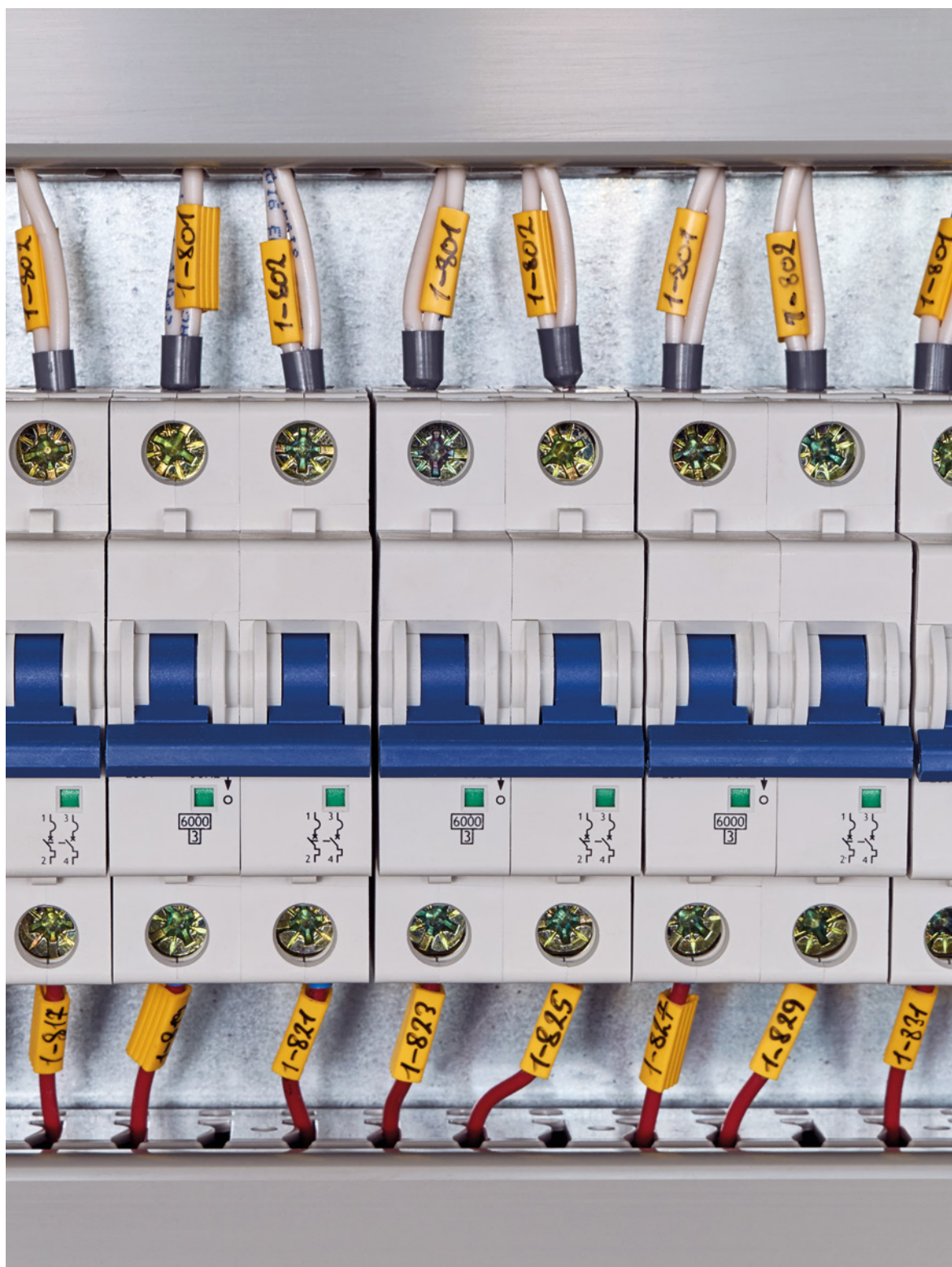


QUADRI DI DISTRIBUZIONE



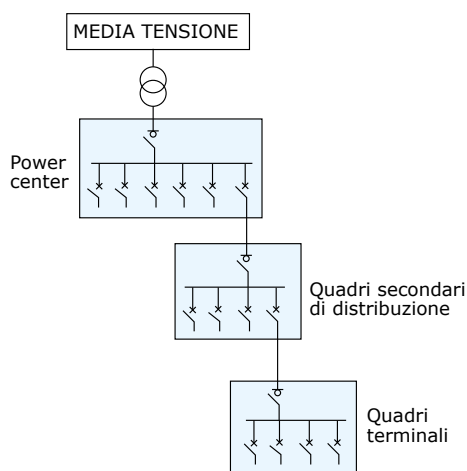
1 INTRODUZIONE AI QUADRI BT

1 QUADRI ELETTRICI DI BASSA TENSIONE

Un quadro elettrico di bassa tensione (BT) è costituito dall'insieme coordinato delle apparecchiature di protezione e manovra, finalizzate alla distribuzione e al controllo dell'energia elettrica, per tensioni nominali ≤ 1.000 V in corrente alternata e ≤ 1.500 V in corrente continua. In generale, un quadro elettrico si presenta come una struttura metallica, composta da uno o più contenitori adiacenti, che contiene e sostiene le apparecchiature di protezione e manovra delle linee a valle e tutto l'equipaggiamento di corredo elettrico-meccanico necessario al collegamento con l'impianto (staffe, bulloneria, connessioni interne, terminali di entrata e di uscita, barre di messa a terra, ecc.).

I quadri elettrici costituiscono i nodi di un impianto di distribuzione, da cui si diramano le linee di distribuzione, in una struttura gerarchica che inizia dal **quadro di potenza primario**, prosegue con i **quadri di potenza secondari** e arriva sino ai **quadri terminali**.

Si tratta, quindi, di veri e propri sistemi, realizzati in accordo con le specifiche esigenze del cliente e dell'impianto.



- Struttura di un impianto di distribuzione in bassa tensione.

1.1 QUADRI DI POTENZA

I quadri elettrici di potenza sono destinati a distribuire e controllare l'energia dei carichi per applicazioni industriali, commerciali e applica-

zioni simili in cui non sono previste operazioni da parte di persone comuni. Ad essi si applica la norma **CEI EN 61439**. I quadri di potenza si suddividono in **primari** e **secondari**.



- Interno di un quadro di bassa tensione.

Quadri di potenza primari

I quadri di potenza primari (*power center*) costituiscono il primo livello della distribuzione BT. Hanno la struttura tipica di un armadio a pavimento e, normalmente, sono installati nelle cabine di trasformazione subito a valle del trasformatore MT/BT (nel caso di cabina di proprietà) o del contatore di energia (nel caso di cabina del distributore).

I **power center** sono caratterizzati da un ingresso (due se è previsto un gruppo elettrogeno di riserva) e da un numero limitato di uscite, destinate ai quadri secondari o ai quadri di comando motori. Nelle applicazioni con elevate correnti d'impiego e resistenza al cortocircuito, la struttura è rinforzata, per resistere alle sollecitazioni elettrodinamiche, e divisa in aree funzionali (celle), per permettere la manutenzione su una zona senza interrompere le altre, mentre la distribuzione interna è a **sbarre**. Gli interruttori utilizzati sono sia aperti sia scatolati, a volte in esecuzione estraibile per velocizzarne la sostituzione. Dal quadro principale partono le linee di distribuzione verso i quadri secondari destinati ai vari ambienti (reparti, uffici, centrale termica, ascensore, ecc.).

Le **sbarre** (o barre) sono conduttori rigidi a sezione rettangolare in rame o in alluminio, installati all'interno del quadro su basi isolanti con dimensioni modulari, tali da consentire un collegamento rapido e sicuro delle apparecchiature interne.



• Quadro power center.

Quadri di potenza secondari

I quadri di potenza secondari costituiscono il secondo livello dell'impianto di distribuzione e sono normalmente installati in prossimità delle utenze, quali ad esempio i vari reparti di lavorazione di un'industria.

In base alla potenza distribuita e al numero di utenze possono avere la struttura di armadi a pavimento o di quadri a parete, in esecuzione metallica o plastica. Presentano solitamente una sola unità d'ingresso e numerose unità di uscita. Sono generalmente equipaggiati con interruttori scatolati (con tenuta al cortocircuito inferiore rispetto a quelli presenti nei *power center*) e apparecchi modulari.

Dai quadri secondari si diramano i circuiti destinati ai diversi quadri di comando degli utilizzatori da servire (motori, macchine operatrici, saldatrici, forni, lampade, ecc.) o ai centralini di distribuzione terminale.



• Quadro di potenza secondario.

1.2 QUADRI TERMINALI

I quadri terminali, comunemente detti **centralini**, si presentano come quadretti (centralini) in plastica, montati a parete o incassati, e contengono solo apparecchi modulari, destinati alla protezione dell'ultimo livello di distribuzione (comando luci, prese utenze, utenze civili, ecc.). In presenza di correnti e tensioni di impiego non superiori a 125 A e 440 V (400 V in Italia), sono classificati come **quadri di uso domestico o similare**. Ad essi si applica la norma **CEI 23-51**.



• Quadri terminali.

2 CARATTERISTICHE ELETTRICHE

I quadri di distribuzione hanno specifiche caratteristiche elettriche. Le principali sono:

- **tensione nominale del quadro** (U_n), ossia la tensione d'impiego del circuito principale del quadro (230/400 V, $\pm 10\%$);
- **tensione nominale di isolamento** (U_i), ossia il valore di tensione al quale fanno riferimento la tensione di prova d'isolamento (prova di tenuta dielettrica per 5 s alla frequenza di esercizio) e le distanze d'isolamento superficiali (la distanza più breve lungo la superficie di un isolante tra due elementi conduttori);
- **tensione nominale di tenuta ad impulso** (U_{imp}), ossia il valore di picco di un impulso di tensione che un circuito può sopportare in condizioni specificate; a tale valore fanno riferimento le distanze d'isolamento in aria;
- **corrente nominale** di un particolare circuito del quadro (I_{nc}), ossia la corrente nominale che in quel circuito non porta a superare i limiti di sovratemperatura indicati dalla norma;
- **corrente nominale** del circuito di **ingresso** del quadro (I_{nA}), ossia la più piccola tra la somma delle correnti dei circuiti di entrata che possono funzionare in contemporanea (se sono più di uno) e la corrente complessiva che le sbarre principali sono in grado di distribuire;

- **corrente nominale** ammissibile di **breve durata** (I_{cw}), ossia il valore efficace della corrente di cortocircuito che il quadro può sopportare (solitamente per 1 s) senza danneggiarsi;
- **corrente nominale** ammissibile di **picco** (I_{pk}), ossia il valore di picco della corrente di cortocircuito, che il quadro può sopportare; è utilizzata per definire gli sforzi elettrodinamici.

3 GRADO IK

Per i quadri elettrici, oltre all'indicazione del grado di protezione (IP) dell'involucro alla penetrazione di corpi solidi e di agenti fisici esterni (CEI EN 60529), deve essere specificato anche il grado di protezione fornito dall'involucro contro gli **impatti meccanici dannosi**. Tale grado è indicato con il codice internazionale IK seguito da due cifre (da 00 a 10) che ne identificano il livello e la conseguente energia d'impatto (in joule) sopportabile (tab. 1).

TAB. 1 – RELAZIONE TRA GRADO IK ED ENERGIA DI IMPATTO

GRADO IK	ENERGIA DI IMPATTO [J]
00	(non protetto)
01	0,14
02	0,2
03	0,35
04	0,5
05	0,7
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

Il grado IK vale per l'intero quadro, montato e installato come nell'uso ordinario (a porta chiusa). Il suo valore è tanto maggiore quanto è alto il rischio di urti importanti. Per esempio, in officine e laboratori, dove si manovra materiale pesante e il rischio d'urto è più elevato, il grado di protezione degli involucri dovrà essere massimo (IK 10), mentre per installazioni nei negozi, nei corridoi e nella stessa cabina di trasformazione MT/BT, dove non esistono rischi di urti importanti, è sufficiente un grado di protezione medio (IK 08). Nei locali tecnici dove il rischio d'urto è quasi assente, potrebbe bastare anche un grado IK 07.

In tabella 2, sono riportati i valori tipici di IK per i principali modelli di quadro.

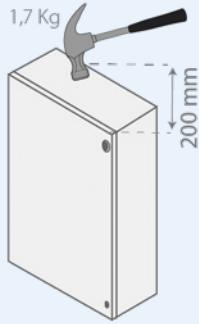
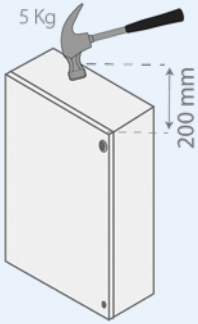
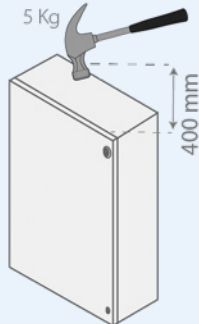
4 FORME DI SEGREGAZIONE

Per proteggere dai contatti diretti, in caso di accesso a una parte del quadro messa fuori tensione, rispetto a un'altra parte rimasta in tensione, e per ridurre la probabilità di innesco e propagazione di un arco interno al quadro (per esempio durante l'apertura di un cortocircuito da parte di un interruttore automatico), è necessario prevedere la segregazione (o compartimentazione) delle diverse parti interne al quadro in **scomparti indipendenti**, attraverso l'interposizione di barriere metalliche o di altro materiale.

Le segregazioni sono classificate dalla norma CEI EN 61439-2, secondo la loro **forma** (entità).

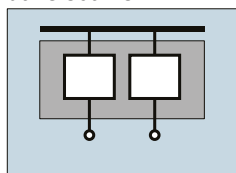
- **Forma 1.** All'interno del quadro, non esiste alcun elemento di separazione tra le sbarre e le altre unità funzionali (interruttori, relè, ecc.). Nei quadri con forma 1 non è consentita alcuna operazione, intervento o lavoro elettrico senza la messa fuori tensione dell'intero quadro.

TAB. 2 – VALORI TIPICI DI IK PER I PRINCIPALI MODELLI DI QUADRO

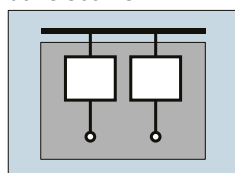
IK 08	IK 09	IK 10
Resistenza agli urti con energia di impatto fino a 5 J	Resistenza agli urti con energia di impatto fino a 10 J	Resistenza agli urti con energia di impatto fino a 20 J
		

- **Forma 2.** All'interno del quadro, le sbarre di collegamento viaggiano in uno scomparto riservato, segregate rispetto alle altre unità funzionali. Rappresenta il livello minimo di sicurezza per eseguire le operazioni annuali o semestrali di manutenzione preventiva (ispezione visiva, pulizia interna e controllo degli interblocchi).
- **Forma 3.** All'interno del quadro, sia le sbarre di collegamento sia le varie unità funzionali di derivazione sono separate l'una dall'altra, ad eccezione dei loro terminali di uscita che rimangono in un ambiente comune. È tipica dei quadri di distribuzione che alimentano carichi importanti, poiché permette di lavorare su una singola unità funzionale senza correre il rischio di entrare in contatto con le parti in tensione delle altre unità.
- **Forma 4.** All'interno del quadro, la segregazione è totale e riguarda anche i terminali di uscita di ciascuna unità di derivazione. È impiegata nei *power center* e in tutte le situazioni in cui può rendersi necessario sostituire velocemente un'unità funzionale senza dover togliere tensione (per esempio, quadri di comando motore dei processi a ciclo continuo).

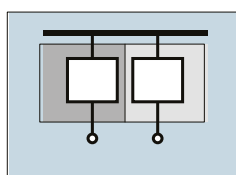
Forma 2a
Terminali non separati dalle sbarre



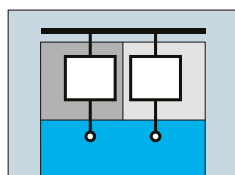
Forma 2b
Terminali separati dalle sbarre



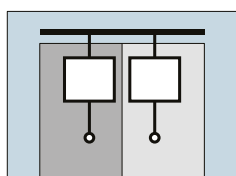
Forma 3a
Terminali non separati dalle sbarre



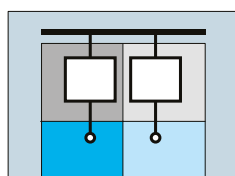
Forma 3b
Terminali separati dalle sbarre



Forma 4a
Terminali nella stessa cella



Forma 4b
Terminali in celle diverse



- *Forme di segregazione delle parti interne di un quadro.*

Per ciascuna delle forme di separazione è prevista un'ulteriore suddivisione, in base alla segregazione specifica dei terminali di uscita ri-

spetto alle sbarre o alle rispettive unità funzionali. Per esempio, nelle forme 2a e 3a, i terminali di uscita sono alloggiati nel medesimo ambiente delle sbarre, al contrario delle forme 2b e 3b.

Le diverse forme possono essere realizzate mediante appositi kit forniti dal costruttore originale.

5 POSIZIONE DEL QUADRO NEL SISTEMA

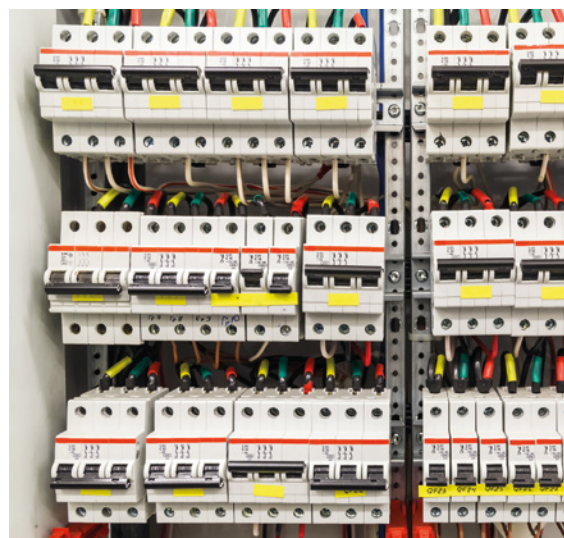
La posizione di un quadro in un sistema di distribuzione non deve essere casuale, ma valutata in modo razionale in funzione dell'entità e della posizione dei carichi.

Da una posizione idonea derivano, infatti, vantaggi economici in termini di costi di installazione e di manutenzione, ma, per ragioni pratiche, non è sempre possibile installare i quadri nella posizione ideale.

In particolare, il punto più conveniente per l'installazione dei quadri di potenza primari (*power center*) corrisponde al **baricentro elettrico** dell'impianto, ossia al punto in cui si può supporre concentrata la potenza assorbita dall'intero impianto. Per calcolarlo, si ricorre allo stesso metodo impiegato per calcolare il baricentro di un sistema di masse: dato un sistema di assi cartesiani Oxy , con $G_i(x_i, y_i)$ le coordinate dei punti (baricentri parziali) in cui sono ubicati n carichi di potenza apparente (S_i), le coordinate cartesiane del baricentro (x_G e y_G) sono date da:

$$x_G = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

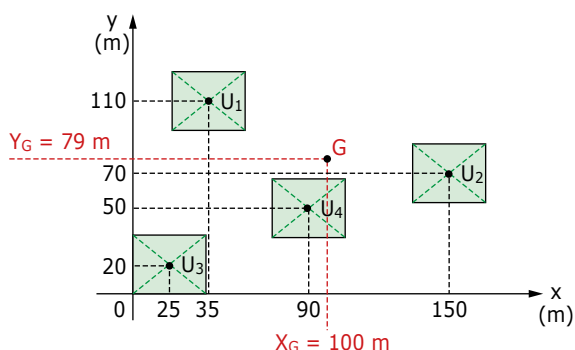
$$y_G = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$



Esempio

Si considerino, per esempio, i quattro carichi U_1 , U_2 , U_3 e U_4 (indicati in figura), posizionati rispetto ad un punto di origine arbitrario "0" rispettivamente:

$X_1 = 35 \text{ m}$	$Y_1 = 110 \text{ m}$
$X_2 = 150 \text{ m}$	$Y_2 = 70 \text{ m}$
$X_3 = 25 \text{ m}$	$Y_3 = 20 \text{ m}$
$X_4 = 90 \text{ m}$	$Y_4 = 50 \text{ m}$



- Posizione di quattro utilizzatori elettrici.

Sapendo che le caratteristiche degli utilizzatori sono le seguenti:

$P_1 = 300 \text{ kW}$	$\cos\varphi_1 = 0,95$
$P_2 = 500 \text{ kW}$	$\cos\varphi_2 = 0,9$
$P_3 = 80 \text{ kW}$	$\cos\varphi_3 = 0,95$
$P_4 = 20 \text{ kW}$	$\cos\varphi_4 = 1$

per determinare la posizione del baricentro elettrico, occorre innanzitutto calcolare le potenze apparenti dei quattro carichi:

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos\varphi_1} = \frac{300}{0,95} = 316 \text{ kVA}$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos\varphi_2} = \frac{500}{0,9} = 556 \text{ kVA}$$

$$S_3 = \frac{P_3}{\cos\varphi_3} = \frac{80}{0,95} = 84 \text{ kVA}$$

$$S_4 = P_4 = 20 \text{ kVA}$$

Le coordinate del baricentro elettrico saranno, quindi, date da:

$$X_G = \frac{S_1 \cdot X_1 + S_2 \cdot X_2 + S_3 \cdot X_3 + S_4 \cdot X_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4} =$$

$$= \frac{316 \cdot 35 + 556 \cdot 150 + 84 \cdot 25 + 20 \cdot 90}{316 + 556 + 84 + 20} =$$

$$= 100 \text{ m}$$

$$Y_G = \frac{S_1 \cdot Y_1 + S_2 \cdot Y_2 + S_3 \cdot Y_3 + S_4 \cdot Y_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4} =$$

$$= \frac{316 \cdot 110 + 556 \cdot 70 + 84 \cdot 20 + 20 \cdot 50}{316 + 556 + 84 + 20} =$$

$$= 79 \text{ m}$$

6 LE NORME DI PRODOTTO PER I QUADRI ELETTRICI

I quadri elettrici, come tutti i componenti di un impianto, devono rispondere alle relative **norme di prodotto**. In particolare la norma **IEC 61439** definisce i requisiti riguardanti struttura, realizzazione, metodologie di verifica e certificazione per tutte le tipologie di quadri di bassa tensione.

Dal punto di vista delle responsabilità nella realizzazione di un quadro elettrico, la norma IEC 61439 individua due figure fondamentali:

- il **Costruttore Originale** del quadro, definito come l'organizzazione che ha effettuato il progetto originario e le verifiche associate di un quadro in accordo con la relativa norma;
- il **Costruttore Finale** del quadro, definito come l'organizzazione che si assume la responsabilità del quadro finito.

Per assicurare il rispetto dei requisiti costruttivi la norma ha introdotto il concetto di "**quadro verificato**", specificando che per poter commercializzare un quadro elettrico occorre redigere una "**verifica di progetto**", la cui preparazione è a carico del costruttore finale del quadro. Nel redigere la verifica di progetto il costruttore del quadro può avvalersi delle informazioni relative alle verifiche eseguite sul progetto da parte del costruttore originale.

La verifica di progetto può essere eseguita su un quadro prototipo con uno o più metodi, equivalenti o alternativi in relazione alle diverse caratteristiche da esaminare.

- **Prove strumentali.** Sono prove molto dettagliate e costose. Comprendono la robustezza dei materiali meccanici e isolanti, il rispetto delle distanze in aria e superficiali, la verifica dei limiti di sovratemperatura, la tenuta della tensione di prova, la tenuta al cortocircuito, l'efficienza del circuito di protezione a terra, la compatibilità elettromagnetica, il funzionamento meccanico dei leverismi e dei meccanismi di interblocco, il grado di protezione dell'involucro (IP, IK), ecc.
- **Calcoli.** Si applicano metodi di calcolo definiti da norme specifiche (per esempio, CEI 17-43 per la sovratemperatura o CEI 17-52 per la tenuta al cortocircuito) su un quadro campione o una parte di esso. I risultati ottenuti devono rimanere nei limiti indicati dalle norme stesse.
- **Applicazione delle regole di progetto.** Si tratta di una verifica preventiva, che consiste nell'impiegare già in fase di progetto una

TAB. 3 – APPLICABILITÀ DELLE METODOLOGIE DI VERIFICA

CARATTERISTICHE DA VERIFICARE	OPZIONI DI VERIFICA		
	Prove	Calcoli	Regole di progetto
Robustezza dei materiali	sì	no	no
Grado di protezione degli involucri	sì	no	no
Tensione di isolamento	sì	no	no
Isolamento in aria (tenuta a impulso 1,2/50 µs)	sì	no	sì
Protezione contro scossa elettrica e integrità dei circuiti di protezione:			
• effettiva continuità della messa a terra tra le masse del quadro e il circuito di protezione	sì	no	no
• continuità del quadro per guasti esterni	sì	sì	sì
Limiti di sovratemperatura	sì	fino 1.600 A	sì
Tenuta al cortocircuito	sì	sì	sì
Compatibilità Elettromagnetica (EMC)	sì	no	sì
Funzionamento meccanico	sì	no	no

serie di regole specifiche, con margini di sicurezza obbligatori.

In tabella 3, è riportato un estratto dell'allegato D della norma CEI EN 61439, inerente l'applicabilità delle specifiche metodologie per alcune delle verifiche richieste. Come si può notare, in alcuni casi i tre metodi sono tra loro equivalenti, mentre in altri alcuni metodi non sono sufficienti o lo sono ma con limitazioni; per esempio, la verifica della tensione di isolamento non è eseguibile mediante applicazione delle regole di progetto, mentre la verifica dei limiti di sovratemperatura è eseguibile mediante calcolo, solo per correnti < 1.600 A.

6.1 SISTEMA DI QUADRI

Nella norma CEI EN 61439 è riportata, inoltre, la definizione di "Sistema di quadri":

Gamma completa di componenti meccanici ed elettrici definiti dal Costruttore

Originale, che può essere assemblata in accordo con le istruzioni del Costruttore Originale per ottenere quadri differenti.

Tale definizione fa sostanzialmente riferimento ai quadri elettrici, da anni largamente utilizzati nel mercato italiano, realizzati tramite kit messi a disposizione da importanti case costruttrici (ABB, Siemens, Schneider, BTicino, Gewiss, ecc.), che fungono da Costruttore Originale. Per il "Sistema di quadri" il costruttore originale deve quindi progettare la linea di quadri, eseguire le verifiche di progetto sui prototipi (tab. 4) e fornire, tramite cataloghi o guide di montaggio, le istruzioni per la scelta dei componenti e il montaggio del quadro.

Il Costruttore Finale di un "Sistema di quadri" realizza, quindi, un quadro partendo da pezzi scolti in kit e seguendo le istruzioni del Costruttore Originale, ottenendo un prodotto finale conforme ai prototipi realizzati e provati dal costruttore.

TAB. 4 – VERIFICHE A CARICO DEL COSTRUTTORE ORIGINALE

CARATTERISTICHE RELATIVE ALLA COSTRUZIONE	CARATTERISTICHE RELATIVE ALLA PRESTAZIONE
Robustezza dei materiali e di parti del quadro	Proprietà dielettriche (tensione di tenuta a 50 Hz e tensione di tenuta a impulso)
Grado di protezione IP del quadro	Verifica dei limiti di sovratemperatura
Distanze d'isolamento (in aria e superficiali)	Tenuta al cortocircuito
Protezione contro la scossa elettrica e integrità dei circuiti di protezione	Compatibilità elettromagnetica (EMC)
Installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti	Funzionamento meccanico
Circuiti elettrici interni e collegamenti	
Terminali per conduttori esterni	

6.2 TARGHETTA E MARCATURA CE

Ogni quadro elettrico, in quanto componente finito immesso sul mercato europeo, deve essere marcato CE.

Il Costruttore Finale deve apporre su ogni quadro realizzato la **targhetta identificativa** (costruttore, matricola, corrente di corto di breve durata, ecc.), assumendosi la responsabilità in

merito alla conformità del quadro alle norme, e allegare al quadro i manuali d'uso e manutenzione degli apparecchi inseriti e del quadro stesso, necessari per la loro manutenzione.

- DeF Quadri				
- N° 123-12/555 AS				
- CEI EN 61439-2				
- 10 Ottobre 2012				
I_n	63A			50Hz
U_g				230/400 V
Circuiti	1	2	3	
I_n	32	25	50	
I_{cw}				50 kA
				IP2XC

Cabina d'utente MT/BT

La cabina elettrica di trasformazione è una struttura contenente conduttori, apparecchiature e macchine rivolte alla trasformazione in bassa tensione (230/400 V) dell'energia a media tensione (in Italia 15 o 20 kV) fornita dal gestore della rete di distribuzione. Le cabine elettriche possono essere di proprietà del gestore (cabine pubbliche) oppure d'utente (private).

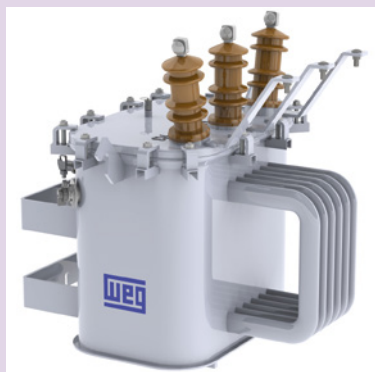
Le **cabine pubbliche** sono destinate all'alimentazione elettrica in bassa tensione delle utenze civili con contratti singoli di fornitura di pochi kW, e di utenze commerciali e industriali con potenze inferiori ai 30 kW.

Le **cabine d'utente** servono invece grosse utenze private, sia civili (ospedali, stadi, teatri, ecc.) sia industriali, con contratti di fornitura diretta in MT, con tariffe più convenienti. Solitamente si tratta di una struttura prefabbricata in muratura composta da almeno tre vani.

Nel primo locale (**locale consegna**) sono installate le apparecchiature di sezionamento e manovra. Nel secondo (**locale misure**) trovano posto i gruppi di misura dell'energia. Nel terzo locale (**locale utente**) è situato un **trasformatore trifase di potenza MT/BT**, protetto a monte da un interruttore/sezionatore generale (quadro MT) e collegato a valle al quadro contenente le apparecchiature di bassa tensione.

Trasformatore trifase di potenza

I trasformatori trifase di potenza utilizzati nelle cabine di trasformazione MT/BT hanno il compito di trasferire energia elettrica dalla rete in media tensione a quella in bassa tensione.



• Trasformatore trifase.

Normalmente gli avvolgimenti primari e secondari dei trasformatori trifase possono essere collegati a stella o a triangolo mediante un'apposita morsettiera.

I simboli grafici riportati nei dati di targa e utilizzati negli schemi riportano i collegamenti corrispondenti.

In figura è riportato il simbolo grafico relativo ad una connessione triangolo-stella con neutro, caratteristico dei trasformatori per cabine MT/BT, in cui il neutro è reso disponibile sul sistema di distribuzione in bassa tensione, per l'alimentazione monofase.



• Simbolo grafico di trasformatore trifase MT/BT.

I trasformatori trifase di potenza possono essere con isolamento in olio oppure a secco.

- I **trasformatori in olio** hanno gli avvolgimenti immersi in olio dielettrico, all'interno di una cassa sigillata flessibile in lamiera ondulata, che ne consente le dilatazioni durante le normali fasi di riscaldamento e raffreddamento, oppure possono disporre di un serbatoio di espansione (serbatoio conservatore). L'olio dielettrico occupa ogni spazio ed impregna gli isolanti solidi, garantendo un forte potere di isolamento anche con distanze ridotte; inoltre, asporta il calore dalle parti calde e lo smaltisce verso la cassa per convezione naturale. I trasformatori in olio possono essere utilizzati all'esterno e negli ambienti più gravosi.
- I **trasformatori a secco**, a parità di potenza, hanno un costo maggiore ma richiedono minore manutenzione. Sono da utilizzare quando si vuole ridurre il rischio di incendio, soprattutto in ospedali, locali pubblici, aeroporti, metropolitane, miniere, piattaforme petrolifere, centrali nucleari, navi, ecc. I trasformatori a secco di media tensione possono essere con avvolgimenti in aria oppure inglobati in resina. L'isolamento in aria è da preferire quando si vuole ridurre anche il rischio di fumi in caso di incendio, ma se ne sconsiglia l'utilizzo negli ambienti molto umidi, inquinati o polverosi.

DISPOSITIVI PER QUADRI DI DISTRIBUZIONE 2

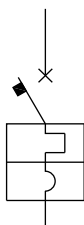
1 DISPOSITIVI DI MANOVRA E PROTEZIONE

Nei quadri di distribuzione è alloggiata una serie di dispositivi di manovra e protezione, in grado di chiudere, mantenere e interrompere il flusso di corrente nel tratto di circuito di loro competenza, posto a valle del dispositivo stesso.

Tra questi dispositivi si segnalano gli interruttori automatici magnetotermici e relativi ausiliari elettrici, gli interruttori a controllo elettronico, gli interruttori differenziali ritardati, i fusibili e gli scaricatori.

2 INTERRUITORI AUTOMATICI MAGNETOTERMICI

In ambito civile, gli interruttori automatici magnetotermici sono raggruppati in moduli nel centralino di distribuzione, situato all'ingresso dell'appartamento, per proteggere le condutture. In modo analogo, in ambito industriale, sono utilizzati per proteggere i cavi da sovraccarichi eccessivi e cortocircuiti. Al loro interno contengono uno sganciatore automatico che interviene, provocando l'apertura del circuito, su comando di due distinti relè: un **relè termico** e un **relè elettromagnetico**.



- Simbolo elettrico di un interruttore magnetotermico.

In commercio sono disponibili diversi interruttori automatici magnetotermici:

- **interuttori aperti**, privi di custodia protettiva esterna e quindi da montare all'interno di un quadro, impiegati per grandi impianti, con correnti nominali fino a 6÷8 kA;
- **interuttori scatolati**, con involucro esterno protettivo e isolante, per impianti di piccola e media dimensione, con correnti da 63 A fino a qualche kA;

- **interuttori modulari**, per montaggio diretto su guida DIN con sezione a cappello (rotaia Ω), per correnti da pochi ampere fino a 125 A.



- Interruttore aperto posto all'interno di un quadro.



- (A) Interruttore scatolato (Gewiss) e (B) interruttore modulare (Gewiss).

Relè termico

Il relè termico interviene in presenza di una sovracorrente con tempi di intervento tanto minori quanto maggiore è il valore della sovracorrente stessa, ovvero con caratteristica corrente-tempo a tempo inverso.

I valori di corrente che caratterizzano il relè termico, oltre alla corrente passante nel circuito (I) e alla corrente nominale dell'apparecchio (I_n), sono:

- **corrente di non funzionamento** (I_{nf}), massimo valore di corrente che sicuramente non fa intervenire il relè termico entro il tempo convenzionale;
- **corrente di funzionamento** (I_f), minimo valore di sovracorrente che sicuramente fa

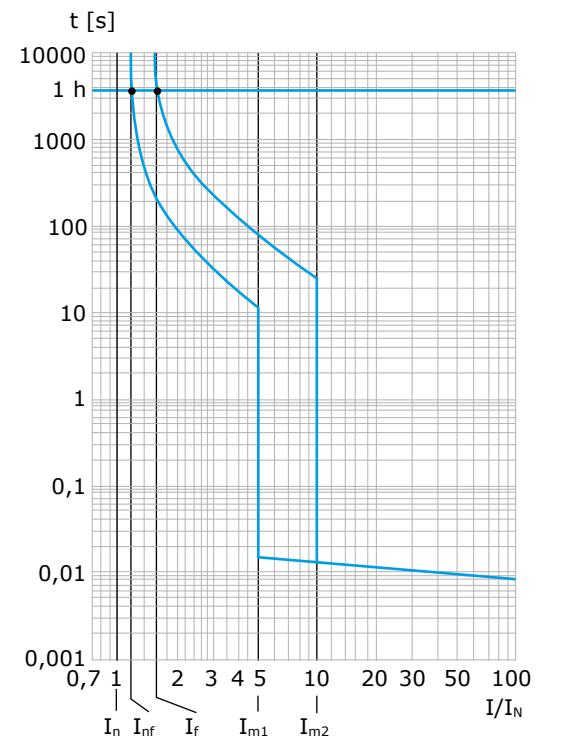
intervenire il relè termico entro il tempo convenzionale (tab. 5).

TAB. 5 – TEMPO CONVENZIONALE DI INTERVENTO	
I_n [A]	T [h]
< 63	1
≥ 63	2

I loro valori di riferimento sono desumibili dalla tabella 6: per la norma CEI EN 60898 sono riferiti a una temperatura ambiente di 30 °C, mentre per la norma CEI EN 60974-2 a una temperatura ambiente di 40 °C.

TAB. 6 – CORRENTI DI INTERVENTO PER SGANCiatori TERMICI			
NORMA CEI EN	AMBITO	I_{nr}/I_n	I_f/I_n
60898	Impianti domestici e simili	1,13	1,45
60947-2	Interruttori automatici per BT ($V_n \leq 1.000$ V)	1,05	1,3

La caratteristica d'intervento fornita dal costruttore, riferita a una temperatura ambientale di 30 °C e normalizzata rispetto alla corrente nominale, presenta un'area di possibile intervento limitata da due curve: una relativa ai valori minimi, l'altra ai valori massimi.



• Caratteristica di intervento di un interruttore magnetotermico.

Per esempio, se il grafico in figura rappresentasse la caratteristica di un interruttore da 100 A nominali (I_n), un sovraccarico di 300 A equivarrebbe ad un rapporto:

$$\frac{I}{I_n} = \frac{300 \text{ A}}{100 \text{ A}} = 3$$

e causerebbe l'apertura automatica dell'interruttore con un ritardo compreso tra 30 e 200 s. Per gli interruttori di tipo industriale i **valori tipici** di corrente nominale (I_n) sono: 16 A, 20 A, 25 A, 32 A, 40 A, 50 A, 63 A, 80 A, 100 A, 125 A, 160 A, 200 A, 250 A, 320 A, 400 A, 500 A, 630 A, 800 A, 1.000 A e 1.250 A.

Al fine di garantire una perfetta continuità nella impostazione della corrente nominale, la maggior parte degli interruttori automatici industriali in commercio offre la possibilità di regolarne il valore da $0,8 \cdot I_n$ a $1 \cdot I_n$.

Relè elettromagnetico

Il relè elettromagnetico interviene in modo istantaneo ($10 \div 20$ ms) quando il valore della corrente supera una determinata soglia, per esempio $5 \div 10$ volte la corrente nominale, tipica di una situazione di cortocircuito a valle dei morsetti. Per esempio, se nel caso precedentemente descritto (interruttore 100 A nominali) un cortocircuito portasse improvvisamente il valore della corrente a 3.000 A:

$$\frac{I}{I_n} = \frac{3.000 \text{ A}}{100 \text{ A}} = 30$$

l'interruttore magnetotermico si aprirebbe in 10 ms per l'intervento del relè magnetico. Le **soglie di intervento** sono definite dalle norme CEI 60898 e CEI 60947-2.

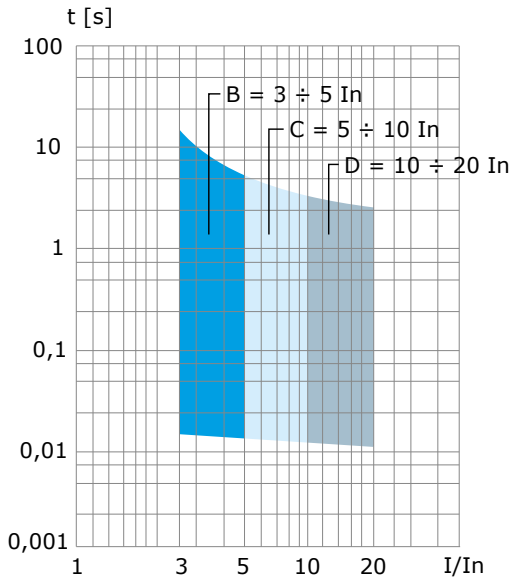


Soglie di intervento per impianti domestici

La norma CEI 60898 definisce le soglie di intervento magnetico (I_{m1} , I_{m2}) per gli **impianti domestici** e simili, specificando tre caratteristiche di intervento (B, C, D), che individuano altrettanti campi di impiego:

- caratteristica **B**, per la protezione di cavi di notevole lunghezza nei sistemi TN e IT;
- caratteristica **C**, per la protezione di cavi che alimentano apparecchi utilizzatori in generale, con corrente di spunto non elevata;
- caratteristica **D**, per la protezione di cavi che alimentano utilizzatori con elevate correnti di avviamento (per esempio, l'avvolgimento primario del trasformatore).

Gli interruttori magnetici più diffusi sono quelli per applicazioni generali, con caratteristica C ($5 \div 10 \cdot I_n$).

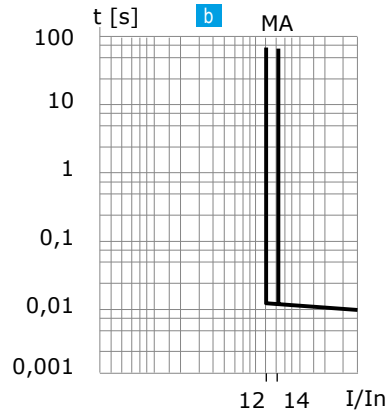
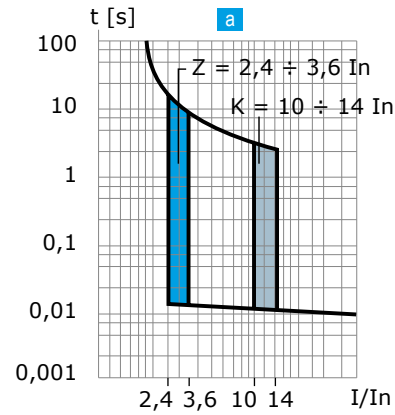


• Caratteristiche B, e C e D.

Soglie di intervento per impianti industriali

La norma CEI 60947-2 definisce la caratteristica di intervento relativa agli interruttori automatici per tensione alternata non superiore a 1.000 V (BT), introducendo caratteristiche specifiche per gli **impianti industriali**:

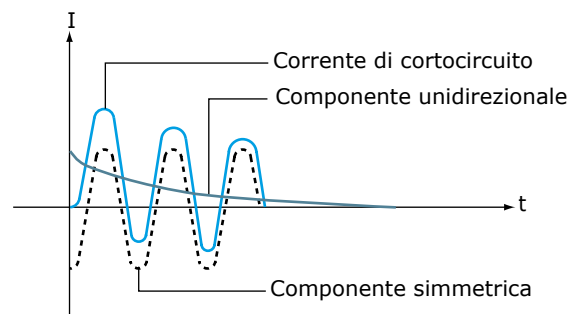
- caratteristica **Z**, per la protezione di circuiti elettronici in generale;
- caratteristica **K**, per la protezione di cavi che alimentano utilizzatori con elevate correnti di avviamento;
- caratteristica **MA**, per la protezione solo magnetica di cavi senza protezione termica a monte (per esempio, cavi per motori, illuminazione di emergenza o pompe antincendio).



• Caratteristiche (A) Z, K e (B) MA.

2.1 POTERE DI INTERRUZIONE

La corrente di cortocircuito che coinvolge elementi ohmico-induttivi presenta un andamento tipico impulsivo caratterizzato dalla sovrapposizione di una componente transitoria unidirezionale, che si esaurisce dopo un certo tempo, e da una componente simmetrica di regime. L'ampiezza iniziale dell'impulso di corrente dipende sia dal valore istantaneo della tensione al momento del cortocircuito, sia dalle caratteristiche elettriche del circuito coinvolto nella maglia di guasto.



• Andamento tipico della corrente di cortocircuito.

In un interruttore di bassa tensione, il potere di interruzione nominale corrisponde al valore effi-

caze della componente simmetrica della corrente presunta di cortocircuito (I_{cc}) che il dispositivo è in grado di interrompere, senza alterare la sua efficienza, qualunque sia il valore della componente unidirezionale. Per un'effettiva protezione dal cortocircuito, il potere di interruzione deve quindi risultare maggiore della corrente simmetrica di cortocircuito presunta calcolata nel punto dell'impianto in cui è inserito.

I valori tipici del potere di interruzione partono dai 4,5 kA, 6 kA, 10 kA degli interruttori magnetotermici più piccoli, per applicazioni civili, ai 200 kA degli interruttori scatolati.

Fondo linea

La norma CEI 64-8 prescrive che l'intervento delle protezioni sia verificato anche per cortocircuiti a fondo linea. In tal caso è sufficiente la presenza di una protezione di tipo termico.

Nei casi in cui il circuito deve essere realizzato senza protezione termica o con una protezione termica sovradimensionata, è importante che il valore della corrente di cortocircuito a fondo linea ($I_{cc\ min}$) sia maggiore della corrente di intervento della protezione magnetica dell'interruttore automatico (I_m):

$$I_{cc\ min} > I_m$$

È il caso, per esempio, dei circuiti di sicurezza e alimentazione degli elettromagneti di sollevamento.

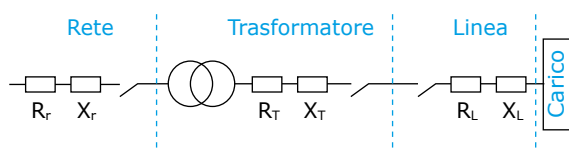
2.2 CORRENTE DI CORTOCIRCUITO NEI SISTEMI TN

Per determinare la corrente di cortocircuito (I_{cc}) nei sistemi con cabina propria (TN), bisogna tenere conto delle resistenze e delle reattanze delle seguenti impedenze:

- rete pubblica (X_r);
- trasformatore (R_T, X_T), corrispondenti rispettivamente alla resistenza equivalente del trasformatore (R_{2cc}) e alla reattanza equivalente del trasformatore (X_{2cc});
- linea di distribuzione (R_L, X_L).

Sommando tra loro i valori calcolati, si può determinare l'impedenza equivalente di guasto (Z_{tot}).

$$Z_{tot} = \sqrt{(R_T + R_L)^2 + (X_r + X_T + X_L)^2}$$



- Elementi interessati al cortocircuito.

Prima di poter arrivare alla definizione della corrente di cortocircuito, è quindi necessario soffermarsi sulle singole impedenze.

Impedenza della rete pubblica

L'impedenza della rete pubblica (Z_r) tiene conto della rete di alimentazione a media tensione (MT). L'impedenza si può ritenere praticamente reattiva, senza commettere errori rilevanti.

Il suo valore è pari a:

$$Z_r = X_r = \frac{V_{20}^2 \cdot 10^{-3}}{S_{cc}} \text{ [m}\Omega\text{]}$$

Il valore della potenza di cortocircuito (S_{cc}) è fornito dall'ente distributore ed espresso in MVA. La forza elettromotrice ai capi del secondario del trasformatore (V_{20}) è ricavabile dai dati a catalogo del trasformatore. In mancanza di dati certi, si può assumere come S_{cc} un valore infinito con conseguente impedenza nulla.

Impedenza del trasformatore

Per determinare la resistenza (R_T) e la reattanza (X_T) dell'impedenza del trasformatore, è **necessario** innanzitutto conoscere i dati della macchina (supposta trifase):

- potenza nominale (S_N);
- f.e.m. ai capi del secondario (V_{20});
- tensione percentuale di cortocircuito primaria ($V_{cc\%}$);
- fattore di potenza che determina il cortocircuito ($\cos\varphi_{cc}$) o la potenza attiva di cortocircuito (P_{cc}) o la potenza attiva percentuale di cortocircuito ($P_{cc\%}$).

Sapendo che l'impedenza equivalente del trasformatore (Z_T) vista al secondario vale:

$$Z_T = \frac{V_{cc\%} \cdot V_{20}^2}{100 \cdot S_N}$$

noti Z_T e il $\cos(\varphi_{cc})$, si possono ricavare:

$$R_T = Z_T \cdot \cos(\varphi_{cc})$$

$$X_T = Z_T \cdot \sin(\varphi_{cc})$$

Se invece è noto il valore di $P_{cc\%}$, è possibile ottenere direttamente la componente resistiva della reattanza:

$$R_T = \frac{P_{cc\%} \cdot V_{20}^2}{100 \cdot S_N}$$

Noti Z_T ed R_T si calcola, poi, la X_T :

$$X_T = \sqrt{(Z_T^2 - R_T^2)}$$

Nel caso, infine, si conosca il valore di P_{cc} , si calcola R_T nel seguente modo:

$$R_T = P_{cc} \cdot \left(\frac{V_{20}}{S_N} \right)^2$$

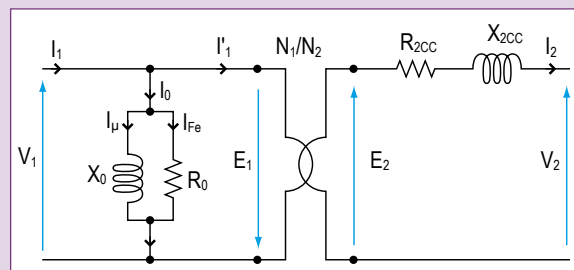
Trasformatore Trifase

La trasformazione di energia compiuta dal trasformatore (o altra macchina elettrica) comporta delle perdite, rilevabili sotto forma di calore sviluppato all'interno della macchina stessa. In generale, essendo una macchina elettrica composta sia da una struttura di materiale ferromagnetico (leghe di ferro), sia da avvolgimenti di materiale conduttore (rame o alluminio), le perdite più significative avvengono:

- per effetto Joule nei conduttori, dette **perdite nel rame** (P_{Cu});
- nei circuiti ferromagnetici che compongono la macchina, dette **perdite nel ferro** (P_{Fe}).

Per studiare il comportamento di un trasformatore trifase in relazione alle perdite e alle relative cadute di tensione, è possibile costruire un modello elettrico semplificato, il cui circuito (circuito equivalente), nel caso il trasformatore alimenti carichi equilibrati (situazione più comune), può far riferimento a una sola fase, caratterizzata da tensione primaria (V_1) e tensione secondaria (V_{20}) legate proporzionalmente tra loro, secondo il rapporto spire:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_{20}}{N_2}$$



• Modello elettrico semplificato.

In riferimento al modello semplificato proposto, i parametri relativi alle perdite nel rame (**parametri serie**) sono costituiti dalla resistenza R_{2CC} e la reattanza X_{2CC} , mentre i parametri relativi alle perdite nel ferro (**parametri parallelo**) fanno riferimento alla resistenza R_0 e alla reattanza X_0 .

In particolare le grandezze elettriche rappresentate sono:

N_1 = numero di spire del primario;

N_2 = numero di spire del secondario;

V_1 = tensione applicata ai morsetti del primario;

E_1 = f.e.m. ai capi del primario;

E_{20} = f.e.m. ai capi del secondario (espressa anche come V_{20} oppure U_{20});

V_2 = tensione prelevata ai morsetti del secondario;

I_1 = corrente assorbita dal primario;

I_2 = corrente del secondario assorbita dall'utilizzatore;

I_0 = corrente assorbita a vuoto;

X_0 = reattanza di magnetizzazione (coincide con la reattanza dell'avvolgimento primario);

R_0 = perdite nel ferro (serve a simulare la potenza persa nel ferro);

X_{2CC} = reattanza equivalente (tiene conto della reattanza di dispersione dell'avvolgimento secondario e del contributo dell'avvolgimento primario, riportato al secondario);

R_{2CC} = resistenza equivalente (tiene conto della resistenza degli avvolgimenti del primario e del secondario del trasformatore, in modo tale da dissipare per effetto joule la stessa potenza dei rispettivi avvolgimenti).

Per determinare sperimentalmente i parametri di tale modello, lo si sottopone a due prove specifiche: la prova a vuoto e la prova in condizioni di cortocircuito.

Semplificando si può dire che la **prova a vuoto** consente di determinare la potenza a vuoto equivalente alle perdite nel ferro (P_{Fe}) e i parametri parallelo (R_0 e X_0) del circuito equivalente. La prova consiste nell'alimentare il trasformatore alla sua tensione nominale tenendo il secondario aperto ($I_2 = 0$) e nel misurare la corrente assorbita (I_0), la potenza attiva (P_0) consumata e la tensione presente a vuoto ai terminali dell'avvolgimento secondario ($V_2 = E_{20}$ essendo $I_2 = 0$).

La **prova in condizioni di cortocircuito** permette, invece, di ricavare i parametri serie. La prova consiste nell'alimentare la macchina, con il secondario chiuso in cortocircuito, fornendo una tensione primaria (V_{1cc}) opportunamente ridotta rispetto alla tensione nominale per evitare danneggiamenti alla macchina e tale da fare scorrere nei due avvolgimenti le correnti nominali. Tramite questo procedimento è possibile misurare la tensione di corto circuito primaria (V_{cc}), la potenza attiva di corto circuito (P_{cc}) e il relativo fattore di potenza ($\cos\varphi_{cc}$).

Di solito, i valori di V_{cc} e P_{cc} sono indicati in termini percentuali; a questo scopo si definisce tensione di cortocircuito percentuale del trasformatore il rapporto, espresso in centesimi, tra la tensione di cortocircuito e la tensione nominale dell'avvolgimento di riferimento:

$$V_{cc\%} = \frac{V_{cc}}{V_N} \cdot 100$$

E in modo analogo:

$$P_{cc\%} = \frac{P_{cc}}{S_N} \cdot 100$$

Il valore di tensione primaria sufficiente per la prova (V_{cc}) è molto piccolo rispetto alla tensione nominale della macchina ($V_{cc\%} = 7 \div 8\% V_N$), mentre la corrente circolante è l'intera corrente nominale, pertanto è ragionevole trascurare le dissipazioni dovute alle perdite nel ferro (P_{Fe}) e considerare l'intera potenza attiva misurata (P_{cc}) come dovuta alle sole perdite nel rame (P_{Cu}) dei due avvolgimenti.

Dati di targa

I parametri principali di un trasformatore sono riportati sulla targhetta metallica puntata sulla carcassa, assieme al contrassegno CEI, al nome del costruttore e al numero di identificazione. I parametri principali riportati in targa sono i seguenti.

- **Tensioni e correnti nominali primarie e secondarie.** Per i trasformatori trifase, le tensioni nominali sono sempre intese come tensioni concatenate e le correnti nominali come correnti di linea, qualunque sia il collegamento fra gli avvolgimenti.
- **Potenza nominale,** intesa come **potenza apparente** (S_N) resa sul secondario in condizioni nominali. Per un trasformatore trifase, essa vale:

$$S_N = \sqrt{3} \cdot V_{2N} \cdot I_{2N} = \sqrt{3} \cdot V_{1N} \cdot I_{1N}$$

- **Frequenza nominale,** generalmente 50 Hz.
- **Tipo di collegamento** a triangolo o a stella, sia del primario che del secondario.
- **Tensione di cortocircuito** in percentuale, così come definita nella prova di cortocircuito.

C

E

I

253

UNEL

TRASFORMATORE TRIFASE

N° XXXX

250

kVA

50

Hz

ANNO 2012

ALTA TENSIONE

20 ± 2x2,5%


kV

7,21

A

Cni 24/50/125

kV

Colleg. 

Gruppo Dyn 11

Vcc 4%

PER ESTERNO RAFFR. ONAN

MASSA TOTALE 1208

kg

BASSA TENSIONE

400


V

361

A

Cni 3,6/8

kV

Colleg. 

MASSA OLIO 362

kg

Dati di targa di un trasformatore MT/BT in olio 20 kV/0,4 kV.

Nella targa d'esempio, sono riportate le tensioni nominali primaria ($V_{1n} = 20$ kV) e secondaria ($V_{2n} = 0,4$ kV), le tensioni massime relative alla tenuta dei componenti del trasformatore, rispettivamente, 24 kV sul primario (CEI 17-21) e 3,6 kV per il secondario e il livello d'isolamento, ossia la tenuta del primario alla tensione di prova a frequenza industriale 50 Hz (50 kV) e all'impulso 1,2/50 μ s (125 kV) e la tenuta del secondario alla tensione di prova a frequenza industriale (8 kV).

In tabella sono riportati i più significativi dati di targa delle taglie più frequentemente utilizzate per i trasformatori di potenza MT/BT in olio. I trasformatori più piccoli ($S_N < 100$ kVA) sono impiegati nella distribuzione pubblica, posti su palo, mentre quelli di potenza superiore a 630 kVA trovano impiego solamente nelle cabine di trasformazione MT/BT per utenti finali connessi direttamente alla rete pubblica a MT. In base alla norma CEI 0-16, le taglie non possono superare 1.600 kVA a 15 kV e 2.000 kVA a 20 kV, salvo aumentare adeguatamente la tensione di cortocircuito.

VALORI NORMALIZZATI PER TRASFORMATORI MT/BT IN OLIO					
V_{1N} [kV]	S_N [kVA]	I_{2N} [A]	Z_{2cc} [Ω]	I_{2cc} [kA]	
				$V_{cc}\% = 4$	$V_{cc}\% = 6$
3,6 ÷ 24	50	72	0,128	1,8	1,2
	100	144	0,064	3,6	2,4
	160	231	0,040	5,8	3,8
	250	361	0,025	9,0	6,0
	400	577	0,016	14,4	9,6
	630	909	0,010	22,7	-
			0,015	-	15,2
	1.000	1.443	0,0096	-	24,1
	1.600	2.309	0,0060	-	38,5
	2.000	2.887	0,0048	-	48,1
	2.500	3.608	0,0038	-	60,1

Impedenza delle linee di distribuzione

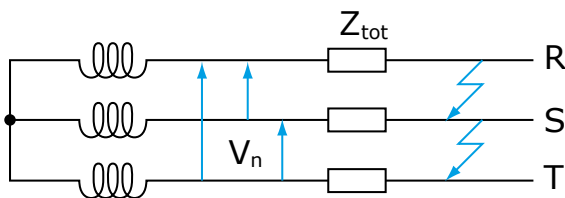
I valori della resistenza (R_L) e della reattanza (X_L) dell'impedenza delle linee di distribuzione sono forniti dai costruttori o si trovano in tabelle specifiche per tipo di cavo.

Per esempio la norma CEI UNEL 35023 mette a disposizione, mediante tabelle, i valori caratteristici di **resistenza unitaria** (R_U) e **reattanza unitaria** (X_U) per ogni chilometro di cavo.

Nelle tabelle 3 e 4 (alla pagina successiva) ne sono proposti degli stralci.

Corrente di cortocircuito

Note l'impedenza equivalente di guasto (Z_{tot}) e la tensione nominale (V_n), è possibile ricavare la corrente di cortocircuito (I_{cc}) nel punto desiderato.



• Cortocircuito trifase.

In caso di cortocircuito trifase, si avrà una corrente di cortocircuito pari a:

$$I_{cc} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{tot}}$$

Per scegliere correttamente i dispositivi di protezione da impiegare, con particolare riferimento al relativo potere di interruzione, risulta importante calcolare la corrente di cortocircuito ai morsetti del trasformatore trifase (a monte della linea di distribuzione).

In questo caso, l'impedenza equivalente di guasto è composta dalla reattanza della rete pubblica (X_r) e dalle componenti resistive e reattive del trasformatore (R_T , X_T).

Da cui:

$$I_{2cc} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + (X_r + X_T)^2}}$$

Considerando nullo il contributo della rete, si può prendere in considerazione la sola impedenza del trasformatore:

$$I_{2cc} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_T} = \frac{V_{2N}}{\sqrt{3} \cdot Z_{2cc}}$$

TAB. 3 – PARAMETRI R_U E X_U RELATIVI A CAVI ISOLATI IN GOMMA

SEZIONE NOMINALE	RESISTENZA (R_U) A 90 °C		REATTANZA (X_U)		
	Corrente continua	Corrente alternata	Cavi unipolari	Cavi bipolari	Cavi tripolari
mm ²	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km
1,5		16,96	0,144	0,100	0,100
2,5		10,17	0,132	0,094	0,094
4		6,31	0,122	0,087	0,087
6		4,21	0,144	0,083	0,083
10		2,44	0,105	0,078	0,078
16		1,54	0,098	0,075	0,075
25		0,99	0,093	0,074	0,074
35		0,71	0,089	0,072	0,072
50	0,49	0,49	0,085	0,071	0,071
70	0,35	0,35	0,084	0,070	0,070
95	0,26	0,26	0,083	0,069	0,069
120	0,21	0,21	0,080	0,069	0,069
150	0,16	0,17	0,080	0,069	0,069
185	0,14	0,14	0,080		0,069
240	0,10	0,11	0,078		0,069

TAB. 4 – PARAMETRI R_U E X_U RELATIVI A CAVI ISOLATI IN PVC

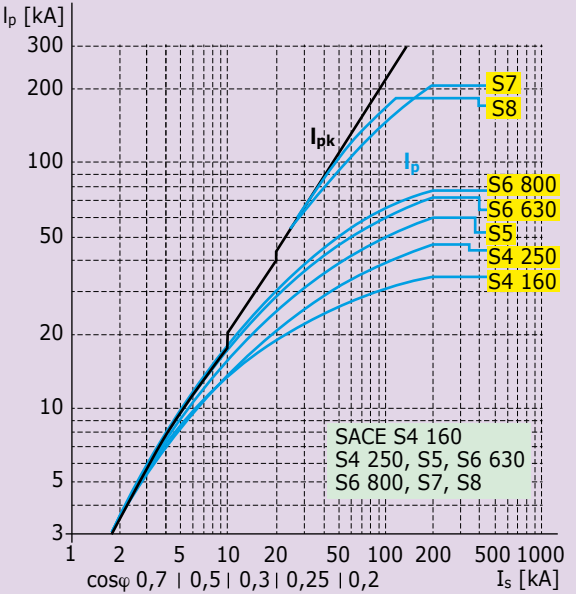
SEZIONE NOMINALE	RESISTENZA (R_U) A 90 °C		REATTANZA (X_U)		
	Corrente continua	Corrente alternata	Cavi unipolari	Cavi bipolari	Cavi tripolari
mm ²	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km
1,5		15,91	0,145	0,105	0,105
2,5		9,55	0,132	0,096	0,096
4		5,92	0,127	0,096	0,096
6		3,95	0,119	0,091	0,091
10		2,29	0,110	0,085	0,085
16		1,45	0,102	0,080	0,080
25		0,93	0,097	0,079	0,079
35		0,66	0,092	0,076	0,076
50	0,46	0,089	0,089	0,076	0,076
70	0,33	0,085	0,085	0,074	0,074
95	0,25	0,085	0,085		0,074
120	0,19	0,082	0,082		
150	0,15	0,082	0,082		
185	0,13	0,081	0,081		
240	0,096	0,099	0,080		

Curve di limitazione

Il calcolo della corrente presunta di cortocircuito in un punto dell’impianto è effettuato qui in via teorica, considerando ideali i poli dei dispositivi di manovra. In realtà, l’impedenza dei poli contribuisce a limitare il valore della corrente presunta secondo apposite **curve di limitazione** fornite dal costruttore.

Nel diagramma proposto, per esempio, è mostrata la curva di limitazione di alcuni modelli di interruttori automatici ABB-SACE: in ascissa sono riportati i valori della corrente di cortocircuito presunta (indicata con I_s), mentre in ordinata i valori della corrente di cresta non limitata (I_{pk}) e della corrente di cresta limitata (I_p) dei vari modelli di interruttore. Per esempio, l’interruttore S5 limita il picco di una corrente presunta di 40 kA, che sarebbe di 88 kA, a circa 34 kA.

Per una maggiore precisione, andrebbero considerati anche la presenza delle resistenze interne delle apparecchiature di manovra e il contributo di eventuali motori asincroni negli istanti successivi al cortocircuito.



• Curve di limitazione.

2.3 CORRENTE DI CORTOCIRCUITO IN SISTEMI TT

Per determinare la corrente di cortocircuito nei sistemi senza cabina propria (TT), non si ha a disposizione il valore della potenza di cortocircuito (S_{cc}), quindi, si deve far riferimento alla norma CEI 0-21, che indica valori convenzionali per la corrente di cortocircuito massima, in relazione a determinate condizioni (tab. 7). La tabella 7 riporta anche i relativi fattori di potenza.

TAB. 7 - CEI 0-21: CORRENTE DI CORTOCIRCUITO E FATTORE DI POTENZA

CONDIZIONE	CORRENTE DI CORTOCIRCUITO	FATTORE DI POTENZA
Forniture mono-fase	6 kA	0,7
Forniture trifase per utenti con potenza disponibile < 33 kW	10 kA	0,5
Forniture trifase per utenti con potenza disponibile > 33 kW	15 kA	0,3
Forniture trifase – cortocircuito fase/neutro	6 kA	0,7

I valori indicati sono basati sull'utilizzo di trasformatori MT/BT di potenza non superiore a 630 kVA, con V_{cc} pari al 6%. Per trasformatori di caratteristiche diverse, qualora i valori della corrente di cortocircuito al punto di connessione siano superiori ai valori convenzionali adottati dalla norma, l'ente distributore deve comunicare i reali valori della corrente di cortocircuito, ai fini del dimensionamento delle apparecchiature.

Calcolo della corrente di cortocircuito

L'impedenza della rete a monte del punto di consegna si calcola con l'espressione:

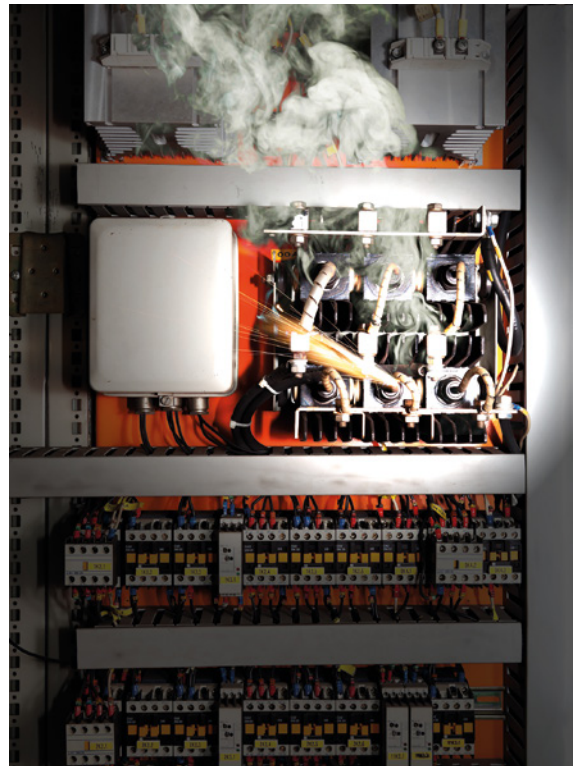
$$Z_r = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot I_{cc0}} \text{ [m}\Omega\text{]}$$

Noti Z_r e il $\cos(\varphi_{cc0})$ si risale a R_r e X_r . Per il calcolo dell'impedenza della linea (R_L e X_L), si procede in modo analogo al sistema TN. Sommando tra loro le resistenze e le reattanze delle due impedenze calcolate (rete e linea di distribuzione), si arriva alla determinazione dell'impedenza equivalente di guasto:

$$Z_{tot} = \sqrt{(R_r + R_L)^2 + (X_r + X_L)^2}$$

Tramite l'impedenza equivalente di guasto (Z_{tot}), si ricava la corrente di cortocircuito (I_{cc}) nel punto desiderato. Nel caso del cortocircuito trifase:

$$I_{cc} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{tot}}$$



2.4 TIPOLOGIE DI GUASTI

Per stabilire un adeguato dimensionamento degli organi di manovra e protezione è importante determinare le correnti di cortocircuito nelle diverse condizioni di funzionamento dell'impianto. A seconda delle modalità di contatto tra due o più punti a tensione diversa, si possono generare diverse tipologie di cortocircuito, tra cui:

- guasto trifase;
- guasto tra fase e fase;
- guasto tra fase e neutro.

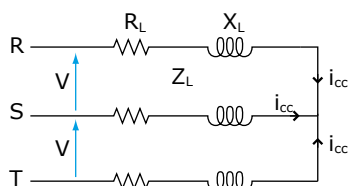
Guasto trifase

Il guasto trifase è un cortocircuito tra i conduttori di fase. È un tipo di guasto non molto frequente, causato da manovre errate o cause accidentali di varia origine.

Supponendo ideale il generatore di tensione a monte, per il calcolo della corrente di cortocircuito si fa riferimento alla sola impedenza relativa ai conduttori di linea che chiudono la maglia di cortocircuito. Per una linea trifase composta da conduttori di impedenza Z_L , alimentata alla tensione V , un guasto che coinvolge le tre fasi

provoca correnti di cortocircuito di uguale intensità il cui valore è pari a:

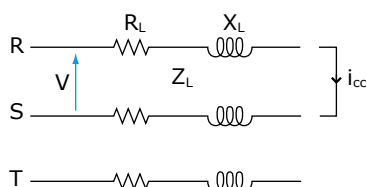
$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot Z_L}$$



• Cortocircuito trifase.

Guasto tra fase e fase

Il guasto tra fase e fase è un cortocircuito fra due conduttori di fase. In questo tipo di guasto, le correnti delle due fasi in cortocircuito sono uguali e contrarie; considerando ideale il generatore a monte, il loro valore vale:



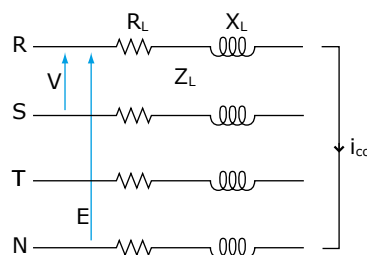
$$I_{cc} = \frac{V}{2 \cdot Z_L}$$

• Cortocircuito tra fase e fase.

Guasto tra fase e neutro

Diversamente da quanto avviene per il cortocircuito tra fase e fase, il guasto tra una delle linee di fase e il neutro coinvolge la tensione di fase (E), anziché la tensione concatenata (V), con una corrente di valore inferiore:

$$I_{cc} = \frac{E}{2 \cdot Z_L}$$



• Cortocircuito tra fase e neutro.

Nel caso in cui l'impedenza di neutro sia diversa da quella di fase, occorre tener conto dei diversi parametri in gioco:

$$I_{cc} = \frac{E}{\sqrt{(R_L + R_N)^2 + (X_L + X_N)^2}}$$

2.5 ENERGIA SPECIFICA PASSANTE

L'apertura di un impianto in presenza di un cortocircuito impegna un intervallo di tempo che dipende dalle caratteristiche dell'interruttore automatico utilizzato e dall'entità della corrente in gioco. Durante questo intervallo di tempo, il dispositivo lascia transitare una certa quantità di energia (**energia specifica passante**), che può variare secondo l'entità della corrente di cortocircuito e il tempo di intervento (t_i) dell'interruttore stesso, secondo l'integrale di Joule:

$$\int_0^{t_i} i^2 dt$$

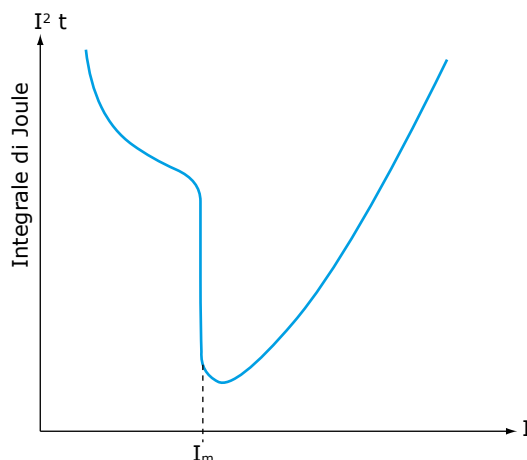
Per tempi lunghi ($> 0,1$ s), si può semplificare come:

$$I^2 \cdot t_i$$

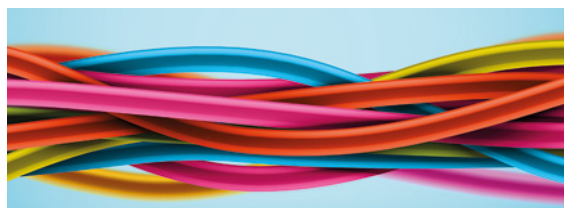
dove I è la corrente di cortocircuito simmetrica presunta.

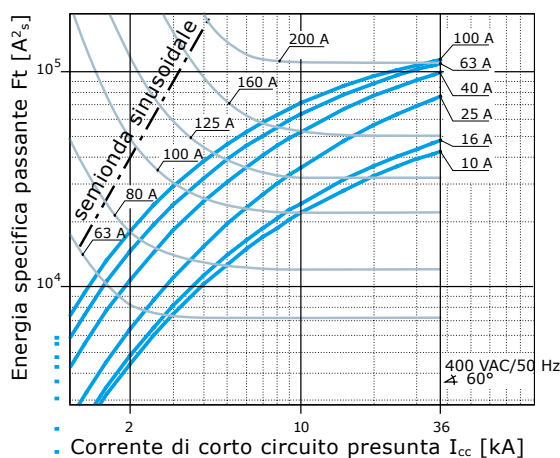
L'andamento tipico dell'energia specifica passante è riportato nel grafico. Dopo un primo tratto, caratteristico dell'intervento termico, il valore dell'energia passante precipita in corrispondenza dell'intervento istantaneo del relè magnetico, per poi recuperare all'aumentare della corrente passante.

Il tratto di interesse è quindi l'ultimo, solitamente il solo fornito dai costruttori, da utilizzarsi per verificare l'effettiva tenuta del cavo impiegato.



• Andamento dell'energia specifica passante.





- Energia specifica passante per interruttore S800N.

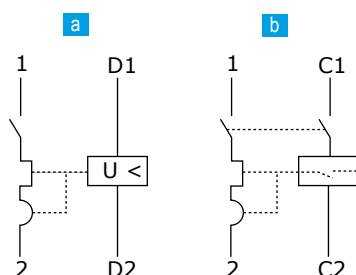
3 AUSILIARI ELETTRICI

Gli interruttori automatici magnetotermici possono essere arricchiti da dispositivi ausiliari, per aumentare la funzionalità del dispositivo di sgancio.

I principali dispositivi ausiliari sono:

- **bobina di sgancio** per minima tensione, che consente l'apertura automatica dell'interruttore nel caso la tensione scenda sotto una soglia compresa tra il 35 e il 70% della tensione nominale;
- **bobina di apertura** a lancio di corrente, che permette l'apertura dell'interruttore da remoto mediante eccitazione della bobina ausiliaria stessa;
- **contatti ausiliari** solidali con i contatti principali, che consentono di portare a distanza la segnalazione dello stato dell'interruttore;
- **contatto di segnalazione**, che permette di evidenziare la posizione del contatto dell'interruttore dopo lo sgancio automatico (per sovraccarico o cortocircuito), attraverso la sporgenza di un elemento di colore giallo (flag).

Per gli interruttori in versione modulare, gli ausiliari sono forniti con dimensioni unificate e spessori a mezzo modulo o a modulo intero, da agganciare lateralmente all'interruttore stesso fino a formare un corpo unico.

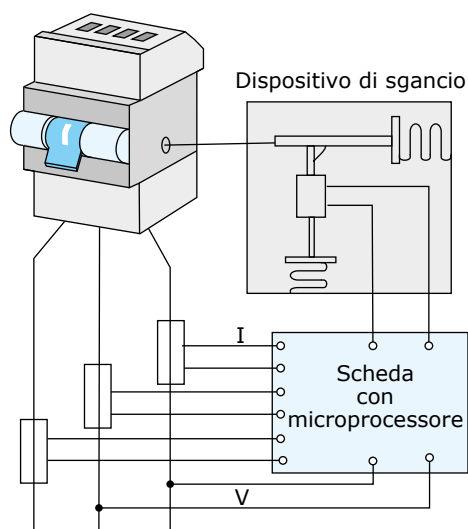


- Schema elettrico bobina (A) di minima tensione e (B) a lancio di corrente.

4 INTERRUITORI A CONTROLLO ELETTRONICO

Gli interruttori a controllo elettronico sono particolari interruttori magnetotermici, in cui l'elettromagnete di sgancio è governato da un **microprocessore**.

Sono costituiti dall'elettromagnete per l'azionamento del meccanismo di apertura e da una serie di sensori analogici per il rilievo delle informazioni di corrente e di tensione, destinate al microprocessore di governo.



- Struttura di un interruttore a controllo elettronico.

L'ingresso in tensione (V) ha la duplice funzione di alimentazione della scheda elettronica e di informazione per il relè di minima tensione.

Il microprocessore dispone di convertitori ADC (*Analog to Digital Converter*) per l'acquisizione dei campioni analogici, di alcuni ingressi digitali per la comunicazione da remoto e di un'interfaccia wireless per il monitoraggio e la diagnostica dell'interruttore stesso.

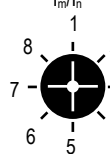
Il microprocessore elabora, quindi, le informazioni di tensione e corrente rilevate dalla linea e, tenendo conto dello stato degli altri dispositivi interfacciati, delle soglie di corrente e dei ritardi impostati in fase di configurazione, produce l'eventuale segnale di sgancio.

L'elaborazione è ciclica e dura meno di 1 ms.

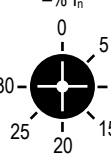
Mediante l'apposito pannello operatore, è possibile impostare e variare i parametri della caratteristica di intervento per sovraccarico e il ritardo di intervento in cortocircuito.

Il controllo elettronico è impiegato soprattutto per gli interruttori di bassa tensione di taglia maggiore e per gli interruttori posti sul lato media tensione delle cabine di proprietà dell'utente.

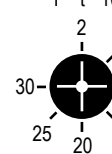
Regolazione soglia di intervento istantaneo
 I_m/I_n



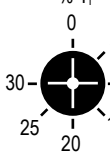
Regolazione intervento differito
 $-\% I_n$



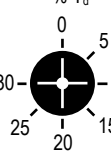
Regolazione selettività a $I^2 \cdot t$ costante
 $I^2 \cdot t \cdot 10^6$



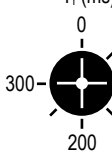
Ritardo intervento istantaneo
 $-\% T_i$



Ritardo intervento differito
 $-\% T_d$



Tempo di ritardo per intervento selettivo
 T_r (ms)



• Pannello di regolazione.

5 INTERRUITORI DIFFERENZIALI RITARDATI

Gli interruttori differenziali sono impiegati in ambito civile e industriale per la protezione attiva degli operatori contro i pericoli derivanti dai contatti indiretti, mediante interruzione automatica del circuito.

In base alla forma d'onda della corrente di dispersione rilevabile, si distinguono tre tipi di interruttori differenziali:

- interruttori di **tipo AC**, adatti per impianti in cui si prevedono utilizzatori con correnti di guasto alternate sinusoidali;
- interruttori di **tipo A**, adatti per impianti in cui si prevedono utilizzatori con correnti differenziali di guasto alternate e/o pulsanti, unidirezionali;
- interruttori di **tipo B**, adatti anche per guasti in corrente continua (ambito industriale).

A differenza degli interruttori differenziali ad alta sensibilità (salvavita, $I_{dn} = 10 \div 30$ mA) utilizzati in ambito civile per la protezione delle persone contro i contatti diretti e indiretti, gli interruttori differenziali ritardati (detti anche selettivi) sono caratterizzati da un **ritardo di intervento regolabile**. Sono utilizzati in installazioni a monte di gruppi di altri interruttori differenziali istantanei, per consentire agli interruttori istantanei di intervenire per primi, limitando l'apertura del solo ramo d'impianto che presenta perdite a terra.

6 FUSIBILI

I fusibili sono dispositivi impiegati per la protezione dei circuiti da eccessi di corrente: quando il fusibile è percorso da sovracorrenti, il filamento al suo interno fonde interrompendo il circuito. I fusibili hanno, quindi, funzioni analoghe a quel-

le degli interruttori analizzati, ma si caratterizzano per un elevato potere di interruzione, un costo limitato e dimensioni ridotte; per contro, in ambito industriale, bisogna mobilitare personale addestrato per la loro sostituzione (oltre a mantenerne una scorta in azienda). La forma costruttiva può essere cilindrica, per correnti fino a circa 200 A, oppure con contatti a coltello, per correnti superiori, anche oltre i 1.000 A.

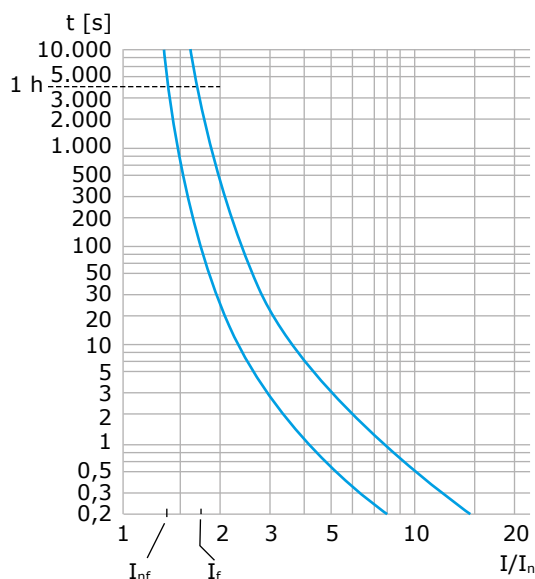


• Fusibili e portafusibili commerciali.

6.1 CARATTERISTICA DI INTERVENTO

La caratteristica di intervento di un fusibile, date le tolleranze dei materiali di fusione, è rappresentabile con una regione di spazio, nella quale rilevare due valori caratteristici di corrente:

- **corrente di non fusione** (I_{nf}), massimo valore di corrente che sicuramente non fa intervenire il fusibile entro il tempo convenzionale;
- **corrente di fusione** (I_f), minimo valore di sovracorrente che sicuramente fa intervenire il fusibile entro il tempo convenzionale.



• Caratteristica normalizzata di intervento di un fusibile.

Le norme definiscono il tempo convenzionale di intervento (tab. 8) e definiscono:

$$I_{nf} = 1,25 \cdot I_n$$

$$I_f = 1,6 \cdot I_n$$

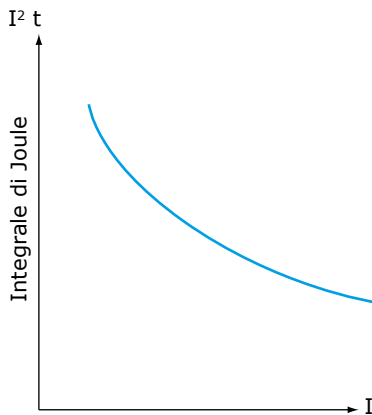
TAB. 8 – TEMPO CONVENZIONALE DI INTERVENTO PER FUSIBILI

$I_n [A]$	$\tau [H]$
≤ 63	1
≤ 160	2
≤ 400	3
>400	4

Per esempio, un fusibile con corrente nominale $I_n = 25 \text{ A}$ può essere attraversato da una corrente di $31,25 \text{ A}$ ($I_{nf} = 1,25 \cdot I_n$) per un'ora senza interrompersi, mentre se è attraversato da una corrente di 40 A ($I_f = 1,6 \cdot I_n$) sicuramente interviene entro un'ora.

Energia specifica passante

L'andamento tipico dell'energia specifica passante in un fusibile è del tutto simile al tratto caratteristico di un intervento termico.



- Andamento dell'energia specifica passante in un fusibile.

6.2 TIPI DI FUSIBILI

I fusibili possono essere classificati per tensione nominale (bassa, alta) o per classe di esercizio.

Bassa e alta tensione

In base alla tensione nominale, i fusibili sono classificati in fusibili per **bassa tensione** ($< 1.000 \text{ V}$ ca) e fusibili per **alta tensione**.

Tra i fusibili per bassa tensione, le norme CEI individuano inoltre due categorie:

- fusibili che possono essere manovrati solo da **personale addestrato** (per applicazioni industriali);

- fusibili manovrabili anche da personale **non addestrato** (per applicazioni domestiche e similari, ma utilizzabili anche in ambito industriale).

Classe di esercizio

La classificazione per classi di esercizio prevede una denominazione dei fusibili attraverso due lettere dell'alfabeto: la prima rappresenta la **classe di funzionamento** (o campo di interruzione) mentre la seconda l'**oggetto da proteggere** (o categoria di utilizzazione).

Le possibili classi di funzionamento sono:

- **g** (*general purpose fuses*), fusibili in grado di proteggere sia dai cortocircuiti sia dai sovraccarichi (protezione di campo totale);
- **a** (*motor back-up fuses*), fusibili in grado di proteggere solo dai cortocircuiti e da sovraccarichi elevati (protezione di campo parziale), da associare ad altri dispositivi per la protezione contro le sovracorrenti.



Gli oggetti da proteggere sono, invece, cavi e conduttori (**G**), semiconduttori (**R**), trasformatori (**Tr**), apparecchi e motori (**M**), impianti in miniera (**B**).

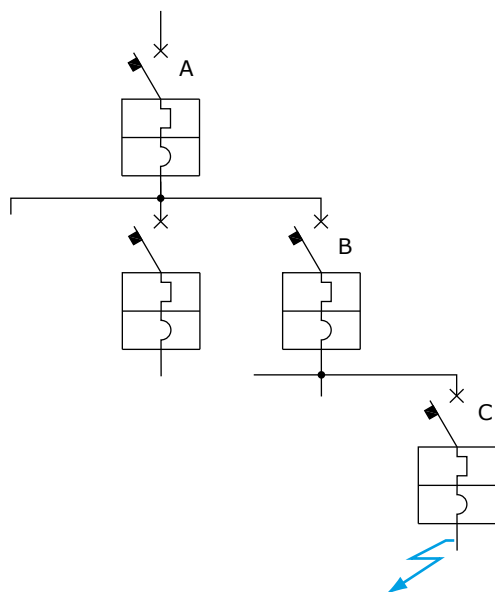
Ne derivano classificazioni come fusibile gG, per indicare un fusibile a protezione di campo totale per cavi e conduttori, o fusibile aM, per indicare un fusibile a protezione di campo parziale per motori.

7 SELETTIVITÀ DELLE PROTEZIONI

Una rete di distribuzione è solitamente strutturata in modo gerarchico, con la linea principale dotata di un proprio dispositivo di protezione a monte e più linee derivate in cascata.

Per garantire la massima continuità del servizio (obbligatoria nei locali pubblici), è necessario

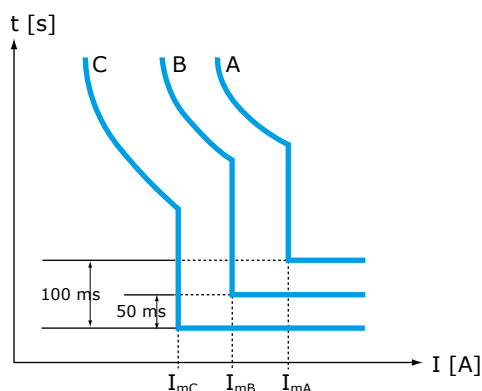
agire sulla selettività degli interventi, facendo in modo che, a seguito di un guasto in un determinato punto dell'impianto, intervenga il solo dispositivo di protezione preposto a quella sezione di impianto, senza che intervengano i dispositivi a monte. Il criterio per ottenere un buon comportamento selettivo tra interruttori insiste sulla combinazione di due tecniche, dette di selettività amperometrica e di selettività cronometrica. In presenza di fusibili valgono, invece, considerazioni differenti.



• Rete con struttura radiale.

7.1 SELETTIVITÀ AMPEROMETRICA

Per realizzare la selettività amperometrica è necessario che, tra più interruttori in cascata, il tempo di non intervento dell'interruttore a monte risulti maggiore del tempo di apertura certa dell'interruttore a valle, per qualunque valore di corrente di sovraccarico. Ciò significa che le caratteristiche di intervento degli interruttori non si sovrappongono in nessun punto.



• Selettività delle protezioni.

Nella pratica, questo aspetto può essere garantito in due modi.

- Per il **sovraccarico**, si sceglie un interruttore a monte con corrente nominale almeno doppia rispetto all'interruttore a valle.

$$I_{nA} \geq 2 \times I_{nB} \quad I_{nB} \geq 2 \times I_{nC}$$

- Per il **cortocircuito**, si scelgono interruttori con soglie di intervento magnetico distanti tra loro di un rapporto almeno pari a 1,5.

$$I_{mA} \geq 1,5 \times I_{mB} \quad I_{mB} \geq 1,5 \times I_{mC}$$

7.2 SELETTIVITÀ CRONOMETRICA

La selettività cronometrica è ottenuta impostando una temporizzazione differenziata dell'intervento magnetico tra gli interruttori in cascata, per esempio impiegando interruttori a monte con un ritardo, fisso o regolabile, intenzionalmente sempre maggiore di quello a valle, con incrementi di 50÷100 ms per ogni step di salita nel livello di gerarchia.

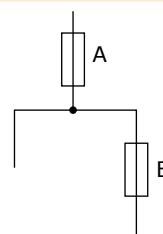
Selettività logica

Una modalità analoga, detta **selettività logica**, impiega interruttori a controllo elettronico coordinati tra loro, in modo che l'interruttore a valle, interessato dal cortocircuito, invii al dispositivo a monte un comando di inibizione all'apertura per circa 50 ms.

7.3 SELETTIVITÀ TRA FUSIBILI

Due fusibili in verticale sono selettivi quando la corrente nominale del fusibile a monte è superiore di almeno 1,6 volte la corrente nominale del fusibile a valle (CEI EN 60269-1), ossia corrisponde alla sua corrente di sicuro intervento entro il tempo convenzionale.

$$I_{nA} \geq 1,6 \cdot I_{nB} = I_{fB}$$



• Fusibili in verticale.

Per esempio, se il fusibile a monte è di 40 A, la selettività si ha con tutti i fusibili a valle di corrente nominale uguale o inferiore a 25 A:

$$40 \text{ A} \geq 1,6 \cdot 25 \text{ A}$$

$$40 \text{ A} \geq 40 \text{ A}$$

Tutti i costruttori forniscono apposite tabelle di coordinamento per individuare gli abbinamenti di fusibili in grado di assicurare la selettività.

8 PROTEZIONE DI BACK-UP

La protezione di back-up (o protezione di sostegno) è una forma particolare di selettività parziale, che prevede in un impianto l'utilizzo di un dispositivo di protezione (fusibile o interruttore automatico) con potere di interruzione inferiore alla corrente presunta di cortocircuito, purché a monte del dispositivo stesso ve ne sia un altro con potere di interruzione adeguato a intervenire in suo sostegno.

Si tratta, di fatto, di un sistema di protezione che sfrutta la capacità dei dispositivi di protezione posti in serie di limitare la corrente di cortocircuito.

Il coordinamento di back-up tra dispositivi di protezione deve essere confermato mediante specifiche **prove di laboratorio**, normalmente effettuate dalle più importanti aziende costruttrici di apparecchiature elettriche. Tali aziende mettono poi a disposizione dei progettisti una serie di tabelle di coordinamento tra i dispositivi.

Fusibile a monte - interruttore a valle

Nel caso di un coordinamento di back-up tra fusibili (a monte) e interruttori (a valle), si sfruttano le eccezionali doti d'interruzione del fusibile per proteggere un interruttore posto a valle, che non dispone di un potere d'interruzione adeguato al valore della corrente presunta di cortocircuito nel punto d'installazione. È il costruttore stesso dell'interruttore a fornire le caratteristiche del fusibile di back-up da associare, poiché va rispettata la sua capacità di sopportazione, a contatti chiusi, delle sollecitazioni termiche e dinamiche comunque prodotte dal passaggio della corrente di cortocircuito.

Interruttori a monte e a valle

Nel caso di un coordinamento di back-up tra due interruttori in serie, le impedenze in serie che ne derivano producono un effetto di limitazione della corrente di cortocircuito.

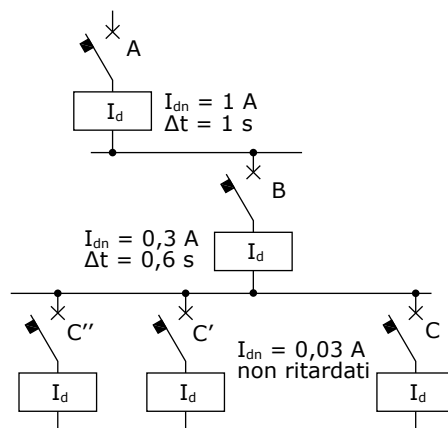
È quindi chiaro che il potere di interruzione dell'associazione tra i due interruttori è superiore a quello dei singoli apparecchi; attraverso questo coordinamento, nel rispetto delle tabelle fornite dal costruttore, risulta possibile utilizzare un interruttore a valle con un minore potere di interruzione e di conseguenza un costo inferiore.

9 SELETTIVITÀ DIFFERENZIALE

In un impianto industriale, la presenza di corrente dispersa a terra in modo permanente ha, di norma, valori tanto più alti quanto più è esteso l'impianto. La corrente dispersa totale è, infatti, la somma delle correnti disperse dalle singole macchine che costituiscono l'impianto. In un impianto medio-grande, quindi, l'interruttore differenziale generale ha una soglia elevata e non garantisce i necessari livelli di sicurezza; per questo motivo vanno aggiunti altri interruttori differenziali dislocati sulle linee derivate, con soglie specifiche.

Le norme prevedono che l'interruttore differenziale intervenga per correnti uguali o superiori al valore nominale (I_{dn}), ma non intervenga per correnti inferiori o uguali a $0,5 \cdot I_{dn}$.

Ne consegue che le correnti comprese tra $0,5 \cdot I_{dn}$ e I_{dn} appartengono al campo di tolleranza di intervento della protezione differenziale ammesso dalle norme di prodotto. Per esempio, un dispositivo differenziale con soglia di intervento pari a 30 mA non interviene per correnti inferiori a 15 mA, potrebbe intervenire per correnti comprese tra 15 e 30 mA e interviene sicuramente per correnti superiori a 30 mA.



• Esempio di selettività differenziale.

In presenza di una struttura gerarchica, considerata la dispersione della soglia di intervento, la selettività per guasto a terra (**selettività differenziale**) è, quindi, ottenuta impiegando interruttori differenziali a monte con soglia di corrente più che doppia (in pratica tripla) rispetto ai differenziali di livello inferiore (per esempio 100 mA rispetto ai 30 mA) e con ritardi di intervento gerarchicamente differenziati.

$$I_{dnA} \geq 3 \cdot I_{dnB} \quad I_{nB} \geq 3 \cdot I_{dnC}$$

Per evitare interventi inopportuni, la corrente di dispersione permanente non dovrebbe essere

superiore a $0,3 \cdot I_{dn}$. Per correnti di dispersione superiori, si può suddividere l'impianto in più circuiti protetti singolarmente da un interruttore differenziale, riducendo la lunghezza dei collegamenti e il numero di carichi collegati a ciascun dispositivo.

Nella scelta delle soglie e dei ritardi, è bene tenere presente che una protezione contro le tensioni di contatto è efficace solo se non si superano le correnti e i tempi massimi previsti dalle curve di sicurezza; in caso contrario, è necessario scomporre la rete in più rami indipendenti. Gli interruttori differenziali industriali disponibili hanno soglie di corrente che vanno da 30 mA a 10 A e ritardi di intervento (fissi o regolabili) fino a 5 s.

10 SCARICATORI

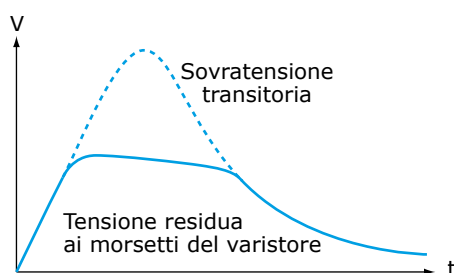
Gli impianti di distribuzione sono soggetti a sovratensioni originate da cause sia esterne (scariche atmosferiche), sia interne (cortocircuito di una fase a terra, manovre di apertura/chiusura di grossi carichi, ecc.).

Per proteggere le apparecchiature connesse con la linea di distribuzione, in aggiunta ai dispositivi scaricatori SPD (*Surge Protection Device*) posti in ingresso alla linea sul lato MT, si predispongono ulteriori SPD secondari (**LDS**, Limitatori di sovratensione), connessi tra le linee di bassa tensione e il dispersore, per la protezione indiretta dei quadri intermedi e delle apparecchiature terminali.

Gli SPD secondari sono costituiti da varistori (VDR, *Voltage Dependent Resistor*), realizzati con impasti di ossido di zinco (ZnO) e caratte-

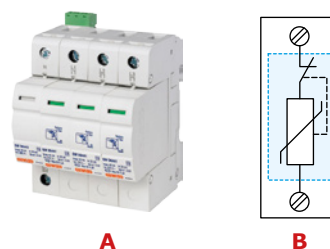
rizzati da un comportamento resistivo non lineare, tale che, superata una determinata tensione di soglia, la resistenza si riduce, limitando la tensione ai capi.

Gli SPD si caratterizzano per l'elevata resistenza nel tempo e per una protezione di intervento di almeno 20 volte superiore al valore di corrente nominale dichiarato.



- Comportamento del varistore in presenza di sovratensione transitoria.

In commercio sono disponibili tipicamente scaricatori modulari con livello di protezione a 2,5 kV e 5 kA, cartuccia estraibile, bandierina colorata (verde/rossa) per la segnalazione dello stato di efficienza del dispositivo e un contatto ausiliario per la segnalazione a distanza.



- SPD modulare (Gewiss) (A) con cartuccia estraibile e (B) schema.



10.1 CATEGORIE DI TENUTA

Ciascun SPD è caratterizzato da un determinato livello di protezione, espresso in volt.

Per scegliere il limitatore di sovratensione più adatto, è bene tener conto del livello di tenuta ad impulso delle apparecchiature da proteggere. La norma IEC60664 definisce **quattro categorie** di tenuta ad impulso per le apparecchiature in bassa tensione, in funzione della loro tensione nominale (tab. 9).

La protezione degli SPD è tanto più efficace quanto è più bassa la differenza tra il livello di protezione del dispositivo installato e il valore di tensione di tenuta dell'apparecchiatura da proteggere.

10.2 INSTALLAZIONE E PROTEZIONE SPD

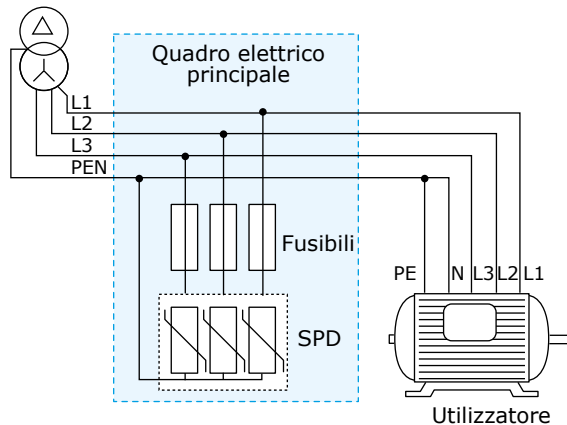
Gli SPD devono essere installati più vicino possibile al dispositivo da proteggere; gli spezzoni che collegano i conduttori di linea agli scaricatori e gli scaricatori a terra non devono essere più lunghi di 0,5 m.

Lo scaricatore deve, inoltre, essere protetto dai cortocircuiti interni e dai contatti indiretti dovuti a correnti permanenti di dispersione, causate da un degrado del componente a seguito di scariche ripetute e consistenti.

Gli SPD, infatti, sono in grado di interrompere la corrente di conduzione e auto-ripristinarsi fino a un determinato valore di corrente, oltre il quale, se l'energia passante è eccessiva, possono deteriorarsi o distruggersi. È necessario, quindi, inserire dispositivi di protezione (interruttore magnetotermico o fusibile) che svolgano la funzione di back-up nei loro confronti preservando la continuità di servizio.

È bene utilizzare singoli dispositivi di protezione unipolari (fusibile o interruttore) posti in serie ad ogni SPD, in modo che, in caso di intervento di una protezione, gli altri SPD possano continuare a garantire la difesa dalle sovratensioni sulle fasi integre.

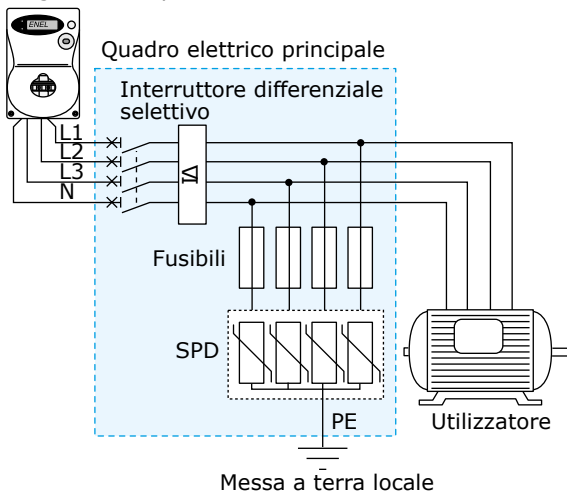
Origine dell'impianto



• Installazione di SPD in un sistema TN.

Per garantire la protezione contro i contatti indiretti è sempre necessario inserire, nell'impianto protetto da un SPD, uno o più dispositivi che interrompano le correnti di guasto a terra. Solitamente si tratta di un **interruttore differenziale selettivo**, opportunamente coordinato con l'impianto di terra, da installare all'ingresso della linea, e di interruttori differenziali istantanei da installare sulle derivazioni.

Origine dell'impianto



• Installazione di SPD in un sistema TT.

TAB. 9 - CATEGORIE DI TENUTA AD IMPULSO (APPARECCHIATURE A 230/400 V)

CATEGORIA	TENSIONE DI TENUTA [V]	APPARECCHIATURE
IV	6.000	Apparecchi installati a monte del quadro di distribuzione (cavi, contattori, dispositivi principali di protezione, ecc.)
III	4.000	Apparecchi facenti parte dell'impianto fisso (quadri di distribuzione, interruttori, prese a spina, ecc.)
II	2.500	Apparecchi "utilizzatori" (elettrodomestici, ecc.)
I	1.500	Apparecchi particolarmente sensibili (apparecchiature elettroniche, PC, ecc.)

3 CONDUTTORI DI DISTRIBUZIONE

1 CONDUTTURE

I conduttori elettrici di distribuzione costituiscono l'insieme dei cavi che portano energia ai diversi punti di utilizzo dell'impianto.

Per compiere il loro servizio in modo ottimale, devono essere dimensionati correttamente ed equipaggiati con adeguati dispositivi di manovra e protezione, prestando attenzione, innanzitutto, ai valori della corrente di impiego (I_B), da cui ottenere, tramite calcolo, tutte le altre grandezze delle rete elettrica: portata dei cavi (I_Z), caduta di tensione della linea (ΔV), ecc.

L'insieme costituito da uno o più conduttori elettrici e dagli elementi che ne assicurano l'isolamento, il fissaggio e la protezione necessaria è definito **conduttura**.

La scelta del tipo di conduttura e del relativo modo di posa dipende:

- dalla natura dei luoghi;
- dalla natura delle parti dell'edificio (pareti, ecc.) che sostengono le condutture;
- dalla possibilità che le condutture siano accessibili a persone e animali;
- dalla tensione;
- dalle sollecitazioni termiche ed elettromeccaniche che si possono produrre in caso di cortocircuito;
- dalle altre sollecitazioni alle quali le condutture possano prevedibilmente venire sotto-

poste durante la realizzazione dell'impianto elettrico o in servizio.

La norma CEI 64-8 (parte 5), interamente dedicata alla scelta e all'installazione dei componenti elettrici, definisce in particolare quali tipologie di posa possono essere utilizzate per i cavi di distribuzione. In tab. 10 sono riportati i tipi di posa individuati dalla norma (rif. tab. 52C CEI 64-8), con il relativo codice; i riferimenti di portata di tipo A si riferiscono ai cavi unifilari, quelli di tipo B ai cavi multipolari.

In tab. 11 (alla pagina successiva) è fornita una rappresentazione sintetica dei tipi di cavi ammessi in funzione della modalità di posa e delle modalità di posa ammissibili in funzione delle varie ubicazioni in cui sono alloggiati i cavi (rif. tab. 52A e 52B, CEI 64-8).

A questo fine, è utile definire alcuni termini:

- **cavità**, ossia lo spazio ricavato in strutture di un edificio, accessibile solo in punti determinati;
- **cunicolo**, ossia l'involucro che permette l'accesso ai cavi lungo il percorso;
- **galleria**, ossia un luogo dove sono installati conduttori secondo le modalità indicate in tabella, in modo tale da permettere la libera circolazione delle persone.

Le caselle vuote (-) indicano soluzioni non applicabili o non utilizzate generalmente nell'attività pratica.

TAB. 10 – TIPI DI POSA DEI CAVI (TABELLA 52C - NORMA CEI 64-8)

CODICE 64-8	TIPO DI POSA	RIFERIMENTO PORTATA
1	Cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati entro muri termicamente isolanti	A1
2	Cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati entro muri termicamente isolanti	B1
3	Cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati su o distanziati da pareti	A2
3A	Cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati o distanziati da pareti	B2
4	Cavi senza guaina in tubi protettivi non circolari posati su pareti	A2
4A	Cavi multipolari in tubi protettivi non circolari posati su pareti	B2
5	Cavi senza guaina in tubi protettivi annegati nella muratura	A2
5A	Cavi multipolari in tubi protettivi annegati nella muratura	B2
11	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, posati su o distanziati da pareti	A4 / B4
11A	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, posati su soffitti	A4 / B4
12	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle non perforate	B4

TAB. 10 – TIPI DI POSA DEI CAVI (TABELLA 52C - NORMA CEI 64-8)

CODICE 64-8	TIPO DI POSA	RIFERIMENTO PORTATA
13	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle perforate	A5 / B3
14	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su mensole	A5 / A6 A7 / B3
15	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, fissati da collari	A5 / A6 A7 / B3
16	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle a traversini	A5 / A6 A7 / B3
17	Cavi unipolari con guaina (o multipolari) sospesi o incorporati in fili o corde di supporto	A5 / B3
18	Conduttori nudi o cavi senza guaina su isolatori	A3
21	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) in cavità di strutture	A4 / B2
22	Cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi circolari posati in cavità di strutture	A2
22A	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) in tubi protettivi circolari posati in cavità di strutture	B2
23	Cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture	A2
24	Cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura	A2
24A	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura	B2
25	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) posati in controsoffitti o pavimenti sopraelevati	A4 / B2
31	Cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso orizzontale	A2 / B2
32	Cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso verticale	A2 / B2
33	Cavi senza guaina posati in canali incassati nel pavimento	A2
33A	Cavi multipolari posati in canali incassati nel pavimento	B2
34	Cavi senza guaina in canali sospesi	A2
34A	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali sospesi	B2
41	Cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati entro cunicoli chiusi, con percorso orizzontale o verticale	A2
42	Cavi senza guaina in tubi protettivi posati entro cunicoli ventilati incassati nel pavimento	A2
43	Cavi unipolari con guaina e multipolari posati in cunicoli aperti o ventilati con percorso orizzontale o verticale	A4 / B2
51	Cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati direttamente entro pareti termicamente isolanti	A1 / B1
52	Cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati direttamente nella muratura senza protezione meccanica addizionale	A4 / B4
53	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) posati nella muratura con protezione meccanica addizionale	A4 / B4
71	Cavi senza guaina posati in elementi scanalati	A1
72	Cavi senza guaina posati in canali provvisti di elementi di separazione	A2
73	Cavi senza guaina in tubi protettivi o cavi unipolari con guaina (o multipolari) posati in stipiti di porte	A1 / B1
74	Cavi senza guaina in tubi protettivi o cavi unipolari con guaina (o multipolari) posati in stipiti di finestre	A1 / B1

TAB. 11 – MODALITÀ DI POSA E CAVI AMMESSI

MODALITÀ DI POSA	SENZA FISSAGGIO	FISSAGGIO DIRETTO	TUBI PROTETTIVI CIRCOLARI	TUBI PROTETTIVI NON CIRCOLARI	CANALI, ELEMENTI SCANALATI	PASSERELLE O MENSOLE	SU ISOLATORE
Tipo di conduttore							
Conduttori nudi	no	no	no	no	no	no	sì
Cavi unipolari senza guaina	no	no	sì	sì	sì ¹	no	sì
Cavi unipolari con guaina	-	sì	sì	sì	sì	sì	-
Cavi multipolari	sì	sì	sì	sì	sì	sì	-
Ubicazione							
Entro cavità di struttura	sì	-	sì	sì	no	sì	-
Entro cunicolo	sì	sì	sì	sì	sì	sì	-
Interrata	sì	-	sì	sì	no	-	-
Incassata nella struttura	no ²	no ²	sì	sì	no ²	-	-
Montaggio sporgente	no	sì	sì	sì	sì	sì	-

¹ Installazione ammessa se i canali sono provvisti di coperchio asportabile mediante attrezzo e con gradi di protezione IP4X o IPXXD o grado di protezione inferiore ma con installazione fuori dalla portata di mano.

2 CAVI CPR

Il Regolamento UE n. 305/2011 (Regolamento Prodotti da Costruzione, CPR) definisce i requisiti base di tutti i prodotti progettati per essere installati in modo permanente nelle opere di ingegneria civile (edifici, ospedali, cinema, ecc.), inclusi i cavi elettrici per energia e comunicazione, qualunque siano la loro tensione e il tipo di conduttore. Non riguarda, invece, i cavi per posa mobile, per i quali si fa riferimento alle normative pre-esistenti. In particolare, il Regolamento CPR stabilisce i requisiti di **reazione al fuoco** che i cavi devono possedere per essere ritenuti idonei. I requisiti di **resistenza al fuoco** sono invece in fase di elaborazione. I cavi che rispondono ai requisiti del Regolamento sono definiti cavi CPR.

La **reazione al fuoco** è la capacità del cavo di non propagare fuoco ed emettere fumi opachi o gas acidi.

La **resistenza al fuoco** è la capacità del cavo di continuare a funzionare anche se sottoposto all'azione del fuoco.

2.1 REAZIONE AL FUOCO

I cavi CPR sono classificati in sette classi di reazione al fuoco, identificate dalle lettere da A (la più alta) a F (la più bassa), in funzione delle loro prestazioni, e dalla sigla “ca”(cable).

Aca	B1ca	B2ca	Cca	Dca	Eca	Fca
-----	------	------	-----	-----	-----	-----

+ Prestazioni elevate

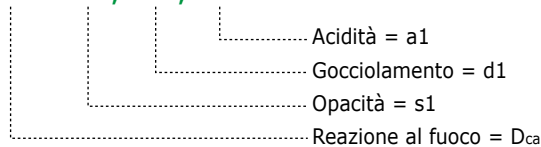
+ Prestazioni elevate **Prestazioni basse -**

A tale classificazione generale, le autorità europee hanno previsto anche alcuni parametri aggiuntivi:

- **s** (opacità dei fumi), che definisce il grado di visibilità nell'ambiente, secondo cinque differenti gradi (s1, s1a, s1b, s2, s3, con prestazioni decrescenti);
- **d** (gocciolamento), che definisce la pericolosità della formazione di particelle incandescenti, secondo tre differenti gradi (d0, d1, d2, con prestazioni decrescenti);
- **a** (acidità e corrosività), che definisce la tossicità per le persone dei gas e dei fumi emessi e la corrosività per le cose, secondo tre differenti gradi (a1, a2, a3, con prestazioni decrescenti).

Ne deriva una classificazione completa, come proposto e spiegato in figura.

$D_{ca} - s1, d1, a1$



La classificazione Dca - s1, d1, a1 identifica un cavo CPR con reazione al fuoco medio bassa (Dca), caratterizzato da ridotte opacità (s1), gocciolamento (d1) e acidità (a1). Nonostante quanto indicato nel Regolamento, la norma **CEI UNEL 35016** identifica, per il mercato italiano, soltanto quattro classi CPR di reazione al fuoco:

- B2ca - s1a, d1, a1;
- Cca - s1b, d1,a1;
- Cca - s3, d1, a3;
- Eca.

Norma CEI 64-8 V4

La norma CEI 64-8 ha recepito le modifiche apportate dal Regolamento CPR, applicandole in quella che è nota come **Variante 4** (CEI 64-8 V4). In particolare, nella Sez. 751 dedicata ai luoghi a maggior rischio in caso di incendio è indicato che, per i cavi di bassa tensione, si deve valutare il rischio legato allo sviluppo di fumi e acidità in relazione al tipo di installazione e all'entità del danno probabile nei confronti di persone e/o cose, al fine di adottare opportuni provvedimenti. Di conseguenza, per limitare la propagazione del fuoco lungo i cavi e le emissioni di fumi e acidità, è necessario impiegare cavi CPR

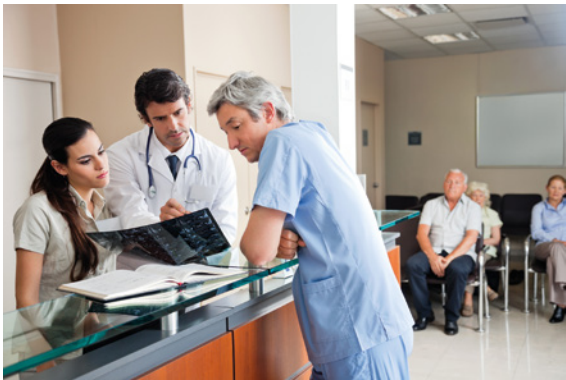
con la classe di reazione al fuoco indicata nelle prescrizioni installative. Per accrescere la sicurezza di persone e cose, è comunque consigliato utilizzare cavi di **classe Cca** a bassissimo sviluppo di fumi e acidità anche nelle situazioni installative in cui le norme impiantistiche non li ritengano obbligatori.

2.2 ISOLAMENTI E GUAINA

La necessità di raggiungere le nuove performance previste dal Regolamento CPR ha imposto lo sviluppo di nuove mescole di isolamento e guaine. In ambito internazionale, di conseguenza, sono state introdotte nuove sigle di identificazione dei cavi. A titolo d'esempio, si riporta in tabella 12 il sistema di siglatura conforme alla tabella CEI UNEL 35011 che permette di identificare le caratteristiche dei cavi destinati ad essere incorporati in modo permanente in opere di costruzione (cavi CPR). La tabella 13 (alla pagina seguente) definisce, invece, i luoghi di applicazione dei cavi secondo le relative classi di reazione al fuoco, in accordo con la norma CEI UNEL 35016.

TAB. 12 – PRINCIPALI ELEMENTI DEL SISTEMA DI SIGLATURA NAZIONALE UTILI ALL’IDENTIFICAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI CAVI CPR IN RAME					
FORMA DEL CONDUTTORE	MATERIALE ISOLANTE	FORMA DEL CAVO	RIVESTIMENTI METALLICI	MATERIALE GUAINA	ESTRATTO DALLA TABELLA: CEI UNEL 35011 (N.B. VERSIONE RIDOTTA)
R	G18 G17 G16 S17	O	H1 H2	M18 M16 R16	Corda rigida
F					Corda flessibile
					Gomma elastomerica ad alto modulo a basso sviluppo di fumi e acidità
					Gomma elastomerica a basso sviluppo di fumi e acidità
					EPR - Gomma ad alto modulo a basso sviluppo di fumi e acidità
					PVC - Polivinilcloruro
					Anime riunite per cavo tondo
					Schermo a nastri, piattine o fili di rame
					Schermatura a fili di rame
					Gomma elastomerica a basso sviluppo di fumi e acidità
					Termoplastica a basso sviluppo di fumi e acidità
					PVC - Polivinilcloruro

TAB. 13 – SCELTA DEI CAVI IN FUNZIONE DEI LUOGHI D’IMPIEGO (CEI UNEL 35016)			
CLASSE DI PRESTAZIONE	DESCRIZIONE	LUOGHI D’IMPIEGO	DESIGNAZIONE
B2ca - s1a, d1, a1	Sono impiegati in ambienti dal rischio incendi particolarmente elevato.	<ul style="list-style-type: none">• Aerostazioni• Stazioni ferroviarie• Stazioni marittime• Metropolitane in tutto o in parte sotterranee• Gallerie stradali (lung. > 500 m)• Ferrovie (lung. > 1.000 m)	FG18M16 FG18OM16 FG18 M18 FG18OM16
Cca - s1b, d1, a1	Sono impiegati in luoghi a maggior rischio in caso di incendio, per densità di affollamento.	<ul style="list-style-type: none">• Strutture sanitarie• Case di riposo• Locali di spettacolo e intrattenimento• Residenze turistico-alberghiere• Asili nido• Negozi e fiere• Aziende e uffici (> 300 persone)• Biblioteche e musei• Edifici civili (altezza antincendio > 24 m)	FG16M16 FG16OM16 FG16OH1M16 FG16OH2M16
Cca - s3, d1, a3	Sono installati negli ambienti a maggiore rischio in caso d’incendio per struttura combustibile o carico di incendio. Corrispondono ai vecchi cavi non propaganti l’incendio.	<ul style="list-style-type: none">• Edifici civili e industriali (altezza antincendio < 24 m)• Sale d’attesa• Bar e ristoranti• Studi medici	FG16R16 FG16OR16 FG16OH1R16 FG16OH2R16 FG17 FS17
Eca (posati singolarmente)	Possono essere installati in ambienti ordinari, dove non esiste rischio di incendio e pericolo per persone e/o cose. Corrispondono ai vecchi cavi non propaganti la fiamma.	<ul style="list-style-type: none">• Installazioni non previste negli edifici prima citati e dove non esiste rischio di incendio e pericolo per persone e/o cose	H07RN-F H05RN-F H07V-K H05VV-F H05Z1Z1-F H03VV-F H05V2V2-F



Cavi CPR più usati

Si riportano di seguito le designazioni di alcuni tra i cavi più diffusi nell’impiantistica elettrica, con il riferimento al servizio svolto.

Cavo FG16OR16
(classe Cca - s3, d1, a3)

Cavo multipolare per energia, isolato in EPR (G16) sotto guaina di PVC, con particolari caratteristiche di reazione al fuoco. Può essere utilizzato sia all’interno (anche in locali bagnati) sia all’esterno. È adatto per posa fissa su murature e strutture metalliche in aria libera, in tubo o canaletta o sistemi simili; ne è ammessa anche la posa interrata.

CARATTERISTICHE TECNICHE	
Tensione nominale U ₀ /U	0,6/1 kV
Temperatura massima di esercizio	90 °C
Temperatura minima di esercizio	-15 °C
Temperatura minima di posa	0 °C
Temperatura massima di cortocircuito	250 °C fino alla sezione 240 mm ² , oltre 220 °C
Sforzo massimo di trazione	50 N/mm ²

Cavo FS17
(classe Cca - s3, d1, a3)

Cavo unipolare per energia, isolato in PVC (S17), con particolari caratteristiche di reazione al fuoco. È adatto per installazioni in tubazioni (in vista o incassate) o sistemi chiusi simili, in particolare, per l’installazione fissa e protetta all’interno di apparecchi di illuminazione e di interruzione e comando.

CARATTERISTICHE TECNICHE	
Tensione nominale U ₀ /U	450/750 V
Temperatura massima di esercizio	70 °C
Temperatura minima di esercizio	-10 °C
Temperatura minima di posa	5 °C
Temperatura massima di cortocircuito	160 °C
Sforzo massimo di trazione	50 N/mm ²

Cavo H07RN-F
(classe Eca)

Cavo flessibile per uso generale, isolato in gomma (EPR) sotto guaina pesante di policloroprene. È adatto per installazioni in tubazioni (a vista o incassate) o in sistemi chiusi simili, in particolare per l’installazione fissa e protetta su o all’interno di apparecchi di illuminazione o di comando per tensioni fino a 1000 V (c.a.) o 750 V verso terra in c.c.

CARATTERISTICHE TECNICHE	
Tensione nominale U ₀ /U	450/750 V
Temperatura massima di esercizio	70 °C
Temperatura minima di esercizio	-10 °C
Temperatura minima di posa	5 °C
Temperatura massima di cortocircuito	160 °C
Sforzo massimo di trazione	50 N/mm ²

3 PORTATA

Nonostante l’impiego di nuove mescole per isolanti e guaine, le caratteristiche elettriche e meccaniche dei cavi CPR, di fatto, non si discostano dai “vecchi” cavi. In particolare non cambia la portata dei cavi (I_z), ossia quel valore di corrente permanente che determina nel conduttore la massima temperatura di regime sopportabile dall’isolante senza che questo subisca alcun danno, in modo che ne sia assicurata l’efficienza per circa 30 anni. Per determinare la portata di un cavo si utilizzano le tabelle CEI UNEL, in relazione al tipo di posa: in aria o interrata.

3.1 POSA IN ARIA

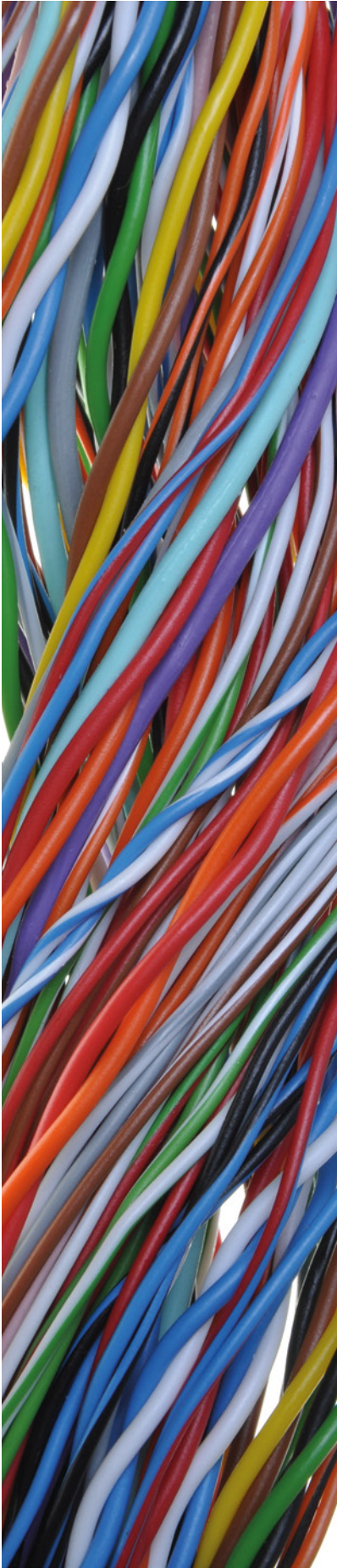
Nelle tabelle 14 e 15 sono indicate le portate dei cavi unipolari e multipolari con posa in aria, calcolate per una temperatura ambiente di 30 °C e in presenza di un singolo circuito. Il termine “caricati” indica i conduttori percorsi da corrente in normali condizioni di esercizio (fase). Il conduttore di neutro e il conduttore di protezione non vengono, invece, presi in considerazione, in quanto nei comuni sistemi trifase equilibrati sono ritenuti “non caricati”.

TAB. 14 – PORTATE DEI CAVI UNIPOLARI PER POSA IN ARIA

RIFERIMENTO PORTATA		TIPO DI POSA	ISOLAMENTO	CONDUTTORI CARICATI	SEZIONE [mm ²]															
					1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
A1	Cavi in tubo in- cassato in pa- rete isolante	PVC	2	14,5	19,5	26	34	46	61	80	99	119	151	182	210	240	273	320	-	-
			3	13,5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	296	-	-
		EPR	2	19	26	36	45	61	81	106	131	158	200	241	278	318	362	424	-	-
			3	17	23	31	40	54	73	95	117	141	179	216	249	285	324	380	-	-
A2	Cavi in tubo in aria	PVC	2	17,5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	-	-
			3	15,5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239	275	314	369	-	-
		EPR	2	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354	402	472	555	-	-
			3	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312	355	417	490	-	-
A3	Conduttori nudi o cavi senza guaina su isola- tori	PVC	2	19,5	26	35	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	-	-
			3	15,5	21	28	36	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	-	-
		EPR	2	24	33	45	58	80	107	142	175	212	270	327	-	-	-	-	-	-
			3	20	28	37	48	71	96	127	157	190	242	293	-	-	-	-	-	-
A4	Cavi in aria li- bera a trifoglio	PVC	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3	19,5	26	35	46	63	85	110	137	167	216	264	308	356	409	485	561	656
		EPR	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3	24	33	45	58	80	107	135	169	207	268	328	383	444	510	607	703	823
A5	Cavi in aria li- bera in piano a contatto	PVC	2	22	30	40	52	71	96	131	162	196	251	304	352	406	463	546	629	754
			3	19,5	26	35	46	63	85	114	143	174	225	275	321	372	427	507	587	689
		EPR	2	27	37	50	64	88	119	161	200	242	310	377	437	504	575	679	783	940
			3	24	33	45	58	80	107	141	176	216	279	342	400	464	533	634	736	868
A6	Cavi in aria li- bera distanziati su un piano orizzontale	PVC	2	-	-	-	-	-	-	146	181	219	281	341	396	465	521	615	709	852
			3	-	-	-	-	-	-	146	181	219	281	341	396	465	521	615	709	852
		EPR	2	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085
			3	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085
A7	Cavi in aria li- bera distanziati su piano verti- cale	PVC	2	-	-	-	-	-	-	130	162	197	254	311	362	419	480	569	659	795
			3	-	-	-	-	-	-	130	162	197	254	311	362	419	480	569	659	795
		EPR	2	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008
			3	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008

TAB. 15 – PORTATE DEI CAVI MULTIPOLARI PER POSA IN ARIA

RIFERIMENTO PORTATA	TIPO DI POSA	ISOLAMENTO	CONDUTTORI CARICATI	SEZIONE [mm²]															
				1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
B1	Cavi in tubo incas- sato in parete iso- lante	PVC	2	14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334
			3	13	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261	298
		EPR	2	18,5	25	33	42	57	76	99	121	145	183	220	253	290	329	386	442
			3	16,5	22	30	38	51	68	89	109	130	164	197	227	259	295	346	396
B2	Cavi in tubo in aria	PVC	2	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	201	232	258	294	344	394
			3	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206	225	255	297	339
		EPR	2	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305	334	384	459	532
			3	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398	455
B3	Cavi in aria libera distanziati da pa- rete/soffitto o su passerella	PVC	2	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514	593
			3	18,5	25	34	43	60	80	101	126	153	196	238	276	319	364	430	497
		EPR	2	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473	542	641	741
			3	23	32	42	54	75	100	127	158	192	246	298	346	399	456	538	621
B4	Cavi in aria fissati alla parete/soffitto	PVC	2	19,5	27	36	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	530
			3	17,5	24	32	41	57	76	96	119	144	184	223	259	299	341	403	464
		EPR	2	24	33	45	58	80	107	138	171	209	269	328	382	441	506	599	693
			3	22	30	40	52	71	96	119	147	179	229	278	322	371	424	500	576



La portata deve in ogni caso essere rapportata agli elementi che condizionano lo scambio termico tra il conduttore e l’ambiente (numero e modalità di posa dei conduttori, temperatura ambiente, ecc.). Nello specifico, per quanto riguarda i cavi isolati con materiale elastomerico o termoplastico posati in aria, la norma CEI UNEL 35024-1 esprime le portate dei cavi come il prodotto di tre fattori:

- **I_{z0}**, la portata del singolo cavo a 30 °C;
- **k₁**, il coefficiente di correzione che tiene conto di un’eventuale temperatura ambiente diversa da 30 °C (tab. 16);
- **k₂**, il coefficiente di riduzione per gruppi di cavi installati in fascio o strato (tab. 17).

$I_z = I_{z0} \cdot k_1 \cdot k_2$

TAB. 16 – FATTORE DI CORREZIONE k ₁ PER CAVI POSATI IN ARIA		
TEMPERATURA AMBIENTE [°C]	TIPO DI ISOLAMENTO	
	PVC	EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

3.2 POSA INTERRATA

Nelle tabelle proposte di seguito sono riportati i valori di portata di cavi unipolari e multipolari per le diverse condizioni di posa interrata (CEI UNEL 35026).

In particolare, in tabella 18 sono riportati i valori di portata per cavi unipolari in tubi interrati tra loro a contatto; in tabella 19, i valori di portata per cavi unipolari in un unico tubo interrato; in tabella 20, i valori di portata di cavi multipolari in tubo interrato.

I valori fanno riferimento a una temperatura ambiente di 20 °C, in presenza di un singolo circuito.



TAB. 17 – FATTORE DI CORREZIONE k ₂ PER CAVI POSATI IN ARIA, IN FASCIO O STRATO											
POSA (CEI 64/8 – TAB. 52C)		NUMERO CIRCUITI E DI CAVI MULTIPOLARI									
	Disposizione cavi a contatto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Condizioni di posa non previste nelle altre righe di questa tabella	Raggruppati a fascio, annegati	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	
11-12-25	Singolo strato su muro, pavimento o passerelle non perforate	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	
11A	Strato a soffitto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	
13	Strato su passerelle perforate orizzontali o verticali (perforate o non perforate)	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	
14-15-16-17	Strato su scala posa cavi o graffato a un sostegno	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	

TAB. 18 – CAVI UNIPOLARI IN TUBI INTERRATI TRA LORO A CONTATTO (UN CAVO PER TUBO)																	
ISOLANTE	NUMERO DI CONDUTTORI CARICATI	PORTATA [A]															
		Sezione [mm²]															
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
PVC	2	22	29	38	47	63	82	105	127	157	191	225	259	294	330	386	
	3	20	26	34	43	57	74	95	115	141	171	201	231	262	293	342	
EPR/XLPE	2	26	34	44	54	73	95	122	148	182	222	261	301	343	385	450	509
	3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340	397	448

TAB. 19 – CAVI UNIPOLARI IN UN UNICO TUBO INTERRATO																	
ISOLANTE	NUMERO DI CONDUTTORI CARICATI	PORTATA [A]															
		Sezione [mm²]															
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
PVC	2	21	27	36	45	61	78	101	123	153	187	222	256	292	328	385	
	3	18	23	30	38	51	66	86	104	129	158	187	216	246	277	325	
EPR/XLPE	2	24	32	41	52	70	91	118	144	178	218	258	298	340	383	450	510
	3	21	27	35	44	59	77	100	121	150	184	217	251	287	323	379	429

TAB. 20 – CAVO MULTIPOLARE IN TUBO INTERRATO																	
ISOLANTE	NUMERO DI CONDU TTORI CARICATI	PORTATA [A]															
		Sezione [mm²]															
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
PVC	2	19	25	33	41	56	73	94	115	143	175	208	240	273	307	360	
	3	16	21	28	35	47	61	79	97	120	148	175	202	231	259	304	
EPR/XLPE	2	23	30	39	49	66	86	111	136	168	207	245	284	324	364	428	
	3	19	25	32	41	55	72	93	114	141	174	206	238	272	306	360	

In modo analogo ai cavi con posa in aria, anche per la portata dei cavi con posa a terra è necessario tenere presente tutti gli elementi che possono condizionare lo scambio termico tra conduttore e ambiente.

Nello specifico, la portata dei cavi con posa a terra è espressa come prodotto di cinque fattori:

- I_{z0} , la portata del singolo cavo a una temperatura del terreno di 20 °C;
- k_1 , il coefficiente di correzione che tiene conto di un'eventuale temperatura del terreno diversa da 20 °C (tab. 21);
- k_2 , il coefficiente di riduzione per gruppi di più circuiti interrati sullo stesso piano (tab. 22);
- k_3 , il coefficiente che tiene conto della profondità di posa (tab. 23);
- k_4 , il coefficiente che tiene conto della resistività termica del terreno (tab. 24).

$$I_z = I_{z0} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$$

TAB. 21 – FATTORE DI CORREZIONE k_1 PER CAVI INTERRATI

$T_{\text{TERRENO}} [^{\circ}\text{C}]$	TIPO DI ISOLANTE	
	PVC	EPR/XLPE
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

TAB. 22 – FATTORE DI CORREZIONE k_2 PER PIÙ CIRCUITI INTERRATI, INSTALLATI SULLO STESSO PIANO

UN CAVO UNIPOLARE PER CIASCUN TUBO				
N. circuiti	Distanza fra i circuiti [m]			
	0	0,25	0,5	1
2	0,8	0,9	0,95	0,95
3	0,7	0,8	0,9	0,95
4	0,65	0,75	0,85	0,9
5	0,6	0,7	0,85	0,9
6	0,6	0,7	0,8	0,9

UN CAVO MULTIPOLARE PER CIASCUN TUBO

N. circuiti	Distanza fra i circuiti [m]			
	0	0,25	0,5	1
2	0,85	0,9	0,9	0,95
3	0,75	0,85	0,85	0,9
4	0,7	0,8	0,8	0,9
5	0,65	0,8	0,8	0,9
6	0,6	0,8	0,8	0,9

TAB. 23 – FATTORE DI CORREZIONE k_3 IN FUNZIONE DELLA PROFONDITÀ DELLA POSA

PROFONDITÀ DI POSA [m]	FATTORE DI CORREZIONE
0,5	1,02
0,8	1
1	0,98
1,2	0,96
1,5	0,94

TAB. 24 – FATTORE DI CORREZIONE k_4 IN FUNZIONE DELLA RESISTIVITÀ TERMICA DEL TERRENO

RESISTIVITÀ TERMICA [K · (m/W)]	CAVI UNIPOLARI	CAVI MULTIPOLARI
1	1,08	1,06
1,2	1,05	1,04
1,5	1	1
2	0,9	0,91
2,5	0,82	0,84

Per la determinazione della resistività termica del terreno si può fare riferimento indicativamente a quanto riportato in tabella 25, per i più comuni tipi di terreno.

TAB. 25 – VALORI DI RESISTIVITÀ TERMICA PER I PIÙ COMUNI TIPI DI TERRENO

TIPO DI TERRENO E DI MATERIALI	RESISTIVITÀ TERMICA [K · (m/W)]
Terreno con basso contenuto di umidità	2
Terreno compatto con normale contenuto di umidità	1
Terra argillosa	1
Sabbia asciutta	2,5
Sabbia con umidità normale	1
Mattoni	1,2
Calcestruzzo	1,2
Ghiaia	2,5

4 CADUTA DI TENSIONE

Per determinare la sezione di un conduttore nelle linee di distribuzione e terminali, la norma CEI 64-8/5 raccomanda che la caduta di tensione, dal punto di fornitura al punto di utilizzo, non sia superiore al 4% del valore nominale dell'impianto.

Come appreso nel vol. 2, per carichi monofase con sfasamenti limitati, il valore della caduta di tensione sulla linea di alimentazione percorsa dalla corrente I_L può essere calcolato con la relazione semplificata:

$$\Delta V = 2 \cdot (R_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi + X_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi)$$

dove R_L e X_L sono, rispettivamente, la resistenza e la reattanza a 50 Hz di ciascuno dei due conduttori e φ l'angolo di sfasamento del carico equivalente a valle.

In modo analogo, la caduta di tensione concatenata su una linea trifase vale:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot (R_L \cdot \cos \varphi + X_L \cdot \sin \varphi)$$

Nei calcoli è buona regola utilizzare dati forniti dai costruttori di cavi o normalizzati, come quelli riportati nelle tabelle 3 e 4 (UD2, pagg. 15-16) che riportano i valori della **resistenza al chilometro** (R_L /km) e della **reattanza al chilometro** (X_L /km). I valori di resistenza da utilizzare devono riferirsi necessariamente a temperature di regime del cavo (90 °C) che tengano in considerazione la condizione peggiorativa di massimo riscaldamento dei conduttori.

Utilizzando i valori della resistenza e della reattanza al chilometro, la caduta di tensione per carichi monofase di una linea di alimentazione lunga L (in chilometri) può essere calcolata con la formula:

$$\Delta V = 2 \cdot I_L \cdot \left(\frac{R_L}{\text{km}} \cdot L \cdot \cos \varphi + \frac{X_L}{\text{km}} \cdot L \cdot \sin \varphi \right)$$

Analogamente, la caduta di tensione concatenata su una linea trifase si ottiene con la formula:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot \left(\frac{R_L}{\text{km}} \cdot L \cdot \cos \varphi + \frac{X_L}{\text{km}} \cdot L \cdot \sin \varphi \right)$$

4.1 SEZIONE MINIMA

Nonostante in presenza di correnti deboli siano richieste sezioni di cavo esigue, le norme fissano alcuni valori di sezione minima per i conduttori di fase in modo da assicurarne comunque la resistenza meccanica (tab. 26).

TAB. 26 – SEZIONE MINIMA PER CONDUTTORI DI FASE IN RAME [mm²]

TIPO DI INSTALLAZIONE	CIRCUITI DI POTENZA	CIRCUITI DI COMANDO
Fissa	1,5	0,5
Flessibile	0,75	

In modo analogo, le norme prevedono sezioni minime anche per i conduttori di protezione (PE) e per i conduttori di neutro.

Per i **conduttori di protezione** (cavo giallo verde), è richiesta una sezione minima in relazione con i rispettivi conduttori di fase, secondo quanto indicato in tabella 27.

TAB. 27 - SEZIONE MINIMA DEL CONDUTTORE DI PROTEZIONE

SEZIONE FASE [mm²]	SEZIONE MINIMA PE [mm²]
< 16	= sezione fase
16 - 35	16
> 35	= ½ sezione fase

Per quanto riguarda il **conduttore di neutro** (cavo blu chiaro), nei circuiti trifase con conduttori di fase con sezione < 16 mm² deve avere la stessa sezione dei rispettivi conduttori di fase, mentre in circuiti trifase con conduttori di fase ≥ 16 mm² e carichi sostanzialmente equilibrati, è sufficiente una sezione di 16 mm². Per carichi fortemente squilibrati, si può utilizzare un conduttore di neutro con sezione uguale a quella delle fasi oppure inferiore ma accompagnato da una protezione tramite interruttore quadripolare che permetta di regolare la corrente per il relè termico del neutro ad un valore inferiore rispetto a quella della fase, in funzione della sezione del cavo di neutro utilizzata (sono in commercio interruttori magnetotermici di tipo industriale con relè di protezione del neutro aventi una corrente di taratura variabile dal 50 al 100% di I_n).

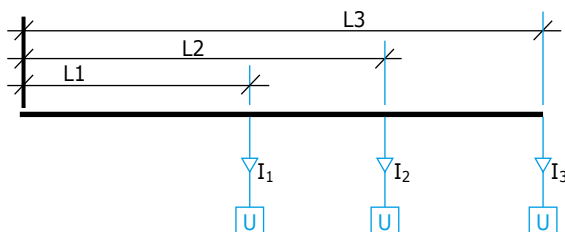
TAB. 32 - SEZIONE MINIMA DEL CONDUTTORE DI NEUTRO

SEZIONE FASE [mm²]	SEZIONE MINIMA NEUTRO – LINEA TRIFASE [mm²]
< 16	= sezione fase
≥ 16	16

4.2 CADUTA DI TENSIONE PER CARICHI DISTRIBUITI

Nel caso di alimentazione di più apparecchi distribuiti lungo la linea, come nel caso delle linee di illuminazione stradale, il calcolo della caduta di tensione diventa più complesso.

Si prenda ad esempio una linea a sezione costante (realizzata con lo stesso cavo) che alimenta tre carichi, distribuiti lungo il percorso.



• Schema di una linea con tre carichi distribuiti.

Sapendo che i tre carichi assorbono rispettivamente le correnti I_1 , I_2 , I_3 , la caduta di tensione totale può essere calcolata come somma aritmetica del contributo delle correnti assorbite dai tre carichi, considerando i carichi come se avessero lo stesso fattore di potenza o valori approssimabili.

In particolare, nei sistemi trifase la caduta di tensione (espressa in mV) si ottiene come:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot \left[\frac{R_L}{\text{km}} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \cdot L_1 \cdot \cos \varphi_1 + \\ I_2 \cdot L_2 \cdot \cos \varphi_2 + \\ I_3 \cdot L_3 \cdot \cos \varphi_3 \end{pmatrix} + \frac{X_L}{\text{km}} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \cdot L_1 \cdot \sin \varphi_1 + \\ I_2 \cdot L_2 \cdot \sin \varphi_2 + \\ I_3 \cdot L_3 \cdot \sin \varphi_3 \end{pmatrix} \right]$$

Il metodo utilizzato può essere esteso anche a linee con un numero diverso di carichi distribuiti.

Generalizzando per un numero generico "i" di carichi, la formula della caduta di tensione (espressa in V) diventa:

$$\frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{R_L}{\text{km}} \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \cos \varphi_i + \frac{X_L}{\text{km}} \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \sin \varphi_i \right)}{1.000}$$

5 RENDIMENTO DI LINEA E RIFASAMENTO

In una linea trifase che alimenta a distanza un carico in corrente alternata, la tensione sul carico è minore rispetto alla tensione in ingresso alla linea stessa, poiché la linea presenta una caduta di tensione e una **perdita di potenza**

per effetto Joule (P_L), pari a:

$$P_L = 3 \cdot R_L \cdot I^2$$

Il rapporto tra la potenza attiva utile fornita al carico (P) e l'intera potenza attiva introdotta a monte della linea ($P_L + P$) è definito **rendimento di linea** (η):

$$\eta = \frac{P}{P_L + P} \cdot 100$$

Dato che la perdita di potenza è proporzionale alla resistenza di linea e al quadrato della corrente sul carico, per ottimizzare il rendimento, si può ridurre la corrente di linea al suo valore minimo indispensabile, rendendo nullo lo sfasamento sul carico: questa operazione è detta **rifasamento** del carico.

Il rifasamento della corrente di linea si ottiene ponendo in parallelo al carico una **batteria di condensatori** che compensi la potenza reattiva del carico, in modo che l'impedenza di carico vista dalla linea si riduca alla sola componente resistiva e la corrente di linea alla sola componente necessaria a trasportare la potenza attiva.

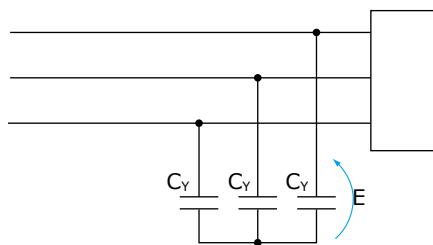
Impiegando una batteria di **condensatori a stella**, ciascun condensatore è sottoposto alla tensione stellata E e presenta una reattanza:

$$X_{CY} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_Y}$$

Perciò:

$$Q_C = 3 \cdot \frac{E^2}{X_{CY}}$$

$$C_Y = \frac{Q_C}{3 \cdot \omega \cdot E^2}$$

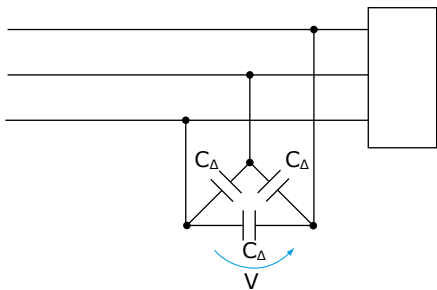


• Batteria di condensatori a stella.

Se, invece, si impiega una batteria di condensatori a triangolo, ciascun condensatore è sottoposto alla tensione concatenata V, perciò:

$$Q_C = 3 \cdot \frac{V^2}{X_{CA}}$$

$$C_A = \frac{Q_C}{3 \cdot \omega \cdot V^2}$$



• Batteria di condensatori a triangolo.

Considerando che:

$$V = \sqrt{3} \cdot E$$

a parità di potenza reattiva si ha:

$$C_Y = \sqrt{3} \cdot C_{\Delta}$$

Sembrerebbe quindi più vantaggioso utilizzare sempre condensatori posti a triangolo, perché più piccoli, ma va considerata anche la tensione di lavoro dei condensatori, che nel triangolo risulta 3 volte maggiore.

Determinare la corrente d'impiego

La **corrente di impiego** (I_B) è la quantità di corrente che la linea è destinata a trasportare, per soddisfare la necessità del o dei carichi alimentati. Rappresenta, quindi, la variabile elettrica fondamentale su cui si costruisce l'intero progetto di un impianto elettrico secondo le norme CEI.

Per determinare il valore di I_B non è disponibile alcuna formula di validità generale, ma è necessario prendere in considerazione una serie di parametri:

- la potenza assorbita dagli utilizzatori (P_{ass});
- la potenza convenzionale degli utilizzatori (P_c);
- il fattore di utilizzazione (K_u , tab. 29);
- il fattore di contemporaneità (K_c , tab. 30);
- la potenza convenzionale di progetto (P_{cPR});
- la potenza contrattuale (P_{CNTR}).

Tali valori sono legati tra loro da determinate relazioni:

$$P_c = K_u \cdot K_c \cdot P_{ass}$$

$$P_{cPR} = P_{c1} + P_{c2} + \dots + P_{cn}$$

$$P_{CNTR} > P_{cPR}$$

TAB. 29 – FATTORE DI UTILIZZAZIONE (K_u)	
TIPOLOGIA DI CARICO	K_u
Lampade	1
Forni a resistenza	1
Stufe elettriche	1
Pompe, ventilatori	1
Ascensori, montacarichi, impianti di sollevamento	0,9
Saldatrici	0,85
Motori > 10 kW	0,8
Motori 2÷10 kW	0,75
Motori 0,5÷2 kW	0,7
Macchine utensili, trasportatori	0,7

TAB. 30 – FATTORE DI CONTEMPORANEITÀ (K_c)		
TIPOLOGIA DI CARICO	NUMERO	K_c
Forni	-	1
Motori 0,5÷2 kW	fino a 10	0,6
	fino a 20	0,5
	fino a 50	0,4
Motori 2÷10 kW	fino a 10	0,7
	fino a 50	0,45
Motori 10÷30 kW	fino a 10	0,8
	fino a 20	0,65
	fino a 50	0,5
Motori > 30 kW	fino a 2	0,9
	fino a 5	0,7
	fino a 10	0,6
Saldatrici elettriche	-	0,4
Macchine utensili	-	0,7
Ascensori, montacarichi	fino a 4	0,75
	fino a 10	0,6
Illuminazione	-	0,8

Per le prese monofasi e trifasi, in luogo dei fattori K_c e K_u si utilizza un coefficiente complessivo K_p (tab. 31).

TAB. 31 – FATTORE COMPLESSIVO PER PRESE (K_p)	
TIPOLOGIA DI PRESA	K_p
Prese Monofasi	0,05÷0,2
Prese Trifasi	0,15÷0,4

Nota la potenza convenzionale degli utilizzatori presenti sulla linea (P_c), la corrente d'impiego vale in un circuito monofase:

$$I_B = \frac{P_c}{E_n \cdot \cos \varphi}$$

e in un circuito trifase:

$$I_B = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos \varphi}$$

Nel caso della linea montante, a P_c si sostituisce la potenza convenzionale di progetto (P_{cPR}).

5.1 PROTEZIONE DEI CONDENSATORI

I condensatori di rifasamento sono normalmente sistemati in quadri per l'inserzione automatica, completi di centralina di controllo, fusibili di protezione e reattanze di smorzamento poste in serie all'accensione per limitare la corrente di spunto. Sono alloggiati, nello specifico, in contenitori metallici, provvisti di un morsetto apposito per la messa a terra e riempiti di materiale atossico biodegradabile (vermiculite).

I condensatori di rifasamento sono dotati di un **dispositivo di protezione** che interrompe l'alimentazione in presenza di sovrappressioni anomale all'interno del contenitore e di **resistenze in parallelo** (decine di kΩ), per consentire, una volta disinseriti dalla rete, la scarica automatica a una tensione minore di 75 V in tre minuti (CEI 60831-1, art. 22). Dato che la norma CEI EN 61439-1 ritiene non pericoloso un condensatore solo se entro 5 s dal sezionamento presenta una tensione residua non superiore a 60 V, la presenza della resistenza di scarica non è sufficiente ad eliminarne la pericolosità.

Sono disponibili batterie di condensatori per alimentazione monofase o trifase, con tensioni anche superiori ai 230/400 V (per esempio, 440 V, 500 V, 550 V), specifiche per applicazioni caratterizzate da frequenti sovratensioni.



• Quadro di rifasamento.

5.2 CAVI PER CONDENSATORI DI RIFASAMENTO

La norma CEI 33-1, tenendo conto che ogni batteria di condensatori può sopportare un sovraccarico costante del 30% a causa della presenza nell'alimentazione di componenti armoniche (fattore 1,3) e che è ammessa una tolleranza del 10% sul valore della capacità dei condensatori (fattore 1,1), dispone che i cavi di alimentazione delle batterie di condensatori, così come i rispettivi dispositivi di manovra e protezione, siano sovradimensionati almeno di un fattore 1,43 rispetto alla corrente nominale (I_C) della batteria. Il valore della corrente di impiego (I_B) da considerare è quindi:

$$I_B = I_C \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 1,43 \cdot I_C$$

Non essendo le batterie di rifasamento utilizzatori sovraccaricabili, i loro cavi non devono essere protetti dalle sovracorrenti ma solo dai cortocircuiti.

6 PROTEZIONE DEI CAVI

Se la corrente che fluisce in un cavo (I_B) supera il valore di portata (I_Z), la temperatura interna di regime supera il valore massimo sopportabile dall'isolante per un tempo indefinito, comportandone il rapido deterioramento.

Un sovraccarico fino a $I_B = 1,45 \cdot I_Z$ dà luogo a temperature sopportabili per un tempo pari al tempo convenzionale di intervento delle protezioni, mentre una corrente di cortocircuito dà luogo a temperature molto più elevate, che vanno perciò interrotte immediatamente.

I cavi vanno quindi protetti a monte in modo adeguato, rispetto sia al sovraccarico, sia al cortocircuito.

6.1 PROTEZIONE CONTRO I SOVRACCARICHI

Per la protezione contro i sovraccarichi, la norma CEI 64-8 stabilisce l'installazione, a monte della condotta stessa, di un dispositivo di protezione (interruttore magnetotermico o fusibile) caratterizzato da corrente nominale (I_N) e da corrente convenzionale di funzionamento (I_f), tali da soddisfare le seguenti relazioni:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_Z$$

Tenendo conto che la portata di un cavo (I_Z) deve essere sempre superiore alla relativa cor-

rente di impiego (I_B), per soddisfare la prima condizione è sufficiente scegliere un dispositivo di protezione con corrente nominale compresa tra i due valori.
Scegliendo come dispositivo di protezione un **interruttore magnetotermico**, la seconda condizione è sempre soddisfatta; infatti, per la norma CEI 60898

$$I_f = 1,45 \cdot I_N$$

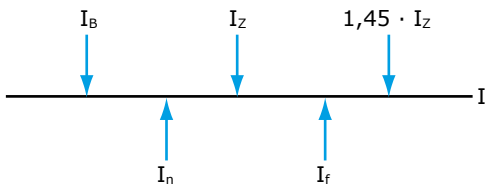
mentre per la norma CEI 60947-2

$$I_f = 1,3 \cdot I_N$$

È, invece, necessaria una verifica in caso si scelga come dispositivo di protezione un **fusibile**, in quanto esistono fusibili costruttivamente a norma.

$$I_f = 1,6 \cdot I_N$$

non in grado di soddisfare tale condizione.



- Relazione tra le correnti nella protezione dei cavi.

6.2 PROTEZIONE CONTRO I CORTOCIRCUITI

La protezione contro i cortocircuiti è garantita quando l'energia passante ($I^2 \cdot t$), accumulata nel cavo durante il ritardo (t) di intervento del dispositivo di protezione, risulta minore del valore ($k^2 \cdot S^2$) specifico di quel determinato cavo:

$$I^2 \cdot t < k^2 \cdot S^2$$

dove S è la sezione del conduttore (in mm^2) e k è un coefficiente specificato dalla norma CEI 64-8, dipendente sia dal tipo di materiale conduttore (rame o alluminio), sia dal tipo di materiale isolante (tab. 32).

TAB. 32 – VALORI DEL COEFFICIENTE K PER LA PROTEZIONE CONTRO I CORTOCIRCUITI		
ISOLANTE	k	
	Rame	Alluminio
Gomma naturale (G2)	135	87
PVC	115	74
EPR (Gomma etilenpropilénica)	143	87

4 PROGETTAZIONE DI IMPIANTI CON GWPBT-Q

1 IL SOFTWARE GWPBT-Q

Per la progettazione di impianti elettrici di bassa tensione è possibile ricorrere a specifici software professionali.

Tra i più noti si segnala **GWPBT-Q** di Gewiss, scaricabile previa registrazione dal sito www.gewiss.com.

Il software offre molte funzionalità per progettare in modo semplice e veloce il proprio impianto elettrico; in questa sede ci limiteremo ad affrontare le caratteristiche relative al disegno dello schema elettrico unifilare e al calcolo dei parametri di rete.

1.1 DISEGNO DELLO SCHEMA

Attraverso GWPBT-Q è possibile disegnare lo schema unifilare dell'impianto, in modo semiautomatico.

La procedura prevede la selezione del componente da inserire nello schema e la definizione della modalità di inserimento (serie, parallelo, partenza di un nuovo quadro): il simbolo corrispondente verrà così posizionato automaticamente sul foglio da disegno. La presenza delle immagini reali degli apparecchi (interruttori, apparecchi di misura, segnalazione, comando, ecc.) ne facilita la selezione. È possibile, inoltre, accessoriare i componenti inseriti, indicandone anche l'eventuale esecuzione (fisso, rimovibile, estraibile, ecc.).

Il software dispone anche di funzionalità di disegno aggiuntive, attraverso cui inserire testi, linee e forme personalizzate.

1.2 CALCOLO DELLA RETE

Attraverso GWPBT-Q è possibile effettuare il calcolo dei parametri elettrici della rete disegnata, in particolare dei valori di:

- corrente di carico;
- corrente di cortocircuito;
- caduta di tensione;
- dimensionamento delle condutture.

L'inserimento e la modifica dei dati d'impianto (sistema di distribuzione, caratteristiche di alimentazione, ecc.) e dei dati dei singoli componenti (valori di carico, tipo di condutture, ecc.) può avvenire in qualsiasi momento. I parametri degli apparecchi elettrici vengono poi automaticamente inseriti nel cartiglio dello schema d'impianto.

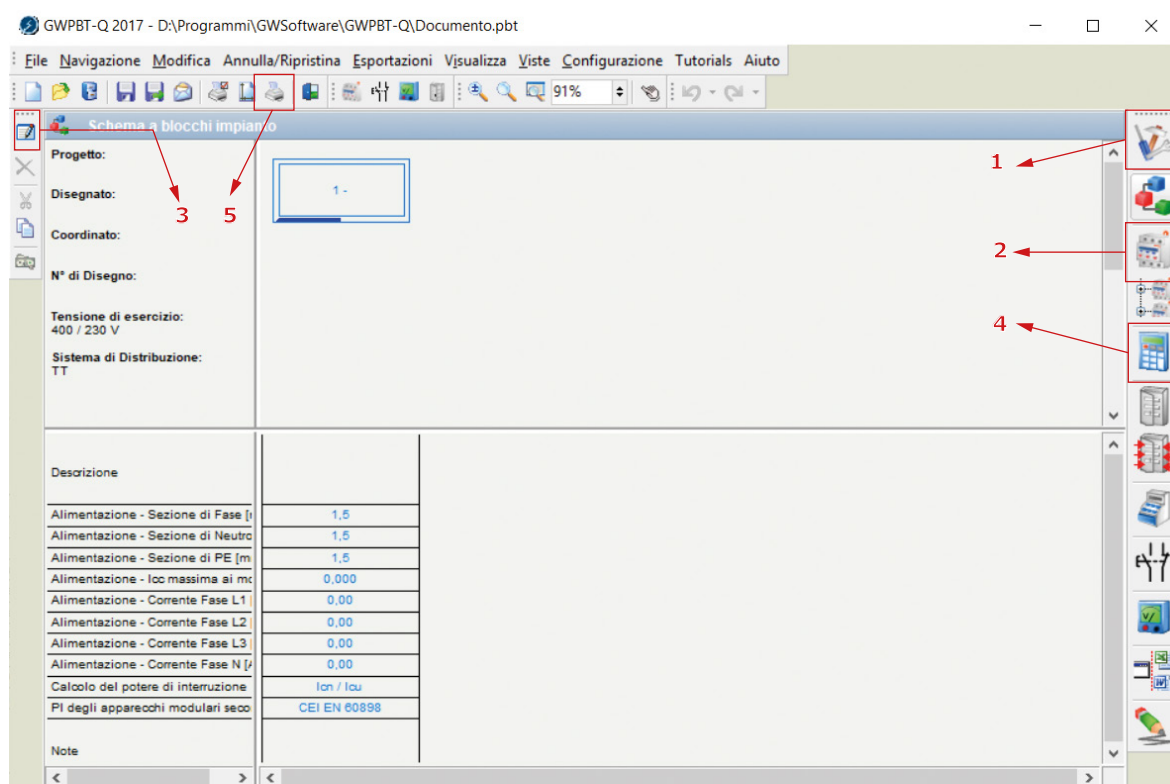
È anche possibile "bloccare" tutti o alcuni tra gli apparecchi e/o i cavi presenti nell'impianto, lasciando verificare al programma eventuali anomalie e proporre la sostituzione dei componenti con altri più idonei.



1.3 SEQUENZA DELLE OPERAZIONI

Per dimensionare l'impianto è necessario accedere a cinque sezioni del software GWPBT-Q.

- 1. Impostazioni generali.** Accedere alla sezione *Impostazioni generali* → *Distribuzione* per impostare o modificare i dati della fornitura elettrica.
- 2. Schema elettrico unifilare.** Accedere alla sezione *Schema elettrico unifilare* e inserire i vari apparecchi del circuito utilizzando i simboli presenti a video e i comandi per il loro collegamento.
- 3. Dati e risultati.** Inserire i dati dei vari carichi (utenze alimentate dagli apparecchi e relative linee di collegamento).
- 4. Dimensionamento effettivo.** Eseguire i calcoli per il dimensionamento della rete elettrica.
- 5. Stampa.** Stampare la documentazione tecnica (schema elettrico, tabelle dati, elenco materiali, ecc.).



- Dimensionare l'impianto. Sequenza operazioni: **1** Impostazioni generali; **2** Schema elettrico unifilare; **3** Dati e risultati; **4** Dimensionamento effettivo; **5** Stampa.

1.4 ESERCITAZIONE D'ESEMPIO

Per comprendere in maniera diretta il funzionamento del software, si può ricorrere ad un'apposita esercitazione d'esempio, in cui è illustrata la sequenza di operazioni necessarie per dimensionare un circuito elettrico di cui sono noti i dati di impianto (parametri elettrici e informazioni sulle utenze, linee di distribuzione, tipi di apparecchi di comando e protezione, ecc.).

L'esercitazione si riferisce ad un circuito in bassa tensione, trifase, con potenza contrattuale di 33 kW, che alimenta, attraverso una linea con montante da 10 m, un quadro di distribuzione per 5 utenze.

I parametri del quadro sono riportati in tabella 33.

Ciascun carico presente nell'impianto è protetto da un interruttore magnetotermico, mentre come protezione generale è previsto un interruttore magnetotermico differenziale.

TAB. 33 – DATI PER ESERCITAZIONE D'ESEMPIO

UTENZE	TIPO DI CARICO	FASI	POTENZA	ALTRI DATI	LUNGHEZZA LINEA	CAVO	POSA
Climatizzazione	Generico	Monofase (L1N)	5 kW	$\cos\varphi = 0,9$	30 m	Unipolare con guaina	In tubo in aria libera ¹
Pompa	Motore	Trifase (L1L2L3)	4 kW	$\eta = 0,8$ $\cos\varphi = 0,75$	50 m	Multipolare	In aria libera ¹ su mensole orizzontali distanziate
Illuminazione capannone	Luce	Monofase (L2N)	55 W	fluorescente alimentatore elettronico 2 lampade x plafoniera 10 lampade x fase $\cos\varphi = 0,96$	100 m	Multipolare	In tubo interrato ² (1 cavo x tubo)
Macchine	Distribuito generico	Monofase (L3N)	5 x 1 kW	$\cos\varphi = 0,9$	50 m	Unipolare	In aria libera ¹ a trifoglio
Illuminazione uffici	Distribuito luce	Monofase (L1N)	135 W	vapori di sodio a bassa pressione $\cos\varphi = 0,9$	100 m	Unipolare	In aria libera ¹ a trifoglio

¹ T = 30 °C - ² T = 20 °C; profondità = 0,8 m; resistività 1,5 K · (m/W).

2 IMPOSTAZIONI GENERALI

Per impostare il sistema di distribuzione, si accede alla sezione *Impostazioni generali* → *Distribuzione*.

Nella finestra che appare si seleziona il sistema del caso tra TN (con cabina propria) e TT (senza cabina propria).

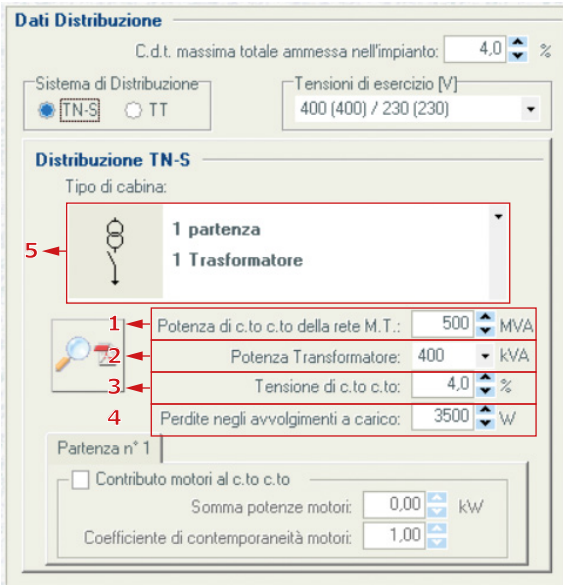
2.1 SISTEMA TN

Nel caso di un sistema di distribuzione di tipo TN, per calcolare i parametri dell'impianto, è necessario fornire al software le caratteristiche elettriche del trasformatore di cabina e della rete a monte. In particolare, occorre digitare i valori di:

- 1. potenza di cortocircuito a monte del trasformatore, S_{cc} [MVA];
- 2. potenza nominale del trasformatore, S_n [kVA];
- 3. tensione di cortocircuito percentuale del trasformatore, $V_{cc\%}$ [%];
- 4. perdita negli avvolgimenti a carico, P_{cc} [W];
- 5. numero di trasformatori in parallelo che alimentano l'impianto.

Sulla base dei dati inseriti, il software calcola i parametri iniziali relativi all'impedenza della rete pubblica (Z_r) e del trasformatore (Z_T). Nel caso di trasformatori in parallelo, i valori dei parametri del trasformatore devono essere divisi per il numero di trasformatori presenti.

I valori di default dei principali tipi di trasformatore sono accessibili attraverso il file PDF messo a disposizione dal software.



• Impostazione dei parametri nel sistema TN.

2.2 SISTEMA TT

Nel caso di un sistema di distribuzione di tipo TT (come nell'esercitazione d'esempio), per il calcolo dei parametri elettrici dell'impianto occorre fornire al programma i valori di:

1. corrente di cortocircuito presunta trifase nel punto di consegna [kA];
2. corrente di cortocircuito presunta fase-neutro nel punto di consegna [kA].

Tramite il documento PDF messo a disposizione dal software, è possibile ricavare i valori per le correnti di cortocircuito secondo la norma CEI 0-21. In particolare, la massima corrente di cortocircuito ($I_{cc\ max}$) indicata dalla norma risulta:

- 6 kA per forniture monofase;
- 6 kA per la corrente di cortocircuito fase-neutro nelle condutture trifase;
- 10 kA per le forniture trifase per utenti con potenza disponibile ≤ 33 kW;
- 15 kA per le forniture trifase per utenti con potenza disponibile > 33 kW.

In presenza nell'impianto di carichi motore, è necessario indicarne il contributo alla corrente di cortocircuito (potenza dei carichi motore, coefficiente di contemporaneità), in quanto deve essere considerata anche la corrente erogata dal motore che, a seguito del cortocircuito, si comporta come un generatore elettrico, alimentando il guasto.

Nello specifico, per l'esercitazione proposta devono essere inseriti i seguenti valori:

- corrente di cortocircuito presunta trifase nel punto di consegna = 10 kA (potenza disponibile = 33 kW);
- corrente di cortocircuito presunta fase-neutro nel punto di consegna = 6 kA (sistema trifase);
- somma potenze motori = 5 kW;
- coefficiente di contemporaneità motori = 1.

Sulla base dei dati inseriti, il software può così calcolare i parametri iniziali relativi all'impedenza della rete a monte del punto di consegna (sia di fase che di neutro) in mΩ.

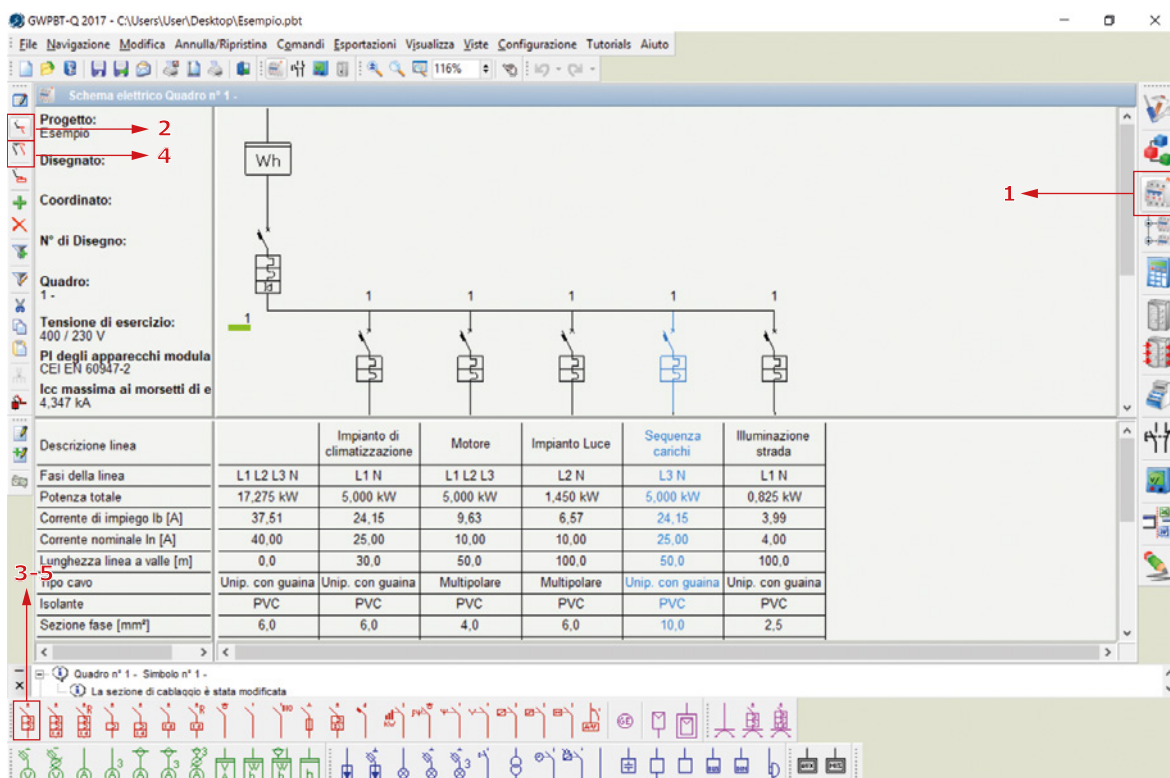
- Impostazione dei parametri nel sistema TT.

3 SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE

Per disegnare lo schema dell'impianto, si accede alla sezione *Schema elettrico unifilare* e si inseriscono i simboli degli apparecchi presenti nel circuito.

Nell'esercitazione proposta i passaggi da seguire sono i seguenti:

1. selezionare *Schema elettrico*;
2. scegliere la modalità di inserimento, attivando il pulsante *Inserisci collegamento in serie* (alla sinistra del video);
3. selezionare il simbolo (in basso) dell'interruttore magnetotermico;
4. attivare il pulsante *Inserisci collegamento in parallelo*;
5. selezionare il simbolo (in basso) dell'interruttore magnetotermico per quattro volte.



• Costruzione dello schema unifilare

4 DATI E RISULTATI

Attraverso il comando *Dati e risultati*, si accede al menu *Dati Apparecchio* da cui selezionare le videate *Dati*, *Articolo* e *Conduttura*.

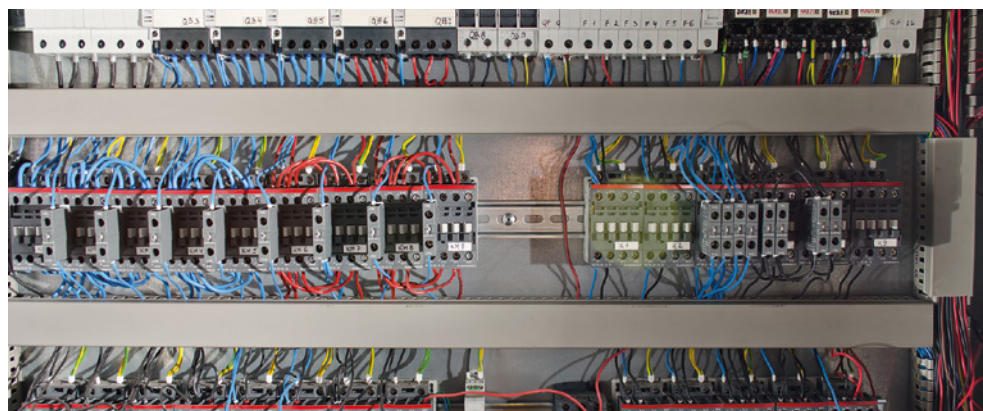
La videata *Dati* consente di inserire i dati delle utenze (tipo di carico, grandezze elettriche), permettendo al software di calcolare la corrente d'impiego (I_b).

La videata *Articolo* consente di scegliere l'interruttore di protezione e la relativa corrente nominale (I_N) sulla base della corrente d'impiego precedentemente calcolata.

La videata *Conduttura* consente di inserire i dati delle linee di collegamento tra gli apparecchi e le utenze (lunghezza della linea, tipo di posa, tipo di cavo, condizioni ambientali, ecc.), verificando l'opportuna sezione del cavo e la relativa portata.

Non viene, invece, richiesto il valore della tensione nominale (V) dell'impianto in quanto nei sistemi trifase può essere solamente di 400 V.

Durante l'inserimento e la verifica dei dati, l'apparecchio selezionato si colora di azzurro.



The screenshot shows the GWPBT-Q 2017 software interface. On the left, a sidebar contains various icons and labels: 'Progetto: Esempio', 'Disegnato:', 'Coordinato:', 'N° di Disegno:', 'Quadro: 1 -', 'Tensione di esercizio: 400 / 230 V', 'PI degli apparecchi modula CEI EN 60947-2', and 'Icc massima ai morsetti di e 4,347 kA'. A red arrow points to the 'Schema elettrico Quadro n° 1 -' icon. The main area displays an electrical schematic with a busbar labeled 'Wh' and five circuit breakers. One circuit breaker is highlighted in blue. Below the schematic is a table with the following data:

Descrizione linea	Impianto di climatizzazione	Motore	Impianto Luce	Sequenza carichi	Illuminazione strada
Fasi della linea	L1 L2 L3 N	L1 L2 L3	L2 N	L3 N	L1 N
Potenza totale	17,275 kW	5,000 kW	1,450 kW	5,000 kW	0,825 kW
Corrente di impiego Ib [A]	37,51	9,63	6,57	24,15	3,99
Corrente nominale In [A]	40,00	25,00	10,00	25,00	4,00
Lunghezza linea a valle [m]	0,0	30,0	50,0	100,0	100,0
Tipo cavo	Unip. con guaina	Unip. con guaina	Multipolare	Multipolare	Unip. con guaina
Isolante	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Sezione fase [mm²]	6,0	6,0	4,0	6,0	2,5

- Finestra dei Dati e risultati. Per aprirla, cliccare l'icona indicata in figura o fare doppio click sul simbolo dell'interruttore selezionato.

4.1 CALCOLARE LA CORRENTE D'IMPIEGO

Per calcolare la corrente d'impiego (I_b), si deve definire la corrente di normale utilizzo del carico che si vuole proteggere. Per impostare i dati, cliccare sul simbolo dell'interruttore (si colorerà d'azzurro) nello schema elettrico e selezionare la sezione *Dati* oppure fare doppio click sul simbolo dell'interruttore.

The screenshot shows the 'Impostazione Dati Apparecchio - Dati (Quadro n° 1 Simbolo n° 1)' dialog box. The 'Dati Simbolo' section includes a checkbox for 'Numerazione automatica interruttori' and fields for 'Numero: 1' and 'Descrizione:'. The 'Dati Carico' section includes a dropdown for 'Fasi della linea: L1 L2 L3 N' and a list of radio buttons for 'Carico Generico', 'Carico Motore', 'Carico Luce', and 'Carichi Distribuiti'. The 'Carichi Distribuiti' section has a dropdown for 'Generici'. The right side of the dialog contains input fields for 'Potenza nominale: 17,275 [kW]', 'Coefficiente di utilizzazione: 1,00', 'Coefficiente di contemporaneità: 1,00', 'Potenza effettiva: 17,275 [kW]', 'Cos φ: 0,86 R', and 'Corrente di impiego (Ib): 37,51 [A]'. A red arrow points from the 'Dati' icon in the sidebar to the 'Dati Simbolo' section. Another red arrow points from the 'Carico Generico' radio button to the 'Il programma gestisce cinque tipi di carico:' section. A third red arrow points from the 'Potenza nominale' field to the 'I dati elettrici variano secondo il tipo di carico.' section.

Il programma gestisce cinque tipi di carico:

- generico
- motore
- luce
- distribuito generico
- distribuito luce

I dati elettrici variano secondo il tipo di carico.

- Menu dati.

Nell'esercitazione d'esempio si assegna a ognuna delle cinque linee di partenza una diversa tipologia di carico:

- interruttore 2 = carico generico;
- interruttore 3 = carico motore;
- interruttore 4 = carico luce;
- interruttore 5 = carico distribuito generico;
- interruttore 6 = carico distribuito luce.

L'interruttore numero 1 corrisponde, invece, all'interruttore generale.

Carico generico – interruttore numero 2

Alla prima linea di partenza, protetta dall'interruttore numero 2, si decide di collegare un carico generico, per il quale occorre definire la tipologia di alimentazione tra:

- trifase con neutro (L1L2L3N);
- trifase senza neutro (L1L2L3);
- bifase (LL);
- monofase (LN).

Impostazione Dati Apparecchio - Dati (Quadro n° 1 Simbolo n° 2)

Impostazioni generali

Impostazioni Quadro

Dati Apparecchio

Dati

Criteri di dimensionamento

Simbolo

Morsetti / Cablaggio

Conduttura

Articolo

Accessori

Risultati di calcolo

Elenco materiale

Dati Simbolo

☒ Numerazione automatica interruttori

Numero: 2 Descrizione: Impianto di climatizzazione

Note:

Dati Carico

Fasi della linea: L1 N

☒ Carico Generico
☐ Carico Motore
☐ Carico Luce
☐ Carichi Distribuiti Generici

Potenza nominale: 5,000 [kW]
 Coefficiente di utilizzazione: 1,00
 Coefficiente di contemporaneità: 1,00
 Potenza effettiva: 5,000 [kW]
 Cos φ: 0,90 P
 Corrente di impiego (I_b): 24,15 [A]

- *Dati della prima linea (interruttore 2).*

Il software utilizza le formule della potenza per legare tra loro i parametri dei campi presenti nella finestra.

$$\begin{aligned}
 \text{L1L2L3N } I_b &= \frac{P_{\text{L1L2L3N}}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot k_{\text{UTIL}}} \quad [\text{A}] \\
 \text{L1L2L3 } I_b &= \frac{P_{\text{L1L2L3}}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot k_{\text{UTIL}}} \quad [\text{A}] \\
 \text{LL } I_b &= \frac{P_{\text{LL}}}{V \cdot \cos \varphi \cdot k_{\text{UTIL}}} \quad [\text{A}] \\
 \text{LN } I_b &= \frac{P_{\text{LN}}}{\frac{V}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi \cdot k_{\text{UTIL}}} \quad [\text{A}]
 \end{aligned}$$

In particolare al carico generico della prima linea si assegnano le seguenti caratteristiche:

- simbolo dello schema elettrico: numero 2;
- descrizione: impianto di climatizzazione;
- tipo di carico: generico;
- fasi della linea: L1N (monofase);
- potenza effettiva (P): 5 kW;
- fattore di potenza ($\cos\varphi$): 0,9;
- coefficiente di utilizzazione (k_{UTIL}) = 1.

Trattandosi di un carico monofase (LN), il software calcolerà per la prima linea di partenza una corrente d'impiego pari a:

$$LN \quad I_b = \frac{5000}{\frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,9 \cdot 1} = 24,15 \text{ [A]}$$

Carico motore – interruttore numero 3

Alla seconda linea di partenza, protetta dall'interruttore numero 3, si collega un carico motore, per il quale si rendono disponibili tre tipologie di alimentazione:

- trifase senza neutro (L1L2L3);
- bifase (LL);
- monofase (LN).

A seconda della tipologia di alimentazione, i parametri dei campi presenti nella finestra saranno legati da una delle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} L1L2L3 \quad I_b &= \frac{P_{L1L2L3}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi \cdot k_{UTIL} \cdot \eta} \text{ [A]} \\ LL \quad I_b &= \frac{P_{LL}}{V \cdot \cos\varphi \cdot k_{UTIL} \cdot \eta} \text{ [A]} \\ LN \quad I_b &= \frac{P_{LN}}{\frac{V}{\sqrt{3}} \cdot \cos\varphi \cdot k_{UTIL} \cdot \eta} \text{ [A]} \end{aligned}$$

Al motore si assegnano i seguenti parametri:

- simbolo dello schema elettrico: numero 3;
- descrizione: motore;
- tipo di carico: motore;
- fasi della linea: L1L2L3 (trifase);
- potenza nominale: 4 kW;
- rendimento (η): 0,8;
- fattore di potenza ($\cos\varphi$): 0,75;
- coefficiente di utilizzazione (k_{UTIL}) = 1.

Trattandosi di un motore trifase (L1L2L3), il software calcolerà per la seconda linea di partenza una corrente d'impiego pari a:

$$L1L2L3 \quad I_b = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,8} = 9,63 \text{ [A]}$$

Impostazione Dati Apparecchio - Dati (Quadro n° 1 Simbolo n° 3)

Impostazioni generali
Impostazioni Quadro
Dati Apparecchio

Dati
 Criteri di dimensionamento
 Simbolo
 Morsetti / Cablaggio
 Conduittura
 Articolo
 Accessori
 Risultati di calcolo
 Elenco materiale

Dati Simbolo
☒ Numerazione automatica interruttori
 Numero: 3 Descrizione: Motore
 Note:

Dati Carico
 Fasi della linea: L1 L2 L3
☐ Carico Generico
☒ Carico Motore
☐ Carico Luce
☐ Carichi Distribuiti Generici

Potenza nominale: 4,000 [kW]
 Tensione di alimentazione: 400 [V]
 Rendimento: 0,80
 Potenza totale Motore: 5,000 [kW]
 Coefficiente di utilizzazione: 1,00
 Potenza effettiva: 5,000 [kW]
 Cos φ: 0,75 R
 Corrente nominale motore (In): 9,63 [A]

Conferma Annulla Applica Precedente Successivo

• Dati della seconda linea (interruttore 3).

Carico luce – interruttore numero 4

Alla terza linea di partenza, protetta dall'interruttore numero 4, si collega un carico luce, per il quale si rendono disponibili tre tipologie di alimentazione:

- trifase con neutro (L1L2L3N);
- trifase senza neutro (L1L2L3);
- monofase (LN).

A seconda della tipologia di alimentazione, i parametri dei campi presenti nella finestra saranno legati da una delle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \text{L1L2L3N } I_b &= \frac{(P_{\text{LAMP}} + P_{\text{ALIM}}) \cdot N_{\text{LAMP} \times \text{PLAF}} \cdot N_{\text{LAMP} \times \text{FASE}} \cdot 1,25 \cdot 3}{230 \cdot \cos \varphi} \cdot k_{\text{UTIL}} \text{ [A]} \\ \text{L1L2L3 } I_b &= \frac{(P_{\text{LAMP}} + P_{\text{ALIM}}) \cdot N_{\text{LAMP} \times \text{PLAF}} \cdot N_{\text{LAMP} \times \text{FASE}} \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}}{230 \cdot \cos \varphi} \cdot k_{\text{UTIL}} \text{ [A]} \\ \text{LN } I_b &= \frac{(P_{\text{LAMP}} + P_{\text{ALIM}}) \cdot N_{\text{LAMP} \times \text{PLAF}} \cdot N_{\text{LAMP} \times \text{FASE}} \cdot 1,25}{230 \cdot \cos \varphi} \cdot k_{\text{UTIL}} \text{ [A]} \end{aligned}$$

Al carico luce si assegnano i seguenti parametri:

- simbolo dello schema elettrico: numero 4;
- descrizione: impianto luce;
- tipo di carico: luce;
- fasi della linea: L2N (monofase);
- tipo di lampada: fluorescente con alimentatore elettronico;
- potenza singola lampada (P_{LAMP}): 55 W;
- potenza dell'alimentatore (P_{ALIM}): 3 W;
- numero di lampade per plafoniera: 2;
- numero di plafoniere per fase: 10;
- coefficiente di utilizzazione (k_{UTIL}): 1
- fattore di potenza ($\cos \varphi$): 0,96.

Trattandosi di un carico monofase (LN), il software calcolerà per la terza linea di partenza una corrente d'impiego pari a:

$$LN \quad I_b = \frac{(55 + 3) \cdot 2 \cdot 10 \cdot 1,25}{230 \cdot 0,96} \cdot 1 = 6,57 \text{ [A]}$$

• Dati della terza linea (interruttore 4).

Carico distribuito generico – interruttore numero 5

Alla quarta linea di partenza, protetta dall'interruttore numero 5, si collega un carico distribuito generico, per il quale si rendono disponibili le quattro tipologie di alimentazione:

- trifase con neutro (L1L2L3N);
- bifase (LL);
- trifase senza neutro (L1L2L3);
- monofase (LN).

A seconda della tipologia di alimentazione, i parametri dei campi presenti nella finestra saranno legati da una delle seguenti relazioni:

$$L1L2L3N \quad I_b = \frac{P_{L1L2L3N}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot k_{UTIL}} \cdot N_{CARICHI} \text{ [A]}$$

$$L1L2L3 \quad I_b = \frac{P_{L1L2L3}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot k_{UTIL}} \cdot N_{CARICHI} \text{ [A]}$$

$$LL \quad I_b = \frac{P_{LL}}{V \cdot \cos \varphi \cdot k_{UTIL}} \cdot N_{CARICHI} \text{ [A]}$$

$$LN \quad I_b = \frac{P_{LN}}{\frac{V}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi \cdot k_{UTIL}} \cdot N_{CARICHI} \text{ [A]}$$

Al carico distribuito generico si assegnano i seguenti parametri:

- simbolo dello schema elettrico: numero 5;
- tipo di carico: distribuito generico;
- fasi della linea: L3N (monofase);
- descrizione: sequenza carichi;
- potenza nominale singolo carico: 1 kW;

- numero di carichi: 5;
- fattore di potenza ($\cos\varphi$): 0,9.
- coefficiente di utilizzazione (k_{UTIL}): 1

Trattandosi di un carico monofase (LN), il software calcolerà per la quarta linea di partenza una corrente d'impiego pari a:

$$LN \quad I_b = \frac{1000}{\frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,9 \cdot 1} \cdot 5 = 24,15 \text{ [A]}$$

Impostazione Dati Apparecchio - Dati (Quadro n° 1 Simbolo n° 5)

Dati Simbolo

☒ Numerazione automatica interruttori

Numero: 5 Descrizione: Sequenza carichi

Note:

Dati Carico

Fasi della linea: L3 N

☐ Carico Generico
☐ Carico Motore
☐ Carico Luce
☒ Carichi Distribuiti Generici

Potenza nominale: 1,000 [kW]
 Coefficiente di utilizzazione: 1,00
 Coefficiente di contemporaneità: 1,00
 Potenza effettiva: 1,000 x5 = 5,000 [kW]
 Cos Ø: 0,90
 Corrente di impiego (Ib): 4,83 x5 = 24,15 [A]

N° di carichi: 5
 Lunghezza totale [m]: 50,0
 C.d.t. tot [%]: 3,00
 Sezione costante [mm²]: 10,0

Caric	Corrente carico [A]	Cos Ø	Somma corrente [A]	Somma cos Ø	Lunghezza campata [m]	C.d.t. Tratto [%]	Sezione tratto [mm²]	Portata [A]
1	4,83	0,90	24,15	0,90	10,0	0,60	10,0	63
2	4,83	0,90	19,32	0,90	10,0	0,60	6,0	46
3	4,83	0,90	14,49	0,90	10,0	0,60	6,0	46
4	4,83	0,90	9,66	0,90	10,0	0,60	4,0	35
5	4,83	0,90	4,83	0,90	10,0	0,60	1,5	20

Conferma Annulla Applica Precedente Successivo

- Dati della quarta linea (interruttore 5).

Nella tabella posta nella parte bassa dello schermo è possibile variare la caduta di tensione (ΔV , nel software **c.d.t.**) da rispettare nel singolo tratto e la lunghezza del singolo tratto.

Carico distribuito luce – interruttore numero 6

Alla quinta linea di partenza, protetta dall'interruttore numero 6, si collega un carico distribuito luce, per il quale si rendono disponibili tre tipologie di alimentazione:

- trifase con neutro (L1L2L3N);
- trifase senza neutro (L1L2L3);
- monofase (LN).

A seconda della tipologia di alimentazione, i parametri dei campi presenti nella finestra saranno legati da una delle seguenti relazioni

$$L1L2L3N \quad I_b = \frac{(P_{LAMP} + P_{ALIM}) \cdot N_{LAMP \times PLAF} \cdot N_{LAMP \times FASE} \cdot 1,25 \cdot 3}{230 \cdot \cos\varphi} \cdot k_{UTIL} \cdot N_{CARICHI} \text{ [A]}$$

$$L1L2L3 \quad I_b = \frac{(P_{LAMP} + P_{ALIM}) \cdot N_{LAMP \times PLAF} \cdot N_{LAMP \times FASE} \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}}{230 \cdot \cos\varphi} \cdot k_{UTIL} \cdot N_{CARICHI} \text{ [A]}$$

$$LN \quad I_b = \frac{(P_{LAMP} + P_{ALIM}) \cdot N_{LAMP \times PLAF} \cdot N_{LAMP \times FASE} \cdot 1,25}{230 \cdot \cos\varphi} \cdot k_{UTIL} \cdot N_{CARICHI} \text{ [A]}$$

Al carico distribuito luce si assegnano i seguenti parametri:

- simbolo dello schema elettrico: numero 6;
- descrizione: illuminazione strada;
- tipo di carico: distribuito luce;
- fasi della linea: L1N (monofase);
- tipo di lampada: vapori di sodio a bassa pressione;
- potenza singola lampada: 135 W;
- numero di lampade per plafoniera: 1;
- numero di plafoniere per fase: 1;
- coefficiente di utilizzazione (k_{UTIL}): 1
- fattore di potenza ($\cos\phi$): 0,9.
- numero di carichi: 5.

Trattandosi di un carico monofase (LN), il software calcolerà per la quinta linea di partenza una corrente d'impiego pari a:

$$LN \quad I_b = \frac{(135 + 30) \cdot 1 \cdot 1}{230 \cdot 0,9} \cdot 1 \cdot 5 = 3,99 \text{ [A]}$$

Impostazione Dati Apparecchio - Dati (Quadro n° 1 Simbolo n° 6)

Dati Simbolo

☒ Numerazione automatica interruttori

Numero: 6 Descrizione: Illuminazione strada

Note:

Dati Carico

Fasi della linea: L1 N Tipo: Vapori di sodio bassa pressione

☐ Carico Generico
☐ Carico Motore
☐ Carico Luce
☒ Carichi Distribuiti Luce

Potenza singola lampada: 135 [W]
 Potenza alimentatore: 30 [W]
 Potenza lampada+alimentatore: 165 [W]
 N° lampade per Plafoniera: 1
 N° plafoniere per fase: 1

N° di carichi: 5

Lunghezza totale [m]: 100,0
 C.d.t. tot [%]: 3,00
 Sezione costante [mm²]: 2,5

Potenza totale: 165 x5 = 825 [W]
 Coefficiente di utilizzazione: 1,00
 Potenza effettiva: 165 x5 = 825 [W]
 Cos φ: 0,90 R
 Collegamento:

Tensione di alimentazione: 230 [V]
 Corrente di impiego [Ib]: 0,80 x5 = 3,99 [A]

Caric	Corrente carico [A]	Cos φ	Somma corrente [A]	Somma cos φ	Lunghezza campata [m]	C.d.t. Tratto [%]	Sezione tratto [mm²]	Portata [A]
1	0,80	0,90	3,99	0,90	20,0	0,60	2,5	26
2	0,80	0,90	3,19	0,90	20,0	0,60	2,5	26
3	0,80	0,90	2,39	0,90	20,0	0,60	1,5	20
4	0,80	0,90	1,59	0,90	20,0	0,60	1,5	20
5	0,79	0,90	0,79	0,90	20,0	0,60	1,5	20

Conferma Annulla Applica Precedente Successivo

- Dati della quinta linea (interruttore 6).

Nella tabella posta nella parte bassa dello schermo è possibile variare la caduta di tensione da rispettare nel singolo tratto e la lunghezza del singolo tratto.

4.2 SCEGLIERE LA CORRENTE NOMINALE DELL'INTERRUTTORE

Per scegliere la corrente nominale dell'interruttore (I_N), l'unico vincolo da rispettare è imposto dalla seguente relazione:

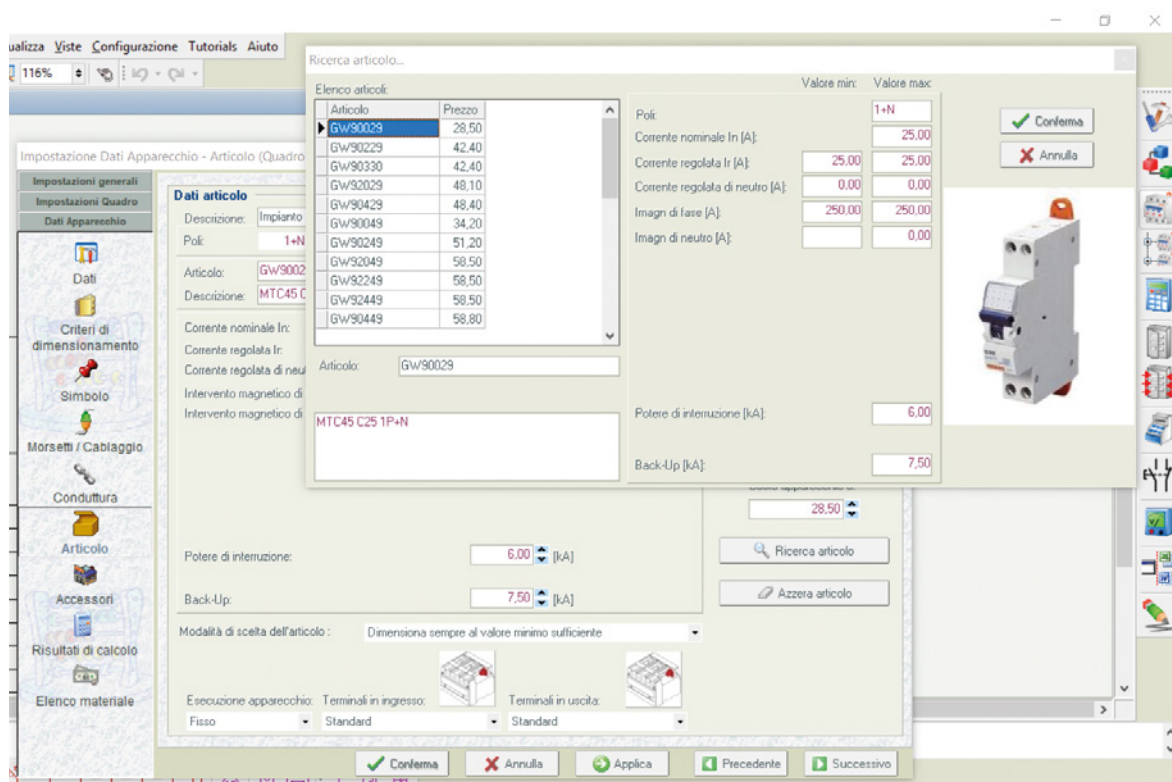
$$I_b < I_N < I_Z$$

Per scegliere l'interruttore di protezione da utilizzare, si deve cliccare sul simbolo dell'interruttore (si colorerà d'azzurro) nello schema elettrico, selezionare la sezio-

ne *Dati* (oppure fare doppio click sul simbolo dell'interruttore) e scegliere il menu *Articolo*.

Da qui, impostare il valore di corrente e cliccare sul pulsante *Ricerca articolo*. Di default, il software propone la taratura subito superiore alla corrente d'impiego (I_b) precedentemente calcolata, consentendone la modifica da parte dell'utente.

Nel caso si intenda impostare una "taglia minima" per l'interruttore di protezione (per esempio, impostare una $I_N \geq 16$ A per una linea prese) è sufficiente selezionare l'opzione *Utilizza dati impostati come base di partenza in Modalità di scelta articolo*.



- *Menu Articolo (interruttore 2): doppio click sull'interruttore di interesse e selezionare il menu Articolo.*

Lasciando inalterati i valori di I_b calcolati dal software, nell'impianto di esempio in esame si ottengono le seguenti correnti nominali per la protezione delle cinque linee:

- simbolo 2, $I_N = 25$ A;
- simbolo 3, $I_N = 10$ A;
- simbolo 4, $I_N = 10$ A;
- simbolo 5, $I_N = 25$ A;
- simbolo 6, $I_N = 4$ A.

4.3 SCEGLIERE LA PORTATA DEL CAVO

Per scegliere la sezione della linea di alimentazione e conseguentemente la portata del cavo (I_z), si deve cliccare sul simbolo dell'interruttore (si colorerà d'azzurro) nello schema elettrico, selezionare la sezione *Dati Apparecchio* (oppure fare doppio click sul simbolo dell'interruttore) e scegliere il menu *Conduttura*.

Impostazione Dati Apparecchio - Conduttura (Quadro n° 1 Simbolo n° 2)

Articolo
 Descrizione: MTC45 C25 1P+N
 Corr. regolata Ir: 25,00 [A]

Linea
 Linea a monte: 0,0 [m] C.d.t. massima ammessa nel tratto: 3,00 [%] C.d.t. effettiva nel tratto: 2,15 [%]
 Linea a valle: 30,0 [m]

Posa
 Descrizione cavo:
 Cavo: Unipolare con guaina Sigla:
 Materiale: Rame Isolante: PVC Temperatura Ambiente: 30 [°C]
 Contenitore: In tubo in aria
 Posa: In tubo in aria

N° circuiti raggruppati: 1 Codice: A2

Sezioni
 Fase: 6,0 [mm²] // 1 Neutro: 6,0 [mm²] // 1 PE: 6,0 [mm²] 1

Portate
 Krid Utente: 1,000 Krid circuiti raggruppati: 1,000 Krid temperatura ambiente: 1,000
 Krid Totale: 1,000
 Portata nominale di Fase: 41,00 [A] Portata nominale di Neutro: 41,00 [A]
 Portata effettiva di Fase: 41,00 [A] Portata effettiva di Neutro: 41,00 [A]
 Modalità di scelta dei cavi: Dimensiona sempre al valore minimo sufficiente

Conferma Annulla Applica Precedente Successivo

- **Menu Conduttura:** selezionare la sezione Dati Apparecchio e scegliere il menu Conduttura.

Per le cinque linee dell'esempio in esame si inseriscono i seguenti parametri:

- simbolo 2 = lunghezza linea 30 m; cavo unipolare con guaina; posa in tubo in aria;
- simbolo 3 = lunghezza linea 50 m; cavo multipolare; posa in aria libera distanziata dalla parete (su mensole orizzontali distanziate);
- simbolo 4 = lunghezza linea 100 m; cavo multipolare; posa in tubo interrato (1 cavo multipolare per tubo);
- simbolo 5 = lunghezza linea 50 m; cavo unipolare con guaina; posa in aria libera;
- simbolo 6 = lunghezza linea 100 m; cavo unipolare con guaina; posa in aria libera.

Il software determinerà, di conseguenza, la portata del conduttore sulla base della norma CEI, correggendola opportunamente tramite dei fattori che dipendono dal tipo di posa (tab. 34).

TAB. 34 – FATTORI DI CORREZIONE

TIPO DI POSA	PARAMETRO IN ESAME	FATTORE DI CORREZIONE
Posa in aria	Temperatura	$k = 1$ ($T_{AMB} = 30$ °C)
	Circuiti raggruppati nella stessa posa	$k = 1$ (circuiti = 1)
Posa interrata	Temperatura	$k = 1$ ($T_{AMB} = 20$ °C)
	Circuiti raggruppati nella stessa posa	$k = 1$ (circuiti = 1)
	Profondità di posa	$k = 1$ (profondità = 0,8 m)
	Resistività del terreno	$k = 1$ (resistività = 1,5 K · [m/W])

È possibile, inoltre, utilizzare un coefficiente di riduzione della portata impostato dall'utente ($k_{rid\ utente}$), che tenga conto complessivamente di tutti i fattori ambientali e di posa specifici dell'impianto.

Nel caso si intenda impostare una "sezione minima" per una linea (per esempio, impostare una sezione $\geq 2,5 \text{ mm}^2$ per una linea prese), è sufficiente selezionare *Utilizza dati impostati come base di partenza in Modalità di scelta dei cavi*.

Nella scelta della sezione, oltre a verificare l'adeguatezza della portata nei confronti della corrente d'impiego ($I_b < I_N < I_z$), è necessario controllare che la caduta di tensione rispetti i vincoli normativi, ossia che la caduta di tensione complessiva tra il primo interruttore dell'impianto e l'ultimo carico non sia superiore al 4% della tensione nominale.

Nell'esempio in esame, per rispettare tale vincolo, si è deciso di assegnare un vincolo del 3% al tratto di linea che va dall'interruttore di protezione al carico.

4.4 CALCOLARE LA CADUTA DI TENSIONE

Per calcolare l'impedenza di linea (fase e neutro) e la caduta di tensione, è necessario fornire al software i seguenti parametri:

1. lunghezza della linea, L [m];
2. sezione del conduttore di fase, S_F [mm²];
3. numero di conduttori che compongono una fase (numero di partenze), N_{parF} ;
4. sezione del conduttore di neutro, S_N [mm²];
5. numero di conduttori che compongono il neutro (numero di partenze), N_{parN} .

Impostazione Dati Apparecchio - Conduttura (Quadro n° 1 Simbolo n° 2)

• Parametri per il calcolo della caduta di tensione.

Nei casi in cui la caduta di tensione risulti troppo alta, si procede aumentando la sezione del cavo fino a rientrare nei valori di caduta di tensione (cdt%) massima. Nell'esercitazione d'esempio con cdt% massima = 3%, risultano necessari i seguenti aggiustamenti:

- simbolo 2 = S_F 6 mm² e cdt% 2,15%;
- simbolo 3 = S_F 1,5 mm² e cdt% 2,38%;
- simbolo 4 = S_F 6 mm² e cdt% 2,06%;
- simbolo 5 = S_F 10 mm² e cdt% 2,43%;
- simbolo 6 = S_F 2,5 mm² e cdt% 2,12%.

Dopo aver modificato opportunamente le sezioni del cavo in modo tale che ogni linea presenti una caduta di tensione inferiore al 3%, si possono impostare le sezioni del neutro e del conduttore di protezione (PE). Nell'esercitazione d'esempio, essendo le sezioni di tutte le linee inferiori a 16 mm², i conduttori di protezione e di neutro assumono la stessa sezione della fase.

Carichi motore

Se l'utenza è un carico motore dovrà rispettare vincoli di caduta di tensione più stringenti:

- la caduta di tensione in fondo alla linea deve essere minore del 4%, utilizzando una I_b maggiorata del 30% (per tenere in considerazione il sovraccarico);
- la caduta di tensione non deve superare il 10% con una corrente pari a $8 \cdot I_b$ (per tenere in considerazione lo spunto del motore).

Il simbolo 3 dell'esercitazione d'esempio, essendo un carico motore, dovrà rispettare vincoli sulla caduta di tensione più stringenti:

- c.d.t. < 4%, con I_b maggiorata del 30%

S_F 1,5 mm² e cdt% 2,38% → OK

Il programma, infatti, tiene già conto della maggiorazione del 30% per il carico motore.

- c.d.t. ≤ 10%, con $I_b = I_b \cdot 8$

$2,38\% \cdot 8 = 19,04\%$ (maggiore del 10%) → Non rispettato

Si aumenta, così, S_F a 4 mm², c.d.t. $0,89\% \cdot 8 = 7,12\%$ (minore del 10%) → OK

5 DIMENSIONAMENTO EFFETTIVO

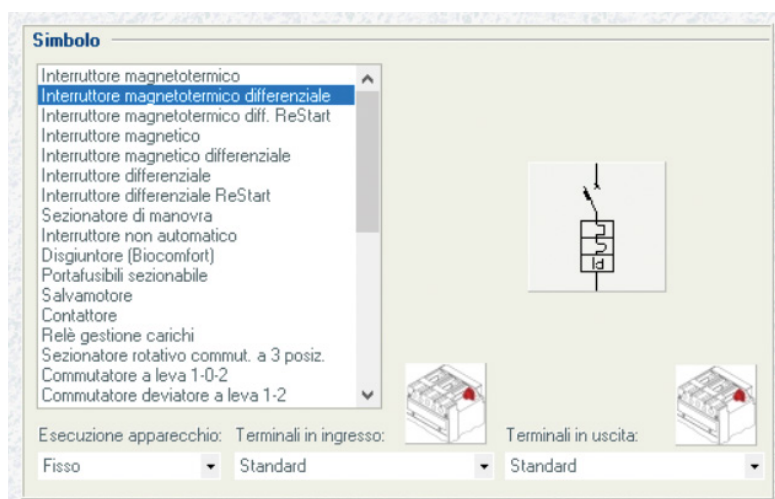
Dopo aver inserito i dati relativi alle utenze, si procede a determinare le caratteristiche dell'intero impianto, partendo da montante e circuito, per affrontare la definizione dei livelli di cortocircuito, l'attivazione di protezioni di back-up, l'impostazione di criteri di selettività di intervento, la verifica dell'energia passante e della corrente minima di guasto.

5.1 DIMENSIONAMENTO DEL MONTANTE

Per definire le caratteristiche del montante si deve cliccare sul simbolo dell'interruttore 1 (si colorerà d'azzurro) nello schema elettrico, selezionare la sezione *Dati* (oppure fare doppio click sul simbolo dell'interruttore), scegliere il menu *Conduttura* e impostare, in particolare, i dati relativi alla lunghezza della linea e alla caduta di tensione ammessa:

- linea a monte = 10 m;
- c.d.t. ammessa nel tratto = 1%.

Il software imposta di default come interruttore generale un interruttore magnetotermico differenziale (così come richiesto anche nell'esercitazione d'esempio); nel caso fosse necessario sostituire l'interruttore con un magnetotermico non differenziale o altro, si clicca sulla finestra *Simbolo* e si seleziona il tipo di interruttore più opportuno.

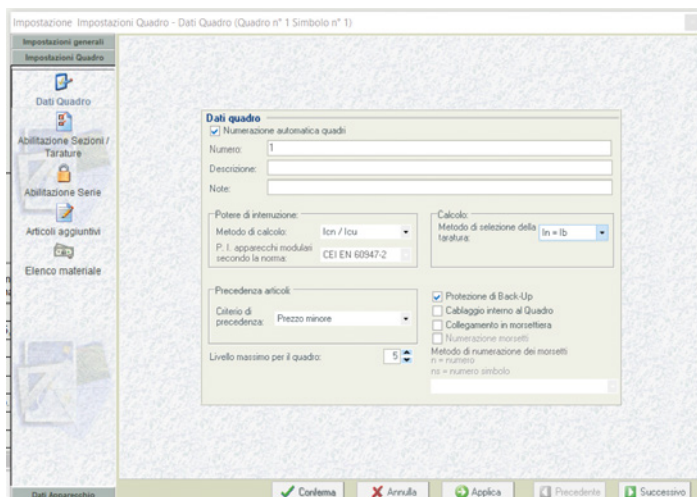


- Scelta dell'interruttore generale.

5.2 LIVELLO DI CORTOCIRCUITO

Per scegliere il potere di cortocircuito dei dispositivi è sufficiente fare doppio click su un interruttore dello schema elettrico e selezionare *Impostazioni Quadro* → *Dati Quadro*.

Il software permette di scegliere la normativa più adatta all'impianto in progettazione, facendo riferimento a specifiche sigle presenti nei dati di targa dell'interruttore:



- *Scelta della normativa relativa al potere di interruzione degli interruttori: doppio click sull'interruttore, selezionare Impostazioni Quadro → Dati Quadro.*

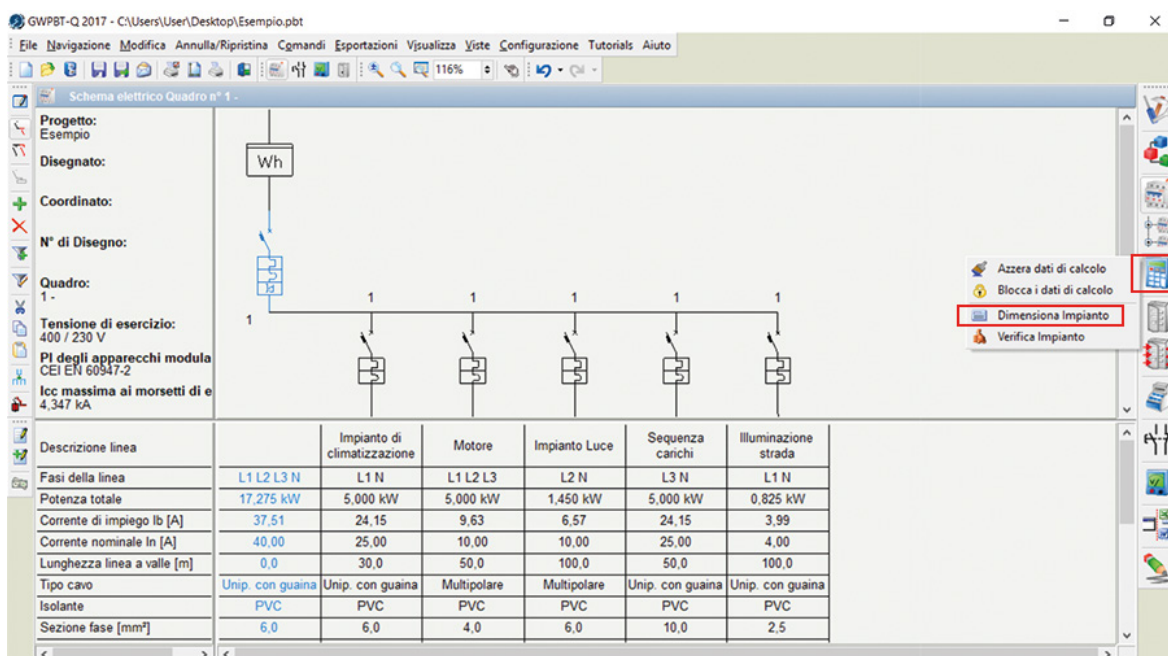
- CEI EN 60947-2 per i quadri industriali, con riferimento alla sigla I_{cu} della targa;
- EN 60898 per i quadri domestici, con riferimento alla sigla I_{cn} della targa.

Entrambe le sigle indicano la corrente di cortocircuito massima interrompibile, secondo il ciclo apertura-chiusura (al termine della prova l'interruttore può anche non essere in grado di portare la corrente nominale). Nell'esempio in esame, selezionare la norma CEI EN60947-2 relativa ai quadri industriali.

5.3 DIMENSIONAMENTO DEL CIRCUITO

Per eseguire il dimensionamento dell'intero impianto occorre selezionare *Dimensiona impianto* dal menu *Dimensionamento dell'impianto*; in questo modo si attiva la procedura automatica di calcolo di tutte le grandezze elettriche del circuito (correnti circolanti, correnti di cortocircuito, cadute di tensione, sezioni dei cavi, ecc.).

Alla conclusione del dimensionamento, il software aggiorna le caratteristiche degli interruttori automatici, in funzione dei valori calcolati.



- *Comando per il dimensionamento dell'impianto.*

Al termine dei calcoli, nella parte bassa del video, vengono mostrati i *messaggi* di calcolo, ovvero vengono segnalate dal programma tutte le operazioni effettuate, mostrando errori di calcolo ed eventuali anomalie (dati mancanti, incongruenze tra gli apparecchi, mancanza di dispositivi di protezione, ecc.).

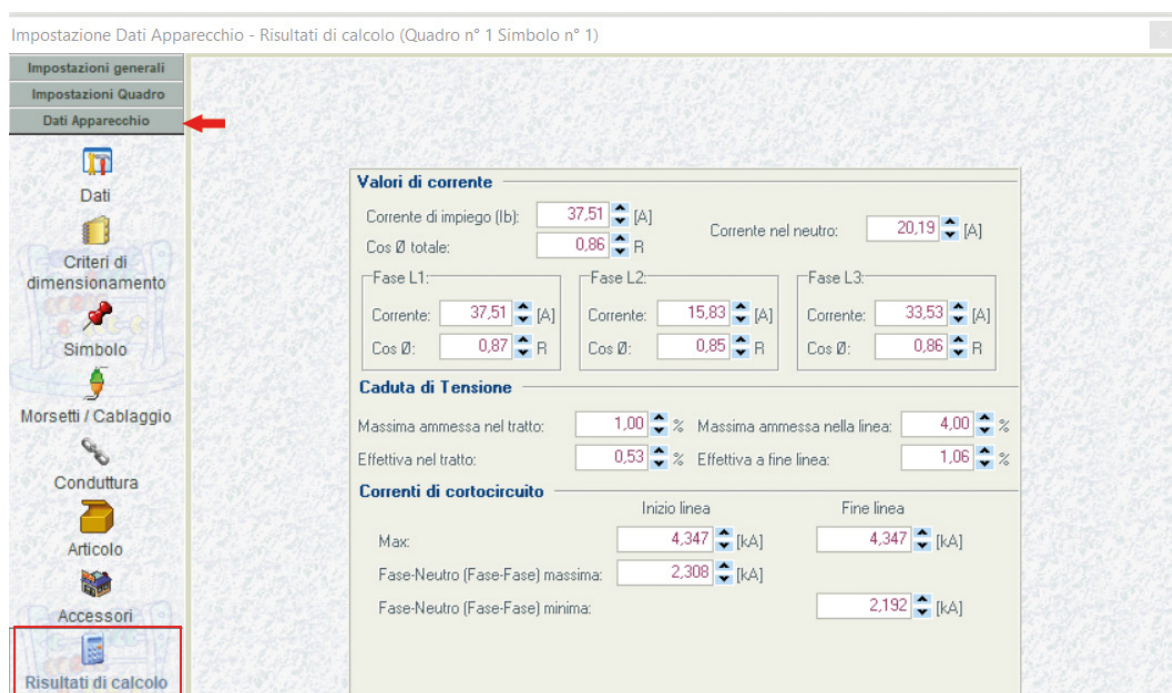
Con riferimento all'esercitazione d'esempio, viene segnalato che sulla linea relativa al carico motore non è presente né un contattore, né un salvamotore.

I risultati di ciascun dispositivo possono essere visualizzati dalla videata *Risultati di calcolo*, accessibile dal menu *Dati Apparecchio* oppure con doppio click sul simbolo dell'apparecchio.

Tutti i dati di calcolo vengono inoltre riassunti nelle colonne dati del cartiglio dello schema elettrico.

Nell'esercitazione d'esempio, si può osservare, in particolare, che:

- la corrente d'impiego (I_b) calcolata per la colonna montante è 37,51 A;
- la sezione del montante per un cavo unipolare in PVC con guaina è di 6 mm² con portata (I_z) 46 A;
- la caduta di tensione sul montante risulta essere pari a 0,53% (inferiore a 1%).



- Visualizzazione dei risultati di calcolo.

5.4 BACK-UP

L'utilizzo di protezioni di back-up permette di impiegare interruttori con potere di interruzione ridotto rispetto a quello normalmente necessario, ottenendo risparmi sul costo dei componenti elettrici.

Per permettere al software di considerare il back-up durante i calcoli, fare doppio click su un interruttore dello schema elettrico e selezionare *Impostazioni Quadro* → *Dati Quadro*.

Per attuare il back-up, il programma si appoggerà ad apposite tabelle create sperimentalmente in laboratorio.

Abilitando tale funzione, è possibile aumentare il potere di interruzione dei dispositivi.

È bene dunque rilanciare i calcoli, consentendo al software di rivalutare la scelta dei dispositivi.

Dati quadro

☒ Numerazione automatica quadri

Numero:

Descrizione:

Note:

Potere di interruzione:

Metodo di calcolo:

P. I. apparecchi modulari secondo la norma:

Calcolo:

Metodo di selezione della taratura:

Precedenza articoli:

Criterio di precedenza:

Livello massimo per il quadro:

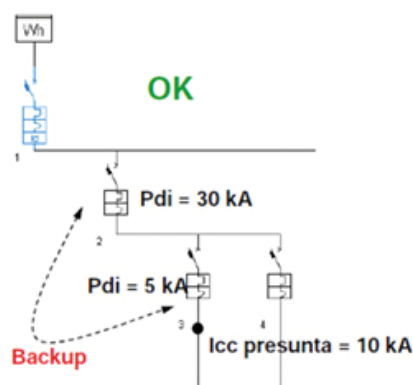
☒ Protezione di Back-Up

☐ Cablaggio interno al Quadro

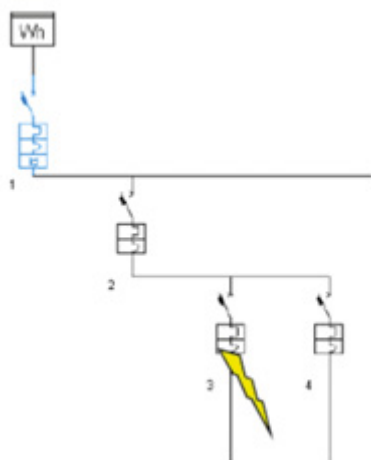
☐ Collegamento in morsetteria

☐ Numerazione morsetti

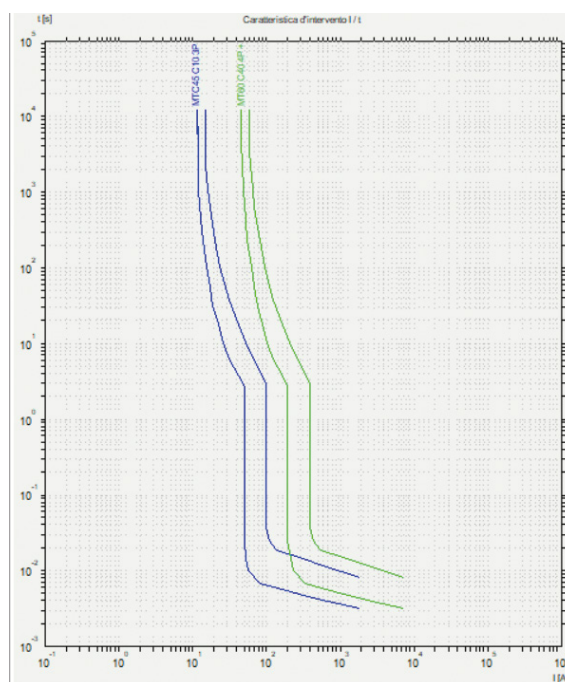
Metodo di numerazione dei morsetti
n = numero
ns = numero simbolo



- Abilitazione della funzione di back-up.



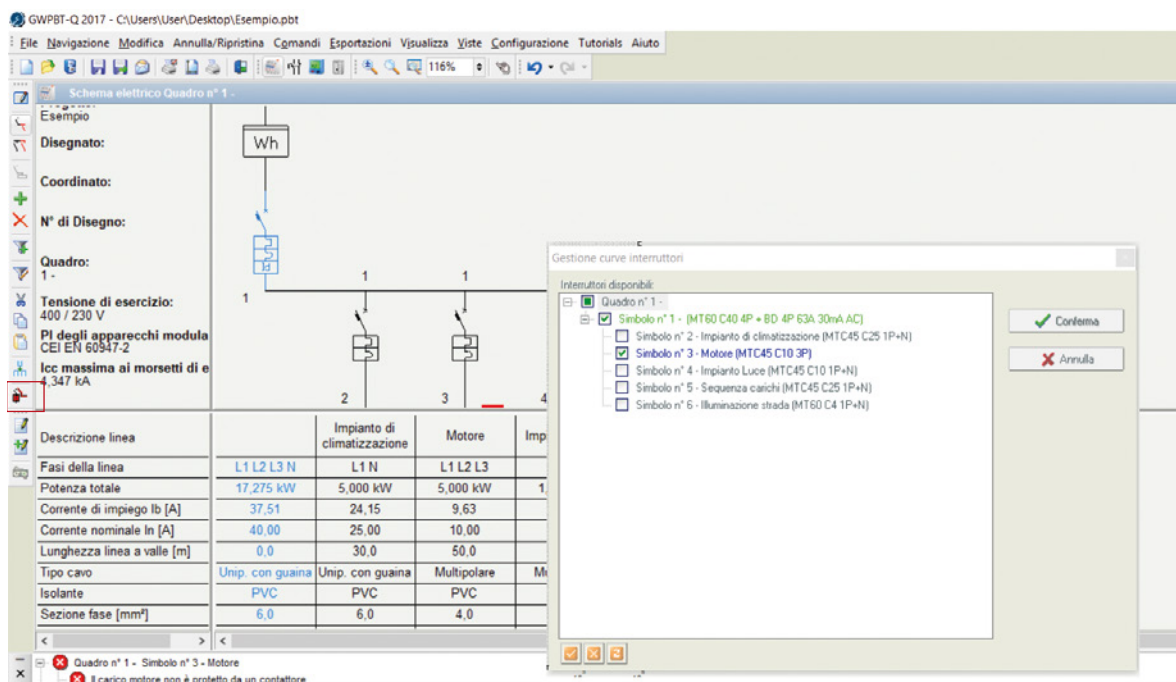
- Tipiche curve di intervento degli interruttori automatici.



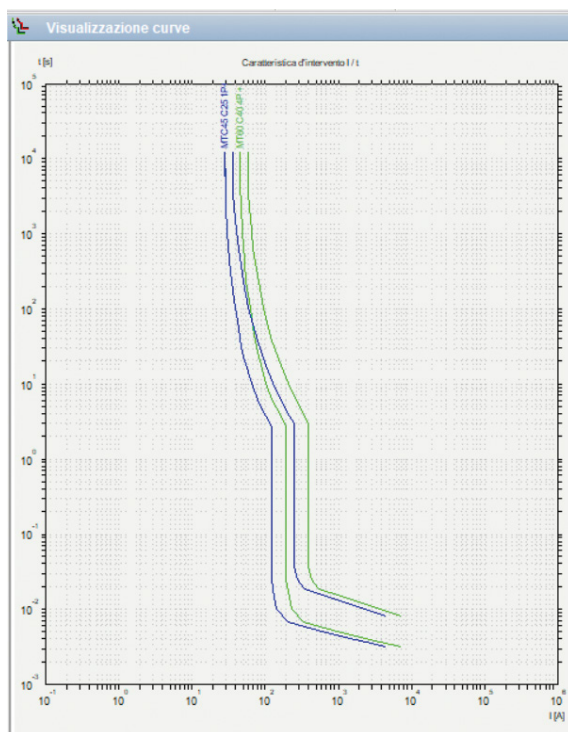
- Concetto di selettività;
- interruttore 2, ● interruttore 3.

5.5 SELETTIVITÀ

Il concetto di selettività di un impianto consiste nell'intervento dell'interruttore più prossimo al guasto limitando così eventuali disservizi. Nello schema proposto in figura, se a fronte del guasto interviene l'interruttore 3 il sistema è selettivo, mentre se interviene l'interruttore 2 o ancora peggio l'interruttore 1 la selettività non c'è. Per verificare la selettività tra i dispositivi di protezione, è sufficiente confrontare le curve di intervento dei vari interruttori, facendo in modo che l'interruttore più a valle abbia una curva caratteristica che stia al di sotto di quella degli interruttori a monte. Per verificare la selettività attraverso il software GWPBT-Q, si deve attivare la vista delle curve degli interruttori tramite il tasto *Visualizza le curve d'intervento* (menu a sinistra), selezionando poi gli interruttori di cui si vuole confrontare la curva d'intervento. Nell'esercitazione d'esempio, l'interruttore generale ha una curva d'intervento più "alta" rispetto agli interruttori posti a valle a protezione delle linee e pertanto la selettività è verificata.



• Visualizzazione delle curve d'intervento.



• Confronto tra le curve d'intervento dell'interruttore generale e dell'interruttore 2; ● quadro n. 1 Simbolo n. 2 - Impianto di climatizzazione, ● quadro n. 1 Simbolo n. 1

5.6 VERIFICA DELL'ENERGIA PASSANTE

La verifica dell'energia passante consiste nel controllare che l'energia lasciata passare dall'interruttore durante il cortocircuito sia minore della massima energia sopportabile dal conduttore:

$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot S^2$$

dove:

I = corrente di cortocircuito lasciata passare dall'interruttore [A];

t = tempo di intervento dell'interruttore [s];

S = sezione del cavo [mm²];

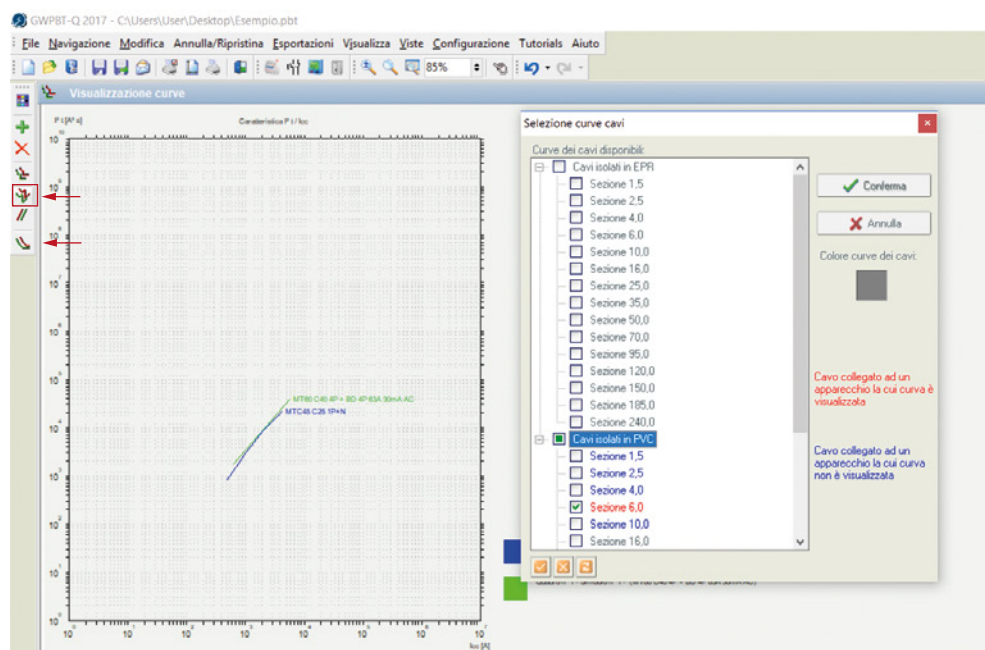
k = costante caratteristica dei cavi, pari a 115 per isolanti in PVC, a 135 per isolanti in gomma naturale (G2) e a 143 per isolanti in gomma etilenpropilenica (EPR - XLPE).

La verifica dell'energia passante deve essere eseguita su:

- conduttori di fase (per il calcolo si usa la corrente di cortocircuito massima);
- conduttori di neutro (per il calcolo si usa la corrente di cortocircuito fase-neutro);
- conduttori di protezione (per il calcolo si usa la corrente di cortocircuito fase-PE).

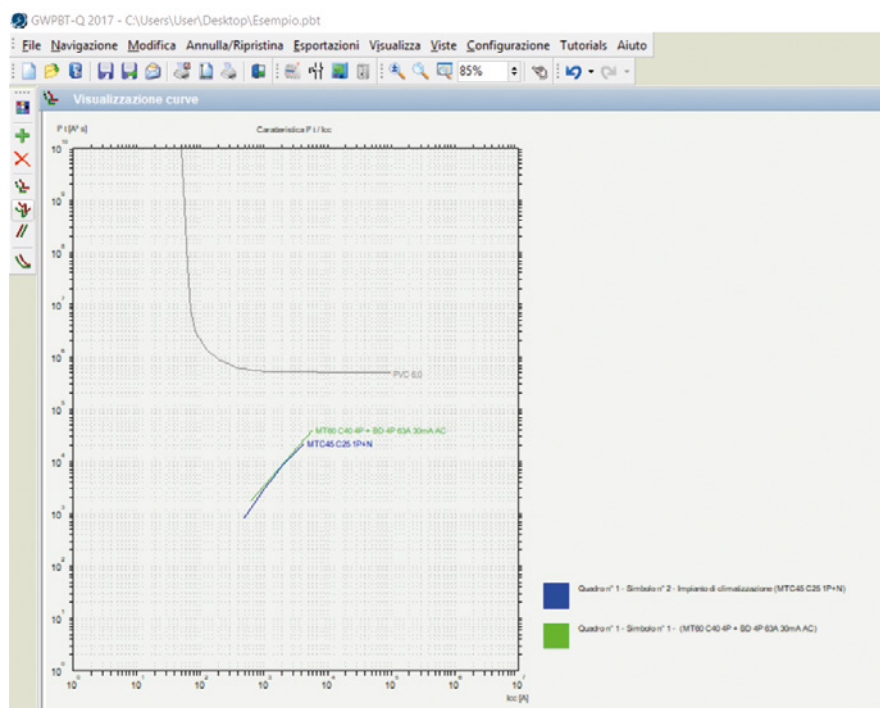
Se questa verifica non è superata si deve aumentare la sezione del cavo.

Restando all'interno della finestra utilizzata precedentemente per la selettività, si possono mettere a confronto la curva dell'energia passante dell'interruttore e la curva dell'energia sopportabile dal cavo.



- *Visualizzazione dell'energia passante.*

Nell'esercitazione d'esempio, il risultato ottenuto dimostra che l'energia sopportabile dal cavo è maggiore dell'energia che l'interruttore lascia passare, quindi la verifica è superata.



- *Verifica dell'energia passante.*

5.7 VERIFICA DELLA CORRENTE DI CORTOCIRCUITO MINIMA

La verifica della corrente di cortocircuito minima consiste nel controllare se la soglia magnetica dell'interruttore è minore della corrente di cortocircuito minima in fondo alla linea:

$$I_m \leq I_{cc \text{ min}}$$

Dove:

I_m = soglia magnetica dell'interruttore [A];

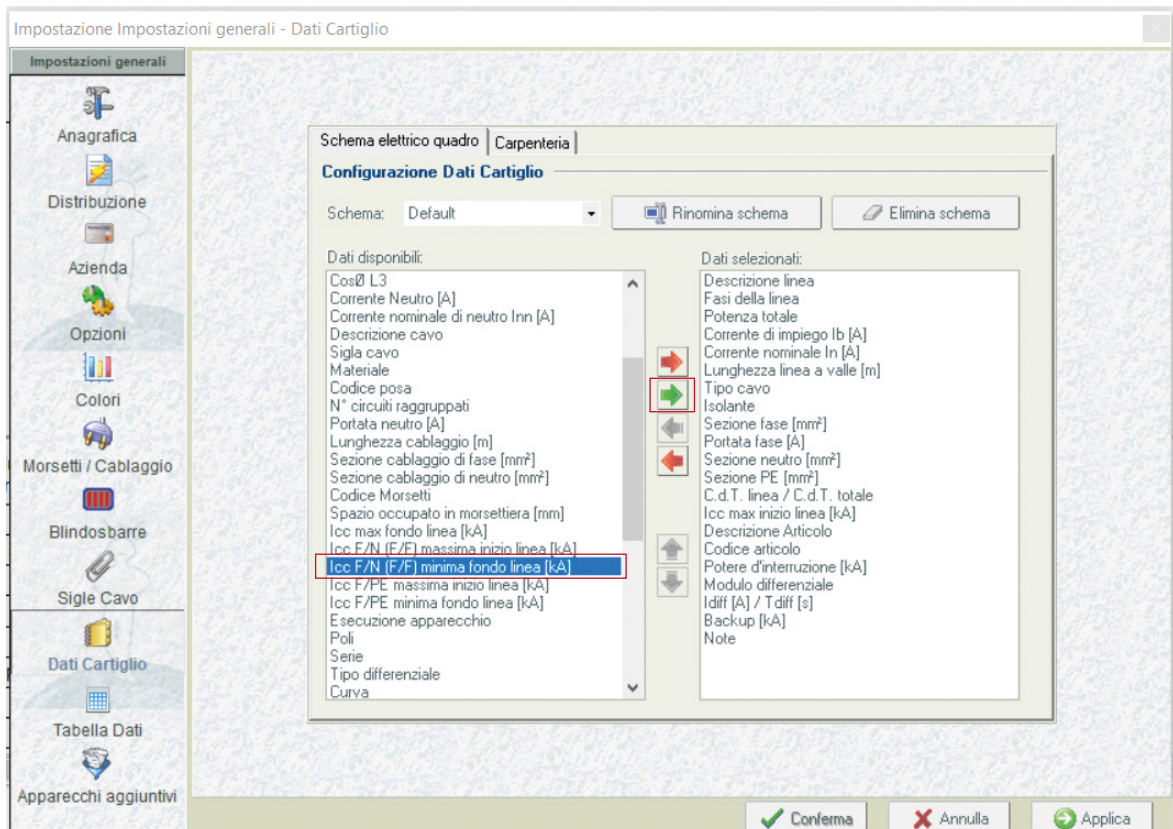
$I_{cc \text{ min}}$ = corrente di cortocircuito minima in fondo alla linea [A].

Se questa verifica non è superata potrebbe essere necessario aumentare la sezione del conduttore.

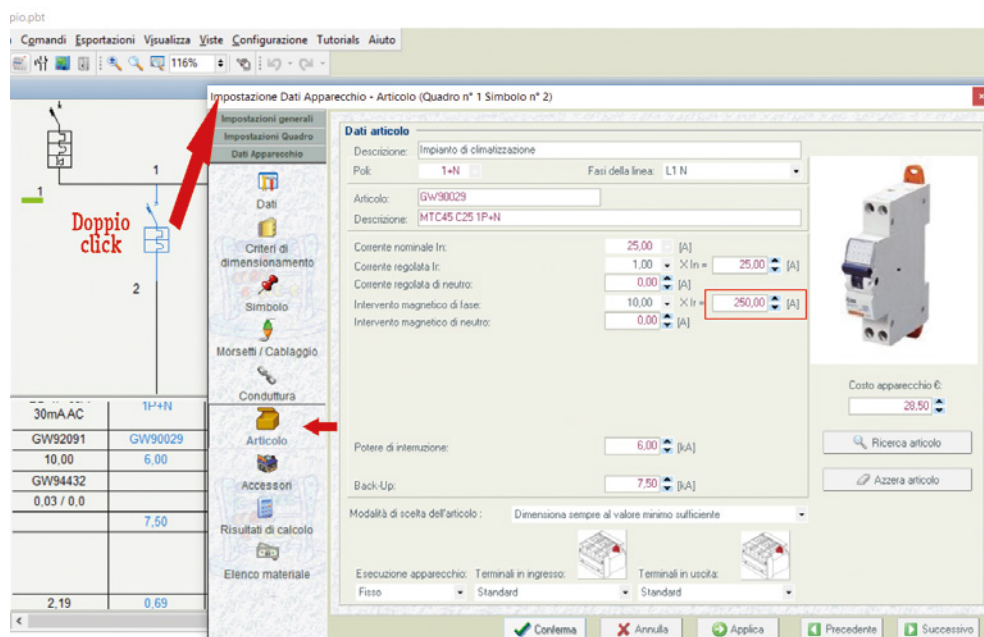
Nel software si può verificare il valore della corrente minima di cortocircuito di ciascuna linea attraverso il cartiglio dello schema elettrico di ogni interruttore automatico.

Si deve selezionare *Impostazioni generali* → *Dati Cartiglio* e, nella finestra *Dati disponibili* (a sinistra), selezionare la voce *I_{cc} minima fondo linea*. Cliccando sulla freccia verde è possibile spostare questa voce nella finestra *Dati selezionati* (a destra).

Conoscendo la corrente di cortocircuito (I_{cc}) minima, la si può confrontare con la soglia magnetica di ogni interruttore (è anche possibile attivare la relativa riga nel cartiglio per facilitare il confronto).



- Attivazione del dato relativo alla corrente di cortocircuito minima nel cartiglio di ogni linea.



- Visualizzazione della soglia di intervento magnetico dell'interruttore.

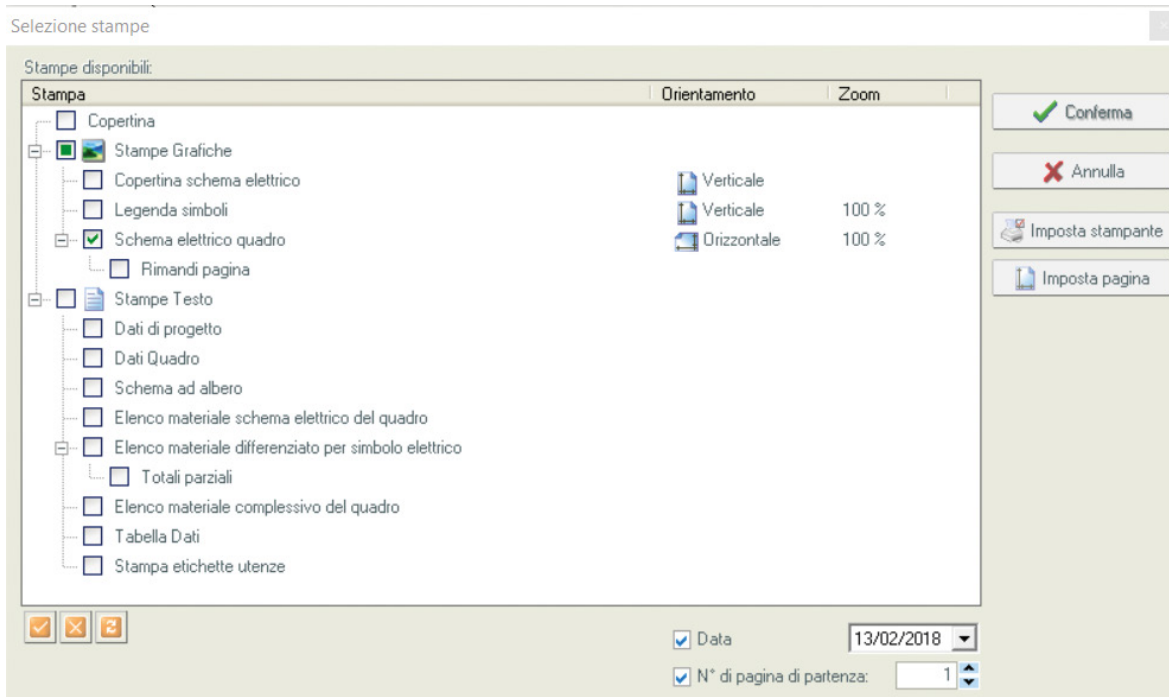
6 STAMPA

Finita la progettazione di un impianto in bassa tensione, è possibile stampare/esportare tutte le informazioni mediante il comando *File → Stampa*.

Eseguendo il comando *Stampa* si apre una videata in cui è possibile selezionare i documenti che si desidera generare e visualizzarne l'anteprima.

Dall'anteprima di stampa è possibile impostare:

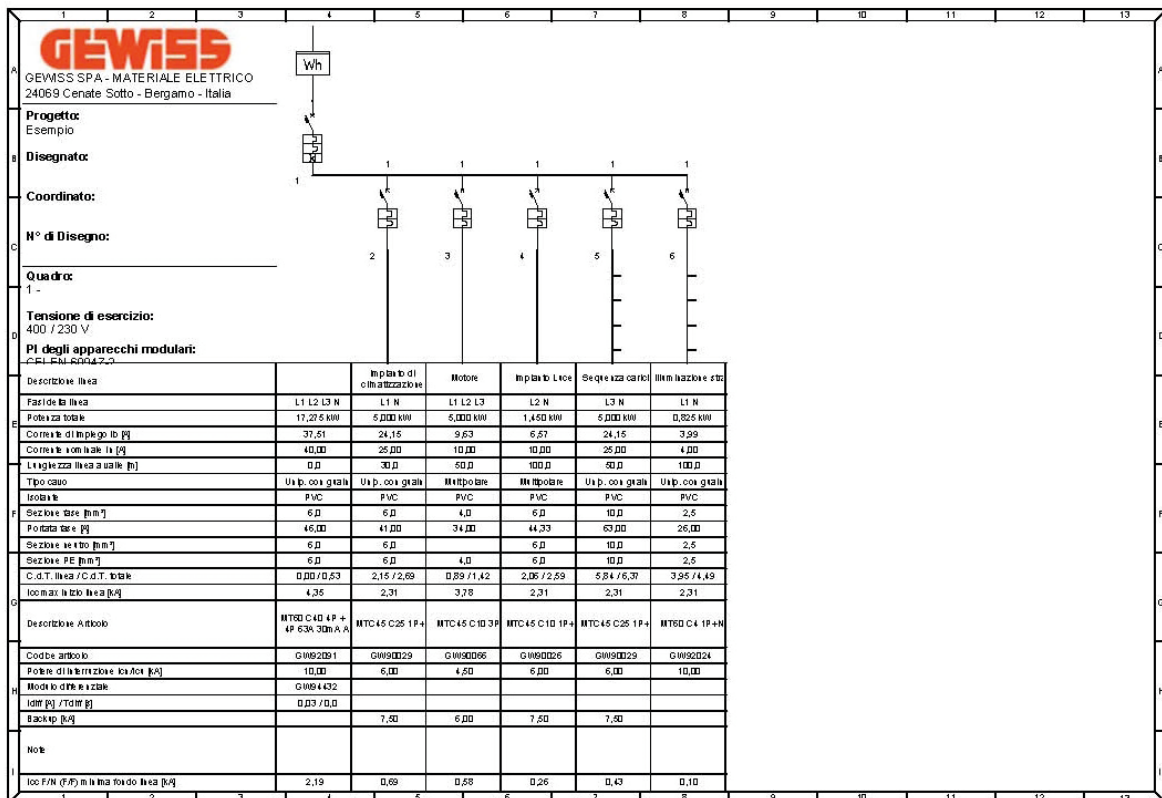
- il tipo di foglio e l'orientamento;
- lo zoom di visualizzazione;
- lo zoom di generazione.



- Comando di stampa.

Nella finestra dell'anteprima di stampa è possibile, inoltre, esportare le stampe in formato Autocad (.dxf), Word (.doc) oppure Acrobat Reader (.pdf).

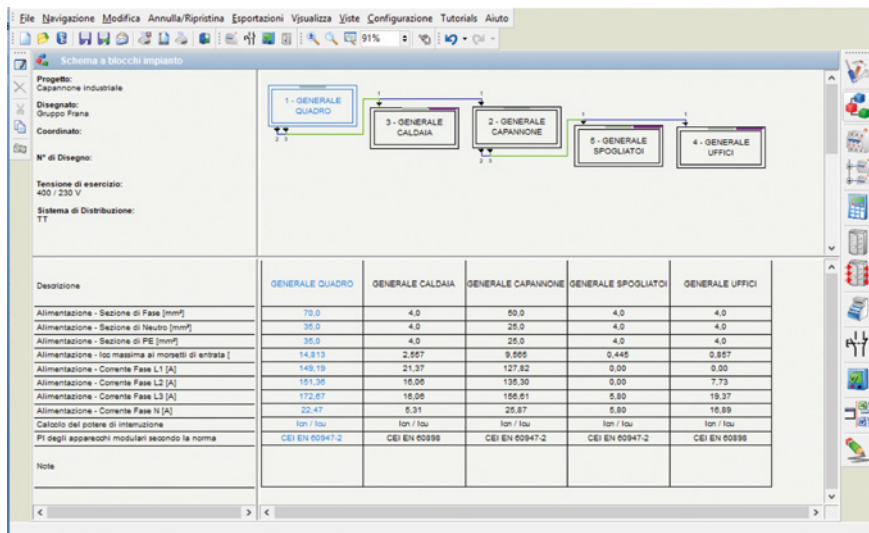
Lo schema elettrico può anche essere esportato in formato DXF semplicemente attraverso la finestra *Esportazioni* → *Esporta in DXF*.



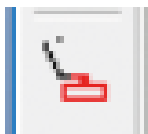
• Stampa dello schema unifilare.

7 PARTENZA DI UN NUOVO QUADRO

Gli impianti di distribuzione dell'energia sono normalmente costituiti da diversi quadri elettrici, collocati in modo razionale in funzione dell'entità e della posizione delle utenze alimentate. La relazione gerarchica dei quadri è visibile all'interno della finestra *Schema a blocchi*, che si apre cliccando sull'apposita icona.



• Finestra dello schema a blocchi.



Per inserire un nuovo quadro a valle di uno preesistente, occorre creare un'apposita linea di alimentazione nello schema unifilare del quadro posto a monte e, dalla stessa, selezionare l'icona *Inserisci nuovo quadro*.

Le modalità di dimensionamento di un impianto composto da più quadri, sono poi le stesse viste in precedenza, ovvero:

1. accedere alla sezione *Impostazioni generali* → *Distribuzione* per impostare i dati della fornitura;
2. accedere alla sezione *Schema elettrico unifilare*, per inserire i vari apparecchi del circuito utilizzando i simboli presenti a video ed i comandi per il loro collegamento;
3. aprire la finestra *Dati e risultati* per inserire i dati dei vari carichi (utenze alimentate dagli apparecchi e relative linee di collegamento);
4. accedere alla sezione *Dimensionamento* per eseguire i calcoli per il dimensionamento della rete elettrica;
5. entrare nel menu di stampa (*File* → *Stampa*) per stampare la documentazione tecnica (schema elettrico, schema a blocchi, tabelle dati, elenco materiali, ecc.).