

Linea trifase con neutro

CONTESTO

Si considera una linea trifase con neutro: 3F + N

Tensione tra le fasi: 400 V

Tensione tra fase e neutro: 230 V

Esempio pratico: un mercato con tre file di bancarelle.

Ogni fila è un gruppo di carichi monofase collegati tra una fase e il neutro:

fila 1 collegata tra L1 e N

fila 2 collegata tra L2 e N

fila 3 collegata tra L3 e N

POTENZE DEI CARICHI

P_1 = potenza attiva della fila 1, in watt (W)

P_2 = potenza attiva della fila 2, in watt (W)

P_3 = potenza attiva della fila 3, in watt (W)

Il fattore di potenza si indica con: $\cos\varphi$

Se i tre gruppi di carichi sono diversi, anche il fattore di potenza può essere diverso:

$\cos\varphi_1$, $\cos\varphi_2$, $\cos\varphi_3$.

CORRENTI DELLE TRE FASI

Ogni fila è un carico monofase collegato tra fase e neutro.

La corrente di ogni fase si calcola con:

$$I_1 = P_1 / (230 \cdot \cos\varphi_1)$$

$$I_2 = P_2 / (230 \cdot \cos\varphi_2)$$

$$I_3 = P_3 / (230 \cdot \cos\varphi_3)$$

dove:

I_1 = corrente nella fase L1, in ampere (A)

I_2 = corrente nella fase L2, in ampere (A)

I_3 = corrente nella fase L3, in ampere (A)

P_1 , P_2 , P_3 = potenze attive, in watt (W)

230 = tensione fase-neutro, in volt (V)

$\cos\varphi$ = fattore di potenza del carico

Se si usa lo stesso fattore di potenza per tutte le file:

$$I_1 = P_1 / (230 \cdot \cos\varphi)$$

$$I_2 = P_2 / (230 \cdot \cos\varphi)$$

$$I_3 = P_3 / (230 \cdot \cos\varphi)$$

CORRENTE DI PROGETTO DELLA LINEA

La corrente di progetto della linea si indica con: I_b

Per scegliere i conduttori di fase si considera la corrente più alta tra le tre fasi: $I_b = \max(I_1, I_2, I_3)$

La linea deve quindi essere dimensionata per sopportare almeno la corrente più elevata tra L1, L2 e L3.

CORRENTE NEL NEUTRO

Se le correnti sono sinusoidali, alla frequenza fondamentale, e hanno lo stesso fattore di potenza, la corrente nel neutro si può stimare con:

$$I_N = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 - (I_1 \cdot I_2 + I_2 \cdot I_3 + I_3 \cdot I_1)}$$

dove:

I_N = corrente nel neutro, in ampere (A)

I_1 = corrente nella fase L1, in ampere (A)

I_2 = corrente nella fase L2, in ampere (A)

I_3 = corrente nella fase L3, in ampere (A)

Se le tre correnti sono uguali:

$$I_1 = I_2 = I_3$$

allora:

$$I_N = 0$$

In questo caso il sistema è equilibrato e nel neutro non scorre corrente alla fondamentale.

Se le tre correnti sono diverse, nel neutro scorre la corrente dovuta allo squilibrio tra le fasi.

Se i fattori di potenza delle tre file sono molto diversi, il calcolo del neutro richiede una valutazione vettoriale più completa o una misura reale.

Fondamentale = corrente principale a 50 Hz.

Fattori di potenza = valori di $\cos\phi$ dei carichi.

LIMITI DELLA FORMULA DEL NEUTRO

La formula precedente vale per correnti sinusoidali alla fondamentale.

Con molti carichi elettronici, come alimentatori, luci LED, inverter, caricabatterie, banchi frigo elettronici e apparecchiature con elettronica di potenza, possono essere presenti armoniche.

Le armoniche di ordine 3 e multiple possono sommarsi nel neutro.

In questi casi la corrente nel neutro può essere maggiore di quella stimata con la sola formula dello squilibrio.

Per una stima corretta servono dati sulle armoniche oppure una misura reale della corrente.

Le armoniche sono componenti aggiuntive della corrente, causate soprattutto da carichi elettronici che assorbono corrente a impulsi invece che in modo regolare. Queste componenti si sommano alla corrente principale a 50 Hz e possono aumentare la corrente nel neutro.

SEZIONE DEL NEUTRO

In un dimensionamento prudente, il neutro si realizza con la stessa sezione dei conduttori di fase.

Con molti carichi elettronici o con presenza significativa di armoniche, il neutro può richiedere una sezione anche maggiore rispetto alle fasi.

Se nel neutro scorre corrente significativa, il neutro va considerato un conduttore caricato ai fini della portata del cavo.

Il neutro non va ridotto "a sentimento": se lavora male, scalda davvero.

CADUTA DI TENSIONE E SEZIONE DEI CONDUTTORI

La sezione dei conduttori deve essere verificata anche in base alla caduta di tensione ammessa.

Per una stima semplificata e prudentiale su un carico monofase fase-neutro si può usare:

$$S \geq 2 \cdot \rho \cdot L \cdot I_b / \Delta V$$

dove:

S = sezione del conduttore, in mm^2

ρ = resistività del rame, in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

L = lunghezza della linea, in metri (m)

I_b = corrente di progetto, in ampere (A)

ΔV = caduta di tensione ammessa, in volt (V)

Il fattore 2 tiene conto del percorso di andata e ritorno:

fase + neutro

RESISTIVITÀ DEL RAME

A 20 °C si può usare:

$$\rho_{\text{Cu}} \approx 0,0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Per cavi in esercizio, la temperatura del conduttore aumenta e la resistività cresce.

Per un calcolo più prudente si può usare:

$$\rho_{\text{Cu}} \approx 0,022 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

oppure:

$$\rho_{\text{Cu}} \approx 0,023 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

CADUTA DI TENSIONE AMMESSA

La CEI 64-8 raccomanda che la caduta di tensione tra l'origine dell'impianto e l'utilizzatore non superi il 4% della tensione nominale.

Quindi:

$$\text{su } 230 \text{ V: } 4\% \text{ di } 230 \text{ V} = 9,2 \text{ V}$$

$$\text{su } 400 \text{ V: } 4\% \text{ di } 400 \text{ V} = 16 \text{ V}$$

Per il calcolo pratico si può quindi usare:

$$\Delta V_{\text{max}} = 9,2 \text{ V per linee monofase a } 230 \text{ V}$$

$$\Delta V_{\text{max}} = 16 \text{ V per linee trifase a } 400 \text{ V}$$

Valori più bassi, come 2% o 3%, possono essere scelti come criterio più prudente di progetto.

ARROTONDAMENTO DELLA SEZIONE

La sezione ottenuta dal calcolo non si usa direttamente se non corrisponde a una sezione commerciale. Si arrotonda alla sezione commerciale immediatamente superiore.

Esempio:

se dal calcolo risulta:

$$S = 7,2 \text{ mm}^2$$

non si usa $7,2 \text{ mm}^2$.

Si passa alla sezione commerciale superiore:

$$10 \text{ mm}^2$$

ESEMPIO 1 — CALCOLO DELLE CORRENTI DI FASE

Dati:

$$P1 = 2300 \text{ W}$$

$$P2 = 3450 \text{ W}$$

$$P3 = 4600 \text{ W}$$

$$\cos\varphi = 1$$

$$V \text{ fase-neutro} = 230 \text{ V}$$

Calcola le correnti delle tre fasi.

Formule:

$$I1 = P1 / (230 \cdot \cos\varphi)$$

$$I2 = P2 / (230 \cdot \cos\varphi)$$

$$I3 = P3 / (230 \cdot \cos\varphi)$$

Sostituzione:

$$I1 = 2300 / (230 \cdot 1) = 10 \text{ A}$$

$$I2 = 3450 / (230 \cdot 1) = 15 \text{ A}$$

$$I3 = 4600 / (230 \cdot 1) = 20 \text{ A}$$

Corrente di progetto:

$$Ib = \max(I1, I2, I3)$$

$$Ib = \max(10, 15, 20)$$

$$Ib = 20 \text{ A}$$

Risposta:

La corrente di progetto della linea è $Ib = 20 \text{ A}$.

ESEMPIO 2 — CALCOLO DELLA CORRENTE NEL NEUTRO

Dati:

$$I1 = 10 \text{ A}$$

$$I2 = 15 \text{ A}$$

$$I3 = 20 \text{ A}$$

Formula:

$$IN = \sqrt{I1^2 + I2^2 + I3^2 - (I1 \cdot I2 + I2 \cdot I3 + I3 \cdot I1)}$$

Sostituzione:

$$IN = \sqrt{10^2 + 15^2 + 20^2 - (10 \cdot 15 + 15 \cdot 20 + 20 \cdot 10)}$$

$$IN = \sqrt{100 + 225 + 400 - (150 + 300 + 200)}$$

$$IN = \sqrt{725 - 650}$$

$$I_N = \sqrt{75}$$

$$I_N = 8,66 \text{ A}$$

Risposta:

La corrente stimata nel neutro è $I_N = 8,66 \text{ A}$.

ESEMPIO 3 — CALCOLO DELLA CADUTA DI TENSIONE AMMESSA

Dati:

$$V_{\text{nominale}} = 230 \text{ V}$$

$$\text{caduta ammessa} = 4\%$$

Calcola la caduta di tensione massima ammessa.

Formula:

$$\Delta V_{\text{max}} = V_{\text{nominale}} \cdot 4 / 100$$

Sostituzione:

$$\Delta V_{\text{max}} = 230 \cdot 4 / 100$$

$$\Delta V_{\text{max}} = 9,2 \text{ V}$$

Risposta:

La caduta di tensione massima ammessa è $\Delta V_{\text{max}} = 9,2 \text{ V}$.

ESEMPIO 4 — STIMA DELLA SEZIONE CON CADUTA DI TENSIONE

Dati:

$$\rho = 0,023 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$I_b = 16 \text{ A}$$

$$\Delta V = 9,2 \text{ V}$$

Calcola la sezione minima.

Formula:

$$S \geq 2 \cdot \rho \cdot L \cdot I_b / \Delta V$$

Sostituzione:

$$S \geq 2 \cdot 0,023 \cdot 30 \cdot 16 / 9,2$$

$$S \geq 22,08 / 9,2$$

$$S \geq 2,4 \text{ mm}^2$$

Risposta:

La sezione calcolata è $S = 2,4 \text{ mm}^2$.

Si sceglie la sezione commerciale superiore: $2,5 \text{ mm}^2$.

VERIFICHE NECESSARIE

La sezione del cavo non si sceglie solo con la caduta di tensione. Devono essere verificate anche:

- portata del cavo
- tipo di posa
- temperatura ambiente

- numero di cavi raggruppati
- tipo di isolamento
- protezione magnetotermica
- corrente di cortocircuito
- corrente nel neutro
- presenza di armoniche

La formula della caduta di tensione è solo una parte del dimensionamento.

RIASSUNTO

Ogni fila di bancarelle è un carico monofase collegato tra una fase e il neutro. Le correnti di fase si calcolano con: $I = P / (230 \cdot \cos\phi)$

La corrente di progetto della linea è la maggiore tra le tre correnti di fase: $I_b = \max(I_1, I_2, I_3)$

La corrente nel neutro dipende dallo squilibrio tra le correnti delle tre fasi.

Se il sistema è equilibrato, la corrente nel neutro è nulla alla fondamentale.

Se il sistema è squilibrato, nel neutro scorre corrente.

Con carichi elettronici, la corrente nel neutro può aumentare a causa delle armoniche.

Il neutro, in modo prudente, si realizza con la stessa sezione delle fasi.

La sezione dei conduttori si verifica anche con la caduta di tensione, ma devono essere controllate anche portata, posa, protezioni e condizioni reali dell'impianto.

FONTI IEC 60364-5-52 Scelta e posa dei sistemi di cablaggio. IEC 60364-4-43 Protezione contro le sovracorrenti. IEC 60228 Conduttori dei cavi isolati. IEC 60287-1-1 Calcolo della portata dei cavi in regime permanente. Schneider Electric Electrical Installation Guide Dimensionamento conduttori, neutro, armoniche, caduta di tensione e protezioni.