

COMUNE DI ISERNIA
PROVINCIA DI ISERNIA



R
E
G
I
O
N
E

M
O
L
I
S
E

**Riqualificazione sostenibile
dell'edificio scolastico
San Pietro Celestino**

Decreto del Ministero dell'Istruzione e della Ricerca 28-11-2017, n.929

Decreto MIUR n. 1007/27-12-2017

PROGETTO DEFINITIVO

Denominazione:		Codice Elaborato:	Progressivo:
Impianto elettrico Relazione tecnica		I.2.1	27
Data presentazione:	Estremi di approvazione:	Revisione:	Scala/e:
Dicembre 2019	_____	n. 3 - febbraio 2020	_____

Progettisti



Ing. Emanuela Sassi
via Umbria "Centro Commercio e Affari 1"
86170 - Isernia



Ing. Gerardo Papa
viale del Pentri 55/C
86170 - Isernia

Committente/Proponente:

COMUNE DI ISERNIA
SETTORE 3° - TECNICO
SERVIZIO 6°

Piazza Michelangelo - 86170 Isernia

Responsabile Unico del Procedimento
ing. Antonio Ricchiuti

PROGETTO DEFINITIVO

Impianti Elettrici e speciali – Relazione tecnica

INDICE

1.	Norme di riferimento	pag. 2
2.	Impianto di illuminazione	pag. 4
3.	Calcolo illuminotecnico	pag. 6
4.	Illuminazione di emergenza	pag. 8
5.	Analisi dei carichi e determinazione correnti di impiego	pag. 9
6.	Conduttori	pag. 10
7.	Modalità di posa	pag. 10
8.	Portata dei cavi	pag. 11
9.	Protezione da sovraccarichi e da cortocircuiti	pag. 13
10.	Distribuzione principale e secondaria, tubi protettivi e canali	pag. 14
11.	Protezione contro i contatti diretti	pag. 15
12.	Protezione contro i contatti indiretti	pag. 15
13.	Collegamenti equipotenziali	pag. 15
14.	Impianto di terra	pag. 16
15.	Quadri elettrici e distribuzione	pag. 17
ALL.1	<i>Criteri dimensionali generali</i>	
ALL.2	<i>Verifiche illuminotecniche</i>	
ALL.3	<i>Dimensionamento quadri elettrici</i>	

1. Norme di riferimento

Gli impianti elettrici previsti dovranno essere realizzati in conformità alle leggi, norme, prescrizioni, regolamenti e raccomandazioni emanate dagli Enti, agenti in campo nazionale.

In particolare si elencano, a titolo informativo ma non limitativo, alcune tra le principali leggi e norme vigenti in materia di progettazione ed esecuzione di impianti elettrici.

Le caratteristiche degli impianti stessi, nonché dei loro componenti devono corrispondere alle norme di legge e ai regolamenti vigenti alla data del contratto e in particolare devono essere conformi:

- D.P.R. n. 81 del 2008 (Testo unico sulla sicurezza), *Norme per la prevenzione degli infortuni* sul lavoro;
- Leggen. 615 in data 1-03-1966, Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico e successivi regolamenti di esecuzione;
- Legge n. 186 in data 1-03-1968, Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni di impianti elettrici ed elettronici";
- Legge n. 791 del 18-10-1977, Attuazione delle direttive del Consiglio della Comunità Europea relativa alle garanzie di sicurezza che dovrà possedere il materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro alcuni limiti di tensione;
- Art. 5 comma 2 lettera d, del Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 22 Gennaio 2008, n.37;
- Inoltre gli impianti devono essere conformi alle Normative CEI attualmente in vigore; in particolar modo le norme CEI prese in considerazione sono:
- CEI 11-1: Impianti di produzione trasporto e distribuzione energia elettrica: Norme generali;
- CEI 11-8: Impianti di produzione trasporto e distribuzione energia elettrica : "Impianti di terra";
- CEI 11-17: Impianti di produzione trasporto e distribuzione energia elettrica : "Linee in cavo"
- CEI 20-19: "Cavi isolati in gomma per tensioni fino a 450/750 V";
- CEI 20-20 : "Cavi isolati in pvc per tensioni fino a 450/750 V";
- CEI 20-36 : "Cavi resistenti al fuoco";
- CEI 20-22 : fascicolo 1025/1987 e varianti, prova dei cavi non propaganti l'incendio
- CEI 20-38 : "Cavi isolati con gomma non propaganti l'incendio e a basso sviluppo di fumi e gas tossici e corrosivi";
- CEI 171-13/1: Quadri BT
- CEI 23-3 : Interruttori automatici di sovraccorrente per usi domestici e similari (per tensione nominale non superiore a 415V in corrente alternata);
- CEI 23-9 : " Apparecchi di comando non automatici (interruttori) per installazione fissa per uso domestico e similare. Prescrizioni generali";
- CEI 23-18 : " Interruttori differenziali per usi domestici e similari e interruttori differenziali con sganciatore di sovraccorrente incorporati per usi domestici e similari";
- CEI 23-5 : "Prese a spina per usi domestici e similari";
- CEI 23-14 : " Tubi protettivi flessibili in PVC e loro accessori ";
- CEI 23-8 : " Tubi protettivi rigidi in polivinilcloruro PVC e accessori ";
- CEI 64-8/1/2/3/4/5/6/7: "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua";
- CEI 64-12 : "Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario";
- CEI 31-35 e 31-35/A : "Guida alla classificazione dei luoghi pericolosi";
- CEI 34-21 : "Apparecchi di illuminazione prescrizioni generali";
- CEI 64-7 : "Impianti elettrici di illuminazione pubblica";
- UNI 12464 : " Illuminazione di interni con luce artificiale";
- CEI EN 60529 CT 70 : " Grado di protezione degli involucri (Codici IP);
- CEI 30-31 : Impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione;
- CEI 81-1 : fascicolo 1439/1990 e varianti " Protezione di strutture contro i fulmini";

PROGETTO DEFINITIVO

Impianti Elettrici e speciali – Relazione tecnica

- CEI64-12 : “Guida per l'esecuzione degli impianti di terra negli edifici per uso residenziale e terziario”;
- CEI81-3: “ Valori medi del numero di fulmini a terra per un anno e per chilometro quadrato dei comuni d'Italia;
- CEI81-4: “Protezione delle strutture contro i fulmini- valutazione del rischio dovuto al fulmine”;
- CEI UNEL 35024: “Portata di corrente in regime permanente dei cavi”;
- CEI103-1: “Impianti telefonici interni”;
- IEEE 802: “Tipologie di reti per il trasporto dati”.

2. Impianto di illuminazione

La progettazione di un impianto di illuminazione si concretizza nella soluzione di tre problemi fondamentali:

- identificazione degli ambienti e della loro destinazione d'uso;
- identificazione dei livelli di illuminamento necessari;
- scelta degli apparecchi illuminanti;
- qualità della luce da impiegare (scelta del tipo di lampada);
- calcolo illuminotecnico.

L'immobile oggetto della presente relazione può essere classificato ai sensi della norma UNI EN 12464-1 come Edificio Scolastico; all'interno di questa sono individuate le diverse destinazioni d'uso degli ambienti di seguito riportate.

2.1 Identificazione dei livelli di illuminamento necessari

In base alla classificazione suddetta, le caratteristiche illuminotecniche degli impianti dovranno rispondere ai seguenti parametri:

<i>Locale</i>	<i>Illuminamento (Lux)</i>	<i>Uniformità (E_{min}/E_{med})</i>	<i>Indice resa Cromatica</i>	<i>URG</i>
Biblioteca	500	0,8	1B	19
Aule	300	0,8	1B	19
Stanza Insegnanti, Stanza Ausiliari	300	0,8	1B	19
Depositi, Servizi, Corridoi	100	0,5	1B	25

Stando la particolare configurazione della scuola e la necessità di dotare la stessa di ambienti con destinazione flessibile, in ragione della limitata disponibilità di spazi complementari all'attività scolastica, si è ritenuto verificare l'illuminamento dei connettivi/saloni con i seguenti livelli di illuminamento:

- livello seminterrato → 150 lux,
- livello terra → 300 lux,
- livello seminterrato → 150 lux.

2.2 Scelta degli apparecchi illuminanti

Gli apparecchi illuminanti presentano caratteristiche rispondenti ai seguenti obiettivi:

- distribuire il flusso luminoso al fine di ottenere la ripartizione desiderata, conservando le caratteristiche del flusso luminoso emesso dalle lampade, la durata, l'intensità luminosa e la tensione nominale;
- controllare la direzione del flusso luminoso per non interferire negativamente con le attività degli utilizzatori;
- avere caratteristiche elettriche e meccaniche che lo rendano idoneo allo specifico campo di utilizzo garantendo, in particolare, la sicurezza degli utilizzatori;
- garantire la protezione delle lampade e dei dispositivi ottici ed elettrici presenti da tutte quelle azioni esterne che possano nuocere al loro funzionamento.

Gli apparecchi saranno prevalentemente del tipo a soffitto, scelti in funzione delle caratteristiche dei locali in cui verranno installati. In particolare verranno utilizzati:

- corpi illuminanti a soffitto da incasso in aule, uffici, connettivi – potenza nominale 42,2 W;
- plafoniere a soffitto in corrispondenza dei servizi igienici e del locale tecnico – potenza nominale 8 W;
- plafoniere stagne IP55 a parete in corrispondenza degli ingressi – potenza nominale 18 W;
- proiettori stagni IP67 da incasso per esterno, carrabile – potenze nominali 15 E e 30 W;

PROGETTO DEFINITIVO

Impianti Elettrici e speciali – Relazione tecnica

- proiettori stagni IP67 da incasso per esterno – potenza nominale 2 W.

Per quanto possibile, relativamente al tipo di locale ed alle sue caratteristiche geometriche, si è cercato di mantenere il rapporto tra flusso massimo e flusso minimo prossimo al valore di due onde evitare disturbi dovuti all'impianto d'illuminazione.

L'abbagliamento è stato ridotto al minimo utilizzando corpi illuminanti con ottica dark light, in grado di ridurre l'intensità luminosa riflessa al minimo, e scegliendo accuratamente le condizioni di posa ed i puntamenti.

Tutti gli apparecchi illuminanti saranno dotati dell'apposito gruppo di accensione e di rifasamento singolo.

3. Calcolo illuminotecnico

Il numero dei corpi illuminanti da installare in ogni singolo ambiente è stato calcolato facendo uso del metodo del flusso totale. Tale metodo si basa sulla formula:

$$N = \frac{E \times A}{n \cdot \Phi \cdot k}$$

dove:

- E = illuminamento medio richiesto in lux;
- A = superficie del locale in mq;
- Φ = flusso luminoso emesso da una lampada, in lumen;
- n = numero di lampade per apparecchio illuminante;
- k = coefficiente che tiene conto del deprezzamento luminoso della lampada per depositi di polvere, del rendimento dell'apparecchio illuminante, della geometria del locale e della riflessioni delle pareti.

I coefficienti di riflessione impiegati sono stati quelli consigliati dalla norma e, precisamente:

- pavimento e piano di lavoro 0,1 ÷ 0,2;
- pareti 0,4 ÷ 0,5;
- soffitto 0,5 ÷ 0,6.

I coefficienti di manutenzione dei corpi illuminanti sono stati scelti tenendo conto di:

- tipo di apparecchio (classe di manutenzione);
- tipo di ambiente (molto pulito, pulito, sporco, molto sporco);
- durata del corpo illuminante.

I calcoli sono stati effettuati considerando il decadimento del corpo illuminante dopo un periodo di 24 mesi, pertanto al momento dell'installazione dei corpi illuminanti si avranno dei valori di illuminamento superiori ai valori di progetto.

I calcoli effettuati sono stati verificati con apposito programma di calcolo, i cui risultati sono allegati alla presente relazione.

Il comando dei corpi illuminanti è stato previsto da frutto in scatola da incasso o da parete per tutti gli ambienti.

PROGETTO DEFINITIVO

Impianti Elettrici e speciali – Relazione tecnica

La dotazione di corpi illuminanti prevista per singolo ambiente (illuminazione interna), è la seguente:

Locale		numero lampade	potenza lampada (W)	potenza totale (kW)
Livello 1	1.1.a	2,00	42,20	0,08
		5,00	8,00	0,04
	1.1.b	2,00	42,20	0,08
		5,00	8,00	0,04
	1.2	6,00	42,20	0,25
	1.3	4,00	42,20	0,17
	1.4.a	4,00	42,20	0,17
	1.4.b	4,00	42,20	0,17
	1.4.c	5,00	42,20	0,21
	1.5	2,00	42,20	0,08
	1.6	1,00	42,20	0,04
	1.7	1,00	42,20	0,04
	1.8	1,00	42,20	0,04
	1.9	8,00	42,20	0,34
	1.0	6,00	8,00	0,05
TOTALE LIVELLO 1		56		1,82
Livello 2 - piano terra	2.1	4,00	42,20	0,17
	2.2	1,00	42,20	0,04
		2,00	8,00	0,02
	2.3	1,00	42,20	0,04
	2.4	6,00	42,20	0,25
	2.5	1,00	42,20	0,04
		4,00	42,20	0,17
	2.6	1,00	42,20	0,04
	2.7	6,00	42,20	0,25
	2.8	1,00	42,20	0,04
	2.9	1,00	42,20	0,04
	2.10	2,00	8,00	0,02
	2.11	1,00	42,20	0,04
	2.12	2,00	42,20	0,08
	2.13	13,00	42,20	0,55
TOTALE LIVELLO 2		46,00		1,80
Livello 3 - piano primo	3.1	4,00	42,20	0,17
	3.2	4,00	42,20	0,17
	3.3	4,00	42,20	0,17
	3.4.a	2,00	42,20	0,08
	3.4.b	2,00	42,20	0,08
	3.5	1,00	42,20	0,04
	3.6	1,00	42,20	0,04
		8,00	8,00	0,34
	3.7	1,00	42,20	0,04
	3.8	5,00	42,20	0,21
	3.9	6,00	42,20	0,25
	3.10	2,00	42,20	0,08
	3.11	9,00	42,20	0,38
TOTALE LIVELLO 3		49,00		2,07
TOTALE COMPLESSIVO		151,00		5,69

4. Illuminazione di emergenza

In caso di mancanza della tensione di rete, l'illuminazione di emergenza verrà assicurata da un adeguato numero di corpi illuminanti con batteria tampone in grado di assicurare per un periodo superiore ad un'ora, il valore di 5 Lux al suolo.

Gli apparecchi, del tipo autonomo, aventi grado di protezione minimo IP 55, monteranno schermi con pittogrammi, come da direttiva CEE.

L'impianto di illuminazione di emergenza sarà realizzato in conformità alla Norma CEI 64-8 ed alla UNI EN 1838. Saranno garantiti 5 lux medi negli ambienti e 5 lux sulle uscite, ad un metro dal pavimento.

L'intervento dei corpi illuminanti di emergenza sarà automatico al mancare dell'energia di rete.

In generale, essendo il luogo in esame costantemente presidiato, non sono necessari particolari accorgimenti per la verifica dello stato di carica delle batterie.

È comunque prescritta la verifica periodica dello stato di funzionamento delle plafoniere e delle batterie, procedendo, ad intervalli di tempo regolari, al ciclo scarica completa-ricarica delle batterie.

Gli apparecchi di illuminazione di emergenza e sicurezza saranno installati secondo le posizioni desunte dagli schemi progettuali.

5. Analisi dei carichi e determinazione corrente di impiego

Nell'effettuare l'analisi dei carichi si è proceduto alla valutazione dei seguenti casi:

- utilizzatori il cui carico è completamente noto in termini di potenza, corrente, fattore di potenza e regime di funzionamento.
- utilizzatori mobili o portatili da collegare mediante presa a spina e la cui potenza e consistenza è variabile e largamente imprevedibile.
- utilizzatori da valutare assegnando opportuni carichi convenzionali, in quanto previsti nell'uso ordinario dell'ambiente, ma ancora di caratteristiche non completamente note.

Le prese a spina si considerano utilizzatori di potenza corrispondente alla loro potenza nominale.

La corrente di impiego I_b , parametro fondamentale per il corretto dimensionamento dei conduttori è funzione della potenza installata P_a , della tensione nominale V , secondo la relazione:

$$I_b = P_d / (kca \times V_n \times \cos \varphi) = P_n \times \text{coef.} / (kca \times V_n \times \cos \varphi)$$

dove:

$$a = 1 / r \times \cos \varphi$$

b = fattore di utilizzazione – i valori sono desunti dalla seguente tabella

c = fattore di contemporaneità – i valori sono desunti dalla seguente tabella

Tab.1.3 - Fattore di utilizzazione

Tipo di utilizzazione	Ku
Lampade	1
Motori da 0,5 a 2 kW	0,7
Motori da 2 a 10 kW	0,75
Motori oltre i 10 kW	0,8
Forni a resistenza	1
Raddrizzatori	1
Saldatrici	tra 0,7 e 1
Macchine utensili, trasportatori	tra 0,6 e 0,8
Ascensori, impianti di sollevamento	tra 0,8 e 1
Pompe, ventilatori	1

Tab.1.4 - Fattore di contemporaneità

Tipo di utilizzazione	Numero	Kc
Motori da 0,5 a 2 kW	fino a 10	0,6
	oltre 10	0,5
Motori da 2,5 a 10 kW	fino a 10	0,7
	oltre 10	0,45
Motori da 10 a 30 kW	fino a 5	0,8
	Oltre 10	0,65
Motori oltre 30 kW	fino a 2	0,9
	Oltre 10	0,7
Raddrizzatori	fino a 10	0,8
Ascensori e montacarichi	fino a 4	0,75
	oltre 10	0,6
Illuminazione	qualsiasi	0,8
Pompe	qualsiasi	0,9
Ventilatori	qualsiasi	1

d = fattore che tiene conto delle previsioni di ampliamento dell'impianto (1,20)

e = fattore di conversione delle potenze (1,40).

I quadri elettrici previsti vengono pertanto dimensionati per garantire ad ogni singolo circuito il proprio corretto funzionamento.

Si prevedono n. 6 quadri secondari e n. 1 quadro principale.

Il dimensionamento e le caratteristiche sono riportate in allegato.

6. Conduttori

Tutti i conduttori devono essere di rame e contraddistinti dai colori dell'isolante prescritti dalle tabelle CEI-UNEL 00722; in particolare, i conduttori di fase potranno avere qualsiasi colore all'infuori di quelli utilizzati per il neutro e per la terra; i conduttori di "neutro" dovranno essere colore blu chiaro e quelli di "protezione" colore giallo-verde.

I cavi utilizzati per le linee principali saranno del tipo FG7(O)R, con isolamento in EPR.

I tratti terminali dei circuiti saranno in cavo N07V-K, con isolamento in PVC.

Tutti i cavi dovranno rispondere alle norme CEI 20-22 II e 20-37 II, 20-35 e 20-38 (cavi FG10M1/OM1), 20-13 e 20-52 (cavi FG7R/OR) e 20-20 (cavi N07V-K).

Con le sezioni dei conduttori ipotizzate in progetto, la caduta di tensione sulle linee terminali non supererà mai il valore del 4%.

Le derivazioni dei conduttori dovranno essere eseguite con morsetti volanti a cappuccio in resina termoindurente contenuti entro apposite cassette di derivazione con coperchi rimovibili solamente con l'uso di attrezzi, o entro i canali purché i dispositivi di connessione abbiano isolamento e resistenza meccanica equivalente a quella dei cavi e grado di protezione almeno IPXXB. È ammesso l'entra-esce sui morsetti, ad esempio di una presa per alimentare un'altra presa, purché esistano doppi morsetti o questi siano dimensionati per ricevere la sezione totale dei conduttori da collegare.

I conduttori dei servizi ausiliari a bassa tensione (antenna TV, rivelazione incendi, telefono) dovranno avere tubazioni e cassette di derivazione separate da tutte le altre condutture.

7. Modalità di posa

La parte 5 della norma CEI 64-8 si occupa della scelta ed installazione dei componenti elettrici; in particolare, nel capitolo 52, viene definita la scelta e la messa in opera delle condutture in funzione dei cavi e dei tipi di posa ammessi. Si ipotizza una modalità di posa dei cavi in tubi protettivi circolari posati su o distanziati da pareti (3A).

8. Portata dei cavi

La portata di un cavo dipende dalla sezione, dal tipo di conduttore e dall'isolante, ma anche dalla temperatura ambiente e dalle condizioni di posa.

Secondo la tabella CEI-UNEL 35024/1 (fascicolo 3516), per determinare la portata effettiva di un cavo si deve tener conto, oltre che dei valori tabellati della portata I_0 , anche di due fattori di correzione k_1 e k_2 che dipendono dalla temperatura ambiente se diversa da 30 °C e dalle modalità di installazione. In particolare, l'effettiva portata I_z del cavo è data dalla relazione:

$$I_z = I_0 \times k_1 \times k_2$$

Si allegano le tabelle che seguono, nelle quali si può leggere direttamente la portata I_z dei cavi a 30 °C, nelle condizioni di posa più usuali.

PROGETTO DEFINITIVO

Impianti Elettrici e speciali – Relazione tecnica

Tab. 7.6 (1ª parte) - Cavi multipolari posati in tubo o in canale

Sezione [mm²]	Numero cond. caricati	PORTATA (A)																			
		Numero di cavi multipolari																			
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR
1,5	2	16,5	22	13	17,5	11,5	15,5	10,5	14,5	10	13	9,5	12,5	9	12	8,5	11,5	8,5	11	8	10,5
	3	15	19,5	12	15,5	10,5	13,5	10	12,5	9	11,5	8,5	11	8	10,5	8	10	7,5	10	7	9,5
2,5	2	23	30	18,5	24	16	21	15	19,5	14	18	13	17	12,5	16	12	15,5	11,5	15	11	14,5
	3	20	26	16	21	14	18	13	17	12	15,5	11,5	15	11	14	10,5	13,5	10	13	9,5	12,5
4	2	30	40	24	32	21	28	19,5	26	18	24	17	23	16	22	15,5	21	15	20	14,5	19
	3	27	35	22	28	19	25	17,5	23	16	21	15,5	20	14,5	19	14	18	13,5	17,5	13	17
6	2	38	51	30	41	27	36	25	33	23	31	22	29	21	28	20	27	19	26	18	24
	3	34	44	27	35	24	31	22	29	20	26	19,5	25	18,5	24	17,5	23	17	22	16,5	21
10	2	52	69	42	55	36	48	34	45	31	41	30	39	28	37	27	36	26	35	25	33
	3	46	60	37	48	32	42	30	39	28	36	26	34	25	32	24	31	23	30	22	29
16	2	69	91	55	73	48	64	45	59	41	55	39	52	37	49	36	47	35	46	33	44
	3	62	80	50	64	43	56	40	52	37	48	35	46	33	43	32	42	31	40	30	38
25	2	90	119	72	95	63	83	59	77	54	71	51	68	49	64	47	62	45	60	43	57
	3	80	105	64	84	56	74	52	68	48	63	46	60	43	57	42	55	40	53	38	50
35	2	111	146	89	117	78	102	72	95	67	88	63	83	60	79	58	76	56	73	53	70
	3	99	128	79	102	69	90	64	83	59	77	56	73	53	69	51	67	50	64	48	61
50	2	133	175	106	140	93	123	86	114	80	105	76	100	72	95	69	91	67	88	64	84
	3	118	154	94	123	83	108	77	100	71	92	67	88	64	83	61	80	59	77	57	74
70	2	168	221	134	177	118	155	109	144	101	133	96	126	91	119	87	115	84	111	81	106
	3	149	194	119	155	104	136	97	126	89	116	85	111	80	105	77	101	75	97	72	93
95	2	201	265	161	212	141	186	131	172	121	159	115	151	109	143	105	138	101	133	96	127
	3	179	233	143	186	125	163	116	151	107	140	102	133	97	126	93	121	90	117	86	112
120	2	232	305	186	244	162	214	151	198	139	183	132	174	125	165	121	159	116	153	111	146
	3	206	268	165	214	144	188	134	174	124	161	117	153	111	145	107	139	103	134	99	129
150	2	258	334	206	267	181	234	168	217	155	200	147	190	139	180	134	174	129	167	124	160
	3	225	300	180	240	158	210	146	195	135	180	128	171	122	162	117	156	113	150	108	144
185	2	294	384	235	307	206	269	191	250	176	230	168	219	159	207	153	200	147	192	141	184
	3	255	340	204	272	179	238	166	221	153	204	145	194	138	184	133	177	128	170	122	163
240	2	344	459	275	367	241	321	224	298	206	275	196	262	186	248	179	239	172	230	165	220
	3	297	398	238	318	208	279	193	259	178	239	169	227	160	215	154	207	149	199	143	191
300	2	394	532	315	426	276	372	256	346	236	319	225	303	213	287	205	277	197	266	189	255
	3	339	455	271	364	237	319	220	296	203	273	193	259	183	246	176	237	170	228	163	218

Tab. 7.6 (2ª parte) - Cavi multipolari posati in tubo o in canale

Sezione [mm²]	Numero cond. caricati	PORTATA (A)																			
		Numero di cavi multipolari																			
		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
		PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR
1,5	2	8	10,5	7,5	10	7,5	9,5	7	9,5	7	9	7	9	6,5	9	6,5	9	6,5	8,5	6,5	8,5
	3	7	9	7	9	6,5	8,5	6,5	8,5	6,5	8	6	8	6	8	6	8	6	7,5	5,5	7,5
2,5	2	11	14	10,5	13,5	10	13	10	13	9,5	12,5	9,5	12,5	9	12	9	12	9	11,5	8,5	11,5
	3	9,5	12	9	11,5	9	11,5	8,5	11	8,5	11	8	10,5	8	10,5	8	10,5	8	10	7,5	10
4	2	14	19	13,5	18	13	17,5	13	17	12,5	17	12,5	16,5	12	16	12	16	11,5	15,5	11,5	15
	3	12,5	16,5	12	16	12	15,5	11,5	15	11,5	14,5	11	14,5	11	14	11	14	10,5	13,5	10,5	13,5
6	2	18	24	17	23	16,5	22	16,5	22	16	21	15,5	21	15	20	15	20	15	20	14,5	19,5
	3	16	21	15,5	20	15	19,5	14,5	19	14,5	18,5	14	18	13,5	17,5	13,5	17,5	13,5	17	13	16,5
10	2	24	32	23	31	23	30	22	30	22	29	21	28	21	28	21	28	20	27	20	26
	3	22	28	21	27	20	26	20	26	19,5	25	19	25	18,5	24	18,5	24	18	23	17,5	23
16	2	32	43	31	41	30	40	30	39	29	38	28	37	28	36	28	36	27	35	26	35
	3	29	38	28	36	27	35	27	34	26	34	25	33	25	32	25	32	24	31	24	30
25	2	42	56	41	54	40	52	39	51	38	50	37	49	36	48	36	48	35	46	34	45
	3	38	49	36	47	35	46	34	45	4	44	33	43	32	42	32	42	31	41	30	40
35	2	52	69	50	66	49	64	48	63	47	61	46	60	44	58	44	58	43	57	42	55
	3	47	60	45	58	44	56	43	55	42	54	41	52	40	51	40	51	39	50	38	49
50	2	63	82	60	79	59	77	57	75	56	74	55	72	53	70	53	70	52	68	51	67
	3	55	72	53	69	52	68	51	66	50	65	48	63	47	62	47	62	46	60	45	59
70	2	79	104	76	99	74	97	72	95	70	93	69	91	67	88	67	88	66	86	64	84
	3	70	91	67	87	66	85	64	83	63	81	61	80	60	78	60	78	58	76	57	74
95	2	94	125	90	119	88	117	86	114	84	111	82	109	80	106	80	106	78	103	76	101
	3	84	110	81	105	79	103	77	100	75	98	73	96	72	93	72	93	70	91	68	89
120	2	109	143	104	137	102	134	100	131	97	128	95	125	93	122	93	122	90	119	88	116
	3	97	126	93	121	91	118	89	115	87	113	84	110	82	107	82	107	80	105	78	102
150	2	121	157	116	150	114	147	111	144	108	140	106	137	103	134	103	134	101	130	98	127
	3	106	141	101	135	99	132	97	129	95	126	92	123	90	120	90	120	88	117	86	114
185	2	138	180	132	173	129	169	126	165	123	161	121	157	118	154	118	154	115	150	112	146
	3	120	160	115	153	112	150	110	146	107	143	105	139	102	136	102	136	99	133	97	129
240	2	162	216	155	207	151	202	148	197	144	193	141	188	138	184	138	184	134	179	131	174
	3	140	187	134	179	131	175	128	171	125	167	122	163	119	159	119	159	116	155	113	151
300	2	185	250	177	239	173	234	169	229	165	223	162	218	159	213	158	213	154	207	150	202
	3	159	214	153	205	149	200	146	196	142	191	139	187	136	182	136	182	132	177	129	177

9. Protezione da sovraccarichi e da cortocircuiti

La protezione contro i sovraccarichi è ottenuta tramite interruttori magnetotermici tarati in modo da soddisfare le relazioni:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

Questa seconda relazione è soddisfatta automaticamente con l'uso di interruttori magnetotermici a norme CEI 23.3 o CEI 17.5.

Risultando i conduttori protetti dal sovraccarico ed essendo previsto l'uso di interruttori a norme CEI dotati di soglia di intervento degli sganciatori magnetici inferiore a $10I_n$, è sufficiente la verifica della massima corrente di corto circuito, calcolata ai morsetti dell'interruttore.

I calcoli di dimensionamento dei cavi sono stati effettuati con l'ausilio di fogli di calcolo e in allegato si riportano le tabelle relative al dimensionamento dei cavi in uscita dai diversi quadri elettrici.

I dati relativi alle modalità di posa in opera dei cavi, alla temperatura di riferimento, al sistema di collegamento a terra, al tipo di cavo e relativo isolamento, al circuito di appartenenza alla corrente di impiego sono riportati in allegato.

In ogni caso le sezioni dei cavi scelti non dovranno mai essere inferiore a:

- 1,5 mmq per i punti luce;
- 2,5 mmq per le derivazioni alle prese e per le dorsali luce;
- 4 mmq per le dorsali prese.

10. Distribuzione principale e secondaria, tubi protettivi e canali

Per quanto concerne la posa di tubazioni o canaline, saranno rispettate le disposizioni delle norme CEI 23-8 e CEI 23-14. Questo tipo di installazione sarà diversificata relativamente alla zona da servire ed alla tipologia di costruzione e/o arredo degli ambienti.

La distribuzione all'interno dell'immobile dovrà essere effettuata:

- tramite tubazione tipo FK15 da incassare a soffitto, parete o pavimento;
- tramite tubazione tipo guainaflex per i tratti volanti a vista.

Le derivazioni dalla dorsale di distribuzione saranno realizzate utilizzando tubazioni in materiale termoplastico della serie pesante o in guaina vinilica del tipo autoestinguente ed a ridotta tossicità e corrosività, con resistenza elettrica di isolamento superiore a 100 M ohm e rigidità dielettrica superiore a 20KV/mm.

Tutte le tubazioni saranno collegate mediante interposizione di idonee cassette di derivazione ispezionabili, coperchio fissato per mezzo di viti, eventualmente dotate di morsetteria. Tali cassette saranno previste per ogni giunzione o derivazione ed, in ogni caso sulle tubazioni ogni due curve, dove occorra un brusco cambio di derivazione e dopo 15 m di tubo rettilineo. Le cassette di derivazione dovranno essere installate in modo da rendere agevole l'infilaggio dei cavi per il collegamento delle utenze.

Dato il numero di circuiti presenti e la diversità delle loro caratteristiche (distribuzione energia, linee telefoniche, rete informatica, etc.), si prescrive l'uso tubazioni di colore diverso a seconda del circuito contenuto, nonché cassette e scatole separate ed indipendenti. Inoltre i vari circuiti dovranno essere opportunamente identificati a mezzo di cartellini indelebili al fine di consentire la rapida localizzazione dei circuiti in qualsiasi momento.

Il diametro interno dei tubi deve essere almeno uguale a 1.3 volte il diametro del cerchio circoscritto al fascio dei cavi. Nei canali la sezione occupata dai cavi, tenuto conto del volume occupato dalle connessioni, non deve superare il 50% della sezione utile del canale stesso.

Le tubazioni devono essere disposte orizzontalmente o verticalmente evitando percorsi obliqui.

Nel caso di intersezione tra tubazioni di energia e di segnale, la tubazione contenenti linee di segnale deve passare sopra.

Il raggio di curvatura delle tubazioni deve essere tale da non danneggiare i cavi.

Il percorso di tubazioni, il tipo e la sezione, sono chiaramente indicati nelle planimetrie.

Il grado di protezione degli impianti sarà IP 40 nelle aule e nei locali ufficio, mentre nei locali tecnologici sarà IP 55.

I comandi saranno centralizzati nelle zone di vasta superficie nel quadro elettrico di piano ed installati in prossimità degli ingressi in apposite scatole portafrutto negli altri ambienti.

Le prese avranno alveoli arretrati, saranno del tipo ad alveoli allineati o del tipo Unel, come indicato sui grafici. Nel locale tecnico le prese avranno interruttori di blocco e fusibili.

11. Protezione contro i contatti diretti

Si intende per contatto diretto il contatto con una parte attiva dell'impianto, compreso il conduttore di neutro.

La protezione contro i contatti diretti sarà ottenuta mediante le seguenti misure di protezione totale:

- isolamento delle parti attive con materiale adeguato alla tensione nominale e verso terra e resistente alle sollecitazioni meccaniche, agli sforzi elettrodinamici e termici ed alle alterazioni chimiche cui può essere sottoposto durante l'esercizio;
- adozione di involucri aventi grado minimo di protezione pari a IP XXB per le pareti verticali e non inferiore a IP XXD per le superfici orizzontali superiori, data la maggiore facilità per elementi esterni di entrare in contatto con le parti attive interne.

L'isolamento può essere rimosso solo mediante distruzione dello stesso.

L'isolamento delle apparecchiature costruite in fabbrica deve soddisfare le relative norme.

Se per ragioni di esercizio si rendesse necessario aprire un involucro o rimuovere una barriera, dovrà essere rispettata almeno una delle seguenti prescrizioni:

- uso di chiave o attrezzo da parte di personale addestrato;
- sezionamento delle parti attive con interblocco meccanico e/o elettrico;
- interposizione di una barriera intermedia che impedisca il contatto con le parti attive avente grado di protezione IP2X rimovibile con chiave o attrezzo.

12. Protezione da contatti indiretti

Si definisce contatto indiretto il contatto con una massa, o con una parte conduttrice connessa con la massa, andata in tensione per un guasto di isolamento.

Si definisce massa una parte conduttrice di un componente elettrico che può essere toccata e che non è in tensione in condizioni ordinarie, ma che può andare in tensione in condizioni di guasto.

Si definisce massa estranea una parte conduttrice non facente parte dell'impianto elettrico in grado di introdurre un potenziale, generalmente il potenziale di terra, ed avente resistenza verso terra di valore inferiore a 1000Ω.

Il sistema di distribuzione adottato è TT ed in questo caso la protezione contro i contatti indiretti verrà realizzata con l'impiego di interruttori automatici magneto-termici differenziali, coordinati con l'impianto di terra secondo la formula:

$$R_a \leq 50 / I_d$$

dove:

- I_d è il più elevato valore in ampere della corrente di intervento differenziale tra i dispositivi di protezione installati;
- 50 è il valore in Volt della tensione massima ammissibile sulle masse in locali ordinari;
- R_a è il valore in Ohm della somma delle resistenze di terra e dei conduttori di protezione; quest'ultima risulta comunque di valore trascurabile rispetto alle resistenze di terra.

I quadri elettrici sono dotati di interruttori differenziali la cui corrente differenziale massima I_d è pari a 30 mA.

13. Collegamenti equipotenziali

Secondo i dettami delle norme 64-8, tutte le masse e le masse estranee sono previste collegate equipotenzialmente.

I conduttori secondari previsti per i collegamenti equipotenziali avranno sezione non inferiore a 2,5mmq, mentre i conduttori principali saranno di sezione metà del conduttore di protezione principale con un massimo di 25mmq.

Nei locali di servizio, (WC, anti WC), le tubazioni metalliche di adduzione e di scarico saranno collegate tra loro con corda flessibile, giallo/verde da 2,5mm², e collari stringi-tubo di acciaio zincato. Detti collegamenti faranno capo ad una cassetta in cui sarà realizzato un nodo equipotenziale; inoltre in tali locali saranno rispettate le norme 64-8 per quanto riguarda le "zone di rispetto".

14. Impianto di terra

Il sistema di distribuzione dell'immobile è del tipo TT, in quanto la fornitura di energia elettrica avviene direttamente in bassa tensione.

L'impianto di terra è costituito dai seguenti elementi:

- conduttori di terra;
- conduttori di protezione;
- conduttori equipotenziali;
- collettori;
- dispersori.

I conduttori di protezione avranno sezione pari alla sezione del conduttore di fase fino a 16 mmq, pari a 16 mmq nel caso in cui la sezione di fase è compresa tra 16 mmq e 35 mmq, pari alla metà della sezione di fase nel caso in cui questa sia maggiore di 35 mmq.

Il conduttore di protezione comune a più circuiti deve essere dimensionato in base al conduttore di fase di sezione maggiore.

Al conduttore di protezione dovranno essere collegati i conduttori equipotenziali di tutte le masse e masse estranee, i conduttori di protezione di tutti i contatti di terra delle prese a spina ed i conduttori di protezione di tutte le masse degli apparecchi illuminanti.

Tutte le tubazioni entranti nell'edificio dovranno essere collegate all'impianto di terra.

Inoltre saranno realizzati dei collettori equipotenziali o semplicemente dei punti di collegamento equipotenziali supplementari, in corrispondenza dei collettori dell'acqua, nei bagni contenenti docce o vasche da bagno e nei locali tecnici.

È vietato collegare all'impianto di terra i corpi illuminanti e le masse in genere aventi doppio isolamento.

L'impianto di terra sarà costituito da n. 2 picchetti in acciaio zincato di lunghezza 1,5 m infissi nel terreno, posti all'interno di pozzetti carrabili e collegati tra loro mediante corda nuda di rame direttamente interrata di sezione pari a 35 mmq.

Supponendo il terreno di tipo vegetale e stimando in prima battuta delle resistività pari 100 Ω·m e considerando per ogni dispersore a picchetto la formula:

$$R_t = \rho / 2\pi L \times \ln ((4L/a)-1)$$

dove:

- ρ è la resistività del terreno;
- L è la lunghezza di ciascun picchetto, in cm;
- a è il raggio del picchetto, in cm;

si perviene a un valore di resistenza di terra per ciascun picchetto di 40,19 Ω.

Considerando la contemporanea presenza di 30 picchetti, la resistenza di terra complessiva dei picchetti è di 20.10 Ω.

Considerando per la corda nuda di rame si perviene ad un valore di resistenza per ogni elemento elementare della maglia ad un valore pari a 10.93 Ω, essendo $a = 3,34$ mm (sezione 35 mmq) ed una lunghezza media del tratto pari a 15 m.

Dalla configurazione serie-parallelo dei dispersori, con semplici relazioni circuitali, si perviene ad un valore di resistenza totale di terra R_T prossimo ad 7.09 Ω.

In tale calcolo è stato trascurato, a favore della sicurezza, il contributo dato dai dispersori di fatto, cui l'impianto in esame verrà collegato.

In sede di verifica finale dell'impianto è comunque necessaria la valutazione della resistenza di terra con misura diretta affinché essa verifichi il suddetto valore.

15. Quadri elettrici e distribuzione

Il tipo di distribuzione adoperata è ad albero (da un quadro generale sono alimentati i quadri secondari di zona) al fine di permettere la suddivisione dell'impianto in zone indipendenti tra loro e garantire:

- continuità di funzionamento in caso di guasto su linee non appartenenti alla stessa zona;
- facilità di ricerca di eventuali guasti;
- ottimizzazione dei costi;
- razionalità nella distribuzione dell'impianto e riduzione delle dorsali di alimentazione.

I quadri elettrici saranno realizzati nel rispetto delle norme CEI17-13/1.

Si prevedono n. 5 quadri secondari e n. 1 quadro principale.

Il dimensionamento e le caratteristiche sono riportate in allegato.

I quadri elettrici potranno essere del tipo a parete, in materiale metallico o isolante, oppure ad armadio autoportante in lamiera zincata con struttura in acciaio, dotati di doppio isolamento e grado di protezione non inferiore a IP40 nel rispetto alle normative vigenti, resistente al calore e al fuoco fino a 650 °C secondo norme CEI695-2-1, resistenti ad agenti chimici ed atmosferici, dotato di coperchio con finestra a tenuta stagna in cristallo, incernierato, apribili a cerniera con serratura a chiave unificata, munite di cristallo a forte spessore.

I quadri in lamiera metallica saranno composti da scomparti modulari affiancabili; ciascun scomparto sarà composto da montanti in lamiera da 20/10, presso-piegata e da lamiere di chiusura da 15/10mm. Il quadro sarà verniciato con vernici a spruzzo elettrostatiche con spessore dai film di > 50 micron. Tutta la carpenteria sarà resistente agli agenti chimici mediante pellicola omogenea di resina epossidica.

Ogni possibilità di corto circuito sulle sbarre, nonché i contatti accidentali degli operatori con le parti in tensione, saranno ridotti al minimo con l'adozione di guaina termo-restringente incombustibile sulle sbarre o pannelli, o con altro mezzo idoneo ad evitare contatti diretti.

I collegamenti tra le sbarre e gli interruttori saranno realizzati in sbarre di rame bullonate ai codoli di ingresso, in bandella flessibile stagnata ricoperta di guaina non propagante l'incendio o in cavo unipolare flessibile antifiamma; quello dei collegamenti secondari o degli ausiliari sarà eseguito con conduttori flessibili in rame isolato in PVC, con grado di isolamento 3, antifiamma, tipo N07V-K, posati entro canaline autoestinguenti. I circuiti ausiliari saranno separati dai circuiti di potenza.

Tutti i conduttori di cablaggio nonché quelli dei cavi in partenza saranno contrassegnati secondo la tabella UNEL 00612.

I cavi facenti capo agli interruttori devono essere dotati di capi-corda serrati a compressione. Tutte le parti metalliche saranno collegate a terra, con treccia flessibile giallo/verde da 16 mmq, su una sbarra in rame di sezione minima 50 mmq, collegata a sua volta all'impianto di terra. Fermo restando il valore indicato, la sbarra di terra sarà verificata come da appendice della Norma 17-13/1. Sugli schemi e tabelle allegate sono indicati i tipi di interruttori previsti, le relative tarature dei relè termici e magnetici, le correnti di corto circuito calcolate all'inizio e al termine di ciascuna linea, e la corrente di guasto a terra, per la verifica dell'idoneità degli interruttori alla protezione contro i contatti indiretti.

Le sezioni utilizzate sono superiori alle sezioni minime protette dai singoli interruttori con $I_{cc} = 16$ kA.

I quadri elettrici previsti conterranno le apparecchiature di sezionamento, comando e protezione delle singole linee in partenza per la protezione dai sovraccarichi e dai cortocircuiti, consentiranno, inoltre, distaccare immediatamente l'alimentazione mediante l'azionamento dell'interruttore generale di quadro in caso di emergenza e di parzializzare l'alimentazione dell'impianto per la normale manutenzione.

I circuiti verranno protetti singolarmente con interruttori automatici.

Tutti i quadri elettrici saranno completati da targhette per l'identificazione dei circuiti e dal relativo schema elettrico e saranno dotati di cartelli monitori secondo la normativa vigente.

CRITERI DIMENSIONALI GENERALI

RELAZIONE SUL CALCOLO ESEGUITO

Calcolo delle correnti di impiego

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

$$I_b = \frac{P_d}{k_{ca} \cdot V_n \cdot \cos \varphi}$$

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 $\cos \varphi$ è pari a 1.

Dal valore massimo (modulo) di I_b vengono calcolate le correnti di fase in notazione vettoriale (parte reale ed immaginaria) con le formule:

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= I_b \cdot e^{-j\varphi} = I_b \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) \\ \dot{I}_2 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 2\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \right) \\ \dot{I}_3 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 4\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \right)\end{aligned}$$

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

$$\dot{V}_n = V_n + j0$$

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

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 (ΣP_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 (ΣQ_d a valle).

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

$$\cos\varphi = \cos\left(\arctan\left(\frac{Q_n}{P_n}\right)\right)$$

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 conduttura in modo da verificare le condizioni:

$$a) \quad I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$b) \quad I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

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 conduttura principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate;
- conduttura 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 conduttura principale.

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

- IEC 448;
- IEC 364-5-523 (1983);
- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR);
- IEC 60364-5-52 (Mineral);
- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026;
- CEI 20-91 (HEPR).

Im media tensione, la gestione del calcolo si divide a seconda delle tabelle scelte:

- CEI 11-17;
- CEI UNEL 35027 (1-30kV).

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:

$$I_{z\min} = \frac{I_n}{k}$$

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.

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:	$K = 115$
Cavo in rame serie L nudo:	$K = 200$
Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	$K = 115$
Cavo in rame serie H nudo:	$K = 200$
Cavo in alluminio e isolato in PVC:	$K = 74$
Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7:	$K = 92$

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

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 mmq;
- 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 mmq se il conduttore è in rame e a 25 mmq 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 mmq se conduttore in rame e 25 mmq 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:

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

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.

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:

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

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:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{K}$$

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 rame o 16 mm^2 alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 o 16 mm^2 alluminio se non è prevista una protezione meccanica;

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

Nei sistemi TT, la sezione dei conduttori di protezione può essere limitata a:

- 25 mm², se in rame;
- 35 mm², se in alluminio;

Calcolo della temperatura dei cavi

La valutazione della temperatura dei cavi si esegue in base alla corrente di impiego e alla corrente nominale tramite le seguenti espressioni:

$$T_{cavo}(I_b) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_b^2}{I_z^2} \right)$$
$$T_{cavo}(I_n) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_n^2}{I_z^2} \right)$$

esprese in °C.

Esse derivano dalla considerazione che la sovratemperatura del cavo a regime è proporzionale alla potenza in esso dissipata.

Il coefficiente α_{cavo} è vincolato dal tipo di isolamento del cavo e dal tipo di tabella di posa che si sta usando.

Cadute di tensione

Le cadute di tensione sono calcolate vettorialmente. Per ogni utenza si calcola la caduta di tensione vettoriale lungo ogni fase e lungo il conduttore di neutro (se distribuito). Tra le fasi si considera la caduta di tensione maggiore che viene riportata in percentuale rispetto alla tensione nominale:

$$c.d.t(ib) = \max \left(\left| \sum_{i=1}^k \dot{Z}f_i \cdot \dot{I}f_i - \dot{Z}n_i \cdot \dot{I}n_i \right| \right)_{f=R,S,T}$$

con f che rappresenta le tre fasi R, S, T;

con n che rappresenta il conduttore di neutro;

con i che rappresenta le k utenze coinvolte nel calcolo;

Il calcolo fornisce, quindi, il valore esatto della formula approssimata:

$$cdt(I_b) = k_{cdt} \cdot I_b \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{V_n}$$

con:

- $k_{cdt}=2$ per sistemi monofase;
- $k_{cdt}=1.73$ per sistemi trifase.

I parametri R_{cavo} e X_{cavo} sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione del tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 70° C per i cavi con isolamento PVC, a 90° C per i cavi con isolamento EPR; mentre il secondo è riferito a 50Hz, ferme restando le unità di misura in Ω/km . La $cdt(I_b)$ è la caduta di tensione alla corrente I_b e calcolata analogamente alla $cdt(I_b)$.

Se la frequenza di esercizio è differente dai 50 Hz si imposta

$$X'_{cavo} = \frac{f}{50} \cdot X_{cavo}$$

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di una utenza è determinata come somma delle cadute di tensione vettoriale, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in esame, da cui, viene successivamente determinata la caduta di tensione percentuale riferendola al sistema (trifase o monofase) e alla tensione nominale dell'utenza in esame.

Sono adeguatamente calcolate le cadute di tensione totali nel caso siano presenti trasformatori lungo la linea (per esempio trasformatori MT/BT o BT/BT). In tale circostanza, infatti, il calcolo della caduta di tensione totale tiene conto sia della caduta interna nei trasformatori, sia della presenza di spine di regolazione del rapporto spire dei trasformatori stessi.

Se al termine del calcolo delle cadute di tensione alcune utenze abbiano valori superiori a quelli definiti, si ricorre ad un procedimento di ottimizzazione per far rientrare la caduta di tensione entro limiti prestabiliti (limiti dati da CEI 64-8 par. 525). Le sezioni dei cavi vengono forzate a valori superiori cercando di seguire una crescita uniforme fino a portare tutte le cadute di tensione sotto i limiti.

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.

Tali correnti saranno utilizzate in fase di scelta delle protezioni per la verifica dei poteri di interruzione delle apparecchiature.

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.

I dati richiesti sono:

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;
- corrente di cortocircuito trifase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente nel caso di fornitura ENEL 4.5-6 kA).
- corrente di cortocircuito monofase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente nel caso di fornitura ENEL 4.5-6 kA).

Dai primi due valori si determina l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di cortocircuito I_{cctrif} , in mΩ:

$$Z_{cctrif} = \frac{V_2}{\sqrt{3} \cdot I_{cctrif}}$$

In base alla tabella fornita dalla norma CEI 17-5 che fornisce il $\cos\phi_{cc}$ di cortocircuito in relazione alla corrente di cortocircuito in kA, si ha:

$50 < I_{cctrif}$	$\cos\phi_{cc} = 0.2$
$20 < I_{cctrif} \leq 50$	$\cos\phi_{cc} = 0.25$
$10 < I_{cctrif} \leq 20$	$\cos\phi_{cc} = 0.3$
$6 < I_{cctrif} \leq 10$	$\cos\phi_{cc} = 0.5$
$4.5 < I_{cctrif} \leq 6$	$\cos\phi_{cc} = 0.7$
$3 < I_{cctrif} \leq 4.5$	$\cos\phi_{cc} = 0.8$
$1.5 < I_{cctrif} \leq 3$	$\cos\phi_{cc} = 0.9$
$I_{cctrif} \leq 1.5$	$\cos\phi_{cc} = 0.95$

da questi dati si ricava la resistenza alla sequenza diretta, in mΩ:

$$R_d = Z_{cctrif} \cdot \cos\phi_{cc}$$

ed infine la relativa reattanza alla sequenza diretta, in mΩ:

$$X_d = \sqrt{Z_{cctrif}^2 - R_d^2}$$

Dalla conoscenza della corrente di guasto monofase I_{k1} , è possibile ricavare i valori dell'impedenza omopolare.

Invertendo la formula:

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2}{\sqrt{(2 \cdot R_d + R_0)^2 + (2 \cdot X_d + X_0)^2}}$$

con le ipotesi $\frac{R_0}{X_0} = \frac{Z_0}{X_0} \cdot \cos\phi_{cc}$, cioè l'angolo delle componenti omopolari uguale a quello delle componenti dirette, si ottiene:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I_{k1}} \cdot \cos \varphi_{cc} - 2 \cdot R_d$$

$$X_0 = R_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{(\cos \varphi_{cc})^2} - 1}$$

Calcolo dispersori di terra

Di seguito sono riportate le formule utilizzate per il calcolo della resistenza di terra di diversi dispersori, di cui si tiene conto del tipo di terreno.

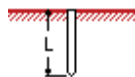
Impostata la resistività ρ del terreno, per ogni tipo di dispersore si devono inserire i parametri che lo definiscono.

Parametri:

- lunghezza L ;
- raggio del picchetto a ;
- distanza tra picchetti d ;
- profondità s ;
- raggio del filo a ;
- raggio anello r ;
- raggio piastra r ;
- lunghezze lati dispersori rettangolari a, b ;
- numero conduttori per lato na, nb .

Tipologie di dispersori:

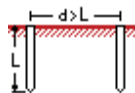
1) Picchetto verticale



per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a=a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot L}{a} - 1 \right)$$

2) Due picchetti verticali

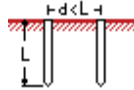


per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a=a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot d} \cdot \left(1 - \frac{L^2}{3 \cdot d^2} + \frac{2 \cdot L^4}{5 \cdot d^4} \dots \right)$$

La formula ha il vincolo: $d > L$.

3) Due picchetti verticali vicini

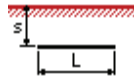


per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a = a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot L}{a} + \ln \frac{4 \cdot L}{d} - 2 + \frac{d}{2 \cdot L} - \frac{d^2}{16 \cdot L^2} + \frac{d^4}{512 \cdot L^4} \dots \right)$$

Vincolo: $d < L$.

4) Dispersore lineare



per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s = 2 \cdot s'$;

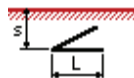
per avere L , il valore L' inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $L = L'/2$;

per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a = a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot L}{a} + \ln \frac{4 \cdot L}{s} - 2 + \frac{s}{2 \cdot L} - \frac{s^2}{16 \cdot L^2} + \frac{s^4}{512 \cdot L^4} \dots \right)$$

Vincolo: $s' < L'$.

5) Dispersore angolare



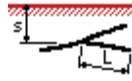
per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s = 2 \cdot s'$;

per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a = a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{a} + \ln \frac{2 \cdot L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \cdot \frac{s}{L} + 0.1035 \cdot \frac{s^2}{L^2} \dots \right)$$

Vincolo: $s' < L$.

6) Stella a tre punte



per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s=2*s'$;
per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a=a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{6 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{a} + \ln \frac{2 \cdot L}{s} + 1.071 - 0.209 \cdot \frac{s}{L} + 0.238 \cdot \frac{s^2}{L^2} \dots \right)$$

Vincolo: $s' < L$.

7) Stella a quattro punte

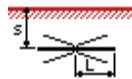


per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s=2*s'$;
per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a=a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{8 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{a} + \ln \frac{2 \cdot L}{s} + 2.912 - 1.071 \cdot \frac{s}{L} + 0.645 \cdot \frac{s^2}{L^2} \dots \right)$$

Vincolo: $s' < L$.

8) Stella a sei punte

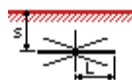


per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s=2*s'$;
per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a=a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{12 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{a} + \ln \frac{2 \cdot L}{s} + 6.851 - 3.128 \cdot \frac{s}{L} + 1.758 \cdot \frac{s^2}{L^2} \dots \right)$$

Vincolo: $s' < L$.

9) Stella a otto punte

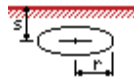


per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s=2*s'$;
per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a=a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{16 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{a} + \ln \frac{2 \cdot L}{s} + 10.98 - 5.51 \cdot \frac{s}{L} + 3.26 \cdot \frac{s^2}{L^2} \dots \right)$$

Vincolo: $s' < L$.

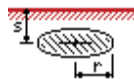
10) Dispersore ad anello



per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s = 2 \cdot s'$;
per avere a , il valore a' (diametro) inserito in Ampère deve essere diviso per 2: $a = a'/2$.

$$R_T = \frac{\rho}{4 \cdot \pi^2 \cdot r} \cdot \left(\ln \frac{8 \cdot r}{a} + \ln \frac{8 \cdot r}{s} \right)$$

11) Piastra rotonda orizzontale



per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s = 2 \cdot s'$;

$$R_T = \frac{\rho}{8 \cdot r} + \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot s} \cdot \left(1 - \frac{7}{12} \frac{r^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{r^4}{s^4} \dots \right)$$

Vincolo: $r < 2 \cdot s'$.

12) Piastra rotonda verticale

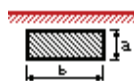


per avere s , il valore s' inserito in Ampère deve essere moltiplicato per 2: $s = 2 \cdot s'$.

$$R_T = \frac{\rho}{8 \cdot r} + \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot s} \cdot \left(1 + \frac{7}{24} \frac{r^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{r^4}{s^4} \dots \right)$$

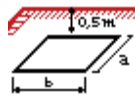
Vincolo: $r < s'$.

13) Piastra rettangolare verticale



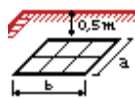
$$R_T = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot b}}$$

14) Dispersore ad anello rettangolare



$$R_T = \frac{\rho}{a + b}$$

15) Maglia rettangolare



$$R_T = \rho \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot r} + \frac{1}{\Sigma I} \right)$$

con

$\Sigma I = nb \cdot b + na \cdot a$ lunghezza totale dei conduttori costituenti la rete.

$$r = \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}}$$

I riferimenti bibliografici delle formule sono:

- Lorenzo Fellin, Complementi di impianti elettrici, CUSL;
- M. Montalbetti, L'impianto di messa a terra, Editoriale Delfino, Milano.

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

I parametri alle sequenze di ogni utenza vengono inizializzati da quelli corrispondenti della utenza a monte che, a loro volta, inizializzano i parametri della linea a valle.

Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo è condotto nelle seguenti condizioni:

- a) tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione C_{max} ;
- b) impedenza di guasto minima, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza data dalle tabelle UNEL 35023-2012 che può essere riferita a 70 o 90 °C a seconda dell'isolante, per cui esprimendola in mΩ risulta:

$$R_{dcavo} = \frac{R_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \left(\frac{1}{1 + (\Delta T \cdot 0.004)} \right)$$

dove ΔT è 50 o 70 °C.

Nota poi dalle stesse tabelle la reattanza a 50 Hz, se f è la frequenza d'esercizio, risulta:

$$X_{dcavo} = \frac{X_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

possiamo sommare queste ai parametri diretti della utenza a monte ottenendo così la impedenza di guasto minima a fine utenza.

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza diretta sono:

$$R_{dsbarra} = \frac{R_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{dsbarra} = \frac{X_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

Per le utenze con impedenza nota, le componenti della sequenza diretta sono i valori stessi di resistenza e reattanza dell'impedenza.

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare, occorre distinguere tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ottengono da quelli diretti tramite le:

$$\begin{aligned} R_{0cavoNeutro} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro} \\ X_{0cavoNeutro} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cavoPE} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE} \\ X_{0cavoPE} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

dove le resistenze $R_{dcavoNeutro}$ e $R_{dcavoPE}$ vengono calcolate come la R_{dcavo} .

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza omopolare sono distinte tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ha:

$$\begin{aligned} R_{0sbarraNeutro} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro} \\ X_{0sbarraNeutro} &= 3 \cdot X_{dsbarra} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione viene utilizzato il parametro di reattanza dell'anello di guasto fornito dai costruttori:

$$\begin{aligned} R_{0sbarraPE} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraPE} \\ X_{0sbarraPE} &= 2 \cdot X_{anello_guasto} \end{aligned}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, della utenza a monte, espressi in mΩ:

$$\begin{aligned} R_d &= R_{dcavo} + R_{dmonte} \\ X_d &= X_{dcavo} + X_{dmonte} \\ R_{0Neutro} &= R_{0cavoNeutro} + R_{0monteNeutro} \\ X_{0Neutro} &= X_{0cavoNeutro} + X_{0monteNeutro} \\ R_{0PE} &= R_{0cavoPE} + R_{0montePE} \\ X_{0PE} &= X_{0cavoPE} + X_{0montePE} \end{aligned}$$

Per le utenze in condotto in sbarre basta sostituire *sbarra* a *cavo*.
Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

Noti questi parametri vengono calcolate le impedenze (in mΩ) di guasto trifase:

$$Z_{k \min} = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1Neutr \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0Neutro})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0Neutro})^2}$$

Fase terra:

$$Z_{k1PE \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0PE})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0PE})^2}$$

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase I_{kmax} , fase neutro $I_{k1Neutromax}$, fase terra $I_{k1PEmax}$ e bifase I_{k2max} espresse in kA:

$$I_{k \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \min}}$$

$$I_{k1Neutr \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutr \min}}$$

$$I_{k1PE \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \min}}$$

$$I_{k2 \max} = \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k \min}}$$

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti (CEI 11-25 par. 9.1.1.):

$$I_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k \max}$$

$$I_{p1Neutro} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutr \max}$$

$$I_{p1PE} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE \max}$$

$$I_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

dove:

$$\kappa \approx 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_d}{X_d}}$$

Calcolo della corrente di cresta per guasto trifase secondo la norma IEC 61363-1: Electrical installations of ships. Se richiesto, I_p può essere calcolato applicando il metodo semplificato della norma riportato al paragrafo 6.2.5 Neglecting short-circuit current decay. Esso prevede l'utilizzo di un coefficiente $k = 1.8$ che tiene conto della massima asimmetria della corrente dopo il primo semiperiodo di guasto.

Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

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);
- in media e alta tensione il fattore è pari a 1;
- guasti permanenti con contributo della fornitura e dei generatori in regime di guasto permanente.

Per la temperatura dei conduttori si può scegliere tra:

- il rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario del cavo;

- la norma CEI EN 60909-0, che indica le temperature alla fine del guasto.

Le temperature sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

Isolante	Cenelec R064-003 [°C]	CEI EN 60909-0 [°C]
PVC	70	160
G	85	200
G5/G7/G10/EPR	90	250
HEPR	120	250
serie L rivestito	70	160
serie L nudo	105	160
serie H rivestito	70	160
serie H nudo	105	160

Da queste è possibile calcolare le resistenze alla sequenza diretta e omopolare alla temperatura relativa all'isolamento del cavo:

$$R_{d \max} = R_d \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0 \text{Neutro}} = R_{0 \text{Neutro}} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0 \text{PE}} = R_{0 \text{PE}} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

Queste, sommate alle resistenze a monte, danno le resistenze minime.

Valutate le impedenze mediante le stesse espressioni delle impedenze di guasto massime, si possono calcolare le correnti di cortocircuito trifase $I_{k1 \min}$ e fase terra, espresse in kA:

$$I_{k \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \max}}$$

$$I_{k1 \text{Neutro} \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{Neutro} \max}}$$

$$I_{k1 \text{PE} \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{PE} \max}}$$

$$I_{k2 \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{k \max}}$$

Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra

Riportiamo le formule utilizzate per il calcolo dei guasti. Chiamiamo con Z_d la impedenza diretta della rete, con Z_i l'impedenza inversa, che coincide con Z_d , e con Z_0 l'impedenza omopolare.

Nelle formule riportate in seguito, Z_0 corrisponde all'impedenza omopolare fase-neutro o fase-terra.

$$I_{k2} = \left| -j \cdot V_n \cdot \frac{\dot{Z}_0 - \alpha \cdot \dot{Z}_i}{\dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_i + \dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_0 + \dot{Z}_i \cdot \dot{Z}_0} \right|$$

e la corrente di picco:

$$I_{p2} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

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 dell'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 ($I_{mag \max}$).

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:

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

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:

- a) Le intersezioni sono due:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters \min}$ (quest'ultima riportata nella norma come I_a);
 - $I_{ccmax} \leq I_{inters \max}$ (quest'ultima riportata nella norma come I_b).
- b) L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters \min}$.
- c) L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
 - $I_{cc \max} \leq I_{inters \max}$.

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 K^2S^2 e la 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.

Verifica di selettività

E' verificata la selettività tra protezioni mediante la sovrapposizione delle curve di intervento. I dati forniti dalla sovrapposizione, oltre al grafico sono:

- Corrente I_a di intervento in corrispondenza ai massimi tempi di interruzione previsti dalla CEI 64-8: pertanto viene sempre data la corrente ai 5s (valido per le utenze di distribuzione o terminali fisse) e la corrente ad un tempo determinato tramite la tabella 41A della CEI 64.8 par 413.1.3. Fornendo una fascia di intervento delimitata da una caratteristica limite superiore e una caratteristica limite inferiore, il tempo di intervento viene dato in corrispondenza alla caratteristica limite inferiore. Tali dati sono forniti per la protezione a monte e per quella a valle;
- Tempo di intervento in corrispondenza della minima corrente di guasto alla fine dell'utenza a valle: minimo per la protezione a monte (determinato sulla caratteristica limite inferiore) e massimo per la protezione a valle (determinato sulla caratteristica limite superiore);
- Rapporto tra le correnti di intervento magnetico: delle protezioni;
- Corrente al limite di selettività: ossia il valore della corrente in corrispondenza all'intersezione tra la caratteristica limite superiore della protezione a valle e la caratteristica limite inferiore della protezione a monte (CEI 23.3 par 2.5.14).
- Selettività: viene indicato se la caratteristica della protezione a monte si colloca sopra alla caratteristica della protezione a valle (totale) o solo parzialmente (parziale a sovraccarico se l'intersezione tra le curve si ha nel tratto termico).
- Selettività cronometrica: con essa viene indicata la differenza tra i tempi di intervento delle protezioni in corrispondenza delle correnti di cortocircuito in cui è verificata.

Nelle valutazioni si deve tenere conto delle tolleranze sulle caratteristiche date dai costruttori.

Quando possibile, alla selettività grafica viene affiancata la selettività tabellare tramite i valori forniti dalle case costruttrici. I valori forniti corrispondono ai limiti di selettività in A relativi ad una coppia di protezioni poste una a monte dell'altra. La corrente di guasto minima a valle deve risultare inferiore a tale parametro per garantire la selettività.

Riferimenti normativi

Norme di riferimento per la Bassa tensione:

- CEI 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.

- CEI EN 60909-0 IIa Ed. (IEC 60909-0:2001-07): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- CEI 23-3/1 Ia Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2012: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: 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.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale 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.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS).
- CEI 23-51 IIa Ed. 2004: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.
- NF C 15-100 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento dei cavi secondo norme francesi.
- UNE 20460 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento (UNE 20460-5-523) dei cavi secondo regolamento spagnolo.
- British Standard BS 7671:2008: Requirements for Electrical Installations;
- ABNT NBR 5410, Segunda edição 2004: Instalações elétricas de baixa tensão;

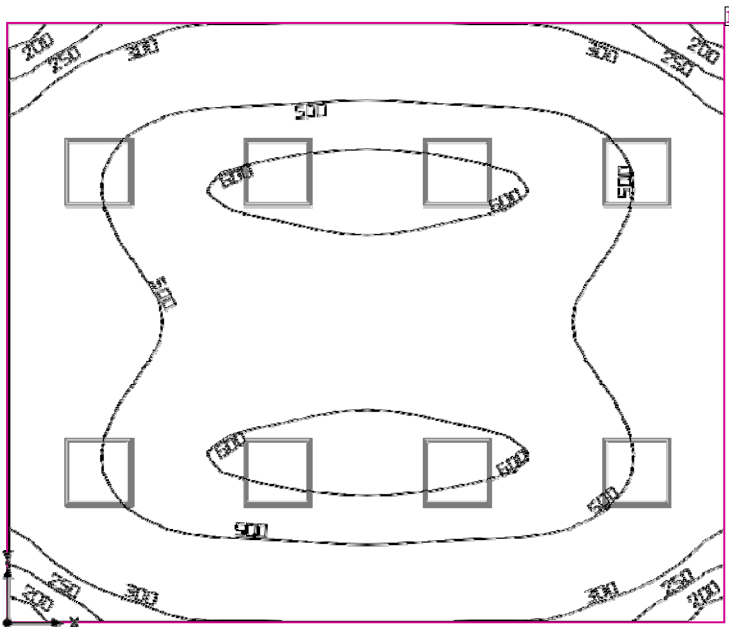
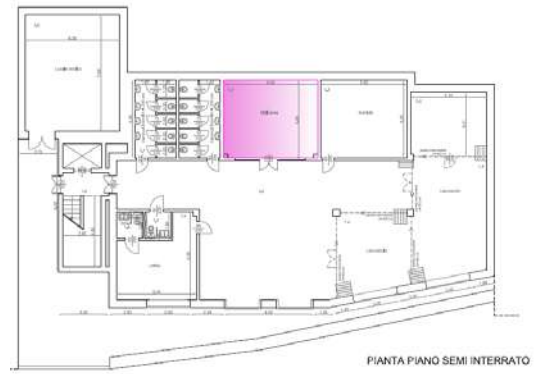
Norme di riferimento per la Media tensione

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1): Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV.
- CEI 11-35 IIa Ed. 2004: Guida all'esecuzione delle cabine elettriche d'utente
- CEI 17-1 VIa Ed. 2005: Apparecchiatura ad alta tensione. Parte 100: Interruttori a corrente alternata ad alta tensione.

- 17-9/1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori per tensioni nominali superiori a 1kV e inferiori a 52 kV

VERIFICHE ILLUMINOTECNICHE

Livello seminterrato - Biblioteca (500 lx)



Altezza libera: 2.800 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Biblioteca)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	512 (≥ 500)	185	625	0.40	0.30

# Lampada	Φ (Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
8 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	29088	337.6	86.2

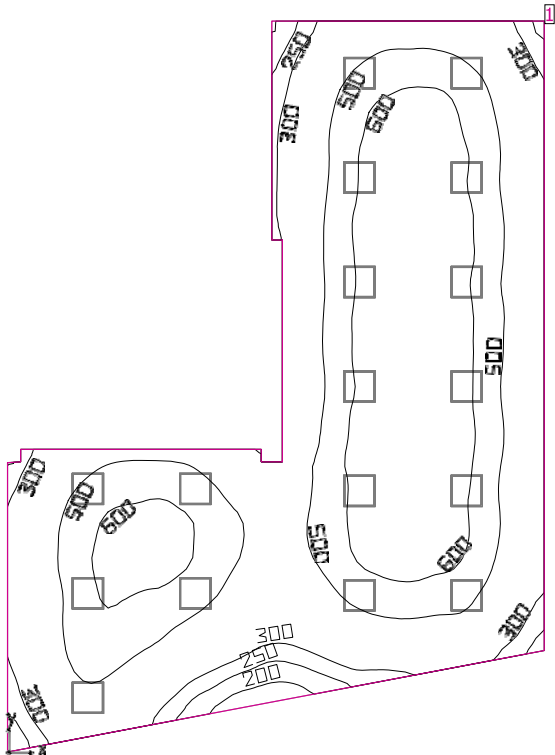
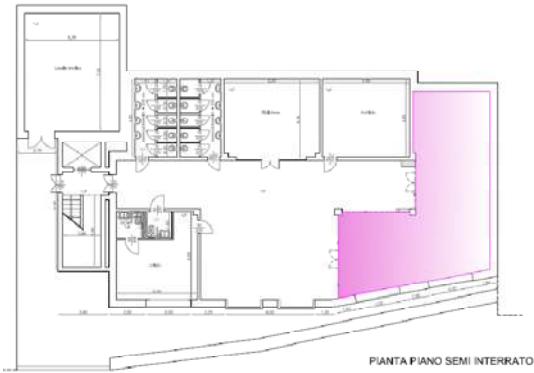
Valore di allacciamento specifico: $9.86 \text{ W/m}^2 = 2.11 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie del locale 34.24 m^2)

Consumo: 1200 kWh/a Da max. 1200 kWh/a

I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Il calcolo dei risultati si basa solo sulla quota di luce diretta. La quota di luce riflessa non è stata considerata. I modelli dei mobili non sono stati considerati e le loro superfici sono state ignorate.

Livello seminterrato - **Laboratori** (500 lx)



Altezza libera: 3.000 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Locale 1)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	503 (≥ 500)	155	682	0.31	0.23

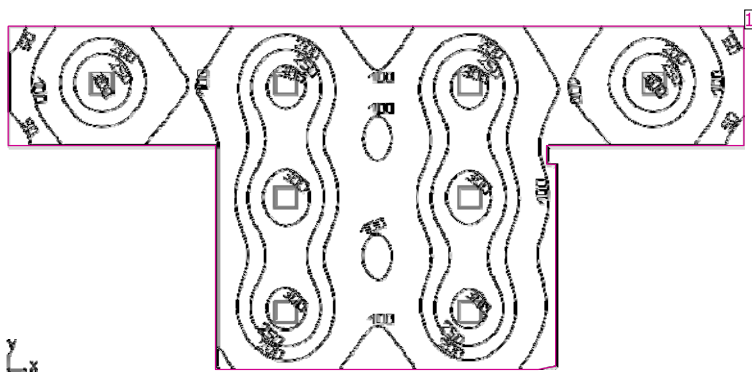
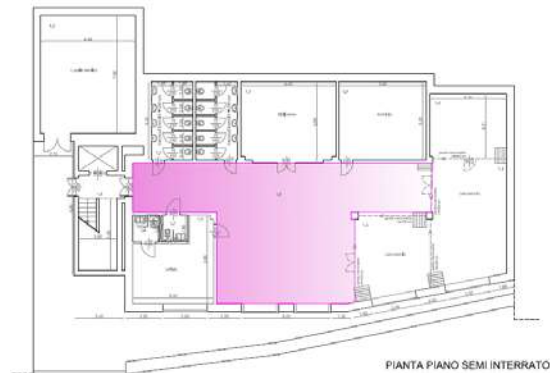
# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
17 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	61812	717.4	86.2

Valore di allacciamento specifico: 8.03 W/m² = 1.62 W/m²/100 lx (Superficie del locale 89.37 m²)

Consumo: 1950 kWh/a Da max. 3150 kWh/a

I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Livello seminterrato - Connettivo (150 lx)



Altezza libera: 3.000 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Locale 1)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	181 (≥ 150)	39.2	334	0.22	0.12

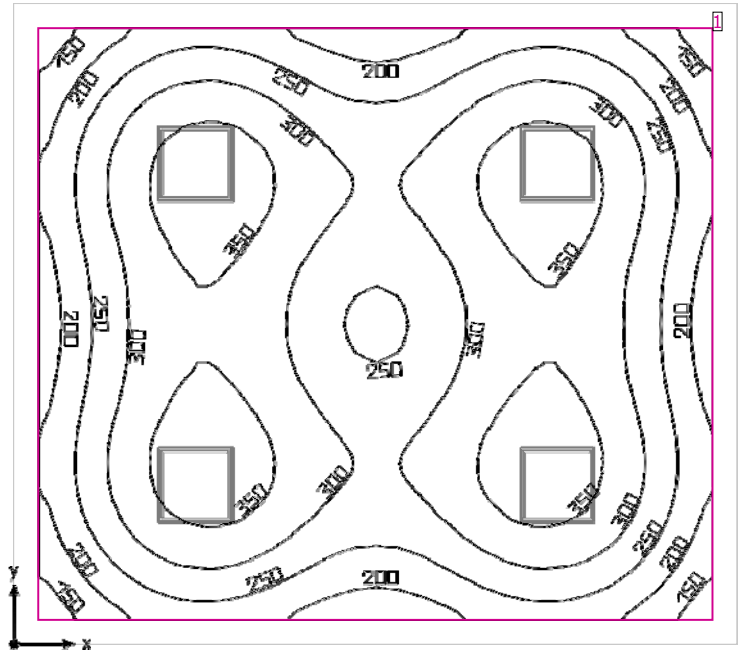
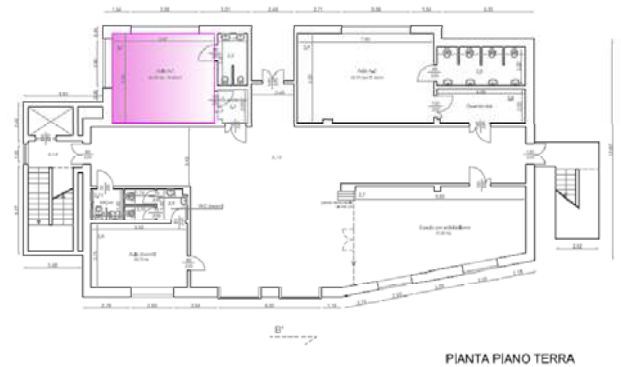
# Lampada	Φ (Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
8 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	29088	337.6	86.2

Valore di allacciamento specifico: $2.79 \text{ W/m}^2 = 1.54 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie del locale 120.93 m^2)

Consumo: 930 kWh/a Da max. 4250 kWh/a

I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Livello terra - Aula A.1 (300 lx)



Altezza libera: 2.800 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Aula A.1)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.200 m	287 (≥ 300)	121	378	0.42	0.32

# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
4 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	14544	168.8	86.2

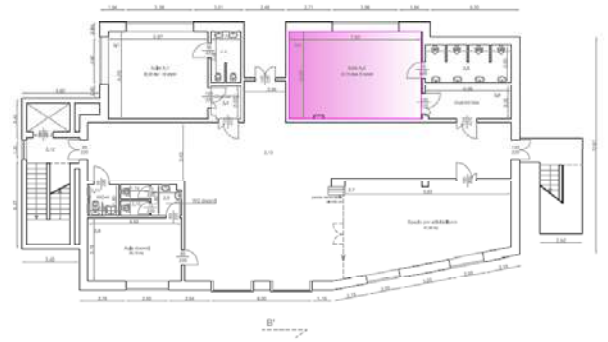
Valore di allacciamento specifico: 5.53 W/m² (Superficie del locale 30.52 m²),
Valore di allacciamento specifico: 6.43 W/m² = 2.24 W/m²/100 lx (Superficie utile 26.26 m²)

Consumo: 220 kWh/a Da max. 1100 kWh/a

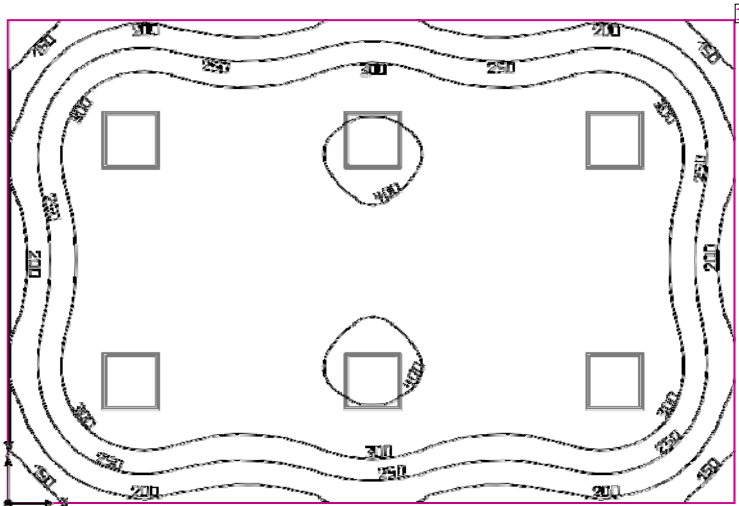
I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Il calcolo dei risultati si basa solo sulla quota di luce diretta. La quota di luce riflessa non è stata considerata. I modelli dei mobili non sono stati considerati e le loro superfici sono state ignorate.

Livello terra - Aula A.2 (300 lx)



PIANTA PIANO TERRA



Altezza libera: 2.800 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Aula A.2)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	310 (≥ 300)	102	422	0.33	0.24

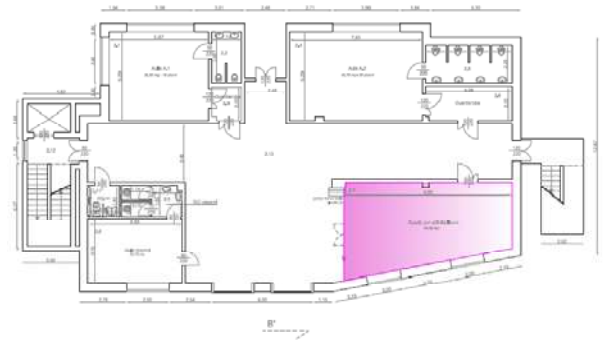
# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
6 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	21816	253.2	86.2

Valore di allacciamento specifico: $6.22 \text{ W/m}^2 = 2.01 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie del locale 40.72 m^2)

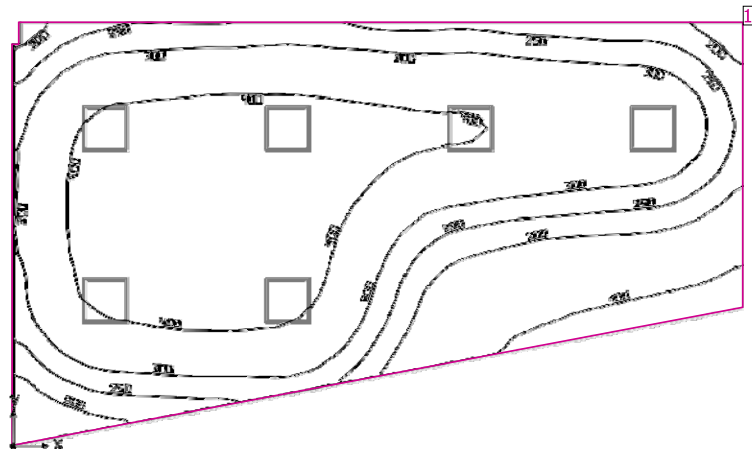
Consumo: 340 kWh/a Da max. 1450 kWh/a

I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Il calcolo dei risultati si basa solo sulla quota di luce diretta. La quota di luce riflessa non è stata considerata. I modelli dei mobili non sono stati considerati e le loro superfici sono state ignorate.



Livello terra - Spazio per attività libere (300 lx)



Altezza libera: 3.000 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

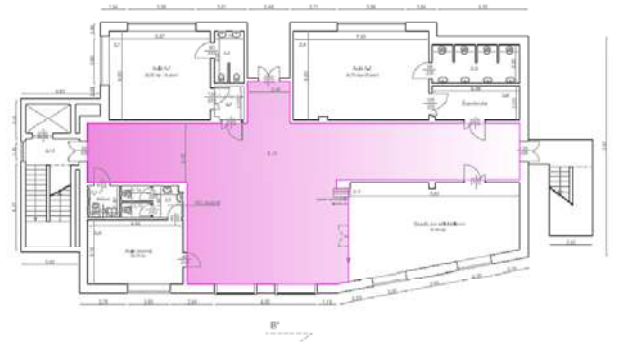
Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Locale 1)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	316 (≥300)	77.9	462	0.25	0.17

# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
6 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	21816	253.2	86.2

Valore di allacciamento specifico: $5.31 \text{ W/m}^2 = 1.68 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie del locale 47.70 m²)

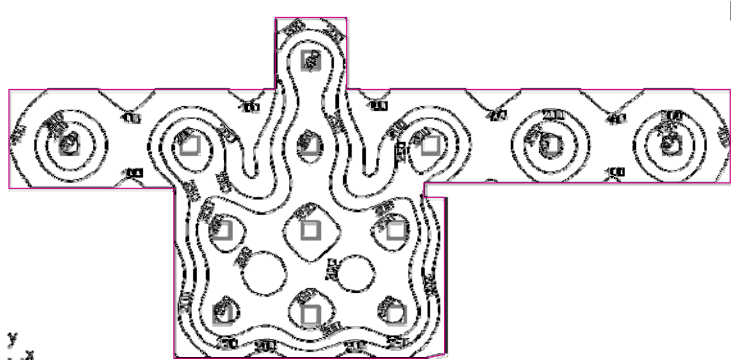
Consumo: 700 kWh/a Da max. 1700 kWh/a

I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.



PIANTA PIANO TERRA

Livello terra - Connettivo/salone (300 lux)



Altezza libera: 3.000 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

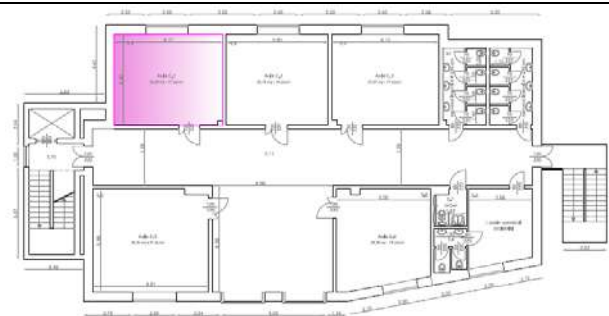
Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Locale 1)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	306 (≥ 300)	56.5	395	0.23	0.14

# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
13 Led 6360748_Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	47268	548.6	86.2

Valore di allacciamento specifico: 3.78 W/m² = 1.56 W/m²/100 lx (Superficie del locale 145.26 m²)

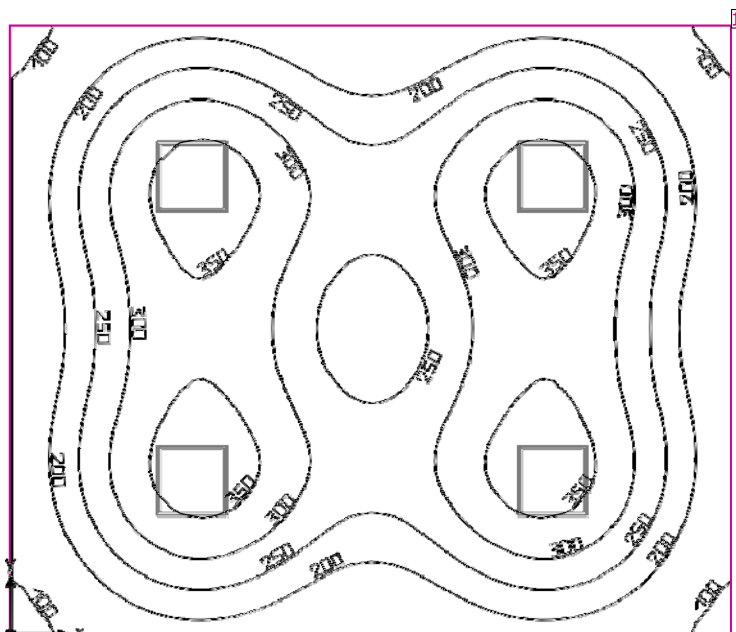
Consumo: 1500 kWh/a Da max. 5100 kWh/a

I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.



PIANTA PIANO PRIMO

Livello primo - Aula E.1 (300 lux)



Altezza libera: 2.800 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Aula E.1)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	259 (≥ 300)	72.3	375	0.28	0.19

# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
4 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	14544	168.8	86.2

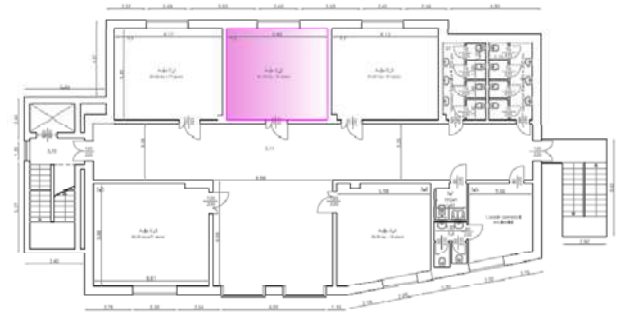
Valore di allacciamento specifico: $5.26 \text{ W/m}^2 = 2.03 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie del locale 32.08 m^2)

Consumo: 220 kWh/a Da max. 1150 kWh/a

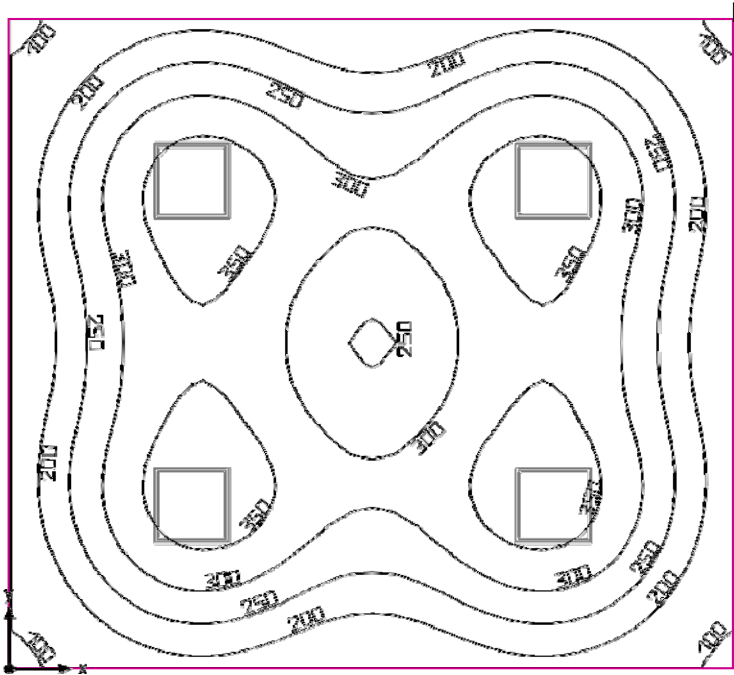
I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Il calcolo dei risultati si basa solo sulla quota di luce diretta. La quota di luce riflessa non è stata considerata. I modelli dei mobili non sono stati considerati e le loro superfici sono state ignorate.

Livello primo - Aula E.2 (300 lx)



PIANTA PIANO PRIMO



Altezza libera: 2.800 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Aula E.2)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	272 (≥ 300)	81.6	381	0.30	0.21

# Lampada	Φ (Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
4 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	14544	168.8	86.2

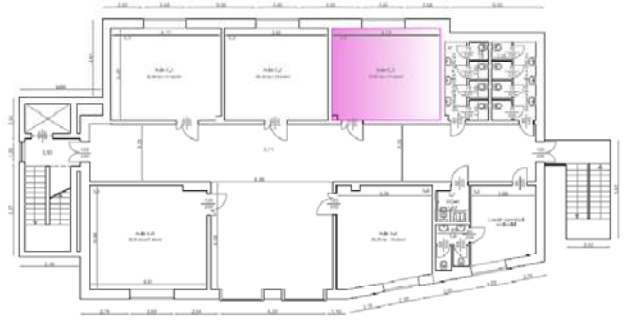
Valore di allacciamento specifico: $5.60 \text{ W/m}^2 = 2.06 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie del locale 30.16 m^2)

Consumo: 220 kWh/a Da max. 1100 kWh/a

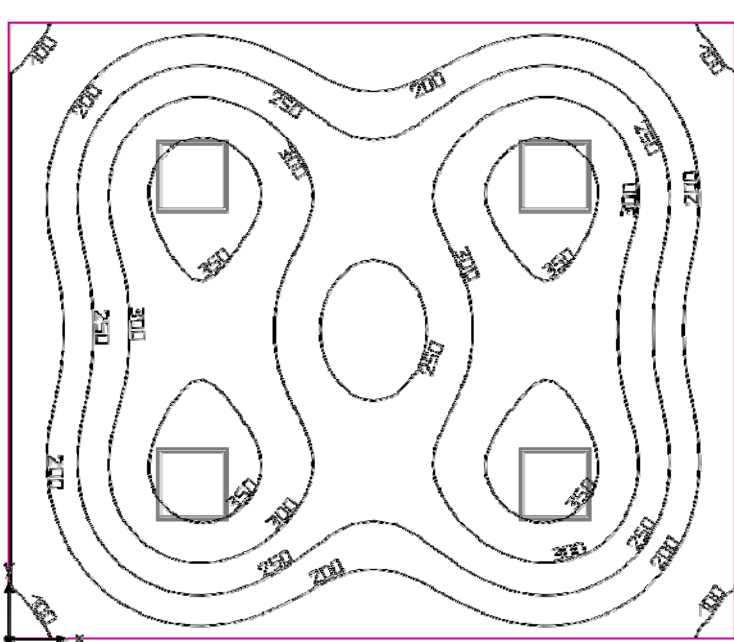
I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Il calcolo dei risultati si basa solo sulla quota di luce diretta. La quota di luce riflessa non è stata considerata. I modelli dei mobili non sono stati considerati e le loro superfici sono state ignorate.

Livello terra - Aula E.3 (300 lx)



PIANTA PIANO PRIMO



Altezza libera: 2.800 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Aula E.3)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	261 (≥ 300)	73.4	375	0.28	0.20

# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
4 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	14544	168.8	86.2

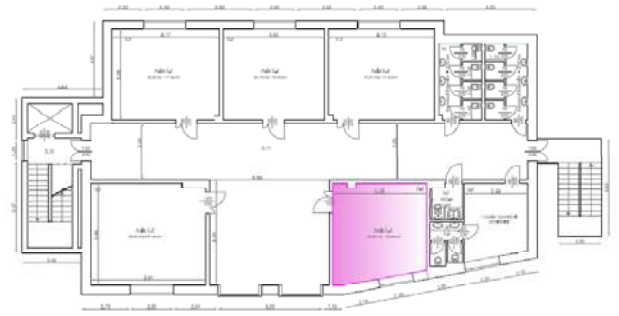
Valore di allacciamento specifico: $5.30 \text{ W/m}^2 = 2.03 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie del locale 31.88 m^2)

Consumo: 220 kWh/a Da max. 1150 kWh/a

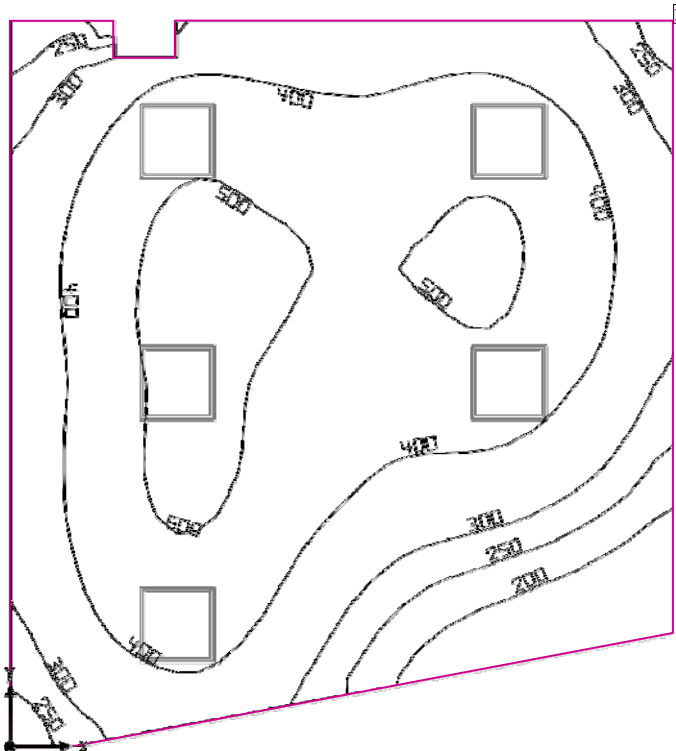
I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Il calcolo dei risultati si basa solo sulla quota di luce diretta. La quota di luce riflessa non è stata considerata. I modelli dei mobili non sono stati considerati e le loro superfici sono state ignorate.

Livello primo - Aula E.4 (300 lux)



PIANTA PIANO PRIMO



Altezza libera: 3.000 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

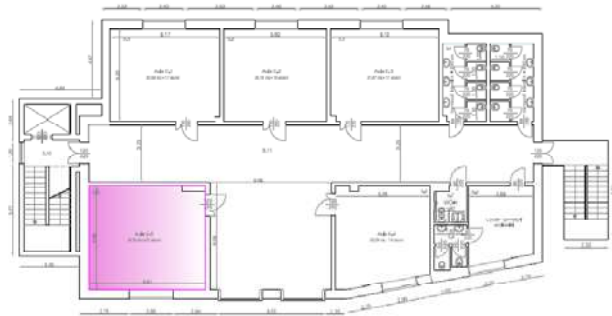
Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Locale 1)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	394 (≥ 300)	116	531	0.29	0.22

# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
5 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	18180	211.0	86.2

Valore di allacciamento specifico: $7.20 \text{ W/m}^2 = 1.83 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie del locale 29.29 m²)

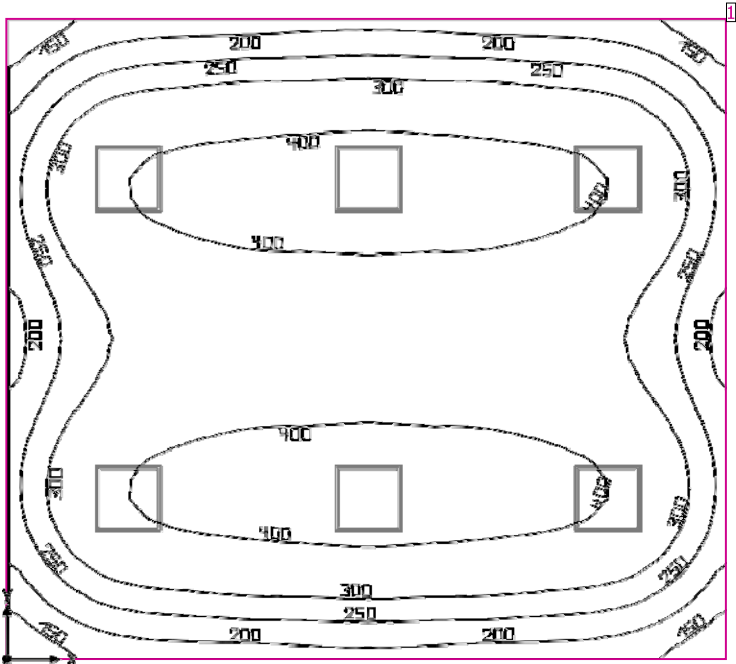
Consumo: 580 kWh/a Da max. 1050 kWh/a

I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.



PIANTA PIANO PRIMO

Livello primo - Aula E.5 (300 lux)



Altezza libera: 2.800 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Aula E.5)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	324 (≥ 300)	107	449	0.33	0.24

# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
6 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	21816	253.2	86.2

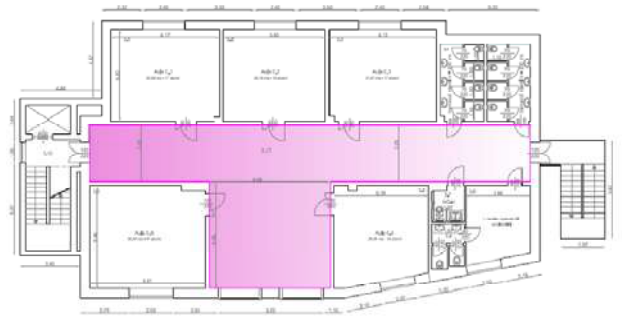
Valore di allacciamento specifico: 6.51 W/m² = 2.01 W/m²/100 lx (Superficie del locale 38.87 m²)

Consumo: 340 kWh/a Da max. 1400 kWh/a

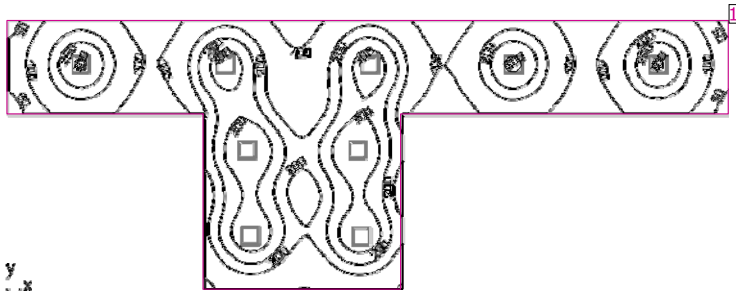
I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

Il calcolo dei risultati si basa solo sulla quota di luce diretta. La quota di luce riflessa non è stata considerata. I modelli dei mobili non sono stati considerati e le loro superfici sono state ignorate.

Livello primo - **Connettivo** (150 lux)



PIANTA PIANO PRIMO



Altezza libera: 3.000 m, Coefficienti di riflessione: Soffitto 70.0%, Pareti 50.0%, Pavimento 20.0%, Fattore di diminuzione: 0.80

Superficie utile

Superficie	Risultato	Medio (Nominale)	Min	Max	Min/Medio	Min/Max
1 Superficie utile (Locale 2)	Illuminamento perpendicolare (adattivo) [lx] Altezza: 0.800 m, Zona margine: 0.000 m	194 (≥ 150)	40.3	353	0.21	0.11

# Lampada	Φ(Lampada) [lm]	Potenza [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
9 Pannello Led 40W	3636	42.2	86.2
Somma di tutte le lampade	32724	379.8	86.2

Valore di allacciamento specifico: 3.09 W/m² = 1.59 W/m²/100 lx (Superficie del locale 122.96 m²)

Consumo: 1050 kWh/a Da max. 4350 kWh/a

I valori di consumo energetico non tengono conto delle scene di luci e delle relative variazioni di intensità.

DIMENSIONAMENTO QUADRI ELETTRICI

Quadro secondario 1				cod.	
Livello:	seminterrato	Ib =	8,28	A	P = 6,11 kW
Ubicazione:	1.9				

Q.S.1

		Illuminazione	a	b	c	d	e	Ib	Prese	a	b	c	d	e	Ib
1.1.a	Servizi igienici	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,17	0,00						0,00
1.1.b	Servizi igienici	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,17	0,00						0,00
1.2	Biblioteca	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,35	0,60	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	1,01
1.3	Archivio	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,24	0,20	1,00	1,00	0,20	1,20	1,40	0,07
1.4.a	Laboratori	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,24	0,40	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,67
1.4.b	Laboratori	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,24	0,80	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	1,34
1.4.c	Laboratori	0,21	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,30	0,20	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,34
1.5	Ufficio	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,12	0,60	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	1,01
1.6	Annesso servizio igienico accessibile	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,00						0,00
1.7	Servizio igienico portatori di handicap	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,00						0,00
1.8	Pianerottolo scala	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,00						0,00
1.9	Salone e connettivo orizzontale	0,34	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,47	0,40	1,00	0,00	1,00	1,20	1,40	0,00
1.0	locale tecnico	0,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,07	0,40	1,00	0,00	0,20	1,20	1,40	0,00

1,82 kW

Ib = 2,54

3,60 kW

Ib = 4,44

			a	b	c	d	e	Ib
a	Ingressi	0,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,10
b	Camminamenti	0,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,09
c	Facciate	0,24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,34
d	Muro esterno	0,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,08
e	Illuminazione retro-vetrata continue	0,02	1,60	1,00	1,00	1,20	1,40	0,05
f	Illuminazione di sicurezza	0,24	1,60	1,00	1,00	1,20	1,40	0,65

0,69 kW

Ib = 1,31

Quadro secondario 2				cod.	
Livello:	terra	Ib =	3,53	A	P = ### kW
Ubicazione:	2.13				

Q.S.2

		Illuminazione	a	b	c	d	e	Ib	Prese	a	b	c	d	e	Ib
2.1	Aula A.1	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,24	0,10	1,00	0,75	1,00	1,20	1,40	0,13
2.2	Annessi servizi igienici	0,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,08	0,00						0,00
2.3	Annesso guardaroba	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,10	1,00	0,00	1,00	1,20	1,40	0,00
2.4	Aula A.2	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,35	0,10	1,00	0,00	0,20	1,20	1,40	0,00
2.5	Annessi servizi igienici	0,21	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,30	0,00						0,00
2.6	Annesso guardaroba	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,10	1,00	0,00	1,00	1,20	1,40	0,00
2.7	Spazio per attività libere	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,35	0,40	1,00	0,00	1,00	1,20	1,40	0,00
2.8	Aula docenti	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,40	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,67
2.9-10	Servizio igienico docenti	0,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,08	0,00						0,00
2.11	Servizio igienico portatori di handicap	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,00						0,00
2.12	Pianerottolo scala	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,12	0,00						0,00
2.13	Ingresso, salone, connettivo	0,55	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,77	0,20	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,34

1,80 kW

Ib = 2,53

1,40 kW

Ib = 1,01

Quadro secondario 3																cod.	
Livello: primo		Ib = 6,59 A														Q.S.3	
Ubicazione: 3.11																	
		Illuminazione	a	b	c	d	e	Ib	Prese		a	b	c	d	e	Ib	
3.1	Aula E.1	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,24	0,40		1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,67	
3.2	Aula E.2	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,24	0,40		1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,67	
3.3	Aula E.3	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,24	0,40		1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,67	
3.4.a	Servizi igienici	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,12	0,00							0,00	
3.4.b	Servizi igienici	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,12	0,00							0,00	
3.5	Locale operatori scolastici	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,40		1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,67	
3.6	Annessi servizi igienici	0,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,53	0,00							0,00	
3.7	Servizio igienico portatori di handicap	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,06	0,00							0,00	
3.8	Aula E.4	0,21	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,30	0,40		1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,67	
3.9	Aula E.5	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,35	0,40		1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,67	
3.10	Pianerottolo scala	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,12	0,00							0,00	
3.11	Salone e connettivo orizzontale	0,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	0,53	0,20		1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	0,34	
		2,07	kW				Ib = 2,89		2,60		kW				Ib = 3,70		

Quadro secondario 4									cod.	
Livello: seminterrato		Ib = 24,83 A							Q.S.4	
Ubicazione: 1.9										
			a	b	c	d	e	Ib		
a	Pompa di calore per riscaldamento	3,25	1,00	1,00	0,90	1,20	1,40	4,91		
b	Pompa di calore per ACS	2,00	1,00	1,00	0,90	1,20	1,40	3,02		
c	Autoclave	1,12	1,00	1,00	0,90	1,20	1,40	1,69		
d	Imp. riuso acqua	0,55	1,00	1,00	0,90	1,20	1,40	0,83		
e	Ventilvonvettori seminterrato	2,90	1,00	1,00	0,90	1,20	1,40	4,38		
f	Ventilvonvettori terra	3,30	1,00	1,00	0,90	1,20	1,40	4,99		
g	Ventilvonvettori primo	3,30	1,00	1,00	0,90	1,20	1,40	4,99		
		16,42	kW				Ib = 24,83			

Quadro secondario 5									cod.	
Ascensore		Ib = 2,94 A							Q.S.5	
Ubicazione: 1.8										
			a	b	c	d	e	Ib		
a	Impianto di sollevamento	2,80	1,00	1,00	0,75	1,00	1,40	2,94		
		2,80	kW				Ib = 2,94			

Quadro principale									cod.	
Livello: seminterrato		Ib = 46,18 A							Q.P.	
Ubicazione: 1.9		Ptot = 33,20 kW								