

rev.	data	descrizione

<p>identificativo file</p> <p style="text-align: center;">A_03_CALC_ELE</p>
--

COMUNE DI SELARGIUS

PROVINCIA DI CAGLIARI

PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO

INSTALLAZIONE DI UN SISTEMA DI ACCUMULO NELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO ESISTENTE NELLA SCUOLA MEDIA "VIA BIXIO"

INTERVENTO COFINANZIATO CON BANDO POR FESR Sardegna 2014/2020

Asse Prioritario IV - Energia sostenibile e qualità della vita - Azione 4.3.1.

"Azioni per lo sviluppo di progetti sperimentali di reti intelligenti nei comuni della Sardegna"



ELABORATO:

CALCOLI ELETTRICI

A_3

IL COMMITTENTE:

**Amm.ne Comunale di
Selargius**



Il progettista:

Dott. Ing. Carlo Foddis

DATA:

Giugno 2018

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Adalberto Pibiri

CALCOLI ELETTRICI LATO CORRENTE ALTERNATA

DIMENSIONAMENTO DELLE CONDUTTURE

Generalità

Una delle fasi più importanti nella progettazione di un impianto elettrico è la determinazione delle sezioni delle condutture. Se non si effettua un'attenta analisi della condizione in esame si può incorrere in errori di diverso tipo:

- sottodimensionamento della conduttura (sezione troppo piccola): come conseguenza comporta una riduzione di vita del cavo oppure una caduta di tensione di valore troppo elevato

- sovradimensionamento della conduttura (sezione troppo grande): in questo caso il cavo prescelto, pur permettendo un corretto funzionamento dell'impianto, richiede degli aggravii economici del tutto ingiustificati, abbinati a dei maggiori ingombri e a maggiori difficoltà di posa. I valori di corrente di corto circuito nelle linee derivate risultano inoltre più elevati con conseguente necessità di utilizzare apparecchi di protezione con poteri di interruzione superiori e perciò più costosi.

Al fine di scegliere la sezione ottimale del conduttore in ciascun tratto di linea è necessario considerare molti fattori, i principali dei quali sono: la corrente d'impiego, la massima caduta di tensione ammissibile, il tipo di posa, il tipo di isolante, la temperatura ambiente.

I valori di portata dei cavi sono ricavati dalle norme CEI-UNEL 35024/1 "Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria". Per i tipi di posa non previsti da tale norma e per alcuni valori di grande sezione non riportati, è stata impiegata la norma IEC 364-5-523 "Wiring systems. Current-carrying capacities".

Calcolo della corrente d'impiego, potenze e $\cos\varphi$

Negli impianti utilizzatori destinati sia ad impieghi civili che industriali le correnti assorbite sono molto variabili sia per le diverse condizioni di carico dei singoli utilizzatori che per la non simultaneità di funzionamento degli stessi.

Per un corretto dimensionamento delle condutture e per la scelta e il coordinamento degli apparecchi di manovra e protezione bisogna valutare la "corrente d'impiego" (I_b) cioè la quantità di corrente che la linea è destinata a trasportare per soddisfare le necessità dei carichi.

La norma 64-8 art.25.4 definisce la corrente I_b nel modo seguente: «valore della corrente da prendere in considerazione per la determinazione delle caratteristiche degli elementi di un circuito. In regime permanente la corrente d'impiego corrisponde alla più grande potenza trasportata dal circuito in servizio ordinario tenendo conto dei fattori di utilizzazione e di contemporaneità. In regime variabile si considera la corrente termicamente equivalente, che in regime continuo porterebbe gli elementi del circuito alla stessa temperatura».

Il regime "permanente" si ha quando gli elementi che costituiscono il circuito hanno raggiunto una condizione di equilibrio termico. Il concetto di "permanente" fa dunque riferimento alla costante di tempo termica dei singoli elementi conduttori.

Tale costante, per i cavi, può variare indicativamente dal minuto alle ore, passando dalle sezioni minori alle maggiori.

Se invece la corrente di carico è variabile periodicamente si considera la corrente termica equivalente:

$$I_b = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1)$$

dove l'intervallo di integrazione T deve essere stabilito in base ad una attenta analisi della corrente negli intervalli di tempo ove essa presenta i valori più alti. L'elemento discriminante per queste valutazioni è la minore costante di tempo termica fra quelle degli elementi costituenti il circuito; in generale si tratta delle condutture, ma non può escludersi che altri elementi risultino più critici a questo riguardo. Si noti che la norma fa infatti riferimento genericamente agli "elementi" del circuito.

Al fine di determinare la corrente d'impiego si opera nel modo seguente: a) linee terminali Se si hanno i dati caratteristici dei carichi collegati al tratto di linea di cui si vuole dimensionare il conduttore:

- potenza del carico in KW o KVAR [P_c] oppure corrente d'impiego in A [I_b]
- fattore di potenza del carico [$\cos(\phi)$]
- coefficiente di utilizzazione [K_u]

La formula che lega le due grandezze elettriche è la seguente:
per P_c in KW per P_c in KVAR

$$\begin{array}{cc}
 \text{per } P_c \text{ in KW} & \text{per } P_c \text{ in KVAR} \\
 I_b = \frac{K_u \cdot P_c \cdot 1000}{c \cdot V_n \cdot \cos\Phi} & I_b = \frac{K_u \cdot P_c \cdot 1000}{c \cdot V_n} \quad (2)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 c = \sqrt{3} & \text{per sistemi trifase} \\
 c = 1 & \text{per sistemi monofase}
 \end{array}$$

b) linee di distribuzione

In questo caso il valore di corrente circolante in ciascuna fase e nel neutro viene calcolata come somma vettoriale delle correnti circolanti nelle linee derivate da quella in esame (si procede cioè da valle verso monte); l'operatore può introdurre un determinato coefficiente di contemporaneità ed in base ad esso la corrente circolante in ciascuna fase (e nell'eventuale neutro) di ogni linea viene ricavata mediante la formula:

$$I_{fase} = K_c \cdot \sum \left[I_{fase \text{ linee derivate}} \right] \quad (\text{sommatoria vettoriale}) \quad (3)$$

Determinazione della sezione dei conduttori di fase

Una volta ricavata la corrente d'impiego I_b si deve determinare qual è la sezione ottimale del cavo per portare tale corrente. Questa grandezza dipende da tre differenti fenomeni fisici presenti nella conduttura:

- termico (il cavo si scalda per effetto joule a causa della corrente che lo attraversa)
- elettrico (si ha una caduta di tensione nel cavo dipendente dall'impedenza dello stesso e dalla corrente I_b)
- meccanico (i cavi sono sottoposti durante l'installazione a sforzi di trazione e flessione)

Tali fenomeni vengono analizzati nei tre paragrafi successivi.

Scelta del conduttore in funzione della sua portata

La relazione fondamentale da soddisfare per la scelta corretta della conduttura dal punto di vista termico è:

$$I_b \leq I_z \quad (1)$$

dove I_z è la portata della conduttura definita come: «massimo valore della corrente che può fluire in una conduttura, in regime permanente ed in determinate condizioni, senza che la temperatura superi un valore specificato» [64-8 art. 25.5].

Tale relazione nasce dalla considerazione che ciascun tipo di isolante è caratterizzato da una temperatura massima di esercizio che non può essere superata durante le normali condizioni di funzionamento, previo una riduzione di vita del materiale.

Diventa perciò di fondamentale importanza lo studio del legame esistente tra la corrente che si stabilisce in un conduttore e la temperatura di regime che esso assume quando il sistema è in equilibrio termico. Quando il cavo viene attraversato da una generica ma costante corrente dopo una fase transitoria in cui parte del calore prodotto per effetto Joule nella resistenza del conduttore viene immagazzinato nel cavo con conseguente riscaldamento dello stesso, si ha una successiva condizione di regime termico nella quale la temperatura si mantiene costante e il calore prodotto viene interamente dissipato nell'ambiente.

Da tali considerazioni discende che, nota la temperatura massima ammissibile in regime permanente per un certo tipo di isolante, si determina quale sia la potenza massima dissipabile (RI^2) e da questa il valore di corrente sopportabile dal cavo, cioè la sua portata.

Lo studio del fenomeno fisico ora esposto risulta in realtà molto complesso poiché il valore della portata risulta influenzato, pur a parità di sezione e isolante, da altri fattori quali:

a) tipo di posa del cavo (da cui dipende il valore di conduttanza termica che regola lo scambio di calore con l'ambiente); ad esempio un cavo in tubo o canale posato in cunicolo chiuso riesce a smaltire meno calore di quanto non faccia lo stesso cavo se posato in tubo o canale interrato e perciò a parità di corrente si porterà a temperatura maggiore (o, per meglio dire, a parità di temperatura massima deve essere attraversato da una corrente minore).

b) temperatura ambiente (tanto più è elevata, tanto minore è la corrente che può attraversare il conduttore; al limite, se un cavo con isolante in PVC si trovasse in un ambiente a temperatura di 70 C° lo stesso conduttore non potrebbe essere utilizzato, previo un rapido deterioramento, in quanto qualunque corrente lo attraversasse lo porterebbe in una condizione di sovratemperatura)

c) presenza di altri conduttori nelle vicinanze (se altri cavi percorsi da corrente sono posti vicini al conduttore in esame la temperatura di quest'ultimo ne è ovviamente influenzata)

Data la complessità del calcolo la normativa ha fornito delle apposite tabelle che tengono conto di tutti questi fattori e che permettono di ricavare la portata di un cavo noto il tipo di isolante e le sue "condizioni al contorno" (tipo di posa, temperatura ambiente, ecc.).

Le principali informazioni che sono necessarie per effettuare la scelta della sezione del conduttore da utilizzare in ciascun tratto di linea sono:

- tipo di cavo: unipolare senza guaina unipolare con guaina multipolare
- gruppo di posa
- posa
- tipo di isolante: polivinilcloruro (PVC) gomma etilenpropilenica (EPR)
- temperatura ambiente
- numero di circuiti raggruppati

Attraverso il numero dei circuiti raggruppati si determina automaticamente qual è il coefficiente riduttivo da utilizzare per tenere conto della presenza ravvicinata di più cavi: tali fattori sono applicabili a gruppi di cavi uguali, percorsi dalle stesse correnti.

Scelta del conduttore in funzione della caduta di tensione

Per un corretto impiego degli utilizzatori è necessario che essi funzionino al valore di tensione nominale per la quale sono previsti. Per tale motivo si deve verificare che la caduta di tensione lungo la linea non assuma valori troppo elevati. I limiti di variazione della

tensione sono diversi a seconda del tipo di impianto realizzato e della natura del carico alimentato. Si ricorda inoltre che per macchine sottoposte ad avviamenti che danno luogo ad elevate correnti di spunto, la caduta di tensione sull'utilizzatore deve essere mantenuta entro valori compatibili con il buon funzionamento della macchina anche durante l'avviamento.

Il valore di caduta di tensione in un generico conduttore viene ricavato attraverso la formula:

$$\Delta V_f = I_b \cdot l \cdot \left[r \cdot \cos(\Phi_c) + x \cdot \sin(\Phi_c) \right] + \frac{I^2 \cdot (r^2 + x^2)}{2 \cdot V_f} \quad (1)$$

ΔV_f = caduta di tensione del conduttore [V] V_f = tensione di fase [V]

I_b = corrente di impiego della linea [A] l = lunghezza della conduttura [m]

r = resistenza specifica del conduttore [Ω/m]

x = reattanza specifica del conduttore [Ω/m]

Φ_c = angolo di sfasamento tra la I_b e la tensione di fase

Nei sistemi trifase equilibrati il valore della caduta di tensione, rispetto al valore della tensione concatenata, si ottiene moltiplicando la (1) per 1,78:

$$\Delta V_{tr} = \sqrt{3} \cdot \Delta V_f$$

Nei sistemi monofase la caduta di tensione totale si ottiene sommando la caduta di tensione nella fase con quella nel neutro. Poiché per questi sistemi i conduttori di fase e di neutro devono avere la stessa sezione è sufficiente moltiplicare per 2 il valore fornito dalla (1):

$$\Delta V_{mon} = 2 \cdot \Delta V_f$$

La formula (1) fornisce il valore della caduta di tensione in Volt; il valore percentuale si ricava da:

$$\Delta V_{tr} \% = \frac{\Delta V_{tr} \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot V_f} \quad \Delta V_{mon} \% = \frac{\Delta V_{mon} \cdot 100}{V_f}$$

CALCOLO DELLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO

Generalità

Il corto circuito si verifica quando due punti di un circuito elettrico, fra i quali esiste una differenza di potenziale, vengono in contatto. Il corto circuito è l'evento in grado di originare le maggiori sollecitazioni di tipo termico e dinamico e di conseguenza deve essere interrotto nel più breve tempo possibile.

Le sollecitazioni termiche dipendono dall'energia sviluppata dalla corrente di corto circuito nell'elemento considerato e determinano, oltre ad una riduzione di vita dei materiali isolanti, vari fenomeni dannosi quali rammollimento dei materiali termoplastici, fragilità dei materiali termoindurenti, fusione di saldature dolci, ecc..

Le sollecitazioni dinamiche dipendono prevalentemente dal valore di cresta della prima onda di corrente e in maniera minore dalle successive; esse sottopongono i conduttori a forze di repulsione e attrazione.

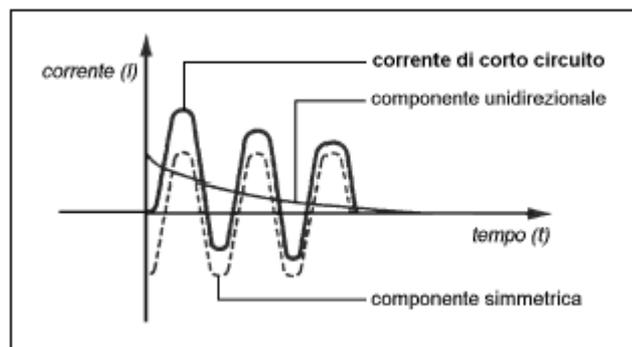
Per scegliere in modo appropriato le apparecchiature di protezione si deve determinare correttamente l'entità delle correnti di corto circuito nei vari punti dell'impianto e nelle condizioni più sfavorevoli di guasto. Tale analisi va effettuata per le situazioni estreme, corrispondenti rispettivamente al calcolo della corrente di corto circuito massima nel punto di

origine di ogni condotta e quella minima al suo termine (in corrispondenza dei morsetti di collegamento al successivo elemento della rete o dei morsetti di collegamento al carico).

La corrente di corto circuito massima in un sistema trifase si ha per corto circuito trifase nel punto di origine della condotta; la sua conoscenza è indispensabile per stabilire il potere di interruzione del dispositivo di protezione. La corrente di corto circuito minima si ha per guasto fase-fase o fase-neutro (se il neutro è distribuito) o per guasto fase-massa nel punto della condotta più lontano dall'origine: la sua conoscenza è richiesta per la verifica del corretto intervento delle protezioni in corrispondenza di tali valori di corrente.

A riguardo della corrente di corto circuito minima si rammenta che la norma 64-8 si limita a considerare il caso di guasto franco, cioè con impedenza del guasto trascurabile: ciò è giustificato dall'esigenza normativa di considerare situazioni ben individuabili. Quando si verificano guasti non franchi (ad esempio in presenza di arco elettrico o per guasti che interessano parte degli avvolgimenti di macchine elettriche) la corrente di corto circuito può essere inferiore a quella precedentemente citata, ma non è possibile determinarne a priori il valore essendo sconosciuta l'impedenza di guasto. La condotta è comunque protetta contro tale tipo di guasto se è presente anche la protezione da sovraccarico. L'andamento della corrente di corto circuito negli istanti immediatamente successivi al corto circuito è costituito dalla sommatoria di due termini:

- una componente simmetrica ad andamento sinusoidale che rappresenta la condizione di funzionamento a regime
- una componente unidirezionale transitoria il cui andamento dipende dal fattore di potenza del circuito e dall'istante in cui avviene il guasto.



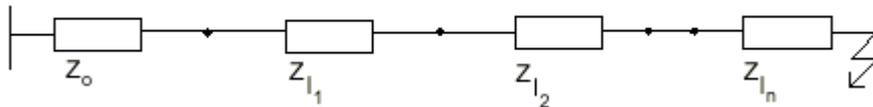
Ai fini della protezione dai corto circuiti in bassa tensione non si deve tenere conto del valore di picco della corrente di corto circuito (cioè dell'andamento transitorio) perché il potere di interruzione degli interruttori sono basati sulla componente simmetrica. Poiché il potere nominale d'interruzione su corto circuito, in corrente alternata, è espresso dal valore efficace della componente alternata della corrente di corto circuito presunta d'interruzione, le formule utilizzate determinano solo la componente simmetrica della corrente di guasto, trascurando quella unidirezionale.

Per ciascun tratto di linea del sistema, si devono calcolare i seguenti valori all'inizio e alla fine della stessa:

- corrente di corto circuito massima
- corrente di corto circuito massima fase-neutro o fase-fase (se il neutro non è distribuito)
- corrente di corto circuito minima fase-neutro o fase-fase (se il neutro non è distribuito)

Sistema TT

Impedenza della rete a monte del punto di consegna



Nel caso di sistema TT non si ha una propria cabina di trasformazione ma il punto di fornitura dell'energia elettrica è già in bassa tensione.

Per caratterizzare la rete a monte, si devono fornire i valori della corrente di corto circuito trifase ($I_{cco\ tr}$) e della corrente di corto circuito fase-neutro ($I_{cco\ f-n}$) nel punto di origine del sistema.

Dal valore $I_{cco\ tr}$, fornito dall'ente erogatrice di energia elettrica, si ricava l'impedenza totale a monte della rete a monte del punto di consegna:

$$Z_{of} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot I_{cco\ tr}} \quad [\Omega]$$

Per poter ripartire tal impedenza nelle sue componenti resistiva e reattiva è necessario conoscere anche il fattore di sfasamento nel punto di origine in caso di corto circuito ($\cos \Phi_{cco}$):

$$R_{of} = Z_{of} \cdot (\cos \Phi_{cco}) \quad [\Omega]$$

$$X_{of} = Z_{of} \cdot (\sin \Phi_{cco}) \quad [\Omega]$$

Si dovrà assegnare un opportuno valore al ($\cos \Phi_{cco}$) a seconda del valore di I_{cco} :

I_{cco} (KA)	$\cos \Phi_{cco}$
$I \leq 4.5$	0.8
$4.5 < I \leq 6$	0.7
$6 < I \leq 10$	0.5
$10 < I \leq 20$	0.3
$20 < I$	0.25

Dal valore $I_{cco\ f-n}$ si ricava l'impedenza del neutro a monte del punto di consegna. Tale valore è necessario per effettuare il calcolo della corrente di corto circuito in caso di guasto fase-neutro in un punto qualunque del sistema TT:

$$Z_{ofn} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot I_{cco\ f-n}} \quad [\Omega]$$

Z_{ofn} = somma delle impedenze di fase e di neutro a monte del punto di consegna

Assumendo un fattore di sfasamento determinato attraverso la tabella sopra riportata, si ricavano le componenti resistive e reattive della Z_{ofn} :

$$R_{ofn} = Z_{ofn} \cdot (\cos \Phi_{cco}) \quad [\Omega]$$

$$X_{ofn} = Z_{ofn} \cdot (\sin \Phi_{cco}) \quad [\Omega]$$

Il valore della resistenza e della reattanza del neutro sono ricavabili come differenza:

$$\begin{aligned} R_{on} &= R_{ofn} - R_{of} & [\Omega] \\ X_{on} &= X_{ofn} - X_{of} & [\Omega] \end{aligned}$$

In realtà, come mostrato nella formula successivamente riportata, per la determinazione della corrente di corto circuito tra fase e neutro, è sufficiente conoscere i valori di R_{ofn} e X_{ofn} , senza dover separare tali valori nei contributi dovuti alla fase e al neutro. A questo punto il calcolo delle correnti procede come per il sistema TN considerando oltre alle impedenze Z_{of} e Z_{ofn} , l'impedenza Z_l della linea di distribuzione e l'impedenza Z_{pe} del conduttore di protezione.

Correnti di corto circuito

le correnti di corto circuito nei sistemi TT si determinano mediante le seguenti formule:

corto circuito trifase

$$I_{cc\ tr} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{of} + R_l)^2 + (X_{of} + X_l)^2}} \quad [A]$$

corto circuito fase-fase

$$I_{cc\ f-f} = \frac{V_n}{2 \cdot \sqrt{(R_{of} + R_l)^2 + (X_{of} + X_l)^2}} \quad [A]$$

corto circuito fase-neutro

$$I_{cc\ f-n} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{ofn} + R_n + R_l)^2 + (X_{ofn} + X_n + X_l)^2}} \quad [A]$$

SCELTA DEGLI APPARECCHI DI MANOVRA E PROTEZIONE

Generalità

La scelta dei dispositivi di protezione, rivestendo questi un ruolo fondamentale per la sicurezza dell'impianto, degli utilizzatori e delle persone, costituisce un'altra fase fondamentale per la corretta progettazione di un impianto elettrico.

Protezione dai sovraccarichi

Si è analizzato al come il criterio base per il dimensionamento di una condotta sia correlato al legame esistente tra temperatura di esercizio del cavo e il decadimento nel tempo del materiale isolante: qualsiasi condizione di funzionamento che comporti un passaggio di corrente di valore superiore alla portata del cavo (I_z) ha come conseguenza una sovratemperatura rispetto alla temperatura massima consentita in servizio permanente e quindi determina una riduzione della vita del cavo. Il problema della protezione dai sovraccarichi delle condutture è quindi, per gli impianti elettrici in bassa tensione, essenzialmente un problema termico: si devono limitare le correnti in modo tale che il cavo non raggiunga, per effetto Joule, temperature tanto elevate da compromettere l'integrità e la durata dell'isolante; il danno che l'isolante può subire non dipende ovviamente solo dalle temperature raggiunte ma anche e soprattutto dalla durata della sollecitazione termica.

Per corrente di sovraccarico di una conduttura si intende qualsiasi corrente che risponda ai due seguenti requisiti:

- percorre un circuito elettricamente sano
- supera il valore della portata I_z della conduttura considerata

All'art. 433.1 della norma 64-8 si afferma che «devono essere previsti dispositivi di protezione per interrompere le correnti di sovraccarico dei conduttori del circuito prima che tali correnti possano provocare un riscaldamento nocivo all'isolamento, ai collegamenti, ai terminali o all'ambiente circostante le condutture».

Poiché la corrente di sovraccarico può essere originata da cause diverse è necessario distinguere in:

- corrente di sovraccarico di natura "funzionale" prevista nell'ambito dell'esercizio ordinario dell'impianto (ad esempio avviamento di motori)
- corrente di sovraccarico di natura "anomala" dovuta ad irregolari funzionamenti del sistema elettrico (variazioni nella tensione di alimentazione che perdurano nel tempo, inserimento contemporaneo di troppi carichi, motori con rotore bloccato, ecc.)

Mentre la prima deve essere sopportata dalla conduttura senza provocare l'intervento delle protezioni, la seconda deve essere necessariamente interrotta se supera determinati valori di intensità e durata.

Scelta del dispositivo di protezione

Le due condizioni fondamentali da rispettare per una corretta scelta del dispositivo di protezione dal sovraccarico sono [64-8 art. 433.2]:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_f \leq 1.45 \cdot I_z \quad (2)$$

In tali relazioni compaiono, oltre alla corrente di impiego [par. 2.2] e alla portata della conduttura [par.2.3.1], la corrente nominale (I_n) e la corrente di intervento (I_f) del dispositivo di protezione [corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite].

La relazione (1) e' formata da tre disequazioni:

a) la portata della conduttura deve essere maggiore o quanto meno uguale alla corrente d'impiego; si è già visto al par. 2.3.1 sul dimensionamento dei cavi come la relazione fondamentale da soddisfare sia:

$$I_b \leq I_z$$

b) il dispositivo posto a protezione della linea deve avere una corrente nominale tale da lasciar passare permanentemente la corrente di normale funzionamento dei carichi:

$$I_b \leq I_n$$

c) la terza relazione deriva dalla considerazione che l'apparecchio di protezione deve interrompere le eventuali correnti superiori alla portata del cavo, cioè:

$$I_n \leq I_z$$

E' importante osservare che il rapporto I_f / I_n per gli interruttori rispondenti alla norma CEI EN 60898 e alle norme CEI EN 60947 è sempre inferiore o uguale a 1.45. Ne consegue che per qualunque interruttore costruito secondo tali norme, risulta automaticamente soddisfatta la relazione:

$$I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

e pertanto ne deriva che la scelta dell'interruttore automatico può essere fatta soddisfacendo solo la relazione (1).

Protezione dai corto circuiti

Negli impianti elettrici «devono essere previsti dispositivi di protezione per interrompere le correnti di corto circuito dei conduttori prima che tali correnti possano diventare pericolose a causa degli effetti termici e meccanici prodotti nei conduttori e nelle connessioni» [64-8 art. 434.1].

Il corto circuito va interrotto in tempi brevissimi, durante i quali sono ammesse delle temperature maggiori di quelle consentite nelle normali condizioni di esercizio (in caso di corto circuito si ammette una temperatura massima di 160°C per cavi in PVC e di 250°C per cavi in EPR).

Scelta del dispositivo di protezione

I dispositivi idonei alla protezione contro i corto circuiti devono rispondere alle seguenti condizioni [64-8 art. 434.2]:

a) avere un potere di interruzione (P_i) non inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione ($I_{cc\ max}$) (tranne quando si effettua la protezione serie [par. 5.2]):

$$I_{cc\ max} \leq P_i \quad (1)$$

b) intervenire in modo tale che tutte le correnti provocate da un corto circuito che si presenti in un punto qualsiasi del circuito siano interrotte in un tempo non superiore a quello che porta i conduttori alla temperatura massima ammissibile. Al fine di verificare tale condizione è necessario soddisfare, per ogni valore possibile di corto circuito, alla seguente condizione:

$$(I^2t) \leq K^2 S^2 \quad (2)$$

il termine (I^2t) è l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di interruzione (integrale di Joule) e corrisponde all'integrale rispetto al tempo del quadrato del valore istantaneo della corrente, valutato in un opportuno intervallo di tempo che si estende dall'istante in cui si stabilisce la sovracorrente sino alla sua interruzione:

$$(I^2t) = \int_0^t i^2 dt$$

Per le considerazioni in oggetto, fissate determinate condizioni di funzionamento, ciò che interessa conoscere è la curva che fornisce i valori massimi di (I^2t) in funzione della corrente di corto circuito presunta.

L'energia specifica è una grandezza introdotta dalle Norme per valutare l'entità dell'energia termica specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione durante il corto circuito. Dimensionalmente non è una grandezza fisicamente indicativa (A^2s) ma lo diventa quando è moltiplicata per la resistenza dell'elemento interessato, determinando così l'energia sviluppata dalla corrente di corto circuito all'interno di esso.

Per i corto circuiti di durata compresa tra 0.1 s e 5 s il valore di (I^2t) si può ottenere assumendo per la I il valore efficace in ampere della corrente di corto circuito e per t la durata, in secondi, del corto circuito stesso; per durate molto brevi (< 0.1 s) dove l'asimmetria della corrente è notevole, e per i dispositivi di protezione limitatori di corrente,

il valore di (I^2t) lasciato passare deve essere indicato dal costruttore del dispositivo di protezione.

Il termine K^2S^2 rappresenta il massimo valore di energia specifica che il cavo è in grado di sopportare, supponendo un funzionamento adiabatico. Tale valore, moltiplicato per la resistenza del conduttore, determina il calore che, dissipato per effetto joule nel conduttore, porta il cavo alla massima temperatura ammissibile in caso di corto circuito (pari a 70°C per cavi con isolamento in PVC e a 90°C per cavi in EPR).

E' importante osservare che il termine K^2S^2 risulta essere indipendente dal tipo di posa del cavo in quanto, non avendo considerato lo scambio termico con l'ambiente (funzionamento adiabatico), è ininfluente la conoscenza del valore di conduttività termica tra conduttura e ambiente circostante.

La formula (2) esprime chiaramente che se l'integrale di Joule lasciato passare dal dispositivo di protezione non supera il valore K^2S^2 ammesso dal conduttore la protezione è assicurata in quanto la temperatura del cavo si mantiene inferiore al massimo valore ammissibile.

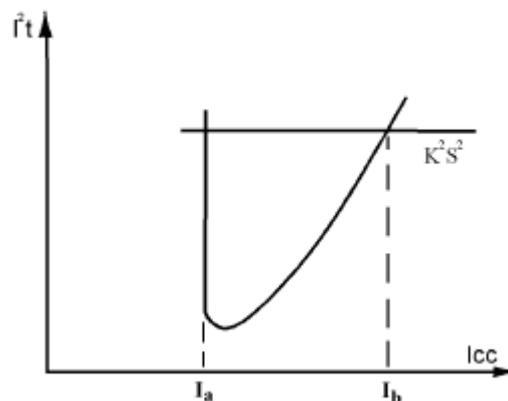
Il termine K^2S^2 risulta composto da due termini:

- S sezione del conduttore [mm^2]
- K coefficiente che tiene conto del materiale conduttore e delle caratteristiche termiche dell'isolante; è funzione di vari parametri quali:
 - calore specifico medio del materiale conduttore
 - resistività del materiale conduttore
 - temperatura iniziale e finale del conduttore

La norma 64-8 riporta i valori da assumere per il coefficiente K per i vari tipi di cavo; essi sono:

- 115 per i cavi in rame isolati in PVC
- 143 per i cavi in rame isolati in EPR
- 76 per i cavi in alluminio isolati in PVC
- 94 per i cavi in alluminio isolati in EPR

Se la protezione da corto circuito viene effettuata mediante interruttori con sola protezione magnetica, al fine di verificare la (2), si traccia sul diagramma ($I^2t - I_{cc}$) dell'interruttore la retta corrispondente al (K^2S^2) del cavo:



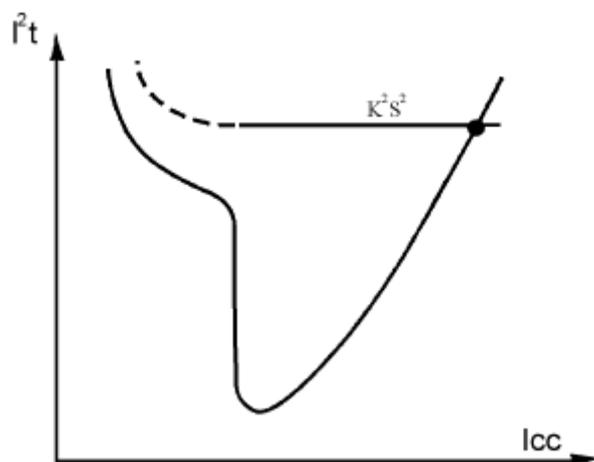
Le due punti di intersezione individuano i punti I_a e I_b . Per correnti di corto circuito comprese tra questi due valori il cavo è protetto mentre per valori esterni non si ha protezione in quanto l'energia specifica che l'interruttore lascerebbe passare è superiore a quella sopportabile dal cavo. Al fine di avere una protezione totale dai corto circuiti è perciò necessario che risultino:

$$I_{cc \min} \geq I_a \qquad I_{cc \max} \leq I_b \qquad (3)$$

essendo $I_{cc \min}$ e $I_{cc \max}$ rispettivamente la minima e la massima corrente di corto circuito presunta al termine e all'inizio della condotta.

Nel caso di linea protetta solo da interruttore magnetico, una volta fissata la sezione dei cavi e il tipo di apparecchio posto a protezione, viene implicitamente imposto anche un vincolo alla lunghezza massima della linea da proteggere; infatti all'aumentare della lunghezza della condotta necessariamente diminuiscono i valori di corto circuito per guasto in fondo alla linea, quando tali valori raggiungono I_a non è possibile allungare ulteriormente il cavo previo un mancato intervento del relè magnetico.

Se invece la linea è protetta da un interruttore magnetotermico che pertanto garantisce la protezione anche nel caso di sovraccarico, è necessario effettuare solo la verifica della $I_{cc \max}$ nella formula (3) in quanto per qualsiasi corrente di corto circuito per guasto all'estremità della linea di valore tale da non provocare l'intervento del relè magnetico, la linea è comunque protetta dal relè termico:



Protezione dai contatti indiretti

La protezione contro i contatti indiretti consiste nel prendere le misure intese a proteggere le persone contro i pericoli risultanti dal contatto con parti conduttrici che possono andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale.

I metodi di protezione contro i contatti indiretti sono classificati come segue:

- a) protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione
- b) protezione senza interruzione automatica del circuito (doppio isolamento, separazione elettrica, locali isolati, locali equipotenziali)
- c) alimentazione a bassissima tensione

Sistema TT

La norma 64-8 [art. 413.1.4] nel caso di sistemi TT prevede che per attuare la protezione dai contatti indiretti deve essere soddisfatta la condizione:

$$R_A \leq \frac{50}{I_a} \quad (1)$$

- dove:
- R_A è la somma delle resistenze, in ohm
 - I_a è la corrente che provoca il funzionamento automatico del dispositivo di protezione, in ampere.

Quando il dispositivo di protezione è un dispositivo di protezione a corrente differenziale, I_a è la corrente nominale differenziale I_{Dn} .

Quando il dispositivo di protezione è un dispositivo di protezione contro le sovracorrenti, esso deve essere:

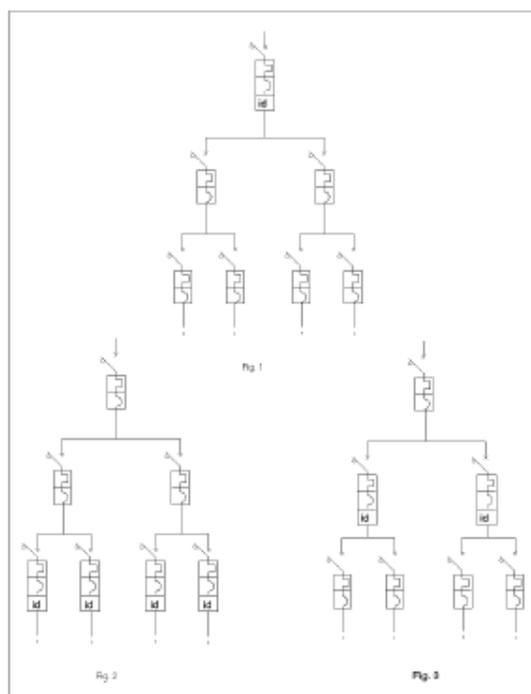
- un dispositivo avente una caratteristica di funzionamento a tempo inverso, ed in questo caso I_a deve essere la corrente che ne provoca il funzionamento automatico entro 5 s
- un dispositivo con una caratteristica di funzionamento a scatto istantaneo ed in questo caso I_a deve essere la corrente minima che ne provoca lo scatto istantaneo.

Da ciò deriva che il valore di R_t risulta notevolmente diverso impiegando interruttori magnetotermici o differenziali. Infatti con i primi si richiedono valori di resistenza di terra molto bassi, anche inferiori all'ohm, mentre per i secondi si possono realizzare impianti di terra con resistenza anche dell'ordine del migliaio di Ohm. Considerando la grande difficoltà per ottenere e mantenere nel tempo livelli di R_t così bassi da garantire la protezione con interruttori automatici magnetotermici, l'impiego del differenziale diventa pressoché indispensabile.

Per tale motivo, per la protezione delle linee nei sistemi TT, l'utilizzo dei differenziali: essi devono essere posti all'interno di ciascun quadro in modo che le linee in uscita da esso siano tutte protette. L'operatore può scegliere a quali interruttori magnetotermici abbinare i differenziali: può inserire ad esempio un differenziale sull'interruttore in ingresso (fig.1) o su tutte le partenze del quadro (fig.2) o in generale su qualunque combinazione attraverso la quale le linee in uscita dal quadro siano tutte protette da un differenziale contenuto all'interno del quadro stesso (fig.3).

La protezione dai contatti indiretti è sicuramente soddisfatta quando risulta vera la relazione:

$$R_t \leq \frac{50}{I_{\Delta}}$$



DIMENSIONAMENTO DEL CONDUTTORE DI PROTEZIONE E DI NEUTRO

Generalità

Il dimensionamento dei conduttori di protezione e di neutro può comportare, in determinate condizioni e dopo opportune verifiche, l'impiego di sezioni di valore inferiore a quella dei rispettivi conduttori di fase. In questo capitolo vengono esaminati quali sono i metodi proposti dalla norma 64-8 che, considerando le caratteristiche delle linee in esame e i tipi di apparecchi posti a loro protezione, determinano le sezioni minime del PE e del neutro che assicurano le condizioni di protezione e sicurezza previste dalla normativa.

Conduttore di protezione

Determinazione della sezione

La norma 64-8 art. 543.1 riporta due metodi per il dimensionamento del conduttore di protezione (PE):

a) La sezione del conduttore di protezione (S_p) non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K} \quad (1)$$

La formula (1) può essere riscritta nel modo seguente:

$$(I^2 t) = K^2 S_p^2 \quad (2)$$

Tenendo presente che le sezioni dei cavi aumentano per valori discreti possiamo più realisticamente scrivere:

$$(I^2 t) \leq K^2 S_p^2 \quad (3)$$

la (3) non è altro che la stessa formula analizzata al par. 4.3.1 per garantire la protezione dei conduttori dai corto circuiti: la sezione del PE viene determinata in modo da garantire il non superamento durante il guasto della temperatura ammessa in caso di corto circuito.

Il termine $(I^2 t)$ che compare nella (1) rappresenta (come espresso dettagliatamente al par. 4.3.1) l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione; il coefficiente K tiene conto del tipo di isolante, del materiale conduttore, delle temperature iniziali e finali in caso di guasto.

La norma 64-8 riporta i valori da utilizzare per K nel caso in cui il PE sia un cavo unipolare, l'anima di un cavo multipolare, il rivestimento metallico o l'armatura di un cavo, un conduttore nudo: esso assume valori diversi nei vari casi sia per la presenza o meno di materiale isolante, sia perché si suppone una diversa temperatura iniziale del conduttore da cui deriva una minore o maggiore quantità di energia specifica supportabile dallo stesso. Si assume il valore di K proposto nel caso di anima di cavo multipolare ($K = 115$ per cavi in PVC; $K = 143$ per cavi in EPR); tali valori, coincidenti con quelli utilizzati per la protezione delle fasi della linea dai corto circuiti, sono i più restrittivi tra quelli proposti dalla norma in quanto ipotizzano una temperatura iniziale del conduttore di protezione pari alla massima temperatura ammissibile in servizio permanente e tali perciò da garantire sempre un corretto dimensionamento del PE.

Si osserva infine come la formula (1) non sia precisa in quanto la sezione S_p dipende dal valore di corrente di corto circuito, ma questo valore dipende a sua volta dal valore della

sezione del PE.

b) La sezione dei conduttori di protezione può essere determinata facendo riferimento alla seguente tabella, in questo caso non è necessaria la verifica attraverso l'applicazione della formula (1). Se dall'applicazione della tabella risulta una sezione non unificata, deve essere adottata la sezione unificata più vicina al valore calcolato.

Sezione dei conduttori di fase (mm ²)	Sezione minima del conduttore di protezione (mm ²)
$S_f \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S_f \leq 35$	16
$S_f > 35$	$S_p = S/2$

Conduttore di neutro

Determinazione della sezione

La norma 64.8 agli art. 524.2 e 524.3 riporta i criteri da adottare per il dimensionamento del neutro.

L'eventuale conduttore di neutro deve avere la stessa sezione dei conduttori di fase:

- nei circuiti monofase a due fili, qualunque sia la sezione dei conduttori
- nei circuiti trifase quando la dimensione dei conduttori di fase sia inferiore od uguale a 16 mm² se in rame od a 25 mm² se in alluminio

Nei circuiti trifase i cui conduttori di fase abbiano una sezione superiore a 16 mm² se in rame od a 25 mm² se in alluminio il conduttore di neutro può avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte contemporaneamente le seguenti condizioni:

- la corrente massima, comprese le eventuali armoniche, che si prevede possa percorrere il conduttore di neutro durante il servizio ordinario, non sia superiore alla corrente ammissibile corrispondente alla sezione ridotta del conduttore di neutro (la corrente che fluisce nel circuito nelle condizioni di servizio ordinario deve essere praticamente equilibrata tra le fasi);
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mm² se in rame e 25mm² se in alluminio

All'art. 473.3.2 della norma 64-8 vengono riportate le seguenti prescrizioni per la protezione del conduttore di neutro:

a) quando la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale od equivalente a quella dei conduttori di fase, non è necessario prevedere la rilevazione delle sovracorrenti sul conduttore di neutro ne' un dispositivo di interruzione sullo stesso conduttore quando la sezione del conduttore di neutro sia inferiore a quella dei conduttori di fase, è necessario prevedere la rilevazione delle sovracorrenti sul conduttore di neutro, adatta alla sezione di questo conduttore: questa rilevazione deve provocare l'interruzione dei conduttori di fase, ma non necessariamente quella del conduttore di neutro.

b) non è necessario tuttavia prevedere la rilevazione delle sovracorrenti sul conduttore di neutro se sono soddisfatte contemporaneamente le due seguenti condizioni:

- il conduttore di neutro è protetto contro i cortocircuiti dal dispositivo di protezione dei conduttori di fase del circuito
- la massima corrente che può attraversare il conduttore di neutro in servizio ordinario è chiaramente inferiore alla portata di questo conduttore.

Nei sistemi trifasi equilibrati per poter ridurre la sezione del conduttore di neutro rispetto a quella dei conduttori di fase è quindi necessario che sia garantita la sua protezione dai corto circuiti.

Come per il conduttore di protezione si utilizza una sezione minima del neutro che non è

mai inferiore a metà di quella del conduttore di fase.

Tale scelta è l'unica possibile nel caso di sistema TT; si è infatti visto al par. 6.2.1 come questa sia la sola opzione abilitata per la determinazione della sezione del conduttore di protezione; per uniformità si è deciso di applicare questo vincolo anche al dimensionamento del neutro (a differenza del PE la sezione scelta inizialmente viene però verificata e, se necessario, opportunamente aumentata) Maggiori chiarimenti sulle differenze che comportano queste scelte sono riportate di seguito dove sono analizzati i vari tipi di circuito di cui si vuole determinare la sezione del neutro; si possono verificare le seguenti quattro possibilità:

a) linea monofase

la sezione del neutro viene assunta uguale a quella della fase e non si effettua alcuna verifica

b) linea trifase con conduttori di fase di sezione: $S < 16 \text{ mm}^2$

la sezione del neutro viene assunta uguale a quella delle fasi e non si effettua alcuna verifica

c) linea trifase con conduttori di fase di sezione: $16 \text{ mm}^2 < S < 35 \text{ mm}^2$

la sezione del neutro viene opportunamente calcolata garantendo una sezione minima di 16 mm^2 ; in questo caso la scelta tra "N-PE calcolati" e "N-PE $\frac{1}{2}$ fase" porta a identici risultati perché per entrambi la sezione minima possibile è 16 mm^2

d) linea trifase con conduttori di fase di sezione: $S > 35 \text{ mm}^2$.

RISULTATO DEL CALCOLO ELETTRICO

Di seguito si riportano i calcoli per l'impianto oggetto dell'intervento

Progetto: INSTALLAZIONE DI UN SISTEMA DI ACCUMULO NELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO ESISTENTE NELLA SCUOLA MEDIA "VIA BIXIO

Dati Impianto

Tensione [V] : 400/230
Sistema di distribuzione : TT
Norma di calcolo : CEI 64-8
Norma posa cavi : CEI UNEL 35024

Alimentazione in BT

Corrente di corto circuito presunta nel punto di consegna		
Corrente di corto circuito trifase :	10,00	
Corrente di corto circuito monofase :	6,00	
Contributo motori alla corrente di C.to C.to	Potenza motori	Coefficiente motori

Quadro N° 1: SQ1 - sottoquadro esistente-

Dati Impianto

Tensione [V] :	400/230
Sistema di distribuzione :	TT
P.I. secondo norma :	CEI EN 60898 - ICU

Linea: 1

Descrizione del carico:

Fasi della linea:	L1L2L3N
Potenza nominale	20,00
Cos(Φ)	0,90
Coeff. Ku/Kc	1/1
Armoniche	TH<=15%
Corrente - Cos(Φ) L1 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L2 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L3 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente N (A):	7,672749E-12

Lunghezza della linea (m):	1,00
Tipologia cavo:	Unipolare senza guaina
Gruppo di posa:	In tubo
Tipo di posa:	5 - In tubi protettivi annegati nella muratura
Conduttore:	CU
Isolante	PVC

Temperatura ambiente:	30
K utente:	1,00
K temperatura:	1,00
Num. circuiti raggruppati/ Num. passerelle	1/0
Cdt massima ammessa (%):	3,00
Cdt effettiva/totale (%):	0,62 / 0,62
Sez. conduttori di fase:	1 // 10
Sez. conduttori di neutro/PEN:	1 // 10
Sez. conduttori di PE:	1 // 10
Portata Iz (A):	50

Corrente di cortocircuito trifase massima:	inizio linea 9,48 kA	fine linea 3,64 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro massima:	inizio linea 5,62 kA	fine linea 1,91 kA
Corrente di corto circuito fase/fase massima:	inizio linea 8,24 kA	fine linea 3,16 kA
Corrente di corto circuito fase/PE massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro minima:	inizio linea 5,62 kA	fine linea 1,91 kA
Corrente di corto circuito fase/fase minima:	inizio linea 8,24 kA	fine linea 3,16 kA
Corrente di corto circuito fase/PE minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA

Articolo: FH84C40 + G43AC63 - Nuovo Btdin 100 caratt. "C" + modulo diff. tipo "AC" - 4 Poli 7 Moduli

Corrente regolata Ir [A]:	1 * 40
Intervento magnetico Im (A)	360,00
Ritardo magnetico (s)	0,01
Corrente differenziale (A)	0,03
Ritardo differenziale (s)	0,00
Potere d'interruzione dell'apparecchio (kA):	10,00
Valore di backup:	4,50
Valore di selettività:	

Quadro N° 2: Q2 - QUADRO PARALLELO INVERTER -

Dati Impianto

Tensione [V] :	400/230
Sistema di distribuzione :	TT
P.I. secondo norma :	CEI EN 60898 - ICU

Linea: 1

Descrizione del carico:

Fasi della linea:	L1L2L3N
Potenza nominale	20,00
Cos(Φ)	0,90
Coeff. Ku/Kc	1/1
Armoniche	TH<=15%
Corrente - Cos(Φ) L1 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L2 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L3 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente N (A):	7,672749E-12

Lunghezza della linea (m):	1,00
Tipologia cavo:	Unipolare senza guaina
Gruppo di posa:	In tubo
Tipo di posa:	5 - In tubi protettivi annegati nella muratura
Conduttore:	CU
Isolante	PVC

Temperatura ambiente:	30
K utente:	1,00
K temperatura:	0,00
Num. circuiti raggruppati/ Num. passerelle	1/0
Cdt massima ammessa (%):	3,00
Cdt effettiva/totale (%):	0 / 0,62
Sez. conduttori di fase:	
Sez. conduttori di neutro/PEN:	
Sez. conduttori di PE:	
Portata Iz (A):	0

Corrente di cortocircuito trifase massima:	inizio linea 3,64 kA	fine linea 3,56 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro massima:	inizio linea 1,91 kA	fine linea 1,86 kA
Corrente di corto circuito fase/fase massima:	inizio linea 3,16 kA	fine linea 3,10 kA
Corrente di corto circuito fase/PE massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro minima:	inizio linea 1,91 kA	fine linea 1,86 kA
Corrente di corto circuito fase/fase minima:	inizio linea 3,16 kA	fine linea 3,10 kA
Corrente di corto circuito fase/PE minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA

Articolo: FC4A4/230N -

Corrente regolata Ir [A]:	1 * 40
Intervento magnetico Im (A)	0,00
Ritardo magnetico (s)	
Corrente differenziale (A)	
Ritardo differenziale (s)	
Potere d'interruzione dell'apparecchio (kA):	0,00
Valore di backup:	
Valore di selettività:	

Linea: 2

Descrizione del carico:

Fasi della linea:	L1L2L3N
Potenza nominale	20,00
Cos(Φ)	0,90
Coeff. Ku/Kc	1/1
Armoniche	TH<=15%
Corrente - Cos(Φ) L1 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L2 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L3 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente N (A):	7,672749E-12

Lunghezza della linea (m):	1,00
Tipologia cavo:	Unipolare senza guaina
Gruppo di posa:	In tubo
Tipo di posa:	5 - In tubi protettivi annegati nella muratura
Conduttore:	CU
Isolante	PVC

Temperatura ambiente:	30
K utente:	1,00
K temperatura:	0,00
Num. circuiti raggruppati/ Num. passerelle	1/0
Cdt massima ammessa (%):	3,00
Cdt effettiva/totale (%):	0 / 0,62
Sez. conduttori di fase:	
Sez. conduttori di neutro/PEN:	
Sez. conduttori di PE:	
Portata Iz (A):	0

Corrente di cortocircuito trifase massima:	inizio linea 3,56 kA	fine linea 3,14 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro massima:	inizio linea 1,86 kA	fine linea 1,63 kA
Corrente di corto circuito fase/fase massima:	inizio linea 3,10 kA	fine linea 2,73 kA
Corrente di corto circuito fase/PE massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro minima:	inizio linea 1,86 kA	fine linea 1,63 kA
Corrente di corto circuito fase/fase minima:	inizio linea 3,10 kA	fine linea 2,73 kA
Corrente di corto circuito fase/PE minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA

Articolo: -

Corrente regolata Ir [A]:	1 * 6
Intervento magnetico Im (A)	0,00
Ritardo magnetico (s)	
Corrente differenziale (A)	
Ritardo differenziale (s)	
Potere d'interruzione dell'apparecchio (kA):	0,00
Valore di backup:	
Valore di selettività:	

Linea: 3

Descrizione del carico:

Fasi della linea:	L1L2L3N
Potenza nominale	20,00
Cos(Φ)	0,90
Coeff. Ku/Kc	1/1
Armoniche	TH<=15%
Corrente - Cos(Φ) L1 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L2 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L3 (A):	32,11 - 0,9 - R
Corrente N (A):	7,672749E-12

Lunghezza della linea (m):	1,00
Tipologia cavo:	Unipolare senza guaina
Gruppo di posa:	In tubo
Tipo di posa:	5 - In tubi protettivi annegati nella muratura
Conduttore:	CU
Isolante	PVC

Temperatura ambiente:	30
K utente:	1,00
K temperatura:	0,00
Num. circuiti raggruppati/ Num. passerelle	1/0
Cdt massima ammessa (%):	3,00
Cdt effettiva/totale (%):	0 / 0,62
Sez. conduttori di fase:	
Sez. conduttori di neutro/PEN:	
Sez. conduttori di PE:	
Portata Iz (A):	0

Corrente di cortocircuito trifase massima:	inizio linea 3,14 kA	fine linea 3,09 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro massima:	inizio linea 1,63 kA	fine linea 1,60 kA
Corrente di corto circuito fase/fase massima:	inizio linea 2,73 kA	fine linea 2,68 kA
Corrente di corto circuito fase/PE massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro minima:	inizio linea 1,63 kA	fine linea 1,60 kA
Corrente di corto circuito fase/fase minima:	inizio linea 2,73 kA	fine linea 2,68 kA
Corrente di corto circuito fase/PE minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA

Articolo: FA84C40 - Nuovo Btdin 45 caratteristica "C" - 4 Poli 4 Moduli

Corrente regolata Ir [A]:	1 * 40
Intervento magnetico Im (A)	360,00
Ritardo magnetico (s)	0,01
Corrente differenziale (A)	
Ritardo differenziale (s)	
Potere d'interruzione dell'apparecchio (kA):	4,50
Valore di backup:	
Valore di selettività:	

Linea: 4

Descrizione del carico:

Fasi della linea:	L1L2L3N
Potenza nominale	0,00
Cos(Φ)	0,00
Coeff. Ku/Kc	0/0
Armoniche	TH<=15%
Corrente - Cos(Φ) L1 (A):	0 - 0
Corrente - Cos(Φ) L2 (A):	0 - 0
Corrente - Cos(Φ) L3 (A):	0 - 0
Corrente N (A):	0

Lunghezza della linea (m):	0,00
Tipologia cavo:	Unipolare senza guaina
Gruppo di posa:	In tubo
Tipo di posa:	5 - In tubi protettivi annegati nella muratura
Conduttore:	
Isolante	

Temperatura ambiente:	30
K utente:	0,00
K temperatura:	0,00
Num. circuiti raggruppati/ Num. passerelle	0/0
Cdt massima ammessa (%):	3,00
Cdt effettiva/totale (%):	0 / 0,62
Sez. conduttori di fase:	
Sez. conduttori di neutro/PEN:	
Sez. conduttori di PE:	
Portata Iz (A):	0

Corrente di cortocircuito trifase massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di corto circuito fase/fase massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di corto circuito fase/PE massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di corto circuito fase/fase minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di corto circuito fase/PE minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA

Articolo: F10A/4 -

Corrente regolata Ir [A]:	1 * 0
Intervento magnetico Im (A)	0,00
Ritardo magnetico (s)	
Corrente differenziale (A)	
Ritardo differenziale (s)	
Potere d'interruzione dell'apparecchio (kA):	0,00
Valore di backup:	
Valore di selettività:	

Linea: 5 INVERTER IBRIDO 6 kW

Descrizione del carico: INVERTER IBRIDO 6 kW

Fasi della linea:	L1L2L3N
Potenza nominale	6,00
Cos(Φ)	0,90
Coeff. Ku/Kc	1/1
Armoniche	TH<=15%
Corrente - Cos(Φ) L1 (A):	9,63 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L2 (A):	9,63 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L3 (A):	9,63 - 0,9 - R
Corrente N (A):	0

Lunghezza della linea (m):	5,00
Tipologia cavo:	Unipolare senza guaina
Gruppo di posa:	In tubo
Tipo di posa:	31 - In canali posati su parete con percorso orizzontale
Conduttore:	CU
Isolante	EPR

Temperatura ambiente:	30
K utente:	1,00
K temperatura:	1,00
Num. circuiti raggruppati/ Num. passerelle	1/0
Cdt massima ammessa (%):	3,00
Cdt effettiva/totale (%):	0,14 / 0,75
Sez. conduttori di fase:	1 // 4
Sez. conduttori di neutro/PEN:	1 // 4
Sez. conduttori di PE:	1 // 4
Portata Iz (A):	37

Corrente di cortocircuito trifase massima:	inizio linea 3,09 kA	fine linea 2,11 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro massima:	inizio linea 1,60 kA	fine linea 1,08 kA
Corrente di corto circuito fase/fase massima:	inizio linea 2,68 kA	fine linea 1,83 kA
Corrente di corto circuito fase/PE massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro minima:	inizio linea 1,60 kA	fine linea 1,08 kA
Corrente di corto circuito fase/fase minima:	inizio linea 2,68 kA	fine linea 1,83 kA
Corrente di corto circuito fase/PE minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA

Articolo: FA84C16 + G43AC32 - Nuovo Btdin 45 caratt. "C" + modulo diff. tipo "AC" - 4 Poli 6 Moduli

Corrente regolata Ir [A]:	1 * 16
Intervento magnetico Im (A)	144,00
Ritardo magnetico (s)	0,01
Corrente differenziale (A)	0,03
Ritardo differenziale (s)	0,00
Potere d'interruzione dell'apparecchio (kA):	4,50
Valore di backup:	
Valore di selettività:	0,3

Linea: 6 INVERTER IBRIDO 6 kW

Descrizione del carico: INVERTER IBRIDO 6 kW

Fasi della linea:	L1L2L3N
Potenza nominale	6,00
Cos(Φ)	0,90
Coeff. Ku/Kc	1/1
Armoniche	TH<=15%
Corrente - Cos(Φ) L1 (A):	9,63 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L2 (A):	9,63 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L3 (A):	9,63 - 0,9 - R
Corrente N (A):	0

Lunghezza della linea (m):	5,00
Tipologia cavo:	Unipolare senza guaina
Gruppo di posa:	In tubo
Tipo di posa:	31 - In canali posati su parete con percorso orizzontale
Conduttore:	CU
Isolante	EPR

Temperatura ambiente:	30
K utente:	1,00
K temperatura:	1,00
Num. circuiti raggruppati/ Num. passerelle	1/0
Cdt massima ammessa (%):	3,00
Cdt effettiva/totale (%):	0,14 / 0,75
Sez. conduttori di fase:	1 // 4
Sez. conduttori di neutro/PEN:	1 // 4
Sez. conduttori di PE:	1 // 4
Portata Iz (A):	37

Corrente di cortocircuito trifase massima:	inizio linea 3,09 kA	fine linea 2,11 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro massima:	inizio linea 1,60 kA	fine linea 1,08 kA
Corrente di corto circuito fase/fase massima:	inizio linea 2,68 kA	fine linea 1,83 kA
Corrente di corto circuito fase/PE massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro minima:	inizio linea 1,60 kA	fine linea 1,08 kA
Corrente di corto circuito fase/fase minima:	inizio linea 2,68 kA	fine linea 1,83 kA
Corrente di corto circuito fase/PE minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA

Articolo: FA84C16 + G43AC32 - Nuovo Btdin 45 caratt. "C" + modulo diff. tipo "AC" - 4 Poli 6 Moduli

Corrente regolata Ir [A]:	1 * 16
Intervento magnetico Im (A)	144,00
Ritardo magnetico (s)	0,01
Corrente differenziale (A)	0,03
Ritardo differenziale (s)	0,00
Potere d'interruzione dell'apparecchio (kA):	4,50
Valore di backup:	
Valore di selettività:	0,3

Linea: 7 INVERTER IBRIDO 8 kW

Descrizione del carico: INVERTER IBRIDO 8 kW

Fasi della linea:	L1L2L3N
Potenza nominale	8,00
Cos(Φ)	0,90
Coeff. Ku/Kc	1/1
Armoniche	TH \leq 15%
Corrente - Cos(Φ) L1 (A):	12,85 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L2 (A):	12,85 - 0,9 - R
Corrente - Cos(Φ) L3 (A):	12,85 - 0,9 - R
Corrente N (A):	0

Lunghezza della linea (m):	5,00
Tipologia cavo:	Unipolare senza guaina
Gruppo di posa:	In tubo
Tipo di posa:	31 - In canali posati su parete con percorso orizzontale
Conduttore:	CU
Isolante	EPR

Temperatura ambiente:	30
K utente:	1,00
K temperatura:	1,00
Num. circuiti raggruppati/ Num. passerelle	1/0
Cdt massima ammessa (%):	3,00
Cdt effettiva/totale (%):	0,18 / 0,8
Sez. conduttori di fase:	1 // 4
Sez. conduttori di neutro/PEN:	1 // 4
Sez. conduttori di PE:	1 // 4
Portata Iz (A):	37

Corrente di cortocircuito trifase massima:	inizio linea 3,09 kA	fine linea 2,11 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro massima:	inizio linea 1,60 kA	fine linea 1,08 kA
Corrente di corto circuito fase/fase massima:	inizio linea 2,68 kA	fine linea 1,83 kA
Corrente di corto circuito fase/PE massima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA
Corrente di cortocircuito fase/neutro minima:	inizio linea 1,60 kA	fine linea 1,08 kA
Corrente di corto circuito fase/fase minima:	inizio linea 2,68 kA	fine linea 1,83 kA
Corrente di corto circuito fase/PE minima:	inizio linea 0,00 kA	fine linea 0,00 kA

Articolo: FA84C16 + G43AC32 - Nuovo Btdin 45 caratt. "C" + modulo diff. tipo "AC" - 4 Poli 6 Moduli

Corrente regolata Ir [A]:	1 * 16
Intervento magnetico Im (A)	144,00
Ritardo magnetico (s)	0,01
Corrente differenziale (A)	0,03
Ritardo differenziale (s)	0,00
Potere d'interruzione dell'apparecchio (kA):	4,50
Valore di backup:	
Valore di selettività:	0,3

CALCOLO ELETTRICO LATO CORRENTE CONTINUA

Protezione dei cavi dalle sovracorrenti lato Corrente Continua

Dal punto di vista della protezione contro i sovraccarichi, non è necessario proteggere i cavi (CEI 64-8/7) se essi sono scelti con una portata non inferiore alla corrente massima che li può interessare ($1.25 I_{sc}$).

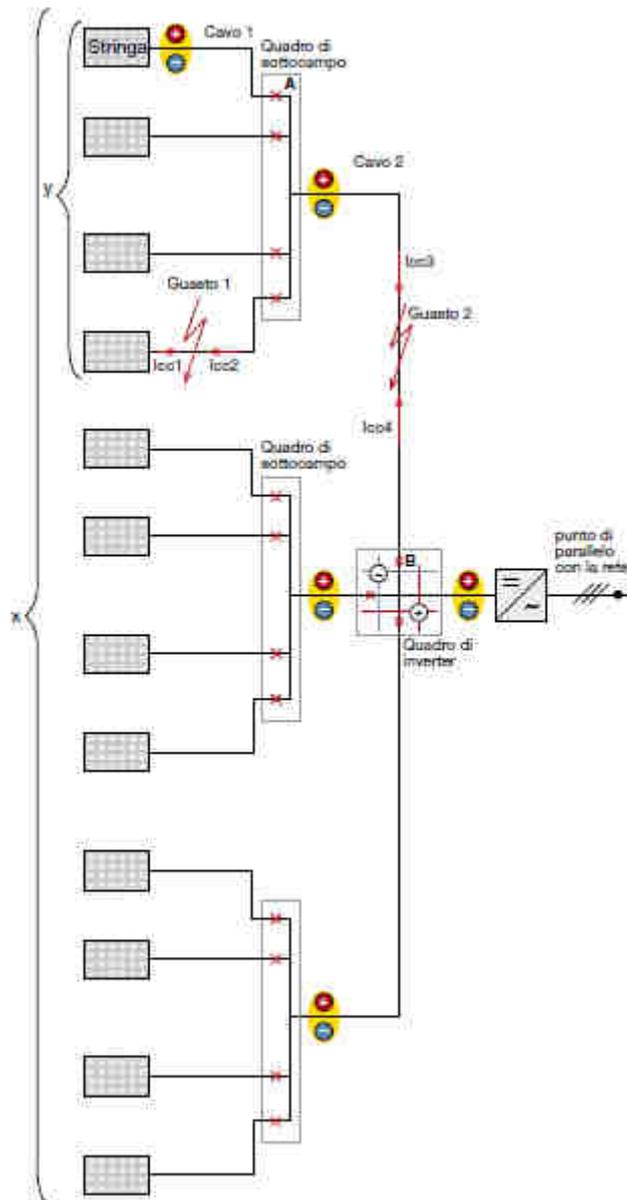
Per quanto riguarda il corto circuito, i cavi lato c.c. sono interessati da tale sovracorrente in caso di:

- guasto tra le polarità del sistema fotovoltaico;
- guasto a terra nei sistemi collegati a terra;
- doppio guasto a terra nei sistemi isolati da terra.

Un corto circuito su un cavo di collegamento stringa quadro di sottocampo (guasto 1 di figura) viene alimentato simultaneamente a monte dalla stringa in questione ($I_{cc1} = 1.25 * I_{sc}$) ed a valle da tutte le altre $x-1$ stringhe connesse allo stesso inverter ($I_{cc2} = (x-1) * 1.25 * I_{sc}$).

Se l'impianto fotovoltaico è di piccole dimensioni con sole due stringhe ($x=2$), si ha che $I_{cc2} = 1.25 * I_{sc} = I_{cc1}$ per cui non è necessario proteggere i cavi di stringa da corto circuito.

Viceversa se all'inverter sono collegate tre o più stringhe ($x \geq 3$) la corrente I_{cc2} è maggiore della corrente d'impiego ed occorre pertanto proteggere da corto circuito i cavi se la loro portata è inferiore a I_{cc2} , ossia $I_z < (x-1) * 1.25 * I_{sc}$. Un corto circuito tra un quadro di sottocampo ed il quadro d'inverter (guasto 2 della figura) viene alimentato a monte dalle y stringhe in parallelo del sottocampo (I_{cc3}) ed a valle dalle restanti $(x-y)$ stringhe afferenti allo stesso quadro d'inverter.



“A” rappresenta il dispositivo di protezione posto nel quadro di sottocampo dedicato alla protezione del “cavo 1” di connessione tra stringa e quadro stesso.

“B” rappresenta il dispositivo di protezione posto nel quadro di inverter dedicato alla protezione del “cavo 2” di connessione tra quadro di inverter e di sottocampo.

“y” numero di stringhe afferenti allo stesso quadro di sottocampo.

“x” numero complessivo di stringhe afferenti al medesimo inverter.

Scelta dei dispositivi di protezione

Per la protezione contro i cortocircuiti lato c.c., i dispositivi devono ovviamente essere idonei all’uso in c.c. ed avere una tensione nominale d’impiego U_e uguale o maggiore della massima tensione del generatore PV pari a $1.2 U_{oc}$ (IEC TS 62257-7-1).

I dispositivi di protezione devono inoltre essere installati alla fine del circuito da proteggere procedendo dalle stringhe verso l’inverter, ovvero nei vari quadri di sottocampo ed

inverter, poiché le correnti di corto circuito provengono dalle altre stringhe, ossia da valle e non da monte (IEC TS 62257-7-1).

Al fine di evitare interventi intempestivi nelle condizioni di ordinario funzionamento, i dispositivi di protezione posti nel quadro di sottocampo (dispositivo A della figura) devono avere una corrente nominale I_n :

$$I_n \geq 1.25 * I_{sc} \quad [1]$$

Questi dispositivi devono proteggere:

- le singole stringhe contro la corrente inversa;
- il cavo di collegamento stringa-sottoquadro (cavo 1 della figura) se quest'ultimo ha una portata inferiore alla corrente di corto circuito massima delle altre $x-1$ stringhe collegate allo stesso quadro inverter, ossia se:

$$I_z < I_{cc2} = (x - 1) * 1.25 * I_{sc} \quad [2]$$

Ai fini della protezione della stringa, la corrente nominale del dispositivo di protezione (interruttore termomagnetico o fusibile) non deve essere superiore a quella indicata dal costruttore per la protezione dei pannelli; qualora il costruttore non fornisca indicazioni si assume (IEC TS 62257-7-1):

$$1.25 * I_{sc} \leq I_n \leq 2 * I_{sc} \quad [3]$$

Ai fini della protezione del cavo di connessione, il dispositivo di protezione deve essere scelto in modo tale che sia soddisfatta la relazione seguente per ogni valore di corto circuito (CEI 64-8) fino ad un massimo di $(x-1) * 1.25 * I_{sc}$:

$$I^2 t \leq K^2 * S^2 \quad [4]$$

Il potere d'interruzione del dispositivo non deve essere inferiore alla corrente di corto circuito delle altre $x-1$ stringhe, ossia:

$$I_{cu} \geq (x-1) * 1.25 * I_{sc} \quad [5]$$

I dispositivi posti nel quadro d'inverter devono proteggere da corto circuito i cavi di collegamento quadro di sottocampo-quadro d'inverter se questi hanno una portata inferiore a $I_{cc4} = (x-y) * 1.25 * I_{sc}$ (figura). In tal caso i dispositivi devono soddisfare le

relazioni [1] e [4], mentre il loro potere d'interruzione deve essere non inferiore alla corrente di corto circuito delle altre x-y stringhe, ossia:

$$I_{cu} \geq (x-y) * 1.25 * I_{sc} \quad [6]$$

Infine, il cavo di collegamento quadro d' inverter-inverter non deve essere protetto se la sua portata e scelta almeno pari a (CEI 64-8/7):

$$I_z \geq x * 1.25 * I_{sc} \quad [7]$$

Per la protezione dei cavi che collegano la stringa al quadro di campo verrà previsto un fusibile da 10 A (corrente nominale $I_{mpp} < 10A$),

Di seguito i calcoli delle correnti di corto circuito per il dimensionamento delle protezioni e dei cavi nel circuito elettrico lato corrente continua

INVERTER	CORRENTE DI STRINGA[A]	TENSIONE DI STRINGA [V]	PANNELLI IN SERIE	SEZIONE CAVO [mmq]	DV%	CADUTA DI TENSIONE [V]	LUNGH. LINEA STIRNGA [m]	MAX POTENZA PERSA NEI CAVI[Kw]	numero di stringhe per MPP	numero totale di stringhe in parallelo inverter	Icc pannello	Icc su cavo di stringa	Icc cavo tra inverter e sottoquadro di campo
1	7,74	393,9	13	6	0,19	0,77	15	0,00593085	1	1	8,53	10,6625	10,6625
2	7,74	393,9	13	6	0,19	0,77	15	0,00593085	1	1	8,53	10,6625	10,6625
3	7,74	515,1	17	6	0,15	0,77	15	0,00593085	1	1	8,53	10,6625	10,6625