



COMUNE DI PADOVA

AREA LL.PP.

Settore Edilizia Pubblica e Impianti Sportivi
Servizio Edilizia Pubblica

PROGETTO ESECUTIVO

II AMPLIAMENTO SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO G.GALILEI

IMPORTO COMPLESSIVO: €1.300.000,00

N° Progetto		Elaborato	RC
Nome file		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI ELETTRICI	
Data Maggio 2018	LLPP EDP 2018/135		
Progettisti	Rup	Capo Settore	Capo Area
Arch. Thomas Selmin (capogruppo) P.I. Liviano De Zolt (impianti meccanici) P.I. Claudio Zambonin (impianti elettrici)	Arch. Stefano Benvegnù	Arch. Luigino Gennaro	Arch. Luigino Gennaro

Sommario

1	Premessa	2
2	IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE	2
2.1	IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE NORMALE.....	2
2.2	IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE DI SICUREZZA.....	3
2.3	CALCOLI ILLUMINOTECNICI.....	4
3	METODOLOGIA DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO RETE ELETTRICA.....	4
3.1	CALCOLO DELLE CORRENTI DI IMPIEGO	4
3.2	DIMENSIONAMENTO DEI CAVI.....	5
3.3	INTEGRALE DI JOULE.....	6
3.4	DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO.....	8
3.5	DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE.....	8
3.6	FORNITURA DELLA RETE	10
3.7	CALCOLO DEI GUASTI	10
3.8	VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE	11

1 PREMESSA

Con il presente documento si vanno ad esporre i principali parametri utilizzati nello sviluppo dei calcoli degli impianti elettrici in oggetto, fornendo i principali risultati numerici e gli elementi di dimensionamento dei componenti impiantistici previsti.

2 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

2.1 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE NORMALE

La scelta della tipologia e della quantità degli apparecchi illuminanti rispetterà i valori indicati nella normativa UNI 12464-1 in termini di valore di illuminamento medio, abbagliamento molesto (UGR), indice di resa cromatica delle lampade (Ra) ed uniformità minima (Uo).

Le apparecchiature di comando, ove presenti, saranno di tipo civile da incasso o in vista con grado di protezione IP55 nelle quantità e tipologie indicate nelle tavole grafiche di progetto ed avranno una portata nominale non inferiore a 10A; saranno sempre complete di scatola o contenitore che protegga i morsetti e le parti in tensione. Qualora gli apparecchi siano composti con elementi metallici (contenitore, telaio di sostegno, mostrina, ecc.), sarà assicurata la messa a terra degli stessi.

Le quantità e posizioni dei corpi illuminanti saranno tali da garantire i seguenti livelli di illuminamento minimi richiesti dalla UNI 12464-1. Di seguito i riferimenti principali applicabili per l'intervento in oggetto:

TIPOLOGIA DI LOCALE	ILLUMINAMENTO [lx]	UGR	Ra
Atrii e corridoi	150 [lx]	22	> 80
Servizi Igienici	200 [lx]	22	> 80
Aule / Ambienti didattici	400 [lx]	19	> 90
Sala Mensa	300 [lx]	22	> 80
Locali tecnici	200 [lx]	25	> 60

Le principali caratteristiche dell'Impianto di Illuminazione Normale che si andrà a realizzare prevedono:

- Impiego diffuso di corpi illuminanti a LED secondo le tipologie descritte nei paragrafi successivi.
- Impiego di sensori di presenza "tradizionali" per accensione luce bagni con accesso al pubblico e negli spogliatoi.

Di seguito vengono sintetizzate le linee guida utilizzate per la distribuzione dell'impianto di illuminazione all'interno delle varie tipologie di ambienti:

- Atrii e Corridoi: corpi illuminanti a plafone dotati di sorgente a LED da 25 o 18 W, dimensioni 600x300 o 300x300 mm, con corpo in acciaio verniciato bianco, ottica opale ($UGR < 22$). Grado di protezione IP44;
- Aule e Ambienti didattici: corpi illuminanti a plafone dotati di sorgente a LED da 56 W ad alta resa cromatica ($CRI 92$), dimensioni 600x600 mm, con corpo in acciaio verniciato bianco, ottica opale ($UGR < 19$). Grado di protezione IP44;
- Sala Mensa e locali tecnici: corpi illuminanti a plafone dotati di sorgente a LED da 30 W, dimensioni 600x600 mm, con corpo in acciaio verniciato bianco, ottica opale ($UGR < 22$). Grado di protezione IP44;

2.2 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE DI SICUREZZA

L'impianto di illuminazione di sicurezza verrà realizzato tramite l'impiego di corpi illuminanti di tipo autoalimentato

La quantità e la tipologia degli apparecchi installati rispettano i livelli minimi di illuminamento previsti dalle Normative vigenti. L'illuminazione di Emergenza all'interno dei locali oggetto d'intervento verrà realizzata mediante corpi illuminanti autonomi a LED con autonomia pari a 2h.

Secondo la Norma CEI 64/8 in caso di mancanza dell'alimentazione ordinaria si dovrà ottenere il necessario illuminamento minimo dei seguenti locali, tenendo presente che il tempo di commutazione alla sorgente di sicurezza non deve superare 15 sec:

- Vie d'esodo e relativa segnaletica di sicurezza;
- Locali tecnici destinati al servizio elettrico (QE, GE, ecc.);
- Locali nei quali siano previsti servizi essenziali: almeno un apparecchio deve essere alimentato da sorgente di sicurezza;

L'autonomia della sorgente di sicurezza deve essere di almeno 3h.

L'illuminazione di sicurezza deve essere prevista con un illuminamento minimo di 5lux (misurato a 1m di altezza dal piano di calpestio) lungo le vie di uscita. E' richiesto che l'illuminazione di sicurezza entri in funzione automaticamente in un tempo $< 0,5$ sec.; inoltre, la sorgente dell'illuminazione di sicurezza deve avere un'autonomia minima 3h e il dispositivo di carica degli accumulatori deve essere automatico e consentire la ricarica completa entro 12h.

In particolare per illuminare le vie d'esodo verrà disposto (in accordo con le UNI EN 1838 ed EN 50172) almeno un apparecchio di emergenza in corrispondenza di ogni:

- uscita di sicurezza obbligatoria e porta di uscita prevista per uso in emergenza;
- vicino alle scale (entro 2 m) in modo che ogni rampa riceva luce diretta;

- cambio di livello (gradino)entro 2 m;
- cambio di direzione;
- incrocio di corridoi.

La quantità, la tipologia ed il posizionamento degli apparecchi nel presente progetto sarà tale da rispettare tutte le prescrizioni sopra riportate; per garantire l'interruzione breve (<0,5 sec.).

2.3 CALCOLI ILLUMINOTECNICI

Per lo sviluppo della progettazione si è fatto uso di un programma di calcolo automatico "Dialux 4.12" nel quale sono state inserite e utilizzate le curve fotometriche di corpi illuminanti assunti come riferimento e normalmente presenti in commercio.

3 METODOLOGIA DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO RETE ELETTRICA

3.1 CALCOLO DELLE CORRENTI DI IMPIEGO

Il calcolo delle correnti d'impiego viene eseguito in base alla classica espressione:

I

$$I_{ca} = V_n \cdot \cos \phi$$

nella quale:

$k_{ca} = 1$ sistema monofase o bifase, due conduttori attivi; $k_{ca} = 1.73$ sistema trifase, tre conduttori attivi.

Se la rete è in corrente continua il fattore di potenza $\cos \phi$ è pari a 1.

Il vettore della tensione V_n è supposto allineato con l'asse dei numeri reali:

$$V = V_n + j0$$

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot \text{coeff}$$

nella quale coeff è pari al fattore di utilizzo per utenze terminali oppure al fattore di contemporaneità per utenze di distribuzione.

La potenza P_n , invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma delle P_d delle utenze a valle (P_d a valle) per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

per le utenze terminali, mentre per le utenze di distribuzione viene calcolata come somma vettoriale delle potenze reattive nominali a valle (Q_d a valle).

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Il fattore di potenza per le utenze di distribuzione viene valutato, di conseguenza, con la:

3.2 DIMENSIONAMENTO DEI CAVI

Il criterio seguito per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori alle correnti di sovraccarico.

In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), infatti, il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la condotta in modo da verificare le condizioni:

$$\begin{aligned} a) I_b &\leq I_n \leq I_z \\ b) I_b &\leq 1.45 \cdot I_z \end{aligned}$$

Per la condizione a) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominale della protezione a monte. Dalla corrente I_b , pertanto, viene determinata la corrente nominale della protezione (seguendo i valori normalizzati) e con questa si procede alla determinazione della sezione.

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

- condutture senza protezione derivate da una condotta principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate;
- condotta che alimenta diverse derivazioni singolarmente protette contro i sovraccarichi, quando la somma delle correnti nominali dei dispositivi di protezione delle derivazioni non supera la portata I_z della condotta principale.

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Le cinque tabelle utilizzate sono:

- IEC 448;
- IEC 365-5-523;
- CEI-UNEL 35024/1;

- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026.

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile I_z in funzione del tipo di isolamento del cavo, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi, riportano anche la metodologia di valutazione dei coefficienti di declassamento. La portata minima del cavo viene calcolata come:

$$I_z \cdot k$$

dove il coefficiente k ha lo scopo di declassare il cavo e tiene conto dei seguenti fattori:

- tipo di materiale conduttore;
- tipo di isolamento del cavo;
- numero di conduttori in prossimità compresi eventuali paralleli;
- eventuale declassamento deciso dall'utente.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente k) sia superiore alla I_z min.

Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (vedi norma 64.8 par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate per il numero di paralleli dal coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione b) non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3 hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento I_f e corrente nominale I_n minore di 1.45 ed è costante per tutte le tarature inferiori a 125 A. Per le apparecchiature industriali, invece, le norme CEI 17.5 e IEC 947 stabiliscono che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale, ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1.45.

Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.

Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

3.3 INTEGRALE DI JOULE

Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la:

$$I^2 \cdot t = K^2 \cdot S^2$$

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopracitati riportano però nella parte

commento dei valori prudenziali.

I valori di K riportati dalla norma sono per i conduttori di fase (par. 434.3):

- Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 115
- Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 135
- Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7:	K = 143
- Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
	K = 200
	K = 74

termoplastico:

- Cavo in rame serie L nudo:	
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	
- Cavo in rame serie H nudo:	
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:	Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7: K = 87

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari (par. 543.1) tab. 54B:

- Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 143
- Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 166
- Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7:	K = 176
- Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 143
- Cavo in rame serie L nudo:	K = 228
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 143
- Cavo in rame serie H nudo:	K = 228
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 95
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G:	K = 110
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:	K = 116
- I valori di K per i conduttori di protezione in cavi multipolari (par. 543.1) tab. 54C:	
- Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 115
- Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 135
- Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7:	K = 143
- Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
- Cavo in rame serie L nudo:	K = 228
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
- Cavo in rame serie H nudo:	K = 228
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 76
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G:	K = 89
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:	K = 94

3.4 DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO

La norma CEI 64-8 par. 524.2 e par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, può avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mm^2 ;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso;
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mm^2 se il conduttore è in rame e a 25 mm^2 se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di 16 mm^2 se conduttore in rame e 25 mm^2 se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase. In base alle esigenze progettuali, sono gestiti fino a tre metodi di dimensionamento del conduttore di neutro, mediante:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione tramite rapporto tra le portate dei conduttori;
- determinazione in relazione alla portata del neutro.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

$$\begin{aligned} S_f < 16 \text{ mm}^2 : \quad S_n &= S_f \\ 16 < S_f < 35 \text{ mm}^2 : S_n &= \\ 16 \text{ mm}^2 \leq S_f < 35 \text{ mm}^2 : S_n &= \\ S_f / 2 \end{aligned}$$

Il secondo criterio consiste nell'impostare il rapporto tra le portate del conduttore di fase e il conduttore di neutro, e il programma determinerà la sezione in base alla portata.

Il terzo criterio consiste nel dimensionare il conduttore tenendo conto della corrente di impiego circolante nel neutro come per un conduttore di fase.

Le sezioni dei neutri possono comunque assumere valori differenti rispetto ai metodi appena citati, comunque sempre calcolati a regola d'arte.

3.5 DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE

Le norme CEI 64.8 par. 543.1 prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione mediante calcolo.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore di protezione seguendo vincoli analoghi a quelli introdotti per il conduttore di neutro:

$$S_f < 16\text{mm}^2 : S_{PE} = S_f$$

$$16 < S_f < 35\text{mm}^2: S_{PE} =$$

$$16\text{mm}^2 \leq S_f < 35\text{mm}^2: S_{PE} =$$

$$S_f/2$$

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule, ovvero la sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \sqrt[7]{I^2 t}$$

$$\sqrt[7]{K}$$

dove:

S_p è la sezione del conduttore di protezione (mm^2);

I è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);

t è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);

K è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

Se il risultato della formula non è una sezione unificata, viene presa una unificata immediatamente superiore.

In entrambi i casi si deve tener conto, per quanto riguarda la sezione minima, del paragrafo 543.1.3.

Esso afferma che la sezione di ogni conduttore di protezione che non faccia parte della conduttura di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

- 2,5 mm^2 se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 se non è prevista una protezione meccanica.

E' possibile, altresì, determinare la sezione mediante il rapporto tra le portate del conduttore di

$$T_{\text{cavo}}(I) = T_{\text{ambiente}} +$$

$$T_{\text{cavo}}(I) = T_{\text{ambiente}} +$$

fase e del conduttore di protezione.

3.6 FORNITURA DELLA RETE

La conoscenza della fornitura della rete è necessaria per l'inizializzazione della stessa al fine di eseguire il calcolo dei guasti.

Le tipologie di fornitura possono essere:

- in bassa tensione
- in media tensione
- in alta tensione
- ad impedenza nota

- in corrente continua

I parametri trovati in questa fase servono per inizializzare il calcolo dei guasti, ossia andranno sommati ai corrispondenti parametri di guasto della utenza a valle. Noti i parametri alle sequenze nel punto di fornitura, è possibile inizializzare la rete e calcolare le correnti di cortocircuito secondo le norme CEI 11-25.

BASSA TENSIONE

Questa può essere utilizzata quando il circuito è alimentato alla rete di distribuzione in bassa tensione, oppure quando il circuito da dimensionare è collegato in sottoquadro ad una rete preesistente di cui si conosca la corrente di cortocircuito sul punto di consegna.

3.7 CALCOLO DEI GUASTI

Con il calcolo dei guasti vengono determinate le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fondo linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- guasto trifase (simmetrico);
- guasto bifase (disimmetrico);
- guasto fase terra (disimmetrico);
- guasto fase neutro (disimmetrico).

I parametri alle sequenze di ogni utenza vengono inizializzati da

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI 11-25 par 2.5 per quanto riguarda:

La tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione di 0.95 (tab. 1 della norma

CEI 11-25);

Per la temperatura dei conduttori ci si riferisce al rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario dal cavo. Essa viene indicata dalla norma CEI 64-8/4 par 434.3 nella quale sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

SCELTA DELLE PROTEZIONI

La scelta delle protezioni viene effettuata verificando le caratteristiche elettriche nominali delle condutture ed i valori di guasto; in particolare le grandezze che vengono verificate sono:

- corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale della utenza;
- potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dalla utenza $I_{km\ max}$;
- taratura della corrente di intervento magnetico, il cui valore massimo per garantire la protezione contro i contatti indiretti (in assenza di differenziale) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea ($I_{mag\ max}$).

3.8 VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE

Secondo la norma 64-8 par.434.3 "Caratteristiche dei dispositivi di protezione contro i cortocircuiti.", le caratteristiche delle apparecchiature di protezione contro i cortocircuiti

devono soddisfare a due condizioni:

- il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione (a meno di protezioni adeguate a monte);
- la caratteristica di intervento deve essere tale da impedire che la temperatura del cavo non oltrepassi, in condizioni di guasto in un punto qualsiasi, la massima consentita.

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni. La seconda invece può essere tradotta nella relazione:

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

ossia in caso di guasto l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

La norma CEI al par. 533.3 "Scelta dei dispositivi di protezioni contro i cortocircuiti" prevede pertanto un confronto tra le correnti di guasto minima (a fondo linea) e massima (inizio linea) con i punti di intersezione tra le curve. Le condizioni sono pertanto:

Se le intersezioni sono due:

- $I_{ccmin} > I_{inters\ min}$ (quest'ultima riportata nella norma come I_a);
- $I_{ccmax} < I_{inters\ max}$ (quest'ultima riportata nella norma come I_b).

Se l'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:

- $I_{ccmin} > I_{inters\ min}$.

Se l'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:

- $I_{cc\ max} < I_{inters\ max}$.

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimo e massimo. Nel caso in cui le correnti di guasto escano dai limiti di esistenza della curva della protezione il controllo non viene eseguito.

Note:

- La rappresentazione della curva del cavo è una iperbole con asintoti e I_z dello stesso.
- La verifica della protezione a cortocircuito eseguita dal programma consiste in una verifica qualitativa, in quanto le curve vengono inserite riprendendo i dati dai grafici di catalogo e non direttamente da dati di prova; la precisione con cui vengono rappresentate è relativa.