazie a questa funzione, lo sganciatore è in grado di adeguare il tempo d'intervento della protezione in base a quanto tempo è trascorso dopo un primo sovraccarico (evitando in questo modo un ulteriore surriscaldamento del componente prima che si sia raffreddato).
R - Protezione dal blocco del rotore
Funzione che interviene appena vengono rilevate condizioni che potrebbero portare al blocco del rotore del motore protetto durante il funzionamento.
La funzione R protegge il motore da un eventuale blocco del rotore durante il funzionamento.
Iinst - Protezione istantanea ultrarapida da corto circuito
Questa particolare funzione di protezione ha lo scopo di mantenere l'integrità dell'interruttore e dell'impianto nel caso di alte correnti che richiedono ritardi

2 Dispositivi di protezione e controllo

più bassi di quelli garantiti dalla protezione da corto circuito istantaneo. Questa particolare funzione di protezione ha lo scopo di preservare l'integrità dell'interruttore e dell'impianto in caso di correnti particolarmente elevate che richiedano tempi di reazione minori rispetto a quelli garantiti dalla protezione da corto circuito istantaneo. Il suo settaggio è esclusivamente a cura del personale ABB SACE e non può essere disabilitata.
Dual setting
Con questa funzione è possibile programmare due set distinti di parametri (LSIG) e, tramite un controllo esterno, commutare da una serie all'altra.
K – Controllo carico
Grazie a questa funzione, è possibile inserire /disinserire carichi singoli sul lato carico prima dell'intervento della protezione dal sovraccarico L.

La seguente tabella riassume gli sganciatori elettronici e le funzioni che implementano:

	PR221	PR222	PR223	PR231	PR232	PR331	PR332	PR333	PR121	PR122	PR123	Sganciatori elettronici
Funzione di protezione												
L (t=k/I²)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Protezione contro il sovraccarico
L						■	■		■	■		Curva d'intervento in accordo alla IEC 60255-3
S1 (t=k)		■	■		■	■	■	■	■	■	■	Protezione contro il corto circuito con intervento ritardato
S1 (t=k/I²)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Protezione contro il corto circuito con intervento ritardato
S2 (t=k)							■			■	■	Protezione contro il corto circuito con intervento ritardato
D (t=k)							■			■	■	Protezione contro il corto circuito direzionale
I (t=k)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Protezione contro il corto circuito istantaneo
G (t=k)		■	■			■	■	■	■	■	■	Protezione contro il guasto a terra con ritardo ragolabile
G (t=k/I²)		■	■			■	■	■	■	■	■	Protezione contro il guasto a terra con ritardo ragolabile
Gext (t=k)							■	■		■	■	Protezione contro il guasto a terra con ritardo ragolabile
Gext (t=k/I²)							■	■		■	■	Protezione contro il guasto a terra con ritardo ragolabile
Gext (Idn)							■	■		■	■	Protezione contro il guasto a terra con ritardo ragolabile
Rc (t=k)							○	■		○	■	Protezione differenziale
U (t=k)							■	■		■	■	Protezione contro lo sbilanciamento delle fasi
OT							■	■		■	■	Protezione contro la sovratemperatura
UV (t=k)							○	■		○	■	Protezione da minima tensione
OV (t=k)							○	■		○	■	Protezione da sovratensione
RV (t=k)							○	■		○	■	Protezione da tensione residua
RP (t=k)							○	■		○	■	Protezione da inversione di potenza attiva
UF							○	■		○	■	Protezione da minima frequenza
OF							○	■		○	■	Protezione da massima frequenza
Iinst							■	■	■	■	■	Protezione istantanea ultrarapida da corto circuito
EF		■										Early Fault Detection and Prevention

○ Solo con PR120/V per Emax e PR330/V per X1

2 Dispositivi di protezione e controllo

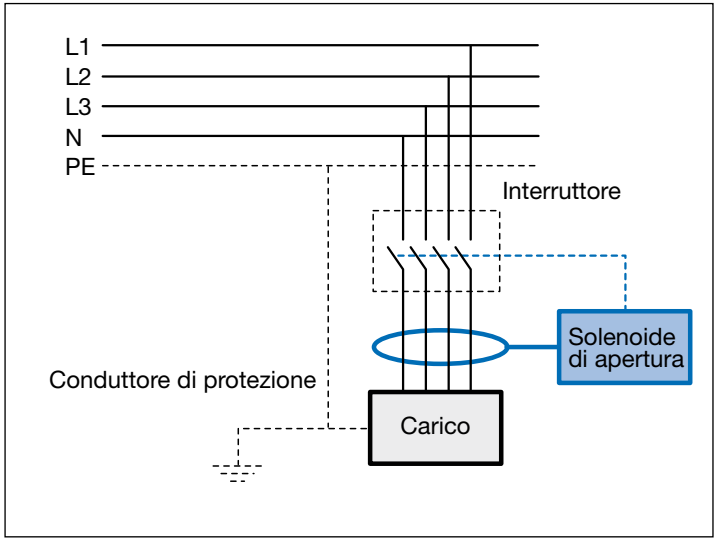
2.3.3 DISPOSITIVI A CORRENTE DIFFERENZIALE

Gli sganciatori differenziali vengono associati all'interruttore per ottenere due funzioni principali in un solo dispositivo:
- protezione contro i sovraccarichi e i corto circuiti;
- protezione contro i contatti indiretti (presenza di tensione su masse dovuta alla perdita di isolamento).

Inoltre, possono garantire una protezione aggiuntiva contro il rischio d'incendio derivante dall'evoluzione di un piccolo guasto o di correnti di dispersione che non vengono rilevati dalle normali protezioni dal sovraccarico.
Dispositivi differenziali con corrente differenziale nominale che non supera i 30 mA vengono anche utilizzati per una protezione addizionale contro i contatti diretti. La loro logica si basa sul rilevamento della somma vettoriale delle correnti di linea attraverso un toroide interno o esterno.
In assenza di guasto a terra la somma vettoriale delle correnti I_Δ è zero; in caso di guasto a terra se il valore di I_Δ supera il valore di soglia di intervento $I_{\Delta n}$, il circuito posto sul secondario del toroide invia un segnale di comando a un apposito sganciatore di apertura che provoca l'intervento dell'interruttore.

Come si può vedere nella figura, il conduttore di protezione o il conduttore equipotenziale devono essere installati esternamente all'eventuale toroide esterno.

Sistema di distribuzione generico (IT, TT, TN)



Il principio di funzionamento dello sganciatore di corrente differenziale lo rende idoneo per i sistemi di distribuzione TT, IT (anche se quest'ultimo necessita particolare attenzione) e TN-S, ma non per i sistemi TN-C. Infatti, in questi sistemi, il neutro viene usato anche come conduttore di protezione e quindi il rilevamento della corrente differenziale non sarebbe possibile se il neutro passasse attraverso il toroide, poiché la somma vettoriale delle correnti sarebbe sempre uguale allo zero.

2 Dispositivi di protezione e controllo

Una delle caratteristiche principali di uno sganciatore differenziale è la sua corrente differenziale nominale minima $I_{\Delta n}$. Questa rappresenta la sensibilità dello sganciatore.
In base alla tipologia di corrente di guasto che possono rilevare gli sganciatori differenziali vengono classificati come:
- tipo AC: dispositivo differenziale il cui intervento è assicurato per correnti alternate sinusoidali differenziali applicate improvvisamente o lentamente crescenti
- tipo A: dispositivo differenziale il cui intervento è assicurato per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti unidirezionali differenziali pulsanti applicate improvvisamente o lentamente crescenti
- tipo B: un dispositivo differenziale per il quale l'intervento è garantito per corrente alternata sinusoidale differenziale, per correnti differenziali pulsanti unidirezionali, per correnti differenziali che possono essere generate da circuiti di raddrizzamento.

	Forme d'onda delle correnti differenziali	Corretto funzionamento di dispositivi differenziali Tipo		
		AC	A	B
c.a. sinusoidale	applicate improvvisamente lentamente crescenti	+	+	+
c.c. pulsante	applicate improvvisamente con o senza 0,006A lentamente crescenti		+	+
c.c. stabile				+

1SDC008003F0201

In presenza di apparecchi elettrici con componenti elettronici (computer, fotocopiatrici, fax ecc.) la corrente di guasto a terra potrebbe assumere una forma non sinusoidale ma unidirezionale pulsante. In questi casi è necessario usare uno sganciatore di corrente differenziale classificato come tipo A.
In presenza di circuiti raddrizzatori (un raddrizzatore a semionda con carico capacitivo che crea una corrente continua livellata, oppure un raddrizzatore trifase a stella a tre semionde o a ponte a sei semionde).
collegamento a stella a tre impulsi o collegamento a ponte a sei impulsi, collegamento linea-linea a due impulsi) la corrente di guasto a terra potrebbe assumere una forma unidirezionale in c.c.
In questo caso è necessario usare uno sganciatore differenziale classificato come tipo B.

2 Dispositivi di protezione e controllo

Per venire incontro alle esigenze di un'adeguata protezione contro i guasti a terra ABB SACE ha realizzato le seguenti categorie di prodotto:

- Interruttori scatolati:

- sganciatore differenziale RC221, da accoppiare agli interruttori Tmax T1, T2, T3 con correnti nominali da 16 A a 250 A;
- sganciatore differenziale RC222 da accoppiare agli interruttori Tmax T1, T2, T3, T4, T5 con correnti ininterrotte nominali da 16 A a 400 A;
- sganciatore differenziale RC223 da accoppiare all'interruttore Tmax T4 con correnti nominali fino a 250 A;
- sganciatore elettronico PR222DS/P, PR223DS/P, PR223EF LSIG per gli interruttori Tmax T4, T5, T6 con correnti ininterrotte nominali da 100 A a 1000 A;
- sganciatore elettronico PR331, PR332 LSIG per l'interruttore Tmax T7 con correnti ininterrotte nominali da 800 A a 1600 A;
- sganciatore elettronico PR332 con protezione integrata differenziale per l'interruttore Tmax T7 con correnti ininterrotte nominali da 800 A a 1600 A.

		RC221	RC222		RC223
Taglia		T1-T2-T3	T1-T2-T3	T4 e T5 4p	T4 4p
Tipologia		forma a "L"		sottoposto	
Tecnologia		microprocessore			
Azione		solenoide			
Tensione primaria di funzionamento[1]	[V]	85…500	85…500	85…500	110…500
Frequenza di funzionamento	[Hz]	45…66	45…66	45…66	0-400-700-1000
Autoalimentazione		■	■	■	■
Campo di funzionamento test [1]		85…500	85…500	85…500	110…500
Corrente nominale di impiego	[A]	fino a 250 A	fino a 250 A	fino a 500 A	fino a 250 A
Soglie di intervento regolabili	[A]	0.03-0.1-0.3 0.5-1-3	0.03-0.05-0.1-0.3 0.5-1-3-5-10	0.03-0.05-0.1 0.3-0.5-1-3-5-10	0.03-0.05-0.1 0.3-0.5-1
Tempo di intervento regolabili	[s]	Istantaneo	Istantaneo - 0.1 -0.2-0.3-0.5-1-2-3	Istantaneo - 0.1 -0.2-0.3-0.5-1-2-3	Istantaneo -0- 0.1 -0.2-0.3-0.5-1-2-3
Tolleranza sui tempi d'intervento			±20%	±20%	±20%

[1] Funzionamento fino a 50 V fase-neutro (55 V per RC223).

- Interruttori automatici aperti:

- sganciatore elettronico PR331, PR332, PR333 LSIG per l'interruttore Emax X1 con correnti ininterrotte nominali da 630 A a 1600 A;
- interruttori automatici aperti con sganciatore elettronico PR121, PR122, PR123 LSIG per gli interruttori Emax E1 ÷ E6 con correnti ininterrotte nominali da 400 A a 6300 A;
- sganciatore elettronico PR332 e PR333 con protezione integrata differenziale per l'interruttore Emax X1 con correnti ininterrotte nominali da 630 A a 1600 A;
- sganciatore elettronico PR122 e PR123 con protezione integrata differenziale per gli interruttori Emax E1 ÷ E6 con correnti ininterrotte nominali da 400 A a 6300 A.

2 Dispositivi di protezione e controllo

La seguente tabella riassume le gamme di prodotto degli interruttori ABB SACE per la protezione contro i guasti a terra.

		In	RC221	RC222	RC223	PR222 LSIG	PR223 LSIG	PR331 PR332 PR333[2] LSIG	PR332 PR333[2] LSIRc	PR121 PR122 PR123 LSIG	PR122 LSIRc
		tipo	A-AC	A-AC	B	-	-	-	A-AC	-	A-AC
int. scat.	**T1**	16÷160	■	■	-	-	-	-	-	-	-
	T2	10÷160	■	■	-	-	-	-	-	-	-
	T3	63÷250	■	■	-	-	-	-	-	-	-
	T4	100÷320	-	■	[1]■	■	■	-	-	-	-
	T5	320÷630	-	■	-	■	■	-	-	-	-
	T6	630÷1000	-	-	-	■	■	-	-	-	-
	T7	800÷1600	-	-	-	-	-	■	■	-	-
int. aperto	**X1**	400÷1600	-	-	-	-	-	■	■	-	-
	E1	400÷1600	-	-	-	-	-	-	-	■	■
	E2	400÷2000	-	-	-	-	-	-	-	■	■
	E3	400÷3200	-	-	-	-	-	-	-	■	■
	E4	1250÷4000	-	-	-	-	-	-	-	■	-
	E6	3200÷6300	-	-	-	-	-	-	-	■	-

[1] Solo per T4 250.
[2] Solo per X1.

Relè differenziale con trasformatore esterno

Gli interruttori ABB SACE possono essere abbinati anche ai relè differenziali RCQ con toroide separato per soddisfare esigenze in cui le condizioni di installazione sono particolarmente restrittive, come interruttori già installati, spazio limitato nella cella interruttore ecc...
Date le caratteristiche di regolazione della corrente differenziale e dei tempi d'intervento, i relè differenziali con trasformatore esterno possono essere inseriti agevolmente anche nelle sezioni terminali dell'impianto (infatti selezionando la corrente differenziale di intervento $I_{\Delta n}$=0.03A con intervento istantaneo, l'interruttore assicura la protezione contro i contatti indiretti e rappresenta una protezione aggiuntiva contro i contatti diretti anche in presenza di valori di resistenza di terra particolarmente elevati.Tali differenziali sono del tipo ad azione indiretta ossia il comando d'apertura dato dal relè deve provocare l'apertura dell'interruttore attraverso uno sganciatore di apertura (da ordinare a cura del cliente).

Relè differenziale			SACE RCQ
Tensione di alimentazione		c.a. [V]	80…500
		c.c. [V]	48…125
Frequenza di funzionamento		[Hz]	45÷66
Regolazione soglia di intervento IΔn	1ª gamma di regolazione	[A]	0.03-0.05-0.1-0.3-0.5
	2ª gamma di regolazione	[A]	1-3-5-10-30
Regolazione soglia di intervento		[s]	0-0.1-0.2-0.3-0.5-0.7-1-2-3-5

3 Caratteristiche generali

3.1 Caratteristiche elettriche degli interruttori

Interruttori scatolati Tmax

		Tmax T1 1P	Tmax T1			Tmax T2					
Corrente ininterrotta nominale, **Iu**	[A]	160	160			160					
Poli	[Nr]	1	3/4			3/4					
Tensione nominale d'impiego, **Ue** (c.a.) 50-60 Hz	[V]	240	690			690					
(c.c.)	[V]	125	500			500					
Tensione nominale di tenuta ad impulso, **Uimp**	[kV]	8	8			8					
Tensione nominale d'isolamento, **Ui**	[V]	500	800			800					
Tensione di prova a frequenza industriale per 1 min.	[V]	3000	3000			3000					
Potere di interruzione nominale limite in cortocircuito, **Icu**		**B**	**B**	**C**	**N**	**B**	**C**	**N**	**S**	**H**	**L**
(c.a.) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	25*	25	40	50	25	40	65	85	100	120
(c.a.) 50-60 Hz 380/415 V	[kA]	–	16	25	36	16	25	36	50	70	85
(c.a.) 50-60 Hz 440 V	[kA]	–	10	15	22	10	15	30	45	55	75
(c.a.) 50-60 Hz 500 V	[kA]	–	8	10	15	8	10	25	30	36	50
(c.a.) 50-60 Hz 690 V	[kA]	–	3	4	6	3	4	6	7	8	10
(c.c.) 250 V - 2 poli in serie	[kA]	25 (a 125 V)	16	25	36	16	25	36	50	70	85
(c.c.) 250 V - 3 poli in serie	[kA]	–	20	30	40	20	30	40	55	85	100
(c.c.) 500 V - 2 poli in serie	[kA]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
(c.c.) 500 V - 3 poli in serie	[kA]	–	16	25	36	16	25	36	50	70	85
(c.c.) 750 V - 3 poli in serie	[kA]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Potere di interruzione nominale di servizio in cortocircuito, **Ics**											
(c.a.) 50-60 Hz 220/230 V	[%Icu]	75%	100%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
(c.a.) 50-60 Hz 380/415 V	[%Icu]	–	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	75% (70 kA)
(c.a.) 50-60 Hz 440 V	[%Icu]	–	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
(c.a.) 50-60 Hz 500 V	[%Icu]	–	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
(c.a.) 50-60 Hz 690 V	[%Icu]	–	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
Potere di chiusura nominale in cortocircuito, **Icm**											
(c.a.) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	52.5	52.5	84	105	52.5	84	143	187	220	264
(c.a.) 50-60 Hz 380/415 V	[kA]	–	32	52.5	75.6	32	52.5	75.6	105	154	187
(c.a.) 50-60 Hz 440 V	[kA]	–	17	30	46.2	17	30	63	94.5	121	165
(c.a.) 50-60 Hz 500 V	[kA]	–	13.6	17	30	13.6	17	52.5	63	75.6	105
(c.a.) 50-60 Hz 690 V	[kA]	–	4.3	5.9	9.2	4.3	5.9	9.2	11.9	13.6	17
Durata di apertura (415 V)	[ms]	7	7	6	5	3	3	3	3	3	3
Categoria di utilizzazione (IEC 60947-2)		A	A			A					
Norma di riferimento		IEC 60947-2	IEC 60947-2			IEC 60947-2					
Attitudine al sezionamento		■	■			■					
Intercambiabilità		–	–			–					
Esecuzioni		F	F			F-P					
Vita meccanica	[Nr. manovre]	25000	25000			25000					
	[Nr. manovre orarie]	240	240			240					
Vita elettrica @ 415 V c.a.	[Nr. manovre]	8000	8000			8000					
	[Nr. manovre orarie]	120	120			120					

F = Interruttore fisso
P = Interruttore rimovibile
W = Interruttore estraibile

(*) Il potere d'interruzione per le tarature In=16 A e In=20 A è 16 kA

3 Caratteristiche generali

Tmax T3		Tmax T4					Tmax T5					Tmax T6				Tmax T7			
250		250/320					400/630					630/800/1000				800/1000/1250/1600			
3/4		3/4					3/4					3/4				3/4			
690		690					690					690				690			
500		750					750					750				–			
8		8					8					8				8			
800		1000					1000					1000				1000			
3000		3500					3500					3500				3500			
N	**S**	**N**	**S**	**H**	**L**	**V**	**N**	**S**	**H**	**L**	**V**	**N**	**S**	**H**	**L**	**S**	**H**	**L**	**V**(6)
50	85	70	85	100	200	200	70	85	100	200	200	70	85	100	200	85	100	200	200
36	50	36	50	70	120	200	36	50	70	120	200	36	50	70	100	50	70	120	150
25	40	30	40	65	100	180	30	40	65	100	180	30	45	50	80	50	65	100	130
20	30	25	30	50	85	150	25	30	50	85	150	25	35	50	65	40	50	85	100
5	8	20	25	40	70	80	20	25	40	70	80	20	22	25	30	30	42	50	60
36	50	36	50	70	100	150	36	50	70	100	150	36	50	70	100	–	–	–	–
40	55	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	25	36	50	70	100	25	36	50	70	100	20	35	50	65	–	–	–	–
36	50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	16	25	36	50	70	16	25	36	50	70	16	20	36	50	–	–	–	–
75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
75%	50% (27 kA)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%(1)	100%(2)	100%	100%	100%	75%	100%	100%	75%	100%
75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%(1)	100%(2)	100%(2)	75%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%
105	187	154	187	220	440	660	154	187	220	440	660	154	187	220	440	187	220	440	440
75.6	105	75.6	105	154	264	440	75.6	105	154	264	440	75.6	105	154	220	105	154	264	330
52.5	84	63	84	143	220	396	63	84	143	220	396	63	94.5	105	176	105	143	220	286
40	63	52.5	63	105	187	330	52.5	63	105	187	330	52.5	73.5	105	143	84	105	187	220
7.7	13.6	40	52.5	84	154	176	40	52.5	84	154	176	40	46	52.5	63	63	88.2	105	132
7	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	10	9	8	7	15	10	8	8
A		A					B (400 A)(3) - A (630 A)					B (630A - 800A)(5) - A (1000A)				B(7)			
IEC 60947-2		IEC 60947-2					IEC 60947-2					IEC 60947-2				IEC 60947-2			
■		■					■					■				■			
–		■					■					■				■			
F-P		F-P-W					F-P-W					F-W(4)				F-W			
25000		20000					20000					20000				10000			
240		240					120					120				60			
8000		8000 (250 A) - 6000 (320 A)					7000 (400 A) - 5000 (630 A)					7000 (630A) - 5000 (800A) - 4000 (1000A)				2000 (versioni S-H-L) - 3000 (versione V)			
120		120					60					60				60			

(1) 75% per T5 630
(2) 50% per T5 630
(3) Icw = 5 kA
(4) Non disponibile su T6 1000 A
(5) Icw = 7,6 kA (630 A) - 10 kA (800 A)
(6) Solo per T7 800/1000/1250 A
(7) Icw = 20 kA (versioni S,H,L) - 15 kA (versione V)

Nota: Nell'esecuzione rimovibile di T2, T3 e T5 630 e nell'esecuzione estraibile di T5 630 la massima taratura è declassata del 10% a 40 °C

3 Caratteristiche generali

Interruttori automatici per protezione motori

			Tmax T2				Tmax T3	
Corrente ininterrotta nominale, **Iu**		[A]	160				250	
Corrente nominale d'impiego, **In**		[A]	1…100				100…200	
Poli		[Nr]	3				3	
Tensione nominale d'impiego, **Ue**	(c.a.) 50-60 Hz	[V]	690				690	
	(c.c.)	[V]	500				500	
Tensione nominale di tenuta ad impulso, **Uimp**		[kV]	8				8	
Tensione nominale d'isolamento, **Ui**		[V]	800				800	
Tensione di prova a frequenza industriale per 1 min.		[V]	3000				3000	
Potere di interruzione nominale limite in cortocircuito, **Icu**			**N**	**S**	**H**	**L**	**N**	**S**
(c.a.) 50-60 Hz 220/230 V		[kA]	65	85	100	120	50	85
(c.a.) 50-60 Hz 380/415 V		[kA]	36	50	70	85	36	50
(c.a.) 50-60 Hz 440 V		[kA]	30	45	55	75	25	40
(c.a.) 50-60 Hz 500 V		[kA]	25	30	36	50	20	30
(c.a.) 50-60 Hz 690 V		[kA]	6	7	8	10	5	8
Potere di interruzione nominale di servizio in cortocircuito, **Ics**								
(c.a.) 50-60 Hz 220/230 V		[%Icu]	100%	100%	100%	100%	75%	50%
(c.a.) 50-60 Hz 380/415 V		[%Icu]	100%	100%	100%	75% (70 kA)	75%	50% (27 kA)
(c.a.) 50-60 Hz 440 V		[%Icu]	100%	100%	100%	75%	75%	50%
(c.a.) 50-60 Hz 500 V		[%Icu]	100%	100%	100%	75%	75%	50%
(c.a.) 50-60 Hz 690 V		[%Icu]	100%	100%	100%	75%	75%	50%
Potere di chiusura nominale in cortocircuito, **Icm**								
(c.a.) 50-60 Hz 220/230 V		[kA]	143	187	220	264	105	187
(c.a.) 50-60 Hz 380/415 V		[kA]	75.6	105	154	187	75.6	105
(c.a.) 50-60 Hz 440 V		[kA]	63	94.5	121	165	52.5	84
(c.a.) 50-60 Hz 500 V		[kA]	52.5	63	75.6	105	40	63
(c.a.) 50-60 Hz 690 V		[kA]	9.2	11.9	13.6	17	7.7	13.6
Durata di apertura (415 V)		[ms]	3	3	3	3	7	6
Categoria di utilizzazione (IEC 60947-2)			A				A	
Attitudine al sezionamento			■				■	
Norma di riferimento			IEC 60947-2				IEC 60947-2	
Protezione per cortocircuito								
Sganciatore solo magnetico	MA		■ (MF fino a In 12.5 A)				■	
Sganciatore elettronico	PR221DS-I		–				–	
	PR231/P-I		–				–	
Protezione integrata (IEC 60947-4-1)								
Sganciatore elettronico	PR222MP		–				–	
Intercambiabilità			–				–	
Fissaggio su profilato DIN			F - P				F - P	
Esecuzioni			DIN EN 50022				DIN EN 50022	
Vita meccanica		[Nr. manovre]	25000				25000	
		[Nr. manovre orarie]	240				240	
Vita elettrica @ 415 V c.a.		[Nr. manovre]	8000				8000	
		[Nr. manovre orarie]	120				120	

(1) 75% per T5 630
(2) 50% per T5 630
(3) Icw = 5 kA
(4) Icw = 10 kA
(5) Icw = 20 kA (versioni S, H, L) - 15 A (versione V)

Nota: Nell'esecuzione rimovibile di T2, T3 e T5 630 e nell'esecuzione estraibile di T5 630 la massima taratura è declassata del 10% a 40 °C.

3 Caratteristiche generali

	Tmax T4					Tmax T5					Tmax T6				Tmax T7			
	250, 320					400, 630					630, 800				800/1000/1250			
	10…320					320, 400, 630					630				–			
	3					3					3				3			
	690					690					690				690			
	750					750					750				–			
	8					8					8				8			
	1000					1000					1000				1000			
	3500					3500					3500				3500			
N	**S**	**H**	**L**	**V**	**N**	**S**	**H**	**L**	**V**	**N**	**S**	**H**	**L**	**S**	**H**	**L**	**V**
70	85	100	200	200	70	85	100	200	200	70	85	100	200	85	100	200	200
36	50	70	120	200	36	50	70	120	200	36	50	70	100	50	70	120	150
30	40	65	100	180	30	40	65	100	180	30	45	50	80	50	65	100	130
25	30	50	85	150	25	30	50	85	150	25	35	50	65	40	50	85	100
20	25	40	70	80	20	25	40	70	80	20	22	25	30	30	42	50	60
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%(1)	100%(2)	100%	100%	100%	75%	100%	100%	75%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%(1)	100%(2)	100%(2)	75%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%
154	187	220	440	660	154	187	220	440	660	154	187	220	440	187	220	440	440
75.6	105	154	264	440	75.6	105	154	264	440	75.6	105	154	220	105	154	264	330
63	84	143	220	396	63	84	143	220	396	63	94.5	105	176	105	143	220	286
52.5	63	105	187	330	52.5	63	105	187	330	52.5	73.5	105	143	84	105	187	220
40	52.5	84	154	176	40	52.5	84	154	176	40	46	52.6	63	63	88.2	105	132
														15	10	8	8
A					B (400 A)(3) - A (630 A)					B(4)				B(5)			
■					■					■				■			
IEC 60947-2/IEC 60947-4					IEC 60947-2/IEC 60947-4					IEC 60947-2/IEC 60947-4				IEC 60947-2			
■					–					–				–			
■					■					■				–			
–					–					–				■			
■					■					■				–			
■					■					■				■			
F - P - W					F - P - W					F - W				F-W			
–					–					–				–			
20000					20000					20000				10000			
240					120					120				60			
8000					7000					5000				2000 (versioni S-H-L) - 3000 (versione V)			
120					60					60				60			

3 Caratteristiche generali

Interruttori aperti Emax

Dati comuni

Tensioni		
Tensione nominale di impiego Ue	[V]	690 ~
Tensione nominale di isolamento Ui	[V]	1000
Tensione nominale di tenuta ad impulso Uimp	[kV]	12
Temperatura di impiego	[°C]	-25....+70
Temperatura di stoccaggio	[°C]	-40....+70
Frequenza f	[Hz]	50 - 60
Numero poli		3 - 4
Esecuzione		Fissa - Estraibile

Livelli di prestazione		
Correnti: corrente ininterrotta nominale (a 40 °C) Iu		[A]
		[A]
		[A]
		[A]
		[A]
		[A]
		[A]
Portata del polo neutro per interruttori tetrapolari		[%Iu]
Potere di interruzione nominale limite in corto circuito **Icu**		
220/230/380/400/415 V ~		[kA]
440 V ~		[kA]
500/525 V ~		[kA]
660/690 V ~		[kA]
Potere di interruzione nominale di servizio in corto circuito **Ics**		
220/230/380/400/415 V ~		[kA]
440 V ~		[kA]
500/525 V ~		[kA]
660/690 V ~		[kA]
Corrente ammissibile nominale di breve durata **Icw**	(1s)	[kA]
	(3s)	[kA]
Potere di chiusura nominale in corto circuito (valore di cresta) **Icm**		
220/230/380/400/415 V ~		[kA]
440 V ~		[kA]
500/525 V ~		[kA]
660/690 V ~		[kA]
Categoria di utilizzo (secondo IEC 60947-2)		
Attitudine al sezionamento (secondo IEC 60947-2)		
Protezione di massima corrente		
Sganciatori elettronici per applicazioni in c.a.		
Tempi di manovra		
Durata di chiusura (max)		[ms]
Durata di interruzione per I<Icw (max) (1)		[ms]
Durata di interruzione per I>Icw (max)		[ms]

(1) senza ritardi intenzionali;
(2) la prestazione a 600 V è pari a 100 kA.

	X1			E1		E2				E3					E4			E6	
	B	N	L	B	N	B	N	S	L	N	S	H	V	L	S	H	V	H	V
	630	**630**	**630**	**800**	**800**	**1600**	**1000**	**800**	**1250**	**2500**	**1000**	**800**	**800**	**2000**	**4000**	**3200**	**3200**	**4000**	**3200**
	800	**800**	**800**	**1000**	**1000**	**2000**	**1250**	**1000**	**1600**	**3200**	**1250**	**1000**	**1250**	**2500**		**4000**	**4000**	**5000**	**4000**
	1000	**1000**	**1000**	**1250**	**1250**		**1600**	**1250**			**1600**	**1250**	**1600**					**6300**	**5000**
	1250	**1250**	**1250**	**1600**	**1600**		**2000**	**1600**			**2000**	**1600**	**2000**						**6300**
	1600	**1600**						**2000**			**2500**	**2000**	**2500**						
											3200	**2500**	**3200**						
												3200							
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50	50
	42	65	150	42	50	42	65	85	130	65	75	100	130	130	75	100	150	100	150
	42	65	130	42	50	42	65	85	110	65	75	100	130	110	75	100	150	100	150
	42	50	100	42	50	42	55	65	85	65	75	100	100	85	75	100	130	100	130
	42	50	60	42	50	42	55	65	85	65	75	85 (2)	100	85	75	85 (2)	100	100	100
	42	50	150	42	50	42	65	85	130	65	75	85	100	130	75	100	150	100	125
	42	50	130	42	50	42	65	85	110	65	75	85	100	110	75	100	150	100	125
	42	42	100	42	50	42	55	65	65	65	75	85	85	65	75	100	130	100	100
	42	42	45	42	50	42	55	65	65	65	75	85	85	65	75	85	100	100	100
	42	42	15	42	50	42	55	65	10	65	75	75	85	15	75	100	100	100	100
				36	36	42	42	50	–	65	65	65	65	–	75	75	75	85	85
	88.2	143	330	88.2	105	88.2	143	187	286	143	165	220	286	286	165	220	330	220	330
	88.2	143	286	88.2	105	88.2	143	187	242	143	165	220	286	242	165	220	330	220	330
	88.2	121	220	88.2	105	88.2	121	143	187	143	165	187	220	187	165	220	286	220	286
	88.2	121	132	88.2	105	88.2	121	143	187	143	165	187	220	187	165	187	220	220	220
	B	B	A	B	B	B	B	B	A	B	B	B	B	A	B	B	B	B	B
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	30	30	12	30	30	30	30	30	12	30	30	30	30	12	30	30	30	30	30

Interruttori aperti Emax

			X1			E1 B-N		
Corrente ininterrotta nominale (a 40°C) **Iu**		[A]	800	1250	1600	800	1000-1250	1600
Vita meccanica con regolare manutenzione ordinaria		[Nr. manovre x 1000]	12.5	12.5	12.5	25	25	25
Frequenza manovre		[Manovre/ora]	60	60	60	60	60	60
Vita elettrica	(440 V ~)	[Nr. manovre x 1000]	6	4	3	10	10	10
	(690 V ~)	[Nr. manovre x 1000]	3	2	1	10	8	8
Frequenza manovre		[Manovre/ora]	30	30	30	30	30	30

	E2 B-N-S				E2 L		E3 N-S-H-V						E3 L		E4 S-H-V		E6 H-V			
	800	1000-1250	1600	2000	1250	1600	800	1000-1250	1600	2000	2500	3200	2000	2500	3200	4000	3200	4000	5000	6300
	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20	15	15	15	15	12	12	12	12
	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	15	15	12	10	4	3	12	12	10	9	8	6	2	1.8	7	5	5	4	3	2
	15	15	10	8	3	2	12	12	10	9	7	5	1.5	1.3	7	4	5	4	2	1.5
	30	30	30	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10

3.1 Caratteristiche elettriche degli interruttori

3 Caratteristiche generali

3 Caratteristiche generali

Interruttori automatici SACE Emax con conduttore neutro a sezione piena

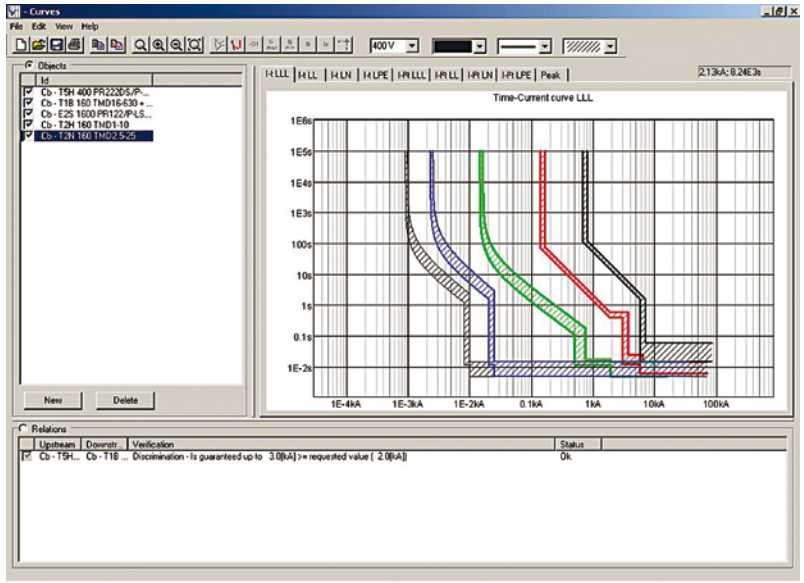
		E4S/f	E4H/f	E6H/f
Corrente ininterrotta nominale (at 40 °C) Iu	[A]	**4000**	**3200**	**4000**
	[A]		**4000**	**5000**
				6300
Numero di poli		4	4	4
Tensione nominale d'impiego **Ue**	[V ~]	690	690	690
Potere di interruzione nominale limite in cortocircuito **Icu**				
220/230/380/400/415 V ~	[kA]	80	100	100
440 V ~	[kA]	80	100	100
500/525 V ~	[kA]	75	100	100
660/690 V ~	[kA]	75	100	100
Potere di interruzione nominale di servizio in corto circuito **Ics**				
220/230/380/400/415 V ~	[kA]	80	100	100
440 V ~	[kA]	80	100	100
500/525 V ~	[kA]	75	100	100
660/690 V ~	[kA]	75	100	100
Corrente nominale ammissibile di breve durata **Icw**				
(1s)	[kA]	75	85	100
(3s)	[kA]	75	75	85
Potere di chiusura nominale in corto circuito **Icm**				
220/230/380/400/415 V ~	[kA]	176	220	220
440 V ~	[kA]	176	220	220
500/525 V ~	[kA]	165	220	220
660/690 V ~	[kA]	165	220	220
Categoria di utilizzo (in accordo con IEC 60947-2)		B	B	B
Attitudine al sezionamento (in accordo con IEC 60947-2)		■	■	■
Dimensioni d'ingombro				
Fisso: H = 418 mm - P = 302 mm L	[mm]	746	746	1034
Estraibile: H = 461 - P = 396.5 mm L	[mm]	774	774	1062
Peso (interruttore completo di sganciatori e TA, accessori non compresi)				
Fisso	[kg]	120	120	165
Estraibile (parte fissa compresa)	[kg]	170	170	250

3.2 Curve d'intervento e il software "Curve 1.0"

3.2.1 Curve 1.0

Il software "Curves" disponibile nel cd (in allegato a questa edizione dell'EIH) è uno strumento di lavoro dedicato a chi opera nel settore della progettazione elettrica.
Questo programma permette la visualizzazione di:

- I-t LLL: curve d'intervento tempo-corrente per guasti trifase.
- I-t LL: curve d'intervento tempo-corrente per guasti bifase.
- I-t LN: curve d'intervento tempo-corrente per guasti monofase.
- I-t L-PE: curve d'intervento tempo-corrente per guasti fase-terra.
- I-I^2t LLL: curve di limitazione dell'energia specifica passante per guasti trifase.
- I-I^2t LL: curve di limitazione dell'energia specifica passante per guasti bifase.
- I-I^2t LN: curve di limitazione dell'energia specifica passante per guasti monofase.
- I-I^2t L-PE: curve di limitazione dell'energia specifica passante per guasti fase-terra.
- Picco: curve di limitazione del picco di corrente.
- Curve caratteristiche di cavi e fusibili.



Inoltre tra le funzioni del programma sono previste anche verifiche guidate per la protezione dei cavi e delle persone e la selettività.
Gli algoritmi di verifica per quanto riguarda la protezione cavi rispecchiano quanto previsto dalle normative internazionali.
Gli algoritmi di verifica della selettività rispecchiano quanto descritto nella documentazione di ABB SACE, in particolare nella guida QT1: "Quaderno di applicazione tecnica: La selettività in bassa tensione con interruttori ABB."
Inoltre, Il programma visualizza curve di intervento e di limitazione coerenti con quanto riportato nei rispettivi cataloghi.

3 Caratteristiche generali

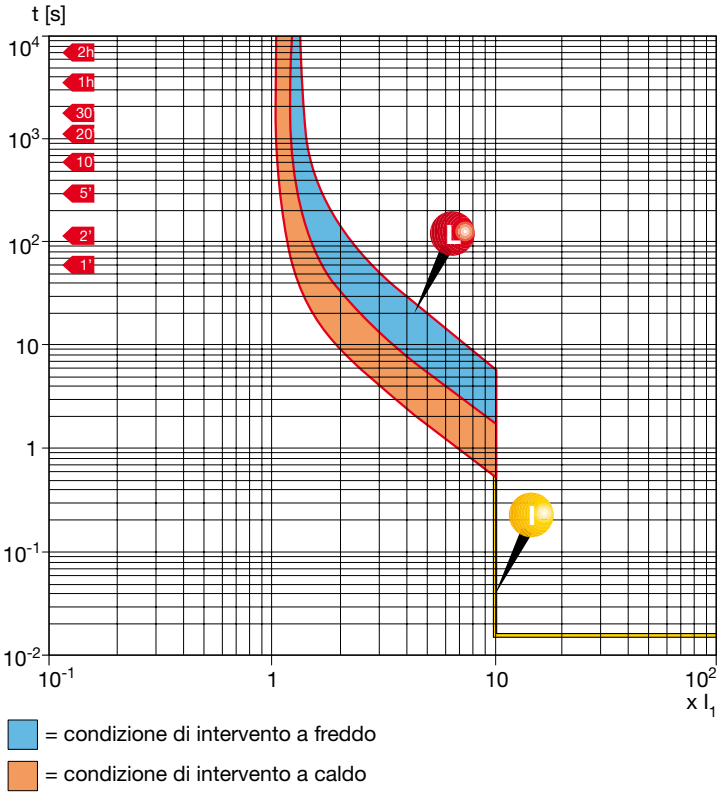
3.2.2 Curve d'intervento degli sganciatori termomagnetici e solo magnetici

La funzione di protezione dal sovraccarico per valori di corrente pari a 1,05 volte la corrente settata non deve far scattare l'interruttore in un tempo inferiore a 2 ore, e deve farlo scattare entro tale tempo con 1,3 volte la corrente settata. Con "intervento a freddo", si intende che il sovraccarico si verifica quando l'interruttore non ha raggiunto la normale temperatura d'impiego (nessuna corrente passa attraverso l'interruttore prima che si verifichi la condizione anomala); al contrario "intervento a caldo" si riferisce al fatto che l'interruttore ha raggiunto la normale temperatura d'impiego con la corrente nominale che lo attraversa, prima del verificarsi della corrente di sovraccarico. Per questa ragione i tempi di "intervento a freddo" sono sempre maggiori dei tempi di "intervento a caldo" .
La funzione di protezione dal cortocircuito viene rappresentata nella curva tempo-corrente con una linea verticale, corrispondente al valore nominale della soglia d'intervento I3. In accordo con la Norma IEC 60947-2, la soglia di intervento può variare in un campo di tolleranza compreso tra 0,8·I3 e 1,2·I3. Il tempo d'intervento di questa protezione varia in base alle caratteristiche elettriche del guasto e alla presenza di altri dispositivi: non è possibile rappresentare l'inviluppo di tutte le situazioni possibili in un modo sufficientemente chiaro con una curva a fascio orizzontale; perciò si preferisce usare una sola linea retta, parallela all'asse della corrente. Tutte le informazioni relative a questa zona d'intervento che sono utili per il dimensionamento ed il coordinamento dell'impianto sono rappresentate nelle curve di limitazione e nelle curve dell'energia specifica passante dell'interruttore in condizioni di corto circuito.

Le seguenti pagine riportano alcuni esempi che indicano il settaggio degli sganciatori termomagnetici. Per semplificare la lettura degli esempi non è stata considerata la tolleranza delle funzioni di protezione.Per un corretto settaggio è necessario considerare le tolleranze in relazione al tipo di sganciatore termomagnetico utilizzato, per queste informazioni consultare il catalogo tecnico.

3 Caratteristiche generali

La seguente figura mostra la curva di intervento tempo corrente di un interruttore equipaggiato con sganciatore termomagnetico:



3 Caratteristiche generali

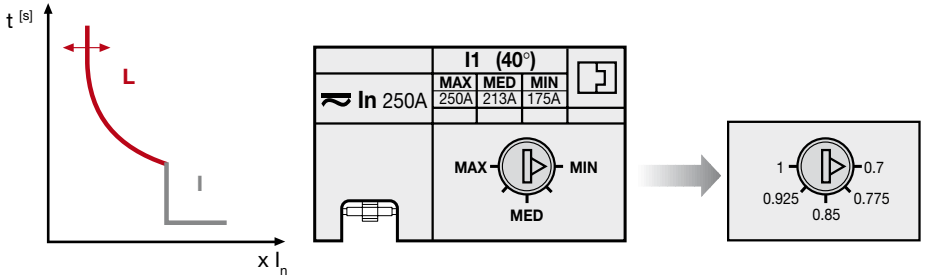
Protezione contro il sovraccarico (L)
Per settare correttamente la funzione L è necessario conoscere la corrente assorbita dal carico (Ib) e dividerla per la corrente nominale dello sganciatore prendendo il valore di settaggio disponibile maggiore o uguale al valore ottenuto:

$$\text{Settaggio}_{L} = \frac{I_b}{I_n}$$

è necessario inoltre nel caso di protezione di un cavo rispettare la relazione: Ib < I1 < Iz dove Iz è la portata del conduttore e la I1 è la corrente settata sulla protezione da sovraccarico.

Esempio:
T4N250 In250 con sganciatore termomagnetici (con funzione L regolabile da 0.7 a 1 x In)
Ib=175A

$$\text{Settaggio}_{L} = \frac{I_b}{I_n} = \frac{175}{250} = 0.7$$



3 Caratteristiche generali

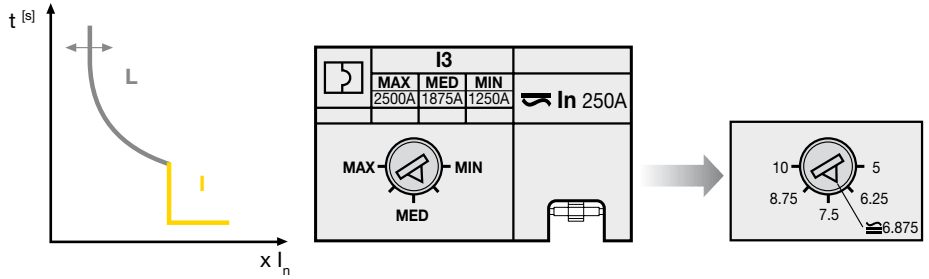
Protezione istantanea contro il cortocircuito (I)
Per settare correttamente la fuzione di protezione contro il cortocircuito istantaneo è necessario conoscere la più piccola corrente di corto che si può avere nell'impianto.
Il settaggio della I3 dovrà rispettare la seguente relazione
I3 ≤ Ikmin
I3=Settaggio$_{I}$ x In
Per definire il settaggio è necessario dividere la Ikmin per la corrente nominale dello sganciatore termomagnetico utilizzato e prendere il valore ottunuto immediatamente inferiore

$$\text{Settaggio}_{I} = \frac{Ik\,min}{In}$$

Esempio:
T4N250 In250 equipaggiato con sganciatore termomagetico TMA con protezione instantanea settabile da 5x In (=1250A) a 10x In (=2500A)
Ikmin=1750 A

$$\text{Settaggio}_{I} = \frac{Ik\,min}{In} = \frac{1750}{250} = 7$$

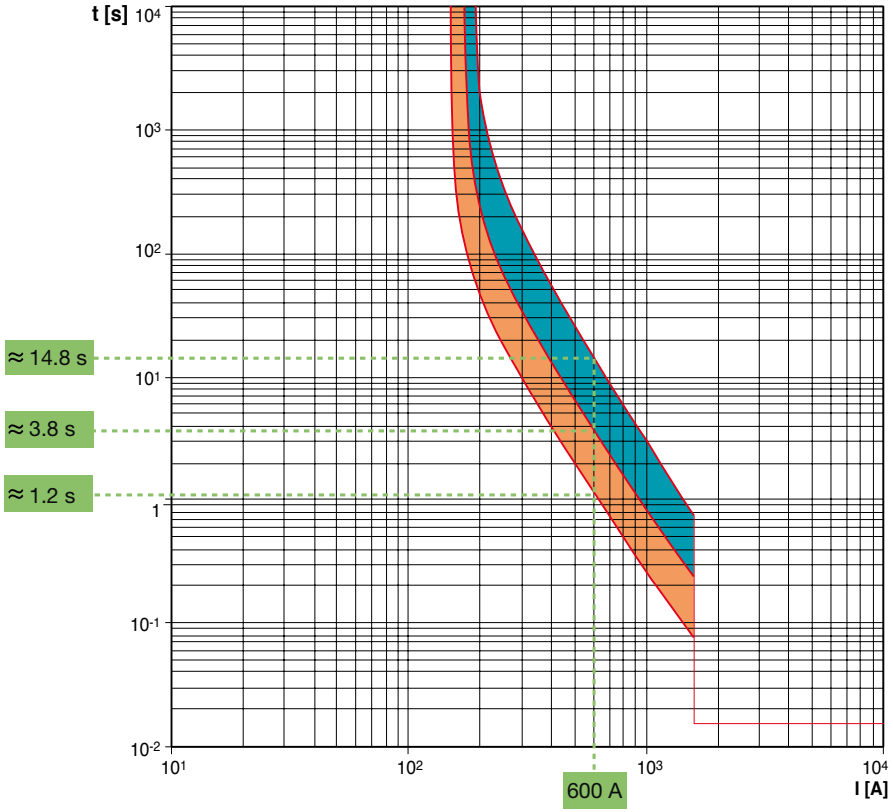
è necessario scegliere: ≅ 6.875 :
I3=6.875x250=1718 ≤ 1750 A



3 Caratteristiche generali

Esempio di settaggio di uno sganciatore termomagnetico
Considerando un interruttore tipo T1 160 In 160, la soglia di intervento termica può essere regolata attraverso l'apposito trimmer di settaggio ad un valore di 144 A; la soglia d'intervento magnetica, è fissa a 10xIn, è quindi uguale a 1600 A.
Notare che, in base alle condizioni nelle quali si verifica il sovraccarico, cioè con l'interruttore a regime termico o no, l'intervento dello sganciatore termico varia notevolmente. Per esempio, per una corrente di sovraccarico di 600 A, il tempo d'intervento a caldo varia tra 1,2 e 3,8 s, mentre tra 3,8 e 14,8 s per l'intervento a freddo.
Per valori della corrente di guasto superiori a 1600 A, l'interruttore interviene istantaneamente tramite la protezione magnetica.

T1 160 - In 160 Curva tempo-corrente

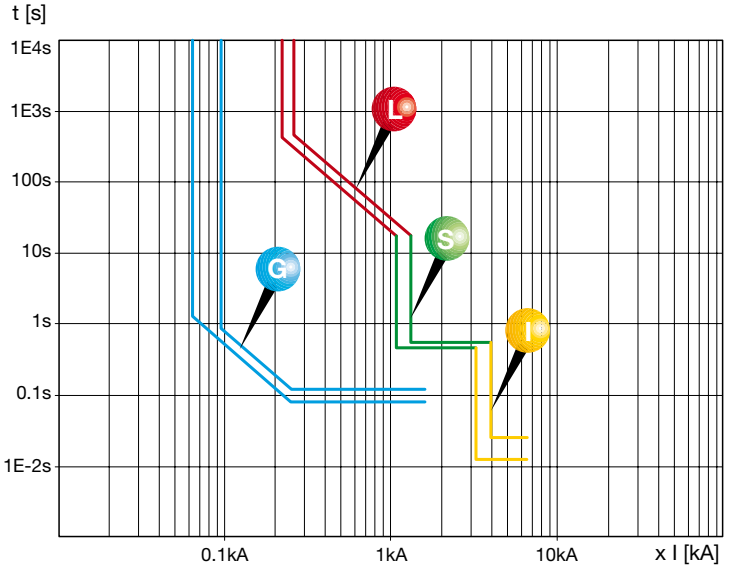


3 Caratteristiche generali

3.2.3 Funzioni di protezione degli sganciatori elettronici

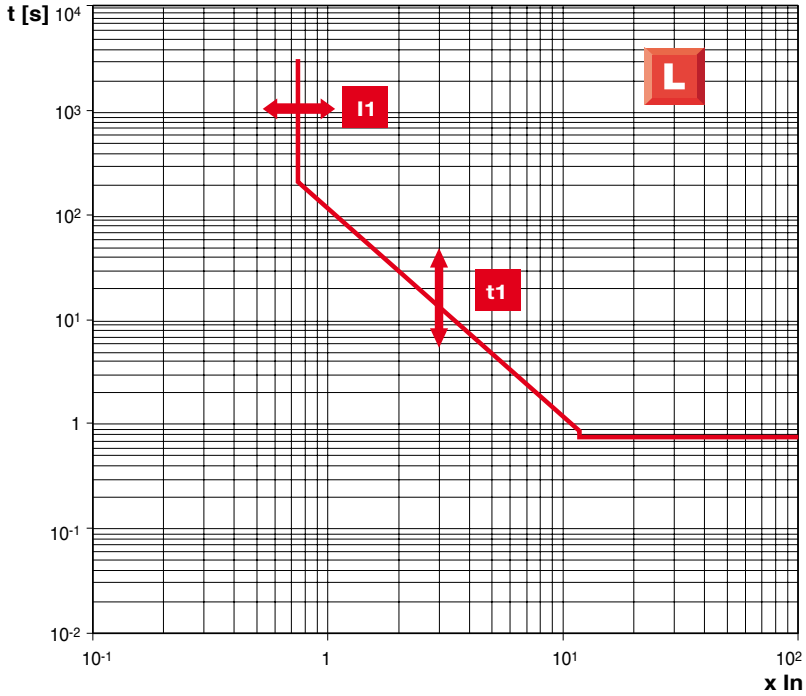
Nelle seguenti pagine verranno riportate le funzioni di protezione degli sganciatori elettronici per interruttori scatolati e aperti; per la disponibilità delle protezione con i vari sganciatori, fare riferimento alla tabella di pag 35.
Gli esempi riportati in queste pagine dimostrano come è possibile settare lo sganciatore elettronico tramite dip-switch posti sul fronte dell'interruttore, questa operazione può essere effettuata anche tramite i comandi visualizzando il display LED (per gli sganciatori PR122-PR123-PR332-PR333) oppure elettronicamente tramite l'unità di test PR010T.
Per semplificare la lettura degli esempi non è stato considerata la tolleranza delle funzioni di protezione.Per un corretto settaggio è necessario considerare le tolleranze relative alle varie funzioni di protezione in relazione al tipo di sganciatore elettronico utilizzato, per queste informazioni consultare il catalogo tecnico.

La seguente figura mostra la curva di intervento tempo corrente di un interruttore equipaggiato con sganciatore elettronico avente le funzioni di protezione LSIG che verranno descritte nelle pagine seguenti:



3 Caratteristiche generali

Protezione contro il sovraccarico (funzione L)



Il campo di applicazione di questa protezione riguarda tutte le installazioni che possono essere soggette a sovraccarichi, in genere di basso valore ma di lunga durata, pericolose per la vita delle apparecchiature e dei cavi.
Normalmente queste correnti si presentano in un circuito sano in cui l'utilizzatore risulta sovraccaricato (è un evento più probabile rispetto al guasto vero e proprio).
La curva d'intervento di questa protezione (non escludibile) è definita da una soglia di corrente I1 e da un tempo di intervento t1. Più precisamente:

- I1 rappresenta il valore di corrente superato il quale la funzione di protezione comanda l'apertura dell'interruttore secondo una caratteristica di intervento a tempo dipendente, nella quale il legame tempo-corrente è dato dalla relazione
  I^2t = costante (energia specifica passante costante);
- t1 rappresenta il tempo di intervento della protezione, in secondi, in corrispondenza di un multiplo ben preciso di I1 e serve ad identificare una ben precisa curva tra quelle rese disponibili dallo sganciatore.

Per la disponibilità dei settaggi con i vari sganciatori consultare i cataloghi tecnici.

3 Caratteristiche generali

Per poter settare opportunamente la soglia L occorre conoscere la corrente richiesta dal carico (Ib) e dividerla per la In dello sganciatore prendendo il valore di settaggio disponibile immediatamente superiore o uguale al valore ottenuto:

$$\text{Settaggio}_{L} = \frac{I_b}{I_n}$$

è necessario inoltre nel caso di protezione di un cavo rispettare la relazione:
Ib < I1 < Iz dove Iz è la portata del conduttore e la I1 è la corrente settata sulla protezione da sovraccarico.

Esempio:
T5N400 In 320 sganc. PR222DS-LSIG funzione L (I1=0.4 a 1 x In con step da 0.02)
Ib=266 A

$$\text{Settaggio}_{L} = \frac{I_b}{I_n} = \frac{266}{320} = 0.83$$

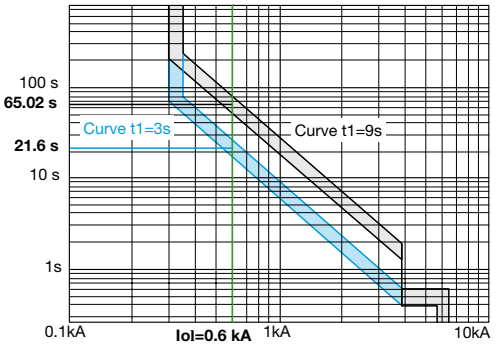
si sceglie I1=0.84

Utilizzando il settaggio manuale dovrò posizionare i dip switch in modo da ottenere un coefficiente pari a 0.84 che moltiplicato per la corrente nominale dello sganciatore mi dia il valore di corrente richiesto. La seguente figura mostra la corretta combinazione dei dip switch per ottenere il coefficiente moltiplicativo richiesto:
I1= 320 x (0.4*+0.04+0.08+0.32) =268.8A
Il tempo d'intervento della funzione L per una corrente di sovraccarico varia in relazione alla tipologia di curva utilizzata.
Per il relè dell'esempio le curve disponibili sono 4 ed ognuna è caratterizzata dal passaggio per un multiplo caratteristico (6xI1) a cui corrisponde un tempo d'intervento diverso (t1=3s,6s,9s,12s); essendo curve a I^2t=const è possibile dopo aver settato il t1, individuare il tempo di intervento per multipli diversi da 6xI1.
Trattandosi di una curva a I^2t constante, dovrà sempre essere verificata la condizione:
$(6xI1)^2 \times t1 = \text{const} = I^2t$

(*) 0.4 è il valore fisso non escludibile

3 Caratteristiche generali

dove l'espressione I^2t rappresenta il prodotto tra una generica corrente di guasto al quadrato e il tempo che la protezione impiega per estinguerla.



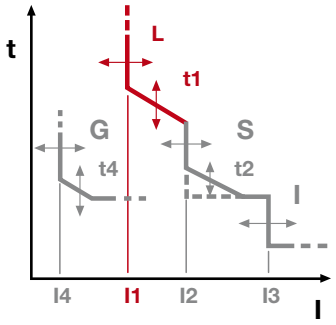
Supponendo una corrente di sovraccarico di 600A (IoI) e avendo fissato il t1 a 3s si ricava come segue:

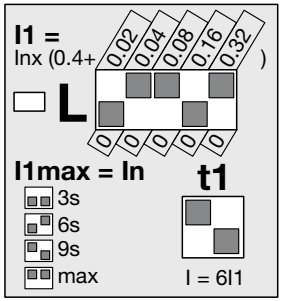
$$(6xI1)^2 \times t1 = IoI^2 \times t \rightarrow t = \frac{(6x268.8)^2 \times 3}{(600)^2} = 21.6\ s$$

Se avessimo settato il t1 a 9s, il tempo d'intervento a parità di sovraccarico (IoI)=600A sarebbe stato di:

$$(6xI1)^2 \times t1 = IoI^2 \times t \rightarrow t = \frac{(6x268.8)^2 \times 9}{(600)^2} = 65.02\ s$$

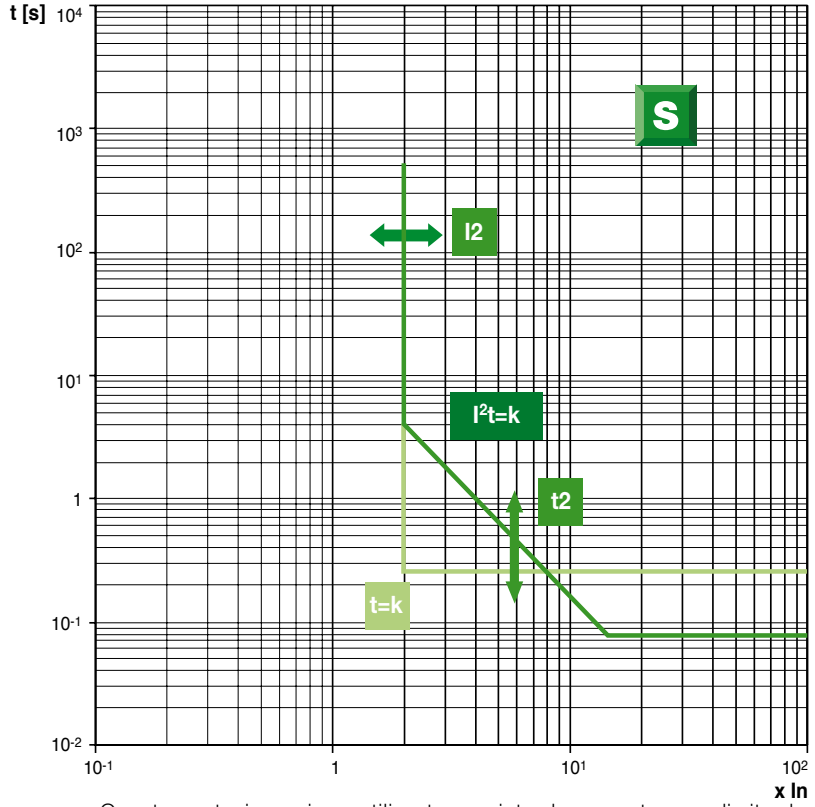
La scelta del tempo t1 deve essere fatta tenendo in considerazione eventuali coordinamenti con cavi o con altri dispositivi posti a monte o a valle dell'interruttore in esame.





3 Caratteristiche generali

Protezione contro il cortocircuito con intervento ritardato (funzione S)



Questa protezione viene utilizzata per introdurre un tempo di ritardo nell'intervento in caso di cortocircuito.
La funzione S è necessaria qualora si volesse realizzare selettività di tipo cronometrico in modo da ritardare l'intervento man mano che ci si avvicina alle sorgenti di alimentazione.
La curva d'intervento di questa protezione (escludibile) è definita da una soglia di corrente I2 e da un tempo di intervento t2. Più precisamente:

- I2 rappresenta il valore di corrente superato il quale la funzione di protezione comanda l'apertura dell'interruttore secondo una caratteristica d'intervento:
  - a tempo dipendente, nella quale il legame tempo-corrente è dato dalla relazione $I^2t = k$ (energia specifica passante costante)
  - a tempo indipendente, nella quale il tempo di intervento è dato dalla relazione t = k (tempo costante); in questo caso il tempo di intervento è uguale per qualsiasi valore di corrente maggiore di I2;
- t2 rappresenta il tempo di intervento della protezione, in secondi, in corrispondenza di:
  - un multiplo ben preciso di In per la curva di intervento a $I^2t = k$;
  - I2 per la curva di intervento a t = k.

Per la disponibilità dei settaggi con i vari sganciatori consultare i cataloghi tecnici.

3 Caratteristiche generali

Per poter settare opportunamente la funzione S di un interruttore equipaggiato con sganciatore elettronico è necessario dividere la Ikmin (corrente di cortocircuito minima tra tutte quelle che si possono avere) per la In dello sganciatore, prendendo il valore immediatamente inferiore.

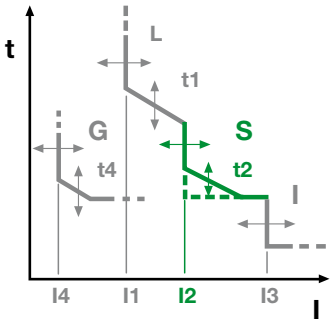
$$\text{Settaggio}_{S} = \frac{Ik\,min}{In}$$

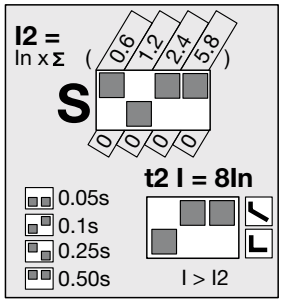
Esempio:
T4N320 In=100 sganc PR222 DS-LSI
funzione S (I2=0.6-1.2-1.8-2.4-3-3.6-4.2-5.8-6.4-7-7.6-8.2-8.8-9.4-10 x In)
Ikmin=900A

$$\text{Settaggio}_{S} = \frac{Ik\,min}{In} = \frac{900}{100} = 9$$

si sceglie 8.8.
Analogamente all'esempio precedente la figura mostra la corretta posizione dei dip switch per ottenere il coefficiente moltiplicativo richiesto:
I2 = 100 x (0.6+2.4+5.8) = 880 A < 900 A

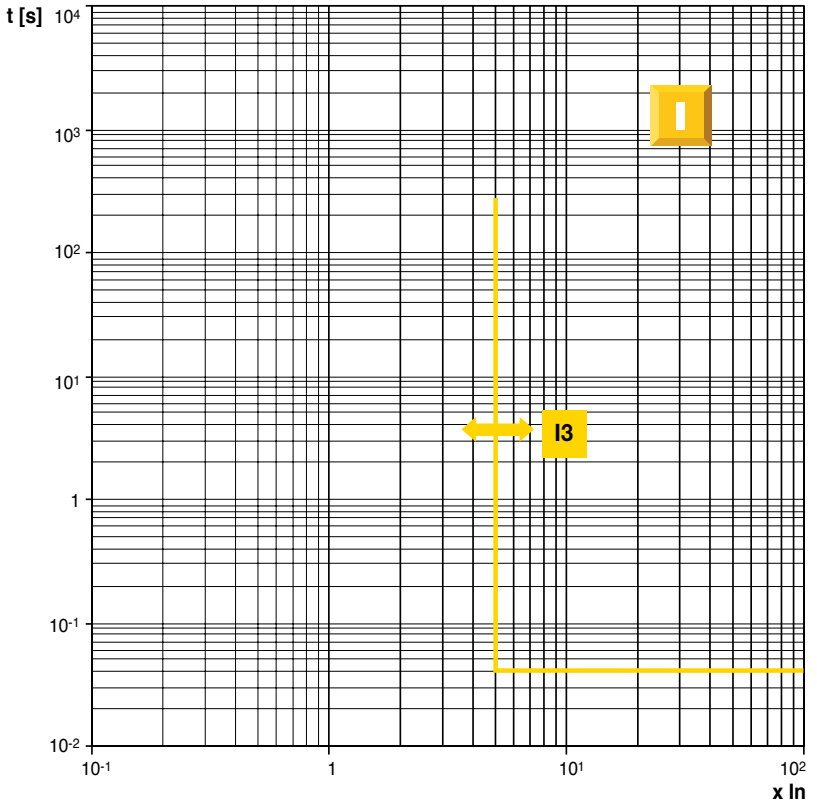
Il tempo di ritardo t2 della funzione S cambia a seconda della caratteristica selezionata se a t=costante oppure a I^2t=const.
Selezionando il t2=const in caso di cortocircuito, tutte le sovracorrenti maggiori o uguali alla I2 (in questo caso 880 A) verranno estinte entro il tempo t2 impostato;
selezionando invece la caratteristica a I^2t=const valgono le stesse considerazioni fatte per la determinazione del tempo d'intervento t1 considerando però gli appropriati valori delle soglie I2 e le appropiate curve caratteristiche associate (t2).





3 Caratteristiche generali

Protezione istantanea contro il cortocircuito (funzione I)



Questa funzione permette di avere una protezione istantanea in caso di corto circuito.
La protezione si attiva per correnti di guasto superiori alla soglia I3 impostata, il tempo di intervento (istantaneo) non è settabile.
La funzione I è escludibile; con il termine escludibile si intende che la soglia di intervento in corrente e aumentata rispetto alla massima soglia impostabile tramite i normali settaggi.
Per poter settare opportunamente la soglia I occorre conoscere la corrente di cortocircuito minima tra tutte quelle che si possono avere nel punto di installazione.
La soglia I3 deve rispettare la seguente relazione:
$I3 \leq I_{kmin}$
$I3 = \text{Settaggio}_{I} \times In$

Per la disponibilità dei settaggi con i vari sganciatori consultare i cataloghi tecnici.

3 Caratteristiche generali

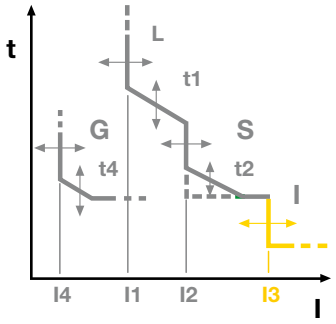
Per trovare il valore da settare si divide la Ikmin per la In e si prende il valore immediatamente inferiore:

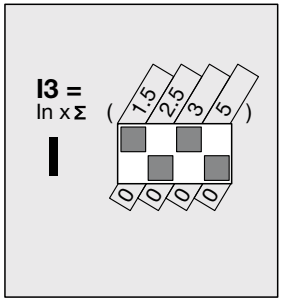
$$\text{Settaggio}_{\,I} = \frac{I_{kmin}}{I_n}$$

Esempio:
T5N400 In 320 sganc. PR222DS-LSIG
funzione I (I3=1-1.5-2-2.5-3-3.5-4.5-5.5-6.5-7-7.5-8-8.5-9-10 x In)
Ikmin=1500 A

$$\text{Settaggio}_{\,I} = \frac{I_{kmin}}{I_n} = \frac{1500}{320} = 4.68$$

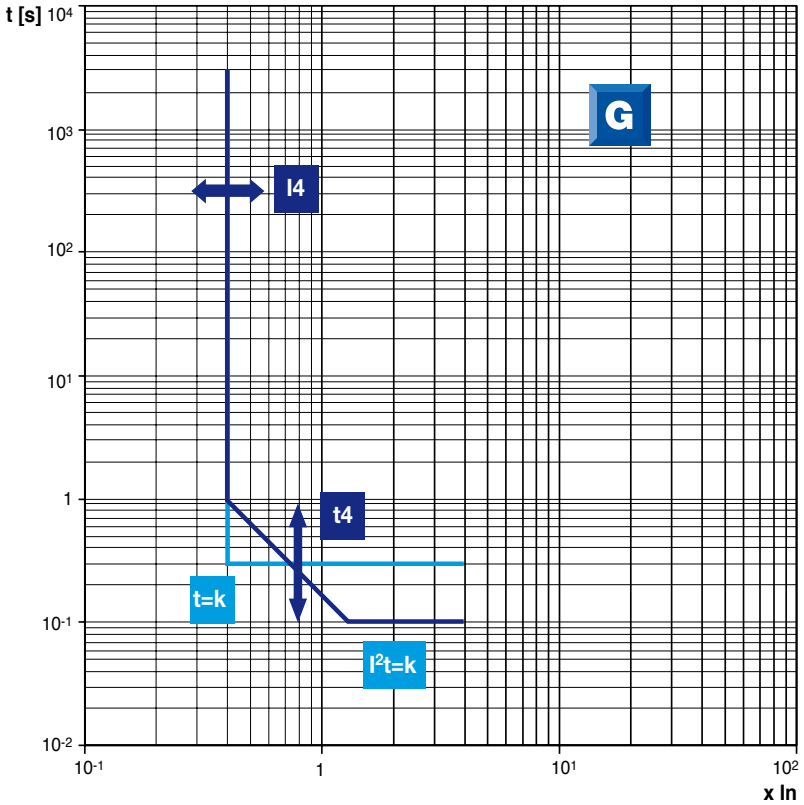
si sceglie 4.5.
Analogamente all'esempio precedente la figura mostra la corretta posizione dei dip switch per ottenere il coefficiente moltiplicativo richiesto:
I3 = 320 x (1.5+3) = 1440 A < 1500 A





3 Caratteristiche generali

Protezione contro i guasti a terra (funzione G)



La protezione G è in grado di valutare la somma vettoriale delle correnti che fluiscono nei conduttori attivi (le tre fasi e il neutro).
In un circuito sano tale somma è pari a zero ma in presenza di un guasto a terra, parte della corrente di guasto ritornerà alla sorgente di alimentazione attraverso il conduttore di protezione e/o la terra, non interessando i conduttori attivi. La curva d'intervento di questa protezione (escludibile) è definita da una soglia di corrente I4 e da un tempo di intervento t4. Più precisamente:

- I4 rappresenta il valore di corrente superato il quale la funzione di protezione comanda l'apertura dell'interruttore secondo una caratteristica d'intervento:
  - a tempo dipendente, nella quale il legame tempo-corrente è dato dalla relazione $I^2t = k$ (energia specifica passante costante)
  - a tempo indipendente, nella quale il tempo di intervento è dato dalla relazione t = k (tempo costante); in questo caso il tempo di intervento è uguale per qualsiasi valore di corrente maggiore di I4;
- t4 rappresenta il tempo di intervento della protezione, in secondi, in corrispondenza di:
  - un multiplo ben preciso di In per la curva di intervento a $I^2t = k$;
  - I4 per la curva di intervento a t = k.

Per la disponibilità dei settaggi con i vari sganciatori consultare i cataloghi tecnici.

3 Caratteristiche generali

Per poter settare opportunamente la corrente I4 e il tempo t4 della funzione G è necessario rispettare i requisiti riportati nella norma d'impianto (vedi il capitolo 5 del volume 2 "protezione di persone").

Esempio:
T4N250 In 250 relé PR222DS-LSIG
funzione G (I4=0.2-0.25-0.45-0.55-0.75-0.8-1 x In)
Ik_{LPE}=220 A
Sistema di distribuzione: TN-S
Nei sistemi TN un guasto franco a terra nel lato bassa tensione genera solitamente una corrente di entità simile a quella di un cortocircuito e la corrente di guasto che percorre il conduttore (o i conduttori) di fase e quello di protezione non interessa in alcun modo l'impianto di terra.
La relazione relativa ai sistemi di distribuzione TN-S: può essere scritta nel seguente modo:

$$Ia \leq \frac{Uo}{Zs} = Ik_{LPE}$$

dove:
- Uo è la tensione tra fase e PE;
- Zs è l'impedenza dell'anello di guasto;
- Ia è la corrente di intervento entro i tempi richiesti dalla norma; vedi capitolo 5 vol.2 o l'appendice A vol.2.
- Ik_{LPE}= è la corrente di guasto fase-PE

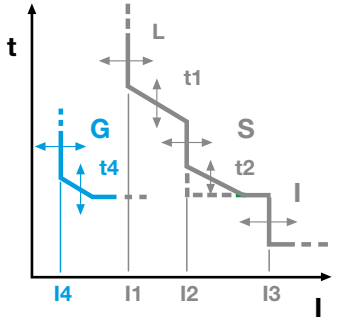
Si può quindi affermare che la protezione dai contatti indiretti è verificata se la corrente di intervento Ia è inferiore alla corrente di guasto fase-PE (Ik_{LPE}) che si ha in corrispondenza della massa da proteggere.
Quindi:

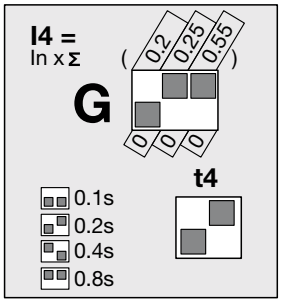
$$\text{Settaggio } G = \frac{Ik_{LPE}}{I_n} = \frac{220}{250} = 0.88$$

si sceglie 0.8.

3 Caratteristiche generali

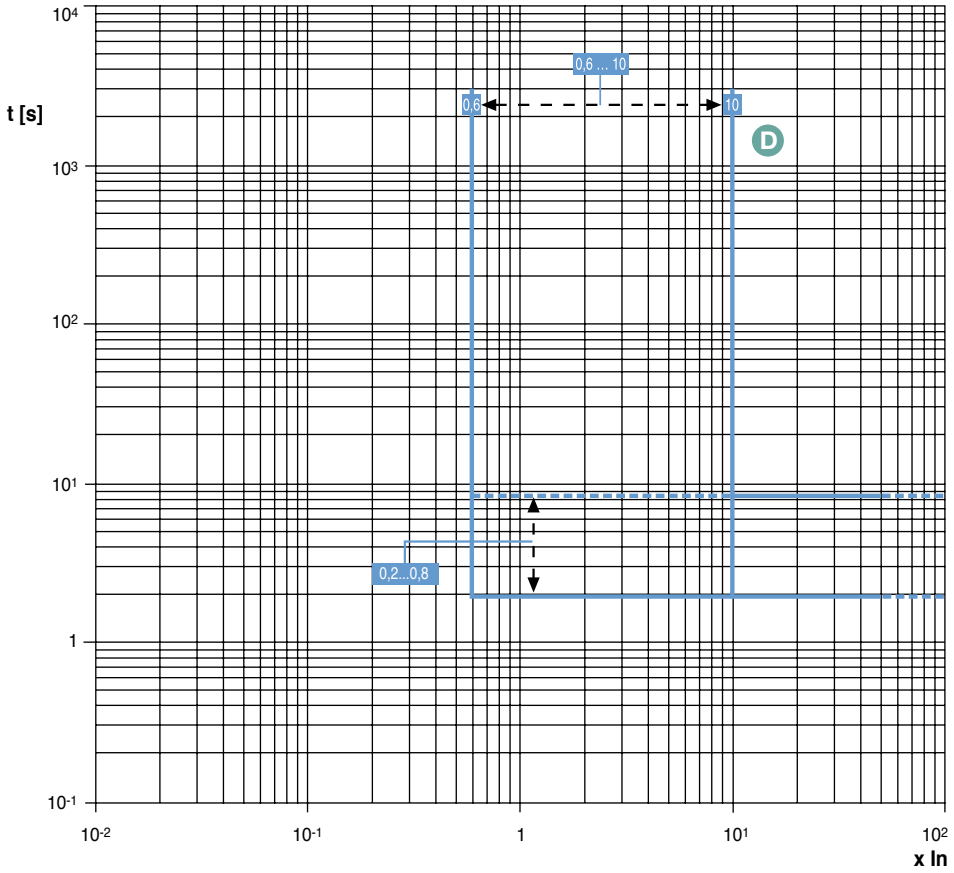
Analogamente all'esempio precedente la figura mostra la corretta posizione dei dip switch per ottenere il coefficiente moltiplicativo richiesto:
I4 = 250 x (0.25+0.55) = 200 A < 220 A
Il tempo di intervento t4 andrà scelto conformemente a quanto previsto dalle norme d'impianto, con lo sganciatore in esame la curva disponibile che definisce il t4 è a I^2t constante, perciò per definire il tempo di intervento è necessario effettuare le stesse considerazioni fatte per la determinazione del tempo d'intervento t1, considerando però gli appropriati valori delle soglie I4 e le appropiate curve caratteristiche associate (t4).
Nell'ipotesi che si fosse utilizzato uno sganciatore con tempo di intervento t4 = costante al raggiungimento e al superamento della soglia impostata I4 le correnti verranno estinte entro il tempo t4 impostato.





3 Caratteristiche generali

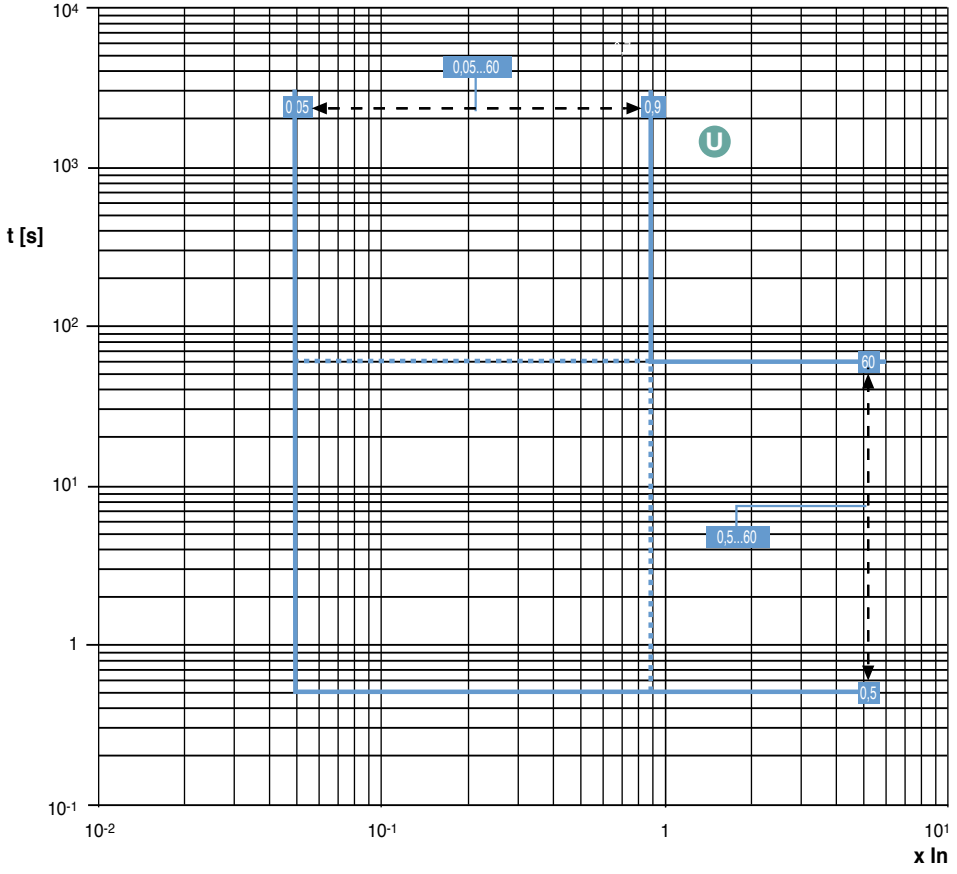
Protezione contro il corto circuito direzionale con ritardo regolabile (funzione D)



Questa protezione è molto simile alla funzione S a tempo fisso. Essa permette di individuare, oltre all'intensità, anche la direzione della corrente di guasto e quindi di capire se il guasto è a monte o a valle dell'interruttore, escludendo così solo la parte di impianto interessata. Il suo utilizzo è particolarmente adatto nei sistemi di distribuzione ad anello e negli impianti con più linee di alimentazione in parallelo.
Le soglie di corrente impostabili vanno da 0.6 a 10xIn e i tempi di intervento possono essere impostati da 0.2 a 0.8 secondi.
La funzione D è escludibile.

3 Caratteristiche generali

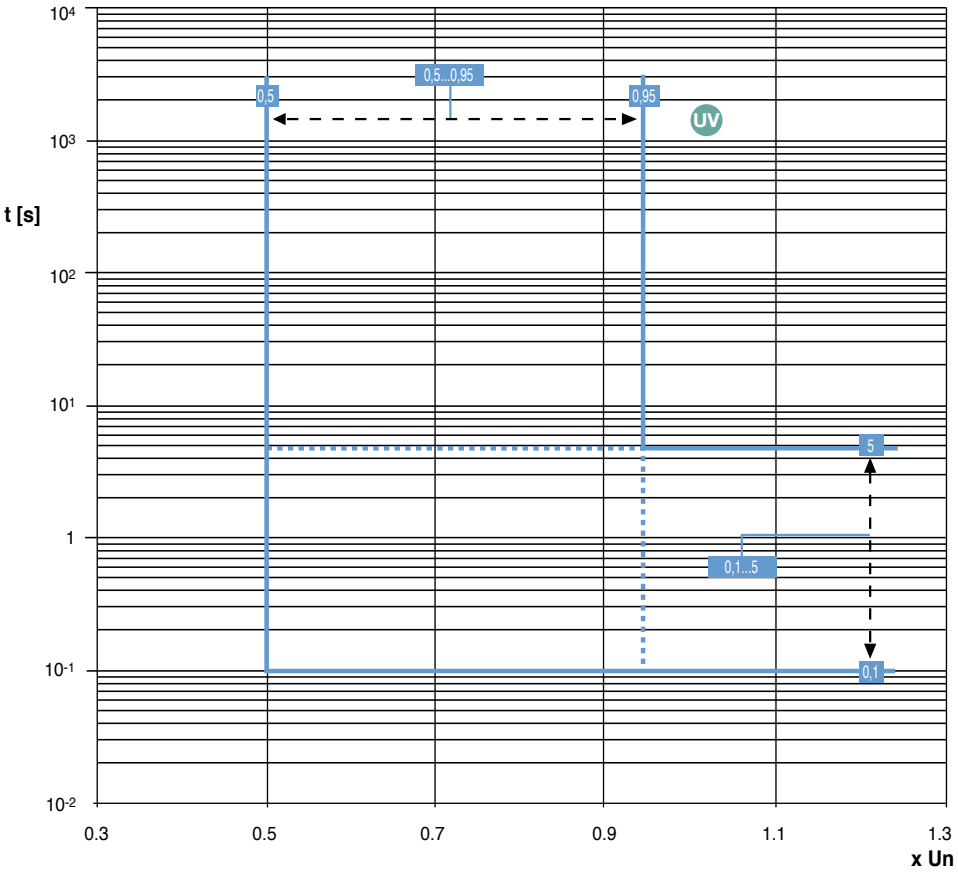
Protezione contro lo sbilanciamento delle fasi (funzione U)



Questa protezione provvede ad aprire l'interruttore quando viene individuato uno sbilanciamento delle correnti di fase superiore alla soglia impostata.
I possibili settaggi vanno dal 5% al 90% della corrente nominale, e i tempi di intervento possono essere impostati da 0.5 a 60 s.
La protezione U trova utilità soprattutto negli impianti con presenza di macchine rotanti nei quali uno sbilanciamento di fase può provocare effetti indesiderati nelle macchine stesse.
La funzione U è escludibile.

3 Caratteristiche generali

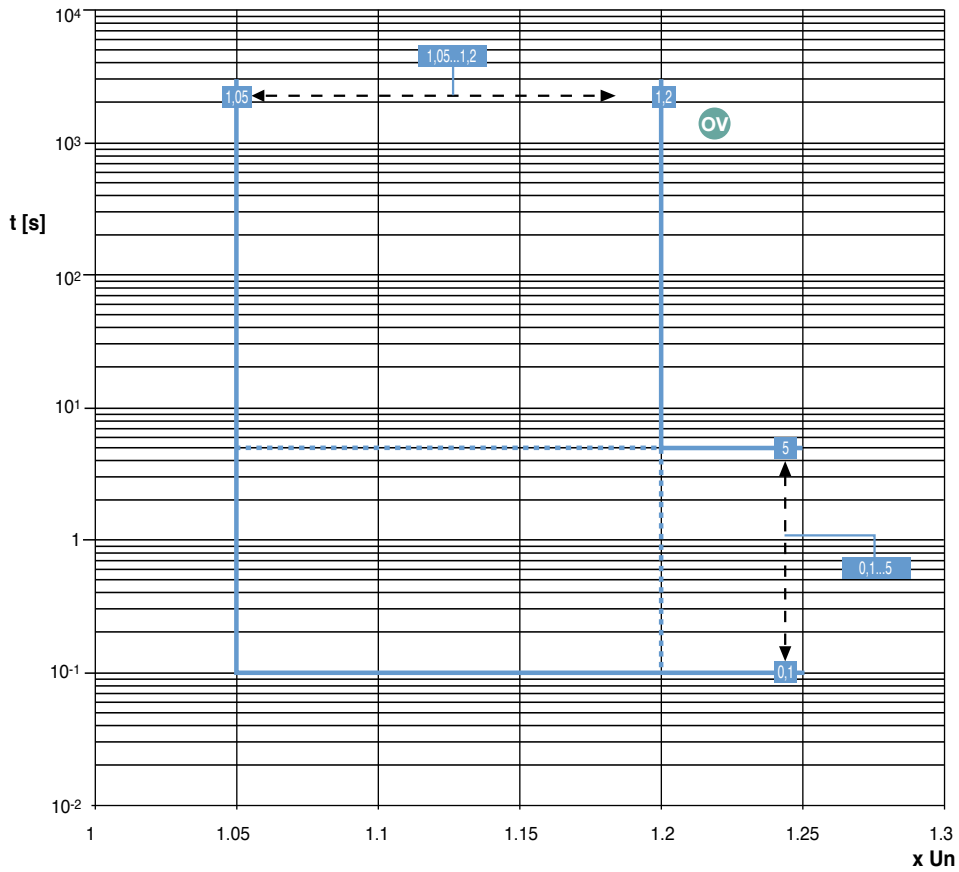
Protezione minima tensione (funzione UV)



Questa protezione interviene dopo il tempo impostato (t8) quando la tensione di fase scende sotto la soglia impostata U8.
La soglia di tensione è impostabile da 0.5 a 0.95xUn e la soglia di tempo da 0.1 a 5 s.
La funzione UV è escludibile.

3 Caratteristiche generali

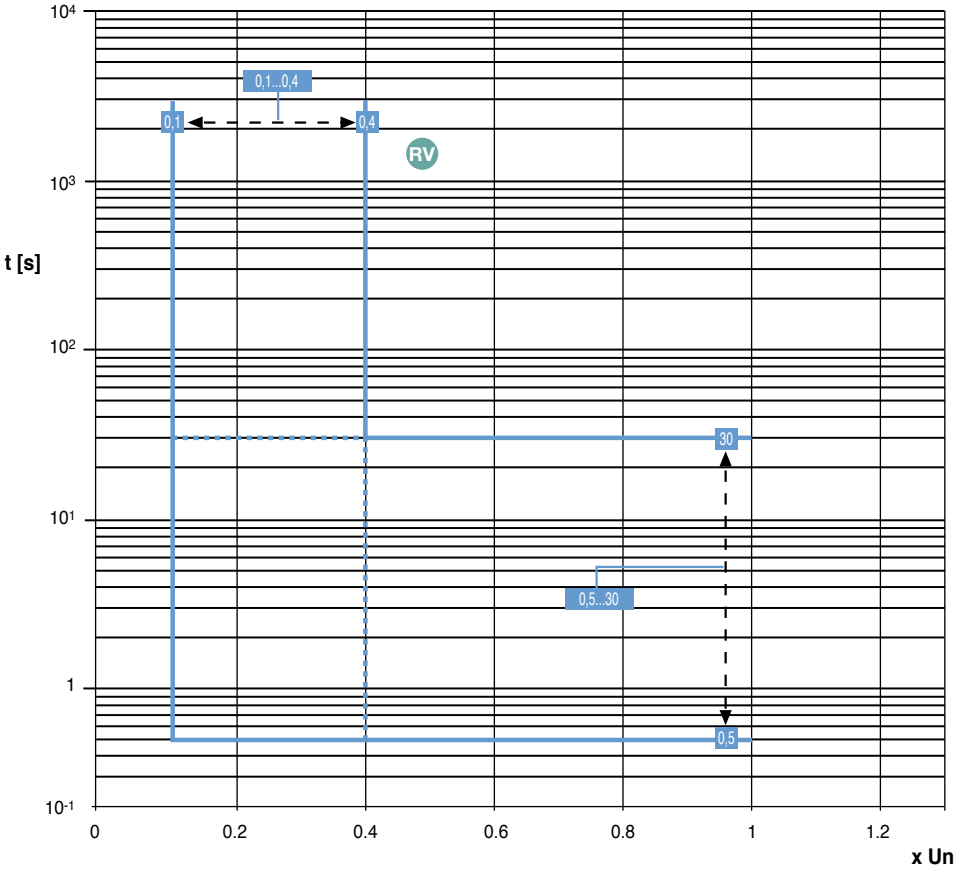
Protezione massima tensione (funzione OV)



Questa protezione interviene dopo il tempo impostato (t9) quando la tensione di fase supera la soglia impostata U9.
La soglia di tensione è impostabile da 1.05 a 1.2xUn e la soglia di tempo da 0.1 a 5 s.
La funzione OV è escludibile.

3 Caratteristiche generali

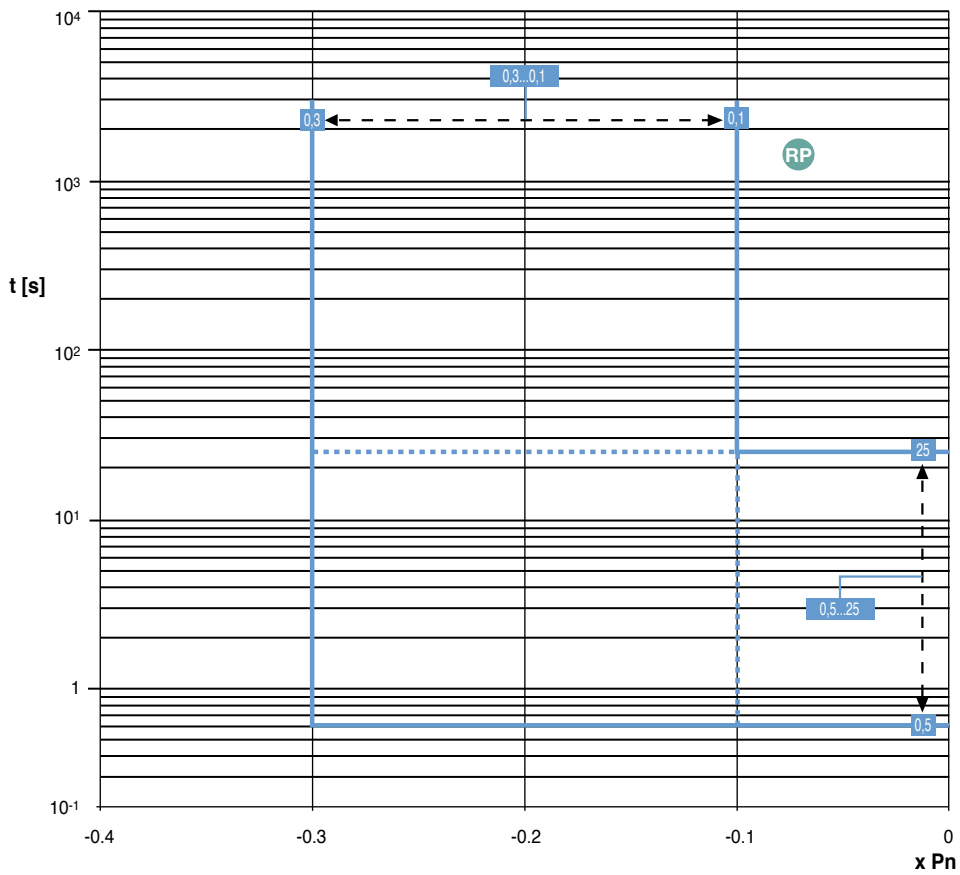
Protezione da tensione residua (funzione RV)



La protezione da tensione residua permette di rilevare spostamenti del centro stella nel caso di sistemi con neutro isolato.
Questa protezione interviene dopo il tempo impostato quando la tensione residua supera la soglia U10.
Questa soglia è impostabile da 0.1 a 0.4xUn e la soglia di tempo da 0.5 s a 30 s.
La funzione RV è escludibile.

3 Caratteristiche generali

Protezione da inversione di potenza attiva (funzione RP)



La protezione da inversione di potenza attiva è particolarmente indicata per la protezione di grosse macchine rotanti (es motori).
In determinate circostanze il motore può generare potenza invece di assorbirla.
Quando la potenza attiva totale inversa (somma della potenza delle 3 fasi) supera la soglia di potenza P11 impostata la protezione temporizza per il tempo impostato t11 e poi interviene facendo aprire l'interruttore.

3 Caratteristiche generali

Protezione da minima frequenza (funzione UF)

Questa protezione interviene generando un allarme o facendo aprire l'interruttore dopo il tempo impostato (t9) quando la frequenza scende sotto la soglia impostata f12.
Trova utilizzo soprattutto in impianti alimentati da generatori e di co-generazione

Protezione da massima frequenza (funzione OF)

Questa protezione interviene generando un allarme o facendo aprire l'interruttore dopo il tempo impostato (t10) quando la frequenza sale sopra la soglia impostata f13.
Anche questa funzione trova utilizzo soprattutto in impianti alimentati da generatori e co-generazione.

Protezione da sovratemperatura (funzione OT)

Questa protezione consente di segnalare la presenza di temperature anomale che potrebbero causare malfunzionamenti dei componenti elettronici dello sganciatore.
Se la temperatura dovesse raggiungere la prima soglia (70°C) il relè avvisa l'operatore con l'accensione del led "warning"; se la temperatura dovesse raggiungere la seconda soglia (85°C) oltre ad avvisare l'operatore con l'accensione dei led "warning" e "allarm" viene attivato il trip dell'interruttore (abilitando l'apposito parametro).

Curva di intervento in accordo alla Norma IEC60255-3

Questa funzione di protezione contro il sovraccarico trova applicazione nel coordinamento con i relè e i fusibili di MT.
Infatti è possibile coordinare le curve d'intervento degli interruttori avvicinandosi alle pendenze delle curve d'intervento dei relè o fusibili di media tensione in modo tale da ottenere selettività tempo-corrente tra BT e MT.Le curve secondo la norma IEC60255 oltre ad essere definite da una soglia di corrente I1 e da un tempo di intervento t1 sono definite dai parametri K e a che ne determinano la pendenza.
I parametri sono i seguenti:

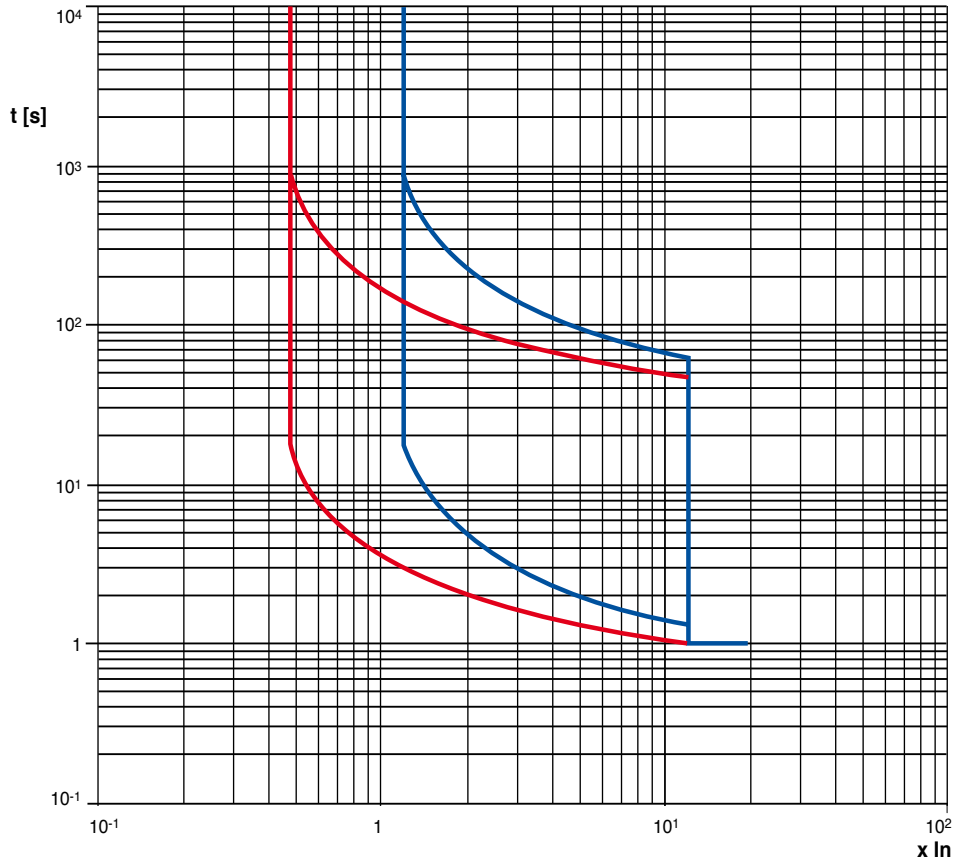
	Tipologia di curva		
Parametri	**A**	**B**	**C**
K	0.14	13.5	80.0
a	0.02	1.0	2.0

La curva L conforme alla IEC 60255-3 è disponibile sia sugli sganciatori elettronici PR332-PR333 per gli interruttori T7 e X1 sia sugli sganciatori elettronici PR122-PR123 per gli interruttori della famiglia Emax.

3 Caratteristiche generali

Curva A

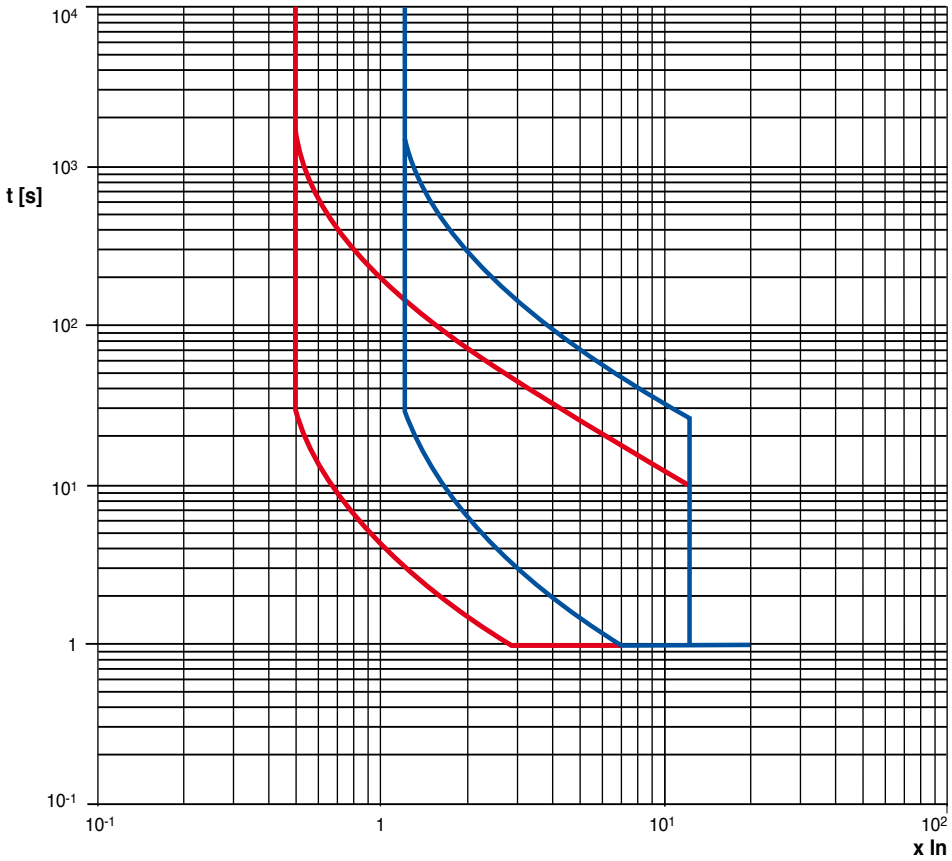
k=0.14 alfa=0.02



3 Caratteristiche generali

Curva B

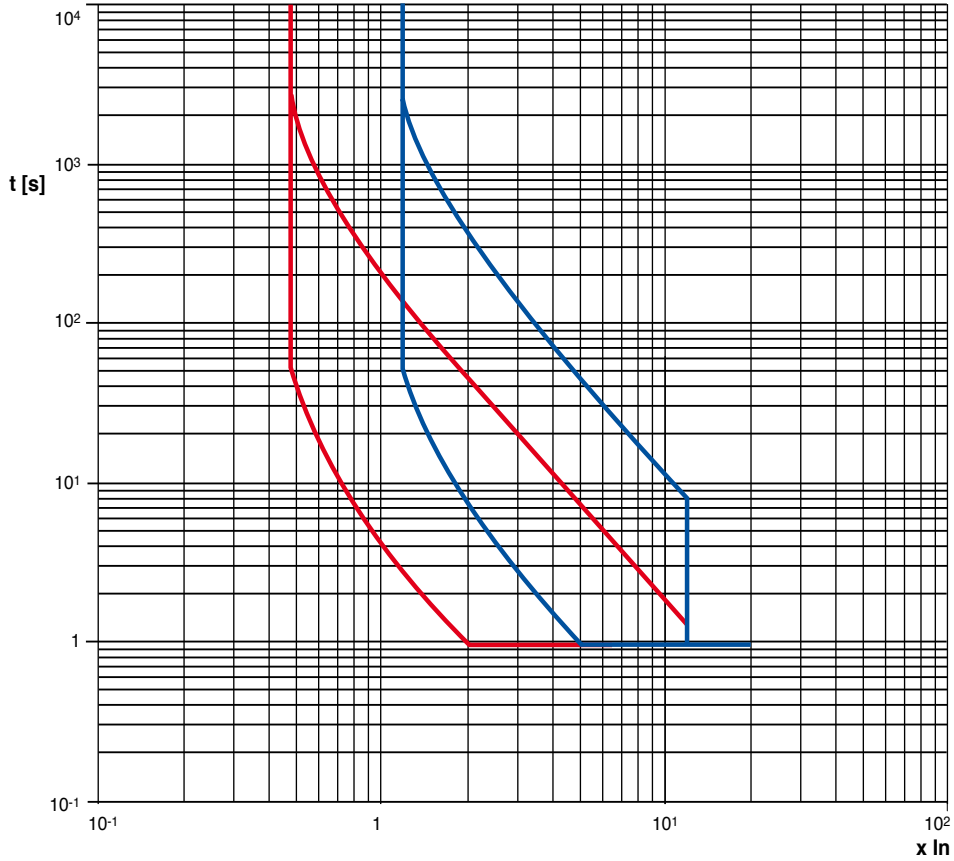
k=13.5 alfa=1



3 Caratteristiche generali

Curva C

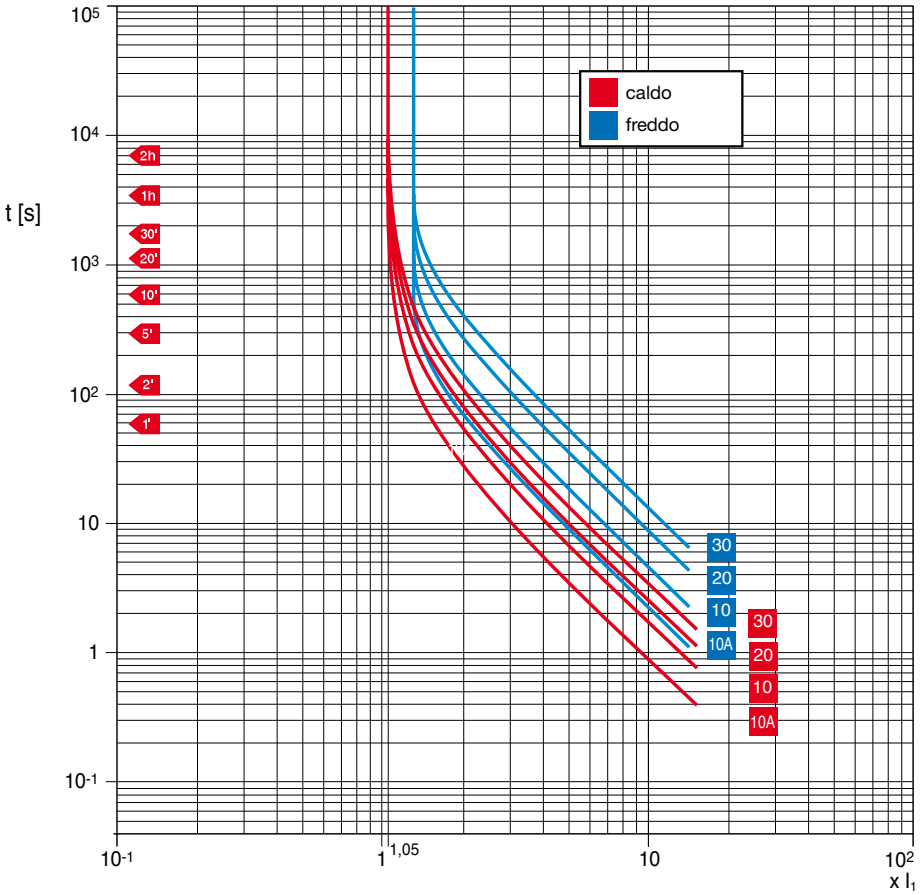
k=80 alfa=2



3 Caratteristiche generali

Protezione motori

L: funzione di protezione motore contro il sovraccarico in accordo alle indicazioni definite nella norma IEC 60947-4-1

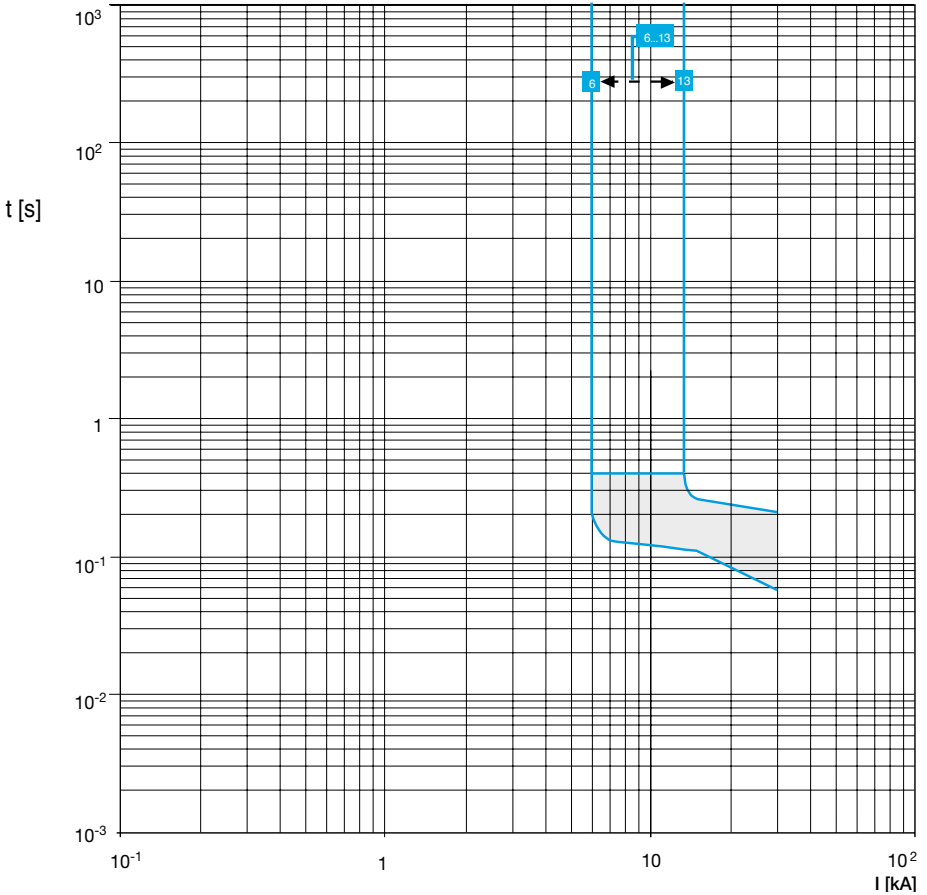


La funzione L implementata sugli sganciatori MP protegge il motore da sovraccarichi secondo le indicazioni e le classi definite dalla Norma IEC 60947-4-1. La protezione è basata su un modello termico predefinito che, simulando le sovratemperature del rame e del ferro interne al motore, consente una salvaguardia precisa del motore stesso. Il tempo d'intervento viene fissato scegliendo la classe d'intervento definita dalla suddetta Norma. La funzione è compensata in temperatura e sensibile alla mancanza di fase. La funzione L, non escludibile, può essere impostata manualmente con settaggi che vanno da un minimo di 0,4 ad un massimo di 1x In. È inoltre necessario selezionare la classe d'avviamento che determina il tempo d'intervento con una corrente pari a 7.2xIe in accordo alle prescrizioni al punto 4.7.3 della norma IEC 60947-4-1 4.7.3.Per maggiori informazioni vedi il capitolo 3.3 del volume 2.

3 Caratteristiche generali

Protezione motori

I: funzione di protezione istantanea contro il cortocircuito

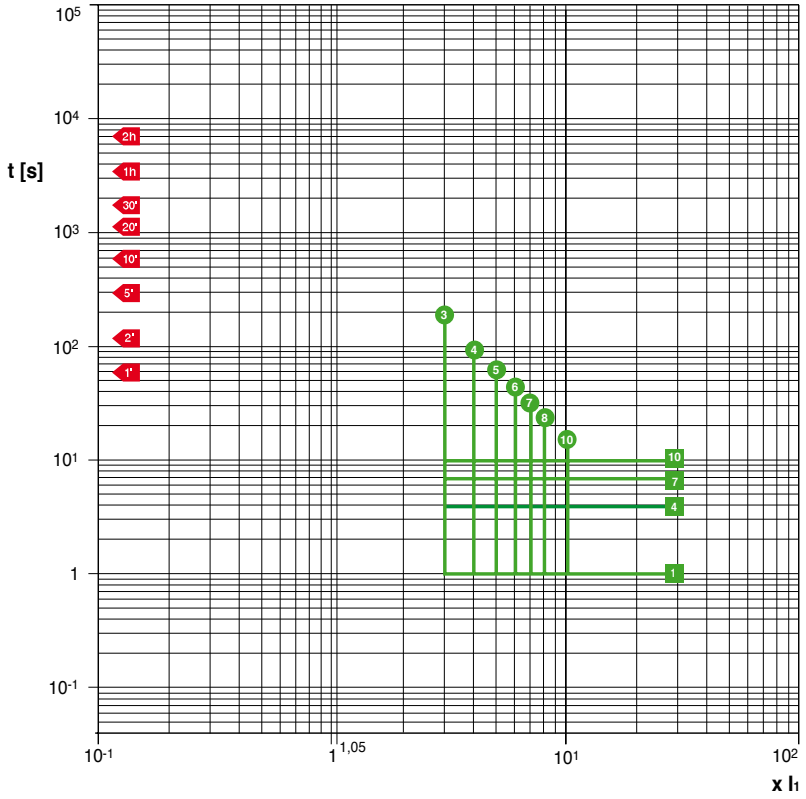


Questa funzione di protezione interviene in caso di cortocircuito tra fase e fase. È sufficiente che una sola fase superi la soglia impostata per provocare l'immediata apertura dell'interruttore.
La corrente d'intervento può essere regolata fino a 13 volte la corrente nominale dello sganciatore.

3 Caratteristiche generali

Protezione motori

R: Funzione di protezione contro il blocco del rotore

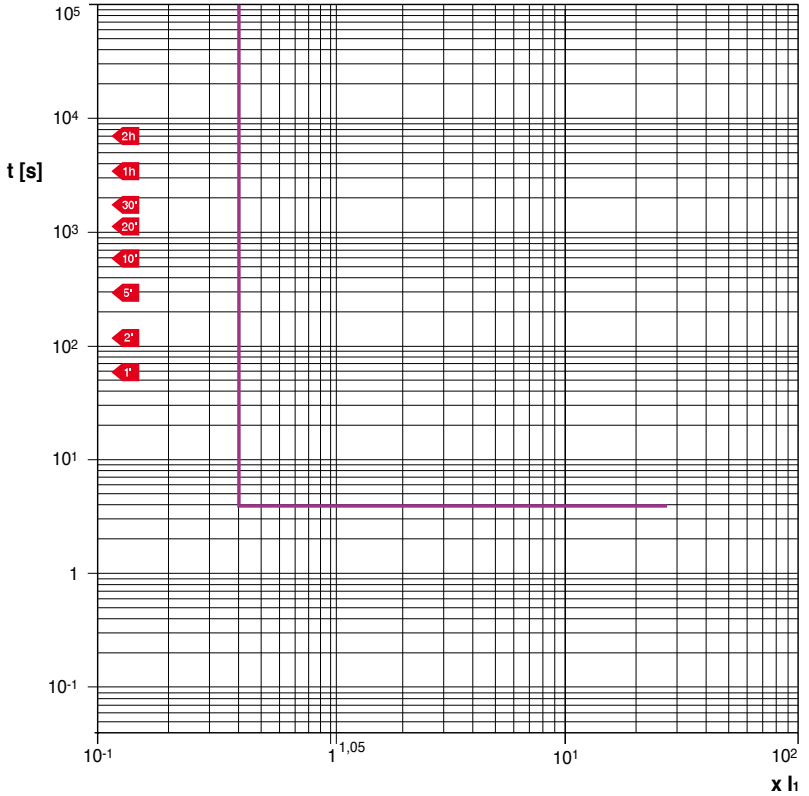


La funzione R protegge il motore da un eventuale blocco del rotore durante il funzionamento. La protezione R ha la caratteristica di proteggere il motore in due modi diversi, a seconda che il guasto sia presente allo start-up o che si verifichi durante il normale esercizio di un motore già attivato.
Nel primo caso la protezione R è legata alla protezione L anche per la selezione del tempo: in presenza di un guasto durante lo start-up, la protezione R è inibita per una durata pari al tempo impostato in base alla classe di intervento, superato tale tempo la protezione R diventa attiva conducendo ad un trip dopo il tempo t5 impostato. Nel secondo caso la protezione R è già attiva e l'intervento della protezione sarà pari a t5 impostato. La protezione interviene quando almeno una delle correnti di fase supera il valore fissato e permane per il tempo t5 fissato.

3 Caratteristiche generali

Protezione motori

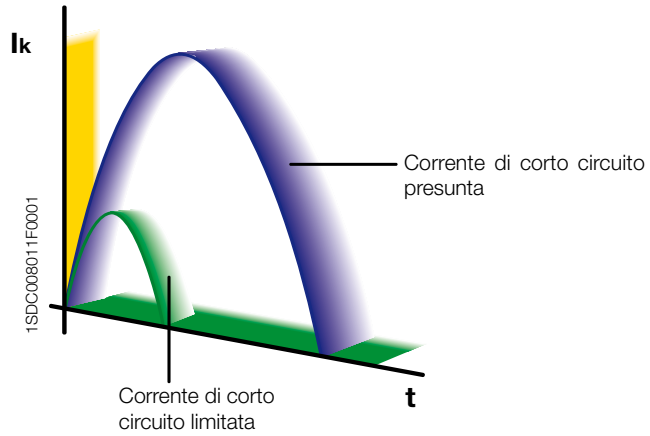
U: Funzione di protezione contro la mancanza e/o lo squilibrio di fase



La funzione U è utilizzabile in quei casi in cui è necessario un controllo particolarmente accurato per quanto riguarda la mancanza/squilibrio di fase. Tale protezione interviene se il valore efficace di una o due correnti scende sotto il livello pari a 0.4 della corrente I1 impostata della protezione L e vi permane per più di 4 secondi.Questa funzione è escludibile.

3.3 Curve di limitazione

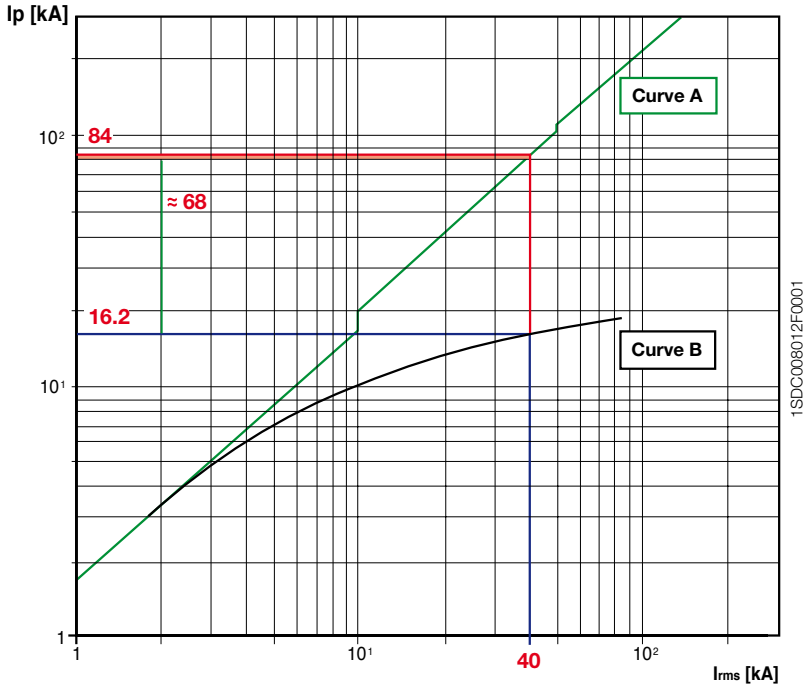
Un interruttore in cui l'apertura dei contatti avviene dopo il passaggio del picco della corrente di corto circuito, o in cui l'intervento avviene con il passaggio per lo zero naturale, sottopone i componenti del sistema ad alte sollecitazioni, sia termiche che dinamiche. Per ridurre queste sollecitazioni, sono stati progettati gli interruttori limitatori di corrente (vedere Capitolo 2.2 "Definizioni principali"), che sono in grado di iniziare l'operazione di apertura prima che la corrente di corto circuito abbia raggiunto il suo primo picco, e di estinguere velocemente l'arco tra i contatti; il seguente diagramma mostra la forma d'onda sia della corrente di corto circuito presunto che della corrente di corto circuito limitata.



Il seguente diagramma mostra la curva di limitazione dell'interruttore Tmax T2L160, In160. L'asse x mostra i valori effettivi della corrente di corto circuito simmetrica presunta, mentre l'asse y mostra il relativo valore di picco. L'effetto limitante può essere valutato paragonando, a valori uguali di corrente di guasto simmetrica, il valore di picco corrispondente alla corrente di corto circuito presunta (curva A) con il valore di picco limitato (curva B).

3 Caratteristiche generali

L'interruttore T2L160 con sganciatore termomagnetico In=160 a 400 V, per una corrente di guasto di 40 kA, limita il valore di picco della corrente di corto circuito a solo 16,2 kA, con una riduzione di circa 68 kA paragonato al valore di picco in assenza della limitazione (84 kA).



Considerando che le sollecitazioni elettro-dinamiche e le conseguenti sollecitazioni meccaniche sono strettamente collegate al picco della corrente, l'utilizzo di interruttori limitatori di corrente permette il dimensionamento ottimale dei componenti in un impianto elettrico. Inoltre, il concetto di limitazione della corrente di guasto può anche essere considerato come uno degli elementi utili per studiare la protezione di sostegno (back-up) tra due interruttori in serie.

3 Caratteristiche generali

Oltre ai vantaggi in termini di progettazione, l'utilizzo di interruttori limitatori di corrente permette, nei casi descritti nella Norma IEC 60439-1, di evitare le verifiche della tenuta delle correnti di corto circuito per i quadri. La Norma al paragrafo 8.2.3.1 "Circuiti dell'apparecchiatura per i quali non è necessaria la verifica della tenuta al cortocircuito" stabilisce che:

"Una verifica della tenuta delle correnti di corto circuito non è richiesta nei seguenti casi...

Per apparecchiature protette da dispositivi limitatori di corrente con una corrente di picco limitata che non supera i 17 kA in corrispondenza della corrente di corto circuito presunta massima ammissibile sui terminali del circuito d'ingresso delle apparecchiature"

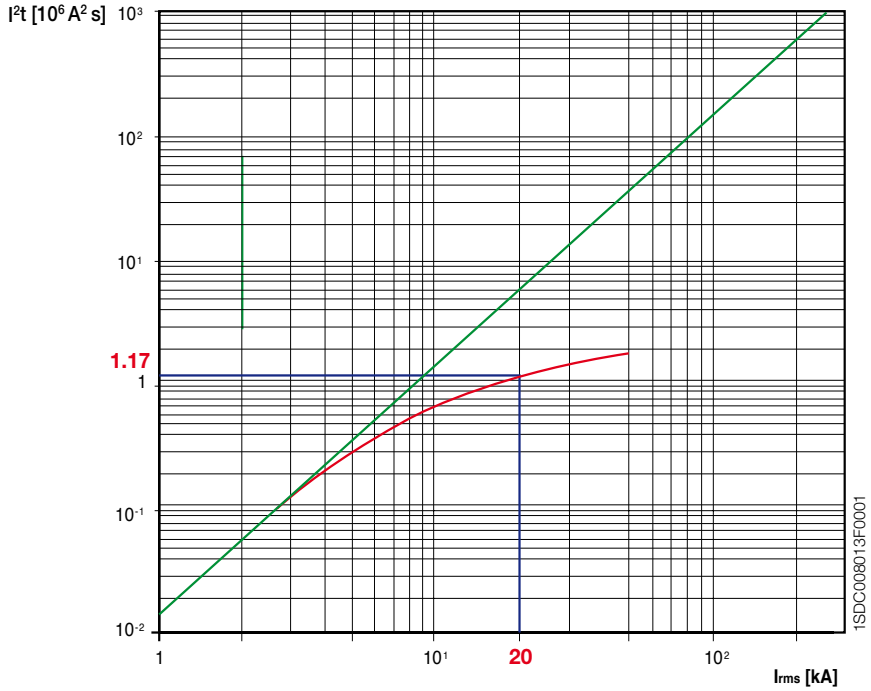
L'esempio nella pagina precedente è incluso tra quelli considerati dalla Norma: se l'interruttore fosse usato come interruttore principale in un quadro da installare in un punto dell'impianto dove la corrente di corto circuito presunta è 40 kA, non sarebbe necessario effettuare la verifica della tenuta al corto circuito per il quadro stesso.

3 Caratteristiche generali

3.4 Curve di energia specifica passante

Nel caso di cortocircuito, le parti di un impianto interessate da un guasto sono soggette a sollecitazioni termiche che sono proporzionali sia al quadrato della corrente di guasto sia al tempo richiesto dal dispositivo di protezione per interrompere la corrente. L'energia lasciata passare dal dispositivo di protezione durante l'intervento viene chiamata "energia specifica passante" (I^2t), misurata in A^2s. Conoscere il valore dell'energia specifica passante in varie condizioni di guasto è fondamentale per il dimensionamento e la protezione delle varie parti dell'impianto.
L'effetto della limitazione e del tempo d'intervento ridotto, influenzano il valore dell'energia specifica passante. Per quei valori di corrente per i quali l'intervento dell'interruttore è regolato con la temporizzazione dello sganciatore, il valore dell'energia specifica passante è ottenuto moltiplicando il quadrato della corrente di guasto effettiva per il tempo necessario al dispositivo di protezione di intervenire; in altri casi il valore dell'energia specifica passante può essere ottenuto dai seguenti diagrammi.

Quanto segue è un esempio della lettura da un diagramma della curva di energia specifica passante per un interruttore tipo T3S 250 In=160 at 400 V.
L'asse orizzontale mostra la corrente di corto circuito simmetrica presunta, mentre l'asse verticale mostra i valori dell'energia specifica passante, espressi in MA^2s.
In corrispondenza di una corrente di corto circuito uguale a 20 kA, l'interruttore lascia passare un valore di I^2t uguale a 1,17 MA^2s (1170000 A^2s).



3.5 Declassamento per temperatura

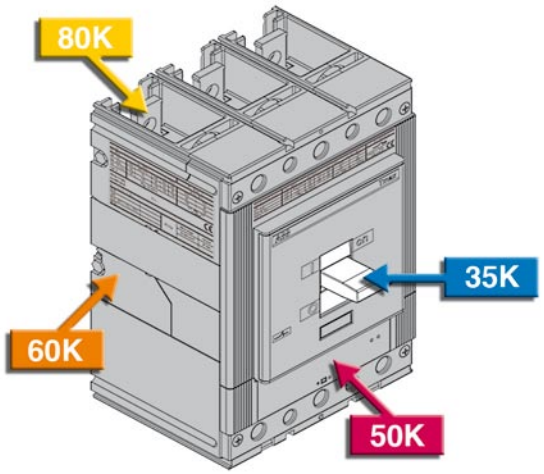
La Norma IEC 60947-2 stabilisce che i limiti di sovratemperatura per interruttori che funzionano alla corrente nominale devono essere entro i limiti dati nella seguente tabella:

Tabella 1 – Limiti nell'aumento di temperatura per terminali e parti accessibili

Descrizione della parte*		Limiti nell'aumento di temperatura K
- Terminale per connessioni esterne		80
- Organi per la manovra manuale:	metalliche	25
	di materiale isolante	35
- Parti intesi ad essere toccate ma non afferrate:	metalliche	40
	di materiale isolante	50
- Parti che non necessitano di essere toccate durante le normali operazioni:	metalliche	50
	di materiale isolante	60

* Non è specificato alcun valore per parti oltre a quelle elencate ma nessun danno dovrebbe essere recato alle parti adiacenti in materiale isolante.

Questi valori sono validi per una temperatura ambiente massima di riferimento di 40°C, come previsto nella Norma IEC 60947-1, clausola 6.1.1.



3 Caratteristiche generali

Quando la temperatura ambientale è diversa da 40°C, il valore della corrente che può essere portata dall'interruttore è indicato nelle seguenti tabelle:

Interruttori con sganciatore termomagnetico

		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	In [A]	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T1	16	13	18	12	18	12	17	11	16	11	15	10	14	9	13
	20	16	23	15	22	15	21	14	20	13	19	12	18	11	16
	25	20	29	19	28	18	26	18	25	16	23	15	22	14	20
	32	26	37	25	35	24	34	22	32	21	30	20	28	18	26
	40	32	46	31	44	29	42	28	40	26	38	25	35	23	33
	50	40	58	39	55	37	53	35	50	33	47	31	44	28	41
	63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	39	55	36	51
	80	64	92	62	88	59	84	56	80	53	75	49	70	46	65
	100	81	115	77	110	74	105	70	100	66	94	61	88	57	81
	125	101	144	96	138	92	131	88	125	82	117	77	109	71	102
	160	129	184	123	176	118	168	112	160	105	150	98	140	91	130
T2	1,6	1,3	1,8	1,2	1,8	1,2	1,7	1,1	1,6	1	1,5	1	1,4	0,9	1,3
	2	1,6	2,3	1,5	2,2	1,5	2,1	1,4	2	1,3	1,9	1,2	1,7	1,1	1,6
	2,5	2	2,9	1,9	2,8	1,8	2,6	1,8	2,5	1,6	2,3	1,5	2,2	1,4	2
	3,2	2,6	3,7	2,5	3,5	2,4	3,4	2,2	3,2	2,1	3	1,9	2,8	1,8	2,6
	4	3,2	4,6	3,1	4,4	2,9	4,2	2,8	4	2,6	3,7	2,4	3,5	2,3	3,2
	5	4	5,7	3,9	5,5	3,7	5,3	3,5	5	3,3	4,7	3	4,3	2,8	4
	6,3	5,1	7,2	4,9	6,9	4,6	6,6	4,4	6,3	4,1	5,9	3,8	5,5	3,6	5,1
	8	6,4	9,2	6,2	8,8	5,9	8,4	5,6	8	5,2	7,5	4,9	7	4,5	6,5
	10	8	11,5	7,7	11	7,4	10,5	7	10	6,5	9,3	6,1	8,7	5,6	8,1
	12,5	10,1	14,4	9,6	13,8	9,2	13,2	8,8	12,5	8,2	11,7	7,6	10,9	7,1	10,1
	16	13	18	12	18	12	17	11	16	10	15	10	14	9	13
	20	16	23	15	22	15	21	14	20	13	19	12	17	11	16
	25	20	29	19	28	18	26	18	25	16	23	15	22	14	20
	32	26	37	25	35	24	34	22	32	21	30	19	28	18	26
	40	32	46	31	44	29	42	28	40	26	37	24	35	23	32
	50	40	57	39	55	37	53	35	50	33	47	30	43	28	40
	63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	38	55	36	51
	80	64	92	62	88	59	84	56	80	52	75	49	70	45	65
	100	80	115	77	110	74	105	70	100	65	93	61	87	56	81
	125	101	144	96	138	92	132	88	125	82	117	76	109	71	101
	160	129	184	123	178	118	168	112	160	105	150	97	139	90	129

3 Caratteristiche generali

		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	In [A]	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T3	63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	38	55	35	51
	80	64	92	62	88	59	84	56	80	52	75	48	69	45	64
	100	80	115	77	110	74	105	70	100	65	93	61	87	56	80
	125	101	144	96	138	92	132	88	125	82	116	76	108	70	100
	160	129	184	123	176	118	168	112	160	104	149	97	139	90	129
	200	161	230	154	220	147	211	140	200	130	186	121	173	112	161
	250	201	287	193	278	184	263	175	250	163	233	152	216	141	201
T4	20	19	27	18	24	16	23	14	20	12	17	10	15	8	13
	32	26	43	24	39	22	36	19	32	16	27	14	24	11	21
	50	37	62	35	58	33	54	30	50	27	46	25	42	22	39
	80	59	98	55	92	52	86	48	80	44	74	40	66	32	58
	100	83	118	80	113	74	106	70	100	66	95	59	85	49	75
	125	103	145	100	140	94	134	88	125	80	115	73	105	63	95
	160	130	185	124	176	118	168	112	160	106	150	100	104	90	130
	200	162	230	155	220	147	210	140	200	133	190	122	175	107	160
	250	200	285	193	275	183	262	175	250	168	240	160	230	150	220
T5	320	260	368	245	350	234	335	224	320	212	305	200	285	182	263
	400	325	465	310	442	295	420	280	400	265	380	250	355	230	325
	500	435	620	405	580	380	540	350	500	315	450	280	400	240	345
T6	630	520	740	493	705	462	660	441	630	405	580	380	540	350	500
	800	685	965	640	905	605	855	560	800	520	740	470	670	420	610

Esempi:

Selezione di un interruttore scatolato, con sganciatore termomagnetico, per una corrente di carico di 180 A, ad una temperatura ambiente di 60°C.
Dalla tabella che si riferisce agli interruttori Tmax, si può vedere che l'interruttore più adatto è il T3 In 250, che può essere impostato da 152 A a 216 A.

3 Caratteristiche generali

Interruttori con sganciatore elettronico

			fino a 40°C		50°C		60°C		70°C	
			Imax (A)	I1	Imax (A)	I1	Imax (A)	I1	Imax (A)	I1
T2 160	fisso	F	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		EF	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		ES	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		FC Cu	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		FC CuAl	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		R	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
	rimovibile	F	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
		EF	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
		ES	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
		FC Cu	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
		FC CuAl	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
		R	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
T4 250	fisso	FC	250	1	250	1	250	1	220	0,88
		F	250	1	250	1	250	1	220	0,88
		R (HR)	250	1	250	1	250	1	220	0,88
		R (VR)	250	1	250	1	250	1	230	0,92
	rimovibile estraibile	FC	250	1	250	1	230	0,92	210	0,84
		F	250	1	250	1	230	0,92	210	0,84
		HR	250	1	250	1	230	0,92	210	0,84
		VR	250	1	250	1	240	0,96	220	0,88
T4 320	fisso	FC	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		F	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		R (HR)	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		R (VR)	320	1	307	0,96	281	0,88	256	0,8
	rimovibile estraibile	FC	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		F	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		HR	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		VR	320	1	307	0,96	282	0,88	256	0,8
T5 400	fisso	FC	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		F	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		R (HR)	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		R (VR)	400	1	400	1	400	1	368	0,92
	rimovibile estraibile	FC	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		F	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		R (HR)	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		R (VR)	400	1	400	1	382	0,96	350	0,88
T5 630	fisso	FC	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
		F	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
		HR	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
		VR	630	1	605	0,96	554	0,88	504	0,80
	rimovibile estraibile	F	567	0.9	502	0,8	458	0,72	409	0,64
		HR	567	0.9	502	0,8	458	0,72	409	0,64
		VR	567	0.9	526	0,82	480	0,76	429	0,68

Legenda
F = Terminali anteriori
FC= Terminali anteriori per cavi
HR= Posteriori in piatto orizzontali
VR= Posteriori in piatto verticali
R = Terminali posteriori orientabili
EF = Terminali anteriori prolungati
FC Cu = Terminali anteriori per cavi in rame
FC CuAl = Terminali anteriori per cavi CuAl
ES = Terminali anteriori prolungati divaricati

3 Caratteristiche generali

			fino a 40°C		50°C		60°C		70°C	
			Imax (A)	I1	Imax (A)	I1	Imax (A)	I1	Imax (A)	I1
T6 630	fisso	FC	630	1	630	1	598,1	1	567	0,9
		R (VR)	630	1	630	1	630	1	598,5	0,95
		R (HR)	630	1	630	1	567	0,9	504	0,8
	estraibile	F	630	1	598,5	0,95	567	0,9	567	0,9
		VR	630	1	630	1	598,5	0,95	504	0,8
		HR	630	1	598,5	0,95	567	0,9	504	0,8
T6 800	fisso	FC	800	1	800	1	760	0,95	720	0,9
		R (VR)	800	1	800	1	800	1	760	0,95
		R (HR)	800	1	800	1	720	0,9	640	0,8
	estraibile	F	800	1	760	0,95	720	0,9	640	0,8
		VR	800	1	800	1	760	0,95	720	0,9
		HR	800	1	760	0,95	720	0,9	640	0,8
T6 1000	fisso	FC	1000	1	926	0,93	877	0,88	784	0,78
		R (HR)	1000	1	926	0,93	845	0,85	756	0,76
		R (VR)	1000	1	1000	1	913	0,92	817	0,82
		ES	1000	1	900	0,9	820	0,82	720	0,72
T7 1000 versione V	fisso	VR	1000	1	1000	1	1000	1	894	0,89
		EF-HR	1000	1	1000	1	895	0,89	784	0,78
	estraibile	VR	1000	1	1000	1	913	0,91	816	0,82
		EF-HR	1000	1	1000	1	895	0,89	784	0,78
T7 1250 versione V	fisso	VR	1250	1	1201	0,96	1096	0,88	981	0,78
		EF-HR	1250	1	1157	0,93	1056	0,85	945	0,76
	estraibile	VR	1250	1	1157	0,93	1056	0,85	945	0,76
		EF-HR	1250	1	1000	0,8	913	0,73	816	0,65
T7 1250 versione S-H-L	fisso	VR	1250	1	1250	1	1250	1	1118	0,89
		EF-HR	1250	1	1250	1	1118	0,89	980	0,78
	estraibile	VR	1250	1	1250	1	1141	0,91	1021	0,82
		EF-HR	1250	1	1250	1	1118	0,89	980	0,78
T7 1600 versione S-H-L	fisso	VR	1600	1	1537	0,96	1403	0,88	1255	0,78
		EF-HR	1600	1	1481	0,93	1352	0,85	1209	0,76
	estraibile	VR	1600	1	1481	0,93	1352	0,85	1209	0,76
		EF-HR	1600	1	1280	0,8	1168	0,73	1045	0,65

Legenda

F = Terminali anteriori
FC= Terminali anteriori per cavi
HR= Posteriori in piatto orizzontali
VR= Posteriori in piatto verticali
R = Terminali posteriori orientabili

EF = Terminali anteriori prolungati
FC Cu = Terminali anteriori per cavi in rame
FC CuAl = Terminali anteriori per cavi CuAl
ES = Terminali anteriori prolungati divaricati

Esempi:

Selezione di un interruttore scatolato, con sganciatore elettronico, in versione estraibile con terminali posteriori in piatto orizzontali, per una corrente di carico uguale a 720 A, con una temperatura ambiente di 50 °C.
Dalla tabella che si riferisce agli interruttori Tmax, si può vedere che l'interruttore più adatto è il T6 800, che può essere impostata da 320 A a 760 A.

3 Caratteristiche generali

Emax X1 con terminali posteriori orizzontali

Temperatura	X1 630		X1 800		X1 1000		X1 1250		X1 1600	
[°C]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
50	100	630	100	800	100	1000	100	1250	97	1550
55	100	630	100	800	100	1000	100	1250	94	1500
60	100	630	100	800	100	1000	100	1250	93	1480

Emax X1 con terminali posteriori verticali

Temperatura	X1 630		X1 800		X1 1000		X1 1250		X1 1600	
[°C]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
50	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
55	100	630	100	800	100	1000	100	1250	98	1570
60	100	630	100	800	100	1000	100	1250	95	1520

Emax E1

Temperatura	E1 800		E1 1000		E1 1250		E1 1600	
[°C]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	800	100	1000	100	1250	98	1570
50	100	800	100	1000	100	1250	96	1530
55	100	800	100	1000	100	1250	94	1500
60	100	800	100	1000	100	1250	92	1470
65	100	800	100	1000	99	1240	89	1430
70	100	800	100	1000	98	1230	87	1400

3 Caratteristiche generali

Emax E2

Temperatura	E2 800		E2 1000		E2 1250		E2 1600		E2 2000	
[°C]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
45	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
50	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	97	1945
55	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	94	1885
60	100	800	100	1000	100	1250	98	1570	91	1825
65	100	800	100	1000	100	1250	96	1538	88	1765
70	100	800	100	1000	100	1250	94	1510	85	1705

Emax E3

Temperatura	E3 800		E3 1000		E3 1250		E3 1600		E3 2000		E3 2500		E3 3200	
[C°]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	1001600		100	2000	100	2500	100	3200
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
45	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
50	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	97	3090
55	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	93	2975
60	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	89	2860
65	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	97	2425	86	2745
70	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	94	2350	82	2630

3 Caratteristiche generali

Emax E4

Temperatura	E4 3200		E4 4000	
[°C]	%	[A]	%	[A]
10	100	3200	100	4000
20	100	3200	100	4000
30	100	3200	100	4000
40	100	3200	100	4000
45	100	3200	100	4000
50	100	3200	98	3900
55	100	3200	95	3790
60	100	3200	92	3680
65	98	3120	89	3570
70	95	3040	87	3460

Emax E6

Temperatura	E6 3200		E6 4000		E6 5000		E6 6300	
[°C]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
20	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
30	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
40	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
45	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
50	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
55	100	3200	100	4000	100	5000	98	6190
60	100	3200	100	4000	98	4910	96	6070
65	100	3200	100	4000	96	4815	94	5850
70	100	3200	100	4000	94	4720	92	5600

3 Caratteristiche generali

La seguente tabella riporta esempi della portata continuativa in corrente per interruttori installati in un quadro con le dimensioni indicate di seguito. Questi valori si riferiscono ad interruttori estraibili installati in quadri senza segregazione con una classe di protezione fino a IP31, e le seguenti dimensioni:
2000x400x400 (HxLxP) per X1, 2300x800x900 (HxLxP) per X1 - E1 - E2 - E3;
2300x1400x1500 (HxLxP) per E4 - E6.
I valori si riferiscono ad una temperatura massima agli attacchi di 120 °C.
Per interruttori estraibili con corrente nominale di 6300 A, è consigliato l'utilizzo di attacchi posteriori verticali.

Per quadri con le seguenti dimensioni (mm): 2000x400x400

Tipo	Iu [A]	Terminali verticali				Terminali orizzontali ed anteriori			
		Portata continua [A]			Sezione sbarre [mm²]	Portata continua [A]			Sezione sbarre [mm²]
		35°C	**45°C**	**55°C**		**35°C**	**45°C**	**55°C**	
X1B/N/L 06	630	630	630	630	2x(40x5)	630	630	630	2x(40x5)
X1B/N/L 08	800	800	800	800	2x(50x5)	800	800	800	2x(50x5)
X1B/N/ 10	1000	1000	1000	1000	2x(50x8)	1000	1000	1000	2x(50x10)
X1L 10	1000	1000	1000	960	2x(50x8)	1000	950	890	2x(50x10)
X1B/N/ 12	1250	1250	1250	1250	2x(50x8)	1250	1250	1200	2x(50x10)
X1L 12	1250	1250	1205	1105	2x(50x8)	1250	1125	955	2x(50x10)
X1B/N 16	1600	1520	1440	1340	2x(50x10)	1400	1330	1250	3x(50x8)

Per quadri con le seguenti dimensioni (mm): 2300x800x900

Tipo	Iu [A]	Terminali verticali				Terminali orizzontali ed anteriori			
		Portata continua [A]			Sezione sbarre [mm²]	Portata continua [A]			Sezione sbarre [mm²]
		35°C	**45°C**	**55°C**		**35°C**	**45°C**	**55°C**	
X1B/N/L 06	630	630	630	630	2x(40x5)	630	630	630	2x(40x5)
X1B/N/L 08	800	800	800	800	2x(50x5)	800	800	800	2x(50x5)
X1B/N/L 10	1000	1000	1000	1000	2x(50x8)	1000	1000	1000	2x(50x10)
X1L 10	1000	1000	1000	1000	2x(50x8)	1000	960	900	2x(50x10)
X1B/N/L 12	1250	1250	1250	1250	2x(50x8)	1250	1250	1200	2x(50x10)
X1L 12	1250	1250	1250	1110	2x(50x8)	1250	1150	960	2x(50x10)
X1B/N 16	1600	1600	1500	1400	2x(50x10)	1460	1400	1300	3x(50x8)

3 Caratteristiche generali

Tipo	Iu [A]	Terminali verticali				Terminali orizzontali ed anteriori			
		Portata continua [A]			Sezione sbarre [mm²]	Portata continua [A]			Sezione sbarre [mm²]
		35°C	**45°C**	**55°C**		**35°C**	**45°C**	**55°C**	
E1B/N 08	800	800	800	800	1x(60x10)	800	800	800	1x(60x10)
E1B/N 10	1000	1000	1000	1000	1x(80x10)	1000	1000	1000	2x(60x8)
E1B/N 12	1250	1250	1250	1250	1x(80x10)	1250	1250	1200	2x(60x8)
E1B/N 16	1600	1600	1600	1500	2x(60x10)	1550	1450	1350	2x(60x10)
E2S 08	800	800	800	800	1x(60x10)	800	800	800	1x(60x10)
E2N/S 10	1000	1000	1000	1000	1x(60x10)	1000	1000	1000	1x(60x10)
E2N/S 12	1250	1250	1250	1250	1x(60x10)	1250	1250	1250	1x(60x10)
E2B/N/S 16	1600	1600	1600	1600	2x(60x10)	1600	1600	1530	2x(60x10)
E2B/N/S 20	2000	2000	2000	1800	3x(60x10)	2000	2000	1750	3x(60x10)
E2L 12	1250	1250	1250	1250	1x(60x10)	1250	1250	1250	1x(60x10)
E2L 16	1600	1600	1600	1500	2x(60x10)	1600	1500	1400	2x(60x10)
E3H/V 08	800	800	800	800	1x(60x10)	800	800	800	1x(60x10)
E3S/H 10	1000	1000	1000	1000	1x(60x10)	1000	1000	1000	1x(60x10)
E3S/H/V 12	1250	1250	1250	1250	1x(60x10)	1250	1250	1250	1x(60x10)
E3S/H/V 16	1600	1600	1600	1600	1x(100x10)	1600	1600	1600	1x(100x10)
E3S/H/V 20	2000	2000	2000	2000	2x(100x10)	2000	2000	2000	2x(100x10)
E3N/S/H/V 25	2500	2500	2500	2500	2x(100x10)	2500	2450	2400	2x(100x10)
E3N/S/H/V 32	3200	3200	3100	2800	3x(100x10)	3000	2880	2650	3x(100x10)
E3L 20	2000	2000	2000	2000	2x(100x10)	2000	2000	1970	2x(100x10)
E3L 25	2500	2500	2390	2250	2x(100x10)	2375	2270	2100	2x(100x10)
E4H/V 32	3200	3200	3200	3200	3x(100x10)	3200	3150	3000	3x(100x10)
E4S/H/V 40	4000	4000	3980	3500	4x(100x10)	3600	3510	3150	6x(60x10)
E6V 32	3200	3200	3200	3200	3x(100x10)	3200	3200	3200	3x(100x10)
E6H/V 40	4000	4000	4000	4000	4x(100x10)	4000	4000	4000	4x(100x10)
E6H/V 50	5000	5000	4850	4600	6x(100x10)	4850	4510	4250	6x(100x10)
E6H/V 63	6300	6000	5700	5250	7x(100x10)	-	-	-	-

Nota: la temperatura indicata è riferita alla temperatura ambiente.

Esempi:

Selezione di un interruttore aperto, con sganciatore elettronico, in versione estraibile con attacchi verticali, per una corrente di carico di 2700 A, con una temperatura di 55 °C fuori dal quadro IP31.
Dalle tabelle che si riferiscono alla portata all'interno del quadro per interruttori Emax (vedere sopra), si può vedere che l'interruttore più adatto è il E3 3200, con sezione sbarra 3x(100x10)mm², che può essere impostato da 1280 A a 2800 A.

3.6 Declassamento per altitudine

Per le installazioni effettuate ad altitudini superiori a 2000 m s.l.m., la prestazione degli interruttori di bassa tensione è soggetta ad un declassamento.
Sostanzialmente ci sono due fenomeni principali:

- la riduzione della densità dell'aria causa una efficienza minore nel trasferimento di calore. Le condizioni di riscaldamento ammissibili per le varie parti dell'interruttore possono essere rispettate solo se il valore della corrente ininterrotta nominale viene diminuita;
- la rarefazione dell'aria causa una diminuzione della tenuta dielettrica, in modo che le distanze normali di isolamento diventano insufficienti. Questo porta ad una diminuzione nella tensione nominale massima alla quale si può utilizzare il dispositivo.

I coefficienti di correzione per i diversi tipi di interruttori, sia interruttori scatolati che aperti, vengono dati nella seguente tabella:

Tensione nominale d'impiego Ue [V]

Altitudine	2000[m]	3000[m]	4000[m]	5000[m]
Tmax*	690	600	500	440
Emax	690	600	500	440

Corrente ininterrotta nominale Iu [A]

Altitudine	2000[m]	3000[m]	4000[m]	5000[m]
Tmax	100%	98%	93%	90%
Emax	100%	98%	93%	90%

*Escluso Tmax T1 1P

3.7 Caratteristiche elettriche degli interruttori di manovra-sezionatori

Un interruttore di manovra-sezionatore come definito dalla Norma IEC 60947-3 è un dispositivo meccanico di manovra che, quando è nella posizione di aperto, effettua una funzione di disconnessione e garantisce una distanza d'isolamento (distanza tra contatti) sufficiente per garantire la sicurezza. Questa sicurezza di disconnessione deve essere garantita e verificata dalla manovra positiva: la leva di manovra deve sempre indicare la corrispondente posizione dei contatti mobili del dispositivo.
Il dispositivo meccanico di manovra deve essere in grado di chiudere, portare ed interrompere le correnti in condizioni normali del circuito, compresa qualsiasi corrente di sovraccarico durante il normale impiego, e di portare, per una durata specifica, le correnti in condizioni anormali del circuito, quali, per esempio, le condizioni di corto circuito.

Gli interruttori di manovra-sezionatori vengono spesso usati come:

- dispositivi principali dei sottoquadri;
- dispositivi di manovra e sezionamento per linee, sbarre o unità di carico;
- congiuntori.

L'interruttore di manovra-sezionatore dovrà garantire che tutto l'impianto o parte di esso non sia in tensione, con la disinserzione sicura da qualsiasi alimentazione elettrica. L'utilizzo di tale interruttore di manovra-sezionatore permette, ad esempio, al personale di lavorare sull'impianto senza rischi di tipo elettrico.

Anche se l'utilizzo di dispositivi unipolari affiancati non è proibito, le norme consigliano l'utilizzo di dispositivi multipolari per garantire la disinserzione simultanea di tutti i poli nel circuito.

Le specifiche caratteristiche nominali degli interruttori di manovra-sezionatori sono definite dalla Norma IEC 60947-3, come indicato di seguito:

- **Icw [kA]**: corrente nominale ammissibile di breve durata:

  rappresenta la corrente che un interruttore di manovra-sezionatore è in grado di portare, senza danni, nella posizione di chiuso per una durata specifica

3 Caratteristiche generali

- **Icm [kA]**: potere di chiusura nominale in corto circuito:

  rappresenta il valore di picco massimo di una corrente di corto circuito che l'interruttore di manovra-sezionatore può chiudere senza danni. Quando questo valore non viene fornito dal produttore deve essere inteso almeno uguale alla corrente di picco corrispondente a Icw. Non è possibile definire un potere d'interruzione Icu [kA] poiché agli interruttori di manovra-sezionatori non è richiesto interrompere le correnti di corto circuiti

- **categorie di utilizzazione con corrente alternata AC e con corrente continua DC:**

  queste categorie definiscono il tipo di condizioni d'uso. Sono rappresentate da due lettere per indicare il tipo di circuito in cui il dispositivo può essere installato (AC per corrente alternata e DC per corrente continua), con un numero a due cifre per il tipo di carico che deve essere manovrato, ed una lettera aggiuntiva (A o B) che rappresenta la frequenza d'utilizzo.

  Con riferimento alle categorie d'impiego, la norma di prodotto definisce i valori di corrente che l'interruttore di manovra-sezionatore deve essere in grado di interrompere e chiudere in condizioni anomale.

Le caratteristiche delle categorie d'impiego sono indicate nella Tabella 1.
La categoria più severa in corrente alternata è AC23A, per la quale il dispositivo deve essere in grado di inserire una corrente uguale a 10 volte la corrente nominale del dispositivo, e di disinserire una corrente uguale a 8 volte la corrente nominale del dispositivo.

Dal punto di vista costruttivo, l'interruttore di manovra-sezionatore è un dispositivo molto semplice. Non è dotato di dispositivi per la rilevazione di sovraccorente e la conseguente interruzione automatica della corrente. Perciò l'interruttore di manovra-sezionatore non può essere usato per la protezione automatica dalla sovracorrente che può verificarsi nel caso di guasto, e la protezione deve essere fornita da un interruttore coordinato. La combinazione dei due dispositivi permette l'utilizzo di interruttori di manovra-sezionatori in sistemi dove il valore della corrente di corto circuito è più alto dei parametri elettrici che definiscono la prestazione dell'interruttore di manovra-sezionatore (protezione di sostegno, vedere Capitolo 4.4). Questo è valido solo per interruttori di manovra-sezionatori Tmax. Per gli interruttori di manovra-sezionatori aperti Emax/MS, deve essere verificato che i valori di Icw e Icm siano più alti dei valori rispettivamente di corto circuito e di picco nell'impianto.

3 Caratteristiche generali

Tabella 1: Categorie di utilizzazione

Natura della corrente	Categorie di utilizzazione		
	Categoria di utilizzazione		Applicazioni tipiche
	Manovra frequente	Manovra non frequente	
Corrente alternata	AC-20A	AC-20B	Inserzione e disinserzione in condizioni senza carico
	AC-21A	AC-21B	Inserzione e disinserzione in condizioni senza carico
	AC-22A	AC-22B	Manovra di carichi resistivi compresi sovraccarichi moderati
	AC-23A	AC-23B	Manovra di carichi misti resistivi ed induttivi, compreso un sovraccarico moderato
Corrente continua	DC-20A	DC-20B	Manovra di carichi di motori o altri carichi altamente induttivi
	DC-21A	DC-21B	Manovra di carichi resistivi compresi sovraccarichi moderati
	DC-22A	DC-22B	Manovra di carichi misti resistivi ed induttivi, compreso un sovraccarico moderato (p.e. motori con derivatore)
	DC-23A	DC-23B	Manovra di carichi altamente induttivi

3 Caratteristiche generali

Le tabelle 2, 3 e 4 indicano le caratteristiche principali degli interruttori di manovra-sezionatori.

Tabella 2: Interruttori di manovra-sezionatori Tmax

				Tmax T1D	Tmax T3D
Corrente termica convenzionale, **Ith**			[A]	160	250
Corrente d'impiego nominale in categoria AC22, **Ie**			[A]	160	250
Corrente d'impiego nominale in categoria AC23, **Ie**			[A]	125	200
Poli			[Nr.]	3/4	3/4
Tensione nominale d'impiego, **Ue**	(c.a.) 50-60 Hz		[V]	690	690
	(c.c.)		[V]	500	500
Tensione nominale di tenuta ad impulso, **Uimp**			[kV]	8	8
Tensione nominale d'isolamento, **Ui**			[V]	800	800
Tensione di prova a frequenza industriale per 1 min.			[V]	3000	3000
Potere di chiusura nominale in cortocircuito Icm,	(min) solo sezionatore		[kA]	2.8	5.3
	(max) con interruttore automatico a monte		[kA]	187	105
Corrente di breve durata ammissibile nominale per 1s, **Icw**			[kA]	2	3.6
Norma di riferimento				IEC 60947-3	IEC 60947-3
Esecuzioni				F	F - P
Terminali				FC Cu - EF - FC CuAl	F-FC CuAl-FC Cu-EF-ES-R
Vita meccanica			[Nr. manovre]	25000	25000
			[Nr. manovre orarie]	120	120
Dimensioni base, fisso		3 poli	L [mm]	76	105
		4 poli	L [mm]	102	140
			P [mm]	70	70
			H [mm]	130	150
Peso	fisso	3/4 poli	[kg]	0.9/1.2	1.5/2
	rimovibile	3/4 poli	[kg]	–	2.1/3.7
	estraibile	3/4 poli	[kg]	–	–

3 Caratteristiche generali

Tmax T4D	Tmax T5D	Tmax T6D	Tmax T7D
250/320	400/630	630/800/1000	1000/1250/1600
250/320	400/630	630/800/1000	1000/1250/1600
250	400	630/800/800	1000/1250/1250
3/4	3/4	3/4	3/4
690	690	690	690
750	750	750	750
8	8	8	8
800	800	1000	1000
3000	3000	3500	3000
5.3	11	30	52.5
440	440	440	440
3.6	6	15	20
IEC 60947-3	IEC 60947-3	IEC 60947-3	IEC 60947-3
F - P - W	F - P - W	F-W	F-W
F-FC CuAl-FC Cu-EF-ES-R-MC-HR-VR	F-FC CuAl-FC Cu-EF-ES-R-HR-VR	F-FC CuAl-EF-ES-R-RC	F-EF-ES-FC CuAl HR/VR
20000	20000	20000	10000
120	120	120	60
105	140	210	210
140	184	280	280
103.5	103.5	268	154 (man.) / 178 (mot.)
205	205	103.5	268
2.35/3.05	3.25/4.15	9.5/12	9.7 / 12.5 (man.) / 11/14 (mot.)
3.6/4.65	5.15/6.65	–	–
3.85/4.9	5.4/6.9	12.1/15.1	29.7 / 39.6 (man.) / 32 / 42.6 (mot.)

LEGENDA VERSIONI
F = Fisso
P = Rimovibile
W = Estraibile

LEGENDA TERMINALI
F = Anteriori
EF = Anteriori prolungati
ES = Anteriori prolungati divaricati
FC CuAl = Anteriori per cavi in rame o alluminio
R = Posteriori filettati
RC = Posteriori per cavi in rame o alluminio
HR = Posteriori in piatto orizzontali
VR = Posteriori in piatto verticali
MC = Multicavo
HR/VR = Posteriori in piatto orientabili

3 Caratteristiche generali

Tabella 4: Interruttori di manovra-sezionatori Emax

		X1B/MS	E1B/MS	E1N/MS	E2B/MS	E2N/MS	E2S/MS	E3N/MS	E3S/MS	E3V/MS	E4S/fMS	E4S/MS	E4H/fMS	E4H/MS	E6H/MS	E6H/f MS
Corrente ininterrotta nominale	[A]	**1000**	**800**	**800**	**1600**	**1000**	**1000**	**2500**	**1000**	**800**	**4000**	**4000**	**3200**	**3200**	**4000**	**4000**
(a 40 °C) Iu	[A]	**1250**	**1000**	**1000**	**2000**	**1250**	**1250**	**3200**	**1250**	**1250**			**4000**	**4000**	**5000**	**5000**
	[A]	**1600**	**1250**	**1250**		**1600**	**1600**		**1600**	**1600**					**6300**	**6300**
	[A]		**1600**	**1600**		**2000**	**2000**		**2000**	**2000**						
	[A]								**2500**	**2600**						
	[A]								**3200**	**3200**						
Tensione nominale d'impiego **Ue**	[V~]	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690
	[V –]	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Tensione nominale d'isolamento **Ui**	[V ~]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Tensione nominale di tenuta a impulso **Uimp**	[kV]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Corrente nominale ammissibile di breve durata **Icw** (1s)	[kA]	42	42	50[1]	42	55	65	65	75	85	75	75	85	100[2]	100	100
(3s)	[kA]		36	36	42	42	42	65	65	65	75	75	75	75	85	85
Potere di chiusura nominale in corto circuito (valore di picco) **Icm**																
220/230/380/400/415/440 V ~	[kA]	88.2	88.2	105	88.2	121	187	143	165	187	165	165	187	220	220	220
500/660/690 V ~	[kA]	88.2	88.2	105	88.2	121	143	143	165	187	165	165	187	220	220	220

Note: il potere d'interruzione I_{cu}, alla tensione nominale massima d'impiego, tramite un relè di protezione esterno, con temporizzazione massima di 500 ms, è uguale al valore di I_{cw} (1s).

(1) I_{cw}=36kA@690V.
(2) I_{cw}=85kA@690V.

3.7 Caratteristiche elettriche degli interruttori di manovra-sezionatori

3 Caratteristiche generali

4 Coordinamento delle protezioni

4.1 Coordinamento delle protezioni

Il progetto del sistema di protezione dell'impianto elettrico è fondamentale sia per garantire il corretto esercizio economico e funzionale dell'intera installazione sia per ridurre al minimo i problemi indotti da condizioni anomale di servizio o da guasti.
Nell'ambito di quest'analisi il coordinamento tra i diversi dispositivi dedicati alla protezione di zone e componenti specifici deve essere studiato in modo da:

- garantire la sicurezza delle persone e dell'impianto in ogni momento;
- identificare ed escludere rapidamente la sola zona interessata dal problema senza interventi indiscriminati che riducano la disponibilità di energia in aree sane;
- ridurre gli effetti del guasto su altre parti integre dell'impianto (riduzione del valore della tensione, perdita di stabilità nelle macchine rotanti);
- ridurre gli stress sui componenti ed i danni nella zona interessata;
- garantire la continuità del servizio con una buona qualità della tensione di alimentazione;
- garantire un sostegno adeguato nel caso di qualsiasi malfunzionamento del dispositivo di protezione responsabile dell'apertura del circuito;
- fornire al personale ed al sistema di gestione le informazioni necessarie al ripristino del servizio nel tempo più ridotto possibile e con le minime perturbazioni al resto della rete;
- raggiungere un buon compromesso tra affidabilità, semplicità ed economicità.

In dettaglio un buon sistema di protezione deve essere in grado di:

- capire cosa è avvenuto e dove, discriminando tra situazioni anomale ma tollerabili e situazioni di guasto all'interno della propria zona di influenza ed evitando interventi intempestivi che provochino il distacco ingiustificato di una parte sana dell'impianto;
- agire più velocemente possibile per contenere i danni (distruzione, invecchiamento accelerato) salvaguardando la continuità e la stabilità dell'alimentazione.

La soluzione più adatta nasce dal compromesso tra queste due antitetiche esigenze, identificazione precisa del guasto ed intervento veloce, ed è definita in funzione di quale sia il requisito privilegiato.

Coordinamento di sovracorrente

Influenza dei parametri elettrici d'impianto (corrente nominale e corrente di cortocircuito)

La strategia con cui si coordinano le protezioni dipende in buona parte dai valori di corrente nominale (I_n) e di corrente di corto circuito (I_k) nel punto dell'impianto cui si fa riferimento.
In generale è possibile classificare i seguenti tipi di coordinamenti:

- selettività amperometrica;
- selettività cronometrica;
- selettività di zona (o logica);
- selettività energetica;
- back-up.

4 Coordinamento delle protezioni

Definizione di selettività

La '**selettività di sovracorrente**' è definita dalle norme come "coordinamento delle caratteristiche di manovra di due o più dispositivi di protezione da sovracorrente in modo che, al verificarsi di sovracorrenti entro i limiti stabiliti, opera il dispositivo inteso ad operare entro questi limiti, mentre gli altri non operano" (IEC 60947-1, def. 2.5.23);
E' possibile distinguere tra:

- **selettività totale**: si intende una "selettività di sovraccorente in modo che, nel caso di due dispositivi di protezione da sovracorrente in serie, il dispositivo di protezione sul lato carico fornisce la protezione senza far intervenire l'altro dispositivo di protezione"(Norma IEC 60947-2, def. 2.17.2);

- **selettività parziale**: è una "selettività di sovraccorente in modo che, nel caso di due dispositivi di protezione da sovracorrente in serie, il dispositivo di protezione sul lato carico fornisce la protezione fino ad un dato limite di sovracorrente senza far intervenire l'altro" (Norma IEC 60947-2, def. 2.17.3); tale livello di sovracorrente è detto 'corrente limite di selettività Is' (Norma IEC 60947-2, def. 2.17.4);

Selettività amperometrica

Questo tipo di selettività si basa sull'osservazione che più il punto di guasto è vicino all'alimentazione dell'impianto, maggiore è la corrente di corto circuito. E' perciò possibile discriminare la zona in cui è avvenuto il guasto semplicemente tarando la protezione istantanea del dispositivo a monte ad un valore limite superiore alla corrente di guasto che provoca l'intervento del dispositivo a valle.
Normalmente si riesce ad ottenere selettività totale solo in casi specifici dove la corrente di guasto non è elevata (e comparabile con la corrente nominale del dispositivo) o dove esiste un componente ad alta impedenza interposto tra i due dispositivi di protezione (trasformatore, cavo molto lungo o di sezione ridotta...) portando ad una grossa differenza tra i valori della corrente di corto circuito.

Questo tipo di coordinamento è quindi utilizzato soprattutto nei circuiti terminali (bassi valori di corrente nominale e di corrente di corto circuito, alta impedenza dei cavi di collegamento). Per lo studio si utilizzano in genere le curve tempo-corrente dei dispositivi.
Pro:

- rapida;
- facile a realizzare;
- economica.

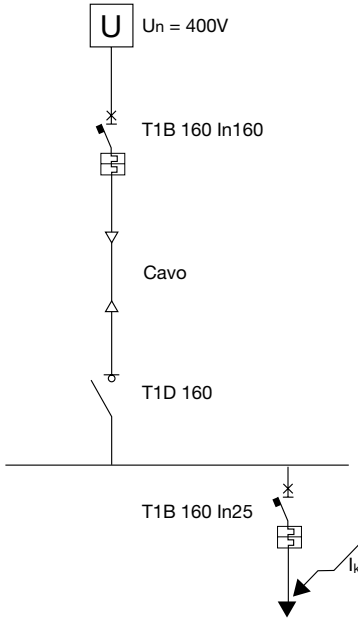
Contro:

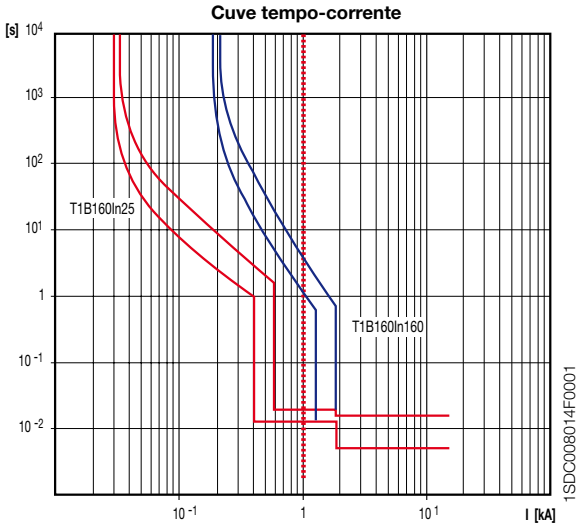
- limiti di selettività bassi;
- incrementare i livelli di selettività comporta una rapida crescita delle taglie dei dispositivi.

Il seguente esempio mostra una tipica applicazione di selettività amperometrica basata sui diversi valori delle soglie di intervento istantaneo degli interruttori considerati.

4 Coordinamento delle protezioni

A fronte di una corrente di guasto nel punto indicato di valore pari a 1000 A si realizza un adeguato coordinamento utilizzando gli interruttori indicati come si può verificare dalle curve di intervento dei dispositivi.
Il limite di selettività è dato dalla soglia magnetica minima dell'interruttore a monte, T1B160 R160.





Selettività cronometrica

Questo tipo di selettività è un'evoluzione della precedente: la strategia di settaggio è quella di aumentare progressivamente le soglie di corrente ed i ritardi all'intervento avvicinandosi alle sorgenti di alimentazione. Come nel caso della selettività amperometrica, lo studio è effettuato confrontando le curve di intervento tempo-corrente dei dispositivi di protezione.

Pro:

- è facile da studiare e realizzare;
- è relativamente poco costosa;
- permette di ottenere anche livelli alti di selettività, in base alla Icw del dispositivo a monte;
- consente una ridondanza delle funzioni protettive e può fornire valide informazioni al sistema di controllo.

Contro:

- i tempi di intervento ed i livelli di energia lasciati passare dai dispositivi di protezione, soprattutto da quelli prossimi alle sorgenti, sono elevati e possono causare problemi di sicurezza e danni ai componenti anche nelle zone non interessate dal guasto;
- consente l'uso di interruttori limitatori solo nei livelli gerarchicamente inferiori

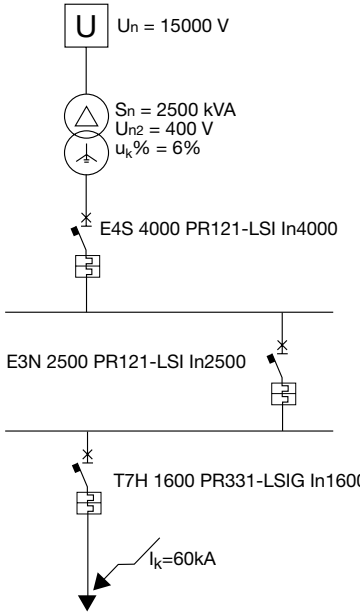
4 Coordinamento delle protezioni

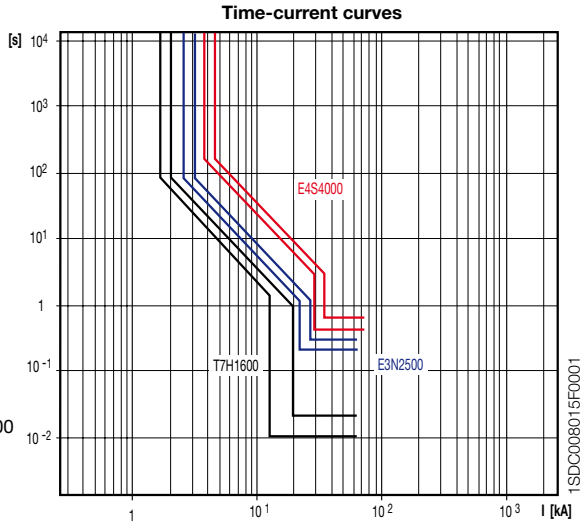
della catena; gli altri interruttori devono essere in grado di sopportare le sollecitazioni termiche ed elettrodinamiche connesse al passaggio della corrente di guasto per il tempo di ritardo intenzionale. Per i vari livelli devono essere utilizzati interruttori selettivi, spesso di tipo aperto, per garantire una corrente di breve durata ammissibile sufficientemente elevata;

- la durata della perturbazione indotta dalla corrente di corto circuito sulle tensioni di alimentazione nelle zone non interessate dal guasto può creare problemi ai dispositivi elettromeccanici (tensione al di sotto del valore di sgancio elettromagnetico) ed elettronici;
- il numero di livelli di selettività risulta limitato dal tempo massimo sopportabile dal sistema elettrico senza perdere stabilità.

Il seguente esempio mostra una tipica applicazione di selettività cronometrica ottenuta differenziando i tempi di intervento dei diversi dispositivi di protezione.

Relè elettronico:	L (Rit. lungo)	S (Rit. breve)	I (IST)
E4S 4000 PR121-LSI In4000	Settaggio: 0.9 Curva: 12s	Settaggio: 8.5 Curva: 0.5s	Off
E3N 2500 PR121-LSI In2500	Settaggio: 1 Curva: 3s	Settaggio: 10 Curva: 0.3s	Off
T7H 1600 PR331-LI In1600	Settaggio: 1 Curva: 3s		Settaggio: 10





4 Coordinamento delle protezioni

Selettività di zona (o logica)

La selettività di zona è disponibile con interruttore scatolato (T4 L-T5 L-T6 L con PR223-EF) e aperto (con PR332/P - PR333/P - PR122 - PR 123).
Questo tipo di coordinamento è realizzato attraverso il dialogo tra i dispositivi di misurazione di corrente che, una volta rilevato il superamento della soglia di settaggio, permette di identificare correttamente e di disalimentare la sola zona del guasto.
In pratica può essere realizzata in due modi:

- i relè inviano al sistema di supervisione le informazioni legate al superamento della soglia di regolazione della corrente e quest'ultimo invia il segnale di apertura alla protezione che deve intervenire;
- ogni protezione, in presenza di valori di corrente superiori al proprio settaggio, invia attraverso un collegamento diretto o un bus un segnale di blocco al dispositivo di protezione immediatamente a monte rispetto alla direzione del flusso di potenza e verifica, prima di intervenire, che un analogo segnale di blocco non sia giunto dalla protezione a valle; in questo modo solo la protezione immediatamente a monte del guasto interviene.

La prima modalità prevede tempi di intervento dell'ordine del secondo ed è utilizzata soprattutto nel caso di correnti di corto circuito non elevate con senso del flusso di potenza non univocamente definito.
Il secondo caso permette tempi di intervento sicuramente inferiori: rispetto ad un coordinamento di tipo cronometrico viene a cadere la necessità di aumentare il ritardo intenzionale man mano che ci si sposta verso la sorgente di alimentazione. Il ritardo massimo è legato al tempo necessario per rilevare la presenza di un eventuale segnale di blocco inviato dalla protezione a valle.

Pro:

- riduzione dei tempi di intervento e aumento del livello di sicurezza;
- riduzione sia dei danni causati dal guasto sia delle perturbazioni al sistema di alimentazione;
- riduzione della sollecitazione termica e dinamica sugli interruttori e sui componenti dell'impianto;
- elevato numero di livelli di selettività;
- ridondanza delle protezioni: in caso di mancato funzionamento della selettività di zona, l'intervento è garantito dalle regolazioni delle altre funzioni di protezione degli interruttori. In particolare è possibile settare il ritardo delle funzioni di protezione da corto circuito a valori di tempo crescenti, avvicinandosi alla sorgente di alimentazione.

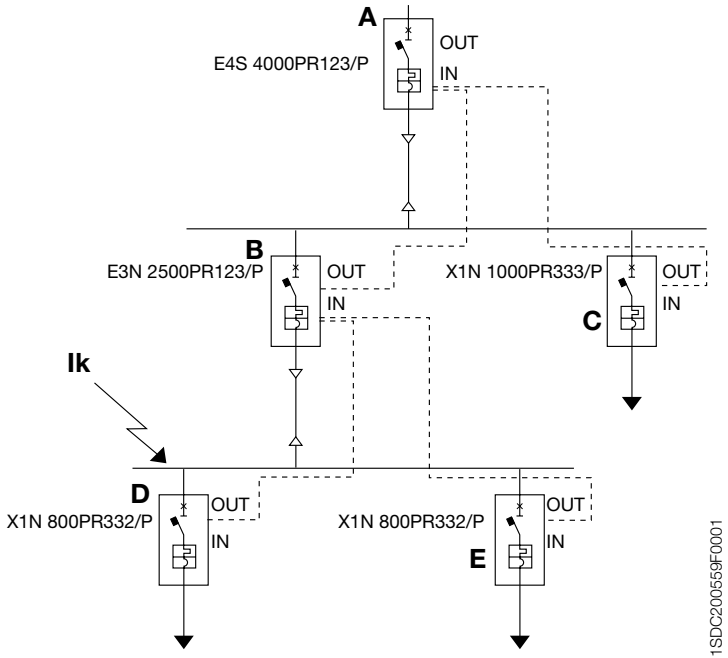
Contro:

- costo maggiore;
- maggiore complessità dell'impianto (componenti speciali, cablaggi aggiuntivi, sorgenti ausiliarie di alimentazione, ...).

Questa soluzione è perciò utilizzata prevalentemente in sistemi con alti valori di corrente nominale e di corrente di corto circuito, con precise esigenze sia di sicurezza che di continuità di servizio: in particolare si trovano spesso esempi di selettività logica nei quadri di distribuzione primaria, immediatamente a valle di trasformatori e generatori, e nelle reti magliate.

4 Coordinamento delle protezioni

Selettività di zona con Emax



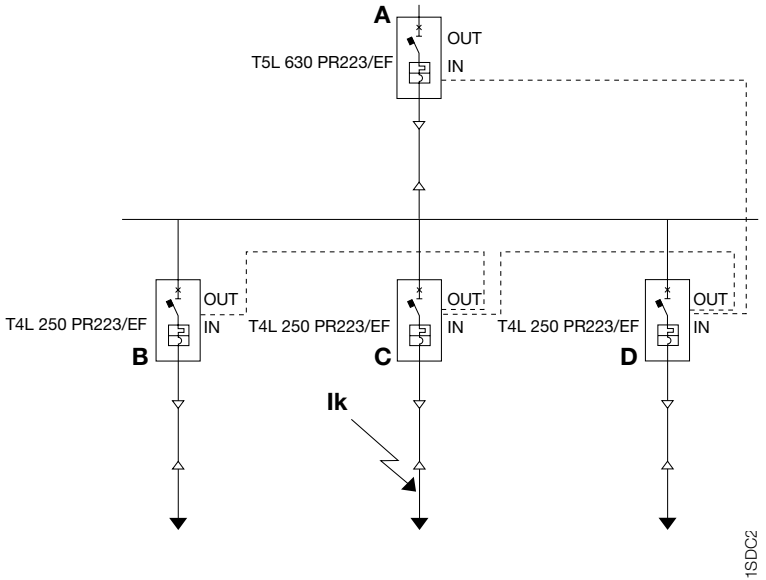
L'esempio sopra mostra un impianto cablato in modo da garantire la selettività di zona con un interruttore Emax dotato di sganciatori PR332/P-PR333/P-PR122/P-PR123/P.
Ogni interruttore che rileva un guasto trasmette un segnale all'interruttore immediatamente sul lato alimentazione tramite un cavo di comunicazione; l'interruttore che non riceve nessuna comunicazione dagli interruttori sul lato carico lancerà il comando di apertura.
In questo esempio, con un guasto posizionato nel punto indicato, gli interruttori D ed E non rilevano il guasto e perciò non comunicano con l'interruttore sul lato alimentazione (interruttore B), che lancerà il comando di apertura entro il tempo di selettività impostato da 40 a 200 ms.

Per attivare correttamente la selettività di zona, si consigliano le seguenti impostazioni:

S	$t_2 \geq$ tempo di selettività + 70 ms
I	I_3 = OFF
G	$t_4 \geq$ tempo di selettività + 70 ms
Tempo di selettività	stesse impostazioni per ogni interruttore

4 Coordinamento delle protezioni

Selettività di zona per interruttori tipo Tmax (T4L-T5L-T6L) con sganciatori PR223 EF



L'esempio sopra mostra un impianto cablato tramite un protocollo di interblocco (Interblocco, IL), in modo da garantire la selettività di zona tramite lo sganciatore PR223 EF.
Nel caso di un corto circuito, l'interruttore immediatamente a monte del guasto trasmette un segnale di blocco tramite la sbarra al dispositivo di protezione gerarchicamente più alto e, prima di intervenire, verifica che un segnale di blocco analogo non sia stato trasmesso dalla protezione sul lato carico.
Nell'esempio nella figura, l'interruttore C, immediatamente sul lato alimentazione del guasto, trasmette un segnale di blocco all'interruttore A, che è gerarchicamente superiore. Se, come nell'esempio dato, non è presente alcuna protezione sul lato carico, l'interruttore C aprirà in tempi molto brevi poiché non ha ricevuto alcun segnale di blocco.
Tutto si verifica in tempi più brevi (da 10 a 15ms) del caso della selettività di zona con l'interruttore aperto della serie Emax (da 40 a 200ms), assoggettando così l'impianto a sollecitazioni elettrodinamiche minori, con conseguente riduzione del costo per l'impianto.

4 Coordinamento delle protezioni

Selettività energetica

Il coordinamento di tipo energetico è un particolare tipo di selettività che sfrutta le caratteristiche di limitazione degli interruttori scatolati. Si ricorda che un interruttore limitatore è un "interruttore automatico con un tempo di interruzione sufficientemente breve per impedire che la corrente di corto circuito raggiunga il valore di picco che altrimenti raggiungerebbe" (Norma IEC 60947-2, def. 2.3).
In pratica, gli interruttori scatolati ABB SACE delle serie Tmax, in condizioni di corto circuito, sono estremamente veloci (tempi di intervento dell'ordine di qualche millisecondo) e non risulta quindi possibile utilizzare le curve tempo-corrente per lo studio del coordinamento.
I fenomeni sono prevalentemente dinamici (quindi proporzionali al quadrato del valore della corrente istantanea) e possono essere descritti utilizzando le curve dell'energia specifica passante.
In generale, è necessario verificare che l'energia associata all'intervento dell'interruttore a valle sia inferiore al valore di energia necessario per completare l'apertura dell'interruttore a monte.
Questo tipo di selettività è sicuramente più difficile da studiare dei precedenti in quanto è fortemente dipendente dall'interazione tra i due apparecchi in serie e richiede dati spesso non disponibili all'utente finale. I costruttori mettono a disposizione tabelle, regoli e programmi di calcolo nei quali sono indicati i valori di selettività tra diverse combinazioni di interruttori.

Pro:

- interruzione veloce, con tempi di intervento che si riducono all'aumentare della corrente di corto circuito;
- riduzione dei danni causati dal guasto (sollecitazioni termiche e dinamiche), dei disturbi al sistema di alimentazione, dei costi di dimensionamento,...;
- il livello di selettività non è più limitato dal valore della corrente di breve durata Icw sopportata dai dispositivi;
- grande numero di livelli di selettività;
- possibilità di coordinare dispositivi limitatori diversi (fusibili, interruttori,..) anche posti in posizioni intermedie della catena.

Contro:

- difficoltà di coordinamento tra interruttori di taglie simili.

Questo tipo di coordinamento è usato soprattutto per distribuzione secondaria e finale, con correnti nominali minori di 1600A.

Protezione di back-up

La protezione di back-up è un "coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti di due dispositivi di protezione in serie, in cui il dispositivo di protezione, generalmente (ma non obbligatoriamente) posto sul lato alimentazione effettua la protezione di sovracorrente con o senza l'aiuto dell'altro dispositivo di protezione ed evita sollecitazioni eccessive per quest'ultimo" (Norma IEC 60947-1, def. 2.5.24).
Inoltre la norma CEI 64-8 al par 434.3.1 cita: "... è ammesso l'utilizzo di un dispositivo di protezione con potere di interruzione inferiore se a monte è installato un altro dispositivo avente il necessario potere di interruzione. In questo caso le caratteristiche dei due dispositivi devono essere coordinate in modo che l'energia che essi lasciano passare non superi quella che può essere sopportata senza danno dal dispositivo situato a valle delle condutture protette da questi dispositivi".

4 Coordinamento delle protezioni

Pro:
- soluzione particolarmente economica;
- estrema rapidità di intervento.

Contro:
- valori di selettività estremamente bassi;
- bassa qualità del servizio, visto che almeno due interruttori in serie devono intervenire.

Coordinamento tra Interruttore automatico e Interruttore di manovra-sezionatore

L'interruttore di manovra-sezionatore

Gli interruttori di manovra-sezionatori sono derivati dai corrispondenti interruttori automatici conservando inalterate le dimensioni d'ingombro, le esecuzioni, i sistemi di fissaggio e la possibilità di montaggio degli accessori. Sono dispositivi in grado di chiudere, portare ed interrompere correnti in condizioni normali del circuito.
Possono essere impiegati come interruttori generali nei sottoquadri, come congiuntori di sbarre o per isolare parti di impianto come linee, sbarre o gruppi di carichi.
Una volta aperti, tali interruttori garantiscono la funzione di sezionamento grazie ai contatti che si trovano ad una distanza tale da impedire l'innesco dell'arco in conformità alle prescrizioni relative all'attitudine al sezionamento.

Protezione degli interruttori di manovra-sezionatori

Ogni interruttore di manovra sezionatore deve essere protetto da un dispositivo coordinato che lo salvaguardi contro le sovraccorrenti, solitamente un interruttore automatico, in grado di limitare i valori di picco della corrente di cortocircuito e di energia specifica a livelli accettabili dall'interruttore di manovra sezionatore.
Per quanto riguarda la protezione da sovraccarico la corrente nominale dell'interruttore deve essere minore o uguale alla taglia del sezionatore da proteggere.
Per gli interruttori di manovra sezionatori della serie Tmax, le tabelle di coordinamento forniscono l'indicazione dell'interruttore o degli interruttori automatici in grado di proteggerli per i valori di corrente di cortocircuito presunta riportati.
Per quanto riguarda gli interruttori di manovra sezionatori della serie Emax, bisogna invece verificare che il valore della corrente di corto circuito nel punto di installazione sia inferiore al valore della corrente di breve durata (I_{cw}) del sezionatore, e che il valore della corrente di picco sia inferiore al valore della corrente di chiusura (I_{cm}).

4.2 Tabelle di selettività

Le tabelle riportate forniscono il valore di selettività (in kA) tra la combinazione di interruttori prescelta, per tensioni tra 380 e 415 V in accordo all'annex A della IEC 60947-2. Le tabelle coprono le possibili combinazioni tra interruttori aperti ABB SACE serie Emax, interruttori scatolati ABB SACE serie Tmax, e la serie di interruttori modulari ABB.
I valori sono ottenuti seguendo particolari prescrizioni che se non rispettate potrebbero fornire valori di selettività in alcuni casi anche molto inferiori a quanto riportato. Alcune di queste indicazioni hanno validità generale e sono di seguito riportate; altre riferite esclusivamente a particolari tipologie di interruttori saranno oggetto di nota sottostante la relativa tabella.

Prescrizioni di carattere generale:

- La funzione I dei relè elettronici degli interruttori a monte deve essere esclusa (I3 in OFF);
- L'intervento magnetico di interruttori termomagnetici (TM) o solo magnetici (MO) posti a monte deve essere ≥ 10xIn o comunque regolato alla massima soglia;
- E' di fondamentale importanza verificare che i settaggi adottati dall'utente per relè elettronici e termomagnetici di interruttori posti sia a valle che a monte diano curve tempo-corrente opportunamente distanziate.

Note per una corretta lettura delle tabelle di coordinamento:
Il valore limite di selettività è ottenuto considerando il più basso tra il valore di Icu dell'interruttore a monte e il valore di Icu dell'interruttore a valle.
La lettera T indica selettività totale per la combinazione scelta; il valore corrispondente in kA si ottiene considerando il minore tra i poteri di interruzione (Icu) dell'interruttore a valle e dell'interruttore a monte.

Le seguenti tabelle riportano i poteri di interruzione a 415Vac per interruttori Tmax ed Emax.

Tmax @ 415 Vc.a.	
Versione	Icu [kA]
B	16
C	25
N	36
S	50
H	70
L (per T2)	85
L (per T4-T5-T7)	120
L (per T6)	100
V (per T7)	150
V	200

Emax @ 415 Vc.a.	
Versione	Icu [kA]
B	42
N	65*
S	75**
H	100
L	130***
V	150****

* Per Emax E1 Versione N Icu=50kA
** Per Emax E2 Versione S Icu=85kA
*** Per Emax X1 Versione L Icu=150kA
**** Per Emax E3 Versione V Icu=130kA

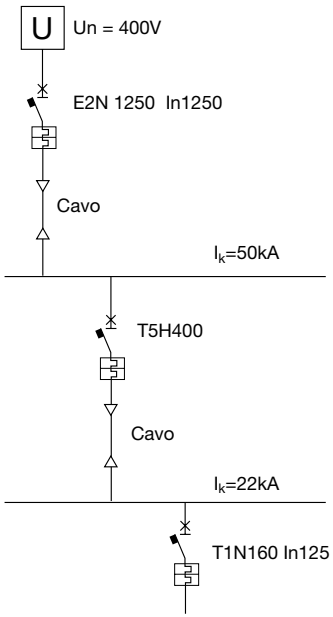
Legenda

Per interruttori scatolati aperti: TM = sganciatore termomagnetico – TMD (Tmax) – TMA (Tmax) M = sganciatore solo magnetico – MF (Tmax) – MA (Tmax) EL = sganciatore elettronico (Tmax e Emax)	Per interruttori modulari: B = caratteristica di intervento (I3=3...5In) C = caratteristica di intervento (I3=5...10In) D = caratteristica di intervento (I3=10...20In) K = caratteristica di intervento (I3=8...14In) Z = caratteristica di intervento (I3=2...3In)

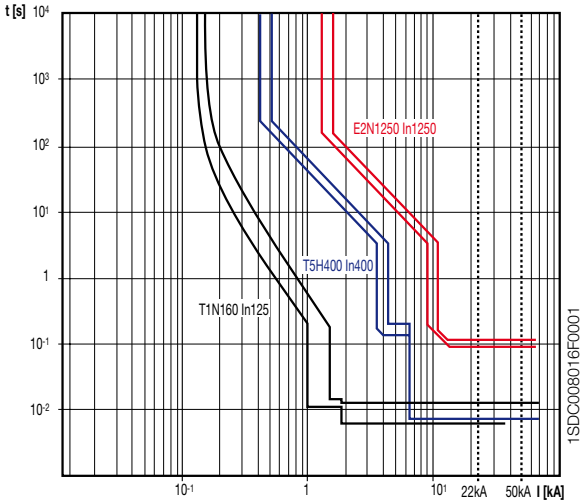
4 Coordinamento delle protezioni

Esempio:

Dalla tabella di selettività di pagina 138 si ricava che gli interruttori E2N1250 e T5H400, opportunamente regolati, sono selettivi fino a 55 kA (maggiore della corrente di corto circuito alla sbarra).
Dalla tabella di selettività di pagina 133 si ricava invece che gli interruttori T5H400 e T1N160 R125 viene data selettività totale; come già specificato alla pagina 107, questo significa selettività fino al potere di interruzione del T1N, quindi fino a 36 kA (valore maggiore della corrente di corto circuito alla sbarra).



Curve tempo-corrente



Dalle curve risulta evidente che tra gli interruttori E2N1250 e T5H400 esiste selettività cronometrica, mentre tra gli interruttori T5H400 e T1N160 la selettività è di tipo energetico.

4 Coordinamento delle protezioni

Indice delle tabelle di coordinamento

Modulare-Modulare (230/240V) 110

Scatolato (415V)-Modulare (240V) 112

Modulare-Modulare (415V)
Modulare-S2..B 114
Modulare-S2..C 114
Modulare-S2..D 116
Modulare-S2..K 116
Modulare-S2..Z 118

Scatolato-Modulare (415V)
Scatolato-S800 120
Scatolato-S2..B 122
Scatolato-S2..C 124
Scatolato-S2..D 126
Scatolato-S2..K 128
Scatolato-S2..Z 130

Scatolato-Scatolato (415V)
Scatolato-T1 132
Scatolato-T2 134
Scatolato-T3 136
Scatolato-T4 136
Scatolato-T5 137
Scatolato-T6 137

Aperto-Scatolato (415V) 138

Scatolato-Scatolato (400/415V) 139

4.2 Tabelle di selettività

4 Coordinamento delle protezioni

Modulare - S9 @ 230/240 V

	Monte[2]		S290					S800 N-S								S800 N-S								S800 N-S							
Valle[1]	Caratteristica		C			D		B								C								D							
		I_{cu} [kA]	15					36-50								36-50								36-50							
		I_n [A]	80	100	125	80	100	32	40	50	63	80	100	125		25	32	40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125
S941N	B, C	6	2	T	T	T	T	T	0,43[3]	0,6	1,3	4	T	T	T		0,4[3]	0,55	1,2	3	T	T	T	T	1,3	4,1	T	T	T	T	T	T
			4	5	T	T	T	T		0,45	0,8	1,5	2,5	4	T			0,43	0,75	1,3	2,1	3,9	T	T	0,8	1,6	3	5,4	T	T	T	T
			6	4,5	5	T	5,5	T			0,6	1,2	1,6	2,6	3,8				0,55	1,1	1,5	2,5	3,6	5,5	0,6	1,3	2	3,2	3,9	T	T	T
			10	4	4,5	5	5	5			0,5	1,1	1,4	2	3				0,45	1	1,3	1,9	2,8	4,2	0,5	1,2	1,65	2,6	3,1	T	T	T
			16	2,5	3,5	3,5	4	4,5				0,8	1,2	1,7	2,5					0,75	1,1	1,6	2,3	3,6		0,9	1,4	1,8	2,6	5	T	T
			20	1,5	2,5	2,5	3	4,5					1	1,5	2,1						0,9	1,4	1,9	3,3			1,3	1,6	2,2	4,2	5,4	T
			25	0,5	0,5	1,5	2	4						1,3	1,8							1,2	1,6	2,7				1,5	1,9	3,5	4,5	T
			32	0,5	0,5	0,5	1,5	3,5						1,1	1,7							1	1,5	2,5					1,8	2,8	4,2	5,5
			40	0,5	0,5	0,5	1,5	3,5							1,6								1,4	2,1					1,7	2,7	4	5
S951N	B, C	10	2	6	8	9	7	8	0,43[3]	0,6	1,3	4	9	T	T		0,4[3]	0,55	1,2	3	6,6	T	T	T	1,3	4,1	T	T	T	T	T	T
			4	5	6	7,5	6	7		0,45	0,8	1,5	2,5	4	7,3			0,43	0,75	1,3	2,1	3,9	6,6	T	0,8	1,6	3	5,4	7,6	T	T	T
			6	4,5	5	6	5,5	6			0,6	1,2	1,6	2,6	3,8				0,55	1,1	1,5	2,5	3,6	5,5	0,6	1,3	2	3,2	3,9	8	T	T
			10	4	4,5	5	5	5			0,5	1,1	1,4	2	3				0,45	1	1,3	1,9	2,8	4,2	0,5	1,2	1,65	2,6	3,1	6,2	8,6	T
			16	2,5	3,5	3,5	4	4,5				0,8	1,2	1,7	2,5					0,75	1,1	1,6	2,3	3,6		0,9	1,4	1,8	2,6	5	6,3	8,8
			20	1,5	2,5	2,5	3	4,5					1	1,5	2,1						0,9	1,4	1,9	3,3			1,3	1,6	2,2	4,2	5,4	7,6
			25	0,5	0,5	1,5	2	4						1,3	1,8							1,2	1,6	2,7				1,5	1,9	3,5	4,5	6,6
			32	0,5	0,5	0,5	1,5	3,5						1,1	1,7							1	1,5	2,5					1,8	2,8	4,2	5,5
			40	0,5	0,5	0,5	1,5	3,5							1,6								1,4	2,1					1,7	2,7	4	5
S971N	B, C	10	2	6	8	9	7	8	0,43[3]	0,6	1,3	4	9	T	T		0,4[3]	0,55	1,2	3	6,6	T	T	T	1,3	4,1	T	T	T	T	T	T
			4	5	6	7,5	6	7		0,45	0,8	1,5	2,5	4	7,3			0,43	0,75	1,3	2,1	3,9	6,6	T	0,8	1,6	3	5,4	7,6	T	T	T
			6	4,5	5	6	5,5	6			0,6	1,2	1,6	2,6	3,8				0,55	1,1	1,5	2,5	3,6	5,5	0,6	1,3	2	3,2	3,9	8	T	T
			10	4	4,5	5	5	5			0,5	1,1	1,4	2	3				0,45	1	1,3	1,9	2,8	4,2	0,5	1,2	1,65	2,6	3,1	6,2	8,6	T
			16	2,5	3,5	3,5	4	4,5				0,8	1,2	1,7	2,5					0,75	1,1	1,6	2,3	3,6		0,9	1,4	1,8	2,6	5	6,3	8,8
			20	1,5	2,5	2,5	3	4,5					1	1,5	2,1						0,9	1,4	1,9	3,3			1,3	1,6	2,2	4,2	5,4	7,6
			25	0,5	0,5	1,5	2	4						1,3	1,8							1,2	1,6	2,7				1,5	1,9	3,5	4,5	6,6
			32	0,5	0,5	0,5	1,5	3,5						1,1	1,7							1	1,5	2,5					1,8	2,8	4,2	5,5
			40	0,5	0,5	0,5	1,5	3,5							1,6								1,4	2,1					1,7	2,7	4	5

[1] Interruttore a valle 1P+N (230/240 V)

[2] Per reti a 230/240 Vca ⇒ interruttore bipolare (fase + neutro)
Per reti a 400/415 Vca ⇒ interruttore tetrapolare (circuito a valle derivato tra una fase e il neutro)

[3] Solo per curva B

Scatolato @ 415 V 4p - S9 @ 240 V

			Monte	T1													T2																					T3									
			Versione	B, C, N													N, S, H, L																					N, S									
			Relè	TMD													TMD, MA													EL									TMD, MA									
			I_u [A]	160													160																					250									
Valle	Carat.	I_{cu} [kA]	I_n [A]	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160[2]	160	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125[2]	125	160[2]	160	10	25	63	100	160	63	80	100	125[2]	125	160[2]	160	200[2]	200	250[2]	250
S941N	B, C	6	≤4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		10			3	3	3	4,5	T	T	T	T	T	T		3[1]	3	3	3	4,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		16					3	4,5	5	T	T	T	T	T				3[1]	3	4,5	5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		20						3	5	T	T	T	T	T				3[1]		3	5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		25							5	T	T	T	T	T						3[1]	5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		32								T	T	T	T	T						3[1]		T	T	T	T	T	T			T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		40									T	T	T	T								T[1]	T		T	T	T				T	T		T[1]	T		T	T	T	T	T	T	T	T
S951N	B, C	10	≤4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		6	6	6	6	6	6	6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		10			3	3	3	4,5	7,5	8,5	T	T	T	T		3[1]	3	3	3	4,5	7,5	8,5	T	T	T	T	T		T	T	T	T	7,5	8,5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		16					3	4,5	5	7,5	T	T	T	T				3[1]	3	4,5	5	7,5	T	7,5	T	T	T			T	T	T	5	7,5	T	7,5	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		20						3	5	6	T	T	T	T				3[1]		3	5	6	T	6	T	T	T			T	T	T	5	6	T	6	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		25							5	6	T	T	T	T						3[1]	5	6	T	6	T	T	T			T	T	T	5	6	T	6	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		32								6	7,5	T	T	T						3[1]		6	7,5	6	T	T	T			T	T	T		6	7,5	6	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		40									7,5	T	T	T								6[1]	7,5		T	T	T				T	T		6[1]	7,5		T	T	T	T	T	T	T	T
S971N	B, C	10	≤4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		6	6	6	6	6	6	6	12	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		10			3	3	3	4,5	7,5	8,5	T	T	T	T		3[1]	3	3	3	4,5	7,5	8,5	T	T	T	T	T		T	T	T	T	7,5	8,5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		16					3	4,5	5	7,5	T	T	T	T				3[1]	3	4,5	5	7,5	T	7,5	T	T	T			T	T	T	5	7,5	T	7,5	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		20						3	5	6	T	T	T	T				3[1]		3	5	6	T	6	T	T	T			T	T	T	5	6	T	6	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		25							5	6	T	T	T	T						3[1]	5	6	T	6	T	T	T			T	T	T	5	6	T	6	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		32								6	T	T	T	T						3[1]		6	7,5	6	T	T	T			T	T	T		6	7,5	6	T	T	T	T	T	T	T	T
	B, C		40									T	T	T	T								6[1]	7,5		T	T	T				T	T		6[1]	7,5		T	T	T	T	T	T	T	T

Interruttore a monte 4P (circuito a valle derivato tra una fase e il neutro)
Interruttore a valle 1P+N (230/240)

[1] Valore valido con interruttore solo magnetico a monte

[2] Neutro al 50%

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Modulare - S2.. B @ 415 V

						Monte	S290		S800N-S							S800N-S						S800N-S							
	Caratteristica						D		B							C						D							
	I_{cu} [kA]						15		36-50							36-50						36-50							
	6	10	15	25	I_n [A]		80	100	40	50	63	80	100	125		40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125
Valle	B	-	-	-	-	≤2																							
		-	-	-	-	3																							
		-	-	-	-	4																							
		-	S200	S200M	S200P	6	10,5	T	0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6		0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6	0,5	1	1,2	2	2,8	9,9	21,3	T
		-	S200	S200M	S200P	8	10,5	T		0,4	0,6	0,7	1	1,4			0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
		-	S200	S200M	S200P	10	5	8		0,4	0,6	0,7	1	1,4			0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
		-	S200	S200M	S200P	13	4,5	7			0,5	0,7	0,9	1,3				0,5	0,7	0,9	1,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
		-	S200	S200M	S200P	16	4,5	7				0,7	0,9	1,3					0,7	0,9	1,3		0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
		-	S200	S200M	S200P	20	3,5	5					0,9	1,3						0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
		-	S200	S200M	S200P	25	3,5	5					0,9	1,3						0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
		-	S200	S200M-S200P	-	32		4,5					0,8	1,1						0,8	1,1				0,9	1,1	1,9	2,4	3,7
		-	S200	S200M-S200P	-	40							0,8	1,1						0,8	1,1					1,1	1,9	2,4	3,7
		-	S200	S200M-S200P	-	50								1							1						1,5	1,9	2,3
		-	S200	S200M-S200P	-	63								0,9							0,9							1,7	2,3

Modulare - S2.. C @ 415 V

						Monte	S290		S800N-S							S800N-S							S800N-S							
	Caratteristica						D		B							C							D							
	I_{cu} [kA]						15		36-50							36-50							36-50							
	6	10	15	25	I_n [A]		80	100	32	40	50	63	80	100	125	32	40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125
Valle	C	-	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	0,7	1,3	T	T	T	T	T	0,7	1,3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	3	T	T		0,6	0,7	1,1	2,6	8,8	T		0,6	0,7	1,1	2,6	8,8	T	0,7	2,2	4,4	T	T	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	4	T	T		0,6	0,7	1	1,7	3,1	7		0,6	0,7	1	1,7	3,1	7	0,7	1,3	2,2	4,4	7,7	T	T	T
		S200L	S200	S200M	S200P	6	10,5	T		0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6		0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6	0,5	1	1,2	2	2,8	9,9	22	T
		S200L	S200	S200M	S200P	8	10,5	T			0,4	0,6	0,7	1	1,4			0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
		S200L	S200	S200M	S200P	10	5	8			0,4	0,6	0,7	1	1,4			0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
		S200L	S200	S200M	S200P	13	4,5	7				0,5	0,7	0,9	1,3				0,5	0,7	0,9	1,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
		S200L	S200	S200M	S200P	16	4,5	7					0,7	0,9	1,3					0,7	0,9	1,3		0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
		S200L	S200	S200M	S200P	20	3,5	5						0,9	1,3						0,9	1,3				0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
		S200L	S200	S200M	S200P	25	3,5	5						0,9	1,3						0,9	1,3				0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
		S200L	S200	S200M-S200P	-	32		4,5						0,8	1,1						0,8	1,1					0,9	1,1	1,9	2,4	3,7
		S200L	S200	S200M-S200P	-	40								0,8	1,1						0,8	1,1						1,1	1,9	2,4	3,7
		-	S200	S200M-S200P	-	50									1							1							1,5	1,9	2,3
		-	S200	S200M-S200P	-	63									0,9							0,9								1,7	2,3

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Modulare - S2.. D @ 415 V

						Monte	S290	S800N-S								S800N-S							S800N-S							
	Caratteristica						D	B								C							D							
		I_{cu} [kA]					15	36-50								36-50							36-50							
		6	10	15	25	I_n [A]	80	100	32	40	50	63	80	100	125	32	40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125
Valle	D	-	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	0,5	0,7	2,1	T	T	T	T	0,5	0,7	2,1	T	T	T	T	2,3	T	T	T	T	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	3	T	T		0,5	0,7	1,2	2,5	8,6	T		0,5	0,7	1,2	2,5	8,6	T	0,7	1,3	4,4	T	T	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	4	T	T		0,4	0,7	1	1,7	3	7,7		0,4	0,7	1	1,7	3	7,7	0,7	1	2,2	4,4	7,7	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	6	10,5	T			0,6	0,8	1,2	2	3,6			0,6	0,8	1,2	2	3,6	0,6	0,8	1,5	2,5	3,6	12,1	24,2	T
		-	S200	S200M	S200P	8	10,5	T				0,7	0,9	1,3	2				0,7	0,9	1,3	2	0,5	0,7	1,1	1,5	2	4	5,5	9,9
		-	S200	S200M	S200P	10	5	8					0,9	1,3	2					0,9	1,3	2	0,5	0,7	1,1	1,5	2	4	5,5	9,9
		-	S200	-	S200P	13	3	5						1	1,5						1	1,5		0,6	0,9	1,2	1,5	2,6	3,4	5,2
		-	S200	S200M	S200P	16	3	5							1,5							1,5			0,9	1,2	1,5	2,6	3,4	5,2
		-	S200	S200M	S200P	20	3	5																		0,9	1,1	1,8	2,2	3,2
		-	S200	S200M	S200P	25		4																			1,1	1,8	2,2	3,2
		-	S200	S200M-S200P	-	32																						1,7	2	2,9
		-	S200	S200M-S200P	-	40																							1,9	2,6
		-	S200	S200M-S200P	-	50																								2,2
		-	S200	S200M-S200P	-	63																								

Modulare - S2.. K @ 415 V

						Monte	S290	S800N-S								S800N-S							S800N-S							
	Caratteristica						D	B								C							D							
		I_{cu} [kA]					15	36-50								36-50							36-50							
		6	10	15	25	I_n [A]	80	100	32	40	50	63	80	100	125	32	40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125
Valle	K	-	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	0,5	0,7	2,1	T	T	T	T	0,5	0,7	2,1	T	T	T	T	2,3	T	T	T	T	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	3	T	T		0,5	0,7	1,2	2,5	8,6	T		0,5	0,7	1,2	2,5	8,6	T	0,7	1,3	4,4	T	T	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	4	T	T		0,4	0,7	1	1,7	3	7,7		0,4	0,7	1	1,7	3	7,7	0,7	1	2,2	4,4	7,7	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	6	10,5	T			0,6	0,8	1,2	2	3,6			0,6	0,8	1,2	2	3,6	0,6	0,8	1,5	2,5	3,6	12,1	24,2	T
		-	S200	S200M	S200P	8	10,5	T				0,7	0,9	1,3	2				0,7	0,9	1,3	2	0,5	0,7	1,1	1,5	2	4	5,5	9,9
		-	S200	S200M	S200P	10	5	8					0,9	1,3	2					0,9	1,3	2	0,5	0,7	1,1	1,5	2	4	5,5	9,9
		-	-	-	S200P	13	3	5						1	1,5						1	1,5		0,6	0,9	1,2	1,5	2,6	3,4	5,2
		-	S200	S200M	S200P	16	3	5							1,5							1,5			0,9	1,2	1,5	2,6	3,4	5,2
		-	S200	S200M	S200P	20	3	5																		0,9	1,1	1,8	2,2	3,2
		-	S200	S200M	S200P	25		4																			1,1	1,8	2,2	3,2
		-	S200	S200M-S200P	-	32																						1,7	2	2,9
		-	S200	S200M-S200P	-	40																							1,9	2,6
		-	S200	S200M-S200P	-	50																								2,2
		-	S200	S200M-S200P	-	63																								

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Modulare - S2.. Z @ 415 V

						Monte	S290		S800N-S								S800N-S							S800N-S							
	Caratteristica						D		B								C							D							
		I_{cu} [kA]					15		36-50								36-50							36-50							
		6	10	15	25	I_n [A]	80	100	32	40	50	63	80	100	125		32	40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125
Valle	Z	-	S200	-	S200P	≤2	T	T	0,7	1,3	T	T	T	T	T		0,7	1,3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		-	S200	-	S200P	3	T	T		0,6	0,7	1,1	2,6	8,8	T			0,6	0,7	1,1	2,6	8,8	T	0,7	2,2	4,4	T	T	T	T	T
		-	S200	-	S200P	4	T	T		0,6	0,7	1	1,7	3,1	7			0,6	0,7	1	1,7	3,1	7	0,7	1,3	2,2	4,4	7,7	T	T	T
		-	S200	-	S200P	6	10,5	T		0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6			0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6	0,5	1	1,2	2	2,8	9,9	22	T
		-	S200	-	S200P	8	10,5	T			0,4	0,6	0,7	1	1,4				0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
		-	S200	-	S200P	10	5	8			0,4	0,6	0,7	1	1,4				0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
		-	-	-	S200P	13	4,5	7					0,7	0,9	1,3						0,7	0,9	1,3		0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
		-	S200	-	S200P	16	4,5	7					0,7	0,9	1,3						0,7	0,9	1,3		0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
		-	S200	-	S200P	20	3,5	5						0,9	1,3							0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
		-	S200	-	S200P	25	3,5	5						0,9	1,3							0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
		-	S200	S200P	-	32	3	4,5						0,8	1,1							0,8	1,1				0,9	1,1	1,9	2,4	3,7
		-	S200	S200P	-	40	3	4,5						0,8	1,1							0,8	1,1					1,1	1,9	2,4	3,7
		-	S200	S200P	-	50		3							1								1						1,5	1,9	2,3
		-	S200	S200P	-	63									0,9								0,9							1,7	2,3

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - S800 @ 415 V

			Monte	T1				T1 - T3				T1	T3		
			Versione	B. C, N, S, H, L, V											
			Relè	TM											
Valle	Carat.	I_{cu} [kA]	I_n [A]	25	32	40	50	63	80	100	125	160	160	200	250
S800N	B C D	36	10	4,5	4,5	4,5	4,5	8	10	20[1]	25[1]	T	T	T	T
			13		4,5	4,5	4,5	7,5	10	15	25[1]	T	T	T	T
			16			4,5	4,5	7,5	10	15	25[1]	T	T	T	T
			20				4,5	7,5	10	15	25[1]	T	T	T	T
			25					6	10	15	20[1]	T	T	T	T
			32						7,5	10	20[1]	T	T	T	T
			40							10	20[1]	T	T	T	T
			50								15	T	T	T	T
			63									T	T	T	T
			80									T		T	T
			100									T			T
			125												T
S800S	B C D K	50	10	4,5	4,5	4,5	4,5	8	10	20[1]	25[1]	36[1]	36[1]	36[1]	T
			13		4,5	4,5	4,5	7,5	10	15	25[1]	36[1]	36[1]	36[1]	T
			16			4,5	4,5	7,5	10	15	25[1]	36[1]	36[1]	36[1]	T
			20				4,5	7,5	10	15	25[1]	36[1]	36[1]	36[1]	T
			25					6	10	15	20[1]	36[1]	36[1]	36[1]	T
			32						7,5	10	20[1]	36[1]	36[1]	36[1]	T
			40							10	20[1]	36[1]	36[1]	36[1]	T
			50								15	36[1]	36[1]	36[1]	T
			63									36[1]	36[1]	36[1]	T
			80									36[1]		36[1]	T
			100									36[1]			T
			125												T

[1] Scegliere il valore più basso tra quanto indicato, il potere d'interruzione dell'interruttore a monte ed il potere di interruzione dell'interruttore a valle.

4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato-S800 @ 415 V

			Monte	T4									T4 - T5
			Versione	N, S, H, L, V									
			Relè	TM									EL
Valle	Carat.	I_{cu} [kA]	I_n [A]	20	25	32	50	80	100	125	160	200÷250	100÷630
S800N/S	B	36-50	10	6,5	6,5[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			13	6,5	5[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			16		5[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			20		4[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			25				6,5	11	T	T	T	T	T
			32				6,5	8	T	T	T	T	T
			40				5[1]	6,5	T	T	T	T	T
			50					5[1]	7,5	T	T	T	T
			63						5[1]	7	T	T	T
			80								T	T	T[2]
			100									T	T[2]
			125										T[2 3]
	C	36-50	10	6,5	6,5[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			13	6,5	5[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			16		5[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			20		4[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			25		4[1]		6,5	11	T	T	T	T	T
			32				6,5	8	T	T	T	T	T
			40				5[1]	6,5	T	T	T	T	T
			50				4[1]	5[1]	7,5	T	T	T	T
			63					4[1]	6,5[1]	7	T	T	T
			80					4[1]	5[1]	6,5[1]	6,5	T	T[2]
			100						4[1]	5[1]	5[1]	6,5	T[2]
			125							4[1]	4[1]	5[1]	T[2 3]
	D	36-50	10	6,5	6,5[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			13		5[1]		6,5	11	T	T	T	T	T
			16				6,5	11	T	T	T	T	T
			20				6,5[1]	11	T	T	T	T	T
			25				6,5[1]	11	T	T	T	T	T
			32					8[1]	T	T	T	T	T
			40					6,5[1]	T	T	T	T	T
			50						7,5[1]	T	T	T	T
			63							7[1]	T	T	T
			80								5[1]	T	T[2]
			100									5[1]	T[2]
			125										T[2 3]
	K	36-50	10		6,5[1]	6,5	6,5	11	T	T	T	T	T
			13		5[1]	5	6,5	11	T	T	T	T	T
			16		5[1]		6,5	11	T	T	T	T	T
			20		4[1]		6,5	11	T	T	T	T	T
			25				6,5[1]	11[1]	T	T	T	T	T
			32				5[1]	8[1]	T[1]	T	T	T	T
			40					6,5[1]	T[1]	T[1]	T	T	T
			50					5[1]	7,5[1]	T[1]	T[1]	T	T
			63					4[1]	6,5[1]	7[1]	T[1]	T[1]	T
			80						5[1]	6,5[1]	7[1]	T[1]	T[2]
			100							5[1]	6,5[1]	7[1]	T[2]
			125								5[1]	6,5[1]	T[2 3]

[1] Valore valido con interruttore solo magnetico a monte (per In = 50 A, considerare interruttori MA52)
[2] Per T4 In = 100 A, valore valido con interruttore solo magnetico a monte
[3] Per T4 In = 160 A, valore valido con interruttore solo magnetico a monte

Scatolato - S2.. B @ 415 V

					Monte	T2	T1 - T2						T1 - T2 - T3						T3		T4										T5				T4		T5
					Versione	B, C, N, S, H, L													B, C, N, S, H, L, V																		
	Carat.	I_{cu} [kA]			Relè	TM													TM																EL			
		10	15	25	I_n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160		200	250	20	25	32	50	80	100	125	160	200	250	320÷500	25	63	100	160	100, 160	250, 320	320÷630
Valle	B	-	-	-	≤2																																
		-	-	-	3																																
		-	-	-	4																																
		S200	S200M	S200P	6	5,5[1]	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	10			3[1]	3	3	3	4,5	7,5	8,5	17	T	T		T	T	5	5[4]	5	6,5	9	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	13			3[1]		3	3	4,5	7,5	7,5	12	20	T		T	T		5[4]	5	6,5	8	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	16					3[1]	3	4,5	5	7,5	12	20	T		T	T		3[4]	5	6,5	8	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	20					3[1]		3	5	6	10	15	T		T	T				5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	25							3[1]	5	6	10	15	T		T	T				5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	32							3[1]		6	7,5	12	T		T	T				5[4]	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	40									5,5[1]	7,5	12	T		T	T					6,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	50									3[1]	5[2]	7,5	10,5		T	T					5[4]	T	T	T	T	T	T	T			10,5	10,5	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	63										5[2]	6[3]	10,5		T	T						T[4]	T[4]	T	T	T	T	T				10,5	T	T	T
		-	-	-	80																																
		-	-	-	100																																
		-	-	-	125																																

[1] Valore valido con interruttore T2 solo magnetico a monte
[2] Valore valido con interruttore T2-T3 solo magnetico a monte
[3] Valore valido con interruttore T3 solo magnetico a monte
[4] Valore valido con interruttore T4 solo magnetico a monte

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - S2.. C @ 415 V

						Monte	T2	T1 - T2						T1 - T2 - T3						T3		T4										T5	T2					T4		T5
						Versione	B, C, N, S, H, L													B, C, N, S, H, L, V																			
	Carat.	I_{cu} [kA]				Relè	TM													TM													EL							
		6	10	15	25	I_n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160		200	250	20	25	32	50	80	100	125	160	200	250	320÷500	10	25	63	100	160	100, 160	250, 320	320÷630
Valle	C	-	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		-	S200	S200M	S200P	4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M	S200P	6	5,5[1]	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M	S200P	10			3[1]	3	3	3	4,5	7,5	8,5	17	T	T		T	T	5	5[4]	5	6,5	9	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M	S200P	13			3[1]		3	3	4,5	7,5	7,5	12	20	T		T	T		5[4]	5	6,5	8	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M	S200P	16					3[1]	3	4,5	5	7,5	12	20	T		T	T		3[4]	5	6,5	8	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M	S200P	20					3[1]		3	5	6	10	15	T		T	T				5	7,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M	S200P	25							3[1]	5	6	10	15	T		T	T				5	7,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M-S200P	-	32							3[1]		6	7,5	12	T		T	T				5[4]	7,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200L	S200	S200M-S200P	-	40									5,5[1]	7,5	12	T		T	T					6,5	T	T	T	T	T	T				T	T	T	T	T
		-	S200	S200M-S200P	-	50									3[1]	5[2]	7,5	10,5		T	T					5[4]	T	T	T	T	T	T				10,5	10,5	T	T	T
		-	S200	S200M-S200P	-	63										5[2]	6[3]	10,5		T	T						T[4]	T[4]	T	T	T	T					10,5	T	T	T
		-	-	S290	-	80												4[3]		10	15								5	11	T	T					4	T[5]	T	T
		-	-	S290	-	100												4[3]		7,5[3]	15								5[4]	8	T	T					4	12[4]	T	T
		-	-	S290	-	125														7,5[3]										8[4]	12	T					4		T	T

[1] Valore valido con interruttore T2 solo magnetico a monte
[2] Valore valido con interruttore T2-T3 solo magnetico a monte
[3] Valore valido con interruttore T3 solo magnetico a monte
[4] Valore valido con interruttore T4 solo magnetico a monte
[5] Valore valido con interruttore T4 In=160 a monte

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - S2.. D @ 415 V

					Monte	T2	T1 - T2						T1 - T2 - T3						T3		T4											T5	T2					T4		T5
					Versione	B, C, N, S, H, L															B, C, N, S, H, L, V																			
	Carat.	I_{cu} [kA]			Relè	TM															TM																	EL			
		10	15	25	I_n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160		200	250	20	25	32	50	80	100	125	160	200	250	320÷500	10	25	63	100	160	100, 160	250, 320	320÷630
Valle	D	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	6	5,5[1]	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	12	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	10			3[1]	3	3	3	3	5	8,5	17	T	T		T	T	5	5[4]	5	5	9	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	13					2[1]	2	2	3	5	8	13,5	T		T	T		5[4]		4	5,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	16					2[1]	2	2	3	5	8	13,5	T		T	T				4	5,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	20					2[1]		2	3	4,5	6,5	11	T		T	T				4[4]	5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	25							2[1]	2,5	4	6	9,5	T		T	T				4[4]	4,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	32									4	6	9,5	T		T	T					4,5[4]	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	40									3[1]	5	8	T		T	T					4,5[4]	T	T	T	T	T	T				T	T	T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	50									2[1]	3[2]	5	9,5		T	T						T[4]	T	T	T	T	T					9,5	9,5	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	63										3[2]	5[3]	9,5		T	T						T[4]	T[4]	T	T	T						9,5	T	T	T
		-	S290	-	80												4[3]		10	15							5	11	T	T						4	T[5]	T	T
		-	S290	-	100												4[3]		7,5[3]	15								8	T	T						4	12[5]	T	T
		-	-	-	125																																			

[1] Valore valido con interruttore T2 solo magnetico a monte
[2] Valore valido con interruttore T2-T3 solo magnetico a monte
[3] Valore valido con interruttore T3 solo magnetico a monte
[4] Valore valido con interruttore T4 solo magnetico a monte
[5] Valore valido con interruttore T4 In=160 a monte

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - S2.. K @ 415 V

					Monte	T2	T1 - T2						T1 - T2 - T3						T3		T4											T5	T2					T4		T5
					Versione	B, C, N, S, H, L													B, C, N, S, H, L, V																				
	Carat.	I_{cu} [kA]			Relè	TM													TM														EL							
		10	15	25	I_n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160		200	250	20	25	32	50	80	100	125	160	200	250	320÷500	10	25	63	100	160	100, 160	250, 320	320÷630
Valle	K	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	6	5,5[1]	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	12	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	10			3[1]	3	3	3	3	6	8,5	17	T	T		T	T		5[4]	5	5	9	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		-	-	S200P	13					2[1]	3	3	5	7,5	10	13,5	T		T	T		5[4]	5	5	8	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	16					2[1]	3	3	4,5	7,5	10	13,5	T		T	T		5[4]		5	8	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	20					2[1]		3	3,5	5,5	6,5	11	T		T	T				5	6	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	25							2[1]	3,5	5,5	6	9,5	T		T	T				5[4]	6[4]	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	32									4,5	6	9,5	T		T	T				5[4]	6[4]	T[4]	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	40									3[1]	5	8	T		T	T					5,5[4]	T[4]	T[4]	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	50									2[1]	3[2]	6	9,5		T	T					5[4]	T[4]	T[4]	T[4]	T	T	T	T	T	T			9,5	9,5	T	T	T
		S200	S200M-S200P	-	63										3[2]	5,5[3]	9,5		T	T						T[4]	T[4]	T[4]	T[4]	T	T	T	T	T	T				9,5	T	T	T
		-	S290	-	80												4[3]		10	15								5	11	T	T	T	T	T	T	T				4	T[5]	T	T
		-	S290	-	100												4[3]		7,5[3]	15								5[4]	8	T	T	T	T	T	T	T				4	12[5]	T	T
		-	-	-	125																																				

[1] Valore valido con interruttore T2 solo magnetico a monte
[2] Valore valido con interruttore T2-T3 solo magnetico a monte
[3] Valore valido con interruttore T3 solo magnetico a monte
[4] Valore valido con interruttore T4 solo magnetico a monte
[5] Valore valido con interruttore T4 In=160 a monte

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - S2.. Z @ 415 V

					Monte	T2	T1 - T2						T1 - T2 - T3						T3		T4										T5	T2					T4		T5
					Versione	B, C, N, S, H, L															B, C, N, S, H, L, V																	
	Carat.	I_{cu} [kA]			Relè	TM															TM											EL							
		10	15	25	I_n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160		200	250	20	25	32	50	80	100	125	160	200	250	320÷500	10	25	63	100	160	100, 160	250, 320	320÷630
Valle	Z	S200	-	S200P	≤2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T[4]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	6	5,5[1]	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T		T	T	7,5	7,5[4]	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	10			3[1]	3	3	3	4,5	8	8,5	17	T	T		T	T	5	5[4]	5	6,5	9	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		-	-	S200P	13			3[1]		3	3	4,5	7,5	7,5	12	20	T		T	T		5[4]	5	6,5	8	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	16					3[1]	3	4,5	5	7,5	12	20	T		T	T		5[4]	4,5	6,5	8	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	20					3[1]		3	5	6	10	15	T		T	T				5	6,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	25							3[1]	5	6	10	15	T		T	T				5	6,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200	S200P	-	32							3[1]		6	7,5	12	T		T	T				5[4]	6,5	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T
		S200	S200P	-	40									5,5[1]	7,5	12	T		T	T					5	T	T	T	T	T	T				T	T	T	T	T
		S200	S200P	-	50									4[1]	5[2]	7,5	10,5		T	T					3,5[4]	T	T	T	T	T	T				10,5	10,5	T	T	T
		S200	S200P	-	63										5[2]	6[3]	10,5		T	T						T[4]	T	T	T	T	T					10,5	T	T	T
		-	-	-	80																																		
		-	-	-	100																																		
		-	-	-	125																																		

[1] Valore valido con interruttore T2 solo magnetico a monte
[2] Valore valido con interruttore T2-T3 solo magnetico a monte
[3] Valore valido con interruttore T3 solo magnetico a monte
[4] Valore valido con interruttore T4 solo magnetico a monte

ABB SACE - *Dispositivi di protezione e controllo* 131

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - T1 @ 415 V

			Monte	T1	T2				T3			T4								T4				T5						T6					T7			
	Versione			B C N	N, S, H, L				N, S			N, S, H, L, V								N, S, H, L, V				N, S, H, L, V						N, S, H, L					S, H, L, V[3]			
	Relè			TM	TM,M	25			TM, M			TM, M								EL				TM			EL			TM, M			EL			EL			
		I_u [A]		160	160				250			250								250			320	400		630	400		630	630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600
Valle			I_n [A]	160	160	63	100	160	160	200	250	50	80	100	125	160	200	250		100	160	250	320	320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800[2]	1000[2]	1250	1600
T1	B C N	TM	160	16	3	3	3	3	3	3	4	5	10^2	10	10	10	10	10	10		10	10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				20	3	3	3	3	3	3	4	5	10^2	10	10	10	10	10	10		10	10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				25	3	3	3	3	3	3	4	5	10^2	10	10	10	10	10	10		10	10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				32	3	3		3	3	3	4	5		10^1	10	10	10	10	10		10	10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				40	3	3		3	3	3	4	5		10^1	10	10	10	10	10		10	10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				50	3	3		3	3	3	4	5			10^1	10	10	10	10		10	10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				63	3	3			3	3	4	5				10^1	10	10	10		10	10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				80					3		4	5					10	10	10			10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				100								5					10^1	10	10			10	10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				125														10^1	10				10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				160																			10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

[1] Valore valido con interruttore solo magnetico a monte
[2] Valori validi solo con sganciatori elettronici PR232/P, PR331/P e PR332/P
[3] Disponibile solo Iu ≤ 1250A

ABB SACE - *Dispositivi di protezione e controllo* 133

4.2 Tabelle di selettività
4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - T2 @ 415 V

				Monte	T1	T2					T3			T4										T4				T5						T6				T7			
	Versione				B C N	N, S, H, L					N, S			N, S, H, L, V										N, S, H, L, V				N, S, H, L, V						N, S, H, L				S, H, L, V[3]			
	Relè				TM	TM,M	EL				TM, M			TM, M										EL				TM			EL			TM, M		EL			EL			
		I_u [A]			160	160					250			250										250			320	400		630	400		630	630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600
Valle			I_n [A]		160	160	25	63	100	160	160	200	250	20	25	32	50	80	100	125	160	200	250	100	160	250	320	320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800[2]	1000[2]	1250	1600
T2	N S H L	TM	160	1,6-2,5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T[1]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				3,2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T[1]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				4-5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T[1]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				6,3	10	10	10	10	10	10	10	15	40	T	T[1]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				8	10	10	10	10	10	10	10	15	40		T[1]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				10	10	10	10	10	10	10	10	15	40		T[1]	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				12,5	3	3		3	3	3	3	4	5			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				16	3	3		3	3	3	3	4	5					70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				20	3	3		3	3	3	3	4	5					55[1]	55	55	55	55	55	55	55	55	55	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				25	3	3		3	3	3	3	4	5					40[1]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				32	3	3			3	3	3	4	5					40[1]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				40	3	3			3	3	3	4	5					30[1]	30[1]	30	30	30	30	30	30	30	30	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				50	3	3			3	3	3	4	5					30[1]	30[1]	30	30	30	30	30	30	30	30	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				63	3	3				3	3	4	5					30[1]	30[1]	30[1]	30	30	30	30	30	30	30	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				80						3	3[1]	4	5						25[1]	25[1]	25[1]	25	25			25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				100								4	5							25[1]	25[1]	25[1]	25			25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				125																	25[1]	25[1]				25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				160																		25[1]				25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		EL	160	10								3	4				25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				25								3	4					25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				63								3	4								25	25	25	25	25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				100								3	4										25		25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				160								3	4													25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

[1] Valore valido con interruttore solo magnetico a monte
[2] Valori validi solo con sganciatori elettronici PR232/P, PR331/P e PR332/P
[3] Disponibile solo Iu ≤ 1250A

Scatolato - T3 @ 415 V

				Monte	T3			T4				T4					T5						T6					T7			
	Versione				N, S			N, S, H, L, V				N, S, H, L, V					N, S, H, L, V						N, S, H, L					S, H, L, V[3]			
		Relè			TM, M			TM, M				EL					TM			EL			TM, M			EL			EL		
			I_u [A]		250			250				250			320		400		630	400		630	630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600
Valle				I_n [A]	160	200	250	125	160	200	250	100	160	250	320		320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800[2]	1000[2]	1250	1600
T3	N S	TM	250	63	3	4	5	7[1]	7	7	7	7	7	7	7		25	25	25	25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				80	3[1]	4	5		7[1]	7	7		7	7	7		25	25	25	25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				100		4[1]	5		7[1]	7[1]	7		7	7	7		25	25	25	25	25	25	40	T	40	T	T	T	T	T	T
				125						7[1]				7	7		20	20	20	20	20	20	36	T	36	T	T	T	T	T	T
				160										7	7				20	20	20	20	36	T	36	T	T	T	T	T	T
				200											7					20	20	20	30	T	30	T	T	T	T	T	T
				250																20	20	20	30	40	30	40	40	T	T	T	T

[1] Valore valido con interruttore solo magnetico a monte
[2] Valori validi solo con sganciatori elettronici PR232/P, PR331/P e PR332/P
[3] Disponibile solo Iu ≤ 1250A

Scatolato - T4 @ 415 V

				Monte	T5						T6					T7			
	Versione				N, S, H, L, V						N, S, H, L					S, H, L, V[1]			
		Relè			TM			EL			TM, M			EL		EL			
			I_u [A]		400		630	400		630	630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600
Valle				I_n [A]	320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800[2]	1000[2]	1250	1600
T4	N S H L V	TM	250	20	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				32	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				80	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				100		50	50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				125			50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				160				50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				200				50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				250					50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		EL	250	100	50	50	50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				160	50	50	50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				250			50		50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T
			320	320						50	T	T	T	T	T	T	T	T	T

[1] Disponibile solo con Iu=1250A
[2] Valori validi solo con sganciatori elettronici PR232/P, PR331/P e PR332/P

4.2 Tabelle di selettività

4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - T5 @ 415 V

				Monte	T6					T7			
	Versione				N, S, H, L					S, H, L, V[1]			
		Relè			TM, M		EL			EL			
			I_u [A]		630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600
Valle				I_n [A]	630	800	630	800	1000	800[2]	1000[2]	1250	1600
T5	N S H L V	TM	400	320	30	30	30	30	30	T	T	T	T
				400		30		30	30	T	T	T	T
			630	500				30	30	T	T	T	T
		EL	400	320	30	30	30	30	30	T	T	T	T
				400	30	30	30	30	30	T	T	T	T
			630	630					30	T	T	T	T

[1] Disponibile solo Iu ≤ 1250A
[2] Valori validi solo con sganciatori elettronici PR232/P, PR331/P e PR332/P

Scatolato - T6 @ 415 V

				Monte	T7			
	Versione				S, H, L, V[1]			
		Relè			EL			
			I_u [A]		800	1000	1250	1600
Valle				I_n [A]	800[2]	1000[2]	1250	1600
T6	N S H L V	TM	630	630			40	40
			800	800			40	40
		EL	630	630	40	40	40	40
			800	800	40	40	40	40
			1000	1000			40	40

[1] Disponibile solo Iu ≤ 1250A, massimo valore di selettività: 15kA
[2] Valori validi solo con sganciatori elettronici PR232/P, PR331/P e PR332/P

4 Coordinamento delle protezioni

Aperto - Scatolato @ 415 V

Valle	Versione	Relè	I_u [A]	Monte	X1			E1		E2				E3					E4			E6	
				B	N	L	B	N	B	N	S	L[1]	N	S	H	V	L[1]	S	H	V	H	V
				EL			EL		EL				EL					EL				
				800 1000 1250 1600	800 1000 1250 1600	800 1000 1250	800 1000 1250 1600	800 1000 1250 1600	1600 2000	1000 1250 1600 2000	800 1000 1250 1600 2000	1250 1600	2500 3200	1000 1250 1600 2000 2500 3200	800 1000 1250 1600 2000 2500 3200	800 1000 1250 1600 2000 2500 3200	2000 2500	4000	3200 4000	3200 4000	4000 5000 6300	3200 4000 5000 6300
T1	B	TM	160	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	C			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	N			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T2	N	TM,EL	160	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	T	T	T	T	T	55	65	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	L			T	T	T	T	T	T	55	65	T	T	T	75	T	T	T	T	T	T	T
T3	N	TM	250	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T4	N	TM,EL	250 320	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	T	T	T	T	T	55	65	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	L			T	T	T	T	T	T	55	65	100	T	T	75	85	100	T	T	100	T	100
	V			T	T	T	T	T	T	55	65	100	T	T	75	85	100	T	T	100	T	100
T5	N	TM,EL	400 630	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	T	T	T	T	T	55	65	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	L			T	T	T	T	T	T	55	65	100	T	T	75	85	100	T	T	100	T	100
	V			T	T	T	T	T	T	55	65	100	T	T	75	85	100	T	T	100	T	100
T6	N	TM,EL	630 800 1000	T	T	15	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	T	15	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	T	15	T	T	T	55	65	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	L			T	T	15	T	T	T	55	65	T	T	T	75	85	T	T	T	T	T	T
T7	S	EL	800 1000 1250 1600	T	42	15	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	42	15	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	L			T	42	15	T	T	T	55	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	V[2]			T	42	15	T	T	T	55	65	T	T	T	75	85	T	T	T	T	T	T	T

Tabella valida con interruttori Emax equipaggiati con sganciatori PR122/P and PR123/P

[1] Interruttori Emax L solo con sganciatori PR122/P - PR123/P

[2] Disponibile solo con Iu ≤ 1250A

4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - Tmax T1, T2 @ 400/415 V

Valle	Versione	Relè	I_u [A]	Monte	T4			T5			T6	
					L							
					PR223EF[1]							
					250		320	400		630	800	
				I_n [A]	160	250	320	320	400	630	630	800
T1	B, C, N	TM	160	16-100	T	T	T	T	T	T	T	T
				125		T	T	T	T	T	T	T
				160		T	T	T	T	T	T	T
T2	N,S,H,L	TM, EL	160	10-100	75[2]	75[2]	75[2]	T	T	T	T	T
				125		75[2]	75[2]	T	T	T	T	T
				160		75[2]	75[2]	T	T	T	T	T

[1] Relè in alimentazione ausiliaria e parametro trip delayed posto in ON

[2] Scegliere il valore più basso tra quanto indicato ed il potere di interruzione dell'interruttore a valle con riferimento alla tensione di esercizio

Scatolato - Tmax T4, T5, T6 @ 400/415 V

Valle	Versione	Relè	I_u [A]	Monte	T4			T5			T6	
					L							
					PR223EF							
					250		320	400		630	800	
				I_n [A]	160	250	320	320	400	630	630	800
T4	L	PR223EF	250	160	T	T	T	T	T	T	T	T
				250		T	T	T	T	T	T	T
			320	320			T	T	T	T	T	T
T5	L	PR223EF	400	320				T	T	T	T	T
				400					T	T	T	T
			630	630						T	T	T
T6	L	PR223EF	630	630							T	T
			800	800								T

Tabella valida con relè in alimentazione ausiliaria e connessi tramite doppino schermato come da istruzioni di installazione 1SDH000538R0001

4.3 Tabelle di Back-Up tra interruttori

Le tabelle riportate forniscono il valore della corrente di corto circuito in kA per il quale è verificata la protezione di back-up tra la combinazione di interruttori prescelta, per tensioni tra 240 e 415 V. Le tabelle coprono le possibili combinazioni tra interruttori scatolati ABB SACE serie Tmax e quelle tra i suddetti interruttori e la serie di interruttori modulari ABB.

Note per una corretta lettura delle tabelle di coordinamento:

Le seguenti tabelle riportano i poteri di interruzione a 415Vc.a. per interruttori Tmax ed Emax.

Tmax @ 415 Vc.a.	
Versione	Icu [kA]
B	16
C	25
N	36
S	50
H	70
L (per T2)	85
L (per T4-T5-T7)	120
L (per T6)	100
V (per T7)	150
V	200

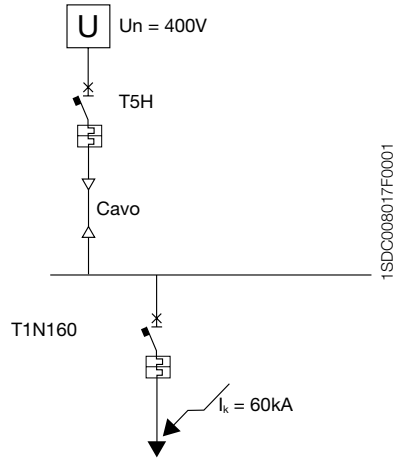
Emax @ 415 Vc.a.	
Versione	Icu [kA]
B	42
N	65*
S	75**
H	100
L	130***
V	150****

* Per Emax E1 Versione N Icu=50kA
** Per Emax E2 Versione S Icu=85kA
*** Per Emax X1 Versione L Icu=150kA
**** Per Emax E3 Versione V Icu=130kA

Legenda

Per interruttori scatolati aperti: TM = sganciatore termomagnetico – TMD (Tmax) – TMA (Tmax) M = sganciatore solo magnetico – MF (Tmax) – MA (Tmax) EL = sganciatore elettronico (Tmax e Emax)	Per interruttori modulari: B = caratteristica di intervento (I3=3...5In) C = caratteristica di intervento (I3=5...10In) D = caratteristica di intervento (I3=10...20In) K = caratteristica di intervento (I3=8...14In) Z = caratteristica di intervento (I3=2...3In)

Esempio:
Dalla tabella di coordinamento si ricava che gli interruttori T5H e T1N sono coordinati in back-up fino a un valore di 65 kA (maggiore della corrente di corto circuito nel punto di installazione), benchè il massimo potere di interruzione del T1N, a 415 V, sia pari a 36 kA.



Modulare - Modulare @ 240 V (Interruttore bipolare)

			Monte	S200L	S200	S200M	S200P		S280	S290	S800
	Carat.			C	B-C	B-C	B-C		B-C	C	B-C
Valle		Icu [kA]		10	20	25	40	25	20	25	100
			In [A]	6..40	0,5..63	0,5..63	0,5..25	32..63	80, 100	80..125	10..125
S941N	B,C	6	2..40	10	20	25	40	25	15	15	100
S951N	B,C	10	2..40	10	20	25	40	25	15	15	100
S971N	B,C	10	2..40	10	20	25	40	25	15	15	100
S200L	C	10	6..40			25	40	25			100
S200	B,C,K,Z	20	0,5..63			25	40	25			100
S200M	B,C,D	25	0,5..63				40				100
S200P	B,C, D,K,Z	40	0,5..25								100
		25	32..63								100
S280	B,C	20	80, 100								
S290	C,D	25	80..125								

4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato @ 415 V - Modulare @ 240 V

			Monte[1]	T1	T1	T1	T2	T3	T2	T3	T2	T2
			Versione	B	C	N			S		H	L
Valle	Carat.	I_n [A]	I_{cu} [kA]	16	25	36			50		70	85
S941 N	B,C	2..25	6	16	16	16	20	10	20	10	20	20
		32, 40		10	10	10	16		16		16	16
S951 N	B,C	2..25	10	16	16	16	25	16	25	16	25	25
		32, 40					16		16		16	16
S971 N	B,C	2..25	10	16	16	16	25	16	25	16	25	25
		32, 40					16		16		16	16

[1] Interruttore a monte 4P (circuito a valle derivato tra una fase e il neutro)

Modulare - Modulare @ 415 V

			Monte	S200	S200M	S200P		S280	S290	S800N	S800S
	Carat.			B-C	B-C	B-C		B-C	C	B-C-D	B-C-D-K
Valle		I_{cu} [kA]		10	15	25	15	6	15	36	50
			I_n [A]	0,5..63	0,5..63	0,5..25	32..63	80, 100	80..125	25..125	25..125
S200L	C	6	6..40	10	15	25	15		15	36	50
S200	B,C,K,Z	10	0,5..63		15	25	15		15	36	50
S200M	B,C	15	0,5..63			25				36	50
S200P	B,C, D,K,Z	25	0,5..25							36	50
		15	32..63							36	50
S280	B,C	6	80, 100								
S290	C,D	15	80..125								
S800N	B,C,D	36	25..125								
S800S	B,C,D,K	50	25..125								

4 Coordinamento delle protezioni

Scatolato - Modulare @ 415 V

			Monte	T1	T1	T1	T2	T3	T4	T2	T3	T4	T2	T4	T2	T4	T4
			Versione	B	C	N				S			H		L	L	V
Valle	Carat.	I_n [A]	I_{cu} [kA]	16	25	36				50			70		85	120	200
S200L	C	6..10	6	16	25	30	36	36	36	36	40	40	40	40	40	40	40
		13..40						16			16						
S200	B,C,K,Z	0,5..10	10	16	25	30	36	36	36	36	40	40	40	40	40	40	40
		13..63						16			16						
S200M	B,C	0,5..10	15	16	25	30	36	36	36	50	40	40	70	40	85	40	40
		13..63						25			25		60		60		
S200P	B,C, D,K,Z	0,5..10	25			30	36	36	36	50	40	40	70	40	85	40	40
		13..25				30	36	30	36	50	30	40	60	40	60	40	40
		32..63	15	16	25	30	36	25	36	50	25	40	60	40	60	40	40
S280	B,C	80, 100	6	16	16	16	36	16	30	36	16	30	36	30	36	30	30
S290	C,D	80..125	15	16	25	30	36	30	30	50	30	30	70	30	85	30	30
S800N	B,C,D	25..125	36										70	70	85	120	200
S800S	B,C,D,K	25..125	50										70	70	85	120	200

Scatolato - Scatolato @ 415 V

			Monte	T1	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T2	T4	T5	T6	T7	T2	T4	T5	T6	T7	T4	T5
			Versione	C	N						S						H					L	L		L		V	
Valle	Carat.	I_{cu} [kA]		25	36						50						70					85	120		100[1]		200	
T1	B	16		25	36	36	36	30	30	30	50	50	36	36	36		70	40	40	40		85	50	50	50		85	65
T1	C	25			36	36	36	36	36	36	50	50	40	40	50	50	70	65	65	65	50	85	85	85	70	50	130	100
T1	N	36									50	50	50	50	50	50	70	65	65	65	50	85	100	100	70	50	200	120
T2											50	50	50	50	50	50	70	65	65	65	65	85	100	100	85	85	200	120
T3												50	50	50	50	50		65	65	65	50		100	100	100	50	200	120
T4													50	50	50	50		65	65	65	50		100	100	65	65	200	120
T5														50	50	50			65	65	50			100	85	65		120
T6															50	40				65	40				70	50		
T2	S	50																70	70	70	70	85	100	100	85	85	200	130
T3																		70	70	70			100	100	100		200	150
T4																		70	70	70	70		100	100	85	85	200	150
T5																			70	70	70			100	85	85		150
T6																				70					85	85		
T2	H	70																				85	120	120	85	85	200	150
T4																							120	120	100	100	200	180
T5																								120	100	100		180
T6																									100	85		
T2	L	85																					120	120			200	180
T4		120																									200	200
T5																												200

[1] 120 kA per T7

4.4 Tabelle di coordinamento tra interruttori e interruttori di manovra sezionatori

Le tabelle riportate forniscono il valore della corrente di corto circuito in kA per il quale è verificata la protezione di back-up tra la combinazione di interruttore e interruttore di manovra sezionatore prescelta, per tensioni tra 380 e 415 V. Le tabelle coprono le possibili combinazioni tra interruttori scatolati ABB SACE serie Tmax e tra i suddetti interruttori di manovra sezionatori.

4 Coordinamento delle protezioni

Note informative per una corretta lettura delle tabelle di coordinamento:

Tmax @ 415V ac	
Versione	Icu [kA]
B	16
C	25
N	36
S	50
H	70
L (per T2)	85
L (per T4-T5)	120
L (per T6)	100
V (per T7)	150
V	200

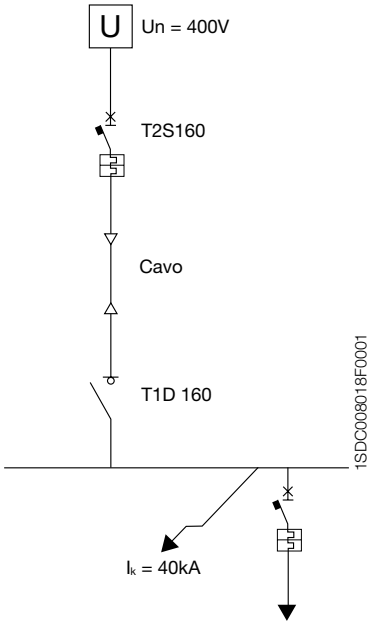
415 V	SEZIONATORI										
	T1D 160	T3D 250	T4D 320	T5D 400	T5D 630	T6D 630	T6D 800	T6D 1000	T7D 1000	T7D 1250	T7D 1600
T1B							16				
T1C							25				
T1N							36				
T2N							36				
T2S							50				
T2H							70				
T2L							85				
T3N							36				
T3S							50				
T4N		36*					36				
T4S		50*					50				
T4H		70*					70				
T4L		120*					120				
T4V		200*					200				
T5N							36				
T5S							50				
T5H							70				
T5L							120				
T5V							200				
T6N								36			
T6S								50			
T6H								65			
T6L								100			
T7S								50			
T7H								70			
T7L								120			
T7V								150			

1SDC008037F0201

* per T4 250 o T4 320 solo con I1 settata a 250 A.

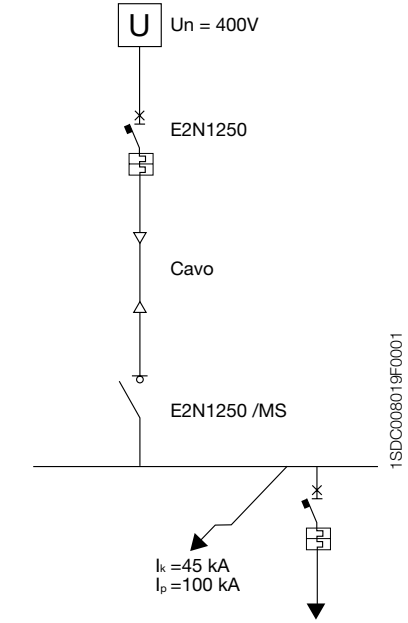
4 Coordinamento delle protezioni

Esempio:
Dalla tabella di coordinamento di si ricava che l'interruttore T2S160 è in grado di proteggere il sezionatore T1D160 fino a un valore di corrente di corto circuito di 50 kA (maggiore della corrente di corto circuito nel punto di installazione). Inoltre è verificata la protezione da sovraccarico, visto che la corrente nominale dell'interruttore non è superiore alla taglia del sezionatore.



4 Coordinamento delle protezioni

Esempio:
Per una corretta selezione dei componenti il sezionatore deve essere protetto da sovraccarico da un dispositivo avente corrente nominale non superiore alla taglia del sezionatore, mentre in condizioni di corto circuito bisogna verificare che:
$I_{cw} \geq I_k$
$I_{cm} \geq I_p$.
Quindi dal confronto dei parametri elettrici dei singoli dispositivi, si sceglie un sezionatore Emax E2N1250/MS e un interruttore E2N1250. Infatti:
I_{cw}(E2N /MS) = 55 kA > 45 kA
I_{cm} (E2N /MS) = 143 kA > 100 kA.



5 Applicazioni speciali

5.1 Reti in corrente continua

Principali applicazioni della corrente continua:

- Alimentazione dei servizi di emergenza o di servizi ausiliari:
  L'utilizzo della corrente continua è dovuto alla necessità di disporre di una fonte di energia di riserva che consente di alimentare servizi essenziali come: sistemi di protezione, luci di emergenza, sistemi di allarme, reparti di ospedali e fabbriche, centri di calcolo, utilizzando per esempio batterie di accumulatori.
- Trazione elettrica:
  I vantaggi in termini di regolazione offerti dall'utilizzo di motori in c.c. e dall'alimentazione tramite linea di contatto unica, fanno della corrente continua la soluzione più diffusa per ferrovie, metropolitane, tramvie, ascensori e mezzi di trasporto in generale.
- Impianti industriali particolari:
  Possono essere impianti relativi a processi elettrolitici oppure applicazioni in cui si delineano particolari esigenze di esercizio delle macchine elettriche.

Le applicazioni tipiche degli interruttori sono la protezione di linee, di dispositivi e la manovra di motori.

Considerazioni sull'interruzione della corrente continua

La corrente continua presenta maggiori problemi rispetto alla corrente alternata per quanto riguarda i fenomeni legati all'interruzione di correnti elevate. In corrente alternata esiste un naturale passaggio per lo zero della corrente ad ogni semiperiodo, al quale corrisponde uno spontaneo spegnimento dell'arco che si forma durante l'apertura del circuito.
In corrente continua viene a mancare questo fenomeno e affinchè si giunga all'estinzione dell'arco occorre che la corrente diminuisca fino ad annullarsi.
Il tempo di estinzione della corrente continua, a parità di altre condizioni, è proporzionale alla costante di tempo del circuito T = L/R.
È necessario che l'interruzione avvenga con gradualità senza bruschi annullamenti di corrente che darebbero luogo ad elevate sovratensioni. Ciò può essere realizzato allungando e raffreddando l'arco in modo da inserire nel circuito una resistenza via via più elevata.
I fenomeni di natura energetica che si sviluppano nel circuito dipendono dal livello della tensione di esercizio dell'impianto e portano ad installare gli interruttori secondo schemi di connessione in cui i poli dell'interruttore sono posti in serie a tutto vantaggio della prestazione sotto corto circuito. Infatti, il potere di interruzione dell'apparecchio risulta maggiore quanto maggiore è il numero di contatti che aprono il circuito e quindi quanto maggiore é la tensione d'arco applicata.
Questo significa anche che all'aumentare della tensione di esercizio dell'impianto occorre aumentare il numero di contatti che interrompono la corrente e quindi il numero di poli in serie.

5 Applicazioni speciali

Calcolo della corrente di corto circuito di una batteria di accumulatori
La corrente di cortocircuito ai morsetti di una batteria di accumulatori può essere fornita dal produttore della batteria oppure può essere calcolata mediante la relazione:

$$I_k = \frac{U_{Max}}{R_i}$$

dove:
- U_{Max} è la tensione massima di scarica (la tensione a vuoto);
- R_i è la resistenza interna degli elementi che costituiscono la batteria.

La resistenza interna generalmente è fornita dai costruttori ma può essere calcolata dalla caratteristica di scarica ottenibile mediante una prova così come indicato nella norma IEC 60896 – 1 o IEC 60896 – 2.
A titolo di esempio una batteria da 12.84 V e resistenza interna da 0.005 Ω fornisce ai morsetti una corrente di cortocircuito del valore di 2568 A.
In condizioni di cortocircuito la corrente cresce molto rapidamente negli istanti iniziali ma raggiunto un valore massimo inizia a decrescere in quanto decresce la tensione di scarica della batteria. Naturalmente questo valore elevato della corrente di guasto provoca dei riscaldamenti intensi all'interno della batteria, a causa della sua resistenza interna, e può anche provocarne l'esplosione. E' quindi molto importante nei sistemi in corrente continua alimentati da accumulatori prevenire e/o minimizzare le correnti di corto circuito.

Grandezze per la scelta degli interruttori

Per una corretta scelta di un interruttore per la protezione di una rete in corrente continua occorre tenere presenti i seguenti fattori:
1. la corrente di impiego, in funzione della quale si individua la taglia dell'interruttore e la taratura per lo sganciatore di massima corrente termomagnetico;
2. la tensione di esercizio, in funzione della quale si determina il numero di poli da connettere in serie al fine di aumentare il potere di interruzione degli apparecchi;
3. la corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione dell'interruttore dalla quale dipende la scelta della versione dell'interruttore;
4. il tipo di rete ossia il tipo di connessione rispetto a terra.

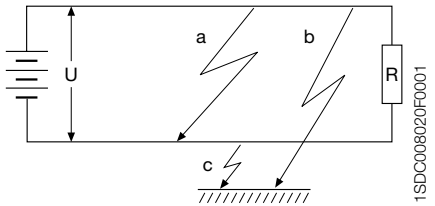
Nota: nel caso di utilizzo di interruttori tetrapolari, il neutro deve essere al 100%

Tipologia di reti in correnti continua

Le reti in corrente continua possono essere:
- con entrambe le polarità isolate da terra;
- con una polarità connessa a terra;
- con il punto mediano dell'alimentazione collegato a terra.

5 Applicazioni speciali

Rete con entrambe le polarità isolate da terra



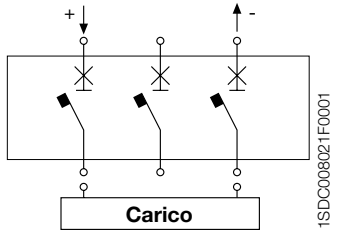
- Guasto a: il guasto franco fra le due polarità stabilisce una corrente di cortocircuito alla quale contribuiscono entrambe le polarità alla piena tensione ed in funzione della quale occorre scegliere il potere di interruzione dell'interruttore.
- Guasto b: il guasto franco tra la polarità e la terra non ha conseguenze dal punto di vista del funzionamento dell'impianto.
- Guasto c: anche questo guasto franco tra la polarità e la terra non ha conseguenze dal punto di vista del funzionamento dell'impianto.

Nella rete isolata è necessario installare un dispositivo in grado di segnalare la presenza del primo guasto a terra in modo da poter provvedere alla sua eliminazione. Nelle peggiori condizioni infatti, nel caso in cui si verifichi un secondo guasto a terra, l'interruttore potrebbe ritrovarsi ad interrompere la corrente di cortocircuito con la piena tensione applicata ad una sola polarità e quindi con un potere di interruzione che potrebbe non essere adeguato.
Nella rete con entrambe le polarità isolate da terra è opportuno ripartire il numero di poli dell'interruttore necessari all'interruzione su ogni polarità (positiva e negativa) in modo da ottenere anche il sezionamento del circuito.

Gli schemi da utilizzare sono i seguenti:

Schema A

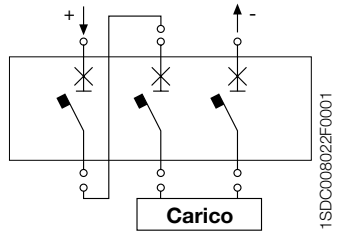
Interruttore tripolare con un polo per polarità



5 Applicazioni speciali

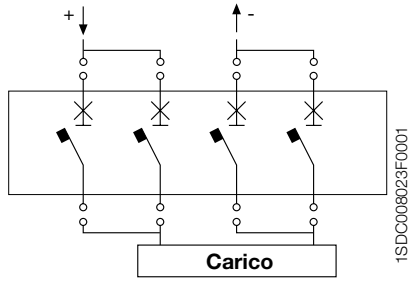
Schema B

Interruttore tripolare con due poli in serie per una polarità e un polo per l'altra polarità (1)



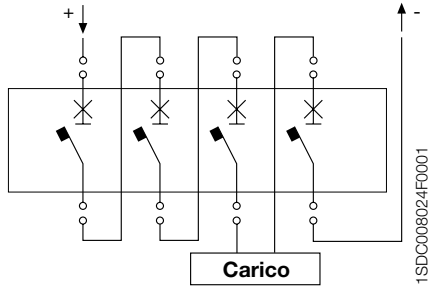
Schema G

Interruttore tripolare con due poli in parallelo per polarità



Schema E

Interruttore tetrapolare con tre poli in serie su una polarità e un polo sull'altra polarità (1)

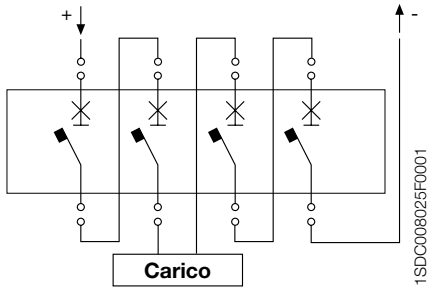


(1) Non è conveniente ripartire in maniera ineguale i poli dell'interruttore perché, in questo tipo di rete, un secondo guasto a terra potrebbe portare il singolo polo a lavorare in condizioni di guasto alla piena tensione. In questi casi si rende indispensabile installare un dispositivo in grado di segnalare il guasto a terra o la diminuzione di isolamento verso terra di una polarità.

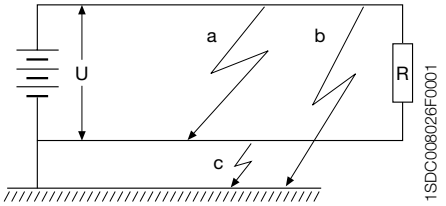
5 Applicazioni speciali

Schema F

Interruttore tetrapolare con due poli in serie per polarità



Rete con una polarità collegata a terra



- Guasto a: il guasto franco fra le due polarità stabilisce una corrente di cortocircuito alla quale contribuiscono entrambe le polarità alla piena tensione U ed in funzione della quale occorre scegliere il potere di interruzione dell'interruttore.
- Guasto b: il guasto sulla polarità non collegata a terra stabilisce una corrente che interessa le protezioni di sovracorrente in funzione della resistenza del terreno.
- Guasto c: Il guasto franco tra la polarità connessa a terra e la terra non ha conseguenze dal punto di vista del funzionamento dell'impianto.

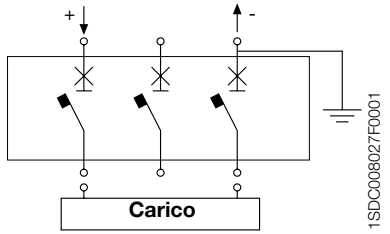
Nella rete con una polarità connessa a terra tutti i poli dell'interruttore necessari alla protezione devono essere collegati in serie sulla polarità non a terra. Se si vuole realizzare anche il sezionamento è necessario prevedere un polo di interruzione supplementare sulla polarità a terra.

5 Applicazioni speciali

Quando è previsto il sezionamento del circuito gli schemi da visualizzare sono i seguenti:

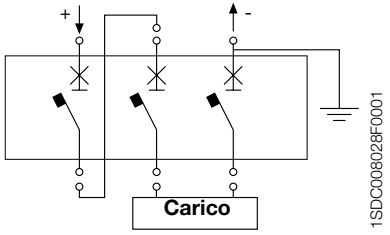
Schema A

Interruttore tripolare con un polo per polarità



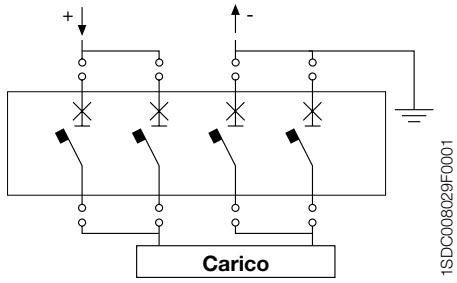
Schema B

Interruttore tripolare con due poli in serie sulla polarità non connessa a terra e un polo sulla restante polarità



Schema G

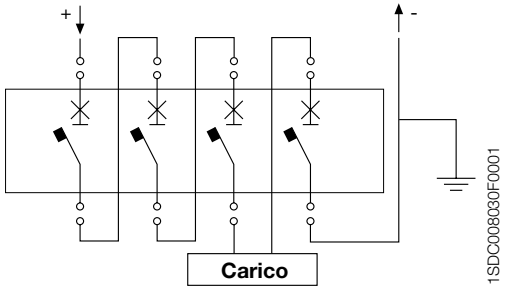
Interruttore tetrapolare con due poli in parallelo per polarità



5 Applicazioni speciali

Schema E

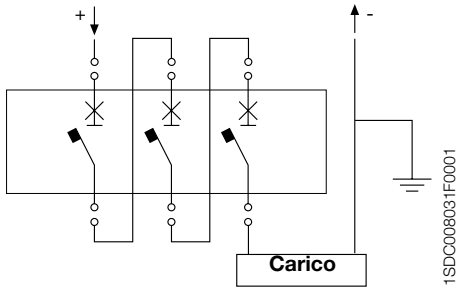
Interruttore tetrapolare con tre poli in serie sulla polarità non connessa a terra e un polo sulla restante polarità



Gli schemi quando non è previsto il sezionamento del circuito da utilizzare sono i seguenti:

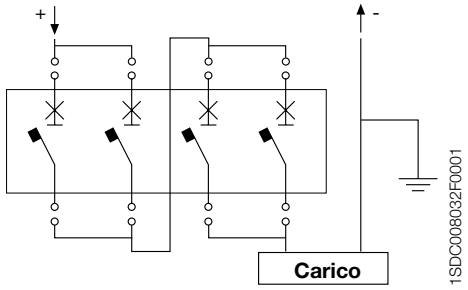
Schema C

Interruttore tripolare con tre poli in serie sulla polartà non connessa a terra



Schema H

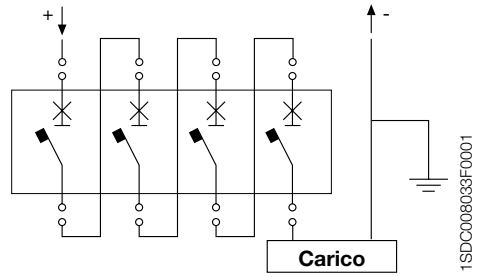
Interruttore tetrapolare con serie di due poli in parallelo



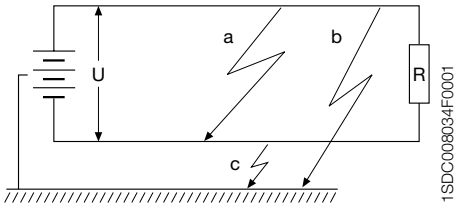
5 Applicazioni speciali

Schema D

Interruttore tetrapolare con quattro poli in serie sulla polarità non connessa a terra



Rete con il punto mediano dell'alimentazione collegato a terra



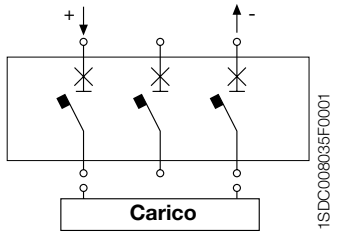
- Guasto a: il guasto franco fra le due polarità stabilisce una corrente di cortocircuito alla quale contribuiscono entrambe le polarità alla piena tensione U ed in funzione della quale occorre scegliere il potere di interruzione dell'interruttore.
- Guasto b: il guasto franco tra la polarità e la terra stabilisce una corrente di cortocircuito inferiore a quella relativa al guasto tra le due polarità in quanto alimentato da una tensione pari a 0.5U.
- Guasto c: il guasto franco in questo caso è analogo al caso precedente ma è la polarità negativa ad essere interessata.

Nella rete con il punto medio dell'alimentazione connesso a terra l'interruttore deve essere necessariamente inserito su entrambe le polarità.

Gli schemi da utilizzare sono i seguenti:

Schema A

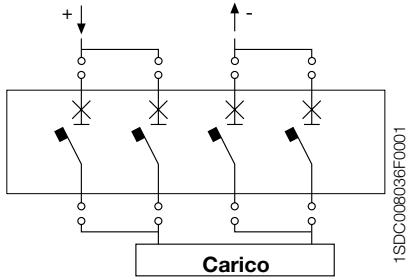
Interruttore tripolare con un polo per polarità



5 Applicazioni speciali

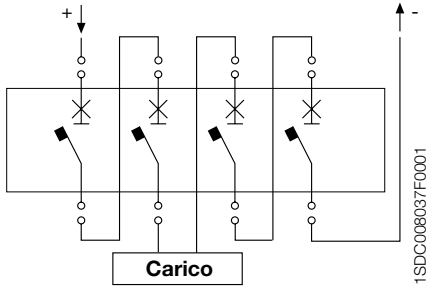
Schema G

Interruttore tetrapolare con due poli in parallelo per polarità



Schema F

Interruttore tetrapolare con due poli in serie per polarità



Impiego dei dispositivi di protezione in corrente continua

Collegamento in parallelo dei poli dell'interruttore

In funzione del numero di poli collegati in parallelo, bisogna applicare i coefficienti presenti nella seguente tabella:

Tabella 1: Fattore di correzione per poli collegati in parallelo

numero di poli in parallelo	2	3	4 (neutro 100%)
fattore di riduzione della portata	0.9	0.8	0.7
portata dell'interruttore	1.8xIn	2.4xIn	2.8xIn

I collegamenti esterni ai terminali dell'interruttore devono essere realizzati a cura dell'utilizzatore in modo da garantire il perfetto bilanciamento del collegamento.

5 Applicazioni speciali

Esempio:

Utilizzando un interruttore Tmax T6N800 In800 con tre poli in parallelo occorre applicare il coefficiente pari a 0.8, quindi la massima portata sarà:

0.8x3x800 = 1920 A.

Comportamento degli sganciatori termici

Poiché il funzionamento di questi sganciatori è basato su fenomeni termici derivanti dal passaggio della corrente, possono quindi essere impiegati in corrente continua, questi dispositivi mantengono inalterata la loro caratteristica di intervento

Comportamento degli sganciatori magnetici

I valori delle soglie di intervento degli sganciatori magnetici in alternata, utilizzati per la corrente continua, devono essere moltiplicati per il coefficiente (km), in funzione dell'interruttore e dello schema di connessione:

Tabella 2: coefficiente k_m

Interruttore	schema A	schema B	schema C	schema D	schema E	schema F	schema G	schema H
T1	1.3	1	1	-	-	-	-	-
T2	1.3	1.15	1.15	-	-	-	-	-
T3	1.3	1.15	1.15	-	-	-	-	-
T4	1.3	1.15	1.15	1	1	1	-	-
T5	1.1	1	1	0.9	0.9	0.9	-	-
T6	1.1	1	1	0.9	0.9	0.9	1.1	1

Esempio

Dati:
- Rete in corrente continua con una polarità connessa a terra;
- Tensione nominale Un = 250 V;
- Corrente di corto circuito Ik = 32 kA
- Corrente di carico Ib = 230 A

Usando la Tabella 3, è possibile selezionare l'interruttore tripolare Tmax T3N250 In = 250 A, utilizzando la connessione mostrata nello schema B (due poli in serie per la polarità non collegata a terra e un polo in serie per la polarità collegata a terra).
Dalla Tabella 2 in corrispondenza dello schema B, e dell'interruttore Tmax T3, risulta k_m=1,15; quindi l'intervento magnetico si avrà a 2875 A (tenendo conto della tolleranza, l'intervento si avrà tra 2300 A e 3450 A).

5 Applicazioni speciali

La tabella seguente riassume il potere d'interruzione per i vari interruttori disponibili in corrente continua. Tra parentesi è indicato il numero di poli da collegare in serie per garantire il potere di interruzione.

Tabella 3: Potere di interruzione in corrente continua in funzione della tensione

	Corrente	Potere di interruzione [kA]			
Interruttore	**nominale [A]**	≤ 125 [V][1]	250 [V]	500 [V]	750 [V]
T1B160	16 ÷ 160	16 (1P)	20 (3P) - 16 (2P)	16 (3P)	
T1C160	25 ÷ 160	25 (1P)	30 (3P) - 25 (2P)	25 (3P)	
T1N160	32 ÷ 160	36 (1P)	40 (3P) - 36 (2P)	36 (3P)	
T2N160	1.6 ÷ 160	36 (1P)	40 (3P) - 36 (2P)	36 (3P)	
T2S160	1.6 ÷ 160	50 (1P)	55 (3P) - 50 (2P)	50 (3P)	
T2H160	1.6 ÷ 160	70 (1P)	85 (3P) - 70 (2P)	70 (3P)	
T2L160	1.6 ÷ 160	85 (1P)	100 (3P) - 85 (2P)	85 (3P)	
T3N250	63 ÷ 250	36 (1P)	40 (3P) - 36 (2P)	36 (3P)	
T3S250	63 ÷ 250	50 (1P)	55 (3P) - 50 (2P)	50 (3P)	
T4N250/320	20 ÷ 250	36 (1P)	36 (2P)	25 (2P)	16 (3P)
T4S250/320	20 ÷ 250	50 (1P)	50 (2P)	36 (2P)	25 (3P)
T4H250/320	20 ÷ 250	70 (1P)	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)
T4L250/320	20 ÷ 250	100 (1P)	100 (2P)	70 (2P)	50 (3P)
T4V250/320	20 ÷ 250	100 (1P)	100 (2P)	100 (2P)	70 (3P)
T5N400/630	320 ÷ 500	36 (1P)	36 (2P)	25 (2P)	16 (3P)
T5S400/630	320 ÷ 500	50 (1P)	50 (2P)	36 (2P)	25 (3P)
T5H400/630	320 ÷ 500	70 (1P)	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)
T5L400/630	320 ÷ 500	100 (1P)	100 (2P)	70 (2P)	50 (3P)
T5V400/630	320 ÷ 500	100 (1P)	100 (2P)	100 (2P)	70 (3P)
T6N630/800	630-800	36 (1P)	36 (2P)	20 (2P)	16 (3P)
T6S630/800	630-800	50 (1P)	50 (2P)	35 (2P)	20 (3P)
T6H630/800	630-800	70 (1P)	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)
T6L630/800	630-800	100 (1P)	100 (2P)	65 (2P)	50 (3P)

[1] Tensione minima ammissibile 24 Vc.c.

5 Applicazioni speciali

5.2 Reti a frequenze particolari: 400 Hz e 16 2/3 Hz

Gli interruttori di normale produzione possono essere utilizzati in corrente alternata a frequenze diverse rispetto ai 50/60 Hz (frequenze alle quali sono riferite le prestazioni nominali dell'apparecchio in corrente alternata) purchè si applichino opportuni coefficienti di derating.

5.2.1 Reti a 400 Hz

Alle alte frequenze, le prestazioni sono riclassificate per tener conto di fenomeni come:

- l'aumento dell'effetto pelle e l'aumento della reattanza induttiva direttamente proporzionale alla frequenza che comportano un surriscaldamento dei conduttori o delle parti in rame che in un interruttore sono normalmente attraversate da corrente;
- l'allungamento del ciclo di isteresi e la diminuzione del valore di saturazione magnetica con la conseguente variazione delle forze associate al campo magnetico ad un dato valore di corrente.

In generale questi fenomeni hanno una ripercussione sul comportamento sia degli sganciatori termomagnetici sia delle parti interruttive dell'interruttore.

Le tabelle seguenti sono relative ad interruttori con sganciatore termomagnetico e con un potere d'interruzione non superiore a 36 kA. Tale valore risulta in genere più che sufficiente per la protezione in impianti dove viene usata tale frequenza, caratterizzati normalmente da correnti di corto circuito piuttosto basse.
Come si può osservare dai dati riportati la soglia d'intervento dell'elemento termico (In) diminuisce all'aumentare della frequenza a causa della ridotta conducibilità dei materiali e dell'aumento dei fenomeni termici connessi: il derating di tale prestazione risulta pari in genere al 10%.
Viceversa, la soglia magnetica (I3) aumenta all'aumentare della frequenza.

5 Applicazioni speciali

Tabella 1: Prestazione Tmax T1 16-63 A TMD

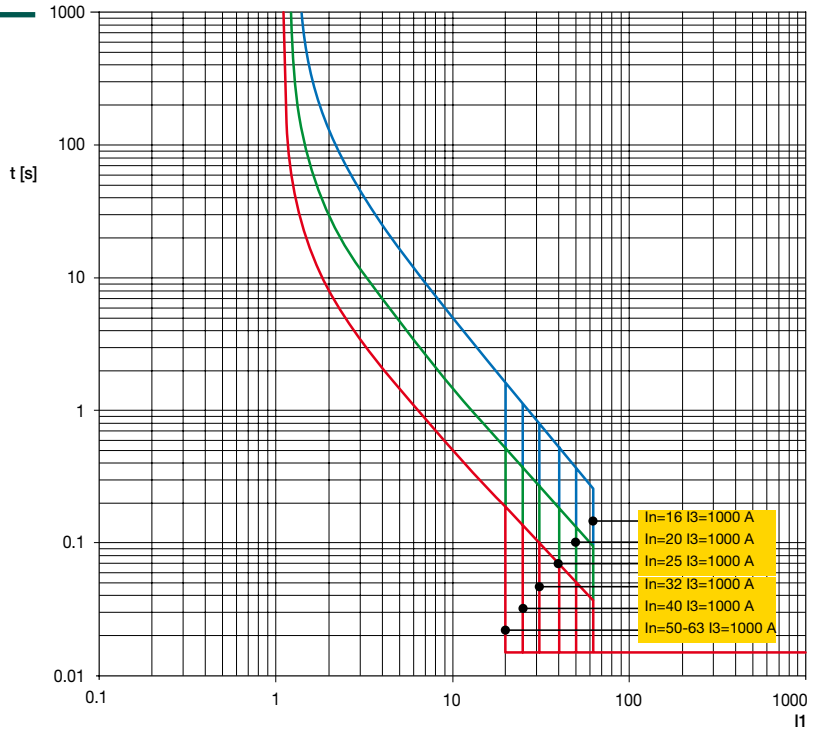
		I1 (400Hz)			I3		
		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
T1B 160							
T1C 160	In16	10	12	14	500	2	1000
T1N 160	In20	12	15	18	500	2	1000
	In25	16	19	22	500	2	1000
	In32	20	24.5	29	500	2	1000
	In40	25	30.5	36	500	2	1000
	In50	31	38	45	500	2	1000
	In63	39	48	57	630	2	1260

Km = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T1 B/C/N 160

In 16 to 63 A
TMD



5 Applicazioni speciali

Tabella 2: Prestazione Tmax T1 80 A TMD

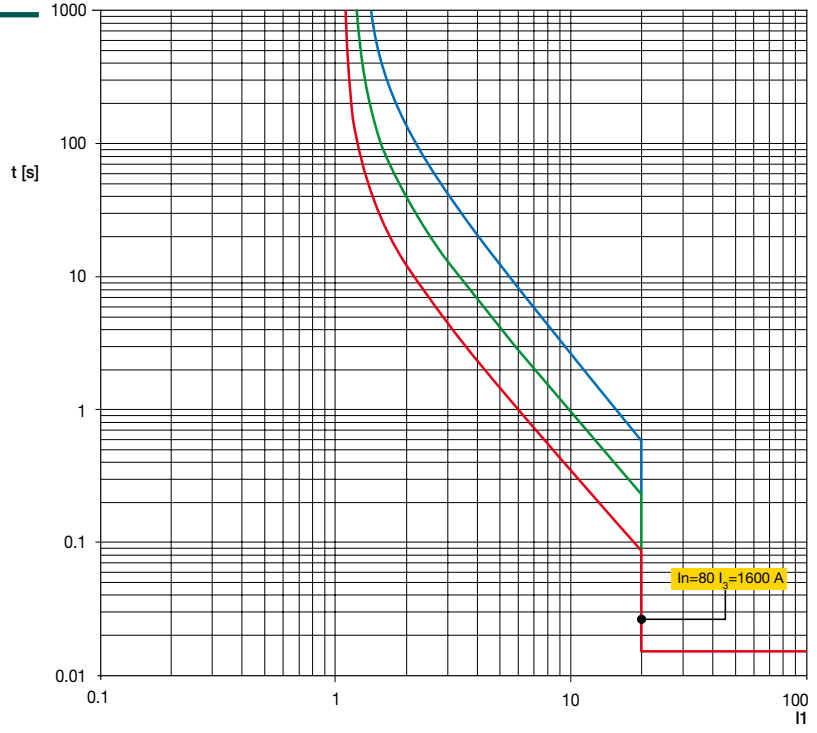
		I1 (400Hz)			I3		
		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
T1B 160							
T1C 160	In80	50	61	72	800	2	1600
T1N 160							

Km = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T1 B/C/N 160

In 80 A
TMD



5 Applicazioni speciali

Tabella 3: Prestazione Tmax T2 1.6-80 A TMD

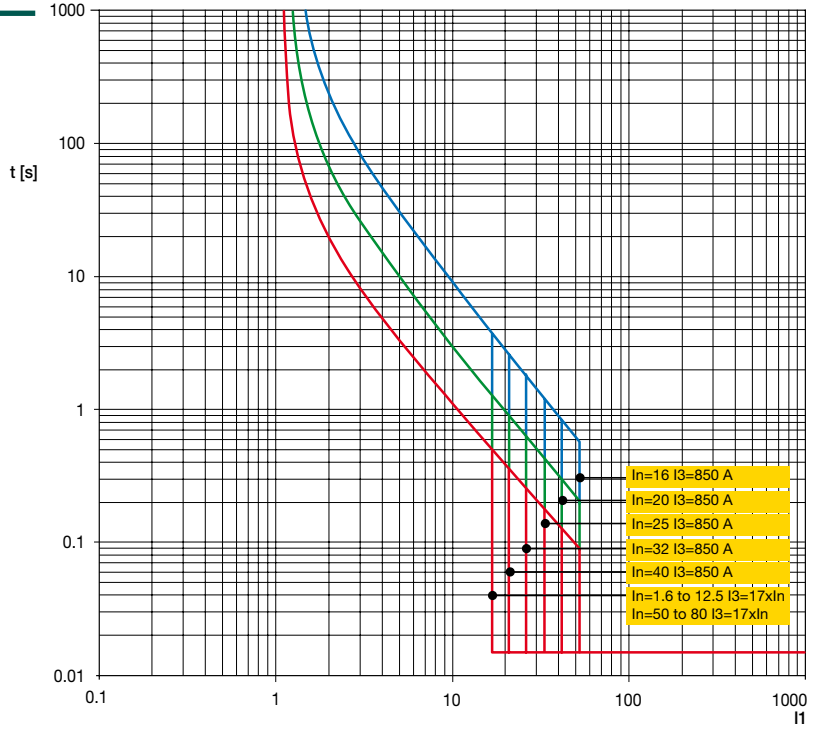
		I1 (400Hz)			I3		
T2N 160		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
	In1.6	1	1.2	1.4	16	1.7	27.2
	In2	1.2	1.5	1.8	20	1.7	34
	In2.5	1.5	1.9	2.2	25	1.7	42.5
	In3.2	2	2.5	2.9	32	1.7	54.4
	In4	2.5	3	3.6	40	1.7	68
	In5	3	3.8	4.5	50	1.7	85
	In6.3	4	4.8	5.7	63	1.7	107.1
	In8	5	6.1	7.2	80	1.7	136
	In10	6.3	7.6	9	100	1.7	170
	In12.5	7.8	9.5	11.2	125	1.7	212.5
	In16	10	12	14	500	1.7	850
	In20	12	15	18	500	1.7	850
	In25	16	19	22	500	1.7	850
	In32	20	24.5	29	500	1.7	850
	In40	25	30.5	36	500	1.7	850
	In50	31	38	45	500	1.7	850
	In63	39	48	57	630	1.7	1071
	In80	50	61	72	800	1.7	1360

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T2N 160

In 1.6 to 80 A
TMD



5 Applicazioni speciali

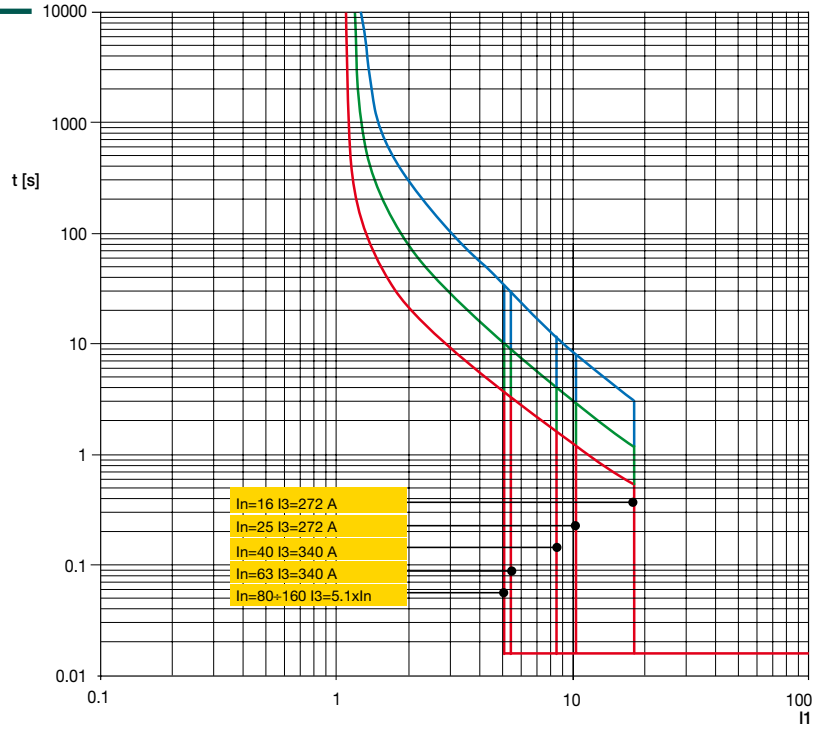
Tabella 4: Prestazione Tmax T2 16-160 A TMG

		I1 (400Hz)			I3		
T2N 160		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
	In16	10	12	14	160	1,7	272
	In25	16	19	22	160	1,7	272
	In40	25	30,5	36	200	1,7	340
	In63	39	48	57	200	1,7	340
	In80	50	61	72	240	1,7	408
	In100	63	76,5	90	300	1,7	510
	In125	79	96	113	375	1,7	637,5
	In160	100	122	144	480	1,7	816

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T2N 160

In 16 to 160 A
TMG



5 Applicazioni speciali

Tabella 5: Prestazione Tmax T3 63-250 A TMG

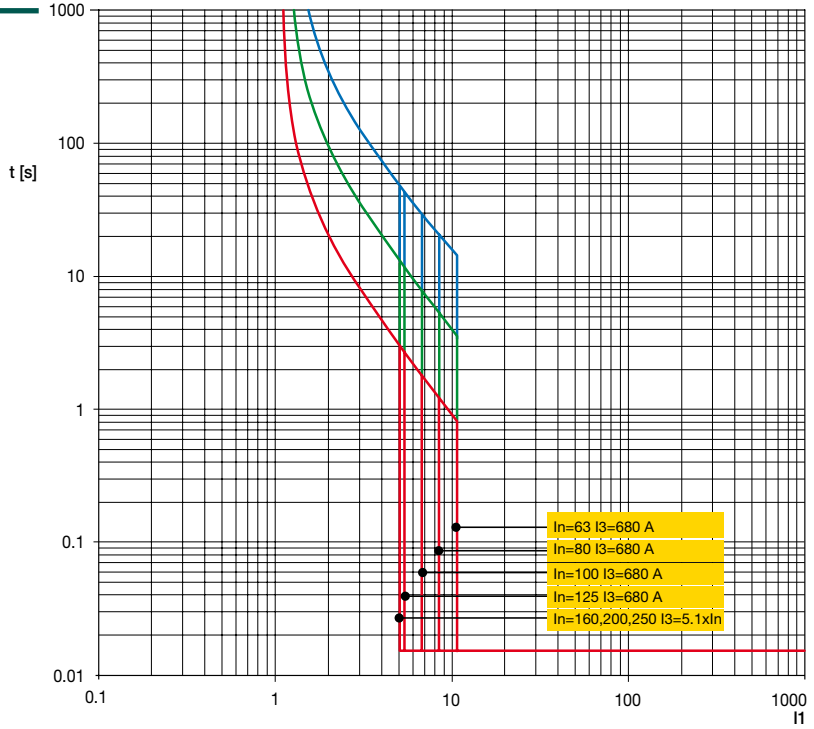
		I1 (400Hz)			I3		
T3N 250		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
	In63	39	48	57	400	1.7	680
	In80	50	61	72	400	1.7	680
	In100	63	76.5	90	400	1.7	680
	In125	79	96	113	400	1.7	680
	In160	100	122	144	480	1.7	816
	In200	126	153	180	600	1.7	1020
	In250	157	191	225	750	1.7	1275

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T3N 250

In 63 to 250 A
TMG



5 Applicazioni speciali

Tabella 6: Prestazione Tmax T3 63-125 A TMD

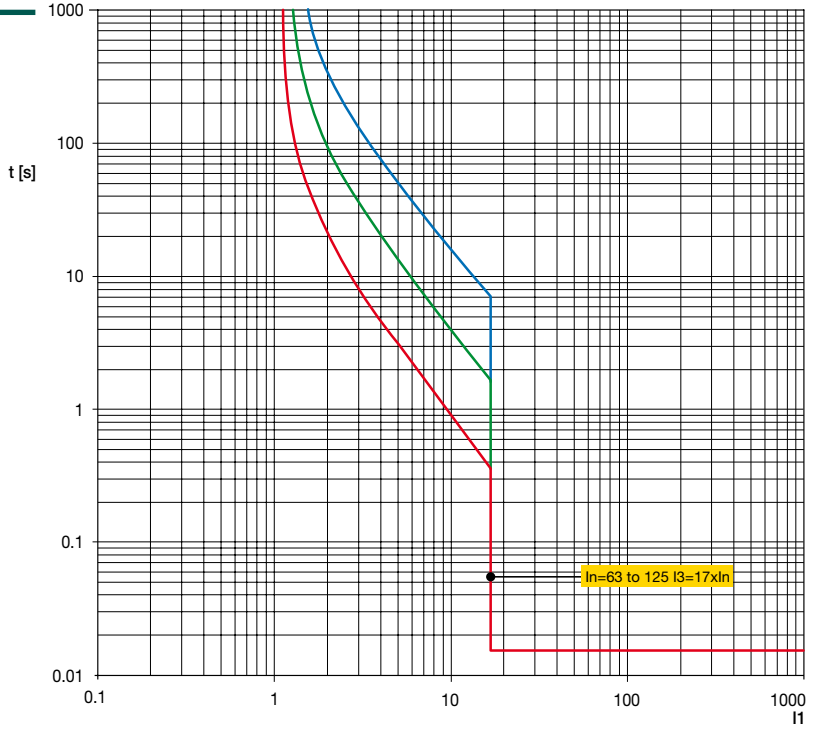
		I1 (400Hz)			I3		
T3N 250		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
	In63	39	48	57	630	1.7	1071
	In80	50	61	72	800	1.7	1360
	In100	63	76.5	90	1000	1.7	1700
	In125	79	96	113	1250	1.7	2125

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T3N 250

In 63 to 125 A
TMD



5 Applicazioni speciali

Tabella 7: Prestazione Tmax T4 20-50 A TMD

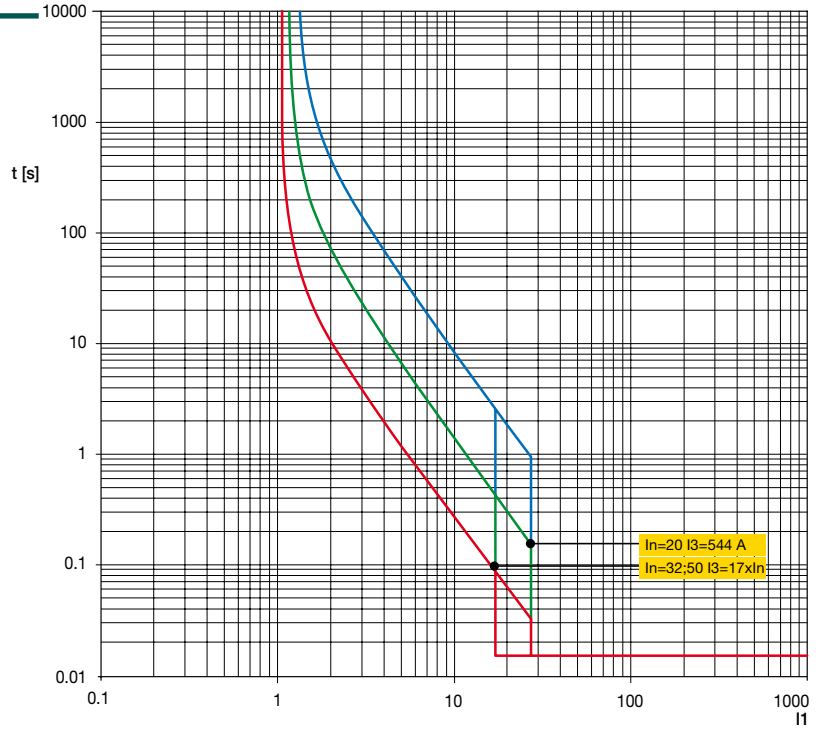
		I1 (400Hz)			I3		
T4N 250		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
	In20	12	15	18	320	1.7	544
	In32	20	24.5	29	320	1.7	544
	In50	31	38	45	500	1.7	850

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T4N 250

In 20 to 50 A
TMD



5 Applicazioni speciali

Tabella 8: Prestazione Tmax T4N 80-250 A TMA

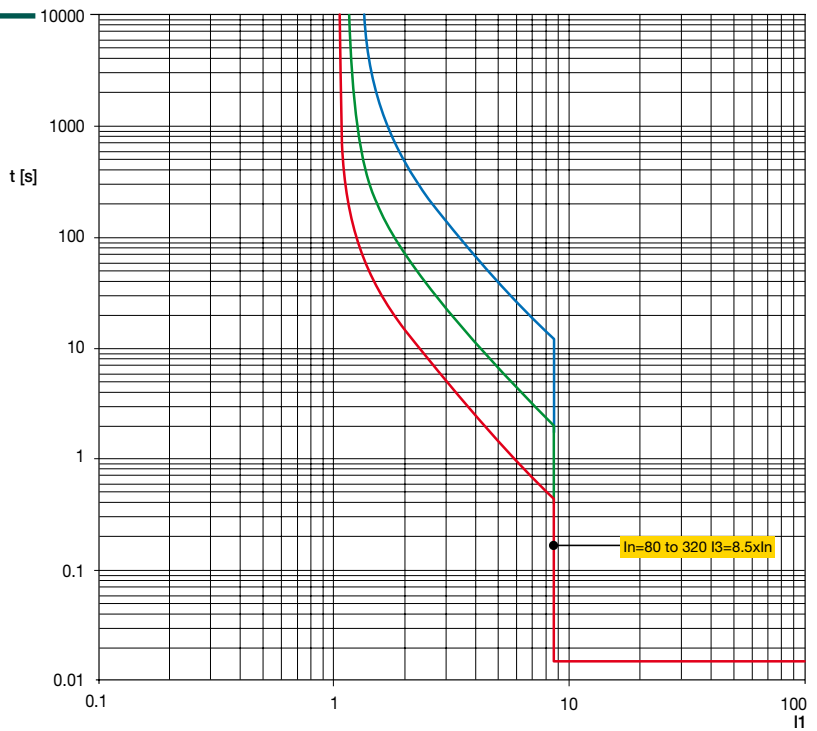
		I1 (400Hz)			I3 (MIN=5xIn)		
T4N 250/320		MIN	MED	MAX	I3 @ 5xIn (50Hz)	K_m	I3 @ 5xIn (400Hz)
	In80	50	61	72	400	1.7	680
	In100	63	76.5	90	500	1.7	850
	In125	79	96	113	625	1.7	1060
	In160	100	122	144	800	1.7	1360
	In200	126	153	180	1000	1.7	1700
	In250	157	191	225	1250	1.7	2125

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T4N 250/320

In 80 to 250 A
TMA



5 Applicazioni speciali

Tabella 9: Prestazione Tmax T4 20-50 A TMD T5N 320-500 A TMA

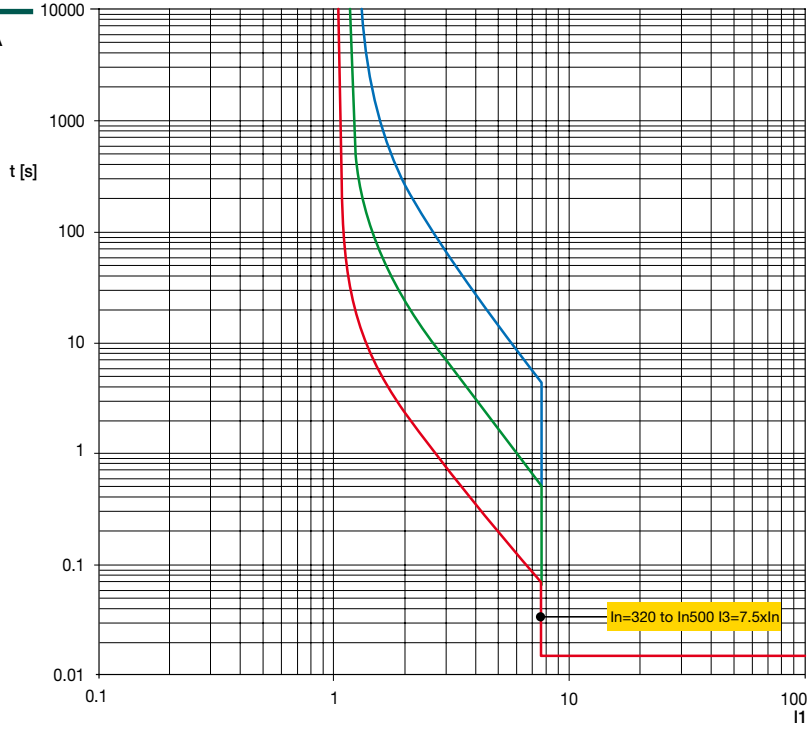
		I1 (400Hz)			I3 (MIN=5xIn)		
T5N400/630		MIN	MED	MAX	I3 @ 5xIn(50Hz)	K_m	I3 @ 5xIn (400)Hz
	In320	201	244	288	1600	1.5	2400
	In400	252	306	360	2000	1.5	3000
	In500	315	382	450	2500	1.5	3750

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T5 N 400/630

In 320 to 500 A
TMA



5 Applicazioni speciali

Tabella 10: Prestazione Tmax T5N 320-500 A TMG

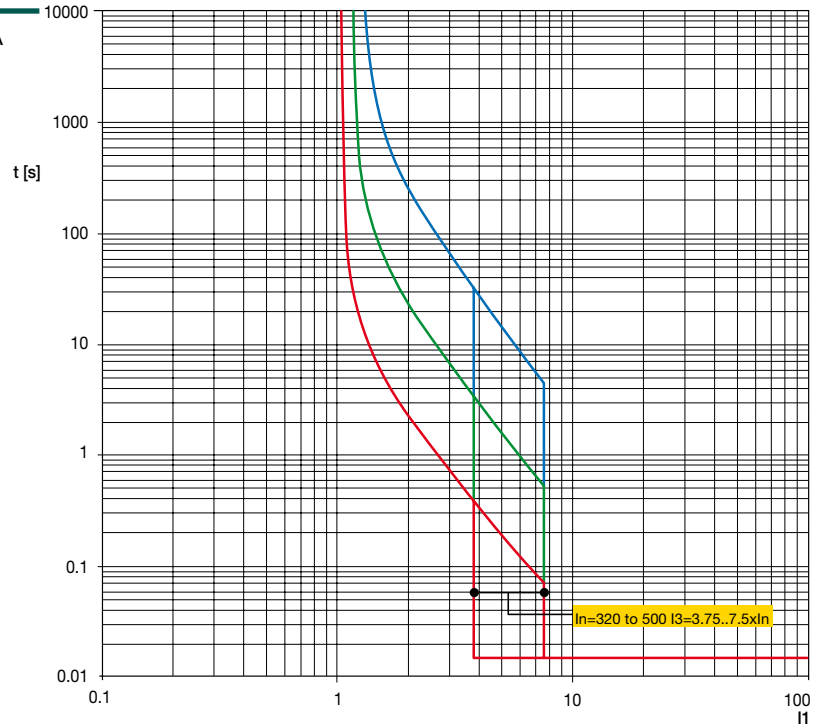
		I1 (400Hz)			I3 (2.5…5xIn)		
T5N400/630		MIN	MED	MAX	I3 @ 2.5..5xIn (50Hz)	K_m	I3 @ 2.5..5xIn (400Hz)
	In320	201	244	288	800…1600	1.5	1200…2400
	In400	252	306	360	1000…2000	1.5	1500…3000
	In500	315	382	450	1250…2500	1.5	1875…3750

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T5N 400/630

In 320 to 500 A
TMG



5 Applicazioni speciali

Tabella 11: Prestazione Tmax T6N 630 A TMA

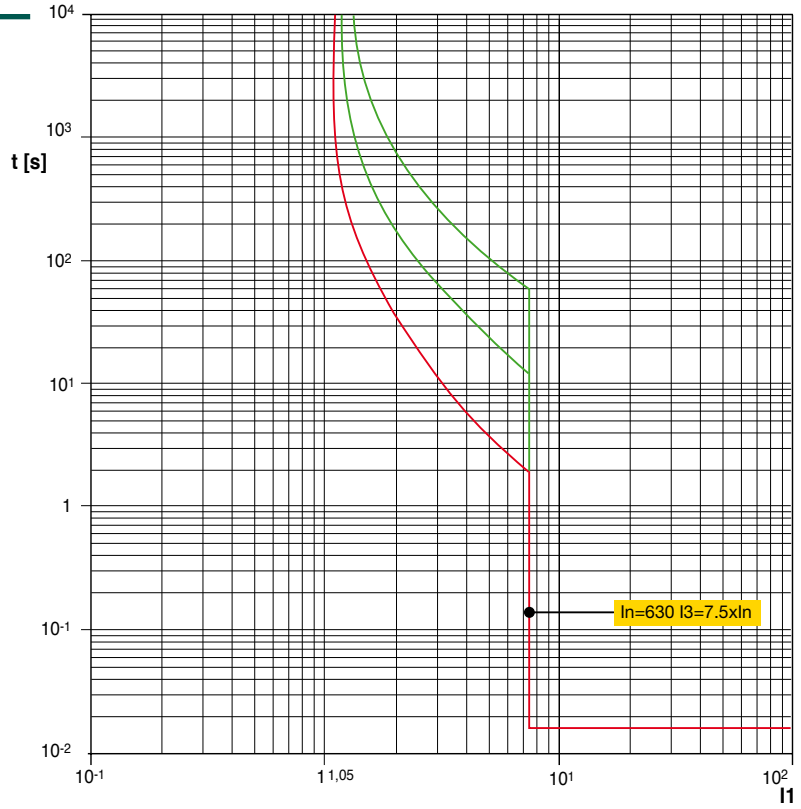
		I1 (400Hz)			I3 = 5÷10In (set I3=5In)		
T6N630	In630	MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
		397	482	567	3150	1.5	4725

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T6N 630

In 630 A
TMA



5 Applicazioni speciali

Tabella 12: Prestazione Tmax T6N 800 A TMA

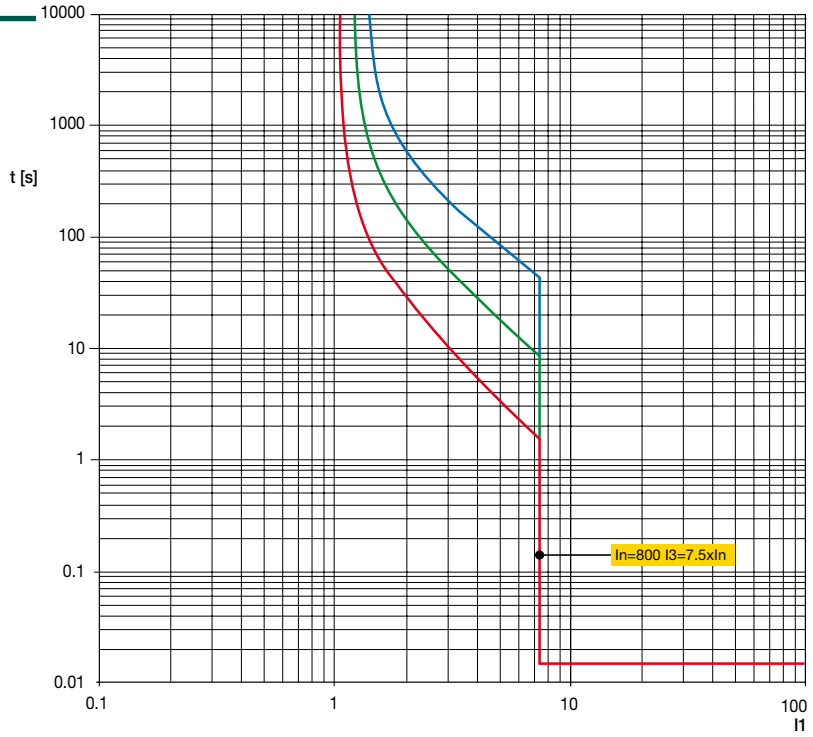
		I1 (400Hz)			I3 = 5-10In (set I3=5In)		
T6N 800	In800	MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
		504	602	720	4000	1.5	6000

K_m = Fattore di moltiplicazione di I3 dovuto ai campi magnetici indotti

Curva d'intervento dello sganciatore termomagnetico

T6N 800

In 800 A
TMA



5 Applicazioni speciali

5.2.2 Reti a 16 2/3 Hz

La distribuzione monofase con frequenza 16 2/3 Hz è stata sviluppata per i sistemi di trazione elettrica in alternativa ai sistemi trifase a 50 Hz ed ai sistemi in corrente continua.
Alle basse frequenze la soglia dell'intervento termico non subisce alcun derating mentre la soglia magnetica necessita di un coefficiente correttivo km riportato nelle tabelle seguenti.
Gli interruttori scatolati della serie Tmax termomagnetici sono idonei al funzionamento a frequenze 16 2/3Hz e di seguito sono riportate le prestazioni elettriche e i relativi schemi di collegamento.

Tabella 1: Potere di interruzione [kA]

Interruttore	Corrente nominale [A]	Potere di interruzione [kA] 250 V	500 V	750 V	1000 V (1)
T1B160	16 ÷160	16 (2P) 20 (3P)	16 (3P)	-	-
T1C160	25 ÷ 160	25 (2P) 30 (3P)	25 (3P)	-	-
T1N160	32 ÷ 160	36 (2P) 40 (3P)	36 (3P)	-	-
T2N160	1.6 ÷ 160	36 (2P) 40 (3P)	36 (3P)	-	-
T2S160	1.6 ÷ 160	50 (2P) 55 (3P)	50 (3P)	-	-
T2H160	1.6 ÷ 160	70 (2P) 85 (3P)	70 (3P)	-	-
T2L160	1.6 ÷ 160	85 (2P) 100 (3P)	85 (3P)	50 (4P) (2)	-
T3N250	63 ÷ 250	36 (2P) 40 (3P)	36 (3P)	-	-
T3S250	63 ÷ 250	50 (2P) 55 (3P)	50 (3P)	-	-
T4N250/320	20 ÷ 250	36 (2P)	25 (2P)	16 (3P)	-
T4S250/320	20 ÷ 250	50 (2P)	36 (2P)	25 (3P)	-
T4H250/320	20 ÷ 250	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)	-
T4L250/320	20 ÷ 250	100 (2P)	70 (2P)	50 (3P)	-
T4V250/320	20 ÷ 250	150 (2P)	100 (2P)	70 (3P)	-
T4V250	32 ÷ 250				40 (4P)
T5N400/630	320 ÷ 500	36 (2P)	25 (2P)	16 (3P)	-
T5S400/630	320 ÷ 500	50 (2P)	36 (2P)	25 (3P)	-
T5H400/630	320 ÷ 500	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)	-
T5L400/630	320 ÷ 500	100 (2P)	70 (2P)	50 (3P)	-
T5V400/630	320 ÷ 500	150 (2P)	100 (2P)	70 (3P)	-
T5V400/630	400 ÷ 500				40 (4P)
T6N630/800	630 ÷ 800	36 (2P)	20 (2P)	16 (3P)	-
T6S630/800	630 ÷ 800	50 (2P)	35 (2P)	20 (3P)	-
T6H630/800	630 ÷ 800	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)	-
T6L630/800	630 ÷ 800	100 (2P)	70 (2P)	50 (3P)	40 (4P)

(1) versione a 1000V in c.c.
(2) Interruttori con neutro al 100%.

5 Applicazioni speciali

Tabella 2: fattore k_m

	Schema A	Schema B-C	Schema D-E-F
T1	1	1	-
T2	0.9	0.9	0.9
T3	0.9	0.9	-
T4	0.9	0.9	0.9
T5	0.9	0.9	0.9
T6	0.9	0.9	0.9

Tabella 3: Collegamenti possibili in funzione della tensione, del tipo di distribuzione e del tipo di guasto

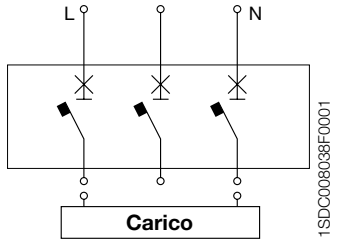
	Neutro non a terra	Neutro a terra* L-N fault	L-E fault
250 V 2 poli in serie	A1	A2	B2
250 V 3 poli in serie**	B1	B2, C	B3
500 V 2 poli in serie	A1	A2, B2	B2, C
500 V 3 poli in serie**	B1	B2, C	C
750 V 3 poli in serie	B1	B2, C	C
750 V 4 poli in serie***	E-F	E1, D	E1
1000 V 4 poli in serie	E-F	E1, C3	E1

* Nel caso fosse possibile il solo guasto fase-neutro o fase-terra con impedenza trascurabile considerare gli schemi indicati. Nel caso in cui fossero possibili entrambi i guasti considerare gli schemi validi per guasto fase-terra.
** solo T1, T2, T3 ,
*** solo T2

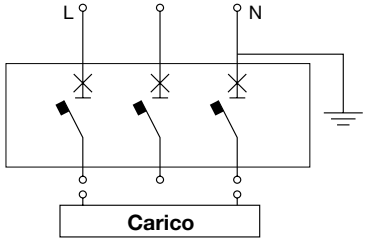
Schemi elettrici

Schema A1
Configurazione con due poli in serie (neutro non collegato a terra)
- Interruzione per guasto fase-neutro: 2 poli in serie
- Interruzione per guasto fase-terra: non considerato

(la modalità di installazione deve essere tale da rendere trascurabile la probabilità di un secondo guasto a terra)



Schema A2
Configurazione con due poli in serie (neutro collegato a terra)
- Interruzione per guasto fase-neutro: 2 poli in serie
- Interruzione per guasto fase-terra: polo singolo (stessa capacità dei due poli in serie, ma limitata a 125V)

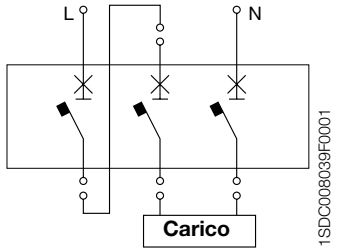


5 Applicazioni speciali

Schema B1

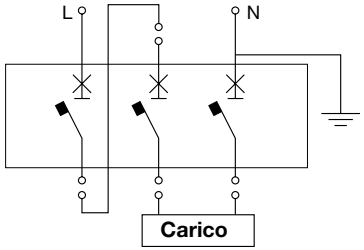
Configurazione con tre poli in serie (neutro non collegato a terra)
- Interruzione per guasto fase-neutro: 3 poli in serie
- Interruzione per guasto fase-terra: non considerato

(la modalità di installazione deve essere tale da rendere trascurabile la probabilità di un secondo guasto a terra)



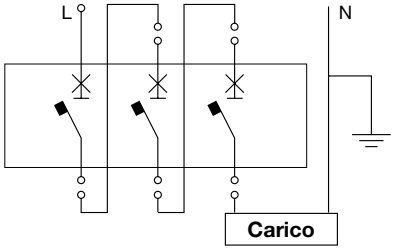
Schema B2

Configurazione con tre poli in serie (neutro collegato a terra e interrotto)
- Interruzione per guasto fase-neutro: 3 poli in serie
- Interruzione per guasto fase-terra: 2 poli in serie



Schema C

Configurazione con tre poli in serie (neutro collegato a terra ma non interrotto)
- Interruzione per guasto fase-neutro: 3 poli in serie
- Interruzione per guasto fase-terra: 3 poli in serie

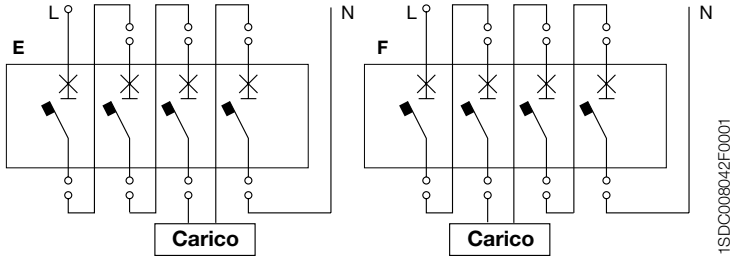


5 Applicazioni speciali

Schema E-F

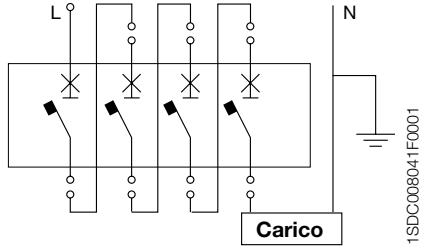
Configurazione con quattro poli in serie (neutro non collegato a terra)
- Interruzione per guasto fase-neutro: 4 poli in serie
- Interruzione per guasto fase-terra: non considerato

(la modalità di installazione deve essere tale da rendere trascurabile la probabilità di un secondo guasto a terra)



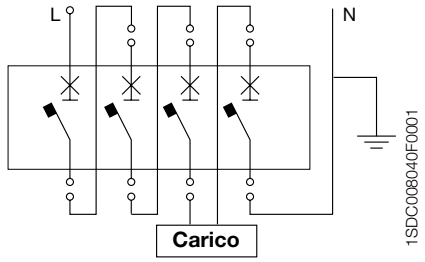
Schema D

Configurazione con quattro poli in serie, su una polarità (neutro collegato a terra e non interrotto)
- Interruzione per guasto fase-neutro: 4 poli in serie
- Interruzione per guasto fase-terra: 4 poli in serie



Schema E1

Interruzione con quattro poli in serie (neutro collegato a terra e interrotto)
- Interruzione per guasto fase-neutro: 4 poli in serie
- Interruzione per guasto fase-terra: 3 poli in serie



5 Applicazioni speciali

Esempio:

Dati della rete:
Tensione nominale 250 V
Frequenza nominale 16 2/3 Hz
Corrente di impiego 120 A
Corrente di corto circuito fase-neutro 45 kA
Neutro collegato a terra

Supponendo che la probabilità di un guasto fase terra sia trascurabile, dalla tabella 3 si può utilizzare una tra le connessioni A2, B2 o B3.
Sarà quindi possibile scegliere un interruttore Tmax T2S160 R125 che collegato secondo lo schema A2 (due poli in serie) ha un potere di interruzione di 50 kA, mentre secondo gli schemi B2 o B3 (tre poli in serie) ha un potere di interruzione di 55 kA. Per determinare l'intervento magnetico occorre considerare il fattore k_m dalla Tabella 2. La soglia magnetica sarà:
I_3= 1250·0.9 = 1125 A
qualunque sia lo schema utilizzato.
Nel caso in cui fosse possibile avere un guasto fase terra con impedenza trascurabile gli schemi da considerare (tabella 3) sono solo B2 o B3. In particolare con lo schema B2 visto che lavorano solo 2 poli in serie, il potere di interruzione sarà di 50 kA (tabella 1) mentre con lo schema B3, visto che lavorano tre poli in serie, il potere di interruzione è di 55 kA.

5.3 Reti a 1000 Vc.c. e a 1000 Vc.a.

Gli interruttori Tmax e Emax /E 1000 V e 1150 V sono particolarmente idonei per l'uso in installazioni in miniere, impianti petrolchimici e in servizi collegati alla trazione elettrica (illuminazione di gallerie).

5.3.1 Reti a 1000 Vc.c.

Interruttori scatolati a 1000 Vc.c.
Caratteristiche generali

La gamma di interruttori scatolati Tmax per applicazioni in impianti con tensione nominale fino a 1000 V in corrente continua è conforme alla norma internazionale IEC 60947-2. Sono equipaggiati con sganciatori termomagnetici regolabili e consentono di soddisfare ogni esigenza installativa con un range di tarature disponibili da 32 A fino a 800 A. Gli interruttori, solo in versione tetrapolare, consentono di raggiungere elevate prestazioni grazie al collegamento in serie dei poli.
Gli interruttori della gamma Tmax 1000 V conservano inalterate le dimensioni ed i punti di fissaggio degli interruttori standard.
Questi interruttori possono essere dotati della gamma di accessori standard, con l'eccezione degli sganciatori a corrente differenziale.
In particolare è possibile utilizzare i kit di trasformazione per le parti mobili rimovibili ed estraibili e vari kit di terminali.

5 Applicazioni speciali

Interruttori scatolati a 1000 Vc.c.		**T4**	**T5**	**T6**
Corrente ininterrotta nominale, **Iu**	[A]	**250**	**400/630**	**630/800**
Poli	Nr.	4	4	4
Tensione nominale d'impiego, **Ue**	[V –]	1000	1000	1000
Tensione nominale di tenuta a impulso, **Uimp**	[kV]	8	8	8
Tensione nominale d'isolamento, **Ui**	[V]	1000	1000	1000
Tensione di prova a frequenza industriale per 1 min.	[V]	3500	3500	3500
Potere di interruzione nominale limite, **Icu**		**V**	**V**	**L**
(4 poli in serie)	[kA]	40	40	40
Potere di interruzione nominale di servizio , **Ics**				
(4 poli in serie)	[kA]	20	20	
Corrente nominale ammissibile di breve durata per 1 s, Icw	[kA]	–	5 (400A)	7.6 (630A) - 10 (800A)
Categoria d'impiego (EN 60947-2)		A	B (400A)-A (630A)	B
Attitudine al sezionamento		■	■	■
IEC 60947-2, EN 60947-2		■	■	■
Sganciatori termomagnetici	TMD	■	–	–
Sganciatori termomagnetici	TMA	■	fino a 500 A	■
Versioni		F	F	F
Attacchi	Fisso	FC Cu	FC Cu	F - FC CuAl - R
Vita meccanica	[Nr. manovre / manovre ora]	20000/240	20000/120	20000/120
Dimensioni base, fisso	L [mm]	140	184	280
	P [mm]	103.5	103.5	103.5
	H [mm]	205	205	268

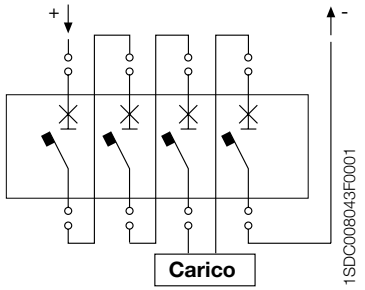
LEGENDA
F = Anteriori
EF = Anteriori prolungati
ES = Anteriori prolungati divaricati
FC Cu =Anteriori per cavi in rame
FC CuAl = Anteriori per cavi in CuAl
R = Posteriori
HR = Posteriori in piatto orizzontali
VR = Posteriori in piatto verticali
MC = Multicavo

Schemi di collegamento

Si riportano i possibili schemi di collegamento riferiti alla tipologia del sistema di distribuzione in cui possono essere utilizzati.

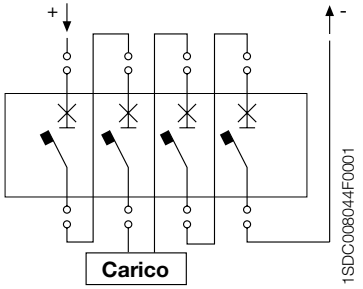
Reti isolate da terra

Possono essere usati i seguenti schemi (la polarità può essere invertita).



A) 3+1 poli in serie (1000 Vc.c.)

5 Applicazioni speciali

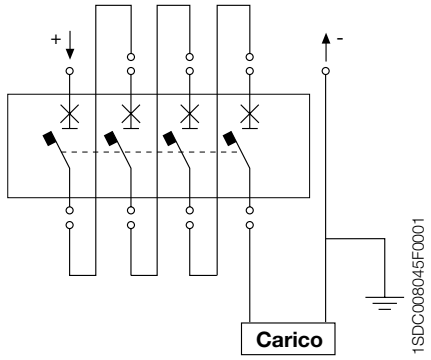


B) 2+2 poli in serie (1000 Vc.c.)

Si suppone nullo il rischio di doppio guasto a terra in cui il primo guasto é a valle dell'interruttore su una polarità ed il secondo a monte dello stesso apparecchio sulla polarità opposta.
In questa condizione la corrente di guasto, che può assumere valori elevati, interesserebbe soltanto alcuni dei 4 poli necessari per assicurare il potere di interruzione.
E' possibile prevenire l'eventualità di un doppio guasto a terra installando per esempio un dispositivo che segnali la perdita dell'isolamento ed individui la posizione del primo guasto a terra, permettendo le sua rapida eliminazione.

Reti con una polarità connessa a terra

Poiché la polarità connessa a terra non necessita di essere interrotta (nell'esempio si suppone che la polarità connessa a terra sia quella negativa, comunque le considerazioni seguenti valgono anche a polarità invertite), può essere utilizzato lo schema che prevede la connessione di 4 poli in serie sulla polarità non connessa a terra.

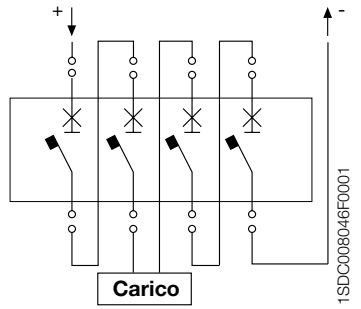


C) 4 poli in serie (1000 Vc.c.)

5 Applicazioni speciali

Reti con punto mediano della sorgente di alimentazione connesso a terra

In presenza di guasto a terra della polarità positiva o negativa i poli interessati dal guasto lavorano a U/2 (500 V); deve essere utilizzato lo schema seguente



D) 2+2 poli in serie (1000 Vc.c.)

Fattore di correzione per le soglie d'intervento

Per quanto riguarda la protezione da sovraccarico non deve essere applicato nessun fattore correttivo.
Invece i valori di soglia magnetica nell'utilizzo in corrente continua a 1000 V con gli schemi applicativi precedentemente proposti, si ricavano dai corrispondenti valori in corrente alternata moltiplicati per i fattori correttivi indicati nella tabella seguente:

Interruttore	k_m
T4V	1
T5V	0.9
T6L	0.9

Interruttori con sganciatore termomagnetico per corrente continua

In [A]	**32** (1)	**50** (1)	**80** (2)	**100** (2)	**125** (2)	**160** (2)	**200** (2)	**250** (2)	**320** (2)	**400** (2)	**500** (2)	**630** (2)	**800** (2)
T4V 250	■	■	■	■	■	■	■	■	–	–	–	–	–
T5V 400	–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	–	–	–
T5V 630	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	–	–
T6L 630	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	–
T6L 800	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■
$I3 = (10xI_n)$ [A]	320	500	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
$I3 = (5 -10xI_n)$ [A]	–	–	400÷800	500÷1000	625÷1250	800÷1600	1000÷2000	1250÷2500	1600÷3200	2000÷4000	2500÷5000	3150÷6300	4000÷8000

(1) Soglia termica regolabile da 0,7 e 1 x In; soglia magnetica fissa
(2) Soglia termica regolabile da 0,7 e 1 x In; soglia magnetica regolabile tra 5 e 10 x In.

5 Applicazioni speciali

Esempio

Si vuole realizzare la protezione di un'utenza alimentata da una rete con le seguenti caratteristiche:
Tensione nominale U_n = 1000 Vc.c.
Corrente di cortocircuito I_k = 18 kA
Corrente di impiego I_b = 420 A
Rete con entrambe le polarità isolate da terra.

Dalla tabella delle tarature disponibili, l'interruttore da usare è:
T5V 630 I_n=500 tetrapolare I_{cu}@1000 Vc.c. = 40 kA
Soglia di intervento termico regolabile da 0,7 a 1 x I_n quindi da 350 A a 500 A da impostare su 0,84.
Soglia di intervento magnetico regolabile da 5 a 10 x In che con fattore di correzione k_m = 0,9 offre il seguente campo di regolazione: da 2250 A a 4500 A. La soglia magnetica sarà regolata in relazione ad eventuali condutture da proteggere.
La connessione dei poli deve avvenire come riportato nello schema A o B.
E' vincolante la presenza di un dispositivo che segnali un eventuale primo guasto a terra.
Con gli stessi dati di impianto se la rete fosse esercita con una polarità connessa a terra l'interruttore dovrà essere connesso come nello schema C.

5 Applicazioni speciali

Interruttori di manovra-sezionatori aperti a 1000 Vc.c.

Gli interruttori di manovra-sezionatori derivati dagli interruttori aperti SACE Emax sono definiti con la sigla della gamma standard insieme alla sigla "/E MS".
Sono conformi alla normativa internazionale IEC60947-3 e sono particolarmente idonei ad essere utilizzati come congiuntori di sbarra o sezionatori principali in impianti in corrente continua come ad esempio nelle applicazioni riguardanti la trazione elettrica.
Conservano inalterate le dimensioni di ingombro ed i punti di fissaggio degli interruttori standard e possono essere equipaggiati con i vari kit di terminali e tutti gli accessori comuni alla gamma SACE Emax; sono disponibili in esecuzione fissa ed estraibile ed in versione tripolare (fino a 750 Vc.c.) e tetrapolare (fino a 1000 Vc.c).
Gli interruttori estraibili vanno associati alle parti fisse in versione speciale per applicazioni a 750/1000 Vc.c.
La gamma consente di ricoprire ogni esigenza installativa fino a 1000 Vc.c. / 6300 A.
Ad essi é attribuibile un potere di interruzione pari alla loro corrente di breve durata nominale quando associati ad opportuno relé esterno.

Nella seguente tabella sono riportate le versioni disponibili con le relative prestazioni elettriche:

			E1B/E MS		E2N/E MS		E3H/E MS		E4H/E MS		E6H/E MS	
Corrente ininterrotta nominale (a 40°C) Iu		[A]	**800**		**1250**		**1250**		**3200**		**5000**	
		[A]	**1250**		**1600**		**1600**		**4000**		**6300**	
		[A]			**2000**		**2000**					
		[A]					**2500**					
		[A]					**3200**					
Numero di poli			3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
Tensione nominale d'impiego c.c. **Ue**		[V]	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000
Tensione nominale di isolamento c.c. **Ui**		[V]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Tensione nominale di tenuta ad impulso **Uimp**		[kV]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Corrente di breve durata ammissibile nominale **Icw** (1s)		[kA]	20	20 (1)	25	25(1)	40	40 (1)	65	65	65	65
Potere di chiusura nominale **Icm**	750V c.c.	[kA]	20	20	25	25	40	40	65	65	65	65
	1000V c.c.		–	20	–	25	–	40	–	65	–	65

Nota: il potere di interruzione Icu alla tensione nominale di impiego massima, utilizzando relè di protezione esterno con temporizzazione massima 500 ms, è pari al valore di Icw (1s).
(1) Le prestazioni a 750 V sono:
per E1B/E MS Icw = 25 kA,
per E2N/E MS Icw = 40 kA e
per E3H/E MS Icw = 50 kA.

5 Applicazioni speciali

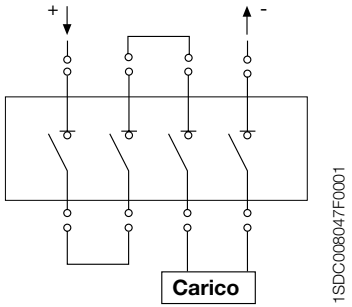
Schemi elettrici

Si riportano di seguito gli schemi di collegamento da utilizzare in funzione del tipo di sistema di distribuzione

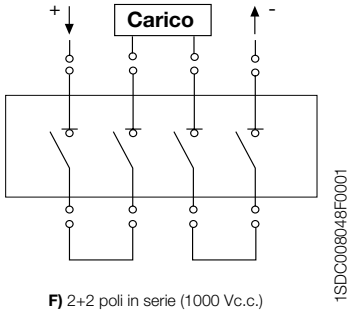
Si considera nullo il rischio di doppio guasto a terra su polarità diverse, in cui la corrente di guasto interessa solo una parte dei poli di interruzione.

Reti isolate da terra

Possono essere utilizzati i seguenti schemi (le polarità possono essere invertite).

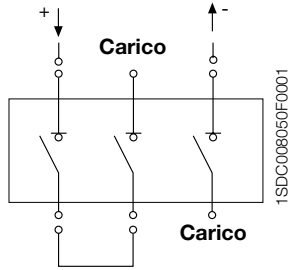


E) 3+1 poli in serie (1000 Vc.c.)



F) 2+2 poli in serie (1000 Vc.c.)

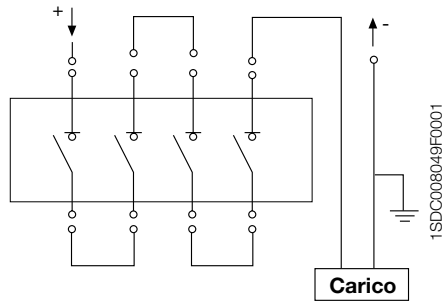
5 Applicazioni speciali



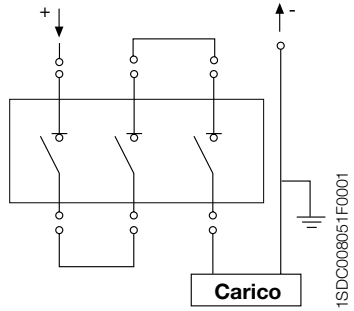
G) 2+1 poli in serie (750 Vc.c.)

Reti con una polarità connessa a terra

La polarità connessa a terra non necessita di essere interrotta (negli esempi si suppone che la polarità connessa a terra sia quella negativa)



H) 4 poli in serie (1000 Vc.c.)



I) 3 poli in serie (750 Vc.c.)

Reti con punto mediano della sorgente di alimentazione connessa a terra

Possono essere utilizzati solo interruttori tetrapolari come nella configurazione dello schema F)

5 Applicazioni speciali

5.3.2 Reti a 1000 Vc.a.

Interruttori scatolati fino a 1150 Vc.a.

Caratteristiche generali

Gli interruttori della gamma Tmax fino a 1150 V sono conformi alla norma internazionale IEC 60947-2. Questi interruttori possono essere equipaggiati con sganciatori termomagnetici (per le taglie più piccole) e con sganciatori elettronici. Consentono di soddisfare tutte le esigenze installative con una gamma di correnti nominali da 32 A a 800 A e con potere di interruzione fino a 20 kA a 1150 Vc.a. Gli interruttori della gamma fino a 1150 V mantengono le stesse dimensioni degli interruttori standard.

Interruttori scatolati fino a 1150 Vc.a.

Corrente ininterrotta nominale, **Iu**			[A]
Poli			Nr.
Tensione nominale d'impiego, **Ue** 50-60Hz			[V]
Tensione nominale di tenuta a impulso, **Uimp**			[kV]
Tensione nominale d'isolamento, **Ui**			[V]
Tensione di prova a frequenza industriale per 1 min.			[V]
Potere di interruzione nominale limite, **Icu**			
		50-60 Hz 1000 V	[kA]
		50-60 Hz 1150 V	[kA]
Potere di interruzione nominale d'impiego in corto circuito, **Ics**			
		50-60 Hz 1000 V	[kA]
		50-60 Hz 1150 V	[kA]
Potere di stabilimento nominale in corto circuito **Icm**			
		50-60 Hz 1000 V	[kA]
		50-60 Hz 1150 V	[kA]
Categoria d'impiego (EN 60947-2)			
Attitudine all'isolamento			
Norma di riferimento			
Sganciatori termomagnetici			TMD
			TMA
Sganciatori elettronici			PR221DS/LS
			PR221DS/I
			PR222DS/P-LSI
			PR222DS/P-LSIG
			PR222DS/PD-LSI
			PR222DS/PD-LSIG
			PR222MP
Attacchi			
Versione			
Vita meccanica			[Nr. manovre]
			[Nr. manovre all'ora]
Dimensioni base-versione fissa (5)			3 poli L [mm]
			4 poli L [mm]
			P [mm]
			H [mm]
Peso	fisso	3/4 poli	[kg]
	rimovibile	3/4 poli	[kg]
	estraibile	3/4 poli	[kg]

(1) L'interruttore può essere alimentato solo dall'alto
(2) Icw=5kA
(3) Icw=7.6kA (630A) - 10kA (800A)
(4) Tmax T5630 è disponibile solo nella versione fissa
(5) Interruttore senza copriterminali superiori

5 Applicazioni speciali

Questi interruttori possono essere dotati di tutti gli accessori della relativa gamma standard, con l'eccezione degli sganciatori differenziali.

T4		T5		T6
250		**400/630**		**630/800**
3, 4		3, 4		3, 4
1000	1150	1000	1150	1000
8		8		8
1000	1150	1000	1150	1000
3500		3500		3500
L	**V**	**L**	**V (1)**	**L (1)**
12	20	12	20	12
	12		12	
12	12	10	10	6
	6		6	
24	40	24	40	24
	24		24	
A		B (400 A) (2)/A (630 A)		B (3)
■		■		■
IEC 60947-2		IEC 60947-2		IEC 60947-2
-	■	-	-	-
-	■	-	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	-	■	-	-
FC Cu		FC Cu		F-FC CuAl-R
F, P, W	F	F, P, W (4)	F	F
20000		20000		20000
240		120		120
105		140		210
140		184		280
103.5		103.5		103.5
205		205		268
2.35/3.05	2.35/3.05	3.25/4.15	3.25/4.15	9.5/12
3.6/4.65		5.15/6.65		
3.85/4.9		5.4/6.9		

LEGENDA
F=Anteriori
FC Cu= Anteriori per cavi in rame
FC CuAl=Anteriori per cavi CuAl
R= Posteriori orientati

5 Applicazioni speciali

Le seguenti tabelle mostrano gli sganciatori disponibili.

Interruttori con sganciatore elettronico per correnti alternate

	In100	In250	In320	In400	In630	In800
T4 250	■	■	–	–	–	–
T5 400	–	–	■	■	–	–
T5 630	–	–	–	–	■	–
T6L 630	–	–	–	–	■	–
T6L 800	–	–	–	–	–	■
I_3 (1÷10x In) [A] (1)	100÷1000	250÷2500	320÷3200	400÷4000	630÷6300	800÷8000
I_3 (1.5÷12 x In) [A] (2)	150÷1200	375÷3000	480÷3840	600÷4800	945÷7560	1200÷9600

(1) PR221
(2) PR222

Interruttori con sganciatore termomagnetico per correnti alternate

In [A]	32 (1)	50 (1)	80 (2)	100 (2)	125 (2)	160 (2)	200 (2)	250 (2)	320 (2)	400 (2)	500 (2)	630 (2)	800 (2)
T4V 250	■	■	■	■	■	■	■	■	–	–	–	–	–
T5V 400	–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	–	–	–
T5V 630	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	–	–
T6L 630	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	–
T6L 800	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■
$I_3 = (10xI_n)$ [A]	320	500	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
$I_3 = (5 - 10xI_n)$ [A]	–	–	400÷800	500÷1000	625÷1250	800÷1600	1000÷2000	1250÷2500	1600÷3200	2000÷4000	2500÷5000	31500÷6300	4000÷8000

(1) Soglia termica regolabile da 0.7 a 1 x In; soglia magnetica fissa
(2) Soglia termica regolabile da 0.7 a 1 x In; soglia magnetica regolabile tra 5 e 10 x In

Interruttori aperti e interruttori di manovra-sezionatori fino a 1150 Vc.a.

Per le applicazioni a 1150 V corrente alternata, sono disponibili i seguenti dispositivi:

- Interruttori automatici conformi allo standard IEC 60947-2.
  La versione speciale di interruttori fino a 1150 Vc.a. sono definiti dalla sigla della gamma standard unita alla sigla "/E", sono derivati dai corrispondenti interruttori Emax standard e mantengono le stesse versioni, accessori e dimensioni di ingombro.
  La gamma è disponibile sia in esecuzione estraibile sia in quella fissa con tre e quattro poli, possono essere equipaggiati con i vari kit di terminali e tutti gli accessori comuni alla gamma SACE Emax e equipaggiati con la gamma completa di sganciatori elettronici e microprocessori (PR332/P-PR333/P-PR121-PR122-PR123).
- Interruttori di manovra-sezionatori conformi allo standard IEC 60947-3.
  Questi interruttori sono definiti dalla sigla della gamma standard, dalla quale derivano, unita alla sigla "/E MS". Sono disponibili in versione tripolare e tetrapolare, sia in esecuzione estraibile che fissa e mantengono le stesse dimensioni, accessori, caratteristiche degli interruttori di manovra-sezionatori standard.

5 Applicazioni speciali

Nelle tabelle seguenti sono riportate le caratteristiche elettriche dei dispositivi.

Interruttori aperti (fino a 1150 Vc.a.)

		XIB/E	E2B/E		E2N/E			E3H/E					E4H/E		E6H/E		
Corrente ininterrotta nominale (at 40 °C) Iu	[A]	630/800 1000/1250 1600	1600	2000	1250	1600	2000	1250	1600	2000	2500	3200	3200	4000	4000	5000	6300
Tensione nominale d'impiego **Ue**	[V~]	1000	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150
Tensione nominale d'isolamento **Ui**	[V~]	1000	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Potere di interruzione nominale limite in corto circuito **Icu**																	
1000 V	[kA]	20	20	20	30	30	30	50	50	50	50	50	65	65	65	65	65
1150 V	[kA]		20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	65	65	65	65	65
Potere di interruzione nominale di servizio in corto circuito **Ics**																	
1000 V	[kA]	20	20	20	30	30	30	50	50	50	50	50	65	65	65	65	65
1150 V	[kA]		20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	65	65	65	65	65
Corrente nominale ammissibile di breve durata **Icw** (1s)	[kA]	20	20	20	30	30	30	50(*)	50(*)	50(*)	50(*)	50(*)	65	65	65	65	65
Potere di chiusura nominale in corto circuito (valore di picco) **Icm**																	
1000 V	[kA]	40	40	40	63	63	63	105	105	105	105	105	143	143	143	143	143
1150 V	[kA]		40	40	63	63	63	63	63	63	63	63	143	143	143	143	143

(*) 30 kA @ 1150 V

Interruttori di manovra-sezionatori aperti (fino a 1150 Vc.a.)

		XIB/E MS	E2B/E MS	E2N/E MS	E3H/E MS	E4H/E MS	E6H/E MS
Corrente nominale (at 40 °C) Iu	[A]	**1000**	**1600**	**1250**	**1250**	**3200**	**4000**
	[A]	**1250**	**2000**	**1600**	**1600**	**4000**	**5000**
	[A]	**1600**		**2000**	**2000**		**6300**
	[A]				**2500**		
	[A]				**3200**		
Poli		3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
Tensione nominale d'impiego **Ue**	[V]	1000	1150	1150	1150	1150	1150
Tensione nominale d'isolamento **Ui**	[V]	1000	1250	1250	1250	1250	1250
Tensione nominale di tenuta a impulso **Uimp**	[kV]	12	12	12	12	12	12
Corrente nominale ammissibile di breve durata **Icw** (1s)	[kA]	20	20	30	30(1)	63	65
Potere di chiusura nominale Icm (valore di picco) **Icm**	[kA]	40	40	63	63(2)	143	143

Nota: Il potere di interruzione Icu mediante relè di protezione esterno, con temporizzazione massima di 500 ms, è uguale al valore di Icw (1s).
(1) La prestazione a 1000V è 50 kA
(2) La prestazione a 1000V è 105 kA

5.4 Dispositivi di commutazione automatica rete-gruppo (ATS)

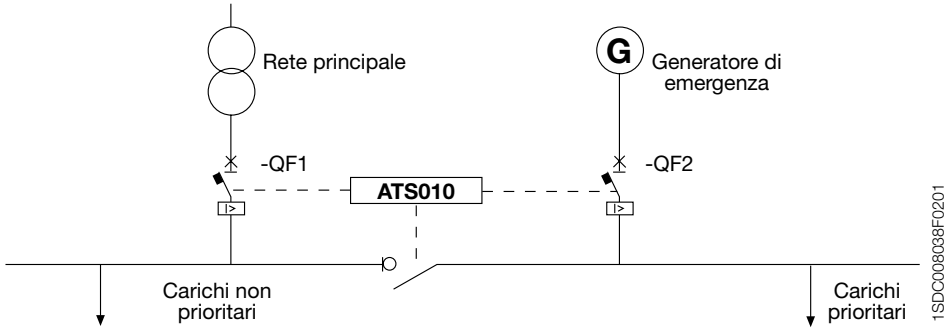
Negli impianti elettrici in cui è richiesta elevata affidabilità della sorgente di alimentazione perché il ciclo di operazioni non può essere interrotto e non è accettabile il rischio di una mancata alimentazione, è indispensabile disporre di una linea di alimentazione di emergenza che eviti la perdita di ingenti quantità di dati, danni ai processi di lavorazione, fermo impianti, etc.
Per tali motivi, trovano sempre maggior applicazione i dispositivi di commutazione, soprattutto per:
- alimentazione di hotel e aeroporti;
- sale operatorie e servizi primari di ospedali;
- alimentazione di gruppi UPS;
- banche dati, sistemi di telecomunicazione, sale PC;
- alimentazione di linee industriali per processi continui.

L'ATS010 è la soluzione offerta da ABB SACE: è un sistema di commutazione automatica con tecnologia a microprocessore che permette la commutazione dell'alimentazione dalla linea normale (Rete principale) alla linea d'emergenza (Generatore di emergenza) al verificarsi di una delle seguenti anomalie nella rete principale:
- sovratensioni ed abbassamenti di tensione;
- mancanza di una delle fasi;
- dissimetrie nel ciclo delle fasi;
- valori di frequenza al di fuori del range impostato.

Successivamente, al ripristino dei normali parametri di rete, il sistema commuta nuovamente l'alimentazione sulla rete principale.

Il tipico sistema in cui è inserito il dispositivo ATS010 è costituito da due linee collegate allo stesso sistema sbarre e funzionanti in isola, la prima linea utilizzata normalmente per l'alimentazione del sistema, la seconda di emergenza derivata da un gruppo elettrogeno. Può inoltre essere presente un dispositivo che distacchi i carichi non prioritari quando la rete è alimentata dalla linea di emergenza

Lo schema di un impianto avente un'alimentazione ausiliaria di sicurezza è il seguente:



5 Applicazioni speciali

Il dispositivo ATS010 si interfaccia tramite gli appositi morsetti:
- con gli interruttori di protezione della rete normale e del generatore di emergenza, motorizzati e interbloccati meccanicamente, per acquisirne il loro stato ed inviare i comandi di apertura e chiusura, secondo i ritardi impostati;
- con la scheda di controllo del gruppo elettrogeno per acquisire lo stato del gruppo ed inviare i comandi di avviamento ed arresto;
- con eventuali altre segnalazioni provenienti dall'impianto al fine di bloccare la logica di commutazione;
- con la rete d'alimentazione normale per rilevare eventuali anomalie, ed a quella di emergenza per verificare la presenza di tensione;
- con un eventuale dispositivo che permetta il distacco dei carichi non prioritari;
- con un'alimentazione ausiliaria in corrente continua a 24 Vc.c. ± 20% (oppure 48 Vc.c. ± 10%). Questa sorgente deve essere presente anche in caso di mancanza di tensione su entrambe le linee.

6 Quadri elettrici

6.1 Quadri elettrici

Il quadro è una combinazione di uno o più dispositivi di protezione e manovra e altri dispositivi di bassa tensione montati in uno o più contenitori in modo da soddisfare le richieste riguardanti la sicurezza e da permettere le funzioni per le quali è stato progettato.
Un quadro consiste in una cella, chiamata contenitore dalle relative Norme (che ha la funzione di sostegno e di protezione meccanica dei componenti ivi contenuti), e l'apparecchiatura elettrica, che consiste in dispositivi, collegamenti interni e terminali d'entrata e di uscita per il collegamento con il sistema.

La Norma di riferimento è la IEC 60439-1 pubblicata nel 1999, intitolata "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) - Parte 1: Apparecchiature soggette a prove di tipo (AS) e apparecchiature parzialmente soggette a prove di tipo (ANS)", approvati dal CENELEC col nome EN 60439-1.

Alcune guide supplementari di calcolo sono:

IEC 60890 "Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per le apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS) ".

IEC 61117 "Metodo per la determinazione della tenuta al corto circuito, delle apparecchiature assiemate non di serie (ANS)

IEC 60865-1 "Correnti di corto circuito – Calcolo degli effetti – Parte 1: Definizioni e metodi di calcolo".

La norma IEC 60439-1 stabilisce i requisiti relativi alla costruzione, alla sicurezza e alla possibilità di manutenzione dei quadri elettrici, ne identifica le caratteristiche nominali, le condizioni ambientali d'impiego, le richieste meccaniche ed elettriche e ne regolamenta le prestazioni.
Sono definite le prove di tipo e le prove individuali, nonché il metodo per la loro esecuzione ed i criteri necessari per la valutazione dei risultati.

La norma IEC 60439-1 distingue tra due tipi di quadri: AS (apparecchiature assiemate soggette a prove di tipo) e ANS (apparecchiature assiemate parzialmente soggette a prove di tipo).
Con "apparecchiature assiemate (quadri) soggette a prove di tipo" (AS), si intendono le apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) conformi ad un tipo o ad un sistema costruttivo prestabilito senza scostamenti tali da modificarne in modo determinante le prestazioni rispetto all'apparecchiatura tipo provata secondo quanto prescritto nella Norma IEC 60439-1.
I quadri AS sono apparecchiature derivate direttamente da un prototipo progettato in tutti i dettagli e soggetto alle prove di tipo; poiché le prove di tipo sono molto complesse, si tratta di quadri progettati da un produttore con solide basi tecniche e finanziarie. Ciò nonostante, le apparecchiature assiemate AS possono essere montate da un costruttore di quadri o un installatore che segue le istruzioni del produttore; sono permesse delle deviazioni dal prototipo solo se queste non modificano in modo significativo le prestazioni rispetto all'apparecchiatura sottoposta a prove di tipo.

6 Quadri elettrici

Con "apparecchiature assiemate parzialmente soggette a prove di tipo" (ANS), si intendono le apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) provati solo con una parte delle prove di tipo; alcune prove possono essere sostituite da estrapolazioni e calcoli basati sui risultati sperimentali ottenuti da apparecchiature assiemate che hanno superato le prove di tipo. Le verifiche tramite misurazioni o calcoli semplificati, ammessi come un'alternativa alle prove di tipo, riguardano il riscaldamento, la tenuta al corto circuito e l'isolamento.
La norma IEC 60439-1 ammette che alcune fasi del montaggio possono aver luogo fuori dello stabilimento del costruttore, a patto che il montaggio sia eseguito secondo le sue istruzioni.
L'installatore può quindi utilizzare prodotti commercializzati in kit da assemblare, per realizzare la configurazione di quadro più idonea.
La Norma stessa specifica una suddivisione delle responsabilità tra produttore e assemblatore attraverso la Tabella 7: "Elenco delle verifiche e delle prove da eseguire sulle apparecchiature AS e ANS", nella quale sono definite le prove di tipo e le prove individuali da effettuare sulle apparecchiature assiemate.
Le prove di tipo verificano la conformità del prototipo alle richieste della Norma, e sono generalmente sotto la responsabilità del produttore, che deve anche fornire le istruzioni per la realizzazione e l'assemblaggio del quadro. Il montatore ha la responsabilità della scelta e dell'assemblaggio dei componenti secondo le istruzioni fornite e deve garantire la conformità con le Norme tramite le suddette verifiche nel caso si discosti dal prototipo provato. Devono anche essere effettuate delle prove individuali su ogni esemplare prodotto.

La distinzione tra quadri AS e ANS non ha alcuna rilevanza sulla dichiarazione di conformità alla Norma IEC 60439-1, in quanto il quadro deve essere conforme ad essa.

6 Quadri elettrici

Elenco delle verifiche e delle prove da effettuare sui quadri AS e ANS.

N.	Caratteristiche da controllare	Sotto-clausole	AS	ANS
1	Limiti di sovratemperatura	8.2.1	Verifica dei limiti di sovratemperatura tramite prove (prova di tipo)	Verifica dei limiti di sovratemperatura tramite prove o estrapolazione
2	Proprietà dielettriche	8.2.2	Verifica delle proprietà dielettriche tramite prove (prova di tipo)	Verifica delle proprietà dielettriche tramite prove secondo 8.2.2 o 8.3.2, o verifica della resistenza di isolamento secondo 8.3.4 (vedere N. 9 e 11)
3	Tenuta al corto circuito	8.2.3	Verifica della tenuta al corto circuito tramite prove (prova di tipo)	Verifica della tenuta al corto circuito tramite prove o per estrapolazione da sistemazioni di apparecchiature AS similari che abbiano superato la prova di tipo
4	Efficienza del circuito di protezione	8.2.4		
	Connessione effettiva tra le masse dell'APPARECCHIATURA ASSIEMATA e il circuito di protezione	8.2.4.1	Verifica dell'effettiva connessione tra le masse dell'APPARECCHIATURA ASSIEMATA e il circuito di protezione, tramite ispezione o misura della resistenza (prova di tipo)	Verifica dell'effettiva connessione tra le masse dell'APPARECCHIATURA ASSIEMATA e il circuito di protezione, tramite ispezione o misura della resistenza
	Tenuta al corto circuito del circuito di protezione	8.2.4.2	Verifica della tenuta al corto circuito del circuito di protezione tramite prova (prova di tipo)	Verifica della tenuta al corto circuito del circuito di protezione tramite prova o adeguato progetto e sistemazione del conduttore di protezione (vedere 7.4.3.1.1, ultimo capoverso)
5	Distanze di isolamento in aria e superficiali	8.2.5	Verifica delle distanze in aria e superficiali (prova di tipo)	Verifica delle distanze in aria e superficiali
6	Funzionamento meccanico	8.2.6	Verifica del funzionamento meccanico (prova di tipo)	Verifica del funzionamento meccanico
7	Grado di protezione	8.2.7	Verifica del grado di protezione (prova di tipo)	Verifica del grado di protezione
8	Cablaggio, funzionamento elettrico	8.3.1	Ispezione dell'APPARECCHIATURA ASSIEMATA includente l'ispezione del cablaggio e, se necessario, la prova del funzionamento elettrico (prova individuale)	Ispezione dell'APPARECCHIATURA ASSIEMATA includente l'ispezione del cablaggio e, se necessario, la prova del funzionamento elettrico
9	Isolamento	8.3.2	Prova dielettrica (prova individuale)	Prova dielettrica oppure verifica della resistenza di isolamento secondo 8.3.4 (vedere N. 9 e 11)
10	Misure di protezione	8.3.3	Controllo delle misure di protezione e della continuità elettrica del circuito di protezione (prova individuale)	Controllo delle misure di protezione
11	Resistenza di isolamento	8.3.4		Verifica della resistenza di isolamento se non sono state eseguite le prove secondo 8.2.2 oppure 8.3.2 (vedere N. 2 e 9)

6 Quadri elettrici

Gradi di protezione

Il grado di protezione IP indica il livello di protezione del quadro contro l'accesso a parti pericolose, contro la penetrazione di corpi solidi estranei e contro l'ingresso di liquidi. Il codice IP è il sistema usato per l'identificazione del grado di protezione, conformemente a quanto prescritto nella norma IEC 60529. Se non diversamente specificato dal costruttore, il grado di protezione si applica al quadro completo, assemblato e installato per uso normale (con la porta chiusa).
Il produttore deve anche dichiarare il grado di protezione applicabile a configurazioni particolari che possono verificarsi durante il servizio, come il grado di protezione con la porta aperta o con dispositivi rimossi o estratti.

Elementi del codice IP e loro significati

Elemento	Numeri o lettere	Protezione dell'apparecchiatura	Protezione delle persone	Rif.
Lettera del codice	**IP**			
Prima cifra caratteristica		Contro l'ingresso di corpi solidi estranei	Contro l'accesso a parti pericolose con	Cl.5
	0	(non protetto)	(non protetto)	
	1	≥ 50 mm di diametro	dorso della mano	
	2	≥ 12.5 mm di diametro	dito	
	3	≥ 2.5 mm di diametro	attrezzo	
	4	≥ 1.0 mm di diametro	filo	
	5	protetto contro la polvere	filo	
	6	tot. prot. contro la polvere	filo	
Seconda cifra caratteristica		Contro l'entrata di acqua con effetti dannosi		Cl.6
	0	(non protetto)		
	1	caduta di gocce verticali		
	2	gocce d'acqua (inclin. 15°)		
	3	pioggia		
	4	spruzzi d'acqua		
	5	getti d'acqua		
	6	getti forti		
	7	immersione temporanea		
	8	immersione continua		
Lettera addizionale (facoltativa)			Contro l'accesso a parti pericolose con	Cl.7
	A		dorso della mano	
	B		dito	
	C		attrezzo	
	D		filo	
Lettera supplementare (facoltativa)		Informazioni supplementari riguardanti:		Cl.8
	H	App. ad alta tensione		
	M	Mov. dur. la prova con acqua		
	S	Immob. dur. la prova con acqua		
	W	Condizioni atmosferiche		

6 Quadri elettrici

Forme di segregazione e classificazione dei quadri

Forme di segregazione interna

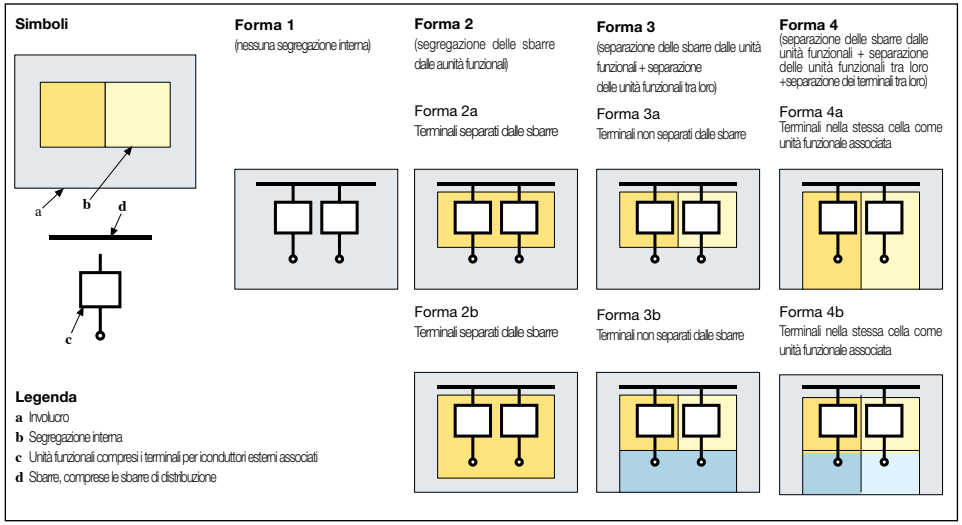
Con forma di segregazione si intende il tipo di suddivisione prevista all'interno del quadro. La segregazione tramite barriere o diaframmi (metallici o isolanti) può avere lo scopo di:

- fornire protezione contro i contatti diretti (almeno IPXXB) in caso di accesso ad una parte del quadro che non è in tensione, rispetto al resto del quadro rimasto in tensione;
- ridurre la probabilità di innesco e di propagazione di un arco interno;
- impedire il passaggio di corpi solidi tra le diverse parti del quadro (grado di protezione di almeno IP2X).

Un diaframma è un elemento di separazione tra due celle, mentre la barriera protegge l'operatore dai contatti diretti e dagli effetti dell'arco degli apparecchi di interruzione nella direzione abituale di accesso.
La seguente tabella, riportata nella norma IEC 60439-1, evidenzia le tipiche forme di segregazione che si possono ottenere usando barriere o diaframmi:

Criterio principale	Criterio secondario	Forma
Nessuna segregazione		Forma 1
Segregazioni delle sbarre dalle unità funzionali	Terminali per i conduttori esterni non separati dalle sbarre	Forma 2a
	Terminali per i conduttori esterni separati dalle sbarre	Forma 2b
Segregazione delle sbarre dalle unità funzionali e segregazione di tutte le unità funzionali l'una dall'altra.	Terminali per i conduttori esterni non separati dalle sbarre	Forma 3a
Segregazione dei terminali per i conduttori esterni dalle unità funzionali, ma non l'uno dall'altro	Terminali per i conduttori esterni separati dalle sbarre	Forma 3b
Segregazione delle sbarre dalle unità funzionali e segregazione di tutte le unità funzionali l'una dall'altra. Segregazione dei terminali per conduttori esterni associati ad un'unità funzionale da quelli di qualsiasi altra unità funzionale e dalle sbarre	Terminali per i conduttori esterni nella stessa cella come le unità funzionali associate	Forma 4a
	Terminali per i conduttori esterni non nella stessa cella come le unità funzionali associate ma in singoli spazi separati e racchiusi o incelle	Forma 4b

6 Quadri elettrici



Classificazione

Esistono diverse classificazioni del quadro elettrico, in base a vari fattori.

In base alla tipologia costruttiva, la norma IEC 60439-1 distingue innanzi tutto fra quadri aperti e chiusi.
Un quadro è chiuso, quando comprende pannelli protettivi su tutti i lati, che forniscono un grado di protezione contro i contatti diretti non inferiore a IPXXB. I quadri usati negli ambienti ordinari devono essere chiusi.

I quadri aperti, con o senza copertura frontale, hanno le parti in tensione accessibili. Questi quadri possono essere usati solo nelle officine elettriche.

In base alla configurazione esterna, i quadri si dividono in:

- **Quadri ad armadio**
  Utilizzati per grossi apparecchi di distribuzione e di comando; affiancando più armadi si ottengono quadri ad armadi multipli.

6 Quadri elettrici

- Quadri a banco
Usati per il controllo di macchinari o di sistemi complessi nell'industria meccanica, siderurgica e chimica.

- Quadri a cassetta
Caratterizzati dal montaggio a parete sia sporgente sia incassato; questi quadri sono generalmente usati per la distribuzione a livello di reparto o di zona negli ambienti industriali e del terziario.

- Quadri a cassette multiple
Ogni cassetta, in genere di tipo protetto e con flange di affrancamento, contiene un'unità funzionale che può essere un interruttore automatico, un avviatore, una presa completa di interruttore di blocco o di protezione.

Per quanto riguarda le funzioni cui sono destinati, i quadri si dividono in:

- Quadri principali di distribuzione
I quadri principali di distribuzione sono generalmente installati immediatamente a valle dei trasformatori MT/BT, o dei generatori; sono anche chiamati Power Center. I quadri principali di distribuzione comprendono una o più unità di ingresso, congiuntori di sbarra ed un numero relativamente ridotto di unità di uscita.

- Quadri secondari di distribuzione
I quadri secondari comprendono una vasta categoria di quadri destinati alla distribuzione dell'energia, e sono equipaggiati con una singola unità di ingresso e numerose unità di uscita.

- Quadri di manovra motori
I quadri di manovra motori sono progettati per il controllo e la protezione centralizzata dei motori: comprendono quindi le relative apparecchiature coordinate di manovra e protezione e quelle ausiliarie di comando e segnalazione.

- Quadri di comando, misura e protezione
I quadri di comando, misura e protezione sono in genere costituiti da banchi che contengono prevalentemente apparecchiature destinate al comando, al controllo e alla misura di impianti e processi industriali.

- Quadri a bordo macchina
I quadri a bordo macchina sono simili per funzionalità a quelli precedenti; il loro compito è quello di fornire un'interfacciamento della macchina con la sorgente di energia elettrica e con l'operatore.

- Quadri per cantiere (ASC)
I quadri per cantiere hanno varie dimensioni, che vanno dalla semplice unità di prese e spina a veri e propri quadri di distribuzione in involucro metallico o in materiale isolante. Sono generalmente di tipo mobile o comunque trasportabile.

6 Quadri elettrici

Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per le apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS)

Per quadri ANS, la valutazione delle sovratemperature può essere determinata con prove di laboratorio o con calcoli, che possono essere effettuati secondo la Norma IEC 60890. Le formule ed i coefficienti riportati in questa Norma sono dedotti da misurazioni fatte su numerosi quadri, e la validità del metodo è stata verificata mediante confronto con i risultati delle prove.
Questo metodo non copre tutta la gamma di quadri di bassa tensione e apparecchiature assiemate poiché è stato sviluppato secondo precise ipotesi che ne limitano le applicazioni; questo metodo può comunque essere corretto, reso idoneo ed integrato con altre procedure di calcolo per le quali si è potuto dimostrare il loro fondamento tecnico.
La Norma IEC 60890 serve per determinare sovratemperatura dell'aria all'interno del quadro a causa dell'energia dissipata dai dispositivi e dai conduttori installati nel quadro.
Una volta che le richieste della norma sono state soddisfatte, per calcolare l'aumento di temperatura dell'aria all'interno di un involucro, si devono prendere in considerazione i seguenti fattori:

- Le dimensioni dell'involucro.
- Il tipo di installazione:
  - involucro aperto in aria su tutti i lati;
  - involucro montato a parete;
  - involucro progettato per il montaggio alle estremità;
  - involucro in una posizione interna in un quadro a scomparti multipli;
- Eventuale presenza di aperture di ventilazione, e le rispettive dimensioni.
- Il numero di separatori interni orizzontali;
- Perdite di potenza legate al valore efficace della corrente che passa attraverso qualsiasi dispositivo e conduttore installato all'interno del quadro o dello scomparto.

La norma permette il calcolo della sovratemperatura dell'aria a mezza altezza e nel punto più alto del quadro. Una volta calcolati i valori, si deve valutare se il quadro è conforme alle prescrizioni relative ai limiti imposti per certi punti all'interno dello stesso quadro.
L'Appendice B spiega il metodo di calcolo descritto nella norma.
ABB fornisce al cliente un software di calcolo che permette di calcolare rapidamente sovratemperatura all'interno del quadro.

6 Quadri elettrici

6.2 Quadri MNS

I sistemi MNS sono idonei per applicazioni in tutti i campi riguardanti la generazione, la distribuzione e l'utilizzo dell'energia elettrica; p.e. possono essere usati come:
- quadri di distribuzione primaria e sottoquadri;
- alimentazione motori da MCCs (Centri di Controllo Motori – Motor Control Centres);
- quadri di automazione.

Il sistema MNS è una costruzione a telaio con collegamenti bullonati senza manutenzione che possono essere equipaggiati come richiesto con componenti standardizzati e possono essere adattati a qualsiasi applicazione. L'utilizzo del principio di modularità sia nel progetto elettrico che in quello meccanico permette la scelta ottimale della struttura, della disposizione interna e del grado di protezione in base alle condizioni d'impiego e ambientali.

Il design ed il materiale usati per il sistema MNS evitano in larga misura il verificarsi di archi elettrici, e provvedono all'estinzione dell'arco in breve tempo. Il sistema MNS è conforme alle richieste prescritte nelle VDE0660 Parte 500 e IEC 61641 ed è stato inoltre sottoposto a numerose prove per l'estinzione dell'arco accidentale, eseguite da un istituto indipendente.

Il sistema MNS offre all'utente molte soluzioni alternative e notevoli vantaggi paragonato a installazioni di tipo tradizionale:
- struttura compatta e poco ingombrante;
- disposizione a doppio fronte "back-to-back";
- distribuzione ottimizzata dell'energia negli scomparti;
- facile progettazione ed ingegnerizzazione dei dettagli grazie ai componenti standardizzati;
- vasta gamma di moduli standardizzati;
- diversi livelli di progettazione secondo le condizioni d'impiego ed ambientali;
- facile combinazione dei diversi sistemi di apparecchiature, quali ad esempio moduli fissi ed estraibili in un solo scomparto;
- possibilità di progettazione a prova d'arco (progettazione standard con modulo fisso);
- possibilità di progettazione antisismica, antivibrazioni e antiurto;
- facile assemblaggio senza attrezzi speciali;
- facile trasformazione e riadattamento;
- esente da manutenzione per lungo tempo;
- grande affidabilità funzionale;
- alto livello di sicurezza per il personale.

Gli elementi di base della struttura sono profilati a "C" con fori ad intervalli di 25 mm in conformità alla norma DIN 43660. Tutte le parti del telaio sono fissate con viti autofilettanti senza manutenzione o con viti ESLOK. Fondati sulla dimensione di base della griglia di 25 mm, I telai possono essere costruiti per i vari tipi di scomparti senza alcun attrezzo speciale. Sono possibili quadri a scomparto singolo o a scomparti multipli per manovra frontale o frontale e posteriore.
Sono disponibili diverse versioni, in base all'involucro richiesto:
- porta singola della cella per apparecchiatura;
- porta doppia della cella per apparecchiatura;
- porta della cella per l'apparecchiatura e per il compartimento cavi;
- porte del modulo e/o coprimoduli estraibili e porta del compartimento cavi.

La base dello scomparto può essere fornita di piastre di pavimentazione. Con l'aiuto di piastre flangiate, i condotti dei cavi possono essere predisposti per adattarsi a tutte le richieste. Le porte e il rivestimento possono essere dotate di una o più aperture di ventilazione, le piastre del tetto possono essere fornite di una griglia metallica (IP 30 – IP40) o di un camino per la ventilazione (IP 40, 41, 42).

6 Quadri elettrici

In base alle richieste, una struttura può essere suddivisa nelle seguenti celle (zone funzionali):
- cella apparecchiatura;
- cella sbarre;
- cella cavi.

La cella apparecchiatura contiene i moduli dell'apparecchiatura, la cella sbarre contiene le sbarre e le sbarre di distribuzione, la cella cavi contiene i cavi in entrata e in uscita (a scelta dall'alto o dal basso) con i cablaggi necessari per collegare i moduli nonché i dispositivi di sostegno (guide per montaggio cavi, parti per collegamento cavi, collegamenti paralleli, canalette, ecc.). Le celle funzionali di uno scomparto nonché gli scomparti stessi possono essere separati da diaframmi. Anche dei diaframmi orizzontali con o senza aperture di ventilazione possono essere inseriti tra le celle.
Tutti gli scomparti di linea in arrivo/uscita e il congiuntore di sbarre comprendono un dispositivo di manovra. Questi dispositivi possono essere interruttori di manovra-sezionatori in versione fissa, interruttori scatolati o aperti in versione fissa o estraibile.
Questo tipo di scomparti è suddiviso in celle apparecchiature e celle sbarre; le loro dimensioni (H x L) sono 2200 mm x 400 mm / 1200 mm x 600 mm, e la profondità dipende dalle dimensioni delle apparecchiature usate.
Gli scomparti con interruttori aperti fino a 2000 A possono essere costruiti nella versione a dimensioni ridotte (L = 400 mm).
E' possibile interconnettere gli scomparti per formare unità di consegna ottimali con una larghezza massima di 3000 mm.

6.3 Quadri di distribuzione ArTu

La gamma di quadri di distribuzione ArTu ABB SACE fornisce un'offerta completa ed integrata di quadri e sistemi in kit per costruire quadri di distribuzione primaria e secondaria di bassa tensione.
Con una sola gamma di accessori e iniziando da semplici kit di montaggio, i quadri ArTu rendono possibile il montaggio di una larga gamma di configurazioni montando interruttori modulari, scatolati e aperti, con qualsiasi divisione interna fino alla Forma 4.
ABB SACE offre una serie di kit standardizzati, che consistono in piastre preforate e pannelli per l'installazione di tutta la gamma di interruttori tipo System pro *M* compact, Tmax e Emax X1, E1, E2, E3, E4 senza la necessità di ulteriori operazioni di foratura o di adattamenti.
Sono state tenute in particolare considerazione le esigenze di cablaggio, fornendo sedi speciali per consentire il fissaggio verticale e orizzontale della canalina in plastica.
La standardizzazione dei componenti è estesa alla segregazione interna del quadro: nei quadri ArTu, la segregazione è effettuata facilmente e non richiede né la costruzione di quadri "su misura" né ulteriori tagli di lamiere, piegature o lavori di perforazione..

I quadri ArTu hanno le seguenti caratteristiche:
- gamma integrata di strutture metalliche modulari fino a 4000 A con accessori in comune;
- possibilità di soddisfare tutte le richieste di applicazioni in termini di installazione (montaggio a parete, fissaggio a pavimento, kit monoblocco e kit armadio) e grado di protezione (IP31, IP41, IP43, IP65);

6 Quadri elettrici

- struttura in lamiera di acciaio zincata a caldo;
- massima integrazione con gli interruttori modulari e gli interruttori, scatolati e aperti, ABB SACE;
- tempi di montaggio del quadro minimi grazie alla semplicità dei kit, alla standardizzazione della minuteria, agli elementi autoportanti e alla presenza di punti di riferimento chiari per il montaggio delle piastre e dei pannelli;
- segregazioni in kit fino alla Forma 4.

La gamma di quadri ArTu comprende quattro versioni, che possono essere dotate degli stessi accessori.

ArTu serie L

L'ArTu serie L consiste in una gamma di kit per quadri componibili, con una capacità di 24/36 moduli per fila e un grado di protezione IP31 (senza porta) o IP43 (versione base con porta). Questi quadri possono essere montati a parete o fissati a pavimento:
- ArTu serie L montati a parete, con altezze di 600, 800, 1000 e 1200 mm, profondità 204 mm, larghezza 600 mm. All'interno di questa serie di quadri possono essere installati sia gli interruttori modulari System pro *M* compact che gli interruttori scatolati Tmax T1-T2-T3;
- ArTu serie L fissati a pavimento, con altezze di 1400, 1600, 1800 e 2000 mm, profondità 240 mm, larghezza 600/800 mm. All'interno di questa serie di quadri possono essere installati gli interruttori modulari System pro *M* compact e gli interruttori scatolati Tmax T1-T2-T3-T4-T5-T6 (versione fissa con attacchi anteriori).

ArTu serie M

L'ArTu serie M consiste in una gamma modulare di quadri monoblocco per installazioni a parete (con profondità di 150 e 200 mm e con grado di protezione IP65) o per installazione a pavimento (con profondità di 250 mm e grado di protezione IP31 o IP65), nei quali è possibile installare interruttori modulari System pro *M* compact e interruttori scatolati Tmax T1-T2-T3 su guida DIN. La serie M dei quadri ArTu, per installazione a pavimento, può essere equipaggiata con gli interruttori scatolati della serie Tmax.

6 Quadri elettrici

ArTu serie K

L'ArTu serie K consiste in una gamma di kit per quadri componibili, per installazioni fissate a pavimento, con quattro diverse profondità (250, 350, 600 e 800 mm) e con grado di protezione IP31 (senza porta anteriore), IP41 (con porta anteriore e pannelli laterali ventilati) o IP65 (con porta anteriore e pannelli laterali ciechi), nei quali è possibile installare gli interruttori modulari System pro *M* compact, l'intera gamma degli interruttori scatolati Tmax, e gli interruttori Emax X1, E1, E2, E3 e E4.
I quadri ArTu hanno tre larghezze funzionali:
- 400 mm, per l'installazione di interruttori scatolati fino a 630 A (T5);
- 600 mm, che è la dimensione base per l'installazione di tutte le apparecchiature;
- 800 mm, per la realizzazione del vano cavi laterale all'interno della struttura dei quadri fissati a pavimento o per l'utilizzo di pannelli con la stessa larghezza.

Lo spazio interno disponibile varia in altezza da 600 mm (serie L montati a parete) a 2000 mm (serie M e serie K fissati a pavimento), offrendo così una possibile soluzione per le diverse esigenze applicative.

Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione

La norma IEC 60439-1 specifica che le APPARECCHIATURE ASSIEMATE (qui di seguito chiamati quadri) dovranno essere costruiti in modo da essere capaci di resistere alle sollecitazioni termiche e dinamiche risultanti da correnti di corto circuito fino ai valori nominali.
Inoltre, i quadri devono essere protetti contro le correnti di corto circuito tramite interruttori, fusibili o una combinazione di questi, che possono o essere incorporati nel quadro o disposti a monte.

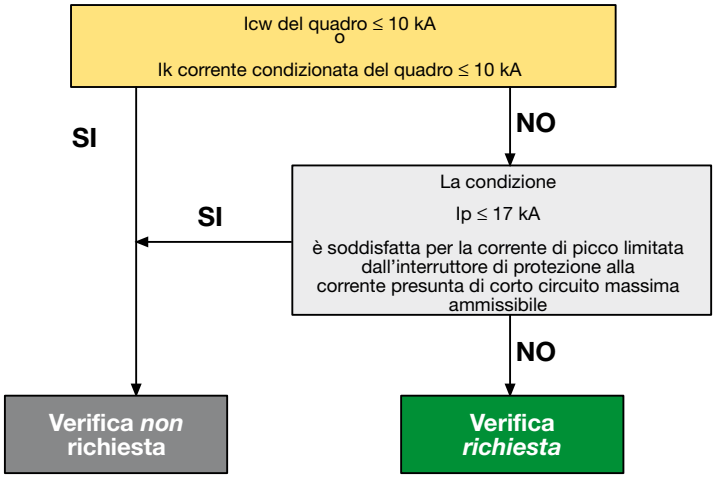
Questo capitolo prende in considerazioni i seguenti aspetti:
- **La necessità, o meno, di effettuare una verifica della tenuta al corto circuito del quadro.**
- **L'idoneità di un quadro per un impianto in funzione della corrente di corto circuito presunta dell'impianto e dei parametri di corto circuito del quadro.**
- **L'idoneità di un sistema di sbarre in funzione della corrente di corto circuito e dei dispositivi di protezione.**

Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione

Verifica della tenuta al corto circuito

La verifica della tenuta al corto circuito è trattata nella norma IEC 60439-1, dove, in particolare, sono specificati i casi che necessitano di questa verifica ed i diversi tipi di verifica.
La verifica della tenuta al corto circuito non è richiesta se sono soddisfatte le seguenti condizioni:
- Per quadri con una corrente di corto circuito di breve durata (Icw) o una corrente di corto circuito condizionata (Ik) non superiori a 10 kA.
- Per quadri protetti da dispositivi limitatori di corrente aventi una corrente di picco limitata non superiore a 17 kA in corrispondenza della corrente presunta di corto circuito massima ammissibile ai terminali del circuito di entrata del quadro.
- Per circuiti ausiliari del quadro previsti per essere collegati a trasformatori la cui potenza nominale non superi 10 kVA con una tensione nominale secondaria non inferiore a 110 V, oppure non superi 1.6 kVA per una tensione nominale secondaria inferiore a 110 V, e la cui tensione di corto circuito in entrambi i casi non sia inferiore al 4%.
- Per tutte le parti del quadro (barre principali, supporti delle barre principali, connessioni alle barre, unità di entrata e di uscita, apparecchi di protezione e manovra, ecc.) che sono già state soggette alle prove di tipo valevoli per le condizioni esistenti.

Perciò, da un punto di vista ingegneristico, la necessità di verificare la tenuta al corto circuito può essere vista come segue:



Per quanto riguarda i dettagli riguardanti l'esecuzione della prova di corto circuito, si deve fare riferimento direttamente alla norma IEC 60439-1.

Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione

Corrente di corto circuito e idoneità del quadro all'impianto

La verifica della tenuta al corto circuito è basata su due valori dichiarati dal produttore in alternativa tra loro:
- la corrente di corto circuito di breve durata Icw
- la corrente di corto circuito condizionata Ik

In base ad uno di questi due valori, è possibile determinare se il quadro è idoneo per l'installazione in un particolare punto dell'impianto.

Sarà necessario verificare che i poteri d'interruzione delle apparecchiature all'interno del quadro siano compatibili con i valori di corto circuito dell'impianto.

La corrente di corto circuito di breve durata Icw è un valore efficace predefinito della corrente di prova, alla quale corrisponde un determinato valore di picco applicato al circuito di prova del quadro per un tempo specifico (normalmente 1 s). Il quadro deve essere in grado di resistere alle sollecitazioni termiche ed elettrodinamiche senza danni o deformazioni che potrebbero compromettere la funzionalità del sistema. Da questa prova (se superata) è possibile ricavare l'energia specifica passante (I^2t) che può essere sopportata dal quadro:

$$I^2t = Icw^2t$$

La prova deve essere effettuata al valore del fattore di potenza (cosφ) specificato nella Tabella 4 della norma IEC 60439-1 riportata sotto. Il fattore "n" in corrispondenza di questo valore di cosφ permette di determinare il valore di picco della corrente di corto circuito, sopportabile dal quadro, tramite la seguente formula:

$$Ip = Icw \cdot n$$

Tabella 4

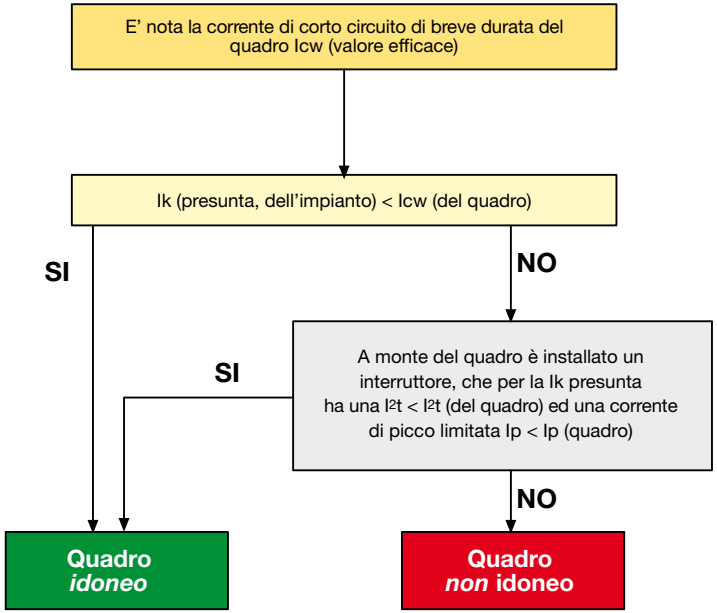
	fattore di potenza	
valore efficace della corrente di corto circuito	cosφ	n
I ≤ 5 kA	0.7	1.5
5<I ≤ 10 kA	0.5	1.7
10<I ≤ 20 kA	0.3	2
20<I ≤ 50 kA	0.25	2.1
50<I	0.2	2.2

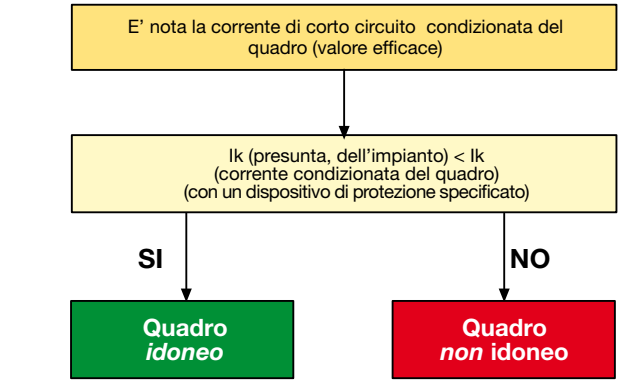
I valori di questa tabella tengono conto della maggioranza delle applicazioni. In luoghi particolari, per esempio nelle vicinanze di trasformatori o generatori, il fattore di potenza può assumere valori più bassi per cui, in questi casi, il valore massimo del picco della corrente presunta può diventare il fattore limitativo, invece del valore efficace della corrente di corto circuito.

La corrente di corto circuito condizionata è un prefissato valore efficace della corrente di prova al quale corrisponde un determinato valore di picco che può essere sopportato dal quadro per il tempo di intervento di uno specifico dispositivo di protezione. Normalmente questo dispositivo è l'interruttore generale del quadro.

Paragonando i due valori Icw e Ip con la corrente di corto circuito presunta dell'impianto, è possibile stabilire se il quadro è idoneo ad essere installato in un punto specifico dell'impianto. I seguenti diagrammi mostrano il metodo per determinare la compatibilità del quadro con l'impianto.

Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione





Deve essere verificato che i poteri di interruzione delle apparecchiature all'interno del quadro siano compatibili con i valori di corto circuito dell'impianto.

Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione

Esempio

Dati dell'impianto: Tensione nominale Un=400 V
Frequenza nominale fn=50 Hz
Corrente di corto circuito Ik=35 kA

Supponiamo di avere in un impianto esistente un quadro con Icw uguale a 35 kA e che, nel punto di installazione del quadro, la corrente di corto circuito presunta sia uguale a 35 kA.

Ipotizziamo ora che si decida un aumento di potenza dell'impianto e che il valore di corto circuito aumenti a 60 kA.
Dati dell'impianto dopo l'aumento: Tensione nominale Un=400 V
Frequenza nominale fn=50 Hz
Corrente di corto circuito Ik=60 kA

Poiché la Icw del quadro è inferiore alla corrente di corto circuito dell'impianto, per verificare che questo quadro è ancora compatibile, è necessario:
- determinare i valori di I^2t e di Ip lasciati passare dall'interruttore sul lato alimentazione del quadro
- verificare che i dispositivi di protezione installati all'interno del quadro abbiano l'adeguato potere di interruzione (singolarmente o per back-up)

Icw = 35 kA da cui:
$I^2t_{quadro} = 35^2 x1=1225\ MA^2s$
$Ip_{quadro} = 73.5$ kA (secondo la Tabella 4)

Supponiamo che a monte del quadro sia installato un interruttore tipo Tmax T5H **(Icu=70 kA @ 415 V)**
$I^2t_{INT} < 4\ MA^2s$
$Ip_{INT} < 40$ kA

poichè
$I^2t_{quadro} > I^2t_{INT}$
$Ip_{quadro} > Ip_{INT}$

risulta che il quadro (struttura e sistema di barre) è idoneo.

Assumendo che gli interruttori installati all'interno del quadro siano interruttori tipo T1, T2 e T3 versione N con **Icu=36 kA @ 415 V.** Dalle tabelle di Back-up (vedere Capitolo 4.3), risulta che gli interruttori all'interno del quadro sono idonei per l'impianto, poiché il loro potere di interruzione è aumentato a 65 kA grazie all'interruttore T5H posto a monte.

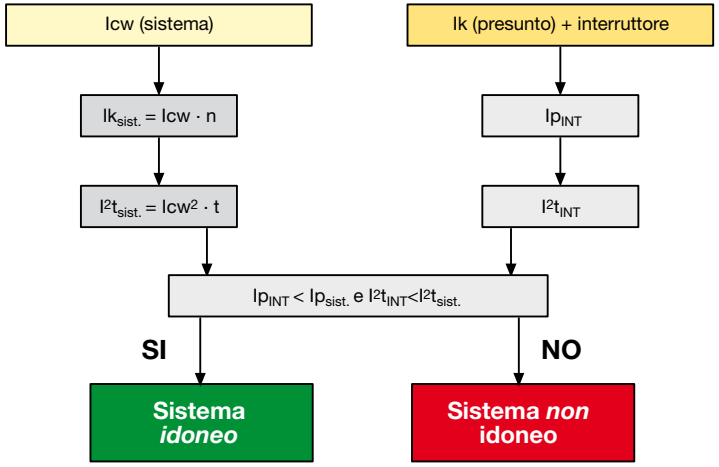
Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione

Scelta del sistema di distribuzione in relazione alla tenuta al corto circuito

Il dimensionamento del sistema di distribuzione del quadro è realizzato prendendo in considerazione la corrente nominale che lo attraversa e la corrente di corto circuito presunta dell'impianto.
Normalmente il costruttore fornisce delle tabelle che permettono la scelta della sezione delle sbarre, in funzione della corrente nominale, e che indicano le distanze di montaggio dei supporti reggibarre per garantire la tenuta al corto circuito.
Per selezionare un sistema di distribuzione compatibile con i dati di corto circuito dell'impianto, si dovrà seguire una delle seguenti procedure:

- **Se è noto il dispositivo di protezione sul lato alimentazione del sistema di distribuzione**
  Dal valore di Icw del sistema di distribuzione risulta che:
  $Ik_{sist} = Icw \cdot n$ dove n è il fattore ricavato dalla Tabella 4
  $I^2t_{sist} = Icw^2 \cdot t$ dove t è pari ad 1 s

  In corrispondenza del valore della corrente di corto circuito presunta dell'impianto si possono determinare i seguenti valori:
  il valore della corrente di picco limitata Ip_{INT}
  l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore I^2t_{INT}
  se $Ip_{INT} < Ip_{sist}$ e $I^2t_{INT} < I^2t_{sist}$, allora il sistema di distribuzione è idoneo.



- **Se non è noto il dispositivo di protezione a monte del sistema di distribuzione**

  La seguente condizione deve essere soddisfatta: :

  Ik (presunta) < Icw (sistema)

Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione

Esempio

Dati dell'impianto: Tensione nominale Un=400 V
Frequenza nominale fn=50 Hz
Corrente di corto circuito Ik=65 kA

Supponiamo di usare un sistema di barre a profilo sagomato da 400 A, dal catalogo ABB SACE "Quadri di distribuzione ArTu" è possibile la seguente scelta: BA0400 In=400 A (IP65) Icw=35 kA.

Supponiamo di avere, a monte del sistema di barre, un interruttore scatolato tipo

ABB SACE Tmax T5400 In 400

dalla Icw del sistema di barre, deriva che:

$Ip_{sist} = Icw \cdot n = 35 \cdot 2.1 = 73.5$ [kA]
$I^2t_{sist} = Icw^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225$ [(kA)^2 s]

Dalle curve
- Ik 65 kA corrisponde a circa Ip_{INT}=35 kA
- Ik 65 kA corrisponde a circa I^2t_{INT}=4 [(kA)^{2}s]= 4 [MA^{2}sec]

Così, poiché
$Ip_{INT} < Ip_{sist}$
e
$I^2t_{INT} < I^2t_{sist}$
risulta che il sistema di barre è compatibile con il quadro.

Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione

Scelta dei conduttori sul lato alimentazione dei dispositivi di protezione

La norma IEC 60439-1 prescrive che in un quadro, i conduttori attivi (comprese le barre di distribuzione) posizionati tra le barre principali e il lato alimentazione delle singole unità funzionali, nonché i componenti costitutivi di queste unità, possono essere dimensionati in base alle sollecitazioni di corto circuito ridotte che si verificano sul lato carico (a valle) del dispositivo di protezione di corto circuito dell'unità.

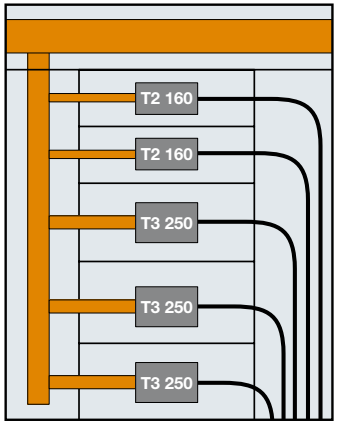
Questo può essere possibile se i conduttori sono disposti in modo tale che, in condizioni normali di servizio, il corto circuito interno tra le fasi e/o tra fase e terra è solo una possibilità remota. E' consigliabile che tali conduttori siano di costruzione massiccia e rigida.
La norma riporta a titolo esemplificativo conduttori e prescrizioni per l'installazione che permettono di considerare ipotesi remota il corto circuito tra le fasi e/o tra fase e terra.

Tipo di conduttore	**Requisiti**
Conduttori nudi o conduttori ad un'anima singola con isolamento principale, per esempio i cavi conformi alla IEC 60227-3.	Il contatto reciproco o il contatto con parti conduttrici deve essere evitato, per esempio con l'utilizzo di distanziatori.
Conduttori ad un'anima singola con isolamento principale ed una temperatura massima ammissibile per il funzionamento del conduttore sopra i 90°C, per esempio cavi secondo la IEC 60245-3, o cavi isolati in PVC resistenti al calore secondo la IEC 60227-3.	Il contatto reciproco o il contatto con parti conduttrici è ammesso dove non è applicata alcuna pressione esterna. Un contatto con spigoli vivi deve essere evitato. Non ci deve essere alcun rischio di danni meccanici. Questi conduttori possono essere unicamente alimentati in modo tale che non si superi una temperatura di funzionamento di 70°.
Conduttori con isolamento principale, per esempio cavi secondo la IEC 60227-3, con isolamento secondario supplementare, per esempio cavi ricoperti individualmente con guaina termostringente o cavi posti individualmente in condotti di plastica.	Non ci sono ulteriori richieste in assenza di rischio di danni meccanici.
Conduttori isolati con un materiale di altissima resistenza meccanica, per esempio isolamento FTFE, o conduttori con doppio isolamento con una guaina esterna rinforzata per l'uso fino a 3 kV, per esempio i cavi secondo la IEC 60502	
Cavi rivestiti ad anima singola o a più anime, per esempio i cavi conformi alla IEC 60245-4 o 60227-4.	

In queste condizioni o in ogni caso in cui il corto circuito interno può essere considerato una possibilità remota, la procedura descritta sopra deve essere usata per verificare l'idoneità del sistema di distribuzione alle condizioni di corto circuito, dove queste sono determinate in funzione delle caratteristiche degli interruttori posti sul lato carico (a valle) delle barre.

Appendice A: Protezione contro gli effetti del corto circuito all'interno di quadri di bassa tensione

Esempio



Dati dell'impianto:
Tensione nominale Ur=400 V
Frequenza nominale fr=50 Hz
Corrente di corto circuito Ik=45 kA

Nel quadro mostrato in figura, le barre verticali di distribuzione sono derivate dalle barre principali.
Queste sono barre a profilo sagomato da 800 A con le seguenti caratteristiche:
In (IP65) = 800 A,
Icw max = 35 kA
Poiché è un sistema "rigido" con distanziatori, secondo la norma IEC 60439-1 un corto circuito tra le sbarre è una possibilità remota.
Comunque, è richiesta una verifica che le sollecitazioni ridotte dagli interruttori posti sul lato carico del sistema siano compatibili con il sistema.
Assumendo che negli scomparti ci siano i seguenti interruttori:

ABB SACE T3S250
ABB SACE T2S160

Si deve verificare che, in caso di corto su una qualunque uscita, le limitazioni prodotte dall'interruttore siano compatibili con il sistema di barre.
Occorre quindi verificare che l'interruttore che limita di meno picco ed energia, limiti comunque sufficientemente per il sistema di barre.

Nel nostro caso si tratta del ABB SACE T3S 250 In250.
La verifica deve essere effettuata come nel paragrafo precedente:

Dall'Icw del sistema di sbarre, deriva che:

$Ip_{sist} = Icw \cdot n = 35 \cdot 2.1 = 73.5$ [kA]
$I^2t_{sist} = Icw^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225$ [(kA)^2 s]

Dalle curve di limitazione e dell'energia specifica lasciata passare
- Ik = 45 kA corrisponde a circa Ip_{INT}=30 kA
- Ik = 45 kA corrisponde a circa I^2t_{INT}=2 [(kA)^{2}s]

Così, poiché
$Ip_{INT} < Ip_{slst}$
e
$I^2t_{INT} < I^2t_{slst}$

risulta che il sistema di barre è compatibile con il quadro.

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Il metodo di calcolo suggerito nella norma IEC 60890 rende possibile valutare la sovratemperatura all'interno di un'apparecchiatura assiemata (ANS); questo metodo è applicabile solo se sono soddisfatte le seguenti condizioni:
- esiste una distribuzione uniforme delle perdite di potenza all'interno dell'involucro;
- l'apparecchiatura installata è disposta in modo che la circolazione dell'aria è solo leggermente impedita;
- l'apparecchiatura installata è progettata per corrente continua o corrente alternata fino a 60 Hz compresi, con il totale delle correnti di alimentazione che non superano i 3150 A;
- i conduttori che portano alte correnti e le parti strutturali sono disposti in modo che le perdite per correnti parassite siano trascurabili;
- per gli involucri con aperture di ventilazione, la sezione delle aperture per l'uscita dell'aria è almeno 1,1 volte la sezione delle aperture per l'entrata dell'aria;
- non ci sono più di tre diaframmi orizzontali nell'ANS o in una sezione di esso;
- se gli involucri con aperture di ventilazione esterne hanno scomparti, la superficie delle aperture di ventilazione in ogni diaframma sarà almeno del 50% della sezione orizzontale dello scomparto.

I dati necessari per il calcolo sono:
- dimensioni dell'involucro: altezza, larghezza, profondità;
- il tipo di installazione dell'involucro (vedere Tabella 8);
- presenza di aperture di ventilazione;
- numero di diaframmi orizzontali interni;
- le perdite di potenza delle apparecchiature installate nell'involucro (vedere Tabelle 13 e 14);
- le perdite di potenza dei conduttori all'interno dell'involucro, uguale alla somma delle perdite di ciascun conduttore, secondo le Tabelle 1, 2 e 3.

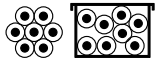
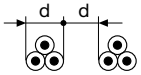
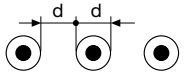
Per le apparecchiature ed i conduttori non completamente caricati, è possibile valutare le perdite di potenza come:

$$P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n}\right)^2 \quad (1)$$

dove:
P è la reale potenza persa;
P_n è la perdita di potenza nominale (a In);
I_b è la corrente reale;
I_n è la corrente nominale.

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Tabella 1: Corrente di funzionamento e potenze dissipate dei conduttori isolati

Sezione trasversale (Cu)	Temperatura massima ammissibile del conduttore 70 °C											
	 1)											
	Temperatura dell'aria intorno ai conduttori all'interno dell'involucro											
	35 °C 2)		55 °C 2)		35 °C 2)		55 °C 2)		35 °C 2)		55 °C 2)	
	Corrente di funzionamento	potenze dissipate	Corrente di funzionamento	potenze dissipate	Corrente di funzionamento	potenze dissipate	Corrente di funzionamento	potenze dissipate	Corrente di funzionamento	potenze dissipate	Corrente di funzionamento	potenze dissipate
mm ^{2}	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m
1.5	12	2.1	8	0.9	12	2.1	8	0.9	12	2.1	8	0.9
2.5	17	2.5	11	1.1	20	3.5	12	1.3	20	3.5	12	1.3
4	22	2.6	14	1.1	25	3.4	18	1.8	25	3.4	20	2.2
6	28	2.8	18	1.2	32	3.7	23	1.9	32	3.7	25	2.3
10	38	3.0	25	1.3	48	4.8	31	2.0	50	5.2	32	2.1
16	52	3.7	34	1.6	64	5.6	42	2.4	65	5.8	50	3.4
25					85	6.3	55	2.6	85	6.3	65	3.7
35					104	7.5	67	3.1	115	7.9	85	5.0
50					130	7.9	85	3.4	150	10.5	115	6.2
70					161	8.4	105	3.6	175	9.9	149	7.2
95					192	8.7	125	3.7	225	11.9	175	7.2
120					226	9.6	147	4.1	250	11.7	210	8.3
150					275	11.7	167	4.3	275	11.7	239	8.8
185					295	10.9	191	4.6	350	15.4	273	9.4
240					347	12.0	225	5.0	400	15.9	322	10.3
300					400	13.2	260	5.6	460	17.5	371	11.4

Conduttori per circuiti ausiliari

					Diam.
0.12	2.6	1.2	1.7	0.5	0.4
0.14	2.9	1.3	1.9	0.6	-
0.20	3.2	1.1	2.1	0.5	-
0.22	3.6	1.3	2.3	0.5	0.5
0.30	4.4	1.4	2.9	0.6	0.6
0.34	4.7	1.4	3.1	0.6	0.6
0.50	6.4	1.8	4.2	0.8	0.8
0.56		1.6		0.7	-
0.75	8.2	1.9	5.4	0.8	1.0
1.00	9.3	1.8	6.1	0.8	-

1) Qualsiasi disposizione desiderata, con i valori specifici, si riferisce a un gruppo di conduttori raggruppati in fascio (sei conduttori caricati al 100%)

2) lunghezza singola

1SDC008040F0201

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Tabella 2: Correnti di funzionamento e potenze dissipate di conduttori nudi, in posizione verticale senza collegamenti diretti alle apparecchiature

Larghezza x Spessore	Sezione trasversale (Cu)	Temperatura massima ammissibile del conduttore 85 °C															
		Temperatura dell'aria intorno ai conduttori all'interno dell'involucro 35 °C								Temperatura dell'aria intorno ai conduttori all'interno dell'involucro 55 °C							
		50 Hz a 60 Hz c.a.				c.c. e c.a. a 16 2/3 Hz				50 Hz a 60 Hz c.a.				c.c. e c.a. a 16 2/3 Hz			
		Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)
mm x mm	mm ^{2}	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m
12 x 2	23.5	144	19.5	242	27.5	144	19.5	242	27.5	105	10.4	177	14.7	105	10.4	177	14.7
15 x 2	29.5	170	21.7	282	29.9	170	21.7	282	29.9	124	11.6	206	16.0	124	11.6	206	16.0
15 x 3	44.5	215	23.1	375	35.2	215	23.1	375	35.2	157	12.3	274	18.8	157	12.3	274	18.8
20 x 2	39.5	215	26.1	351	34.8	215	26.1	354	35.4	157	13.9	256	18.5	157	12.3	258	18.8
20 x 3	59.5	271	27.6	463	40.2	271	27.6	463	40.2	198	14.7	338	21.4	198	14.7	338	21.4
20 x 5	99.1	364	29.9	665	49.8	364	29.9	668	50.3	266	16.0	485	26.5	266	16.0	487	26.7
20 x 10	199	568	36.9	1097	69.2	569	36.7	1107	69.6	414	19.6	800	36.8	415	19.5	807	37.0
25 x 5	124	435	34.1	779	55.4	435	34.1	78	55.6	317	18.1	568	29.5	317	18.1	572	29.5
30 x 5	149	504	38.4	894	60.6	505	38.2	899	60.7	368	20.5	652	32.3	369	20.4	656	32.3
30 x 10	299	762	44.4	1410	77.9	770	44.8	1436	77.8	556	27.7	1028	41.4	562	23.9	1048	41.5
40 x 5	199	641	47.0	1112	72.5	644	47.0	1128	72.3	468	25.0	811	38.5	469	24.9	586	38.5
40 x 10	399	951	52.7	1716	88.9	968	52.6	1796	90.5	694	28.1	1251	47.3	706	28.0	1310	48.1
50 x 5	249	775	55.7	1322	82.9	782	55.4	1357	83.4	566	29.7	964	44.1	570	29.4	989	44.3
50 x 10	499	1133	60.9	2008	102.9	1164	61.4	2141	103.8	826	32.3	1465	54.8	849	32.7	1562	55.3
60 x 5	299	915	64.1	1530	94.2	926	64.7	1583	94.6	667	34.1	1116	50.1	675	34.4	1154	50.3
60 x 10	599	1310	68.5	2288	116.2	1357	69.5	2487	117.8	955	36.4	1668	62.0	989	36.9	1814	62.7
80 x 5	399	1170	80.7	1929	116.4	1200	80.8	2035	116.1	858	42.9	1407	61.9	875	42.9	1484	61.8
80 x 10	799	1649	85.0	2806	138.7	1742	85.1	3165	140.4	1203	45.3	2047	73.8	1271	45.3	1756	74.8
100 x 5	499	1436	100.1	2301	137.0	1476	98.7	2407	121.2	1048	53.3	1678	72.9	1077	52.5	1756	69.8
100 x 10	999	1982	101.7	3298	164.2	2128	102.6	3844	169.9	1445	54.0	2406	84.4	1552	54.6	2803	90.4
120 x 10	1200	2314	115.5	3804	187.3	2514	115.9	4509	189.9	1688	61.5	2774	99.6	1833	61.6	3288	101.0

*) un conduttore per fase **) due conduttori per fase 1) lunghezza singola

1SDC008041F0201

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Tabella 3: Correnti di funzionamento e potenze dissipate di conduttori nudi usati come collegamenti tra le apparecchiature e le sbarre

Larghezza x Spessore	Sezione trasversale (Cu)	Temperatura massima ammissibile del conduttore 65 °C							
		Temperatura dell'aria intorno ai conduttori all'interno dell'involucro 35 °C				Temperatura dell'aria intorno ai conduttori all'interno dell'involucro 55 °C			
		50 Hz a 60 Hz c.a. e c.c.				50 Hz a 60 Hz c.a. e c.c.			
		Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)	Corrente di funzionamento	potenze dissipate 1)
mm x mm	mm 2	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m
12 x 2	23.5	82	5.9	130	7.4	69	4.2	105	4.9
15 x 2	29.5	96	6.4	150	7.8	88	5.4	124	5.4
15 x 3	44.5	124	7.1	202	9.5	102	4.8	162	6.1
20 x 2	39.5	115	6.9	184	8.9	93	4.5	172	7.7
20 x 3	59.5	152	8.0	249	10.8	125	5.4	198	6.8
20 x 5	99.1	218	9.9	348	12.7	174	6.3	284	8.4
20 x 10	199	348	12.8	648	22.3	284	8.6	532	15.0
25 x 5	124	253	10.7	413	14.2	204	7.0	338	9.5
30 x 5	149	288	11.6	492	16.9	233	7.6	402	11.3
30 x 10	299	482	17.2	960	32.7	402	11.5	780	21.6
40 x 5	199	348	12.8	648	22.3	284	8.6	532	15.0
40 x 10	399	648	22.7	1245	41.9	532	15.3	1032	28.8
50 x 5	249	413	14.7	805	27.9	338	9.8	655	18,5
50 x 10	499	805	28.5	1560	53.5	660	19.2	1280	36.0
60 x 5	299	492	17.2	960	32.7	402	11.5	780	21.6
60 x 10	599	960	34.1	1848	63.2	780	22.5	1524	43.0
80 x 5	399	648	22.7	1256	42.6	532	15.3	1032	28.8
80 x 10	799	1256	45.8	2432	85.8	1032	30.9	1920	53.5
100 x 5	499	805	29.2	1560	54.8	660	19.6	1280	36.9
100 x 10	999	1560	58.4	2680	86.2	1280	39.3	2180	57.0
120 x 10	1200	1848	68.3	2928	85.7	1524	46.5	2400	57.6

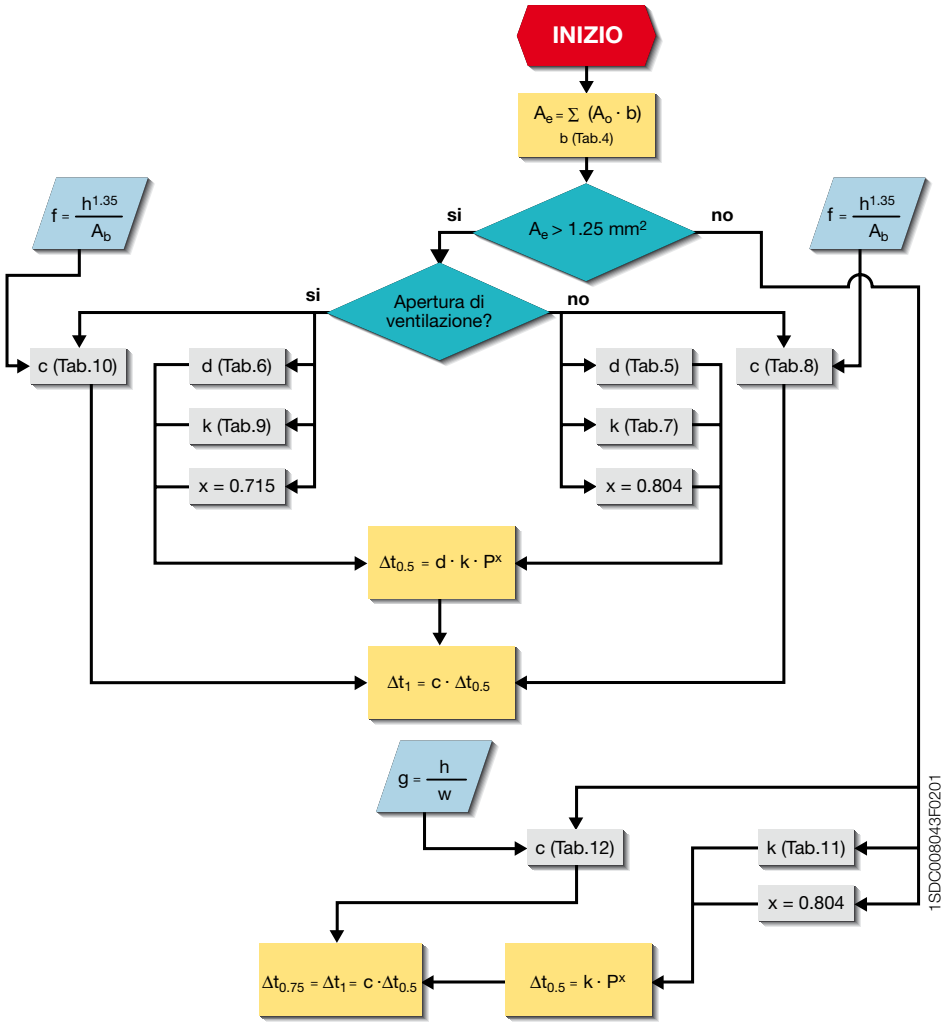
*) un conduttoreper fase **)due conduttori per fase 1) lunghezza singola

1SDC008042F0201

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Gli involucri senza diaframmi separatori verticali o sezioni individuali che hanno un'effettiva superficie di raffreddamento più grande di circa 11.5 m^2 o una larghezza più grande di circa 1,5 m, ai fini del calcolo, dovrebbero essere divisi in sezioni fittizie, le cui dimensioni sono circa quelle dei valori dati sopra.

Il seguente diagramma mostra la procedura per valutare l'aumento di temperatura.



1SDC008043F0201

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Tabella 4: Fattore di superficie b secondo il tipo di installazione

Tipo di installazione	Fattore di superficie *b*
Superficie superiore esposta	1.4
Superficie superiore coperta, es. involucri ad incasso	0.7
Parti laterali esposte, es. pareti anteriori, posteriori e laterali	0.9
Parti laterali coperte, es. lato posteriore dell'involucro per montaggi a parete	0.5
Parti laterali di involucri centrali	0.5
Superficie di fondo	Non presa in considerazione

Non sono prese in considerazione le parti laterali fittizie degli scomparti che sono state introdotte al solo fine di calcolo

Tabella 5: Fattore d per involucri senza aperture di ventilazione e con superficie di raffreddamento effettiva A_e > 1.25 m²

Numero di diaframmi orizzontali *n*	Fattore *d*
0	1
1	1.05
2	1.15
3	1.3

Tabella 6: Fattore d per involucri con aperture di ventilazione e con superficie di raffreddamento effettive A_e > 1.25 m²

Numero di diaframmi orizzontali *n*	Fattore *d*
0	1
1	1.05
2	1.1
3	1.15

Tabella 7: Costante dell'involucro k per involucri senza aperture di ventilazione, con superficie di raffreddamento effettiva A_e > 1.25 m²

A_e [m²]	k	A_e [m²]	k
1.25	0.524	6.5	0.135
1.5	0.45	7	0.13
2	0.35	7.5	0.125
2.5	0.275	8	0.12
3	0.225	8.5	0.115
3.5	0.2	9	0.11
4	0.185	9.5	0.105
4.5	0.17	10	0.1
5	0.16	10.5	0.095
5.5	0.15	11	0.09
6	0.14	11.5	0.085

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Tabella 8: Fattore di distribuzione della temperatura c per involucri senza aperture di ventilazione e con una superficie di raffreddamento effettiva A_e > 1.25 m²

$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$	Tipo di installazione				
	1	2	3	4	5
0.6	1.225	1.21	1.19	1.17	1.113
1	1.24	1.225	1.21	1.185	1.14
1.5	1.265	1.245	1.23	1.21	1.17
2	1.285	1.27	1.25	1.23	1.19
2.5	1.31	1.29	1.275	1.25	1.21
3	1.325	1.31	1.295	1.27	1.23
3.5	1.35	1.33	1.315	1.29	1.255
4	1.37	1.355	1.34	1.32	1.275
4.5	1.395	1.375	1.36	1.34	1.295
5	1.415	1.395	1.38	1.36	1.32
5.5	1.435	1.415	1.4	1.38	1.34
6	1.45	1.435	1.42	1.395	1.355
6.5	1.47	1.45	1.435	1.41	1.37
7	1.48	1.47	1.45	1.43	1.39
7.5	1.495	1.48	1.465	1.44	1.4
8	1.51	1.49	1.475	1.455	1.415
8.5	1.52	1.505	1.49	1.47	1.43
9	1.535	1.52	1.5	1.48	1.44
9.5	1.55	1.53	1.515	1.49	1.455
10	1.56	1.54	1.52	1.5	1.47
10.5	1.57	1.55	1.535	1.51	1.475
11	1.575	1.565	1.549	1.52	1.485
11.5	1.585	1.57	1.55	1.525	1.49
12	1.59	1.58	1.56	1.535	1.5
12.5	1.6	1.585	1.57	1.54	1.51

dove h è l'altezza dell'involucro, e Ab è la superficie della base.
Per "Tipo di installazione":

	Tipo di installazione n°	
1	Involucro separato, esposto su tutti i lati	
2	Primo o ultimo involucro, di tipo esposto	
3	Involucro separato per montaggio a muro	
	Involucro centrale, di tipo esposto	
4	Primo o ultimo involucro, di tipo montaggio a muro	
	Involucro centrale per montaggio a muro e lato superiore coperto	
5	Involucro centrale, di tipo montaggio a muro	

1SDC008069F0001

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Tabella 9: Costante d'involucro k per involucri con aperture di ventilazione e una superficie di raffreddamento effettiva A_e > 1.25 m²

Apertura di ventilazione	A_e [m²]												
in cm²	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	8	10	12	14
50	0.36	0.33	0.3	0.28	0.26	0.24	0.22	0.208	0.194	0.18	0.165	0.145	0.135
100	0.293	0.27	0.25	0.233	0.22	0.203	0.187	0.175	0.165	0.153	0.14	0.128	0.119
150	0.247	0.227	0.21	0.198	0.187	0.173	0.16	0.15	0.143	0.135	0.123	0.114	0.107
200	0.213	0.196	0.184	0.174	0.164	0.152	0.143	0.135	0.127	0.12	0.11	0.103	0.097
250	0.19	0.175	0.165	0.155	0.147	0.138	0.13	0.121	0.116	0.11	0.1	0.095	0.09
300	0.17	0.157	0.148	0.14	0.133	0.125	0.118	0.115	0.106	0.1	0.093	0.088	0.084
350	0.152	0.141	0.135	0.128	0.121	0.115	0.109	0.103	0.098	0.093	0.087	0.082	0.079
400	0.138	0.129	0.121	0.117	0.11	0.106	0.1	0.096	0.091	0.088	0.081	0.078	0.075
450	0.126	0.119	0.111	0.108	0.103	0.099	0.094	0.09	0.086	0.083	0.078	0.074	0.07
500	0.116	0.11	0.104	0.1	0.096	0.092	0.088	0.085	0.082	0.078	0.073	0.07	0.067
550	0.107	0.102	0.097	0.093	0.09	0.087	0.083	0.08	0.078	0.075	0.07	0.068	0.065
600	0.1	0.095	0.09	0.088	0.085	0.082	0.079	0.076	0.073	0.07	0.067	0.065	0.063
650	0.094	0.09	0.086	0.083	0.08	0.077	0.075	0.072	0.07	0.068	0.065	0.063	0.061
700	0.089	0.085	0.08	0.078	0.076	0.074	0.072	0.07	0.068	0.066	0.064	0.062	0.06

Tabella 10: Fattore distribuzione della temperatura c per involucri con aperture di ventilazione e una superficie di raffreddamento effettiva A_e > 1.25 m²

$$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$$

Apertura di ventilazione										
in cm²	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	1.3	1.35	1.43	1.5	1.57	1.63	1.68	1.74	1.78	1.83
100	1.41	1.46	1.55	1.62	1.68	1.74	1.79	1.84	1.88	1.92
150	1.5	1.55	1.63	1.69	1.75	1.8	1.85	1.9	1.94	1.97
200	1.56	1.61	1.67	1.75	1.8	1.85	1.9	1.94	1.97	2.01
250	1.61	1.65	1.73	1.78	1.84	1.88	1.93	1.97	2.01	2.04
300	1.65	1.69	1.75	1.82	1.86	1.92	1.96	2	2.03	2.06
350	1.68	1.72	1.78	1.85	1.9	1.94	1.97	2.02	2.05	2.08
400	1.71	1.75	1.81	1.87	1.92	1.96	2	2.04	2.07	2.1
450	1.74	1.77	1.83	1.88	1.94	1.97	2.02	2.05	2.08	2.12
500	1.76	1.79	1.85	1.9	1.95	1.99	2.04	2.06	2.1	2.13
550	1.77	1.82	1.88	1.93	1.97	2.01	2.05	2.08	2.11	2.14
600	1.8	1.83	1.88	1.94	1.98	2.02	2.06	2.09	2.12	2.15
650	1.81	1.85	1.9	1.95	1.99	2.04	2.07	2.1	2.14	2.17
700	1.83	1.87	1.92	1.96	2	2.05	2.08	2.12	2.15	2.18

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Tabella 11: Costante dell'involucro k per involucri senza aperture di ventilazione e con una superficie di raffreddamento effettiva $A_e \leq 1.25$ m²

A_e [m²]	k	A_e [m²]	k
0.08	3.973	0.65	0.848
0.09	3.643	0.7	0.803
0.1	3.371	0.75	0.764
0.15	2.5	0.8	0.728
0.2	2.022	0.85	0.696
0.25	1.716	0.9	0.668
0.3	1.5	0.95	0.641
0.35	1.339	1	0.618
0.4	1.213	1.05	0.596
0.45	1.113	1.1	0.576
0.5	1.029	1.15	0.557
0.55	0.960	1.2	0.540
0.6	0.9	1.25	0.524

Tabella 12: Fattore distribuzione della temperatura c per involucri senza aperture di ventilazione e con una superficie di raffreddamento effettiva $A_e \leq 1.25$ m²

g	c	g	c
0	1	1.5	1.231
0.1	1.02	1.6	1.237
0.2	1.04	1.7	1.24
0.3	1.06	1.8	1.244
0.4	1.078	1.9	1.246
0.5	1.097	2	1.249
0.6	1.118	2.1	1.251
0.7	1.137	2.2	1.253
0.8	1.156	2.3	1.254
0.9	1.174	2.4	1.255
1	1.188	2.5	1.256
1.1	1.2	2.6	1.257
1.2	1.21	2.7	1.258
1.3	1.22	2.8	1.259
1.4	1.226		

dove g è il rapporto tra altezza e larghezza dell'involucro

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Potenza dissipata in W (3/4 poli)

Tabella 13: potenza dissipata con interruttori scatolati Tmax

Sganciatore	In[A]	T11P	T1	T2		T3		T4		T5		T6		T7 S,H,L		T7 V	
		F	F	F	P	F	P	F	P/W	F	P/W	F	W	F	W	F	W
	1			4.5	5.1												
	1.6			6.3	7.5												
	2			7.5	8.7												
	2.5			7.8	9												
	3.2			8.7	10.2												
	4			7.8	9												
	5			8.7	10.5												
	6.3			10.5	12.3												
	8			8.1	9.6												
	10			9.3	10.8												
	12.5			3.3	3.9												
	16	1.5	4.5	4.2	4.8												
TMF	20	1.8	5.4	5.1	6			10.8	10.8								
TMD	25	2	6	6.9	8.4												
TMA	32	2.1	6.3	8.1	9.6			11.1	11.1								
MF	40	2.6	7.8	11.7	13.8												
MA	50	3.7	11.1	12.9	15			11.7	12.3								
	63	4.3	12.9	15.3	18	12.9	15.3										
	80	4.8	14.4	18.3	21.6	14.4	17.4	13.8	15								
	100	7	21	25.5	30	16.8	20.4	15.6	17.4								
	125	10.7	32.1	36	44.1	19.8	23.7	18.6	21.6								
	160	15	45	51	60	23.7	28.5	22.2	27								
	200					39.6	47.4	29.7	37.2								
	250					53.4	64.2	41.1	52.8								
	320									40.8	62.7						
	400									58.5	93						
	500									86.4	110.1						
	630											91.8	90				
	800											93	118.8				
	10			1.5	1.8												
	25			3	3.6												
	63			10.5	12												
	100			24	27.6			5.1	6.9								
	160			51	60			13.2	18								
PR21...	250							32.1	43.8								
PR22...	320							52.8	72	31.8	53.7						
PR33...	400									49.5	84			15	27	24	36
	630									123	160.8	90	115	36	66	60	90
	800											96	124.8	57.9	105.9	96	144
	1000											150		90	165	150	225
	1250													141	258	234.9	351.9
	1600													231	423		

I valori indicati nella tabella si riferiscono a carichi equilibrati, con correnti nelle fasi pari a In, e sono validi per interruttori e per interruttori di manovra-sezionatori sia tripolari che tetrapolari. Per questi ultimi, la corrente del neutro è nulla per definizione.

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Potenza dissipata in W (3/4 poli)

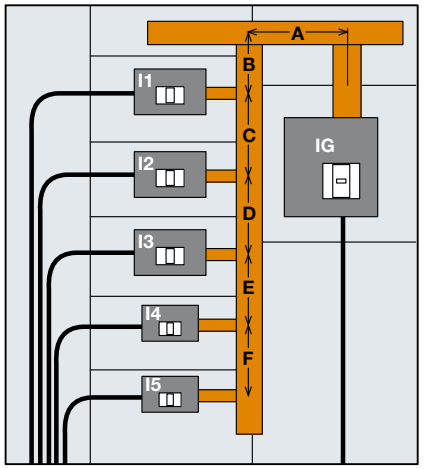
Tabella 14: potenza dissipata con interruttori aperti Emax

	X1-BN		X1-L		E1B-N		E2B-N-S		E2L		E3N-S-H-V		E3L		E4S-H-V		E6H-V	
	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W
In=630	31	60	61	90														
In=800	51	104	99	145	65	95	29	53			22	36						
In=1000	79	162	155	227	96	147	45	83			38	58						
In=1250	124	293	242	354	150	230	70	130	105	165	60	90						
In=1600	209	415			253	378	115	215	170	265	85	150						
In=2000							180	330			130	225	215	330				
In=2500											205	350	335	515				
In=3200											330	570			235	425	170	290
In=4000															360	660	265	445
In=5000																	415	700
In=6300																	650	1100

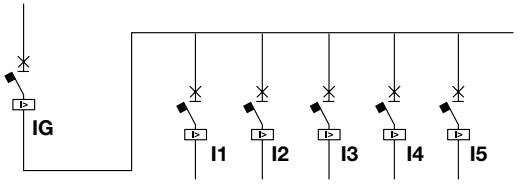
Esempio

Segue un esempio di valutazione dell'aumento di temperatura per un quadro con le seguenti caratteristiche:
- involucro senza aperture di ventilazione
- nessuna segregazione interna
- involucro separato per montaggio a muro
- un interruttore principale
- 5 interruttori per alimentazione del carico
- barre e sistemi di cavi

Involucro

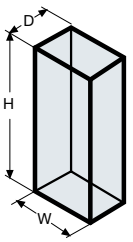


Schema elettrico



Dimensioni [mm]

Altezza	Larghez.	Prof.	Numero di diaframmi orizzontali = 0
2000	1440	840	Involucro separato per montaggio a parete



Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Le perdite di potenza di ogni componente del suddetto quadro sono valutate qui di seguito.
Per gli interruttori, le perdite di potenza sono calcolate come $P = Pn \left(\frac{Ib}{In}\right)^2$ con In e Pn dati nelle Tabelle 14 e 15.
La seguente tabella mostra i valori relativi a ciascun interruttore del quadro in questione:

Interruttore		In [A]	Ib [A]	Perdite di potenza [W]
IG	E2 1600 EL	1600	1340	80.7
I1	T5 400 EL	400	330	33.7
I2	T5 400 EL	400	330	33.7
I3	T5 400 EL	400	330	33.7
I4	T3 250 TMD	250	175	26.2
I5	T3 250 TMD	250	175	26.2
Perdita di potenza totale degli interruttori [W]				**234**

Per le barre, le perdite di potenza sono calcolate come $P = Pn \left(\frac{Ib}{In}\right)^2 \cdot (3 \cdot Lungh.)$ con In e Pn dati nella Tabella 2.
La seguente tabella mostra le perdite di potenza delle barre:

Barre	Sezione trasversale nx[mm]x[mm]	Lunghezza [m]	Ib [A]	Perdite di potenza [W]
A	2x60x10	0.393	1340	47.2
B	80x10	0.332	1340	56
C	80x10	0.300	1010	28.7
D	80x10	0.300	680	13
E	80x10	0.300	350	3.5
F	80x10	0.300	175	0.9
Perdita di potenza totale delle sbarre [W]				**149**

Per i conduttori nudi che collegano le sbarre agli interruttori, le perdite di potenza sono calcolate come $P = Pn \left(\frac{Ib}{In}\right)^2 \cdot (3 \cdot Lungh)$, con In e Pn dati nella Tabella 2. Qui di seguito i valori per ogni sezione:

Collegamento dei conduttori	Sezione trasversale nx[mm]x[mm]	Lunghezza [m]	Ib [A]	Perdite di potenza [W]
Ig	2x60x10	0.450	1340	54
I1	30x10	0.150	330	3.8
I2	30x10	0.150	330	3.8
I3	30x10	0.150	330	3.8
I4	20x10	0.150	175	1.6
I5	20x10	0.150	175	1.6
Perdita di potenza totale dei conduttori nudi [W]				**68**

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Per i cavi che collegano gli interruttori all'alimentazione e ai carichi, le perdite di potenza sono calcolate come $P = Pn \left(\frac{Ib}{In}\right)^2 \cdot (3 \cdot Lungh)$, con In e Pn dati nella Tabella 4.

Qui di seguito le perdite di potenza per ogni collegamento:

Cavi	Sezione trasversale [n]xmm^2	Lunghezza [m]	Ib [A]	Perdite di potenza [W]
IG	4x240	1.0	1340	133.8
I1	240	2.0	330	64.9
I2	240	1.7	330	55.2
I3	240	1.4	330	45.4
I4	120	1.1	175	19
I5	120	0.8	175	13.8
Perdita di potenza totale dei cavi [W]				**332**

Così la perdita di potenza totale all'interno dell'involucro è: **P = 784 [W]**

Dalle dimensioni geometriche del quadro, la superficie effettiva di raffreddamento Ae è determinata qui di seguito:

	Dimensioni [m]x[m]	A_0[m^2]	b fattore	A_0
Superiore	0.840x1.44	1.21	1.4	1.69
Anteriore	2x1.44	1.64	0.9	2.59
Posteriore	2x1.44	1.64	0.5	1.44
Sinistra	2x0.840	1.68	0.9	1.51
Destra	2x0.840	1.68	0.9	1.51
			Ae=$\Sigma(A_0 \cdot b)$	8.75

Facendo riferimento alla procedura descritta nel diagramma a pagina 348, è possibile valutare l'aumento di temperatura all'interno del quadro.

Appendice B: Verifica della sovratemperatura secondo la IEC 60890

Dalla Tabella 7, k risulta 0,112 (valore interpolato)

Poiché x = 0.804, l'aumento di temperatura a metà altezza dell'involucro è:

$\Delta t_{0.5} = d \cdot k \cdot P^x = 1 \cdot 0.112 \cdot 784^{0.804} = 23.8$ k

Per la valutazione dell'aumento di temperatura in cima all'involucro, è necessario determinare il fattore c usando il fattore *f*:

$f = \frac{h^{1.35}}{A_b} = \frac{2^{1.35}}{1.44 \cdot 0.84} = 2.107$ (A_b è la superficie della base del quadro)

Dalla Tabella 8, colonna 3 (involucro separato per montaggio a parete), c risulta uguale a1,255 (valore interpolato).

$\Delta t_1 = c \cdot \Delta t_{0.5} = 1.255 \cdot 23.8 = 29.8$ k

Considerando una temperatura ambiente di 35°C, come prescritto dalla Norma, all'interno dell'involucro saranno raggiunte le seguenti temperature:

$t_{0.5} = 35 + 23.8 \approx 59$°C
$t_1 = 35 + 29.8 \approx 65$°C

Assumendo che il declassamento in portata dovuto alla temperatura degli interruttori all'interno del quadro può essere paragonato al declassamento in portata per una temperatura ambiente diversa da 40°C, tramite le tabelle del Capitolo 3.5, è possibile verificare se gli interruttori selezionati possono portare le correnti richieste:

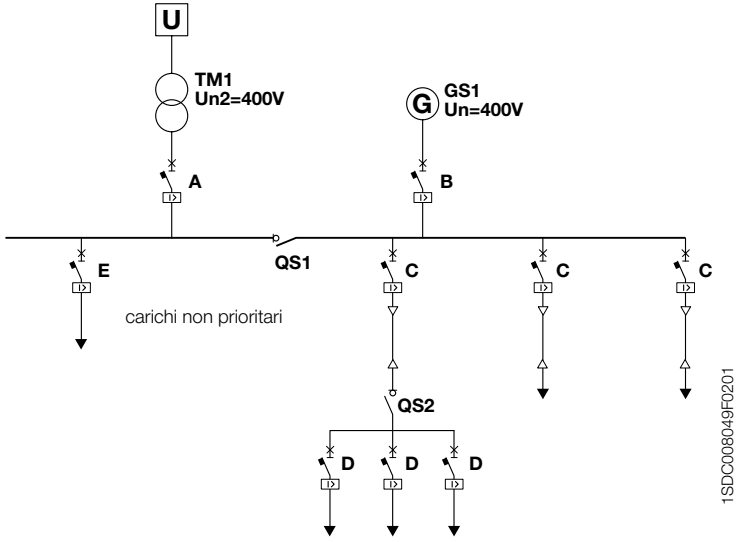
E2 1600 at 65°C In=1538 [A] > Ig = 1340 [A]
T5 400 at 65°C In=384 [A] > I1 = I2 = I3 = 330 [A]
T3 250 at 60° C In=216 [A] > I4 = I5 = 175 [A]

Appendice C: Esempi di applicazione Funzioni avanzate di protezione con gli sganciatori PR123/P e PR333/P

Dual Setting

Grazie ai nuovi sganciatori PR123 e PR333, è possibile programmare due set distinti di parametri e, tramite un comando esterno, commutare da uno all'altro.
Questa funzione è utile, quando c'è una sorgente di emergenza (generatore) nel sistema, che fornisce tensione solo nel caso di mancanza di tensione sul lato rete.

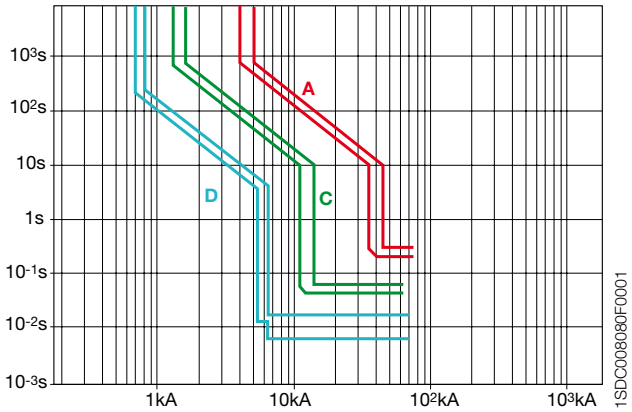
Esempio:
Nel sistema descritto di seguito, nel caso di mancanza di tensione sulla rete, tramite il gruppo di commutazione automatica ABB SACE ATS010, è possibile commutare l'alimentazione dalla rete al gruppo elettrogeno d'emergenza e disinserire i carichi non prioritari con l'apertura dell'interruttore di manovra-sezionatore QS1.
In condizioni normali di servizio dell'impianto, con alimentazione dalla rete principale, gli interruttori C sono settati in modo da essere selettivi sia con l'interruttore A a monte sia con gli interruttori D a valle.
Commutando dalla rete al gruppo elettrogeno d'emergenza, l'interruttore B diventa l'interruttore a monte degli interruttori C.
Questo interruttore, essendo a protezione di un generatore, deve essere settato per tempi d'intervento più brevi di A e perciò i valori di settaggio degli interruttori a valle potrebbero non garantire la selettività con B.
Tramite la funzione "Dual setting" degli sganciatori PR123 e PR 333, è possibile commutare gli interruttori C da un set di parametri che garantisce la selettività con A, ad un'altro set che garantisce la selettività con B.
Comunque, questi nuovi settaggi potrebbero rendere la combinazione degli interruttori C con gli interruttori D a valle non selettiva.



Appendice C: Esempi di applicazione Funzioni avanzate di protezione con gli sganciatori PR123/P e PR333/P

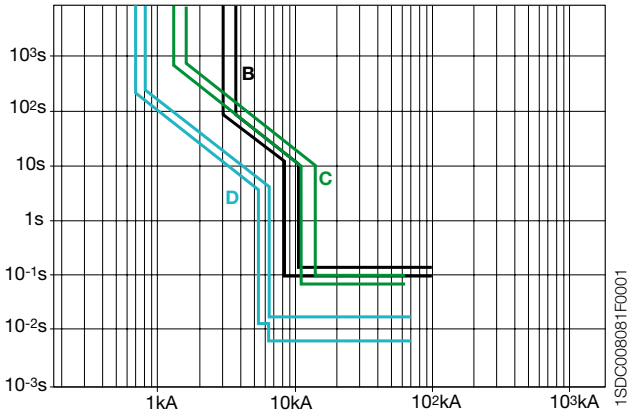
La figura mostra le curve tempo-corrente degli interruttori posti a protezione dell'impianto in condizioni normali di servizio.
Con i valori impostati non si ha nessuna intersezione delle curve.

Curve Tempo corrente



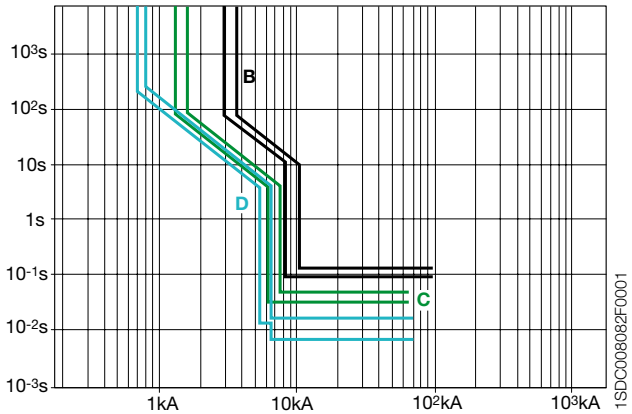
La figura mostra la situazione in cui, a commutazione avvenuta, l'alimentazione è fornita dal gruppo elettrogeno attraverso l'interruttore B. Se i settaggi degli interruttori C non sono modificati, si ha la perdita di selettività con l'interruttore generale B.

Curve Tempo corrente



Quest'ultima figura mostra come tramite la funzione "Dual setting" è possibile passare ad un set di parametri che garantisce la selettività degli interruttori C con l'interruttore B.

Curve Tempo corrente



Appendice C: Esempi di applicazione Funzioni avanzate di protezione con gli sganciatori PR123/P e PR333/P

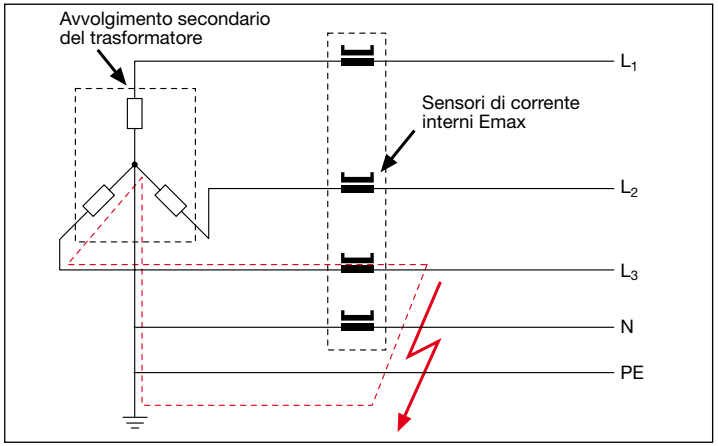
Doppia G

Gli interruttori tipo Emax, equipaggiati con gli sganciatori elettronici PR123 e PR333, mettono a disposizione due curve indipendenti per la protezione G:
- una per la protezione interna (funzione G senza toroide esterno);
- una per la protezione esterna (funzione G con toroide esterno)

Un'applicazione tipica della funzione doppia G consiste nella protezione simultanea sia contro i guasti a terra al secondario del trasformatore e sui cavi di collegamento ai terminali dell'interruttore (protezione di terra ristretta), che dai guasti a terra al lato carico dell'interruttore (protezione di terra non ristretta).

Esempio:
La figura 1 mostra un guasto a terra a valle di un interruttore Emax: la corrente di guasto passa attraverso una sola fase e, se la somma vettoriale delle correnti rilevate dai quattro trasformatori amperometrici (TA) risulta superiore alla soglia impostata, lo sganciatore elettronico comanda l'intervento della funzione G (e l'interruttore interviene).

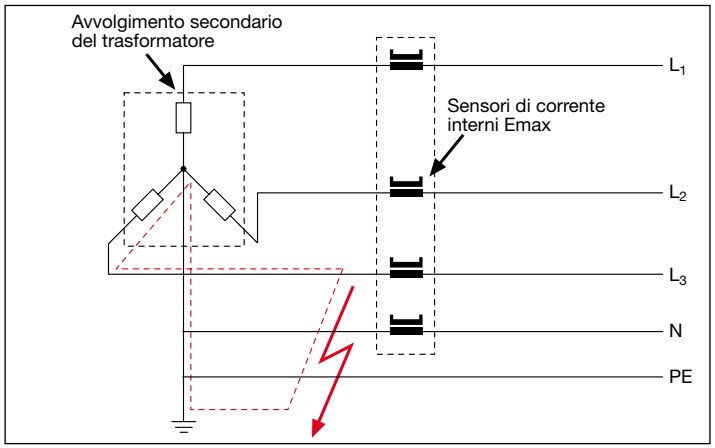
Figura 1



Appendice C: Esempi di applicazione Funzioni avanzate di protezione con gli sganciatori PR123/P e PR333/P

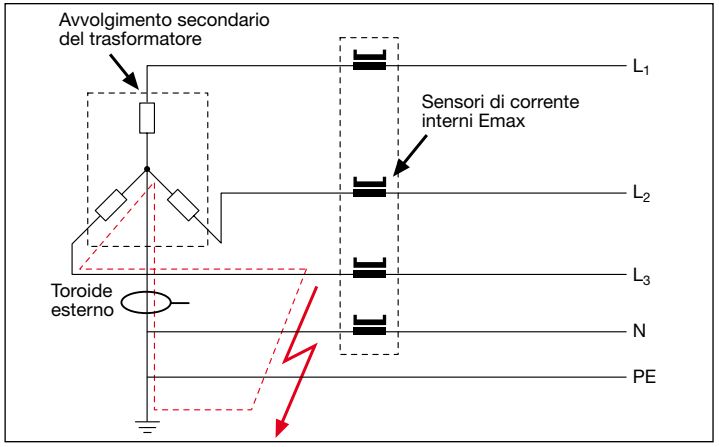
Con la stessa configurazione, un guasto a monte dell'interruttore (Figura 2) non causa l'intervento della funzione G poiché la corrente di guasto non influenza né il TA della fase né quello del neutro.

Figura 2



L'utilizzo della funzione "doppia G" permette l'installazione di un toroide esterno, come mostrato in Figura 3, in modo da rilevare anche i guasti a terra a monte dell'interruttore Emax. In questo caso, si sfrutta il contatto d'allarme della seconda G, in modo da comandare l'intervento dell'interruttore posto al primario e garantire l'eliminazione del guasto.

Figura 3

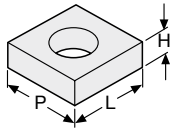


Appendice C: Esempi di applicazione Funzioni avanzate di protezione con gli sganciatori PR123/P e PR333/P

Se, con la stessa configurazione di Figura 3, il guasto si verificasse a valle dell'interruttore Emax, la corrente di guasto interesserebbe sia il toroide sia i sensori di corrente sulle fasi. Per definire quale interruttore deve intervenire (interruttore di MT o BT), è necessario un coordinamento idoneo dei tempi d'intervento: in particolare, è necessario impostare i tempi in modo che l'apertura dell'interruttore di BT, dovuta alla funzione G interna, sia più veloce dell'attuazione del segnale d'allarme proveniente dal toroide esterno. In tal modo, grazie alla selettività cronometrica tra le due funzioni di protezione G, prima che l'interruttore di MT posto sul primario del trasformatore riceva il comando d'intervento, l'interruttore sul lato BT è in grado di eliminare il guasto a terra.
Ovviamente, se il guasto si fosse verificato a monte dell'interruttore di BT, sarebbe intervenuto solo l'interruttore sul lato MT.

La tabella mostra le caratteristiche principali della gamma di toroidi (disponibili solo nella versione chiusa).

Caratteristiche della gamma di toroidi

Corrente nominale	**100 A, 250 A, 400 A, 800 A**
Dimensioni esterne del toroide	
	P = 165 mm L = 160 mm H = 112 mm
Diametro interno del toroide	Ø = 112 mm

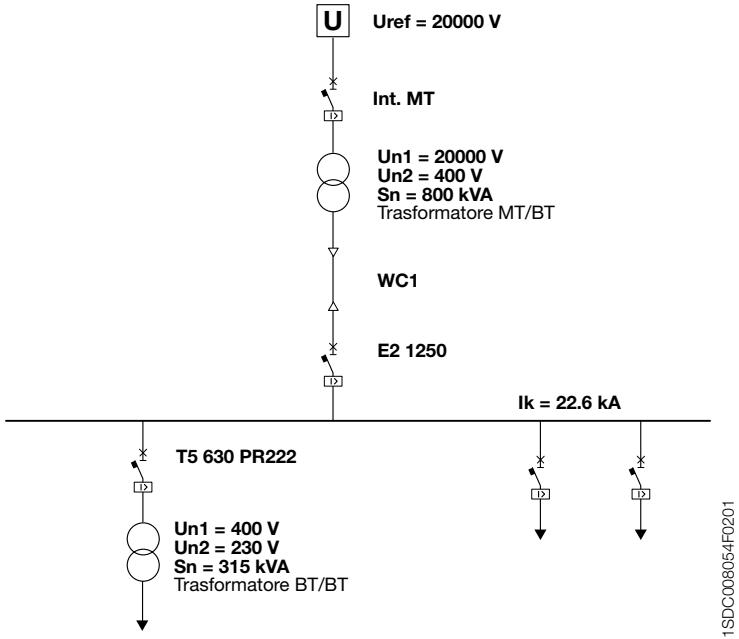
1SDC008053F0201

Appendice C: Esempi di applicazione Funzioni avanzate di protezione con gli sganciatori PR123/P e PR333/P

Doppia S

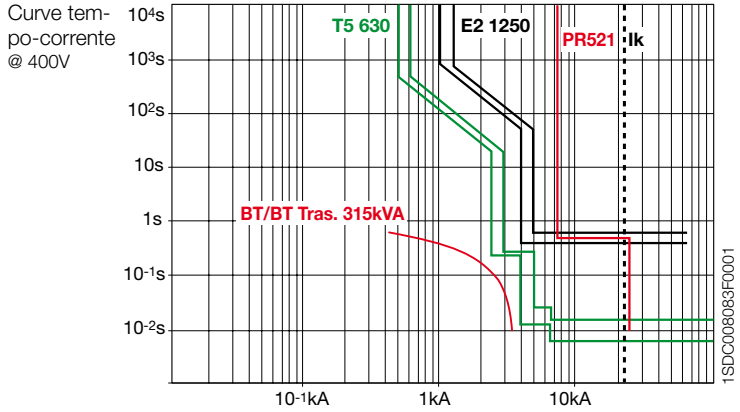
Grazie ai nuovi sganciatori PR123 e PR333, che permettono di settare due soglie di protezione S indipendenti e attive contemporaneamente, è possibile ottenere selettività anche in condizioni molto critiche.
Ecco un esempio di come, usando il nuovo sganciatore, è possibile ottenere un maggior livello di selettività rispetto all'utilizzo di uno sganciatore senza la "doppia S".
Di seguito è riportato lo schema elettrico del sistema in esame; in particolare si può osservare:

- la presenza, a monte, di un interruttore di MT, che impone, per ragioni di selettività, tarature basse per l'interruttore Emax posto sul lato BT.
- la presenza di un trasformatore BT/BT che comporta, a causa delle correnti di magnetizzazione, settaggi alti per gli interruttori posti a monte del trasformatore stesso



Appendice C: Esempi di applicazione Funzioni avanzate di protezione con gli sganciatori PR123/P e PR333/P

Soluzione con uno sganciatore senza la "doppia S"



Int. MT (PR521)

50	(I>): 50A	t=0.5s
51	(I>>): 500A	t=0s

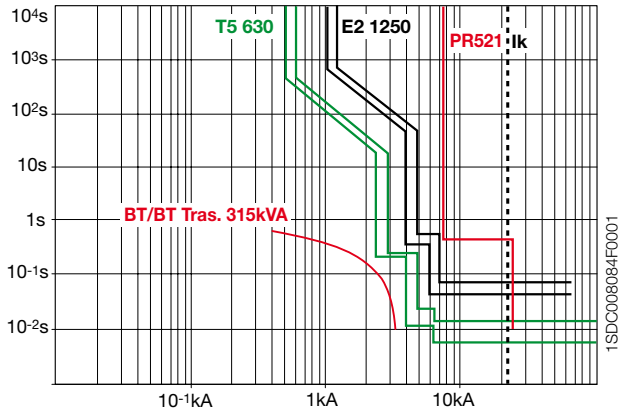
		E2N 1250 PR122 LSIG R1250	T5V 630 PR222DS/P LSIG R630
L	Settaggio	0.8	0.74
	Curva	108s	12s
S t=costante	Settaggio	3.5	4.2
	Curva	0.5s	0.25s
I	Settaggio	OFF	7

Con questa soluzione, in caso di corto circuito, si avrebbe l'apertura contemporanea dell'interruttore Emax E2 e dell'interruttore di MT. Si deve prestare attenzione al fatto che, a causa del valore della Ik, la funzione I dell'interruttore E2 deve essere disabilitata (I3=OFF) per avere selettività con il T5 a valle.

Appendice C: Esempi di applicazione Funzioni avanzate di protezione con gli sganciatori PR123/P e PR333/P

Soluzione con lo sganciatore PR123 con la “doppia S”

Curve tempo-corrente @ 400V



Int. MT (PR521)

50	(I>):	50A	t=0.5s
51	(I>>):	500A	t=0s

		E2N 1250 PR123 LSIG R1250	T5V 630 PR222DS/P LSIG R630
L	Settaggio	0.8	0.74
	Curva	108s	12s
S t=costante	Settaggio	3.5	4.2
	Curva	0.5s	0.25s
S2 t=costante	Settaggio	5	-
	Curva	0.05s	-
I	Settaggio	OFF	7

Come si può notare, tramite la funzione “doppia S”, si riesce ad avere selettività sia con l’interruttore T5 posto a valle, sia con l’interruttore di MT posto a monte.
Un ulteriore vantaggio, che si ottiene utilizzando la funzione “doppia S”, è la riduzione del tempo di permanenza di correnti elevate in caso di corto circuito, che porta a minori sollecitazioni termiche e dinamiche per le sbarre e gli altri componenti dell’impianto.

Per tener conto dell'evoluzione delle Norme e dei materiali, le caratteristiche e le dimensioni di ingombro indicate nel presente catalogo si potranno ritenere impegnative solo dopo conferma da parte di ABB SACE.

1SDC008001D0901 12/07
Printed in Italy

ABB SACE
Una divisione di ABB S.p.A.

Interruttori B.T.
Via Baioni, 35
24123 Bergamo
Tel.: 035.395.111 - Telefax: 035.395.306-433

member of voltimum .it

BUSINESS on line

http://bol.it.abb.com

Tutte le soluzioni
per la Bassa Tensione
e l'Automazione.

Electrical installation handbook
Volume 2

1ª edizione italiana

Protezione degli impianti

1SDC010001D0901

Electrical installation handbook

Volume 2

Protezione degli impianti

1a edizione italiana
Dicembre 2007

Pubblicato da ABB SACE
via Baioni, 35 - 24123 Bergamo

Tutti i diritti riservati

LINGUA	ANNO	EDIZIONE
Inglese	2003	Prima
	2004	Seconda
	2005	Terza
	2006	Quarta
	2007	Quinta
Spagnolo	2004	Prima
Italiano	2007	Prima

Indice

Introduzione 2

1 Norme
1.1 Aspetti generali 3
1.2 Norme IEC per gli impianti elettrici 15
2 Protezione dei circuiti di alimentazione
2.1 Introduzione 22
2.2 Installazione e dimensionamento dei cavi 25
2.2.1 Portata e modalità di posa 25
Posa non interrata: scelta della sezione in funzione della portata del cavo e del tipo di posa 31
Posa interrata: scelta della sezione in funzione della portata e del tipo di posa 44
2.2.2 Cadute di tensione 56
2.2.3 Perdite per effetto Joule 66
2.3 Protezione contro la corrente di sovraccarico 67
2.4 Protezione contro il cortocircuito 70
2.5 Conduttori di neutro e di protezione 82
2.6 Condotti sbarre (BTS) 90
3 Protezione delle apparecchiature elettriche
3.1 Protezione e manovra di circuiti di illuminazione 105
3.2 Protezione e manovra di generatori 114
3.3 Protezione e manovra di motori 119
3.4 Protezione e manovra di trasformatori 139
4 Rifasamento
4.1 Aspetti generali 156
4.2 Tipi di rifasamento 162
4.3 Interruttori per la protezione e la manovra di batterie di condensatori 169
5 Protezione di persone
5.1 Aspetti generali: effetti della corrente elettrica sul corpo umano 172
5.2 Sistemi di distribuzione 174
5.3 Protezione contro i contatti diretti e indiretti 177
5.4 Sistema di distribuzione TT 180
5.5 Sistema di distribuzione TN 182
5.6 Sistema di distribuzione IT 183
5.7 Dispositivi a corrente differenziale 185
5.8 Lunghezza massima protetta per la protezione di persone 188
6 Calcolo della corrente di cortocircuito
6.1 Aspetti generali 205
6.2 Tipologie di guasto 205
6.3 Determinazione della corrente di cortocircuito: "metodo delle potenze" 207
6.3.1 Calcolo della potenza di cortoircuito per i diversi elementi dell'impianto 207
6.3.2 Calcolo della potenza del cortocircuito nel punto del guasto 210
6.3.3 Calcolo della corrente di cortocircuito 211
6.3.4 Esempi 213
6.4 Determinazione della corrente di cortocircuito Ik a valle di un cavo in funzione di quella a monte 217
6.5 Algebra delle sequenze 219
6.5.1 Aspetti generali 219
6.5.2 Circuiti di sequenza diretta, inversa e omopolare 220
6.5.3 Calcolo della corrente di cortocircuito con l'algebra delle sequenze 221
6.5.4 Impedenze dirette inverse e omopolari dei componenti elettrici 224
6.5.5 Formule per il calcolo della corrente di guasto in funzione dei parametri elettrici dell'impianto 227
6.6 Calcolo del valore di picco della corrente di cortocircuito 230
6.7 Considerazioni sul contributo al cortocircuito degli UPS (gruppi di continuità) 231

Appendice A: Protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8 234
Appendice B: Calcolo della corrente di impiego I_b 241
Appendice C: Armoniche 245
Appendice D: Calcolo del coefficiente k per i cavi 253
Appendice E: Principali grandezze fisiche e formule elettrotecniche 257

Introduzione

Scopo ed obiettivi

Lo scopo di questo manuale per gli impianti elettrici è fornire al progettista e all'utilizzatore di impianti elettrici uno strumento di lavoro di rapida consultazione ed immediato utilizzo. Non vuole essere né una trattazione teorica, né un catalogo tecnico, ma, in aggiunta a quest'ultimo, mira ad essere d'aiuto nella corretta definizione delle apparecchiature, per le più comuni applicazioni impiantistiche.

Il dimensionamento di un impianto elettrico richiede la conoscenza di numerosi fattori, relativi per esempio, agli impianti utilizzatori, alle condutture elettriche e ad altri componenti; tali conoscenze comportano da parte del progettista la consultazione di numerosi documenti e cataloghi tecnici. Questo manuale, invece, ha l'obiettivo di fornire, in un unico documento, le tabelle per la definizione rapida dei principali parametri dei componenti dell'impianto elettrico e per la scelta dei dispositivi di protezione nelle diverse applicazioni impiantistiche. Vengono inclusi alcuni esempi applicativi per aiutare la comprensione delle tabelle di scelta.

Destinatari del manuale

Il manuale per gli impianti elettrici rappresenta uno strumento idoneo per tutti coloro che si occupano di impianti elettrici: può risultare utile sia all'installatore sia al tecnico della manutenzione tramite brevi ma importanti riferimenti elettrotecnici, oppure per il tecnico-commerciale grazie alle tabelle di scelta rapida.

Validità del manuale

Alcune tabelle riportano dei valori approssimati dovuti alla generalizzazione del processo di selezione, per esempio per ciò che riguarda le caratteristiche costruttive delle macchine elettriche. In ogni caso, ove possibile, vengono forniti i coefficienti di correzione per riportarsi a condizioni reali differenti da quelle ipotizzate. Le tabelle sono state sempre redatte in modo conservativo, a favore della sicurezza; per un calcolo più accurato, si consiglia di utilizzare il software DOCWin per il dimensionamento degli impianti elettrici.

1 Norme

1.1 Aspetti generali

In ogni campo tecnico, e in particolare nel settore elettrico, condizione sufficiente (anche se non necessaria) per la realizzazione di impianti a **"regola d'arte"**, e come requisito fondamentale per soddisfare correttamente le esigenze della committenza e della collettività, è il rispetto di tutte le relative norme giuridiche e tecniche.
Una conoscenza precisa delle norme è quindi il presupposto fondamentale per un approccio corretto alle problematiche degli impianti elettrici che devono essere realizzati in modo da garantire quel **"livello di sicurezza accettabile"** che non potrà mai essere assoluto.

Norme giuridiche
Sono tutte le norme dalle quali derivano le regole di comportamento per tutti quei soggetti che si trovano nell'ambito di sovranità di quello Stato.

Norme tecniche
Queste norme sono l'insieme delle prescrizioni in base alle quali devono essere progettate, costruite e collaudate le macchine, le apparecchiature, i materiali e gli impianti affinché sia garantita l'efficienza e la sicurezza di funzionamento.
Le norme tecniche, emanate da organismi nazionali ed internazionali, sono redatte in modo circostanziato e possono assumere rilevanza giuridica quando la stessa viene loro attribuita da una provvedimento legislativo.

	Campi di applicazione		
	Elettrotecnica ed Elettronica	**Telecomunicazioni**	**Meccanica, Ergonomia e Sicurezza**
Organismo internazionale	IEC	ITU	ISO
Organismo europeo	CENELEC	ETSI	CEN

Nel presente manuale sono presi in considerazione solo gli organismi del settore elettrico ed elettronico.

Comitato Elettrotecnico Internazionale (International Electrotechnical Commission)

Il Comitato Elettrotecnico Internazionale (IEC) è stato fondato ufficialmente nel 1906, con l'obiettivo di garantire la collaborazione internazionale per quanto riguarda la normalizzazione e la certificazione nel settore elettrico ed elettronico. L'associazione è formata dai Comitati Nazionali di oltre 40 nazioni in tutto il mondo.
IEC pubblica norme internazionali, guide tecniche e rapporti tecnici che costituiscono la base o comunque un importante riferimento per qualsiasi attività di normalizzazione nazionale ed europea.
Le norme IEC vengono normalmente pubblicate in due lingue: inglese e francese.
Nel 1991 IEC ha stipulato accordi di collaborazione con CENELEC (organismo europeo di normalizzazione), per la pianificazione comune delle nuove attività normative e per la votazione parallela sui progetti di norma.

1 Norme

CENELEC (Comitato Europeo per la Normalizzazione Elettrotecnica)

Il CENELEC *(Comitato Europeo per la Normalizzazione Elettrotecnica)* è stato istituito nel 1973. Attualmente comprende 30 paesi (Austria, Belgio, Bulgaria, Cipro, Repubblica Ceca, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Ungheria, Irlanda, Islanda, Italia, Latvia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Olanda, Norvegia, Portogallo, Polonia, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Svizzera, Regno Unito) e coopera con 8 affiliati (Albania, Bosnia e Herzegovina, Tunisia, Croazia, Repubblica ex-lugoslava di Macedonia, Serbia e Montenegro, Turchia, Ucraina) che dapprima hanno mantenuto i documenti nazionali in parallelo a quelli CENELEC e poi li hanno sostituiti con i Documenti di Armonizzazione HD).
La differenza tra le Norme EN ed i Documenti di Armonizzazione (HD) sta nel fatto che mentre le prime devono essere recepite dai diversi paesi in maniera identica e senza alcuna aggiunta o modifica, i secondi possono essere emendati per soddisfare particolari requisiti nazionali.
In generale le Norme EN vengono pubblicate in tre lingue: inglese, francese e tedesco.
Dal 1991 CENELEC collabora con IEC per accelerare la procedura di preparazione delle norme internazionali.
CENELEC tratta argomenti specifici, per i quali sussiste l'urgenza di una normazione.
Quando lo studio di un argomento specifico fosse già stato avviato dall'IEC, l'organismo europeo di normalizzazione (CENELEC) può decidere se accettare o, ove necessario, emendare i lavori già approvati dall'ente internazionale.

LE DIRETTIVE COMUNITARIE PER LE APPARECCHIATURE ELETTRICHE

Tra i suoi ruoli istituzionali, la Comunità Europea ha il compito di promulgare le direttive che devono essere adottate dai vari stati membri e quindi convertite in leggi nazionali.
Una volta recepite queste direttive godono di piena validità giuridica e diventano un riferimento per costruttori, installatori, rivenditori a cui spetta adempiere agli obblighi previsti dalla legislazione.
Le direttive si fondono sui seguenti principi:

- l'armonizzazione si limita ai requisiti essenziali;
- solo quei prodotti che rispettano i requisiti essenziali possono essere commercializzati e messi in servizio;
- le norme armonizzate, i cui numeri di riferimento sono pubblicati nella Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee e che sono trasposte nelle norme nazionali, sono ritenute conformi ai corrispondenti requisiti essenziali;
- l'applicazione delle norme armonizzate o di altre specifiche tecniche è facoltativa ed i costruttori sono liberi di scegliere altre soluzioni tecniche che garantiscono la conformità ai requisiti essenziali;
- i costruttori possono scegliere tra le diverse procedure di valutazione della conformità previste nella direttiva applicabile.

Lo scopo di ogni direttiva è di far sì che i costruttori ricorrano ad accorgimenti e misure tali che il prodotto non pregiudichi la sicurezza e la salute delle persone, degli animali e dei beni.

1 Norme

Direttiva "Bassa Tensione" 2006/95/CE

La Direttiva Bassa Tensione si riferisce a tutto il materiale elettrico, destinato ad essere utilizzato ad una tensione nominale da 50 a 1000 V in corrente alternata e da 75 a 1500 V in corrente continua.
In particolare si applica ad ogni dispositivo usato per la produzione, trasformazione, trasmissione, distribuzione ed utilizzo di energia elettrica, come macchine, trasformatori, apparecchi, strumenti di misura, apparecchi di protezione e materiali di cablaggio.
Non rientrano nel campo di applicazione della Direttiva le seguenti categorie di materiali:

- materiali elettrici destinati ad essere utilizzati in ambienti esposti a pericoli di esplosione;
- materiali elettrici per radiologia ed uso clinico;
- parti elettriche di ascensori e montacarichi;
- contatori elettrici;
- prese di corrente (basi e spine) per uso domestico;
- dispositivi di alimentazione di recinti elettrici;
- disturbi radio-elettrici;
- materiali elettrici speciali, destinati ad essere usati sulle navi o sugli aeromobili e per le ferrovie, conformi alle disposizioni di sicurezza stabilite da organismi internazionali cui partecipano gli Stati Membri.

Direttiva EMC 89/336/EEC* ("Compatibilità Elettromagnetica")

(*) La nuova Direttiva 2004/108/CE è diventata effettiva dal 20 Gennaio 2005. Tuttavia, è previsto un periodo di transizione (fino a Luglio 2009) durante il quale è possibile mettere sul mercato apparecchi che sono in accordo alla precedente Direttiva.
È previsto che la nuova Direttiva potrà essere applicata dal 20 Luglio 2007.

La Direttiva sulla Compatibilità Elettromagnetica riguarda tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche nonché i sistemi e le installazioni che contengono componenti elettrici e/o elettronici. In particolare le apparecchiature coperte da queste Direttiva sono suddivise nelle seguenti categorie in base alle loro caratteristiche:

- radioriceventi e telericeventi private;
- apparecchiature industriali;
- apparecchiature radiomobili;
- apparecchiature radiomobili e radiotelefoniche commerciali;
- apparecchiature mediche e scientifiche;
- apparecchiature di tecnologia dell'informazione (ITE);
- elettrodomestici ed apparecchiature elettroniche per uso domestico;
- apparecchi radio per l'aeronautica e la marina;
- apparecchi didattici elettronici;
- reti ed apparecchi di telecomunicazione;
- emittenti di radio e filodiffusione;
- illuminazione e lampade fluorescenti.

Le apparecchiature dovranno essere costruite in modo che:

a) le perturbazioni elettromagnetiche generate siano limitate ad un livello che permetta agli apparecchi radio e di telecomunicazione ed alle altre apparecchiature di funzionare in modo conforme alla loro destinazione d'uso;
b) gli apparecchi abbiano un adeguato livello di immunità intrinseca contro le perturbazioni elettromagnetiche, la quale permetta loro di funzionare in modo conforme alla loro destinazione d'uso.

Un'apparecchiatura è ritenuta conforme ai requisiti previsti nei punti a) e b) quando soddisfa le norme armonizzate specifiche per la sua famiglia di prodotti o, eventualmente, se queste non esistono, le norme generiche.

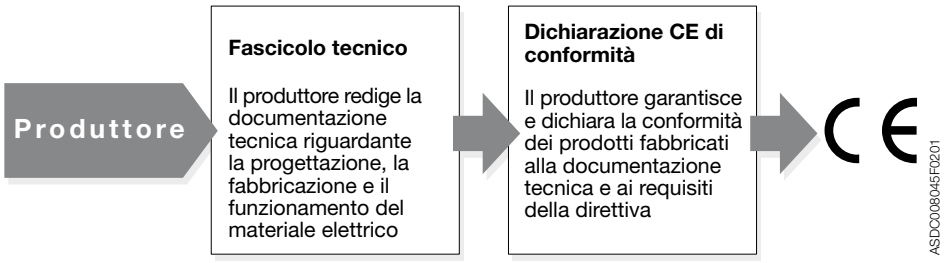
1 Norme

Marcatura di conformità CE

La marcatura CE indica la conformità a tutti gli obblighi imposti ai fabbricanti, in merito ai loro prodotti, in virtù delle direttive della Comunità Europea che ne prevedono l'apposizione.

Quando la marcatura CE viene apposta su un prodotto, essa rappresenta una dichiarazione da parte della persona fisica o giuridica che l'ha apposta o che è responsabile di apporla a conferma che il prodotto è conforme a tutte le disposizioni applicabili in materia e che è stato sottoposto alle procedure di valutazione della conformità del caso. Ciò impedisce agli Stati Membri di porre dei limiti alla commercializzazione e alla messa in servizio di prodotti con marcatura CE, a meno che un tale provvedimento non sia giustificato dalla comprovata non-conformità del prodotto.

Diagramma di flusso per le procedure di valutazione della conformità stabilite nella Direttiva 2006/95/CE relativa al materiale elettrico destinato all'uso entro particolari limiti di tensione:



Omologazioni navali

Le condizioni ambientali che caratterizzano l'impiego di interruttori per applicazioni a bordo possono risultare diverse rispetto alle condizioni di servizio in ambienti industriali terrestri; infatti, l'applicazione marina può richiedere l'installazione in particolari condizioni, quali ad esempio:
- ambienti caratterizzati da temperature e umidità elevate, anche in atmosfera salina (ambiente caldo-umido salino);
- ambienti a bordo nave (sala macchine) dove gli apparecchi lavorano in presenza di vibrazioni caratterizzate da ampiezza e durata rilevanti.

Per assicurare il corretto funzionamento in tali ambienti, i registri navali richiedono che gli apparecchi siano sottoposti a specifiche prove di omologazione, tra le quali, le più significative risultano essere quelle relative alla resistenza alle vibrazioni, a sollecitazione dinamiche, all'umidità, al caldo-secco.

1 Norme

Gli interruttori ABB SACE (Tmax-Emax) sono omologati dai seguenti registri navali:

• **RINA**	Registro Italiano Navale	registro navale italiano
• **DNV**	Det Norske Veritas	registro navale norvegese
• **BV**	Bureau Veritas	registro navale francese
• **GL**	Germanischer Lloyd	registro navale tedesco
• **LRs**	Lloyd's Register of Shipping	registro navale inglese
• **ABS**	American Bureau of Shipping	registro navale americano

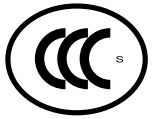
Si raccomanda di contattare ABB SACE per quanto riguarda le tipologie e le prestazioni degli interruttori omologati o di consultare la sezione certificati sul sito web **http://bol.it.abb.com.**

Marchi di conformità alle relative norme nazionali ed internazionali

I marchi di conformità nazionali ed internazionali sono riportati nella seguente tabella a titolo puramente informativo:

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
EUROPA		–	Marchio di conformità con le norme armonizzate europee elencate nell'Accordo ENEC.
AUSTRALIA		Marchio AS	Prodotti elettrici e non. Garantisce la conformità con SAA (Standard Association of Australia - Associazione australiana per le Norme).
AUSTRALIA		Marchio S.A.A.	Standard Association of Australia (S.A.A.). Autorità per l'Elettricità di New South Wales Sydney Australia
AUSTRIA		Marchio di prova austriaco	Apparecchiatura e materiali per l'installazione

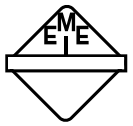
1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
AUSTRIA		Filo distintivo ÖVE	Cavi
BELGIO		Marchio CEBEC	Materiali per l'installazione ed apparecchi elettrici
BELGIO		Marchio CEBEC	Condotti e canali, conduttori e cavi flessibili
BELGIO		Certificazione di Conformità	Materiali per l'installazione ed apparecchiature elettriche (nel caso in cui non ci fossero delle norme o dei criteri nazionali equivalenti)
CANADA		Marchio CSA	Prodotti elettrici e non. Questo marchio garantisce la conformità con CSA (Canadian Standard Association (Associazione canadese per le norme)
CINA		Marchio CCC	China Compulsory Certification molti prodotti, per poter essere importati e commercializzati sul mercato locale, devono tenere la certificazione e il marchio CCC
Repubblica Ceca		Marchio EZU'	Electrotechnical Testing Institute (Istituto di prove elettrotecniche)
Repubblica Slovacca		Marchio EVPU'	Electrotechnical Research & Design Institute (Istituto per la ricerca e la progettazione elettrotecnica)

1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
CROAZIA		KONKAR	Electrical Engineering Institute (Istituto di Ingegneria Elettrica)
DANIMARCA		DEMKO Marchio di Approvazione	Materiali di bassa tensione. Questo marchio garantisce la conformità del prodotto con le richieste (di sicurezza) degli "Heavy Current Regulations"
FINLANDIA		Marchio di Sicurezza dell'Elektriska Inspektoratet	Materiali di bassa tensione. Questo marchio garantisce la conformità del prodotto con le richieste (di sicurezza) degli "Heavy Current Regulations"
FRANCIA		Marchio ESC	Apparecchi elettrici per uso domestico
FRANCIA		Marchio NF	Conduttori e cavi – Condotti e canalizzazione – Materiali di installazione
FRANCIA		Filo distintivo NF	Cavi
FRANCIA		Marchio NF	Utensili a motore portatili
FRANCIA		Marchio NF	Apparecchi elettrici per uso domestico

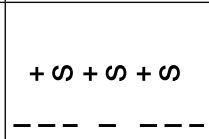
1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
GERMANIA		Marchio VDE	Per accessori di installazione quali spine, prese, fusibili, fili e cavi, nonché altri componenti (condensatori, sistemi di messa terra, supporti per lampade e dispositivi elettronici)
GERMANIA		Filo distintivo VDE	Cavi e fili elettrici
GERMANIA		Marchio VDE per cavo	Per cavi, fili elettrici isolati, condotti e canali per l'installazione
GERMANIA		Marchio VDE-GS per apparecchiatura tecnica	Marchio di sicurezza per apparecchiature tecniche da apporre dopo che il prodotto sia stato provato e certificato dal Laboratorio di Prove VDE di Offenbach; il marchio di conformità è il marchio VDE, che viene concesso sia per essere usato da solo che in combinazione con il marchio GS
UNGHERIA		MEEI	Istituto ungherese per la Prova e la Certificazione di apparecchiatura elettrica
GIAPPONE		Marchio JIS	Marchio che garantisce la conformità con le relative normative industriali giapponesi.
IRLANDA		Marchio IIRS	Apparecchiatura elettrica
IRLANDA		Marchio IIRS	Apparecchiatura elettrica

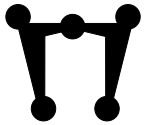
1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
ITALIA		Marchio IMQ	Marchio da apporre sul materiale elettrico per utenti non specializzati; certifica la conformità con la/e Norma/e europea/e
NORVEGIA		Marchio di Approvazione Norvegese	Approvazione obbligatoria di sicurezza per il materiale e le apparecchiature di bassa tensione.
OLANDA		KEMA-KEUR	Generale per tutte le apparecchiature
POLONIA		KWE	Prodotti elettrici
RUSSIA		Certificazione di Conformità	Prodotti elettrici e non. Garantisce la conformità con la normativa nazionale (Gosstandard della Russia)
SINGAPORE		SISIR	Prodotti elettrici e non
SLOVENIA		SIQ	Istituto Sloveno di Qualità e Metrologia
SPAGNA		AEE	Prodotti elettrici. Il marchio è sotto al controllo della Asociación Electrotécnica Española (Associazione Elettrotecnica Spagnola)

1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
SPAGNA		AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación. (Associazione Spagnola per la Normalizzazione e la Certificazione)
SVEZIA		Marchio SEMKO	Approvazione di sicurezza obbligatoria per materiale e apparecchiature di bassa tensione.
SVIZZERA	* PZ 1	Marchio di Sicurezza	Materiale svizzero di bassa tensione soggetto ad approvazione obbligatoria (sicurezza).
SVIZZERA		–	Cavi soggetti ad approvazione obbligatoria
SVIZZERA		Marchio di Sicurezza SEV	Materiale di bassa tensione soggetto ad approvazione obbligatoria.
REGNO UNITO		Marchio ASTA	Marchio che garantisce la conformità con le relative “British Standards” (norme inglesi)
REGNO UNITO	BASEC	Marchio BASEC	Marchio che garantisce la conformità con le “British Standards” (norme inglesi) per conduttori, cavi e prodotti accessori.
REGNO UNITO		Filo distintivo BASEC	Cavi

1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
REGNO UNITO		Marchio di Sicurezza BEAB	Conformità con le “British Standards” (norme inglesi) per apparecchi elettrici per uso domestico.
REGNO UNITO		Marchio di Sicurezza BSI	Conformità con le “British Standards” (norme inglesi)
REGNO UNITO		BEAB Kitemark	Conformità con le relative “British Standards” (norme inglesi) riguardanti la sicurezza e le prestazioni
U.S.A.		Marchio UNDERWRITERS LABORATORIES	Prodotti elettrici e non
U.S.A.	UL U.S.A.	Marchio UNDERWRITERS LABORATORIES	Prodotti elettrici e non
U.S.A.	UL U.S.A.	Riconoscimento UL	Prodotti elettrici e non
CEN		Marchio CEN	Marchio del Comitato Europeo per la Normalizzazione (CEN): attesta la conformità con le norme europee.
CENELEC		Marchio	Cavi

1 Norme

NAZIONE	Simbolo	Designazione del marchio	Applicabilità/Organizzazione
CENELEC		Marchio di armonizzazione	Marchio di certificazione che attesta la conformità del cavo armonizzato con le relative norme armonizzate CENELEC – Filo distintivo
EC		Marchio Ex EUROPEA	Marchio che attesta la conformità con le relative norme europee dei prodotti destinati ad essere utilizzati nei luoghi con pericolo di esplosione
CEEel		Marchio CEEel	Marchio che si applica solo ad alcuni elettrodomestici (rasoi elettrici, orologi elettrici, ecc).

Dichiarazione di Conformità CE

La Dichiarazione di Conformità CE è la dichiarazione del produttore, che dichiara sotto la propria responsabilità che tutte le apparecchiature, le procedure o i servizi si riferiscono e sono conformi a norme specifiche (direttive) o ad altri documenti normativi.
La Dichiarazione di Conformità CE deve contenere le seguenti informazioni:
- nome ed indirizzo del produttore o del suo mandatario presente nella Comunità europea;
- descrizione del prodotto;
- riferimento alle relative norme e direttive armonizzate;
- qualsiasi riferimento alle specifiche tecniche per le quali è dichiarata la conformità;
- le ultime due cifre dell'anno in cui è stata apposta la marcatura CE;
- identificazione del firmatario.

Una copia della Dichiarazione di Conformità CE deve essere conservata dal produttore o dal suo rappresentante insieme alla documentazione tecnica.

1.2 Norme IEC relative ad impianti elettrici

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60027-1	1992	Letter symbols to be used in ectrical technology - Part 1: General
IEC 60034-1	2004	Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance
IEC 60617-DB-Snapshot	2007	Graphical symbols for diagrams
IEC 61082-1	2006	Preparation of documents used in electrotechnology - Part 1: Rules
IEC 60038	2002	IEC standard voltages
IEC 60664-1	2007	Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests
IEC 60909-0	2001	Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents
IEC 60865-1	1993	Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1: Definitions and calculation methods
IEC 60076-1	2000	Power transformers - Part 1: General
IEC 60076-2	1993	Power transformers - Part 2: Temperature rise
IEC 60076-3	2000	Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
IEC 60076-5	2006	Power transformers - Part 5: Ability to withstand short circuit
IEC/TR 60616	1978	Terminal and tapping markings for power transformers
IEC 60076-11	2004	Power transformers - Part 11: Dry-type transformers
IEC 60445	2006	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of equipment terminals and conductor terminations
IEC 60073	2002	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding for indicators and actuators
IEC 60446	2007	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of conductors by colours or alpha numerals
IEC 60447	2004	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Actuating principles
IEC 60947-1	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 1: General rules
IEC 60947-2	2006	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60947-3	2005	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units
IEC 60947-4-1	2002	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters
IEC 60947-4-2	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-2: Contactors and motor-starters – AC semiconductor motor controllers and starters
IEC 60947-4-3	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-3: Contactors and motor-starters – AC semiconductor controllers and contactors for non-motor loads
IEC 60947-5-1	2003	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-1: Control circuit devices and switching elements - Electromechanical control circuit devices
IEC 60947-5-2	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-2: Control circuit devices and switching elements – Proximity switches
IEC 60947-5-3	2005	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-3: Control circuit devices and switching elements – Requirements for proximity devices with defined behaviour under fault conditions
IEC 60947-5-4	2002	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5: Control circuit devices and switching elements – Section 4: Method of assessing the performance of low energy contacts. Special tests
IEC 60947-5-5	2005	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-5: Control circuit devices and switching elements - Electrical emergency stop device with mechanical latching function
IEC 60947-5-6	1999	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-6: Control circuit devices and switching elements – DC interface for proximity sensors and switching amplifiers (NAMUR)
IEC 60947-6-1	2005	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 6-1: Multiple function equipment – Transfer switching equipment
IEC 60947-6-2	2007	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 6-2: Multiple function equipment - Control and protective switching devices (or equipment) (CPS)
IEC 60947-7-1	2002	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 7: Ancillary equipment - Section 1: Terminal blocks for copper conductors

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60947-7-2	2002	Low-voltage switchgear and controlgear - Part 7: Ancillary equipment - Section 2: Protective conductor terminal blocks for copper conductors
IEC 60439-1	2004	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies
IEC 60439-2	2005	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 2: Particular requirements for busbar trunking systems (busways)
IEC 60439-3	2001	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 3: Particular requirements for low-voltage switchgear and controlgear assemblies intended to be installed in places where unskilled persons have access for their use - Distribution boards
IEC 60439-4	2004	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 4: Particular requirements for assemblies for construction sites (ACS)
IEC 60439-5	2006	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 5: Particular requirements for assemblies for power distribution in public networks
IEC 61095	2000	Electromechanical contactors for household and similar purposes
IEC/TR 60890	1987	A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear
IEC/TR 61117	1992	A method for assessing the short-circuit withstand strength of partially type-tested assemblies (PTTA)
IEC 60092-303	1980	Electrical installations in ships. Part 303: Equipment - Transformers for power and lighting
IEC 60092-301	1980	Electrical installations in ships. Part 301: Equipment - Generators and motors
IEC 60092-101	2002	Electrical installations in ships - Part 101: Definitions and general requirements
IEC 60092-401	1980	Electrical installations in ships. Part 401: Installation and test of completed installation
IEC 60092-201	1994	Electrical installations in ships - Part 201: System design - General
IEC 60092-202	1994	Electrical installations in ships - Part 202: System design - Protection

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60092-302	1997	Electrical installations in ships - Part 302: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies
IEC 60092-350	2001	Electrical installations in ships - Part 350: Shipboard power cables - General construction and test requirements
IEC 60092-352	2005	Electrical installations in ships - Part 352: Choice and installation of electrical cables
IEC 60364-5-52	2001	Electrical installations of buildings - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems
IEC 60227		Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V
	2007	Part 1: General requirements
	2003	Part 2: Test methods
	1997	Part 3: Non-sheathed cables for fixed wiring
	1997	Part 4: Sheathed cables for fixed wiring
	2003	Part 5: Flexible cables (cords)
	2001	Part 6: Lift cables and cables for flexible connections
	2003	Part 7: Flexible cables screened and unscreened with two or more conductors
IEC 60228	2004	Conductors of insulated cables
IEC 60245		Rubber insulated cables - Rated voltages up to and including 450/750 V
	2003	Part 1: General requirements
	1998	Part 2: Test methods
	1994	Part 3: Heat resistant silicone insulated cables
	2004	Part 4: Cord and flexible cables
	1994	Part 5: Lift cables
	1994	Part 6: Arc welding electrode cables
	1994	Part 7: Heat resistant ethylene-vinyl acetate rubber insulated cables
	2004	Part 8: Cords for applications requiring high flexibility
IEC 60309-2	2005	Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes - Part 2: Dimensional interchangeability requirements for pin and contact-tube accessories
IEC 61008-1	2006	Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) - Part 1: General rules
IEC 61008-2-1	1990	Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCB's). Part 2-1: Applicability of the general rules to RCCB's functionally independent of line voltage

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 61008-2-2	1990	Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCB's). Part 2-2: Applicability of the general rules to RCCB's functionally dependent on line voltage
IEC 61009-1	2006	Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs) - Part 1: General rules
IEC 61009-2-1	1991	Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBO's) Part 2-1: Applicability of the general rules to RCBO's functionally independent of line voltage
IEC 61009-2-2	1991	Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBO's) - Part 2-2: Applicability of the general rules to RCBO's functionally dependent on line voltage
IEC 60670-1	2002	Boxes and enclosures for electrical accessories for household and similar fixed electrical installations - Part 1: General requirements
IEC 60669-2-1	2002	Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2-1: Particular requirements – Electronic switches
IEC 60669-2-2	2006	Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2: Particular requirements – Section 2: Remote-control switches (RCS)
IEC 60669-2-3	2006	Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2-3: Particular requirements – Time-delay switches (TDS)
IEC 60079-10	2002	Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10: Classification of hazardous areas
IEC 60079-14	2002	Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 14: Electrical installations in hazardous areas (other than mines)
IEC 60079-17	2007	Explosive atmospheres - Part 17: Electrical installations inspection and maintenance
IEC 60269-1	2006	Low-voltage fuses - Part 1: General requirements
IEC 60269-2	2006	Low-voltage fuses. Part 2: Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons (fuses mainly for industrial application) examples of standardized system of fuses A to I

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60269-3	2006	Low-voltage fuses - Part 3-1: Supplementary requirements for fuses for use by unskilled persons (fuses mainly for household and similar applications) - Sections I to IV: examples of standardized system of fuses A to F
IEC 60127-1/10		Miniature fuses -
	2006	Part 1: Definitions for miniature fuses and general requirements for miniature fuse-links
	2003	Part 2: Cartridge fuse-links
	1988	Part 3: Sub-miniature fuse-links
	2005	Part 4: Universal Modular Fuse-Links (UMF) Through-hole and surface mount types
	1988	Part 5: Guidelines for quality assessment of miniature fuse-links
	1994	Part 6: Fuse-holders for miniature cartridge fuse-links
	2001	Part 10: User guide for miniature fuses
EC 60364-1	2005	Low-voltage electrical installations Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions
IEC 60364-4-41	2005	Low-voltage electrical installations Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock
IEC 60364-4-42	2001	Electrical installations of buildings Part 4-42: Protection for safety - Protection against thermal effects
IEC 60364-4-43	2001	Electrical installations of buildings Part 4-43: Protection for safety - Protection against overcurrent
IEC 60364-4-44	2007	Low voltage electrical installation Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbance and electromagnetic disturbances
IEC 60364-5-51	2005	Electrical installations of buildings Part 5-51: Selection and erection of electrical equipment Common rules
IEC 60364-5-52	2001	Electrical installations of buildings Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment Wiring systems
IEC 60364-5-53	2002	Electrical installations of buildings Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment Isolation, switching and control
IEC 60364-5-54	2002	Electrical installations of buildings Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors

1 Norme

NORMA	ANNO	TITOLO
IEC 60364-5-55	2002	Electrical installations of buildings Part 5-55: Selection and erection of electrical equipment Other equipment
IEC 60364-6	2006	Electrical installations of buildings Part 6: Verification
IEC 60364-7	1984…2007	Electrical installations of buildings Part 7: Requirements for special installations or locations
IEC 60529	2001	Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
IEC 61032	1997	Protection of persons and equipment by enclosures - Probes for verification
IEC/TR 61000-1-1	1992	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 1: General - Section 1: application and interpretation of fundamental definitions and terms
IEC/TR 61000-1-3	2002	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 1-3: General - The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

2.1 Introduzione

Di seguito sono riportate le principali definizioni riguardanti l'impianto elettrico, tratte dalla norma IEC 60050.

Caratteristiche degli impianti

Impianto elettrico (di un edificio) Un insieme di apparecchiature elettriche assiemate atte a soddisfare uno scopo specifico e con caratteristiche coordinate.

Origine di un impianto elettrico Il punto nel quale l'energia elettrica viene fornita ad un impianto.

Conduttore neutro (simbolo N) Un conduttore collegato al punto neutro di un sistema e capace di contribuire alla trasmissione di energia elettrica.

Conduttore di protezione PE Conduttore prescritto per alcune misure di protezione, per esempio contro i contatti indiretti, per il collegamento di alcune delle seguenti parti:
- masse;
- masse estranee;
- collettore o nodo principale di terra;
- dispersore;
- punto di terra della sorgente o neutro artificiale.

Conduttore PEN Un conduttore che combina le funzioni sia del conduttore di protezione che del conduttore di neutro.

Temperatura ambiente La temperatura dell'aria o di altro mezzo in cui sarà utilizzata l'apparecchiatura.

Tensioni

Tensione nominale (di un impianto) Tensione con la quale viene designato un impianto o parte di un impianto.
Nota: la tensione reale può differire dalla tensione nominale di un certo valore entro le tolleranze ammesse.

Correnti

Corrente di impiego (di un circuito) La corrente che deve essere portata da un circuito in condizioni normali di servizio.

Portata (di un conduttore) La corrente massima che può essere portata continuativamente da un conduttore in condizioni specifiche senza che la sua temperatura a regime superi un valore definito.

Sovracorrente Qualsiasi corrente che supera il valore nominale. Per i conduttori, il valore nominale è rappresentato della portata.

Corrente di sovraccarico (di un circuito) Una sovracorrente che si verifica in un circuito in assenza di un guasto elettrico.

Corrente di corto circuito Una sovracorrente che risulta da un guasto di impedenza trascurabile tra conduttori in tensione che hanno differenza di potenziale in condizioni normali di funzionamento.

Corrente convenzionale di funzionamento (di un dispositivo di protezione) Un valore specifico della corrente che causa l'intervento del dispositivo di protezione entro un tempo specifico, designato tempo convenzionale.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Rilevamento di sovracorrente Una funzione che stabilisce che il valore di corrente in un circuito supera un valore prestabilito per una durata di tempo specifica.

Corrente di dispersione Corrente elettrica in un percorso conduttivo indesiderato diverso da un corto circuito.

Corrente di guasto La corrente che passa in un dato punto di una rete a causa di un guasto verificatosi in un altro punto della stessa rete.

Sistemi di cablaggio

Sistema di cablaggio Un insieme composto da uno o più cavi, dalle sbarre e dalle parti che assicurano e, se necessario, racchiudono i conduttori.

Circuiti elettrici

Circuito elettrico (di un impianto) Un insieme di apparecchiature elettriche di un impianto alimentate dalla stessa origine e protette dalle sovracorrenti dallo/dagli stesso/i dispositivo/i di protezione.

Circuito di distribuzione (di edifici) Un circuito che alimenta un pannello di distribuzione.

Circuito terminale (di un edificio) Un circuito collegato direttamente ad apparecchiature che utilizzano corrente o alle prese d'uscita.

Altre apparecchiature

Componente (elettrico) dell'impianto Qualsiasi articolo usato per scopi quali generazione, trasformazione, trasmissione, distribuzione o utilizzo di energia elettrica, quali macchine, trasformatori, apparecchi, strumenti di misura, dispositivi di protezione, apparecchiatura per sistemi di cablaggio, applicazioni elettriche.

Apparecchio utilizzatore Apparecchiature intese a trasformare l'energia elettrica in un'altra forma di energia, per esempio in luce, in calore e in forza motrice.

Apparecchiatura (di protezione e controllo) Apparecchiatura fornita per essere collegata ad un circuito elettrico al fine di effettuare una delle seguenti funzioni: protezione, controllo, isolamento, manovra.

Apparecchio mobile Apparecchiatura che viene spostata mentre è in funzione o che può essere facilmente spostata da un posto all'altro mentre è collegata all'alimentazione.

Apparecchio portatile (a mano) Apparecchiatura portatile da tenere in mano durante l'utilizzo normale, in cui il motore, qualora ce ne fosse, forma parte integrante dell'apparecchiatura.

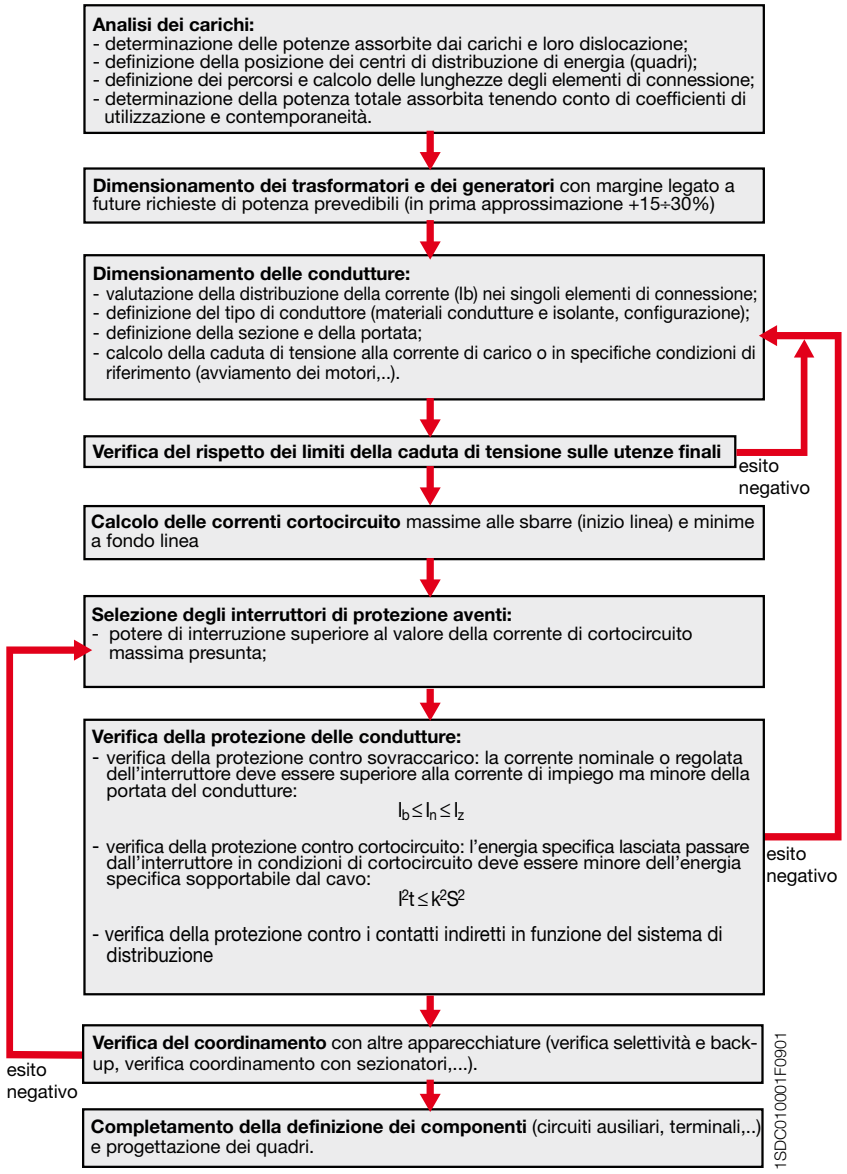
Apparecchio fisso Apparecchiatura fissa o apparecchiatura non dotata di maniglia per il trasporto e con una massa tale da non poter essere facilmente spostata.

Apparecchio a installazione fissa Apparecchiatura fissata ad un sostegno o in altro modo assicurata in un luogo specifico.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Il dimensionamento dell'impianto

Per dimensionare correttamente un impianto, in genere si procede secondo la sequenza descritta dal seguente diagramma di flusso



2.2 Installazione e dimensionamento dei cavi

Per dimensionare correttamente un conduttore elettrico occorre:
- scegliere il tipo cavo e la modalità di posa in relazione all'ambiente di installazione;
- scegliere la sezione in funzione della corrente di carico;
- verificarne la caduta di tensione.

2.2.1 Portata e modalità di posa

Scelta del tipo di cavo

La norma internazionale di riferimento che regola l'installazione ed il calcolo della portata dei cavi in edifici residenziali e industriali è la IEC 60364-5-52 "Electrical installations of buildings – Part 5-52 Selection and erection of electrical equipment- Wiring systems".
I parametri per la scelta del tipo di cavo sono:
- il materiale conduttore (rame o alluminio). La scelta é legata ad esigenze di costo, dimensioni, peso, resistenza ad ambienti aggressivi (reagenti chimici od elementi ossidanti). In generale, a parità di sezione, la portata di un conduttore di rame é superiore a quella di un conduttore di alluminio di circa il 30%. Sempre a parità di sezione un conduttore in alluminio ha una resistenza superiore di circa il 60% ed un peso che può essere compreso fra un mezzo ed un terzo rispetto al conduttore di rame;

- il materiale isolante (nessuno, PVC, XLPE-EPR, ..): comporta una differente temperatura massima in condizioni normali e di corto circuito (vedere capitolo 2.4 "Protezione contro il cortocircuito") e quindi uno sfruttamento differente della sezione;

- il tipo di conduttore (conduttore nudo, cavo unipolare senza guaina, cavo unipolare con guaina, cavo multipolare) viene scelto in funzione della resistenza meccanica, del grado di isolamento e delle difficoltà di messa in opera (curve, raccordi lungo il percorso, presenza di barriere,...) richiesti dalla modalità di posa.

La tabella 1 indica sinteticamente i tipi di conduttori consentiti in funzione dei metodi d'installazione.

Tabella 1: Scelta del sistema di cablaggio

		Tipo di posa							
Conduttori e cavi		Senza fissaggi	Fissagio diretto su parete	Tubi protettivi (forma circolare)	Canali (compresi i canali incassati nel pavimento)	Tubi protettivi (forma non circolare)	Passerelle e su mensole	Su isolatori	Con filo o corda di supporto
Conduttori nudi		–	–	–	–	–	–	+	–
Cavi senza guaina		–	–	+	+	+	–	+	–
Cavi senza guaina (compresi i cavi provvisti di armatura e quelli con isolamento minerale)	Multipolari	+	+	+	+	+	+	0	+
	Unipolari	0	+	+	+	+	+	0	+

+ permesso
– non permesso
0 non applicabile, o non usato in genere nella pratica

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Per installazioni di tipo industriale il cavo multipolare viene raramente utilizzato con sezioni superiori a 95 mm^2.

Tipo di posa

Per definire la portata del conduttore e quindi per individuarne la corretta sezione a fronte della corrente di carico imposta, è necessario definire quale, tra le modalità di posa standardizzate descritte dalla Norma di riferimento già citata, rappresenta meglio la reale situazione installativa.
Utilizzando le tabelle 2 e 3 è possibile individuare il numero identificativo della posa, il metodo di installazione di riferimento (A1, A2, B1, B2, C, D, E, F, G) e quali tabelle utilizzare per definire la portata teorica del conduttore e gli eventuali fattori correttivi necessari per tener conto di situazioni ambientali e installative particolari.

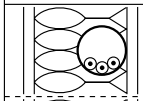
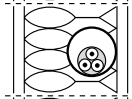
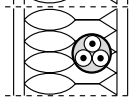
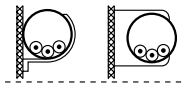
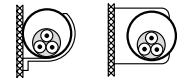
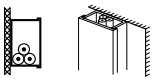
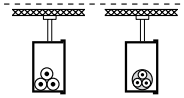
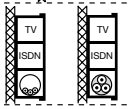
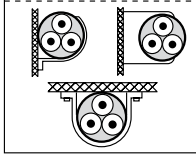
Tabella 2: Tipi di posa

	Tipo di posa							
Ubicazione	**Senza fissaggi**	**Con fissagio diretto su parete**	**Entro tubi protettivi (forma circolare)**	**Entro canali (compresi i canali incassati nel pavimento)**	**Entro tubi protettivi (forma non circolare)**	**Su passerelle e su mensole**	**Su isolatori**	**Cavo sospeso (con filo o corda di supporto)**
Entro cavità di strutture	40, 46, 15, 16	0	15, 16	–	0	30, 31, 32, 33, 34	–	–
Entro cunicoli	56	56	54, 55	0	44	30, 31, 32, 33, 34	–	–
Interrata	72, 73	0	70, 71	–	70, 71	0	–	–
Incassata nella struttura	57, 58	3	1, 2 59, 60	50, 51, 52, 53	44, 45	0	–	–
Montaggio sporgente	–	20, 21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 33, 34	36	–
Area	0	–	0	10, 11	–	30, 31, 32, 33, 34	36	35

Il numero in ciascuna cella si riferisce al numero di riferimento nella tabella 3.
– non permesso
0 non applicabile, o non usato in genere nella pratica

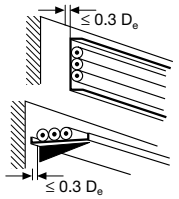
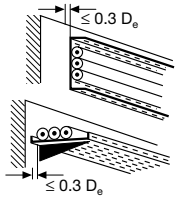
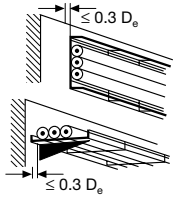
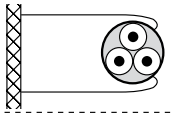
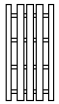
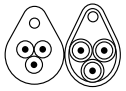
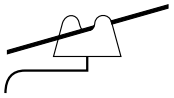
2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 3: Esempi di tipi di posa

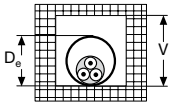
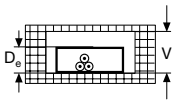
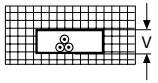
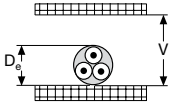
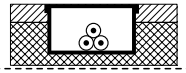
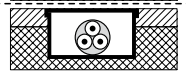
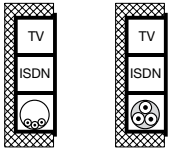
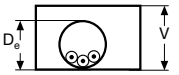
Tipi di posa	Numero di riferimento	Descrizione	Tipo di posa di riferimento da utilizzare per ottenere la portata in corrente
 Locale	1	Cavi senza guaina o cavi unipolari in tubi protettivi circolari posati entro un muro termicamente isolato	A1
 Locale	2	Cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati entro un muro termicamente isolato	A2
 Locale	3	Cavo multipolare posato direttamente entro un muro termicamente isolato	A1
	4	Cavi senza guaina o cavi unipolari entro tubo protettivo circolare posato su un muro in legno o in muratura o distanziati meno di 0,3 volte il diametro del tubo	B1
	5	Cavo multipolare entro tubo protettivo circolareposato su un muro in legno o in muratura o distanziati meno di 0,3 volte il diametro del tubo	B2
	6 7	Cavi senza guaina o cavi unipolari entro canali su un muro di legno – con percorso orizzontale (6) – con percorso verticale (7)	B1
	8 9	Cavi senza guaina o cavo unipolare entro canali sospesi (8) Cavo multipolare entro canali sospesi (9)	B1 (8) o B2 (9)
	12	Cavi senza guaina o cavo unipolare posati in elementi scanalati	A1
	13 14	Cavi senza guaina o cavi unipolari in canale incassato (13) Cavo multipolare in canale incassato (14)	B1 (13) o B2 (14)
	15	Cavi senza guaina in tubi protettivi o cavo unipolare o multipolare inposati in stipiti di porte	A1
	16	Cavi senza guaina in tubi protettivi o cavo unipolare o multipolare negli infissi	A1
	20 21	Cavi unipolari o multipolari: – fissati su, o distanziati a meno di 0,3 volte il diametro del cavo da un muro di legno (20) – fissati direttamente sotto un soffitto di legno (21)	C

1SDC010001F0201

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

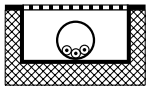
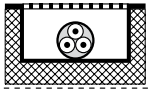
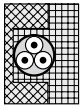
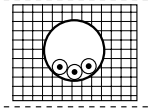
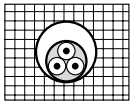
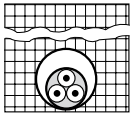
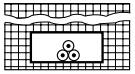
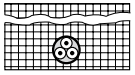
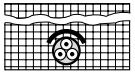
Tipo di posa	Numero di riferimento	Descrizione	Tipo di posa di riferimento da utilizzare per ottenere la portata in corrente
	30	Su passerelle non perforate [1]	C
	31	Su passerelle perforate [1]	E o F
	32	Su mensole o rete metallica [1]	E o F
	33	Distanziati a più di 0,3 volte il diametro del cavo da un muro	E o F o G
	34	Su passerelle a traversini	E o F
	35	Cavo unipolare o multipolare sospeso a o incorporato in fili o corde di supporto	E o F
	36	Conduttori nudi o cavi senza guaina su isolatori	G

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tipo di posa	Numero di riferimento	Descrizione	Tipo di posa di riferimento da utilizzare per ottenere la portata in corrente
	40	Cavo unipolare o multipolare in cavità di strutture [2]	1.5 D_e ≤ V <20 D_e B2 V ≥ 20 D_e B1
	24	Cavi senza guaina in tubi protettivi in cavità di strutture [2]	1.5 D_e ≤ V <20 D_e B2 V ≥ 20 D_e B1
	44	Cavi senza guaina in tubi protettivi in muratura con resistività termica non superiore a 2 km/W	1.5 D_e ≤ V <5 D_e B2 5 D_e ≤ V < 50 D_e B1
	46	Cavo unipolare o multipolare: - in una cavità di soffitto - in un pavimento sospeso [1]	1.5 D_e ≤ V <5 D_e B2 5 D_e ≤ V < 50 D_e B1
	50	Cavi senza guaina o cavo unipolare posati in canali incassati nel pavimento	B1
	51	Cavo multipolare posati in canali incassati nel pavimento	B2
	52 53	Cavi senza guaina o cavi unipolari in canale incassato (52) Cavo multipolare in canale incassato (53)	B1 (52) or B2 (53)
	54	Cavi senza guaina o cavi unipolari posati in cunicoli aperti non ventilati con percorso orizzontale o verticale [2]	1.5 D_e ≤ V <20 D_e B2 V ≥20 D_e B1

1SDC010002F0201

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tipo di posa	Numero di riferimento	Descrizione	Tipo di posa di riferimento da utilizzare per ottenere la portata in corrente
	55	Cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati in cunicoli aperti o ventilati incassati nel pavimento	B1
	56	Cavo multipolare o unipolare con guaina posati in cunicoli aperti o ventilati con percorso orizzontale o verticale	B1
	57	Cavo unipolare o multipolare annegato direttamente nella muratura con una resistività termica non superiore a 2 Km/W Con protezione meccanica addizionale	C
	58	Cavo unipolare o multipolare annegato direttamente nella muratura con una resistività termica non superiore a 2 Km/W Con protezione meccanica addizionale	C
	59	Cavi senza guaina o cavi unipolari in tubi protettivi circolari annegati in muratura	B1
	60	Cavi multipolari in tubi protettivi circolari annegati in muratura	B2
	70	Cavo multipolare in tubi protettivi interrati od in cunicoli interrati	D
	71	Cavo unipolare in tubi protettivi interrati od in cunicoli interrati	D
	72	Cavi multipolari o unipolari con guaina interrati – senza protezione meccanica addizionale	D
	73	Cavi multipolari o unipolari con guaina interrati – con protezione meccanica addizionale	D

1SDC010003F0201

[1] D_e è il diametro esterno di un cavo multipolare:
– 2.2 x il diametro del cavo quando tre cavi unipolari sono legati in trifoglio, o
– 3 x il diametro del cavo quando tre cavi unipolari sono posti in piatto.
[2] D_e è il diametro esterno del condotto o la profondità verticale del canale.
V è la dimensione più piccola o il diametro di un canale o cavità in muratura, o la profondità verticale di un canale rettangolare, cavità nel pavimento o nel soffitto.
La profondità del canale è più importante della larghezza.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Posa non interrata: scelta della sezione in funzione della portata del cavo e del tipo di posa

La portata di un cavo non interrato si ottiene attraverso la seguente relazione:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 = I_0 k_{tot}$$

dove:
- I_0 è la portata ordinaria del conduttore singolo in aria a 30 °C;
- k_1 è il fattore di correzione da applicare se la temperatura ambiente è diversa da 30 °C;
- k_2 è il fattore di correzione per i cavi installati in fascio o strati, o per cavi installati in strato su più supporti.

Fattore correttivo k_1

Le portate dei cavi non interrati sono riferite ad una temperatura ambiente di riferimento di 30 °C. Se la temperatura ambiente del luogo di installazione è diversa da quella di riferimento é necessario utilizzare il fattore correttivo k_1 riportato in tabella 4, in funzione del tipo di materiale isolante.

Tabella 4: Fattore correttivo per temperatura ambiente dell'aria diversa da 30 °C

	Isolamento			
			Minerale [(a)]	
Temperatura ambiente [(a)] °C	PVC	XLPE e EPR	PVC coperto o nudo e esposto al contatto 70 °C	Nudo non esposto al contatto 105 °C
10	1.22	1.15	1.26	1.14
15	1.17	1.12	1.20	1.11
20	1.12	1.08	1.14	1.07
25	1.06	1.04	1.07	1.04
35	0.94	0.96	0.93	0.96
40	0.87	0.91	0.85	0.92
45	0.79	0.87	0.87	0.88
50	0.71	0.82	0.67	0.84
55	0.61	0.76	0.57	0.80
60	0.50	0.71	0.45	0.75
65	–	0.65	–	0.70
70	–	0.58	–	0.65
75	–	0.50	–	0.60
80	–	0.41	–	0.54
85	–	–	–	0.47
90	–	–	–	0.40
95	–	–	–	0.32

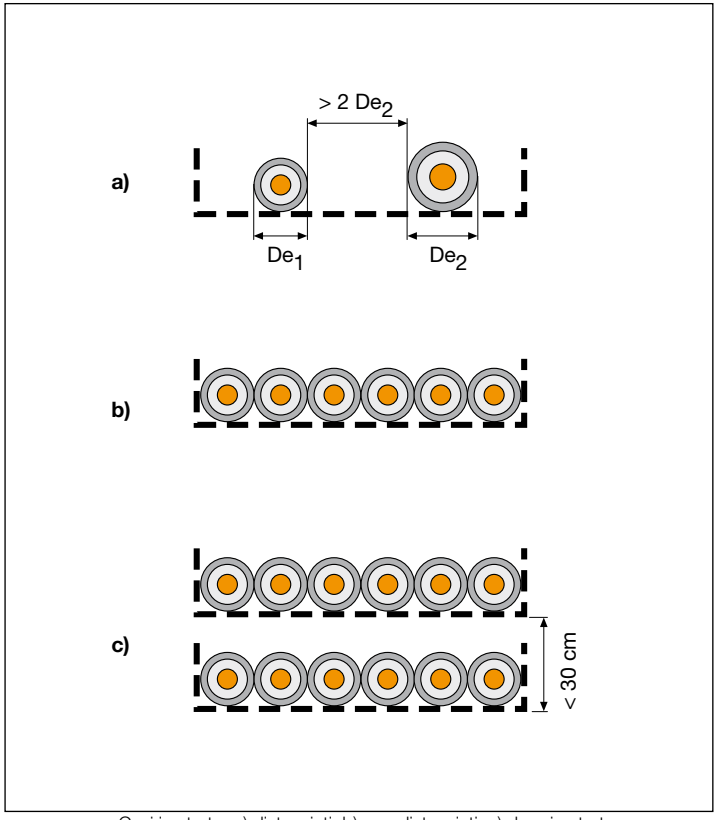
[(a)] Per temperature ambiente più elevate, chiedere al costruttore.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Fattore correttivo k_2

La portata di un cavo è influenzata dalla presenza di altri cavi posati nelle vicinanze. Sono infatti diverse le condizioni di dissipazione di calore del cavo singolo rispetto a quelle dello stesso cavo posato accanto ad altri. Il fattore k_2 è tabellato in funzione della posa per cavi ravvicinati posati in strato o in fascio.

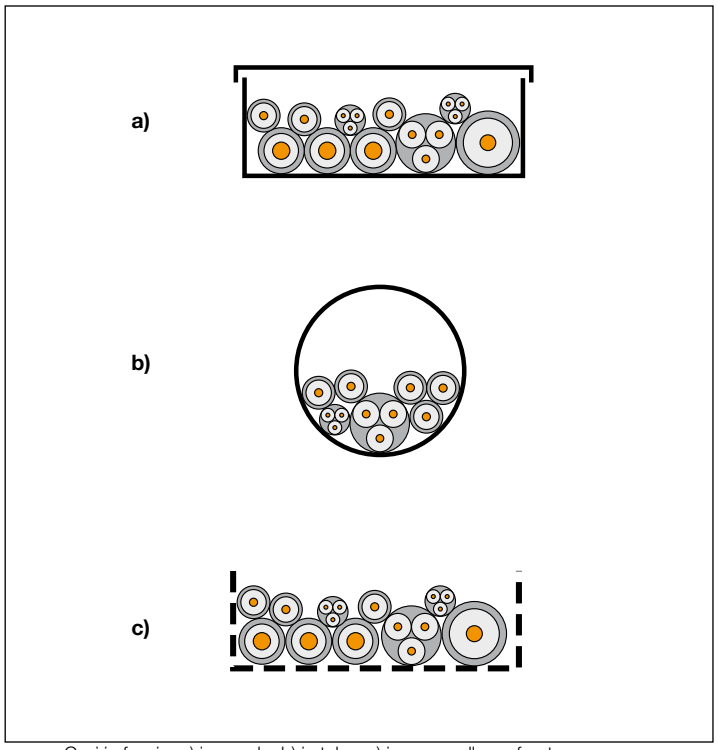
Per strato o fascio si intende:
strato: insieme di più circuiti realizzati con cavi installati affiancati, distanziati o no, disposti in orizzontale o in verticale. I cavi su strato sono installati su muro, passerella, soffitto, pavimento o su scala portacavi;



Cavi in strato: a) distanziati; b) non distanziati; c) doppio strato

fascio: insieme di più circuiti realizzati con cavi non distanziati e non installati in strato; più strati sovrapposti su un unico supporto (es. passerella) sono da considerare un fascio.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione



Cavi in fascio: a) in canale; b) in tubo; c) in passarella perforata

Il fattore correttivo k_2 ha valore unitario quando:
- i cavi sono distanziati:
  - due cavi unipolari, appartenenti a circuiti diversi, sono distanziati quando la distanza tra loro supera due volte il diametro esterno del cavo di sezione superiore;
  - due cavi multipolari sono distanziati quando la distanza tra loro è almeno uguale al diametro esterno del cavo più grande;
- i cavi adiacenti sono caricati a non oltre il 30 % della loro portata a regime permanente.

I fattori di correzione per fascio o strato sono stati calcolati supponendo che i fasci siano costituiti da cavi simili e uniformemente caricati. Un gruppo di cavi è considerato costituito da cavi simili quando il calcolo della portata è basato sulla stessa temperatura massima ammissibile di esercizio e quando la variazione della sezione dei conduttori risulta compresa entro tre sezioni adiacenti unificate (ad esempio, tra 10 e 25 mm^2).
Il calcolo dei fattori di riduzione per fasci contenenti cavi con sezioni differenti, dipende dal numero totale di cavi e dalle loro sezioni. Tali fattori non sono indicati in tabelle ma devono essere calcolati per ogni fascio o strato

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Il fattore di riduzione per un gruppo contenente diverse sezioni di cavi senza guaina, o in tubi protettivi o in canali è:

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

dove:
k_2 è il fattore di riduzione di gruppo;
n è il numero di circuiti del fascio.
Il fattore di riduzione così calcolato limita il pericolo di sovraccarico per i cavi di sezione più piccola, ma può causare la sotto utilizzazione dei cavi di sezione più grande. E' possibile evitare ciò non installando cavi di sezione molto diversa nello stesso gruppo.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i coefficienti di riduzione (k_2).

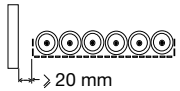
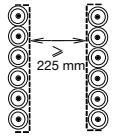
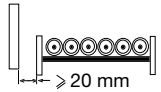
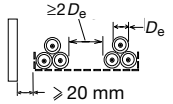
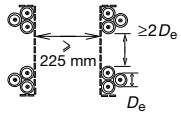
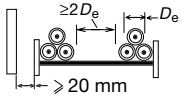
Tabella 5: Fattore di riduzione per cavi raggruppati

Art.	Disposizione (cavi a contatto)	Numero di circuiti o di cavi multipolari												Da usare con portate di corrente riferimento
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Raggruppati a fascio in aria, su una superficie incassati o racchiusi	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45	0.41	0.38	Metodi da A a F
2	Singolo strato posato su parete, pavimento o passerella non perforata	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70				
3	Singolo strato fissato direttamente sotto un soffitto di legno	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61	Nessun ulteriore fattore di riduzione per più di nove circuiti o cavi multipolari			Metodo C
4	Singolo strato su passerella perforata orizzontale o verticale	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72				
5	Singolo strato su scala posa cavi o graffato ad un sostegno	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78				Metodi da E a F

NOTA 1 Questi fattori sono applicabili a gruppi uniformi di cavi, caricati uniformemente.
NOTA 2 Dove le distanze di isolamento orizzontali tra cavi adiacenti superano due volte il loro diametro totale, non è necessario applicare alcun fattore di riduzione.
NOTA 3 Gli stessi fattori sono applicati a:
– gruppi di due o tre cavi unipolari;
– cavi multipolari.
NOTA 4 Se un sistema consiste di cavi sia bipolari che tripolari, il numero totale dei cavi viene considerato come il numero di circuiti, ed il corrispondente fattore si applica alle tabelle per due conduttori caricati per i cavi bipolari, e alle tabelle per tre conduttori caricati per i cavi tripolari.
NOTA 5 Se un gruppo consiste di n cavi unipolari può essere considerato o come n/2 circuiti di due conduttori caricati o n/3 circuiti di tre conduttori caricati.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 6: Fattore di riduzione per cavi unipolari con metodo di installazione di tipo F

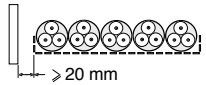
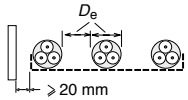
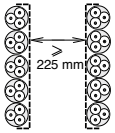
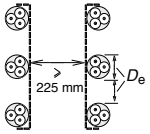
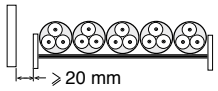
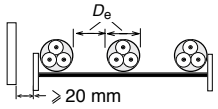
Metodo di installazione in Tabella 3			Numero di passerelle	Numero di circuiti trifase (nota 4)			Usare come moltiplicatore della potenza nominale per
				1	2	3	
Passerelle perforate (nota 2)	31	A contatto 	1 2 3	0.98 0.96 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	Tre cavi in formazione orizzontale
Passerelle verticali perforate (nota 3)	31	A contatto 	1 2	0.96 0.95	0.86 0.84	– –	Tre cavi in formazione verticale
Scala posa cavi o elemento di sostegno (nota 2)	32 33 34	A contatto 	1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	Tre cavi in formazione orizzontale
Passerelle perforate (nota 2)	31		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	
Passerelle verticali perforate (nota 3)	31	Distanziate 	1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	Tre cavi in formazione a trefolo
Scala posa cavi o elemento di sostegno (nota 2)	32 33 34		1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	

NOTA 1 Fattori applicabili a gruppi di cavi in singolo strato (o a trefolo) come mostrato nella tabella sopra riportata e non applicabili quando i cavi sono installati in più di uno strato a contatto. I valori per tali installazioni possono essere significativamente inferiori e devono essere determinati con metodo appropriato.
NOTA 2 Valori indicati per distanze verticali tra passerelle pari a 300 mm. Per distanze più ravvicinate tali fattori dovrebbero essere ridotti.
NOTA 3 Valori indicati per distanze orizzontali tra passerelle pari a 225 mm con passerelle montate “back to back” e con almeno 20 mm tra la passerella e qualsiasi parete. Per distanze più ravvicinate tali fattori dovrebbero essere ridotti.
NOTA 4 Per i circuiti con più di un cavo in parallelo per fase, ogni serie di tre fasi di conduttori dovrebbe essere considerata un circuito secondo gli scopi di questa tabella

1SDC010004F0201

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 7: Fattore di riduzione per cavi multipolari con metodo d'installazione di tipo E

Metodo d'installazione in Tabella 3			Numero di passerelle	Numero di cavi					
				1	2	3	4	6	9
Passerelle perforate (nota 2)	31	A contatto 	1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
			2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
			3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
		Distanziate 	1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	–
			2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	–
			3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	–
Passerelle verticali perforate (nota 3)	31	A contatto 	1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	0.72
			2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	0.70
		Distanziate 	1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	–
			2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	–
Scala posa cavi o elemento di sostegno, ecc. (nota 2)	32	A contatto 	1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
			2	1.00	0,86	0.80	0.78	0.76	0.73
			3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70
	33 34	Distanziati 	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	–
			2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	–
			3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	–

NOTA 1 Fattori applicabili a gruppi di cavi in singolo strato come mostrati sopra e non applicabili quando i cavi sono installati in più di uno strato a contatto l'uno con l'altro. I valori per tali installazioni possono essere significativamente minori e devono essere determinati con metodo appropriato.

NOTA 2 Valori indicati per distanze verticali tra passerelle pari a 300 mm e pari ad almeno 20 mm tra passerelle e parete. Per distanze più ravvicinate tali fattori dovrebbero essere ridotti.

NOTA 3 Valori indicati per distanze orizzontali tra passerelle pari a 225 mm con passerelle montate "back to back". Per distanze più ravvicinate tali fattori dovrebbero essere ridotti.

1SDC010005F0201

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Riassumendo:

Per determinare la sezione del cavo occorre procedere nel seguente modo:

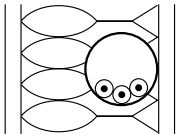
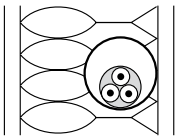
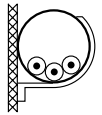
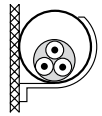
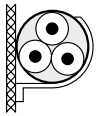
1. individuare il metodo di installazione dalla tabella 3;
2. determinare dalla tabella 4 il fattore correttivo k_1 in funzione dell'isolante e della temperatura ambiente;
3. determinare dalla tabella 5 per cavi installati in strato o a fascio, dalla tabella 6 per cavi unipolari in strato su più supporti, dalla tabella 7 per cavi multipolari in strato su più supporti o utilizzando la formula indicata nel caso di gruppi di cavi non simili, il fattore correttivo k_2 in funzione del numero di circuiti o di cavi multipolari;
4. ricavare il valore della corrente I'_b dividendo la corrente di impiego I_b (o la corrente nominale del dispositivo di protezione) per il prodotto dei fattori correttivi appena calcolati:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{I_b}{k_{tot}}$$

5. dalla tabella 8 o dalla tabella 9 in funzione del metodo di installazione, dell'isolante, del numero di conduttori attivi si determina la sezione del cavo con portata $I_0 \geq I'_b$;
6. si calcola la portata effettiva della conduttura come $I_Z = I_0 k_1 k_2$.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 8: Portata cavi con isolamento in PVC o EPR/XLPE (metodo A-B-C)

	Metodo di installazione	A1								A2								B1								B2								C							
																																									
	Conduttore	Cu				Al				Cu				Al				Cu				Al				Cu				Al				Cu				Al			
	Isolamento	XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE/EPR		PVC	
S[mm^2]	Conduttori caricati	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1.5		19	17	14.5	13.5					18.5	16.5	14	13					23	20			17.5	15.5			22	19.5	16.5	15					24	22	19.5	17.5				
2.5		26	23	19.5	18	20	19	15	14	25	22	18.5	17.5	19.5	18	14.5	13.5	31	28			24	21	25	22	18.5	16.5	30	26	23	20	23	21	17.5	15.5	33	30	27	24	26	24	21	18.5
4		35	31	26	24	27	25	20	18.5	33	30	25	23	26	24	19.5	17.5	42	37			32	28	33	29	25	22.0	40	35	30	27	31	28	24	21	45	40	36	32	35	32	28	25
6		45	40	34	31	35	32	26	24	42	38	32	29	33	31	25	23	54	48			41	36	43	38	32	28	51	44	38	34	40	35	30	27.0	58	52	46	41	45	41	36	32
10		61	54	46	42	48	44	36	32	57	51	43	39	45	41	33	31	75	66			57	50	59	52	44	39	69	60	52	46	54	48	41	36	80	71	63	57	62	57	49	44
16		81	73	61	56	64	58	48	43	76	68	57	52	60	55	44	41	100	88			76	68	79	71	60	53	91	80	69	62	72	64	54	48	107	96	85	76	84	76	66	59
25		106	95	80	73	84	76	63	57	99	89	75	68	78	71	58	53	133	117			101	89	105	93	79	70	119	105	90	80	94	84	71	62	138	119	112	96	101	90	83	73
35		131	117	99	89	103	94	77	70	121	109	92	83	96	87	71	65	164	144			125	110	130	116	97	86	146	128	111	99	115	103	86	77	171	147	138	119	126	112	103	90
50		158	141	119	108	125	113	93	84	145	130	110	99	115	104	86	78	198	175			151	134	157	140	118	104	175	154	133	118	138	124	104	92	209	179	168	144	154	136	125	110
70		200	179	151	136	158	142	118	107	183	164	139	125	145	131	108	98	253	222			192	171	200	179	150	133	221	194	168	149	175	156	131	116	269	229	213	184	198	174	160	140
95		241	216	182	164	191	171	142	129	220	197	167	150	175	157	130	118	306	269			232	207	242	217	181	161	265	233	201	179	210	188	157	139	328	278	258	223	241	211	195	170
120		278	249	210	188	220	197	164	149	253	227	192	172	201	180	150	135	354	312			269	239	281	251	210	186	305	268	232	206	242	216	181	160	382	322	299	259	280	245	226	197
150		318	285	240	216	253	226	189	170	290	259	219	196	230	206	172	155																			441	371	344	299	324	283	261	227
185		362	324	273	245	288	256	215	194	329	295	248	223	262	233	195	176																			506	424	392	341	371	323	298	259
240		424	380	321	286	338	300	252	227	386	346	291	261	307	273	229	207																			599	500	461	403	439	382	352	305
300		486	435	367	328	387	344	289	261	442	396	334	298	352	313	263	237																			693	576	530	464	508	440	406	351
400																																											
500																																											
630																																											

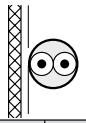
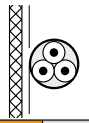
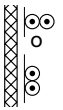
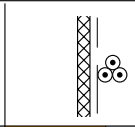
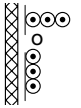
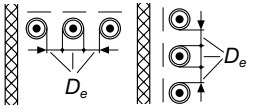
1SDC010006F0201

2.2 Installazione e dimensionamento dei cavi

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 8: Portata cavi con isolamento in PVC o EPR/XLPE (metodo E-F-G)

	Metodo d'installazione	E								F														G							
																															
	Conduttore	Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al		Cu				Al					
	Isolamento	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC			
S[mm^2]	Conduttori caricati	2				3				2				3				3				3H	3V	3H	3V	3H	3V	3H	3V		
1.5		26	22			23	18.5																								
2.5		36	30	28	23	32	25	24	19.5																						
4		49	40	38	31	42	34	32	26																						
6		63	51	49	39	54	43	42	33																						
10		86	70	67	54	75	60	58	46																						
16		115	94	91	73	100	80	77	61																						
25		149	119	108	89	127	101	97	78	161	131	121	98	135	110	103	84	141	114	107	87	182	161	146	130	138	122	112	99		
35		185	148	135	111	158	126	120	96	200	162	150	122	169	137	129	105	176	143	135	109	226	201	181	162	172	153	139	124		
50		225	180	164	135	192	153	146	117	242	196	184	149	207	167	159	128	216	174	165	133	275	246	219	197	210	188	169	152		
70		289	232	211	173	246	196	187	150	310	251	237	192	268	216	206	166	279	225	215	173	353	318	281	254	271	244	217	196		
95		352	282	257	210	298	238	227	183	377	304	289	235	328	264	253	203	342	275	264	212	430	389	341	311	332	300	265	241		
120		410	328	300	244	346	276	263	212	437	352	337	273	383	308	296	237	400	321	308	247	500	454	396	362	387	351	308	282		
150		473	379	346	282	399	319	304	245	504	406	389	316	444	356	343	274	464	372	358	287	577	527	456	419	448	408	356	327		
185		542	434	397	322	456	364	347	280	575	463	447	363	510	409	395	315	533	427	413	330	661	605	521	480	515	470	407	376		
240		641	514	470	380	538	430	409	330	679	546	530	430	607	485	471	375	634	507	492	392	781	719	615	569	611	561	482	447		
300		741	593	543	439	621	497	471	381	783	629	613	497	703	561	547	434	736	587	571	455	902	833	709	659	708	652	557	519		
400										940	754	740	600	823	656	663	526	868	689	694	552	1085	1008	852	795	856	792	671	629		
500										1083	868	856	694	946	749	770	610	998	789	806	640	1253	1169	982	920	991	921	775	730		
630										1254	1005	996	808	1088	855	899	711	1151	905	942	746	1454	1362	1138	1070	1154	1077	900	852		

1SDC010100F0201

2.2 Installazione e dimensionamento dei cavi

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 9: Portata cavi con isolamento minerale

	Metodo d'installazione	C						E o F						G			
	Guaina	Guaina metallica – temperatura 70 °C			Guaina metallica – temperatura 105°C			Guaina metallica – temperatura 70 °C			Guaina metallica – temperatura 105°C			Guaina metallica – temperatura 70 °C		Guaina metallica – temperatura 105°C	
		Cavo in PVC o nudo esposto a contatto			Cavo nudo non soggetto a contatto			Cavo in PVC o nudo esposto a contatto			Cavo nudo non soggetto a contatto			Cavo in PVC o nudo esposto a contatto		Cavo nudo non soggetto a contatto	
	Conduttori caricati													D_e	D_e	D_e	D_e
	S[mm²]	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3
500 V	1.5	23	19	21	28	24	27	25	21	23	31	26	29	26	29	33	37
	2.5	31	26	29	38	33	36	33	28	31	41	35	39	34	39	43	49
	4	40	35	38	51	44	47	44	37	41	54	46	51	45	51	56	64
750 V	1.5	25	21	23	31	26	30	26	22	26	33	28	32	28	32	35	40
	2.5	34	28	31	42	35	41	36	30	34	45	38	43	37	43	47	54
	4	45	37	41	55	47	53	47	40	45	60	50	56	49	56	61	70
	6	57	48	52	70	59	67	60	51	57	76	64	71	62	71	78	89
	10	77	65	70	96	81	91	82	69	77	104	87	96	84	95	105	120
	16	102	86	92	127	107	119	109	92	102	137	115	127	110	125	137	157
	25	133	112	120	166	140	154	142	120	132	179	150	164	142	162	178	204
	35	163	137	147	203	171	187	174	147	161	220	184	200	173	197	216	248
	50	202	169	181	251	212	230	215	182	198	272	228	247	213	242	266	304
	70	247	207	221	307	260	280	264	223	241	333	279	300	259	294	323	370
	95	296	249	264	369	312	334	317	267	289	400	335	359	309	351	385	441
	120	340	286	303	424	359	383	364	308	331	460	385	411	353	402	441	505
	150	388	327	346	485	410	435	416	352	377	526	441	469	400	454	498	565
	185	440	371	392	550	465	492	472	399	426	596	500	530	446	507	557	629
	240	514	434	457	643	544	572	552	466	496	697	584	617	497	565	624	704

1SDC010007F0201

Nota 1 Per cavi unipolari le guaine dei cavi del circuito sono interconnesse ad entrambe le estremità.
Nota 2 Per cavi nudi esposti a contatto, i valori dovrebbero essere moltiplicati per 0,9.
Nota 3 D_e è il diametro esterno del cavo.
Nota 4 Per temperatura della guaina metallica a 105°C non è necessario applicare alcuna correzione per il gruppo.

2.2 Installazione e dimensionamento dei cavi

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Posa interrata: scelta della sezione in funzione della portata e del tipo di posa

La portata di un cavo interrato si ottiene attraverso la relazione:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3 = I_0 k_{tot}$$

dove:
- I_0 è la portata ordinaria di un singolo conduttore per posa interrata a 20 °C;
- k_1 è il fattore di correzione da applicare se la temperatura del terreno è diversa da 20 °C;
- k_2 è il fattore di correzione per i cavi affiancati;
- k_3 è fattore di correzione da applicare se la resistività termica del terreno è diversa dal valore di riferimento di 2.5 Km/W.

Fattore correttivo k_1

Le portate dei cavi interrati sono riferite ad una temperatura del terreno di 20 °C. Se la temperatura del terreno è diversa bisogna applicare il fattore correttivo k_1 riportato nella tabella 10 in funzione del materiale isolante.

Tabella 10: Fattori correttivo per temperatura ambiente del terreno diversa da 20 °C

Temperatura terreno °C	Isolamento	
	PVC	XLPE e EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	–	0.60
70	–	0.53
75	–	0.46
80	–	0.38

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Fattore correttivo k_2

La portata di un cavo è influenzata dalla presenza di altri cavi posati nelle vicinanze. Sono infatti diverse le condizioni di dissipazione di calore di un cavo singolo rispetto a quelle dello stesso cavo posato accanto ad altri.
Il fattore correttivo k_2 si ottiene dalla relazione:

$$k_2 = k_2' \cdot k_2''$$

Nelle tabelle 11, 12, e 13 sono indicati i valori del fattore k_2' per cavi unipolari e multipolari direttamente interrati o in tubi interrati, in funzione della distanza da altri cavi o tra i condotti.

Tabella 11: Fattori di riduzione per cavi posati direttamente nel terreno

Numero di circuiti	Distanza d'isolamento cavo-cavo (a)				
	Nessuna (cavi a contatto)	Diametro di un cavo	0.125 m	0.25 m	0.5 m
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

Cavi multipolari

Cavi unipolari

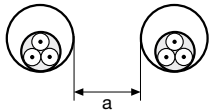
NOTA I valori indicati in tabella si riferiscono ad una profondità di posa di 0,7 m ed ad una resistività termica del terreno di 2,5 Km/W.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 12: Fattori di riduzione per cavi multipolari posati in tubi ad una via nel terreno

Numero di circuiti	Distanza d'isolamento cavo-cavo (a)			
	Nessuna (cavi a contatto)	0.25 m	0.5 m	1.0 m
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90

Cavi multipolari

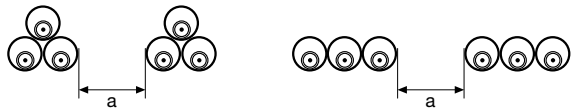


NOTA I valori indicati in tabella si riferiscono ad una profondità di posa di 0,7 m ed ad una resistività termica del terreno di 2,5 Km/W.

Tabella 13: Fattori di riduzione per cavi unipolari posati in tubi ad una via nel terreno

Numero di circuiti unipolari di due o tre cavi	Distanza d'isolamento tubo-tubo (a)			
	Nessuna (cavi a contatto)	0.25 m	0.5 m	1.0 m
2	0.80	0.90	0.90	0.95
3	0.70	0.80	0.85	0.90
4	0.65	0.75	0.80	0.90
5	0.60	0.70	0.80	0.90
6	0.60	0.70	0.80	0.90

Cavi unipolari



NOTA I valori indicati in tabella si riferiscono ad una profondità di posa di 0,7 m ed ad una resistività termica del terreno di 2,5 Km/W.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Per quanto riguarda k_2":

- Per cavi posati direttamente nel terreno o nel caso non siano presenti più conduttori all'interno dello stesso condotto, il fattore di correzione k_2" ha valore unitario;
- Se nello stesso condotto sono presenti più conduttori di taglie simili, (per la definizione di gruppo di conduttori simili si vedano i precedenti paragrafi) il fattore k_2" si ottiene dalla prima riga di tabella 5;
- Nel caso in cui i conduttori non siano di taglie simili, il fattore di correzione va calcolato secondo la relazione:

$$k_2'' = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

dove:
n è il numero di circuiti nel condotto.

Fattore correttivo k_3

La resistività termica del terreno influenza la dissipazione di calore del cavo. Un terreno con una bassa resistività termica facilita la dissipazione di calore contrariamente a quanto accade per un terreno con una resistività termica alta. La norma 60364-5-52 indica come valore di riferimento 2.5 Km/W.

Tabella 14: Fattori di correzione per resistività termiche del suolo diverse 2,5 Km/W

Resistività termiche Km/W	1	1.5	2	2.5	3
Fattore di correzione	1.18	1.1	1.05	1	0.96

Nota 1: La precisione totale dei fattori di correzione è tra ±5%.
Nota 2: I fattori di correzione sono applicabili a cavi tirati in tubi interrati; per i cavi posati direttamente nel terreno i fattori di correzione per resistività termiche inferiori di 2,5 Km/W saranno più alti. Dove sono richiesti valori più precisi, possono essere calcolati con i metodi dati in IEC 60287.
Nota 3: I fattori di correzione sono applicabili a tubi interrati a profondità fino a 0,8 m.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Riassumendo:

Per determinare la sezione del cavo occorre procedere nel seguente modo:

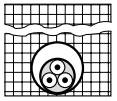
1. determinare dalla tabella 10 il fattore correttivo k_1 in funzione dell'isolante e della temperatura ambiente;
2. determinare dalla tabella 11, dalla tabella 12, dalla tabella 13 o utilizzando la formula indicata nel caso di gruppi di cavi non simili, il fattore correttivo k_2 in funzione della distanza tra i cavi o tra i condotti;
3. determinare dalla tabella 14 il fattore k_3 in corrispondenza della resistività termica del terreno;
4. ricavare il valore della corrente I'_b dividendo la corrente di impiego I_b (o la corrente nominale del dispositivo di protezione) per il prodotto dei fattori correttivi appena calcolati:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2 k_3} = \frac{I_b}{k_{tot}}$$

5. dalla tabella 15 in funzione del metodo di installazione, dell'isolante, del numero di conduttori attivi, determinare la sezione del cavo in corrispondenza di una portata $I_0 \geq I'_b$;
6. calcolare la portata della conduttura come.

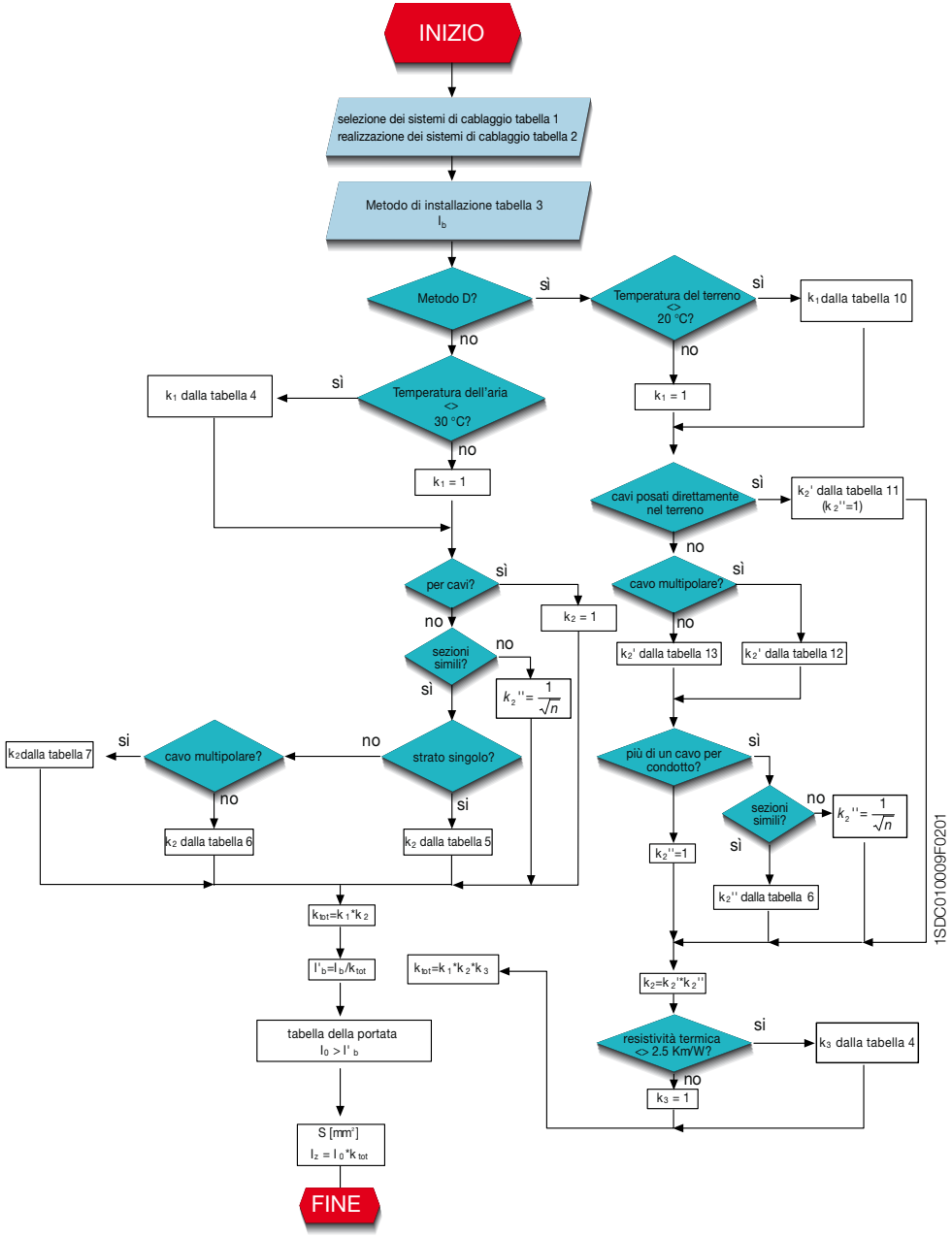
$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3$$

Tabella 15: Portata cavi interrati

	Metodo di installazione	D							
									
	Conduttore	Cu				Al			
	Isolamento	XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC	
S[mm²]	Conduttori caricati	2	3	2	3	2	3	2	3
1.5		26	22	22	18				
2.5		34	29	29	24	26	22	22	18.5
4		44	37	38	31	34	29	29	24
6		56	46	47	39	42	36	36	30
10		73	61	63	52	56	47	48	40
16		95	79	81	67	73	61	62	52
25		121	101	104	86	93	78	80	66
35		146	122	125	103	112	94	96	80
50		173	144	148	122	132	112	113	94
70		213	178	183	151	163	138	140	117
95		252	211	216	179	193	164	166	138
120		287	240	246	203	220	186	189	157
150		324	271	278	230	249	210	213	178
185		363	304	312	258	279	236	240	200
240		419	351	361	297	322	272	277	230
300		474	396	408	336	364	308	313	260

1SDC010008F0201

2 Protezione dei circuiti di alimentazione



1SDC010009F0201

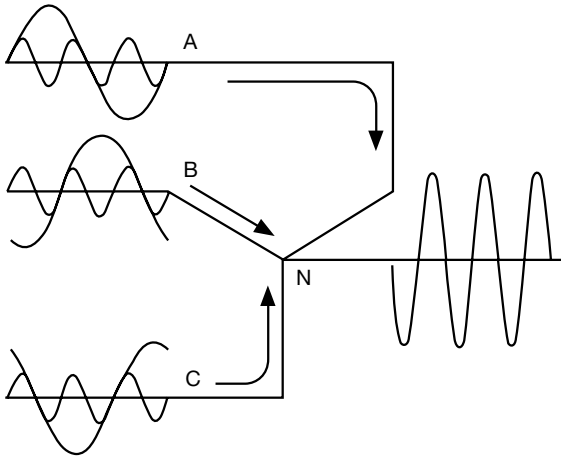
2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Nota alle tabelle relative a portate in corrente ed a conduttori caricati

Le tabelle 8, 9 e 15 forniscono le portate dei conduttori caricati (conduttori percorsi da corrente) in condizioni ordinarie di servizio.
Nei circuiti monofase il numero di conduttori caricati da considerare è due.
Nei circuiti trifase equilibrati o poco squilibrati il numero di conduttori caricati da considerare è tre essendo trascurabili le correnti che si richiudono nel neutro.
Nei sistemi trifase con forti squilibri, il conduttore di neutro porta la corrente esito di uno sbilanciamento nelle correnti di fase. In questo caso, la dimensione del conduttore deve essere scelta in base alla corrente di fase più alta.

Effetto delle correnti armoniche su sistemi trifase equilibrati: fattori di riduzione per correnti armoniche in cavi tetrapolari e pentapolari con quattro poli che portano corrente

In presenza di armoniche il conduttore di neutro può essere percorso da una corrente di valore significativo anche in presenza di carichi trifase equilibrati. in particolare le armoniche di ordine tre si sommano nel neutro dando origine ad un valore di corrente che può risultare superiore a quello che percorre i conduttori di fase. in tal caso la corrente del neutro avrà un effetto significativo sulla portata dei cavi nel circuito.



1SDC010007F0001

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Le apparecchiature che possono causare correnti armoniche significative sono, per esempio, i banchi di lampade a fluorescenza o le fonti di alimentazione in c.c. come quelle che si trovano nei computer (per ulteriori informazioni sui disturbi armonici consultare la norma IEC 61000).
I fattori di riduzione indicati nella Tabella 16 si applicano solo nei circuiti trifase equilibrati in cui il conduttore neutro è all'interno di un cavo tetrapolare o pentapolare ed è costituito dallo stesso materiale ed ha la stessa sezione dei conduttori di fase. Questi fattori di riduzione sono stati calcolati in base alle correnti di terza armonica. Se le correnti nel neutro sono significative, ad esempio maggiori del 10%, ci si aspetta la presenza di armoniche di ordine elevato (es. 9ª - 12ª) oppure si è in presenza di uno sbilanciamento tra le fasi superiore al 50%; in questa condizione devono essere applicati dei coefficienti di riduzione inferiori a quelli indicati in tabella. I nuovi fattori possono essere calcolati soltanto tenendo conto della forma reale della corrente nelle fasi caricate.
Se la corrente del neutro I_N è più grande della corrente di fase I_b allora la sezione del cavo deve essere scelta in base alla corrente I_N. In particolare:
- se $I_b \le I_N < 1.35 \times I_b$ occorre ridurre la portata tabulata per 3 conduttori caricati;
- se $I_N \ge 1.35 \times I_b$ non occorre ridurre la portata tabulata per 3 conduttori caricati in quanto i conduttori di fase (essendo dimensionati in base alla I_N) non sono caricati pienamente;

Tabella 16: Fattori di riduzione per correnti armoniche in cavi tetrapolari e pentapolari

Contenuto della terza armonica della corrente di fase	Fattore di riduzione			
%	La selezione della grandezza è basata sulla corrente di fase	Corrente da prendere in considerazione per la selezione del cavo I_b'	La selezione della grandezza è basata sulla corrente del neutro	Corrente da prendere in considerazione per la scelta del cavo I_b'
0 ÷ 15	1	$I_b' = \frac{I_b}{k_{tot}}$	-	-
15 ÷ 33	0.86	$I_b' = \frac{I_b}{k_{tot} \cdot 0.86}$	-	-
33 ÷ 45	-	-	0.86	$I_b' = \frac{I_N}{0.86}$
> 45	-	-	1	$I_b' = I_N$

Dove I_N è la corrente che attraversa il neutro calcolata come segue: $I_N = \frac{I_b}{k_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III}$

I_b è la corrente di carico;
k_{tot} è il fattore di correzione totale;
k_{III} è il contenuto della terza armonica della corrente di fase.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

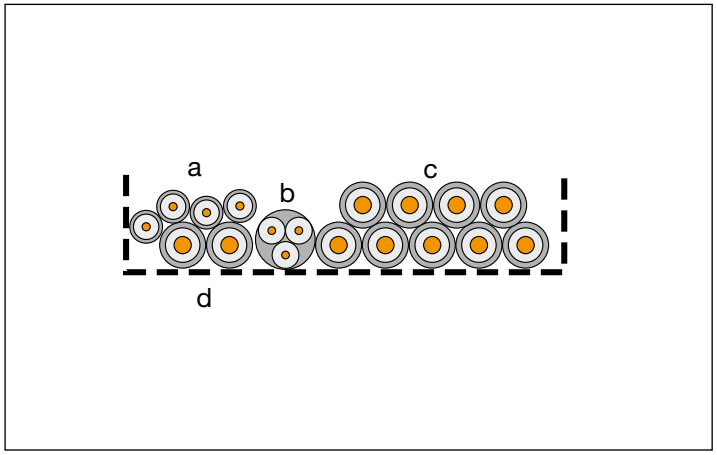
Esempio di dimensionamento di un cavo in un circuito trifase equilibrato in assenza di armoniche

Dimensionamento di un cavo elettrico con le seguenti caratteristiche:

- materiale del conduttore: : rame
- materiale isolante : PVC
- tipo di conduttore: : multipolare
- posa: : cavi raggruppati su passarella perforata orizzontale
- corrente di impiego: : 100 A

Condizioni di installazione:

- temperatura ambiente: : 40 °C
- circuiti adiacenti di sezione simile
  a) circuito trifase costituito da 4 cavi unipolari 4x50 mm^2;
  b) circuito trifase costituito da un cavo multipolare 1x(3x50) mm^2;
  c) circuito trifase costituito da 9 cavi unipolari (3 per fase) 9x95 mm^2;
  d) circuito monofase costituito da 2 cavi unipolari 2x70 mm^2.



1SDC010008F0001

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Procedimento:

Tipologia di posa

Dalla tabella 3 si ricava il numero di riferimento della posa ed il metodo di installazione da utilizzare per i calcoli. Nel caso in esame si tratta della posa di riferimento 31, corrispondente al metodo E (cavo multipolare su passerella).

Fattore di correzione della temperatura k_1

Dalla tabella 4 in corrispondenza della temperatura di 40°C e del materiale isolante PVC si ricava: $k_1 = 0.87$.

$$k_1 = 0.87$$

Fattore di correzione per cavi adiacenti k_2

Per i cavi multipolari raggruppati su passerella perforata occorre considerare la tabella 5.
Per prima cosa si determina il numero di circuiti o cavi multipolari presenti; dato che:

- i circuiti a), b) e d) costituiscono un circuito ciascuno;
- il circuito c) è costituito da tre circuiti, dato che si tratta di tre cavi in parallelo per fase;

il numero totale di circuiti è 7.
In corrispondenza della riga relativa alla disposizione (cavi in fascio), e della colonna relativa al numero di circuiti pari a 7 si ricava:

$$k_2 = 0.54$$

Determinati k_1 e k_2 si calcola I'_b:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{100}{0.87 \cdot 0.54} = 212.85\text{A}$$

Dalla tabella 8 in corrispondenza della tipologia di cavo, multipolare in rame isolato in PVC, metodo di installazione E, con tre conduttori caricati si ricava la sezione con una portata $I_0 \geq I'_b = 212{,}85$ A. Un cavo con sezione di 95 mm^2 ha una portata alle condizioni di riferimento pari a 238 A.
La portata effettiva della conduttura è Iz = 238 · 0,87 · 0,54 = 111,81 A.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Esempio di dimensionamento di un cavo in un circuito trifase equilibrato con significativo contenuto di terza armonica

Dimensionamento di un cavo elettrico con le seguenti caratteristiche:

- materiale del conduttore : rame
- materiale isolante : PVC
- tipo di conduttore: : multipolare
- posa: : strato su passarella perforata orizzontale
- corrente di impiego: : 115 A

Condizioni di installazione:

- temperatura ambiente: : 30 °C
- non sono presenti circuiti adiacenti

Procedimento:

Tipologia di posa

Dalla tabella 3 si ricava il numero di riferimento della posa ed il metodo di installazione da utilizzare per i calcoli. Nel caso in esame si tratta della posa di riferimento 31, corrispondente al metodo E (cavo multipolare su passerella).

Fattore di correzione della temperatura k_1
Dalla tabella 4 in corrispondenza della temperatura di 30°C e del materiale isolante PVC si ricava:

$$k_1 = 1$$

Fattore di correzione per cavi adiacenti k_2
Non essendo presenti cavi adiacenti si ha

$$k_2 = 1$$

Determinati k_1 e k_2 si calcola I'_b:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = 115 A$$

con $k_1 \cdot k_2 = k_{tot} = 1$

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

In assenza di armoniche, dalla tabella 8, in corrispondenza della tipologia di cavo, multipolare in rame isolato in PVC, metodo di installazione E, con tre conduttori caricati si ricava la sezione con una portata $I_0 \geq I'_b = 115$ A. Un cavo con sezione di 35 mm^2 ha una portata alle condizioni di riferimento pari a 126 A.
La portata effettiva della conduttura, in accordo con le condizioni di installazione, è Iz = 126 A essendo i coefficienti k_1 e k_2 uguali ad 1.

Si supponga un contenuto di terza armonica del 28 %.
La tabella 16 in corrispondenza del contenuto armonico del 28 %, indica che occorre dimensionare il cavo in base alla corrente che circola nei conduttori di fase ma bisogna applicare un coefficiente di riduzione pari a 0.86. La corrente I'_b diventa:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2 \cdot 0.86} = \frac{115}{0.86} = 133.7 A$$

Dalla tabella citata precedentemente occorre scegliere un cavo da 50 mm^2 con una portata pari a 153 A.

Supponendo un contenuto di terza armonica del 40 % la tabella 16 indica che occorre dimensionare il cavo in base alla corrente che circola nel conduttore di neutro e bisogna applicare un coefficiente di riduzione pari a 0.86.
La corrente che circola nel neutro sarà:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III} = 115 \cdot 3 \cdot 0.4 = 138 A$$

e la corrente I'_b vale:

$$I'_b = \frac{I_N}{0.86} = \frac{138}{0.86} = 160.5 A$$

Dalla tabella 8 si sceglierà un cavo da 70 mm^2 con una portata pari a 196 A.
Supponendo un contenuto di terza armonica del 60 % la tabella 16 indica che occorre dimensionare il cavo in base alla corrente che circola nel conduttore di neutro ma bisogna applicare un coefficiente di riduzione pari a 1.
La corrente che circola nel neutro sarà:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III} = 115 \cdot 3 \cdot 0.6 = 207 A$$

e la corrente I'_b pari a:

$$I'_b = I_N = 207 A$$

Dalla tabella 8 si sceglierà un cavo da 95 mm^2 con una portata pari a 238 A.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

2.2.2 Cadute di tensione

In un impianto elettrico assume un aspetto importante la valutazione della caduta di tensione dal punto di fornitura fino al punto di utilizzazione.
Un apparecchio utilizzatore alimentato con una tensione differente dal proprio valore nominale può essere soggetto ad un decadimento delle proprie prestazioni. Ad esempio:

- *motori:* la coppia motrice è proporzionale al quadrato della tensione di alimentazione quindi se diminuisce la tensione diminuisce la coppia di spunto, rendendo difficoltoso l'avviamento; diminuisce inoltre la coppia massima;
- *lampade ad incandescenza:* al diminuire della tensione si riduce sensibilmente il flusso luminoso e la colorazione della luce si avvicina al rossastro;
- *lampade a scarica:* in genere non sono molto sensibili alle piccole variazioni di tensione ma in alcuni casi forti variazioni possono provocare lo spegnimento;
- *apparecchi elettronici:* sono molto sensibili alle variazioni di tensione ed è per questo che sono dotati di dispositivi stabilizzatori;
- *dispositivi elettromeccanici:* in accordo con la normativa di riferimento, per dispositivi quali contattori, relé ausiliari, esiste una tensione minima al di sotto della quale non sono più garantite le prestazioni dell'apparecchio. Per un contattore, per esempio, la tenuta dei contatti diventa precaria al di sotto dell'85% della sua tensione nominale.

Per limitare queste problematiche le norme stabiliscono i seguenti limiti:

- IEC 60364-5-52 "Electrical installations of buildings – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems": la Clausola 525 stabilisce che in assenza di altre considerazioni si raccomanda che la caduta di tensione tra l'origine dell'impianto utilizzatore e qualunque apparecchiatura non sia superiore in pratica al 4% della tensione nominale dell'impianto. Altre considerazioni comprendono il tempo d'avviamento per i motori e per le apparecchiature con elevata corrente di spunto. Possono non essere prese in considerazione condizioni temporanee quali tensioni transitorie e variazioni di tensione dovute a funzionamento anomalo.
- IEC 60204-1" Safety of machinery – Electrical equipment of machines- Part 1: General requirements": la Clausola 13.5 stabilisce che la caduta di tensione dal punto di fornitura al carico non deve superare il 5% della tensione nominale in condizioni normali di funzionamento.
- IEC 60364-7-714 "Electrical installations of buildings – Requirements for special installations or locations – External lighting installations" la Clausola 714.512 richiede che la caduta di tensione durante il normale servizio dovrà essere compatibile con le condizioni che possono verificarsi a causa della corrente d'accensione delle lampade.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Calcolo della caduta di tensione

In una linea elettrica di impedenza Z la caduta di tensione si calcola con la seguente formula:

$$\Delta U = kZI_b = kI_b \frac{L}{n}(r\cos\varphi + x\sin\varphi)\ [V] \qquad (1)$$

dove

- k è un coefficiente che vale:
  - 2 per sistemi monofase e bifase;
  - $\sqrt{3}$ per i sistemi trifase;
- I_b [A] è la corrente assorbita dal carico; in assenza di informazioni deve essere utilizzata la portata Iz della conduttura;
- L [km] è la lunghezza della linea;
- n è il numero di conduttori in parallelo per fase;
- r [Ω/km] è la resistenza del singolo cavo per chilometro;
- x [Ω/km] è la reattanza del singolo cavo per chilometro;
- cosφ è il fattore di potenza del carico $\sin\varphi = \sqrt{1-\cos^2\varphi}$.

Solitamente si calcola il valore percentuale rispetto al valore nominale U_n:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_n} 100 \qquad (2)$$

I valori di resistenze e reattanze per unità di lunghezza sono riportate nella tabella seguente, in funzione della sezione, e della formazione del cavo, e per 50 Hz; in caso di 60 Hz i valori di reattanze devono essere moltiplicati di 1,2.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 1: Resistenze e reattanze per unità di lunghezza di cavi in rame

	cavo unipolare		cavo bi- / tripolare	
S [mm²]	r[Ω/km] @ 80 [°C]	x[Ω/km]	r[Ω/km] @ 80 [°C]	x[Ω/km]
1.5	14.8	0.168	15.1	0.118
2.5	8.91	0.156	9.08	0.109
4	5.57	0.143	5.68	0.101
6	3.71	0.135	3.78	0.0955
10	2.24	0.119	2.27	0.0861
16	1.41	0.112	1.43	0.0817
25	0.889	0.106	0.907	0.0813
35	0.641	0.101	0.654	0.0783
50	0.473	0.101	0.483	0.0779
70	0.328	0.0965	0.334	0.0751
95	0.236	0.0975	0.241	0.0762
120	0.188	0.0939	0.191	0.074
150	0.153	0.0928	0.157	0.0745
185	0.123	0.0908	0.125	0.0742
240	0.0943	0.0902	0.0966	0.0752
300	0.0761	0.0895	0.078	0.075

Tabella 2: Resistenze e reattanze per unità di lunghezza di cavi in alluminio

	cavo unipolare		cavo bi- / tripolare	
S [mm²]	r[Ω/km] @ 80 [°C]	x[Ω/km]	r[Ω/km] @ 80 [°C]	x[Ω/km]
1.5	24.384	0.168	24.878	0.118
2.5	14.680	0.156	14.960	0.109
4	9.177	0.143	9.358	0.101
6	6.112	0.135	6.228	0.0955
10	3.691	0.119	3.740	0.0861
16	2.323	0.112	2.356	0.0817
25	1.465	0.106	1.494	0.0813
35	1.056	0.101	1.077	0.0783
50	0.779	0.101	0.796	0.0779
70	0.540	0.0965	0.550	0.0751
95	0.389	0.0975	0.397	0.0762
120	0,310	0.0939	0.315	0.074
150	0.252	0.0928	0.259	0.0745
185	0.203	0.0908	0.206	0.0742
240	0.155	0.0902	0.159	0.0752
300	0.125	0.0895	0.129	0.075

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori di ΔU_x [V/(A·km)] calcolato come k·(r cosφ + x senφ) in funzione della sezione e della formazione del cavo, in corrispondenza dei valori più comuni di cosφ.

Tabella 3: Caduta di tensione specifica a cosφ = 1 per cavi in rame

	cosφ = 1			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	29.60	25.63	30.20	26.15
2.5	17.82	15.43	18.16	15.73
4	11.14	9.65	11.36	9.84
6	7.42	6.43	7.56	6.55
10	4.48	3.88	4.54	3.93
16	2.82	2.44	2.86	2.48
25	1.78	1.54	1.81	1.57
35	1.28	1.11	1.31	1.13
50	0.95	0.82	0.97	0.84
70	0.66	0.57	0.67	0.58
95	0.47	0.41	0.48	0.42
120	0.38	0.33	0.38	0.33
150	0.31	0.27	0.31	0.27
185	0.25	0.21	0.25	0.22
240	0.19	0.16	0.19	0.17
300	0.15	0.13	0.16	0.14

Tabella 4: Caduta di tensione specifica a cosφ = 0,9 per cavi in rame

	cosφ = 0.9			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	26.79	23.20	27.28	23.63
2.5	16.17	14.01	16.44	14.24
4	10.15	8.79	10.31	8.93
6	6.80	5.89	6.89	5.96
10	4.14	3.58	4.16	3.60
16	2.64	2.28	2.65	2.29
25	1.69	1.47	1.70	1.48
35	1.24	1.08	1.25	1.08
50	0.94	0.81	0.94	0.81
70	0.67	0.58	0.67	0.58
95	0.51	0.44	0.50	0.43
120	0.42	0.36	0.41	0.35
150	0.36	0.31	0.35	0.30
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.25	0.22	0.24	0.21
300	0.22	0.19	0.21	0.18

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 5: Caduta di tensione specifica a cosφ = 0,85 per cavi in rame

	cosφ = 0.85			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	25.34	21.94	25.79	22.34
2.5	15.31	13.26	15.55	13.47
4	9.62	8.33	9.76	8.45
6	6.45	5.59	6.53	5.65
10	3.93	3.41	3.95	3.42
16	2.51	2.18	2.52	2.18
25	1.62	1.41	1.63	1.41
35	1.20	1.04	1.19	1.03
50	0.91	0.79	0.90	0.78
70	0.66	0.57	0.65	0.56
95	0.50	0.44	0.49	0.42
120	0.42	0.36	0.40	0.35
150	0.36	0.31	0.35	0.30
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.22	0.24	0.21
300	0.22	0.19	0.21	0.18

Tabella 6: Caduta di tensione specifica a cosφ = 0,8 per cavi in rame

	cosφ = 0.8			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	23.88	20.68	24.30	21.05
2.5	14.44	12.51	14.66	12.69
4	9.08	7.87	9.21	7.98
6	6.10	5.28	6.16	5.34
10	3.73	3.23	3.74	3.23
16	2.39	2.07	2.39	2.07
25	1.55	1.34	1.55	1.34
35	1.15	0.99	1.14	0.99
50	0.88	0.76	0.87	0.75
70	0.64	0.55	0.62	0.54
95	0.49	0.43	0.48	0.41
120	0.41	0.36	0.39	0.34
150	0.36	0.31	0.34	0.29
185	0.31	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.22	0.24	0.21
300	0.23	0.20	0.21	0.19

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 7: Caduta di tensione specifica a cosφ = 0,75 per cavi in rame

	cosφ = 0.75			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	22.42	19.42	22.81	19.75
2.5	13.57	11.75	13.76	11.92
4	8.54	7.40	8.65	7.49
6	5.74	4.97	5.80	5.02
10	3.52	3.05	3.52	3.05
16	2.26	1.96	2.25	1.95
25	1.47	1.28	1.47	1.27
35	1.10	0.95	1.08	0.94
50	0.84	0.73	0.83	0.72
70	0.62	0.54	0.60	0.52
95	0.48	0.42	0.46	0.40
120	0.41	0.35	0.38	0.33
150	0.35	0.31	0.33	0.29
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.23	0.24	0.21
300	0.23	0.20	0.22	0.19

Tabella 8: Caduta di tensione specifica a cosφ= 1 per cavi in alluminio

	cosφ = 1			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	48.77	42.23	49.76	43.09
2.5	29.36	25.43	29.92	25.91
4	18.35	15.89	18.72	16.21
6	12.22	10.59	12.46	10.79
10	7.38	6.39	7.48	6.48
16	4.65	4.02	4.71	4.08
25	2.93	2.54	2.99	2.59
35	2.11	1.83	2.15	1.87
50	1.56	1.35	1.59	1.38
70	1.08	0.94	1.10	0.95
95	0.78	0.67	0.79	0.69
120	0.62	0.54	0.63	0.55
150	0.50	0.44	0.52	0.45
185	0.41	0.35	0.41	0.36
240	0.31	0.27	0.32	0.28
300	0.25	0.22	0.26	0.22

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 9: Caduta di tensione specifica a cosφ = 0,9 per cavi in alluminio

	cosφ = 0.9			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	44.04	38.14	44.88	38.87
2.5	26.56	23.00	27.02	23.40
4	16.64	14.41	16.93	14.66
6	11.12	9.63	11.29	9.78
10	6.75	5.84	6.81	5.89
16	4.28	3.71	4.31	3.73
25	2.73	2.36	2.76	2.39
35	1.99	1.72	2.01	1.74
50	1.49	1.29	1.50	1.30
70	1.06	0.92	1.06	0.91
95	0.78	0.68	0.78	0.68
120	0.64	0.55	0.63	0.55
150	0.53	0.46	0.53	0.46
185	0.44	0.38	0.44	0.38
240	0.36	0.31	0.35	0.30
300	0.30	0.26	0.30	0.26

Tabella 10: Caduta di tensione specifica a cosφ = 0,85 per cavi in alluminio

	cosφ = 0.85			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	41.63	36.05	42.42	36.73
2.5	25.12	21.75	25.55	22.12
4	15.75	13.64	16.02	13.87
6	10.53	9.12	10.69	9.26
10	6.40	5.54	6.45	5.58
16	4.07	3.52	4.09	3.54
25	2.60	2.25	2.63	2.27
35	1.90	1.65	1.91	1.66
50	1.43	1.24	1.43	1.24
70	1.02	0.88	1.01	0.88
95	0.76	0.66	0.76	0.65
120	0.63	0.54	0.61	0.53
150	0.53	0.46	0.52	0.45
185	0.44	0.38	0,43	0.37
240	0.36	0.31	0.35	0.30
300	0.31	0.27	0.30	0.26

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 11: Caduta di tensione specifica a cosφ = 0,8 per cavi in alluminio

	cosφ = 0.8			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	39.22	33.96	39.95	34.59
2.5	23.67	20.50	24.07	20.84
4	14.85	12.86	15.09	13.07
6	9.94	8.61	10.08	8.73
10	6.05	5.24	6.09	5.27
16	3.85	3.34	3.87	3.35
25	2.47	2.14	2.49	2.16
35	1.81	1.57	1.82	1.57
50	1.37	1.18	1.37	1.18
70	0.98	0.85	0.97	0.84
95	0.74	0.64	0.73	0.63
120	0.61	0.53	0.59	0.51
150	0.51	0.45	0.50	0.44
185	0.43	0.38	0.42	0.36
240	0.36	0.31	0.34	0.30
300	0.31	0.27	0.30	0.26

Tabella 12: Caduta di tensione specifica a cosφ = 0,75 per cavi in alluminio

	cosφ = 0.75			
	cavo unipolare		cavo bipolare	cavo tripolare
S[mm²]	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	36.80	31.87	37.47	32.45
2.5	22.23	19.25	22.58	19.56
4	13.95	12.08	14.17	12.27
6	9.35	8.09	9.47	8.20
10	5.69	4.93	5.72	4.96
16	3.63	3.15	3.64	3.15
25	2.34	2.02	2.35	2.03
35	1.72	1.49	1.72	1.49
50	1.30	1.13	1.30	1.12
70	0.94	0.81	0.92	0.80
95	0.71	0.62	0.70	0.60
120	0.59	0.51	0.57	0.49
150	0.50	0.43	0.49	0.42
185	0.42	0.37	0.41	0.35
240	0.35	0.31	0.34	0.29
300	0.31	0.27	0.29	0.25

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Esempio 1

Si vuole calcolare la caduta di tensione su di una linea trifase che presenta i seguenti dati:
- tensione nominale: 400 V;
- lunghezza della linea: 25 m;
- formazione della linea: cavo in rame unipolare 3x50 mm^2;
- corrente assorbita dal carico I_b: 100 A;
- fattore di potenza cosφ: 0.9.

Dalla tabella 4, in corrispondenza del cavo unipolare da 50 mm^2, si legge una caduta di tensione ΔU_x pari a 0.81 [V/(A·km)]. Moltiplicando tale valore per la lunghezza in km e per la corrente in A si ottiene:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0.81 \cdot 100 \cdot 0.025 = 2.03 \text{ V}$$

cui corrisponde un valore percentuale pari a:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{2.03}{400} \cdot 100 = 0.51\%$$

Esempio 2

Si vuole calcolare la caduta di tensione su di una linea trifase che presenta i seguenti dati:
- tensione nominale: 690 V;
- lunghezza della linea: 50 m;
- formazione della linea: cavo in rame multipolare 2x(3x10) mm^2;
- corrente assorbita dal carico I_b: 50 A;
- fattore di potenza cosφ: 0.85.

Dalla tabella 5 in corrispondenza del cavo multipolare da 10 mm^2 si legge una caduta di tensione ΔU_x pari a 3.42 [V/(A·km)]. Moltiplicando tale valore per la lunghezza in km, per la corrente in A e dividendo per il numero di cavi in parallelo si ottiene:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot \frac{L}{2} = 3.42 \cdot 50 \cdot \frac{0.05}{2} = 4.28 \text{ V}$$

cui corrisponde un valore percentuale pari a:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{4.28}{690} \cdot 100 = 0.62\%$$

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Metodo per la definizione della sezione del conduttore in funzione della caduta di tensione nel caso di linee lunghe

Nel caso di linee lunghe o quando specifiche esigenze di progetto impongano bassi limiti per la caduta di tensione massima, la verifica che utilizza come riferimento la sezione calcolata in funzione di considerazioni termiche (calcolo secondo paragrafo 2.2.1 “Portata e modalità di posa”) può dare esito negativo.

Per definire la sezione corretta il massimo valore di ΔU_{xmax}, calcolato utilizzando la formula:

$$\Delta U_{xmax} = \frac{\Delta u\% \cdot U_n}{100 \cdot I_b \cdot L} \quad (3)$$

viene confrontato con quelli delle tabelle da 4 a 12 corrispondenti, scegliendo la più piccola sezione con un valore di ΔU_x inferiore a ΔU_{xmax}.

Esempio:
Alimentazione di un carico trifase P_n da 35 kW (U_n=400 V, f_n= 50 Hz, cosφ=0.9) con una linea lunga 140 m, costituita da cavo multipolare in rame, isolato in EPR, posato su passerella perforata, Massima caduta di tensione ammessa = 2%.

La corrente di carico I_b risulta pari a:

$$I_b = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} = 56 \text{ A}$$

Dalla tabella 8 di paragrafo 2.2.1 risulta S= 10 mm^2.
Dalla tabella 4, in corrispondenza del cavo multipolare da 10 mm^2, si legge una caduta di tensione per ampere e per kilometro pari a 3.60 [V/(A·km)]. Moltiplicando tale valore per la lunghezza in km, per la corrente in A si ottiene:

$$\Delta U = 3.60 \cdot I_b \cdot L = 3.6 \cdot 56 \cdot 0.14 = 28.2 \text{ V}$$

cui corrisponde un valore percentuale pari a:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{28.2}{400} \cdot 100 = 7.05\%$$

Tale valore risulta troppo elevato.
Dalla formula (3)

$$\Delta U_{xmax} = \frac{\Delta u\% \cdot U_n}{100 \cdot I_b \cdot L} = \frac{2\% \cdot 400}{100 \cdot 56 \cdot 0.14} = 1.02 \text{ V/(A} \cdot \text{km)}$$

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Dalla tabella 4 é possibile scegliere una sezione pari a 50 mm^2.
Per tale sezione risulta infatti $\Delta U_x = 0.81 < 1.02$ [V/(A·km)].
Infatti, utilizzando questo valore, si ottiene:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0.81 \cdot 56 \cdot 0.14 = 6.35 \text{ V}$$

cui corrisponde un valore percentuale pari a:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{6.35}{400} \cdot 100 = 1.6\%$$

2.2.3 Perdite per effetto Joule

Le perdite per effetto Joule sono dovute alla resistenza elettrica del cavo.
L'energia persa è dissipata in calore e contribuisce al riscaldamento della conduttura e dell'ambiente.
Le perdite, in prima approssimazione, valgono in regime trifase:

$$P_j = \frac{3 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]}$$

mentre, in regime monofase:

$$P_j = \frac{2 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]}$$

dove:
- I_b è la corrente di impiego [A];
- r è la resistenza di fase per unità di lunghezza del cavo a 80 °C [Ω/km] (vedi Tabella 1);
- L è la lunghezza del cavo [m].

Tabella 1: Valori di resistenza [Ω/km] dei cavi unipolari e multipolari in rame e alluminio a 80 °C

S	Cavo unipolare		Cavo bi- / tripolare	
[mm^2]	Cu	Al	Cu	Al
1.5	14.8	24.384	15.1	24.878
2.5	8.91	14.680	9.08	14.960
4	5.57	9.177	5.68	9.358
6	3.71	6.112	3.78	6.228
10	2.24	3.691	2.27	3.740
16	1.41	2.323	1.43	2.356
25	0.889	1.465	0.907	1.494
35	0.641	1.056	0.654	1.077
50	0.473	0.779	0.483	0.796
70	0.328	0.540	0.334	0.550
95	0.236	0.389	0.241	0.397
120	0.188	0.310	0.191	0.315
150	0.153	0.252	0.157	0.259
185	0.123	0.203	0.125	0.206
240	0.0943	0.155	0.0966	0.159
300	0.0761	0.125	0.078	0.129

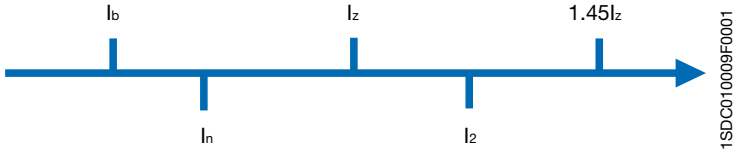
2.3 Protezione contro la corrente di sovraccarico

La norma IEC 60364-4-43 "Electrical installation of buildings - Protection against overcurrent" prescrive di realizzare il coordinamento tra i conduttori e i dispositivi di protezione da sovraccarico (normalmente posti all'inizio della conduttura da proteggere) in modo che soddisfi le due condizioni seguenti:

$$I_b \le I_n \le I_z \quad (1)$$

$$I_2 \le 1.45 \cdot I_z \quad (2)$$

Dove:
- I_b è la corrente per la quale è dimensionato il circuito;
- I_z è la portata continuativo del cavo;
- I_n è la corrente nominale del dispositivo di protezione; per gli sganciatori di protezione regolabili, la corrente nominale In è la corrente impostata I_1;
- I_2 è la corrente che garantisce il funzionamento efficace nel tempo convenzionale del dispositivo di protezione.



Per scegliere correttamente il dispositivo di protezione occorre verificare che l'interruttore abbia una corrente nominale (o regolata) che sia:
- superiore alla corrente di impiego dell'impianto per evitare scatti intempestivi;
- inferiore alla portata della conduttura per evitare il sovraccarico della stessa.

La norma consente il passaggio di una corrente di sovraccarico pari al 45% in più della portata ma per un tempo limitato (tempo convenzionale di intervento della protezione).
La verifica della condizione (2) non è necessaria nel caso di interruttori automatici in quanto la corrente di sicuro intervento vale:
- $I_2 = 1.3 \cdot I_n$ per interruttori conformi alla norma IEC 60947-2 (interruttori per uso industriale);
- $I_2 = 1.45 \cdot I_n$ per interruttori conformi alla norma IEC 60898 (interruttori per uso domestico e similare).

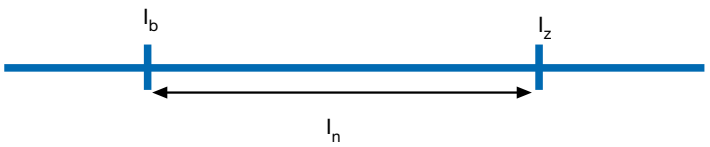
Di conseguenza per interruttori automatici se risulta In ≤ Iz sicuramente sarà verificata anche la relazione $I_2 \le 1.45 \cdot I_z$.
Se il dispositivo di protezione è un fusibile, è assolutamente necessario verificare anche la relazione (2) in quanto per essi la norma IEC 60269-2-1 "Low-voltage fuses" fissa la corrente di sicuro intervento a $1.6 \cdot I_n$.
In questo caso la relazione (2) diventa $1.6 \cdot I_n \le 1.45 \cdot I_z$ ossia $I_n \le 0.9 \cdot I_z$.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

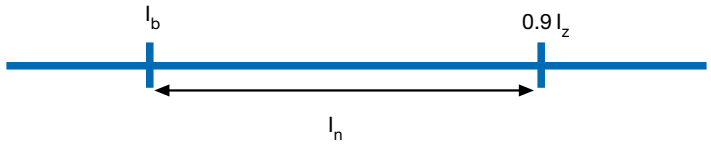
Riassumendo: per effettuare la protezione dai sovraccarichi con un fusibile occorre verificare la seguente relazione:

$$I_b \leq I_n \leq 0.9 \cdot I_z$$

e ciò comporta un minore sfruttamento del cavo.



Interruttore automatico: scelta della corrente nominale



Fusibile: scelta della corrente nominale

Dove l'uso di un singolo conduttore per fase non è fattibile, e le correnti nei conduttori in parallelo non sono uguali, la corrente di impiego e le richieste per la protezione da sovraccarico per ogni conduttore saranno prese in considerazione singolarmente.

Esempi

Esempio 1

Caratteristiche del carico

P_n = 70 kW; U_n = 400 V; cosφ = 0.9; carico trifase I_b = 112 A

Caratteristiche del cavo

I_z = 134 A

Caratteristiche del dispositivo di protezione

T1B160 TMD I_n125; corrente regolata I1 = 125 A

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Esempio 2

Caratteristiche del carico

P_n = 80 kW; cosφ = 0.9; U_n = 400 V; carico trifase I_b = 128 A

Caratteristiche del cavo

I_z = 171 A

Caratteristiche del dispositivo di protezione

T2N160 PR221DS-LS I_n160; corrente regolata I1 = 0.88 x I_n = 140.8 A

Esempio 3

Caratteristiche del carico

P_n = 100 kW; cosφ = 0.9; U_n = 400 V ; carico trifase I_b = 160 A

Caratteristiche del cavo

I_z = 190 A

Caratteristiche del dispositivo di protezione

T3N250 TMD I_n200; corrente regolata I1 = 0.9 x I_n = 180 A

Esempio 4

Caratteristiche del carico

P_n = 25 kW; cosφ = 0.9; U_n = 230 V ; carico monofase I_b = 121 A

Caratteristiche del cavo
I_z = 134 A

Caratteristiche del dispositivo di protezione
T1B160 1P TMF I_n125

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

2.4 Protezione contro il cortocircuito

Un cavo risulta protetto dal corto circuito se è verificata la seguente disuguaglianza tra l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione I^2t e l'energia specifica ammissibile del cav (k^2S^2):

$$I^2t \leq k^2S^2 \quad (1)$$

dove

- I^2t è l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione ricavabile dalle curve fornite dal costruttore (vedere Manuale impianti elettrici, Vol. 1, Capitolo 3.4 "Curva di energia specifica passante") o da calcolo diretto nel caso di dispositivi non limitatori e ritardati;
- S è la sezione del cavo in [mm^2]; nel caso di più conduttori in parallelo é la sezione del singolo conduttore;
- k è un fattore che dipende dal materiale isolante e dal materiale conduttore del cavo. I valori relativi alle più comuni situazioni installative sono riportati in tabella 1; per un calcolo più di dettaglio si veda quanto riportato in appendice D.

Tabella 1: Valori di k per conduttore di fase

	Isolamento del conduttore					
	PVC ≤300 mm^2	PVC >300 mm^2	EPR XLPE	Gomma 60 °C	Minerale	
					PVC	Nudo
Temperatura iniziale °C	70	70	90	60	70	105
Temperatura finale °C	160	140	250	200	160	250
Materiale del conduttore:						
Rame	115	103	143	141	115	135/115 [a]
Alluminio	76	68	94	93	-	-
giunzioni saldate a stagno in conduttori in rame	115	-	-	-	-	-

[a] Questo valore deve essere usato per cavi nudi esposti al contatto.

NOTA 1 Altri valori di k sono sotto considerazione per:
- piccolo conduttori (particolarmente per sezione trasversale minore di 10 mm^2);
- durata del cortocircuito superiore a 5 s;
- altri tipi di giunzioni in conduttori;
- conduttori nudi.

NOTA 2 La corrente nominale del dispositivo di protezione da corto circuito può essere superiore alla portata del cavo.

NOTA 3 I suddetti fattori sono basati sulla IEC 60724.

1SDC010010F0201

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Nella tabella 2 sono riportati i valori di energia specifica ammissibile per i cavi in funzione della sezione, del materiale conduttore e del tipo di isolante, calcolati usando i parametri della tabella 1.

Tabella 2: Massima energia sopportabile per cavi $k^2 S^2$ [$(kA)^2$ s]

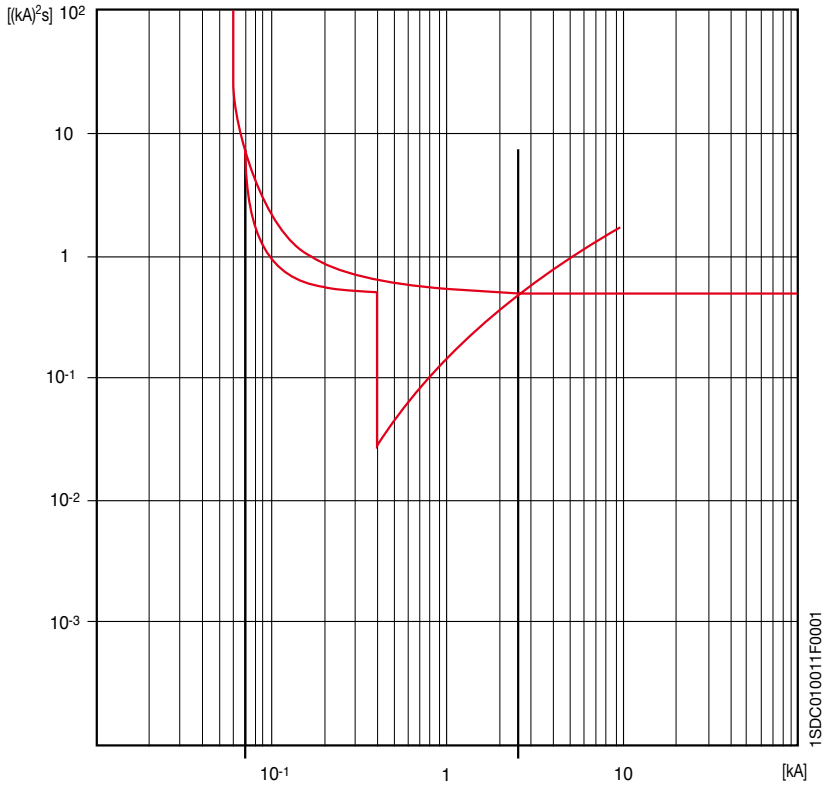
			Sezione [mm^2]							
Cavo		**k**	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35
PVC	Cu	115	$2.98 \cdot 10^{-2}$	$8.27 \cdot 10^{-2}$	$2.12 \cdot 10^{-1}$	$4.76 \cdot 10^{-1}$	1.32	3.39	8.27	$1.62 \cdot 10^{1}$
	Al	76	$1.30 \cdot 10^{-2}$	$3.61 \cdot 10^{-2}$	$9.24 \cdot 10^{-2}$	$2.08 \cdot 10^{-1}$	$5.78 \cdot 10^{-1}$	1.48	3.61	7.08
EPR/XLPE	Cu	143	$4.60 \cdot 10^{-2}$	$1.28 \cdot 10^{-1}$	$3.27 \cdot 10^{-1}$	$7.36 \cdot 10^{-1}$	2.04	5.23	$1.28 \cdot 10^{1}$	$2.51 \cdot 10^{1}$
	Al	94	$1.99 \cdot 10^{-2}$	$5.52 \cdot 10^{-2}$	$1.41 \cdot 10^{-1}$	$3.18 \cdot 10^{-1}$	$8.84 \cdot 10^{-1}$	2.26	5.52	$1.08 \cdot 10^{1}$
Goma	Cu	141	$4.47 \cdot 10^{-2}$	$1.24 \cdot 10^{-1}$	$3.18 \cdot 10^{-1}$	$7.16 \cdot 10^{-1}$	1.99	5.09	$1.24 \cdot 10^{1}$	$2.44 \cdot 10^{1}$
	Al	93	$1.95 \cdot 10^{-2}$	$5.41 \cdot 10^{-2}$	$1.38 \cdot 10^{-1}$	$3.11 \cdot 10^{-1}$	$8.65 \cdot 10^{-1}$	2.21	5.41	$1.06 \cdot 10^{1}$

			Sezione [mm^2]							
Cavo		**k**	50	70	95	120	150	185	240	300
PVC	Cu	115	$3.31 \cdot 10^{1}$	$6.48 \cdot 10^{1}$	$1.19 \cdot 10^{2}$	$1.90 \cdot 10^{2}$	$2.98 \cdot 10^{2}$	$4.53 \cdot 10^{2}$	$7.62 \cdot 10^{2}$	$1.19 \cdot 10^{3}$
	Al	76	$1.44 \cdot 10^{1}$	$2.83 \cdot 10^{1}$	$5.21 \cdot 10^{1}$	$8.32 \cdot 10^{1}$	$1.30 \cdot 10^{2}$	$1.98 \cdot 10^{2}$	$3.33 \cdot 10^{2}$	$5.20 \cdot 10^{2}$
EPR/XLPE	Cu	143	$5.11 \cdot 10^{1}$	$1.00 \cdot 10^{1}$	$1.85 \cdot 10^{1}$	$2.94 \cdot 10^{2}$	$4.60 \cdot 10^{2}$	$7.00 \cdot 10^{2}$	$1.18 \cdot 10^{3}$	$1.84 \cdot 10^{3}$
	Al	94	$2.21 \cdot 10^{1}$	$4.33 \cdot 10^{1}$	$7.97 \cdot 10^{1}$	$1.27 \cdot 10^{2}$	$1.99 \cdot 10^{2}$	$3.02 \cdot 10^{2}$	$5.09 \cdot 10^{2}$	$7.95 \cdot 10^{2}$
G2	Cu	141	$4.97 \cdot 10^{1}$	$9.74 \cdot 10^{1}$	$1.79 \cdot 10^{1}$	$2.86 \cdot 10^{2}$	$4.47 \cdot 10^{2}$	$6.80 \cdot 10^{2}$	$1.15 \cdot 10^{3}$	$1.79 \cdot 10^{3}$
	Al	93	$2.16 \cdot 10^{1}$	$4.24 \cdot 10^{1}$	$7.81 \cdot 10^{1}$	$1.25 \cdot 10^{2}$	$1.95 \cdot 10^{2}$	$2.96 \cdot 10^{2}$	$4.98 \cdot 10^{2}$	$7.78 \cdot 10^{2}$

1SDC010002F0901

La relazione (1) deve essere verificata per tutta la lunghezza del cavo. Dato il particolare andamento della curva dell'energia specifica passante di un interruttore è in genere, ma non sempre, sufficiente verificare la (1) soltanto per il valore massimo e quello minimo di corrente di cortocircuito che può interessare la conduttura. Il valore massimo solitamente è il valore della corrente di cortocircuito trifase che si ha ad inizio linea, mentre il valore minimo è il valore della corrente di cortocircuito fase-neutro (fase-fase se il neutro non è distribuito) o fase-terra alla fine della conduttura.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione



La verifica può essere semplificata confrontando il solo valore dell'energia lasciata passare dall'interruttore alla massima corrente di cortocircuito con l'energia sopportata dal cavo ed imponendo che alla minima corrente di cortocircuito l'intervento del dispositivo sia istantaneo: la soglia della protezione contro il cortocircuito dello sganciatore (tenendo conto anche delle tolleranze) deve essere quindi inferiore alla corrente di cortocircuito minima a fondo linea.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Nelle seguenti pagine sono riportate le tabelle valide a 400V che indicano in relazione all'interruttore e ad una corrente di cortocircuito pari al potere d'interruzione dell'interruttore stesso la minima sezione del cavo protetta dal cortocircuito.
Queste tabelle non sono riferite alla protezione dei cavi contro il sovraccarico, mostrano un dimensionamento indicativo della sezione minima che può essere utilizzata; in fase di progettazione, è necessario che i conduttori siano dimensionati in accordo alle reali caratteristiche dell'impianto (corrente di corto circuito, condizione del neutro, ecc...) tramite l'analisi delle curve caratteristiche degli interruttori utilizzati.

Interruttore			**Conduttore di fase isolato in PVC**	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T1 160	B=16 C=25	16*-32	6	476100
		40**-160	10	1322500
T1 160	N=36	32-160	10	1322500

Interruttore			**Conduttore di fase isolato in EPR**	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T1 160	B=16 C=25	16*-20	4	327184
		25-160	6	736164
T1 160	N=36	32-100	6	736164
		125-160	10	2044900

* In=16 e In=20 disponibile solo per T1B
** con interruttore T1B In=40/50/63 è possibile utilizzare un cavo da 6mm^2 isolato in PVC

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Interruttore			Conduttore di fase isolato in PVC	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T2 160	N=36kA S=50kA H=70kA	1-4	1,5	29756,25
		5*-8	2,5	82656,25
		10-50	4	211600
		63-160	6	476100
	L=85kA	1-3.2	1,5	29756,25
		4-8	2,5	82656,25
		10-32	4	211600
		40-160	6	476100

Interruttore			Conduttore di fase isolato in EPR	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T2 160	N=36kA S=50kA H=70kA	1-6.3	1,5	46010,25
		8**-10	2,5	127806,25
		12.5-63	4	327184
		80-160	6	736164
	L=85kA	1-5	1,5	46010,25
		6.3-10	2,5	127806,25
		12.5-50	4	327184
		63-160	6	736164

* per l'interruttore T2N I_n=5A può essere utilizzato un cavo isolato in PVC da 1.5mm^2
** per l'interruttore T2N I_n=8A e T2S I_n=8A è possibile utilizzare un cavo isolato in EPR da 1.5mm^2

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Interruttore			Conduttore di fase isolato in PVC		Conduttore di fase isolato in EPR	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T3	N=36 S=50	63-250	16	3385600	10	2044900

Interruttore			Conduttore di fase isolato in PVC	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T4	N=36 S=50 H=70 L=120 V=200	20-50	6	476100
		80-250	10	1322500

Interruttore			Conduttore di fase isolato in EPR	
Type	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T4	N=36 S=50 H=70 L=120 V=200	20	4	327184
		32-80	6	736164
		100-250	10*	2044900

* con l'interruttore T4N è possibile utilizzare un cavo da 6 mm^2 isolato in EPR

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Interruttore			Conduttore di fase isolato in PVC		Conduttore di fase isolato in EPR	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T5	N=36 S=50	320-630	16	3385600	16	5234944
T5	H=70 L=120 V=200	320-630	25	8265625		

Interruttore			Conduttore di fase isolato in PVC		Conduttore di fase isolato in EPR	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T6	N=36 S=50 H=70 L=100	630*	35	16200625	35	25050025
		800**	50	33062500		
		1000**				

* con l'interruttore T6N (Icu=36kA) è possibile utilizzare un cavo da 25 mm^2 isolato in EPR
** con l'interruttore T6N (Icu=36kA) è possibile utilizzare un cavo da 35 mm^2 isolato in PVC

Interruttore			Conduttore di fase isolato in PVC		Conduttore di fase isolato in EPR	
Tipo	Icu (kA)	Corrente nominale (A)	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2	Conduttore di fase (mm^2)	K^2S^2
T7	S=50 H=70 V=150	400-1250	50	33062500	50*	51122500
T7	L=120	400-1600	70	64802500	50	51122500

* con l'interruttore T7S (Icu=50kA) è possibile utilizzare un cavo da 35mm^2 isolato in EPR

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Calcolo della corrente di corto circuito a fine linea

E' possibile calcolare la corrente minima di cortocircuito dalle seguenti formule approssimate:

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_n \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}}$$ con conduttore di neutro non distribuito (2.1)

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{L}{S}}$$ con conduttore di neutro distribuito (2.2)

dove:

- I_{kmin} è il valore minimo della corrente di corto circuito presunta in kA;
- U_n è la tensione concatenata di alimentazione in V;
- U_0 è la tensione di fase di alimentazione in V;
- ρ é la resistività a 20 [°C] del materiale dei conduttori in $\Omega mm^2/m$ e vale:
  - 0.018 per il rame;
  - 0.027 per l'alluminio;
- L è la lunghezza della conduttura protetta in (m);
- S è la sezione del conduttore in (mm^2);
- k_{sec} è il fattore correttivo per tener conto della reattanza dei cavi con sezione maggiore di 95 [mm^2]:

S[mm^2]	120	150	185	240	300
k_{sec}	0.9	0.85	0.80	0.75	0.72

- k_{par} è il coefficiente correttivo per conduttori in parallelo:

numero di conduttori in parallelo	2	3	4	5
k_{par}*	2	2.7	3	3.2

*k_{par} = 4 (n-1)/n dove: n = numero di conduttori di fase in parallelo

- m è il rapporto tra la resistenza del conduttore di neutro e la resistenza del conduttore di fase (nel caso siano costituiti dallo stesso materiale m è il rapporto tra la sezione del conduttore di fase e quella del conduttore di neutro).

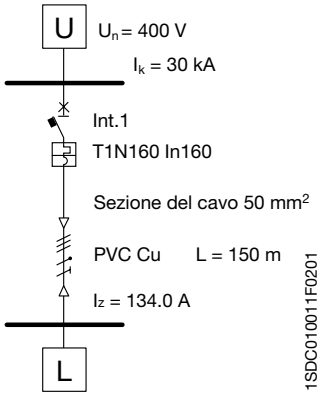
Calcolata la corrente minima di corto circuito, occorre verificare che

$$I_{kmin} > 1.2 \cdot I_3 \quad (3)$$

dove:
- I_3 è la corrente di intervento della protezione magnetica dell'interruttore automatico;
- 1.2 è la tolleranza sulla soglia di intervento.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Esempio



Scelta dell'interruttore 1

Dati dell'impianto:
Tensione nominale 400 V
I_k = 30 kA

Dati del cavo:
conduttore di rame isolato in PVC
lunghezza = 150 m
S = 50 mm²
I_z = 134 A

Protezione dal cortocircuito a inizio linea:

T¹N160 In160 (potere di interruzione 36 kA@400 V)
I²t (@30 kA) = 7.5 10^{-1} (kA)²s (per le curve di energia specifica passante utilizzare il software Curves 1.0)
$k^2S^2 = 115^2 \cdot 50^2 = 3{,}31 \cdot 10^1$ (kA)²s
Il cavo risulta quindi protetto dal corto circuito a inizio linea.

Protezione dal cortocircuito a fine linea

La corrente di corto circuito minima a fine linea (k_{sec}=1 e k_{par}=1) vale:

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} = 1.98 \text{ kA}$$

La soglia magnetica dell'interruttore T1N160 In160 è fissata a 1600 A. Considerando il 20% di tolleranza si ha il sicuro intervento per valori maggiori di 1920 A; il cavo risulta quindi protetto per cortocircuito a fine linea.

Lunghezza massima protetta

La relazione (3), esplicitata in funzione della lunghezza, consente di ottenere la lunghezza massima protetta dal dispositivo di protezione con una precisa soglia di intervento istantaneo. Nella tabella 3 è possibile individuare, in funzione della sezione del cavo e della regolazione della soglia della protezione istantanea contro il cortocircuito dell'interruttore, la lunghezza massima protetta, nell'ipotesi di :
- sistema trifase con tensione nominale 400 V;
- neutro non distribuito;
- conduttore in rame con resistività pari a 0,018 Ωmm²/m;

Nei valori tabulati è già stato considerato il coefficiente di tolleranza del 20% sul valore di intervento magnetico, l'aumento della resistività del cavo per il riscaldamento dovuto alla corrente di cortocircuito e l'abbassamento della tensione rispetto al valore nominale per effetto del guasto.
I fattori correttivi riportati dopo la tabella devono essere applicati quando le condizioni d'impianto differiscono da quelle di riferimento.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 3: Lunghezza massima protetta

	sezione [mm²]																
I_3[A]	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	
20	370	617															
30	246	412	658														
40	185	309	494	741													
50	148	247	395	593													
60	123	206	329	494													
70	105	176	282	423	705												
80	92	154	246	370	617												
90	82	137	219	329	549												
100	74	123	197	296	494	790											
120	61	102	164	246	412	658											
140	52	88	141	211	353	564											
150	49	82	131	197	329	527											
160	46	77	123	185	309	494	772										
180	41	68	109	164	274	439	686										
200	37	61	98	148	247	395	617										
220	33	56	89	134	224	359	561	786									
250	29	49	79	118	198	316	494	691									
280	26	44	70	105	176	282	441	617									
300	24	41	65	98	165	263	412	576									
320	23	38	61	92	154	247	386	540	772								
350	21	35	56	84	141	226	353	494	705								
380	19	32	52	78	130	208	325	455	650								
400	18	30	49	74	123	198	309	432	617								
420	17	29	47	70	118	188	294	412	588								
450	16	27	43	65	110	176	274	384	549	768							
480	15	25	41	61	103	165	257	360	514	720							
500	14	24	39	59	99	158	247	346	494	691							
520	14	23	38	57	95	152	237	332	475	665							
550	13	22	35	53.	90	144	224	314	449	629							
580	12	21	34	51	85	136	213	298	426	596	809						
600	12	20	32	49	82	132	206	288	412	576	782						
620	11	19	31	47	80	127	199	279	398	558	757						
650	11	19	30	45	76	122	190	266	380	532	722						
680	10	18	29	43	73	116	182	254	363	508	690						
700	10	17	28	42	71	113	176	247	353	494	670	847					
750		16	26	39	66	105	165	230	329	461	626	790	840				
800		15	24	37	62	99	154	216	309	432	586	667	787				
850		14	23	34	58	93	145	203	290	407	552	627	741				
900		13	21	32	55	88	137	192	274	384	521	593	700				
950		13	20	31	52	83	130	182	260	364	494	561	663				
1000		12	19	29	49	79	123	173	247	346	469	533	630	731			
1250			15	23	40	63	99	138	198	277	375	427	504	585	711		
1500			13	19	33	53	82	115	165	230	313	356	420	487	593		
1600			12	18	31	49	77	108	154	216	293	333	394	457	556	667	
2000				14	25	40	62	86	123	173	235	267	315	365	444	533	
2500				11	20	32	49	69	99	138	188	213	252	292	356	427	
3000					16	26	41	58	82	115	156	178	210	244	296	356	
3200					15	25	39	54	77	108	147	167	197	228	278	333	
4000					12	20	31	43	62	86	117	133	157	183	222	267	
5000					10	16	25	35	49	69	94	107	126	146	178	213	
6300						13	20	27	39	55	74	85	100	116	141	169	
8000						10	15	22	31	43	59	67	79	91	111	133	
9600							13	18	26	36	49	56	66	76	93	111	
10000							12	17	25	35	47	53	63	73	89	107	
12000							10	14	21	29	39	44	52	61	74	89	
15000								12	16	23	31	36	42	49	59	71	
20000									12	17	23	27	31	37	44	53	
24000									10	14	20	22	26	30	37	44	
30000										12	16	20	25	30	40	49	

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Fattore di correzione per tensioni diverse da 400 V: k_v
Occorre moltiplicare il valore di lunghezza ottenuto dalla tabella per il seguente fattore correttivo k_v:

U_n [V] (valore trifase)	k_v
230(*)	0.58
400	1
440	1.1
500	1.25
690	1.73

(*) 230 V in monofase equivale ad un sistema 400 V trifase con neutro distribuito e con la sezione del conduttore di fase uguale a quella del conduttore di neutro quindi k_v vale 0.58.

Fattore di correzione per neutro distribuito: k_d

Occorre moltiplicare il valore di lunghezza ottenuto dalla tabella per il seguente fattore correttivo k_d:

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1+\frac{S}{S_N}}$$

dove
- S è la sezione della fase in mm^2;
- S_N è la sezione del neutro in mm^2.

In particolare: se $S = S_N \rightarrow k_d$ vale 0.58;
se $S = 2 \cdot S_N \rightarrow k_d$ vale 0.39.

Fattore di correzione per conduttori in alluminio: k_r

Nel caso in cui il cavo fosse in alluminio occorre moltiplicare il valore di lunghezza ottenuto dalla tabella per il fattore correttivo k_r pari a 0.67.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Riepilogando:

Dalla tabella, in corrispondenza della sezione e della soglia di intervento magnetico, si legge il valore della lunghezza massima protetta L_0. Occorre poi moltiplicare tale lunghezza, se necessario, per i fattori correttivi, in modo da ottenere un valore coerente con le condizioni di esercizio dell'impianto:

$$L = L_0 k_v k_d k_r$$

Esempio 1

Neutro non distribuito
Tensione nominale = 400 V
Dispositivo di protezione: T2N160 TMD In100
Regolazione della soglia magnetica: I_3 = 1000 A
Sezione fase = Sezione del neutro = 70 mm^2
Dalla tabella in corrispondenza di I_3= 1000 A, il cavo da 70 mm^2 è protetto fino ad una lunghezza di 346 m.

Esempio 2

Neutro distribuito
Tensione nominale = 400 V
Dispositivo di protezione: T3S250 TMD In200
Regolazione della soglia magnetica: I_3 = 2000 A
Sezione fase = 300 mm^2
Sezione del neutro = 150 mm^2
In corrispondenza di I_3 = 2000 A e di S = 300 mm^2 si otterrebbe una lunghezza protetta pari a L_0= 533 m.

Applicando il coefficiente correttivo k_d necessario quando il neutro è distribuito:

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1+\frac{S}{S_N}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1+\frac{300}{150}} = 0.39$$

$L = L_0 \cdot 0.39 = 533 \cdot 0.39 = 207.9$ m
Tale valore rappresenta la lunghezza massima protetta per una rete con il neutro distribuito.

2.5 Conduttori di neutro e di protezione

Conduttori di neutro

Il conduttore di neutro è un conduttore collegato al punto neutro del sistema (generalmente, ma non necessariamente, coincidente con il centro stella degli avvolgimenti secondari del trasformatore o degli avvolgimenti del generatore) in grado di contribuire alla trasmissione dell'energia elettrica, rendendo disponibile una tensione diversa da quella esistente tra le fasi. In certi casi e in condizioni specificate é possibile combinare in un solo conduttore (PEN) le funzioni di conduttore di neutro e di conduttore di protezione.

Protezione e interruzione del conduttore di neutro

In condizioni anomale sul conduttore di neutro si può manifestare una tensione verso terra; tipiche cause possono essere il cortocircuito tra fase e neutro e l'interruzione del conduttore di neutro per rottura accidentale o per intervento di dispositivi unipolari (fusibili o interruttori unipolari). L'interruzione del solo conduttore di neutro in un circuito quadripolare può alterare la tensione di alimentazione degli apparecchi monofase che vengono a trovarsi alimentati da una tensione diversa da quella stellata U_0 (come rappresentato in figura 1). Occorre quindi mettere in atto tutte le possibili precauzioni per scongiurare che avvenga tale tipo di guasto, per esempio evitando di proteggere il conduttore di neutro con dispositivi unipolari.

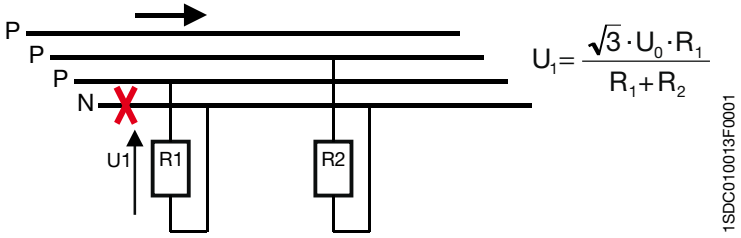


Figura 1: Interruzione del conduttore di neutro

Inoltre, nei sistemi di distribuzione TN-C, la comparsa di una tensione rispetto a terra sul conduttore di neutro costituisce un pericolo per le persone, in quanto, svolgendo questo conduttore anche le funzioni di conduttore di protezione, tale tensione si presenta anche sulle masse ad esso connesse. Per questo sistema le norme stabiliscono sezioni minime (si veda il paragrafo successivo) per il conduttore di neutro, al fine di poterne ritenere trascurabile la possibilità di rottura per cause accidentali e proibiscono l'utilizzo di qualsiasi dispositivo (unipolare e multipolare) che possa sezionarlo.
La necessità di protezioni sul conduttore di neutro e la possibilità di una sua interruzione dipende dal sistema di distribuzione:

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

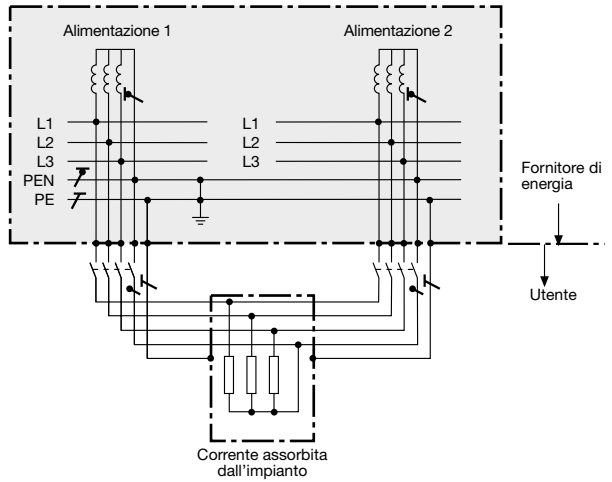
Sistemi TT o TN:

- se la sezione di neutro è uguale o maggiore della sezione di fase non è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro e neanche prevedere un dispositivo di interruzione sullo stesso conduttore (per i sistemi TT tutti i conduttori attivi devono comunque essere sezionati); si noti che tale disposizione é valida solo in assenza di armoniche che portino in un qualunque istante a valori efficaci della corrente sul neutro superiori alla massima corrente rilevata sulle fasi;
- se la sezione di neutro è inferiore alla sezione di fase è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro in modo da provocare l'interruzione dei conduttori di fase, ma non necessariamente di quello di neutro (neutro protetto ma non sezionato): in questo caso non è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro se contemporaneamente sono soddisfatti i seguenti punti:
  1. il conduttore di neutro è protetto contro il cortocircuito dal dispositivo di protezione dei conduttori di fase del circuito;
  2. la massima corrente che può attraversare il conduttore di neutro in servizio ordinario è inferiore alla portata del conduttore.

Nei sistemi TN-S, il neutro non ha bisogno di essere interrotto se le condizioni di alimentazione sono tali che il conduttore di neutro può essere considerato affidabile al valore del potenziale terra.
Come già detto, nei sistemi TN-C, il conduttore di neutro funge anche da conduttore di protezione e quindi non può essere sezionato. Inoltre, se fosse interrotto, le masse delle utenze monofase potrebbero assumere la tensione nominale verso terra del sistema.
In alcuni specifici casi l'interruzione del conduttore di neutro risulta necessaria per evitare la presenza di correnti di circolazione tra sorgenti di alimentazione in parallelo (vedere le figure 2 e 3).

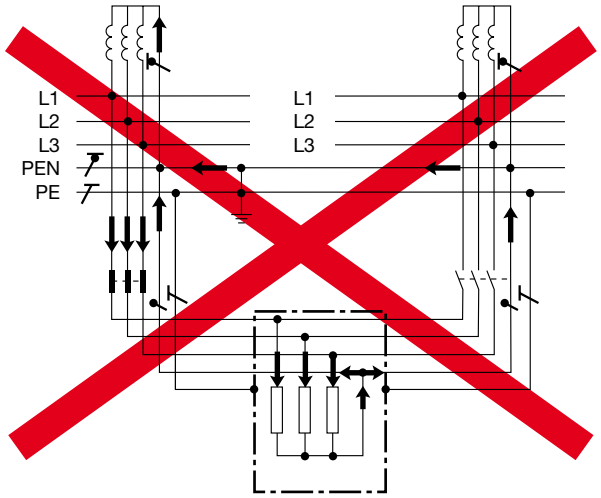
Figura 2: Alimentazione trifase alternativa con un dispositivo di manovra a 4-poli

NOTA - Questo metodo previene i campi elettromagnetici dovuti a correnti vaganti nel sistema principale d'alimentazione di un impianto. La somma della correnti all'interno di un cavo deve essere zero. Ciò garantisce che la corrente del neutro passi soltanto nel conduttore neutro del relativo circuito alimentato.
La corrente di 3ª armonica (150 Hz) dei conduttori di linea si aggiungerà alla corrente del conduttore neutro con lo stesso angolo di fase.



2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Figura 3: Alimentazione trifase alternativa con dispositivo di manovra a 3-poli non idoneo



NOTA – Alimentazione trifase alternativa con un dispositivo di manovra a 3-poli non idoneo, a causa di correnti vaganti circolari non intenzionali che generano dei campi elettromagnetici.

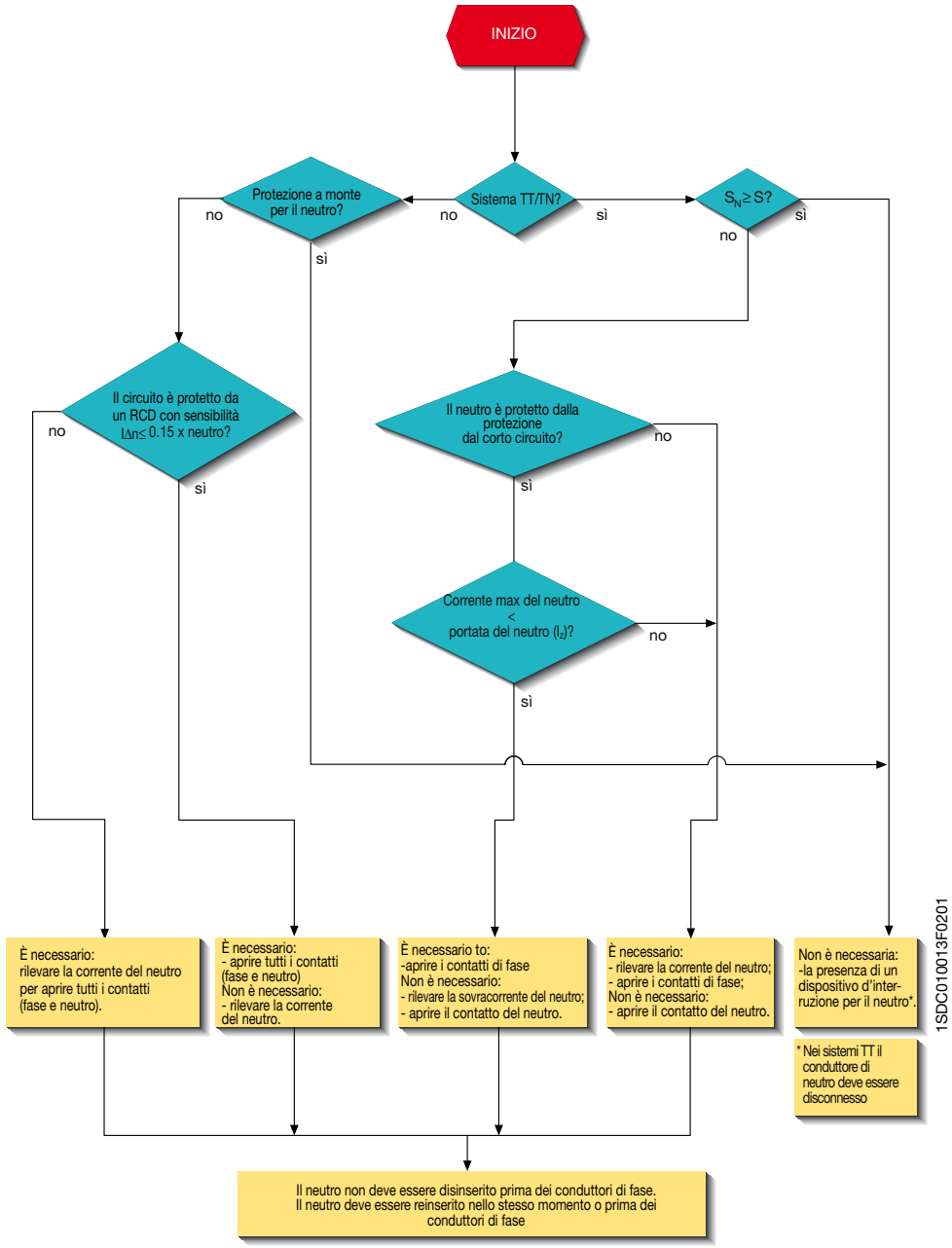
Sistemi IT:
La norma sconsiglia di distribuire il neutro nei sistemi IT.
Nel caso in cui il conduttore di neutro sia distribuito è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro di ogni circuito in modo da provocare l'interruzione di tutti i conduttori attivi del circuito corrispondente, compreso il conduttore di neutro (neutro protetto e sezionato).
Non è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro se è verificato uno dei seguenti casi:

- il conduttore di neutro è protetto contro i cortocircuiti da un dispositivo di protezione posto a monte;
- Il circuito è protetto da un dispositivo differenziale avente corrente nominale differenziale non superiore a 0.15 volte la portata del conduttore di neutro corrispondente. Questo dispositivo deve aprire tutti i conduttori attivi compreso il conduttore di neutro.

Per tutti i sistemi di distribuzione, l'interruzione e la chiusura del conduttore di neutro, dove richiesta, deve essere tale che:

- il conduttore di neutro non sia interrotto prima del conduttore di fase;
- il conduttore di neutro sia chiuso nello stesso momento o prima del conduttore di fase.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione



2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Determinazione della sezione minima del conduttore di neutro

Il conduttore neutro, se presente, dovrà avere la stessa sezione del conduttore di fase:
- in sistemi monofase, circuiti a due fili qualunque sia la sezione;
- in sistemi polifase e monofase, circuiti a tre fili, quando le dimensioni dei conduttori di linea sono inferiori o uguali a 16 mm^2 in rame, o 25 mm^2 in alluminio.[1]

La sezione del conduttore di neutro può essere inferiore alla sezione del conduttore di fase quando la sezione del conduttore di fase è maggiore di 16 mm^2 con cavo in rame o 25 mm^2 con cavo in alluminio, se sono verificate entrambe le seguenti condizioni:
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno di 16 mm^2 per conduttori in rame e 25 mm^2 per conduttori in alluminio;
- non siano presenti forti distorsioni armoniche della corrente di carico. In presenza di forti distorsioni armoniche (il contenuto di armonica è maggiore del 10%), come ad esempio nel caso di apparecchi con lampade a scarica, la sezione del conduttore di neutro non può essere inferiore a quella dei conduttori di fase.

Tabella 1: Minime sezioni del conduttore di neutro

	Sezione di fase S [mm^2]	Sezione minima del neutro S_N [mm^2]
Circuiti monofase/bifase Cu/Al	Qualsiasi	S*
Circuiti trifase Cu	S ≤ 16	S*
	S > 16	16
Circuiti trifase Al	S ≤ 25	S*
	S > 25	25

*nei sistemi di distribuzione TN-C le norme stabiliscono la sezione minima di 10 mm^2 per conduttori in rame e 16 mm^2 per conduttori in alluminio

[1] La sezione dei conduttori di fase deve essere dimensionata in conformità con quanto indicato nel Capitolo 2.2.1 “Portata e modalità di posa”.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Conduttore di protezione

Determinazione delle sezioni minime

La sezione minima del conduttore di protezione può essere determinata dalla tabella seguente:

Tabella 2: Sezione del conduttore di protezione

Sezione del conduttore di fase S [mm2]	Sezione minima del corrispondente conduttore di protezione [mm^2]	
	Se il conduttore di protezione è dello stesso materiale del conduttore di fase	Se il conduttore di protezione non è dello stesso materiale del conduttore di fase
$S \le 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \cdot S$
$16 < S \le 35$	16^*	$\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$
$S > 35$	$\frac{S}{2}^*$	$\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S}{2}$

Dove

k_1 è il valore di k per il conduttore di fase, selezionato dalla tabella 1 Capitolo 2.4 in base ai materiali del conduttore e dell’isolamento;

k_2 è il valore di k per il conduttore di protezione.

* Per un conduttore PEN, la riduzione della sezione è ammessa solo secondo le regole per il dimensionamento del conduttore neutro.

1SDC010014F0201

Per un calcolo più accurato e nell’ipotesi che il conduttore di protezione subisca un riscaldamento adiabatico da una temperatura iniziale nota ad una temperatura finale specificata (applicabile per un tempo di estinzione del guasto non superiore a 5s), la sezione minima del conduttore di protezione S_{PE} può essere ricavata dalla seguente formula:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

dove:
- S_{PE} è la sezione del conduttore di protezione in (mm^2);
- I è la corrente efficace (rms) che percorre il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile in (A);
- t è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

• k è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dal tipo di isolamento e dalla temperatura iniziale e finale. I valori più comuni possono essere ricavati dalle tabelle 3 e 4.

Tabella 3: Valori di k per conduttori di protezione isolati non incorporati in cavi e non in fascio con altri cavi

Isolamento del conduttore	Temperatura °C [b]		Materiale del conduttore		
			Rame	Alluminio	Acciaio
	Iniziale	Finale	Valori per k		
70 °C PVC	30	160/140 [a]	143/133 [a]	95/88 [a]	52/49 [a]
90 °C PVC	30	143/133 [a]	143/133 [a]	95/88 [a]	52/49 [a]
90 °C termoindurente	30	250	176	116	64
60 °C gomma	30	200	159	105	58
85 °C gomma	30	220	168	110	60
Gomma al silicone	30	350	201	133	73

[a] Il valore inferiore si applica ai conduttori isolati in PVC con sezione maggiore di 300 mm^2.

[b] I limiti di temperatura per i vari tipi di isolamento vengono forniti nella IEC 60724.

1SDC010015F0201

Tabella 4: Valori di k per conduttori di protezione costituiti da un'anima incorporata in un cavo o in fascio con altri cavi o conduttori isolati

Isolamento del conduttore	Temperatura °C [b]		Materiale del conduttore		
			Rame	Alluminio	Acciaio
	Iniziale	Finale	Valori per k		
70 °C PVC	70	160/140 [a]	115/103 [a]	76/68 [a]	42/37 [a]
90 °C PVC	90	160/140 [a]	100/86 [a]	66/57 [a]	36/31 [a]
90 °C termoindurente	90	250	143	94	52
60 °C gomma	60	200	141	93	51
85 °C gomma	85	220	134	89	48
Gomma al silicone	180	350	132	87	47

[a] Il valore inferiore si applica ai conduttori isolati in PVC con sezione maggiore di 300 mm^2.

[b] I limiti di temperatura per i vari tipi di isolamento vengono forniti nella IEC 60724.

1SDC010015F0201

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Ulteriori valori di k sono ricavabili dalle tabelle riportate in appendice D. La stessa suggerisce una formula per calcolare il valore di k in modo accurato.

Nel caso in cui dalla tabella 2 o dalla formula (1) non dovesse risultare una sezione unificata occorre scegliere un conduttore di protezione con una sezione unificata immediatamente superiore.

Sia che si utilizzi la tabella 2 o la formula (1) la sezione del conduttore di protezione, che non faccia parte della conduttura di alimentazione, non deve essere in ogni caso inferiore a:

- 2,5 mm^2 Cu/16 mm^2 Al se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 Cu/16 mm^2 Al se non è prevista una protezione meccanica.

Per apparecchiature elettriche con collegamento permanente e con corrente del conduttore di protezione superiore a 10 mA, dovranno essere previsti dei conduttori di protezione rinforzati con le seguenti caratteristiche:

- il conduttore di protezione dovrà avere una sezione pari ad almeno 10 mm^2 Cu o 16 mm^2 Al per tutta la sua lunghezza;
- oppure un secondo conduttore di protezione con almeno la stessa sezione richiesta per la protezione contro i contatti indiretti dovrà essere posato fino ad un punto in cui il conduttore di protezione presenta una sezione non inferiore a 10 mm^2 Cu o 16 mm^2 Al. Ciò richiede che l'apparecchiatura abbia un terminale separato per un secondo conduttore di protezione.

Quando dei dispositivi di protezione contro le sovracorrenti sono usati per la protezione contro le scosse elettriche, il conduttore di protezione dovrà essere incorporato nello stesso sistema di cablaggio dei conduttori in tensione o dovrà essere posizionato nelle loro immediate vicinanze.

2.6 Condotti sbarre (BTS)

Negli impianti elettrici in ambito industriale, l'utilizzo dei condotti sbarre permette di ottimizzare la distribuzione dell'energia anche a fronte delle inevitabili modifiche (aggiunte, spostamenti, sostituzione degli apparecchi utilizzatori) e di facilitare gli interventi di manutenzione e le verifiche di sicurezza.
Sono prevalentemente usati per:
- alimentazione di punti luce, alimentazione di sicurezza e piccola forza motrice;
- linee luce (medie potenze);
- alimentazione e distribuzione di forza motrice (medie e grandi potenze);
- alimentazione di utenze mobili (carri ponte).

Le norme di riferimento per i condotti sbarre sono:
-IEC 60439 – 1 "Low-voltage switchgear and controlgear assemblies
  - Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies"
- IEC 60439 – 2 "Low-voltage switchgear and controlgear assemblies
  -Part 2: Particular requirements for busbar trunking systems (busways)"

I condotti sbarre sono costituiti da:

- *conduttori/sbarre conduttrici;*
- *congiunzioni*: collegamenti elettrici e meccanici per i vari elementi;
- *elementi rettilinei*: elementi base della linea per il trasporto dell'energia dalla sorgente all'utilizzatore;
- *elementi di percorso*: giunti flessibili, per la realizzazione di curve o per il superamento di ostacoli, angoli orizzontali, verticali, elementi a T ed elementi a croce per la realizzazione di qualsiasi percorso;
- *cassette di derivazione*: elementi che consentono l'alimentazione diretta di lampade o macchine operatrici con protezione integrata (fusibili o interruttori automatici)
- *sospensioni/accessori*: sospensioni ed elementi di fissaggio per il condotto ed eventualmente per il sostegno di carichi speciali (corpi illuminanti etc.).

Dimensionamento dei condotti sbarre

Per dimensionare il condotto sbarre occorre determinare la corrente di impiego. La determinazione della corrente d'impiego comporta la conoscenza dei seguenti dati:

Caratteristiche dell'alimentazione

- Tipo di alimentazione generale dei carichi:
  - monofase
  - trifase
- Tipo di alimentazione del condotto sbarre:
  - da un estremo;
  - da entrambi gli estremi;
  - alimentazione centrale.
- Tensione nominale di alimentazione
- Corrente di corto circuito nel punto di alimentazione
- Temperatura ambiente

Caratteristiche dei carichi:

Numero, distribuzione, potenza, cosφ e tipo dei carichi alimentati dalla stessa conduttura.

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Geometria

- Tipo di posa della conduttura:
  - di piatto;
  - di costa.
  - in verticale;
- Lunghezza della conduttura.

NOTA: I condotti sbarre vanno distanziati dalle pareti e dai soffitti in modo tale da permettere il controllo visivo delle connessioni in fase di montaggio e l'inserimento agevole delle unità di derivazione.
Se possibile, è preferibile installare il condotto di costa in modo da migliorare la resistenza meccanica a flessione e ridurre il possibile accumulo di polvere e di sostanze inquinanti che possono pregiudicare il livello di isolamento interno.

Calcolo della corrente di carico per un sistema trifase

La corrente di impiego Ib in un sistema trifase si calcola in base alla seguente formula:

$$I_b = \frac{P_t \cdot b}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_m} \text{ [A]} \qquad (1)$$

dove:
- P_t è la somma totale delle potenze attive dei carichi installati in [W];
- b è il fattore di alimentazione pari a:
  - 1 se si alimenta la conduttura da un solo lato;
  - 1⁄2 se si alimenta la conduttura dal centro o contemporaneamente da entrambi gli estremi;
- U_n è la tensione di esercizio in [V];
- $\cos\varphi_m$ è il fattore di potenza medio dei carichi.

Scelta della portata del condotto sbarre

Il condotto sbarra va scelto in modo da avere una portata Iz che soddisfi la seguente relazione:

$$I_b \le I_{Z0} \cdot k_t = I_Z \qquad (2)$$

dove:
- I_{Z0} è la corrente che la conduttura può portare per un tempo indefinito alla temperatura di riferimento (40°C);
- I_b è la corrente di impiego;
- k_t è il coefficiente di correzione per valori della temperatura ambiente diversi da quello di riferimento, riportato in tabella 1.

Tabella 1: Coefficiente di correzione kt per temperatura ambiente diversa da 40 °C

Temperatura ambiente [°C]	15	20	25	30	35	40	45	50
k_t	1.2	1.17	1.12	1.08	1.05	1	0.95	0.85

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Nota: le tabelle seguenti si riferiscono a parametri tipici dei condotti sbarra presenti sul mercato.

Tabella 2: Valori della portata I_{Z0} dei condotti sbarre in rame

Grandezza	Tipo generico	Numero di conduttori	I_{Z0} [A]	r_F* [mΩ/m]	x_F [mΩ/m]	U_n [V]
25	25A 4 cond. Cu	4	25	6.964	1.144	400
25	25A 4 cond. Cu	4	25	6.876	1.400	400
25	25A 4+4 cond. Cu	4+4	25	6.876	1.400	400
40	40A 4 cond. Cu	4	40	3.556	0.792	400
40	40A 4 cond. Cu	4	40	3.516	1.580	400
40	40A 4+4 cond. Cu	4+4	40	3.516	1.580	400
40	40A 4 cond. Cu	4	40	2.173	0.290	400
63	63A 4 cond. Cu	4	63	1.648	0.637	400
100	100A 4 cond. Cu	4	100	0.790	0.366	400
160	160A 4 cond. Cu	4	160	0.574	0.247	400
160	160A 4 cond. Cu	4	160	0.335	0.314	500
160	160A 5 cond. Cu	5	160	0.335	0.314	500
250	250A 4 cond. Cu	4	250	0.285	0.205	1000
250	250A 5 cond. Cu	5	250	0.285	0.205	1000
250	250A 4 cond. Cu	4	250	0.194	0.205	500
250	250A 5 cond. Cu	5	250	0.194	0.205	500
315	315A 4 cond. Cu	4	315	0.216	0.188	1000
315	315A 5 cond. Cu	5	315	0.216	0.188	1000
350	350A 4 cond. Cu	4	350	0.142	0.188	500
350	350A 5 cond. Cu	5	350	0.142	0.188	500
400	400A 4 cond. Cu	4	400	0.115	0.129	1000
400	400A 5 cond. Cu	5	400	0.115	0.129	1000
500	500A 4 cond. Cu	4	500	0.092	0.129	500
500	500A 5 cond. Cu	5	500	0.092	0.129	500
630	630A 4 cond. Cu	4	630	0.073	0.122	1000
630	630A 5 cond. Cu	5	630	0.073	0.122	1000
700	700A 4 cond. Cu	4	700	0.077	0.122	500
700	700A 5 cond. Cu	5	700	0.077	0.122	500
700	700A 5 cond. Cu	5	700	0.077	0.122	500
700	700A 4 cond. Cu	4	700	0.077	0.122	500

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Grandezza	Tipo generico	Numero di conduttori	I_{Z0} [A]	r_F* [mΩ/m]	x_F [mΩ/m]	U_n [V]
800	800A 4 cond. Cu	4	800	0.047	0.122	1000
800	800A 5 cond. Cu	5	800	0.047	0.122	1000
800	800A 4 cond. Cu	4	800	0.038	0.027	1000
800	800A 4 cond. Cu	4	800	0.072	0.122	500
800	800A 5 cond. Cu	5	800	0.072	0.122	500
1000	1000A 4 cond. Cu	4	1000	0.038	0.120	1000
1000	1000A 5 cond. Cu	5	1000	0.038	0.120	1000
1000	1000A 4 cond. Cu	4	1000	0.037	0.026	1000
1000	1000A 4 cond. Cu	4	1000	0.038	0.097	1000
1000	1000A 4 cond. Cu	4	1000	0.068	0.120	500
1000	1000A 5 cond. Cu	5	1000	0.068	0.120	500
1200	1200A 4 cond. Cu	4	1200	0.035	0.021	1000
1250	1250A 4 cond. Cu	4	1250	0.034	0.023	1000
1250	1250A 4 cond. Cu	4	1250	0.035	0.076	1000
1500	1500A 4 cond. Cu	4	1500	0.030	0.022	1000
1600	1600A 4 cond. Cu	4	1600	0.025	0.018	1000
1600	1600A 4 cond. Cu	4	1600	0.034	0.074	1000
2000	2000A 4 cond. Cu	4	2000	0.020	0.015	1000
2000	2000A 4 cond. Cu	4	2000	0.025	0.074	1000
2400	2400A 4 cond. Cu	4	2400	0.019	0.012	1000
2500	2500A 4 cond. Cu	4	2500	0.016	0.011	1000
2500	2500A 4 cond. Cu	4	2500	0.019	0.040	1000
3000	3000A 4 cond. Cu	4	3000	0.014	0.011	1000
3000	3000A 4 cond. Cu	4	3000	0.017	0.031	1000
3200	3200A 4 cond. Cu	4	3200	0.013	0.009	1000
3200	3200A 4 cond. Cu	4	3200	0.015	0.031	1000
4000	4000A 4 cond. Cu	4	4000	0.011	0.007	1000
4000	4000A 4 cond. Cu	4	4000	0.011	0.026	1000
5000	5000A 4 cond. Cu	4	5000	0.008	0.005	1000
5000	5000A 4 cond. Cu	4	5000	0.008	0.023	1000

*resistenza di fase a I_{z0}

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 3: Valori della portata I_{Z0} dei condotti sbarre in alluminio

Grandezza	Tipo generico	Numero di conduttori	I_{Z0} [A]	r_F* [mΩ/m]	x_F [mΩ/m]	U_n [V]
160	160A 4 cond. Al	4	160	0.591	0.260	1000
160	160A 5 cond. Al	5	160	0.591	0.260	1000
160	160A 4 cond. Al	4	160	0.431	0.260	500
160	160A 5 cond. Al	5	160	0.431	0.260	500
250	250A 4 cond. Al	4	250	0.394	0.202	1000
250	250A 5 cond. Al	5	250	0.394	0.202	1000
250	250A 4 cond. Al	4	250	0.226	0.202	500
250	250A 5 cond. Al	5	250	0.226	0.202	500
315	315A 4 cond. Al	4	315	0.236	0.186	1000
315	315A 5 cond. Al	5	315	0.236	0.186	1000
315	315A 4 cond. Al	4	315	0.181	0.186	500
315	315A 5 cond. Al	5	315	0.181	0.186	500
400	400A 4 cond. Al	4	400	0.144	0.130	1000
400	400A 5 cond. Al	5	400	0.144	0.130	1000
400	400A 4 cond. Al	4	400	0.125	0.130	500
400	400A 5 cond. Al	5	400	0.125	0.130	500
500	500A 4 cond. Al	4	500	0.102	0.127	500
500	500A 5 cond. Al	5	500	0.102	0.127	500
630	630A 4 cond. Al	4	630	0.072	0.097	1000
630	630A 5 cond. Al	5	630	0.072	0.097	1000
630	630A 4 cond. Al	4	630	0.072	0.029	1000
630	630A 4 cond. Al	4	630	0.073	0.097	500
630	630A 5 cond. Al	5	630	0.073	0.097	500
800	800A 4 cond. Al	4	800	0.062	0.096	1000

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Grandezza	Tipo generico	Numero di conduttori	I_{Z0} [A]	r_F* [mΩ/m]	x_F [mΩ/m]	U_n [V]
800	800A 5 cond. Al	5	800	0.062	0.096	1000
800	800A 4 cond. Al	4	800	0.067	0.027	1000
800	800A 4 cond. Al	4	800	0.071	0.096	500
800	800A 5 cond. Al	5	800	0.071	0.096	500
1000	1000A 4 cond. Al	4	1000	0.062	0.023	1000
1000	1000A 4 cond. Al	4	1000	0.068	0.087	1000
1200	1200A 4 cond. Al	4	1200	0.054	0.023	1000
1250	1250A 4 cond. Al	4	1250	0.044	0.021	1000
1250	1250A 4 cond. Al	4	1250	0.044	0.066	1000
1500	1500A 4 cond. Al	4	1500	0.041	0.023	1000
1600	1600A 4 cond. Al	4	1600	0.035	0.017	1000
1600	1600A 4 cond. Al	4	1600	0.041	0.066	1000
2000	2000A 4 cond. Al	4	2000	0.029	0.016	1000
2000	2000A 4 cond. Al	4	2000	0.034	0.053	1000
2250	2250A 4 cond. Al	4	2250	0.032	0.049	1000
2400	2400A 4 cond. Al	4	2400	0.028	0.012	1000
2500	2500A 4 cond. Al	4	2500	0.022	0.011	1000
2500	2500A 4 cond. Al	4	2500	0.022	0.034	1000
3000	3000A 4 cond. Al	4	3000	0.020	0.011	1000
3200	3200A 4 cond. Al	4	3200	0.017	0.009	1000
3200	3200A 4 cond. Al	4	3200	0.020	0.034	1000
4000	4000A 4 cond. Al	4	4000	0.014	0.008	1000
4000	4000A 4 cond. Al	4	4000	0.017	0.024	1000
4500	4500A 4 cond. Al	4	4500	0.014	0.024	1000

*resistenza di fase a I_{Z0}

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Protezione del condotto sbarre

Protezione contro il sovraccarico

La protezione contro il sovraccarico dei condotti sbarre é effettuata con lo stesso criterio usato per i cavi. Occorre verificare la relazione:

$$I_b \le I_n \le I_z \qquad (3)$$

dove:
- I_b è la corrente per la quale il circuito è progettato;
- I_n è la corrente nominale del dispositivo di protezione; per dispositivi di protezione regolabili, la corrente nominale I_n è la corrente impostata;
- I_z è la portata continua del condotto sbarre.

NOTA - Non è necessario verificare la protezione contro il cortocircuito nel caso in cui si utilizino interruttori automatici modulari fino a 63 A se correttamente dimensionati per la protezione dal sovraccarico. In tal caso, infatti, la protezione contro gli effetti sia termici che elettrodinamici è sicuramente soddisfatta in virtù della limitazione offerta da tali dispositivi di protezione.

Protezione contro il corto circuito

Il condotto sbarra (CS), va protetto sia contro gli effetti termici che contro gli effetti elettrodinamici della corrente di cortocircuito.

Protezione contro gli effetti termici
Occorre verificare la seguente relazione:

$$I^2t_{INT} \le I^2t_{CS} \qquad (4)$$

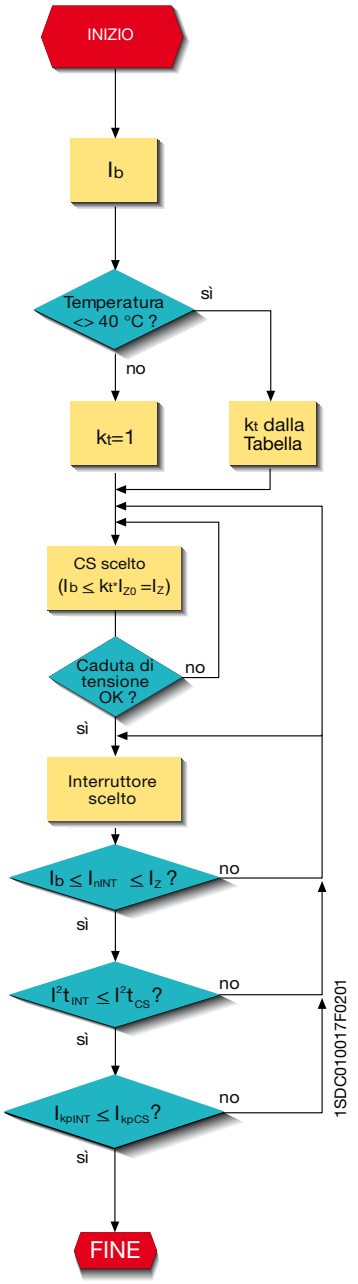
dove:
- I^2t_{INT} è l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore di protezione in corrispondenza della massima corrente di cortocircuito nel punto di installazione, ricavabile utilizzando il software Curves 1.0;
- I^2t_{CS} é il valore dell'energia specifica sopportabile dal condotto sbarre, solitamente fornito dal costruttore (vedi tabelle 4 e 5).

Protezione contro gli effetti elettrodinamici
Occorre verificare la seguente relazione:

$$I_{kp\ INT} \le I_{kp\ CS} \qquad (5)$$

dove:
- $I_{kp\ INT}$ é il picco lasciato passare dall'interruttore di protezione in corrispondenza della massima corrente di cortocircuito nel punto di installazione, ricavabile utilizzandi il software Curves 1.0;
- $I_{kp\ CS}$ è il massimo valore di picco della corrente sopportato dal condotto sbarre (vedi tabelle 4 e 5).

2 Protezione dei circuiti di alimentazione



2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 4: Valori dell'energia specifica e del picco sopportabili dai condotti sbarre in rame

Grandezza	Tipo generico	I^2t_F [(kA)^{2}s]	I^2t_N [(kA)^{2}s]	I^2t_{PE} [(kA)^{2}s]	I_{piccoF} [kA]	I_{piccoN} [kA]
25	25A 4 cond. Cu	0.48	0.48	0.48	10	10
25	25A 4 cond. Cu	0.64	0.64	0.64	10	10
25	25A 4+4 cond. Cu	0.64	0.64	0.64	10	10
40	40A 4 cond. Cu	0.73	0.73	0.73	10	10
40	40A 4 cond. Cu	1	1	1	10	10
40	40A 4+4 cond. Cu	1	1	1	10	10
40	40A 4 cond. Cu	7.29	7.29	7.29	10	10
63	63A 4 cond. Cu	7.29	7.29	7.29	10	10
100	100A 4 cond. Cu	20.25	20.25	20.25	10	10
160	160A 4 cond. Cu	30.25	30.25	30.25	10	10
160	160A 4 cond. Cu	100	60	60	17	10.2
160	160A 5 cond. Cu	100	100	100	17	10.2
160	160A 4 cond. Cu	100	100	100	17	10.2
250	250A 4 cond. Cu	312.5	187.5	187.5	52.5	31.5
250	250A 5 cond. Cu	312.5	312.5	312.5	52.5	31.5
250	250A 4 cond. Cu	169	101.4	101.4	26	15.6
250	250A 5 cond. Cu	169	169	169	26	15.6
250	250A 4 cond. Cu	169	169	169	26	15.6
315	315A 4 cond. Cu	312.5	187.5	187.5	52.5	31.5
315	315A 5 cond. Cu	312.5	312.5	312.5	52.5	31.5
350	350A 4 cond. Cu	169	101.4	101.4	26	15.6
350	350A 5 cond. Cu	169	169	169	26	15.6
350	350A 4 cond. Cu	169	169	169	26	15.6
400	400A 4 cond. Cu	900	540	540	63	37.8
400	400A 5 cond. Cu	900	900	900	63	37.8
500	500A 4 cond. Cu	756.25	453.75	453.75	58	34.8
500	500A 5 cond. Cu	756.25	756.25	756.25	58	34.8
500	500A 4 cond. Cu	756.25	756.25	756.25	58	34.8
630	630A 4 cond. Cu	1296	777.6	777.6	75.6	45.4
630	630A 5 cond. Cu	1296	1296	1296	75.6	45.4
700	700A 4 cond. Cu	756.25	453.75	453.75	58	34.8
700	700A 5 cond. Cu	756.25	756.25	756.25	58	34.8
700	700A 4 cond. Cu	756.25	756.25	756.25	58	34.8

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Grandezza	Tipo generico	I^2t_F [(kA)^{2}s]	I^2t_N [(kA)^{2}s]	I^2t_{PE} [(kA)^{2}s]	I_{piccoF} [kA]	I_{piccoN} [kA]
800	800A 4 cond. Cu	1296	777.6	777.6	75.6	45.4
800	800A 5 cond. Cu	1296	1296	1296	75.6	45.4
800	800A 4 cond. Cu	3969	3969	2381.4	139	83.4
800	800A 4 cond. Cu	756.25	453.75	453.75	58	34.8
800	800A 5 cond. Cu	756.25	756.25	756.25	58	34.8
800	800A 4 cond. Cu	756.25	756.25	756.25	58	34.8
1000	1000A 4 cond. Cu	1296	777.6	777.6	75.6	45.4
1000	1000A 5 cond. Cu	1296	1296	1296	75.6	45.4
1000	1000A 4 cond. Cu	3969	3969	2381.4	139	83.4
1000	1000A 4 cond. Cu	1600	1600	960	84	50.4
1000	1000A 4 cond. Cu	1024	614.4	614.4	60	36
1000	1000A 5 cond. Cu	1024	1024	1024	60	36
1000	1000A 4 cond. Cu	1024	1024	1024	60	36
1200	1200A 4 cond. Cu	7744	7744	4646.4	194	116.4
1250	1250A 4 cond. Cu	7744	7744	4646.4	194	116.4
1250	1250A 4 cond. Cu	2500	2500	1500	105	63
1500	1500A 4 cond. Cu	7744	7744	4646.4	194	116.4
1600	1600A 4 cond. Cu	7744	7744	4646.4	194	116.4
1600	1600A 4 cond. Cu	2500	2500	1500	105	63
2000	2000A 4 cond. Cu	7744	7744	4646.4	194	116.4
2000	2000A 4 cond. Cu	3600	3600	2160	132	79.2
2400	2400A 4 cond. Cu	7744	7744	4646.4	194	116.4
2500	2500A 4 cond. Cu	7744	7744	4646.4	194	116.4
2500	2500A 4 cond. Cu	4900	4900	2940	154	92.4
3000	3000A 4 cond. Cu	30976	30976	18585.6	387	232.2
3000	3000A 4 cond. Cu	8100	8100	4860	198	118.8
3200	3200A 4 cond. Cu	30976	30976	18585.6	387	232.2
3200	3200A 4 cond. Cu	8100	8100	4860	198	118.8
4000	4000A 4 cond. Cu	30976	30976	18585.6	387	232.2
4000	4000A 4 cond. Cu	8100	8100	4860	198	118.8
5000	5000A 4 cond. Cu	30976	30976	18585.6	387	232.2
5000	5000A 4 cond. Cu	10000	10000	6000	220	132

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 5: Valori dell'energia specifica e del picco sopportabili dai condotti sbarre in alluminio

Grandezza	Tipo generico	I^2t_F [(kA)^{2}s]	I^2t_N [(kA)^{2}s]	I^2t_{PE} [(kA)^{2}s]	I_{piccoF} [kA]	I_{piccoN} [kA]
160	160A 4 cond. Al	112.5	67.5	67.5	30	18
160	160A 5 cond. Al	112.5	112.5	112.5	30	18
160	160A 4 cond. Al	100	60	60	17	10.2
160	160A 5 cond. Al	100	100	100	17	10.2
160	160A 4 cond. Al	100	100	100	17	10.2
250	250A 4 cond. Al	312.5	187.5	187.5	52.5	31.5
250	250A 5 cond. Al	312.5	312.5	312.5	52.5	31.5
250	250A 4 cond. Al	169	101.4	101.4	26	15.6
250	250A 5 cond. Al	169	169	169	26	15.6
250	250A 4 cond. Al	169	169	169	26	15.6
315	315A 4 cond. Al	625	375	375	52.5	31.5
315	315A 5 cond. Al	625	625	625	52.5	31.5
315	315A 4 cond. Al	169	101.4	101.4	26	15.6
315	315A 5 cond. Al	169	169	169	26	15.6
315	315A 4 cond. Al	169	169	169	26	15.6
400	400A 4 cond. Al	900	540	540	63	37.8
400	400A 5 cond. Al	900	900	900	63	37.8
400	400A 4 cond. Al	625	375	375	52.5	31.5
400	400A 5 cond. Al	625	625	625	52.5	31.5
400	400A 4 cond. Al	625	625	625	52.5	31.5
500	500A 4 cond. Al	625	375	375	52.5	31.5
500	500A 5 cond. Al	625	625	625	52.5	31.5
500	500A 4 cond. Al	625	625	625	52.5	31.5
630	630A 4 cond. Al	1296	777.6	777.6	75.6	45.4
630	630A 5 cond. Al	1296	1296	1296	75.6	45.4
630	630A 4 cond. Al	1444	1444	866.4	80	48
630	630A 4 cond. Al	1024	614.4	614.4	67.5	40.5
630	630A 5 cond. Al	1024	1024	1024	67.5	40.5

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Grandezza	Tipo generico	I^2t_F [(kA)^{2}s]	I^2t_N [(kA)^{2}s]	I^2t_{PE} [(kA)^{2}s]	I_{piccoF} [kA]	I_{piccoN} [kA]
630	630A 4 cond. Al	1024	1024	1024	67.5	40.5
800	800A 4 cond. Al	1296	777.6	777.6	75.6	45.4
800	800A 5 cond. Al	1296	1296	1296	75.6	45.4
800	800A 4 cond. Al	1764	1764	1058.4	88	52.8
800	800A 4 cond. Al	1024	614.4	614.4	67.5	40.5
800	800A 5 cond. Al	1024	1024	1024	67.5	40.5
800	800A 4 cond. Al	1024	1024	1024	67.5	40.5
1000	1000A 4 cond. Al	6400	6400	3840	176	105.6
1000	1000A 4 cond. Al	1600	1600	960	84	50.4
1200	1200A 4 cond. Al	6400	6400	3840	176	105.6
1250	1250A 4 cond. Al	6400	6400	3840	176	105.6
1250	1250A 4 cond. Al	2500	2500	1500	105	63
1500	1500A 4 cond. Al	6400	6400	3840	176	105.6
1600	1600A 4 cond. Al	6400	6400	3840	176	105.6
1600	1600A 4 cond. Al	2500	2500	1500	105	63
2000	2000A 4 cond. Al	6400	6400	3840	176	105.6
2000	2000A 4 cond. Al	3600	3600	2160	132	79.2
2250	2250A 4 cond. Al	4900	4900	2940	154	92.4
2400	2400A 4 cond. Al	25600	25600	15360	352	211.2
2500	2500A 4 cond. Al	25600	25600	15360	352	211.2
2500	2500A 4 cond. Al	8100	8100	4860	198	118.8
3000	3000A 4 cond. Al	25600	25600	15360	352	211.2
3200	3200A 4 cond. Al	25600	25600	15360	352	211.2
3200	3200A 4 cond. Al	8100	8100	4860	198	118.8
4000	4000A 4 cond. Al	25600	25600	15360	352	211.2
4000	4000A 4 cond. Al	8100	8100	4860	198	118.8
4500	4500A 4 cond. Al	10000	10000	6000	220	132

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Protezione delle derivazioni

Se la derivazione, in genere costituita da cavi in tubo, non è già protetta contro il cortocircuito e il sovraccarico dal dispositivo posto a monte del condotto, si applica quanto segue:

- *protezione contro il cortocircuito:*
non è necessario proteggere la derivazione contro il cortocircuito se contemporaneamente:
a. la lunghezza non supera i 3 m;
b. è ridotto al minimo il rischio di corto circuito;
c. non è in vicinanza di materiale combustibile.

Nei luoghi con pericolo di esplosione e a maggior rischio in caso di incendio la protezione da cortocircuito è richiesta in ogni caso.

- *protezione contro il sovraccarico:*
la portata della derivazione è in genere inferiore a quella del condotto sbarre, quindi è di solito necessario proteggere anche la derivazione contro il sovraccarico.
Il dispositivo di protezione contro il sovraccarico può essere posto all'interno dell'unità di derivazione oppure sul quadretto di arrivo.
In quest'ultimo caso la protezione contro il sovraccarico può essere assicurata anche dagli interruttori posti a protezione delle singole partenze dal quadretto se la somma delle loro correnti nominali è inferiore o uguale alla portata Iz della derivazione. Nei luoghi a maggior rischio di incendio è richiesto che il dispositivo di protezione contro il sovraccarico sia installato nel punto di derivazione, quindi all'interno dell'unità di derivazione.

Caduta di tensione

Se lo sviluppo di una linea è particolarmente lungo è necessario verificare il valore della caduta di tensione.
Per sistemi trifasi con fattore di potenza ($\cos\varphi_m$) non inferiore a 0.8, la caduta di tensione si può calcolare con la seguente formula semplificata:

$$\Delta u = \frac{a \cdot \sqrt{3} \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos\varphi_m + x \cdot \sin\varphi_m)}{1000} [V] \qquad (6a)$$

Per linee monofasi la formula diventa:

$$\Delta u = \frac{a \cdot 2 \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos\varphi_m + x \cdot \sin\varphi_m)}{1000} [V] \qquad (6b)$$

dove:
- *a* è il fattore di distribuzione della corrente, e dipende da come è alimentato il circuito e della disposizione dei carichi elettrici lungo il condotto sbarre, riportato in tabella 6;

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Tabella 6: Fattore di distribuzione della corrente

Tipo di alimentazione	Disposizione dei carichi	Fattore di distribuzione della corrente
Da una sola estremità	Carico concentrato alla fine	1
	Carico distribuito uniformemente	0.5
Da entrambe le estremità	Carico distribuito uniformemente	0.25
Centrale	Carico concentrato alla fine	0.25
	Carico distribuito uniformemente	0.125

- Ib è la corrente di impiego [A];
- L è la lunghezza del condotto [m];
- rt è la resistenza di fase per unità di lunghezza del condotto sbarre misurata a regime termico [mΩ/m];
- x è la reattanza di fase per unità di lunghezza del condotto [mΩ/m];
- $\cos\varphi_m$ è il fattore di potenza medio dei carichi.

La caduta di tensione in percentuale si ricava da:

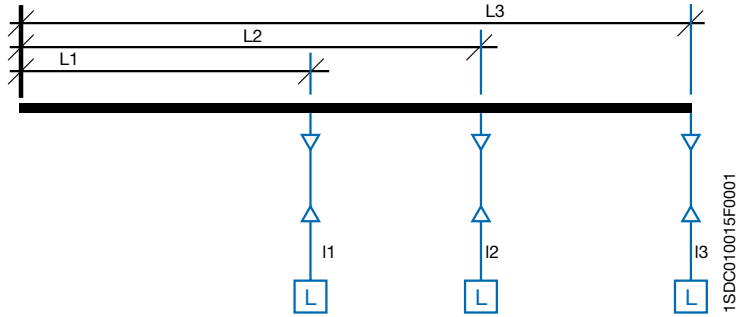
$$\Delta u\% = \frac{\Delta u}{U_n} \cdot 100 \qquad (7)$$

dove U_n è la tensione nominale del sistema.

Per limitare la caduta di tensione nel caso di condotti sbarre molto lunghi si può prevedere un'alimentazione in posizione intermedia, anziché nel punto terminale (vedere tabella 6).

Calcolo della caduta di tensione per carichi non uniformemente distribuiti

Nel caso in cui i carichi non possano essere considerati uniformemente distribuiti, la caduta di tensione può essere determinata in modo più accurato utilizzando le relazioni sotto riportate.



Per la distribuzione dei carichi trifase in figura, la caduta di tensione può essere determinata dalla seguente formula nelle ipotesi (quasi sempre verificata) che il condotto sbarre abbia sezione costante:

$$\Delta u = \sqrt{3}[r_t(I_1L_1\cos\varphi_1 + I_2L_2\cos\varphi_2 + I_3L_3\cos\varphi_3) + x(I_1L_1\sin\varphi_1 + I_2L_2\sin\varphi_2 + I_3L_3\sin\varphi_3)]$$

2 Protezione dei circuiti di alimentazione

Generalizzando, la formula diventa:

$$\Delta u = \frac{\sqrt{3}\ r_t \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \cos\varphi_{mi} + x \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \sin\varphi_{mi}}{1000}\ [V] \qquad (8)$$

dove:
- r_t è la resistenza di fase per unità di lunghezza del condotto sbarre misurata a regime termico in [mΩ/m];
- x è la reattanza di fase per unità di lunghezza del condotto [mΩ/m];
- $\cos\varphi_m$ è il fattore di potenza medio del carico i-esimo;
- I_i è la corrente del carico i-esimo [A];
- L_i è la distanza del carico i-esimo dall'origine del condotto sbarre [m].

Perdite per effetto Joule

Le perdite per effetto Joule sono dovute alla resistenza elettrica del condotto sbarre.
L'energia persa è dissipata in calore e contribuisce al riscaldamento della conduttura e dell'ambiente. Il calcolo della potenza persa è un dato utile per dimensionare correttamente l'impianto di condizionamento dell'edificio.
Le perdite in regime trifase valgono:

$$P_j = \frac{3 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000}\ [W] \quad (9a)$$

mentre, in regime monofase

$$P_j = \frac{2 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000}\ [W] \quad (9b)$$

dove:
- I_b è la corrente di impiego [A];
- r_t è la resistenza di fase per unità di lunghezza del condotto misurata a regime termico [mΩ/m];
- L è la lunghezza del condotto [m].

Per un calcolo accurato le perdite devono essere valutate tronco per tronco considerando le correnti che vi transitano; ad esempio nel caso della distribuzione dei carichi rappresentata nella figura precedente si ha:

	Lunghezza	Corrente	Perdite
1° sezione	L_1	$I_1+I_2+I_3$	$P_1=3r_tL_1(I_1+I_2+I_3)^2$
2° sezione	L_2-L_1	I_2+I_3	$P_2=3r_t(L_2-L_1)(I_2+I_3)^2$
3° sezione	L_3-L_2	I_3	$P_3=3r_t(L_3-L_2)(I_3)^2$
Perdite totali nel condotto sbarre			$P_{tot}=P_1+P_2+P_3$

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

3.1 Protezione e manovra di circuiti d'illuminazione

Introduzione

Al momento dell'alimentazione di un impianto di illuminazione sulla rete circola per pochi istanti una corrente iniziale con un valore più elevato rispetto alla corrente nominale corrispondente alla potenza delle lampade. L'eventuale picco ha un valore pari a circa 15÷20 volte la corrente nominale ed è presente per pochi millisecondi; può essere presente anche una corrente di inserzione con un valore pari a circa 1.5÷3 volte la corrente nominale e una durata di qualche minuto. Il corretto dimensionamento dei dispositivi di protezione e manovra deve tenere conto di queste problematiche.

Grafico picco

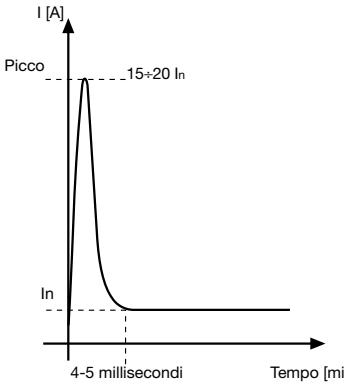
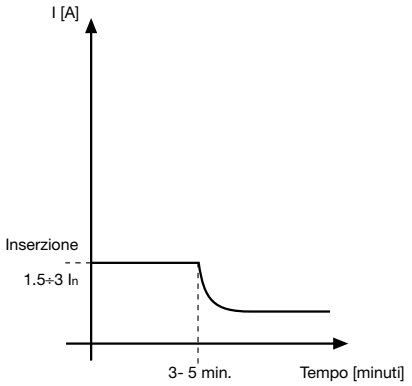


Grafico inserzione



1SDC010003F0901

Le lampade maggiormente utilizzate sono del tipo:

- a incandescenza;
- ad alogeni;
- a fluorescenza;
- a scarica ad alta intensità: a vapori di mercurio, ad alogenuri metallici e a vapori di sodio

Lampade ad incandescenza

Le lampade a incandescenza sono costituite da un'ampolla di vetro sottovuoto o con gas inerti e da un filamento di tungsteno. La corrente percorre tale filamento e lo riscalda fino a renderlo incandescente.
Il comportamento elettrico di queste lampade prevede una corrente d'inserzione elevata, pari a circa 15 volte la corrente nominale; dopo pochi millisecondi la corrente si riporta al valore nominale. Il picco d'inserzione è causato dal filamento della lampada che, inizialmente freddo, presenta una resistenza elettrica molto bassa. In seguito, a causa del rapidissimo riscaldamento, il valore di resistenza aumenta considerevolmente, causando la diminuzione dell'assorbimento di corrente.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Lampade ad alogeni

La lampada ad alogeni è una particolare lampada ad incandescenza in cui il gas contenuto all'interno del bulbo evita che il materiale del filamento di tungsteno vaporizzato si depositi sulle pareti del bulbo e ne forzi il rideposito. Questo fenomeno rallenta il deterioramento del filamento, migliora la qualità della luce emessa e allunga la durata della lampada.
Il comportamento elettrico di queste lampade è analogo a quello delle lampade a incandescenza.

Lampade a fluorescenza

La lampada a fluorescenza è una sorgente luminosa cosiddetta a scarica. La luce è infatti prodotta da una scarica all'interno di un involucro trasparente (vetro, quarzo ecc. a secondo del tipo di lampada) che contiene un vapore di mercurio a bassa pressione.
Una volta innescata la scarica, il gas presente all'interno emette energia nel campo dei raggi ultravioletti che investe le sostanze fluorescenti; queste a loro volta trasformano le radiazioni ultraviolette in radiazioni con una lunghezza d'onda compresa nello spettro visibile. Il colore della luce emessa dipende dalla sostanza fluorescente utilizzata.
La scarica è creata da un apposito picco di tensione generato da uno starter. Una volta accesa la lampada, il gas offre una resistenza sempre minore ed è necessario stabilizzare l'intensità di corrente tramite un alimentatore (reattore); quest'ultimo abbassa il fattore di potenza a circa 0,4÷0,6; normalmente si aggiunge un condensatore per riportare il fattore di potenza ad un valore superiore a 0.9.
Esistono due tipi di alimentatori, magnetici (convenzionali) ed elettronici, che assorbono dal 10% al 20% della potenza nominale della lampada. Gli alimentatori elettronici offrono specifici vantaggi quali un risparmio dell'energia assorbita, una minore dissipazione di calore e consentono di ottenere una luce stabile priva di sfarfallio. Alcune tipologie di lampade a fluorescenza con reattore elettronico non necessitano dello starter.
Le lampade fluorescenti compatte sono costituite da un tubo ripiegato e da uno zoccolo di plastica che contiene, in alcune versioni, un alimentatore convenzionale o elettronico.
Il valore della corrente di inserzione dipende dalla presenza o meno del condensatore di rifasamento:
- per le lampade non rifasate si hanno correnti di spunto pari a circa due volte la corrente nominale e una durata di accensione di una decina di secondi;
- per le lampade rifasate la presenza del condensatore permette di ridurre il tempo di accensione a pochi secondi ma richiede un elevato picco di corrente iniziale, determinato dalla carica del condensatore, che può raggiungere anche 20 volte la corrente nominale.

Se la lampada è dotata di un alimentatore elettronico d'accensione i transitori di corrente iniziali possono determinare correnti d'inserzioni pari, al massimo, a 10 volte la corrente nominale.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Lampade a scarica ad alta intensità: a vapori di mercurio, ad alogenuri metallici e a vapori di sodio

La lampada a scarica ad alta intensità è una lampada il cui funzionamento è analogo a quello degli apparecchi a fluorescenza con la differenza che la scarica avviene in presenza di un gas ad alta pressione. In questo caso l'arco è in grado di vaporizzare gli elementi metallici contenuti nel gas liberando energia sotto forma di radiazione sia ultravioletta, sia nel campo dello spettro visibile. Il vetro speciale del bulbo blocca la radiazione ultravioletta e lascia passare solo la radiazione visibile. Esistono tre tipi principali di lampade a scarica ad alta intensità: a vapori di mercurio, ad alogenuri metallici e a vapori di sodio. Dai diversi elementi metallici presenti nel gas in cui scocca l'arco dipendono le caratteristiche cromatiche e l'efficienza della lampada.
Le lampade a scarica ad alta intensità richiedono un alimentatore opportunamente dimensionato e un periodo di riscaldamento, che può richiedere anche alcuni minuti, prima di produrre il flusso luminoso nominale. Una momentanea perdita di potenza rende necessario il riavviamento del sistema e il riscaldamento dello stesso.
Le lampade non rifasate presentano correnti di accensione fino a due volte la corrente nominale per circa 5 minuti.
Le lampade rifasate presentano una corrente di spunto iniziale pari a 20 volte la corrente nominale e una corrente di accensione fino a due volte la corrente nominale per circa 5 minuti.

Tipologia lampade		Corrente di picco	Corrente di spunto	Durata accessione
Lampada ad alogeni		15In	-	-
Lampada ad alogeni		15In	-	-
Lampada a	Non rifasata	–	2In	10 s
fluorescenza	Rifasata	20In		1÷6 s
Lampade a scarica	Non rifasata	–	2In	2÷8 min
ad alta intensità	Rifasata	20In	2In	2÷8 min

Dispositivi di protezione e manovra

La Norma IEC 60947-4-1 individua due categorie specifiche di utilizzazione per contattori destinati al comando di lampade:
• AC-5a inserzione di lampade a scarica nei gas;
• AC-5b Inserzione di lampade a incandescenza.
Nella documentazione fornita dai costruttori sono riportate tabelle per la selezione del contattore in funzione del numero di lampade da comandare e alla loro tipologia.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Per effettuare la scelta del dispositivo di protezione occorre verificare che:

- la caratteristica di intervento sia al di sopra della caratteristica di inserzione dell'apparecchio di illuminazione per evitare scatti intempestivi; un esempio indicativo di tale verifica è riportato in figura 1;

- esista il coordinamento con il contattore in condizioni di cortocircuito (generalmente gli impianti di illuminazione non danno luogo a sovraccarichi).

Con riferimento ai criteri di verifica sopra indicati, le tabelle seguenti indicano il massimo numero di lampade per fase che possono essere comandate dalla combinazione degli interruttori e dei contattori ABB per alcune tipologie di lampade in funzione della potenza e della loro corrente assorbita I_b , per impianti trifase con tensione nominale di 400 V e corrente di cortocircuito massima di 15 kA.

(*) Per il calcolo vedere Appendice B Calcolo della corrente d'impiego I_b

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Figura 1: diagramma indicativo per il coordinamento tra lampada e dispositivi di protezione e manovra

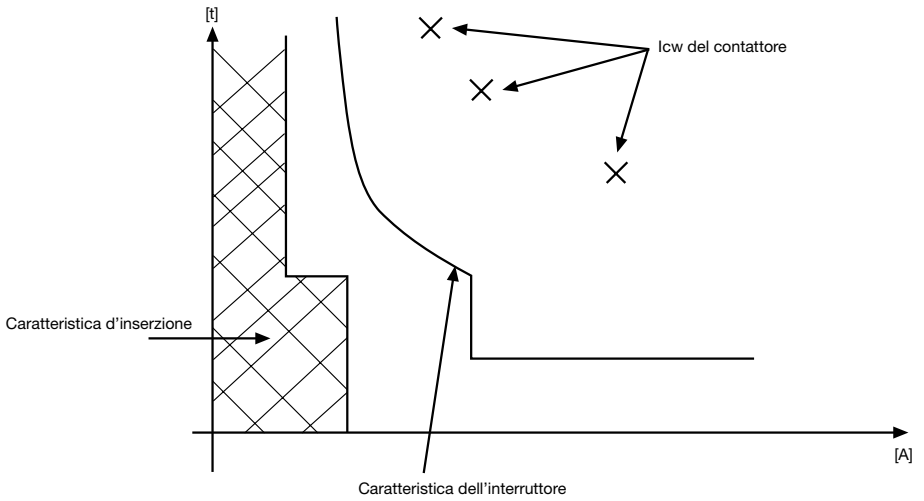


Tabella 1: Lampade ad incandescenza ed alogene

U_n= 400 V	I_k= 15 kA												
Lampade incandescenti/fluorescenti													
Tipo di interruttore		S200M D20	S200M D20	S200M D25	S200M D32	S200M D50		T2N160 In63	T2N160 In63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160
Settaggio PR221 DS		----	----	----	----	----		L= 0.68- A S= 8- B	L= 0.92- A S= 10- B	L= 0.68- A S= 8- B	L= 0.76- A S= 8- B	L= 1- A S= 10- B	L= 0.68- A S= 7- B
Tipo di contattore		A26	A26	A26	A26	A30		A40	A50	A63	A75	A95	A110
Potenza nominale [W]	Corrente nominale I_b [A]	N° lampade per fase											
60	0.27	57	65	70	103	142		155	220	246	272	355	390
100	0.45	34	38	42	62	85		93	132	147	163	210	240
200	0.91	17	19	20	30	42		46	65	73	80	105	120
300	1.37	11	12	13	20	28		30	43	48	53	70	80
500	2.28	6	7	8	12	16		18	26	29	32	42	48
1000	4.55	3	4	4	6	8		9	13	14	16	21	24

1SDC010032F0201

Tabella 2: Lampade a fluorescenza

U_n= 400 V	I_k= 15 kA												
Lampade a fluorescenza non rifasate													
Tipo di interruttore		S200M D16	S200M D20	S200M D20	S200M D32	S200M D40		S200M D50	S200M D63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160
Settaggio PR221 DS										L= 0.68- A S= 10- B	L= 0.76- A S= 10- B	L= 0.96- A- S= 10- B	S= 0.68- A S= 10- B
Tipo di contattore		A26	A26	A26	A26	A30		A40	A50	A63	A75	A95	A110
Potenza nominale [W]	Corrente nominale I_b [A]	N° lampade per fase											
20	0.38	40	44	50	73	100		110	157	173	192	250	278
40	0.45	33	37	42	62	84		93	133	145	162	210	234
65	0.7	21	24	27	40	54		60	85	94	104	135	150
80	0.8	18	21	23	35	47		52	75	82	91	118	132
100	1.15	13	14	16	24	33		36	52	57	63	82	92
110	1.2	12	14	15	23	31		35	50	55	60	79	88

1SDC010033F0201

U_n= 400 V		I_k= 15 kA											
Lampade a fluorescenza rifasate													
Tipo di interruttore			S200M D25	S200M D25	S200M D32	S200M D40	S200M D63		T2N160 In63	T2N160 In63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100
Settaggio PR221 DS			---	---	---	---	---		L= 0.68- A S= 8- B	L= 1- A S= 10- B	L= 0.68- A S= 10- B	L= 0.76- A S= 10- B	L= 0.96- A S= 10- B
Tipo di contattore			A26	A26	A26	A26	A30		A40	A50	A63	A75	A95
Potenza nominale [W	Corrente nominale I_b [A]	Condensatore [µF]	N° lampade per fase										
20	0.18	5	83	94	105	155	215		233	335	360	400	530
40	0.26	5	58	65	75	107	150		160	230	255	280	365
65	0.42	7	35	40	45	66	92		100	142	158	173	225
80	0.52	7	28	32	36	53	74		80	115	126	140	180
100	0.65	16	23	26	29	43	59		64	92	101	112	145
110	0.7	18	21	24	27	40	55		59	85	94	104	135

3.1 Protezione e manovra di circuiti di illuminazione
3 Protezione delle apparecchiature elettriche

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 3: Lampade a scarica ad alta intensità

U_n= 400 V	I_k= 15 kA												
Lampade a fluorescenza non rifasate													
Tipo di interruttore		S200M D16	S200M D20	S200M D20	S200M D32	S200M D40		S200M D40	S200M D50	S200M D63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160
Settaggio PR221 DS											L= 0.8- B S= 6.5- B	L= 1- B S= 8- B	L= 0.8- B S= 6.5- B
Tipo di contattore		A26	A26	A26	A26	A30		A40	A50	A63	A75	A95	A110
Potenza nominale [W]	Corrente nominale I_b [A]	N° lampade per fase											
150	1.8	6	7	8	11	15		17	23	26	29	38	41
250	3	4	4	5	7	9		10	14	16	17	23	25
400	4.4	3	3	3	4	6		7	9	10	12	15	17
600	6.2	1	2	2	3	4		5	7	8	8	11	12
1000	10.3	-	1	1	2	3		3	4	5	5	6	7

U_n= 400 V	I_k= 15 kA												
Lampade a fluorescenza rifasate													
Tipo di interruttore		S200M D16	S200M D20	S200M D20	S200M D32	S200M D40		S200M D40	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160	T2N160 In160
Settaggio PR221 DS		---	---	---	---	---		---	L= 0.8- B S= 6.5- B	L= 0.88- B S= 6.5- B	L= 1- B S= 6.5- B	L= 0.84- B S= 4.5- B	L= 0.88- B S= 4.5- B
Tipo di contattore		A26	A26	A26	A26	A30		A40	A50	A63	A75	A95	A110
Potenza nominale [W]	Corrente nominale I_b [A]	Condensatore [µF]	N° lampade per fase										
150	1	20	13	14	15	23	28		30	50	58	63	81	88
250	1.5	36	8	9	10	15	18		20	33	38	42	54	59
400	2.5	48	5	5	6	9	11		12	20	23	25	32	36
600	3.3	65	4	4	5	7	8		9	15	17	19	24	27
1000	6.2	100	-	-	-	4	4		5	8	9	10	13	14

1SDC010034F0201

Esempio:
Comando e protezione di un sistema di illuminazione, alimentato da una rete trifase a 400 V 15 kA, composta da 55 lampade per fase a incandescenza di 200 W ciascuna.
Posizionandosi nella tabella 1 sulla riga relativa ai 200 W si seleziona la cella che riporta il numero di lampade comandabili immediatamente superiore al numero di lampade presenti nell'impianto. Nel caso specifico in corrispondenza della cella riferita a 65 lampade per fase risulta che gli apparecchi da utilizzare sono:
- un interruttore tipo ABB Tmax T2N160 In63 con relè elettronico tipo PR221/DS, con protezione L settata a 0,92 curva A e protezione S settata a 10 curva B;
- un contattore A50.

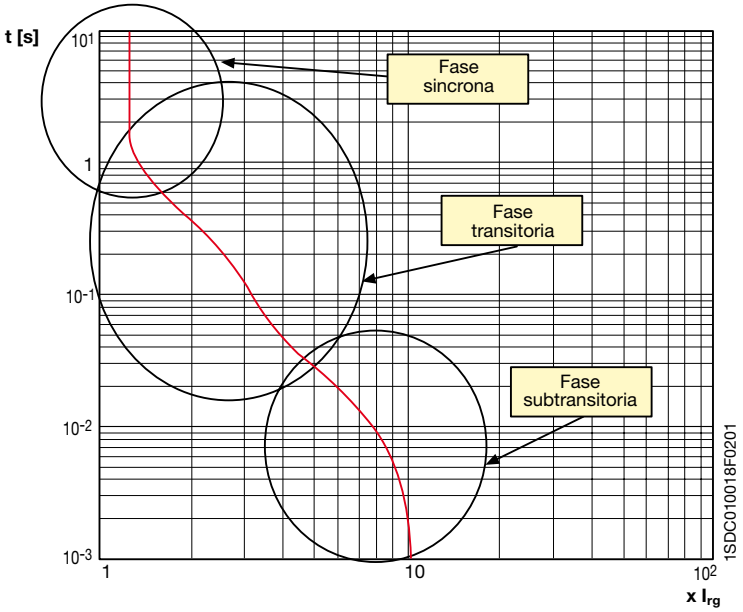
3.2 Protezione e manovra dei generatori

L'esigenza di garantire una sempre maggiore continuità di servizio ha determinato un incremento nell'utilizzo di gruppi di continuità con generatori, in alternativa o in parallelo con la rete pubblica.

Le configurazioni tipiche sono:
- Alimentazione in isola dei carichi privilegiati in caso di mancanza di energia della rete pubblica;
- Alimentazione dell'impianto utilizzatore in parallelo con la rete pubblica.

In caso di cortocircuito, a differenza della rete pubblica, il cui contributo è costante, la corrente erogata dal generatore è funzione dei parametri della macchina stessa, ed è decrescente nel tempo; in sequenza è possibile identificare:

1. una fase subtransitoria: ha una breve durata (10÷50 ms) ed è caratterizzata dalla reattanza subtransitoria X"d (5÷20% del valore dell'impedenza nominale) e dalla costante di tempo subtransitoria T"d (5÷30 ms);
2. una fase transitoria: può durare fino a qualche secondo (0.5÷2.5 s) ed è caratterizzata dalla reattanza transitoria X'd (15÷40% del valore dell'impedenza nominale) dalla costante di tempo transitoria T'd (0.03÷2.5 s);
3. una fase sincrona: può permanere fino all'intervento di protezioni esterne ed è caratterizzata dalla reattanza sincrona Xd (80÷300% del valore dell'impedenza nominale).



3 Protezione delle apparecchiature elettriche

In prima approssimazione si può valutare che il massimo valore della corrente di corto circuito di un generatore, avente potenza nominale S_{rg}, alla tensione nominale dell'impianto U_n è pari a:

$$I_{kg} = \frac{I_{ng} \cdot 100}{X''_d\,\%}$$

dove
I_{ng} è la corrente nominale del generatore:

$$I_{ng} = \frac{S_{ng}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

L'interruttore a protezione del generatore deve essere scelto in base ai seguenti criteri:
- corrente regolata maggiore della corrente nominale del generatore: $I_n \geq I_{ng}$;
- potere di interruzione I_{cu} o I_{cs} maggiore del massimo valore della corrente di cortocircuito nel punto di installazione:
  - in caso di presenza di un unico generatore: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kg}$;
  - in caso di *n* generatori uguali in parallelo: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kg} \cdot (n\text{-}1)$;
  - in caso di funzionamento in parallelo con la rete: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{krete}$, visto che normalmente il contributo al cortocircuito fornito dalla rete è superiore al contributo del generatore;
- per interruttori con relè termomagnetico: soglia di intervento magnetica bassa $I_3 = 2.5/3 \cdot I_n$;
- per interruttori con relè elettronico:
  - soglia di intervento della funzione di protezione da cortocircuito ritardata (S) regolata tra 1.5 e 4 volte la corrente nominale del generatore, in modo da poter "intercettare" la curva di decremento del generatore: $I3 = (1.5 \div 4) \cdot I_{ng}$; se non è presente la funzione S, si può impostare la funzione I ai valori indicati $I2 = (1.5 \div 4) \cdot I_{ng}$;
  - soglia di intervento della funzione di protezione da cortocircuito istantaneo (I3) regolata ad un valore maggiore della corrente di cortocircuito nominale del generatore, in modo da poter ottenere selettività con i dispositivi presenti a valle e da permettere un veloce intervento nel caso di corto circuito a monte del dispositivo (funzionamento in parallelo con altri generatori o con la rete):

$$I_3 \geq I_{kg}$$

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Nelle seguenti tabelle è indicata la soluzione ABB SACE per la protezione e la manovra dei dei generatori; le tabelle sono riferite a 400 V (Tabella 1), 440 V (Tabella 2), 500 V (Tabella 3) e 690 V (Tabella 4). Gli interruttori scatolati possono essere muniti sia di sganciatori termomagnetici (TMG) che di sganciatori elettronici.

Tabella 1 400 V

S_{ng} [kVA]	Modulari	Scatolati	Aperti
4	S200 B6	T2 160	
6	S200 B10		
7	S200 B13		
9			
11	S200 B16		
14	S200 B25		
17			
19	S200 B32		
21			
22			
28	S200 B50		
31			
35	S200 B63		
38			
42			
44	S280 B80		
48			
55			
69	S280 B100		
80			
87			
100			
111		T3 250 T4 250	
138			
159			
173			
180		T4 320	
190			
208			
218			
242		T5 400	
277		T5 630	X1 630
308			
311			
346			
381			
415			
436		T6 800	X1 800
484			
554		T7 1000	X1 1000**
692			
727		T7 1250	X1 1250**
865			
1107		T7 1600	X1 1600**
1730			E3 2500
2180			E3 3200
2214			
2250			E4 4000
2500			
2800			E6 5000
3150			
3500			E6 6300

Tabella 2 440 V

S_{ng} [kVA]	Modulari	Scatolati	Aperti
4	S200 B6	T2 160	
6	S200 B8		
7	S200 B10		
9	S200 B13		
11	S200 B16		
14	S200 B20		
17	S200 B25		
19	S200 B32		
21			
22			
28	S200 B40		
31	S200 B50		
35			
38	S200 B63		
42			
44			
48	S280 B80		
55			
69	S280 B100		
80			
87			
100			
111		T3 250 T4 250	
138			
159			
173			
180		T4 320	
190			
208			
218			
242		T5 400	
277		T5 630	X1 630
308			
311			
346			
381			
415			
436		T6 800	X1 800**
484			
554		T7 1000	X1 1000**
692			
727		T7 1250	X1 1250**
865			
1107		T7 1600	X1 1600**
1730			E3 2500
2180			E3 3200
2214			
2250			E4 3600
2500			
2800			E4 4000
3150			E6 5000
3500			

1SDC010016F0001

** anche un interruttore Emax tipo E1 può essere usato per questa applicazione

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 3 500 V

S_{ng} [kVA]	Modulari	Scatolati	Aperti
4		T2 160	
6			
7			
9			
11			
14			
17			
19			
21			
22			
28			
31			
35			
38			
42			
44			
48			
55			
69			
80			
87			
100			
111			
138			
159		T3 250 T4 250	
173			
180			
190			
208			
218		T4 320	
242			
277		T5 400	
308			
311			
346			
381		T5 630	X1 630
415			
436			
484			
554		T6 800	X1 800**
692			
727		T7 1000	X1 1000**
865			
1107		T7 1600	X1 1600**
1730			E2 2000
2180			E3 3200
2214			
2250			
2500			
2800			E4 4000
3150			
3500			E6 5000

Tabella 4 690 V

S_{ng} [kVA]	Modulari	Scatolati	Aperti
4		T2 160	
6			
7			
9			
11			
14			
17			
19			
21			
22			
28			
31			
35			
38			
42			
44			
48			
55			
69			
80			
87			
100			
111			
138			
159			
173			
180			
190			
208		T3 250 T4 250	
218			
242			
277			
308		T4 320	
311			
346			
381		T5 400	
415			
436			
484		T5 630	X1 630
554			
692			
727			
865		T6 800	X1 800**
1107		T7 1000	X1 1000**
1730		T7 1600	X1 1600**
2180			E2 2000
2214			
2250			
2500			E3 2500
2800			
3150			E3 3200
3500			

1SDC010017F0001

** anche un interruttore Emax tipo E1 può essere usato per questa applicazione

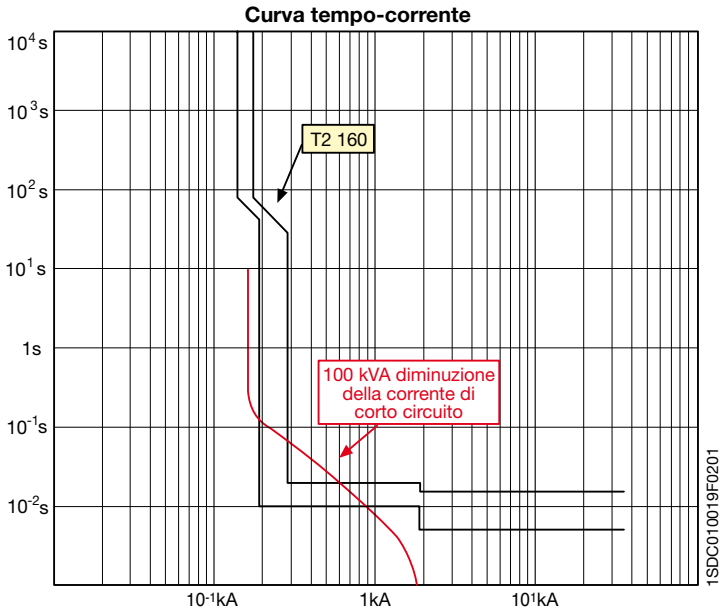
3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Esempio:

Si vuole proteggere un generatore avente S_{ng} = 100 kVA, inserito in un impianto con tensione nominale di 440 V.
I parametri della macchina sono:
U_n = 440 V
S_{ng} = 100 kVA
f = 50 Hz
I_{ng} = 131.2 A
X''_d = 6.5 % (reattanza subtransitoria)
X'_d = 17.6 % (reattanza transitoria)
X_d = 230 % (reattanza sincrona)
T''_d = 5.5 ms (costante di tempo subtransitoria)
T'_d = 39.3 ms (costante di tempo transitoria)

Da tabella 2, si sceglie l'interruttore tipo ABB SACE T2N160, con I_n = 160 A, e relè elettronico PR221-LS. Per una corretta protezione del generatore, si scelgono i seguenti settaggi:

funzione L: 0.84 – A, corrispondente a 134.4 A, valore maggiore di I_{ng}
funzione I: 1.5



3.3 Protezione e manovra dei motori

Avviatore elettromeccanico

L'avviatore è destinato a:
- avviare i motori;
- assicurarne il funzionamento continuo;
- disinserirli dalla linea di alimentazione;
- garantirne la protezione contro i sovraccarichi di funzionamento.

Tipicamente l'avviatore è costituito da un dispositivo di manovra (contattore) e da un dispositivo di protezione contro il sovraccarico (relè termico).
I due dispositivi devono essere coordinati con un apparecchio adatto a realizzare la protezione contro il cortocircuito (tipicamente un interruttore con sganciatore solo magnetico) che non necessariamente deve fare parte dell'avviatore.

Le caratteristiche dell'avviatore devono essere conformi alla norma internazionale IEC60947-4-1, che definisce gli apparecchi sopra citati nel seguente modo:

Contattore: apparecchio meccanico di manovra avente una sola posizione di riposo, ad azionamento non manuale in grado di stabilire portare e interrompere correnti in condizioni normali del circuito incluse le condizioni di sovraccarico di manovra.

Relè termico: relè o sganciatore che interviene nel caso di sovraccarico ed anche nel caso di mancanza di una fase.

Interruttore: definito dalla norma IEC 60947-2 come un dispositivo capace di stabilire, portare ed interrompere correnti in condizioni normali del circuito, ed anche di stabilire, portare per una durata specificata ed interrompere correnti in condizioni anormali del circuito.

Le principali tipologie di motore che possono essere manovrate e che determinano le caratteristiche dell'avviatore sono definite dalle seguenti categorie di utilizzazione:

Tabella 1: Categorie d'utilizzazione e applicazioni tipiche

Tipo di corrente	Categorie d'utilizzazione	Applicazioni tipiche
Corrente alternata AC	AC-2	Motori ad anelli: avviamento, arresto
	AC-3	Motori a gabbia di scoiattolo: avviamento marcia(1)
	AC-4	Motori a gabbia di scoiattolo: frenatura in controcorrente manovra a impulsi

(1) La categoria AC-3 può essere utilizzata per manovre sporadiche a impulsi o frenature in controcorrente per periodi limitati, come quelli relativi al posizionamento della macchina; durante tali periodi limitati, il numero di queste operazioni non dovrebbe superare cinque al minuto o dieci in un periodo di 10 min.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

La scelta del metodo di avviamento ed eventualmente anche del tipo di motore da utilizzare dipende dalla coppia resistente tipica del carico e dalla potenza della rete che alimenta il motore.

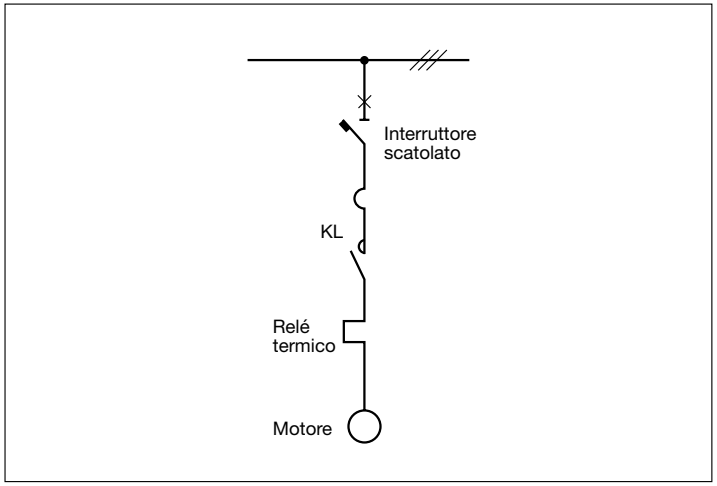
In corrente alternata le tipologie di motore più utilizzate sono le seguenti:
- il motore asincrono trifase a gabbia di scoiattolo (AC-3): è il più diffuso perché costruttivamente semplice, economico e robusto; sviluppa una coppia elevata con tempi di accelerazione brevi, però richiede correnti di avviamento sostenute;
- il motore ad anelli (AC-2): è caratterizzato da condizioni di avviamento meno gravose e ha una coppia di avviamento abbastanza elevata anche con una rete di alimentazione di scarsa potenza.

Metodi di avviamento

Di seguito sono riportate le tipologie di avviamento più comuni per i motori asincroni a gabbia.

Avviamento diretto

Con l'avviamento diretto (Ditect On Line) l'avviatore, con la chiusura del contattore di linea KL, consente di applicare la tensione di linea ai terminali del motore in una sola operazione. Un motore a gabbia sviluppa così una coppia di avviamento elevata con un tempo di accelerazione relativamente ridotto. Questo metodo si applica in generale a motori di piccola e media potenza che raggiungono in tempi brevi la velocità di regime. Questi vantaggi sono però accompagnati da una serie di inconvenienti quali ad esempio:
- assorbimento elevato di corrente e relativa caduta di tensione che potrebbero risultare dannosi per il resto dell'impianto connesso alla rete;
- violente accelerazioni che si ripercuotono sugli organi di trasmissione meccanica (cinghie e giunti meccanici), diminuendone la vita.



3 Protezione delle apparecchiature elettriche

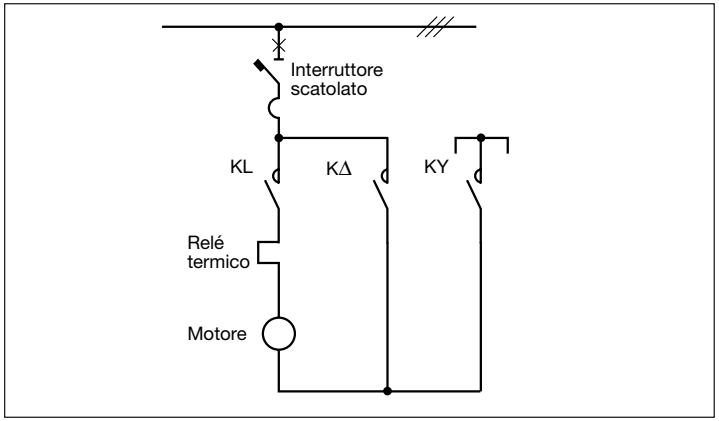
Altre tipologie di avviamento dei motori a gabbia sono realizzate riducendo la tensione di alimentazione del motore: si ottiene in questo modo una diminuzione della corrente di avviamento e della coppia motrice e un aumento del tempo di accelerazione.

Avviatore Stella-Triangolo

Il più comune avviatore con tensione ridotta è l'avviatore Stella-Triangolo (Y-Δ) in cui:
- all'avviamento gli avvolgimenti di statore sono collegati a stella, ottenendo così la riduzione della corrente di spunto;
- al raggiungimento circa della velocità di regime del motore si effettua la commutazione dei collegamenti a triangolo.

Dopo la commutazione, la corrente e la coppia seguono l'andamento delle curve relative al normale collegamento di esercizio (triangolo).

Come si può facilmente verificare, avviando il motore con il collegamento a stella, cioè alla tensione ridotta di $\sqrt{3}$, esso assorbe dalla linea una corrente ridotta di 1/3 rispetto a quella assorbita con il collegamento a triangolo.
La coppia di spunto, proporzionale al quadrato della tensione, risulta ridotta di 3 volte rispetto alla coppia che lo stesso motore fornirebbe con collegamento a triangolo.
Il metodo trova applicazione per motori di potenza generalmente compresa fra 15 e 355 kW, ma destinati a partire con coppia resistente iniziale bassa.



Sequenza di avviamento

Agendo sul pulsante di marcia si chiudono i contattori KL e KY. Il temporizzatore inizia il conteggio del tempo di avviamento con il motore collegato a stella. Trascorso il tempo impostato, il primo contatto del temporizzatore apre il contattore KY e il secondo contatto ritardato di circa 50ms chiude il contattore KΔ. Con la nuova configurazione, contattori KL e KΔ chiusi, il motore risulta connesso a triangolo.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Il relè termico TOR inserito all'interno del triangolo consente di rilevare eventuali correnti di 3ª armonica che possono verificarsi per saturazione del pacco magnetico e che aggiungendosi alla corrente fondamentale andrebbero a sovraccaricare il motore senza interessare la linea.
Con riferimento allo schema di connessione, gli apparecchi utilizzati per l'avviatore Y/Δ dovranno essere in grado di portare le seguenti correnti:

$\frac{I_n}{\sqrt{3}}$ contattore di linea KL e di triangolo KΔ

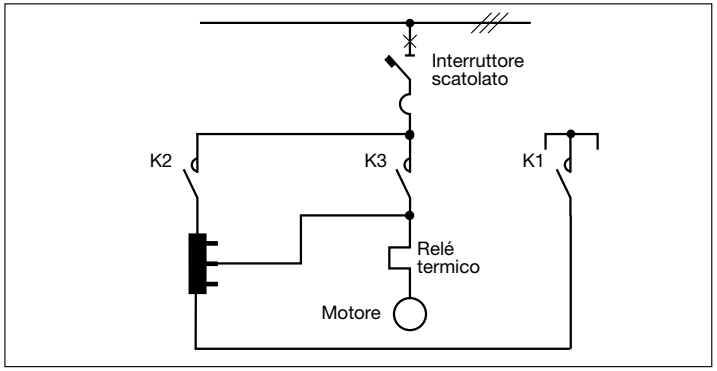
$\frac{I_n}{3}$ contattore di stella KY

$\frac{I_n}{\sqrt{3}}$ relè di protezione dal sovraccarico

dove I_r è la corrente nominale del motore.

Avviamento con autotrasformatore

L'avviamento con autotrasformatore è il più razionale fra i metodi utilizzati per l'avviamento a tensione ridotta, ma anche il più costoso. La riduzione della tensione di alimentazione avviene utilizzando un autotrasformatore a presa fissa o un più oneroso autotrasformatore a più prese.
Trova applicazioni per motori a gabbia di scoiattolo di potenza in genere compresa fra 50 kW e qualche centinaio di kilowatt, e per motori a doppia gabbia, di potenza più elevata.



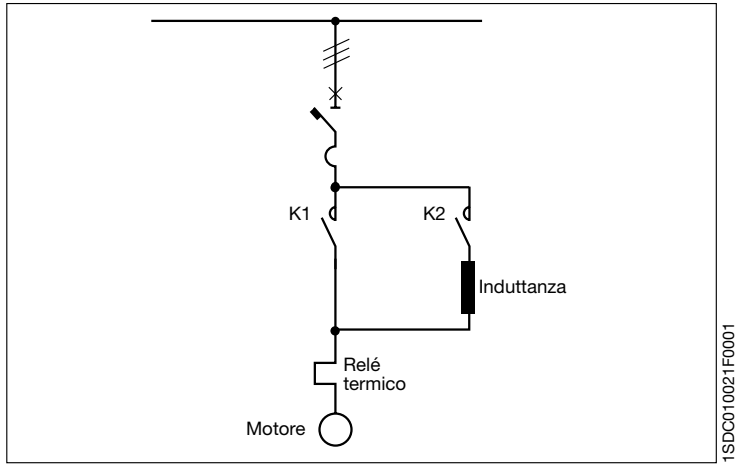
L'autotrasformatore riduce di un fattore K la tensione di rete (K=1.25÷1,8) e di conseguenza la coppia di spunto è ridotta di K^2 volte rispetto al valore alla piena tensione nominale.
All'avviamento il motore è collegato alle prese dell'autotrasformatore e i contattori K2 e K1 sono chiusi.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Il motore parte quindi a tensione ridotta e quando ha raggiunto circa l'80% della sua velocità di regime, il contattore K1 viene aperto e viene inserito il contattore principale K3, e successivamente viene aperto il contattore K2 che esclude l'autotrasformatore, in modo da fornire la piena tensione dalla rete.

Avviamento con induttanze o resistenze

Questo tipo di avviamento si adotta per rotori a gabbia semplice o doppia. La riduzione della tensione di alimentazione si ottiene inserendo in serie allo statore delle reattanze o resistenze. Allo spunto si limita la corrente a 2,5 ÷ 3,5 volte quella nominale.
All'avviamento il motore è alimentato attraverso il contattore K2, al raggiungimento della velocità di regime, le induttanze sono messe in cortocircuito dalla chiusura del contattore K1 e vengono poi escluse con l'apertura del contattore K2.
Si possono realizzare anche più esclusioni graduali di resistenze o reattanze, con comandi temporizzati, per potenze del motore anche oltre i 100 kW.
L'impiego di reattanze abbassa notevolmente il fattore di potenza, mentre l'utilizzo di resistenze provoca la dissipazione di un'elevata potenza per effetto Joule, anche se limitatamente alla fase di avviamento.
La coppia, per una riduzione K (0.6÷0.8) della tensione sul motore si riduce di K2 volte (0.36÷0.64).



In accordo alla normativa citata, gli avviatori possono essere classificati anche in funzione del tempo di avviamento (Classi di avviamento) e del tipo di coordinamento realizzato con il dispositivo di protezione contro il cortocircuito (Tipo 1 e Tipo 2).

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Classi di avviamento

Le classi di avviamento differenziano i relè termici in base alla loro curva di intervento.
Le classi di avviamento sono definite dalla seguente tabella 2:

Tabella 2: Classe di avviamento

Classe di avviamento	Tipo d'intervento in secondi (Tp)
10A	$2 < Tp \leq 10$
10	$4 < Tp \leq 10$
20	$6 < Tp \leq 20$
30	$9 < Tp \leq 30$

dove Tp è il tempo di intervento a freddo del relè termico a 7.2 volte il valore di corrente regolato (ad esempio: un relè in classe 10 a 7.2 volte il valore di corrente regolato non deve intervenire prima di 4 s ma deve intervenire entro 10 s).
È prassi comune associare alla classe 10 la tipologia di avviamento normale e alla classe 30 la tipologia di avviamento pesante.

Tipo di avviamento

Tipo 1

Si accetta che in caso di cortocircuito il contattore e il relè termico risultino danneggiati. L'avviatore può non essere più in grado di funzionare è deve essere ispezionato; se necessario il contattore e/o il relè termico devono essere sostituiti e lo sganciatore dell'interruttore ripristinato.

Tipo 2

In caso di cortocircuito il relè termico non deve essere danneggiato, mentre è permessa la saldatura dei contatti del contattore purché facilmente separabili (ad esempio con l'azione di un cacciavite) senza deformazione significativa.

Per determinare in modo univoco una tipologia di coordinamento, e quindi gli apparecchi necessari per realizzarlo, è necessario conoscere:
- potenza del motore in kW e tipo;
- tensione nominale di impianto;
- corrente nominale del motore;
- corrente di cortocircuito nel punto di installazione;
- tipo di avviamento:DOL o Y/Δ - Normale o Pesante - Tipo 1 o Tipo 2.

I dispositivi necessari devono essere coordinati fra di loro nel rispetto delle prescrizioni normative.
Per le tensioni e per i valori di cortocircuito più comuni (400 V-440 V-500 V-690 V 35 kA-50 kA) e per le tipologie di avviamento più frequenti quali l'avviamento diretto e l'avviamento stella/triangolo, per i motori asincroni a gabbia (AC-3) ABB fornisce soluzioni con:
- interruttore solo magnetico – contattore – e relè termico;
- interruttore termomagnetico – contattore;
- interruttore termomagnetico con relè elettronico PR222/MP - contattore.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Di seguito è riportato un esempio della tipologia di tabelle disponibili:

Tabella 3: 400 V 50 kA DOL Tipo 2 – Avviamento normale (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore	Relé termico		
						Campo di regolazione	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	Tipo	Tipo	min. [A]	max. [A]
0.37	1.1	**T2S160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.4**	1	1.4
0.55	1.5	**T2S160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.8**	1.3	1.8
0.75	1.9	**T2S160 MF 2**	26	**A9**	**TA25DU2.4**	1.7	2.4
1.1	2.8	**T2S160 MF 3.2**	42	**A9**	**TA25DU4**	2.8	4
1.5	3.5	**T2S160 MF 4**	52	**A16**	**TA25DU5**	3.5	5
2.2	5	**T2S160 MF 5**	65	**A26**	**TA25DU6.5**	4.5	6.5
3	6.6	**T2S160 MF 8.5**	110	**A26**	**TA25DU8.5**	6	8.5
4	8.6	**T2S160 MF 11**	145	**A30**	**TA25DU11**	7.5	11
5.5	11.5	**T2S160 MF 12.5**	163	**A30**	**TA25DU14**	10	14
7.5	15.2	**T2S160 MA 20**	210	**A30**	**TA25DU19**	13	19
11	22	**T2S160 MA 32**	288	**A30**	**TA42DU25**	18	25
15	28.5	**T2S160 MA 52**	392	**A50**	**TA75DU42**	29	42
18.5	36	**T2S160 MA 52**	469	**A50**	**TA75DU52**	36	52
22	42	**T2S160 MA 52**	547	**A50**	**TA75DU52**	36	52
30	56	**T2S160 MA 80**	840	**A63**	**TA75DU80**	60	80
37	68	**T2S160 MA 80**	960	**A75**	**TA75DU80**	60	80
45	83	**T2S160 MA 100**	1200	**A95**	**TA110DU110**	80	110
55	98	**T3S250 MA 160**	1440	**A110**	**TA110DU110**	80	110
75	135	**T3S250 MA 200**	1800	**A145**	**TA200DU175**	130	175
90	158	**T3S250 MA 200**	2400	**A185**	**TA200DU200**	150	200
110	193	**T4S320 PR221-I In320**	2720	**A210**	**E320DU320**	100	320
132	232	**T5S400 PR221-I In400**	3200	**A260**	**E320DU320**	100	320
160	282	**T5S400 PR221-I In400**	4000	**A300**	**E320DU320**	100	320
200	349	**T5S630 PR221-I In630**	5040	**AF400**	**E500DU500**	150	500
250	430	**T6S630 PR221-I In630**	6300	**AF460**	**E500DU500**	150	500
290	520	**T6S800 PR221-I In800**	7200	**AF580**	**E800DU800**	250	800
315	545	**T6S800 PR221-I In800**	8000	**AF580**	**E800DU800**	250	800
355	610	**T6S800 PR221-I In800**	8000	**AF750**	**E800DU800**	250	800

MA: sganciatore solo magnetico regolabile
MF: sganciatore solo magnetico fisso

1SDC010022F0201

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 4: 400 V 50 kA DOL Tipo 2 – Avviamento pesante (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore	Relé termico			
							Campo di regolazione	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	Tipo	Tipo**	Spire primarie su TA	min. [A]	max. [A]
0.37	1.1	**T2S160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.4***		1	1.4
0.55	1.5	**T2S160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.8***		1.3	1.8
0.75	1.9	**T2S160 MF 2**	26	**A9**	**TA25DU2.4***		1.7	2.4
1.1	2.8	**T2S160 MF 3.2**	42	**A9**	**TA25DU4***		2.8	4
1.5	3.5	**T2S160 MF 4**	52	**A16**	**TA25DU5***		3.5	5
2.2	5	**T2S160 MF 5**	65	**A26**	**TA25DU6.5***		4.5	6.5
3	6.6	**T2S160 MF 8.5**	110	**A26**	**TA25DU8.5***		6	8.5
4	8.6	**T2S160 MF 11**	145	**A30**	**TA25DU11***		7.5	11
5.5	11.5	**T2S160 MF 12.5**	163	**A30**	**TA450SU60**	**4**	10	15
7.5	15.2	**T2S160 MA 20**	210	**A30**	**TA450SU60**	**3**	13	20
11	22	**T2S160 MA 32**	288	**A30**	**TA450SU60**	**2**	20	30
15	28.5	**T2S160 MA 52**	392	**A50**	**TA450SU80**	**2**	23	40
18.5	36	**T2S160 MA 52**	469	**A50**	**TA450SU80**	**2**	23	40
22	42	**T2S160 MA 52**	547	**A50**	**TA450SU60**		40	60
30	56	**T2S160 MA 80**	840	**A63**	**TA450SU80**		55	80
37	68	**T2S160 MA 80**	960	**A95**	**TA450SU80**		55	80
45	83	**T2S160 MA 100**	1200	**A110**	**TA450SU105**		70	105
55	98	**T3S250 MA 160**	1440	**A145**	**TA450SU140**		95	140
75	135	**T3S250 MA 200**	1800	**A185**	**TA450SU185**		130	185
90	158	**T3S250 MA 200**	2400	**A210**	**TA450SU185**		130	185
110	193	**T4S320 PR221-I In320**	2720	**A260**	**E320DU320**		100	320
132	232	**T5S400 PR221-I In400**	3200	**A300**	**E320DU320**		100	320
160	282	**T5S400 PR221-I In400**	4000	**AF400**	**E500DU500**		150	500
200	349	**T5S630 PR221-I In630**	5040	**AF460**	**E500DU500**		150	500
250	430	**T6S630 PR221-I In630**	6300	**AF580**	**E500DU500*** **		150	500
290	520	**T6S800 PR221-I In800**	7200	**AF750**	**E800DU800**		250	800
315	545	**T6S800 PR221-I In800**	8000	**AF750**	**E800DU800**		250	800
355	610	**T6S800 PR221-I In800**	8000	**AF750**	**E800DU800**		250	800

1SDC010020F0201

* Prevedere contattore di by-pass di pari taglia durante la fase di avviamento del motore
** Impostare la classe di intervento 30 sui relè di Tipo E
*** Kit di connessione non disponibile. Per utilizzare il kit di connessione, sostituire con relè E800DU800

MA: sganciatore solo magnetico regolabile
MF: sganciatore solo magnetico fisso

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 5: 400 V 50 kA Y/Δ Normale Tipo 2 (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore			Relé termico	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	LINEA Tipo	TRIANGOLO Tipo	STELLA Tipo	Tipo	Campo di regolazione [A]
18.5	36	**T2S160 MA52**	469	**A50**	**A50**	**A26**	**TA75DU25**	18-25
22	42	**T2S160 MA52**	547	**A50**	**A50**	**A26**	**TA75DU32**	22-32
30	56	**T2S160 MA80**	720	**A63**	**A63**	**A30**	**TA75DU42**	29-42
37	68	**T2S160 MA80**	840	**A75**	**A75**	**A30**	**TA75DU52**	36-52
45	83	**T2S160 MA100**	1050	**A75**	**A75**	**A30**	**TA75DU63**	45 - 63
55	98	**T2S160 MA100**	1200	**A75**	**A75**	**A40**	**TA75DU63**	45 - 63
75	135	**T3S250 MA160**	1700	**A95**	**A95**	**A75**	**TA110DU90**	66 - 90
90	158	**T3S250 MA200**	2000	**A110**	**A110**	**A95**	**TA110DU110**	80 - 110
110	193	**T3S250 MA200**	2400	**A145**	**A145**	**A95**	**TA200DU135**	100 - 135
132	232	**T4S320 PR221-I In320**	2880	**A145**	**A145**	**A110**	**E200DU200**	60 - 200
160	282	**T5S400 PR221-I In400**	3600	**A185**	**A185**	**A145**	**E200DU200**	60 - 200
200	349	**T5S630 PR221-I In630**	4410	**A210**	**A210**	**A185**	**E320DU320**	100 - 320
250	430	**T5S630 PR221-I In630**	5670	**A260**	**A260**	**A210**	**E320DU320**	100 - 320
290	520	**T6S630 PR221-I In630**	6300	**AF400**	**AF400**	**A260**	**E500DU500**	150 - 500
315	545	**T6S800 PR221-I In800**	7200	**AF400**	**AF400**	**A260**	**E500DU500**	150 - 500
355	610	**T6S800 PR221-I In800**	8000	**AF400**	**AF400**	**A260**	**E500DU500**	150 - 500

MA: sganciatore solo magnetico regolabile

Tabella 6: 400 V 50 kA DOL Tipo 2 – Avviamento normale e pesante (Tmax con sganciatore MP-Contattore)

Motore		Interruttore scatolato			Contattore	Gruppo
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_1* gamma [A]	I_3 [A]	Tipo	[A]
30	56	**T4S250 PR222MP In100**	40-100	600	A95	95
37	68	**T4S250 PR222MP In100**	40-100	700	A95	95
45	83	**T4S250 PR222MP In100**	40-100	800	A95	95
55	98	**T4S250 PR222MP In160**	64-160	960	A145	145
75	135	**T4S250 PR222MP In160**	64-160	1280	A145	145
90	158	**T4S250 PR222MP In200**	80-200	1600	A185	185
110	193	**T5S400 PR222MP In320**	128-320	1920	A210	210
132	232	**T5S400 PR222MP In320**	128-320	2240	A260	260
160	282	**T5S400 PR222MP In320**	128-320	2560	AF400**	320
200	349	**T5S400 PR222MP In400**	160-400	3200	AF400	400
250	430	**T6S800 PR222MP In630**	252-630	5040	AF460	460
290	520	**T6S800 PR222MP In630**	252-630	5670	AF580	580
315	545	**T6S800 PR222MP In630**	252-630	5670	AF580	580
355	610	**T6S800 PR222MP In630**	252-630	5670	AF750	630

1SDC010023F0201

(*) per avviamento pesante, impostare la classe dell'intervento dello sganciatore elettronico sulla classe 30
(**) In caso di avviamento normale, utilizzare AF300

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 7: 440 V 50 kA DOL Tipo 2 – avviamento normale (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore	Relé termico		
						Campo di regolazione	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	Tipo	Tipo	min. [A]	max. [A]
0.37	1	**T2H160 MF 1**	13	**A9**	**TA25DU1.4**	1	1.4
0.55	1.4	**T2H160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.8**	1.3	1.8
0.75	1.7	**T2H160 MF 2**	26	**A9**	**TA25DU2.4**	1.7	2.4
1.1	2.2	**T2H160 MF 2.5**	33	**A9**	**TA25DU3.1**	2.2	3.1
1.5	3	**T2H160 MF 3.2**	42	**A16**	**TA25DU4**	2.8	4
2.2	4.4	**T2H160 MF 5**	65	**A26**	**TA25DU5**	3.5	5
3	5.7	**T2H160 MF 6.5**	84	**A26**	**TA25DU6.5**	4.5	6.5
4	7.8	**T2H160 MF 8.5**	110	**A30**	**TA25DU11**	7.5	11
5.5	10.5	**T2H160 MF 11**	145	**A30**	**TA25DU14**	10	14
7.5	13.5	**T2H160 MA 20**	180	**A30**	**TA25DU19**	13	19
11	19	**T2H160 MA 32**	240	**A30**	**TA42DU25**	18	25
15	26	**T2H160 MA 32**	336	**A50**	**TA75DU32**	22	32
18.5	32	**T2H160 MA 52**	469	**A50**	**TA75DU42**	29	42
22	38	**T2H160 MA 52**	547	**A50**	**TA75DU52**	36	52
30	52	**T2H160 MA 80**	720	**A63**	**TA75DU63**	45	63
37	63	**T2H160 MA 80**	840	**A75**	**TA75DU80**	60	80
45	75	**T2H160 MA 100**	1050	**A95**	**TA110DU90**	65	90
55	90	**T4H250 PR221-I In160**	1200	**A110**	**TA110DU110**	80	110
75	120	**T4H250 PR221-I In250**	1750	**A145**	**E200DU200**	60	200
90	147	**T4H250 PR221-I In250**	2000	**A185**	**E200DU200**	60	200
110	177	**T4H250 PR221-I In250**	2500	**A210**	**E320DU320**	100	320
132	212	**T5H400 PR221-I In320**	3200	**A260**	**E320DU320**	100	320
160	260	**T5H400 PR221-I In400**	3600	**A300**	**E320DU320**	100	320
200	320	**T5H630 PR221-I In630**	4410	**AF 400**	**E500DU500**	150	500
250	410	**T6H630 PR221-I In630**	5355	**AF 460**	**E500DU500**	150	500
290	448	**T6H630 PR221-I In630**	6300	**AF 580**	**E500DU500***	150	500
315	500	**T6H800 PR221-I In800**	7200	**AF 580**	**E800DU800**	250	800
355	549	**T6H800 PR221-I In800**	8000	**AF 580**	**E800DU800**	250	800

1SDC010024F0201

* Kit di connessione non disponibile.
Per utilizzare il kit di connessione, sostituire con relè E800DU800
MA: sganciatore solo magnetico regolabile
MF: sganciatore solo magnetico fisso

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 8: 440 V 50 kA DOL Tipo 2 - Avviamento pesante (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore	Relé termico			
							Campo di regolazione	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I3 [A]	Tipo	Tipo**	Spire primarie su TA	min. [A]	max. [A]
0.37	1	**T2H160 MF 1**	13	**A9**	**TA25DU1.4***		1	1.4
0.55	1.4	**T2H160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.8***		1.3	1.8
0.75	1.7	**T2H160 MF 2**	26	**A9**	**TA25DU2.4***		1.7	2.4
1.1	2.2	**T2H160 MF 2.5**	33	**A9**	**TA25DU3.1***		2.2	3.1
1.5	3	**T2H160 MF 3.2**	42	**A16**	**TA25DU4***		2.8	4
2.2	4.4	**T2H160 MF 5**	65	**A26**	**TA25DU5***		3.5	5
3	5.7	**T2H160 MF 6.5**	84	**A26**	**TA25DU6.5***		4.5	6.5
4	7.8	**T2H160 MF 8.5**	110	**A30**	**TA25DU11***		7.5	11
5.5	10.5	**T2H160 MF 11**	145	**A30**	**TA25DU14***		10	14
7.5	13.5	**T2H160 MA 20**	180	**A30**	**TA450SU60**	**4**	10	15
11	19	**T2H160 MA 32**	240	**A30**	**TA450SU80**	**3**	18	27
15	26	**T2H160 MA 32**	336	**A50**	**TA450SU60**	**2**	20	30
18.5	32	**T2H160 MA 52**	469	**A50**	**TA450SU80**	**2**	28	40
22	38	**T2H160 MA 52**	547	**A50**	**TA450SU80**	**2**	28	40
30	52	**T2H160 MA 80**	720	**A63**	**TA450SU60**		40	60
37	63	**T2H160 MA 80**	840	**A95**	**TA450SU80**		55	80
45	75	**T2H160 MA 100**	1050	**A110**	**TA450SU105**		70	105
55	90	**T4H250 PR221-I In160**	1200	**A145**	**E200DU200**		60	200
75	120	**T4H250 PR221-I In250**	1750	**A185**	**E200DU200**		60	200
90	147	**T4H250 PR221-I In250**	2000	**A210**	**E320DU320**		100	320
110	177	**T4H250 PR221-I In250**	2500	**A260**	**E320DU320**		100	320
132	212	**T5H400 PR221-I In320**	3200	**A300**	**E320DU320**		100	320
160	260	**T5H400 PR221-I In400**	3600	**AF400**	**E500DU500**		150	500
200	320	**T5H630 PR221-I In630**	4410	**AF460**	**E500DU500**		150	500
250	410	**T6H630 PR221-I In630**	5355	**AF580**	**E500DU500*****		150	500
290	448	**T6H630 PR221-I In630**	6300	**AF750**	**E500DU500*****		150	500
315	500	**T6H800 PR221-I In800**	7200	**AF 750**	**E800DU800**		250	800
355	549	**T6H800 PR221-I In800**	8000	**AF 750**	**E800DU800**		250	800

1SDC010021F0201

* Prevedere contattore di by-pass di pari taglia durante la fase di avviamento del motore
** Impostare la classe di intervento 30 sui relè di Tipo E
*** Kit di connessione non disponibile. Per utilizzare il kit di connessione, sostituire con relè E800DU800

MA: sganciatore solo magnetico regolabile
MF: sganciatore solo magnetico fisso

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 9: 440 V 50 kA Y/Δ Tipo 2– avviamento normale (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore			Relé termico	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	LINEA Tipo	TRIANGOLO Tipo	STELLA Tipo	Tipo	Campo di regolazione
18.5	32	**T2H160 MA52**	392	**A 50**	**A 50**	**A 16**	**TA75DU25**	18-25
22	38	**T2H160 MA52**	469	**A 50**	**A 50**	**A 26**	**TA75DU25**	18-25
30	52	**T2H160 MA80**	720	**A 63**	**A 63**	**A 26**	**TA75DU42**	29-42
37	63	**T2H160 MA80**	840	**A 75**	**A 75**	**A 30**	**TA75DU42**	29-42
45	75	**T2H160 MA80**	960	**A 75**	**A 75**	**A30**	**TA75DU52**	36-52
55	90	**T2H160 MA100**	1150	**A 75**	**A 75**	**A40**	**TA75DU63**	45 - 63
75	120	**T4H250 PR221-I In250**	1625	**A95**	**A95**	**A75**	**TA80DU80**	60-80
90	147	**T4H250 PR221-I In250**	1875	**A95**	**A95**	**A75**	**TA110DU110**	80-110
110	177	**T4H250 PR221-I In250**	2250	**A145**	**A145**	**A95**	**E200DU200**	60-200
132	212	**T4H320 PR221-I In320**	2720	**A145**	**A145**	**A110**	**E200DU200**	60-200
160	260	**T5H400 PR221-I In400**	3200	**A185**	**A185**	**A145**	**E200DU200**	60-200
200	320	**T5H630 PR221-I In630**	4095	**A210**	**A210**	**A185**	**E320DU320**	100-320
250	410	**T5H630 PR221-I In630**	5040	**A260**	**A260**	**A210**	**E320DU320**	100-320
290	448	**T6H630 PR221-I In630**	5670	**AF400**	**AF400**	**A260**	**E500DU500**	150 - 500
315	500	**T6H630 PR221-I In630**	6300	**AF400**	**AF400**	**A260**	**E500DU500**	150 - 500
355	549	**T6H800 PR221-I In800**	7200	**AF400**	**AF400**	**A260**	**E500DU500**	150 - 500

MA : Sganciatore solo magnetico regolabile

Tabella 10: 440 V 50 kA DOL Tipo 2 – Avviamento normale e pesante (Tmax con Sganciatore MP-Contattore)

Motore		Interruttore scatolato			Contattore	Gruppo
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_1* gamma [A]	I_3 [A]	Tipo	[A]
30	52	**T4H250 PR222MP In100**	40-100	600	A95	93
37	63	**T4H250 PR222MP In100**	40-100	700	A95	93
45	75	**T4H250 PR222MP In100**	40-100	800	A95	93
55	90	**T4H250 PR222MP In160**	64-160	960	A145	145
75	120	**T4H250 PR222MP In160**	64-160	1120	A145	145
90	147	**T4H250 PR222MP In200**	80-200	1400	A185	185
110	177	**T5H400 PR222MP In320**	128-320	1920	A210	210
132	212	**T5H400 PR222MP In320**	128-320	2240	A260	240
160	260	**T5H400 PR222MP In320**	128-320	2560	AF400**	320
200	320	**T5H400 PR222MP In400**	160-400	3200	AF400	400
250	370	**T6H800 PR222MP In630**	252-630	4410	AF460	460
290	436	**T6H800 PR222MP In630**	252-630	5040	AF460	460
315	500	**T6H800 PR222MP In630**	252-630	5040	AF580	580
355	549	**T6H800 PR222MP In630**	252-630	5670	AF580	580

1SDC010025F0201

(*) per avviamento pesante, impostare la classe dell'intervento dello sganciatore elettronico sulla classe 30
(**) In caso di avviamento normale, utilizzare AF300

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 11: 500 V 50 kA DOL Tipo 2 - Avviamento normale (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore	Relé termico		
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	Tipo	Tipo	Campo di regolazione min. [A]	Campo di regolazione max. [A]
0.37	0.88	**T2L160 MF 1**	13	**A9**	**TA25DU1.0**	0.63	1
0.55	1.2	**T2L160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.4**	1	1.4
0.75	1.5	**T2L160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.8**	1.3	1.8
1.1	2.2	**T2L160 MF 2.5**	33	**A9**	**TA25DU3.1**	2.2	3.1
1.5	2.8	**T2L160 MF 3.2**	42	**A16**	**TA25DU4**	2.8	4
2.2	4	**T2L160 MF 4**	52	**A26**	**TA25DU5**	3.5	5
3	5.2	**T2L160 MF 6.5**	84	**A26**	**TA25DU6.5**	4.5	6.5
4	6.9	**T2L160 MF 8.5**	110	**A30**	**TA25DU8.5**	6	8.5
5.5	9.1	**T2L160 MF 11**	145	**A30**	**TA25DU11**	7.5	11
7.5	12.2	**T2L160 MF 12.5**	163	**A30**	**TA25DU14**	10	14
11	17.5	**T2L160 MA 20**	240	**A30**	**TA25DU19**	13	19
15	23	**T2L160 MA 32**	336	**A50**	**TA75DU25**	18	25
18.5	29	**T2L160 MA 52**	392	**A50**	**TA75DU32**	22	32
22	34	**T2L160 MA 52**	469	**A50**	**TA75DU42**	29	42
30	45	**T2L160 MA 52**	624	**A63**	**TA75DU52**	36	52
37	56	**T2L160 MA 80**	840	**A75**	**TA75DU63**	45	63
45	67	**T2L160 MA 80**	960	**A95**	**TA80DU80**	60	80
55	82	**T2L160 MA 100**	1200	**A110**	**TA110DU90**	65	90
75	110	**T4H250 PR221-I In160**	1440	**A145**	**E200DU200**	60	200
90	132	**T4H250 PR221-I In250**	1875	**A145**	**E200DU200**	60	200
110	158	**T4H250 PR221-I In250**	2250	**A185**	**E200DU200**	60	200
132	192	**T4H320 PR221-I In320**	2720	**A210**	**E320DU320**	100	320
160	230	**T5H400 PR221-I In400**	3600	**A260**	**E320DU320**	100	320
200	279	**T5H400 PR221-I In400**	4000	**A300**	**E320DU320**	100	320
250	335	**T5H630 PR221-I In630**	4725	**AF 400**	**E 500DU500**	150	500
290	394	**T6H630 PR221-I In630**	5040	**AF 460**	**E 500DU500**	150	500
315	440	**T6H630 PR221-I In630**	6300	**AF 580**	**E 500DU500***	150	500
355	483	**T6H630 PR221-I In630**	6300	**AF 580**	**E 800DU800**	250	800

1SDC010026F0201

* Kit di connessione non disponibile. Per utilizzare il kit di connessione, sostituire con relè E800DU800
MA: sganciatore solo magnetico regolabile
MF: sganciatore solo magnetico fisso

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 12: 500 V 50 kA DOL Tipo 2 – Avviamento pesante (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore	Relé termico			
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	Tipo	Tipo**	Spire primarie su TA	Campo di regolazione min. [A]	Campo di regolazione max. [A]
0.37	0.88	**T2L160 MF 1**	13	**A9**	**TA25DU1.0***		0.63	1
0.55	1.2	**T2L160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.4***		1	1.4
0.75	1.5	**T2L160 MF 1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.8***		1.3	1.8
1.1	2.2	**T2L160 MF 2.5**	33	**A9**	**TA25DU3.1***		2.2	3.1
1.5	2.8	**T2L160 MF 3.2**	42	**A16**	**TA25DU4***		2.8	4
2.2	4	**T2L160 MF 4**	52	**A26**	**TA25DU5***		3.5	5
3	5.2	**T2L160 MF 6.5**	84	**A26**	**TA25DU6.5***		4.5	6.5
4	6.9	**T2L160 MF 8.5**	110	**A30**	**TA25DU8.5***		6	8.5
5.5	9.1	**T2L160 MF 11**	145	**A30**	**TA25DU11***		7.5	11
7.5	12.2	**T2L160 MF 12.5**	163	**A30**	**TA450SU60**	**4**	10	15
11	17.5	**T2L160 MA 20**	240	**A30**	**TA450SU60**	**3**	13	20
15	23	**T2L160 MA 32**	336	**A50**	**TA450SU60**	**2**	20	30
18.5	29	**T2L160 MA 52**	392	**A50**	**TA450SU80**	**2**	27.5	40
22	34	**T2L160 MA 52**	469	**A50**	**TA450SU80**	**2**	27.5	40
30	45	**T2L160 MA 52**	624	**A63**	**TA450SU60**		40	60
37	56	**T2L160 MA 80**	840	**A75**	**TA450SU60**		40	60
45	67	**T2L160 MA 80**	960	**A95**	**TA450SU80**		55	80
55	82	**T2L160 MA 100**	1200	**A145**	**TA450SU105**		70	105
75	110	**T4H250 PR221-I In160**	1440	**A145**	**E200DU200**		60	200
90	132	**T4H250 PR221-I In250**	1875	**A185**	**E200DU200**		60	200
110	158	**T4H250 PR221-I In250**	2123	**A210**	**E320DU320**		100	320
132	192	**T4H320 PR221-I In320**	2720	**A260**	**E320DU320**		100	320
160	230	**T5H400 PR221-I In400**	3200	**A300**	**E320DU320**		100	320
200	279	**T5H400 PR221-I In400**	3600	**AF400**	**E500DU500**		150	500
250	335	**T5H630 PR221-I In630**	4725	**AF460**	**E500DU500**		150	500
290	394	**T6H630 PR221-I In630**	5040	**AF580**	**E500DU500*** **		150	500
315	440	**T6H630 PR221-I In630**	6300	**AF750**	**E500DU500*** **		150	500
355	483	**T6H630 PR221-I In630**	6300	**AF750**	**E500DU500**		150	500

1SDC010021F0201

* Prevedere contattore di by-pass di pari taglia durante la fase di avviamento del motore
** Impostare la classe di intervento 30 sui relè di Tipo E
*** Kit di connessione non disponibile. Per utilizzare il kit di connessione, sostituire con relè E800DU800
MA: sganciatore solo magnetico regolabile
MF: sganciatore solo magnetico fisso

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 13: 500 V 50 kA Y/Δ Tipo 2 - Avviamento normale (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore			Relé termico	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	LINEA Tipo	TRIANGOLO Tipo	STELLA Tipo	Tipo	Campo di regolazione
22	34	**T2L160 MA52**	430	**A 50**	**A 50**	**A 16**	**TA75DU25**	18-25
30	45	**T2L160 MA52**	547	**A 63**	**A 63**	**A 26**	**TA75DU32**	22-32
37	56	**T2L160 MA80**	720	**A 75**	**A 75**	**A 30**	**TA75DU42**	29-42
45	67	**T2L160 MA80**	840	**A 75**	**A 75**	**A30**	**TA75DU52**	36 - 52
55	82	**T2L160 MA100**	1050	**A 75**	**A 75**	**A30**	**TA75DU52**	36 - 52
75	110	**T4H250 PR221-I In250**	1375	**A95**	**A95**	**A50**	**TA80DU80**	60-80
90	132	**T4H250 PR221-I In250**	1750	**A95**	**A95**	**A75**	**TA110DU90**	65-90
110	158	**T4H250 PR221-I In250**	2000	**A110**	**A110**	**A95**	**TA110DU110**	80-110
132	192	**T4H320 PR221-I In320**	2560	**A145**	**A145**	**A95**	**E200DU200**	60-200
160	230	**T4H320 PR221-I In320**	2880	**A145**	**A145**	**A110**	**E200DU200**	60-200
200	279	**T5H400 PR221-I In400**	3400	**A210**	**A210**	**A145**	**E320DU320**	100-320
250	335	**T5H630 PR221-I In630**	4410	**A210**	**A210**	**A185**	**E320DU320**	100-320
290	394	**T5H630 PR221-I In630**	5040	**A260**	**A260**	**A210**	**E320DU320**	100-320
315	440	**T6H630 PR221-I In630**	5760	**AF400**	**AF400**	**A210**	**E500DU500**	150 - 500
355	483	**T6H630 PR221-I In630**	6300	**AF400**	**AF400**	**A260**	**E500DU500**	150 - 500

MA: sganciatore solo magnetico regolabile

Tabella 14: 500 V 50 kA DOL Tipo 2 - Avviamento normale e pesante (Tmax con sganciatore MP-Contattore)

Motore		Interruttore scatolato			Contattori	Gruppo
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_1* gamma [A]	I_3 [A]	Tipo	[A]
30	45	**T4H250 PR222MP In100**	40-100	600	A95	80
37	56	**T4H250 PR222MP In100**	40-100	600	A95	80
45	67	**T4H250 PR222MP In100**	40-100	700	A145	100
55	82	**T4H250 PR222MP In100**	40-100	800	A145	100
75	110	**T4H250 PR222MP In160**	64-160	1120	A145	145
90	132	**T4H250 PR222MP In160**	64-160	1280	A145	145
110	158	**T4H250 PR222MP In200**	80-200	1600	A185	170
132	192	**T5H400 PR222MP In320**	128-320	1920	A210	210
160	230	**T5H400 PR222MP In320**	128-320	2240	A260	260
200	279	**T5H400 PR222MP In400**	160-400	2800	AF400**	400
250	335	**T5H400 PR222MP In400**	160-400	3200	AF400	400
290	395	**T6H800 PR222MP In630**	252-630	5040	AF460	460
315	415	**T6H800 PR222MP In630**	252-630	5040	AF460	460
355	451	**T6H800 PR222MP In630**	252-630	5670	AF580	580

1SDC010027F0201

(*) per avviamento pesante, impostare la classe dell'intervento dello sganciatore elettronico sulla classe 30
(**) In caso di avviamento normale, utilizzare AF300

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 15: 690 V 50kA DOL Tipo 2 - Avviamento normale (Tmax-Contattore-CT-TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore	CT		Relé termico		
								Campo di regolazione	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	Tipo	KORC	Spire primarie su TA	Tipo	min. [A]	max. [A]
0.37	0.6	**T2L160 MF1**	13	**A9**			**TA25DU0.63**	0.4	0.63
0.55	0.9	**T2L160 MF1**	13	**A9**			**TA25DU1**	0.63	1
0.75	1.1	**T2L160 MF1.6**	21	**A9**			**TA25DU1.4**	1	1.4
1.1	1.6	**T2L160 MF1.6**	21	**A9**			**TA25DU1.8**	1.3	1.8
1.5	2	**T2L160 MF2.5**	33	**A9**			**TA25DU2.4**	1.7	2.4
2.2	2.9	**T2L160 MF3.2**	42	**A9**			**TA25DU3.1***	2.2	3.1
3	3.8	**T2L160 MF4**	52	**A9**			**TA25DU4***	2.8	4
4	5	**T2L160 MF5**	65	**A9**			**TA25DU5***	3.5	5
5.5	6.5	**T2L160 MF6.5**	84	**A9**			**TA25DU6.5***	4.5	6.5
		T4L250 PR221-I In 100	150	**A95**	4L185R/4	13**	**TA25DU2.4**	6	8.5
7.5	8.8	**T4L250 PR221-I In 100**	150	**A95**	4L185R/4	10**	**TA25DU2.4**	7.9	11.1
11	13	**T4L250 PR221-I In 100**	200	**A95**	4L185R/4	7**	**TA25DU2.4**	11.2	15.9
15	18	**T4L250 PR221-I In 100**	250	**A95**	4L185R/4	7**	**TA25DU3.1**	15.2	20.5
18.5	21	**T4L250 PR221-I In 100**	300	**A95**	4L185R/4	6	**TA25DU3.1**	17.7	23.9
22	25	**T4L250 PR221-I In 100**	350	**A95**	4L185R/4	6	**TA25DU4**	21.6	30.8
30	33	**T4L250 PR221-I In 100**	450	**A145**	4L185R/4	6	**TA25DU5**	27	38.5
37	41	**T4L250 PR221-I In 100**	550	**A145**	4L185R/4	4	**TA25DU4**	32.4	46.3
45	49	**T4L250 PR221-I In 100**	700	**A145**	4L185R/4	4	**TA25DU5**	40.5	57.8
55	60	**T4L250 PR221-I In 100**	800	**A145**	4L185R/4	3	**TA25DU5**	54	77.1
75	80	**T4L250 PR221-I In 160**	1120	**A145**			**E200DU200**	65	200
90	95	**T4L250 PR221-I In 160**	1280	**A145**			**E200DU200**	65	200
110	115	**T4L250 PR221-I In 250**	1625	**A145**			**E200DU200**	65	200
132	139	**T4L250 PR221-I In 250**	2000	**A185**			**E200DU200**	65	200
160	167	**T4L250 PR221-I In 250**	2250	**A185**			**E200DU200**	65	200
200	202	**T5L400 PR221-I In 320**	2720	**A210**			**E320DU320**	105	320
250	242	**T5L400 PR221-I In 400**	3400	**A300**			**E320DU320**	105	320
290	301	**T5L630 PR221-I In 630**	4410	**AF400**			**E500DU500**	150	500
315	313	**T5L630 PR221-I In 630**	4410	**AF400**			**E500DU500**	150	500
355	370	**T5L630 PR221-I In 630**	5355	**AF580**			**E500DU500*** **	150	500

1SDC010108F0201

Per ulteriori informazioni sul KORK, consultare il catalogo “brochure KORK 1GB00-04”.
(*) Tipo di cordinamento 1
(**) Sezione del cavo 4 mm^2
(***)Kit di connessione non disponibile. Per utilizzare il kit di connessione, sostituire con relè E800DU800

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 16: 690 V 50 kA DOL Tipo 2 - Avviamento pesante (Tmax – Contattore – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore	Relé termico			
							Campo di regolazione	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	Tipo	Tipo	Spire primarie su TA	min. [A]	max. [A]
0.37	0.6	**T2L160 MF1**	13	**A9**	**TA25DU0.63(X)**		0.4	0.63
0.55	0.9	**T2L160 MF1**	13	**A9**	**TA25DU1(X)**		0.63	1
0.75	1.1	**T2L160 MF1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.4(X)**		1	1.4
1.1	1.6	**T2L160 MF1.6**	21	**A9**	**TA25DU1.8(X)**		1.3	1.8
1.5	2	**T2L160 MF2.5**	33	**A9**	**TA25DU2.4(X)**		1.7	2.4
2.2	2.9	**T2L160 MF3.2**	42	**A9**	**TA25DU3.1 *(X)**		2.2	3.1
3	3.8	**T2L160 MF4**	52	**A9**	**TA25DU4 *(X)**		2.8	4
4	5	**T2L160 MF5**	65	**A9**	**TA25DU5 *(X)**		3.5	5
5.5	6.5	**T2L160 MF6.5**	84	**A9**	**TA25DU6.5 *(X)**		4.5	6.5
		T4L250 PR221-I In 100	150	**A95**	**TA450SU60**	7**	5.7	8.6
7.5	8.8	**T4L250 PR221-I In 100**	150	**A95**	**TA450SU60**	5**	8	12
11	13	**T4L250 PR221-I In 100**	200	**A95**	**TA450SU60**	4**	10	15
15	18	**T4L250 PR221-I In 100**	250	**A95**	**TA450SU60**	3**	13	20
18.5	21	**T4L250 PR221-I In 100**	300	**A95**	**TA450SU80**	3	18	27
22	25	**T4L250 PR221-I In 100**	350	**A95**	**TA450SU60**	2	20	30
30	33	**T4L250 PR221-I In 100**	450	**A145**	**TA450SU80**	2	27.5	40
37	41	**T4L250 PR221-I In 100**	550	**A145**	**TA450SU60**		40	60
45	49	**T4L250 PR221-I In 100**	700	**A145**	**TA450SU60**		40	60
55	60	**T4L250 PR221-I In 100**	800	**A145**	**TA450SU80**		55	80
75	80	**T4L250 PR221-I In 160**	1120	**A145**	**TA450SU105**		70	105
90	95	**T4L250 PR221-I In 160**	1280	**A145**	**TA450SU105**		70	105
110	115	**T4L250 PR221-I In 250**	1625	**A185**	**TA450SU140**		95	140
132	139	**T4L250 PR221-I In 250**	2000	**A210**	**E320DU320**		105	320
160	167	**T4L250 PR221-I In 250**	2250	**A210**	**E320DU320**		105	320
200	202	**T5L400 PR221-I In 320**	2720	**A260**	**E320DU320**		105	320
250	242	**T5L400 PR221-I In 400**	3400	**AF400**	**E500DU500**		150	500
290	301	**T5L630 PR221-I In 630**	4410	**AF400**	**E500DU500**		150	500
315	313	**T5L630 PR221-I In 630**	4410	**AF460**	**E500DU500**		150	500
355	370	**T5L630 PR221-I In 630**	5355	**AF580**	**E500DU500*** **		150	500

1SDC010109F0201

(*) Tipo di cordinamento 1
(**) Sezione del cavo = 4 mm^2
(***) Kit di connessione non disponibile. Per utilizzare il kit di connessione, sostituire con relè E800DU800
(X) Prevedere contattore di by-pass durante la fase di avviamento del motore

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 17: 690 V 50 kA Y/Δ Tipo 2 - Avviamento normale (Tmax – Contattore – CT – TOR)

Motore		Interruttore scatolato		Contattore			TA		Relé termico	
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_3 [A]	linea	triangolo	stella	KORC	Spire primarie su TA	Tipo	Campo di regolazione [A]
5.5	6.5*	**T4L250PR221-I In100**	150	**A95**	**A95**	**A26**	**4L185R/4****	13	**TA25DU2.4****	6-8.5
7.5	8.8*	**T4L250PR221-I In100**	150	**A95**	**A95**	**A26**	**4L185R/4****	10	**TA25DU2.4****	7.9-11.1
11	13*	**T4L250PR221-I In100**	200	**A95**	**A95**	**A26**	**4L185R/4****	7	**TA25DU2.4****	11.2-15.9
15	18*	**T4L250PR221-I In100**	250	**A95**	**A95**	**A26**	**4L185R/4****	7	**TA25DU3.1****	15.2-20.5
18.5	21	**T4L250PR221-I In100**	300	**A95**	**A95**	**A30**	**4L185R/4****	6	**TA25DU3.1****	17.7-23.9
22	25	**T4L250PR221-I In100**	350	**A95**	**A95**	**A30**	**4L185R/4****	6	**TA25DU4****	21.6-30.8
30	33	**T4L250PR221-I In100**	450	**A145**	**A145**	**A30**	**4L185R/4****	6	**TA25DU5****	27-38.5
37	41	**T4L250PR221-I In100**	550	**A145**	**A145**	**A30**			**TA75DU52****	36-52
45	49	**T4L250PR221-I In100**	650	**A145**	**A145**	**A30**			**TA75DU52****	36-52
55	60	**T4L250PR221-I In100**	800	**A145**	**A145**	**A40**			**TA75DU52****	36-52
75	80	**T4L250PR221-I In160**	1120	**A145**	**A145**	**A50**			**TA75DU52**	36-52
90	95	**T4L250PR221-I In160**	1280	**A145**	**A145**	**A75**			**TA75DU63**	45-63
110	115	**T4L250PR221-I In160**	1600	**A145**	**A145**	**A75**			**TA75DU80**	60-80
132	139	**T4L250PR221-I In250**	1875	**A145**	**A145**	**A95**			**TA200DU110**	80-110
160	167	**T4L250PR221-I In250**	2125	**A145**	**A145**	**A110**			**TA200DU110**	80-110
200	202	**T4L320PR221-I In320**	2720	**A185**	**A185**	**A110**			**TA200DU135**	100-135
250	242	**T5L400PR221-I In400**	3200	**AF400**	**AF400**	**A145**			**E500DU500**	150 -500
290	301	**T5L400PR221-I In400**	4000	**AF400**	**AF400**	**A145**			**E500DU500**	150 -500
315	313	**T5L630PR221-I In630**	4410	**AF400**	**AF400**	**A185**			**E500DU500**	150 -500
355	370	**T5L630PR221-I In630**	5040	**AF400**	**AF400**	**A210**			**E500DU500**	150 -500
400	420	**T5L630PR221-I In630**	5670	**AF460**	**AF460**	**A210**			**E500DU500**	150 -500
450	470	**T5L630PR221-I In630**	6300	**AF460**	**AF460**	**A260**			**E500DU500**	150 -500

1SDC010110F0201

Per ulteriori informazioni sul KORK, consultare il catalogo “brochure KORK 1GB00-04”.
(*) Sezione del cavo 4 mm^2
(**) Connettere il relè termico a monte del nodo inea-delta

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 18: 690 V 50 kA DOL Tipo 2- Avviamento normale e pesante (Tmax con Sganciatore MP-Contattore)

Motore		Interruttore scatolato			Contattore	Gruppo
P_e [kW]	I_e [A]	Tipo	I_1* gamma [A]	I_3 [A]	Tipo	[A]
45	49	**T4L250 PR222MP In100**	40-100	600	**A145**	100
55	60	**T4L250 PR222MP In100**	40-100	600	**A145**	100
75	80	**T4L250 PR222MP In100**	40-100	800	**A145**	100
90	95	**T4L250 PR222MP In160**	64-160	960	**A145**	120
110	115	**T4L250 PR222MP In160**	64-160	1120	**A145**	120
132	139	**T4L250 PR222MP In160**	64-160	1440	**A185**	160
160	167	**T4L250 PR222MP In200**	80-200	1600	**A185**	170
200	202	**T5L400 PR222MP In320**	128-320	1920	**A210**	210
250	242	**T5L400 PR222MP In320**	128-320	2240	**A300**	280
290	301	**T5L400 PR222MP In400**	160-400	2800	**AF400**	350
315	313	**T5L400 PR222MP In400**	160-400	3200	**AF400**	350

1SDC010114F0201

(*) per avviamento pesante, impostare la classe dell’intervento dello sganciatore elettronico sulla classe 30

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Esempio:

Si vuole realizzare un avviamento Y/Δ Normale Tipo 2, di un motore asincrono trifase a gabbia con i seguenti dati:
tensione nominale U_n = 400 V
corrente di cortocircuito I_k = 50 kA
potenza nominale del motore P_e = 200 kW
Dalla tabella 5, in corrispondenza della riga relativa, si leggono le seguenti informazioni:

- I_n (corrente nominale): 349 A;
- dispositivo di protezione contro il cortocircuito: interruttore T5S630 PR221-I In630;
- soglia di intervento magnetico: I_3 = 4410 A;
- contattore di linea: A210;
- contattore di triangolo: A210;
- contattore di stella: A185;
- relè termico E320DU320, regolabile 100÷320 A
  (da regolare a) $\frac{I_n}{\sqrt{3}} = 202$ A

Si vuole realizzare un avviamento DOL Pesante Tipo 2 con protezione MP di un motore asincrono trifase a gabbia con i seguenti dati:
tensione nominale Un = 400 V
corrente di cortocircuito Ik = 50 kA
potenza nominale del motore Pe = 55 kW
Dalla tabella 6, in corrispondenza della riga relativa, si leggono le seguenti informazioni:

- In (corrente nominale): 98 A;
- dispositivo di protezione contro il cortocircuito: interruttore T4S250 PR222MP* In160;
- soglia di intervento magnetico: I3 = 960 A;
- contattore: A145;

* per avviamento pesante impostare la classe dell'intervento dello sganciatore elettronico sulla classe 30

3.4 Protezione e manovra di trasformatori

Aspetti generali

I trasformatori sono utilizzati per realizzare un cambio nella tensione di alimentazione, sia per forniture in media tensione, sia per alimentazioni in bassa tensione. Nella scelta dei dispositivi di protezione occorre considerare i fenomeni transitori di inserzione durante i quali la corrente può assumere valori elevati rispetto alla corrente nominale a pieno carico; il fenomeno decade in pochi secondi.

La curva che rappresenta nel piano tempo corrente tale fenomeno transitorio, detto "inrush current I_0", dipende dalla taglia del trasformatore e può essere valuato con la seguente formula (per le taglie più piccole si hanno dei valori più alti di corrente di inserzione nei primissimi istanti)

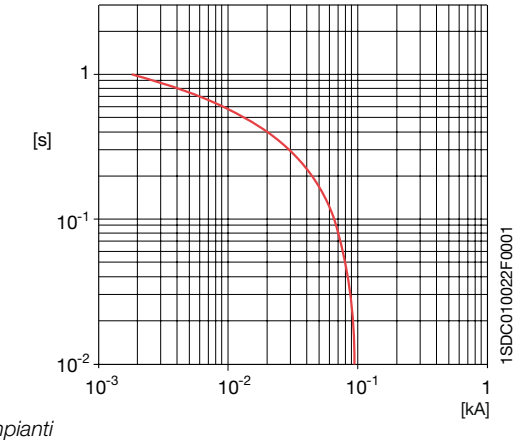
$$I_0 = \frac{K \cdot I_{r1} \cdot e^{(-t/\tau)}}{\sqrt{2}}$$

dove:
K è il rapporto tra il picco massimo del valore della corrente di spunto (I_0) e la corrente nominale del trasformatore (I_{1r}): ($K = I_0 / I_{1r}$);
τ è la costante di tempo della corrente di spunto;
I_{1n} è la corrente nominale del primario;
t è il tempo.

La seguente tabella indica i valori indicativi per i parametri t e K riferiti alla potenza nominale Sr per trasformatori in olio.

Sn [kVA]	50	100	160	250	400	630	1000	1600	2000
K = I_0/I_{1n}	15	14	12	12	12	11	10	9	8
τ [s]	0.10	0.15	0.20	0.22	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45

La figura sottostante riporta la curva di inserzione di un trasformatore 20/0.4 kV da 400 kVA. Tale trasformatore ha una corrente di inserzione nei primissimi istanti pari a circa 8 volte la corrente nominale e il transitorio si esaurisce in pochi decimi di secondo.



3 Protezione delle apparecchiature elettriche

I dispositivi di protezione del trasformatore devono garantire inoltre che il trasformatore non si trovi ad operare oltre il punto di massima sovraccaricabilità termica in condizioni di cortocircuito; tale punto è definito nel piano tempo-corrente dal valore di corrente di cortocircuito che può attraversare il trasformatore e da un tempo pari a 2 s così come indicato dallo standard IEC 60076-5. La corrente di cortocircuito (Ik) passante per guasto franco ai morsetti secondari del trasformatore si calcola secondo la formula:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3}\cdot(Z_{rete}+Z_t)}\ [A] \qquad (1)$$

dove :

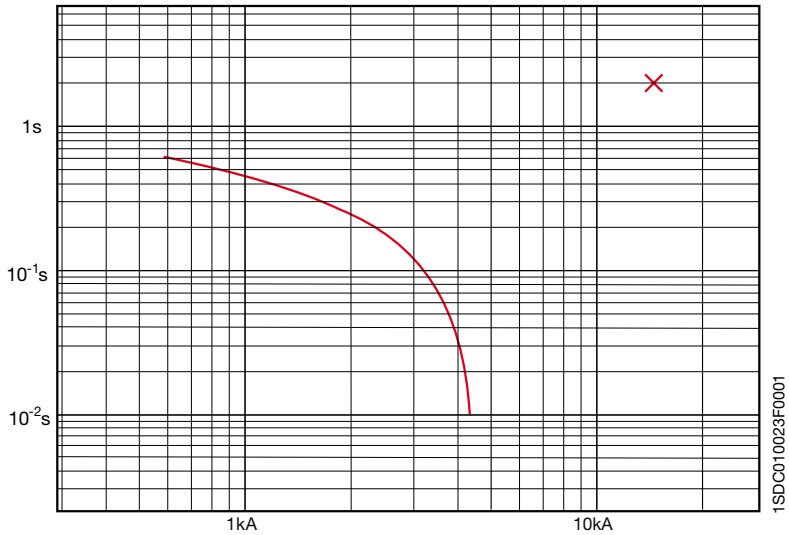
- U_n è la tensione nominale del trasformatore [V];
- Z_{rete} è l'impedenza di cortocircuito della rete [Ω];
- Z_t è l'impedenza di cortocircuito del trasformatore, che note la potenza nominale del trasformatore (S_n [VA]) e la tensione di cortocircuito percentuale (uk%) è pari a:

$$Z_t = \frac{u_k\%}{100}\cdot\frac{U_n^2}{S_n}\ [\Omega] \qquad (2)$$

Considerando la potenza di cortocircuito della rete a monte infinita (Z_{rete}=0) la formula (1) diventa:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3}\cdot(Z_t)} = \frac{U_n}{\sqrt{3}\cdot\left(\frac{u_k\%}{100}\cdot\frac{U_n^2}{S_n}\right)} = \frac{100\ S_n}{\sqrt{3}\cdot u_k\%\cdot U_n}\ [A] \qquad (3)$$

La figura sottostante riporta la curva di inserzione (inrush) di un trasformatore 20/0.4 kV da 400 kVA (u_k% = 4 %) e il punto di sovraccaricabilità termica (Ik; 2 sec.).



3 Protezione delle apparecchiature elettriche

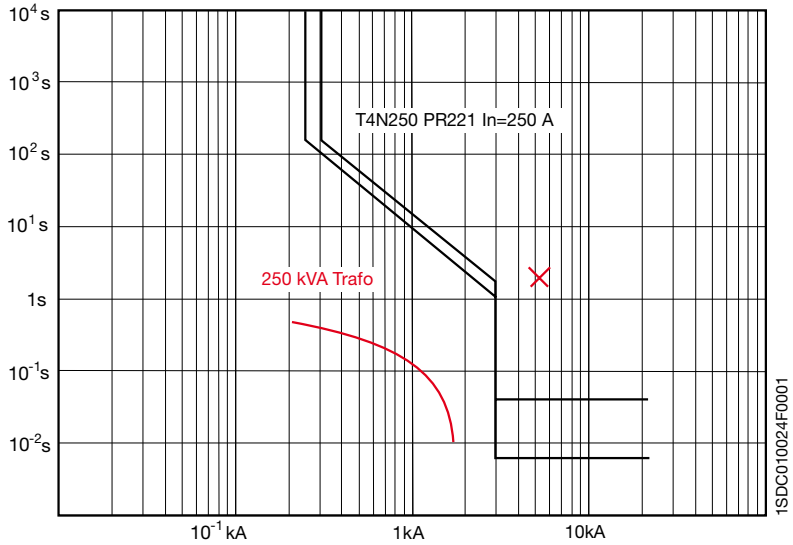
Riassumendo: affinché un dispositivo di protezione a monte protegga correttamente il trasformatore e non intervenga in modo intempestivo, occorre che la sua curva di intervento stia al di sopra della curva dell'inrush e al di sotto del punto di sovraccaricabilità.

Scelta degli interruttori posti sul primario di un trasformatore BT/BT

Questi tipi di trasformatori trovano impiego principalmente per l'alimentazione di circuiti ausiliari di comando e controllo, in quanto sono spesso alimentati a tensioni inferiori rispetto alle tensioni per la distribuzione di potenza; un altro esempio di applicazione può essere rappresentato dalla necessità di cambiamento del sistema del neutro in relazione alle esigenze impiantistiche.

Per quanto riguarda la scelta e i settaggi dell'interruttore a monte del primario è necessario considerare sia il fenomeno della "inrush current" sia il punto massimo di sovraccaricabilità termica del trasformatore descritto nelle pagine precedenti.

La seguente figura mostra il possibile posizionamento della curva d'intervento di un interruttore posto al primario di un trasformatore da 250kVA a 690/400 con u_k=4%.



Nelle seguenti pagine saranno proposte alcune tabelle che riportano l'interruttore adatto all'applicazione, in relazione alla tensione nominale dell'avvolgimento primario.

Per la versione dell'interruttore è necessario utilizzarne uno con valore di Icu maggiore della corrente di corto nel punto di installazione dell'interruttore.

È necessario effettuare un corretto settaggio dell'interruttore proposto, in modo da ottenere una protezione del trasformatore come nella figura esemplificativa sopra riportata, prestando particolare attenzione alle indicazioni fornite nelle pagine precedenti.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

V1n=400

Trasformatore		Interruttore ABB SACE			
		Interruttore con relé termomagnetico		Interruttore con relé elettronico	
S_n [kVA]	Trafo I_n [A]	Tipo	In [A]	Tipo	In [A]
1 x 63	91	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 100	144	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 125	180	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 160	231	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 200	289	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L-V	320
1 x 250	361	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L-V	400
1 x 315	455	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L -V	630
1 x 400	577	T6N-S-H-L	630	T5N-S-H-L -V	630
1 x 500	722	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 630	909	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1000
1 x 800	1155	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1000	1443	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 1250	1804	-	-	E2B-N-S	2000
1 x 1600	2309	-	-	E3N-S-H-V	2500
1 x 2000	2887	-	-	E3N-S-H-V	3200

V1n=440

Trasformatore		Interruttore ABB SACE			
		Interruttore con relé termomagnetico		Interruttore con relé elettronico	
S_n [kVA]	Trafo I_n [A]	Tipo	In [A]	Tipo	In [A]
1 x 63	83	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 100	131	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 125	164	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 160	210	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 200	262	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L -V	320
1 x 250	328	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L -V	400
1 x 315	413	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L -V	630
1 x 400	526	T6N-S-H-L	630	T5N-S-H-L -V	630
1 x 500	656	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 630	827	-	-	T7S-H-L-V-X1B-N	1000
1 x 800	1050	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1000	1312	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 1250	1640	-	-	E2B-N-S	2000
1 x 1600	2099	-	-	E3N-S-H-V	2500
1 x 2000	2624	-	-	E3N-S-H-V	3200

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Vn=690

Trasformatore		Interruttore ABB SACE			
		Interruttore con relé termomagnetico		Interruttore con relé elettronico	
S_n [kVA]	Trafo I_n [A]	Tipo	In [A]	Tipo	In [A]
1 x 63	53	T1B-C-N	80	T2N-S-H-L-V	80
1 x 100	84	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 125	105	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 160	134	T1B-C-N	160	T2N-S-H-L-V	160
1 x 200	168	T3N-S	200	T4N-S-H-L -V	250
1 x 250	209	T3N-S	250	T4N-S-H-L -V	250
1 x 315	264	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L -V	320
1 x 400	335	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L -V	400
1 x 500	419	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L -V	630
1 x 630	528	T6N-S-H-L	630	T5N-S-H-L -V	630
1 x 800	670	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 1000	838	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1000
1 x 1250	1047	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1600	1340	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 2000	1676	-	-	E2B-N-S	2000

Criteri di scelta dei dispositivi di protezione

Per la protezione lato BT di trasformatori MT/BT, la scelta degli interruttori deve tenere in considerazione principalmente:

- la corrente nominale del trasformatore protetto, lato bt, da cui dipendono la portata dell'interruttore e la taratura delle protezioni;
- la massima corrente di cortocircuito nel punto di installazione, che determina il potere di interruzione minimo (I_{cu}/I_{cs}) che deve possedere l'apparecchio di protezione.

Cabina MT/BT con un solo trasformatore

La corrente nominale del trasformatore (Ir), lato bt, si determina dall'espressione:

$$I_{2n}=\frac{1000\cdot S_n}{\sqrt{3}\cdot U_{n20}}\ [A] \qquad (4)$$

dove:

- S_n è la potenza nominale del trasformatore [kVA];
- U_{n20} è la tensione nominale secondaria a vuoto del trasformatore [V].

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

La corrente di cortocircuito trifase a piena tensione (I_k), immediatamente ai morsetti bt del trasformatore, è esprimibile con la relazione (nell'ipotesi di potenza infinita lato primario):

$$I_k = \frac{100 \cdot I_n}{u_k\%} \text{ [A]} \qquad (5)$$

dove:
$u_k\%$ è la tensione di cortocircuito del trasformatore, in %.

L'interruttore di protezione deve avere: (*)
$I_n \geq I_{2n}$;
I_{cu} (I_{cs}) $\geq I_k$.

Qualora la potenza di cortocircuito della rete a monte non sia infinita e siano presenti collegamenti in cavo o in sbarra, è possibile ricavare un valore più preciso di I_k utilizzando la formula (1), dove Z_{rete} è la somma dell'impedenza della rete e dell'impedenza del collegamento.

Cabina MT/bt con più trasformatori in parallelo
Per il calcolo della corrente nominale del trasformatore vale quanto indicato precedentemente (formula 4).

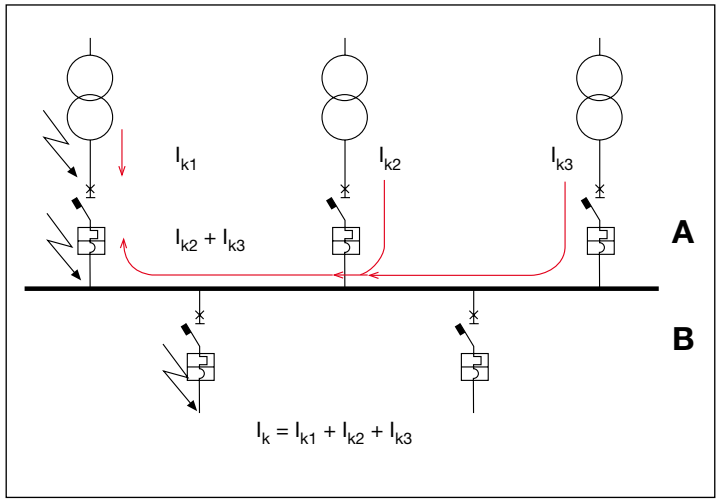
Il potere di interruzione di ogni interruttore di protezione lato bt deve risultare superiore alla corrente di cortocircuito dovuta al numero totale dei trasformatori di potenza uguale in parallelo meno uno.
Come si nota nella figura sottostante nel caso di un guasto a valle di un interruttore di macchina (interruttore A) la corrente di cortocircuito che lo attraversa è quella di un solo trasformatore.
Nel caso in cui si abbia un guasto a monte dello stesso interruttore la corrente di cortocircuito che lo attraversa è uguale a quella degli altri due trasformatori in parallelo.

(*) Per realizzare una corretta protezione contro i sovraccarichi è consigliabile utilizzare una centralina termometrica o altri dispositivi di protezione in grado di monitorare la temperatura all'interno del trasformatore.

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Per un corretto dimensionamento occorre scegliere un interruttore con un potere di interruzione superiore al doppio della corrente di cortocircuito fornita da uno dei trasformatori (nell'ipotesi che tutti i trasformatori siano uguali e i carichi siano passivi).

Gli interruttori posti sulle partenze (interruttori B) devono avere un potere di interruzione superiore alla somma delle correnti di cortocircuito dei tre trasformatori sotto l'ipotesi di potenza di corto circuito 750 MVA di corto della rete a monte infinita e che i carichi siano passivi.



3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Scelta dell'interruttore

Le tabelle che seguono mostrano alcune possibili scelte di interruttori ABB SACE in funzione delle caratteristiche del trasformatore da proteggere.

Tabella 1: Manovra e protezione dei trasformatori a 230 V

Trasformatore				Interruttore "A" (lato BT)					Interruttore "B" (partenza linea utenza)								
S_n	u_k	Trasf. I_n	Sbarra I_b	Trasf. I_k	Interruttore ABB SACE	Relè		Sbarra I_k	Tipo interruttore di linea e corrente nominale								
						taglia In [A]	regolazione minima		32 A	63 A	125 A	160 A	250 A	400 A	630 A	800 A	1000 A
[kVA]	[%]	[A]	[A]	[kA]				[kA]									
1 x 63	4	158	158	3.9	T1B160*	160	1	3.9	S200		T1B160						
2 x 63		158	316	3.9	T1B160*	160	1	7.9	S200		T1B160		T3N250				
1 x 100	4	251	251	6.3	T4N320	320	0.79	6.3	S200		T1B160						
2 x 100		251	502	6.2	T4N320	320	0.79	12.5	S200		T1B160		T3N250	T5N400			
1 x 125	4	314	314	7.8	T5N400	400	0.79	7.8	S200		T1B160		T3N250				
2 x 125		314	628	7.8	T5N400	400	0.79	15.6	S200		T1B160		T3N250	T5N400			
1 x 160	4	402	402	10.0	T5N630	630	0.64	10.0	S200		T1B160		T3N250				
2 x 160		402	803	9.9	T5N630	630	0.64	19.9	S200		T1B160		T3N250	T5N400	T5N630		
1 x 200	4	502	502	12.5	T5N630	630	0.8	12.5	S200		T1B160		T3N250	T5N400			
2 x 200		502	1004	12.4	T5N630	630	0.8	24.8	T1B160				T3N250	T5N400	T5N630		
1 x 250	4	628	628	15.6	T5N630	630	1	15.6	S200		T1B160		T3N250	T5N400			
2 x 250		628	1255	15.4	T5N630	630	1	30.9	T1C160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1B800	
1 x 315	4	791	791	19.6	T6N800	800	1	19.6	T1B160				T3N250	T5N400	T5N630		
2 x 315		791	1581	19.4	T6N800	800	1	38.7	T1C160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000
1 x 400	4	1004	1004	24.8	T7S1250/X1B1250**	1250	0.81	24.8	T1B160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1B800	
2 x 400		1004	2008	24.5	T7S1250/X1B1250**	1250	0.81	48.9	T1N160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000
1 x 500	4	1255	1255	30.9	T7S1600/X1B1600**	1600	0.79	30.9	T1C160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1B800	
2 x 500		1255	2510	30.4	T7S1600/X1B1600**	1600	0.79	60.7	T2N160				T3S250	T5N400	T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000
1 x 630	4	1581	1581	38.7	T7S1600/X1B1600**	1600	1	38.7	T1C160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000
2 x 630		1581	3163	37.9	T7S1600/X1B1600**	1600	1	75.9	T2S160				T3S250	T5S400	T5S630	T6S800/E2S800	T7S1000/E2S1000
3 x 630		1581	4744	74.4	T7S1600/E2S1600	1600	1	111.6	T2L160				T4L250	T5L400	T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250
1 x 800	5	2008	2008	39.3	E3N2500	2500	0.81	39.3	T1C160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000
2 x 800		2008	4016	38.5	E3N2500	2500	0.81	77.0	T2S160				T3S250	T5S400	T5S630	T6L800/E2S800	T7S1000/E2S1000
3 x 800		2008	6025	75.5	E3H2500	2500	0.81	113.2	T2L160				T4L250	T5L400	T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250
1 x 1000	5	2510	2510	48.9	E3N3200	3200	0.79	48.9	T1N160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000
2 x 1000		2510	5020	47.7	E3N3200	3200	0.79	95.3	T2H160				T4H250	T5H400	T5H630	T6H800/E3H800	T7H1000/E3H1000
3 x 1000		2510	7531	93.0	E3H3200	3200	0.79	139.5	T4L250				T4L250	T5L400	T5L630	T6L800	T7L1000
1 x 1250	5	3138	3138	60.7	E3N3200	3200	1	60.7	T2N160				T3S250	T5N400	T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000
2 x 1250		3138	6276	58.8	E3N3200	3200	1	117.7	T2L160				T4L250	T5L400	T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250
3 x 1250		3138	9413	114.1	E4V3200	3200	1	171.2	T4L250				T4L250	T5L400	T5L630	T6L800	T7L1000

Interruttore "B" (partenza linea utenza)								
Tipo interruttore di linea e corrente nominale								
1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A			

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 2: Manovra e protezione dei trasformatori a 400 V

Trasformatore				Interruttore "A" (lato BT)				Interruttore "B" (partenza linea utenza)						
S_n	u_k	Trasf. I_n	Sbarra I_b	Trasf. I_k	Interruttore ABB SACE	Relè		Sbarra I_k	Tipo interruttore di linea e corrente nominale					
						taglia In [A]	regolazione minima							
[kVA]	[%]	[A]	[A]	[kA]				[kA]	32 A	63 A	125 A	160 A	250 A	400 A
1 x 63	4	91	91	2.2	T1B*	100	0.92	2.2	S200					
2 x 63		91	182	2.2	T1B*	100	0.92	4.4	S200		T1B160			
1 x 100	4	144	144	3.6	T1B*	160	0.91	3.6	S200		T1B160			
2 x 100		144	288	3.6	T1B*	160	0.91	7.2	S200		T1B160			
1 x 125	4	180	180	4.5	T3N250*	200	0.73	4.5	S200		T1B160			
2 x 125		180	360	4.4	T3N250*	200	0.73	8.8	S200		T1B160			
1 x 160	4	231	231	5.7	T3N250*	250	0.93	5.7	S200		T1B160			
2 x 160		231	462	5.7	T3N250*	250	0.93	11.4	S200M		T1B160		T3N250	
1 x 200	4	289	289	7.2	T4N320	320	0.91	7.2	S200		T1B160		T3N250	
2 x 200		289	578	7.1	T4N320	320	0.91	14.2	S200M		T1B160		T3N250	T5N400
1 x 250	4	361	361	8.9	T5N400	400	0.91	8.9	S200		T1B160		T3N250	
2 x 250		361	722	8.8	T5N400	400	0.91	17.6	T1C160				T3N250	T5N400
1 x 315	4	455	455	11.2	T5N630	630	0.73	11.2	S200M		T1B160		T3N250	T5N400
2 x 315		455	910	11.1	T5N630	630	0.73	22.2	T1C160				T3N250	T5N400
1 x 400	4	577	577	14.2	T5N630	630	0.92	14.2	S200M		T1B160		T3N250	T5N400
2 x 400		577	1154	14	T5N630	630	0.92	28	T1N160				T3N250	T5N400
1 x 500	4	722	722	17.7	T6N800	800	0.91	17.7	T1C160				T3N250	T5N400
2 x 500		722	1444	17.5	T6N800	800	0.91	35.9	T1N160				T3N250	T5N400
1 x 630	4	909	909	22.3	T7S1000/X1B1000**	1000	0.91	22.3	T1C160				T3N250	T5N400
2 x 630		909	1818	21.8	T7S1000/X1B1000**	1000	0.91	43.6	T2S160				T3S250	T5S400
3 x 630		909	2727	42.8	T7S1000/X1N1000**	1000	0.91	64.2	T2H160				T4H250	T5H400
1 x 800	5	1155	1155	22.6	T7S1250/X1B1250**	1250	0.93	22.6	T1C160				T3N250	T5N400
2 x 800		1155	2310	22.1	T7S1250/X1B1250**	1250	0.93	44.3	T2S160				T3S250	T5S400
3 x 800		1155	3465	43.4	T7S1250/X1N1250**	1250	0.93	65	T2H160				T4H250	T5H400
1 x 1000	5	1443	1443	28.1	T7S1600/X1B1600**	1600	0.91	28.1	T1N160				T3N250	T5N400
2 x 1000		1443	2886	27.4	T7S1600/X1B1600**	1600	0.91	54.8	T2H160				T4H250	T5H400
3 x 1000		1443	4329	53.5	T7H1600/E2N1600	1600	0.91	80.2	T2L160				T4L250	T5L400
1 x 1250	5	1804	1804	34.9	E2B2000	2000	0.91	34.9	T1N160				T3N250	T5N400
2 x 1250		1804	3608	33.8	E2B2000	2000	0.91	67.7	T2H160				T4H250	T5H400
3 x 1250		1804	5412	65.6	E2S2000	2000	0.91	98.4	T4L250				T4L250	T5L400
1 x 1600	6.25	2309	2309	35.7	E3N2500	2500	0.93	35.7	T1N160				T3N250	T5N400
2 x 1600		2309	4618	34.6	E3N2500	2500	0.93	69.2	T2H160				T4H250	T5H400
3 x 1600		2309	6927	67	E3S2500	2500	0.93	100.6	T4L250				T4L250	T5L400
1 x 2000	6.25	2887	2887	44.3	E3N3200	3200	0.91	44.3	T2S160				T3S250	T5S400
2 x 2000		2887	5774	42.6	E3N3200	3200	0.91	85.1	T4L250				T4L250	T5L400
3 x 2000		2887	8661	81.9	E3H3200	3200	0.91	122.8	T4V250				T4V250	T5V400
1 x 2500	6.25	3608	3608	54.8	E4S4000	4000	0.91	54.8	T2H160				T4H250	T5H400
1 x 3125	6.25	4510	4510	67.7	E6H5000	5000	0.91	67.7	T2H160				T4H250	T5H400

630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A
T5N630								
T5N630								
T5N630								
T5N630	T6N800/X1B800							
T5N630	T6N800/X1B800							
T5S630	T6S800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250					
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600				
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000						
T5S630	T6S800/X1N800	T7S100/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600				
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500		
T5N630	T6N800/X1B800	T7S100/X1B1000	T7S1250/X1B1250					
T5H400	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000			
T5L630	T6L800/E2S800	T7L1000/E2S1000	T7L1250/E2S1250	T7L1600/E2S1600	E2S2000	E3H2500	E3H3200	
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200	
T5L630	T6L800/E3H800	T7L1000/E3H1000	T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200	E4S4000
T5L630	T7L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000
T5S630	T6S800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000			
T5L630	T6L800/E3H800	T7L1000/E3H1000	T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T5V630	T7V800/E3V800	T7V1000/E3V1000	T7V1250/E3V1250	E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200	E4S4000

1SDC010036F0201

* anche gli interruttori serie Tmax forniti di sganciatori elettronici possono essere usati per questa applicazione

** anche l'interruttore Emax tipo E1 possono essere usati per questa applicazione

3.4 Protezione e manovra dei trasformatori

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 3: Manovra e protezione dei trasformatori a 440 V

Trasformatore				Interruttore "A" (lato BT)				Interruttore "B" (partenza linea utenza)									
						Relè			Tipo interruttore di linea e corrente nominale									
S_n	u_k	Trasf. I_n	Sbarra I_b	Trasf. I_k	Interruttore ABB SACE	taglia In [A]	regolazione minima	Sbarra I_k									
[kVA]	[%]	[A]	[A]	[kA]				[kA]	32 A	63 A	125 A	160 A	250 A	400 A	630 A	800 A	1000 A
1 x 63	4	83	83	2.1	T1B160*	100	0.83	2.1	S200								
2 x 63		83	165	2.1	T1B160*	100	0.83	4.1	S200		T1B160						
1 x 100	4	131	131	3.3	T1B160*	160	0.82	3.3	S200								
2 x 100		131	262	3.3	T1B160*	160	0.82	6.5	T1B160								
1 x 125	4	164	164	4.1	T3N250*	200	0.82	4.1	S200		T1B160						
2 x 125		164	328	4.1	T3N250*	200	0.82	8.1	T1B160				T3N250				
1 x 160	4	210	210	5.2	T3N250*	250	0.84	5.2	S200		T1B160						
2 x 160		210	420	5.2	T3N250*	250	0.84	10.4	T1C160				T3N250				
1 x 200	4	262	262	6.5	T4N320	320	0.82	6.5	T1B160								
2 x 200		262	525	6.5	T4N320	320	0.82	12.9	T1C160				T3N250	T5N400	T5N630		
1 x 250	4	328	328	8.1	T5N400	400	0.82	8.1	T1B160				T3N250				
2 x 250		328	656	8.1	T5N400	400	0.82	16.1	T1N160				T3N250	T5N400	T5N630		
1 x 315	4	413	413	10.2	T5N630	630	0.66	10.2	T1C160				T3N250				
2 x 315		413	827	10.1	T5N630	630	0.66	20.2	T1N160				T3N250	T5N400	T5N630		
1 x 400	4	525	525	12.9	T5N630	630	0.83	12.9	T1C160				T3N250	T5N400			
2 x 400		525	1050	12.8	T5N630	630	0.83	25.6	T2N160				T3S250	T5N400	T5N630		
1 x 500	4	656	656	16.1	T6N800	800	0.82	16.1	T1N160				T3N250	T5N400			
2 x 500		656	1312	15.9	T6N800	800	0.82	31.7	T2S160				T3S250	T5S400	T5S630	T6S800/X1B800	
1 x 630	4	827	827	20.2	T7S1000/X1B1000**	1000	0.83	20.2	T1N160				T3N250	T5N400	T5N630		
2 x 630		827	1653	19.8	T7S1000/X1B1000**	1000	0.83	39.7	T2S160				T3S250	T5S400	T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000
3 x 630		827	2480	38.9	T7S1000/X1B1000**	1000	0.83	58.3	T2L160				T4H250	T5H400	T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000
1 x 800	5	1050	1050	20.6	T7S1250/X1B1250**	1250	0.84	20.6	T1N160				T3N250	T5N400	T5N630	T6N800/X1B800	
2 x 800		1050	2099	20.1	T7S1250/X1B1250**	1250	0.84	40.3	T2S160				T4H250	T5H400	T5H630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000
3 x 800		1050	3149	39.5	T7S1250/X1B1250**	1250	0.84	59.2	T2L160				T4H250	T5H400	T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000
1 x 1000	5	1312	1312	25.6	T7S1600/X1B1600**	1600	0.82	25.6	T2N160				T3S250	T5N400	T5N630	T6N800/X1B800	
2 x 1000		1312	2624	24.9	T7S1600/X1B1600**	1600	0.82	49.8	T2H160				T4H250	T5H400	T5H630	T6H800/E1N800	T7S1000/X1N1000
3 x 1000		1312	3936	48.6	T7H1600/X1N1600**	1600	0.82	72.9	T2L160				T4L250	T5L400	T5L630	T6L800/E2S800	T7L1000/E2S1000
1 x 1250	5	1640	1640	31.7	E2B2000	2000	0.82	31.7	T2S160				T3S250	T5S400	T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000
2 x 1250		1640	3280	30.8	E2B2000	2000	0.82	61.5	T2L160				T4H250	T5H400	T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000
3 x 1250		1640	4921	59.6	E2N2000	2000	0.82	89.5	T4L250				T4L250	T5L400	T5L630	T7L800/E3H800	T7L1000/E3H1000
1 x 1600	6.25	2099	2099	32.5	E3N2500	2500	0.84	32.5	T2S160				T3S250	T5S400	T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000
2 x 1600		2099	4199	31.4	E3N2500	2500	0.84	62.9	T2L160				T4H250	T5H400	T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000
3 x 1600		2099	6298	60.9	E3N2500	2500	0.84	91.4	T4L250				T4L250	T5L400	T5L630	T7L800/E3H800	T7L1000/E3H1000
1 x 2000	6.25	2624	2624	40.3	E3N3200	3200	0.82	40.3	T2S160				T4H250	T5H400	T5H630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000
2 x 2000		2624	5249	38.7	E3N3200	3200	0.82	77.4	T4L250				T4L250	T5L400	T5L630	T6L800/E2S800	T7L1000/E2S1000
3 x 2000		2624	7873	74.4	E3S3200	3200	0.82	111.7	T4V250				T4V250	T5V400	T5V630	T7V800/E3V800	T7V1000/E3V1000
1 x 2500	6.25	3280	3280	49.8	E4S4000	4000	0.82	49.8	T2H160				T4H250	T5H400	T5H630	T6H800/X1N800	T7S1000/X1N1000
1 x 3125	6.25	4100	4100	61.5	E6H5000	5000	0.82	61.5	T2L160				T4H250	T5H400	T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000

1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A
T7S1250/X1B1250					
T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000			
T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	E4S4000
T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000			
T7L1250/E2S1250	T7L1600/E2S1600	E3S2000	E3S2500	E3S3200	
T7S1250/X1B1250					
T7H1250/XN1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500		
T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	
T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600	E2B2000			
T7L1250/E2S1250	T7L1600/E2S1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T7V1250/E3V1250	E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000
T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500		
T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	

* anche gli interruttori serie Tmax forniti di sganciatori elettronici possono essere usati per questa applicazione

** anche l'interruttore Emax tipo E1 possono essere usati per questa applicazione

1SDC010037F0201

3.4 Protezione e manovra dei trasformatori

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Tabella 4: Manovra e protezione dei trasformatori a 690 V

Trasformatore				Interruttore "A" (lato BT)					Interruttore "B" (partenza linea utenza)								
						Relè			Tipo interruttore di linea e corrente nominale								
S_n	u_k	Trasf. I_n	Sbarra I_b	Trasf. I_k	Interruttore ABB SACE	taglia In [A]	regolazione minima	Sbarra I_k	630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A
[kVA]	[%]	[A]	[A]	[kA]				[kA]	32 A	63 A	125 A	160 A	250 A	400 A			
1 x 63	4	53	53	1.3	T1B*	63	0.84	1.3	T1B160								
2 x 63		53	105	1.3	T1B*	63	0.84	2.6	T1B160								
1 x 100	4	84	84	2.1	T1B*	100	0.84	2.1	T1B160								
2 x 100		84	167	2.1	T1B*	100	0.84	4.2	T1N160								
1 x 125	4	105	105	2.6	T1B*	125	0.84	2.6	T1B160								
2 x 125		105	209	2.6	T1B*	125	0.84	5.2	T1N160								
1 x 160	4	134	134	3.3	T1C*	160	0.84	3.3	T1C160								
2 x 160		134	268	3.3	T1C*	160	0.84	6.6	T2S160								
1 x 200	4	167	167	4.2	T3N250*	200	0.84	4.2	T1N160								
2 x 200		167	335	4.1	T3N250*	200	0.84	8.3	T2L160				T4N250				
1 x 250	4	209	209	5.2	T3S250*	250	0.84	5.2	T1N160								
2 x 250		209	418	5.1	T3S250*	250	0.84	10.3	T4N250				T4N250				
1 x 315	4	264	264	6.5	T4N320	320	0.82	6.5	T2S160								
2 x 315		264	527	6.5	T4N320	320	0.82	12.9	T4N250				T4N250	T5N400			
1 x 400	4	335	335	8.3	T5N400	400	0.84	8.3	T2L160				T4N250				
2 x 400		335	669	8.2	T5N400	400	0.84	16.3	T4N250				T4N250	T5N400			
1 x 500	4	418	418	10.3	T5N630	630	0.66	10.3	T4N250				T4N250				
2 x 500		418	837	10.1	T5N630	630	0.66	20.2	T4S250				T4S250	T5S400			
1 x 630	4	527	527	12.9	T5N630	630	0.84	12.9	T4N250				T4N250	T5N400			
2 x 630		527	1054	12.6	T5N630	630	0.84	25.3	T4H250				T4H250	T5H400			
3 x 630		527	1581	24.8	T5S630	630	0.84	37.2	T4H250				T4H250	T5H400			
1 x 800	5	669	669	13.1	T6N800	800	0.84	13.1	T4N250				T4N250	T5N400			
2 x 800		669	1339	12.8	T6N800	800	0.84	25.7	T4H250				T4H250	T5H400			
3 x 800		669	2008	25.2	T6L800	800	0.84	37.7	T4H250				T4H250	T5H400			
1 x 1000	5	837	837	16.3	T7S1000/X1B1000**	1000	0.84	16.3	T4N250				T4N250	T5N400			
2 x 1000		837	1673	15.9	T7S1000/X1B1000**	1000	0.84	31.8	T4H250				T4H250	T5H400			
3 x 1000		837	2510	31.0	T7H1000/X1B1000**	1000	0.84	46.5	T4L250				T4L250	T5L400			
1 x 1250	5	1046	1046	20.2	T7S1250/X1B1250**	1250	0.84	20.2	T4S250				T4S250	T5S400			
2 x 1250		1046	2092	19.6	T7S1250/X1B1250**	1250	0.84	39.2	T4H250				T4H250	T5H400			
3 x 1250		1046	3138	38.0	T7H1250/X1B1250**	1250	0.84	57.1	T4L250				T4L250	T5L400			
1 x 1600	6.25	1339	1339	20.7	T7S1600/X1B1600**	1600	0.84	20.7	T4S250				T4S250	T5S400			
2 x 1600		1339	2678	20.1	T7S1600/X1B1600**	1600	0.84	40.1	T4L250				T4L250	T5L400			
3 x 1600		1339	4016	38.9	T7H1600/X1B1600**	1600	0.84	58.3	T4L250				T4L250	T5L400			
1 x 2000	6.25	1673	1673	25.7	E2B2000	2000	0.84	25.7	T4H250				T4H250	T5H400			
2 x 2000		1673	3347	24.7	E2B2000	2000	0.84	49.3	T4L250				T4L250	T5L400			
3 x 2000		1673	5020	47.5	E2N2000	2000	0.84	71.2	T4V250				T4V250	T5V400			
1 x 2500	6.25	2092	2092	31.8	E3N2500	2500	0.84	31.8	T4H250				T4H250	T5H400			
1 x 3125	6.25	2615	2615	39.2	E3N3200	3200	0.82	39.2	T4H250				T4H250	T5H400			
									T5S630				T5S630				
									T5H630				T5H630				
									T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250					
									T5H630	T6L800/X1B800							
									T5H630	T7H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600				
									T5N630								
									T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250					
									T5L630	T7L800/X1N800	T7L1000/X1N1000	T7L1250/X1N1250	T7L1600/X1N1600	E2N2000			
									T5S630	T6S800/X1B800							
									T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1N1600				
									T5L630	T7V800/E2S800	T7V1000/E2S1000	T7V1250/ES21250	E2S1600	E2S2000			
									T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000						
									T5L630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600	E2B2000			
									T5L630	T7V800/E2S800	T7V1000/X1B1000	T7V1250/ES21250	E2S1600	E2S2000	E3N2500	E3N3200	
									T5H630	T6L800/X1N800	T7S1000/E2S1000	T7S1250/X1N1250					
									T5L630	T7L800/X1N800	T7L1000/X1N1000	T7L1250/X1N1250	T7L1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500		
									T5V630	E3S1000		E3S1250	E3S1600	E3S2000	E3S2500	E3S3200	E4S4000
									T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600				
									T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600	E2B2000			

1SDC010038F0201

* anche gli interruttori serie Tmax forniti di sganciatori elettronici possono essere usati per questa applicazione

** anche l'interruttore Emax tipo E1 possono essere usati per questa applicazione

3.4 Protezione e manovra dei trasformatori

3 Protezione delle apparecchiature elettriche

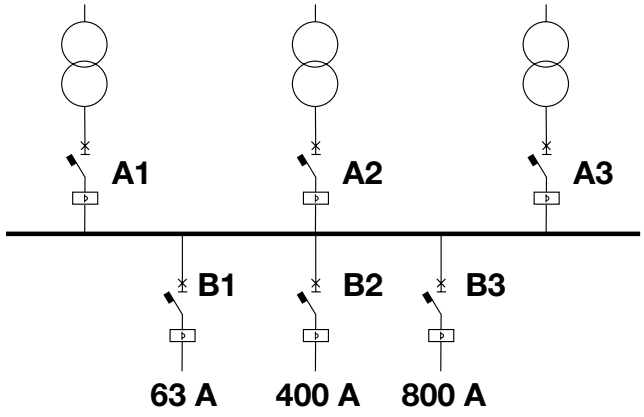
3 Protezione delle apparecchiature elettriche

NOTA

Le tabelle fanno riferimento alle condizioni specificate precedentemente; le indicazioni per la scelta degli interruttori sono fornite solo in funzione della corrente di impiego e della corrente presunta di cortocircuito. Per una scelta corretta devono essere considerati anche altri fattori quali selettività, protezione di back-up, decisione di impiegare interruttori limitatori ecc. E' quindi indispensabile una puntuale verifica da parte dei progettisti.
Occorre inoltre tenere presente che le correnti di cortocircuito riportate sono determinate nell'ipotesi di potenza di corto circuito 750 MVA a monte dei trasformatori, trascurando le impedenze delle sbarre e delle connessioni agli interruttori.

Esempio:

Si supponga di dover dimensionare gli interruttori A1/A2/A3 al secondario dei tre trasformatori da 630 kVA 20/0.4 kV con u_k% pari al 4% e gli interruttori B1/B2/B3 delle partenze da 63-400-800 A:



3 Protezione delle apparecchiature elettriche

Dalla tabella 2 in corrispondenza della riga relativa a 3 trasformatori da 630 kVA (3x630) si legge:

Interruttori al livello A (secondario del trasformatore)

- Trasformatore I_n (909 A) è la corrente che passa negli interruttori di macchina;
- Sbarra I_b (2727 A) è la corrente massima che i trasformatori possono erogare;
- Cavo trasformatore I_k (42.8 kA) è il valore della corrente di cortocircuito da considerare per la scelta del potere di interruzione di ciascun interruttore di macchina;
- T7S1000 o X1N1000 è la taglia dell'interruttore di macchina;
- In (1000 A) è la corrente nominale dell'interruttore di macchina (sganciatore elettronico a scelta dell'utente);
- taratura (0,91) indica il settaggio della funzione L degli sganciatori elettronici per interruttori T7S1000 e X1N1000.

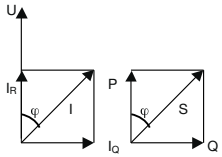
Interruttori al livello B (partenza utenza)

- Sbarra I_k (64.2 kA) è la corrente di cortocircuito dovuta al contributo di tutti e tre i trasformatori;
- in corrispondenza di 63 A si legge l'interruttore B1 Tmax T2H160;
- in corrispondenza di 400 A si legge l'interruttore B2 Tmax T5H400;
- in corrispondenza di 800 A si legge l'interruttore B3 T6H800 o Emax X1N800.

La scelta effettuata non tiene conto di esigenze di selettività/back-up. Si rimanda agli appositi capitoli per una scelta appropriata ai vari casi.

4 Rifasamento

4.1 Aspetti generali



Nei circuiti in corrente alternata, la corrente assorbita dall'utilizzatore è rappresentabile da due componenti:
- la componente attiva I_R, in fase con la tensione di alimentazione, è direttamente correlata al lavoro utile svolto (e quindi alla quota parte di energia elettrica trasformata in energia di altro tipo, usualmente elettrica con caratteristiche diverse, meccanica, luminosa e/o termica);
- la componente reattiva I_Q, in quadratura rispetto alla tensione, serve per produrre il flusso necessario alla conversione delle potenze attraverso il campo elettrico o magnetico. Senza di essa non ci potrebbe essere flusso di potenza, p.es. nel nucleo di un trasformatore o nel traferro di un motore.

Nel caso più comune, in presenza di carichi di tipo ohmico-induttivo, la corrente totale I risulta sfasata in ritardo rispetto alla componente attiva I_R.
In un impianto elettrico utilizzatore occorre dunque generare e trasportare, oltre alla potenza attiva utile P, una certa potenza reattiva Q, indispensabile per la conversione dell'energia elettrica ma non fruibile dall'utilizzatore. Il complesso della potenza generata e trasportata costituisce la potenza apparente S.

Si definisce fattore di potenza (cosφ) il rapporto tra la componente attiva I_R ed il valore totale della corrente I; φ è l'angolo di fase tra la tensione U e la corrente I.
Risulta:

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{P}{S} \quad (1)$$

tanφ è il rapporto tra la potenza reattiva e la potenza attiva:

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

4 Rifasamento

Nella tabella 1 è possibile trovare alcuni fattori di potenza tipici:

Tabella 1: Fattore di potenza (cosφ) tipico

Carico	cosφ	tanφ
Trasformatori (a vuoto)	0.1÷0.15	9.9÷6.6
Motore (a pieno carico)	0.7÷0.85	1.0÷0.62
Motore (a vuoto)	0.15	6.6
Apparecchi per la lavorazione dei metalli:		
- Saldatura ad arco	0.35÷0.6	2.7÷1.3
- Saldatura compensata ad arco	0.7÷0.8	1.0÷0.75
- Saldatura a resistenza:	0.4÷0.6	2.3÷1.3
- Forno ad arco elettrico (fusorio)	0.75÷0.9	0.9÷0.5
Lampade fluorescenti		
- compensate	0.9	0.5
- non compensate	0.4÷0.6	2.3÷1.3
Lampade a vapori di mercurio	0.5	1.7
Lampade a vapori di sodio	0.65÷0.75	1.2÷0.9
Convertitori c.a./c.c.	0.6÷0.95	1.3÷0.3
Drives c.c.	0.4÷0.75	2.3÷0.9
Drives c.a.	0.95÷0.97	0.33÷0.25
Carico resistivo	1	0

Rifasare vuol dire agire per incrementare il fattore di potenza in una specifica sezione dell'impianto fornendo localmente la potenza reattiva necessaria in modo da ridurre a pari potenza utile richiesta, il valore della corrente e quindi della potenza globale assorbita da monte. In questo modo sia la linea sia il generatore di alimentazione possono essere dimensionati per un valore di potenza apparente assorbita dal carico inferiore.
In dettaglio, come rappresentato a titolo indicativo nelle figure 1 e 2, aumentando il fattore di potenza del carico:
- diminuisce la caduta di tensione relativa urp per unità di potenza attiva trasmessa,
- si incrementa la potenza attiva trasmissibile e diminuiscono le perdite a parità di altri parametri di dimensionamento.

4 Rifasamento

Figura 1: Caduta di tensione relativa

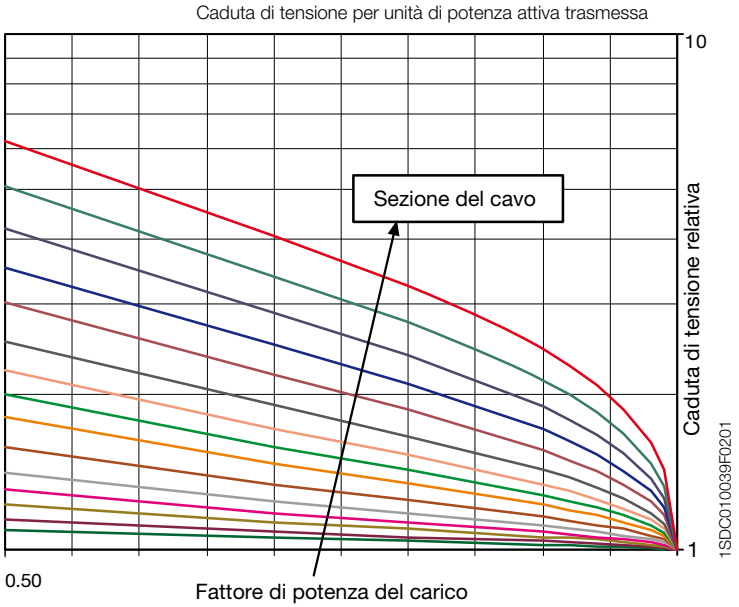
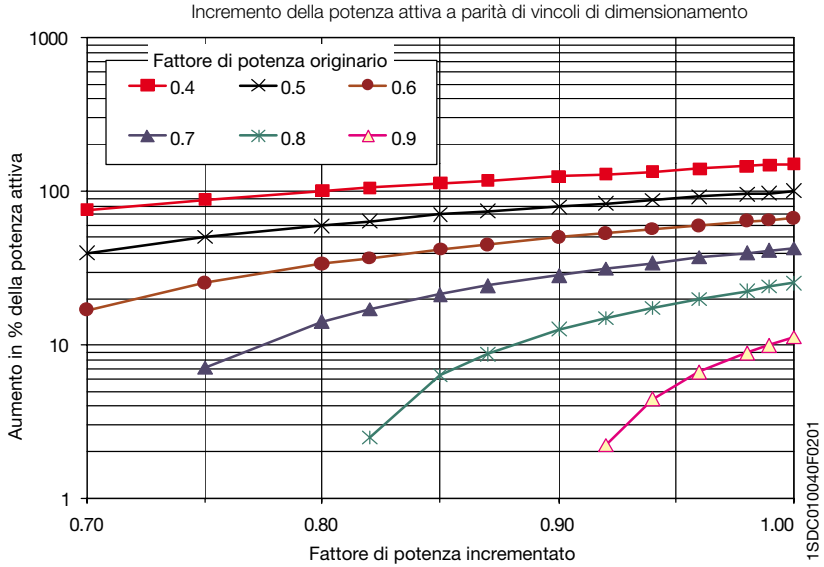


Figura 2: Potenza attiva trasmissibile



4 Rifasamento

Per l'Ente Distributore assumersi il compito di produrre e trasmettere la potenza reattiva richiesta dagli impianti utilizzatori significa avere una serie di maggiori oneri riassumibili in:
- sovradimensionamento delle linee e delle macchine costituenti le linee di trasmissione;
- maggiori perdite per effetto Joule e più elevate cadute di tensione nelle macchine e nelle linee.

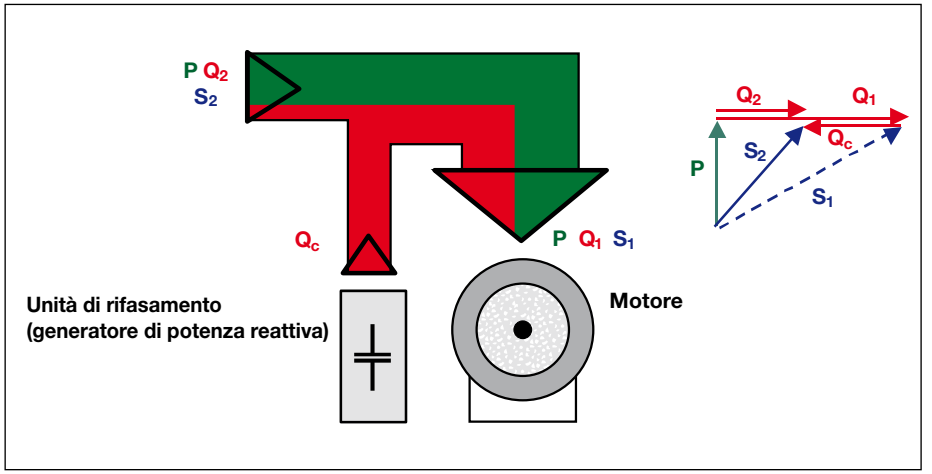
Gli stessi oneri sono presenti nell'impianto di distribuzione dell'utente finale.
Il fattore di potenza costituisce dunque un ottimo indice dell'entità dei costi aggiuntivi e viene perciò utilizzato dall'Ente Distributore per definire il prezzo di acquisto dell'energia per l'utente finale.
L'ideale sarebbe avere un cosφ poco superiore a quello di riferimento imposto per non pagare le penalità previste dalla legge e nello stesso tempo non correre il rischio di avere, con un cosφ troppo prossimo all'unità, un fattore di potenza in anticipo quando l'apparecchio rifasato lavora a basso carico.
Infatti l'Ente Distributore generalmente non consente che si fornisca energia reattiva alla rete, anche a causa della possibilità di avere sovratensioni non previste.

Nel caso di forme d'onda sinusoidali, la potenza reattiva necessaria per passare da un fattore di potenza $\cos\varphi_1$ ad un fattore di potenza $\cos\varphi_2$ è data dalla relazione:

$$Q_c = Q_2 - Q_1 = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (3)$$

dove:

P	è la potenza attiva;
Q_1, φ_1	sono la potenza reattiva e l'angolo di sfasamento prima del rifasamento;
Q_2, φ_2	sono la potenza reattiva e l'angolo di sfasamento dopo il rifasamento;
Q_c	è la potenza reattiva di rifasamento.



4 Rifasamento

Nella Tabella 2 è riportato il valore di rapporto

$$K_c = \frac{Q_c}{P} = \tan\varphi_1 - \tan\varphi_2 \quad (4)$$

per diversi valori degli angoli di fase prima e dopo il rifasamento.

Tabella 2: Fattore K_c

K_c	$\cos\varphi_2$													
$\cos\varphi_1$	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.60	0.583	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
0.63	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.66	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.70	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.80		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81		0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82		0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83		0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84		0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85			0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

4 Rifasamento

Esempio

Supponiamo di voler portare il fattore di potenza di un impianto trifase (U_n=400 V) che assorbe mediamente 300 kW da 0.8 a 0.93. Dalla tabella 2 nella cella individuata dall'incrocio tra la colonna corrispondente al fattore di potenza finale (0.93) e la riga corrispondente al fattore di potenza di partenza (0.8), si ottiene il valore di K_C (0.355). La potenza reattiva Q_C che deve essere generata localmente sarà:

$$Q_C = K_C \cdot P = 0.355 \cdot 300 = 106.5 \text{ kvar}$$

Per effetto del rifasamento la corrente assorbita passa da 540 A a 460 A (riduzione del 15% ca).

Caratteristiche delle batterie di condensatori di rifasamento

La via più economica per incrementare il fattore di potenza, soprattutto se l'impianto esiste già, è installare condensatori.
I condensatori presentano i seguenti vantaggi:
- minore costo rispetto ai compensatori sincroni e ai convertitori elettronici di potenza;
- facilità di installazione e di manutenzione;
- perdite ridotte (inferiori a 0.5 W/kvar in bassa tensione);
- possibilità di coprire un ampio range di potenze e diversi profili di carico semplicemente alimentando in parallelo diverse combinazioni di componenti di potenza unitaria relativamente piccola.

Per contro sono sensibili alle sovratensioni e alla presenza di carichi non lineari.

Le norme applicative per i condensatori statici di rifasamento sono le seguenti:

- IEC 60831-1 "Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and includine 1000 V –
  Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation";

- IEC 60931-1 "Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and includine 1000 V – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation".

4 Rifasamento

I dati caratteristici di un condensatore, riportati sulla sua targa sono:

- Tensione nominale U_n che il condensatore deve sopportare indefinitamente;
- Frequenza nominale f_n (comunemente pari a quella di rete);
- Potenza nominale Q_c, espressa generalmente in kvar (potenza reattiva della batteria di condensatori).

Da questi dati si possono ricavare le grandezze caratteristiche del condensatore con le seguenti formule (5):

	Collegamento monofase	Collegamento trifase a stella	Collegamento trifase a triangolo
Capacità della batteria di condensatori	$C = \frac{Q_c}{2\pi f_n \cdot U_n^2}$	$C = \frac{Q_c}{2\pi f_n \cdot U_n^2}$	$C = \frac{Q_c}{2\pi f_n \cdot U_n^2 \cdot 3}$
Corrente nominale sul componente	$I_{nc} = 2\pi f_n \cdot C \cdot U_n$	$I_{nc} = 2\pi f_n \cdot C \cdot U_n / \sqrt{3}$	$I_{nc} = 2\pi f_n \cdot C \cdot U_n$
Corrente di linea	$I_l = I_{nc}$	$I_l = I_{nc}$	$I_l = I_{nc} \cdot \sqrt{3}$

1SDC010005F0901

U_n = tensione nominale di linea

Nel caso trifase, dunque, a parità di potenza reattiva, la connessione a stella richiede capacità 3 volte maggiori e sottopone i condensatori a una tensione e a una corrente √3 volte minore rispetto all'analogo collegamento a triangolo.

I condensatori sono in genere forniti con resistenze di scarica stabilmente collegate, calcolate in modo da ridurre la tensione residua ai terminali a 75 V in 3 minuti come indicato dalle norme di riferimento.

4.2 Tipi di rifasamento

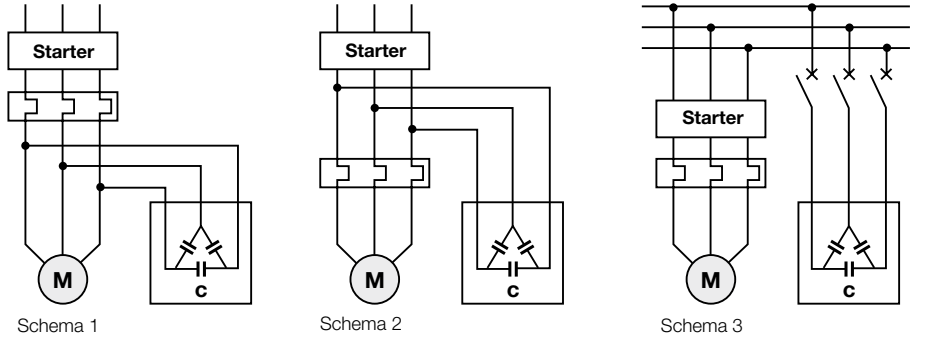
Rifasamento singolo

Il rifasamento singolo o individuale si realizza collegando un condensatore di valore opportuno direttamente ai terminali del dispositivo utilizzatore che assorbe potenza reattiva.
L'installazione è semplice e poco costosa: condensatore e carico possono usufruire delle stesse protezioni contro i sovraccarichi e i cortocircuiti e sono inseriti e disinseriti contemporaneamente.
La regolazione del cosφ è dunque sistematica e automatica con beneficio non solo all'Ente Distributore di Energia ma anche a tutta la distribuzione interna dell'utente.
Questo tipo di rifasamento è consigliabile nel caso di grossi utilizzatori con carico e fattore di potenza costanti e tempi di connessione lunghi.
Il rifasamento individuale viene normalmente applicato ai motori e alle lampade fluorescenti. Le unità del condensatore o piccoli condensatori d'illuminazione sono collegati direttamente ai carichi.

4 Rifasamento

Rifasamento individuale di motori

Gli schemi usuali di connessione sono rappresentati nella seguente figura.



1SDC010028F0001

Nel caso di connessione diretta (schemi 1 e 2) si corre il rischio che, dopo la disalimentazione, lo stesso motore continuando a ruotare (energia cinetica residua) e autoeccitandosi con l'energia reattiva fornita dalla batteria di condensatori, si trasformi in un generatore asincrono. In tal caso viene mantenuta la tensione sul lato carico del dispositivo di manovra e controllo, con il rischio di pericolose sovratensioni fino al doppio della tensione nominale.

Nel caso in cui invece si utilizzi lo schema 3, per evitare il rischio visto sopra, si procede normalmente connettendo la batteria di rifasamento solo a motore avviato e la si disconnette in anticipo rispetto alla disalimentazione del motore.

Una regola generale è quella di utilizzare per un motore di potenza P_n una potenza reattiva di rifasamento Q_c non superiore al 90% della potenza reattiva assorbita dal motore a vuoto Qo alla tensione nominale U_n per evitare di avere un fattore di potenza in anticipo.
Considerando che a vuoto la corrente assorbita I_0 [A] sia puramente reattiva, se la tensione è espressa in volt, sarà:

$$Q_c = 0.9 \cdot Q_0 = 0.9 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_0}{1000} \text{ [kvar] (6)}$$

La corrente Io è generalmente fornita nella documentazione del costruttore del motore.

4 Rifasamento

La tabella 3 indica i valori della potenza reattiva per rifasare alcuni tipi di motori ABB, in funzione della potenza e del numero di poli.

Tabella 3: Potenza reattiva di rifasamento per i motori ABB

P_n [kW]	Q_c [kvar]	Prima del rifasamento $\cos\varphi_n$	Prima del rifasamento I_n [A]	Dopo il rifasamento $\cos\varphi_2$	Dopo il rifasamento I_2 [A]
400V / 50 Hz / 2 poli / 3000 r/min					
7.5	2.5	0.89	13.9	0.98	12.7
11	2.5	0.88	20	0.95	18.6
15	5	0.9	26.5	0.98	24.2
18.5	5	0.91	32	0.98	29.7
22	5	0.89	38.5	0.96	35.8
30	10	0.88	53	0.97	47.9
37	10	0.89	64	0.97	58.8
45	12.5	0.88	79	0.96	72.2
55	15	0.89	95	0.97	87.3
75	15	0.88	131	0.94	122.2
90	15	0.9	152	0.95	143.9
110	20	0.86	194	0.92	181.0
132	30	0.88	228	0.95	210.9
160	30	0.89	269	0.95	252.2
200	30	0.9	334	0.95	317.5
250	40	0.92	410	0.96	391.0
315	50	0.92	510	0.96	486.3
400V / 50 Hz / 4 poli / 1500 r/min					
7.5	2.5	0.86	14.2	0.96	12.7
11	5	0.81	21.5	0.96	18.2
15	5	0.84	28.5	0.95	25.3
18.5	7.5	0.84	35	0.96	30.5
22	10	0.83	41	0.97	35.1
30	15	0.83	56	0.98	47.5
37	15	0.84	68	0.97	59.1
45	20	0.83	83	0.97	71.1
55	20	0.86	98	0.97	86.9
75	20	0.86	135	0.95	122.8
90	20	0.87	158	0.94	145.9
110	30	0.87	192	0.96	174.8
132	40	0.87	232	0.96	209.6
160	40	0.86	282	0.94	257.4
200	50	0.86	351	0.94	320.2
250	50	0.87	430	0.94	399.4
315	60	0.87	545	0.93	507.9

4 Rifasamento

P_n [kW]	Q_c [kvar]	Prima del rifasamento $\cos\varphi_n$	Prima del rifasamento I_n [A]	Dopo il rifasamento $\cos\varphi_2$	Dopo il rifasamento I_2 [A]
400V / 50 Hz / 6 poli / 1000 r/min					
7.5	5	0.79	15.4	0.98	12.4
11	5	0.78	23	0.93	19.3
15	7.5	0.78	31	0.94	25.7
18.5	7.5	0.81	36	0.94	30.9
22	10	0.81	43	0.96	36.5
30	10	0.83	56	0.94	49.4
37	12.5	0.83	69	0.94	60.8
45	15	0.84	82	0.95	72.6
55	20	0.84	101	0.96	88.7
75	25	0.82	141	0.93	123.9
90	30	0.84	163	0.95	144.2
110	35	0.83	202	0.94	178.8
132	45	0.83	240	0.95	210.8
160	50	0.85	280	0.95	249.6
200	60	0.85	355	0.95	318.0
250	70	0.84	450	0.94	404.2
315	75	0.84	565	0.92	514.4
400V / 50 Hz / 8 poli / 750 r/min					
7.5	5	0.7	18.1	0.91	13.9
11	7.5	0.76	23.5	0.97	18.4
15	7.5	0.82	29	0.97	24.5
18.5	7.5	0.79	37	0.93	31.5
22	10	0.77	45	0.92	37.5
30	12.5	0.79	59	0.93	50.0
37	15	0.78	74	0.92	62.8
45	20	0.78	90	0.93	75.4
55	20	0.81	104	0.93	90.2
75	30	0.82	140	0.95	120.6
90	30	0.82	167	0.93	146.6
110	35	0.83	202	0.94	178.8
132	50	0.8	250	0.93	214.6

4 Rifasamento

Esempio

Per un motore asincrono trifase da 110 kW (400V-50Hz-4 poli), la potenza di rifasamento suggerita dalla tabella è 30 kvar.

Rifasamento individuale di trasformatori trifase

Il trasformatore è un'apparecchiatura elettrica di primaria importanza che, per ragioni impiantistiche, rimane spesso costantemente in servizio.
In particolare negli impianti costituiti da diverse cabine di trasformazione di alimentazione dell'energia elettrica è consigliabile effettuare il rifasamento diretto del trasformatore.
In generale la potenza di rifasamento Q_c in un trasformatore di potenza nominale S_n [kVA], non dovrà essere superiore alla potenza reattiva assorbita nelle condizioni di carico di riferimento minime.
Ricavando dai dati di targa della macchina il valore percentuale della corrente a vuoto i_0%, il valore della tensione di cortocircuito percentuale uk%, le perdite nel ferro P_{fe} e nel rame P_{cu} [kW] la potenza di rifasamento richiesta è circa:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100}\cdot S_n\right)^2 - P_{fe}^{\,2}} + K_L^{\,2}\cdot\sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100}\cdot S_n\right)^2 - P_{cu}^{\,2}} \approx \left(\frac{i_0\%}{100}\cdot S_n\right) + K_L^{\,2}\cdot\left(\frac{u_k\%}{100}\cdot S_n\right) \text{[kvar]} \quad (7)$$

dove KL è il fattore di carico, definito come rapporto tra carico minimo di riferimento e potenza nominale del trasformatore.

Esempio

Si supponga di dover rifasare un trasformatore da 630 kVA in olio che alimenta un carico che non è mai inferiore al 60% della sua potenza nominale.
Dai dati di targa del trasformatore:
i_0% = 1.8%
u_K% = 4%
P_{cu} = 8.9 kW
P_{fe} = 1.2 kW
La potenza di rifasamento della batteria di condensatori connessa al trasformatore dovrà essere:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100}\cdot S_n\right)^2 - P_{fe}^{\,2}} + K_L^{\,2}\cdot\sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100}\cdot S_n\right)^2 - P_{cu}^{\,2}} = \sqrt{\left(\frac{1.8\%}{100}\cdot 630\right)^2}\,1.2^2 + 0.6^2\cdot\sqrt{\left(\frac{4\%}{100}\cdot 630\right)^2} - 8.9^2 = 19.8 \text{ [kvar]}$$

mentre utilizzando la formula semplificata risulta:

$$Q_c = \left(\frac{i_0\%}{100}\cdot S_n\right) + K_L^{\,2}\cdot\left(\frac{u_k\%}{100}\cdot S_n\right) = \left(\frac{1.8\%}{100}\cdot 630\right) + 0.6^2\cdot\left(\frac{4\%}{100}\cdot 630\right) = 20.4 \text{ [kvar]}$$

4 Rifasamento

La tabella 4 indica la potenza reattiva della batteria di condensatori Qc [kvar] da collegare al secondario di un trasformatore ABB in funzione dei diversi livello di carico minimo previsto.

Tabella 4: Potenza reattiva di rifasamento per trasformatori ABB

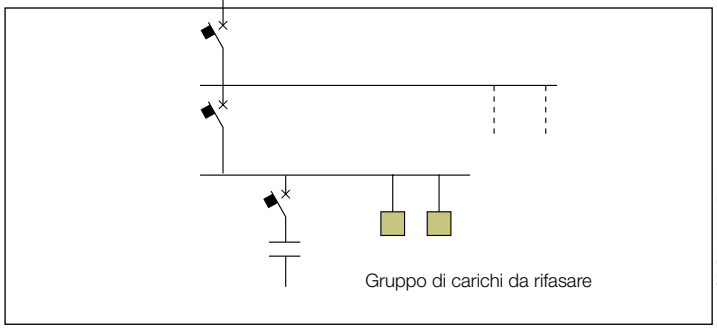
S_n [kVA]	u_k% [%]	i_o% [%]	P_{fe} [kW]	P_{cu} [kW]	Q_c [kvar] fattore di carico K_L 0	0.25	0.5	0.75	1
Trasformatore di distribuzione MT-BT in olio									
50	4	2.9	0.25	1.35	1.4	1.5	1.8	2.3	2.9
100	4	2.5	0.35	2.30	2.5	2.7	3.3	4.3	5.7
160	4	2.3	0.48	3.20	3.6	4	5	6.8	9.2
200	4	2.2	0.55	3.80	4.4	4.8	6.1	8.3	11
250	4	2.1	0.61	4.50	5.2	5.8	7.4	10	14
315	4	2	0.72	5.40	6.3	7	9.1	13	18
400	4	1.9	0.85	6.50	7.6	8.5	11	16	22
500	4	1.9	1.00	7.40	9.4	11	14	20	28
630	4	1.8	1.20	8.90	11	13	17	25	35
800	6	1.7	1.45	10.60	14	16	25	40	60
1000	6	1.6	1.75	13.00	16	20	31	49	74
1250	6	1.6	2.10	16.00	20	24	38	61	93
1600	6	1.5	2.80	18.00	24	30	47	77	118
2000	6	1.2	3.20	21.50	24	31	53	90	142
2500	6	1.1	3.70	24.00	27	37	64	111	175
3150	7	1.1	4.00	33.00	34	48	89	157	252
4000	7	1.4	4.80	38.00	56	73	125	212	333
Trasformatore di distribuzione MT-BT in resina									
100	6	2.3	0.50	1.70	2.2	2.6	3.7	5.5	8
160	6	2	0.65	2.40	3.1	3.7	5.5	8.4	12
200	6	1.9	0.85	2.90	3.7	4.4	6.6	10	15
250	6	1.8	0.95	3.30	4.4	5.3	8.1	13	19
315	6	1.7	1.05	4.20	5.3	6.4	9.9	16	24
400	6	1.5	1.20	4.80	5.9	7.3	12	19	29
500	6	1.4	1.45	5.80	6.8	8.7	14	23	36
630	6	1.3	1.60	7.00	8	10	17	29	45
800	6	1.1	1.94	8.20	8.6	12	20	35	56
1000	6	1	2.25	9.80	9.7	13	25	43	69
1250	6	0.9	3.30	13.00	11	15	29	52	85
1600	6	0.9	4.00	14.50	14	20	38	67	109
2000	6	0.8	4.60	15.50	15	23	45	82	134
2500	6	0.7	5.20	17.50	17	26	54	101	166
3150	8	0.6	6.00	19.00	18	34	81	159	269

Esempio

Per un trasformatore in olio ABB da 630 kVA con un fattore di carico di 0.5, la potenza di rifasamento necessaria è 17 kvar.

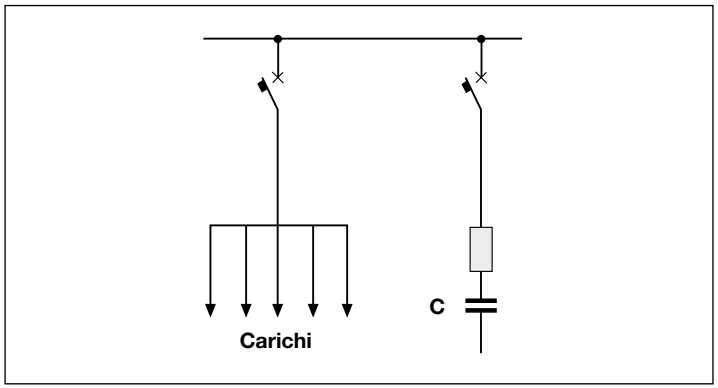
4 Rifasamento

Rifasamento a gruppi



Consiste nel rifasare localmente gruppi di carichi con caratteristiche di funzionamento simili installando una batteria di condensatori dedicata.
E' il metodo che raggiunge un compromesso tra la soluzione economica e il corretto esercizio dell'impianto in quanto non è correttamente sfruttata solo la linea a valle del punto in cui è installata la batteria di condensatori.

Rifasamento centralizzato



L'andamento giornaliero dei carichi ha un'importanza fondamentale per la scelta del tipo di rifasamento più conveniente.
In impianti in cui non tutte le utenze funzionano contemporaneamente e/o in cui alcuni utilizzatori sono connessi solo poche ore al giorno, è evidente che la soluzione del rifasamento singolo diventa troppo onerosa poiché molti dei condensatori installati rimarrebbero per lungo tempo inutilizzati.
Nel caso di impianti con molti carichi, che lavorano saltuariamente, per cui si ha un'elevata potenza installata e un assorbimento medio di energia da parte dei carichi in servizio contemporaneo abbastanza modesto, l'utilizzo di un unico sistema di rifasamento all'origine dell'impianto permette di ridurre notevolmente la potenza complessiva dei condensatori installati.

4 Rifasamento

Nel rifasamento centralizzato sono impiegati normalmente complessi automatici con batterie frazionate in più gradini, installati direttamente nei quadri principali di distribuzione; l'utilizzo di una batteria connessa permanentemente è possibile solo se l'assorbimento di energia reattiva è abbastanza regolare durante la giornata.
Il principale svantaggio della soluzione centralizzata è che le linee di distribuzione dell'impianto, a valle del dispositivo di rifasamento, devono essere dimensionate tenendo conto della piena potenza reattiva assorbita dai carichi.

4.3 Interruttori per la protezione e la manovra di batterie di condensatori

Gli interruttori di protezione e manovra di batterie di condensatori in bt devono soddisfare le seguenti condizioni:

1. sopportare le correnti transitorie che si verificano all'inserzione e alla disinserzione della batteria. In particolare gli sganciatori magnetici ed elettronici istantanei non devono intervenire con le correnti di inserzione;
2. sopportare le sovracorrenti periodiche o permanenti dovute alle armoniche di tensione e alla tolleranza (+15%) sul valore nominale della capacità;
3. eseguire un elevato numero di manovre a vuoto e a carico a una frequenza anche elevata;
4. essere coordinati con gli eventuali apparecchi di manovra esterni (contattori).

Inoltre il potere di chiusura e di interruzione dell'interruttore deve essere adeguato al livello di cortocircuito dell'impianto.

Le norme IEC 60831-1 e 60931-1 affermano che:
- i condensatori devono poter funzionare a regime con una corrente in valore efficace fino al 130% della loro corrente nominale Ir (ciò è dovuto alla possibile presenza di armoniche di tensione in rete);
- è ammessa una tolleranza del +15% sul valore della capacità.

La massima corrente assorbibile dalla batteria di condensatori I_{cmax} sarà dunque:

$$I_{cmax} = 1.3 \cdot 1.15 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} \approx 1.5 \cdot I_{nc} \quad (8)$$

Quindi:
- la corrente nominale dell'interruttore dovrà essere maggiore di $1.5 \cdot I_{nc}$;
- la taratura della protezione contro il sovraccarico dovrà essere pari a $1.5 \cdot I_{nc}$.

L'inserzione di una batteria di condensatori, paragonabile a un chiusura in cortocircuito, è associata a correnti transitorie a frequenza elevata (1÷15 kHz), di breve durata (1÷3 ms), con picco elevato (25÷200 I_{nc}).
Quindi:
- l'interruttore dovrà possedere adeguato potere di chiusura;
- la regolazione della protezione istantanea contro il cortocircuito non dovrà generare interventi intempestivi.

4 Rifasamento

La seconda condizione viene in genere rispettata:

- per sganciatori termomagnetici, regolando la protezione magnetica a valori non inferiori a $10 \cdot I_{cmax}$

$$I_3 \geq 10 \cdot I_{cmax} = 15 \cdot I_{nc} = 15 \cdot \frac{Q_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (9)$$

- per sganciatori elettronici, escludendo la protezione istantanea contro il cortocircuito (I_3 = OFF).

Di seguito sono riportate le tabelle della selezione degli interruttori: per la definizione della versione in funzione del potere di interruzione richiesto, si rimanda al volume 1 cap. 3.1 Caratteristiche generali.

Nelle tabelle sono stati utilizzati i seguenti simboli (si riferiscono ai valori massimi):

- I_{nINT} = corrente nominale dello sganciatore di protezione [A];
- I_{nc} = corrente nominale della batteria di condensatori connessa [A];
- Q_C = potenza della batteria di condensatori collegabile [kvar] riferita alle tensioni indicate e a una frequenza di 50 Hz;
- N_{mec} = numero di manovre meccaniche;
- f_{mec} = frequenza di manovra per le manovre meccaniche [op/h];
- N_{el} = numero di manovre elettriche riferite a una tensione di 415 V per gli interruttori scatolati Tmax (tabella 5) e di 440V per gli interruttori aperti della famiglia Emax (tabella 6);
- f_{el} = frequenza di manovra per le manovre elettriche [op/h].

Tabella 5: Tabella di scelta degli interruttori scatolati Tmax

	I_{nCB}	I_{nc}	Q_C [kvar]				N_{mec}	f_{mec}	N_{el}	f_{el}
Tipo interruttore	[A]	[A]	400 V	440 V	500 V	690 V		[op/h]		[op/h]
T1 B-C-N 160	160	107	74	81	92	127	25000	240	8000	120
T2 B-C-N-S-H-L 160*	160	107	74	81	92	127	25000	240	8000	120
T3 N-S 250*	250	166	115	127	144	199	25000	240	8000	120
T4 N-S-H-L-V 250	250	166	115	127	144	199	20000	240	8000	120
T4 N-S-H-L-V 320	320	212	147	162	184	254	20000	240	6000	120
T5 N-S-H-L-V 400	400	267	185	203	231	319	20000	120	7000	60
T6 N-S-H-L-V 630	630	421	291	320	364	502	20000	120	7000	60
T6 N-S-H-L 800	800	533	369	406	461	637	20000	120	5000	60
T7 S-H-L 1000	1000	666	461	507	576	795	10000	60	2000	60
T7 S-H-L 1250	1250	833	577	634	721	994	10000	60	2000	60
T7 S-H-L- 1600	1600	1067	739	813	924	1275	10000	60	2000	60

*Per l'esecuzione rimovibile declassare del 10% la massima potenza della batteria di condensatori

4 Rifasamento

Tabella 6: Tabella di di scelta degli interruttori aperti Emax

	I_{nCB}	I_{nc}	Q_C [kvar]				N_{mec}	f_{mec}	N_{el}	f_{el}
CB Type	(A)	(A)	400 V	440 V	500 V	690 V	(op/h)		(op/h)	
X1 B-N	630	421	291	320	364	502	12500	60	6000	30
X1 B-N	800	533	369	406	461	637	12500	60	6000	30
X1 B-N	1000	666	461	507	576	795	12500	60	4000	30
X1 B-N	1250	834	578	636	722	997	12500	60	4000	30
X1 B-N	1600	1067	739	813	924	1275	12500	60	3000	30
E1 B N	800	533	369	406	461	637	25000	60	10000	30
E1 B N	1000	666	461	507	576	795	25000	60	10000	30
E1 B N	1250	834	578	636	722	997	25000	60	10000	30
E1 B N	1600	1067	739	813	924	1275	25000	60	10000	30
E2 B-N-S	800	533	369	406	461	637	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1000	666	461	507	576	795	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1250	834	578	636	722	997	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1600	1067	739	813	924	1275	25000	60	12000	30
E2 B-N-S	2000	1334	924	1017	1155	1594	25000	60	10000	30
E3 N-S-H-V	800	533	369	406	461	637	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	1000	666	461	507	576	795	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	1250	834	578	636	722	997	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	1600	1067	739	813	924	1275	20000	60	10000	20
E3 N-S-H-V	2000	1334	924	1017	1155	1594	20000	60	9000	20
E3 N-S-H-V	2500	1667	1155	1270	1444	1992	20000	60	8000	20
E3 N-S-H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	20000	60	6000	20
E4 S-H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	15000	60	7000	10
E6 H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	12000	60	5000	10

5 Protezione di persone

5.1 Aspetti generali: effetti della corrente elettrica sul corpo umano

I pericoli derivanti dal contatto di una persona con una parte in tensione sono causati dal passaggio della corrente nel corpo umano. Gli effetti del passaggio della corrente nel corpo umano sono:

- **la tetanizzazione:** si contraggono i muscoli interessati al passaggio della corrente e risulta difficile staccarsi dalla parte in tensione. Da notare che correnti molto elevate non producono solitamente la tetanizzazione perché quando il corpo entra in contatto con esse, l'eccitazione muscolare è talmente elevata che i movimenti muscolari involontari generalmente staccano il soggetto della sorgente;

- **l'arresto respiratorio:** se la corrente elettrica attraversa i muscoli che controllano il movimento dei polmoni, la contrazione involontaria di questi muscoli altera il normale funzionamento del sistema respiratorio e il soggetto può morire soffocato o subire le conseguenze di traumi dovuti all'asfissia;

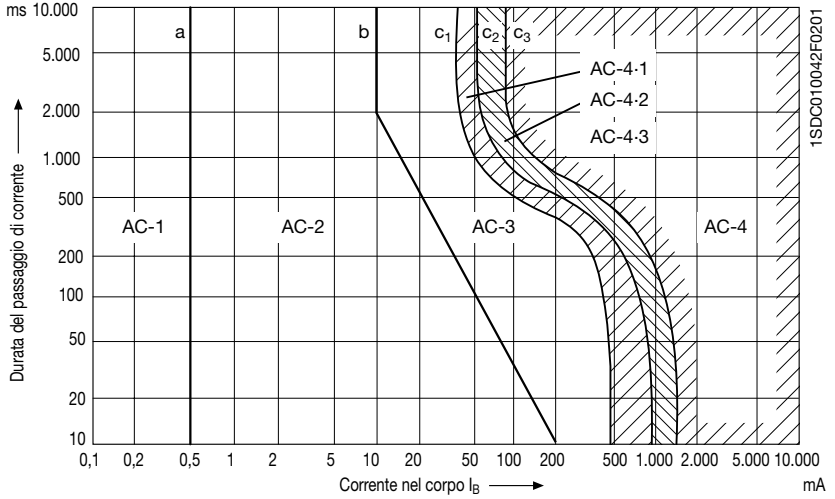
- **la fibrillazione ventricolare:** è l'effetto più pericoloso ed è dovuto alla sovrapposizione delle correnti provenienti dall'esterno con quelle fisiologiche che, generando delle contrazioni scoordinate, fanno perdere il giusto ritmo al cuore. Questa anomalia può diventare un fenomeno non reversibile poiché persiste anche se lo stimolo è cessato;

- **le ustioni:** sono prodotte dal calore che si sviluppa per effetto Joule dalla corrente elettrica che fluisce attraverso il corpo.

La norma IEC 60479-1 *"Effects of current on human being and livestock"* (Effetti della corrente sul corpo umano e sugli animali domestici) fornisce una guida sugli effetti della corrente attraverso il corpo umano da utilizzare nella definizione dei requisiti per la sicurezza elettrica. La norma riporta graficamente nel piano tempo-corrente quattro zone alle quali sono stati associati gli effetti fisiologici della corrente alternata (15 – 100 Hz) che attraversa il corpo umano.

5 Protezione di persone

Figura 1: Zone tempo-corrente relative agli effetti della corrente alternata sul corpo umano



Designazione zone	Limiti zone	Effetti fisiologici
AC-1	Fino a 0.5 mA linea a	Solitamente nessuna reazione.
AC-2	0.5 mA fino alla linea b*	Solitamente nessun effetto fisiologico dannoso.
AC-3	Linea b fino alla curva c_1	Solitamente non ci si aspetta alcun danno organico. Probabili contrazioni muscolari tipo crampi e difficoltà respiratoria per flussi di corrente con durata superiore a 2 s. Disturbi reversibili di formazione e trasmissione di impulsi al cuore, compresa fibrillazione atriale e arresto cardiaco transitorio senza fibrillazione ventricolare, in aumento in funzione del valore e della durata della corrente.
AC-4	Al di sopra della curva c_1	Con l'aumento del valore e del tempo, effetti patofisiologici pericolosi quali arresto cardiaco, arresto della respirazione e ustioni gravi possono verificarsi in aggiunta agli effetti della zona 3.
AC-4.1	c_1 - c_2	Probabilità di fibrillazione ventricolare in aumento fino a circa il 5%.
AC-4.2	c_2 - c_3	Probabilità di fibrillazione ventricolare fino a circa il 50%.
AC-4.3	Oltre la curva c_3	Probabilità di fibrillazione ventricolare superiore al 50%.

* Per durate di flusso di corrente al di sotto dei 10 ms, il limite per la corrente nel corpo relativa alla linea b rimane costante ad un valore di 200 mA.

La norma fornisce anche un grafico analogo per la corrente continua.

5 Protezione di persone

5.2 Sistemi di distribuzione

Le modalità del guasto a terra e le conseguenze che derivano dal contatto con masse in tensione, sono legate in modo determinante allo stato del neutro e al collegamento delle masse.

Per scegliere opportunamente il dispositivo di protezione occorre quindi conoscere il sistema di distribuzione dell'impianto.
La norma IEC 60364-1 classifica i sistemi elettrici di distribuzione con due lettere.

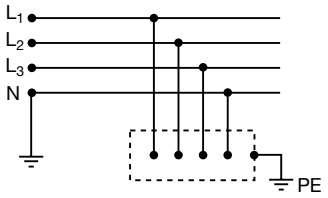
La prima lettera indica il collegamento del sistema di alimentazione rispetto a terra:
- T: collegamento diretto a terra di un punto, in corrente alternata, in genere il neutro;
- I: isolamento da terra, oppure collegamento a terra di un punto, in corrente alternata, in genere il neutro, tramite un'impedenza.

La seconda lettera indica il collegamento delle masse dell'impianto elettrico rispetto a terra:
- T: masse elettriche collegate direttamente a terra;
- N: masse elettriche collegate al punto messo a terra del sistema di alimentazione.

Eventuali lettere successive indicano la disposizione dei conduttori di neutro e di protezione:
- S: funzioni di neutro e protezione svolte da conduttori separati;
- C: funzioni di neutro e protezione svolte da un unico conduttore (conduttore PEN).

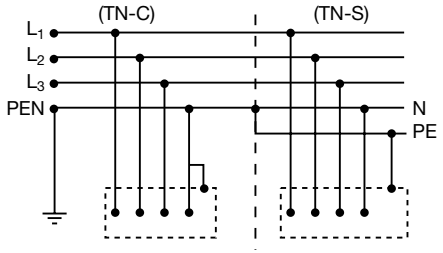
Esistono tre tipi di sistemi elettrici di distribuzione:

Sistema TT



1SDC010032F0001

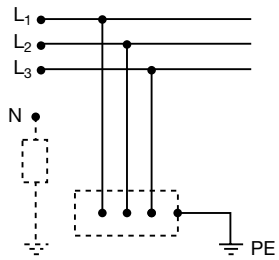
Sistema TN



1SDC010033F0001

5 Protezione di persone

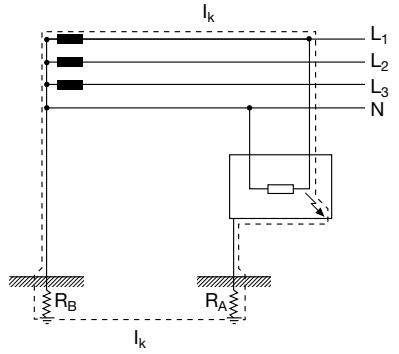
Sistema IT



1SDC010034F0001

Nel sistema **TT** il neutro e le masse sono collegati a due impianti di terra elettricamente indipendenti; la corrente di guasto si richiude nel nodo di alimentazione attraverso la terra (fig.1):

Fig. 1: Guasto a terra in un sistema TT



1SDC010035F0001

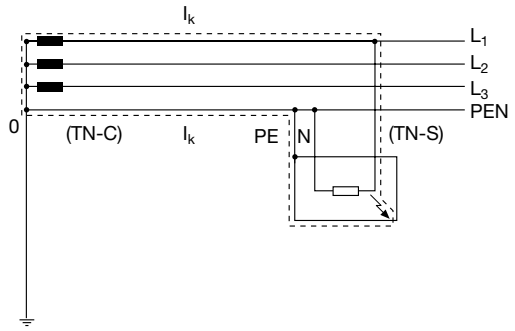
In impianti di questo tipo il neutro è connesso al centro stella dell'alimentazione, è normalmente distribuito e la sua funzione è quella di rendere disponibile la tensione di fase (es. 230 V), utile per l'alimentazione dei carichi monofase. Le masse, invece, singolarmente o a gruppi, sono collegate localmente a terra. Il sistema **TT** è generalmente utilizzato negli impianti civili.
Il sistema **TN** è tipicamente utilizzato quando si distribuisce l'energia alle utenze che dispongono di propria cabina di trasformazione. Il neutro è messo direttamente a terra in cabina; le masse sono connesse allo stesso punto di messa a terra del neutro e possono essere collegate a terra localmente.
Il sistema elettrico **TN** si distingue in tre tipi a seconda che i conduttori di neutro e di protezione siano separati o meno:

1. TN-C le funzioni di neutro e di protezione sono combinate in un unico conduttore definito PEN;
2. TN-S il conduttore di neutro N e di protezione PE sono separati;
3. TN-C-S le funzioni di neutro e di protezione sono in parte combinate in un solo conduttore PEN ed in parte separate PE + N.

5 Protezione di persone

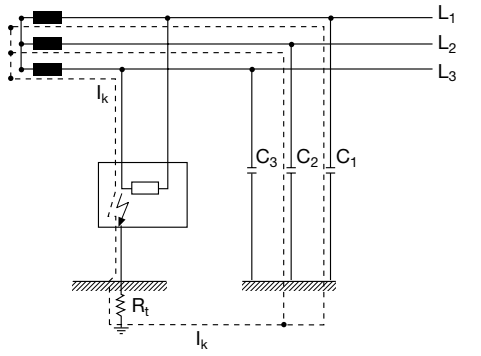
Nei sistemi **TN** la corrente di guasto si richiude nel nodo di alimentazione attraverso un collegamento metallico diretto senza praticamente interessare il dispersore di terra (fig. 2).

Fig. 2: Guasto a terra in un sistema TN



Il sistema elettrico **IT** (fig. 3) non ha parti attive collegate direttamente a terra o può essere collegato a terra tramite un'impedenza di valore elevato. Tutte le masse sono connesse ad un impianto di terra indipendente.
La corrente di guasto a terra si richiude nel nodo di alimentazione attraverso l'impianto di terra delle masse e le capacità dei conduttori di linea.

Fig. 3: Guasto a terra in un sistema IT



Questo sistema di distribuzione è utilizzato in particolari impianti nei quali la continuità di servizio è un requisito indispensabile, dove le interruzioni del servizio possono determinare situazioni pericolose per le persone o danni economici rilevanti, o dove si vuole avere un valore di corrente di primo guasto a terra particolarmente basso. L'impianto, in questi casi, dovrà essere dotato di un rilevatore in grado di controllare continuamente l'isolamento e segnalare, con dispositivi ottici o acustici, eventuali guasti a terra nella rete o guasti degli apparecchi utilizzatori.

5.3 Protezione contro i contatti diretti e indiretti

I contatti che una persona può avere con le parti in tensione si possono dividere in due categorie:
- contatti diretti;
- contatti indiretti.

Si ha un contatto diretto quando una parte del corpo umano viene a contatto con una parte dell'impianto elettrico normalmente in tensione (conduttori nudi, morsetti, ecc.).
Un contatto si dice invece indiretto quando una parte del corpo umano viene a contatto con una massa, normalmente non in tensione, ma che accidentalmente si trova in tensione in seguito a un guasto o all'usura dell'isolamento.

Le misure di protezione contro i **contatti diretti** sono:
- isolamento delle parti attive mediante un isolante che possa essere rimosso solo tramite distruzione (ad es. l'isolamento del cavo);
- barriere o involucri: le parti attive devono trovarsi entro contenitori o dietro barriere con grado di protezione almeno IP XXB o IP2X; per superfici orizzontali il grado di protezione dovrà essere IP XXD o IP4X (per il significato delle sigle dei gradi di protezione, vedere Vol.1, cap. 6.1 "Il quadro elettrico");
- ostacoli: l'interposizione di un ostacolo tra le parti attive e l'operatore previene soltanto il contatto accidentale ma non il contatto intenzionale mediante rimozione dello stesso senza attrezzi particolari;
- distanziamento: le parti simultaneamente accessibili a tensione diversa non devono essere a portata di mano.

Una misura di protezione addizionale contro i contatti diretti è costituita dagli interruttori differenziali con corrente differenziale nominale d'intervento non superiore a 30 mA. Occorre ricordare che l'uso del dispositivo differenziale quale misura di protezione contro i contatti diretti non dispensa dall'applicazione di una delle misure di protezione sopra indicate.

Le misure di protezione contro i **contatti indiretti** sono:
- interruzione automatica dell'alimentazione: un dispositivo di protezione deve interrompere automaticamente l'alimentazione al circuito in un tempo tale che la tensione di contatto nelle masse non permanga per tempi superiori a quelli che comportano degli effetti fisiopatologici nel corpo umano;
- doppio isolamento o isolamento rinforzato ad es. utilizzando componenti di classe II;

5 Protezione di persone

- locali non conduttori: un locali di tale tipo hanno un particolare valore minimo di resistenza delle pareti e del pavimento (≥ 50 kΩ per Un ≤ 500V; ≥ 100 kΩ per Un > 500V) e non ci sono conduttori di protezione all'interno;
- separazione elettrica ad es. alimentando un circuito mediante un trasformatore di isolamento;
- locali in cui le masse siano collegate fra di loro ma non connesse con la terra.

Esistono infine le seguenti misure che forniscono la protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti:
- sistema a bassissima tensione di sicurezza SELV (Safety Extra Low Voltage) e PELV (Protective Extra Low Voltage);
- sistema FELV (Functional Extra Low Voltage).

La protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti è assicurata quando è soddisfatto l'articolo 411 della Norma IEC 60364-4-41; in particolare:
- la tensione nominale non deve superare 50 V c.a. r.m.s., valore efficace in c.a., e 120 V in c.c. non ondulata;
- l'alimentazione deve provenire da una sorgente SELV o PELV;
- devono essere soddisfatte le condizioni di installazione previste per queste tipologie di circuiti elettrici.

Un circuito SELV ha le seguenti caratteristiche:
1) è alimentato da una sorgente autonoma o da una sorgente di sicurezza. Sono sorgenti autonome le pile, gli accumulatori, i gruppi elettrogeni. Sono considerate sorgenti di sicurezza le alimentazioni ottenute attraverso un trasformatore di sicurezza;
2) non ha punti a terra. È vietato collegare a terra sia le masse sia le parti attive del circuito SELV;
3) deve essere separato da altri sistemi elettrici. La separazione del sistema SELV da altri circuiti deve essere garantita per tutti i componenti; a tal fine i conduttori del circuito SELV o sono posti in canaline separate o sono muniti di una guaina isolante supplementare.

Un circuito PELV possiede gli stessi requisiti di un sistema SELV ad eccezione del divieto di avere punti a terra; infatti nei circuiti PELV almeno un punto è sempre collegato a terra.

5 Protezione di persone

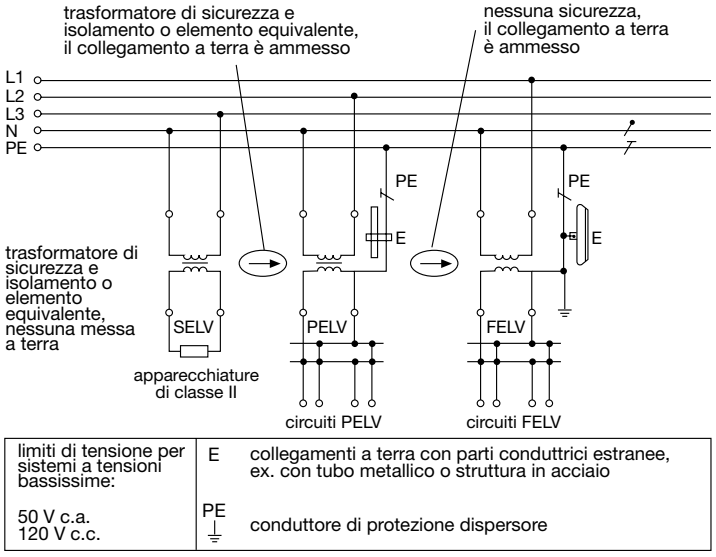
I circuiti FELV, utilizzabili quando per ragioni funzionali non possono essere soddisfatte le prescrizioni dei circuiti SELV o PELV, richiedono il rispetto delle seguenti regole:
a) la protezione contro i contatti diretti deve essere assicurata da:
- barriere o involucri con grado di protezione conforme a quanto indicato precedentemente (misure di protezione contro i contatti diretti);
- un isolamento corrispondente alla tensione minima di prova richiesta per il circuito primario. Se tale prova non è superata, l'isolamento delle parti accessibili non conduttrici del componente elettrico deve essere rinforzato durante l'installazione in modo che possa sopportare una tensione di prova di 1500 V ac r.m.s. per 60 s;

b) la protezione contro i contatti indiretti deve essere assicurata:
- dal collegamento delle masse del circuito FELV al conduttore di protezione del circuito primario a condizione che quest'ultimo risponda a una delle misure di protezione contro i contatti diretti;
- dal collegamento di una parte attiva del circuito FELV al conduttore di protezione del circuito primario, a condizione che sia applicata una misura di protezione mediante interruzione automatica del circuito al primario stesso;

c) le prese a spina del sistema FELV non devono potersi inserire in altre prese alimentate con altre tensioni e le spine di altri circuiti non devono inserirsi nelle prese del sistema FELV.

Nella figura 1 sono schematizzati i sistemi SELV PELV FELV.

Figura 1:sistema SELV, PELV, FELV

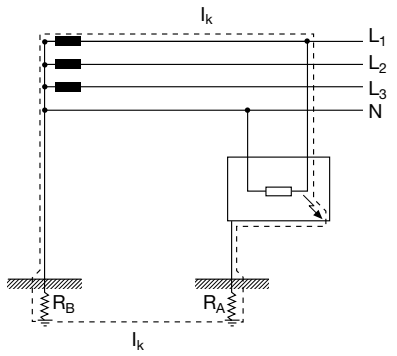


Nota 1: I dispositivi di protezione da sovracorrente non sono indicati nella figura.

5.4 Sistema di distribuzioneTT

Un guasto a terra in un sistema TT dà origine al circuito di guasto rappresentato nella figura 1:

Figura 1: Guasto a terra in un sistema TT



1SDC010035F0001

La corrente di guasto percorre l'avvolgimento secondario del trasformatore, i conduttori di fase, la resistenza di guasto, il conduttore di protezione, le resistenze di terra (della rete di terra dell'utente (R_A) e della rete di terra cui è connesso il neutro (R_B)).
In accordo con le prescrizioni della norma IEC 60364-4, i dispositivi di protezione devono essere coordinati con l'impianto di terra in modo da interrompere tempestivamente il circuito, se la tensione di contatto assume valori pericolosi per il corpo umano.

Le possibilità indicate nella norma sono due:
a) Utilizzare un differenziale rispettando la seguente relazione:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50\ V$$

Dove:
R_A è la resistenza totale, cioè la somma della resistenza del dispersore (RA e dei conduttori di protezione delle masse [Ω];
IΔn è la corrente d'intervento differenziale nominale dell'interruttore differenziale [A]

I tempi massimi di interruzione sono quelli indicati nella tabella 1 per circuiti terminali con correnti non superiori a 32A oppure entro 1 secondo nei circuiti di distribuzione e per circuiti terminali con correnti superiori a 32A.
I tempi massimi (riportati in tabella) si riferiscono a correnti di guasto significativamente più elevate della corrente differenziale nominale dell'interruttore differenziale (tipicamente 5 IΔn).

5 Protezione di persone

b) Utilizzare un dispositivo di protezione rispettando la seguente relazione:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

Dove:
Z_S è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto, il conduttore di protezione delle masse, il conduttore di protezione, la resistenza del dispersore (RA) e la resistenza del dispersore della sorgente;
I_a è la corrente di intervento entro i tempi indicati nella tabella 1 per circuiti terminali con correnti non superiori a 32A oppure entro 1 secondo nei circuiti di distribuzione e per circuiti terminali con correnti superiori a 32A.
U_0 è la tensione nominale tra fase e terra dell'impianto (V).

Tabella 1: Tempi massimi di interruzione per i sistemi TT

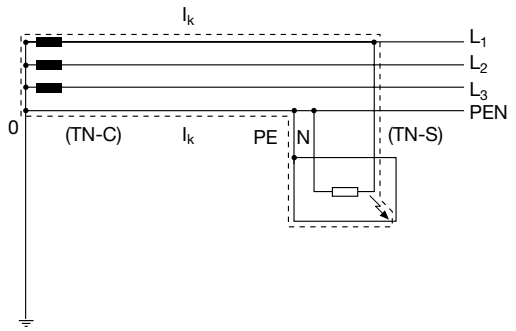
	$50\ v < U_0 \leq 120\ V$ s		$120\ v < U_0 \leq 230\ V$ s		$230\ v < U_0 \leq 400\ V$ s		$U_0 > 400\ V$ s	
Sistema	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
TT	0.3	Nota 1	0.2	0.4	0.07	0.2	0.04	0.1
Quando nei sistemi TT il sezionamento è ottenuto tramite un dispositivo di protezione contro le sovracorrenti ed il collegamento equipotenziale di protezione è connesso a tutte le masse estranee all'interno dell'impianto, è possibile utilizzare i tempi di sezionamento massimi applicabili ai sistemi TN. Nota 1: La disconnessione può essere richiesta per ragioni diverse da quelle relative alla protezione contro lo shock.								

Inoltre se l'interruzione automatica non può essere ottenuta rispettando i tempi della tabella o entro il tempo convenzionale è necessario realizzare un collegamento equipotenziale locale connesso a terra.

5.5 Sistema di distribuzione TN

Un guasto a terra in un sistema TN dà origine al circuito di guasto rappresentato nella figura 1:

Fig. 1: Guasto a terra nel sistema TN



1SDC010036F0001

Tale circuito di guasto non coinvolge l'impianto di terra ed è costituito essenzialmente dai conduttori di fase in serie con il conduttore di protezione.
Per attuare la protezione con interruzione automatica del circuito, secondo quanto previsto dalla norma IEC 60364-4, occorre soddisfare la condizione:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

Dove:

Z_S è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto e il conduttore di protezione tra il guasto e la sorgente [Ω];

U_0 è a tensione nominale tra fase e terra dell'impianto [V];

I_a è il valore della corrente di intervento del dispositivo di protezione entro il tempo definito nella tabella 2 in funzione della tensione nominale U_0 per circuiti terminali con correnti non superiori a 32A oppure entro 5 secondi per i circuiti di distribuzione e per i circuiti terminali con correnti superiori a 32A.

Tabella 2: Tempi massimi di interruzione per i sistemi TN

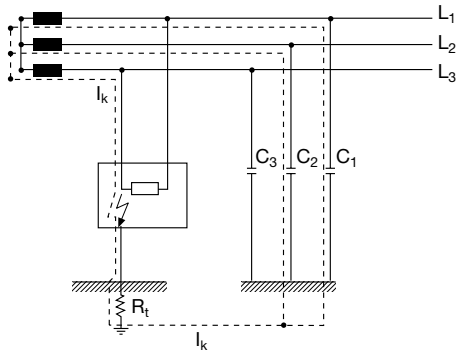
	$50 v < U_0 \leq 120 V$ s		$120 v < U_0 \leq 230 V$ s		$230 v < U_0 \leq 400 V$ s		$U_0 > 400 V$ s	
Sistema	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
TN	0.8	Nota 1	0.4	5	0.2	0.4	0.1	0.1
Nota 1: La disconnessione può essere richiesta per ragioni diverse da quelle relative alla protezione contro lo shock.								

Inoltre se l'interruzione automatica non può essere ottenuta rispettando i tempi della tabella o entro il tempo convenzionale è necessario realizzare un collegamento equipotenziale locale connesso a terra.

5.6 Sistema di distribuzione IT

Come si può vedere dalla figura 1, la corrente di guasto a terra in un sistema IT si richiude attraverso le capacità verso terra dell'impianto; pertanto la corrente di primo guasto verso terra risulterà essere di valore estremamente ridotto, al punto da non determinare alcun intervento delle protezioni di massima corrente; le tensioni di contatto originate assumeranno di conseguenza valori particolarmente bassi.

Fig.1: Guasto a terra in un sistema IT



1SDC010037F0001

Secondo la norma IEC 60364-4, non è necessaria l'interruzione automatica del circuito nel caso di un singolo guasto a terra purché sia verificata la condizione:

$$R_t \cdot I_d \leq U_L$$

dove:

R_t è la resistenza del dispersore al quale sono collegate le masse [Ω];

I_d è la corrente di guasto in Ampere, del primo guasto di impedenza trascurabile tra un conduttore di linea ed una massa, tale valore tiene conto delle correnti di dispersione e dell'impedenza totale verso terra dell'impianto elettrico;

U_L vale 50 V per ambienti ordinari (25 V per ambienti particolari).

Se questa condizione è rispettata, successivamente al primo guasto, sulla massa si ha il permanere di una tensione di contatto minore di 50 V, sopportabile dal corpo umano per un tempo indefinito.

5 Protezione di persone

Negli impianti che adottano il sistema IT si deve prevedere un dispositivo di controllo dell'isolamento per segnalare la presenza della condizione anomala una volta manifestatosi un primo guasto; nel caso di un secondo guasto occorre interrompere l'alimentazione secondo le seguenti modalità:

a) quando le masse sono collegate a terra per gruppi o individualmente le condizioni per la protezione sono analoghe a quelle indicate per il sistema TT (vedi cap. 5.4 "Sistema di distribuzione TT");
b) quando le masse sono interconnesse collettivamente da un conduttore di protezione, si applicano le prescrizioni relative al sistema TN in particolare:

$$Z_s \leq \frac{U_n}{2 \cdot I_a}$$

quando il neutro è distribuito si deve verificare la seguente condizione:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

In cui:
- U_0 è la tensione nominale tra fase e neutro [V];
- U_n è la tensione nominale tra fase e fase [V];
- Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal conduttore di fase e dal conduttore di protezione del circuito [Ω];
- Z'_s è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal conduttore di neutro e dal conduttore di protezione del circuito [Ω];
- I_a è il valore di corrente di intervento del dispositivo di protezione entro i tempi definiti per i sistemi TN.

La norma IEC 60364-4 prevede che, se le condizioni di cui al precedente punto b) non possono essere soddisfatte con l'uso di dispositivi di protezione di sovracorrente, si deve prevedere una protezione mediante un interruttore differenziale che protegga ciascun apparecchio utilizzatore.

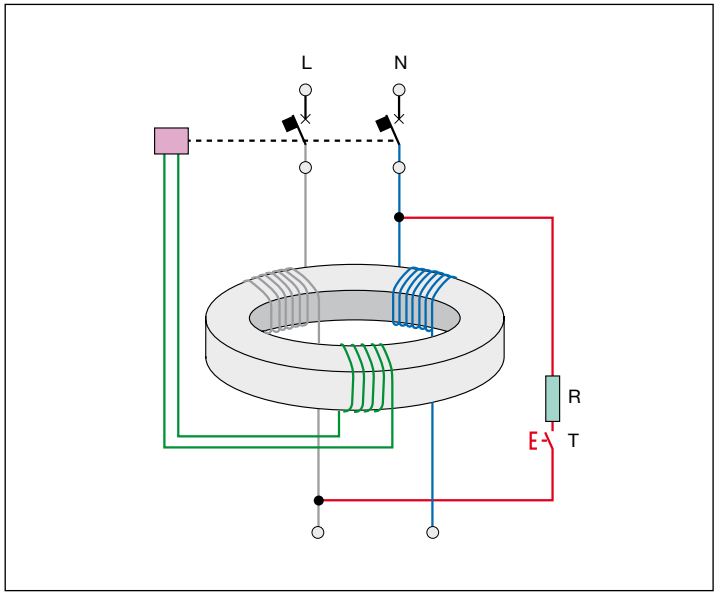
Le soglie del dispositivo differenziale vanno definite opportunamente in modo da evitare interventi intempestivi legati anche alle particolari condizioni di richiusura della corrente di primo guasto (la linea sana con capacità maggiore verso terra potrebbe essere percorsa da una corrente di guasto superiore rispetto alla linea guasta).

5.7 Dispositivi a corrente differenziale

Generalità sugli interruttori differenziali

Il principio di funzionamento dello sganciatore differenziale consiste essenzialmente nel rilevare la corrente di guasto a terra mediante un trasformatore toroidale che abbraccia tutti i conduttori attivi compreso il neutro, se distribuito.

Figura 1: Principio di funzionamento del relè differenziale



In assenza di guasto a terra la somma vettoriale delle correnti I_Δ è zero; in caso di guasto a terra se il valore di I_Δ supera il valore di soglia di intervento I_Δ, il circuito posto al secondario del toroide invia un segnale di comando a un apposito sganciatore di apertura che provoca l'intervento dell'interruttore.
Una prima classificazione degli interruttori differenziali può essere fatta secondo la tipologia di corrente di guasto che possono rilevare:
- tipo AC: lo sgancio è assicurato per correnti alternate sinusoidali differenziali;
- tipo A: lo sgancio è assicurato per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti differenziali pulsanti unidirezionali;
- tipo B: lo sgancio è assicurato per correnti differenziali continue oltre che per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti differenziali pulsanti unidirezionali.

Un'ulteriore classificazione secondo il ritardo d'intervento:
- tipo non ritardato
- tipo S selettivo con ritardo intenzionale.

5 Protezione di persone

Il dispositivo differenziale può essere abbinato, o meno, ad altri apparecchi; è possibile distinguere tra:
- differenziali puri: sono dotati del solo sganciatore differenziale e quindi garantiscono solo la protezione verso terra. Devono essere accoppiati a interruttori magnetotermici o a fusibili per la protezione dalle sollecitazioni termiche e dinamiche;
- differenziali magnetotermici: sono costituiti dalla combinazione di uno sganciatore magnetico, termico e differenziale e sono destinati alla protezione dalle sovracorrenti e dalle correnti di guasto verso terra;
- differenziali con toroide separato: sono impiegati negli impianti industriali caratterizzati da forti intensità di corrente. Sono realizzati con relè, costituiti da un toroide sul quale è disposto l'avvolgimento di rilevazione della corrente differenziale, che viene utilizzato per comandare il meccanismo di sgancio di un interruttore o di un contattore di linea.

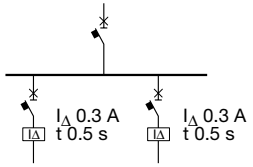
Detta $I_{\Delta n}$ la corrente differenziale d'intervento, un parametro dei dispositivi differenziali molto importante è la corrente differenziale di non intervento che rappresenta il valore massimo della corrente differenziale che non provoca l'apertura dei contatti ed è pari a 0.5 $I_{\Delta n}$. Si può quindi affermare che:
- per $I_\Delta < 0.5 \cdot I_{\Delta n}$ il differenziale non interviene;
- per $0.5 \cdot I_{\Delta n} < I_\Delta < I_{\Delta n}$ il differenziale può intervenire o meno;
- per $I_\Delta > I_{\Delta n}$ il differenziale sicuramente interviene.

Nella scelta della corrente differenziale nominale d'intervento si deve tenere conto, oltre che del coordinamento con l'impianto di terra, anche dell'insieme delle correnti di dispersione dell'impianto, la cui somma vettoriale sulle singole fasi, se si vogliono evitare scatti intempestivi, non deve superare $0.5 \cdot I_{\Delta n}$.

Selettività tra dispositivi differenziali

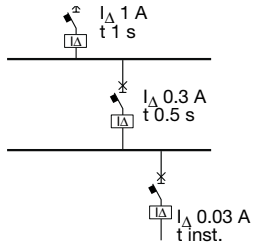
La norma IEC 60364-5-53 consiglia la realizzazione di un coordinamento selettivo, per ragioni di esercizio, tra dispositivi differenziali disposti in serie allo scopo di non fare mancare l'alimentazione delle parti dell'impianto non interessate dall'eventuale guasto. Questa selettività può essere ottenuta installando dispositivi differenziali in modo che solo il più vicino al guasto interrompa l'alimentazione.
Si parla in questo caso di selettività differenziale e si possono distinguere due tipi di selettività:
- selettività differenziale orizzontale: consiste nel proteggere ogni singola linea con un interruttore differenziale; in questo modo, in caso di guasto a terra, viene messa fuori servizio solo la partenza interessata al guasto in quanto gli altri interruttori differenziali non rilevano alcuna corrente di guasto. Occorre però prendere dei provvedimenti per la protezione dai contatti indiretti nella parte di quadro e di impianto a monte del dispositivo differenziale;
- selettività differenziale verticale: si realizza con interruttori differenziali posti in serie.

Figura 2: Selettività orizzontale tra dispositivi differenziali



5 Protezione di persone

Figura 3: Selettività verticale tra dispositivi differenziali



Conformemente alla IEC 60364-5-53 per assicurare la selettività dei due dispositivi differenziali in serie, questi devono soddisfare simultaneamente le seguenti due condizioni:
- la caratteristica di non funzionamento tempo-corrente del dispositivo posto a monte si deve trovare al di sopra della caratteristica di interruzione tempo-corrente del dispositivo posto a valle;
- la corrente differenziale nominale del dispositivo posto a monte deve essere adeguatamente superiore a quella del dispositivo posto a valle.

La caratteristica di non funzionamento tempo-corrente è la curva che riporta il ritardo massimo durante il quale una corrente differenziale più elevata di quella nominale di non intervento (pari a $0.5 \cdot I_{\Delta n}$) fluisce nell'interruttore differenziale senza provocarne l'intervento.
Riassumendo per ottenere la selettività differenziale tra due dispositivi posti in serie:
- per interruttori differenziali di tipo S a monte (conformi a IEC 61008-1 e IEC 61009), di tipo ritardato, bisogna scegliere interruttori a valle di tipo generale con $I_{\Delta n}$ tre volte inferiore;
- per sganciatori differenziali elettronici (RC221/222/223, RCQ) è sufficiente scegliere il dispositivo a monte con la regolazione delle soglie di tempo e di corrente immediatamente maggiori di quelle del dispositivo a valle tenendo opportunamente conto delle tolleranze (vedere volume 1, cap. 2.3: Tipo di sganciatori).

Per la protezione contro i contatti indiretti nei circuiti di distribuzione dei sistemi TT il tempo di interruzione massimo a $I_{\Delta n}$ è 1 s (IEC 60364-4-41,§ 413.1).

5.8 Lunghezza massima protetta per le protezioni di persone

Come visto nei capitoli precedenti le Norme danno indicazioni circa i tempi massimi di intervento delle protezioni affinché non ci siano effetti patofisiologici per le persone che vengano a contatto con parti in tensione.
Nella protezione contro i contatti indiretti occorre verificare che l'interruttore intervenga entro un tempo inferiore a quello massimo indicato dalla norma; ciò si traduce nel confrontare la corrente di cortocircuito minima che si ha in corrispondenza della massa da proteggere con quella d'intervento dell'interruttore nel tempo prefissato dalla norma.
Come corrente di cortocircuito minima si considera quella corrispondente ad un cortocircuito tra fase e conduttore di protezione nel punto più lontano della conduttura protetta.
Per il calcolo della minima corrente di cortocircuito è possibile utilizzare il seguente metodo approssimato sotto le ipotesi:

- di ammettere un aumento del 50% della resistenza dei conduttori, rispetto al valore a 20 °C, dovuto al riscaldamento causato dalla corrente di cortocircuito;
- di tener conto di una riduzione all'80% della tensione di alimentazione per effetto della corrente di cortocircuito;
- di considerare le reattanze dei conduttori solo per sezioni superiori a 95 mm^2.

La formula fornita è l'applicazione della legge di Ohm tra il dispositivo di protezione e il punto di guasto.

Legenda dei simboli e delle costanti usati nella formula:

- 0.8 è il coefficiente che tiene conto dell'abbassamento della tensione;
- 1.5 è il coefficiente che tiene conto dell'aumento della resistenza;
- 1.2 è la tolleranza sull'intervento magnetico ammessa dalla norma.
- U_n è la tensione nominale concatenata;
- U_0 è la tensione nominale fase terra;
- S è la sezione di fase;
- S_N è la sezione del neutro;
- S_{PE} è la sezione del conduttore di protezione;
- ρ è la resistività a 20 °C del conduttore;
- L è la lunghezza del cavo;
- $m=\frac{S\cdot n}{S_{PE}}$ è il rapporto tra la sezione di fase S,

  complessiva quindi moltiplicata per n conduttori in parallelo, e la sezione del conduttore di protezione S_{PE} nell'ipotesi che siano dello stesso materiale conduttore;
- $m_1=\frac{S_N\cdot n}{S_{PE}}$ è il rapporto tra la sezione del neutro S_N,

  complessiva quindi moltiplicata per n conduttori in parallelo, e la sezione del conduttore di protezione S_{PE} nell'ipotesi che siano dello stesso materiale conduttore;
- k_1 è il fattore che tiene conto della reattanza dei cavi per sezioni superiori a 95 mm^2 ricavabile dalla seguente tabella:

Sezione del conduttore di fase [mm^2]	120	150	185	240	300
k_1	0.90	0.85	0.80	0.75	0.72

5 Protezione di persone

- k_2 è il fattore che tiene conto della presenza di cavi in parallelo ricavabile dalla formula:

$$k_2 = 4\frac{n-1}{n}$$

- dove n è il numero di conduttori in parallelo per fase;

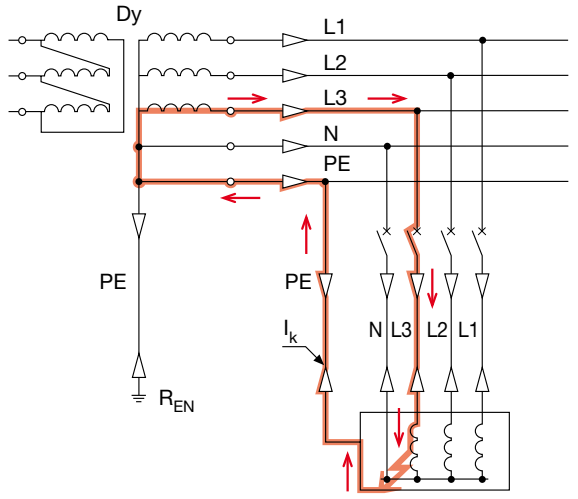
Sistema di distribuzione TN

La formula per il calcolo della corrente di corto circuito minima è:

$$I_{k\,min} = \frac{0.8\cdot U_0\cdot S}{1.5\cdot 1.2\cdot \rho\cdot (1+m)\cdot L}\cdot k_1\cdot k_2$$

Sostituendo I_{kmin} con l'intervento magnetico dell'interruttore (comprensivo della tolleranza) si ricava:

$$L = \frac{0.8\cdot U_0\cdot S}{1.5\cdot 1.2\cdot \rho\cdot (1+m)\cdot I_3}\cdot k_1\cdot k_2$$



Sistema di distribuzione IT

Le formule che seguono sono valide nel caso in cui un doppio guasto faccia evolvere il sistema IT in un sistema TN.
Occorre esaminare separatamente il caso di una rete con neutro non distribuito e una con neutro distribuito.

5 Protezione di persone

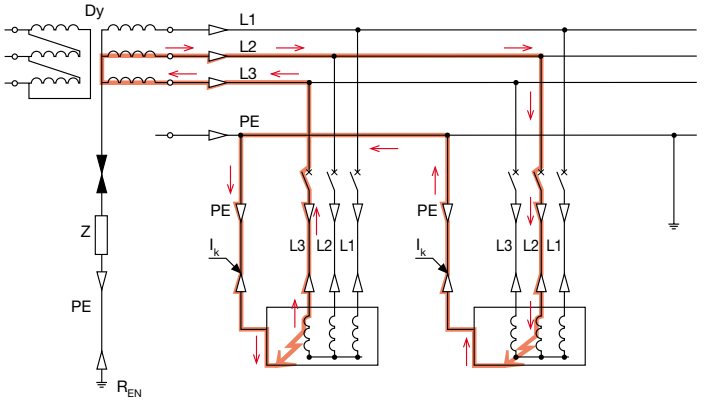
Neutro non distribuito

In caso di un doppio guasto la formula diventa:

$$I_{k\,min} = \frac{0.8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Sostituendo I_{kmin} con l'intervento magnetico dell'interruttore (comprensivo della tolleranza) si ricava:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_3} \cdot k_1 \cdot k_2$$



1SDC010044F0001

Neutro distribuito

Caso A: circuiti trifasi in un sistema di distribuzione IT con neutro distribuito
In questo caso la formula diventa:

$$I_{k\,min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Sostituendo I_{kmin} con l'intervento magnetico dell'interruttore (comprensivo della tolleranza) si ricava:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_3} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Caso B: circuiti trifasi con neutro in un sistema di distribuzione IT con neutro distribuito

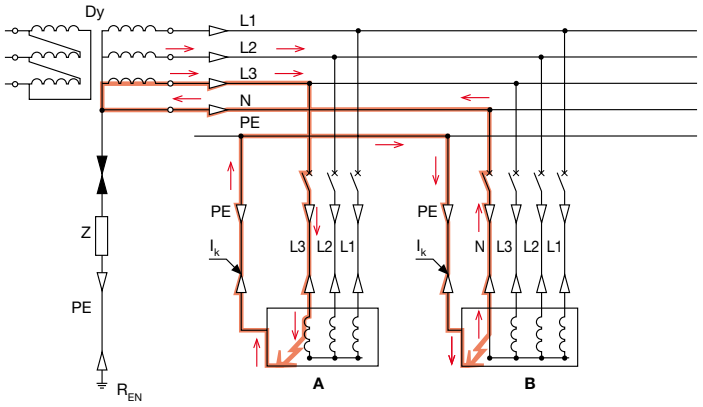
In questo caso la formula diventa:

$$I_{k\,min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m_1) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Sostituendo I_{kmin} con l'intervento magnetico dell'interruttore (comprensivo della tolleranza) si ricava:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m_1) \cdot I_3} \cdot k_1 \cdot k_2$$

5 Protezione di persone



1SDC010045F0001

Note per l'utilizzo delle tabelle

Le tabelle che riportano le lunghezze massime protette sono state ricavate considerando le seguenti condizioni:

- un solo cavo per fase;
- tensione di esercizio pari a 400 V (sistema trifase);
- cavi in rame;
- neutro non distribuito, soltanto per sistema di distribuzione IT;
- sezione del conduttore di protezione come da Tabella 1:

Tabella 1: sezione del conduttore di protezione.

Sezione del conduttore di fase S [mm²]	Sezione del conduttore di protezione S_{PE} [mm²]
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

Nota: conduttore di fase e di protezione dello stesso materiale isolante e conduttore

Quando viene utilizzata la funzione S (cortocircuito ritardato) dei relé elettronici per definire la lunghezza massima protetta, è necessario verificare che il tempo di intervento sia inferiore a quanto riportato nel Capitolo 5.5 Tabella 1 per i sistemi TN.

Per condizioni differenti da quelle di riferimento occorre utilizzare i coefficienti di correzione di seguito riportati.

5 Protezione di persone

Fattori di correzione

Fattore di correzione per più cavi in parallelo per fase: occorre moltiplicare il valore della lunghezza massima protetta letta in Tabella 2 (sistemi TN) o Tabella 3 (sistemi IT) per il seguente fattore:

n	2	3	4	5	6	7	8
k_p	2	2.7	3	3.2	3.3	3.4	3.5

n numero di conduttori in parallelo per fase

Fattore di correzione per tensioni di esercizio trifase diverse da 400 V: occorre moltiplicare il valore della lunghezza massima protetta letta in tabella 2 (sistemi TN) o tabella 3 (sistemi IT) per il fattore:

tensione [V]	230	400	440	500	690
k_V	0.58	1	1.1	1.25	1.73

Per reti monofase a 230 V non occorre applicare alcun coefficiente.

Fattore di correzione per cavi in alluminio: occorre moltiplicare il valore della lunghezza massima protetta letta in Tabella 2 (sistemi TN) o Tabella 3 (sistemi IT) per il fattore:

k_{Al}	0.64

Fattore di correzione per sezione del conduttore di protezione S_{PE} diversa da quella standard prevista nella Tabella 1: occorre moltiplicare il valore della lunghezza massima protetta per il coefficiente letto in corrispondenza della sezione del conduttore di fase e del rapporto tra la sezione del PE e quella del conduttore di fase:

S_{PE}/S	0.5	0.55	0.6	0.66	0.75	0.87	1	1.25	1.5	2
S					k_{PE}					
≤16 mm²	0.67	0.71	0.75	0.80	0.86	0.93	1.00	1.11	1.20	1.33
25 mm²	0.85	0.91	0.96	1.02	1.10	1.19	1.28	1.42	1.54	1.71
35 mm²	1.06	1.13	1.20	1.27	1.37	1.48	1.59	1.77	1.91	2.13
>35 mm²	1.00	1.06	1.13	1.2	1.29	1.39	1.5	1.67	1.8	2.00

Fattore di correzione nel caso in cui il neutro sia distribuito in sistemi IT (solo per la Tabella 3): occorre moltiplicare il valore della lunghezza massima protetta per 0.58.

5 Protezione di persone

Sistema TN lunghezza massima protetta

Tabella 2.1: Curva Z

CURVA		**Z**	**Z**	**Z**	**Z**	**Z**	**Z**	**Z**	**Z**	**Z**
In		**≤10**	**13**	**16**	**20**	**25**	**32**	**40**	**50**	**63**
I3		**30**	**39**	**48**	**60**	**75**	**96**	**120**	**150**	**189**
S	**S_{PE}**									
1.5	1.5	173	133	108	86	69	54	43		
2.5	2.5	288	221	180	144	115	90	72	58	45
4	4	461	354	288	231	185	144	115	92	72
6	6	692	532	432	346	277	216	173	138	108
10	10	1153	886	721	577	461	360	288	231	180
16	16	1845	1419	1153	923	738	577	461	369	288
25	16	2250	1730	1406	1125	900	703	563	450	352

Tabella 2.2: Curva B

CURVA		**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**
In		**≤6**	**8**	**10**	**13**	**16**	**20**	**25**	**32**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**
I3		**30**	**40**	**50**	**65**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**
S	**S_{PE}**													
1.5	1.5	173	130	104	80	65	52	42	32	26				
2.5	2.5	288	216	173	133	108	86	69	54	43	35	27		
4	4	461	346	277	213	173	138	111	86	69	55	44	35	28
6	6	692	519	415	319	259	208	166	130	104	83	66	52	42
10	10	1153	865	692	532	432	346	277	216	173	138	110	86	69
16	16	1845	1384	1107	852	692	554	443	346	277	221	176	138	111
25	16	2250	1688	1350	1039	844	675	540	422	338	270	214	169	135
35	16												190	152

Tabella 2.3: Curva C

CURVA		**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**
In		**≤3**	**4**	**6**	**8**	**10**	**13**	**16**	**20**	**25**	**32**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**
I3		**30**	**40**	**60**	**80**	**100**	**130**	**160**	**200**	**250**	**320**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**
S	**S_{PE}**																
1.5	1.5	173	130	86	65	52	40	32	26	21	16	13					
2.5	2.5	288	216	144	108	86	67	54	43	35	27	22	17	14			
4	4	461	346	231	173	138	106	86	69	55	43	35	28	22	17	14	11
6	6	692	519	346	259	208	160	130	104	83	65	52	42	33	26	21	17
10	10	1153	865	577	432	346	266	216	173	138	108	86	69	55	43	35	28
16	16	1845	1384	923	692	554	426	346	277	221	173	138	111	88	69	55	44
25	16	2250	1688	1125	844	675	519	422	338	270	211	169	135	107	84	68	54
35	16														95	76	61

5 Protezione di persone

Sistema TN lunghezza massima protetta

Tabella 2.4: Curva K

CURVA		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
In		≤2	≤3	4	4.2	5.8	6	8	10	11	13	15	16	20	25	26	32	37	40	41	45	50	63
I3		28	42	56	59	81	84	112	140	154	182	210	224	280	350	364	448	518	560	574	630	700	882
S	S_{PE}																						
1.5	1.5	185	123	92	88	64	62	46	37	34	28	25	23	18	15	14	12	10	9				
2.5	2.5	308	205	154	146	106	103	77	62	56	47	41	38	31	25	24	19	17	15	15	14		
4	4	492	328	246	234	170	164	123	98	89	76	66	62	49	39	38	31	27	25	24	22	20	16
6	6	738	492	369	350	255	246	185	148	134	114	98	92	74	59	57	46	40	37	36	33	30	23
10	10	1231	820	615	584	425	410	308	246	224	189	164	154	123	98	95	77	67	62	60	55	49	39
16	16	1969	1313	984	934	681	656	492	394	358	303	263	246	197	158	151	123	106	98	96	88	79	63
25	16	2401	1601	1201	1140	830	800	600	480	437	369	320	300	240	192	185	150	130	120	117	107	96	76

Tabella 2.5: Curva D

CURVA		D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
In		≤2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100
I3		40	60	80	120	160	200	260	320	400	500	640	800	1000	1260	1600	2000
S	S_{PE}																
1.5	1.5	130	86	65	43	32	26	20	16	13	10	8	6				
2.5	2.5	216	144	108	72	54	43	33	27	22	17	14	11	9	7		
4	4	346	231	173	115	86	69	53	43	35	28	22	17	14	11	9	7
6	6	519	346	259	173	130	104	80	65	52	42	32	26	21	16	13	10
10	10	865	577	432	288	216	173	133	108	86	69	54	43	35	27	22	17
16	16	1384	923	692	461	346	277	213	173	138	111	86	69	55	44	35	28
25	16	1688	1125	844	563	422	338	260	211	169	135	105	84	68	54	42	34
35	16															47	38

5 Protezione di persone

Sistema TN lunghezza massima protetta

Tabella 2.6: TmaxT1 TMD

		T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
	In	≤50	≤50	63	80	100	125	160
	I3	500 A	630 A	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	S_{PE}							
1.5	1.5	6						
2.5	2.5	10						
4	4	15	12	12	10	8	6	
6	6	23	18	18	14	12	9	7
10	10	38	31	31	24	19	15	12
16	16	62	49	49	38	31	25	19
25	16	75	60	60	47	38	30	23
35	16	84	67	67	53	42	34	26
50	25	128	102	102	80	64	51	40
70	35	179	142	142	112	90	72	56
95	50	252	200	200	157	126	101	79

Tabella 2.7: Tmax T2 TMD

		T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
	In	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	12.5	16÷50	63	80	100	125	160
	I3	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	500 A	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	S_{PE}																
1.5	1.5	246	197	157	123	98	79	62	49	39	31	8					
2.5	2.5	410	328	262	205	164	131	104	82	66	52	13					
4	4	655	524	419	328	262	210	166	131	105	84	21	17	13	10	8	
6	6	983	786	629	491	393	315	250	197	157	126	31	25	20	16	13	10
10	10	1638	1311	1048	819	655	524	416	328	262	210	52	42	33	26	21	16
16	16	2621	2097	1677	1311	1048	839	666	524	419	335	84	67	52	42	34	26
25	16				1598	1279	1023	812	639	511	409	102	81	64	51	41	32
35	16						1151	914	720	576	460	115	91	72	58	46	36
50	25								1092	874	699	175	139	109	87	70	55
70	35										979	245	194	153	122	98	76
95	50											343	273	215	172	137	107
120	70											417	331	261	209	167	130
150	95											518	411	324	259	207	162
185	95											526	418	329	263	211	165

5 Protezione di persone

Sistema TN lunghezza massima protetta

Tabella 2.8: Tmax T3 TMD

		T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
	In	63	80	100	125	160	200	250
	I_3	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	S_{PE}							
4	4	17	13	10	8			
6	6	25	20	16	13	10	8	
10	10	42	33	26	21	16	13	10
16	16	67	52	42	34	26	21	17
25	16	81	64	51	41	32	26	20
35	16	91	72	58	46	36	29	23
50	25	139	109	87	70	55	44	35
70	35	194	153	122	98	76	61	49
95	50	273	215	172	137	107	86	69
120	70	331	261	209	167	130	104	83
150	95	411	324	259	207	162	130	104
185	95	418	329	263	211	165	132	105
240	120	499	393	315	252	197	157	126

Tabella 2.9: Tmax T4 TMD/TMA

		T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4
	In	20	32	50	80	100	125	160	200	250
	I_3	320 A	10 In	10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In
S	S_{PE}									
1.5	1.5	14	14	9	11...5	9...4	7...3	5...3	4...2	3...2
2.5	2.5	23	23	14	18...9	14...7	12...6	9...5	7...4	6...3
4	4	36	36	23	29...14	23...12	18...9	14...7	12...6	9...5
6	6	54	54	35	43...22	35...17	28...14	22...11	17...9	14...7
10	10	90	90	58	72...36	58...29	46...23	36...18	29...14	23...12
16	16	144	144	92	115...58	92...46	74...37	58...29	46...23	37...18
25	16	176	176	113	141...70	113...56	90...45	70...35	56...28	45...23
35	16	198	198	127	158...79	127...63	101...51	79...40	63...32	51...25
50	25	300	300	192	240...120	192...96	154...77	120...60	96...48	77...38
70	35	420	420	269	336...168	269...135	215...108	168...84	135...67	108...54
95	50	590	590	378	472...236	378...189	302...151	236...118	189...94	151...76
120	70	717	717	459	574...287	459...229	367...184	287...143	229...115	184...92
150	95	891	891	570	713...356	570...285	456...228	356...178	285...143	228...114
185	95	905	905	579	724...362	579...290	463...232	362...181	290...145	232...116
240	120	1081	1081	692	865...432	692...346	554...277	432...216	346...173	277...138
300	150	1297	1297	830	1038...519	830...415	664...332	519...259	415...208	332...166

5 Protezione di persone

Sistema TN lunghezza massima protetta

Tabella 2.10: Tmax T5-T6 TMA

		T5	T5	T5	T6	T6
	In	320	400	500	630	800
	I_3	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In
S	S_{PE}					
1,5	1,5	3…1	2…1	2…1	1…1	1…1
2,5	2,5	5…2	4…2	3…1	2…1	2…1
4	4	7…4	6…3	5…2	4…2	3…1
6	6	11…5	9…4	7…3	5…3	4…2
10	10	18…9	14…7	12…6	9…5	7…4
16	16	29…14	23…12	18…9	15…7	12…6
25	16	35…18	28…14	23…11	18…9	14…7
35	16	40…20	32…16	25…13	20…10	16…8
50	25	60…30	48…24	38…19	31…15	24…12
70	35	84…42	67…34	54…27	43…21	34…17
95	50	118…59	94…47	76…38	60…30	47…24
120	70	143…72	115…57	92…46	73…36	57…29
150	95	178…89	143…71	114…57	91…45	71…36
185	95	181…90	145…72	116…58	92…46	72…36
240	120	216…108	173…86	138…69	110…55	86…43
300	150	259…130	208…104	166…83	132…66	104…52

Tabella 2.11: Tmax T2 con PR221

		T2	T2	T2	T2	T2
	In	10	25	63	100	160
	I_3	5.5 In	5.5 In	5.5 In	5.5 In	5.5 In
S	S_{PE}					
1.5	1.5	79	31	12		
2.5	2.5	131	52	21		
4	4	210	84	33	21	
6	6	315	126	50	31	20
10	10	524	210	83	52	33
16	16	839	335	133	84	52
25	16	1023	409	162	102	64
35	16	1151	460	183	115	72
50	25	1747	699	277	175	109
70	35	2446	979	388	245	153
95	50	3434	1374	545	343	215
120	70	4172	1669	662	417	261
150	95	5183	2073	823	518	324
185	95	5265	2106	836	526	329

Nota: se l'impostazione della funzione I è diversa dal valore di riferimento (5.5), il valore della lunghezza massima protetta sarà moltiplicato per il rapporto tra il valore di riferimento ed il valore impostato.

5 Protezione di persone

Sistema TN lunghezza massima protetta

Tabella 2.12: Tmax T4-T5-T6 con PR221 - PR222 - PR223 Tmax T7 con PR231 -PR232 - PR331 - PR332

		T4	T4	T4	T4	T5	T5	T5	T6	T6	T6	T7	T7	T7	T7
	In	100	160	250	320	320	400	630	630	800	1000	800	1000	1250	1600
	I_3	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In
S	S_{PE}														
1,5	1,5														
2,5	2,5														
4	4														
6	6	29	18												
10	10	48	30	19											
16	16	77	48	31	24	24	19								
25	16	94	59	38	30	30	24	15							
35	16	106	66	43	33	33	27	17							
50	25	161	101	65	50	50	40	26	26	20		20			
70	35	226	141	90	71	71	56	36	36	28	23	28	23	18	14
95	50	317	198	127	99	99	79	50	50	40	32	40	32	25	20
120	70	385	241	154	120	120	96	61	61	48	39	48	39	31	24
150	95	478	299	191	150	150	120	76	76	60	48	60	48	38	30
185	95	486	304	194	152	152	121	77	77	61	49	61	49	39	30
240	120	581	363	232	181	181	145	92	92	73	58	73	58	46	36
300	150	697	435	279	218	218	174	111	111	87	70	87	70	55	43

Nota: se l'impostazione della funzione I è diversa dal valore di riferimento (6.5), il valore della lunghezza massima protetta sarà moltiplicato per il rapporto tra il valore di riferimento ed il valore impostato.

5 Protezione di persone

Sistema IT lunghezza massima protetta

Tabella 3.1: Curva Z

CURVA		Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
In		≤8	10	13	16	20	25	32	40	50	63
I_3		30	30	39	48	60	75	96	120	150	189
S	S_{PE}										
1.5	1.5	150	150	115	94	75	60	47	37		
2.5	2.5	250	250	192	156	125	100	78	62	50	40
4	4	400	400	307	250	200	160	125	100	80	63
6	6	599	599	461	375	300	240	187	150	120	95
10	10	999	999	768	624	499	400	312	250	200	159
16	16	1598	1598	1229	999	799	639	499	400	320	254
25	16	1949	1949	1499	1218	974	780	609	487	390	309

Tabella 3.2: Curva B

CURVA		B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
In		≤6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100
I_3		30	40	50	65	80	100	125	160	200	250	315	400	500
S	S_{PE}													
1.5	1.5	150	112	90	69	56	45	36	28	22				
2.5	2.5	250	187	150	115	94	75	60	47	37	30	24		
4	4	400	300	240	184	150	120	96	75	60	48	38	30	24
6	6	599	449	360	277	225	180	144	112	90	72	57	45	36
10	10	999	749	599	461	375	300	240	187	150	120	95	75	60
16	16	1598	1199	959	738	599	479	384	300	240	192	152	120	96
25	16	1949	1462	1169	899	731	585	468	365	292	234	186	146	117
35	16												165	132

Tabella 3.3: Curva C

CURVA		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
In		≤3	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
I_3		30	40	60	80	100	130	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250
S	S_{PE}																
1.5	1.5	150	112	75	56	45	35	28	22	18	14	11					
2.5	2.5	250	187	125	94	75	58	47	37	30	23	19	15	12			
4	4	400	300	200	150	120	92	75	60	48	37	30	24	19	15	12	10
6	6	599	449	300	225	180	138	112	90	72	56	45	36	29	22	18	14
10	10	999	749	499	375	300	230	187	150	120	94	75	60	48	37	30	24
16	16	1598	1199	799	599	479	369	300	240	192	150	120	96	76	60	48	38
25	16	1949	1462	974	731	585	450	365	292	234	183	146	117	93	73	58	47
35	16														82	66	53

5 Protezione di persone

Sistema IT lunghezza massima protetta

Tabella 3.4: Curva K

CURVA		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
In		≤2	≤3	4	4.2	5.8	6	8	10	11	13	15	16	20	25	26	32	37	40	41	45	50	63
I3		28	42	56	59	81	84	112	140	154	182	210	224	280	350	364	448	518	560	574	630	700	882
S	S_{PE}																						
1.5	1.5	161	107	80	76	55	54	40	32	29	25	21	20	16	13	12	10	9	8				
2.5	2.5	268	178	134	127	92	89	67	54	49	41	36	33	27	21	21	17	14	13	13	12		
4	4	428	285	214	204	148	143	107	86	78	66	57	54	43	34	33	27	23	21	21	19	17	14
6	6	642	428	321	306	221	214	161	128	117	99	86	80	64	51	49	40	35	32	31	29	26	20
10	10	1070	713	535	510	369	357	268	214	195	165	143	134	107	86	82	67	58	54	52	48	43	34
16	16	1712	1141	856	815	590	571	428	342	311	263	228	214	171	137	132	107	93	86	84	76	68	54
25	16	2088	1392	1044	994	720	696	522	418	380	321	278	261	209	167	161	130	113	104	102	93	84	66

Tabella 3.5: Curva D

CURVA		D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
In		≤2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100
I3		40	60	80	120	160	200	260	320	400	500	640	800	1000	1260	1600	2000
S	S_{PE}																
1.5	1.5	112	75	56	37	28	22	17	14	11	9	7	6				
2.5	2.5	187	125	94	62	47	37	29	23	19	15	12	9	7	6		
4	4	300	200	150	100	75	60	46	37	30	24	19	15	12	10	7	6
6	6	449	300	225	150	112	90	69	56	45	36	28	22	18	14	11	9
10	10	749	499	375	250	187	150	115	94	75	60	47	37	30	24	19	15
16	16	1199	799	599	400	300	240	184	150	120	96	75	60	48	38	30	24
25	16	1462	974	731	487	365	292	225	183	146	117	91	73	58	46	37	29
35																41	33

5 Protezione di persone

Sistema IT lunghezza massima protetta

Tabella 3.6: Tmax T1 TMD

		T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
	In	≤50	≤50	63	80	100	125	160
	I3	500 A	630 A	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	S_{PE}							
1.5	1.5	5						
2.5	2.5	8						
4	4	13	11	11	8	7	5	
6	6	20	16	16	12	10	8	6
10	10	33	26	26	21	17	13	10
16	16	53	42	42	33	27	21	17
25	16	65	52	52	41	32	26	20
35	16	73	58	58	46	37	29	23
50	25	111	88	88	69	55	44	35
70	35	155	123	123	97	78	62	49
95	50	218	173	173	136	109	87	68

Tabella 3.7: Tmax T2 TMD

		T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
	In	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	12.5	16÷50	63	80	100	125	160
	I3	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	500 A	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	S_{PE}																
1.5	1.5	213	170	136	106	85	68	54	43	34	27	7					
2.5	2.5	355	284	227	177	142	113	90	71	57	45	11					
4	4	567	454	363	284	227	182	144	113	91	73	18	14	11	9	7	
6	6	851	681	545	426	340	272	216	170	136	109	27	22	17	14	11	9
10	10	1419	1135	908	709	567	454	360	284	227	182	45	36	28	23	18	14
16	16	2270	1816	1453	1135	908	726	576	454	363	291	73	58	45	36	29	23
25	16				1384	1107	886	703	554	443	354	89	70	55	44	35	28
35	16						997	791	623	498	399	100	79	62	50	40	31
50	25								946	757	605	151	120	95	76	61	47
70	35										847	212	168	132	106	85	66
95	50											297	236	186	149	119	93
120	70											361	287	226	181	145	113
150	95											449	356	281	224	180	140
185	95											456	362	285	228	182	142

5 Protezione di persone

Sistema IT lunghezza massima protetta

Tabella 3.8: Tmax T3 TMD

		T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
In		63	80	100	125	160	200	250
I_3		10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	S_{PE}							
4	4	14	11	9	7			
6	6	22	17	14	11	9	7	
10	10	36	28	23	18	14	11	9
16	16	58	45	36	29	23	18	15
25	16	70	55	44	35	28	22	18
35	16	79	62	50	40	31	25	20
50	25	120	95	76	61	47	38	30
70	35	168	132	106	85	66	53	42
95	50	236	186	149	119	93	74	59
120	70	287	226	181	145	113	90	72
150	95	356	281	224	180	140	112	90
185	95	362	285	228	182	142	114	91
240	120	432	340	272	218	170	136	109

Tabella 3.9: Tmax T4 TMD/TMA

		T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4
In		20	32	50	80	100	125	160	200	250
I_3		320 A	10 In	10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In
S	S_{PE}									
1.5	1.5	12	12	7	9...5	7...4	6...3	5...2	4...2	3...1
2.5	2.5	20	20	12	16...8	12...6	10...5	8...4	6...3	5...2
4	4	31	31	20	25...12	20...10	16...8	12...6	10...5	8...4
6	6	47	47	30	37...19	30...15	24...12	19...9	15...7	12...6
10	10	78	78	50	62...31	50...25	40...20	31...16	25...12	20...10
16	16	125	125	80	100...50	80...40	64...32	50...25	40...20	32...16
25	16	152	152	97	122...61	97...49	78...39	61...30	49...24	39...19
35	16	171	171	110	137...69	110...55	88...44	69...34	55...27	44...22
50	25	260	260	166	208...104	166...83	133...67	104...52	83...42	67...33
70	35	364	364	233	291...146	233...117	186...93	146...73	117...58	93...47
95	50	511	511	327	409...204	327...164	262...131	204...102	164...82	131...65
120	70	621	621	397	497...248	397...199	318...159	248...124	199...99	159...79
150	95	772	772	494	617...309	494...247	395...198	309...154	247...123	198...99
185	95	784	784	502	627...313	502...251	401...201	313...157	251...125	201...100
240	120	936	936	599	749...375	599...300	479...240	375...187	300...150	240...120
300	150	1124	1124	719	899...449	719...360	575...288	449...225	360...180	288...144

5 Protezione di persone

Sistema IT lunghezza massima protetta

Tabella 3.10: Tmax T5-T6 TMA

		T5	T5	T5	T6	T6
In		320	400	500	630	800
I_3		5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In
S	S_{PE}					
1.5	1.5	2…1	2…1	1…1	1…1	
2.5	2.5	4…2	3…2	2…1	2…1	2…1
4	4	6…3	5…2	4…2	3…2	2…1
6	6	9…5	7…4	6…3	5…2	4…2
10	10	16…8	12…6	10…5	8…4	6…3
16	16	25…12	20…10	16…8	13…6	10…5
25	16	30…15	24…12	19…10	15…8	12…6
35	16	34…17	27…14	22…11	17…9	14…7
50	25	52…26	42…21	33…17	26…13	21…10
70	35	73…36	58…29	47…23	37…18	29…15
95	50	102…51	82…41	65…33	52…26	41…20
120	70	124…62	99…50	79…40	63…32	50…25
150	95	154…77	123…62	99…49	78…39	62…31
185	95	157…78	125…63	100…50	80…40	63…31
240	120	187…94	150…75	120…60	95…48	75…37
300	150	225…112	180…90	144…72	114…57	90…45

Tabella 3.11: Tmax T2 con PR221

		T2	T2	T2	T2	T2
In		10	25	63	100	160
I_3		5.5 In	5.5 In	5.5 In	5.5 In	5.5 In
S	S_{PE}					
1.5	1.5	68	27	11		
2.5	2.5	113	45	18		
4	4	182	73	29	18	
6	6	272	109	43	27	17
10	10	454	182	72	45	28
16	16	726	291	115	73	45
25	16	886	354	141	89	55
35	16	997	399	158	100	62
50	25	1513	605	240	151	95
70	35	2119	847	336	212	132
95	50	2974	1190	472	297	186
120	70	3613	1445	573	361	226
150	95	4489	1796	713	449	281
185	95	4559	1824	724	456	285

Nota: se l'impostazione della funzione I è diversa dal valore di riferimento (5,5), il valore della lunghezza massima protetta sarà moltiplicato per il rapporto tra il valore di riferimento ed il valore impostato.

5 Protezione di persone

Sistema IT lunghezza massima protetta

Tabella 3.12: Tmax T4-T5-T6 con PR221 - PR222 - PR223 Tmax T7 con PR231-PR232-PR331-PR332

		T4	T4	T4	T4	T5	T5	T5	T6	T6	T6	T7	T7	T7	T7
	In	100	160	250	320	320	400	630	630	800	1000	800	1000	1250	1600
	I_3	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In	6.5 In
S	S_{PE}														
1.5	1.5														
2.5	2.5														
4	4														
6	6	25	16												
10	10	42	26	17											
16	16	67	42	27	21	21	17								
25	16	82	51	33	26	26	20	13	13						
35	16	92	58	37	29	29	23	15	15	12		12			
50	25	140	87	56	44	44	35	22	22	17	14	17			
70	35	196	122	78	61	61	49	31	31	24	20	24	19	16	12
95	50	275	172	110	86	86	69	44	44	34	27	34	27	22	17
120	70	333	208	133	104	104	83	53	53	42	33	42	33	26	21
150	95	414	259	166	129	129	104	66	66	52	41	52	41	33	26
185	95	421	263	168	132	132	105	67	67	53	42	53	42	33	26
240	120	503	314	201	157	157	126	80	80	63	50	63	50	40	31
300	150	603	377	241	189	189	151	96	96	75	60	75	60	48	37

Nota: se l'impostazione della funzione I è diversa dal valore di riferimento (6,5), il valore della lunghezza massima protetta sarà moltiplicato per il rapporto tra il valore di riferimento ed il valore impostato.

6 Calcolo della corrente di corto circuito

6.1 Aspetti generali

Un cortocircuito è un guasto di impedenza trascurabile tra conduttori in tensione a diverso potenziale in condizioni normali di funzionamento.

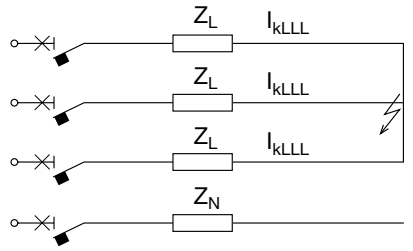
6.2 Tipologie di guasto

In una rete trifase possono verificarsi i seguenti tipi di guasto:
- guasto trifase;
- guasto bifase;
- guasto fase-neutro;
- guasto fase-PE.

Nel seguito si indica con:
- I_k la corrente di cortocircuito;
- U_n la tensione nominale;
- Z_L l'impedenza di linea;
- Z_N l'impedenza del neutro;
- Z_{PE} l'impedenza del conduttore di protezione.

La tabella seguente illustra sinteticamente le tipologie di guasto e i legami tra il valore della corrente di cortocircuito per guasto simmetrico (trifase) e la corrente di cortocircuito per guasti dissimmetrici (bifase e monofase), per guasti lontani dai generatori.

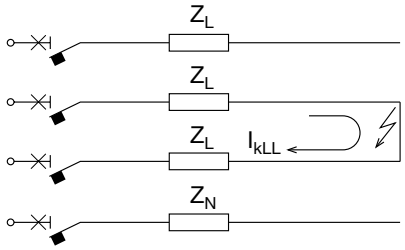
Guasto trifase



$$I_{kLLL} = \frac{U_n}{\sqrt{3} Z_L}$$

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

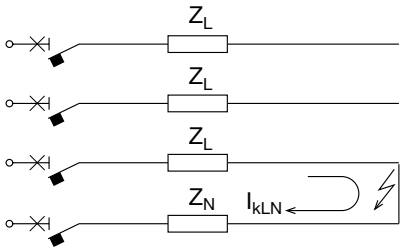
Guasto bifase



$$I_{kLL} = \frac{U_n}{2Z_L} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{kLLL} = 0.87 I_{kLLL}$$

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Guasto fase-neutro



$$I_{kLN} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)}$$

se $Z_L = Z_N$ (sezione del conduttore neutro uguale a quella del conduttore di fase):

$$I_{kLN} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0.5\, I_{kLLL}$$

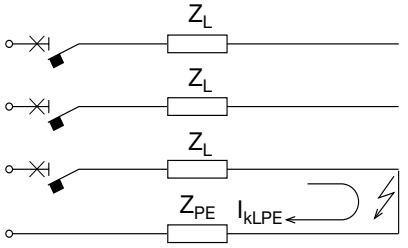
se $Z_N = 2Z_L$ (sezione del conduttore neutro pari alla metà di quella del conduttore di fase):

$$I_{kLN} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0.33 I_{kLLL}$$

se $Z_N \cong 0$ condizione limite:

$$I_{kLN} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L)} = I_{kLLL}$$

Guasto fase-PE



$$I_{kLPE} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})}$$

se $Z_L = Z_{PE}$ (sezione del conduttore neutro uguale a quella del conduttore di fase):

$$I_{kLPE} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0.5 I_{kLLL}$$

se $Z_{PE} = 2Z_L$ (sezione del conduttore neutro pari alla metà di quella del conduttore di fase):

$$I_{kLPE} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0.33 I_{kLLL}$$

se $Z_{PE} \cong 0$ condizione limite:

$$I_{kLPE} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_L)} = I_{kLLL}$$

La tabella seguente consente di ricavare rapidamente il valore approssimato di una corrente di cortocircuito.

Nota	Corto circuito trifase	Corto circuito bifase	Corto circuito fase-neutro	Corto circuito fase-PE (Sistema TN)
	I_{kLLL}	I_{kL}	I_{kLN}	I_{kLPE}
I_{kLLL}	-	$I_{kL}=0.87I_{kLLL}$	$I_{LN}=0.5I_{kLLL}$ ($Z_L = Z_N$) $I_{LN}=0.33I_{kLLL}$ ($Z_L = 0{,}5Z_N$) $I_{LN}=I_{kLLL}$ ($Z_N \cong 0$)	$I_{LPE}=0.5I_{kLLL}$ ($Z_L = Z_{PE}$) $I_{LPE}=0.33I_{kLLL}$ ($Z_L = 0.5Z_{PE}$) $I_{LPE}=I_{kLLL}$ ($Z_{PE} \cong 0$)
I_{kLL}	$I_{kLLL}=1.16I_{kLL}$	-	$I_{kLN}=0.58I_{kLL}$ ($Z_L = Z_N$) $I_{kLN}=0.38I_{kLL}$ ($Z_L = 0{,}5Z_N$) $I_{kLN}=1.16I_{kLL}$ ($Z_N \cong 0$)	$I_{kLPE}=0.58I_{kLL}$ ($Z_L = Z_{PE}$) $I_{kLPE}=0.38I_{kLL}$ ($Z_L = 0.5Z_{PE}$) $I_{kLPE}=1.16I_{kLL}$ ($Z_{PE} \cong 0$)
I_{kLN}	$I_{kLLL}=2I_{kLN}$ ($Z_L = Z_N$) $I_{kLLL}=3I_{kLN}$ ($Z_L = 0{,}5Z_N$) $I_{kLLL}=I_{kLN}$ ($Z_N \cong 0$)	$I_{kLL}=1.73I_{kLN}$ ($Z_L = Z_N$) $I_{kLL}=2.6I_{kLN}$ ($Z_L = 0{,}5Z_N$) $I_{kLL}=0.87I_{kLN}$ ($Z_N \cong 0$)	-	

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

6.3 Determinazione della corrente di cortocircuito: "metodo delle potenze"

Per determinare la corrente di corto circuito si può utilizzare il "metodo delle potenze". Questo metodo permette di determinare in modo semplice la corrente di corto circuito in un punto dell'impianto con un'approssimazione che risulta, generalmente, di valore accettabile; tale metodo però non é conservativo e fornisce valori tanto più corretti quanto più sono simili i fattori di potenza dei componenti considerati (rete, generatori, trasformatori, motori e cavi di grande sezione).
Per un calcolo più accurato si consiglia l'utilizzo del software per il dimensionamento degli impianti DOCWin.
Il metodo delle potenze calcola la corrente di cortocircuito I_k in base alla formula:

Corto circuito trifase $$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

Corto circuito bifase $$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_n}$$

dove:
- S_k è la potenza apparente di corto circuito vista dal punto di guasto;
- U_n è la tensione nominale.

Per determinare la potenza apparente di corto circuito Sk occorre tenere in considerazione tutti gli elementi della rete che possono essere:
- elementi che forniscono un contributo alla corrente di cortocircuito: rete di alimentazione, generatori, motori;
- elementi che limitano il valore della corrente di cortocircuito: condutture e trasformatori.

La procedura per calcolare la corrente di cortocircuito prevede le seguenti fasi:
1. calcolo della potenza di cortocircuito dei diversi elementi dell'impianto;
2. calcolo della potenza di cortocircuito nel punto di guasto;
3. calcolo della corrente di cortocircuito.

6.3.1 Calcolo dell potenza di cortocircuito per i diversi elementi dell'impianto

Per prima cosa si deve determinare la potenza apparente di cortocircuito S_k per tutti i componenti facenti parte dell'impianto:

Rete

Per rete elettrica si considera tutto ciò che si trova a monte del punto di consegna dell'energia.
Solitamente l'ente che distribuisce l'energia fornisce come dato la potenza

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

apparente di cortocircuito S_{krete} nel punto di consegna. Se, invece, fosse fornito il valore della corrente di cortocircuito I_{krete}, si può ricavare il valore della potenza per un sistema trifase, tramite la seguente formula:

$$S_{krete} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{krete}$$

dove U_n è la tensione nominale nel punto di consegna dell'energia.

Nel caso in cui i suddetti dati non siano disponibili, si possono considerare, come riferimento, i valori di S_{krete} riportati nella tabella seguente:

Tensione della rete U_n [kV]	Potenza di cortocircuito S_{krete} [MVA]
Fino a 20	500
Fino a 32	750
Fino a 63	1000

Generatore

La potenza di cortocircuito si ottiene da:

$$S_{kgen} = \frac{S_n \cdot 100}{X^*_{d\%}}$$

dove $X^*_{d\%}$ è il valore percentuale della reattanza subtransitoria (X_d") o della reattanza transitoria (X_d') oppure della reattanza sincrona (X_d) a seconda dell'istante nel quale interessa valutare il valore della potenza di corto.
In generale, le reattanze sono espresse in percentuale rispetto all'impedenza nominale del generatore data da:

$$Z_d = \frac{U_n^2}{S_n}$$

dove U_n e S_n sono la tensione e la potenza nominale del generatore.
I valori tipici possono essere:
- X_d" dal 10 % al 20 %;
- X_d' dal 15 % al 40 %;
- X_d dal 80 % al 300 %.

Normalmente si considera la condizione peggiore cioè si utilizza la reattanza subtransitoria.
La seguente tabella fornisce dei valori indicativi della potenza di corto circuito dei generatori (X_d" = 12,5 %):

S_n [kVA]	50	63	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000
S_{kgen} [MVA]	0.4	0.5	1.0	1.3	1.6	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0	6.4	8.0	10.0	12.8	16.0	20.0	25.6	32.0

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Motori asincroni trifase

In caso di cortocircuito i motori elettrici danno un contributo per un breve periodo (5-6 periodi).
La potenza può essere calcolata in funzione della corrente di cortocircuito del motore (I_k) tramite la seguente espressione:

$$S_{kmot} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k$$

Valori tipici sono:
$S_{kmot} = 5 \div 7\ S_{nmot}$
(I_k vale circa $5 \div 7\ I_{nmot}$: 5 per motori di piccola taglia 7 per motori di potenza più elevata).

Trasformatori

La potenza di cortocircuito di un trasformatore S_{ktrafo} si ricava dalla formula :

$$S_{ktrafo} = \frac{100}{u_k\%} \cdot S_n$$

La seguente tabella fornisce dei valori indicativi sulla potenza di corto circuito dei trasformatori:

S_n [kVA]	50	63	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000
u_k%	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6
S_{ktrafo} [MVA]	1.3	1.6	3.1	4	5	6.3	8	10	12.5	15.8	16	20	25	26.7	33.3			

Cavi

Con buona approssimazione, la potenza di cortocircuito dei cavi vale:

$$S_{kcavo} = \frac{U_n^2}{Z_c}$$

dove l'impedenza del cavo (Z_c) è pari a:

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2}$$

La seguente tabella fornisce dei valori indicativi della potenza di corto circuito dei cavi, a 50 e 60 Hz, in funzione della tensione di alimentazione (lunghezza del cavo = 10 m):

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

S [mm²]	230 [V]	400 [V]	440 [V]	500 [V]	690 [V]	230 [V]	400 [V]	440 [V]	500 [V]	690 [V]
	S_{kcavo} [MVA] @50 Hz					S_{kcavo} [MVA] @60 Hz				
1.5	0.44	1.32	1.60	2.07	3.94	0.44	1.32	1.60	2.07	3.94
2.5	0.73	2.20	2.66	3.44	6.55	0.73	2.20	2.66	3.44	6.55
4	1.16	3.52	4.26	5.50	10.47	1.16	3.52	4.26	5.50	10.47
6	1.75	5.29	6.40	8.26	15.74	1.75	5.29	6.40	8.26	15.73
10	2.9	8.8	10.6	13.8	26.2	2.9	8.8	10.6	13.7	26.2
16	4.6	14.0	16.9	21.8	41.5	4.6	13.9	16.9	21.8	41.5
25	7.2	21.9	26.5	34.2	65.2	7.2	21.9	26.4	34.1	65.0
35	10.0	30.2	36.6	47.3	90.0	10.0	30.1	36.4	47.0	89.6
50	13.4	40.6	49.1	63.4	120.8	13.3	40.2	48.7	62.9	119.8
70	19.1	57.6	69.8	90.1	171.5	18.8	56.7	68.7	88.7	168.8
95	25.5	77.2	93.4	120.6	229.7	24.8	75.0	90.7	117.2	223.1
120	31.2	94.2	114.0	147.3	280.4	29.9	90.5	109.5	141.5	269.4
150	36.2	109.6	132.6	171.2	326.0	34.3	103.8	125.6	162.2	308.8
185	42.5	128.5	155.5	200.8	382.3	39.5	119.5	144.6	186.7	355.6
240	49.1	148.4	179.5	231.8	441.5	44.5	134.7	163.0	210.4	400.7
300	54.2	164.0	198.4	256.2	488.0	48.3	146.1	176.8	228.3	434.7

Con *n* cavi in parallelo, bisogna moltiplicare il valore indicato in tabella per n. Se la lunghezza del cavo (L_{act}) è diversa da 10 m, bisogna moltiplicare il valore in tabella per il seguente coefficiente:

$$\frac{10}{L_{act}}$$

6.3.2 Calcolo della potenza di cortocircuito nel punto del guasto

La regola per determinare la potenza di cortocircuito in un punto dell'impianto, in funzione della potenza di cortocircuito dei vari elementi del circuito, è analoga a quella relativa al calcolo dell'ammettenza equivalente.
In particolare:

- la potenza di elementi in serie è pari all'inverso della somma degli inversi delle singole potenze (come per il parallelo di impedenze).

$$S_k = \frac{1}{\sum \frac{1}{S_i}}$$

- la potenza di cortocircuito di elementi in parallelo e pari alla somma delle singole potenze di cortocircuito (come per la serie d'impedenze).

$$S_k = \sum S_i$$

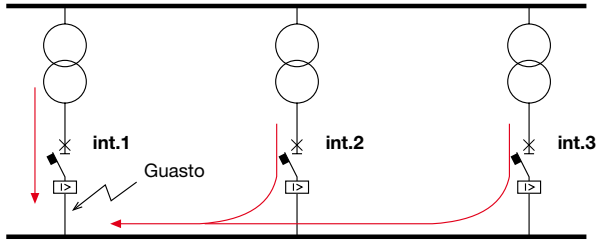
Gli elementi del circuito sono considerati in serie o parallelo osservando il circuito dal punto di guasto.
Nel caso di diversi rami in parallelo, una volta calcolata la corrente di cortocircuito nel punto di guasto, si deve determinare la sua ripartizione nei diversi rami. Questo è necessario per effettuare una corretta scelta degli apparecchi di protezione installati nei rami.

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

6.3.3 Calcolo della corrente di cortocircuito

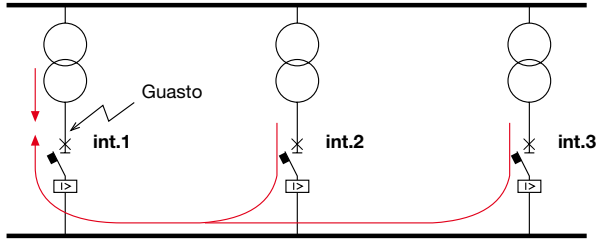
Per determinare la corrente di corto circuito in un impianto si devono considerare il punto di guasto e la configurazione del sistema che rende massima la corrente di cortocircuito che attraversa l'apparecchio. Se opportuno si tiene conto del contributo dei motori.
Per esempio, nel caso sotto indicato, per l'interruttore 1 la condizione più gravosa si presenta quando il guasto è immediatamente a monte dell'interruttore stesso. Per determinare il suo potere di interruzione occorre considerare dunque il contributo di due trasformatori in parallelo.

Guasto immediatamente a valle di int.1



1SDC010050F0001

Guasto immediatamente a monte di int.1
(condizione più gravosa per int.1)



1SDC010051F0001

Una volta determinata la potenza di corto circuito equivalente nel punto di guasto si calcola la corrente di cortocircuito con la seguente formula:

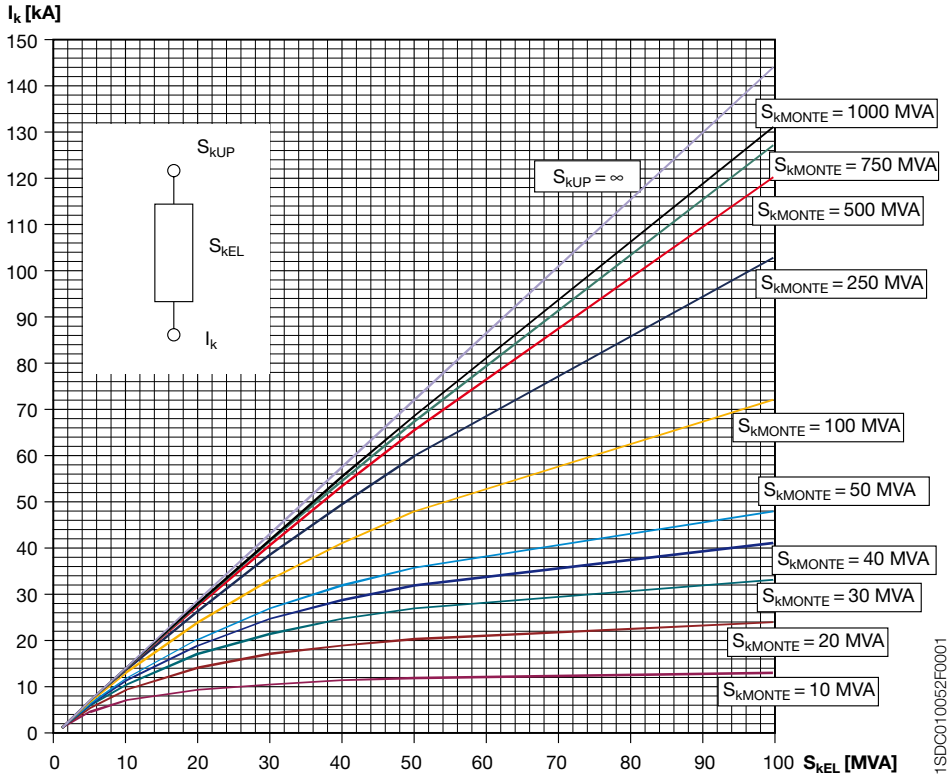
corto circuito trifase $$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

corto circuito bifase $$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_n}$$

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

In prima approssimazione è possibile, utilizzando la figura seguente, valutare la corrente di cortocircuito trifase a valle di un oggetto di cui è fornito il valore della potenza di cortocircuito (S_{kEL}); infatti, in corrispondenza di tale valore, nota la potenza di cortocircuito a monte dell'oggetto (S_{kMONTE}), si legge, sulle ordinate, il valore di I_k, espressa in kA, a 400 V.

Figura 1: Grafico per il calcolo della corrente di cortocircuito trifase a 400 V



6 Calcolo della corrente di cortocircuito

6.3.4 Esempi

I successivi esempi mostrano il calcolo della corrente di cortocircuito in alcune tipologie di impianto.

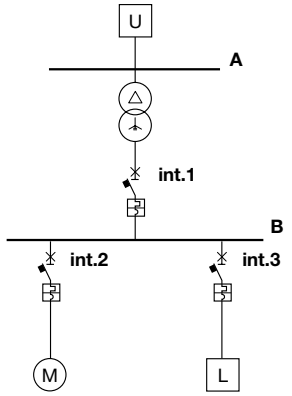
Esempio 1

Rete a monte: U_n = 20000 V
S_{krete} = 500 MVA

Trasformatore: S_n = 1600 kVA
u_k% = 6%
U_{1n} / U_{2n} =20000/400

Motore: P_n = 220 kW
I_{kmot}/I_n = 6.6
$\cos\varphi_n$ = 0.9
η = 0.917

Carico generico: I_{nL}= 1443.4 A
$\cos\varphi_n$= 0.9



Calcolo delle potenze di cortocircuito per i diversi elementi

Rete: S_{krete}= 500 MVA

Trasformatore: $S_{ktrafo} = \frac{100}{u_k\%} \cdot S_n = 26.7$ MVA

Motore: $S_{nmot} = \frac{P_n}{\eta \cdot \cos\varphi_n} = 267$ kVA

$S_{kmot} = 6{,}6 \cdot S_{nmot} = 1{,}76$ MVA per i primi 5-6 periodi (a 50 Hz circa 100 ms)

Calcolo della corrente di cortocircuito per la scelta degli interruttori

Scelta dell'interruttore 1
Per l'interruttore int.1 la condizione più gravosa occorre quando il guasto avviene immediatamente a valle dell'interruttore stesso.
Infatti, in caso di guasto immediatamente a monte, l'interruttore risulterebbe attraversato solo dalla corrente di guasto proveniente dal motore che è notevolmente più piccola del contributo della rete.

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Il circuito, visto dal punto di guasto, risulta essere costituito dalla serie della rete con il trasformatore. Seguendo le regole precedentemente illustrate, la potenza di cortocircuito si determina tramite la seguente espressione:

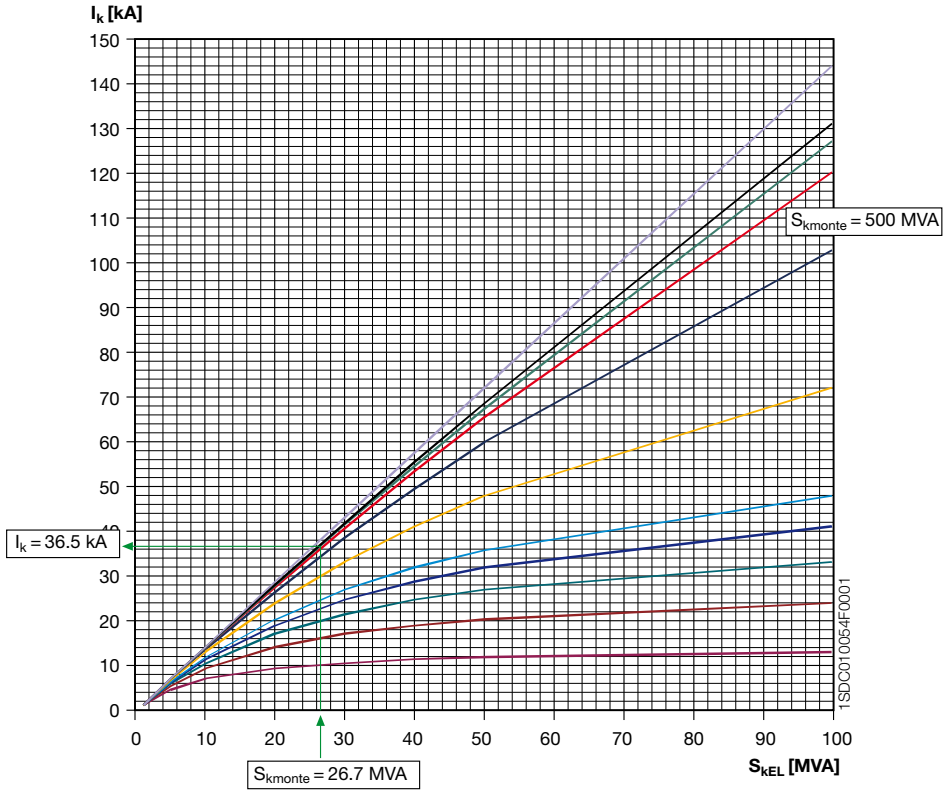
$$S_{kint1} = \frac{S_{krete} \cdot S_{ktrafo}}{S_{krete} + S_{ktrafo}} = 25.35\ MVA$$

la corrente di guasto massima vale:

$$I_{kint1} = \frac{S_{kint1}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 36.6\ kA$$

La corrente nominale al secondario del trasformatore è pari a 2309 A; di conseguenza l’interruttore da scegliere è un Emax E3N 2500.

Utilizzando il grafico di figura 1, si può ottenere I_{kint1} dalla curva con $S_{kmonte} = S_{krete} = 500$ MVA in corrispondenza di $S_{kEL} = S_{ktrafo} = 26.7$ MVA:



6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Scelta dell’interruttore 2

Per l’interruttore int.2 la condizione più gravosa si verifica quando il guasto avviene immediatamente a valle dell’interruttore stesso.

Il circuito visto dal punto di guasto, è costituito ancora dalla serie della rete con il trasformatore. La corrente di corto risulta identica a quella da utilizzare per int.1.

$$I_{kint1} = \frac{S_{kint1}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 36.6\ kA$$

La corrente nominale del motore è pari a 385; l’interruttore da scegliere è un Tmax T5H 400.

Scelta di dell’interruttore 3

Anche per l’interruttore int.3 la condizione più gravosa si verifica quando il guasto avviene immediatamente a valle dell’interruttore stesso.

Il circuito, visto dal punto di guasto, è costituito da due rami in parallelo: il motore in parallelo alla serie di rete e trasformatore. Seguendo le regole precedentemente illustrate, la potenza di cortocircuito si determina tramite la seguente formula:

Motore // (Rete + Trasformatore)

$$S_{kint3} = S_{kmot} + \frac{1}{\frac{1}{S_{krete}} + \frac{1}{S_{ktrafo}}} = 27.11\ MVA$$

$$I_{kint3} = \frac{S_{kint3}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 39.13\ kA$$

La corrente nominale del carico L è pari a 1443 A; l’interruttore da scegliere è un Tmax T7S1600 o un Emax X1B1600.

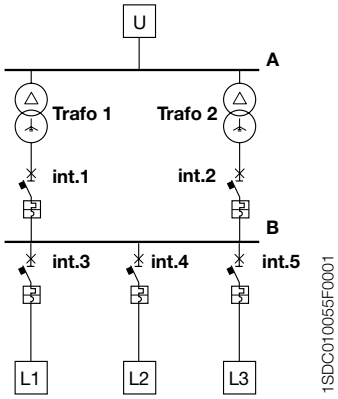
Esempio 2

Si consideri ora il circuito riportato in figura, costituito dall’alimentazione, due trasformatori in parallelo ed un carico.

Rete a monte: U_{n1}=20000 V
S_{krete} = 500 MVA

Trasformatori 1 e 2: S_n = 1600 kVA
u_k% = 6%
U_{1n} /U_{2n} =20000/400

Carico L1: S_n = 1500 kVA; cosφ = 0.9;
Carico L2: S_n = 1000 kVA; cosφ = 0.9;
Carico L3: S_n = 50 kVA; cosφ = 0.9.



6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Calcolo delle potenze di cortocircuito dei diversi elementi:

Rete $S_{krete} = 500$ MVA

Trasformatori 1 e 2 $S_{ktrafo} = \frac{S_r}{u_k\ \%} \cdot 100 = 26.7$ MVA

Scelta dell'interruttore int.1 (int.2)
Per l'interruttore int.1 (int.2) la condizione più gravosa avviene quando il guasto si presenta immediatamente a valle dello stesso. Seguendo le regole illustrate precedentemente, il circuito, visto dal punto di guasto, risulta essere costituito dal parallelo dei due trasformatori posti in serie con la rete:

Rete + (Trafo1 // Trafo2)

La corrente di corto che si ottiene in questo modo corrisponde alla corrente di corto alla sbarra. Questa corrente, data la simmetria del circuito, si distribuisce ugualmente nei due rami (metà ciascuno). La corrente che attraversa CB1 (CB2) risulta quindi pari alla metà di quella alla sbarra.

$$S_{ksbarra} = \frac{S_{krete} \cdot (S_{ktrafo1} + S_{ktrafo2})}{S_{krete} + (S_{ktrafo1} + S_{ktrafo2})} = 48.2 \text{ MVA}$$

$$I_{ksbarra} = \frac{S_{ksbarra}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 69.56 \text{ kA}$$

$$I_{kint1(2)} = \frac{I_{ksbarra}}{2} = 34.78 \text{ kA}$$

Gli interruttori int.1(int.2) da scegliere con riferimento alla corrente nominale dei trasformatori sono Emax E3N 2500.

Scelta degli interruttori int.3-int.4-int.5
Per questi interruttori la condizione peggiore si ha con un guasto immediatamente a valle degli stessi. La corrente di cortocircuito da tenere in considerazione è quindi quella alla sbarra:

$$I_{kint3} = I_{ksbarra} = 69.56 \text{ kA}$$

Gli interruttori da scegliere con riferimento alla corrente dei carichi sono:
int.3: Emax E3S 2500
int.4: Emax E3S 1600
int.5: Tmax T2H 160

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

6.4 Determinazione della corrente di cortocircuito I_k a valle di un cavo in funzione di quella a monte

La tabella sotto riportata consente di determinare, in modo conservativo, la corrente di corto circuito trifase in un punto della rete a 400 V a valle di un cavo unipolare in rame alla temperatura di 20°C, note:
- la corrente di cortocircuito trifase a monte del cavo;
- la lunghezza e la sezione del cavo.

Sezione cavo	**Lunghezza**																								
[mm²]	[m]																								
1.5														0.9	1.1	1.4	1.8	2.5	3.5	5.3	7	9.4	14
2.5												0.9	1	1.2	1.5	1.8	2.3	2.9	4.1	5.9	8.8	12	16	24
4									0.9	1.2	1.4	1.6	1.9	2.3	2.8	3.7	4.7	6.6	9.4	14	19	25	38	
6								0.8	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5	2.8	3.5	4.2	5.6	7	10	14	21	28	38	56	
10							0.9	1.2	1.4	1.9	2.3	2.9	3.5	4.1	4.7	5.8	7	9.4	12	16	23	35	47	63	94
16					0.9	1.1	1.5	1.9	2.2	3	3.7	4.7	5.6	6.5	7.5	9.3	11	15	19	26	37	56	75	100	150
25		0.9	1.2	1.4	1.7	2.3	2.9	3.5	4.6	5.8	7.2	8.7	10	12	14	17	23	29	41	58	87	116	155	233	
35		1.2	1.6	2	2.4	3.2	4	4.8	6.4	8	10	12	14	16	20	24	32	40	56	80	121	161	216	324	
50	1.1	1.7	2.3	2.8	3.4	4.5	5.7	6.8	9	11	14	17	20	23	28	34	45	57	79	113	170	226	303	455	
70	0.8	1.5	2.3	3.1	3.8	4.6	6.2	7.7	9.2	12	15	19	23	27	31	38	46	62	77	108	154	231	308	413	
95	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	50	60	80	100	140	200	300	400		
120	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	10	12	14	19	24	30	36	42	48	60	72	96	120	168	240	360	481		
150	1.4	2.8	4.2	5.6	7	8.4	11	14	17	23	28	35	42	49	56	70	84	113	141	197	281	422			
185	1.6	3.2	4.8	6.4	8	10	13	16	19	26	32	40	48	56	64	80	96	128	160	224	320	480			
240	1.8	3.7	5.5	7.3	9.1	11	15	18	22	29	37	46	55	64	73	91	110	146	183	256	366	549			
300	2	4	6	8	10	12	16	20	24	32	40	50	60	70	80	100	120	160	200	280	400				
2x120	2.4	4.8	7.2	10	12	14	19	24	29	38	48	60	72	84	96	120	144	192	240	336	481				
2x150	2.8	5.6	8.4	11	14	17	23	28	34	45	56	70	84	98	113	141	169	225	281	394	563				
2x185	3.2	6.4	10	13	16	19	26	32	38	51	64	80	96	112	128	160	192	256	320	448					
3x120	3.6	7.2	11	14	18	22	29	36	43	58	72	90	108	126	144	180	216	288	360	505					
3x150	4.2	8.4	13	17	21	25	34	42	51	68	84	105	127	148	169	211	253	338	422						
3x185	4.8	10	14	19	24	29	38	48	58	77	96	120	144	168	192	240	288	384	480						

I_k a monte	**I_k a valle**																								
[kA]	[kA]																								
100	96	92	89	85	82	78	71	65	60	50	43	36	31	27	24	20	17	13	11	7.8	5.6	3.7	2.7	2.0	1.3
90	86	83	81	78	76	72	67	61	57	48	42	35	31	27	24	20	17	13	11	7.8	5.6	3.7	2.7	2.0	1.3
80	77	75	73	71	69	66	62	57	53	46	40	34	30	27	24	20	17	13	10	7.7	5.5	3.7	2.7	2.0	1.3
70	68	66	65	63	62	60	56	53	49	43	38	33	29	26	23	19	16	13	10	7.6	5.5	3.7	2.7	2.0	1.3
60	58	57	56	55	54	53	50	47	45	40	36	31	28	25	23	19	16	12	10	7.5	5.4	3.7	2.7	2.0	1.3
50	49	48	47	46	45	44	43	41	39	35	32	29	26	23	21	18	15	12	10	7.3	5.3	3.6	2.6	2.0	1.3
40	39	39	38	38	37	37	35	34	33	31	28	26	24	22	20	17	15	12	10	7.1	5.2	3.6	2.6	2.0	1.3
35	34	34	34	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	20	19	16	14	11	10	7.1	5.1	3.5	2.6	2.0	1.3
30	30	29	29	29	28	28	28	27	26	25	23	22	20	19	18	16	14	11	9.3	7.0	5.0	3.5	2.6	1.9	1.3
25	25	24	24	24	24	24	23	23	22	21	21	19	18	17	16	14	13	11	9.0	6.8	5.0	3.4	2.6	1.9	1.3
20	20	20	20	19	19	19	19	18	18	18	17	16	15	15	14	13	12	10	8.4	6.5	4.8	3.3	2.5	1.9	1.3
15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	13	13	12	12	12	11	10	8.7	7.6	6.1	4.6	3.2	2.5	1.9	1.3
12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	9.3	8.8	7.8	7.0	5.7	4.4	3.1	2.4	1.9	1.3
10	10	10	10	10	10	10	10	9.5	9.4	9.2	9.0	8.8	8.5	8.3	8.1	7.7	7.3	6.5	5.9	5.0	3.9	2.9	2.3	1.8	1.2
8.0	8.0	7.9	7.9	7.9	7.8	7.8	7.7	7.7	7.6	7.5	7.4	7.2	7.1	6.9	6.8	6.5	6.2	5.7	5.2	4.5	3.7	2.8	2.2	1.7	1.2
6.0	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	5.8	5.8	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	4.9	4.8	4.4	4.1	3.6	3.1	2.4	2.0	1.6	1.1
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.0	1.7	1.4	1.2	0.9

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Nota:

- Nel caso in cui la I_k a monte e la lunghezza del cavo non risultino in tabella è necessario considerare: :
  - Il valore immediatamente superiore della I_k a monte;
  - Il valore immediatamente inferiore per la lunghezza del cavo.

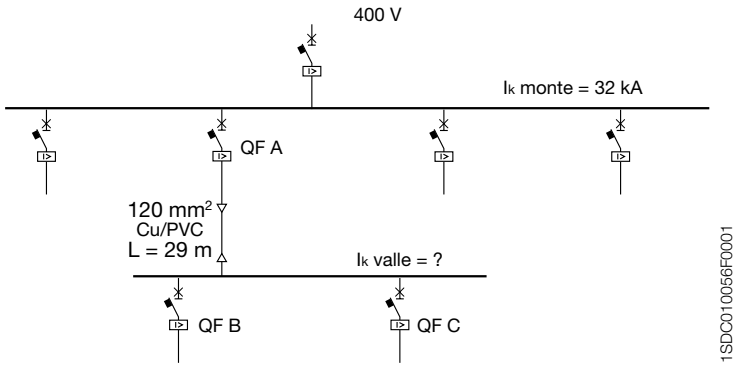
Tali approssimazioni consentono di effettuare un calcolo a vantaggio della sicurezza.

- Nel caso di cavi in parallelo non presenti in tabella si deve dividere la lunghezza per il numero di cavi in parallelo.

Esempio

Dati
Tensione nominale = 400 V
Sezione del cavo = 120 mm²
Conduttore = rame
Lunghezza = 29 m

Corrente di corto circuito a monte = 32 kA



Procedimento

Nella riga corrispondente alla sezione del cavo 120 mm² si individua la colonna con una lunghezza pari a 29 m o immediatamente inferiore (in questo caso 24). Nella colonna della corrente di cortocircuito a monte si individua la riga con un valore di 32 kA o immediatamente superiore (in questo caso 35). Dalla intersezione di quest'ultima riga con la colonna precedentemente individuata si legge il valore della corrente di corto circuito a valle pari a 26 kA.

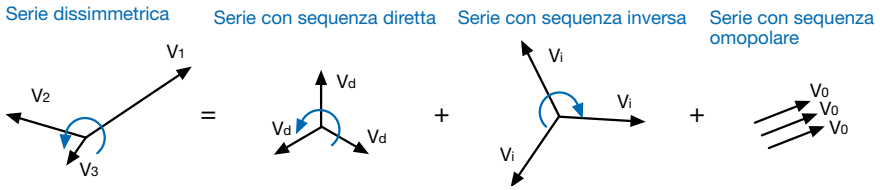
6.5 Algebra delle sequenze

6.5.1 Aspetti generali

Lo studio di una rete trifase simmetrica ed equilibrata può essere condotto in maniera molto semplice riducendo la rete trifase ad una monofase avente come tensione nominale la tensione concatenata del sistema trifase.
Le reti dissimmetriche non possono essere ridotte allo studio di una rete monofase proprio a causa del loro squilibrio. In tal caso non essendo possibile alcuna semplificazione occorre procedere con i metodi di analisi tipici per la risoluzione di reti elettriche.
Il modello che consente di risolvere una rete dissimmetrica e squilibrata scomponendola in tre reti simmetriche equivalenti ciascuna delle quali può essere rappresentata da un circuito monofase equivalente facilmente risolvibile è il metodo dei componenti simmetrici. Tale metodo nasce da considerazioni matematiche secondo le quali una terna qualsiasi di fasori può essere scomposta in tre terne di fasori ciascuna con le seguenti caratteristiche:

- una terna simmetrica, detta sequenza diretta, composta da tre fasori uguali sfasati di 120° tra di loro e aventi la stessa sequenza di fase di quella del sistema originario
- una terna simmetrica, detta sequenza inversa, composta da tre fasori uguali sfasati di 120° tra di loro e aventi la sequenza di fase inversa rispetto a quella del sistema originario
- una terna omopolare o di sequenza zero composta da tre fasori uguali e in fase tra di loro.

Figura 1



[1] Il fasore è una rappresentazione vettoriale di una grandezza variabile nel tempo. Un segnale del tipo $v(t)=\sqrt{2}\cdot V\cdot\cos(\omega\cdot t+\varphi)$ è rappresentato dal fasore $\bar{v}=V\cdot e^{j\varphi}$

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

6.5.2 Sistemi di sequenza diretta, inversa e omopolare

Le seguenti relazioni rappresentano il legame tra le grandezze della rete trifase simmetrica e le reti in sequenza diretta, inversa e omopolare:

$$\overline{V}_0=\frac{1}{3}(\overline{V}_1+\overline{V}_2+\overline{V}_3) \qquad \overline{I}_0=\frac{1}{3}(\overline{I}_1+\overline{I}_2+\overline{I}_3) \qquad \overline{V}_1=\overline{V}_0+\overline{V}_d+\overline{V}_i \qquad \overline{I}_1=\overline{I}_0+\overline{I}_d+\overline{I}_i$$

$$\overline{V}_d=\frac{1}{3}(\overline{V}_1+\alpha\cdot\overline{V}_2+\alpha^2\cdot\overline{V}_3) \quad \overline{I}_d=\frac{1}{3}(\overline{I}_1+\alpha\cdot\overline{I}_2+\alpha^2\cdot\overline{I}_3) \quad \overline{V}_2=\overline{V}_0+\alpha^2\cdot\overline{V}_d+\alpha\cdot\overline{V}_i \quad \overline{I}_2=\overline{I}_0+\alpha^2\cdot\overline{I}_d+\alpha\cdot\overline{I}_i$$

$$\overline{V}_i=\frac{1}{3}(\overline{V}_1+\alpha^2\cdot\overline{V}_2+\alpha\cdot\overline{V}_3) \quad \overline{I}_i=\frac{1}{3}(\overline{I}_1+\alpha^2\cdot\overline{I}_2+\alpha\cdot\overline{I}_3) \quad \overline{V}_3=\overline{V}_0+\alpha\cdot\overline{V}_d+\alpha^2\cdot\overline{V}_i \quad \overline{I}_3=\overline{I}_1+\alpha\cdot\overline{I}_2+\alpha^2\cdot\overline{I}_3$$

1) 2)

* Nelle formule i pedici relativi a componenti in sequenza diretta, inversa e omopolorare saranno indicati rispettivamente con “d”, “i” e “0”.

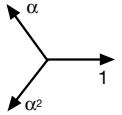
La costante complessa $\alpha = -\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}$ è un versore che, moltiplicato per un vettore, ne provoca la rotazione di 120° in senso positivo (antiorario).

La costante complessa $\alpha^2 = -\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}$ provoca la rotazione di -120°.

Alcune utili proprietà della terna sono:

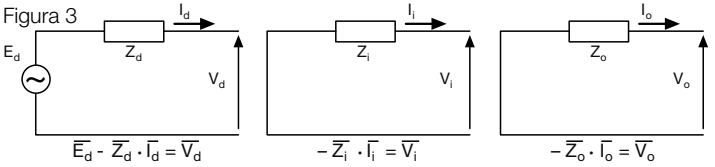
$$1+\alpha+\alpha^2=0$$
$$|\alpha^2-\alpha|=\sqrt{3}$$

Figura 2



In definitiva si può quindi affermare che ad una rete reale trifase si possono sostituire tre reti monofasi relative alle tre sequenze diretta, inversa e omopolare sostituendo a ciascun componente il corrispondente circuito equivalente. Se come accade nella pratica degli impianti, i generatori possono ritenersi simmetrici, considerando diretta la terna da essi generata, le tre reti monofasi sono definite dai circuiti e dalle equazioni seguenti:

Figura 3



Dove:

- E_d è la tensione di fase $\left(E_d = \frac{U_r}{\sqrt{3}}\right)$ che si ha nella sezione a monte del guasto
- Z è l’impedenza del sistema a monte del punto di guasto
- I è la corrente di guasto
- V è la tensione nel punto di guasto.

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

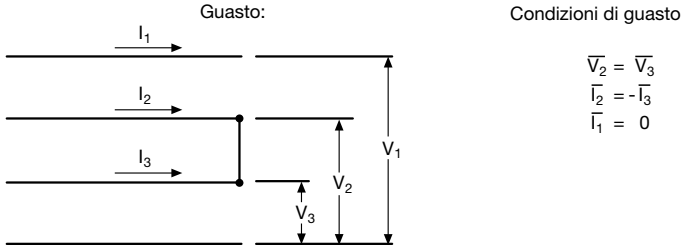
6.5.3 Calcolo della corrente di cortocircuito con l’algebra delle sequenze

Senza scendere nel dettaglio della trattazione teorica, attraverso un esempio viene indicato il procedimento da seguire per semplificare e risolvere la rete elettrica in una situazione di guasto prestabilita.

Guasto bifase isolato

Lo schema che riproduce la tipologia di guasto, e il legame tra le correnti e le tensioni, può essere rappresentato nel modo seguente:

Figura 4

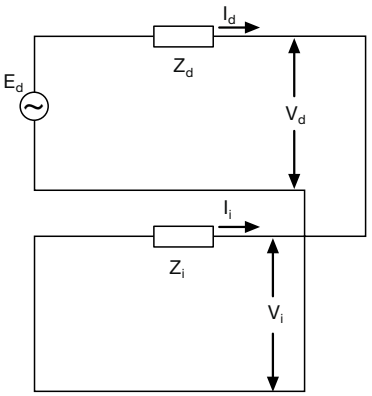


Utilizzando le condizioni di guasto indicate e le formule 1), si ottiene:

$$V_d = V_i$$
$$I_d = -I_i \qquad (4)$$
$$I_o = 0 \text{ quindi } V_o = 0$$

Queste relazioni applicate ai tre circuiti di sequenza di figura 3 permettono di costruire la rete di sequenza equivalente alla rete trifase in studio che rappresenta la condizione di guasto iniziale. Tale rete può essere rappresentata nel modo seguente:

Figura 5



6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Risolvendo questa semplice rete (costituita da elementi in serie) rispetto alla corrente I_d si ottiene:

$$\overline{I}_d = \frac{\overline{E}_d}{\overline{Z}_d + \overline{Z}_i} \qquad 5)$$

Utilizzando le formule 2), riferite alla corrente, e le formule 4) si ottiene:

$$\overline{I}_2 = (\alpha^2 - \alpha)\cdot\overline{I}_d \qquad \overline{I}_3 = (\alpha - \alpha^2)\cdot\overline{I}_d$$

Poiché $|(\alpha^2 - \alpha)|$ risulta essere uguale a $\sqrt{3}$, il valore della corrente di guasto bifase nelle due fasi interessate dal guasto, può essere espressa nel modo seguente:

$$|\overline{I}_2| = |\overline{I}_3| = |\overline{I}_{k2}| = \sqrt{3}\cdot\left|\frac{\overline{E}_d}{\overline{Z}_d + \overline{Z}_i}\right|$$

Utilizzando le formule 2, riferite alla tensione, e le formule 4) precedentemente ottenute si ottiene:

$\overline{V}_1 = 2\cdot\overline{V}_i$ 6) per la fase non affetta da guasto

$\overline{V}_2 = \overline{V}_3 = (\alpha^2 + \alpha)\cdot\overline{V}_d = -\overline{V}_d$ 7) per le fasi affette da guasto

Attraverso il circuito di sequenza inversa, la relazione 6) può essere scritta come $\overline{V}_1 = -2\cdot\overline{Z}_i\cdot\overline{I}_i$.

Per quanto ricavato precedentemente e dato che $\overline{I}_d = -\overline{I}_i$, la tensione nella fase non affetta dal guasto sarà:

$$\overline{V}_1 = \frac{2\cdot\overline{Z}_i}{\overline{Z}_d + \overline{Z}_i}\cdot\overline{E}_d$$

.

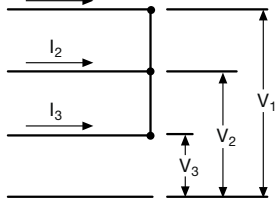
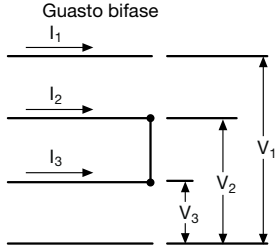
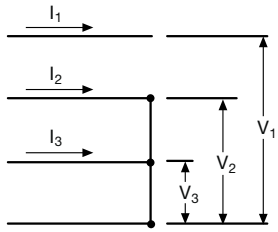
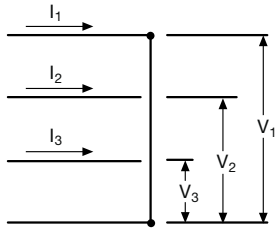
Per le fasi affette dal guasto, essendo $\overline{V}_d = \overline{V}_i = \frac{\overline{V}_1}{2}$, si ottiene:

$$\overline{V}_2 = \overline{V}_3 = -\frac{\overline{V}_1}{2} = \frac{\overline{Z}_i\cdot\overline{E}_d}{\overline{Z}_d + \overline{Z}_i}$$

Con riferimento all'esempio precedente è possibile analizzare tutte le tipologie di guasto e ottenere un'espressione delle correnti e delle tensioni di guasto in funzione delle impedenze dei circuiti di sequenza.

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Un quadro riassuntivo è riportato nella Tabella 1 seguente:

Tipo di guasto	Condizioni di guasto:	Corrente	Tensioni sulle fasi
Guasto trifase 	$\overline{V}_1 = \overline{V}_2 = \overline{V}_3$ $\overline{I}_1 + \overline{I}_2 + \overline{I}_3 = 0$	$\lvert\overline{I}_{k3}\rvert = \lvert\overline{I}_1\rvert = \frac{U_n}{\sqrt{3}\cdot\lvert\overline{Z}_d\rvert}$	$\overline{V}_1 = \overline{V}_2 = \overline{V}_3 = 0$
Guasto bifase 	$\overline{V}_2 = \overline{V}_3$ $\overline{I}_2 = -\overline{I}_3$	$\lvert\overline{I}_{k2}\rvert = \lvert\overline{I}_2\rvert = \frac{U_n}{\lvert\overline{Z}_d + \overline{Z}_i\rvert}$	$\lvert\overline{V}_1\rvert = \frac{2}{\sqrt{3}}\cdot U_n\cdot\left\lvert\frac{\overline{Z}_i}{\overline{Z}_d + \overline{Z}_i}\right\rvert$ $\lvert\overline{V}_2\rvert = \lvert\overline{V}_3\rvert = \frac{U_n}{\sqrt{3}}\cdot\left\lvert\frac{\overline{Z}_i}{\overline{Z}_d + \overline{Z}_i}\right\rvert$
Guasto bifase a terra 	$\overline{V}_2 = \overline{V}_3 = 0$ $\overline{I}_1 = 0$	$\lvert\overline{I}_2\rvert = U_n\cdot\left\lvert\frac{(1+\alpha^2)\cdot\overline{Z}_i + \overline{Z}_o}{\overline{Z}_d\cdot\overline{Z}_i + \overline{Z}_i\cdot\overline{Z}_o + \overline{Z}_o\cdot\overline{Z}_d}\right\rvert$ $\lvert\overline{I}_3\rvert = U_n\cdot\left\lvert\frac{(1+\alpha)\cdot\overline{Z}_i + \overline{Z}_o}{\overline{Z}_d\cdot\overline{Z}_i + \overline{Z}_i\cdot\overline{Z}_o + \overline{Z}_o\cdot\overline{Z}_d}\right\rvert$ $\lvert\overline{I}_{terra}\rvert = \lvert\overline{I}_2 + \overline{I}_3\rvert = U_n\cdot\left\lvert\frac{\overline{Z}_i}{\overline{Z}_d\cdot\overline{Z}_i + \overline{Z}_i\cdot\overline{Z}_o + \overline{Z}_o\cdot\overline{Z}_d}\right\rvert$	$\overline{V}_2 = \overline{V}_3 = 0$ $\lvert\overline{V}_1\rvert = \sqrt{3}\cdot U_n\cdot\left\lvert\frac{\overline{Z}_i\cdot\overline{Z}_o}{\overline{Z}_d\cdot\overline{Z}_i + \overline{Z}_i\cdot\overline{Z}_o + \overline{Z}_o\cdot\overline{Z}_d}\right\rvert$
Guasto monofase 	$\overline{V}_1 = 0$ $\overline{I}_2 = \overline{I}_3 = 0$	$\lvert\overline{I}_{k1}\rvert = \lvert\overline{I}_1\rvert = \frac{\sqrt{3}\cdot U_n}{\lvert\overline{Z}_d + \overline{Z}_i + \overline{Z}_o\rvert}$	$\overline{V}_1 = 0$ $\lvert\overline{V}_2\rvert = U_n\cdot\left\lvert\frac{\overline{Z}_i - \alpha\cdot\overline{Z}_o}{\overline{Z}_d + \overline{Z}_i + \overline{Z}_o}\right\rvert$ $\lvert\overline{V}_3\rvert = U_n\cdot\left\lvert\frac{-\alpha\cdot\overline{Z}_i + \overline{Z}_o}{\overline{Z}_d + \overline{Z}_i + \overline{Z}_o}\right\rvert$

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

6.5.4 Impedenze dirette inverse e omopolari dei componenti elettrici

Ogni elemento che compone la rete elettrica (utility – trasformatore – generatore – cavo) può essere rappresentato da un valore d'impedenza diretta, inversa, omopolare.

Utility
Per utility si intende la rete di distribuzione (solitamente MT) dalla quale prende alimentazione l'impianto. E' caratterizzata da elementi di sequenza diretta e inversa, mentre l'impedenza di sequenza omopolare non viene considerata dal momento che gli avvolgimenti di triangolo del circuito primario del trasformatore bloccano la componente omopolare. Per le impedenze esistenti si può scrivere:

$$Z_d = Z_i = Z_{rete}\,\frac{U_n}{\sqrt{3}\cdot I_{k3}}$$

Trasformatore
E' caratterizzato da elementi di sequenza diretta e inversa, ed in funzione del tipo di collegamento degli avvolgimenti e del sistema di distribuzione lato BT può essere presente anche la componente omopolare.
Pertanto si può dire che:

$$Z_d = Z_i = Z_T = \frac{uk\ \%}{100}\cdot\frac{U_n^2}{S_n}$$

Mentre la componente omopolare può essere espressa come
$Z_o = Z_T$ se è possibile la circolazione delle correnti omopolari nei due avvolgimenti
$Z_o = \infty$ se non è possibile la circolazione delle correnti omopolari nei due avvolgimenti

Cavo
E' caratterizzato da elementi di sequenza diretta, inversa e omopolare che varia in funzione della via di richiusura della corrente di cortocircuito.

Per le componenti di sequenza diretta e inversa si può dire che:
$Z_d = Z_i = Z_C = R_C + j\,X_C$

Per valutare l'impedenza omopolare occorre conoscere il percorso di ritorno della corrente:
$Z_o = Z_C + j3\cdot Z_{nC} = (R_C + 3\cdot R_{nC}) + j\,(X_C + 3\cdot X_{nC})$
ritorno attraverso il neutro (guasto fase -neutro)

$Z_o = Z_C + j3\cdot Z_{PEC} = (R_C + 3\cdot R_{PEC}) + j\,(X_C + 3\cdot X_{PEC})$

ritorno attraverso il PE (guasto fase-conduttore PE nei sistemi TN-S)

$Z_o = Z_{EC} + j3\cdot Z_{EC} = (R_C + 3\cdot R_{EC}) + j\,(X_C + 3\cdot X_{EC})$
ritorno attraverso la terra (guasto fase-terra nei sistemi TT)

dove:
- Z_C, R_C e X_C sono relative al conduttore di fase
- Z_{nC}, R_{nC} e X_{nC} sono relative al conduttore di neutro
- Z_{PEC}, R_{PEC} e X_{PEC} sono relative al conduttore di protezione PE
- Z_{EC}, R_{EC} e X_{EC} sono relative al terreno

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Generatori sincroni
In generale le reattanze alla sequenza diretta, inversa e omopolare delle macchine sincrone (e in generale per le macchine rotanti) presentano valori differenti. Per la sequenza diretta si utilizza solitamente la reattanza subtransitoria X_d'' poiché, in questo caso, per il calcolo della corrente di guasto dà luogo al valore più elevato.
La reattanza di sequenza inversa è molto variabile, essa fluttua tra il valore della X_d'' e X_q''. Nei primi istanti di cortocircuito, X_d'' e X_q'' non differiscono di molto, perciò si può considerare $X_i = X_d''$. Se invece X_d'' e X_q'' sono considerevolmente diverse si può utilizzare un valore pari alla media aritmetica delle due reattanze, quindi:

$$X_i = \frac{X_d'' + X_q''}{2}.$$

Anche la reattanza della sequenza omopolare è molto variabile e risulta inferiore rispetto alle due reattanze precedenti. Per questa reattanza si può assumere un valore pari a 0,1 – 0,7 volte la reattanza inversa o diretta oppure può essere calcolata nel modo seguente:

$$X_o = \frac{x_o\%}{100}\cdot\frac{U_n^2}{S_n}$$

dove $x_o\%$ è un parametro tipico della macchina. Inoltre la componente omopolare risulta influenzata anche dalla modalità di connessione a terra del generatore attraverso l'introduzione dei parametri R_G e X_G che rappresentano la resistenza e la reattanza di messa a terra del generatore. Qualora il generatore abbia centro stella non accessibile o comunque isolato, l'impedenza di messa a terra vale ∞.

Riassumendo, per le impedenze di sequenza si possono considerare le seguenti espressioni:

$$Z_d = (R_a + j\cdot X_d'')$$
$$Z_i = (R_a + j\cdot X_d'')$$
$$Z_o = R_a + 3\cdot R_G + j\cdot(X_o + 3\cdot X_G)$$

dove Ra è la resistenza dello statore $R_a = \frac{X_d''}{2\cdot\pi\cdot f\cdot T_a}$, con T_a costante di tempo di armatura.

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

Carichi
Se il carico è di tipo passivo l'impedenza può essere considerata infinita.
Se il carico non è di tipo passivo, come potrebbe essere per un motore asincrono, è possibile considerare la macchina rappresentata dalla impedenza Z_M per la sequenza diretta e inversa, mentre per la sequenza omopolare il valore di Z_{oM} deve essere fornito dal costruttore. Inoltre se i motori non sono messi a terra, l'impedenza omopolare diventa di valore ∞.
Quindi si ha:

$$Z_d = Z_i = Z_M = (R_M + j \cdot X_M)$$

con Z_M pari a

$$Z_M = \frac{U_n^2}{\frac{I_{LR}}{I_n}} \cdot \frac{1}{S_n}$$

dove:
I_{LR} è la corrente a rotore bloccato del motore
I_n è la corrente nominale del motore

$S_n = \frac{P_n}{(\eta . \cos\varphi_n)}$ è la potenza apparente nominale del motore

Il rapporto $\frac{R_M}{X_M}$ è spesso conosciuto; per motori in B.T. questo rapporto può essere considerato pari a 0.42 con $X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1+\left(\frac{R_M}{X_M}\right)^2}}$, da cui si ricava:

$X_M = 0.922 \cdot Z_M$

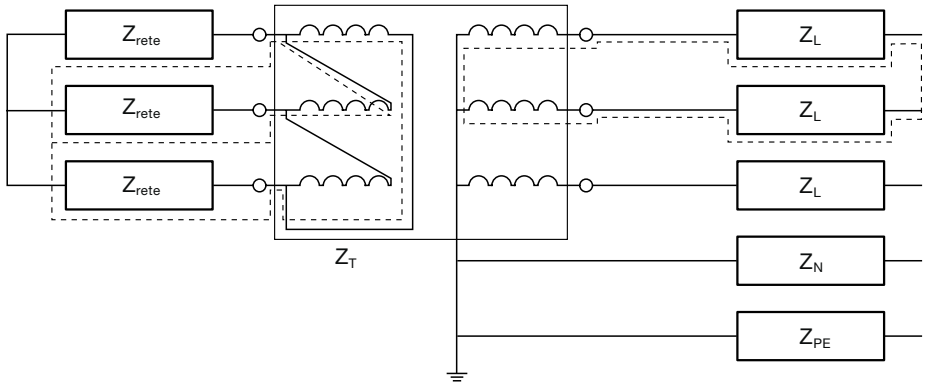
6 Calcolo della corrente di cortocircuito

6.5.5 Formule per il calcolo della corrente di guasto in funzione dei parametri elettrici dell'impianto

Attraverso la Tabella 1 e le formule fornite per le impedenze di sequenza in funzione dei parametri elettrici dei componenti dell'impianto è possibile procedere al calcolo delle varie correnti di cortocircuito.

Nell'esempio seguente si considera una rete con trasformatore MT/BT con avvolgimento primario a triangolo e secondario con centro stella a terra, e si ipotizza un guasto bifase dopo la linea di distribuzione in cavo.

Figura 6



Applicando l'algebra delle sequenze:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)}$$

le impedenze relative alla sequenza diretta e inversa nel caso in esame sono:

$$Z_d = Z_i = Z_{NET} + Z_T + Z_L$$

considerando che $E_d = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$, si ottiene:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)} = \frac{U_n}{2 \cdot (Z_{rete} + Z_T + Z_L)}$$

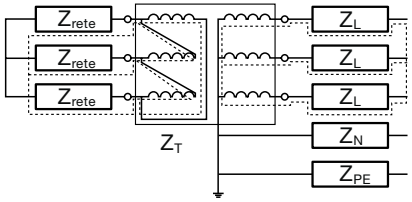
dove:
U_n è la tensione nominale lato BT
Z_T è l'impedenza del trasformatore
Z_L è l'impedenza del conduttore di fase
Z_{rete} è l'impedenza della rete a monte

Con riferimento all'esempio precedente è possibile ottenere la Tabella 2 che riassume l'espressione della corrente di cortocircuito per le varie tipologie di guasto.

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

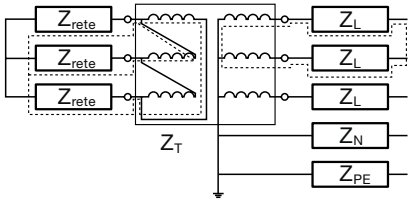
Tabella 2

Guasto frifase I_{k3}



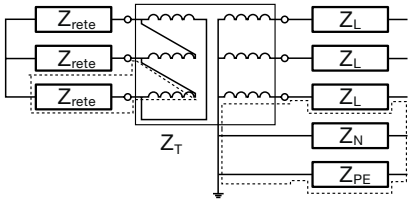
$$I_{k3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_{rete} + Z_T + Z_L)}$$

Guasto fase-fase I_{k2}



$$I_{k2} = \frac{U_n}{2 \cdot (Z_{rete} + Z_T + Z_L)}$$

Guasto monofase I_{k1} (fase neutro o fase-PE)



$$I_{k1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{rete} + Z_T + Z_L + Z_{PE}\right)}$$

$$I_{k1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{rete} + Z_T + Z_L + Z_N\right)}$$

dove:

U_n è la tensione nominale lato BT
Z_T è l'impedenza del trasformatore
Z_L è l'impedenza del conduttore di fase
Z_{rete} è l'impedenza della rete a monte
Z_{PE} è l'impedenza del conduttore di protezione
Z_N è l'impedenza del conduttore di neutro

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

La Tabella 3 sottostante riassume le relazioni per le correnti di guasto considerando la potenza della rete a monte non infinita o infinita e la prossimità o meno del guasto rispetto al trasformatore.

Tabella 3

	Rete a monte di potenza non infinita		Rete a monte di potenza infinita $Z_{rete} \to 0$	
	Lontano dal trasformatore	In prossimità del trasformatore $Z_L \to 0$, Z_{PE} (o Z_N) $\to 0$	Lontano dal trasformatore	In prossimità del trasformatore $Z_L \to 0$, Z_{PE} (o Z_N) $\to 0$
I_{k3}	$I_{k3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_{rete} + Z_T + Z_L)}$	$I_{k3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_{rete} + Z_T)}$	$I_{k3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L)}$	$I_{k3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$
I_{k2}	$I_{k2} = \frac{U_n}{2 \cdot (Z_{rete} + Z_T + Z_L)}$	$I_{k2} = \frac{U_n}{2 \cdot (Z_{rete} + Z_T)}$	$I_{k2} = \frac{U_n}{2 \cdot (Z_T + Z_L)}$	$I_{k2} = \frac{U_n}{2 \cdot (Z_T)}$
	$I_{k2} < I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$
I_{k1}	$I_{k1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{rete} + Z_T + Z_L + Z_{PE}\right)}$	$I_{k1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{rete} + Z_T\right)}$	$I_{k1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L + Z_{PE})}$	$I_{k1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$
	$I_{k1} > I_{k3}$ se $Z_{rete} > 3 \cdot Z_{PE}$	$I_{k1} > I_{k3}$	$I_{k1} \leq I_{k3}$	$I_{k1} = I_{k3}$

6.6 Calcolo del valore di picco della corrente di cortocircuito

Gli effetti elettrodinamici delle correnti di cortocircuito sono particolarmente pericolosi per i condotti sbarre, ma possono arrecare danni anche ai cavi. La corrente di picco diventa importante anche per valutare il valore di I_{cm} dell'interruttore.
Il valore di I_{cm} è legato al valore di I_{cu} secondo quanto riportato nella Tabella 16 della norma IEC 60947-1. Con riferimento alla corrente di cortocircuito dell'impianto dovrà essere $I_{cm} > I_{kp}$.
La corrente di picco in un impianto può essere calcolata con la seguente formula (vedi norma IEC 60909-0):

$$I_{kp} = I''_k \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1.02 + 0.98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot R}{X}}\right)$$

dove:
- I''_k è la corrente di corto circuito (valore efficace) all'istante iniziale del corto circuito
- R è la componente resistiva dell'impedenza di corto circuito nel punto di guasto
- X è la componente reattiva dell'impedenza di corto circuito nel punto di guasto

noto il fattore di potenza $\cos\varphi_k$ si può scrivere:

$$I_{kp} = I''_k \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1.02 + 0.98 \cdot e^{-\frac{3}{\tan\varphi_k}}\right)$$

6.7 Considerazioni riguardanti il contributo al cortocircuito degli UPS (gruppi di continuità)

Nelle seguenti considerazioni viene prestata particolare attenzione ad una doppia conversione o UPS in linea, appartenente alla categoria VFI (Tensione e Frequenza Indipendenti), per la quale la tensione in uscita è indipendente dalle variazioni nella tensione di rete e anche le variazioni di frequenza sono controllate da questo dispositivo nell'ambito di limiti standard prescritti dalle norme. Tale sistema è caratterizzato dalle seguenti modalità di funzionamento:

- in condizioni di funzionamento normale, in presenza della tensione di rete, il carico è alimentato dalla rete stessa attraverso l'UPS;
- in condizioni d'emergenza (mancanza della rete), la potenza al carico è alimentata dalla batteria e dall'invertitore ("alimentazione in isola" con l'UPS disinserito dalla rete);
- in caso di una sovracorrente temporanea richiesta dal carico (p.es. avviamento di motore), l'alimentazione del carico è garantita dalla rete attraverso l'interruttore statico che esclude l'UPS;
- in caso di manutenzione dovuta, per esempio, ad un guasto sull'UPS, il carico è alimentato dalla rete attraverso un interruttore di bypass manuale, rinunciando temporaneamente all'alimentazione di emergenza.

Per quanto riguarda il dimensionamento delle protezioni sul lato alimentazione dell'UPS, è necessario conoscere le caratteristiche della tensione e della corrente di corto circuito della rete; per il dimensionamento delle protezioni sul lato carico, è necessario conoscere i valori della corrente lasciata passare dall'UPS.
Se l'alimentazione dei carichi è fornita direttamente dalla rete attraverso il bypass manuale, anche l'interruttore sul lato carico deve avere un potere di interruzione (Icu) idoneo alla corrente di corto circuito sul lato alimentazione della rete.
Inoltre, se richiesta, è necessaria una valutazione del coordinamento della protezione in relazione alle condizioni di impiego.

6 Calcolo della corrente di cortocircuito

In ogni caso, per selezionare le protezioni idonee, è importante distinguere due situazioni di funzionamento per l'UPS:

1) UPS – funzionamento normale

a) Condizione di sovraccarico:
- se dovuta ad un possibile guasto sulla batteria, questa condizione influenza solo l'interruttore sul lato alimentazione dell'UPS (è probabile l'intervento delle protezioni all'interno della batteria);
- se richiesta dall'utenza, questa condizione potrebbe non essere supportata dall'UPS, che viene bypassato dal convertitore statico.

b) Condizione di corto circuito:
In questo caso, la corrente di cortocircuito è limitata dal dimensionamento dei tiristori del ponte inverter. Nella pratica, gli UPS possono fornire una corrente massima pari al 150÷200% del valore nominale. Nell'eventualità di un corto circuito, l'inverter eroga la corrente massima per un tempo limitato (qualche millisecondo) per commutare poi su rete ed alimentare il carico tramite il circuito di bypass.
In questo caso, la selettività tra l'interruttore sul lato alimentazione e l'interruttore sul lato carico è importante al fine di disinserire solo il carico coinvolto nel guasto.
Il circuito di bypass, detto anche commutatore statico e costituito da tiristori protetti con fusibili extrarapidi, può alimentare il carico con una corrente maggiore di quella dell'inverter; tale corrente risulta limitata dal dimensionamento dei tiristori utilizzati, dalla potenza installata e dalle protezioni predisposte.
I tiristori degli UPS sono solitamente dimensionati per poter sopportare le seguenti condizioni di sovraccarico:
125% per 600 secondi
150% per 60 secondi
700% per 600 millisecondi
1000% per 100 millisecondi
Generalmente è possibile ricavare dati più dettagliati dalle informazioni tecniche fornite dal costruttore.

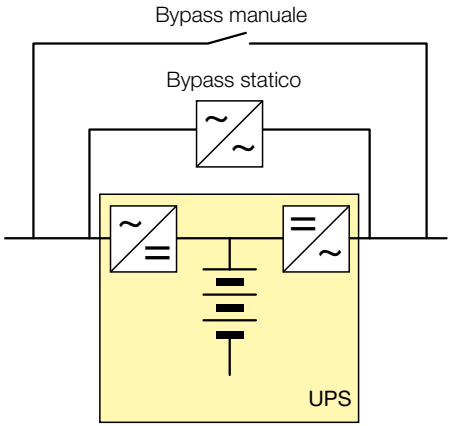
6 Calcolo della corrente di cortocircuito

2) UPS – funzionamento in condizioni di emergenza

a) Condizione di sovraccarico:
questa condizione, coinvolgendo solo l'interruttore del lato carico, è supportata dalla batteria con inverter, che presenta una condizione di sovraccarico normalmente calcolabile nei seguenti ordini di grandezza:
1,15 x In per un tempo indefinito
1,25 x In per 600 secondi
1,5 x In per 60 secondi
2 x In per 1 secondo
Generalmente è possibile ricavare dati più dettagliati dalle informazioni tecniche fornite dal costruttore.

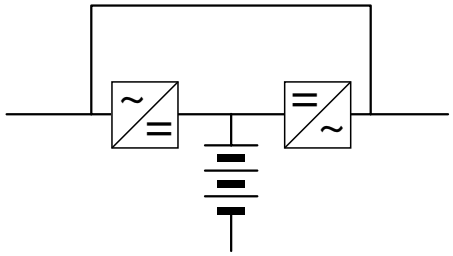
b) Condizione di corto circuito:
la corrente massima verso il carico è limitata dal solo circuito di inverter (con valore pari al 150-200% del valore nominale). L'inverter alimenta il cortocircuito per un certo periodo di tempo, normalmente limitato ad alcuni millisecondi, dopo i quali l'unità UPS disinserisce il carico lasciandolo senza alimentazione. In questa modalità di funzionamento è necessario ottenere la selettività tra l'interruttore sul lato carico e l'inverter, obiettivo piuttosto difficile a causa dei tempi d'intervento ridotti del dispositivo di protezione dell'inverter.

Figura 7



UPS in linea: con commutatore statico

Figura 8



UPS non in linea: carichi alimentati direttamente dalla rete

Appendice A: Protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8

Nelle seguenti pagine vengono trattate le indicazioni relative alla protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8:"Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua".

Le misure di protezione contro i contatti diretti sono:
- isolamento delle parti attive mediante un isolante che possa essere rimosso solo tramite distruzione (ad es. l'isolamento del cavo);
- barriere o involucri: le parti attive devono trovarsi entro contenitori o dietro barriere con grado di protezione non inferiore a IPXXB; per superfici orizzontali il grado di protezione dovrà essere non inferiore a IPXXD (per il significato delle sigle dei gradi di protezione, vedere il Vol.1, cap. 6.1 "Il quadro elettrico").
- ostacoli: l'interposizione di un ostacolo tra le parti attive e l'operatore previene soltanto il contatto accidentale ma non il contatto intenzionale mediante rimozione dello stesso senza attrezzi particolari.
- distanziamento: le parti simultaneamente accessibili a tensione diversa non devono essere a portata di mano.

Una misura di protezione addizionale contro i contatti diretti è costituita dagli interruttori differenziali con corrente differenziale nominale d'intervento non superiore a 30mA.
Occorre ricordare che l'uso del dispositivo differenziale quale misura di protezione contro i contatti diretti non dispensa dall'applicazione di una delle misure di protezione sopra indicate, tuttavia tale protezione addizionale è richiesta:
- nei licali ad uso abitativo per i circuiti che alimentano le prese a spina con In non superiore a 20 A;
- per i circuiti che alimentano le prese spina con una In non superiore a 32 A destinate ad alimentare apparecchi utilizzatori mobili usati all'esterno.

Le misure di protezione contro i contatti indiretti sono:
- interruzione automatica dell'alimentazione: un dispositivo di protezione deve interrompere automaticamente l'alimentazione al circuito in un tempo tale che la tensione di contatto nelle masse non permanga per i tempi superiori a quelli che comportano degli effetti fisiopatologici nel corpo umano;
- utilizzo di componenti elettrici di classe II o con isolamento equivalente;
- protezione mediante luoghi non conduttori: i locali di tale tipo hanno un particolare valore minimo di resistenza delle pareti e del pavimento (> 50kΩ per Un < 500V; > 100kΩ per Un > 500V);
- separazione elettrica: alimentando ad esempio un circuito mediante una sorgente con almeno separazione semplice;
- protezione mediante collegamento equipotenziale locale non connesso a terra;

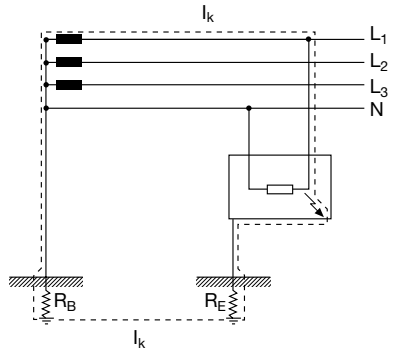
Esistono infine le seguenti misure che forniscono la protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti:
- sistema a bassissima tensione di sicurezza SELV (Safety Extra Low Voltage);
- sistema a bassissima protezione PELV (Protective Extra Low Voltage);
- sistema a bassissima tensione funzionale FELV (Functional Extra Low Voltage).

Appendice A: Protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8

Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT

Un guasto a terra in un sistema TT da origine al circuito di guasto rappresentato nella seguente figura 1:

Fig.1: Guasto a terra in un sistema TT



La corrente di guasto percorre l'avvolgimento secondario del traformatore, i conduttori di fase, la resistenza di guasto, il conduttore di protezione , le resistenze di terra (dell'utente R_E e del neutro R_B). I dispositivi utilizzati per realizzare la protezione contro i contatti indiretti devono essere coordinati con l'impianto di terra in modo da interrompere tempestivamente il circuito, se la tensione di contatto assume valori pericolosi per l'uomo. Per realizzare una corretta protezione mediante l'interruzione automatica del circuito in un sistema TT occorre rispettare la seguente relazione:

$$R_E \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}}$$

Dove:
R_E è la resistenza in ohm del dispersore di terra
$I_{\Delta n}$ è la corrente d'intervento differenziale nominale dell'interruttore differenziale (in ampere) con un ritardo massimo ammesso di un secondo
U_L è la tensione di contatto limite (50V per gli ambienti odinari, 25V per ambienti speciali).

Da quanto detto, nella seguente tabella sono riportati i valori massimi della resistenza R_E ottenibili con interruttori differenziali e con riferimento ad un ambiente ordinario (U_L pari a 50V).

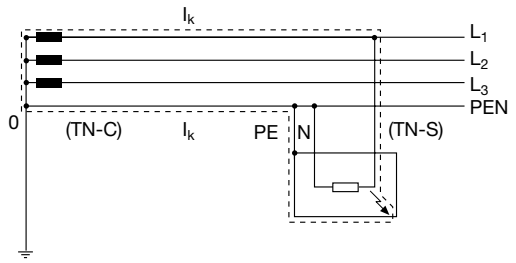
$I_{\Delta n}$ [A]	R_A [Ω]
0.01	5000
0.03	1666
0.1	500
0.3	166
0.5	100
3	16
10	5
30	1.6

Appendice A: Protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8

Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN

Un guasto a terra in un sistema TN dà origine al circuito di guasto rappresentato nella figura 2:

Fig.2: Guasto a terra nei sistemi TN



Come mostrato in figura, la via di richiusura della corrente non coinvolge il terreno ma è costituita essenzialmente dai conduttori di fase in serie con il conduttore di protezione (PE o PEN).
Per attuare la protezione con interruzione automatica del circuito occore realizzare la seguente condizione:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

Dove:

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente , il conduttore attivo fino al punto di guasto ed il conduttore di protezione tra il guasto e la sorgente (in ohm)

U_0 è la tensione nominale tra la fase e terra dell'impianto (in volt)

I_a è il valore della corrente di intervento del dispositivo di protezione entro il tempo definito nella tabella 1 in funzione della tensione nominale U_0 per i circuiti terminali protetti con dispositivi di protezione contro le sovraccorrenti aventi correnti nominale o regolata che non supera 32A, o entro un tempo convenzionale non superiore a 5s per i circuiti diversi da quelli indicati precedentemente; se si usa un interruttore differenziale I_a è la corrente differenziale nominale di intervento.

Tabella 1: Tempi massimi di interruzione per i sistemi TN

	50 V < U_0 ≤ 120 v s		120 V < U_0 ≤ 230 v s		230 V < U_0 ≤ 400 v s		400 V > 400 v s	
Sistema	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
TN	0.8	Nota 1	0.4	5	0.2	0.4	0.1	0.1
U_0 è la tensione nominale verso terra in c.c. o c.a.								

Nota 1 Per le tensioni che sono entro la banda di tolleranza precisata nella Norma CEI 8-6 si applicano i tempi di interruzione corrispondenti alla tensione nominale.

Nota 2 Per i valori di tensione intermedi, si sceglie il valore prossimo della tabella 1.

Nota 3 L'interruzione può essere richiesta per ragioni diverse da quelle relative alla protezione contro i contatti elettrici.

Nota 4 Quando la prescrizione di questo articolo sia soddisfatta mediante l'uso di dispositivi di protezione a corrente differenziale, i tempi di interruzione della presente Tabella si riferiscono a correnti di guasto differenziali presunte significativamente più elevate della corrente differenziale nominale dell'interruttore differenziale (tipicamente 5 $I_{\Delta n}$).

Appendice A: Protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8

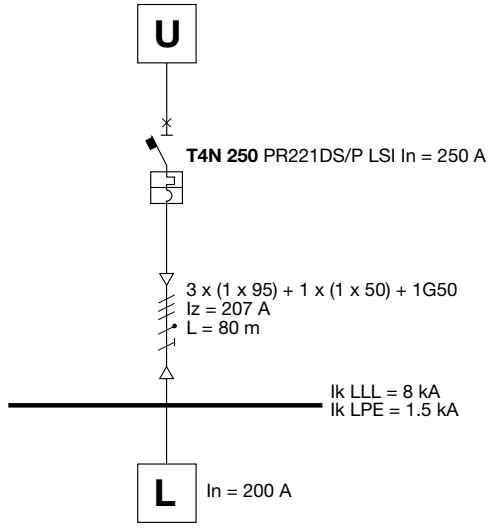
Inoltre se l'interruzione automatica non può essere ottenuta rispettando i tempi della tabella o entro il tempo convenzionale è necessario realizzare un collegamento equipotenziale locale connesso a terra.
La scelta del dispositivo automatico ai fini della protezione contro i contatti indiretti (guasto fase-PE) è da effettuarsi coordinando opportunamente i tempi di intervento con il valore dell'impedenza dell'anello di guasto.
Nei sistemi TN un guasto franco a terra nel lato bassa tensione genera solitamente una corrente di entità simile a quella di un cortocircuito fase e neutro e la corrente di guasto che percorre il conduttore (o i conduttori) di fase e quello di protezione non interessa in alcun modo l'impianto di terra.
La relazione $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ può essere scritta nel seguente modo:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} = Ik_{LPE}$$

Dove Ik_{LPE} è la corrente di guasto fase-PE. Si può quindi affermare che la protezione dai contatti indiretti è verificata se la corrente di intervento la del dispositivo di protezione (entro i tempi della tabella o entro 5 secondi) è inferiore alla corrente di guasto fase-PE (Ik_{LPE}) che si ha in corrispondenza della massa da proteggere.

Si fa notare infine, che l'interruttore differenziale non può essere utilizzato nei sistemi TN-C, in quanto le funzioni di neutro e di protezione sono assolte da un unico conduttore PEN, configurazione che pregiudica il funzionamento del dispositivo.

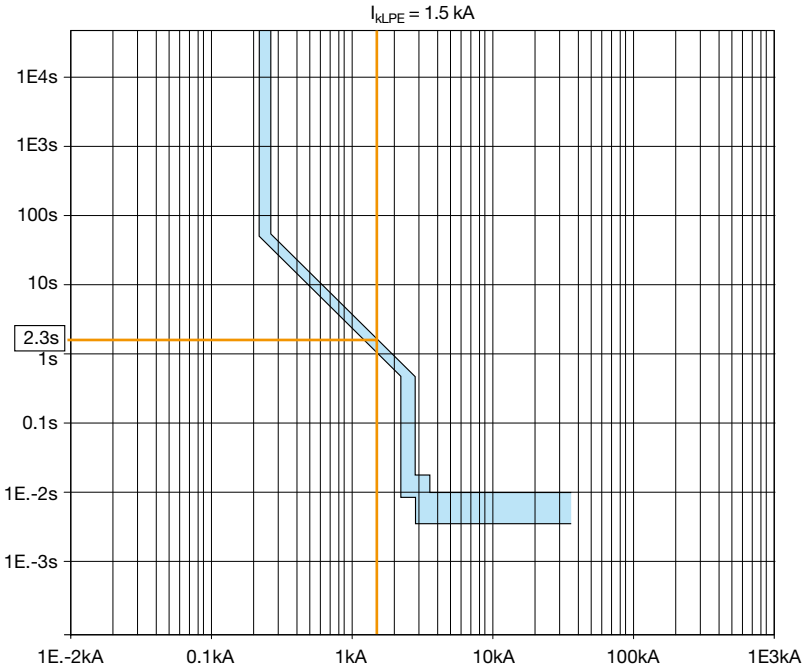
Esempio



Appendice A: Protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8

Dalla curva tempo-corrente (figura 3) si può verificare che l'interruttore interviene in un tempo inferiore a 5s (2.3 s considerando la tolleranza) per una corrente pari a 1.5kA valore della corrente di guasto fase-PE

Fig.3: Curve tempo-corrente LPE

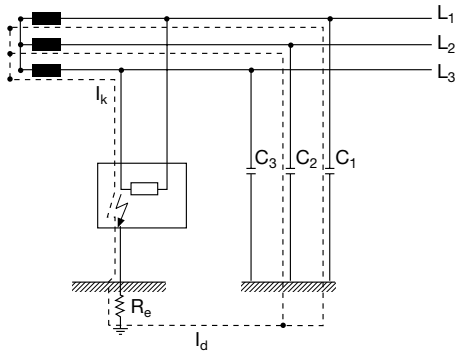


Appendice A: Protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8

Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi IT

Come si può vedere dalla figura 4, la corrente di guasto a terra in un sistema IT si richiude attraverso le capacità verso terra dell'impianto; pertanto la corrente di primo guasto verso terra risulterà essere di valore estremamente ridotto e le tensioni di contatto originate assumeranno di conseguenza valori particolarmente bassi.

Fig.4: Guasto a terra in un sistema IT



Secondo la norma non è necessaria l'interruzione automatica del circuito nel caso di un singolo guasto a terra purchè sia verificata la condizione

$$R_E \cdot I_d \leq U_L$$

Dove:

R_E è la resistenza in ohm del dispersore al quale sono collegate le masse;

I_d è la corrente di guasto in ampere, del primo guasto di impedenza trascurabile tra un conduttore di linea ed una massa. Il valore di Id tiene conto delle correnti di dispersione e dell'impedenza totale verso terra dell'impianto elettrico.

U_L è la tensione di contatto limite

Appendice A: Protezione contro i contatti diretti e indiretti in accordo alla sesta edizione della norma CEI 64-8

Negli impianti che adottano il sistema IT si deve prevedere un dispositivo di controllo dell'isolamento per segnalare la presenza della condizione anomala una volta manifestatosi un primo guasto; nel caso di un secondo guasto occorre interrompere l'alimentazione secondo le seguenti modalità:

a) Quando le masse sono collegate a terra per gruppi o individualmente le condizioni per la protezione sono analoghe a quelle indicate per il sistema TT
b) Quando le masse sono interconnesse collettivamente da un conduttore di protezione, si applicano le prescrizioni relative al sistema TN in particolare: Quando il neutro non è distribuito si deve verificare la seguente condizione

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

Quando il neutro è distribuito si deve verificare la seguente condizione:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

Dove:

U_0 è la tensione, in c.a. o c.c. tra il conduttore di linea e rispettivamente il conduttore di neutro od il conduttore mediano;
U è la tensione, in c.a. o c.c. tra i conduttori di linea;
Z_s è l'impedenza in ohm, dell'anello di guasto comprendente il conduttore di linea ed il conduttore di protezione del circuito
Z'_s è l'impedenza, in ohm, dell'anello di guasto comprendente il conduttore di neutro ed il conduttore di protezione del circuito
I_a è la corrente, in ampere, che provoca l'intervento automatico del dispositivo di protezione entro i tempi indicati per i sistemi TN (vedi tabella 1) riferita ai circuiti terminali protetti con dispositivi di protezione contro le sovraccorrenti aventi corrente nominale o regolata che non supera 32A, o entro un tempo convenzionale non superiore a 5s per i circuiti diversi da quelli indicati precedentemente

La norma CEI 64-8 prevede che, se le condizioni di cui al precedente punto b) non possono essere soddisfatte si deve prevedere un collegamento equipotenziale locale non connesso a terra.

Appendice B: Calcolo della corrente d'impiego I_b

Carichi generici

La formula che consente di calcolare la corrente di impiego di un carico generico è la seguente

$$I_b = \frac{P}{k \cdot U_n \cdot \cos\varphi}$$

dove:

- P è la potenza attiva espressa in W;
- k è un coefficiente che vale:
  - 1 per sistemi monofase o per sistemi in corrente continua;
  - $\sqrt{3}$ per sistemi trifase;
- U_n è la tensione nominale espressa in V (per i sistemi trifase è la tensione concatenata, per i sistemi monofase è la tensione di fase);
- cosφ è il fattore di potenza.

La tabella 1 consente di ricavare la corrente d'impiego per alcuni valori di potenza in funzione della tensione nominale. La tabella è stata calcolata considerando il cosφ pari a 0,9; per fattori di potenza differenti, occorre moltiplicare il valore letto dalla tabella 1 per il coefficiente presente nella tabella 2 in corrispondenza del valore attuale del fattore di potenza ($\cos\varphi_{act}$).

Tabella 1: corrente d'impiego per sistemi trifase con cosφ= 0,9

	U_n [V]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [kW]	I_b [A]						
0.03	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
0.04	0.11	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04
0.06	0.17	0.10	0.09	0.09	0.08	0.06	0.06
0.1	0.28	0.16	0.15	0.15	0.13	0.11	0.09
0.2	0.56	0.32	0.31	0.29	0.26	0.21	0.19
0.5	1.39	0.80	0.77	0.73	0.64	0.53	0.46
1	2.79	1.60	1.55	1.46	1.28	1.07	0.93
2	5.58	3.21	3.09	2.92	2.57	2.14	1.86
5	13.95	8.02	7.73	7.29	6.42	5.35	4.65
10	27.89	16.04	15.46	14.58	12.83	10.69	9.30
20	55.78	32.08	30.92	29.16	25.66	21.38	18.59
30	83.67	48.11	46.37	43.74	38.49	32.08	27.89
40	111.57	64.15	61.83	58.32	51.32	42.77	37.19
50	139.46	80.19	77.29	72.90	64.15	53.46	46.49
60	167.35	96.23	92.75	87.48	76.98	64.15	55.78
70	195.24	112.26	108.20	102.06	89.81	74.84	65.08
80	223.13	128.30	123.66	116.64	102.64	85.53	74.38
90	251.02	144.34	139.12	131.22	115.47	96.23	83.67
100	278.91	160.38	154.58	145.80	128.30	106.92	92.97
110	306.80	176.41	170.04	160.38	141.13	117.61	102.27
120	334.70	192.45	185.49	174.95	153.96	128.30	111.57
130	362.59	208.49	200.95	189.53	166.79	138.99	120.86
140	390.48	224.53	216.41	204.11	179.62	149.68	130.16
150	418.37	240.56	231.87	218.69	192.45	160.38	139.46
200	557.83	320.75	309.16	291.59	256.60	213.83	185.94

Appendice B: Calcolo della corrente d'impiego I_b

	U_n [V]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [kW]	I_b[A]						
250	697.28	400.94	386.45	364.49	320.75	267.29	232.43
300	836.74	481.13	463.74	437.39	384.90	320.75	278.91
350	976.20	561.31	541.02	510.28	449.05	374.21	325.40
400	1115.65	641.50	618.31	583.18	513.20	427.67	371.88
450	1255.11	721.69	695.60	656.08	577.35	481.13	418.37
500	1394.57	801.88	772.89	728.98	641.50	534.58	464.86
550	1534.02	882.06	850.18	801.88	705.65	588.04	511.34
600	1673.48	962.25	927.47	874.77	769.80	641.50	557.83
650	1812.94	1042.44	1004.76	947.67	833.95	694.96	604.31
700	1952.39	1122.63	1082.05	1020.57	898.10	748.42	650.80
750	2091.85	1202.81	1159.34	1093.47	962.25	801.88	697.28
800	2231.31	1283.00	1236.63	1166.36	1026.40	855.33	743.77
850	2370.76	1363.19	1313.92	1239.26	1090.55	908.79	790.25
900	2510.22	1443.38	1391.21	1312.16	1154.70	962.25	836.74
950	2649.68	1523.56	1468.49	1385.06	1218.85	1015.71	883.23
1000	2789.13	1603.75	1545.78	1457.96	1283.00	1069.17	929.71

Tabella 2: Fattore di correzione della corrente d'impiego per cosφ diverso da 0,9

$\cos\varphi_{act}$	1	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
$k_{cos\varphi}$*	0.9	0.947	1	1.059	1.125	1.2	1.286

* Per valori di $\cos\varphi_{act}$ non presenti in tabella, $k_{cos\varphi} = \frac{0.9}{\cos\varphi_{act}}$

La tabella 3 consente di ricavare la corrente d'impiego per alcuni valori di potenza in funzione della tensione nominale. La tabella è stata calcolata considerando il cosφ pari a 1; per fattori di potenza differenti, occorre moltiplicare il valore letto dalla tabella 3 per il coefficiente presente nella tabella 4 in corrispondenza del valore attuale del fattore di potenza ($\cos\varphi_{act}$).

Tabella 3: Corrente d'impiego per sistemi monofase con cosφ = 1 o sistemi in c.c.

	U_n [V]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [kW]	I_b [A]						
0.03	0.13	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
0.04	0.17	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
0.06	0.26	0.15	0.14	0.14	0.12	0.10	0.09
0.1	0.43	0.25	0.24	0.23	0.20	0.17	0.14
0.2	0.87	0.50	0.48	0.45	0.40	0.33	0.29
0.5	2.17	1.25	1.20	1.14	1.00	0.83	0.72
1	4.35	2.50	2.41	2.27	2.00	1.67	1.45
2	8.70	5.00	4.82	4.55	4.00	3.33	2.90
5	21.74	12.50	12.05	11.36	10.00	8.33	7.25
10	43.48	25.00	24.10	22.73	20.00	16.67	14.49
20	86.96	50.00	48.19	45.45	40.00	33.33	28.99

Appendice B: Calcolo della corrente d'impiego I_b

	U_n [V]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [kW]	I_b [A]						
30	130.43	75.00	72.29	68.18	60.00	50.00	43.48
40	173.91	100.00	96.39	90.91	80.00	66.67	57.97
50	217.39	125.00	120.48	113.64	100.00	83.33	72.46
60	260.87	150.00	144.58	136.36	120.00	100.00	86.96
70	304.35	175.00	168.67	159.09	140.00	116.67	101.45
80	347.83	200.00	192.77	181.82	160.00	133.33	115.94
90	391.30	225.00	216.87	204.55	180.00	150.00	130.43
100	434.78	250.00	240.96	227.27	200.00	166.67	144.93
110	478.26	275.00	265.06	250.00	220.00	183.33	159.42
120	521.74	300.00	289.16	272.73	240.00	200.00	173.91
130	565.22	325.00	313.25	295.45	260.00	216.67	188.41
140	608.70	350.00	337.35	318.18	280.00	233.33	202.90
150	652.17	375.00	361.45	340.91	300.00	250.00	217.39
200	869.57	500.00	481.93	454.55	400.00	333.33	289.86
250	1086.96	625.00	602.41	568.18	500.00	416.67	362.32
300	1304.35	750.00	722.89	681.82	600.00	500.00	434.78
350	1521.74	875.00	843.37	795.45	700.00	583.33	507.25
400	1739.13	1000.00	963.86	909.09	800.00	666.67	579.71
450	1956.52	1125.00	1084.34	1022.73	900.00	750.00	652.17
500	2173.91	1250.00	1204.82	1136.36	1000.00	833.33	724.64
550	2391.30	1375.00	1325.30	1250.00	1100.00	916.67	797.10
600	2608.70	1500.00	1445.78	1363.64	1200.00	1000.00	869.57
650	2826.09	1625.00	1566.27	1477.27	1300.00	1083.33	942.03
700	3043.48	1750.00	1686.75	1590.91	1400.00	1166.67	1014.49
750	3260.87	1875.00	1807.23	1704.55	1500.00	1250.00	1086.96
800	3478.26	2000.00	1927.71	1818.18	1600.00	1333.33	1159.42
850	3695.65	2125.00	2048.19	1931.82	1700.00	1416.67	1231.88
900	3913.04	2250.00	2168.67	2045.45	1800.00	1500.00	1304.35
950	4130.43	2375.00	2289.16	2159.09	1900.00	1583.33	1376.81
1000	4347.83	2500.00	2409.64	2272.73	2000.00	1666.67	1449.28

Tabella 4: Fattore di correzione della corrente d'impiego per cosφ diverso da 1

$\cos\varphi_{act}$	1	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
$k_{cos\varphi}$*	1	1.053	1.111	1.176	1.25	1.333	1.429

* Per valori di $\cos\varphi_{act}$ non presenti in tabella, $k_{cos\varphi} = \frac{1}{\cos\varphi_{act}}$

Circuiti di illuminazione

La corrente assorbita dal sistema di illuminazione può essere dedotta dal catalogo dell'apparecchiatura illuminante o calcolata approssimativamente con la seguente formula:

$$I_b = \frac{P_L n_L k_B}{U_{nL} \cos\varphi \, k_N}$$

dove:
- PL è la potenza della lampada in [W];
- n_L è il numero delle lampade per fase;
- k_B è un coefficiente che vale:
  - 1 per lampade che non necessitano di dispositivi ausiliari di accensione;
  - 1,25 per lampade che necessitano di dispositivi ausiliari di accensione;
- k_N è un coefficiente che vale:
  - 1 per lampade connesse a stella;
  - $\sqrt{3}$ per lampade connesse a triangolo;
- U_{nL} è la tensione nominale delle lampade;
- cosφ è il fattore di potenza delle lampade che vale:
  - 0,4 per lampade non rifasate;
  - 0.9 per lampade rifasate.

Appendice B: Calcolo della corrente d'impiego I_b

Motori

La tabella 5 riporta dei valori indicativi della corrente d'impiego di alcuni motori trifase a gabbia di scoiattolo, 1500 giri al minuto a 50 Hz in funzione della tensione nominale.

Nota: questi valori sono dati solo a scopo informativo, e possono variare secondo il produttore del motore e in base al numero dei poli

Tabella 5: Corrente d'impiego dei motori

Potenza del motore		Corrente nominale del motore a:							
[kW]	PS = hp	220-230 V [A]	240 V [A]	380-400 V [A]	415 V [A]	440 V [A]	500 V [A]	600 V [A]	660-690 V [A]
0.06	1/12	0.38	0.35	0.22	0.20	0.19	0.16	0.12	–
0.09	1/8	0.55	0.50	0.33	0.30	0.28	0.24	0.21	–
0.12	1/6	0.76	0.68	0.42	0.40	0.37	0.33	0.27	–
0.18	1/4	1.1	1	0.64	0.60	0.55	0.46	0.40	–
0.25	1/3	1.4	1.38	0.88	0.85	0.76	0.59	0.56	–
0.37	1/2	2.1	1.93	1.22	1.15	1.06	0.85	0.77	0.7
0.55	3/4	2.7	2.3	1.5	1.40	1.25	1.20	1.02	0.9
0.75	1	3.3	3.1	2	2	1.67	1.48	1.22	1.1
1.1	1.5	4.9	4.1	2.6	2.5	2.26	2.1	1.66	1.5
1.5	2	6.2	5.6	3.5	3.5	3.03	2.6	2.22	2
2.2	3	8.7	7.9	5	5	4.31	3.8	3.16	2.9
2.5	3.4	9.8	8.9	5.7	5.5	4.9	4.3	3.59	3.3
3	4	11.6	10.6	6.6	6.5	5.8	5.1	4.25	3.5
3.7	5	14.2	13	8.2	7.5	7.1	6.2	5.2	4.4
4	5.5	15.3	14	8.5	8.4	7.6	6.5	5.6	4.9
5	6.8	18.9	17.2	10.5	10	9.4	8.1	6.9	6
5.5	7.5	20.6	18.9	11.5	11	10.3	8.9	7.5	6.7
6.5	8.8	23.7	21.8	13.8	12.5	12	10.4	8.7	8.1
7.5	10	27.4	24.8	15.5	14	13.5	11.9	9.9	9
8	11	28.8	26.4	16.7	15.4	14.4	12.7	10.6	9.7
9	12.5	32	29.3	18.3	17	15.8	13.9	11.6	10.6
11	15	39.2	35.3	22	21	19.3	16.7	14.1	13
12.5	17	43.8	40.2	25	23	21.9	19	16.1	15
15	20	52.6	48.2	30	28	26.3	22.5	19.3	17.5
18.5	25	64.9	58.7	37	35	32	28.5	23.5	21
20	27	69.3	63.4	40	37	34.6	30.6	25.4	23
22	30	75.2	68	44	40	37.1	33	27.2	25
25	34	84.4	77.2	50	47	42.1	38	30.9	28
30	40	101	92.7	60	55	50.1	44	37.1	33
37	50	124	114	72	66	61.9	54	45.4	42
40	54	134	123	79	72	67	60	49.1	44
45	60	150	136	85	80	73.9	64.5	54.2	49
51	70	168	154	97	90	83.8	73.7	61.4	56
55	75	181	166	105	96	90.3	79	66.2	60
59	80	194	178	112	105	96.9	85.3	71.1	66
75	100	245	226	140	135	123	106	90.3	82
80	110	260	241	147	138	131	112	96.3	86
90	125	292	268	170	165	146	128	107	98
100	136	325	297	188	182	162	143	119	107
110	150	358	327	205	200	178	156	131	118
129	175	420	384	242	230	209	184	153	135
132	180	425	393	245	242	214	186	157	140
140	190	449	416	260	250	227	200	167	145
147	200	472	432	273	260	236	207	173	152
160	220	502	471	295	280	256	220	188	170
180	245	578	530	333	320	289	254	212	190
184	250	590	541	340	325	295	259	217	200
200	270	626	589	370	340	321	278	235	215
220	300	700	647	408	385	353	310	260	235
250	340	803	736	460	425	401	353	295	268
257	350	826	756	475	450	412	363	302	280
295	400	948	868	546	500	473	416	348	320
315	430	990	927	580	535	505	445	370	337
355	480	1080	1010	636	580	549	483	405	366
400	545	1250	1130	710	650	611	538	450	410
450	610	1410	1270	800	740	688	608	508	460
475	645	1490	1340	850	780	730	645	540	485
500	680	1570	1420	890	830	770	680	565	510
560	760	1750	1580	1000	920	860	760	630	570
600	810	–	–	1080	990	920	810	680	610
670	910	–	–	1200	1100	1030	910	760	680

Appendice C: Armoniche

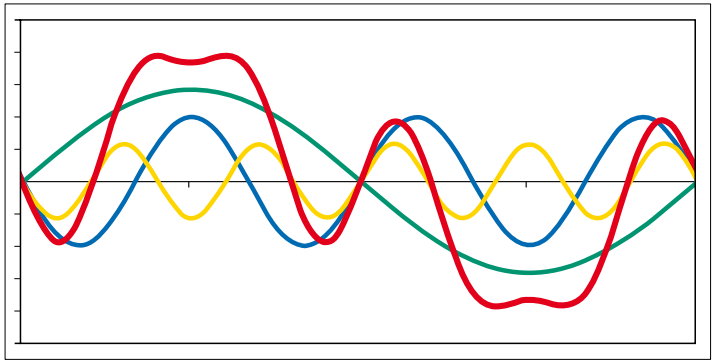
Cosa sono?

Le armoniche permettono la rappresentazione di una forma d'onda periodica qualsiasi; infatti secondo il teorema di Fourier qualsiasi funzione periodica di periodo T può essere rappresentata come una sommatoria di:

- una sinusoide con lo stesso periodo T;
- delle sinusoidi con frequenza uguale a multipli interi della fondamentale;
- un'eventuale componente continua, se la funzione ha valore medio non nullo nel periodo.

L'armonica con frequenza corrispondente al periodo della forma d'onda originaria è detta armonica fondamentale e l'armonica con frequenza uguale a "n" volte quella della fondamentale si chiama armonica di ordine "n".
Una forma d'onda perfettamente sinusoidale secondo il teorema di Fourier non presenta armoniche di ordine diverso dalla fondamentale. Si capisce quindi come in un sistema elettrico quando le forme d'onda della corrente e della tensione sono sinusoidali non si hanno armoniche. Viceversa la presenza di armoniche in un sistema elettrico è indice della deformazione della forma d'onda della tensione o della corrente e ciò comporta una distribuzione dell'energia elettrica tale da poter provocare cattivi funzionamenti delle apparecchiature e dei dispositivi di protezione.
Riassumendo le armoniche non sono altro che le componenti di una forma d'onda distorta e il loro utilizzo consente di analizzare una qualsiasi forma d'onda periodica non sinusoidale mediante diverse forme d'onda componenti sinusoidali.
Nella figura 1 seguente è riportata una rappresentazione grafica del concetto.

Figura 1



Legenda:

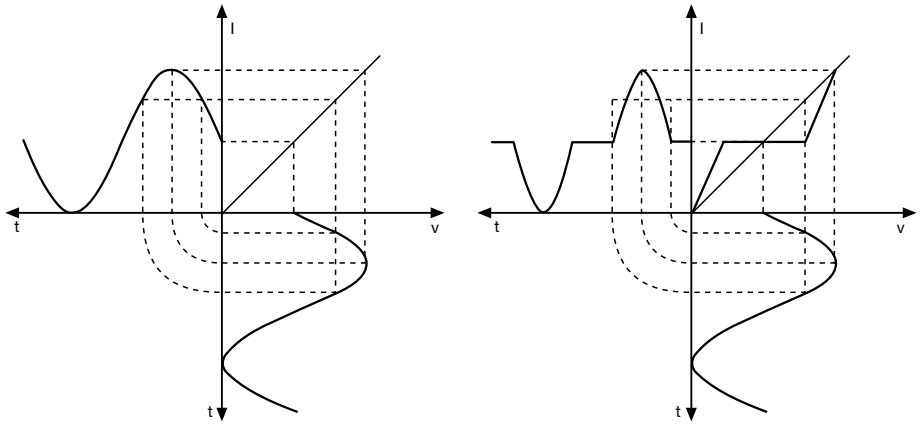
- forma d'onda distorta
- prima armonica (fondamentale)
- terza armonica
- quinta armonica

Appendice C: Armoniche

Come vengono generate le armoniche?

Le armoniche sono generate da carichi aventi una curva caratteristica non lineare. Se applichiamo una tensione sinusoidale ad un carico di tale genere otterremo una corrente con forma d'onda non sinusoidale. Un esempio di forma d'onda di corrente non sinusoidale a causa di un carico non lineare è rappresentato nel grafico di figura 2:

Figura 2



Carico lineare | Carico non lineare

Come detto in precedenza questa forma d'onda non sinusoidale può essere scomposta in armoniche. Se le impedenze di rete sono molto basse, la distorsione della tensione risultante da una corrente armonica è pure bassa, e spesso difficilmente al di sopra del livello di inquinamento già presente sulla rete. Quindi la tensione può rimanere praticamente sinusoidale anche in presenza di armoniche di corrente.
Molte apparecchiature elettroniche per poter funzionare correttamente necessitano di una forma d'onda di corrente ben precisa e per fare ciò devono 'tagliare' la forma d'onda sinusoidale in modo da variarne il valore efficace o addirittura per ottenere una corrente continua da un valore alternato; in questi casi la corrente sulla linea assume un'andamento non più sinusoidale.
Le principali apparecchiature che generano armoniche sono:

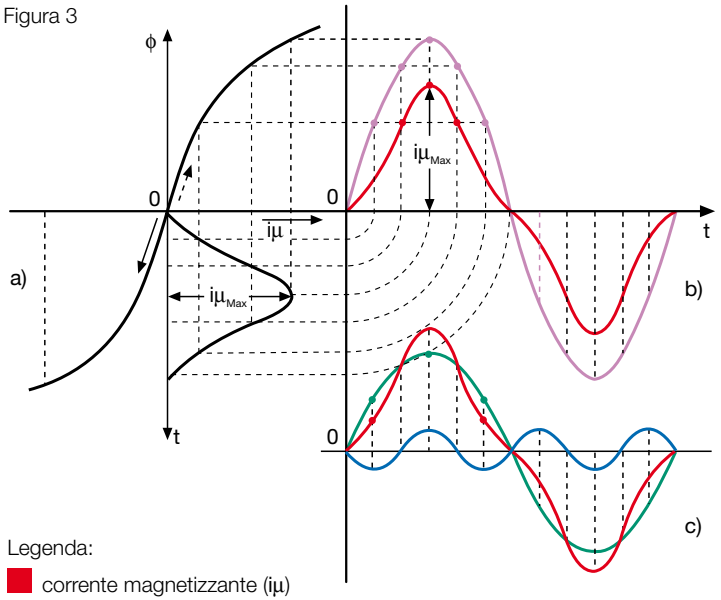
- personal computer
- lampade fluorescenti
- convertitori statici
- gruppi di continuità
- azionamenti a velocità variabile
- saldatrici

In generale la distorsione della forma d'onda è imputabile alla presenza, all'interno di tali apparecchiature, di ponti raddrizzatori i cui dispositivi a semiconduttori conducono solo per una frazione dell'intero periodo creando andamenti discontinui con la conseguente introduzione di numerose armoniche.

Appendice C: Armoniche

Anche i trasformatori possono essere causa di inquinamento armonico; infatti applicando una tensione perfettamente sinusoidale ad un trasformatore si ha un flusso di magnetizzazione anch'esso sinusoidale ma a causa del fenomeno della saturazione magnetica del ferro la corrente di magnetizzazione non sarà sinusoidale. Nella figura 3 viene riportata la rappresentazione grafica di questo fenomeno:

Figura 3



Legenda:

- corrente magnetizzante (iμ)
- corrente di prima armonica (fondamentale)
- corrente di terza armonica
- flusso variabile nel tempo: $\phi = \phi_{Max} \sin\omega t$

La forma d'onda risultante della corrente magnetizzante contiene numerose armoniche la maggiore delle quali è quella di ordine tre. Occorre però notare che la corrente magnetizzante è in generale una piccola percentuale della corrente nominale del trasformatore e l'effetto di distorsione diventa più trascurabile quanto più caricato risulta il trasformatore.

Effetti

I principali effetti delle armoniche di corrente sono:
1) sovraccarico del neutro
2) aumento delle perdite nei trasformatori
3) aumento dell'effetto pelle

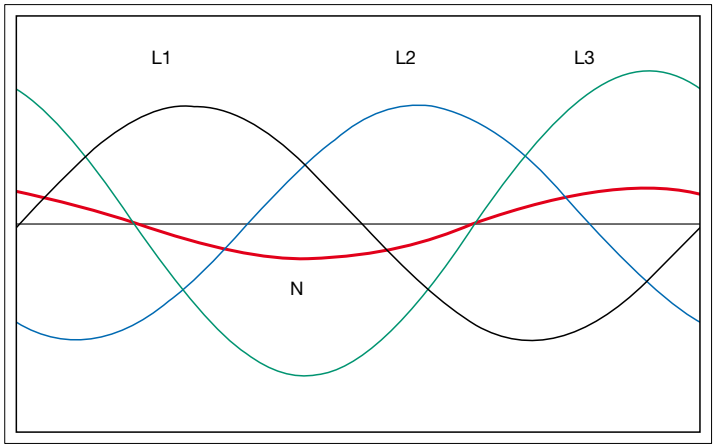
I principali effetti delle armoniche di tensione sono:
4) deformazione della tensione
5) disturbi nella coppia dei motori ad induzione

Appendice C: Armoniche

1) Sovraccarico del neutro

In un sistema simmetrico ed equilibrato trifase con neutro, le forme d'onda tra le fasi sono sfasate di 120° cosicché, quando le fasi sono ugualmente caricate, la corrente nel neutro è nulla. La presenza di carichi dissimetrici (fase-fase, fase-neutro ecc) fa circolare nel neutro una corrente di squilibrio.

Figura 4

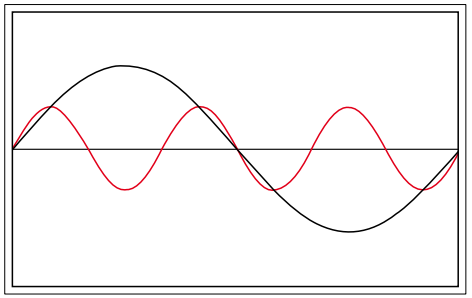


Nella figura 4 è riportato un sistema di correnti dissimmetrico (fase 3 caricata del 30% in più rispetto alle altre due fasi), e in rosso è evidenziata la corrente risultante nel neutro.
Le norme consentono in tali circostanze di dimensionare il conduttore di neutro con sezione inferiore rispetto ai conduttori di fase.
In presenza di carichi deformanti occorre valutare correttamente gli effetti delle armoniche. Infatti, sebbene le correnti a frequenza fondamentale nelle tre fasi si annullino mutuamente, le componenti di terza armonica avendo un periodo pari ad un terzo della fondamentale, vedi figura 5, ossia uguale allo sfasamento tra le fasi, si trovano in fase tra di loro quindi si sommano nel neutro andandosi ad aggiungere alle normali correnti di sbilanciamento. Stesso discorso vale anche per le armoniche multiple di tre (pari e dispari; in realtà le dispari sono molto più comuni).

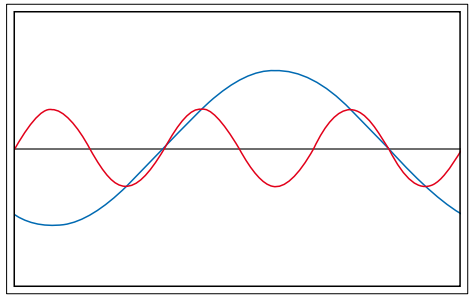
Appendice C: Armoniche

Figura 5

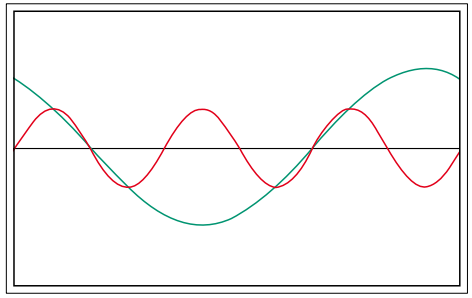
Fase 1:
armonica fondamentale e 3ª armonica



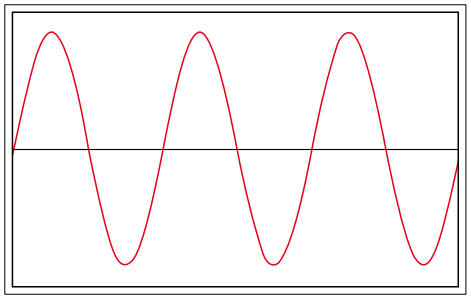
Fase 2:
armonica fondamentale e 3ª armonica



Fase 3:
armonica fondamentale e 3ª armonica



Risultante delle correnti nelle tre fasi



Appendice C: Armoniche

2) Aumento delle perdite nei trasformatori

Gli effetti delle armoniche nei trasformatori interessano principalmente tre aspetti:

- a) l'aumento delle perdite nel ferro (o a vuoto)
- b) l'aumento delle perdite nel rame
- c) la presenza di armoniche che si richiudono all'interno degli avvolgimenti

a) Le perdite nel ferro sono dovute al fenomeno dell'isteresi e alle perdite per correnti parassite: le perdite per isteresi sono proporzionali alla frequenza mentre le perdite per correnti parassite dipendono dal quadrato della frequenza.

b) Le perdite nel rame corrispondono alla potenza che viene dissipata per effetto Joule negli avvolgimenti del trasformatore. All'aumentare della frequenza (a partire da 350 Hz) la corrente tende ad addensarsi sulla parte superficiale dei conduttori (effetto pelle); in tali circostanze i conduttori offrono una sezione minore al passaggio della corrente aumentando le perdite per effetto Joule.

Questi primi due aspetti influiscono sul surriscaldamento che talvolta porta ad un declassamento delle prestazioni del trasformatore.

c) Il terzo aspetto riguarda gli effetti delle armoniche multiple delle terze armoniche (armoniche omopolari) sugli avvolgimenti del trasformatore. Nel caso di avvolgimenti a triangolo essendo tali armoniche tutte in fase circolano negli avvolgimenti e non si propagano verso la rete a monte; gli avvolgimenti a triangolo costituiscono quindi una barriera alle armoniche di ordine tre ma occorre porre particolare attenzione a questo tipo di armoniche per un corretto dimensionamento del trasformatore.

3) Aumento dell'effetto pelle

All'aumentare della frequenza la corrente tende a distribuirsi sulla superficie più esterna di un conduttore. Questo fenomeno è noto come effetto pelle e assume effetti rilevanti ad alte frequenze. Alla frequenza industriale di 50 Hz l'effetto pelle può essere trascurato ma oltre i 350 Hz, corrispondente alla settima armonica, la sezione offerta al passaggio della corrente diminuisce aumentando di conseguenza la resistenza causando perdite addizionali e riscaldamento.
In presenza di armoniche di corrente di ordine elevato occorre tener conto dell'effetto pelle che incide di conseguenza sulla durata dei cavi. Per evitare questo problema si possono usare cavi a conduttori multipli o barrature composte da più conduttori elementari isolati fra loro.

4) Deformazione della tensione

La corrente distorta prodotta dal carico non lineare causa una caduta di tensione distorta sull'impedenza del cavo. La forma d'onda di tensione che ne risulta è applicata a tutti gli altri carichi connessi allo stesso circuito, facendovi transitare le correnti armoniche, anche se sono carichi lineari.
La soluzione consiste nel separare i circuiti che alimentano i carichi inquinanti da quelli che alimentano carichi sensibili alle armoniche.

5) Disturbi nella coppia dei motori ad induzione

La distorsione armonica della tensione causa maggiori perdite di correnti parassite nei motori, in modo simile a quanto visto per i trasformatori. Le perdite addizionali avvengono a causa della generazione di campi armonici nello statore, ognuno dei quali cerca di far ruotare il motore ad una velocità differente, sia in avanti (1^a, 4^a, 7^a,...) sia indietro (2^a, 5^a, 8^a,...). Inoltre le correnti ad alta frequenza indotte nel rotore aumentano ulteriormente le perdite.

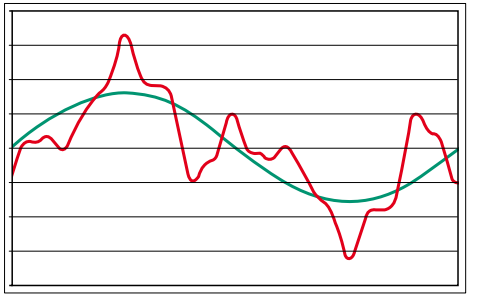
Appendice C: Armoniche

Formule principali

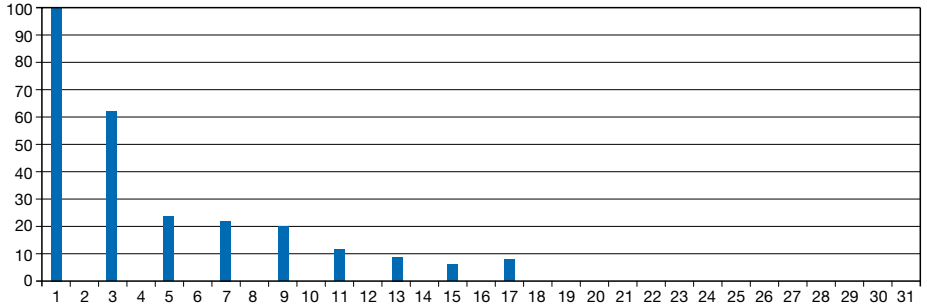
Di seguito vengono riportate le definizioni delle principali grandezze tipicamente utilizzate in una analisi armonica.

Spettro in frequenza

Lo spettro in frequenza è la rappresentazione classica del contenuto armonico di una forma d'onda e consiste in un istogramma che riporta il valore di ogni armonica in percentuale dell'armonica fondamentale. Ad esempio per la forma d'onda seguente:



lo spettro in frequenza è:



Lo spettro in frequenza fornisce in maniera rapida l'entità delle armoniche presenti.

Fattore di cresta

Il fattore di cresta è definito come il rapporto tra il valore di picco e il valore efficace della forma d'onda:

$$k = \frac{I_p}{I_{rms}}$$

nel caso di forme d'onda perfettamente sinusoidali esso vale $\sqrt{2}$, ma in presenza di armoniche può raggiungere valori superiori.
Fattori di cresta elevati possono provocare l'intervento intempestivo dei dispositivi di protezione.

Valore efficace

Il valore efficace di una forma d'onda periodica e(t) è definito come:

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T e^2(t)dt}$$

dove T è il periodo.

Appendice C: Armoniche

Noti i valori efficaci delle componenti armoniche, il valore efficace totale può essere facilmente calcolato con la seguente formula:

$$E_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} E_n^2}$$

Tasso di distorsione armonica THD
Il tasso di distorsione armonica è definito come:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$ THD in corrente

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}$$ THD in tensione

Il tasso di distorsione armonica è un parametro molto importante che fornisce indicazioni circa il contenuto armonico delle forme d'onda della tensione e della corrente e per prendere provvedimenti nel caso in cui tali valori fossero elevati. Per $THD_i < 10\%$ e $THD_u < 5\%$ il contenuto armonico è considerato modesto e tale da non prendere provvedimenti.

Riferimenti normativi per gli interruttori

IEC 60947 Low-voltage switchgear and controlgear
La norma IEC 60947-2 (terza edizione 2006) nell'Annex F, fornisce indicazioni relative alle prove per verificare l'immunità degli sganciatori di sovracorrente alla presenza di armoniche.
In particolare è descritta la forma d'onda della corrente di prova per la quale, in corrispondenza a determinati valori di corrente iniettata, il relè deve avere un comportamento come quello descritto dalla norma.

Nel dettaglio si riportano le caratteristiche della forma d'onda della corrente di prova che in alternativa deve essere formata come segue:
1) dalla componente fondamentale e da una 3° armonica variabile tra il 72% e 88% della fondamentale con fattore di picco uguale a 2 o da una 5° armonica variabile tra il 45% e 55% della fondamentale con fattore di picco uguale a 1,9.
oppure da:
2) dalla componente fondamentale e da una componente di 3°armonica > del 60% della fondamentale, da una componente di 5°armonica >14% della fondamentale e da una componente di 7°armonica > del 7% della fondamentale.
Questa corrente di prova deve avere un fattore di picco > 2,1 e deve fluire per un tempo < 42% del periodo per ogni semiperiodo.

Appendice D: Calcolo del coefficiente k per i cavi (k^2S^2)

Utilizzando la (1) è possibile ricavare la sezione minima S del conduttore, nell'ipotesi che il conduttore generico subisca un riscaldamento adiabatico da una temperatura iniziale nota ad una temperatura finale specificata (applicabile per un tempo di estinzione del guasto non superiore a 5 s):

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

dove:
- S è la sezione [mm^2];
- I è il valore (efficace) della corrente di guasto presunta per un guasto di impedenza trascurabile, che può passare attraverso il dispositivo di protezione [A];
- t è il tempo di funzionamento del dispositivo di protezione per la disinserzione automatica [s];

il valore di k può essere ricavato utilizzando le Tabelle 2÷7 oppure calcolato con la formula (2):

$$k = \sqrt{\frac{Q_c\,(B+20)}{\rho_{20}} \ln\left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B+\theta_i}\right)} \quad (2)$$

dove:
- Q_c è la capacità termica volumetrica del materiale del conduttore [J/°Cmm^3] a 20°C;
- B è il reciproco del coefficiente di temperatura di resistività a 0°C per il conduttore [°C];
- ρ_{20} è la resistività elettrica del materiale del conduttore a 20°C [Ωmm];
- θ_i è la temperatura iniziale del conduttore [°C];
- θ_f è la temperatura finale del conduttore [°C].

La Tabella 1 riporta i valori dei parametri sopra descritti.

Tabella 1: Valore dei parametri per materiali diversi

Materiale	B [°C]	Q_c [J/°Cmm^3]	ρ_{20} [Ωmm]	$\sqrt{\frac{Q_c\,(B+20)}{\rho_{20}}}$
Rame	234.5	$3.45 \cdot 10^{-3}$	$17.241 \cdot 10^{-6}$	226
Alluminio	228	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$28.264 \cdot 10^{-6}$	148
Piombo	230	$1.45 \cdot 10^{-3}$	$214 \cdot 10^{-6}$	41
Acciaio	202	$3.8 \cdot 10^{-3}$	$138 \cdot 10^{-6}$	78

Appendice D: Calcolo del coefficiente k per i cavi (k^2S^2)

Tabella 2: Valori di k per conduttore di fase

	isolamento del conduttore					
	PVC ≤ 300 mm²	**PVC ≤ 300 mm²**	**EPR XLPE**	**Gomma 60 °C**	**Minerale PVC**	**Minerale Nudo**
Temperatura iniziale °C	70	70	90	60	70	105
Temperatura finale °C	160	140	250	200	160	250
Materiale del conduttore:						
rame	115	103	143	141	115	135/115 [a]
alluminio	76	68	94	93	-	-
giunzioni saldate a stagno in conduttori di rame	115	-	-	-	-	-

[a] Questo valore deve essere usato per cavi nudi esposti al contatto.

Tabella 3: Valori di k per conduttori di protezione isolati non incorporati in cavi e non in fascio con altri cavi

	Temperatura °C [b]		Materiale del conduttore		
			Rame	**Alluminio** Valore per k	**Acciaio**
Isolamento del conduttore	**Iniziale**	**Finale**			
70 °C PVC	30	160/140 [a]	143/133 [a]	95/88 [a]	52/49 [a]
90 °C PVC	30	160/140 [a]	143/133 [a]	95/88 [a]	52/49 [a]
90 °C termoindurente	30	250	176	116	64
60 °C gomma	30	200	159	105	58
85 °C gomma	30	220	166	110	60
Gomma al asilicone	30	350	201	133	73

[a] Il valore più basso si applica a conduttori isolati in PVC con sezione superiore a 300 mm².
[b] I limiti di temperatura per vari tipi di isolamento vengono forniti nella norma IEC 60724.

Appendice D: Calcolo del coefficiente k per i cavi (k^2S^2)

Tabella 4: Valori di k per conduttori nudi di protezione in contatto con il rivestimento di cavi ma non in fascio con altri cavi

	Temperatura °C [a]		Materiale del conduttore		
			Rame	**Alluminio** Valore per k	**Acciaio**
Rivestimento del conduttore	**Iniziale**	**Finale**			
PVC	30	200	159	105	58
Polietilene	30	150	138	91	50
CSP	30	220	166	110	60

[a] I limiti di temperatura per vari tipi di isolamento vengono indicati nella norma IEC 60724.

Tabella 5: Valori di k per conduttori di protezione con anima incorporata in un cavo o in fascio con altri cavi o conduttori isolati

	Temperatura °C [b]		Materiale del conduttore		
			Rame	**Aluminium** Value per k	**Steel**
Isolamento del conduttore	**Iniziale**	**Finale**			
70 °C PVC	70	160/140 [a]	115/103 [a]	76/68 [a]	42/37 [a]
90 °C PVC	90	160/140 [a]	100/86 [a]	66/57 [a]	36/31 [a]
90 °C termoindurente	90	250	143	94	52
60 °C gomma	60	200	141	93	51
85 °C gomma	85	220	134	89	48
Gomma al silicone	180	350	132	87	47

[a] Il valore più basso si applica a conduttori isolati di PVC con sezione superiore a 300 mm².
[b] I limiti di temperatura per i vari tipi di isolamento vengono forniti nella norma IEC 60724.

Appendice D: Calcolo del coefficiente k per i cavi (k^2S^2)

Tabella 6: Valori di k per conduttori di protezione come strato metallico di un cavo, per es. in armatura, con guaina metallica, conduttore concentrico, ecc.

	Temperatura °C		Materiale del conduttore			
			Rame	Alluminio	Piombo	Acciaio
Isolamento del conduttore	Iniziale	Finale	Valore per k			
70 °C PVC	60	200	141	93	26	51
90 °C PVC	80	200	128	85	23	46
90 °C termoindurente	80	200	128	85	23	46
60 °C gomma	55	200	144	95	26	52
85 °C gomma	75	220	140	93	26	51
Minerale rivestito di PVC [a]	70	200	135	-	-	-
Minerale in guaina nuda	105	250	135	-	-	-

[a] Questo valore deve essere usato anche per i conduttori nudi esposti al contatto o in contatto con materiale combustibile.

Tabella 7: Valori di k per conduttori nudi dove non esiste rischio di danno a qualsiasi materiale in prossimità, alla temperatura indicata

		Materiale del conduttore					
		Rame		Alluminio		Acciaio	
Isolamento del conduttore	Temperatura iniziale °C	valore k	Temperatura massima °C	valore k	Temperatura massima °C	valore k	Temperatura massima °C
Visibile e in zone riservate	30	228	500	125	300	82	500
Condizioni normali	30	159	200	105	200	58	200
Rischio d'incendio	30	138	150	91	150	50	150

Appendice E: Principali grandezze fisiche e formule elettrotecniche

Sistema internazionale di misura SI

Le unità base del sistema internazionale sono:

Grandezza base	Simbolo	Unità di misura
Lunghezza	m	metro
Massa	kg	chilogrammo
Tempo	s	Secondo
Corrente elettrica	A	ampere
Temperatura termodinamica	K	kelvin
Quantità di sostanza	mol	mole
Intensità luminosa	cd	candela

Prefissi per multipli e sottomultipli di unità

Potenza decimale	Prefisso	Simbolo	Potenza decimale	Prefisso	Simbolo
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	µ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^{9}	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^{6}	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^{3}	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^{2}	etto	h	10^{-21}	zepto	z
10	deca	da	10^{-24}	yocto	y

Appendice E: Principali grandezze fisiche e formule elettrotecniche

Principali grandezze e unità del SI

Grandezza Simbolo	Nome	Unità SI Simbolo	Nome	Altre unità Simbolo	Nome	Conversione
Lunghezza, area, volume						
				in	pollice	1 in = 25.4 mm
				ft	piede	1 ft = 30.48 cm
l	lunghezza	m	metro	fathom	fathom	1 fathom = 6 ft = 1.8288 m
				mile	miglio	1 mile = 1609.344 m
				sm	miglio nautico	1 sm = 1852 m
				yd	yard	1 yd = 91.44 cm
A	area	m^2	metro quadro	a	ara	1 a = 10^2 m^2
				ha	ettaro	1 ha = 10^4 m^2
				l	litro	1 l = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3
V	volume	m^3	metrocubo	UK pt	pinta	1 UK pt = 0.5683 dm^3
				UK gal	gallone	1 UK gal = 4.5461 dm^3
				US gal	gallone	1 US gal = 3.7855 dm^3
Angoli						
α, β, γ	angolo piano	rad	radiante	°	degrees	$1° = \frac{\pi}{180} \cdot rad$
Ω	angolo solido	sr	steradiante			
Massa						
m	massa, peso	kg	chilogrammo	lb	libbra	1 lb = 0.45359 kg
ρ	densità	kg/m^3	chilogrammo			
υ	volume specifici	m^3/kg	metrocubo per chilogrammo			
M	momento di inerzia	$kg \cdot m^2$	metrocubo per chilogrammo			
Tempo						
t	durata	s	secondo			
f	frequenza	Hz	Hertz			1 Hz = 1/s
ω	pulsazione	1/s	secondo reciproco			$\omega = 2pf$
v	velocità	m/s	metri al secondo	km/h	chilometro per ora	1 km/h = 0.2777 m/s
				mile/h	miglio per ora	1 miglio/h = 0.4470 m/s
				knot	kn	1 kn = 0.5144 m/s
g	accelerazione	m/s^2	metro per secondo quadrato			
Forza, energia, potenza						
F	forza	N	newton			1 N = 1 $kg \cdot m/s^2$
				kgf		1 kgf = 9.80665 N
p	pressione	Pa	pascal			1 Pa = 1 N/m^2
				bar	bar	1 bar = 10^5 Pa
W	energia, lavoro	J	joule			1 J = 1 W·s = 1 N·m
P	potenza	W	watt	Hp	cavalli	1 Hp = 745.7 W
Temperatura e calore						
T	temperatura	K	kelvin	°C	Celsius	T[K] = 273.15 + T [°C]
				°F	Fahrenheit	T[K] = 273.15 + (5/9)·(T [°F]-32)
Q	quantità di calore	J	joule			
S	entropia	J/K	joule al kelvin			
Quantità fotometriche						
I	intensità luminosa	cd	candela			
L	luminescenza	cd/m^2	candela per metro quadrato			
Φ	flusso luminoso	lm	lumen			1 lm = 1 cd·sr
E	illuminamento	lux				1 lux = 1 lm/m^2

Appendice E: Principali grandezze fisiche e formule elettrotecniche

Principali grandezze elettriche, magnetiche e unità del SI

Grandezza Simbolo	Nome	Unità SI Simbolo	Nome	ALTRE UNITà Simbolo	Nome	Conversione
I	corrente	A	ampere			
V	tensione	V	volt			
R	resistenza	Ω	ohm			
G	conduttanza	S	siemens			G = 1/R
X	reattanza	Ω	ohm			$X_L = \omega L$ $X_C = -1/\omega C$
B	suscettanza	S	siemens			$B_L = -1/\omega L$ $B_C = \omega C$
Z	impedenza	Ω	ohm			
Y	ammettenza	S	siemens			
P	potenza attiva	W	watt			
Q	potenza reattiva	var	volt reattivo ampere			
S	potenza apparente	VA	volt ampere			
Q	carica elettrica	C	coulomb	Ah	ampere/ora	1 C = 1 A·s 1 Ah = 3600 A·s
E	campo elettrico	V/m	volt per metro			
C	capacità elettrica	F	farad			1 F = 1 C/V
H	campo magnetico	A/m	ampere per metre			
B	induzione magnetica	T	tesla	G	gauss	1 T = 1 V·s/m^2 1 G = 10^{-4} T
L	induttanza	H	henry			1 H = 1 Ω·s

Valori di resistività, conduttività e coefficiente di temperatura a 20 °C dei principali materiali elettrici

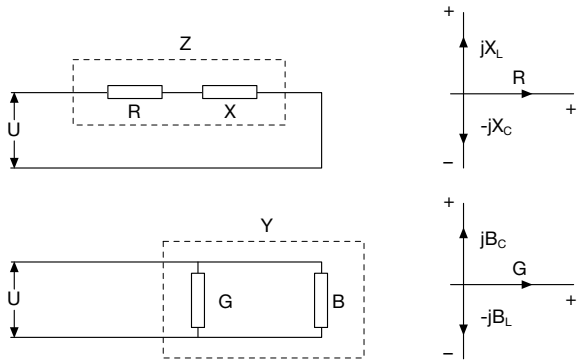
conduttore	coefficiente di resistività ρ_{20} [$mm^2\Omega/m$]	$\chi_{20}=1/\rho_{20}$ [$m/mm^2\Omega$]	coefficiente di temperatura α_{20} [K^{-1}]
Alluminio	0.0287	34.84	$3.8 \cdot 10^{-3}$
Ottone, CuZn 40	≤ 0.067	≥ 15	$2 \cdot 10^{-3}$
Constantana	0.50	2	$-3 \cdot 10^{-4}$
Rame	0.0175	57.14	$3.95 \cdot 10^{-3}$
Oro	0.023	43.5	$3.8 \cdot 10^{-3}$
Filo di ferro	0.1 to 0,15	10 to 6.7	$4.5 \cdot 10^{-3}$
Piombo	0.208	4.81	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Magnesio	0.043	23.26	$4.1 \cdot 10^{-3}$
Manganina	0.43	2.33	$4 \cdot 10^{-6}$
Mercurio	0.941	1.06	$9.2 \cdot 10^{-4}$
Ni Cr 8020	1	1	$2.5 \cdot 10^{-4}$
Nichelina	0.43	2.33	$2.3 \cdot 10^{-4}$
Argento	0.016	62.5	$3.8 \cdot 10^{-3}$
Zinco	0.06	16.7	$4.2 \cdot 10^{-3}$

Appendice E: Principali grandezze fisiche e formule elettrotecniche

Principali formule elettrotecniche

Impedenza

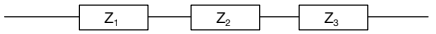
resistenza di un conduttore alla temperatura ϑ	$R_\theta=\rho_\theta \cdot \frac{\ell}{S}$
conduttanza di un conduttore alla temperatura ϑ	$G_\theta=\frac{1}{R_\theta}=\chi_\theta \cdot \frac{S}{\ell}$
resistività di un conduttore alla temperatura ϑ	$\rho_\theta=\rho_{20}[1+\alpha_{20}(\vartheta-20)]$
reattanza capacitiva	$X_C=\frac{-1}{\omega \cdot C}=-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$
reattanza induttiva	$X_L=\omega \cdot L=2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$
impedenza	$Z=R+jX$
impedenza modulo	$Z=\sqrt{R^2+X^2}$
impedenza fase	$\varphi=\arctan\frac{R}{X}$
conduttanza	$G=\frac{1}{R}$
suscettanza capacitiva	$B_C=\frac{-1}{X_C}=\omega \cdot C=2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$
suscettanza indutttiva	$B_L=\frac{-1}{X_L}=-\frac{1}{\omega \cdot L}=-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$
ammettenza	$Y=G-jB$
ammettenza modulo	$Y=\sqrt{G^2+B^2}$
ammettenza fase	$\varphi=\arctan\frac{B}{G}$



Appendice E: Principali grandezze fisiche e formule elettrotecniche

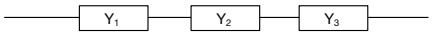
Impedenze in serie

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$



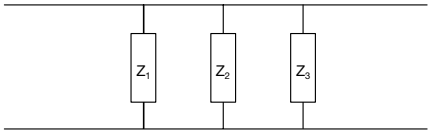
Ammettenze in serie

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{Y_1}+\frac{1}{Y_2}+\frac{1}{Y_3}+\dots}$$



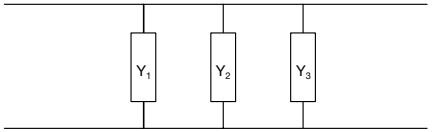
Impendenze in parallelo

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_1}+\frac{1}{Z_2}+\frac{1}{Z_3}+\dots}$$

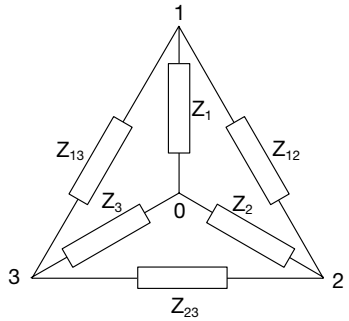


Ammettenze in parallelo

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$$



Trasformazioni stella triangolo



Y→Δ	Δ→Y
$Z_{12}=Z_1+Z_2+\frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_3}$	$Z_1=\frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12}+Z_{13}+Z_{23}}$
$Z_{23}=Z_2+Z_3+\frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_1}$	$Z_2=\frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12}+Z_{13}+Z_{23}}$
$Z_{13}=Z_3+Z_1+\frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_2}$	$Z_3=\frac{Z_{23} \cdot Z_{13}}{Z_{12}+Z_{13}+Z_{23}}$

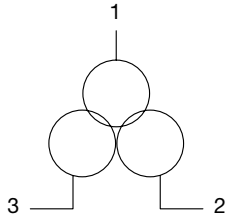
Appendice E: Principali grandezze fisiche e formule elettrotecniche

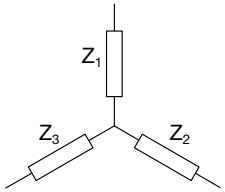
Trasformatori

Trasformatore a due avvolgimenti

corrente nominale	$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$
potenza di cortocircuito	$S_k = \frac{S_n}{u_k\%} \cdot 100$
corrente di cortocircuito	$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{I_n}{u_k\%} \cdot 100$
impedenza longitudinale	$Z_T = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U^2_n}{S_n} = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{S_n}{3 \cdot I^2_n}$
resistenza longitudinale	$R_T = \frac{p_k\%}{100} \cdot \frac{U^2_n}{S_n} = \frac{p_k\%}{100} \cdot \frac{S_n}{3 \cdot I^2_n}$
reattanza longitudinale	$X_T = \sqrt{Z^2_T - R^2_T}$

Trasformatore a tre avvolgimenti





$Z_{12} = \frac{u_{12}}{100} \cdot \frac{U^2_n}{S_{n12}}$	$Z_1 = \frac{1}{2}(Z_{12} + Z_{13} - Z_{23})$
$Z_{13} = \frac{u_{13}}{100} \cdot \frac{U^2_n}{S_{n13}}$	$Z_2 = \frac{1}{2}(Z_{12} + Z_{23} - Z_{13})$
$Z_{23} = \frac{u_{23}}{100} \cdot \frac{U^2_n}{S_{n23}}$	$Z_3 = \frac{1}{2}(Z_{13} + Z_{23} - Z_{12})$

Appendice E: Principali grandezze fisiche e formule elettrotecniche

Caduta di tensione e potenza

	monofase	tri-fase	corrente continua
caduta di tensione	$\Delta U = 2 \cdot I \cdot \ell \cdot (r \cos\varphi + x \sin\varphi)$	$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot \ell \cdot (r \cos\varphi + x \sin\varphi)$	$\Delta U = 2 \cdot I \cdot \ell \cdot r$
caduta di tensione %	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$
potenza attiva	$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$	$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$	$P = U \cdot I$
potenza reattiva	$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$	$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi$	–
potenza apparente	$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$	–
fattore di potenza	$\cos\varphi = \frac{P}{S}$	$\cos\varphi = \frac{P}{S}$	–
perdita di potenza	$\Delta P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$	$\Delta P = 3 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$	$\Delta P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$

Legenda

ρ_{20} resistività a 20 °C
ℓ lunghezza totale del conduttore
S sezione del conduttore
α_{20} coefficiente di temperatura del conduttore a 20 °C
θ temperatura del conduttore
$\rho\theta$ resistività alla temperatura del conduttore
ω pulsazione
f frequenza
r resistenza del conduttore per unità di lunghezza
x reattanza del conduttore per unità di lunghezza
$u_k\%$ tensione percentuale di cortocircuito del trasformatore
S_n potenza apparente nominale del trasformatore
U_n tensione nominale del trasformatore
$p_k\%$ perdite percentuali del trasformatore in condizioni di cortocircuito

Per tener conto dell'evoluzione delle Norme e dei materiali, le caratteristiche e le dimensioni di ingombro indicate nel presente catalogo si potranno ritenere impegnative solo dopo conferma da parte di ABB SACE.

1SDC010001D0901 12/07
Printed in Italy

ABB SACE
Una divisione di ABB S.p.A.

Interruttori B.T.
Via Baioni, 35
24123 Bergamo
Tel.: 035.395.111 - Telefax: 035.395.306-433

member of voltimum .it

BUSINESS on line

http://bol.it.abb.com

Tutte le soluzioni
per la Bassa Tensione
e l'Automazione.