



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea di secondo livello in Ingegneria Elettrica
a.a. 2025/2026
Sessione di Laurea marzo 2026

Analisi e dimensionamento dei sistemi elettrici e di sicurezza integrata in edificio storico: applicazione al Guenete Leul Palace di Addis Abeba

Relatore:
Prof. Paolo Di Leo

Correlatore:
Prof. Filippo Spertino

Candidato:
Edoardo Graziano 333922

Indice

Sommario	1
1. Guenete Leul Palace: Analisi storica	2
1.1. La Genesi Architettonica	2
1.2. L'origine del Progetto: Ernst W. Kametz e l'Eclettismo	3
1.3. L'Occupazione Italiana del 1936	3
1.4. I Viceré italiani al Guenete Leul Palace	4
1.5. Il Ritorno dell'Imperatore	4
1.6. Il Colpo di Stato del 1960	4
1.7. Il Ruolo dei Gesuiti nella genesi dell'Università	5
1.8. La Donazione del 1961: Da Palazzo a Campus universitario	5
1.9. Italia-Etiopia: Cooperazione per il progetto di rinnovo.....	5
2. Normative: Standard Internazionali e Metodologie di Intervento nel Restauro degli impianti elettrici	6
2.1. EBCS-10: Electrical Installation of Buildings	6
2.2. Vincoli sui materiali	7
2.3. Gli Standard Internazionali IEC	7
2.3.1.IEC 60364: Sistema TN-S.....	7
2.3.2.IEC 60364-4-41: Protezione contro l'elettrocuzione.....	8
2.4. Integrazione dei sistemi fotovoltaici	8
2.5. Impianti di sicurezza integrata	9
2.5.1.Rilevazione Incendi: Tecnologie UNI EN 9795.....	9
2.5.2.IEC 62676: Telecamere a circuito chiuso (CCTV)	9
2.5.3. Impianto audio ed evacuazione (EVAC).....	9
2.6. Metodologia di Intervento su Edifici Storici	10
2.6.1.Carta di Venezia	10
2.6.2.CEI 64-15: Riferimento Metodologico	10

3. Stima dei costi per corpo d'opera e Analisi comparativa	11
3.1. Castello Carraresi: Analisi del caso studio	12
3.1.1.Determinazione dei perimetri e delle superfici	12
3.1.2.Attualizzazione dei costi	13
3.1.3.Parametrizzazione scalare	14
3.1.4.Variabili ambientali e Adattamenti tecnici.....	14
3.2. Casa Miroglio: Analisi del caso studio	15
3.2.1.Confronto degli indici di costo	16
3.3. Confronto tra i due casi e conclusioni	16
4. Dimensionamento preliminare dell'impianto elettrico	19
4.1. Potenza di progetto	20
4.2. Cabina di trasformazione MT/BT	20
4.2.1. Scelta del trasformatore	22
4.2.2. Technical Room	23
4.2.3. Baricentro elettrico	24
4.3. Gruppo Elettrogeno	25
4.4. Dimensionamento carichi	26
4.4.1. Carico elettrico ascensori.....	26
4.4.2. Carico elettrico impianti di sicurezza integrata.....	28
4.4.3. Carico elettrico dei Computers.....	28
4.4.4. Carico elettrico delle pompe di calore, delle pompe dell'acqua, e delle pompe di calore	29
4.5. Dimensionamento dell'UPS.....	30
4.6. Dimensionamento dei quadri di funzione e di zona	31
4.6.1. Quadri di funzione normale e sicura	31
4.6.2. Quadri di zona	32
4.6.2.1. Quadri di zona normale	32
4.6.2.2. Quadri di zona sicura	34
4.7. Dimensionamento linee elettriche	34

4.7.1. Posa in canaline in aria libera	35
4.7.2. Posa interrata.....	36
4.7.3. Verifica della caduta di tensione	37
4.7.4. Scelta della sezione di Neutro e PE.....	38
4.8. Dimensionamento dei dispositivi di protezione	39
4.8.1. Calcolo della corrente di cortocircuito del gruppo elettrogeno.....	40
4.8.2. Calcolo dell'impedenza del trasformatore.....	40
4.8.3. Calcolo dell'impedenza di rete.....	41
4.8.4. Corrente di cortocircuito massima <i>I_{cc_max}</i>	42
4.8.5. Protezione da contatti indiretti	43
4.9. Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico.....	45
5. L'impianto fotovoltaico.....	52
5.1. Influenza della posizione geografica sull'impianto.....	52
5.2. Simulazioni e configurazioni ottimali	53
5.3. Moduli fotovoltaici: Modello AE MD-132BD da 490Wp	54
5.4. Inverter: Huawei SUN2000-100KTL-M2	55
5.5. Array fotovoltaico: Caratteristiche elettriche.....	56
5.6. Interruttore lato DC di manovra-sezionatore (IMS).....	56
5.7. Dimensionamento lato DC dei cavi.....	57
5.8. Dimensionamento lato AC dei componenti.....	58
5.8.1.Dimensionamento lato AC dei cavi.....	58
5.8.2.Dimensionamento lato AC delle protezioni	60
6. Sistemi di sicurezza integrata	61
6.1. Sistema rilevazione e segnalamento incendi.....	61
6.1.1. Vantaggi del sistema indirizzato	62
6.1.2. Caratteristiche generale della centrale di controllo indirizzata.....	62
6.1.3. Caratteristiche dei cavi per i componenti	63
6.1.4. Terminali di output per sirene antincendio e rilevazione guasti	63
6.1.5. Componenti tipici di un impianto rilevazione e segnalazione	64

6.1.5.1.	Rilevatori indirizzati di fumo	64
6.1.5.2.	Pulsante manuale riarmabile.....	65
6.1.5.3.	Diffusore ottico	65
6.1.5.4.	Buzzer	66
6.1.5.5.	Pannello ottico-acustico	66
6.1.5.6.	Sirena piezoelettrica ottico-acustica con flash	67
6.1.5.7.	Barriera lineare ad infrarossi per rilevazione fumi	67
6.1.5.8.	Fermo elettromagnetico	68
6.2.	Sistema EVAC ed Annunci	68
6.3.	Sistema CCTV	69
6.4.	Sistema Dati	71
6.5.	Sistema antintrusione e controllo accessi	72
6.5.1.	Componenti del sistema antintrusione e controllo accessi	73
6.5.2.	La centrale di controllo	73
6.5.3.	Sensori di Protezione porte e finestre	73
6.5.4.	Sensori di movimento interno ed esterni	74
6.5.5.	Diffusione sonora: Sirene	74
6.5.6.	Controllo Accessi	74
7.	Conclusioni	75
	Appendice A.....	77
	Bibliografia.....	78
	Ringraziamenti	80

Indice Tabelle

Tabella 1 - Computo metrico del progetto del Castello Carrarese	13
Tabella 2 - Computo metrico di casa Miroglio	16
Tabella 3 - Sintesi dei casi studio ed applicazione al Guenete Leul Palace...	17
Tabella 4 -Densità di potenza per il museo di Addis Abeba.....	20
Tabella 5 - Dati di targa del trasformatore.....	23
Tabella 6 - Taglia del gruppo elettrogeno.....	25
Tabella 7 - Gruppo elettrogeno Volvo-YIV380RSC.....	25
Tabella 8 - Potenza impianti speciali.....	28
Tabella 9 – Potenza computers.....	29
Tabella 10 - Pompe di calore, pompe dell'acqua, unità trattamento aria	30
Tabella 11 - Potenza sicura	30
Tabella 12 - Quadri di funzione normale e sicura	32
Tabella 13 - Quadri di zona normale	33
Tabella 14 - Quadri di zona sicura.....	34
Tabella 15 - Sezioni di neutro e PE in funzione della sezione di fase.....	38
Tabella 16 - Valori di K in base al materiale conduttore e isolante	39
Tabella 17 - Dati e risultati del dimensionamento degli elevatori.....	45
Tabella 18 - Lista Quadri	46
Tabella 19 - Correnti di impiego che attraversano le linee	47
Tabella 20 - Portate dei cavi con posa interrata	48
Tabella 21 - Portate dei cavi con posa in aria entro canaline	48
Tabella 22 - Verifica della caduta di tensione sulle linee	49

Tabella 23 - Corrente di cortocircuito e scelta interruttori.....	50
Tabella 24 - Corrente di cortocircuito e scelta interruttori.....	51
Tabella 25 - Dati simulazione	53
Tabella 26 - Dati di targa modulo fotovoltaico AE MD-132BD	54
Tabella 27 - Dati di targa inverter Huawei SUN2000-100KTL-M2	55
Tabella 28 - Parametri elettrici dell'array fotovoltaico	56
Tabella 29 - Correnti di impiego che attraversano le linee dell'impianto PV	58
Tabella 30 - Portata dei cavi con posa in aria per l'impianto PV	59
Tabella 31 - Verifica della caduta di tensione sulle linee	59
Tabella 32 - Corrente di cortocircuito e scelta interruttori.....	60
Tabella 34 - Altezze percentuali per riprendere i soggetti.....	71
Tabella 35 - Tabella trasformatori in resina CEI 14-12.....	77

Indice Figure

Figura 1 - Guenete Leul Palace	3
Figura 2 - Sistema TN-S	7
Figura 3 - Castello Carrarese di Padova	12
Figura 4 - Casa Miroglio ad Alba	15
Figura 5 - Tipica cabina elettrica MT/BT prefabbricata.....	21
Figura 6 - Disposizione della cabina di trasformazione	21
Figura 7 - Tipico trasformatore in resina	22
Figura 8 - "Technical room"	24
Figura 9 - Gruppo elettrogeno Volvo-YIV380RSC	26
Figura 10 - Schema esempio sistemi antincendio in configurazione loop.....	61
Figura 11 - Rilevatore ottico di fumo	64
Figura 12 - Pulsante riarmabile manuale	65
Figura 13 - Diffusore ottico.....	65
Figura 14 - Buzzer con led bianco	66
Figura 15 - Pannello ottico-acustico	66
Figura 16 - Sirena piezoelettrica ottico-acustica con led bianco	67
Figura 17 - Barriera lineare ad infrarossi per rilevazione fumi.....	67
Figura 18 - Fermo elettromagnetico	68
Figura 19 - Schema indicativi sistema CCTV	70
Figura 20 - Altezze percentuali per riprendere i soggetti	71
Figura 26 - Schema indicativo sistema Dati	72

Sommario

La presente tesi, svolta in collaborazione con il collega di corso Lorenzo Viassone, tratterà l'analisi ed il dimensionamento dei sistemi elettrici e di sicurezza integrata del palazzo Guenete Leul, sito ad Addis Abeba. Per il suddetto, sarà eseguita una stima parametrica dei costi, modellizzati i carichi del museo, definita l'architettura impiantistica, ed effettuata la verifica delle protezioni e delle condizioni di cortocircuito. L'edificio in esame, essendo in fase di ristrutturazione e ampliamento, dovrà essere dotato di nuovi impianti moderni e capaci di soddisfare le necessità del museo. Inoltre, verrà proposto e dimensionato un ipotetico impianto fotovoltaico da installare sul tetto dell'edificio, per il quale verrà definita l'architettura impiantistica, l'integrazione nel sistema elettrico del museo, ed eseguita la verifica delle protezioni e delle condizioni di cortocircuito per i lati DC e AC del sistema. Infine, verranno trattati i vari impianti di sicurezza integrata, necessari a garantire la sicurezza dell'edificio, per i quali verranno discusse le architetture impiantistiche, le tecnologie coinvolte e la loro implementazione fisica nella struttura. Nello svolgimento del lavoro, verrà tenuto in considerazione lo stato dell'edificio, di monumento storico, in modo da non causare modifiche o danni al patrimonio artistico e culturale dell'edificio.

Capitolo 1

1. Guenete Leul Palace: Analisi storica

Il Guenete Leul Palace, il cui nome proveniente dall'aramaico significa "Paradiso dei Principi", è un edificio di grande valore storico e culturale per il popolo etiopie. L'edificio, sito in Addis Abeba, è stato teatro di molti avvenimenti storici. Dalla sua edificazione come dimora per la famiglia imperiale, all'occupazione fascista del 1936, fino alla sua riqualifica come attuale museo etnografico.

Lo stile architettonico del palazzo riflette l'eclettismo, mentre le mura riportano ancora i segni, invisibili e visibili, dell'occupazione fascista del 1936 e dei successivi periodi di riappropriazione nazionale.

La rilevanza del palazzo va oltre il suo valore estetico e/o stilistico. L'edificio rappresenta una testimonianza tangibile delle complesse relazioni culturali, diplomatiche e belliche intercorse nei decenni in Etiopia, ed in questo capitolo vi si vogliono illustrare gli avvenimenti più significativi di cui è stato teatro.

1.1. La Genesi Architettonica

Nei primi anni degli anni Trenta, Addis Abeba, capitale etiopie, era una città in fase di evoluzione. La città, fondata alla fine del diciannovesimo secolo dall'imperatore Menelik II, si stava evolvendo da accampamento militare, ad una vera e propria capitale moderna, dotata di infrastrutture stabili e edifici moderni in muratura. Dopo l'ascesa al trono di Haile Selassie I, avvenuta nel 1930, il processo di modernizzazione cominciò ad accelerare. Il sovrano voleva creare una situazione di stabilità e progresso, necessaria per mostrare l'Etiopia come stato sovrano agli occhi della Società delle Nazioni.

In questo scenario, l'edificazione del Guenete Leul Palace appagava il desiderio della famiglia imperiale di disporre di un nuovo palazzo come residenza. La famiglia imperiale fino ad allora risiedeva al Grande Palazzo di Menik II, il quale ospitava contemporaneamente sia i governi degli imperatori etiopi che le famiglie imperiali.

Il nuovo palazzo avrebbe dovuto offrire caratteristiche abitative di stile europeo, ma mantenendo le tradizioni etiopi. Il sito di edificazione, nell'area di Sidist Kilo, fu scelto con precise intenzioni. Il palazzo sarebbe sorto vicino al centro di Addis Abeba, a ridosso del centro politico e sociale della città, permettendo comunque lo sviluppo di ampi giardini e parchi, essenziali per la concezione del "Paradiso dei Principi".

1.2. L'origine del Progetto: Ernst W. Kametz e l'Eclettismo

Il Guenete Leul Palace (Fig.1) fu realizzato dall'architetto tedesco Ernst W. Kametz, dipendente del Ministero dei Lavori Pubblici. L'architettura dell'edificio sposa uno stile eclettico, capace di unire l'architettura tradizionale tedesca agli elementi decorativi locali. L'utilizzo della pietra vulcanica (basalto e trachite), conferisce inoltre all'edificio un legame cromatico con il paesaggio dell'altopiano. La struttura è stata completata nel 1935, poco prima dell'occupazione fascista del 1936.



Figura 1 - Guenete Leul Palace

1.3. L'Occupazione Italiana del 1936

Nel 1936 le truppe italiane invasero Addis Abeba, costringendo l'Imperatore Haile Selassie I all'esilio, e sancendo la nascita dell'Impero dell'Africa Orientale Italiana. In seguito all'invasione italiana, il palazzo subì un processo di appropriazione simbolica e funzionale. Il palazzo, che prima ospitava la famiglia imperiale, fu attrezzato per diventare il centro amministrativo, e di residenza, dei Viceré dell'Africa Orientale Italiana. Questo cambiamento non fu solo logistico, ma anche politico. Il regime fascista voleva eradicare la memoria della sovranità etiopica per imporre quella imperiale romana.

1.4. I Viceré italiani al Guenete Leul Palace

Durante i cinque anni dell'occupazione italiana, il palazzo ospitò varie autorità coloniali, ciascuna delle quali lasciò un'impronta sulla gestione del palazzo. Il primo Viceré fu Pietro Badoglio, il quale supervisionò la fase iniziale dell'occupazione militare. In seguito, il controllo del potere venne trasferito a Rodolfo Graziani, successore di Badoglio. Graziani trasformò il Guenete Leul Palace nella sua residenza e sede operativa. Infine, il potere venne trasferito ad Amedeo di Savoia-Aosta. Con l'arrivo del Duca d'Aosta, nel 1937, il palazzo venne ulteriormente modificato, rendendolo consono al rango di un membro della casa reale italiana.

1.5. Il Ritorno dell'Imperatore

Di fronte all'avanzata inarrestabile delle forze del Commonwealth e all'ostilità della popolazione, il Viceré Duca d'Aosta si ritirò. Le truppe britanniche entrarono in Addis Abeba il 6 aprile 1941, ed il 5 maggio del 1941, esattamente cinque anni dopo l'invasione fascista, l'Imperatore Haile Selassie I rientrò nella capitale. Il palazzo tornò dunque ad essere il centro della vita di corte ospitando la famiglia imperiale ed i dignitari internazionali.

1.6. Il Colpo di Stato del 1960

La storia del Guenete Leul Palace, come residenza imperiale, si concluse nel dicembre del 1960. Durante una visita dell'imperatore all'estero, la Guardia Imperiale tentò un colpo di stato di stampo progressista. I ribelli conquistarono il palazzo e presero in ostaggio i funzionari del governo ed i membri dell'aristocrazia. Quando l'esercito iniziò la riconquista del palazzo, i golpisti, senza via di scampo, massacrarono gli ostaggi e si suicidarono. Al suo rientro, l'imperatore trovò la propria residenza trasformata in luogo di morte e sofferenza. Tale avvenimento fu talmente devastante che l'imperatore decise di non risiedere più nel palazzo. La residenza dell'imperatore fu trasferita nel Jubilee Palace, completato pochi anni prima per ospitare originalmente il governo. Il palazzo imperiale rimase pertanto vuoto ed in attesa di una nuova destinazione d'uso.

1.7. Il Ruolo dei Gesuiti nella genesi dell'Università

La trasformazione del Guenete Leul Palace in università non fu immediata, ma un processo graduale. Già nel 1945, Haile Selassie I, aveva intenzione di utilizzare il palazzo per formare la classe dirigente grazie all'aiuto dei Gesuiti canadesi. Nel 1950 venne fondata l'University College of Addis Abeba (UCAA). L'influenza dei gesuiti fu fondamentale per impostare un rigore accademico che avrebbe definito l'istituzione per i decenni successivi.

1.8. La Donazione del 1961: Da Palazzo a Campus universitario

L'University College of Addis Abeba, nel 1961, ottenne lo status di università, venendo rinominata Haile Selassie I University. L'imperatore in un gesto di grande generosità, decise di donare il Guenete Leul Palace e l'intero parco circostante all'università. Di conseguenza, gli spazi interni, furono ristrutturati per ricavare le sale del Museo Etnografico (Institute of Ethiopian Studies), fondato nel 1963.

1.9. Italia-Etiopia: Cooperazione per il progetto di rinnovo

Oggi, il Guenete Leul Palace è al centro di un rinnovato legame tra Italia ed Etiopia, che supera le ombre del passato per abbracciare la collaborazione culturale e scientifica. Il governo etiopico, tramite l'Addis Abeba University, ha intrapreso un progetto di riqualificazione e restauro del palazzo, e del museo etnologico presente al suo interno, avvalendosi dell'esperienza italiana nel campo della preservazione dei beni culturali e dell'innovazione tecnologica. Il progetto vede il Politecnico di Torino come collaboratore tecnico, il quale coinvolge un team multidisciplinare che include esperti di restauro, strutturisti e ingegneri elettrici. L'obiettivo del progetto non è un semplice ripristino estetico. Esso si pone come una trasformazione del museo in un hub moderno, sicuro e sostenibile, capace di attrarre studenti e visitatori internazionali.

Capitolo 2

2. Normative: Standard Internazionali e Metodologie di Intervento nel Restauro degli impianti elettrici

Per la progettazione degli impianti elettrici e degli impianti di sicurezza integrata, è stato necessario interfacciarsi con le diverse normative vigenti in Etiopia. Il museo di Addis Abeba, essendo un patrimonio storico e culturale, ha anche reso necessaria la considerazione di norme speciali, capaci di interfacciarsi con edifici definiti da caratteristiche strutturali impossibili da modificare per motivi di preservazione storica.

Nel caso del museo di Addis Abeba, le normative non possono essere applicate direttamente, ma devono essere interpretate con l'obiettivo di garantire la preservazione storica, e rispettare in maniera equivalente gli standard internazionali ISO (International Organization for Standardization) e IEC (International Electrotechnical Commission). Un altro fattore che è stato tenuto in considerazione durante l'applicazione delle norme è stato quello di applicarle in maniera da realizzare impianti facilmente reversibili, ossia impianti la cui rimozione potesse garantire il ripristino dell'edificio al suo stato originale per preservarne il valore.

2.1. EBCS-10: Electrical Installation of Buildings

Le normative in Etiopia sono gestite dal Ministero delle Costruzioni, il quale si occupa dell'aggiornamento e delle definizioni dei codici tecnici. L'EBCS-10 (Edizione del 2013/2014) fornisce un esempio di "armonizzazione normativa forzata". La sua struttura si basa sulle IEE Wiring Regulations del regno unito, ed integra anche criteri provenienti dalla DIN/VDE tedesca e dalle norme IEC internazionali. Lo scopo di questa normativa è quello di essere riconosciuta a livello nazionale in modo da garantire la conformità dell'edificio ai requisiti minimi di progettazione, qualità e costruzione dei materiali stabiliti dal National Building Code. Il beneficio principale, garantito

applicando questa norma, è l'armonizzazione della pratica professionale e la garanzia della sicurezza, tenendo in considerazione le condizioni oggettive e le esigenze del paese.

2.2. Vincoli sui materiali

La norma EBCS-10, Sezione 4, impone il divieto assoluto riguardo l'utilizzo dell'alluminio per le installazioni interne di edifici a destinazione commerciale e pubblica. Tale imposizione, nasce dal desiderio dell'ente normativo etiope di minimizzare i rischi di incendio causati dal fenomeno del creep, ossia dello scorrimento viscoso. Questo fenomeno, caratteristico dell'alluminio, in un'applicazione con manutenzioni infrequenti, potrebbe portare ad un allentamento degli elementi di fissaggio delle connessioni che causerebbe archi elettrici e pericolo di incendi.

2.3. Gli Standard Internazionali IEC

La serie IEC 60364 rappresenta lo standard di riferimento per la progettazione e l'esecuzione degli impianti in bassa tensione. Queste norme rappresentano lo stato dell'arte. Inoltre, costituiscono il punto di riferimento mondiale per la funzionalità e la sicurezza degli impianti elettrici. La serie IEC 60364 copre argomenti come i sistemi di distribuzione in BT (es. TT o TN-S), la protezione delle persone contro i contatti diretti ed indiretti, e la protezione contro i fenomeni di sovracorrente nei componenti.

2.3.1. IEC 60364: Sistema TN-S

La serie IEC 60364 descrive l'architettura dei vari sistemi di distribuzione. Nel caso del Guenete Leul Palace, è stato deciso di adottare un sistema di alimentazione TN-S. Il sistema TN-S (Fig.2) consiste nel far originare il conduttore di terra e di protezione nel centro stella del trasformatore, per poi distribuirli nell'edificio come cavi separati, assieme alle fasi.

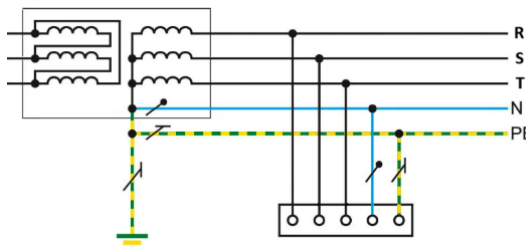


Figura 2 - Sistema TN-S

2.3.2. IEC 60364-4-41: Protezione contro l'elettrocuzione

Secondo la norma IEC 60364-4-41, la protezione addizionale mediante l'uso di interruttori differenziali (RCD) con $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ è prevista per ogni circuito terminale che, nel sistema TN-S, non rispetti la disequazione 2.1.

$$I_a < \frac{U_o}{Z_S} \quad (2.1)$$

Dove:

- Z_S [Ω] è l'impedenza dell'anello di guasto.
- I_a [A] è la corrente di intervento magnetica del dispositivo di protezione.
- U_o [V] è il valore di tensione monofase che alimenta l'anello di guasto.

2.4. Integrazione dei sistemi fotovoltaici

La realizzazione del sistema fotovoltaico deve attenersi a criteri tecnici severi per la sicurezza della generazione e per la stabilità della connessione. L'EBCS, sezione 10, descrive le linee guida per i sistemi fotovoltaici in Etiopia. Viene specificata la tensione massima a vuoto del generatore fotovoltaico, la quale deve essere calcolata prendendo in considerazione la U_{oc} delle giornate fredde, in maniera da evitare guasti all'inverter in tali condizioni metereologiche. Inoltre, i cavi devono essere sovradimensionati per il 125% della corrente di cortocircuito I_{cc} dei moduli. La caduta di tensione massima consentita tra i moduli e l'inverter è del 5%. Infine, è necessaria la protezione contro i guasti d'arco DC per evitare incendi causati da connessioni logorate.

2.5. Impianti di sicurezza integrata

Negli ambienti dei musei, gli impianti speciali rappresentano il fulcro della protezione della vita umana e del patrimonio materiale. La normativa etiopica EBCS 13:2014 (Fire Precautions) stabilisce i criteri generali per i sistemi di allarme e controllo fumo.

2.5.1. Rilevazione Incendi: Tecnologie UNI EN 9795

L'impianto di rilevazione deve essere progettato secondo la norma UNI 9795. Questo standard descrive il numero e la posizione dei rilevatori antincendio in funzione dell'altezza del soffitto e della complessità architettonica degli edifici.

2.5.2. IEC 62676: Telecamere a circuito chiuso (CCTV)

IL sistema CCTV dovrà essere realizzato seguendo la norma IEC 62676, la quale costituisce lo standard internazionale di riferimento per gli impianti di videosorveglianza destinati alla sicurezza. La realizzazione dell'impianto adotterà, come specificato nella IEC 62672-4, il criterio DORI (Detection, Observation, Recognition, Identification) per poter determinare la densità di pixel necessaria di ogni area.

2.5.3. Impianto audio ed evacuazione (EVAC)

Per garantire un'evacuazione del pubblico ordinata e sicura, la situazione deve essere gestita mediante sistemi di diffusione sonora di sicurezza (EVAC), al fine di comunicare istruzioni per ridurre i tempi di evacuazione. La realizzazione di tali impianti è descritta dalla norma EN 54-16, la quale impone requisiti rigorosi per le unità di controllo, ovvero il cervello del sistema che deve gestire i messaggi e monitorare costantemente l'integrità di ogni componente.

2.6. Metodologia di Intervento su Edifici Storici

L'applicazione delle normative indicate, quando applicate a edifici esistenti di importanza storica e culturale, porta inevitabilmente a conflitti. Per risolvere tali conflitti, il progetto adotta una metodologia destinata ad evitare o minimizzare l'impatto degli interventi di ristrutturazione sul patrimonio.

2.6.1. Carta di Venezia

Le indicazioni della Carta di Venezia fungono da guida etica e morale per il progettista. Ogni nuova installazione, a livello di impianti deve essere limitata al minimo indispensabile, in modo da ridurre il più possibile il numero di interventi. Un esempio potrebbe essere: invece di ricavare prese multiple nei muri (che richiederebbe la rottura degli stessi), si potrebbe ricorrere a pavimenti rialzati e muri distanziati per poter installare prese a scomparsa, senza modificare o danneggiare le murature e/o i pavimenti dell'edificio. Gli impianti devono essere realizzati come "strati aggiuntivi" reversibili. Le canaline non devono essere cementate nella struttura, ma posate in intercapedini o condotti esterni rimovibili, garantendo, se necessario, la possibilità di ripristinare l'edificio al suo stato originale.

2.6.2. CEI 64-15: Riferimento Metodologico

La CEI 64-15 "Impianti elettrici negli edifici pregevoli per rilevanza storica e/o artistica", pur essendo una norma italiana, è riconosciuta a livello internazionale per la sua maestria nell'affrontare contemporaneamente le questioni di sicurezza e conservazione. La CEI 64-15 introduce il principio di "Concetto di Sicurezza Equivalente" per cui, se l'applicazione di una prescrizione (ad esempio l'installazione delle luci di emergenza) danneggia l'edificio, è possibile ricorrere a soluzioni alternative che risultino in un livello di sicurezza equivalente. Nel caso non sia possibile installare l'illuminazione di emergenza, è possibile ricorrere a lampade d'emergenza mobili consegnate al personale, o aumentare il personale di sorveglianza durante le ore di visita. Nel caso si ricorra a lampade mobili o personale supplementare si dovrà documentare tale scelta nel piano sicurezza come misura compensativa.

Capitolo 3

3. Stima dei costi per corpo d'opera e Analisi comparativa

La stima del costo d'opera, per l'impianto elettrico e di sicurezza integrata, è stata ottenuta mediante un'analisi parametrica-comparativa di due casi studio simili. Tale scelta si è resa necessaria in assenza di prezziari adeguati al contesto economico etiope e dalla esigenza di voler ottenere standard conformi alle normative internazionali IEC e ISO. I casi studio selezionati, per ricavare gli indici di costo al metro quadro (€/m^2), sono l'integrazione tecnologica di Casa Miroglio ed il recupero impiantistico del Castello Carraresi. Questi due casi risultano utili per stimare il costo d'opera per la ristrutturazione e ammodernamento degli impianti elettrici e di sicurezza integrata per edifici storici.

Il processo di stima ha richiesto una fase di normalizzazione dei dati per renderli applicabili al contesto economico attuale. Questa procedura inizialmente si è concentrata sull'attualizzazione dei costi per compensare il fenomeno dell'inflazione. Successivamente è stato necessario effettuare un adattamento dimensionale e geometrico, utilizzando coefficienti di correzione capaci di considerare la diversa superficie dell'edificio in esame. Questa normalizzazione ha consentito di ottenere una base di costo unitaria idonea, applicabile poi alla superficie totale del museo di Addis Abeba.

La fase finale ha previsto l'utilizzo di una media ponderata, per trattare i dati dei due casi studio, al fine di minimizzare le discrepanze legate alle unicità di ogni caso analizzato. L'utilizzo della media ponderata ha consentito di ottenere un indice di costo al metro quadro (€/m^2) finale, affidabile, ed applicabile al nostro caso studio di Addis Abeba. Il costo finale delle opere elettriche sarà utile, assieme ai costi delle altre opere, per poter definire un costo complessivo dell'intervento di ristrutturazione del museo.

3.1. Castello Carraresi: Analisi del caso studio

Il riferimento adottato per ricavare il primo modello di costo è il progetto esecutivo inerente alla ristrutturazione di un'ala del Castello Carraresi, situato a Padova. La decisione di considerare questo intervento non è casuale, poiché esso risponde a precisi criteri di comparabilità, quali completezza documentale e destinazione d'uso. Il Castello Carrarese (Fig.3) ospita ambienti museali, espositivi e di pregio storico e culturale, che richiedono una qualità impiantistica analoga a quella prevista per il Guenete Leul Palace. Inoltre, la disponibilità di un preesistente computo metrico estimativo ha dato la possibilità di approfondire ogni singola voce di capitolo.



Figura 3 - Castello Carrarese di Padova

3.1.1. Determinazione dei perimetri e delle superfici

Inizialmente, è stata eseguita un'analisi dimensionale mediante le planimetrie del Castello Carrarese per ottenere con precisione le superfici da utilizzare nello studio. È stata misurata l'area totale interessata dall'intervento di ristrutturazione, tenendo conto di tutti i piani dell'edificio storico. Dalle planimetrie è stato ricavato un valore pari a circa 2900 m². Il computo metrico estimativo originale è stato riorganizzato con l'obiettivo di ottenere macrocategorie corrispondenti ai diversi corpi d'opera, permettendo di definire le singole incidenze economiche delle varie tecnologie. Le categorie analizzate sono:

- Cabina di trasformazione MT/BT;
- Impianto di terra;
- Distribuzione primaria e secondaria;
- Impianto di illuminazione normale e d'emergenza;
- Impianto antincendio e rilevazione fumi;
- Impianti speciali (videosorveglianza CCTV, antifurto, dati, audio/EVAC, telefonia).

3.1.2. Attualizzazione dei costi

Il Castello Carrarese è stato ristrutturato nel 2018, di conseguenza, prima di poter continuare lo studio, i costi unitari presenti nel computo metrico originale dovevano essere attualizzati all'anno corrente. Per l'attualizzazione bisogna tenere conto dell'inflazione e dell'aumento dei prezzi delle materie prime (rame e componentistica elettrica) avvenuta negli ultimi anni. Nel nostro caso è stato dunque utilizzato un fattore di attualizzazione economica a del 4% per un periodo di 7 anni.

La *formula 3.1* verrà utilizzata per effettuare l'attualizzazione del costo di ogni singola voce C_{2018} al valore corrente C_{2025} .

$$C_{2025} = C_{2018} \cdot (1 + a)^n \quad (3.1)$$

Questo passaggio ha consentito di allineare i prezzi storici ai prezzi moderni. Nella *tabella 1* verranno riportati gli indici di costo al metro quadro (€/m²), ed i relativi costi per corpo d'opera del Castello Carrarese.

Tabella 1 - Computo metrico del progetto del Castello Carrarese

CASTELLO CARRARESE		
VOCE DI COSTO	INDICE DI COSTO ATTUALIZZATO [€/m ²]	COSTO PER CORPO D'OPERA
Cabina di trasformazione MT/BT	6,47	38.820 €
Impianto di distribuzione BT	53,93	323.580 €
Quadri elettrici BT	15,46	92.760 €
Impianto di illuminazione	41,46	248.760 €
Illuminazione d'emergenza	13,49	80.940 €
Impianto di protezione da fulmini	0,73	4.380 €
Impianto di terra	0,22	1.320 €
Telefonia e dati	9,83	58.980 €
Audio e annunci EVAC	10,59	63.540 €
Antincendio	15,23	91.380 €
Antintrusione	4,69	28.140 €
CCTV	6,23	37.380 €
GE	13,27	105.000 €
TOT	191,61	1.174.980€

3.1.3. Parametrizzazione scalare

Dopo l'attualizzazione di costi, si è effettuato l'adeguamento dei costi in funzione della differenza di scala tra il Castello Carrarese ed il Guenete Leul Palace. Il Guenete Leul Palace presenta una superficie complessiva pari a circa 6.000 m², mentre il Castello Carrarese presenta una superficie complessiva pari a circa 2.900 m². Tramite i due valori di superficie, attraverso la *formula 3.2*, è stato possibile determinare il fattore di scala K_s :

$$K_s = \frac{S_{Guenete\ Leul}}{S_{Castello\ Carrarese}} = \frac{6.000\ m^2}{2.900\ m^2} = 2,07 \quad (3.2)$$

Il costo del progetto per il museo di Addis Abeba $C_{Guenete\ Leul}$, è stato calcolato, in linea teorica, attraverso la *formula 3.3*.

$$C_{Guenete\ Leul} = K_s \cdot C_{Castello\ Carrarese} \quad (3.3)$$

L'applicazione diretta del fattore di scala K_s avrebbe introdotto molti errori. Di conseguenza, è stato necessario operare un aggiornamento tecnico, che verrà descritto nel prossimo paragrafo.

3.1.4. Variabili ambientali e Adattamenti tecnici

L'analisi delle differenze ambientali e tecnologiche tra il sito di Addis Abeba (Etiopia) e quello di Padova (Italia) ha costretto una differenziazione nella metodologia di calcolo per i vari corpi d'opera. Alcune voci di costo, infatti, possono essere indipendenti dalle superfici oppure possono non crescere linearmente con la superficie. Si sono individuate le varie categorie di comportamento dei costi:

1. Costi linearmente variabili: per queste voci, il fattore K_s è stato mantenuto invariato. Le voci in questione sono l'impianto di distribuzione primaria, gli impianti di illuminazione e gli impianti di videosorveglianza e rilevazione incendi. La quantità dei dispositivi facenti parte di questa voce è strettamente proporzionale ai metri quadri del museo.
2. Costi fissi: il costo di alcuni componenti non dipende dalla dimensione dell'edificio, ma dall'impianto stesso, come ad esempio la cabina di trasformazione MT/BT. I costi di questi componenti non raddoppiano necessariamente al raddoppio della superficie, ma crescono per taglie predefinite dai costruttori. Per queste voci i costi e le quantità sono rimasti sostanzialmente invariati, o adeguate utilizzando coefficienti ridotti rispetto al fattore K_s , evitando sovrastime e, di conseguenza, sovracosti;

3. costi influenzati dal clima: il Castello Carrarese, essendo situato a Padova, richiede impianti di raffrescamento e riscaldamento di significativa potenza. Invece, il museo sito in Addis Abeba, godendo di un clima mite, presenta carichi di raffrescamento e riscaldamento inferiori rispetto al caso studio del Castello Carrarese. Di conseguenza, le voci inerenti alla climatizzazione sono state ridotte nel computo per Addis Abeba. La necessità di una potenza inferiore si traduce in costi inferiori per la climatizzazione, oltre che a sezioni di linea inferiori ed interruttori di taglia più piccola, riducendo così anche il costo specifico per questo corpo d'opera.

3.2. Casa Miroglio: Analisi del caso studio

Per migliorare la stima degli indici di costo per corpo d'opera, da utilizzare per il museo di Addis Abeba, è stato analizzato un secondo caso studio. Il progetto in questione è l'opera di ristrutturazione di Casa Miroglio, un museo di dimensioni più contenute e sito ad Alba, presso Cuneo. L'area oggetto di tale intervento risulta di circa 800 m², molto inferiore rispetto sia al caso studio del Castello Carrarese, che al progetto di Addis Abeba.



Figura 4 - Casa Miroglio ad Alba

Per quanto riguarda gli impianti, la differenza rispetto al caso del Castello Carrarese risulta nella modalità di alimentazione elettrica. L'edificio di Casa Miroglio è alimentato in bassa tensione dalla rete, mentre il Castello Carrarese ed il Guenete Leul Palace sono alimentati in media tensione dalla rete. Questa differenza implica l'assenza, nel computo metrico estimativo di Casa Miroglio, dei costi relativi alla cabina di trasformazione MT/BT e dei relativi componenti in media tensione.

3.2.1. Confronto degli indici di costo

Nonostante la differenza tra le superfici dei due casi studio utilizzati come modelli di riferimento, l'analisi degli indici di costo al metro quadro (€/m^2) ha messo in evidenza una notevole similitudine per le varie tipologie di impianto. Confrontando i valori ricavati dai due casi studio, si sono notate differenze minime per gli impianti di distribuzione primaria, antintrusione, videosorveglianza, dati, telefonia e rilevazione incendi. Questa similitudine tra i due casi studio diversi ha confermato la robustezza dell'approccio utilizzato per la stima dei costi. Nella seguente *tabella 2* verranno riportati gli indici di costo al metro quadro (€/m^2), ed i relativi costi per corpo d'opera di Casa Miroglio.

Tabella 2 - Computo metrico di casa Miroglio

CASA MIROGLIO		
CORPO D'OPERA	INDICE DI COSTO [€/m^2]	COSTO PER CORPO D'OPERA
Distribuzione primaria BT	28,17	22.364 €
Distribuzione secondaria BT	31,63	25.117 €
Impianto di illuminazione	111,71	88.700 €
Illuminazione d'emergenza	9,81	7.787 €
Quadri elettrici BT	16,45	13.061 €
Impianto di terra	0,14	112 €
Antincendio	16,99	13.489 €
Antintrusione	7,39	5.865 €
Telefonia e dati	12,57	9.977 €
CCTV	11,18	8.880 €
TOT	246,04	195.356 €

3.3. Confronto tra i due casi e conclusioni

Per stimare il costo d'opera degli impianti elettrici e di sicurezza integrata per il museo di Addis Abeba è stato deciso di analizzare due casi studio simili. Per gli impianti caratterizzati da similitudini tecniche e funzionali (es. distribuzione BT, sistemi dati, antincendio, antintrusione e videosorveglianza) si è deciso di ricavare un indice di costo medio ponderato. Questo valore, espresso in €/m^2 , è stato ricavato equilibrando i pesi economici degli indici di costo di Casa Miroglio e del Castello Carrarese, permettendo di ricavare gli indici di costo per il museo di Addis Abeba attraverso la *formula 3.4*:

$$I_{Guenete Leul} = \frac{I_{Casa Miroglio} + I_{Castello Carrarese}}{2} \quad (3.4)$$

Stima dei costi per corpo d'opera e Analisi comparativa

Per i corpi d'opera che evidenziavano caratteristiche tecniche incompatibili, o lacune in uno dei casi studio, la stima economica si è fondata sui dati provenienti dal caso studio del Castello Carrarese, attualizzando e scalando i dati in base alla superficie de Guenete Leul Palace. Tale decisione ha interessato la cabina di trasformazione MT/BT, assente in Casa Miroglio, ed i sistemi di evacuazione ed annunci sonori, per i quali i dati non erano sufficienti per operare paragoni. Una considerazione simile è stata fatta per l'illuminazione di Casa Miroglio, in quanto i relativi indici di costo d'opera erano troppo elevati e non confrontabili con le esigenze del museo di Addis Abeba, rendendo essenziale una correzione basata sul profilo più indicativo del Castello Carrarese. Nella seguente *tabella 3* verrà riportato il riassunto dei casi studio e la loro applicazione al caso del museo di Addis Abeba.

Tabella 3 - Sintesi dei casi studio ed applicazione al Guenete Leul Palace

VOCE DI COSTO	CASTELLO CARRARESE INDICE DI COSTO [€/m ²]	CASA MIROGLIO INDICE DI COSTO [€/m ²]	CASTELLO CARRARESE COSTO PER CORPO D'OPERA	CASA MIROGLIO COSTO PER CORPO D'OPERA	GUENETE LEUL MEDIA DI COSTO PER CORPO D'OPERA
Cabina di trasformazione MT/BT	6,47	NO CABINA	38.820 €	NO CABINA	38.820 €
Impianto di distribuzione BT	53,93	59,8	323.580 €	358.000 €	341.190 €
Quadri elettrici BT	15,46	16,45	92.760 €	98.400 €	95.730 €
Impianto di illuminazione	41,46	-	248.760 €	-	248.760 €
Illuminazione d'emergenza	13,49	9,81	80.940 €	58.860 €	69.900 €
Impianto di terra	0,22	0,15	1.320 €	900 €	1.110 €
Audio e annunci EVAC	10,59	-	63.540 €	-	63.540 €
Telefonia e dati	9,83	12,57	58.980 €	75.420 €	67.200 €
Antintrusione	4,69	7,39	28.140 €	44.340 €	36.240 €
Antincendio	15,23	16,99	91.380 €	101.940 €	96.660 €
Videosorveglianza a CCTV	6,23	11,18	37.380 €	67.080 €	52.230 €
Gruppo elettrogeno	17,5	-	105.000 €	-	105.000 €
TOT (INCLUSO cabina, quadri elettrici e GE)					1.191.012 €
TOT (ESCLUSO cabina, quadri elettrici e GE)					976.830 €

L'analisi dei due casi studio ha permesso di determinare il costo complessivo per il museo di Addis Abeba, dal quale è stato infine possibile ricavare l'indice di costo al metro quadro totale attraverso la *formula 3.5*.

$$I_{Guenete_Leul_TOT} = \frac{Costo_{Addis\ Abeba}}{Area_{Addis\ Abeba}} = \frac{1.191.012\ \text{€}}{5750\ m^2} \approx 207\ \text{€/m}^2 \quad (3.5)$$

Si nota che l'indice di costo al metro quadro (€/m²) dell'infrastruttura elettrica e dei sistemi di sicurezza integrata è di poco superiore ai 200 €/m². Questo valore rappresenta una sintesi che rappresenta l'intero spettro delle opere necessarie al completo funzionamento elettrico del complesso.

La stima comprende inoltre il gruppo elettrogeno, necessario per garantire la continuità di servizio, ed i relativi oneri di installazione. Quest'ultimo comprende non solo i dispositivi di collegamento, come il quadro di commutazione interbloccato (ATS) tra rete e gruppo elettrogeno, ma anche i cavidotti interrati. Il costo di 200 €/m² rispecchia le caratteristiche di un intervento in ambito museale, dove l'installazione di sistemi elettrici e di sicurezza integrata (antincendio, antintrusione ecc...) esige standard superiori a quelli in ambiti civili. In conclusione, questa valutazione, proveniente da un processo di confronto con casi studio simili, si è dimostrata solida sia dal punto di vista tecnico che finanziario.

Capitolo 4

4. Dimensionamento preliminare dell'impianto elettrico

In questo capitolo, tenendo in considerazione le norme precedentemente analizzate ed i dati ottenuti dai casi studio, verrà trattato il dimensionamento della rete di distribuzione primaria del museo di Addis Abeba, ossia la porzione dell'impianto situata a valle del punto di consegna in media tensione. Inizialmente verrà definita e ricavata la potenza di progetto, mediante la quale sarà possibile dimensionare la cabina di trasformazione MT/BT ed il gruppo elettrogeno. Saranno successivamente analizzati e dimensionati i carichi elettrici presenti nell'edificio. Verranno fornite le definizioni di potenza normale, privilegiata e sicura, nonché la distinzione tra quadri di funzione e zona. Grazie al dimensionamento dei quadri di sicura verrà dimensionato il sistema UPS necessario ad alimentarli. Infine, verranno dimensionate le linee di collegamento tra i vari quadri e le relative protezioni.

Durante il dimensionamento verranno tenute in considerazione le caratteristiche strutturali dell'edificio e la destinazione d'uso dei vari locali. L'edificio è composto da cinque livelli di cui uno interrato. Nel piano interrato sarà previsto un locale tecnico che verrà chiamato "Technical Room". Tale locale conterrà i quadri generali, l'UPS e dell'eventuale quadro "LPP-PV" dell'impianto fotovoltaico. Saranno inoltre presenti sale espositive, sale riunioni, laboratori e locali adibiti a magazzini. Nel piano terra saranno previsti alcuni uffici, varie sale espositive, una sala conferenza, un piccolo bar, e la "Control-Room", ossia il locale destinato ad ospitare il personale di sicurezza. Al primo e secondo piano saranno previsti uffici e sale espositive. Infine, nel sottotetto vi saranno posizionati i quadri dei tre ascensori e quelli dell'eventuale impianto fotovoltaico.

4.1. Potenza di progetto

Per ottenere il carico convenzionale si è deciso di ricorrere al metodo della densità di potenza, ossia un metodo statistico. L'edificio, presentando consumi elettrici simili a quelli degli edifici scolastici, ci ha consentito di stimare potenza iniziale di 50 kVA/m². Dopo aver analizzato le potenze di climatizzazione e riscaldamento si è notato che, grazie al clima mite di Addis Abeba, il museo presentava un consumo di potenza inferiore a quello stimato inizialmente. Grazie a questa considerazione è stato deciso di ridurre la densità di potenza ad un valore finale di 45 kVA/m².

Dopo aver calcolato il carico convenzionale, sono stati considerati i coefficienti di perdita C_p ed il coefficiente di elasticità C_e . Il primo sovradimensiona la potenza per sopperire alle perdite della cabina e dell'impianto, mentre il secondo sovradimensiona la potenza in vista di eventuali ampliamenti futuri dell'impianto. Di seguito vengono riportate le *formule 4.1 e 4.2* utilizzate per ricavare la potenza di progetto.

$$C_c = A * \delta \quad [kVA] \quad (4.1)$$

$$S_p = C_c * C_e * C_p \quad [kVA] \quad (4.2)$$

Nella seguente *tabella 4* vengono riportati i valori dei coefficienti ed i risultati del calcolo della potenza di progetto.

Tabella 4 -Densità di potenza per il museo di Addis Abeba

POTENZA DI PROGETTO					
Area Palazzo	Densità di potenza	Carico convenzionale	Coeff. di perdita	Coeff. di elasticità	Potenza di progetto
A [m ²]	δ [kVA/m ²]	C _c [kVA]	C _p	C _e	S _p [kVA]
5750	0,045	259	1,05	1,10	299

4.2. Cabina di trasformazione MT/BT

La cabina elettrica, *figura 5*, sarà ricavata mediante l'utilizzo di un prefabbricato dedicato. Il prefabbricato verrà edificato nella zona sud-ovest del museo in prossimità della già esistente antenna telefonica. Il motivo di tale scelta nasce dal desiderio di voler evitare problemi di compatibilità magnetica causati da un eventuale installazione interna. Un altro motivo di tale scelta è dovuto alla natura della struttura in esame, in quanto, essendo patrimonio storico e culturale, dovrà essere soggetto solo a modifiche di facile reversibilità.



Figura 5 - Tipica cabina elettrica MT/BT prefabbricata

Il prefabbricato conterrà i gruppi di misura, il quadro di media tensione MVSW (Medium Voltage Switchboard), il trasformatore ed il quadro ATS. Il quadro ATS, nel caso dovesse venire a mancare l'alimentazione da rete, avrà il compito di commutare in maniera automatica l'alimentazione, passando dalla rete al gruppo elettrogeno. Gli interruttori del quadro ATS saranno inoltre interbloccati in modo da evitare una connessione contemporanea della rete e del gruppo elettrogeno. Nella seguente *figura 6* verrà mostrato il layout interno della cabina di trasformazione e la posizione del gruppo elettrogeno esterno.

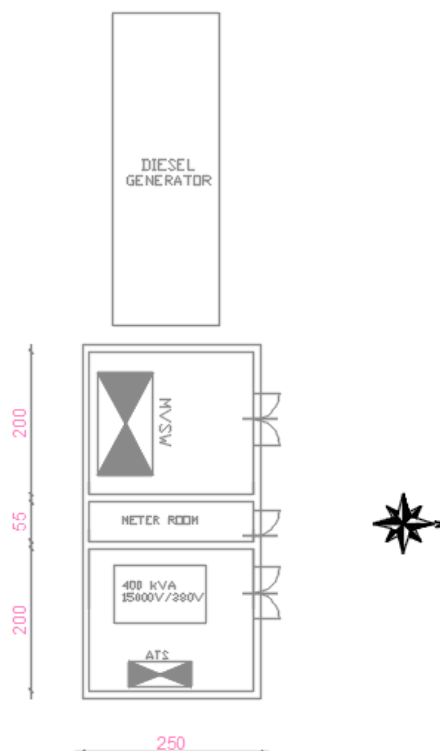


Figura 6 - Disposizione della cabina di trasformazione

4.2.1. Scelta del trasformatore

La scelta della taglia del trasformatore deve fare riferimento a due disequazioni. La *disequazione 4.3* garantisce che la potenza nominale del trasformatore A_T sia superiore alla potenza di progetto S_p .

$$S_p < A_T \quad (4.3)$$

La *disequazione 4.4* è necessaria per consentire al trasformatore di lavorare ad alti rendimenti per tutta la sua vita, visto che la caratteristica dipende dalla potenza di esercizio. La *disequazione 4.4* tiene inoltre conto dell'effetto del coefficiente di perdita C_C .

$$\frac{2}{3} A_T < C_C C_p < \frac{3}{4} A_T \quad (4.4)$$

Considerando la potenza di progetto, si è deciso di ricorrere a trasformatori con isolamento in resina. Nella seguente *figura 7* verrà mostrato, a titolo illustrativo, un tipico trasformatore in resina.



Figura 7 - Tipico trasformatore in resina

Per il caso del museo di Addis Abeba, il calcolo della taglia dei trasformatori dovrà tenere conto di un fattore solitamente trascurabile, ossia l'altitudine di Addis Abeba (circa 2355 metri s.l.m). La minore densità dell'aria, dipendente dall'altitudine, rende difficile la dissipazione del calore. Questo fenomeno impone un declassamento termico dei trasformatori in resina. Oltre i 1000 metri di altitudine, secondo la norma (IEC 60076-3),

è necessario operare un declassamento di circa lo 0.5% ogni 100 metri di quota aggiuntiva, totalizzando un declassamento del 7% nel caso dell'edificio in esame. La *formula 4.5* mostra il calcolo della potenza declassata. Mediante l'utilizzo di apposite tabelle, allegate nell'appendice A, è stato scelto un trasformatore con una potenza di 400 kVA. Tale trasformatore risulta capace di soddisfare le esigenze dell'edificio e di rispettare le disequazioni precedentemente descritte. I dati di targa del trasformatore scelto sono riportati nella *tabella 5*.

$$A_{T_Declassata} = A_T * 0.93 \text{ kVA} = 400 * 0.93 = 372 \text{ kVA} \quad (4.5)$$

$$S_p = 299 \text{ kVA} < 372 \text{ kVA} = A_{T_Declassata} \quad (4.3)$$

$$\frac{2}{3} A_T = 248 \text{ kVA} < 272 \text{ kVA} < 279 \text{ kVA} = \frac{3}{4} A_T \quad (4.4)$$

Tabella 5 - Dati di targa del trasformatore

DATI DI TARGA TRASFORMATORE	
Potenza apparente nominale [kVA]	400
Tensione avvolgimento primario [kV]	15
Tensione avvolgimento secondario [V]	380
Tensione di cortocircuito percentuale $V_{cc\%}$ [%]	6
Corrente nominale al secondario I_{NBT} [A]	608
Perdite a carico (T=75°C) [W]	5.500
Larghezza L [mm]	1.290
Profondità P [mm]	795
Altezza A [mm]	1.320

4.2.2. Technical Room

La "Technical Room", visibile in *figura 8*, è un locale il cui scopo è quello di contenere i quadri generali di bassa tensione e, nel nostro caso anche il sistema UPS centralizzato ed i quadri dell'eventuale impianto fotovoltaico PV. Nel caso del museo di Addis Abeba è stato scelto un locale presente nella zona Sud-Ovest del seminterrato. Tale scelta non è stata casuale, in quanto la posizione di questo locale risulta vicino al luogo di installazione del prefabbricato esterno contenente la cabina di trasformazione MT/BT.

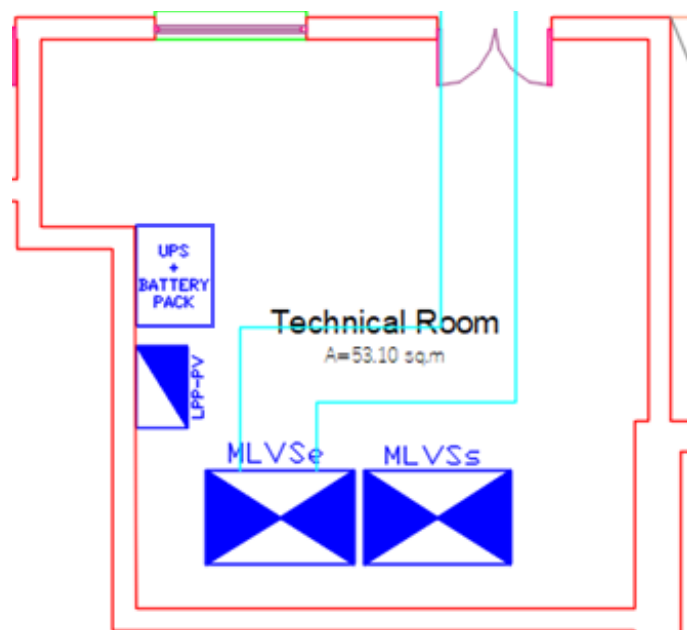


Figura 8 - "Technical room"

4.2.3. Baricentro elettrico

Il baricentro elettrico è il luogo ove è consigliabile predisporre il locale destinato a cabina di trasformazione MT/BT e contenente i quadri generali di media e bassa tensione dell'edificio. Solitamente questo locale viene scelto tra quelli più centrali nelle strutture in esame. Lo scopo del baricentro elettrico è quello di far sì che tutte le cadute di tensione, misurate sulle linee tra il centro stella del trasformatore e gli utilizzatori, non siano superiori al limite imposto del 4%. Cadute di tensione superiori al 4% rischierebbero di causare malfunzionamenti agli utilizzatori.

Normalmente nel baricentro elettrico vi sono la cabina di trasformazione ed i quadri generali di bassa tensione, ma nel caso dell'edificio in esame è stato necessario separare il locale di trasformazione, in questo caso il prefabbricato, da quello contenente i quadri elettrici generali in bassa tensione, ossia la "Technical Room".

La "Technical Room" è stata predisposta in un locale il più centrale possibile, mentre la cabina di trasformazione è stata collocata, per via di vincoli strutturali, in luogo esterno e meno favorevole nel contesto del baricentro elettrico. Tuttavia, l'estensione del museo, di circa $70 \times 70 m^2$, risulta contenuta, causando cadute di tensione sulle linee non problematiche. Questo risultato dimostra che, nel contesto dell'edificio in esame, le posizioni non ideali della cabina di trasformazione e della "Technical Room", non causeranno effetti significativi sulla caduta di tensione.

4.3. Gruppo Elettrogeno

Per la scelta del gruppo elettrogeno è necessario determinare la potenza privilegiata totale dell'edificio. I carichi privilegiati solitamente includono ascensori, unità trattamento aria (UTA), pompe di calore, pompe dell'acqua, luci di emergenza ed i carichi sotto l'UPS nel caso si scarichino le batterie. Dopo aver determinato la potenza privilegiata, si sovradimensiona tale potenza del 40% e si seleziona un gruppo elettrogeno di taglia superiore al valore sovradimensionato. Il sovradimensionamento è necessario per affrontare le correnti di spunto causate da una contemporanea alimentazione di tutti i carichi a valle del gruppo elettrogeno.

Nel caso del museo di Addis Abeba, considerando le frequenti e prolungate interruzione dell'alimentazione, è stato deciso di far coincidere la potenza normale con quella privilegiata. Con questa scelta, risulta possibile garantire la continuità di servizio dell'intero edificio tramite gruppo elettrogeno, anche nel caso venga a mancare l'alimentazione da rete per lunghi periodi. Nella *tabella 6*, viene illustrata la potenza che il gruppo elettrogeno dovrà possedere.

Tabella 6 - Taglia del gruppo elettrogeno

TAGLIA DEL GRUPPO ELETTROGENO	
Carico Conv. +40% [kVA]	363
Potenza nominale [kVA]	380

Consultando i cataloghi online, è stato scelto il gruppo elettrogeno diesel, mostrato in *figura 9*, "Volvo-YIV380RSC", capace di soddisfare i requisiti dell'edificio. I dati di targa del gruppo elettrogeno possono essere consultati nella *tabella 7*.

Tabella 7 - Gruppo elettrogeno Volvo-YIV380RSC

GE VOLVO-YIV380RSC	
Potenza continuativa (kVA)	380
Tensione nominale (V)	380
Frequenza [Hz]	50
cos φ	0,81
Peso [kg]	4300
Serbatoio [L]	534
Dimensioni LxPxA [mm]	4200x1600x2245



Figura 9 - Gruppo elettrogeno Volvo-YIV380RSC

4.4. Dimensionamento carichi

Nel seguente capitolo, verranno dimensionati i vari carichi necessari a garantire il corretto funzionamento del museo. I vari carichi saranno necessari per poter dimensionare i relativi quadri elettrici. Verranno dimensionati i carichi delle pompe di calore, delle unità trattamento aria (UTA), degli ascensori, dei computers, del server e degli impianti speciali. Gli impianti speciali considerati per il museo sono l'impianto antintrusione, l'impianto antincendio, l'impianto di evacuazione, l'impianto di videosorveglianza, l'illuminazione di emergenza ed il server dati.

4.4.1. Carico elettrico ascensori

Per calcolare la potenza degli ascensori si è deciso di utilizzare il metodo del censimento dei carichi. Questo metodo considera la potenza effettivamente installata, selezionando il tipo di elevatore in base alla superficie del vano elevatore.

Ipotizzando una massa per persona $M_{Persona}$, di 75 kg, un ingombro medio per persona $A_{Persona}$, di $0.18 m^2$, e misurando dalle planimetrie l'area interna del vano A_{Vano} , è stato determinato il numero massimo di persone trasportabile da ogni elevatore $N_{Persone}$ ed il relativo peso totale $Peso_{Persone_Tot}$. La formula 4.5 descrive il metodo utilizzato per ricavare il numero di persone $N_{Persone}$, mentre la formula 4.6 il metodo per determinare il peso totale $Peso_{Persone_Tot}$.

$$N_{Persone} = \frac{A_{Vano}}{A_{Persona}} \quad (4.5)$$

$$Peso_{Persone_Tot} = N_{Persone} * M_{Persona} \quad (4.6)$$

Il peso totale $Peso_{persone_{TOT}}$ è stato successivamente arrotondato con lo scopo di determinare una portata approssimata $Portata_{App}$ per ogni elevatore.

Per ricavare la potenza elettrica è stata considerata la portata $Portata_{App}$, la velocità di ogni cabina v , l'effetto del contrappeso dell'elevatore c , l'accelerazione di gravità g e l'efficienza complessiva del sistema η_{TOT} (meccanica ed elettrica), che per i moderni azionamenti gearless a magneti permanenti si attesta attorno al 80%. Lo scopo del contrappeso consiste nel bilanciare il peso della cabina riducendo la potenza necessaria ad operare l'ascensore, ed è tipicamente fissato ad un valore di 0.5. Per ricavare la potenza elettrica di ogni elevatore è stata utilizzata la formula 4.7.

$$P_{EL} = \frac{Portata_{App} \cdot g \cdot v \cdot (1 - c)}{\eta_{TOT}} \quad (4.7)$$

Una volta ricavata la potenza elettrica necessaria ad operare gli ascensori si è deciso di uniformare tale potenza a taglie di motori già presenti sul mercato. Per il montacarichi è stata scelta una taglia P_{Mot} pari a 15 kW, mentre per gli ascensori è stata scelta una taglia di 13.5 kW. Dopo aver determinato le taglie dei motori, mediante la formula 4.8, è stata ricavata la potenza apparente di ogni ascensore, tenendo conto che per gli impianti dotati di inverter VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) il fattore di potenza $\cos \varphi$ viene approssimato a 0.90.

$$S_{Asce} = \frac{P_{Mot}}{\cos \varphi} \quad (4.8)$$

Successivamente, attraverso la formula 4.9, sono state ricavate le potenze reattive dei motori elettrici Q_{Mot} . Dopo aver ricavato le potenze reattive dei motori, attraverso la formula 4.10, è stata ricavata la potenza apparente totale di tutti gli ascensori S_{TOT_Asce} . La formula 4.10 tiene inoltre conto del coefficiente di contemporaneità K_c riferito al quadro generale BT.

$$Q_{Mot} = P_{Mot} * (\tan(\cos^{-1}(\cos \varphi))) \quad (4.9)$$

$$S_{TOT_Asce} = K_c * \sqrt{\sum_{i=1}^N P_{Mot}^2 + \sum_{i=1}^N Q_{Mot}^2} \quad (4.10)$$

Infine, per dimensionare le linee e le relative protezioni, mediante le formule 4.11 e 4.12, è stata ricavata la corrente di impiego I_b e quella di spunto I_s di ogni ascensore. Per determinare la corrente di spunto I_s si è tenuto conto del fatto che la tecnologia inverter VVVF causa correnti di spunto superiori del 40% rispetto a quelle nominali.

$$I_b = \frac{S_{Asce}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} \quad (4.11)$$

$$I_S = 1.4 \cdot I_N \quad (4.12)$$

I risultati attualmente dimensionati sono indicativi e potranno essere ridefiniti in una futura fase di progetto, mediante la consulenza di aziende specializzate nella realizzazione di impianti di elevazione. Nel capitolo “4.9. *Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico*” verranno riportati nella *tabella 17* i risultati del dimensionamento degli elevatori.

4.4.2. Carico elettrico impianti di sicurezza integrata

I sistemi di sicurezza sono critici per garantire la sicurezza dell'edificio e delle persone al suo interno. Di conseguenza, i carichi degli impianti di sicurezza, saranno trattati come carichi sicuri, ossia carichi la quale alimentazione deve essere sempre garantita. In questo paragrafo verranno riportate le stimate delle potenze assorbite dagli impianti speciali. I valori di potenza saranno approssimativi, in quanto trattati in un contesto di dimensionamento preliminare, e potranno essere ridefiniti in una futura fase di progetto. Tali valori sono riportati nella *tabella 8*.

Tabella 8 - Potenza impianti speciali

IMPIANTI SPECIALI	
CCTV [kVA]	1,2
Antintrusione [kVA]	1,5
Antincendio [kVA]	2,5
Luci emergenza [kVA]	1,5
Impianto EVAC [kVA]	3,9
Telefonia e dati [kVA]	1,5
Server dati [kVA]	5,6
Totale [kVA]	17,7

4.4.3. Carico elettrico dei Computers

La potenza totale dei computers $S_{tot\ computer}$, è stata ricavata mediante il censimento dei carichi. Per ricavare il numero dei computers sono stati tenuti in considerazione gli uffici, le sale conferenza ed i laboratori. Mediante queste considerazioni è stato possibile stimare un numero di computer pari a 30. Per il calcolo del carico totale è stata stimata una potenza $P_{EL_pc} = 0.5\ kW$ ed un fattore di potenza $\cos \varphi = 0.9$ per ogni singolo

computer. Successivamente sono stati stimati i coefficienti contemporaneità $K_c = 0.7$ di utilizzazione $K_u = 0.8$. Di seguito viene riportata la *formula 4.13* utilizzata per il calcolo del carico totale dei computers e nella *tabella 9* il risultato.

$$S_{tot} = \frac{30 * P_{El_{pc}} * K_u * K_c}{\cos\phi} \quad (4.13)$$

Tabella 9 – Potenza computers

COMPUTERS						
Quantità	$P_{El_{pc}}$ [kW]	Kc	Ku	Ptot [kW]	$\cos\phi$	Stot [kVA]
30	0,5	0,7	0,8	8,4	0,9	9,3

4.4.4. Carico elettrico delle pompe di calore, delle pompe dell'acqua, e delle pompe di calore

Il sistema di climatizzazione è stato dimensionato in funzione del clima di Addis Abeba, mentre le pompe dell'acqua sono state dimensionate in funzione delle esigenze del Guenete Leul Palace. I componenti di tali sistemi sono stati dimensionati dall'Arch. André Clos, attraverso analisi sul clima di Addis Abeba e sulla struttura del palazzo. Infine, sempre dall'Arch. André Clos, sono stati forniti i consumi elettrici dei vari componenti, o in alcuni casi, i nomi degli utilizzatori per poterne consultare le schede tecniche. Per il museo di Addis Abeba si è determinata la necessità di installare due unità trattamento aria (UTA), due pompe di calore, una pompa per l'acqua potabile ed una per quella grigia.

Il compito delle unità trattamento aria (UTA) è quello di prelevare l'aria dai vari locali dell'edificio e di trattarla modificandone temperatura, umidità e purezza. L'obiettivo di tali macchine è quello di migliorare la qualità dell'aria e di conseguenza il comfort delle persone. Le pompe di calore (PdC) sono macchine destinate a soddisfare i carichi termici e frigoriferi dell'edificio. L'obiettivo di tali macchine è quello di regolare la temperatura all'interno dell'edificio. La pompa dell'acqua potabile e la pompa dell'acqua grigia hanno il compito di pressurizzare i relativi impianti idraulici.

Le potenze delle unità trattamento aria UTA e delle pompe dell'acqua sono state fornite direttamente dall'Arch André Clos, mentre le potenze delle pompe di calore sono state ricavate dalle schede tecniche dei macchinari. Le unità trattamento aria presentano rispettivamente consumi elettrici di 4,7 kVA e 32,4 kVA. La pompa dell'acqua potabile ha una potenza di 2 kVA, mentre quella dell'acqua grigia di 1,2 kVA. Le pompe di calore sono la "Mitsubishi Electric mod.i-nx-q 0152P" da 41,1 kVA e la "Mitsubishi Electric mod.i-nx-q 0262P" da 75,6 kVA. I valori di potenza dei macchinari precedentemente descritti saranno riportati nella *tabella 10*.

Tabella 10 - Pompe di calore, pompe dell'acqua, unità trattamento aria

POMPE DI CALORE - POMPE ACQUA - UNITA' TRATTAMENTO ARIA	
CARICO	POTENZA [kVA]
PDC01	75,6
PDC02	41,1
UTA01	4,7
UTA02	32,4
Pompa acqua potabile	2,0
Pompa acqua grigia	1,2
Totale	≈ 157

4.5. Dimensionamento dell'UPS

Per il dimensionamento e la scelta del sistema di continuità assoluta UPS, bisogna prima determinare la potenza sicura totale dell'edificio in esame. In questo progetto si è fatta la scelta di installare un UPS centralizzato con lo scopo di alimentare tutti i sistemi speciali ed i centri di lavoro, come server e computer. I carichi che il sistema UPS andrà ad alimentare in caso avvenga un'interruzione di alimentazione da rete sono riportati nella *tabella 11*.

Tabella 11 - Potenza sicura

POTENZA SICURA	
CCTV [kVA]	1,2
Antintrusione [kVA]	1,5
Antincendio [kVA]	2,5
Luci emergenza [kVA]	1,5
Impianto EVAC [kVA]	3,9
Telefonia e dati [kVA]	1,5
Server dati [kVA]	5,6
Computers [kVA]	9,3
Potenza sicura totale [kVA]	27,6

Questo valore di potenza sicura totale serve per dimensionare l'UPS. Considerando la potenza stimata da servire, il sistema UPS dovrà possedere una taglia non inferiore ai 30 kVA. Le batterie del sistema dovranno inoltre garantire un'autonomia non inferiore ai 60 minuti in modo da garantire continuità assoluta ai PC, server, ed impianti speciali come ad esempio gli impianti antintrusione, antincendio ed evacuazione. Uno dei motivi per cui è necessario garantire 60 minuti di continuità nasce dal fatto che l'UPS alimenterà il sistema di evacuazione "EVAC" la cui normativa di riferimento, ossia la CEI EN 50849, indica la necessità di garantire 60 minuti di continuità nel caso venga a mancare l'alimentazione primaria. Il sistema UPS dovrà essere in grado di intervenire entro 150

ms dall'interruzione di alimentazione principale in modo da non causare avarie ai sistemi di controllo dei carichi sicuri.

4.6. Dimensionamento dei quadri di funzione e di zona

Nei seguenti capitoli, verranno definiti i quadri di funzione ed i quadri di zona facendo distinzione tra i quadri di alimentazione normale ed i quadri di alimentazione sicura. I quadri di funzione avranno lo scopo di alimentare determinati carichi specifici e noti, come ad esempio le pompe di calore e gli ascensori, mentre i quadri di zona avranno il compito di alimentare i carichi presenti in predefinite zone elettriche.

I quadri saranno inoltre distinti tra quadri di potenza normale, privilegiata e sicura. La potenza normale è quella la cui alimentazione proviene da rete e comprende tutti i carichi presenti nell'edificio. La potenza privilegiata è quella la cui alimentazione proviene dal gruppo elettrogeno e normalmente comprende i carichi degli ascensori, l'impianto di illuminazione nelle zone comuni, i carichi ausiliari delle pompe di calore, i carichi ausiliari delle unità trattamento aria (UTA) ed i carichi dell'UPS nel caso le batterie si scarichino. La potenza sicura è quella la cui alimentazione proviene dall'UPS. Normalmente tale potenza comprende i computer, i server ed i sistemi di sicurezza integrata. Nel caso del museo, a causa delle frequenti interruzioni di alimentazione da rete, si è scelto di far coincidere la potenza normale con quella privilegiata, in modo da poter alimentare tutti i carichi dell'edificio mediante il gruppo elettrogeno. Grazie a questo accorgimento sarà necessario dimensionare solo la potenza normale e la potenza sicura. Nel capitolo 4.9. "Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico" verrà riportata, nella *tabella 18*, la lista completa dei quadri trattati durante il dimensionamento dell'impianto elettrico dell'edificio.

4.6.1. Quadri di funzione normale e sicura

Nel presente paragrafo verranno definiti i quadri di funzione normale ed i quadri di funzione sicura. Questi quadri avranno il compito di alimentare carichi specifici e noti. Verranno suddivisi in quadri di funzione normale, alimentati da rete o dal gruppo elettrogeno, e quadri funzione sicura, alimentati dall'UPS centralizzato.

Per la potenza normale, i carichi considerati per i quadri di funzione sono: gli ascensori, le pompe di calore, le unità di condizionamento aria (UTA) e le pome dell'acqua. Per la potenza sicura, i carichi considerati per i quadri di funzione, sono tutti i carichi degli impianti speciali che saranno alimentati dal quadro dedicato sito nella "Control Room". Nella *tabella 12* vengono riportati i quadri di funzione ed i rispettivi carichi alimentati.

Tabella 12 - Quadri di funzione normale e sicura

QUADRI DI FUNZIONE NORMALE		
DESCRIZIONE	NOME QUADRO	POTENZA [kVA]
Montacarichi	LPP-RP1	14,5
Ascensore-2	LPP-RP2	10,9
Ascensore-2	LPP-RP3	10,9
Pompa di calore-1	LPP-2F5	75,56
Pompa di calore-2	LPP-BF6	41,11
UTA-1	LPP-2F4	4,67
UTA-2	LPP-BF7	32,44
Pompa acqua grigia Pompa acqua potabile	LPP-BF5	3,22

QUADRI DI FUNZIONE SICURA		
DESCRIZIONE	NOME QUADRO	POTENZA [kVA]
Sistemi speciali	UPP-GF5	18,30

4.6.2. Quadri di zona

I quadri di zona sono quadri destinati ad alimentare le cosiddette zone elettriche. Le zone elettriche sono porzioni planimetriche di forma omogenea. Nel punto centrale delle zone elettriche viene installato il quadro di zona, assicurandosi che il punto più distante della zona elettrica sia ad una distanza inferiore di 40 metri dal quadro. In caso contrario occorrerebbe ridefinire la zona elettrica, riposizionare il quadro, o aumentare il numero di zone elettriche per avere zone elettriche più piccole.

I motivi per cui si definiscono le zone elettriche sono molteplici. Le zone elettriche con relativo quadro consentono di interrompere o ripristinare l'alimentazione agli utilizzatori da distanze relativamente vicine agli stessi, semplificando anche gli interventi di manutenzione e riparazione. Inoltre, nel caso dovesse intervenire la protezione di una zona elettrica, all'aumentare delle suddette, diminuirebbero le aree che potrebbero rimanere prive di alimentazione.

4.6.2.1. Quadri di zona normale

Nel presente paragrafo verranno illustrati i procedimenti adottati per determinare la potenza ed il numero dei quadri elettrici di zona normale. Il piano interrato, il piano terra ed il piano primo sono stati rispettivamente suddivisi in quattro zone elettriche. Il secondo piano, presentando una superficie minore, è stato suddiviso in tre zone elettriche. In totale, per l'edificio in esame, sono state identificate 15 zone elettriche. Dopo aver determinato

il numero delle zone elettriche, mediante la formula xxx, è stata determinata la potenza per ogni singolo quadro di zona normale.

$$S_{q.d.z.n} = \frac{C_c - S_{Monta_carichi} - S_{Asc_1} - S_{Asc_2} - S_{UPS} - S_{UTA} - S_{Pdc} - S_{P.a}}{K_C'' * N_{Quadri_norm}} \quad (4.14)$$

Dove:

- $S_{q.d.z.n}$ [kVA] è la potenza apparente di ogni quadro di zona.
- C_c [kVA] è il carico convenzionale.
- K_C'' [-] è il coefficiente di contemporaneità del quadro generale BT.
- S_{Asc_1} e S_{Asc_2} [kVA] sono le potenze dei due ascensori.
- $S_{Monta_carichi}$ [kVA] è la potenza del montacarichi.
- S_{UPS} [kVA] è la potenza del sistema di continuità UPS.
- S_{UTA} [kVA] è la potenza delle unità trattamento aria.
- S_{Pdc} [kVA] è la potenza delle pompe di calore.
- $S_{P.a}$ [kVA] è la potenza delle pompe dell'acqua potabile e grigia.
- N_{Quadri_norm} [-] è il numero di quadri di zona ipotizzati.

Considerando la presenza di un numero di circuiti in partenza, dal quadro generale di bassa tensione, superiore a 10, è stato scelto un coefficiente di quadro di $K_C'' = 0.5$. Nella *tabella 13* vengono riportati i valori di potenza dei quadri di zona normale.

Tabella 13 - Quadri di zona normale

QUADRI DI ZONA NORMALE		
DESCRIZIONE	NOME QUADRO	POTENZA [kVA]
Quadro di zona piano interrato	LPP-BF1	16,9
Quadro di zona piano interrato	LPP-BF2	16,9
Quadro di zona piano interrato	LPP-BF3	16,9
Quadro di zona piano interrato	LPP-BF4	16,9
Quadro di zona piano terra	LPP-GF1	16,9
Quadro di zona piano terra	LPP-GF2	16,9
Quadro di zona piano terra	LPP-GF3	16,9
Quadro di zona piano terra	LPP-GF4	16,9
Quadro di zona primo piano	LPP-1F1	16,9
Quadro di zona primo piano	LPP-1F2	16,9
Quadro di zona primo piano	LPP-1F3	16,9
Quadro di zona primo piano	LPP-1F4	16,9
Quadro di zona secondo piano	LPP-2F1	16,9
Quadro di zona secondo piano	LPP-2F2	16,9
Quadro di zona secondo piano	LPP-2F3	16,9

4.6.2.2. Quadri di zona sicura

Nel presente paragrafo verranno illustrati i procedimenti adottati per determinare la potenza ed il numero dei quadri elettrici di zona sicura. Mediante le planimetrie, si è deciso di predisporre un quadro di zona sicura per ogni piano, per un totale di quattro quadri. Successivamente, mediante la *formula 4.15*, si è ricavata la potenza di ogni singolo quadro di zona.

$$S_{q.d.z.s} = \frac{S_{UPS} - S_{Imp.Speciali} - S_{Server}}{N_{Quadri_sicura}} \quad (4.15)$$

Dove:

- $S_{q.d.z.s}$ [kVA] è la potenza apparente di ogni quadro di zona sicura.
- S_{UPS} [kVA] è la potenza apparente del sistema di continuità UPS.
- $S_{Imp.speciali}$ è la potenza apparente degli impianti speciali.
- S_{Server} è la potenza apparente del server.
- N_{Quadri_sicura} [kVA] è il numero di quadri di zona sicura ipotizzati.

Nella *tabella 14* vengono riportati i valori dei quadri di zona sicura.

Tabella 14 - Quadri di zona sicura

QUADRI DI ZONA SICURA		
DESCRIZIONE	NOME QUADRO	POTENZA [kVA]
Quadro di zona piano interrato	UPP-BF2	2,9
Quadro di zona piano terra	UPP-GF4	2,9
Quadro di zona primo piano	UPP-1F3	2,9
Quadro di zona secondo piano	UPP-2F2	2,9

4.7. Dimensionamento linee elettriche

I quadri elettrici di distribuzione primaria, precedentemente descritti, verranno interconnessi da linee elettriche appositamente dimensionate. Nei paragrafi successivi verranno descritte le strategie ed i metodi utilizzati per il dimensionamento delle linee.

L'edificio in esame, essendo un museo, verrà dotato di cavi, con caratteristiche isolanti e resistenti al fuoco, adatti alla posa nei luoghi pubblici. Per la realizzazione delle linee elettriche dovranno essere utilizzate guaine con basse emissioni di fumi opachi ed assenza di gas acidi corrosivi (LSZH - Low Smoke Zero Halogen). I cavi scelti saranno di tipo unipolare per la posa delle linee colleganti la cabina di trasformazione all'edificio principale, mentre per le linee interne all'edificio si farà uso di cavi multipolari con neutro e conduttore di terra PE.

I cavi elettrici da utilizzare dovranno possedere una portata di corrente I_Z superiore alla corrente di impiego I_b del quadro. La corrente di impiego I_b verrà calcolata mediante la potenza apparente dei quadri S_{Quadro} e la tensione di alimentazione V_{BT} , attraverso la formula 4.16.

$$I_b = \frac{S_{Quadro}}{\sqrt{3} \cdot V_{BT}} \quad (4.16)$$

Le linee elettriche faranno riferimento alla norma di riferimento CEI-UNEL 35026 “Cavi elettrici isolati in materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in AC e 1500 V in DC”. Le linee che collegheranno il trasformatore, il Gruppo Elettrogeno, il quadro ATS ed il quadro “MLVSe” seguiranno il tipo di posa: “Cavi in tubi interrati o tunnel (61) CEI-UNEL 35026”. I restanti cavi che collegheranno il quadro “MLVSe” ai restanti quadri di zona e funzione seguiranno il tipo di posa: “Cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella (13) CEI-UNEL 35026”.

Dopo aver ricavato la corrente di impiego I_b di un quadro, verrà selezionato un cavo con le proprietà adatte per la sua relativa applicazione e con una portata I_0 superiore della corrente di impiego I_b . Nello specifico, la I_0 è la portata alla temperatura convenzionale ambiente di 30°C per la posa dentro le canaline, mentre per la posa interrata la I_0 è la portata alla temperatura convenzionale del terreno di 20°C.

Dopo aver ricavato la portata I_0 , il passo successivo è quello di riportare questo valore ad un valore reale, ossia la portata finale del cavo I_Z , tramite l'utilizzo di vari coefficienti dipendendi dal tipo di posa delle singole linee. L'obiettivo finale è quello di identificare un cavo la cui portata finale rispetti la disequazione $I_b < I_Z$. Nei seguenti paragrafi verranno illustrati i due tipi di posa considerati per il calcolo della portata finale I_Z .

Nel capitolo 4.9. “Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico”, nella tabella 19, saranno riportati i valori della corrente di impiego calcolati durante il dimensionamento dell'impianto elettrico.

4.7.1. Posa in canaline in aria libera

Nel presente paragrafo verranno descritti i coefficienti e le formule riguardanti la posa “Cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella (13) CEI-UNEL 35026”:

- K_1 è il fattore di correzione da applicare nel caso la temperatura ambiente effettiva sia diversa da 30°C; $K_1 < 1$ se la temperatura è superiore di 30°C, mentre $K_1 > 1$ se la temperatura è inferiore di 30°C;

- K_2 è il fattore di correzione riduttivo da applicare nel caso vengano installati più circuiti in fascio o in strato. In queste situazioni, di fatto, la dissipazione del calore è meno efficace e quindi la portata del cavo deve essere diminuita;

Nel caso del museo, ipotizzando una temperatura ambiente di 25°C, terremo in considerazione un coefficiente K_1 di valore $k_1 = 1.04$. Per quanto concerne il coefficiente k_2 , vista la presenza di molteplici circuiti nei vari cavedi, sarà analizzato caso per caso. Il tipo di isolamento ipotizzato nel dimensionamento di queste linee è l'EPR. I coefficienti sopra citati sono attualmente indicativi e potranno essere ridefiniti in una futura fase di progetto.

Di seguito verrà riportata la *formula 4.17* per il calcolo della portata finale I_Z delle linee in condizione di posa (13):

$$I_Z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (4.17)$$

Le canaline destinate a contenere i cavi dovranno essere dimensionate in modo da garantire un fattore di riempimento inferiore al 50%, con lo scopo di garantire lo scambio termico dei cavi, successive manutenzioni ed un eventuale espansione dell'impianto.

Nel *capitolo 4.9. "Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico"*, nella *tabella 21*, saranno riportati i valori delle portate di corrente I_Z , per le pose in aria, ottenute durante il dimensionamento dell'impianto elettrico.

4.7.2. Posa interrata

Nel presente paragrafo verranno descritti i coefficienti e le formule riguardanti la posa: "Cavi in tubi interrati o tunnel (61) CEI-UNEL 35026":

- k_1 è il fattore di correzione da applicare nel caso la temperatura del terreno sia diversa da 20°C. All'aumentare della temperatura del terreno la portata decresce a causa di una più difficile dissipazione termica;
- k_2 è il fattore di correzione riduttivo da utilizzare per più circuiti installati in strato, in funzione della loro distanza relativa. La prossimità dei cavi ha come effetto negativo la riduzione della dissipazione termica, la quale risulta in una portata inferiore del cavo;
- k_3 è il fattore di correzione dovuto alla profondità di inerramento. A profondità maggiori aumenta la massa di terreno intorno al cavo, la quale peggiora la dissipazione termica causando la riduzione della portata del cavo;

- k_4 è il fattore di correzione dovuto alla resistività termica del terreno. All'aumentare della resistenza termica del terreno la portata del cavo si riduce;

Nel caso del museo, ipotizzando una temperatura ambiente di circa 25°C, avremo un coefficiente di valore $k_1 = 0.96$. Per quanto concerne la vicinanza dei conduttori interrati, che è stata ipotizzata adiacente, è stato selezionato un coefficiente di valore $k_2 = 0.7$. La profondità di posa è stata ipotizzata ad un valore di 1 m, il cui corrispondente coefficiente di correzione risulta $k_3 = 0.98$. In assenza di dati certi inerenti alla resistività termica del terreno, è stato ipotizzato il valore di riferimento normativo di 1,5 K m/W, il cui corrispondente coefficiente di correzione risulta essere $k_4 = 1$. Il tipo di isolamento ipotizzato per il dimensionamento è in XLPE. I coefficienti sopra utilizzati sono attualmente indicativi e potranno essere ridefiniti in una fase di progetto futura.

Di seguito viene riportata la *formula 4.18* per il calcolo della portata finale del cavo in condizione di posa (61):

$$I_Z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \quad (4.18)$$

Si nota che vi sono alcuni casi in cui si è preferito installare più cavi in parallelo. Le linee contraddistinte da questa scelta sono le linee interrate che collegano il trasformatore ed il gruppo elettrogeno al quadro “ATS” e la linea che collega il quadro “ATS” al quadro “MLVSe”. A causa delle elevate correnti, necessarie ad alimentare l'edificio, è stato essenziale ricorrere a molteplici cavi paralleli di sezioni inferiori. Il motivo di tale scelta è dovuto alla posa interrata. Infatti, nella norma CEI-UNEL 35026, nelle condizioni necessarie ad alimentare l'edificio, non corrispondevano cavi singoli, la cui portata finale I_Z fosse in grado di soddisfare la corrente di impiego I_b .

Nel capitolo 4.9. “*Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico*”, nella *tabella 20*, saranno riportati i valori delle portate di corrente I_Z , per le pose interrate, ottenute durante il dimensionamento dell'impianto elettrico.

4.7.3. Verifica della caduta di tensione

Nel presente paragrafo, come passaggio successivo alla determinazione della portata finale I_Z , verrà eseguita la verifica della caduta di tensione sulle linee mediante la *formula 4.19*. Per questo progetto è stato imposto un limite di caduta di tensione sulle linee di distribuzione primaria del 1.5%. L'obiettivo è quello di far sì che tutte le cadute di tensione, misurate sulle linee tra il centro stella del trasformatore e gli utilizzatori, non siano superiori al limite totale imposto del 4%. Cadute di tensione superiori al 4% rischierebbero di causare malfunzionamenti agli utilizzatori.

$$\Delta V_{\%} = \sqrt{3} \cdot L \cdot \frac{r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi}{V} \cdot I_b \cdot 100 \quad (4.19)$$

Dove:

- L [m] è la lunghezza della linea.
- r [Ω /km] è la resistenza per unità di lunghezza della linea.
- x [Ω /km] è la reattanza per unità di lunghezza della linea.
- φ [°] è l'angolo di sfasamento tra tensione e corrente.
- V [V] è la tensione concatenata di linea.
- I_b [A] è la corrente di impiego.

Nel caso il valore della caduta di tensione dovesse superare l'1,5% diverrebbe necessario aumentare la sezione della linea, quindi la relativa corrente I_z , e verificare nuovamente il valore della caduta di tensione. I valori di resistenza e reattanza per unità di lunghezza dei vari cavi sono stati reperiti tramite la norma CEI UNEL 35023-70.

Nel capitolo 4.9. "Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico", nella tabella 22, saranno riportati i valori delle cadute di tensione calcolate sulle linee elettriche.

4.7.4. Scelta della sezione di Neutro e PE

La scelta delle sezioni di Neutro e PE dipende dalla sezione di fase delle varie linee. Le sezioni di Neutro e PE sono determinate seguendo le indicazioni della tabella 15.

Tabella 15 - Sezioni di neutro e PE in funzione della sezione di fase

Sezione fase	Sezione neutro e PE
$\leq 16 \text{ mm}^2$	$S_f = S_n = S_{PE}$
$16 \text{ mm}^2 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2$	$S_n = S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$
$S_f > 35 \text{ mm}^2$	$S_n = S_{PE} = S_f/2$

Le linee che collegano il quadro "ATS" al trasformatore, al gruppo elettrogeno ed al quadro "MLVSe", avendo una sezione di fase $4 \times 120 \text{ mm}^2$, avranno una sezione di Neutro e PE di $2 \times 120 \text{ mm}^2$. Le restanti linee avranno sezioni di neutro e conduttore di terra in funzione delle indicazioni riportate nella tabella 15.

4.8. Dimensionamento dei dispositivi di protezione

Ogni volta che la corrente supera il valore di portata del cavo I_z , quest'ultimo subisce una diminuzione della propria vita utile dipendente dalla frequenza con cui si supera tale limite, dal valore di corrente e dal tempo per cui tale superamento permane. Nel caso di circuiti sani si parla di sovracorrenti, normalmente poco superiori al valore di portata del cavo I_z , ma comunque tali da danneggiare l'isolante e/o provocarne il cedimento. In caso di guasto, si avrà una corrente di cortocircuito elevata, la quale, se non interrotta, capace di provocare il cedimento dell'isolante dei cavi.

La protezione dei cavi, dunque, è critica per garantire il corretto funzionamento e la durata dell'impianto. Per farlo, si fa uso interruttori magnetotermici, i quali devono essere dimensionati in modo da rispettare i criteri descritti dalle *formule 4.20, 4.21 e 4.22*.

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (4.20)$$

$$I_{cu} \geq I_{CTO-CTO} \quad (4.21)$$

$$i^2t \leq K^2S^2 \quad (4.22)$$

Dove:

- I_b [A] è la corrente di impiego.
- I_n [A] è la corrente nominale del dispositivo di protezione.
- I_z [A] è la portata del cavo.
- I_{cu} [kA] è il potere di interruzione del dispositivo di protezione.
- $I_{CTO-CTO}$ [kA] è la massima corrente di cortocircuito in BT che il dispositivo di protezione deve essere in grado di sopportare.
- i^2t [A²*s] è l'energia passante attraverso il dispositivo.
- K^2S^2 [A²*s] è la massima energia specifica, calcolata adiabaticamente, che un cavo può sopportare senza subire danni all'isolante.
- K [-] è un coefficiente che dipende dal materiale isolante e da quello conduttore.
- S [mm²] è la sezione del conduttore.

Segue la *tabella 16* contenente i valori tipici di k .

Tabella 16 - Valori di K in base al materiale conduttore e isolante

Valori di K		
Tipo di isolante	Rame (Cu)	Alluminio (Al)
PVC	115	74
G2	135	87
EPR/XLPE	143	87

4.8.1. Calcolo della corrente di cortocircuito del gruppo elettrogeno

Per dimensionare le protezioni del gruppo elettrogeno è stato necessario calcolare la corrente di cortocircuito massima e minima. Per ottenere questi valori è stato necessario ottenere la reattanza sub transitoria X_{Sub} %. Per ottenere questo valore è stato utilizzato il software i-project della Schneider Electric. Dopo aver ottenuto la reattanza X_{Sub} %, pari al 10%, mediante le *formule 4.23, 4.24 e 4.25*, sono state ricavate le varie correnti di cortocircuito. Nel nostro caso la I_{CC_Max} corrisponderà alla corrente di cortocircuito fase-neutro ed avrà un valore di 8.1 kA, mentre la I_{CC_Min} corrisponderà alla corrente di cortocircuito fase-fase ed avrà un valore di 5 kA.

$$I_{CC_Trifase_GE} = \frac{S_{GE}}{\sqrt{3} * V_{n_GE} * X_{Sub} \%} \quad (4.23)$$

$$I_{CC_FF_GE} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{CC_Trifase_GE} \quad (4.24)$$

$$I_{CC_FN_GE} = 1,4 * I_{CC_Trifase_GE} \quad (4.25)$$

Dove:

- S_{GE} [kVA] è la potenza apparente del gruppo elettrogeno;
- V_{n_GE} [V] è la tensione nominale del gruppo elettrogeno;
- X_{Sub} [%] è la reattanza subtransitoria percentuale;
- $I_{CC_Trifase_GE}$ [kA] è la corrente di cortocircuito trifase del gruppo elettrogeno;
- $I_{CC_FF_GE}$ [kA] è la corrente di cortocircuito fase-fase del gruppo elettrogeno;
- $I_{CC_FN_GE}$ [kA] è la corrente di cortocircuito fase-neutro del gruppo elettrogeno;

4.8.2. Calcolo dell'impedenza del trasformatore

Per il calcolo delle correnti di cortocircuito è necessario ricavare l'impedenza del trasformatore, in modo da poter ricavare i valori di resistenza e reattanza utili per definire il circuito di guasto. Per calcolare la resistenza e la reattanza del trasformatore sono state utilizzate le *formule 4.28 e 4.29*. Per ricavare i parametri delle *formule 4.28 e 4.29* sono state utilizzate le *formule 4.26, 4.27* ed i dati di targa del trasformatore.

$$I_{n-BT-Trafo} = \frac{S_{n-Trafo}}{\sqrt{3} * V_{BT-Trafo}} \quad (4.26)$$

$$Z_{Trafo} = \frac{\frac{V_{cc\%}}{100} * V_{BT-Trafo}^2}{S_{n-Trafo}} \quad (4.27)$$

$$R_{Trafo} = \frac{P_{jn}}{3 * I_{n-BT-Trafo}^2} \quad (4.28)$$

$$X_{Trafo} = \sqrt{Z_{Trafo}^2 - R_{Trafo}^2} \quad (4.29)$$

Dove:

- $I_{n-BT-Trafo}$ [A] è la corrente nominale di bassa tensione del trasformatore.
- $S_{n-Trafo}$ [kVA] è la potenza apparente nominale del trasformatore.
- $V_{BT-Trafo}$ [V] è la tensione nominale di bassa tensione del trasformatore.
- Z_{Trafo} [Ω] è l'impedenza del trasformatore.
- $V_{cc\%}$ [-] è la tensione percentuale di cortocircuito del trasformatore.
- R_{Trafo} [Ω] è la resistenza del trasformatore.
- P_{jn} [W] sono le perdite del trasformatore.
- X_{Trafo} [Ω] è la reattanza del trasformatore.

4.8.3. Calcolo dell'impedenza di rete

Per il calcolo delle correnti di cortocircuito è necessario ricavare l'impedenza di rete riportata al secondario, in modo da poter ricavare i valori di resistenza e reattanza utili per definire il circuito di guasto. Per calcolare questi valori di resistenza e reattanza sono state utilizzate le *formule 4.34 e 4.35*. Per ricavare i parametri delle *formule 4.34 e 4.35* sono state utilizzate le *formule 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34*, i dati di targa del trasformatore ed i dati di rete. In assenza di dati specifici, sarà ipotizzato un valore di potenza di cortocircuito da rete di $S_{cc} = 300$ [MVA]. Tale valore potrà essere ridefinito in una futura e fase di progettazione. Per i calcoli sarà inoltre necessario il valore dell'alimentazione di rete $V_{Rete} = 15$ kV.

$$Z_{Rete-MT} = \frac{V_{Rete}^2}{S_{cc} * 10^6} \quad (4.30)$$

$$k = \frac{V_{MT-Trafo}}{V_{BT-Trafo}} \quad (4.31)$$

$$X_{Rete-MT} = 0.995 * Z_{Rete-MT} \quad (4.32)$$

$$R_{Rete-MT} = 0.1 * X_{Rete-MT} \quad (4.33)$$

$$R_{Rete-MT-SEC} = \frac{R_{Rete-MT}}{k^2} \quad (4.34)$$

$$X_{Rete-MT-SEC} = \frac{X_{Rete-MT}}{k^2} \quad (4.35)$$

Dove:

- $Z_{Rete-MT} [\Omega]$ è l'impedenza di rete.
- $V_{Rete} [kV]$ è la tensione di rete.
- $S_{cc} [MVA]$ è la potenza di cortocircuito da rete.
- $k [-]$ è il rapporto di trasformazione del trasformatore.
- $V_{MT-Trafo} [kV]$ è la tensione dell'avvolgimento primario del trasformatore.
- $V_{BT-Trafo} [kV]$ è la tensione dell'avvolgimento secondario del trasformatore.
- $X_{Rete-MT} [\Omega]$ è la reattanza di rete.
- $R_{Rete-MT} [\Omega]$ è la resistenza di rete.
- $X_{Rete-MT-SEC} [\Omega]$ è la reattanza di rete riportata al secondario del trasformatore.
- $R_{Rete-MT-SEC} [\Omega]$ è la resistenza di rete riportata al secondario del trasformatore.

4.8.4. Corrente di cortocircuito massima I_{cc_max}

La corrente di cortocircuito massima serve a scegliere il corretto potere di interruzione I_{CU} dei dispositivi di protezione. Il potere di interruzione degli interruttori deve essere maggiore della corrente di cortocircuito massima, la quale viene calcolata come corrente di cortocircuito trifase ai morsetti di ogni dispositivo di protezione. Nel caso vi siano più interruttori montati sulla stessa sbarra di quadro, la corrente di cortocircuito massima da scegliere è quella più elevata tra le varie calcolate. Per calcolare la corrente di cortocircuito trifase si utilizza la *formula 4.39*, i cui parametri sono ricavati mediante le *formule 4.36, 4.37 e 4.38*, le quali tengono conto delle componenti dell'impedenza di rete riportata al secondario, delle componenti dell'impedenza del trasformatore e delle componenti dell'impedenza delle linee elettriche coinvolte per il calcolo.

$$R_{cc} = R_{Rete-MT-SEC} + R_{Trafo} + L_{Linea} * r_{linea} \quad (4.36)$$

$$X_{cc} = X_{Rete-MT-SEC} + X_{Trafo} + L_{Linea} * x_{linea} \quad (4.37)$$

$$Z_{cc} = \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2} \quad (4.38)$$

$$I_{cc_Max} = \frac{V_{BT-Trafo}}{\sqrt{3} Z_{cc}} \quad (4.39)$$

Dove:

- $R_{Rete-MT-SEC}$ [Ω] è la resistenza di rete riportata al secondario del trasformatore;
- $X_{Rete-MT-SEC}$ [Ω] è la reattanza di rete riportata al secondario del trasformatore;
- R_{Trafo} [Ω] è la resistenza del trasformatore;
- X_{Trafo} [Ω] è la reattanza del trasformatore;
- L_{linea} [m] è la lunghezza della linea;
- r_{linea} [Ω/km] è la resistenza per unità di grandezza della linea;
- x_{linea} [Ω/km] è la reattanza per unità di grandezza della linea;
- R_{cc} [Ω] è la resistenza di cortocircuito trifase;
- X_{cc} [Ω] è la reattanza di cortocircuito trifase;
- Z_{cc} [Ω] è l'impedenza di cortocircuito trifase;
- I_{cc_Max} [kA] è la corrente di cortocircuito trifase;

Nel capitolo 4.9 "Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico", nella tabella 23 e nella tabella 24, saranno riportati i risultati dei calcoli svolti per calcolare le correnti di cortocircuito necessarie per poter scegliere le protezioni.

4.8.5. Protezione da contatti indiretti

Dopo aver selezionato i dispositivi di protezione, nel rispetto dei criteri imposti dalle formule 4.20, 4.21 e 4.22, è stato verificato il criterio per la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

La CEI 64-8 prevede, per il sistema TN-S, che le protezioni soddisfino la condizione descritta dalla formula 4.40.

$$I_a < \frac{U_0}{Z_s} \quad (4.40)$$

Dove:

- Z_s [Ω] rappresenta l'impedenza dell'anello di guasto;
- I_a [A] è la corrente di intervento magnetica del dispositivo di protezione.
- U_0 [V] è la tensione che alimenta l'anello di cortocircuito (230 V in BT).

In presenza di contatti indiretti, il percorso di guasto si stabilisce tra un conduttore di fase ed il conduttore di protezione (PE). U_0/Z_s corrisponde alla corrente di cortocircuito monofase a fondo linea I_{cc_Min} . Essa rappresenta la corrente di cortocircuito minima manifestabile su ogni linea. Nei sistemi TN-S, nel caso la condizione descritta dalla

formula 4.40 non fosse rispettata occorrerebbe equipaggiare l'interruttore automatico in esame con uno sganciatore differenziale.

Per determinare l'impedenza Z_S dell'anello di guasto, è necessario considerare l'impedenza di rete riportata al secondario del trasformatore, l'impedenza del trasformatore e le impedenze di tutte le linee percorse dalla corrente di cortocircuito nell'anello di guasto. Per ricavare il valore dell'impedenza Z_S è stata utilizzata la formula 4.43, i cui parametri sono ricavati mediante le formule 4.41 e 4.42.

$$R_S = R_{Rete-MT-SEC} + R_{Trafo} + L_{Fase} * r_{Fase} + L_{PE} * r_{PE} \quad (4.41)$$

$$X_S = X_{Rete-MT-SEC} + X_{Trafo} + L_{Fase} * x_{Fase} + L_{PE} * x_{PE} \quad (4.42)$$

$$Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2} \quad (4.43)$$

Dove:

- $R_{Rete-MT-SEC}$ [Ω] è la resistenza di rete riportata al secondario del trasformatore;
- $X_{Rete-MT-SEC}$ [Ω] è la reattanza di rete riportata al secondario del trasformatore;
- R_{Trafo} [Ω] è la resistenza del trasformatore;
- X_{Trafo} [Ω] è la reattanza del trasformatore;
- L_{Fase} [m] è la lunghezza della linea di fase;
- r_{Fase} [Ω/km] è la resistenza per unità di grandezza della linea di fase;
- x_{Fase} [Ω/km] è la reattanza per unità di grandezza della linea di fase;
- L_{PE} [m] è la lunghezza delle linee di protezione PE;
- r_{PE} [Ω/km] è la resistenza per unità di grandezza della linea di protezione PE;
- x_{PE} [Ω/km] è la reattanza per unità di grandezza della linea di protezione PE;
- R_S [Ω] è la resistenza dell'anello di guasto;
- X_S [Ω] è la reattanza dell'anello di guasto;
- Z_S [Ω] è l'impedenza di guasto;

Nel capitolo 4.9 "Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico", nella tabella 23 e nella tabella 24, saranno riportati i risultati dei calcoli svolti per calcolare le correnti di cortocircuito necessarie per poter scegliere le protezioni.

4.9. Tabelle e risultati del dimensionamento dell'impianto elettrico

Nel presente capitolo verranno riportate le tabelle contenenti i risultati, ottenuti attraverso le formule descritte nei capitoli precedenti, inerenti al dimensionamento dell'impianto elettrico per il Guenete Leul Palace.

Nella seguente *tabella 17* sono riportati i dati ed i risultati del dimensionamento degli elevatori, del Guenete Leul Palace, effettuato nel *paragrafo 4.4.1 "Carico elettrico ascensori"*.

Tabella 17 - Dati e risultati del dimensionamento degli elevatori

ELEVATORI			
	Montacarichi	Asc.1	Asc.2
Area Vano A_{Vano} [m ²]	8,4	3,24	3,24
Area per persona $A_{Persona}$ [m ²]	0,18	0,18	0,18
Numero persone $N_{Persone}$	47	18	18
Peso medio di ogni persona $M_{Persona}$ [kg]	75	75	75
Peso totale persone $Peso_{Persone_Tot}$ [kg]	3760	1350	1350
Portata approssimata [kg]	4000	1500	1500
Velocità cabina v [m/s]	0,5	1,5	1,5
Bilanciamento contrappeso	0,5	0,5	0,5
Rendimento	80%	80%	80%
$\cos \varphi$	0,90	0,90	0,90
Kc	1	1	1
Potenza per ascensore P_{EL} [kW]	14,1	9,8	9,8
Potenza per motore P_{Mot} [kW]	15	13,5	13,5
Potenza reattiva motore Q_{Mot} [kW]	7,3	6,5	6,5
Potenza apparente S_{Asce} [kVA]	16,7	15	15
Kc" [MLVSe]		0,5	
S _{TOT} vista dal MLVSe [kVA]		23,3	
Corrente di impiego I_b [A]	25,36	22,8	22,8
Corrente di spunto I_S [A]	35,5	31,9	31,9
VA/m ²		4,1	

Nella seguente *tabella 18* sono riportati i quadri trattati nel *paragrafo 4.6.* "Dimensionamento dei quadri di funzione e zona". Per ogni quadro verrà fornita una breve descrizione, il nome e la potenza associata.

Tabella 18 - Lista Quadri

QUADRI		
DESCRIZIONE	NOME QUADRO	POTENZA [kVA]
Quadro di commutazione RETE-GE in cabina	ATS	400
Quadro generale di potenza normale in "Technical Room"	MLVSe	400
Quadro generale di potenza sicura in "Technical Room"	MLVSs	30
Quadro di zona normale piano interrato	LPP-BF1	16,9
Quadro di zona normale piano interrato	LPP-BF2	16,9
Quadro di zona normale piano interrato	LPP-BF3	16,9
Quadro di zona normale piano interrato	LPP-BF4	16,9
Quadro di zona normale piano terra	LPP-GF1	16,9
Quadro di zona normale piano terra	LPP-GF2	16,9
Quadro di zona normale piano terra	LPP-GF3	16,9
Quadro di zona normale piano terra	LPP-GF4	16,9
Quadro di zona normale primo piano	LPP-1F1	16,9
Quadro di zona normale primo piano	LPP-1F2	16,9
Quadro di zona normale primo piano	LPP-1F3	16,9
Quadro di zona normale primo piano	LPP-1F4	16,9
Quadro di zona normale secondo piano	LPP-2F1	16,9
Quadro di zona normale secondo piano	LPP-2F2	16,9
Quadro di zona normale secondo piano	LPP-2F3	16,9
Quadro di zona sicura piano interrato	UPP-BF2	2,9
Quadro di zona sicura piano terra	UPP-GF4	2,9
Quadro di zona sicura primo piano	UPP-1F3	2,9
Quadro di zona sicura secondo piano	UPP-2F2	2,9
Quadro di funzione normale Montacarichi nel sottotetto	LPP-RP1	16,67
Quadro di funzione normale Ascensore-1 nel sottotetto	LPP-RP2	15,00
Quadro di funzione normale Ascensore-2 nel sottotetto	LPP-RP3	15,00
Quadro di funzione normale Pompa di calore-1 secondo piano	LPP-2F5	75,56
Quadro di funzione normale Pompa di calore-2 esterno	LPP-BF6	41,11
Quadro di funzione normale UTA-1 secondo piano	LPP-2F4	4,67
Quadro di funzione normale UTA-2 esterno	LPP-BF7	32,44
Quadro di funzione normale Pompe piano interrato	LPP-BF5	3,22
Quadro di funzione sicura Sistemi speciali in "Control Room"	UPP-GF5	18,30

Nella seguente *tabella 19* sono riportati i valori delle correnti di impiego I_b , trattati nel *paragrafo 4.7. "Dimensionamento linee elettriche"*. Tali valori sono stati calcolati per poter dimensionare successivamente la portata delle linee elettriche I_z .

Tabella 19 - Correnti di impiego che attraversano le linee

CORRENTI DI IMPIEGO CHE ATTRAVERSANO LE LINEE					
DA	A	N° Fasi	S [kVA]	V BT [V]	I_b [A]
Trafo	ATS	3F	400,00	380	607,74
GE	ATS	3F	380,00	380	577,35
ATS	MLVSe	3F	400,00	380	607,74
MLVSe	LPP-BF1	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-BF2	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-BF3	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-BF4	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-BF5	1F	3,22	380	14,65
MLVSe	LPP-BF6	3F	41,11	380	62,46
MLVSe	LPP-BF7	3F	32,44	380	49,29
MLVSe	LPP-GF1	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-GF2	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-GF3	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-GF4	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-1F1	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-1F2	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-1F3	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-1F4	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-2F1	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-2F2	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-2F3	3F	16,92	380	25,71
MLVSe	LPP-2F4	3F	4,67	380	7,09
MLVSe	LPP-2F5	3F	75,56	380	114,79
MLVSe	LPP-RP1	3F	16,67	380	35,45
MLVSe	LPP-RP2	3F	15,00	380	31,91
MLVSe	LPP-RP3	3F	15,00	380	31,91
MLVSe	UPS	3F	30,00	380	45,58
UPS	MLVSs	3F	30,00	380	45,58
MLVSs	UPP-BF2	3F	2,93	380	4,44
MLVSs	UPP-GF4	3F	2,93	380	4,44
MLVSs	UPP-GF5	3F	18,30	380	27,80
MLVSs	UPP-1F3	3F	2,93	380	4,44
MLVSs	UPP-2F2	3F	2,93	380	4,44

Nella tabella 20 e nella tabella 21 sono riportati i risultati, trattati nei paragrafi 4.7.2. "Posa interrata" e 4.7.1. "Posa in canaline in aria libera", dei calcoli svolti per dimensionare le portate I_Z dei vari cavi necessari ad alimentare i carichi del museo.

Tabella 20 - Portate dei cavi con posa interrata

PORTATA DEI CAVI CON POSA INTERRATA												
ISOLANTE: XLPE												
DA	A	N° Fasi	Ib [A]	Lung. [m]	Tipo	Sez. [mm2]	I0 [A]	k1	k2	k3	k4	Iz [A]
Trafo	ATS	3F	607,7	5	Unip.	4x120	4x251	0,96	0,7	0,98	1	661
GE	ATS	3F	577,4	10	Unip.	4x120	4x251	0,96	0,7	0,98	1	661
ATS	MLVSe	3F	607,7	20	Unip.	4x120	4x251	0,96	0,7	0,98	1	661

Tabella 21 - Portate dei cavi con posa in aria entro canaline

PORTATA DEI CAVI CON POSA IN ARIA										
ISOLANTE: EPR										
DA	A	N° Fasi	Ib [A]	Lung. [m]	Tipo	Sez. [mm2]	I0 [A]	k1	k2	Iz [A]
MLVSe	LPP-BF1	3F	25,71	7	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-BF2	3F	25,71	28	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-BF3	3F	25,71	41	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-BF4	3F	25,71	17	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-BF5	1F	14,65	40	Multip.	10	86	1,04	0,72	64,40
MLVSe	LPP-BF6	3F	62,46	30	Multip.	16	100	1,04	0,72	74,88
MLVSe	LPP-BF7	3F	49,29	15	Multip.	16	100	1,04	0,72	74,88
MLVSe	LPP-GF1	3F	25,71	28	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-GF2	3F	25,71	31	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-GF3	3F	25,71	44	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-GF4	3F	25,71	54	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-1F1	3F	25,71	30	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-1F2	3F	25,71	46	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-1F3	3F	25,71	52	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-1F4	3F	25,71	51	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-2F1	3F	25,71	52	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-2F2	3F	25,71	34	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-2F3	3F	25,71	47	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-2F4	3F	7,09	70	Multip.	6	54	1,04	0,72	40,44
MLVSe	LPP-2F5	3F	114,79	70	Multip.	70	246	1,04	0,72	184,20
MLVSe	LPP-RP1	3F	35,45	40	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-RP2	3F	31,91	45	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	LPP-RP3	3F	31,91	45	Multip.	10	75	1,04	0,72	56,16
MLVSe	UPS	3F	45,58	8	Multip.	10	75	1,04	0,73	56,94
UPS	MLVSS	3F	45,58	6	Multip.	10	75	1,04	0,73	56,94
MLVSS	UPP-BF2	3F	4,44	28	Multip.	6	54	1,04	0,73	41,00
MLVSS	UPP-GF4	3F	4,44	49	Multip.	6	54	1,04	0,73	41,00
MLVSS	UPP-GF5	3F	27,80	55	Multip.	10	75	1,04	0,73	56,94
MLVSS	UPP-1F3	3F	4,44	53	Multip.	6	54	1,04	0,73	41,00
MLVSS	UPP-2F2	3F	4,44	48	Multip.	6	54	1,04	0,73	41,00

Nella tabella 22 sono riportati risultati, trattati nel paragrafo 4.7.3. "Verifica della caduta di tensione", dei calcoli svolti per la verifica della caduta di tensione sulle linee.

Tabella 22 - Verifica della caduta di tensione sulle linee

VERIFICA DELLA CADUTA DI TENSIONE							
DA	A	Sezione [mm ²]	Lung. [m]	I _b [A]	r [Ω/km]	x [Ω/km]	ΔV (%)
Trafo	ATS	4x120	5	607,74	0,188/4	0,0939/4	0,07
GE	ATS	4x120	10	577,35	0,188/4	0,0939/4	0,14
ATS	MLVSe	4x120	20	607,74	0,188/4	0,0939/4	0,29
MLVSe	LPP-BF1	10	7	25,71	2,27	0,09	0,17
MLVSe	LPP-BF2	10	28	25,71	2,27	0,09	0,68
MLVSe	LPP-BF3	10	41	25,71	2,27	0,09	1,00
MLVSe	LPP-BF4	10	17	25,71	2,27	0,09	0,41
MLVSe	LPP-BF5	10	40	14,65	2,24	0,12	1,10
MLVSe	LPP-BF6	16	30	62,46	1,43	0,08	1,13
MLVSe	LPP-BF7	16	15	49,29	1,43	0,08	0,45
MLVSe	LPP-GF1	10	28	25,71	2,27	0,09	0,68
MLVSe	LPP-GF2	10	31	25,71	2,27	0,09	0,76
MLVSe	LPP-GF3	10	44	25,71	2,27	0,09	1,07
MLVSe	LPP-GF4	10	54	25,71	2,27	0,09	1,32
MLVSe	LPP-1F1	10	30	25,71	2,27	0,09	0,73
MLVSe	LPP-1F2	10	46	25,71	2,27	0,09	1,12
MLVSe	LPP-1F3	10	52	25,71	2,27	0,09	1,27
MLVSe	LPP-1F4	10	51	25,71	2,27	0,09	1,24
MLVSe	LPP-2F1	10	52	25,71	2,27	0,09	1,27
MLVSe	LPP-2F2	10	34	25,71	2,27	0,09	0,83
MLVSe	LPP-2F3	10	47	25,71	2,27	0,09	1,15
MLVSe	LPP-2F4	6	70	7,09	3,78	0,10	0,78
MLVSe	LPP-2F5	70	70	114,79	0,33	0,08	1,22
MLVSe	LPP-RP1	10	40	35,45	2,27	0,09	1,34
MLVSe	LPP-RP2	10	45	31,91	2,27	0,09	1,36
MLVSe	LPP-RP3	10	45	31,91	2,27	0,09	1,36
MLVSe	UPS	10	8	45,58	2,27	0,09	0,35
UPS	MLVSs	10	6	45,58	2,27	0,09	0,26
MLVSs	UPP-BF2	6	28	4,44	3,78	0,10	0,20
MLVSs	UPP-GF4	6	49	4,44	3,78	0,10	0,34
MLVSs	UPP-GF5	10	55	27,80	2,27	0,09	1,45
MLVSs	UPP-1F3	6	53	4,44	3,78	0,10	0,37
MLVSs	UPP-2F2	6	48	4,44	3,78	0,10	0,33

Nella tabella 23 e nella tabella 24 sono riportati risultati, trattati nel paragrafo 4.8. "Dimensionamento dei dispositivi di protezione", dei calcoli svolti per ottenere i valori delle correnti di cortocircuito necessarie per poter definire le protezioni elettriche.

Tabella 23 - Corrente di cortocircuito e scelta interruttori

CORRENTE DI CORTOCIRCUITO E SCELTA INTERRUTTORI									
DA	A	Modello	I _{cu} [kA]	I _m [A]	I _b [A]	I _n Int. [A]	I _z [A]	I _{cc} max [kA]	I _{cc} min = U _o /Z _s [kA]
MLVSe	LPP-BF1	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	4,66
MLVSe	LPP-BF2	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	1,59
MLVSe	LPP-BF3	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	1,12
MLVSe	LPP-BF4	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	2,45
MLVSe	LPP-BF5	Acti9 iC60H	11,25	200	14,65	20	64,40	9,54	1,15
MLVSe	LPP-BF6	Acti9 iC60H	11,25	630	62,46	63	74,88	9,54	2,23
MLVSe	LPP-BF7	Acti9 iC60H	11,25	630	49,29	63	74,88	9,54	3,82
MLVSe	LPP-GF1	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	63	56,16	9,54	1,59
MLVSe	LPP-GF2	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	1,45
MLVSe	LPP-GF3	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	1,04
MLVSe	LPP-GF4	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	0,86
MLVSe	LPP-1F1	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	1,49
MLVSe	LPP-1F2	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	1,00
MLVSe	LPP-1F3	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	0,89
MLVSe	LPP-1F4	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	0,91
MLVSe	LPP-2F1	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	0,89
MLVSe	LPP-2F2	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	1,33
MLVSe	LPP-2F3	Acti9 iC60H	11,25	400	25,71	40	56,16	9,54	0,98
MLVSe	LPP-2F4	Acti9 iC60H	11,25	160	7,09	16	40,44	9,54	0,41
MLVSe	LPP-2F5	Acti9 C120H	11,25	625	114,79	125	184,20	9,54	2,59
MLVSe	LPP-RP1	Acti9 iC60H	11,25	400	35,45	40	56,16	9,54	1,14
MLVSe	LPP-RP2	Acti9 iC60H	11,25	400	31,91	40	56,16	9,54	1,02
MLVSe	LPP-RP3	Acti9 iC60H	11,25	400	31,91	40	56,16	9,54	1,02
MLVSe	UPS	Acti9 iC60H	11,25	500	45,58	50	56,94	9,54	4,30
UPS	MLVSs	Acti9 iSW	11,25	-	45,58	63	56,94	4,92	2,78
MLVSs	UPP-BF2	Acti9 iC60H	11,25	160	4,44	16	41,00	4,92	0,76
MLVSs	UPP-GF4	Acti9 iC60H	11,25	160	4,44	16	41,00	4,92	0,49
MLVSs	UPP-GF5	Acti9 iC60H	11,25	320	27,80	32	56,94	4,92	0,67
MLVSs	UPP-1F3	Acti9 iC60H	11,25	160	4,44	16	41,00	4,92	0,55
MLVSs	UPP-2F2	Acti9 iC60H	11,25	160	4,44	16	41,00	4,92	0,60

Tabella 24 - Corrente di cortocircuito e scelta interruttori

CORRENTE DI CORTOCIRCUITO E SCELTA INTERRUTTORI										
DA	A	Modello	I_{cu} [kA]	I_m [A]	I_b [A]	I_n Int. [A]	I_r [A]	I_z [A]	I_{cc_max} [kA]	I_{cc_min} [kA]
Trafo	ATS	Compact NS800	50	3200	608	800	640	661,19	9,91	9,71
GE	ATS	Compact NS800	50	3200	577	800	640	661,19	9,91	5,0
ATS	MLVSe	NS800N Inizio linea	50	3200	608	800	640	661,19	9,91	9,71
ATS	MLVSe	NS800 Fondo linea	50	3200	608	800	640	661,19	9,54	8,9

Capitolo 5

5. L'impianto fotovoltaico

Nell'era moderna, l'uso dei sistemi di produzione elettrica da fonti rinnovabili è fondamentale per la transizione verso un futuro energetico pulito e rispettoso dell'ambiente. Il rinnovo del Guenete Leul Palace, in un polo moderno, rende questa occasione ottima per intrecciare la sostenibilità dell'ambiente con la preservazione del patrimonio storico e culturale. L'appartenenza del Guenete Leul Palace alla Addis Abeba University consente inoltre di dare un ulteriore significato simbolico all'impianto. Esso non serve solo per la produzione di energia, ma diviene anche un mezzo educativo per sensibilizzare ed istruire le nuove generazioni all'importanza delle risorse rinnovabili.

Il presente dimensionamento dell'impianto fotovoltaico è stato ottimizzato mediante l'utilizzo di un workflow basato sull'algoritmo genetico NSGA-II, sviluppato dall'Ing. Corrado Serato nel proprio lavoro di tesi. La configurazione scelta prevede l'installazione di un campo fotovoltaico capace di garantire una produzione annua di 350 MWh ed un ROI (Return Of Investment) di 3 anni.

5.1. Influenza della posizione geografica sull'impianto

Addis Abeba risulta essere un sito ideale per l'installazione degli impianti fotovoltaici. Il clima mite della città è in grado di contenere gli effetti negativi, dovuti alle alte temperature, sul sistema fotovoltaico. Inoltre, la posizione della città presenta un ottimo irraggiamento.

5.2. Simulazioni e configurazioni ottimali

Per determinare la taglia ottimale dell'impianto fotovoltaico ed il relativo posizionamento dei moduli sulla copertura dell'edificio è stato adottato un approccio BIM (Building Information Modeling), attuato mediante l'uso del software Autodesk Revit. L'utilizzo di Autodesk Revit ha consentito di modellare l'impianto fotovoltaico considerando gli effetti delle ombre sui pannelli, l'irradianza del sito e le restrizioni dovute alla topologia della copertura, permettendo l'ottimizzazione del sistema. Dopo aver modellato il sistema attraverso Autodesk Revit sono state effettuate analisi parametriche e simulazioni complesse mediante l'uso del software Autodesk Dynamo. Infine, la fase di ottimizzazione multi-obiettivo è stata effettuata mediante il software Autodesk Refinery, il quale sfrutta l'algoritmo genetico NSGA-II per esplorare lo spazio delle soluzioni.

La strategia di calcolo multi-obiettivo è stata impostata per appianare il conflitto tra due obiettivi contrapposti: la minimizzazione del tempo di ritorno di investimento (ROI) e la massima ottimizzazione della resa energetica annua (Annual Energy Yield). Una caratteristica di queste soluzioni è che non è possibile migliorare un obiettivo senza peggiorarne un altro. I dati della soluzione, scelta per i suoi valori di produzione energetica annua (Annual Energy Yield) e di ritorno di investimento (ROI), sono riportati in *tabella 25*.

Tabella 25 - Dati simulazione

SOLUZIONE DELLA SIMULAZIONE	
Numero di moduli	440
Potenza totale [kWp]	215,6
Efficienza dei moduli	20,54%
Performance Ratio (PR)	0,8
Irradiazione media annua (kWh/m ²)	2.030
Periodo di analisi (anni)	20
Produzione energetica annua (kWh)	350.233
Costo dell'energia elettrica in Etiopia(€/kWh)	0,13
Indice di attualizzazione annuo	2%
Costo annuo di manutenzione	1%
Return Of Investment (anni)	3
VAN dopo 20 anni (€)	524.727
TIR	34%

La soluzione scelta, mediante l'impiego di 440 moduli fotovoltaici, per una potenza totale di 215,60 kWp, consentirà una produzione di 350.233 kWh/anno. Inoltre, questa soluzione, presenta un tempo di ritorno dell'investimento di soli 3 anni. Questi dati, di conseguenza, evidenziano questa soluzione come punto di equilibrio ottimale nella Frontiera di Pareto, riuscendo ad unire un'ottima produzione energetica con un ritorno di investimento competitivo.

5.3. Moduli fotovoltaici: Modello AE MD-132BD da 490Wp

Dopo aver determinato il numero e la configurazione dei moduli, è stato selezionato un modello in grado di soddisfare i requisiti di potenza indicati dalla simulazione. Per l'impianto fotovoltaico sono stati selezionati i moduli fotovoltaici modello AE MD-132BD da 490Wp, i cui dati di targa sono riportati nella tabella 26.

Tabella 26 - Dati di targa modulo fotovoltaico AE MD-132BD

AE MD-132BD da 490Wp	
Potenza nominale Pn [Wp]	490
Tolleranza sulla potenza nominale	5%
Lunghezza [cm]	209,4
Larghezza [cm]	113,3
Peso [kg]	28
Numero di celle per modulo	132
Superficie [m ²]	2,37
Efficienza	20,7%
Corrente di corto circuito I _{sc} [A]	13,47
Tensione a circuito aperto V _{oc} [V]	46,05
Corrente nel punto di potenza massima I _m [A]	12,71
Tensione nel punto di potenza massima V _m [V]	38,55
Coefficiente termico di P _m	-0,35%
Coefficiente termico di I _{sc} [A/°C]	0,00572
Coefficiente termico di V _{oc} [V/°C]	-0,126
Coefficiente termico di V _{mpp} [V/°C]	-0,152
Fill Factor FF	79%

5.4. Inverter: Huawei SUN2000-100KTL-M2

Dopo aver scelto i moduli fotovoltaici, sono stati scelti gli inverter. Gli inverter scelti, sono i SUN2000-100KTL-M2 della Huawei. Questo inverter possiede 10 inseguitori di punto di massima potenza (MPPT) indipendenti, i quali ci consentono di suddividere l'impianto in altrettanti sottocampi elettricamente indipendenti. L'inverter supporta una potenza di picco in ingresso fino a 150 kWp. Per quanto riguarda l'uscita AC, l'inverter può erogare una potenza nominale di 100kW con un'efficienza del 98,6% ed un fattore di distorsione armonica totale (THD) inferiore al 3%. Il modello scelto, inoltre, integra la tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter), capace di rilevare ed interrompere eventuali archi elettrici in meno di 2 secondi. In aggiunta, l'inverter è equipaggiato con scaricatori di sovratensione (SPD) di Tipo II sia sul lato AC che DC. I dati di targa dell'inverter possono essere consultati nella tabella 27.

Tabella 27 - Dati di targa inverter Huawei SUN2000-100KTL-M2

INGRESSO DC	
Potenza massima di picco	150 kW
Tensione massima	1000 V
Intervallo di tensione del MPPT	200-1000 V
Tensione nominale	600 V
Tensione di avviamento	200 V
Corrente massima per ciascun ingresso	300 A
Numero di MPPT	10
Numero di ingressi	20
USCITA AC	
Connessione alla rete elettrica	3P+N+PE
Potenza massima apparente	110 kVA
Potenza nominale	100 kW
Tensione nominale	380/400 V
Frequenza nominale	50/60 Hz
Corrente nominale per ingresso	152 A
Corrente nominale per MPPT	304 A
Fattore di potenza regolabile	0,8 (lag/delay)
THDi	<3%
THDv	<3%
Efficienza europea	98,6%

5.5. Array fotovoltaico: Caratteristiche elettriche

Le verifiche di compatibilità elettrica, necessarie per determinare i parametri dell'array fotovoltaico, sono state effettuate dal collega Lorenzo Viassone nel proprio elaborato di tesi. Nel presente paragrafo verranno illustrate le considerazioni effettuate, e riportati i parametri ottenuti per l'array fotovoltaico. I parametri potranno essere consultati nella *tabella 28*.

Per le verifiche di compatibilità è stato considerato un intervallo di variabilità della temperatura dei moduli tra 0°C e 60°C, una (STC) di 25 °C ed una irradianza G_{STC} pari a 1.000 W/m². Il dimensionamento ha preso in considerazione le condizioni operative più gravose, ossia la condizione di temperatura minima di servizio per determinare la massima tensione a vuoto, e la condizione di temperatura massima per il calcolo della corrente di cortocircuito di picco.

Tabella 28 - Parametri elettrici dell'array fotovoltaico

ARRAY FOTOVOLTAICO	
N° totale di moduli	220
N° di moduli/stringa	20
N° di stringhe	11
Potenza totale array FV	107,8 kWp
Tensione nominale di stringa Vn	771 V
Tensione nominale di stringa vuoto Voc	921 V
Tensione minima di stringa Vn (T=+75 °C)	619 V
Tensione massima di stringa Vn (T=0 °C)	847 V
Tensione massima a vuoto di stringa Voc (T=0 °C)	984 V
Corrente massima In (T=+75°C, G=1.100 W/m ²)	157,3 A

5.6. Interruttore lato DC di manovra-sezionatore (IMS)

L'inverter Huawei SUN2000-100KTL-M2 integra le protezioni del lato DC. L'inverter possiede tre interruttori di manovra-sezionatori DC indipendenti. Questi interruttori DC non sono interruttori manuali, ma fanno parte del sistema SSLD (Smart String-Level Disconnect). Rispetto ai sezionatori tradizionali, i modelli con tecnologia SSLD sono in grado di scattare automaticamente entro millisecondi in caso di guasti come la polarità inversa della stringa od il ritorno di corrente. Questi dispositivi prevengono danni all'inverter e riducono il rischio di incendio sul lato DC.

5.7. Dimensionamento lato DC dei cavi

Il collegamento delle stringhe fotovoltaiche agli inverter è stato ottenuto mediante cavi unipolari solari di tipo H1Z2Z2-K. Questi cavi sono progettati per applicazioni PV e sono conformi alla norma UNI EN 50618. L'isolante di questo cavo è in EPR, è resistente ai raggi UV e possiede caratteristiche LSZH (Low Smoke Zero Halogen). In aggiunta, il cavo possiede una temperatura operativa del conduttore pari a 90°C.

I cavi scelti per connettere le stringhe agli inverter hanno una sezione di 6 mm² ed un valore di resistenza per unità di misura di 4,05 Ω/km. Per quanto riguarda la lunghezza dei cavi, si considera il caso peggiore, ovvero la stringa più distante dall'inverter, dunque quella con una caduta di tensione, calcolata mediante la *formula 5.1*, più alta rispetto alle altre stringhe. La scelta di un cavo di sezione 6 mm² è dovuta alla corrente di impiego I_{b_DC} . La I_{b_DC} si ricava, mediante la *formula 5.2*, considerando la condizione più gravosa, ossia la corrente di cortocircuito I_{CC_DC} sovradimensionata del 25%. Le condizioni di posa tengono conto sia delle elevate temperature dovute ad una posa esposta al sole, sia del numero di circuiti nel tratto più importante, ossia quello ai morsetti d'ingresso dell'inverter.

$$\Delta U\% = 2 \cdot \frac{I_{MPP} * l_{si} * r_{si}}{U_{MPP}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

Dove:

- r_{si} è la resistenza per unità di lunghezza del cavo DC;
- l_{si} è la lunghezza complessiva (andata/ritorno) del cavo DC;
- I_{MPP} è la corrente nel punto di massima potenza della stringa;
- U_{MPP} è la tensione nel punto di massima potenza della stringa.

La portata I_{0_DC} del cavo DC da 6 mm² in aria libera in posizione inaccessibile risulta, pari a 72 A. I coefficienti K_1 e K_2 sono reperiti dalle norme CEI 64-8 e CEI UNEL 35011. Per calcolare la portata finale del cavo I_{Z_DC} , mediante la *formula 5.3*, si considera una posa in tubo sul retro dei moduli, con una temperatura ambiente massima di 60°C, che ci porta a considerare un $K_1=0,71$. Inoltre, essendovi più di 10 circuiti principali DC, verrà considerato un $K_2=0,50$. Per ottenere un corretto dimensionamento, la portata dei cavi I_{Z_DC} dovrà essere superiore alla corrente di impiego I_{b_DC} .

$$I_{b_DC} = 1,25 \cdot I_{CC_DC} = 16,8 \text{ A} \quad (5.2)$$

$$I_{Z_DC} = I_{0_DC} \cdot K_1 \cdot K_2 = 25,6 \text{ A} \quad (5.3)$$

Dove I_{CC_DC} è la corrente di cortocircuito del modulo, pari a 13,47 A.

5.8. Dimensionamento lato AC dei componenti

Dopo aver dimensionato i componenti lato DC, si procede con il dimensionamento dei componenti che costituiscono la parte in corrente alternata dell'impianto fotovoltaico. Verranno dimensionati i cavi del lato AC ed effettuate le necessarie considerazioni per selezionare i relativi dispositivi di protezione.

5.8.1. Dimensionamento lato AC dei cavi

I cavi lato AC avranno isolamento in EPR, saranno di tipo multipolare e saranno posati in aria libera entro canaline. La corrente di impiego I_b per i cavi sarà ricavata mediante la *formula 5.11*.

$$I_b = \frac{P_{INVERTER}}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (5.11)$$

Le linee che collegheranno i quadri "LPP-RP4" e "LPP-RP5" al quadro "LPP-PV" avranno una $I_b = 151,9 A$, mentre la linea che collegherà il quadro "LPP-PV" al quadro generale di bassa tensione "MLVSe", dovendo portare la corrente di impiego totale dell'impianto fotovoltaico, avrà una $I_b = 303,8 A$. I quadri "LPP-RP4" e "LPP-RP5" hanno il compito di collegare i rispettivi inverter al quadro "LPP-PV" posto nella "Technical Room" vicino al quadro generale di bassa tensione. Nella seguente *tabella 29* verranno riportati i risultati del calcolo della corrente di impiego I_b .

Tabella 29 - Correnti di impiego che attraversano le linee dell'impianto PV

CORRENTI DI IMPIEGO CHE ATTRAVERSANO LE LINEE PV					
DA	A	N° Fasi	S [kVA]	V BT [V]	Ib [A]
INV	LPP-RP4/5	3F	100,00	380	151,9
LPP-RP4/5	LPP-PV	3F	100,00	380	151,9
LPP-PV	MLVSe	3F	200	380	303,8

Per determinare la portata finale I_z dei cavi dell'impianto fotovoltaico si seguiranno i passaggi precedentemente descritti nel *paragrafo 4.7.1. "Posa in canaline in aria libera"*. Al fine di calcolare la portata finale I_z , si terrà conto dell'assenza di altri circuiti attivi e di una temperatura di 25°C, i quali coefficienti correttivi saranno rispettivamente $K_2 = 1$ e $K_1 = 1,04$. Nella seguente *tabella 30* verranno riportati i risultati del calcolo della portata dei cavi I_z .

Tabella 30 - Portata dei cavi con posa in aria per l'impianto PV

PORTATA DEI CAVI CON POSA IN ARIA PER L'IMPIANTO PV									
ISOLANTE: EPR									
DA	A	Ib [A]	Lung. [m]	Tipo	Sez. [mm ²]	I0 [A]	k1	k2	Iz [A]
INV	LPP-RP4/5	151,9	2,5	Multip.	70	246	1,04	1	255,84
LPP-RP4/5	LPP-PV	151,9	70	Multip.	120	382	1,04	1	397,28
LPP-PV	MLVSe	303,8	5	Multip.	185	456	1,04	1	474,24

Per quanto riguarda la caduta di tensione percentuale $\Delta V\%$, verranno implementati i passaggi precedentemente descritti nel *paragrafo 4.7.3. "Verifica della caduta di tensione"*. Nel nostro caso, per il calcolo della caduta di tensione, si considera il funzionamento dell'inverter a fattore di potenza unitario. Nella *tabella 31* verranno riportati i risultati del calcolo della caduta di tensione percentuale delle linee AC dell'impianto fotovoltaico.

Tabella 31 - Verifica della caduta di tensione sulle linee

VERIFICA DELLA CADUTA DI TENSIONE PER L'IMPIANTO PV							
DA	A	Sezione [mm ²]	Lung. [m]	Ib [A]	r [Ω/km]	x [Ω/km]	ΔV (%)
INV	LPP-RP4/5	70	2,5	151,9	0,334	0,0751	0,05
LPP-RP4/5	LPP-PV	120	70	151,9	0,191	0,074	1,082
LPP-PV	MLVSe	185	5	303,8	0,125	0,0742	0,108

Sommando infine le cadute di tensione fra le stringhe fotovoltaiche ed il quadro generale BT si ottiene una caduta di tensione percentuale del 2,93%, inferiore al limite massimo preso del 3%.

5.8.2. Dimensionamento lato AC delle protezioni

Per quanto riguarda la scelta dei dispositivi di protezione, verranno implementati i passaggi precedentemente descritti nel *paragrafo 4.8. "Dimensionamento dei dispositivi di protezione"*. Nella *tabella 32* verranno riportati i risultati del

Tabella 32 - Corrente di cortocircuito e scelta interruttori

CORRENTE DI CORTOCIRCUITO E SCELTA INTERRUTTORI										
DA	A	Modello	I _{cu} [kA]	I _m [A]	I _b [A]	I _{n Int.} [A]	I _r [A]	I _z [A]	I _{cc max} [kA]	I _{cc min} [kA]
INV	LPP- RP4/5	NSX160B	25	1600	152	160	160	255	6,01	3,52
LPP- RP4/5	LPP-PV	NSX160B	25	1600	152	160	160	397	6,42	4,96
LPP-PV	MLVSe	NSX400F	36	3200	303	400	320	474	9,36	5,89

Capitolo 6

6. Sistemi di sicurezza integrata

Il palazzo Guenete Leul, data la sua destinazione d'uso museale e il valore storico-artistico, richiede l'implementazione di sistemi speciali integrati per garantire sicurezza, protezione del patrimonio e comfort degli utenti. I principali sistemi previsti sono il sistema di rilevazione e segnalamento incendi, il sistema annunci ed evacuazione EVAC, il sistema di videosorveglianza CCTV, il sistema dati ed il sistema antintrusione e controllo accessi. Ogni tipologia di sistema verrà descritta nei seguenti paragrafi, e, per ognuna di esse verranno discusse le varie tecnologie ed i componenti più comuni e consoni.

6.1. Sistema rilevazione e segnalamento incendi

Per la gestione dell'impianto di rilevazione e segnalamento incendi è stato scelto un modello dotato di sistema indirizzato. I sistemi indirizzati si basano su una linea bifilare, la quale partendo dalla centrale di controllo collega i vari componenti dell'impianto prima di richiudersi sulla stessa. Ogni anello chiuso viene chiamato "Loop". Grazie a questa disposizione, la centrale di controllo è in grado di identificare e localizzare il dispositivo responsabile della rilevazione. La centrale è inoltre in grado di identificare situazioni di guasto quali circuito aperto e cortocircuito, consentendo interventi di manutenzione rapidi. Nella *figura 10* è riportato uno schema esempio di un loop per sistemi antincendio.

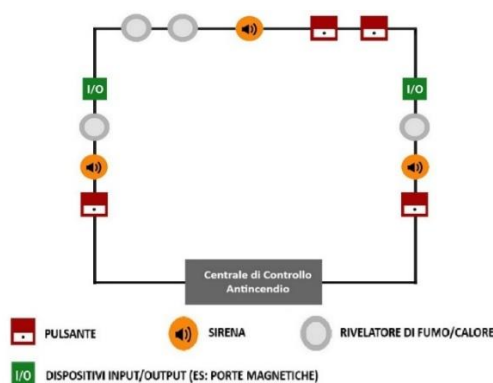


Figura 10 - Schema esempio sistemi antincendio in configurazione loop

La centrale di controllo antincendio sarà installata all'interno della "Control-Room". L'alimentazione del sistema sarà garantita dal gruppo di continuità UPS del museo e la centrale di controllo sarà cablata al quadro di potenza sicura ubicato nella stessa stanza "UPP-GF5".

6.1.1. Vantaggi del sistema indirizzato

I sistemi indirizzati si distinguono per la loro ottima affidabilità. Nel caso un dispositivo dovesse essere scollegato o andare in avaria, il circuito non smetterebbe di funzionare, consentendo la continuità di servizio del loop e dell'impianto. Gli impianti antincendio dotati di sistema indirizzato sono consigliati per gli impianti di medie e grandi dimensioni che prevedono un numero elevato di dispositivi per area. Grazie ai sistemi indirizzati è possibile identificare i dispositivi in allarme consentendo una rapida manutenzione. Gli impianti antincendio dotati di sistema indirizzato sono adatti ad ambienti museali, come ad esempio il Guenete Leul Palace, ove è critico assicurare la sicurezza delle persone, dei reperti e del museo stesso.

6.1.2. Caratteristiche generale della centrale di controllo indirizzata

Il compito della centrale di controllo è quello di gestire l'impianto antincendio e verificarne il corretto funzionamento. La centrale di controllo effettua diagnostiche sui componenti del sistema con l'obiettivo di rilevare eventuali condizioni di circuito aperto, tra componenti, o condizioni di cortocircuito. Il sistema può inizializzare l'allarme in automatico oppure può essere programmato per segnalare l'allarme solamente al personale stanziato nella "Control-Room". La scelta di avvisare il personale della "Control-Room" viene fatta per evitare che eventuali falsi allarmi provochino l'evacuazione dell'edificio. Con questa scelta, nell' caso un pulsante di evacuazione venisse azionato per futili motivi, si impedirebbe di causare il panico, consentendo ad un operatore specializzato di indagare sull'origine dell'allarme prima ordinare un eventuale evacuazione.

La centrale indirizzata, per via delle caratteristiche strutturali del palazzo in esame, dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- 1) Centrale analogica-indirizzabile antincendio con microprocessori e supervisione.
- 2) Minimo 4 loop supervisionati. (Uno per piano)
- 3) Numero di sensori gestibile dalla centrale di controllo, dovuta all'estensione dell'edificio, non inferiore a 256 dispositivi (sensori, pulsanti manuali, moduli I/O, segnalatori acustici).

- 4) Display per interfaccia utente.
- 5) Supervisione da pannello remoto o da software per PC.
- 6) Connessione in rete TCP/IP per supervisione remota.
- 7) Certificato CDP in accordo con le norme EN54-2, EN54-4.

6.1.3. Caratteristiche dei cavi per i componenti

Non è raccomandabile posare cavi di lunghezza superiore ai 3-3,5 Km. Il motivo di tale restrizione risiede nel fatto che per lunghezze superiori il cavo sarebbe soggetto ad interferenze, nella trasmissione dati, causate dai valori eccessivi di capacità ed induttanza. Un'altra prescrizione è che i cavi del sistema siano di tipo ignifugo. Il cablaggio di un loop consiste nel collegare tutti gli apparecchi in modo da ottenere un anello chiuso, utilizzando la centrale di controllo come partenza ed arrivo. Per garantire la conformità dell'impianto alla norma EN 54-2 è necessario dotare i loop di moduli isolatori. Questi moduli hanno il compito di garantire il funzionamento dei dispositivi a monte dell'isolatore stesso nel caso avvenga un cortocircuito sulla linea.

Il museo di Addis Abeba, presentando un'estensione per eccesso di circa 70x70 m, non sarà soggetto a problemi relativi alla lunghezza dei cavi.

6.1.4. Terminali di output per sirene antincendio e rilevazione guasti

I morsetti di uscita sono supervisionati, ossia sono in grado di segnalare le avarie di cortocircuito o circuito aperto. La supervisione è eseguita dalla centrale di controllo, la quale compie diagnostiche sul sistema ed il suo stato. Il circuito delle sirene non è un loop, bensì una linea terminale su quale vengono installate più sirene in parallelo. Per consentire una corretta supervisione occorre installare una resistenza di fine linea dopo l'ultima sirena. Per evitare funzionamenti scorretti bisogna evitare di creare più linee, terminate da altrettante resistenze, e di collegarle agli stessi morsetti. La resistenza posta in fondo alla linea serve alla centrale di controllo per poter correttamente supervisionare la linea stessa. La centrale di controllo ricava il valore di resistenza della linea e si assicura che tale valore sia in un range di corretto funzionamento. Di solito la resistenza posta a fine linea pone il valore di resistenza totale del circuito ad un valore al centro della fascia di normale funzionamento. Nel caso avvenga un cortocircuito, la resistenza del circuito scenderebbe al di sotto della fascia di ordinario funzionamento consentendo alla centrale di controllo di segnalare la condizione di cortocircuito. Nel caso si verifichi una condizione di circuito aperto, la resistenza del circuito supererebbe la fascia di ordinario funzionamento consentendo alla centrale di controllo di segnalare la condizione di

circuito aperto. Per il cablaggio delle sirene è raccomandabile l'utilizzo di cavi twistati, schermati e resistenti al fuoco.

Come per i morsetti di output delle sirene antincendio, anche i morsetti delle sirene di guasto sono di tipo supervisionato. In questo caso, come nel precedente, è necessario installare una resistenza di fine linea ed utilizzare cavi twistati, schermati e resistenti al fuoco.

6.1.5. Componenti tipici di un impianto rilevazione e segnalazione

Le tecnologie utilizzate per garantire la rivelazione ed il segnalamento di fumi e/o incendi sono numerose. Nei paragrafi successivi saranno esposti e descritti i componenti solitamente presenti negli impianti antincendio che sono stati ritenuti adatti per l'applicazione in esame.

6.1.5.1. Rilevatori indirizzati di fumo

Il rivelatore ottico di fumo risponde al fumo causato dalla combustione (fumi visibili) ed il suo funzionamento è basato sull'effetto Tyndal, ossia un fenomeno di diffusione della luce. Quando il fumo entra nel dispositivo, le particelle presenti nel fumo riflettono la luce proveniente da una fonte infrarossa, rendendo il fumo "visibile" ad un fotodiode che manderà in allarme il sensore. I rivelatori dovranno rispettare la norma di riferimento EN54-7. Nella *figura 11* seguente verrà mostrato un tipico rivelatore ottico di fumo.



Figura 11 - Rilevatore ottico di fumo

6.1.5.2.Pulsante manuale riarmabile

Questi dispositivi consentono ai visitatori o al personale qualificato di segnalare la presenza di fumi o incendi. Presentano un colore rosso acceso e fanno uso di simboli facilmente interpretabili per abbattere eventuali barriere linguistiche. Solitamente sono dotati di led bianchi per comunicare l'avvenuta attivazione. Per evitare attivazioni accidentali sono dotati di coperchi trasparenti rimovibili. Alcuni modelli vengono equipaggiati con allarmi interni in modo da attirare l'attenzione verso la persona responsabile dell'attivazione, con l'obiettivo di scoraggiare eventuali malintenzionati. Questi dispositivi possono essere installati all'interno degli edificio e/o all'esterno previa corretta scelta del grado di protezione IP. Questi dispositivi devono rispettare la norma EN54-11,-17 CPD. Nella *figura 12* seguente viene mostrato un tipico pulsante manuale riarmabile.



Figura 12 - Pulsante riarmabile manuale

6.1.5.3.Diffusore ottico

Questi diffusori ottici sono di dimensioni contenute ma possiedono diodi led rossi capaci di richiamare facilmente l'attenzione. Questi dispositivi sono ideali per locali piccoli ove non è ideale installare sirene. Solitamente le sirene vengono installate in spazi comuni in modo che possano essere udite nei locali adiacenti, ossia i locali dove è opportuno installare i suddetti diffusori ottici. Nella *figura 13* seguente verrà mostrato un tipico rivelatore ottico di fumo.



Figura 13 - Diffusore ottico

6.1.5.4. Buzzer

Il buzzer è un diffusore acustico antincendio per locali di medie o piccole dimensioni. Il volume del diffusore acustico può essere regolato in funzione della dimensione del luogo di installazione. Il dispositivo è anche equipaggiato con diffusori ottici a led bianchi o rossi ed è indicato per locali di modeste dimensioni come uffici, locali igienici, aule e sale conferenza. Il buzzer come dispositivo deve rispettare la norma di riferimento EN54-3. Nella *figura 14* seguente viene mostrato un tipico buzzer dotato di led bianco.



Figura 14 - Buzzer con led bianco

6.1.5.5. Pannello ottico-acustico

Questi dispositivi sono solitamente fissati al muro e mostrano la scritta “ALLARME INCENDIO”, la quale può essere tradotta in più lingue. Questi pannelli sono tipicamente installati in spazi comuni e sopra le uscite di sicurezza. I pannelli possono essere equipaggiati con una sirena interna collegabile all’impianto antincendio e/o ai sensori apriporta delle uscite di sicurezza per evitare il transito di persone non autorizzate. I pannelli ottici deve rispettare la norma di riferimento EN54-3. Nella *figura 15* seguente viene mostrato un tipico pannello ottico.



Figura 15 - Pannello ottico-acustico

6.1.5.6.Sirena piezoelettrica ottico-acustica con flash

Queste sirene funzionano mediante un diffusore acustico piezoelettrico ed alcuni modelli sono equipaggiati con emettitori ottici a led bianco. L'installazione di questa sirena è ideale per grandi spazi o per esterni. Il diffusore piezoelettrico consente di regolare il volume e di cambiare il suono tra sirena e campana. Questo dispositivo deve rispettare le norme EN54-3 e EN54-23. Nella *figura 16* seguente viene mostrata una tipica sirena piezoelettrica dotata di led bianco.



Figura 16 - Sirena piezoelettrica ottico-acustica con led bianco

6.1.5.7.Barriera lineare ad infrarossi per rilevazione fumi

Le barriere lineari ad infrarossi sono solitamente composte da un emettitore ed un ricevitore, e possiedono un range di funzionamento che può variare dai 5 ai 100 metri. Questo sensore si installa in locali interni di grandi dimensioni e con soffitti alti. Quando il fascio di luce ad infrarossi viene disturbato dai fumi e dalle loro particelle il sensore si attiva e segnala la presenza dei fumi. Il dispositivo deve essere conforme alla norma EN54-12. Nella *figura 17* seguente verrà mostrato una tipica barriera lineare ad infrarossi.



Figura 17 - Barriera lineare ad infrarossi per rilevazione fumi

6.1.5.8. Fermo elettromagnetico

In caso di allarme antincendio, mancanza di alimentazione, o bypass manuale tramite apposito bottone rosso, la porta viene rilasciata consentendone la chiusura mediante apposite molle. Lo scopo dei fermi elettromagnetici è quello di consentire la chiusura delle porte tagliafuoco in modo da segregare fumi e/o eventuali incendi ed evitarne la propagazione. Questi dispositivi devono rispettare la norma di riferimento EN1155. Nella *figura 18* seguente verrà mostrato un tipico fermo elettromagnetico.



Figura 18 - Fermo elettromagnetico

6.2. Sistema EVAC ed Annunci

I locali del museo saranno tutti raggiunti dal segnale di evacuazione diffuso “EVAC” mediante l’utilizzo di appositi altoparlanti. I segnali di allarme potranno essere attivati automaticamente dalla centrale antincendio o gestiti da personale dotato di apposite qualifiche. I sistemi EVAC sono regolati dalla norma CEI EN 50849, la quale impone che il sistema d’emergenza di messaggistica sia alimentato tramite UPS, in modo da assicurare l’autonomia del sistema di evacuazione in caso venga a mancare l’alimentazione primaria. La norma impone inoltre che l’autonomia del sistema UPS superi i 60 minuti. L’impianto “EVAC” dovrà essere composto da dispositivi ignifughi e/o resistenti al fuoco per un periodo non inferiore a quello dell’autonomia minima garantita dal sistema UPS. L’impianto dovrà essere di facile attivazione, sia in modo automatico che manuale, ed è imperativo che il messaggio di evacuazione sia comprensibile e udibile facilmente dalle persone. Queste particolarità sono fondamentali visto che l’attivazione avverrebbe in una condizione di emergenza che potrebbe causare panico fra le persone.

Per l’edificio in esame la centrale di controllo sarà installata nella “Control-Room” situata al piano terra e sarà collegata al sistema UPS dell’edificio tramite il quadro di funzione di potenza sicura “UPP-GF5” situato nella medesima stanza. Nella “Control-Room” sarà posizionata la base microfonica, equipaggiata con appositi bottoni per inoltrare i messaggi vocali nell’intero edificio o nelle singole zone. Disposti nei vari locali del museo vi saranno infine gli altoparlanti, i quali dovranno garantire un livello sonoro

minimo di 65 dB(A) in ogni punto dell'edificio come richiesto dalla norma CEI EN 50849. L'impianto EVAC potrà diffondere stazioni radio AM/FM e darà la possibilità di riprodurre musica e messaggi mediante USB, MP3, CD e DVD, in quanto la norma consente che l'impianto possa soddisfare altre funzioni, come appunto la diffusione di messaggi pubblicitari o musica. L'impianto dovrà essere realizzato con cavi e componenti resistenti al fuoco.

La Norma di riferimento CEI EN 50849 indica, oltretutto, le seguenti proprietà che l'impianto dovrà possedere:

- Nel caso venisse rilevato un allarme, il sistema dovrà essere in grado di disattivare o di ignorare tutte le funzioni esterne al suo ruolo di emergenza (es: annunci generici o musica);
- Salvo eventuali danneggiamenti causati dall'emergenza in corso o interventi di manutenzione/riparazione, il sistema non dovrà mai smettere di funzionare;
- Il sistema dovrà essere capace di comunicare un primo segnale di allarme entro 3 secondi dall'attivazione della sua modalità di emergenza da parte di un operatore, o in maniera automatica dalla ricezione di un segnale proveniente da un impianto di rilevazione;
- Il sistema dovrà trasmettere messaggi vocali e segnali di allerta ad una o più zone contemporaneamente;
- Mediante l'utilizzo di un apposito sistema di monitoraggio, gli operatori dovranno essere aggiornati in merito il corretto funzionamento dell'impianto e dei suoi componenti;
- Il guasto di un singolo componente del sistema non dovrà causare disservizi in più di una zona;
- I messaggi dovranno essere tutti brevi, chiari, inequivocabili e, pianificati appositamente per l'edificio ove il sistema è installato;

6.3. Sistema CCTV

I locali del museo saranno equipaggiati con un'infrastruttura LAN utilizzabile dal servizio CCTV in modo da poter sfruttare i cavi Ethernet per le telecamere di videosorveglianza. Le riprese delle videocamere saranno conservate su un dispositivo NVR "Network Video Recorder" posto all'interno della "Control-Room". La "Control-Room" sarà equipaggiata con una postazione, dotata di tastiera e mouse, per la visione ed il controllo di ogni singola telecamera. Su ogni piano le telecamere saranno cablate ad uno switch dedicato. Ogni switch sarà cablato direttamente all'unità NVR. Il sistema sarà collegato al sistema UPS del museo e ogni telecamera sarà alimentata tramite POE (Power Over Ethernet). Nella *figura 19* seguente verrà mostrato uno schema indicativo del sistema di videosorveglianza.

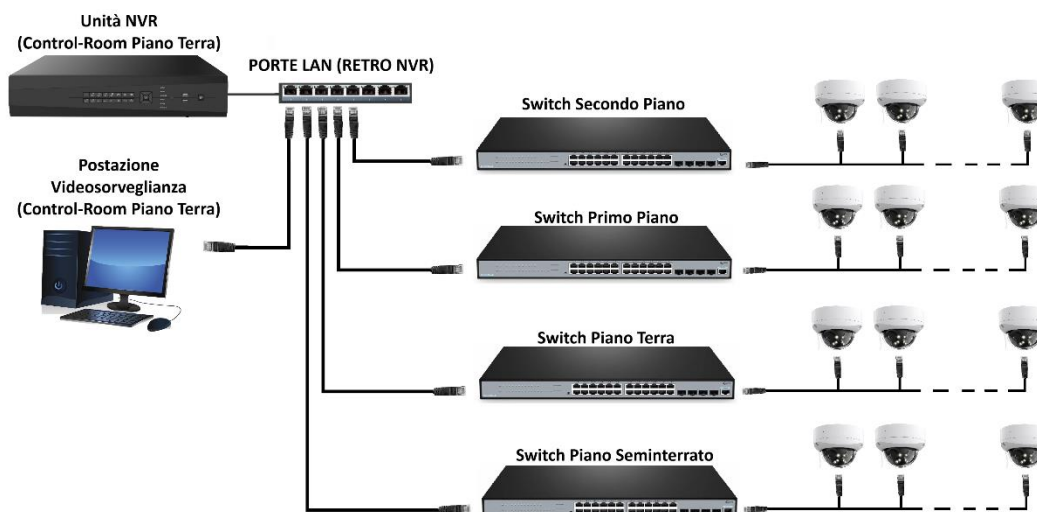


Figura 19 - Schema indicativi sistema CCTV

Il sistema CCTV dovrà essere conforme alla norma di riferimento CEI EN 62676 e le telecamere dovranno garantire le seguenti funzioni:

- **Verifica:** la telecamera dovrà essere in grado di ottenere informazioni dagli oggetti (es: testi e loghi su indumenti).
- **Identificazione:** la telecamera dovrà essere in grado di identificare le persone senza ogni valido dubbio.
- **Riconoscimento:** la telecamera dovrà consentire al personale di effettuare il riconoscimento di un individuo.
- **Osservazione:** la telecamera dovrà essere in grado di visualizzarsi i dettagli caratteristici delle persone, quali indumenti, e di visionare le attività intorno ad un incidente.
- **Rilevamento:** la telecamera dovrà essere in grado di determinare se un obiettivo, ad esempio un individuo, sia effettivamente presente.
- **Monitoraggio:** la telecamera dovrà essere in grado di mostrare un numero, la velocità e la direzione di movimento delle persone in ampie aree, in modo da rendere nota la loro presenza all'operatore.

La norma, specifica inoltre, la dimensione con cui una persona deve essere inquadrata in termini percentuali di altezza rispetto all'altezza dello schermo per ottenere i vari scopi funzionali. L'altezza percentuale con cui una persona deve essere ripresa, mostrata in *figura 20*, rispetto all'altezza percentuale del monitor dipende dalla risoluzione della telecamera. Nella seguente *tabella 34* vengono espone le possibili casistiche.

Tabella 33 - Altezze percentuali per riprendere i soggetti

Scopo funzionale della telecamera	Risoluzione Full HD (1080p ~ 2 Megapixel)	Risoluzione (720p ~ 1 Megapixel)
Verifica	150%	250%
Identificazione	40%	60%
Riconoscimento	20%	30%
Osservazione	10%	15%
Rilevamento	10%	10%
Monitoraggio	5%	5%



Figura 20 - Altezze percentuali per riprendere i soggetti

6.4. Sistema Dati

Tutte le sale conferenza, gli uffici ed i laboratori verranno dotati di un'infrastruttura dedicata LAN con lo scopo di garantire la connessione, ai server del museo, dei dispositivi necessitanti trasferimento dati. Per ogni piano verrà previsto uno Switch Ethernet per garantire una connessione a tutti i dispositivi presenti sul piano stesso. Tutti gli Switch saranno cablati al server collocato nella "Control-Room". L'impianto dati, essendo sfruttato dal sistema di videosorveglianza CCTV, dovrà essere alimentato tramite il sistema UPS centralizzato del museo. Il contemporaneo collegamento dell'impianto dati e dei centri di lavoro (calcolatori, computer, ecc.), al sistema UPS, garantirà una continuità di alimentazione sia nella trasmissione dei dati, che nell'elaborazione degli stessi. Nella *figura 26* seguente verrà mostrato uno schema tipico del sistema dati.

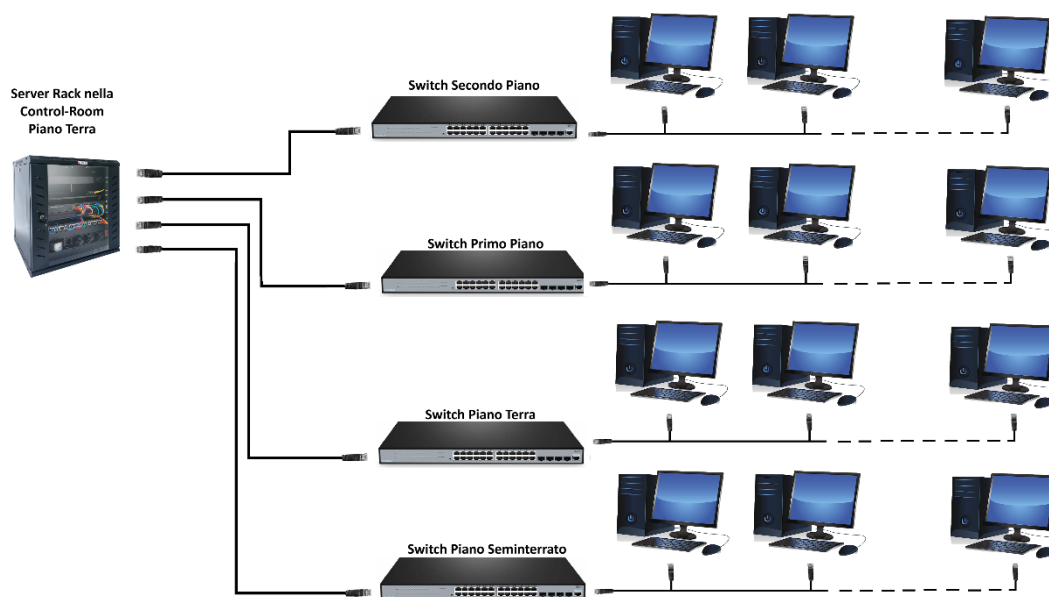


Figura 21 - Schema indicativo sistema Dati

Di solito le reti basate su tecnologia LAN fanno uso dell'infrastruttura di telecomunicazione rappresentata dal cablaggio strutturato la cui norma di riferimento è la CEI 306-10.

6.5. Sistema antintrusione e controllo accessi

L'impianto antintrusione dovrà essere in grado di garantire i requisiti specificati nella norma di riferimento CEI 79-03. Tutti i locali dovranno essere dotati di sensori volumetrici, sensori di apertura porte e/o finestre, rottura vetri e controllo accessi, a seconda delle caratteristiche di ogni singolo locale. Il sistema dovrà consentire di individuare ogni sensore di allarme interessato in caso di attivazione. Gli allarmi saranno gestiti da una apposita postazione nella "Control Room" e, durante le ore di chiusura, potranno essere inviati da remoto al servizio di vigilanza. Il sistema verrà alimentato mediante il gruppo di continuità centralizzato UPS dell'edificio.

L'edificio, essendo a destinazione d'uso museale, e considerando che conterrà reperti preziosi, verrà considerato come appartenente alla categoria di rischio più elevata (Grado 4). Per questo motivo, il sistema antintrusione, dovrà rispettare le linee guida, relative al rischio associato, contenute nella norma CEI 79-03.

Grado di rischio elevato (Grado 4):

- Nella categoria di rischio (Grado 4), la più elevata, i ladri sono altamente qualificati e ben attrezzati. Possono avere una conoscenza dettagliata del sistema di sicurezza e le risorse per effettuare furti. Le misure di sicurezza per questo grado sono le più avanzate e comprendono un monitoraggio attivo e più livelli di protezione. Le strutture ad alto rischio, come gioiellerie, banche, e centri di elaborazione dati, necessitano in genere sistemi di sicurezza di Grado 4.

6.5.1. Componenti del sistema antintrusione e controllo accessi

Le tecnologie utilizzate per effettuare la rilevazione ed il segnalamento delle intrusioni sono molteplici. Nei paragrafi seguenti verranno mostrati i dispositivi normalmente utilizzati negli impianti antintrusione che sono stati ritenuti opportuni per l'applicazione in esame.

6.5.2. La centrale di controllo

Lo scopo della centrale di controllo, posizionata all'interno della "Control Room" è quello di gestire e consentire il corretto funzionamento dell'impianto antintrusione. La centrale di controllo effettua diagnostiche sui suoi componenti per evitare eventuali sabotaggi. Il sistema può inizializzare l'allarme in autonomia oppure può essere impostato per dare l'allarme solamente alla Control Room. La seconda modalità di funzionamento viene di solito utilizzata per evitare falsi allarmi, avvalendosi della supervisione del personale di sicurezza. Alcuni modelli di centrali di controllo possono funzionare senza utilizzare i fili per collegare i vari sensori. Le centrali di controllo senza fili trasmettono su singola o doppia frequenza, mediante protocolli criptati, garantendo comunicazioni puntuali, sicure e prive di interferenze.

6.5.3. Sensori di Protezione porte e finestre

Sono sensori costituiti da magneti montati, con fissanti biadesivi oppure con viti, sui telai degli infissi. Nel caso una porta o una finestra dovesse essere aperta o rotta, da eventuali malintenzionati, i sensori rileverebbero l'apertura dell'infisso ed attiverebbero l'allarme. I modelli più avanzati possono effettuare distinzioni tra vibrazioni e rotture in modo da evitare eventuali falsi allarmi.

6.5.4. Sensori di movimento interno ed esterni

Sono dispositivi ottici capaci di rilevare la presenza di individui all'interno e/o all'esterno degli ambienti e di azionare l'allarme. Vengono anche chiamati sensori volumetrici. È consigliabile l'installazione in luoghi di passaggio strategici come entrate e/o corridoi.

Possono essere di vario tipo:

- Infrarosso: rilevano lo scostamento di temperatura nell'ambiente, ossia, nel caso di un individuo o un animale, la temperatura emessa dal corpo.
- Microonda: rilevano i movimenti di oggetti o individui, garantendo un livello di protezione più alto.
- Doppia tecnologia (Microonda + Infrarosso): utilizzano entrambe le tecnologie. Per generare un allarme è necessario che sia la microonda che l'infrarosso rilevino del movimento. Questa doppia tecnologia riduce sensibilmente i falsi allarmi.
- Barriera: impiegate per le protezioni perimetrali. Sono costituite da una coppia di colonnine che generano dei raggi invisibili, che se interrotti fanno scattare l'allarme.

6.5.5. Diffusione sonora: Sirene

Le sirene hanno il compito di diffondere i segnali di allarme all'esterno ed all'interno dell'edificio, al fine di avvertire le guardie e infastidire gli intrusi. Alcune sirene sono munite di un avvisatore luminoso utile a identificare più facilmente l'origine dell'allarme.

6.5.6. Controllo Accessi

Incorporato all'impianto antintrusione vi sarà il sistema di controllo accessi. Il sistema sarà di tipo elettronico con tessera magnetica personale. Per l'edificio in esame, questo sistema garantirà il monitoraggio degli accessi ed il monitoraggio del transito delle persone in aree sensibili quali sale conferenza, uffici, magazzini, laboratori, Control Room ed uscite di sicurezza. Il sistema sarà in grado di sorvegliare tutte le uscite di sicurezza notificando la Control Room nel caso vengano aperte senza le apposite tessere magnetiche. Sarà inoltre possibile collegare gli infissi delle uscite di sicurezza a sirene dedicate per evitare eventuali accessi o uscite in assenza di emergenza. Per il museo di Addis Abeba è stato stimato un totale di 26 varchi. Sono stati posizionati 11 lettori magnetici, uno per ogni uscita del palazzo, mentre i restanti sono stati posizionati in ipotetici punti strategici di ogni piano, in modo da separare le zone aperte al pubblico da quelle riservate al personale.

Capitolo 8

7. Conclusioni

Il lavoro svolto nella presente tesi ha consentito di ottenere il dimensionamento preliminare, dell'impianto elettrico, dei sistemi di sicurezza integrata e dell'impianto fotovoltaico, per il museo etnografico interno al Guenete Leul Palace di Addis Abeba.

Per la progettazione degli impianti elettrici e degli impianti speciali di sicurezza integrata, è stato necessario considerare molteplici norme. Il museo di Addis Abeba, essendo un patrimonio storico e culturale, ha anche reso necessaria la considerazione di norme speciali come la CEI 64-15 "Impianti elettrici negli edifici pregevoli per rilevanza storica e/o artistica", e la considerazione delle linee guida etiche definite dalla "Carta di Venezia". La considerazione di questi due documenti ha portato allo svolgimento del dimensionamento tenendo in considerazione il "Concetto di Sicurezza Equivalente" e di "reversibilità delle opere impiantistiche", in modo da creare impianti sicuri e capaci di non intaccare il patrimonio artistico e culturale dell'edificio.

Grazie all'analisi dei casi studio del Castello Carrarese e di Casa Miroglio, è stata ottenuta la stima economica di ogni corpo d'opera per il museo di Addis Abeba. Grazie al costo di ogni corpo d'opera è stato possibile stimare il costo complessivo per il rifacimento degli impianti elettrici e di sicurezza integrata. Il costo complessivo per il museo di Addis Abeba, pari 1.191.012 €, ed il relativo indice di costo al metro quadro finale, di 200 €/m², si sono rilevati in linea con le aspettative riguardanti un progetto di questa portata. Di conseguenza, questa valutazione, proveniente da un processo di confronto con casi studio simili, si è dimostrata solida sia dal punto di vista tecnico che economico.

Dopo aver stimato il costo per il rifacimento degli impianti elettrici e di sicurezza integrata, tenendo in considerazione le norme e le linee guida della Carta di Venezia, si è eseguito il dimensionamento dell'impianto di distribuzione primaria del museo. Mediante il metodo della densità di potenza si è definito il carico convenzionale pari a 259 kVA, ed una potenza di progetto pari a 299 kVA. Successivamente sono stati dimensionati la cabina di trasformazione, contenente il trasformatore, ed il gruppo elettrogeno definendo rispettivamente le potenze di 400 kVA per il trasformatore e 380 kVA per il gruppo elettrogeno. Dopo aver definito la cabina di trasformazione ed il gruppo elettrogeno sono

stati definiti e dimensionati tutti i carichi normali e sicuri necessari al corretto funzionamento dell'edificio, in modo da poter dimensionare ove necessario i relativi quadri di funzione. Tenendo in considerazione tutti i carichi sicuri, necessari a garantire la sicurezza dell'edificio, è stato dimensionato il gruppo di continuità UPS ottenendo per esso un valore di potenza pari a 30 kVA. Mediante le planimetrie sono state definite in modo opportuno le zone elettriche ed i relativi quadri di zona. Infine, dopo aver definito i quadri elettrici sono state dimensionate le linee di collegamento tra i vari quadri, le cadute di tensione, e le relative protezioni.

Dopo aver completato l'impianto di distribuzione primaria di bassa tensione si è deciso di implementare un impianto fotovoltaico da posizionare sulla copertura dell'edificio. Per definire una configurazione ottimale dell'impianto si è fatto uso di un workflow basato sull'algoritmo genetico NSGA-II, sviluppato dall'Ing. Corrado Serato nel proprio lavoro di tesi. Il risultato ha identificato una configurazione del campo fotovoltaico capace di garantire una produzione annua di 350 MWh ed un ROI (Return Of Investment) di 3 anni. Dopo aver definito la configurazione del campo fotovoltaico sono stati dimensionati i componenti elettrici lato DC e lato AC necessari al corretto funzionamento dell'impianto.

Come ultimo passo, dato l'imponente valore storico e culturale del museo, sono stati definiti i sistemi di sicurezza integrata più consoni per gli edifici a destinazione d'uso museale. Per ogni sistema si è descritto il funzionamento, ed indicata la rispettiva norma di riferimento. Sono stati trattati i sistemi più importati quali il sistema di rilevazione e segnalamento incendi, il sistema annunci ed evacuazione EVAC, il sistema di videosorveglianza CCTV, il sistema dati ed il sistema antintrusione e controllo accessi. Per ogni tipologia di sistema sono stati individuati e descritti i componenti più consoni e le loro caratteristiche.

In conclusione, il lavoro svolto non rappresenta solo un ammodernamento tecnico, ma definisce una tipologia di intervento riproducibile, per edifici storici di simile destinazione d'uso, capace di conciliare le nuove esigenze tecnologiche con la preservazione dei beni culturali.

Appendice A

Tabelle provenienti dalla CEI 14-12, contenente i dati tipici dei trasformatori in resina, in funzione della loro taglia.

Tabella 34 - Tabella trasformatori in resina CEI 14-12

Dimensioni e pesi
esecuzione a giorno IP00

con armadio di protezione IP31

	kVA	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
potenza nominale																
tensione primaria	kV	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
tensione di riferimento	kV	15														
tensione secondaria	kV	17,5														
prese di regolazione	V	400														
collegamenti		± 2,5% ± 5%														
ingombri e pesi		D yn11														
esecuzione a giorno (IP00)																
A	mm	975	1020	1135	1225	1290	1260	1330	1395	1565	1630	1690	1890	2025	(1)	
B	mm	645	645	650	795	795	795	795	795	945	945	945	1195	1195	(1)	
C	mm	1295	1350	1295	1315	1320	1560	1590	1650	1790	1900	2150	2330	2390	(1)	
D	mm	520	520	520	670	670	670	670	670	820	820	820	1070	1070	(1)	
E	mm	645	645	645	795	795	795	795	795	945	945	945	1195	1195	(1)	
H	mm	172,5	184,5	146	206	194,5	199	188	176,5	227,5	216,5	208	298,5	289	(1)	
I	mm	302	310	328,5	343,5	355	350,5	361,5	373	397	408	416,5	451	460,5	(1)	
J	mm	325	340	377,5	407,5	430	420	442,5	465	515	535	555	622,5	642,5	(1)	
L	mm	156,3	163	175,3	194,9	205,4	191,5	205,3	205,6	244,1	251,4	265,1	301,8	324	(1)	
M	mm	855,5	885,5	875,5	895,5	905,5	1086	1076	1135,5	1293	1393	1838	1748	1728	(1)	
N	mm	1262	1322	1281	1300	1310	1547	1569	1637,3	1777	1887	2140	2324	2398	(1)	
massa	kg	640	760	930	1110	1320	1450	1670	1930	2530	2810	3460	4740	6030	(1)	
con armadio IP31																
A	mm	1320	1350	1425	1485	1530	1530	1555	1600	1735	1800	1855	2060	2120	(1)	
B	mm	825	860	875	895	915	905	925	945	1015	1015	1030	1265	1265	(1)	
C	mm	1500	1560	1520	1540	1615	1785	1810	1875	2015	2125	2455	2615	2660	(1)	
D	mm	520	520	520	670	670	670	670	670	820	820	820	1070	1070	(1)	
I	mm	514,5	522,5	541	556	567,5	563	574	585,5	634,5	620,5	629	828,5	818	(1)	
massa	kg	830	960	1130	1320	1550	1680	1910	2180	2810	3100	3830	5230	6560	(1)	
rulli di scorrimento	mm	125	125	125	125	125	125	125	125	200	200	200	200	200	(1)	

Trasformatore in resina a norma CEI 14-12

	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
potenza nominale [kVA]	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
corrente nominale secondaria [A]	145	231	381	455	576	723	910	1156	1445	1808	2312	2890	3813	4552
perdite [kW]														
a vuoto	0,46	0,65	0,88	1,03	1,20	1,40	1,85	2,00	2,30	2,80	3,10	4,00	5,00	6,30
a carico (120°C)	2,05	3,70	3,30	4,90	5,50	6,50	7,90	9,40	11,00	13,10	16,00	20,00	23,00	28,00
tensione di cortocircuito % (120°C)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7
corrente a vuoto %	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
resistenza equivalente a 120°C (mohm)	32,72	16,84	3,70	7,40	5,49	4,15	3,14	2,34	1,76	1,34	1,00	0,80	0,59	0,42
reattanza equivalente (mohm)	90,25	57,59	37,15	29,56	23,36	18,75	14,31	11,77	9,44	7,56	5,92	4,73	3,79	3,53
impedenza equivalente a 120°C (mohm)	96,00	60,00	38,40	30,48	24,00	19,20	15,24	12,00	9,60	7,66	6,00	4,80	3,84	3,56
corrente di cortocircuito trifase a valle [kA]	2,4	3,8	6,0	7,5	9,5	11,9	14,9	18,8	23,3	28,9	36,6	45,2	55,7	59,8
condotto Canalis	ipo						KHF-14	KHF-16	KHF-18	KHF-26	KHF-26	KHF-36	KHF-46	KHF-48
ventilato Al	in [A]						1000	1200	1450	2200	2500	3000	4000	4500
condotto Canalis	ipo						KTC-10	KTC-13	KTC-16	KTC-20	KTC-25	KTC-30	KTC-40	KTC-50
compatto Cu	in [A]						1000	1350	1600	2000	2500	3000	4000	5000
condotto Canalis	ipo						KTA-10	KTA-12	KTA-16	KTA-20	KTA-25	KTA-30	KTA-40	
compatto Al	in [A]						1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	

Bibliografia

- [1] M. B. e. G. Chiari, in *Una capitale per l'Africa*, 2004.
- [2] G. Podestà, «Sviluppo industriale e colonialismo. L'esperienza dell'Africa Orientale Italiana (1936-1941)».
- [3] C. E. Italiano, «CEI 64-8, Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in c.a. e 1500 V in c.c. (riferimento principale per la progettazione in bassa tensione)».
- [4] C. E. Italiano, «CEI UNEL 35026, Cavi elettrici - Portate di corrente in regime permanente per posa in aria, Comitato Elettrotecnico Italiano,» 2021.
- [5] C. Serato, «Sviluppo di un workflow BIM-based per la progettazione parametrica e generativa di impianti fotovoltaici».
- [6] A. S. GmbH, «Technical Datasheet: Aurora Series AE MD-132BD Bifacial Double-Glass (485Wp-505Wp) - Monocrystalline Silicon Photovoltaic Module,» [Online]. Available: <https://ae-solar.com/>.
- [7] L. Huawei Technologies Co., «Technical Specification: SUN2000-100KTL-M1 Smart PV Inverter (100kW, 10 MPPTs) - User Manual and Datasheet,» [Online]. Available: <https://solar.huawei.com/>.
- [8] Catalogo FDP Fire international [Online] Available: https://www.topsicurezza.com/download/23Catalogo/Catalogo_fdp_fire_2023_01.pdf
- [9] Impianti EVAC – Sistemi di evacuazione sonora [Online] Available: <https://www.pmstudiotecnico.it/evac-i-sistemi-di-allarme-vocale/>
- [10] Le linee guida della Norma CEI EN 62676-4: come progettare un impianto di videosorveglianza [Online] Available: <https://securindex.com/downloads/aa8c4e3f3f03795cddda24536ea34b11.pdf>
- [11] Principali componenti di un impianto antintrusione [Online] Available: <https://www.innovaprogetti.it/consigli/sistemi-di-allarme-e-videosorveglianza/principali-componenti-di-un-impianto-antifurto.html>
- [12] Normative dei sistemi di allarme: come garantire la sicurezza a norma di legge [Online] Available: <https://www.protectagroup.it/normative-dei-sistemi-di-allarme-come-garantire-la-sicurezza-a-norma-di-legge/>

Error! Use the Home tab to apply Titolo 1 to the text that you want to appear here.

- [14] Sistemi Antintrusione e Controllo Accessi [Online] Available:
<https://www.augustsolution.it/servizi/antintrusione-controllo-accessi/>

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno sostenuto durante il percorso di studi in Ingegneria Elettrica. Ringrazio il mio relatore, il Professor Paolo Di Leo, ed il correlatore Filippo Spertino. Un ringraziamento particolare è destinato al mio collega Lorenzo Viassone per la collaborazione nel presente lavoro di Tesi. Ringrazio tutti i miei amici e i colleghi dell'università per i momenti di spensieratezza trascorsi insieme. Ringrazio i miei genitori, Barbara e Andrea, e mia sorella Ludovica, per l'indiscussa fiducia che da sempre ripongono in me, per la vicinanza e l'immenso affetto che mi trasmettono. Siete le persone più incredibili che il destino potesse regalarmi. Inoltre, ringrazio tutti i componenti della mia splendida famiglia per i continui incoraggiamenti.