

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Diagnosi energetica e intervento di relamping di un Presidio ospedaliero:

progettazione illuminotecnica per il risparmio energetico presso l'Ospedale Oftalmico di Torino



Relatore
prof. Marco Carlo Masoero

Candidato
Marco Gallo

Anno Accademico
2018- 2019

Sommario

ABSTRACT	1
Introduzione.....	2
Capitolo 1: Diagnosi energetica in campo ospedaliero	6
1.1 Definizione e quadro normativo di riferimento	6
1.2 Tipologie di diagnosi energetica.....	8
1.3 Fasi di una diagnosi energetica	9
1.3.1 Contatti Preliminari.....	10
1.3.2 Incontro preliminare	11
1.3.3 Raccolta dati	11
1.3.4 Attività in campo.....	12
1.3.5 Analisi.....	12
1.3.6 Report finale	13
1.3.7 Incontro Finale	14
1.4 Diagnosi energetica in ambito ospedaliero	14
1.4.1 Il quadro normativo	15
1.4.2 Requisiti termo-igrometrici negli ambienti ospedalieri	16
1.4.3 Fabbisogno di acqua calda sanitaria	19
Capitolo 2: L'Ospedale Oftalmico	21
2.1 Descrizione dell'edificio.....	21
2.1.1 Organizzazione dei reparti	22
2.2.2 Fruizione della struttura	26
2.2 Caratteristiche Strutturali.....	29
2.3 Impiantistica	30
2.3.1 La centrale termica.....	30
2.3.2 Impianto di Refrigerazione	33
2.3.3 Unità di trattamento aria	36
2.3.4 Impianti elettrici	37
2.3.5 Impianti di Illuminazione	38
Capitolo 3: Analisi dei consumi energetici del Presidio ospedaliero	42
3.1 Energia elettrica.....	42
3.1.1 Raccolta bollette elettriche.....	43
3.1.2 Consumi giornalieri	49
3.1.3 Consumi Orari	50
3.1.4 La ripartizione dei consumi elettrici	55

3.1.4.1 Consumi elettrici per il condizionamento	56
3.1.4.2 Fabbisogno delle unità di trattamento aria.....	63
3.1.4.3 Fabbisogno elettrico per l'illuminazione.....	64
3.1.4.4 Fabbisogno elettrico Ausiliari centrale Termica	72
3.1.4.5 Apparecchi elettromedicali.....	73
3.1.4.6 Ripartizione dei consumi elettrici	75
3.2 Energia termica.....	75
3.2.1 Raccolta delle bollette.....	76
3.2.2 Fabbisogno termico totale.....	79
3.2.2 Consumi giornalieri	83
3.2.3 Ripartizione dei consumi termici.....	84
Capitolo 4: Proposta di intervento di risparmio energetico: Relamping	86
4.1 Le grandezze fotometriche	87
4.1.1 Flusso luminoso	87
4.1.1 Intensità luminosa.....	88
4.1.3 La Luminanza	89
4.1.4 Illuminamento	89
4.1.5 Temperatura di colore correlata	90
4.1.6 Resa cromatica.....	90
4.2 Tecnologie a confronto.....	90
4.2.1 Principio di funzionamento e caratteristiche delle lampade fluorescenti.....	91
4.2.2 Principio di funzionamento e caratteristiche delle lampade LED	92
4.3 La norma 12464 parte 1: Illuminazione dei luoghi di lavoro in interni	94
4.3.1 La distribuzione delle luminanze.....	95
4.3.2 L'illuminamento	96
4.3.3 Abbagliamento	98
4.3.4 Colore apparente e resa cromatica	99
4.3.5 Requisiti illuminotecnici: ambito ospedaliero.....	99
4.4 Illuminazione di ambienti ospedalieri: utilizzo del software di calcolo Dialux	100
4.4.1 Corridoi.....	102
4.4.2 Sala attesa	108
4.4.3 Sala Visita e trattamento	112
4.4.4 Sala degenza	121
4.4.5 Uffici.....	124
4.4.6 Scale	130
4.4.7 Locali tecnici e bagni	134

4.5 Consumi energetici post-intervento.....	135
4.6 Valutazione del LENI (Lighting Energy Numeric Indicator)	145
4.6.1 La norma UNI EN 15193	145
4.6.2 Stima del LENI della struttura ospedaliera.....	156
4.7 Stima delle emissioni di anidride carbonica evitate	161
Capitolo 5: Manutenzione dell'impianto di illuminazione.....	162
5.1 Cenni sulla manutenzione di apparecchi fluorescenti	162
5.1.1 Scenario ante-operam	166
5.2 Generalità sulla manutenzione e modi di guasto di apparecchi LED	168
5.2.1 Scenario post- operam	173
Conclusioni.....	175
Bibliografia.....	177

Indice delle Tabelle

<i>Tabella1.1: Tipologie di diagnosi energetica</i>	9
<i>Tabella1.2: valori minimi di ricambio d'aria per i vari ambienti ospedalieri</i>	16
<i>Tabella1.3: Velocità dell'aria massima prescritta dalla norma UNI 10339</i>	17
<i>Tabella1.4: Classe ed efficienza dei filtri secondo la norma UNI 10339</i>	17
<i>Tabella1.5: Requisiti minimi prescritti dal DPR del 1997</i>	18
<i>Tabella1.6: Condizioni di pressione negli ambienti ospedalieri secondo ASHRAE 16-1986</i>	19
<i>Tabella1.7: Parametri per la stima dell'acqua calda sanitaria in ambito ospedaliero</i>	20
<i>Tabella 2.1: Suddivisione superfici Oftalmico</i>	25
<i>Tabella 2.2: Dati fruizione della struttura</i>	28
<i>Tabella 2.3 Prestazioni Oftalmico anno 2017</i>	29
<i>Tabella 2.4: elenco delle pompe gemellari in centrale termica</i>	32
<i>Tabella 2.5: Gruppi frigo presenti nel presidio Ospedaliero Oftalmico</i>	34
<i>Tabella 2.6: Split installati nel presidio Ospedaliero</i>	35
<i>Tabella 2.7: elenco delle unità di trattamento aria</i>	36
<i>Tabella 2.8: Elenco apparecchi di illuminazione presenti nel presidio Ospedaliero</i>	41
<i>Tabella 3.1: consumi di energia elettrica suddivisi per fasce anno 2016. Si riporta la temperatura media mensile relativa all'anno.</i>	44
<i>Tabella 3.2: consumi di energia elettrica suddivisi per fasce anno 2017. Si riporta la temperatura media mensile relativa all'anno.</i>	45
<i>Tabella 3.3: consumi di energia elettrica suddivisi per fasce anno 2018. Si riporta la temperatura media mensile relativa all'anno.</i>	46
<i>Tabella 3.4: media dei consumi e delle temperature nel triennio analizzato</i>	47
<i>Tabella 3.5: Consumi energia elettrica gruppi frigo</i>	57
<i>Tabella 3.6: Consumi energia elettrica split</i>	60
<i>Tabella 3.7: consumi elettrici per il condizionamento</i>	62
<i>Tabella 3.8: Consumi elettrici per le unità di trattamento aria</i>	64
<i>Tabella 3.9: consumi elettrici per illuminazione</i>	72
<i>Tabella 3.10: consumi elettrici ausiliari della centrale termica.</i>	73
<i>Tabella 3. 11: Consumi elettrici degli apparecchi elettromedicali più energivori</i>	75
<i>Tabella 3.12: Consumi di gas naturale anno 2016. Sono inoltre riportate le spese e la temperatura mensile</i>	76
<i>Tabella 3.13: Consumi di gas naturale anno 2017. Sono inoltre riportate le spese e la temperatura mensile</i>	77
<i>Tabella 3.14: Consumi di gas naturale anno 2018. Sono inoltre riportate le spese e la temperatura mensile</i>	77
<i>Tabella 3.15: fabbisogno termico mensile anno 2016</i>	80
<i>Tabella 3.16: fabbisogno termico mensile anno 2016</i>	81
<i>Tabella 3.17: fabbisogno termico mensile anno 2018.</i>	82
<i>Tabella 4.1: Valori possibili della temperatura di colore correlata</i>	90
<i>Tabella 4. 2: fattori di riflessioni consigliati per soffitto, parete e pavimento.</i>	96
<i>Tabella 4.3 valori di illuminamento nel compito visivo e area circostante</i>	97
<i>Tabella 4.4: valori di UGR imposti dalla normativa</i>	98
<i>Tabella 4.5: Valori prescritti dalla norma 12464-1 (Tratto da: Zumbotbel, manuale di illuminotecnico pratico)</i>	100
<i>Tabella 4.6: Valori prescritti dalla normativa per il corridoio</i>	104
<i>Tabella 4.7 Caratteristiche tecniche apparecchio LED per il corridoio</i>	104
<i>Tabella 4.8: valori UGR corridoio</i>	106

<i>Tabella 4. 9: Valori prescritti dalla normativa per la sala d'attesa</i>	<i>109</i>
<i>Tabella 4.10: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per la sala d'attesa.</i>	<i>110</i>
<i>Tabella 4. 11: Valori prescritti dalla normativa per la sala visita e trattamento.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabella 4.12: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per la sala visita.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabella 4.13: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per la sala visita e ambulatorio.</i>	<i>115</i>
<i>Tabella 4. 14: Valori prescritti dalla normativa per la sala visita e trattamento.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabella 4. 15: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per la sala degenza.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabella 4.16: Valori prescritti dalla normativa per l'ufficio</i>	<i>126</i>
<i>Tabella 4. 17: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per l'ufficio.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabella 4.18: Valori prescritti dalla normativa per le scale</i>	<i>130</i>
<i>Tabella 4.19: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per le scale.....</i>	<i>131</i>
<i>Tabella 4.20: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per i locali tecnici.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabella 4. 21: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per il bagno.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabella 4. 22: densità di potenza degli apparecchi LED negli ambienti tipo.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabella 4.23: Consumi energetici con apparecchi LED</i>	<i>142</i>
<i>Tabella 4.24: Confronto scenari ante e post-intervento</i>	<i>142</i>
<i>Tabella 4.25: dati economici dei LED scelti.....</i>	<i>143</i>
<i>Tabella 4.26 : Valutazione del SPB dell'investimento</i>	<i>144</i>
<i>Tabella 4.27 : determinazione dell'area di luce naturale</i>	<i>149</i>
<i>Tabella 4. 28: fattore di luce diurna</i>	<i>152</i>
<i>Tabella 4.29: dati di input per il foglio di calcolo Excel.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabella 5.1: Caratteristiche tecniche lampada a fluorescenza</i>	<i>167</i>
<i>Tabella 5.2 Durata caratteristica e durata di relamping della lampada a fluorescenza</i>	<i>167</i>
<i>Tabella 5.3: valutazione intervallo di relamping caso ante</i>	<i>168</i>
<i>Tabella 5.4: mantenimento del flusso luminoso per le lampade LED scelte.....</i>	<i>173</i>
<i>Tabella 5. 5 intervallo di relamping per i LED in funzione delle ore di utilizzo.....</i>	<i>174</i>

Indice delle figure

Figura 1: Andamento dell'energia primaria per fonte (Eurostat).....	3
Figura 2: Andamento del consumo energetico nel settore non residenziale (Eurostat).....	3
Figura 3:andamento dei consumi di energia termica ed elettrica nei presidi ospedalieri piemontesi (Ires Piemonte). 4	
Figura 4: Schematizzazione di una diagnosi energetica	10
Figura 5: inquadramento cartografico del Presidio Ospedaliero Oftalmico.....	21
Figura 6: Immagini del P.O. su via Bertola e su via Manzoni.....	29
Figura 7: Caldaie modello CODEX1600.....	31
Figura 8: Serbatoi di accumulo presenti in centrale termica.....	32
Figura 9:Pannelli solari presenti sul tetto dell'edificio.....	33
Figura 10:esempio di cabina in bassa tensione.....	38
Figura 11: andamento dei consumi elettrici mensili confrontati con la temperatura mensile, anno 2017.....	44
Figura 12: andamento dei consumi elettrici mensili confrontati con la temperatura mensile, anno 2017.	45
Figura 13: andamento dei consumi elettrici mensili confrontati con la temperatura mensile, anno 2018.	46
Figura 14: confronto dei consumi elettrici nel triennio 2016-2018 oggetto di analisi.	47
Figura 15: andamento dei consumi elettrici medi mensili confrontati con la temperatura mediata nel triennio.	48
Figura 16: andamento dei consumi elettrici giornalieri suddivisi tra giorni feriali e festivi, anno 2017.....	49
Figura 17: andamento dei consumi elettrici giornalieri suddivisi tra giorni feriali e festivi, anno 2018.....	50
Figura 18: Carpet plot dei consumi elettrici anno 2017	51
Figura 19: Carpet plot dei consumi elettrici anno 2018	52
Figura 20: Carpet plot scala dei massimi anno 2018.....	53
Figura 21: Carpet plot scala dei minimi anno 2018.....	54
Figura 22: Consumi elettrici giornalieri anni 2017-2018 ordinari in base alla temperatura crescente.	61
Figura 23: Consumi elettrici anno 2017: si evidenzia in arancione la parte attribuita alla climatizzazione.	61
Figura 24: Consumi elettrici anno 2018: si evidenzia in arancione la parte attribuita alla climatizzazione	62
Figura 25: ripartizione dei consumi elettrici nel presidio ospedaliero.	75
Figura 26: consumi di gas naturale anno 2016 in funzione della temperatura mensile.....	78
Figura 27: consumi di gas naturale anno 2017 in funzione della temperatura mensile.....	78
Figura 28:: consumi di gas naturale anno 2018 in funzione della temperatura mensile.....	79
Figura 29: Fabbisogno termico in funzione della temperatura mensile, anno 2016.....	80
Figura 30:Fabbisogno termico in funzione della temperatura mensile anno 2017.....	81
Figura 31: Fabbisogno termico in funzione della temperatura mensile, anno 2018.....	82
Figura 32: andamento dei consumi giornalieri di gas naturale in funzione della temperatura.	83
Figura 33: andamento dei consumi giornalieri di gas naturale in funzione della temperatura	84
Figura 34: Consumi di gas naturale anno 2018, suddivisi tra riscaldamento e acqua calda sanitaria e post riscaldamento.	85
Figura 35: Ripartizione consumi termici nel presidio ospedaliero Oftalmico.....	85
Figura 36: Produzione della luce bianca per sintesi additiva (tratta da: A. Pellegrino, dispensa corso "Sistemi per l'illuminazione e controllo del rumore")	93
Figura 37: Diminuzione percentuale di flusso luminoso emesso all'aumentare della temperatura di giunzione del LED (Tratto da Hsieh, Chi-Chang & Li, Yan-Huei.The Study for Saving Energy and optimization of LED Street Light Heat Sink Design. Advances in Materials Science and Engineering. 2015)	94
Figura38: vista in 3D di un corridoio con controsoffitto.....	103
Figura 39: rappresentazione 3D di uno corridoio con volte.....	103
Figura 40: rappresentazione in false color dell'illuminamento del corridoio.....	105
Figura 41: superfici di calcolo per il corridoio	105
Figura 42: valori di illuminamento per la superficie di calcolo 1 nella prima tipologia di corridoio.....	105
Figura 43: valori di illuminamento per la superficie di calcolo 2 nella seconda tipologia di corridoio	106
Figura 44 superfici di calcolo per UGR	106
Figura 45: Rappresentazione in false color dell'illuminamento nel corridoio con volte	107
Figura 46: Superfici di calcolo nel corridoio con volte.....	107

Figura 47: valori di illuminamento per la superficie di calcolo 1, corridoio con volte.....	107
Figura 48: valori di illuminamento per la superficie di calcolo 2, corridoio con volte.....	108
Figura 49: verifica valori UGR, corridoio con volte.....	108
Figura 50: rappresentazione in 3D sala attesa.....	109
Figura 51: Rappresentazione in false color dell'illuminamento per la sala d'attesa	111
Figura 52: valori di illuminamento medio mantenuto per la sala d'attesa.....	111
Figura 53: verifica UGR per la sala d'attesa.....	112
Figura 54: rappresentazione in 3D di una sala visita	113
Figura 55: rappresentazione in 3D di una stanza ad uso medico	113
Figura 56: rappresentazione in false color dell'illuminamento per lo studio medico	115
Figura 57: superfici di calcolo nello studio medico	116
Figura 58: valori di illuminamento nella superficie di calcolo1, studio medico.....	116
Figura 59: valori di illuminamento nella superficie di calcolo 2, studio medico.....	117
Figura 60: valori UGR sala medica.....	117
Figura 61: rappresentazione in false color dell'illuminamento nella sala visita	118
Figura 62: superfici di calcolo nella sala visita.....	118
Figura 63: valori di illuminamento superficie di calcolo1, sala visita	119
Figura 64: valori di illuminamento superficie di calcolo2, sala visita	119
Figura 65: valori di illuminamento superficie di calcolo3, sala visita	120
Figura 66: verifica UGR per un osservatore in prossimità della scrivania, sala visita	120
Figura 68: rappresentazione 3D sala degenza.....	122
Figura 69: rappresentazione in false color dell'illuminamento sala degenza.....	123
Figura 70: valore di illuminamento nella sala degenza.....	127
Figura 71: verifica UGR sala degenza	124
Figura 72: rappresentazione 3D ufficio	125
Figura 73: rappresentazione in false color dell'illuminamento medio mantenuto nell'ufficio	127
Figura 74: superfici di calcolo considerate nell'ufficio	127
Figura 75: valore di illuminamento medio mantenuto superficie 1, ufficio	128
Figura 76: valore di illuminamento medio mantenuto superficie 2, ufficio	128
Figura 77: valore di illuminamento medio mantenuto superficie 3, ufficio	129
Figura 78: verifica UGR per un osservatore vicino la scrivania.....	129
Figura 79: verifica UGR per un osservatore che guarda verso la stanza, ufficio	129
Figura 80: rappresentazione 3D vano scale.....	130
Figura 81 : rappresentazione in false color dell'illuminamento medio mantenuto, vano scala	131
Figura 82: superfici di calcolo individuate, vano scala	132
Figura 83: valori di illuminamento medio mantenuto nelle superfici di calcolo 1 e 2, vano scala	132
Figura 84: valori di illuminamento medio mantenuto nelle superfici di calcolo 3,4,5, vano scala	133
Figura 85: verifica del valore UGR 1, vano scala.....	133
Figura 86: verifica del valore UGR 2, vano scala.....	134
Figura 87: esempio di valutazione area che beneficia di luce naturale e area che non ne beneficia	150
Figura 88 valutazione angolo per tener conto delle ostruzioni frontali	150
Figura 89: valutazione dell'angolo per la valutazione dell'ostruzione orizzontale	151
Figura 90: valutazione dell'angolo per l'ostruzione laterale.....	151
Figura 91 valutazione del fattore per le correzioni dovute ai cortili	151
Figura 92: esempio di tabelle per il calcolo di $t_{rel,D,SA}$	153
Figura 93: esempio di tabella per la valutazione di $F_{D,S,SA}$	153
Figura 94: valutazione di $F_{D,S,SA}$	154
Figura 95: esempio di tabella per la valutazione di $F_{D,C,n}$	154
Figura 96: tabella per la valutazione di F_{oc}	155
Figura 97: esempio di tabella per la valutazione di F_a	156
Figura 98: estratto del foglio di calcolo per il LENI.....	158
Figura 99: estratto del foglio di calcolo del LENI, parte 2.....	159
Figura 100: risultati foglio di calcolo Excel.....	159
Figura 101: confronto tra il LENI prima dell'intervento, in blu, e a seguito dell'utilizzo dei LED, in arancione.....	160
Figura 102: diminuzione percentuale dell'illuminamento nel tempo per una lampada fluorescente lineare (tratto dal rapporto tecnico CIE97:2005).....	163

Figura 103: Tipico andamento del tasso di sopravvivenza per lampade fluorescenti lineari. (tratto dal rapporto tecnico CIE 97:2005).....	164
Figura 104: valutazione del periodo economicamente ottimale per la sostituzione in gruppo delle lampade fluorescenti. (Fig. tratta da BOMI International, 2009).....	165
Figura 105: andamento del tasso di guasto per componenti elettronici (Tratto da: Osram, reliability and Lifetime of LEDs, Application note No. AN006).....	168
Figura 106: Esempio della variazione del flusso luminoso in funzione delle ore di funzionamento (da: Disano)	169
Figura 107: Struttura di un tipico LED con evidenziato il percorso dell'energia termica dissipata (Tratto da: S. Keeping, "Understanding LED Internal Thermal Resistance", 2008).....	171
Figura 108: influenza della temperatura di giunzione sulla vita utile del LED (tratto da Osram, reliability and Lifetime of LEDs, Application note No. AN006).....	171

ABSTRACT

Il presente lavoro ha come obiettivo quello di effettuare una diagnosi energetica in uno dei presidi Ospedalieri facente parte l'A.S.L. Città di Torino: l'Ospedale Oftalmico.

L'analisi energetica che è stata condotta a seguito del reperimento dei dati necessari in termini di bollette, curve giornaliere e orarie di consumo, dati degli impianti installati e del loro utilizzo e fruizione della struttura ha permesso di ottenere la disaggregazione dei consumi termici ed elettrici nelle sue componenti.

La diagnosi ha come fine ultimo l'individuazione di soluzioni di risparmio energetico e per questo si è deciso di analizzare il relamping ossia la sostituzione dei corpi illuminanti fluorescenti con quelli LED al fine di ottenere un risparmio nel consumo energetico per l'illuminazione.

Questo intervento è stato condotto attraverso l'ausilio del software di progettazione illuminotecnica Dialux grazie al quale è stato possibile verificare i valori definiti dalla normativa UNI EN 12464-1 "Illuminazione dei luoghi di lavoro" per i nuovi corpi illuminanti LED scelti.

Si è passato poi ad analizzare gli ulteriori vantaggi associati all'installazione di apparecchi di illuminazione a LED come la riduzione del LENI, valutato attraverso la norma UNI EN 15193-1, la diminuzione di anidride carbonica in ambiente per la mancata produzione di energia elettrica dovuta alla riduzione dei consumi per l'illuminazione e la maggiore vita utile dell'impianto con benefici sulla manutenzione.

Introduzione

Nella società odierna la questione energetica ha assunto una primaria importanza nel dibattito internazionale connesso soprattutto al tema dei cambiamenti climatici.

È noto infatti che ogni attività di natura antropica ha un impatto sull'ambiente e tra queste, i processi che riguardano la produzione, la trasformazione e il conseguente utilizzo di energia come ad esempio la produzione di energia elettrica da fonti fossili nelle centrali termoelettriche o il riscaldamento delle strutture, sono quelli che determinano maggiori emissioni in termini di sostanze climalteranti.

È per questo motivo che uno degli obiettivi più ambiziosi che l'Unione Europea si pone davanti per gli anni avvenire è la lotta al cambiamento climatico espressi sia attraverso il “Piano 20-20-20” che con il più recente “Clean Energy Package” con il quale si pongono nuovi obiettivi da raggiungere entro il 2030:

- riduzione emissioni del 40% rispetto ai livelli del 1990;
- aumento dell'energia da fonti rinnovabili al 27% del consumo finale;
- risparmio almeno del 27% di energia attraverso opere di efficientamento energetico.

Questa misura si è resa necessaria al fine di limitare l'emissione dei gas serra e tra questi l'anidride carbonica copre un ruolo fondamentale in termini di forzante radiativo definito come *“la misura dell'influenza che un fattore ha nell'alterare il bilancio di energia in entrata e in uscita nel sistema terra e atmosfera ed è un indice dell'importanza del fattore stesso come un potenziale meccanismo di cambiamento climatico”*¹.

Studi² hanno dimostrato che tra il 1990 e il 2011, il forzante radiativo è aumentato del 30% e ciò è dovuto principalmente ad un incremento in atmosfera di CO₂ di circa il 40% rispetto al livello precedente l'industrializzazione.

L'obiettivo che ci si pone è dunque quello di ridurre l'emissione di gas climalteranti e questo si può raggiungere attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili ma anche tramite interventi di efficientamento energetico, uso razionale dell'energia e incremento nell'utilizzo di combustibili a basso tenore di carbonio al fine di de-carbonizzare il sistema energetico.

¹ Definizione tratta da “Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, AR4.

² Studi condotti dall' Organizzazione meteorologica mondiale (WMO).

Volendo tracciare un focus sulla domanda di energia primaria nel nostro Paese, essa è stata stimata, nel 2016, a 154,7 Mtep e, sebbene abbia subito una riduzione già a partire dal 2005, è interessante notare come sia cambiata nel corso degli anni in termini di composizione, come mostra la figura 1.

La maggior parte è coperta da fonti fossili con un apporto, sempre più importante, di gas naturale e fonti rinnovabili.

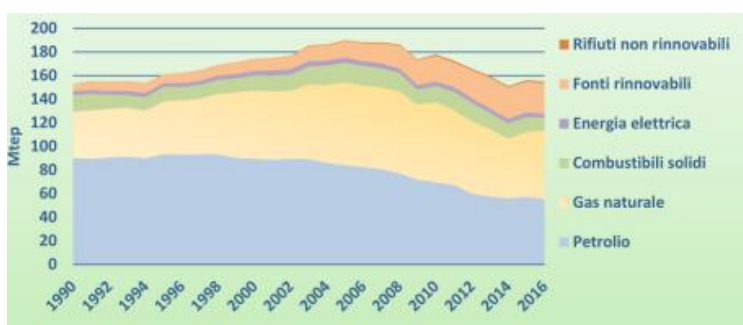


Figura 1: Andamento dell'energia primaria per fonte (Eurostat)

Analizzando più in dettaglio il comparto ospedaliero, ambito in cui si sviluppa il lavoro di tesi, il consumo energetico in questo settore definito non residenziale a cui afferiscono, oltre agli ospedali, gli edifici adibiti al commercio e alla Pubblica Amministrazione, si assesta a 16 Mtep nel 2016. I principali vettori energetici impiegati sono l'energia elettrica e gas naturale che insieme soddisfano quasi il 95% del fabbisogno complessivo.

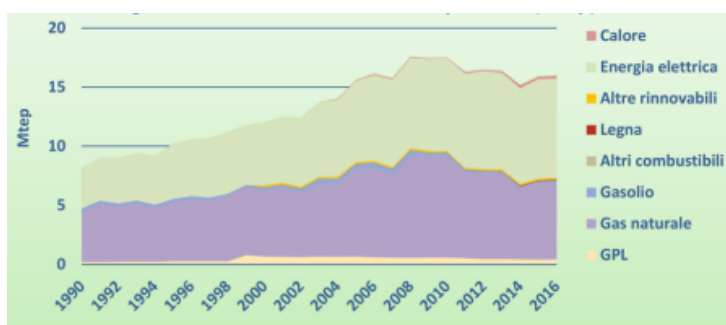


Figura 2: Andamento del consumo energetico nel settore non residenziale (Eurostat)

Emerge inoltre che le strutture ospedaliere, tra quelle della pubblica amministrazione, sono quelle con il fabbisogno energetico più alto a causa del fatto che sono attive 24 ore al giorno per 365 giorni l'anno al fine di garantire continuità nelle prestazioni mediche erogate e ottimali condizioni di comfort termo-igrometrico.

Focalizzando ora l'attenzione sulla regione Piemonte, lo storico dei consumi medi annui

di energia primaria dei presidi ospedalieri regionali ammontano a circa 110,5 ktep/anno come mostrato in figura 3.

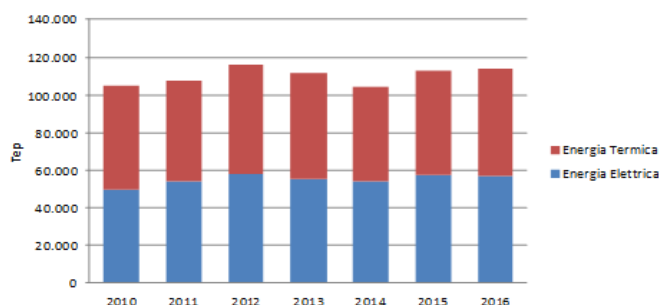


Figura 3: Andamento dei consumi di energia termica ed elettrica nei Presidi ospedalieri piemontesi (tratto da: Ires Piemonte).

Non deve dunque sorprendere che tale dato si mantiene circa costante nel tempo in quanto il parco delle strutture ospedaliere piemontesi è rimasto pressoché immutato e la piccola variazione annuale nei consumi la si può attribuire essenzialmente a fattori climatici che portano ad utilizzare in maniera più o meno frequente gli impianti di riscaldamento o raffrescamento. La vetustà delle strutture piemontesi è emersa a seguito di studi³ che hanno rilevato una situazione non ottimale dal punto di vista energetico in quanto il 66% delle coperture è priva di un adeguato isolamento termico, l'84% dei muri verticali sono anch'essi non isolati e presentano un range di trasmittanze medie comprese tra 1,10 e 1,39 $\frac{W}{m^2K}$ e i serramenti sono caratterizzati nella maggior parte dei casi da vetro singolo.

Queste strutture quindi ben si prestano ad interventi di efficientamento e riqualificazione energetica nell'ottica di una sostenibilità energetico-ambientale che deve essere raggiunta al fine di ridurre sensibilmente i consumi energetici e le spese a essi relativi.

Tra le varie strutture di cui si compone l'A.S.L. Città di Torino, nel presente lavoro di tesi si è analizzato l'Ospedale Oftalmico.

La tesi si sviluppa principalmente attraverso due tematiche strettamente connesse: la diagnosi energetica del Presidio ospedaliero a cui segue una proposta di intervento di efficientamento energetico, necessaria alla riduzione dei consumi.

La diagnosi energetica che si è deciso di condurre ha come obiettivo principale quello di definire il bilancio energetico edificio-impianto al fine di individuare sprechi o anomalie nei consumi e nella gestione dell'energia e di individuare proposte di possibili interventi di risparmio energetico riducendo al contempo i costi per l'approvvigionamento dei

³ Studio effettuato dall'Enviroment Park per il progetto "Controllo dei consumi energetici dei presidi ospedalieri" approvato con D.G.R. N. 61-10040 del 10/11/2008"

vettori energetici. Dalla diagnosi effettuata è stato possibile ripartire il consumo di energia termica ed elettrica all'interno del Presidio nelle sue componenti e ciò ha permesso di evidenziare le aree di criticità e quelle che maggiormente offrivano opportunità di risparmio energetico. Ciò che è emerso dall'analisi è che ben il 26% del consumo di energia elettrica della struttura è imputabile alla sola illuminazione: questo risultato non sorprende sia per la tipologia di edificio in quanto è attivo in alcune sue aree 24 ore al giorno per tutto l'anno ma anche per la tipologia di impianto di illuminazione installato, caratterizzato da corpi illuminanti a fluorescenza.

Per questo motivo si è deciso di proporre come intervento di efficientamento il relamping ossia la sostituzione dei corpi illuminanti con quelli a LED che offrono numerosi vantaggi tra cui minori consumi e quindi un elevato risparmio energetico, una maggiore durata di vita e minori costi di manutenzione. La scelta dei nuovi apparecchi LED è avvenuta nel rispetto della normativa 12464-1 "*illuminazione dei luoghi di lavoro*" e, con l'ausilio del software di progettazione illuminotecnica Dialux, si sono valutati i valori di illuminamento medio mantenuto richiesto per i compiti visivi negli ambienti coinvolti nel relamping. Si è stimato un risparmio energetico che si aggira al 35% facendo passare il consumo stimato per l'illuminazione da 535.759,26 kWh/anno a 352.240,76 kWh/anno e questo, unitamente al fatto che il tempo di ritorno dell'investimento si è valutato essere intorno ai 3 anni, fa del relamping un intervento di efficientamento energetico da prendere fortemente in considerazione. I vantaggi dell'intervento si concretizzano inoltre attraverso la riduzione dell'indicatore energetico per l'illuminazione LENI (*Lighting Energy Numeric Indicator*) e sulla gestione della manutenzione.

Il presente lavoro di tesi si articola in cinque capitoli in cui, nel primo, viene analizzato il contesto normativo su cui si basa la diagnosi energetica per poi passare, nel secondo capitolo, alla raccolta dei dati necessaria alla diagnosi. Il terzo capitolo è il cuore della tesi in cui si è ottenuta la ripartizione dei vettori energetici utilizzati nella struttura. La tesi prosegue con il quarto capitolo in cui si affronta l'intervento di relamping, la progettazione illuminotecnica degli ambienti, il risparmio conseguito, il tempo di ritorno, il LENI e infine un cenno sul risparmio di CO_2 evitata dovuta alla riduzione di energia elettrica consumata. Si conclude il lavoro con un cenno sui diversi approcci da utilizzare nell'ambito della manutenzione di impianti di illuminazione fluorescenti e LED.

Capitolo 1: Diagnosi energetica in campo ospedaliero

1.1 Definizione e quadro normativo di riferimento⁴

Tra gli strumenti definiti dal legislatore al fine di perseguire gli obiettivi di efficienza energetica imposti a livello europeo, la diagnosi energetica è sicuramente quello più completo e che meglio permette di effettuare un'analisi approfondita del sistema che si intende studiare.

In questo contesto si inserisce il rapporto tecnico UNI CEI/TR 11428:2011⁵ che definisce la diagnosi energetica una procedura sistematica che ha per obbiettivo quello di:

- valutare il bilancio energetico edificio-impianto in termini di energia importata o esportata dal sistema in esame;
- indicare le condizioni di comfort termo-igrometrico e di sicurezza necessari a definire soluzioni idonee di risparmio energetico;
- esaminare le possibilità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici ottimizzando al contempo le modalità di gestione dell'edificio.

In altri termini, la diagnosi energetica ha come fine quello di valutare il comportamento energetico del sistema oggetto di analisi attraverso uno studio dettagliato dello storico dei consumi, del profilo di fruizione della struttura, delle condizioni climatiche che caratterizzano il luogo in cui sorge l'edificio, delle tipologie impiantistiche presenti allo scopo di ottenere un modello energetico dell'edificio che sia quanto più possibile realistico circa l'effettivo uso dell'energia. Tutto ciò ha come obiettivo ultimo quello di valutare opportunità di risparmio energetico attraverso un'analisi incentrata non soltanto sui benefici in termini di efficientamento energetico e dell'uso dell'energia ma anche di carattere economico e ambientale.

Secondo la normativa, in quanto procedura sistematica, la diagnosi energetica deve possedere i seguenti requisiti fondamentali:

- Completezza: definizione del sistema energetico in esame;

⁴ Tratto da: L. Mazzarella, L. Piterà, *Efficienza energetica attraverso la Diagnosi e il servizio Energia degli edifici: Linee guida*, AICARR, 2013.

⁵ Norma UNI/CEI TR 11428:2011: *"Gestione dell'energia - Diagnosi energetiche - Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica"*

- **Attendibilità:** raccolta dei dati necessari per lo sviluppo completo della diagnosi con l'eventuale ausilio di sopralluoghi e misurazioni con strumentazione idonea. Si deve inoltre verificare che il consumo energetico sia conforme ai dati fatturati e/o rilevati;
- **Tracciabilità:** identificazione dei consumi energetici della struttura in esame tramite l'ausilio di dati di cui è presente una dettagliata documentazione sulla loro origine. Si richiede inoltre l'indicazione delle ipotesi di lavoro assunte per l'elaborazione dei dati necessari alla diagnosi.
- **Utilità:** analisi dettagliata sui risultati conseguiti con la diagnosi energetica e, per i vari scenari individuati vi sarà la descrizione dell'intervento eseguito, l'analisi costi-benefici, le possibili interazioni con altri interventi, riferimenti tecnici e legislativi seguiti;
- **Verificabilità:** si definiscono gli elementi utili a chi ha richiesto la diagnosi per verificare il conseguimento degli obiettivi di efficientamento energetico individuati.

La norma UNI CEI/TR 11428⁶ definisce che la figura, fisica o giuridica, preposta allo svolgimento della diagnosi energetica abbia *“competenze, capacità e strumenti commisurati al tipo di diagnosi intrapresa nonché all'obiettivo, ambito di intervento e grado di accuratezza concordati con il committente”*. I tecnici, denominati Auditor Energetici o REDE (Responsabile delle Diagnosi Energetiche), devono dunque possedere delle conoscenze al fine di condurre un'accurata diagnosi, non soltanto riguardanti gli aspetti prettamente energetici, ma anche su ciò che è strettamente collegato a questa tematica come ad esempio criteri di comfort termo-igrometrico, acustico o di illuminazione, normativa in campo edilizio, nozioni economiche, di sicurezza e manutenzione.

Da un punto di vista legislativo, con il Decreto n. 102 del 4 Luglio 2014⁷, l'Italia ha recepito la Direttiva Europea 2012/27 EU⁸ la quale enuncia, nell'articolo 8, che gli Stati membri devono promuovere *“la disponibilità, per tutti i clienti finali, di audit energetici di elevata qualità, efficaci in rapporto ai costi”*.

⁶ UNI CEI/TR 11428:2011 *“Gestione dell'energia - Diagnosi energetiche - Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica”*

⁷ Decreto legislativo 4 luglio 2014 n°102: *“attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'Efficienza Energetica”*

⁸ Direttiva 2012/27/UE: *“Efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE”*

Il già citato articolo 8 sancisce inoltre l'obbligo per le grandi e medie imprese particolarmente energivore, di effettuare una diagnosi energetica ogni quattro anni affidandosi a società esperte in tale settore.

Al fine di raggiungere i requisiti fissati dalla Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, la norma UNI CEI EN 16247 detta le linee guida per la diagnosi energetica di ogni tipo, aggiornando la già citata norma UNI CEI TR 11428.

Tale norma dà le indicazioni per definire i requisiti, la metodologia da applicare e i risultati attesi delle diagnosi energetiche che possono essere effettuate nei contesti definiti dalla norma stessa con l'esclusione delle unità residenziali.

Quest'ultima si compone delle seguenti parti:

- 1) Diagnosi energetiche-Parte 1: Requisiti generali;
- 2) Diagnosi energetiche- Parte 2: Edifici;
- 3) Diagnosi energetiche- Parte 3: Processi;
- 4) Diagnosi energetiche- Parte 4: Trasporti;
- 5) Diagnosi energetiche- Parte 5: Competenze dell'auditor energetico.

1.2 Tipologie di diagnosi energetica

Prima di procedere all'analisi vera e propria è opportuno che venga definito, tra committente ed Auditor, il settore di intervento, il grado di accuratezza con cui effettuare la diagnosi e gli obiettivi di risparmio energetico che si intendono conseguire.

È possibile distinguere tre tipologie di diagnosi energetiche che si differenziano tra loro per il grado di accuratezza e il tempo necessario per portarle a termine.

Il livello di dettaglio richiesto è un elemento molto importante da definire in quanto può variare da diagnosi dettagliata o di terzo livello a diagnosi di primo livello o leggera. A metà strada tra le due si colloca la diagnosi standard che coniuga la qualità dei risultati e costi per la sua realizzazione contenuti.

In Tabella 1.1 sono riportate le caratteristiche tipiche delle tre tipologie di diagnosi energetiche che possono essere impiegate.

TIPOLOGIA	CARATTERISTICHE	RISULTATI ATTESI	TEMPI
I Livello: Diagnosi energetica leggera	I sistemi energetici sono ispezionati visivamente e questa tipologia di diagnosi include una valutazione dei dati di consumo energetici.	-Analizzare i profili di consumi energetici al fine di trovare valori di benchmark di riferimento. -Valutazioni di risparmi a basso costo di investimento. -Indicazioni per una successiva analisi di II e III livello.	Pochi giorni in relazione ai dati disponibili
II Livello: Diagnosi energetica standard	L'analisi energetica dei sistemi impiantistici è condotta con strumenti di calcolo ingegneristici standard in regime stazionario. L'analisi include anche misure sul posto.	Vengono definiti possibili interventi di risparmio energetico coniugando gli aspetti energetici, economici e multicriterio.	Poche settimane in relazione ai dati disponibili.
III livello: Diagnosi energetica dettagliata	Analisi energetica dei sistemi impiantistici con simulazioni in regime dinamico.	Creare una baseline dei consumi per la creazione di scenari di intervento che modificano parti del sistema tramite analisi energetica, economica multicriterio e interazioni tra essi.	Settimane o mesi. È l'approccio più completo ma anche il più costoso

Tabella1.1: Tipologie di diagnosi energetica

1.3 Fasi di una diagnosi energetica

Le tipologie di diagnosi energetica descritte precedentemente, sebbene siano caratterizzate da un diverso grado di complessità e dettaglio, devono seguire un processo standardizzato che permette al REDE di impostare una metodologia che garantisce un controllo sulle fasi da intraprendere durante il procedimento di diagnosi.

In figura 4 sono schematizzate le varie fasi di cui si compone una diagnosi energetica come riportato nella seconda parte della norma riguardante gli edifici.

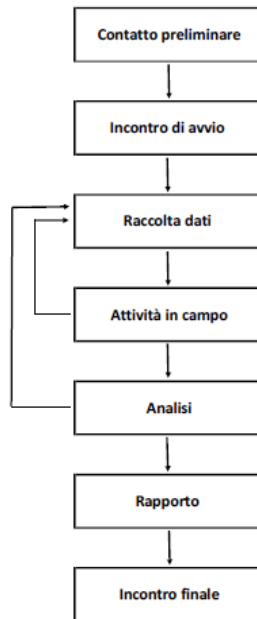


Figura 4: Schematizzazione di una diagnosi energetica

1.3.1 Contatti Preliminari

Fondamentale per lo sviluppo dell'intera analisi, i contatti preliminari sono necessari in quanto rappresenta per il REDE l'opportunità di definire preventivamente, insieme al committente e personale tecnico, le esigenze, le risorse a disposizione, l'accuratezza e l'ambito di intervento dell'analisi che dovrà essere eseguita.

La definizione dell'ambito di intervento avviene individuando:

- la tipologia di edificio;
- le soluzioni impiantistiche esistenti;
- la presenza di sistemi energetici in grado di rispondere ad esigenze particolari.

Il grado di accuratezza da raggiungere nell'analisi è concordato attraverso:

- i tempi necessari per effettuare la diagnosi in correlazione all'accuratezza che si vuole ottenere;
- l'ausilio di strumentazione per effettuare misurazioni dirette;
- l'implementazione di un modello di calcolo adeguato all'analisi;
- la definizione degli interventi di efficientamento energetico;
- le competenze specifiche che sono in possesso dell'auditor.

1.3.2 Incontro preliminare

L'incontro preliminare ha lo scopo di informare le figure coinvolte nell'analisi circa il tipo di diagnosi da effettuare e le modalità con cui giungere ai risultati.

Con la committenza si definisce:

- l'organizzazione delle ispezioni sul posto;
- le figure professionali necessarie da coinvolgere nell'analisi;
- gli strumenti necessari per le valutazioni;
- gli eventuali permessi per accedere alle aree.

È in questa fase inoltre che inizia una prima raccolta di dati necessari all'analisi come ad esempio:

- informazioni di carattere generale dell'edificio come ad esempio posizionamento, volumetria, superficie lorda, superficie riscaldata, anno di edificazione ecc....;
- le condizioni termo-igrometriche interne specifiche per il tipo di edificio;
- i dati relativi alla fruizione della struttura;
- censimento degli impianti presenti.

1.3.3 Raccolta dati

L'Auditor energetico inizia una fase di raccolta dati che è necessaria al fine di ottenere le informazioni necessarie per valutare i consumi energetici della struttura.

Si richiedono dati storici relativi ai consumi energetici attraverso:

- la raccolta delle bollette termiche ed elettriche;
- valutazione del consumo energetico reale attraverso letture dirette con i contatori;
- il monitoraggio dei consumi con strumentazione idonea.

Sono inoltre necessari una dettagliata documentazione tecnica contenente:

- i rilievi planimetri dell'edificio con allegato i prospetti e le sezioni dell'edificio;
- schemi funzionali degli impianti censiti;
- le schede tecniche dei sistemi impiantistici e dei componenti installati.

Sono inoltre necessari per comprendere il comportamento energetico della struttura in esame:

- gradi giorno del periodo di riscaldamento;
- destinazione d'uso degli ambienti;
- fruizione della struttura;
- superficie lorda, netta e volume riscaldato;
- profilo di funzionamento degli impianti.
- eventuali riqualificazioni della struttura precedenti la diagnosi.

1.3.4 Attività in campo

Lo scopo di questa fase della diagnosi energetica è lo studio approfondito dell'edificio in funzione degli obiettivi da conseguire. L'auditor deve:

- valutare i dati di consumo energetico della struttura;
- definire le grandezze termo-igrometriche che dipendono dalla tipologia di struttura, il comfort che si deve garantire, l'eventuale presenza di sistemi di controllo e gestione dei fabbisogni energetici;
- dare informazioni circa le prestazioni energetiche dei sistemi impiantistici installati;
- fornire indicazioni al fine di ridurre i consumi energetici.

Inoltre, colui che porta avanti la diagnosi deve effettuare misurazioni in maniera tale che i dati trovati siano affidabili e in condizioni che siano quanto più possibili rappresentative del normale funzionamento degli impianti e della struttura.

1.3.5 Analisi

L'analisi è il cuore della diagnosi energetica. Durante questa fase vengono esaminati i dati e le informazioni raccolte nelle fasi precedenti con l'obiettivo di individuare le opportunità di efficientamento energetico

L'obiettivo di questa fase è:

- effettuare un bilancio tra energia entrante ed uscente dal sistema edificio-impianto in esame;
- individuare possibili dipendenze tra consumi e fattori esterni;
- definire indici di prestazioni energetica utili per il benchmark;
- valutare i cambiamenti delle prestazioni energetiche nel tempo;
- individuare le opportunità di risparmio energetico e i relativi scenari effettuando anche un'analisi costi-benefici;
- definire le possibili interazioni tra vari interventi di efficientamento individuati.

1.3.6 Report finale

Tramite il report finale si dà al committente gli strumenti necessari per comprendere i fabbisogni energetici del sistema edificio-ambiente e quindi i possibili interventi di efficientamento energetico.

Il rapporto finale della diagnosi energetica deve contenere al suo interno:

- l'elenco delle opportunità di risparmio energetico valutate a seguito della diagnosi e corredate da uno studio sulla loro realizzazione;
- informazioni generali sulla metodologia seguita durante l'analisi e su tutto ciò che riguarda il sistema in esame in termini di destinazione d'uso degli ambienti, fruizione della struttura, impiantistica, figure impiegate, normativa seguita;
- il dettaglio raggiunto, il tempo impiegato, informazioni sulla raccolta dati e sulle misurazioni in campo effettuate, analisi dei consumi energetici e i criteri usati nel definire la priorità per gli interventi individuati;
- la scelta degli scenari di efficientamento energetico con proposte e piani sulla loro realizzazione con un'analisi economica appropriata e individuazione delle interazioni tra gli interventi proposti;
- la sezione implementazione in cui si effettuano misure e verifiche per accertare il conseguimento dei risparmi energetici previsti;
- conclusioni;
- allegati.

1.3.7 Incontro Finale

Terminata la fase della diagnosi, vi è l'incontro tra le parti coinvolte e il REDE consegna i documenti redati e illustra oltre ai ottenuti attraverso la diagnosi, anche gli interventi individuati. Durante l'incontro si risponderanno ad eventuali chiarimenti e si programmano gli interventi di efficientamento individuati durante la diagnosi.

1.4 Diagnosi energetica in ambito ospedaliero

La tesi in oggetto si pone come obiettivo quello di effettuare una diagnosi energetica di in un presidio Ospedaliero.

Questa tipologia di edifici è complessa dal punto di vista della gestione dei flussi energetici sia perché sono strutture che al loro interno sono estremamente diversificate sia perché in esse si devono garantire prestazioni e servizi in modo continuativo durante la giornata e in alcuni casi, come ad esempio il pronto soccorso, per tutti i 365 giorni dell'anno.

L'energia che è richiesta all'interno di una struttura ospedaliera è utilizzata per vari scopi a seconda del vettore energetico.

In linea generale, l'energia termica è usata per:

- riscaldamento invernale;
- produzione di acqua calda sanitaria;
- produzione, qualora previsto, di vapore per sterilizzazione;
- cucine.

Per quanto riguarda l'energia elettrica, essa è utilizzata per:

- illuminazione;
- raffrescamento estivo;
- apparecchi elettromedicali;
- alimentazione delle unità di trattamento aria;
- elevatori;

- dispositivi di emergenza e sicurezza.

La richiesta di energia specifica è molto variabile ed è funzione della tipologia dell'edificio, delle condizioni climatiche in cui sorge la struttura ospedaliera, della destinazione d'uso dei diversi ambienti di cui si compone l'ospedale.

Per questa ragione risulta difficile confrontare tra di loro strutture che offrono prestazioni diverse e che hanno volumetria diversa.

1.4.1 Il quadro normativo

Al fine di effettuare la diagnosi energetica è opportuno aver chiaro il quadro relativo alle norme che regolano i parametri che sono collegati al benessere degli utenti all'interno della struttura ospedaliera. Per garantire il comfort all'interno della struttura ospedaliera è opportuno monitorare il valore assunto da alcuni parametri come ad esempio: la temperatura, l'umidità relativa e la concentrazione di sostanze inquinanti che determinano la qualità dell'aria e regolarli attraverso ricambi di volumi d'aria opportunamente filtrata, negli ambienti ove ciò è possibile, le condizioni di pressione, la possibilità di ricircolo dell'aria.

Concorrono al benessere degli ambienti anche il soddisfacimento del fabbisogno di acqua calda sanitaria e un opportuno livello di illuminazione in termini di requisiti illuminotecnici a seconda della zona considerata. In Italia, con riferimento alle condizioni di benessere all'interno delle strutture sanitarie, è opportuno prendere in considerazione la Circolare 22/11/1974 n. 13011 del Ministero dei Lavori Pubblici, *“Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione”*.

A questa, è possibile affiancare la normativa tecnica in vari settori:

- UNI 10339: *“Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura”*;
- UNI/TS 11300-2: *“Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”*;

- UNI 11425: “*Impianto di ventilazione e condizionamento controllata per il blocco operatorio*”;
- UNI 9182 “*Impianti di alimentazione e distribuzione d’acqua fredda e calda – progettazione, installazione e collaudo*”;
- UNI EN 12464-1: “*Luce e illuminazione. Illuminazione nei posti di lavoro. Parte 1: Posti di lavoro interni*”.

Per quanto concerne la parte relativa all’illuminazione e i criteri per la progettazione illuminotecnica, si rimanda l’approfondimento al quarto capitolo del presente lavoro.

1.4.2 Requisiti termo-igrometrici negli ambienti ospedalieri

Dalla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 13011 è possibile ricavare i valori richiesti per i parametri che regolano le condizioni termo termo-igrometrici e di ventilazione negli ambienti ospedalieri al fine di garantire le condizioni di benessere:

- in tutti i reparti e i servizi di cui il presidio Ospedaliero è costituito la temperatura deve essere mantenuta ad un valore di 20°C +/- 2°C nel periodo invernale;
- il valore di umidità relativa in ambienti ad uso degenza, nei locali comuni e nei disimpegni deve essere pari al 40% con tolleranza di +/- 5% nel periodo invernale;
- il tasso di ricambio di ricambio dell’aria in termini di volumi di aria ogni ora è esplicitato, per i diversi ambienti, in tabella 1.2.

Zona	Ricambio aria
Degenze in genere	2 vol/ora
Degenze bambini	3 vol/ora
Reparti diagnostici	6 vol/ora
Reparti speciali	6 vol/ora
Isolamento	12 vol/ora
Servizi igienici	10 vol/ora
Soggiorno	30 m ³ /ora per persona(minimo)

Tabella 1.2: valori minimi di ricambio d’aria per i vari ambienti ospedalieri

In tabella 1.3 sono invece evidenziati i valori massimi di velocità dell’aria come prescritto dalla norma UNI 10339.

Zona	Riscaldamento[m/s]	Raffrescamento [m/s]
Degenze, corsie, camere sterili, infettivi, visite mediche e soggiorni	0.05-0.1	0.05-0.15
Maternità, anestesia, radiazioni, prematuri e sale operatorie	0.05-0.1	0.05-0.15
Terapie fisiche	0.1-0.2	0.15-0.25

Tabella1.3: Velocità dell'aria massima prescritta dalla norma UNI 10339

La norma dà anche indicazioni sulla classe dei filtri e la loro efficienza da utilizzare per trattare opportunamente l'aria prima di immetterla nei vari ambienti. Quanto prescritto dalla normativa è riportato in Tabella 1.4.

Zona	Classe di filtri (min-max)	Efficienza di filtrazione
Degenze	6-8	M+A
Corsie	6-8	M+A
Camere sterili e infettivi	10-11	M+A+AS
Maternità, anestesia e radiazioni	10-11	M+A+AS
Prematuri e sale operatorie	11-12	M+A+AS
Visite mediche	6-8	M+A
Soggiorni e terapie fisiche	6-8	M+A

Tabella1.4: Classe ed efficienza dei filtri secondo la norma UNI 10339

Il ricircolo dell'aria è di fatto vietato nei seguenti ambienti: blocchi operatori, sale travaglio, sala rianimazione, parti prematuri, lattanti, terapia intensiva, centro dialisi, centrale di sterilizzazione e laboratorio di analisi in cui si dispone la presenza di un impianto senza ricircolo.

Il DPR del 1997⁹, prevede la suddivisione di una struttura ospedaliera in 13 ambienti indicandone i valori richiesti in termini di temperatura e umidità relativa e ricambi, qualora previsti. In tabella 1.5 sono riportati i valori prescritti da questa normativa.

Zona	Temperatura [°C] (inverno-estate)	Umidità relativa [%] (inverno-estate)	Ricambio aria esterna [vol/h]
Pronto Soccorso	n.p.	n.p.	n.p.
Area degenza	n.p.	n.p.	n.p.
Reparto operatorio	20-24	40-60	15
Blocco parto	20-24	30-60	6
Rianimazione/terapia intensiva	20-24	40-60	6
Medicina nucleare	n.p.	n.p.	n.p.
Radioterapia	n.p.	n.p.	n.p.
Day Hospital	n.p.	n.p.	n.p.
Day Surgery	n.p.	n.p.	n.p.
Gestione farmaci	20-26	50±5	2
Servizio sterilizzazione	20-27	40-60	15
Servizio disinfezione	20-27	40-60	15
Servizio mortuario	18	60±5	15

Tabella 1.5: Requisiti minimi prescritti dal DPR del 1997

Merita inoltre attenzione la possibilità che da un ambiente vi possano essere contaminazioni da particolari agenti nocivi e, per evitarle, bisogna mettere in pressione o in depressione i locali al fine di renderli sicuri. Dal momento che questo non è prescritto nella normativa italiana, è possibile fare riferimento alla normativa ASHRAE 16-1982¹⁰ le cui indicazioni sono riassunte in tabella 1.6.

⁹ DPR 14 gennaio 1997, "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento alle regioni e alle province autonome di Trento e Bolzano, in materia di requisiti strutturali, tecnologici ed organizzativi minimi per l'esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private".

¹⁰ ASHRAE Standard 62, "Ventilation for acceptable indoor air quality", 1989.

Zona	Condizioni di pressione
Sale operatorie, traumatologia, parto, nursery e UTIC	Sovrappressione
Camere di degenza normale	Controllo non necessario
Servizi igienici	Sottopressione
Reparti d'isolamento per infettivi	Sottopressione
Reparti d'isolamento per immunodepressi	Sovrappressione
Laboratori	Specificate in base alle esigenze
Visite mediche	Controllo non necessario
Locali medicazione	Sovrappressione
Sterilizzazione e lavanderia	Sottopressione

Tabella 1.6: Condizioni di pressione negli ambienti ospedalieri secondo ASHRAE 16-1986

1.4.3 Fabbisogno di acqua calda sanitaria

La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) costituisce uno dei servizi fondamentali all'interno di un presidio Ospedaliero. Questa, che deve essere sempre disponibile all'occorrenza sia di giorno che di notte, è necessaria allo svolgimento delle attività quotidiane e il suo fabbisogno varia in funzione della struttura in esame.

Per stimare il fabbisogno di acqua calda sanitaria è possibile considerare la norma UNI/TS 11300-2 la quale permette di valutare il fabbisogno di energia termica necessario per la produzione di ACS attraverso le principali tipologie di impianto, distinguendo tra edifici residenziali e non.

Per la sua valutazione si considera che l'acqua deve essere erogata alla temperatura di 40 °C e l'acqua fredda, prelevata dalla rete e opportunamente trattata, sia pari alla temperatura alla media annuale delle temperature mensili dell'aria esterna del luogo in cui è sito l'edificio.

È possibile calcolare il volume di acqua calda sanitaria necessario attraverso la formula:

$$V = a * N \quad [\text{litri/giorno}] \quad (1.1)$$

In cui:

- a: fabbisogno specifico giornaliero [$\frac{\text{litri}}{\text{giorno} \cdot N}$];
- N: parametro variabile in funzione del tipo di edificio.

In tabella 1.6 sono riportati i valori assunti dai parametri in ambito ospedaliero.

Tipo di attività	a	N
Attività ospedaliera con pernotto	80	numeri posto letto
Attività ospedaliera con pernotto e lavanderia	90	numeri posto letto
Attività ospedaliera day hospital (senza pernotto)	15	numeri posto letto

Tabella1.7: Parametri per la stima dell'acqua calda sanitaria in ambito ospedaliero

Capitolo 2: L'Ospedale Oftalmico

2.1 Descrizione dell'edificio

L'Ospedale Oftalmico C. Sperino, Presidio Ospedaliero Specialistico dell'A.S.L. Città di Torino, è ubicato all'interno del quadrilatero delimitato dalle vie Bertola, Manzoni, Passalacqua e Juvarra come è mostrato in Figura 5 che mostra la collocazione della struttura.

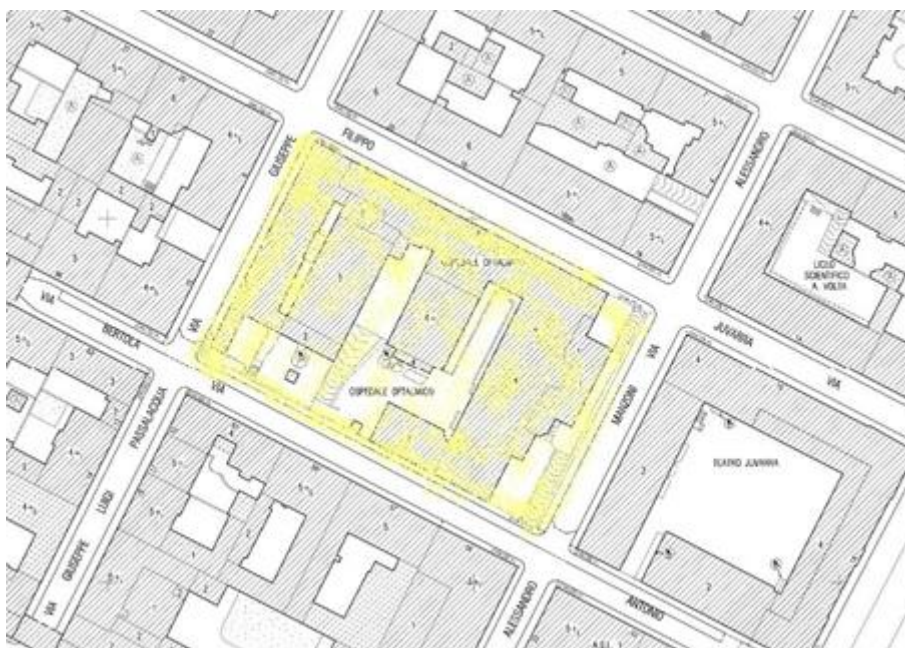


Figura 5: inquadramento cartografico del Presidio Ospedaliero Oftalmico

L'Ospedale, nato per volere del suo fondatore Casimiro Sperino, venne edificato nel 1984 come centro per la cura delle malattie dei bambini e per quelle degli occhi. Oggi il Presidio ospedaliero è centro di Riferimento Regionale per l'Oculistica oltre ad essere uno dei maggiori centri del Paese per la diagnostica e la terapia della retina e del trapianto di cornea ed è anche sede della Scuola di Specializzazione di Oftalmologia della facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Torino.

L'Ospedale ha una organizzazione di tipo dipartimentale suddiviso in:

- S.C.D.U. Clinica Oculistica;
- S.C Oculistica Generale e Traumatologia;
- S.C. Oculistica Generale e Oftalmologia Pediatrica;

- S.C. Oculistica Generale e Glaucomi;
- S.C. Anestesia.

Come Presidio Ospedaliero Specialistico, esso è di riferimento per l'Oftalmologia Infantile, Glaucomi, Traumatologia, Retina, Patologie Corneali, Ipovisione, Oftalmologia Plastica e Ricostruttiva oltre che sede di grandi attrezzature ed Ospedale Clinicizzato. Sono inoltre presenti, accanto alle strutture oftalmologiche e ai nuclei Funzionali Ultra specialistici, i servizi di: Laboratorio analisi, Radiologia, Servizio di Medicina interna, Servizio di Diabetologia, Servizio di Cardiologia e di Pronto Soccorso.

Negli ultimi anni l'Ospedale ha assistito a un'evoluzione all'approccio alla chirurgia: grazie alla nascita del modello Day Surgery vi è stata una forte riorganizzazione delle U.O. che ha fatto sì che l'Ospedale Oftalmico, inizialmente visto come luogo di degenza e assistenza grande ed indifferenziato, si è evoluto verso una struttura di dimensioni medio piccole ad altro contenuto tecnologico in cui le varie prestazioni offerte sono complesse, differenziate ma concentrate in periodi di tempo limitati. Questo ha portato ad avere una dotazione di posto letto così ripartita:

- 41 posti letto di ricovero ordinario suddivisi in due reparti di cui uno aperto 7 giorni su 7 e uno dedicato alla chirurgia a degenza breve funzionante dal lunedì al venerdì;
- 25 posti letto di day hospital/day surgery oculistico
- 2 posti letto di day hospital multi-specialistico.

2.1.1 Organizzazione dei reparti

La struttura del presidio Ospedaliero si articola in cinque piani di cui uno interrato e due ammezzati e si estende, escludendo la centrale termica, per circa 18.980 metri quadri. L'accesso principale della struttura è sito in Via Juvarra utilizzato da pazienti, personale e visitatori. Sono inoltre attivi accessi in Via Bertola utilizzato dal personale medico e amministrativo.

All'interno dell'Ospedale, oltre ai servizi di carattere sanitario offerti dal presidio, trovano spazio anche attività di supporto ad esse o all'edificio come l'ufficio tecnico, i locali tecnici o logistici.

Nel corso del tempo la suddivisione e la ripartizione dei reparti all'interno dell'Ospedale hanno subito cambiamenti dovuti a lavori di ammodernamento o ristrutturazione dei piani di cui si compone e ad oggi è così suddiviso:

- Piano seminterrato: vani tecnici, officine manutenzione, depositi vari;
- Piano rialzato: Punto prelievi, Ambulatorio Continuità Assistenziale, Ipovisione, Radiologia, CUP;
- Piano primo ammezzato: spogliatoi maschili e femminili, archivi e SERT;
- Piano Primo: Ortottica Ospedaliera, Diabetologia e Malattie Metaboliche, Cardiologia, Oculistica, Aula Magna, Foresteria, degenza della Clinica Universitaria;
- Piano Secondo ammezzato: vani tecnici, Ufficio tecnico, Ingegneria Clinica;
- Piano Secondo: C.A.V.S., Day Hospital, Cappella, Ambulatori lato via Juvarra;
- Piano Terzo: Blocco Operatorio, Diagnostica Ambulatoria Ospedaliera, Ambulatori vari;
- Piano Quarto: Spogliatoi, Studio medico, Medico competente, aula sindacale;
- Piano Quinto: Direzione sanitaria, Archivio.

Di seguito viene riportata in Tabella 2.1 la suddivisione delle superfici dell'edificio con le destinazioni d'uso degli ambienti suddivisi per piani.

PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m^2]
Piano interrato	Laboratorio analisi	627,19
	Archivio cartelle cliniche	82,66
	Officina manutenzione interna	103,77
	Vani tecnici	706,26
	Locale stazionamento rifiuti	18,11
	Corridoio di collegamento	356,37
	Magazzini	374,24

PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]
Piano rialzato	Diagnostica ipovedenti	260,09
	Radiologia	479,11
	Sala prelievi	80,63
	Corridoio centrale, atrio, portineria	140,84
	Cartelle cliniche	36,4
	Guardia medica	20,25
	CUP	82
	Pronto soccorso	316,28
	Ambulatorio clinica universitaria	807,28
	SERT	166,41
	Sala ristoro	23,74
PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]
Primo ammezzato	Spogliatoio	-
	archivi	-
	corridoi	-
	SERT	352,26
PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]
Primo	Degenza clinica universitaria	911,19
	Ambulatori lato Via Juvarra	327,1
	Cardiologia	160,26
	Ortottica	485,07
	Corridoi	147,68
	Aula magna	255
	Foresteria	30,4
	Diabetologia	341,47
PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]
Piano secondo ammezzato	Vano tecnico	91,47
	Ufficio tecnico e ingegneria clinica	225,32
	Corridoio	99,15

PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m²]
Secondo	chiesa	358,76
	Degenza ospedaliera	503,07
	Day Hospital	857,75
	Corridoio	210,28
	Ambulatori	373,14
PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m²]
Terzo	Blocco operatorio	753,71
	Ambulatori	379,31
	Diagnostica ambulatoriale	511,24
	Corridoio	219,59
PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m²]
Quarto	spogliatoi	84,6
	Studi medici	137,47
	Medico competente	81,37
	Auletta sindacale+ CRAL	47,29
	corridoi	252,07
PIANO	Destinazione d'uso	Superficie [m²]
Quinto	Direzione sanitaria	299,77
	archivio	48,47
	Vano tecnico	44,89
	Destinazione d'uso	Superficie [m²]
Altre aree	Aree esterne "totale"	2070
	Deposito temporaneo rifiuti	35
	Camera mortuaria	65,76

Tabella 2.1: Suddivisione superfici Oftalmico

2.2.2 Fruizione della struttura

L'Ospedale Oftalmico, come tutte le strutture ospedaliere, sebbene sia costituito da reparti ed aree i cui orari di funzionamento sono molto variegati l'uno con l'altro, è un Presidio aperto e funzionante ventiquattro ore su ventiquattro per 365 giorni l'anno. La tipologia di edificio afferisce al settore terziario come scuole o uffici ma il profilo di utilizzo della struttura è tale che all'interno vi sia sempre del personale sanitario, pazienti ricoverati nelle degenze o persone in attesa al pronto soccorso e ciò si riflette sui consumi energetici che seguono la fruizione della struttura stessa.

L'analisi dell'utilizzo della struttura è fondamentale per comprendere al meglio la suddivisione del fabbisogno energetico del complesso in quanto permette di analizzare al meglio il profilo orario di consumo ma anche fare delle interessanti valutazioni a seconda del tipo di giorno (feriale /festivo) o del periodo dell'anno (estivo/invernale) in modo tale da poter verificare che vi sia coerenza tra i dati relativi all'uso della struttura e i suoi consumi energetici, di determinare i picchi e il consumo di base che sono dati importanti per poter valutare gli interventi di efficientamento energetico nell'ottica di una ottimizzazione e razionalizzazione dei vettori energetici nell'edificio.

Per far ciò, è stato suddiviso l'edificio in base alle destinazioni d'uso e tramite una raccolta dati, a seguito di colloquio con il personale lavorativo della direzione sanitaria, sono stati ricavati gli effettivi orari di utilizzo da parte del personale e di apertura al pubblico per i vari reparti.

Vengono riportati in tabella 2.2 i dati di fruizione della struttura in termini di numero medio di occupanti e di orario di utilizzo delle varie zone. In tabella 2.3 è presentato uno specchio riassuntivo dei dati caratterizzanti la struttura nell'anno 2017 in termini di ricoveri, prestazioni erogate e ore di sala operatoria.

<i>Fruizione media della struttura e orario attività</i>		
Numero medio occupanti	Dipendenti	200
	Posti letto totali degenze	42 ordinari
	Posti letto day-hospital	27

Piano seminterrato		
Punto prelievi	Orario attività	7:30-15:00
	Orario personale	7:30-15:00

Piano terreno		
ipovisione	Orario attività	8:00-15:30
	Orario personale	8:00-15:30
radiologia	Orario di attività	8:00-15:30
	Orario personale	8:00-15:30
Sala prelievi	Orario attività	7:45-9:45
	Orario personale	7:15-15:00
portineria	Orario di attività	H 24- 7/7
Guardia medica	Orario attività	20:00-8:00 feriali/ 10:00-8:00 festivi
	Orario personale	
CUP	Orario attività	8:00-15:00
Ufficio cartelle cliniche	Orario attività	8:00-15:00
Ambulatorio	Orario attività	8:00-15:30
	Attività personale	Due turni: -7:30-15:00 -8:30-16:00
Aula magna	Orario attività	-
foresteria	Orario attività	-

Piano primo ammezzato		
spogliatoi	Orario attività	24h/ 7 giorni su 7
Piano primo		
Degenza Oculistica	Orario attività	24 ore su 24
	Orario personale	Tre turni -7:00-14:30 -14:30-22:00 -22:00-7:00
cardiologia	Orario attività	8:00-16:30
	Orari turni del personale	Tre turni -8:00-15:30 -8:30-16:00 -9:00-16:30

ortottica	Orario di attività	8:00-15:30
	Orario turni personale	7:40-15:30
diabetologia	Orario attività	7:30-15:30
	Turni personale	7:30-15:30
Ufficio tecnico/ingegneria clinica	Orario di attività	8:30-18:30
Piano secondo		
chiesa	Orario attività	7/7 7:00-17:00
Degenza Ospedaliera	Orario attività	24/24 h
Day hospital	Orario attività	7:00-20:00
	Orari turni del personale	7:00-14:30 12:30--20:00

Piano terzo		
Blocco operatorio	Orario attività	8:00-14:00 14:00-18:30
	Turni personale	7:30-15:00 13:00-20:30
Piano quarto		
Prevenzione Serena	orario	8:00-15:00
Medico competente	Orario attività	7:30-14:30
	Orario personale	7:30-15:00
Aula sindacale	Orario di attività	Uso saltuario
Piano quinto		
Direzione sanitaria	Orario attività	8:00-15:30
	Orario personale	7:30-17:00

Tabella 2.2: Dati fruizione della struttura

Presidio Ospedaliero OFTALMICO- anno 2017	
Totali ricoveri	3.048
Totali prestazioni ambulatoriali	13.956
Totale ricoveri e ambulatorio	17.004
Prestazioni Pronto Soccorso (PS e seguiti da ricovero)	72.258
Prestazioni totali	89.262
Passaggi di PS	49.981
Ore di sala operatoria	6.361

Tabella 2.3 Prestazioni Oftalmico anno 2017

2.2 Caratteristiche Strutturali

Il Presidio Ospedaliero Oftalmico è un edificio storico e, in quanto tale, è tutelato da vincoli architettonici dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici soprattutto per quanto riguarda le facciate sulle vie a cui si affaccia e dunque l'impianto generale della struttura ha subito poche modifiche nel corso del tempo, mostrato in figura 6.



Figura 6: Immagini del P.O. su via Bertola e su via Manzoni

L'edificio è costituito da una struttura in muratura portante in pietre e mattoni per la parte di edificio che si affaccia su via Juvarra, Via Passalacqua e via Manzoni ed una struttura in calcestruzzo armato per la manica centrale che ospita il pronto soccorso, l'ufficio tecnico e la chiesa mentre le coperture sono in parte piane e in parte a falda con

rivestimenti in manto di tegole marsigliesi.

Analizzando le maniche dell'edificio, quella di più vecchia edificazione risulta essere quella che si affaccia su via Juarra che si articola su quattro piani mentre la manica su via Passalacqua presenta un carattere discontinuo e nel 2000 è stata sopraelevata al fine di realizzare gli uffici della direzione Sanitaria.

Quest'ultima ha inoltre un piano seminterrato non contro terra, con un lato direttamente sul cortile cosiddetto "rampa" e l'altro che si affaccia su una intercapedine a cielo aperto che è un vero e proprio camminamento lungo tutto il perimetro della manica.

Avancorpi architettonicamente ben definiti sono quelli che ospitano l'Aula Magna della Clinica Universitarie, su via Bertola angolo via Manzoni, e quello che ospita l'Ipovisione, su via Passalacqua angolo via Juarra.

Per quanto concerne le coperture, sono di due tipologie: volte a crociera per i soffitti delle ali storiche dell'edificio e quelle con controsoffitti necessari al passaggio degli impianti tecnici.

Per quanto riguarda le coperture della manica affacciata su via Juarra, sono in calcestruzzo armato rivestite da guaina bituminosa impermeabilizzante mentre la manica centrale e quella verso via Manzoni sono costituite da un manto di copertura in tegole marsigliesi.

Le coperture sono alcune piane, in calcestruzzo armato (manica su via Juarra), rivestite da guaina bituminosa impermeabilizzante, ed altre a falde inclinate che riguardano la manica centrale e quella su via Manzoni costituite da grossa e piccola orditura lignea, con manto di copertura in tegole marsigliesi.

2.3 Impiantistica

2.3.1 La centrale termica

La centrale termica che serve l'Ospedale Oftalmico ha il compito di soddisfare il fabbisogno termico della struttura, quello di acqua calda sanitaria e per alimentare le batterie di riscaldamento e post-riscaldamento delle UTA. Non è invece prevista la produzione di vapore in centrale per la quale l'ospedale ha previsto l'utilizzo di macchine sterilizzatrici alimentate dalla rete elettrica.

La centrale, entrata in funzione nel 2013, è alimentata a gas metano e, al momento dell'analisi, è composta da tre caldaie a condensazioni delle quali una non più in funzione per problemi di natura tecnica, marca ICI modello CODEX 1600, con corpo in acciaio di ognuna con potenza nominale di 1600 kW e funzionanti in cascata la cui immagine è riportata in Figura 7. Le caldaie sono dotate di bruciatori di tipo modulante a basso contenuto di CO alimentati dalla linea di adduzione del gas metano su cui sono presenti due surpressori con lo scopo di innalzare la pressione del gas a circa 350 mm di c.a. che è la pressione di taratura dei bruciatori. A completare l'impianto, vi è un vaso di espansione chiuso a volume variabile di capacità 3000 litri. L'acqua entrante in caldaia è addolcita tramite un impianto presente in centrale.

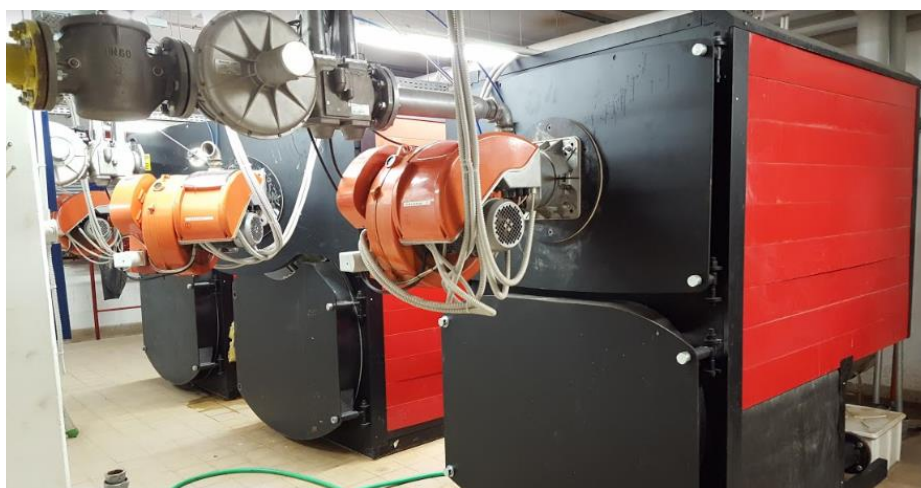


Figura 7: caldaie modello CODEX1600

Dal collettore principale di mandata si ripartono i circuiti dell'acqua dotati di pompe di circolazione di tipo gemellare a portata variabile e tra mandata e ritorno vi è un salto termico di 10° C. Nella tabella 2.4 si riporta la schematizzazione delle pompe ed i circuiti che esse servono.

Pompa	Circuito asservito
EP1	ACS
EP2	UTA primo e quinto piano
EP3	Sottocentrale via Juvarra
EP4	UTA sala operatorie
EP5	Sottocentrale via Passalacqua
EP6	UTA piano rialzato

EP7	Sottocentrale via Manzoni
EP9	Ricircolo ACS
EP10/11	Produzione ACS
EP12	Condizionamento (Refrigerazione)

Tabella 2.4: elenco delle pompe gemellari in centrale termica

Nella centrale termica sono presenti due serbatoi di 3000 litri, ripotati nella figura 8, cadauno asserviti a due scambiatori di calore a piastre con potenza scambiata nominale di 330 kW. Le temperature sul primario sono 65/50° C e secondario 60°/45 °C. Si prevede inoltre che la temperatura sia portata a 65/70° C al fine di favorire lo shock termico contro la legionella.



Figura 8: Serbatoi di accumulo presenti in centrale termica

Al fine di integrare la produzione di acqua calda sanitaria, sono presenti 24 pannelli solari di 2 metri quadri ciascuno collegati al serpentino inferiore dei due serbatoi di accumulo. La pompa del circuito, con portata di 2000 l/h, entra in funzione quando un termostato



posto nella parte bassa del bollitore è di 5°C inferiore rispetto alla temperatura dei pannelli.

I pannelli sono posti sul tetto della struttura, orientati su via Bertola ed inclinati di 45°, come riportato nella figura 9.

Figura 9: Pannelli solari presenti sul tetto dell'edificio

2.3.2 Impianto di Refrigerazione

I gruppi frigo servono per la climatizzazione estiva del Presidio Ospedaliero e sono ubicati in aree circoscritte del Presidio Ospedaliero. Essi alimentano le batterie di raffreddamento delle UTA e i ventilconvettori/ cassette idroniche presenti nella struttura. Non tutte le batterie di raffreddamento delle UTA sono alimentate da gruppi frigo esterni in quanto quelle che effettuano il trattamento aria delle sale operatorie presentano gruppi frigo integrati.

Alcune aree del Presidio ospedaliero non sono ancora dotate di gruppi frigo centralizzati, per cui sono condizionati da impianti split in configurazione mono-split e multi-split: nel primo caso l'impianto è composto da un'unità esterna e da una sola unità interna nel secondo caso invece si ha un'unità esterna a cui sono collegati più unità interne.

L'elenco di tutti i gruppi frigo presenti nella struttura è riportato in tabella 2.5.

Modello	EER	Potenza Frigo [kW]	Potenza elettrica assorbita [kW]
TRANE RTAC170R13	2,81	583	208
TRANE RTAA213SQ	2,81	568	204
TECNAIR OHA 101 A-L (per il gruppo UTA per sala operatoria E)	3,8	35	9,2
TECNAIR OHA 101 A-L (per il gruppo UTA per sala operatoria E)	3,8	35	9,2
TECNAIR OHA 101 A-L (per il gruppo UTA per sala operatoria D E LOCALE ANNESSI)	3,8	35	9,2
TECNAIR OHA 101 A-L (per il gruppo UTA per sala operatoria D E LOCALE ANNESSI)	3,8	35	9,2
AIRWELL CLSA202	3	54,1	18,2
LG ARUN200LT3(A SERVIZIO DEGLI SPLIT INTERNI)	2,39	56	23,4
LG ARUN200LT3 (A SERVIZIO DEGLI SPLIT INTERNI)	2,39	56	23,4

Tabella 2.5: Gruppi frigo presenti nel presidio Ospedaliero Oftalmico

Nella tabella 2.6 è fornito l'elenco degli split dotati di motore esterno, in essa si riporta oltre al modello, la zona servita, il tipo di fluido utilizzato i BTU e la potenza elettrica assorbita dal compressore.

Modello	Gas	Zona	BTU	Potenza elettrica [kW]
Electra	R410A	Ipovisione	12000	1,1
Electra	R410A	Ipovisione	12000	1,1
Electra	R410A	Ipovisione	12000	1,1
Electra	R410A	Ipovisione	12000	1,1
Electra	R410A	CUP	12000	1,1
Electra	R410A	CUP	9000	0,9
Electra	R410A	CUP	9000	0,9
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3

Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3
Haier	R410A	Sala Server	24000	2,3
Electra	R410A	Portineria	9000	0,9
Hisense	R410A	Ortottica	12000	1,1
Hisense	R410A	Ortottica	12000	1,1
Samsung	R410A	Sala E blocco op.	12000	1,1
Daikin	R410A	Sterilizzazione blocco op.	18000	1,6
Airwell	R410A	Medico Competente	12000	1,1
Airwell	R410A	Medico Competente	12000	1,1
Airwell	R410A	Medico Competente	12000	1,1
Airwell	R410A	Medico Competente	12000	1,1
Airwell	R410A	Medico Competente	12000	1,1
Electra	R410A	Ufficio Tecnico	12000	1,1
Haier	R410A	Ufficio Tecnico	12000	1,1
Haier	R410A	Ufficio Tecnico	12000	1,1
Beghelli	R22	Ufficio Tecnico	12000	1,1
Baltur	R22	Ufficio Tecnico	12000	1,1
Airwell	R22	Ufficio Tecnico	18000	1,6
Emerson	R22	Mensa	12000	1,1
Emerson	R22	Mensa	12000	1,1
Airwell	R22	Cabina elettrica	18000	1,6
Toshiba	R410A	Cabina Telefonica	12000	1,1

Tabella 2.6: Split installati nel presidio Ospedaliero

Come già accennato, è presente inoltre un sistema multi-split asservito dai gruppi frigo LG ubicati nel tetto del presidio Ospedaliero. Da colloquio con personale tecnico, il numero totale delle unità interne è 32, ripartite in: 12 unità al secondo piano, 18 unità al terzo piano e 2 unità al quarto piano.

2.3.3 Unità di trattamento aria

Sono presenti unità di trattamento aria allo scopo di immettere nei vari locali che compongono il Presidio ospedaliero aria alle condizioni termo-igrometriche opportune. L'elenco delle unità presenti, unitamente alle loro caratteristiche tecniche, è riportato in tabella 2.7. La raccolta dati è avvenuta mediante ispezione diretta e l'utilizzo di schede tecniche, in mancanza di esse si è stimata la potenza dei macchinari.

UTA	Zona servita	Potenza installata [kW]	Portata di aria trattata [m ³ /h]
UTA 1	Comparto Operatorio Vannini	15	20.000
UTA 2	Sala operatoria E-D	1,2	1.200
UTA 3	Sala operatoria E-D	1,2	1.200
UTA 4	Sala operatoria E-D	1,2	1.200
UTA 5	Direzione Sanitaria	4	3.500
UTA 6	CAVS	4,6	5.500
UTA 7	Reparto glaucomi	4,6	5.500
UTA 8	Clinica universitaria	4,6	5.500
UTA 9	Laboratorio Analisi	4,2	4.500
UTA 10	Cardiologia	5,2	5.100
UTA 11	Ortottica	5,2	5.100
UTA 12	Radiologia	3,3	2.500
UTA 13	Ambulatori clinica Universitaria	8,5	9.500
UTA 14	Pronto Soccorso	4	3.500

Tabella 2.7: elenco delle unità di trattamento aria

2.3.4 Impianti elettrici

Il Presidio ospedaliero è alimentato dalla rete di distribuzione in media tensione attraverso una cabina elettrica realizzata nel 1998, costituita da un doppio trasformatore funzionanti in parallelo uno di riserva all'altro, di 22000/380V – 1000KVA ciascuno.

Le dorsali elettriche che afferiscono ai quadri di piano sono di nuova realizzazione e i principali servizi/reparti hanno dorsale doppia: luce/forza, ognuno in partenza dal rispettivo interruttore, all'interno della cabina di bassa tensione.

Pulsanti di sgancio dei trasformatori sono installati nella parete adiacente alla cabina M.T. con riporto presso la guardiola portineria del Presidio.

L'energia elettrica all'interno del Presidio deve essere, come previsto dalla normativa vigente, sempre disponibile al fine di assicurare il funzionamento di macchinari ed attrezzature e garantire servizi che devono rimanere attivi e che si ritengono indispensabili per l'incolumità del paziente. Al fine di garantire la continuità dei servizi anche in assenza di alimentazione dalla rete sono presenti i seguenti gruppi elettrogeni:

- *GRUPPO ELETTROGENO PRINCIPALE ELCOS 910 KVA*

Installato nel 2010 alimenta in caso di blackout l'intero Presidio. Tempi d'intervento, come di normativa per i Presidi Ospedalieri: entro 15 secondi dal blackout con più di 5 ore di autonomia.

- *GRUPPO ELETTROGENO AUSONIA 440KVA*

Oltre al gruppo principale da 910 kVA, che alimenta l'intero Presidio, esiste un secondo gruppo elettrogeno, da 440 kVA (installato nel 1985), che può essere messo in funzione in caso di avaria, o manutenzione straordinaria del gruppo principale. Alimenta solo parte dell'Ospedale: servizi sanitari la cui continuità di esercizio è indispensabile anch'esso con autonomia di 5 ore. In Figura 10 sono riportati un esempio di quadri elettrici presenti nel Presidio.



Figura 10: esempio di cabina di bassa tensione

2.3.5 Impianti di Illuminazione

I sistemi di illuminazione presenti nel presidio Ospedaliero sono costituiti nella quasi totalità da lampade a fluorescenza e in qualche caso da apparecchi alogeni. Solo recentemente sono stati portati avanti sparuti interventi di sostituzione degli apparecchi di illuminazione con quelli a LED per garantire un risparmio energetico ma dato l'esiguo numero di corpi sostituiti rispetto al totale, essi non hanno un grande impatto sul risparmio energetico.

La tabella 2.8, fornita dall'ufficio tecnico, riporta l'elenco degli apparecchi di illuminazione installati presso il presidio Ospedaliero.

Reparto	Tipologia Lampada	Totale Corpi Illuminanti
Piano 5°		
Direzione Sanitaria	Faretti alogeni R /5 200 w	24
	TARTARUGHE 100W	14
	2x36W	20
	1X18 W	5
Piano 4°		

MEDICO COMPETENTE	4X18w Lamellari incasso	36
	2x18W	24
Spogliatoi e vani Tecnici	2x36W	31
Piano 3°		
Ambulatori manica via Juvarra	2X36 LAMELLARI ESTERNA	65
Ambulatori manica Via Passalacqua	4X18 W INCASSO LAMELLARI	40
	2x18W	4
	2x36 lamellari esterne	16
Gruppo operatorio	3x55 incasso	59
	4x55 incasso c. Gesso	38
	4x18 Policarbonato	27
	Incandescenza	6
Piano 2°		
MANICA VIA Juvarra e Manzoni	4X18 W lamellari incasso	126
	2x13 w parete prisma	16
Manica Centrale Chiesa	R75 200 w	14
	lampada 150 w	14
Manica Via Passalacqua	4X18 W lamellari incasso	77
Manica Via Manzoni Degenza	4X18 W Lamellari incasso	29
	2x36 Incasso	39
	2x18W	18
Piano 1°		
Manica Via Juvarra e Cardiologia	2x55W applique	11
	2x32 W Faretti incasso rotondi	58

	2x26W Faretto incasso rotondi	45
Diabetologia	2x55W incasso	16
	4x18W lamellari incasso	39
Ortottica	4x18 incasso lamellare	69
Primo e Secondo ammezzato		
Spogliatoi e ufficio tecnico	2X 36 STAGNE IP 55	20
	4x18 lamellari	12
	4x40W	4
	2x36W	12
Piano Terra e primo Ammezzato		
	2X 36W	72
	Incandescenza	14
	2x58	4
	4x18 lamellari	22
Piano Terra		
Ipovisione	2X55 INCASSO PARABOLA	19
	4x18 lamellari	54
Radiologia	2X55 INCASSO PARABOLA	24
	4x18 lamellari	27
	2x36 incasso lamellare	19
CUP e corridoio via Juvarra	4x18 lamellari	34
	2x36 incasso lamellare parete	9
	LED 40W	15
Pronto Soccorso	2X55 INCASSO PARABOLA	18
	4x18 lamellari incasso	31
Ambulatori Clinica universitaria	APPLIQUE 2X55 W	29
	2X32W FARETTI INCASSO	121
Aula Magna	2X40W INCASSO	30
	2X36W INCASSO	100
Piano seminterrato		

Laboratorio Analisi	4X18 W LAMELLARI INCASSO	51
	2X36W	71
	2x18	2
Manica Via Juvarra e Manzoni	4X18 W LAMELLARI	64
	2X36 W STAGNE IP55	137
	2X18 W STAGNE IP 55	2
	1X18 W	7
	1X36 W	8
Locali Tecnici		
Locali Tecnici Vari	2x36 Stagne	66

Tabella 2.8: Elenco apparecchi di illuminazione presenti nel presidio Ospedaliero

Capitolo 3: Analisi dei consumi energetici del Presidio ospedaliero

L'obiettivo che ci si pone durante una diagnosi energetica è quello di analizzare il comportamento energetico del sistema preso in considerazione al fine di valutare le prestazioni energetiche globali dell'edificio.

Per questo motivo, la raccolta dei dati necessari a caratterizzare l'edificio risulta essere una fase operativa cruciale ma allo stesso tempo fondamentale, la quale permette di ottenere: valori di benchmark di riferimento per confrontare le prestazioni dell'involucro in esame con altri dello stesso tipo, evidenziare criticità del sistema e consentire di avanzare ipotesi su interventi di efficientamento energetico e uso razionale dell'energia sia per diminuire i consumi che per effettuare una valutazione sul risparmio economico conseguibile.

Dopo aver effettuato l'inquadramento della struttura da un punto di vista topologico, geometrico e impiantistico si passa dunque alla valutazione del consumo dei vettori energetici impiegati. Questo avviene analizzando i consumi storici del Presidio Ospedaliero tramite lo studio delle fatturazioni delle forniture elettriche e del gas naturale: per far ciò sono state utilizzate le bollette del triennio 2016-2018, rappresentative del comportamento della struttura dalle quali è possibile desumere sia il consumo e come questo varia durante il periodo di riferimento che le spese energetiche annuali affrontate per l'approvvigionamento.

3.1 Energia elettrica

L'analisi dei consumi di energia elettrica all'interno dell'Ospedale ha come obiettivo quello di stimare la ripartizione di questo vettore energetico a seconda dei vari utilizzatori.

Il primo passo per questa analisi è la raccolta dei dati di consumo fatturati tramite le bollette elettriche per passare successivamente ad un approfondimento grazie alle curve orarie di consumo le quali permettono un'analisi più dettagliata dell'utilizzo dell'energia elettrica nel Presidio ospedaliero al fine di evidenziare il comportamento della struttura sia durante l'arco della giornata che al variare delle stagioni ed evidenziare eventuali criticità riscontrabili.

L'analisi si conclude con la ripartizione del vettore energetico che comprende l'utilizzo dell'energia elettrica per:

1. il condizionamento estivo dovuto al funzionamento dei gruppi frigo necessari all'alimentazione delle batterie di raffreddamento delle UTA, dei terminali e dagli split utilizzati per il raffrescamento in alcune zone del presidio ospedaliero durante il periodo estivo;
2. il consumo per illuminazione;
3. il consumo elettrico per il funzionamento delle unità di trattamento aria;
4. l'incidenza del consumo elettrico per gli apparecchi elettromedicali utilizzati;
5. il consumo delle pompe gemellari presenti nella centrale termica.
6. la restante percentuale in cui è possibile accorpare: i carichi di spina, gli elevatori e l'alimentazione dei terminali.

3.1.1 Raccolta bollette elettriche

Come detto sopra, l'analisi dei consumi elettrici trae origine dall'analisi delle bollette elettriche mensili dell'ospedale Oftalmico. Sono stati raccolti i dati relativi agli ultimi tre anni di bollettazione e si è dunque cercata una correlazione tra il consumo fatturato mese per mese e un parametro che ne potesse spiegare l'andamento.

Si è scelto di correlare tale dato alla temperatura media mensile messa a disposizione dalla banca dati meteorologia del sito ARPA Piemonte consultando, in modo particolare, la stazione meteo più vicina al Presidio in esame che risulta essere la stazione meteo "*Torino Via della Consolata*"¹¹.

I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle 3.1, 3.2 e 3.3 e rappresentati nelle figure 11, 12 e 13.

¹¹ Tratto da: <http://www.arpa.piemonte.it/dati-ambientali>

Consumi elettrici Oftalmico anno 2016						
Tmedia(°C)	Periodo	F1 [kWh]	F2 [kWh]	F3 [kWh]	TOT kWh	spesa € (con IVA)
5,1	gen	60.824	34.238	63.800	158.862	28.077,42
7,2	feb	68.019	34.231	53.969	156.219	27.728,11
10	mar	73.662	37.351	62.818	173.831	30.755,97
14,9	apr	67.153	38.598	62.471	168.222	30.377,43
17,1	mag	72.265	37.262	62.350	172.177	37.142,22
22	giu	78.183	41.109	67.425	186.717	38.579,49
25,5	lug	92.733	53.648	85.094	231.475	32.563,37
24,7	ago	86.076	44.155	74.662	204.893	38.265,35
22	set	83.743	41.368	63.917	189.028	35.714,28
13,5	ott	70.513	38.462	61.895	170.870	31.064,84
8,9	nov	73.292	37.503	65.014	175.809	31.622,69
5,5	dic	69.018	39.885	70.431	179.334	34.026,73
TOTALE 2016		895.781	477.810	793.846	2.167.437	395.917,9

Tabella 3.1: consumi di energia elettrica suddivisi per fasce anno 2016. Si riporta la temperatura media mensile relativa all'anno.

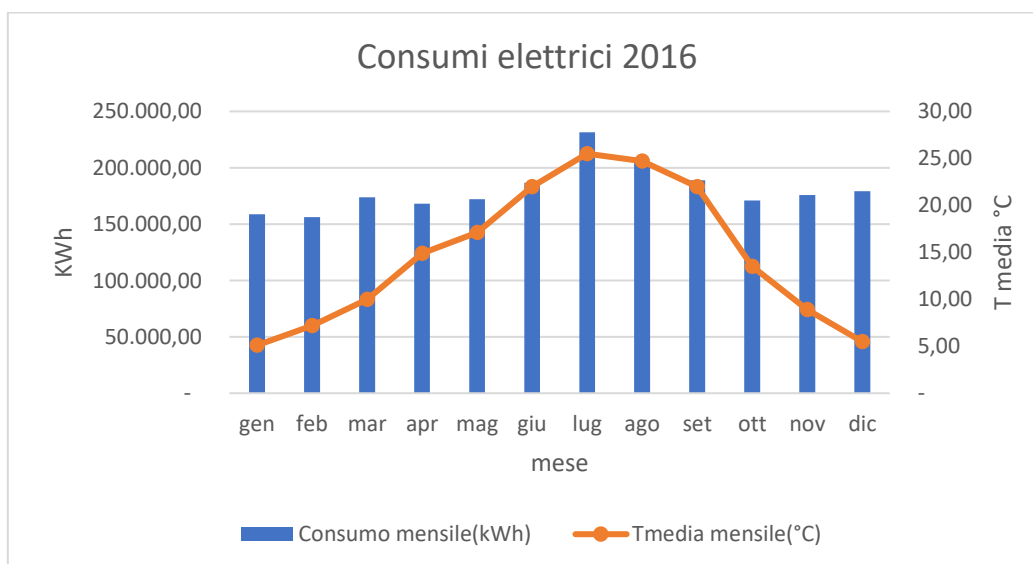


Figura 11: andamento dei consumi elettrici mensili confrontati con la temperatura mensile, anno 2017.

Consumi elettrici Oftalmico anno 2017						
Tmedia(°C)	Periodo	F1 [kWh]	F2 [kWh]	F3 [kWh]	TOT kWh	spesa €(IVA inclusa)
2,90	gen	73.020	37.180	69.601	179.801	32.516,05
6,9	feb	69.130	35.425	57.042	161.597	29.441,45
12,9	mar	76.707	37.417	58.513	172.637	31.039,81
15,1	apr	58.354	34.586	65.386	158.326	29.977,13
19,4	mag	79.344	38.534	63.058	180.936	32.403,74
24,9	giu	93.081	48.560	78.758	220.399	37.344,11
25,6	lug	97.959	57.113	87.031	242.103	42.722,18
25,7	ago	93.084	50.880	84.816	228.780	38.598,31
19	set	69.201	38.246	55.855	163.302	17.461,97
15,8	ott	68.710	34.695	57.588	160.993	27.004,47
8,7	nov	65.839	33.403	57.695	156.937	25.854,84
3,1	dic	56.448	34.612	70.651	161.711	26.422,99
TOTALE 2017		900.877	480.651	805.994	2.187.522	368.787,05

Tabella 3.2: consumi di energia elettrica suddivisi per fasce anno 2017. Si riporta la temperatura media mensile relativa all'anno.

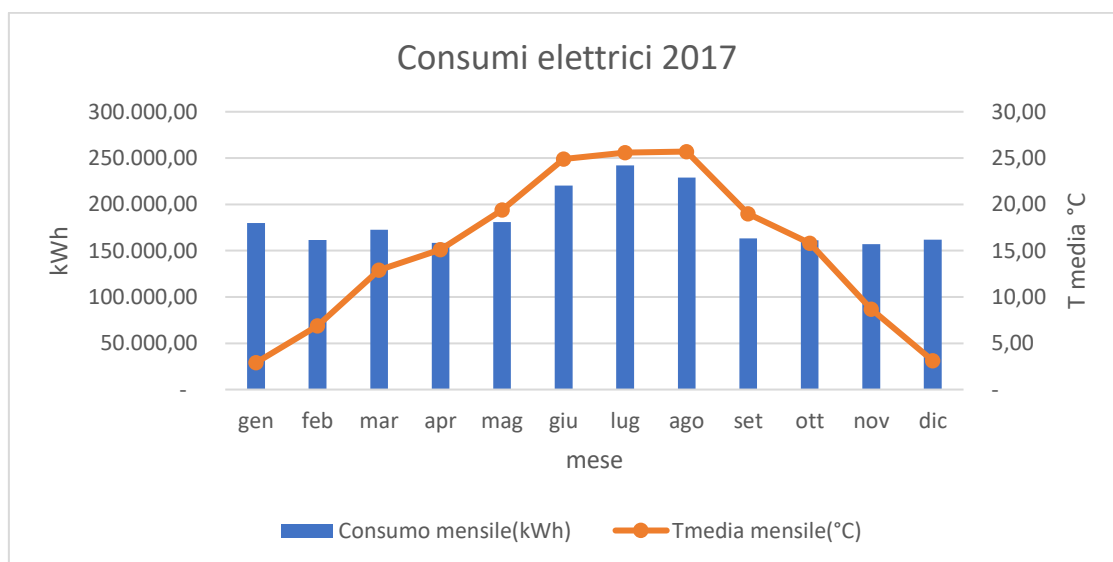


Figura 12: andamento dei consumi elettrici mensili confrontati con la temperatura mensile, anno 2017.

Consumi elettrici Oftalmico anno 2018						
Tmedia(°C)	Periodo	F1 [kWh]	F2 [kWh]	F3 [kWh]	TOT kWh	spesa € (IVA inclusa)
6,5	gen	64.794	30.754	60.007	155.555	27.978,03
4,0	feb	59.958	31.223	49.808	140.989	25.627,49
7,9	Mar	60.691	32.722	49.264	142.677	25.870,27
16,2	Apr	52.348	27.817	54.493	134.658	24.725,89
18,5	mag	64.043	32.173	52.340	148.556	26.969,38
23,7	giu	73.075	37.975	60.945	171.995	32.039,47
26	lug	89.358	44.301	72.740	206.399	42.102,99
25,9	ago	86.241	44.130	74.275	204.646	30.937,97
21,7	set	68.898	38.881	60.365	168.144	30.102,02
15,7	ott	66.143	33.095	50.299	149.537	26.594,58
9,7	nov	59.159	29.150	49.938	138.247	24.788,56
4,9	dic	53.577	27.612	59.746	140.935	25.084,94
TOTALE 2018		798.285	409.833	694.22	1.902.338	342.821,59

Tabella 3.3: consumi di energia elettrica suddivisi per fasce anno 2018. Si riporta la temperatura media mensile relativa all'anno.

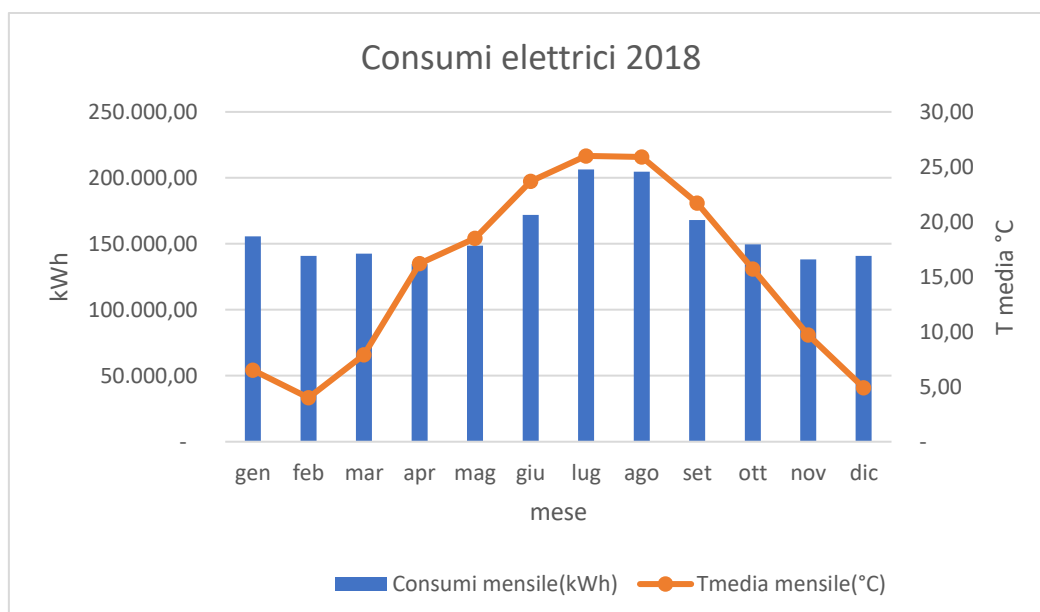


Figura 13: andamento dei consumi elettrici mensili confrontati con la temperatura mensile, anno 2018.

In figura 14 si riporta un confronto tra i consumi nei tre anni analizzati e infine, in tabella 3.4 e in figura 15, una media dei valori.

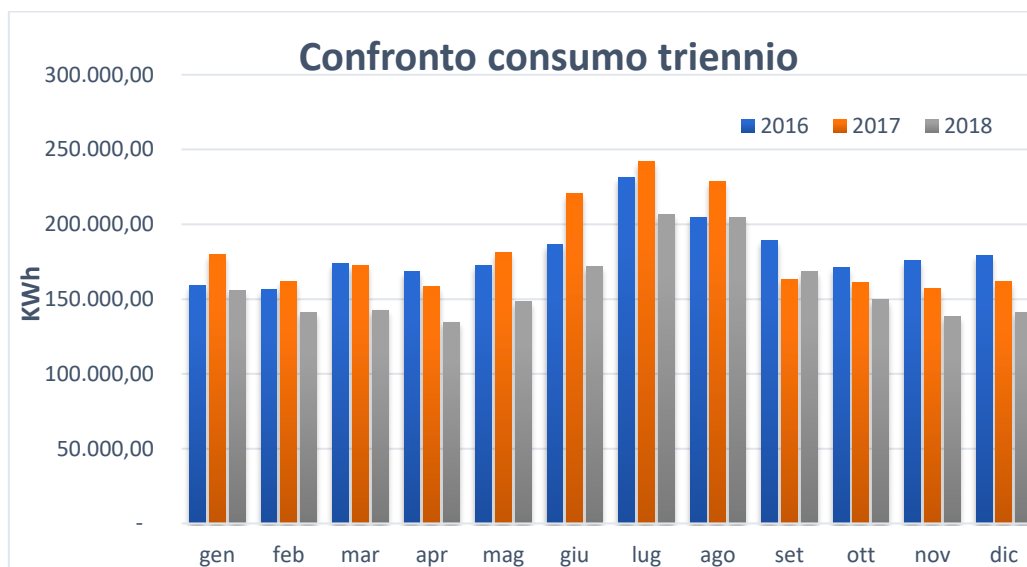


Figura 14: confronto dei consumi elettrici nel triennio 2016-2018 oggetto di analisi.

Tmedia(°C)	Periodo	TOT kWh
4,83	gen	164.739,33
6,03	feb	152.935,00
10,27	mar	163.048,33
15,40	apr	153.735,33
18,33	mag	167.223,00
23,53	giu	193.037,00
25,70	lug	226.659,00
25,43	ago	212.773,00
20,90	set	173.491,33
15,00	ott	160.466,67
9,10	nov	156.997,67
4,50	dic	160.660,00

Tabella 3.4: media dei consumi e delle temperature nel triennio analizzato

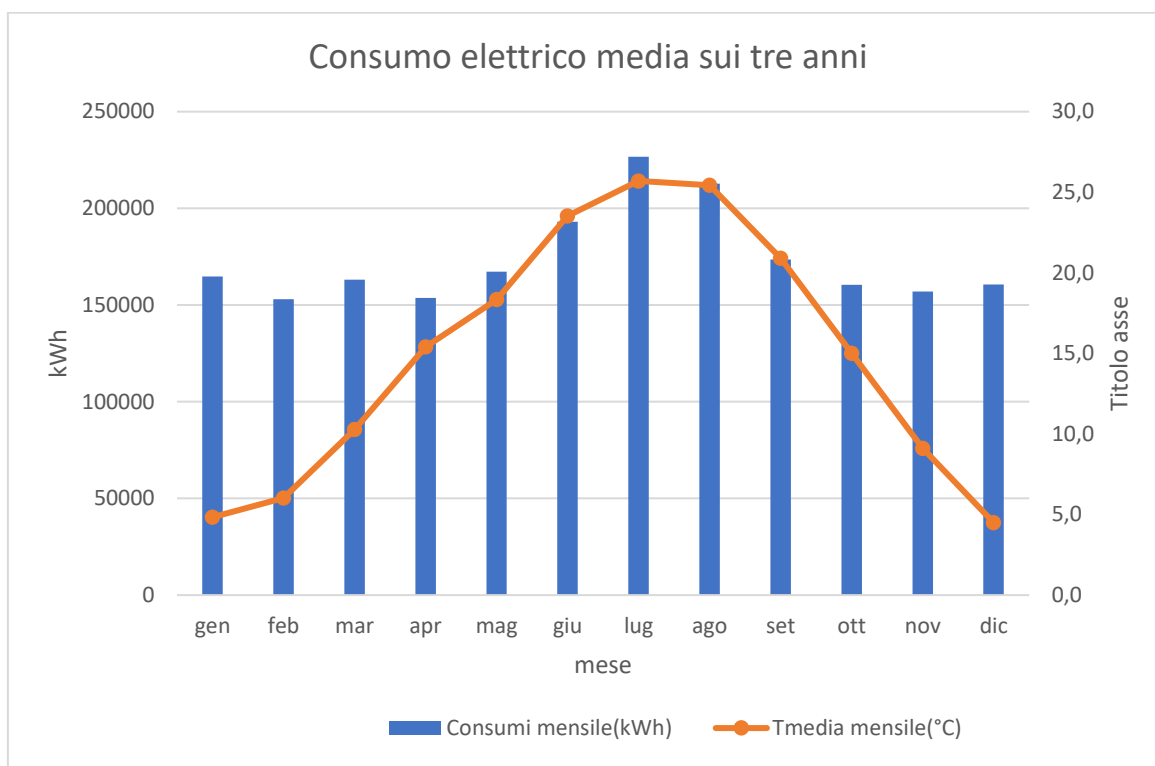


Figura 15: andamento dei consumi elettrici medi mensili confrontati con la temperatura mediata nel triennio.

Dall'analisi dei consumi elettrici nel triennio di riferimento e la loro correlazione alla temperatura è possibile osservare che vi è un incremento dei consumi nel periodo estivo e ciò è dovuto alla climatizzazione degli ambienti del Presidio ospedaliero.

Dagli ultimi grafici si può notare che i consumi seguono lo stesso trend nei tre anni tuttavia nel 2018 si sono registrati consumi inferiori a quelli degli anni precedenti e ciò è possibile imputarlo, tra le altre cause, a lavori di ristrutturazione effettuati in alcune zone della struttura che ha portato alla chiusura di alcuni reparti. Picchi particolarmente elevati invece, riguardanti il periodo estivo, possono trovare una spiegazione considerando che in quei mesi le temperature risultano essere particolarmente elevate come a giugno del 2017 o comunque mediamente più alte rispetto all'anno precedente (confronto 2016 e 2017).

3.1.2 Consumi giornalieri

Per un'analisi più dettagliata del fabbisogno elettrico all'interno del Presidio ospedaliero è stato possibile reperire il consumo orario di energia elettrica messo a disposizione dal fornitore stesso.

È stato dunque possibile ricostruire l'andamento del fabbisogno di energia elettrica giornaliero unicamente per gli anni 2017 e 2018 in quanto per l'anno 2016 non erano disponibili i dati completi.

Per una prima analisi, si è deciso di suddividere i giorni dell'anno in feriali e festivi. Ciò che ci si aspetta è che vi sia una differenza tra i consumi nelle due tipologie di giorni individuati, in quanto, seppur la struttura è operativa 24 ore su 24 per tutti i giorni dell'anno, nei giorni feriali essa è nel pieno delle sue attività mentre nei giorni festivi rimangono operativi soltanto alcuni reparti come le degenze e il pronto soccorso.

In figura 16 e 17 sono riportati gli andamenti dei consumi elettrici giornalieri suddivisi tra feriali e festivi per l'anno 2017 e il 2018.

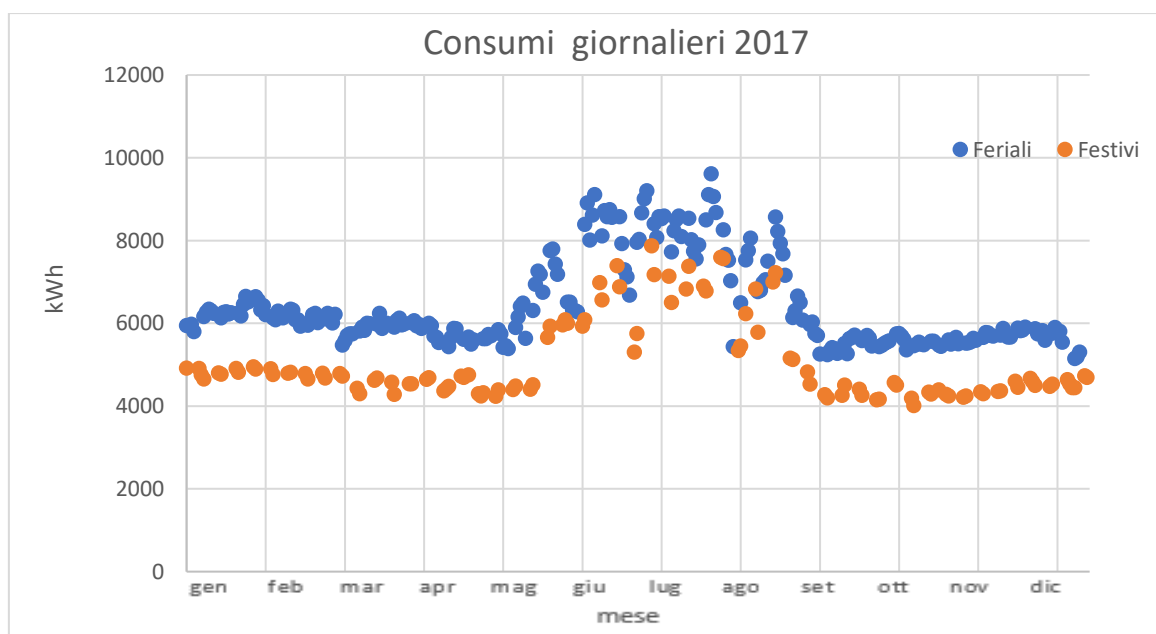


Figura 16: andamento dei consumi elettrici giornalieri suddivisi tra giorni feriali e festivi, anno 2017

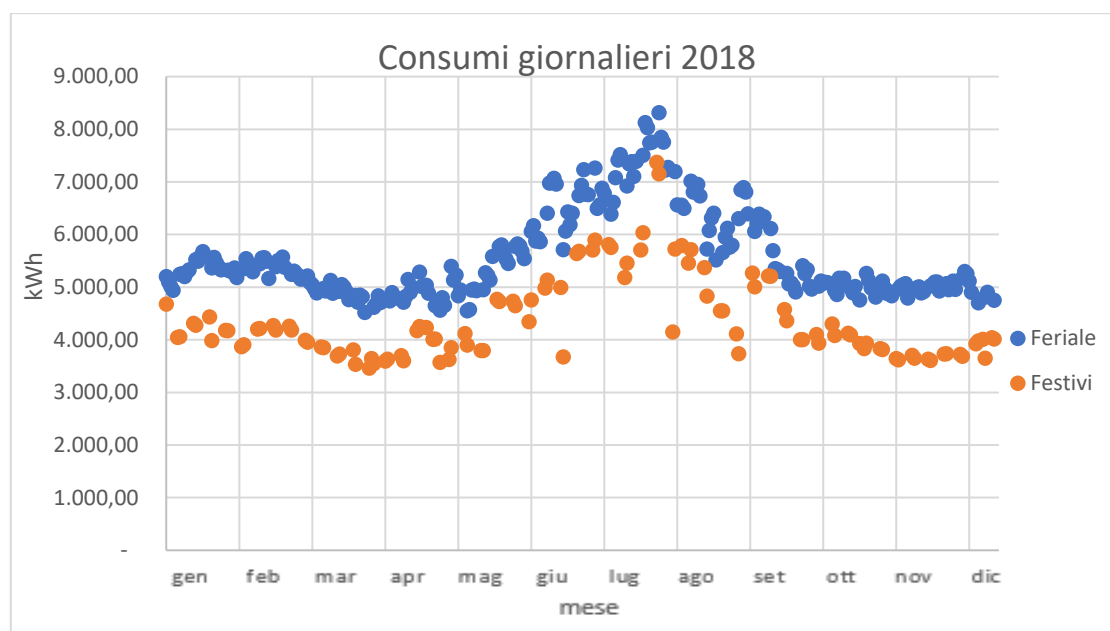


Figura 17: andamento dei consumi elettrici giornalieri suddivisi tra giorni feriali e festivi, anno 2018.

Come ci si aspettava il consumo di energia elettrica è minore nei giorni festivi rappresentanti i fine-settimana e le festività nazionali e ciò segue i dati raccolti della fruizione della struttura. In entrambi i casi, tuttavia, i consumi subiscono un forte incremento nel periodo estivo segno dell'inizio della stagione di raffrescamento degli ambienti interni.

È possibile anche notare che i consumi elettrici rimangono pressoché costanti durante il resto dell'anno formando il consumo base dell'Ospedale comprendente il consumo elettrico per l'illuminazione, il funzionamento degli apparecchi elettromedicali, le unità di trattamento aria, i carichi di spina, gli elevatori che sono sempre presenti durante tutto l'anno.

3.1.3 Consumi Orari

Per approfondire ulteriormente il consumo elettrico dell'edificio, si è sceso più in dettaglio prendendo in considerazione i consumi orari del presidio ospedaliero. Questo grado di accuratezza permette di capire come si distribuiscono i consumi elettrici nell'arco delle 24 ore andando così ad evidenziare non soltanto i periodi dell'anno più energivori ma soprattutto le ore del giorno in cui si verifica il maggior consumo oltre a valutare i fabbisogni minimi e massimi che devono essere soddisfatti.

Per una rappresentazione più accurata, i dati relativi ai consumi elettrici orari sono stati processati tramite l'ausilio di MATLAB ottenendo i carpet plot in figura 18 e 19.

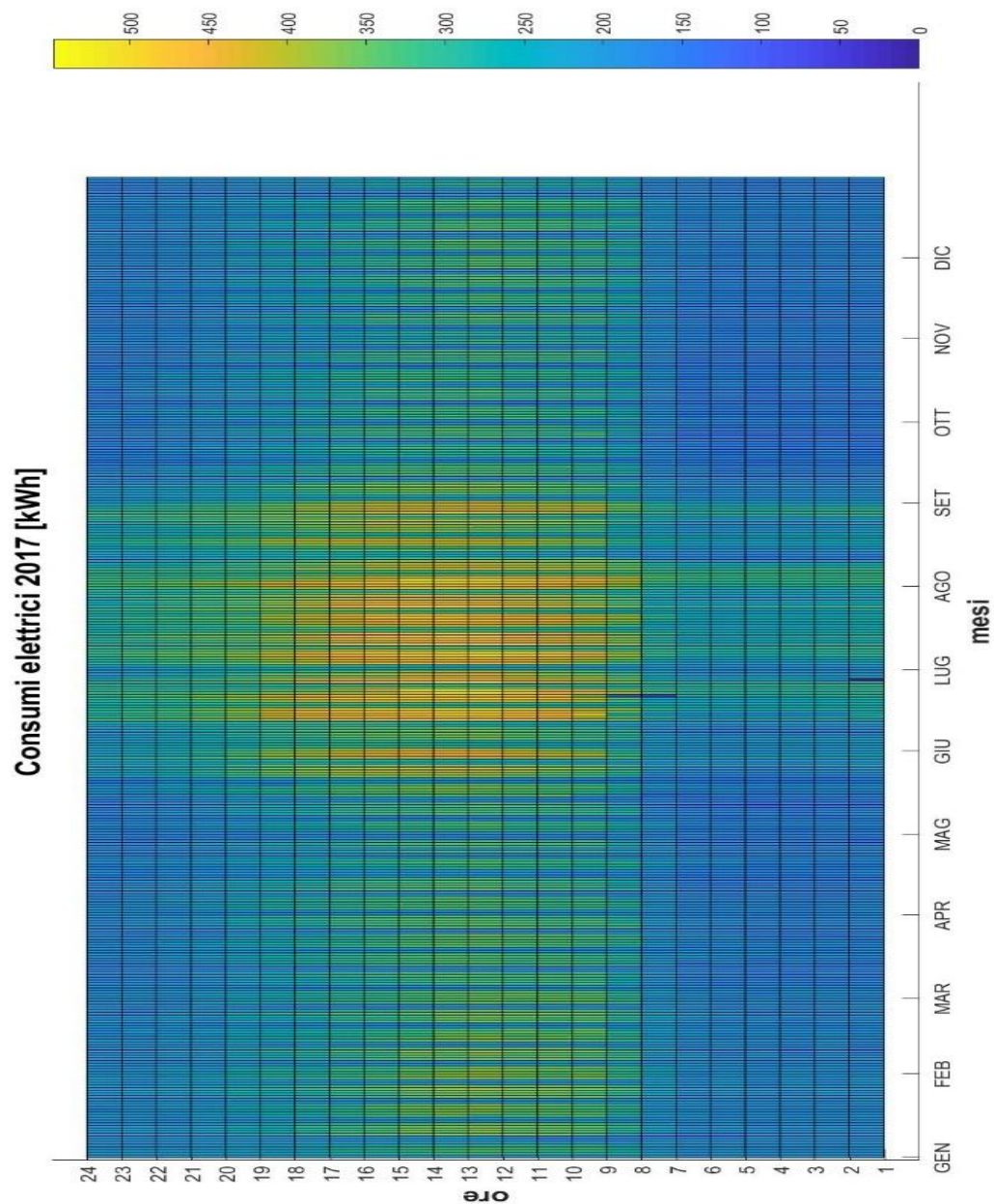


Figura 18: Carpet plot dei consumi elettrici anno 2017

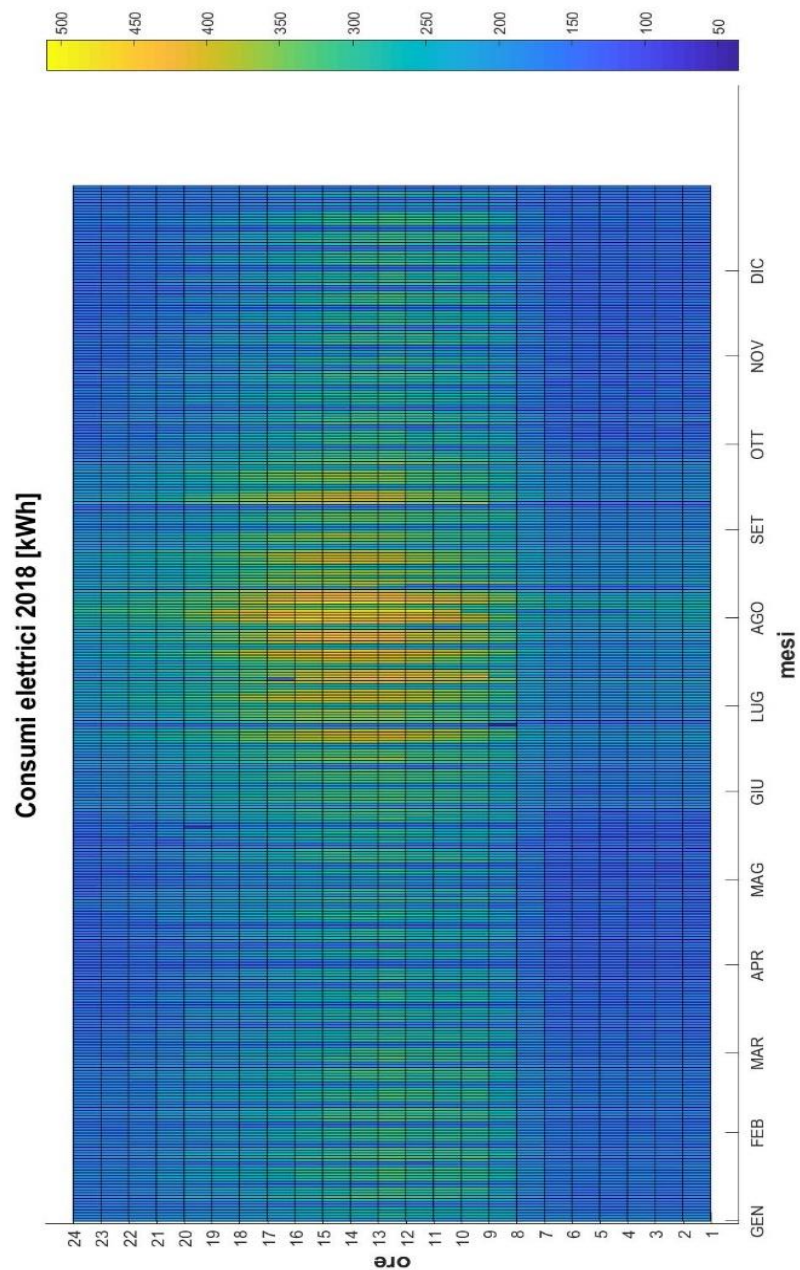


Figura 19: Carpet plot dei consumi elettrici anno 2018

Per l'anno 2018, sono stati ulteriormente processati i dati in possesso agendo di volta in volta sugli estremi della color bar al fine di dei consumi orari al fine di evidenziare i massimi e i minimi come riportato in figura 20 e 21 rispettivamente.

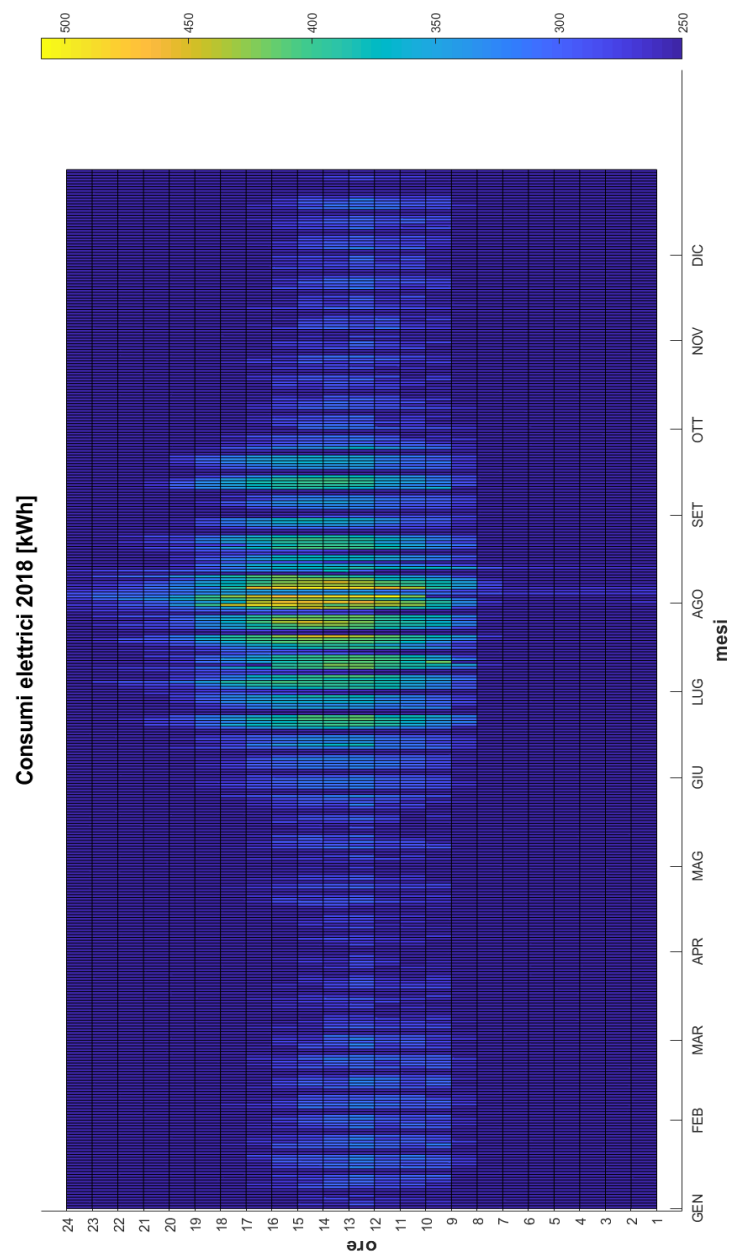


Figura 20: Carpet plot scala dei massimi anno 2018

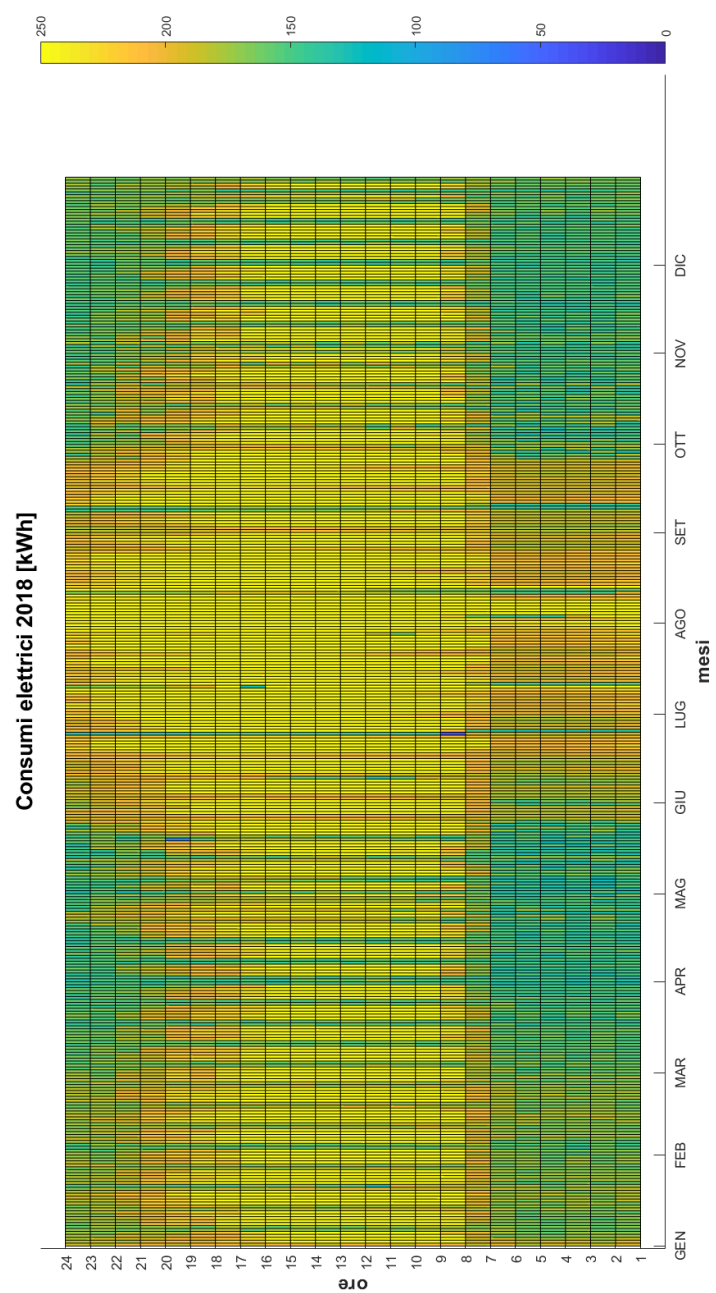


Figura 21: Carpet plot scala dei minimi anno 2018

Dall'analisi dei carpet plot sopra riportati e in modo particolare quelli del 2018, è possibile notare come il consumo di energia elettrica all'interno del presidio ospedaliero Oftalmico non è uniforme durante la giornata e, giorno per giorno, si può osservare un carico notturno che non scende mai sotto una soglia minima di 150 kWh che sono da imputare principalmente all'illuminazione che è attiva anche nelle ore notturne in alcune aree dell'Ospedale.

Analizzando i carpet e suddividendoli per periodi dell'anno, è possibile osservare che il periodo estivo è sicuramente quello più energivoro arrivando a superare i 500 kWh nel mese di agosto, come già detto nelle valutazioni precedenti mentre negli altri periodi il fabbisogno energetico si assesta a livelli inferiori.

Analizzando più in dettaglio il periodo con i consumi maggiori, si osserva che esso va indicativamente da metà maggio a metà settembre e che in esso viene meno la differenza tra i consumi che si rileva negli altri periodi dell'anno dovuta all'alternanza giorno-notte: il consumo elettrico per il raffrescamento dunque non si limita soltanto agli orari di fruizione della struttura ma si protrae anche durante gli orari serali/notturni indicando una cattiva gestione del sistema di raffrescamento dovuto soprattutto agli split che probabilmente rimangono accesi anche in quegli orari.

3.1.4 La ripartizione dei consumi elettrici

La raccolta dati effettuata tramite l'ausilio delle bollette elettriche è utile per la valutazione del fabbisogno elettrico totale del presidio Ospedaliero.

Quest'ultimo può essere valutato facendo alcune ipotesi circa il rendimento riguardante le perdite di conversione nei trasformatori da media a bassa tensione e le perdite di distribuzione lungo la rete e lo si pone pari al 97%.

Dalla valutazione del fabbisogno elettrico della struttura è possibile effettuarne la disaggregazione ossia il processo di suddivisione del consumo effettivo di un sistema edificio-impianto nei suoi componenti. Il dettaglio e l'accuratezza con cui viene svolta la disaggregazione dipende principalmente dalla complessità dell'edificio e dalla disponibilità dei dati.

La ripartizione dei consumi elettrici ha come obbiettivo quello di indentificare le principali fonti di consumo dell'energia e individuare quali potrebbero essere le aree più promettenti per un intervento di efficientamento nella valutazione dei potenziali risparmi energetici.

Per effettuare l'analisi sono stati seguiti due approcci: bottom-up e top-down a seconda dei dati a disposizione. Il metodo bottom-up è applicabile quando si conoscono in dettaglio le caratteristiche degli impianti che si intendono studiare. Si è deciso di applicare questo metodo quando erano note le potenze installate e, effettuando delle ipotesi coerenti circa la potenza assorbita e le modalità di funzionamento, è stato possibile calcolarne il consumo. Per far questo sono state stimate, dopo colloquio con personale tecnico, le ore equivalenti di funzionamento del macchinario e le sue caratteristiche di funzionamento in modo tale da costruire uno scenario quanto più possibile accurato.

L'approccio top-down invece è applicato laddove vi siano caratteristiche tecniche incomplete e poco precise: si è cercata dunque una correlazione tra consumi e altre variabili come ad esempio la temperatura e, effettuando supposizioni di diverso tipo, si arriva a disaggregare i consumi nei diversi usi.

3.1.4.1 Consumi elettrici per il condizionamento

La valutazione dei consumi elettrici per il condizionamento durante il periodo estivo è stata analizzando utilizzando entrambi gli approcci avendo a disposizione sia i dati di targa delle macchine frigo e la stima delle ore equivalenti di utilizzo sia i consumi elettrici giornalieri.

Con il primo approccio chiamato metodo Bottom-up, sono noti i dati di targa dei gruppi frigo che servono il presidio ospedaliero, sono stati calcolati i consumi su base annuale ipotizzando sia la modalità di funzionamento che le ore equivalenti.

A seguito di colloqui con il personale tecnico responsabile, è possibile affermare che i gruppi frigoriferi sono accessi mediamente da metà aprile a metà ottobre. Un'ipotesi realistica circa il loro funzionamento è considerare 10 ore al giorno durante tutti i giorni del periodo preso in considerazione. La potenza elettrica assorbita dai gruppi frigo la si pone pari al 30%, valore assorbito a partire dalla curva tipica dei gruppi frigoriferi caratterizzata cioè da un assorbimento iniziale seguito poi da una decrescita

esponenziale.¹² La somma dell'energia assorbita dai gruppi frigo e dagli split, rapportata al consumo elettrico da bolletta dà una stima della percentuale di incidenza della quota di condizionamento sul totale.

I risolutati ottenuti sono riportati nella tabella 3.5.

Gruppi Frigo	EER	P. Frigo [kW]	P. installata [kW]	P. assorbita[kW]	ore equivalenti [h]	En. elettrica consumata [kWh]
Trane RTC170R13	2,81	583	208	62,4	1220	76.128
Trane RTC170R13	2,81	568	204	61,2	1220	74.664
Tecnair OHA101 A-L	3,8	35	9,2	2,76	1220	3.367,2
Tecnair OHA101 A-L	3,8	35	9,2	2,76	1220	3.367,2
Tecnair OHA101 A-L	3,8	35	9,2	2,76	1220	3.367,2
Tecnair OHA101 A-L	3,8	35	9,2	2,76	1220	3.367,2
Airwell CLSA 202	3	54,1	18,2	5,46	1220	6.661,2
LG ARUN202LT3	2,39	56	23,4	7,02	1220	8.564,4
LG ARUN202LT3	2,39	56	23,4	7,02	1220	8.564,4
						totale 188.050,8

Tabella 3.5: Consumi energia elettrica gruppi frigo

Nel Presidio ospedaliero sono anche presenti delle unità mono-split utilizzate per il raffrescamento degli ambienti durante il periodo estivo, Per la valutazione del consumo elettrico da parte delle unità esterne si è considerato un tempo di accensione pari ad 8 ore al giorno per tutti i giorni della stagione estiva, A partire dalla potenza elettrica installata, si è considerato un rendimento elettrico di assorbimento pari al 97% per valutare la potenza assorbita.

Nella tabella 3.6 si riporta il consumo annuale degli split installati.

¹² Masoero M., Toniolo J., "Il monitoraggio continuo degli impianti HVAC: il progetto iSERV cmb". 2012

Modello	Gas	Zona	BTU	Potenza elettrica [kW]	Pot. Assorbita [kW]	Ore equivalenti	Energia consumata [kWh/anno]
Electra	R410 A	Ipovisione	12000	1,1	1,067	732	781,044
Electra	R410 A	Ipovisione	12000	1,1	1,067	732	781,044
Electra	R410 A	Ipovisione	12000	1,1	1,067	732	781,044
Electra	R410 A	Ipovisione	12000	1,1	1,067	732	781,044
Electra	R410 A	CUP	12000	1,1	1,067	732	781,044
Electra	R410 A	CUP	9000	0,9	0,873	732	639,036
Electra	R410 A	CUP	9000	0,9	0,873	732	639,036
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3	2,231	732	1.633,092
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3	2,231	732	1.633,092
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3	2,231	732	1.633,092
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3	2,231	732	1.633,092
Airwell	R22	Radiologia	24000	2,3	2,231	732	1.633,092
Haier	R410 A	Radiologia	24000	2,3	2,231	732	1.633,092
Electra	R410 A	Portineria	9000	0,9	0,873	732	639,036
Hisense	R410 A	Ortottica	12000	1,1	1,067	732	781,044

Hisense	R410 A	Ortottica	12000	1,1	1,067	732	781,044
Samsun g	R410 A	Sala E blocco op,	12000	1,1	1,067	732	781,044
Daikin	R410 A	Sterilizzaz ione blocco op,	18000	1,6	1,552	732	1.136,064
Airwell	R410 A	Medico Competen te	12000	1,1	1,067	732	781,044
Airwell	R410 A	Medico Competen te	12000	1,1	1,067	732	781,044
Airwell	R410 A	Medico Competen te	12000	1,1	1,067	732	781,044
Airwell	R410 A	Medico Competen te	12000	1,1	1,067	732	781,044
Airwell	R410 A	Medico Competen te	12000	1,1	1,067	732	781,044
Electra	R410 A	Ufficio Tecnico	12000	1,6	1,552	732	1.136,064
Haier	R410 A	Ufficio Tecnico	12000	1,6	1,552	732	1.136,064
Haier	R410 A	Ufficio Tecnico	12000	1,6	1,552	732	1.136,064

Beghelli	R22	Ufficio Tecnico	12000	1,6	1,552	732	1.136,064
Baltur	R22	Ufficio Tecnico	12000	1,6	1,552	732	1.136,064
Airwell	R22	Ufficio Tecnico	18000	2,5	2,425	732	1.136,064
Emerson	R22	Mensa	12000	1,1	1,067	732	781,044
Emerson	R22	Mensa	12000	1,1	1,067	732	781,044
Airwell	R22	Cabina elettrica	18000	1,6	1,552	732	1.136,064
Toshiba	R410 A	Cabina Telefonica	12000	1,1	1,067	732	781,044
							Totale 33.300,88

Tabella 3.6: Consumi energia elettrica split

Analizzando adesso il secondo approccio, il Metodo Top-Down, si è valutato l'andamento del consumo elettrico confrontato con la temperatura media esterna.

Come è possibile notare dalla figura in cui si analizzano gli anni 2017 e 2018 in quanto completi nei dati giornalieri, il consumo di energia elettrica è strettamente legato alla temperatura esterna e man mano che essa si alza, anche il consumo subisce un aumento quindi i consumi più elevati si registrano durante il periodo di condizionamento della struttura. Questo aumento si registra per temperature superiori ai 17°C in quanto al di sotto esso rimane pressoché costante e questo è imputabile al carico per il condizionamento come mostrato in figura 22.

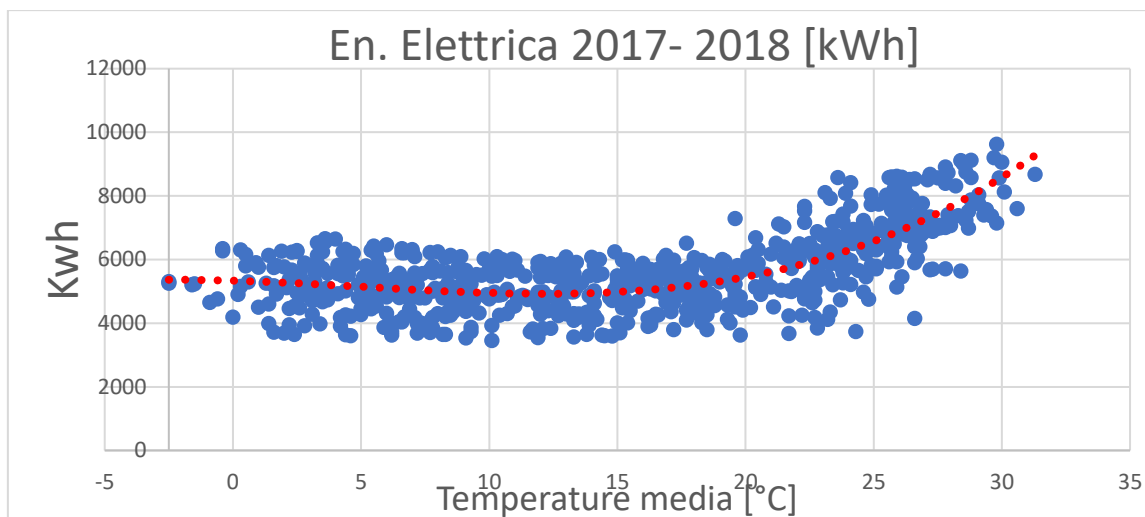


Figura 22: Consumi elettrici giornalieri anni 2017-2018 ordinari in base alla temperatura crescente.

Si è quindi passato a valutare il consumo elettrico standard come media dei consumi giornalieri quando la temperatura è inferiore ai 17°C in quanto si reputa che al di sotto di questa il condizionamento non è attivo. Al fine di valutare il consumo elettrico per il solo condizionamento si è sottratta tale quota nei giorni in cui il consumo è superiore al valor medio trovato nel periodo in cui la temperatura è maggiore dei 17°C. Nella figura 23 e 24 si riportano i consumi elettrici del 2017 e 2018 evidenziando la parte relativa al condizionamento estivo.

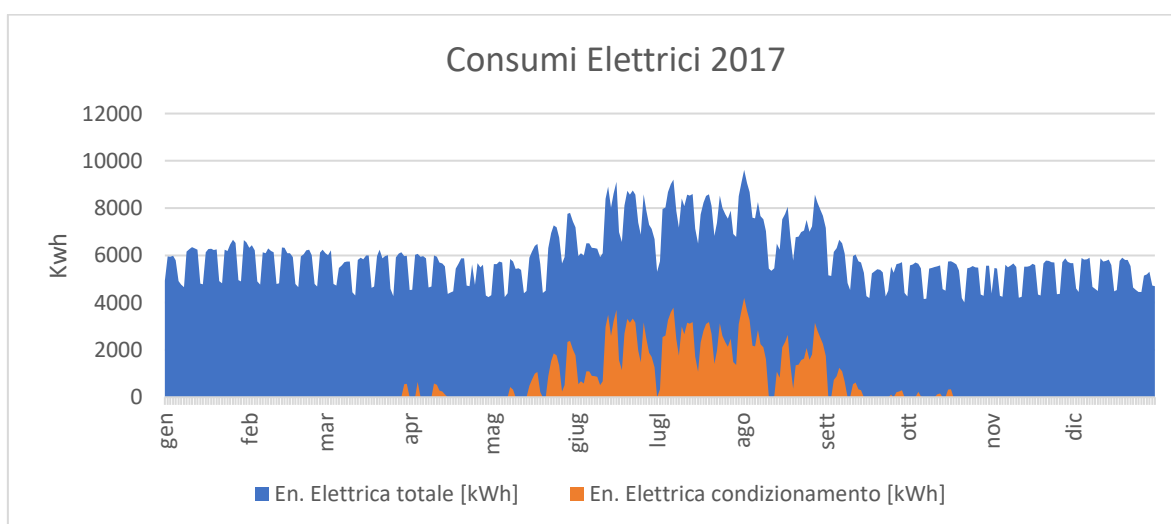


Figura 23: Consumi elettrici anno 2017: si evidenzia in arancione la parte attribuita alla climatizzazione.

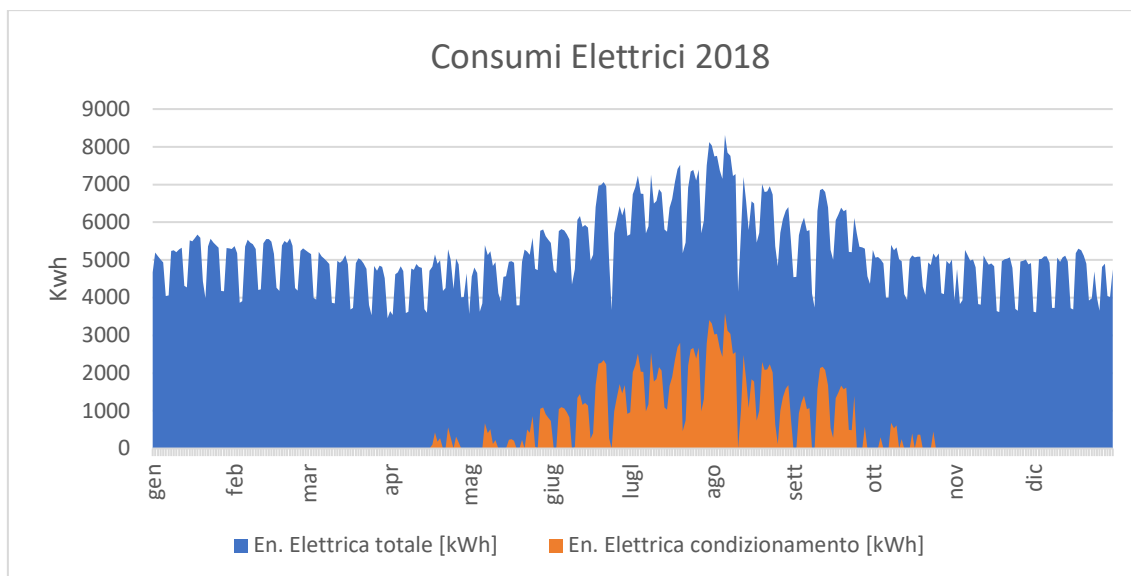


Figura 24: Consumi elettrici anno 2018: si evidenzia in arancione la parte attribuita alla climatizzazione

Si riassumono in tabella 3.7 i risultati ottenuti.

Energia elettrica per condizionamento: Metodo Top-Down			
anno	En. Tot [kWh]	En. Condizionamento [kWh]	Quota Condizionamento [%]
2017	2.187.350,44	226.137,14	10,34
2018	1.902.177,29	192.501,32	10,12
Energia elettrica per condizionamento: Metodo Bottom-Up			
Energia elettrica gruppi frigo e split [kWh]		Quota condizionamento [%]	
221.351,68		10,83	

Tabella 3.7: consumi elettrici per il condizionamento

È possibile notare che, nel caso del condizionamento, sia il metodo top-down che bottom up restituiscono circa lo stesso risultato, indice che entrambi gli approcci sono corretti.

3.1.4.2 Fabbisogno delle unità di trattamento aria

Il consumo elettrico delle unità di trattamento aria che servono il Presidio ospedaliero è stato valutato a partire dei dati di targa presenti a bordo macchina da cui è stato possibile ricavare la potenza assorbita dai ventilatori o tramite scheda tecnica fornita dal costruttore.

Per alcuni macchinari vetusti invece la potenza è stata stimata a partire dai dati sulla portata d'aria trattata.

La potenza assorbita è stata valutata pari al 60% della potenza installata. Per quanto concerne la valutazione delle ore equivalenti, da colloquio con il personale tecnico è emerso che le UTA sono attive per tutte le 24 ore della giornata.

Nella tabella 3.8 seguente i risultati ottenuti.

UTA	Zona servita	Potenza installata [kW]	Potenza assorbita [kW]	Ore equivalenti [h]	Consumo annuo [kWh/anno]
UTA 1	Comparto Operatorio Vannini	15	9	8760	78.840,00
UTA 2	Sala operatoria E-D	1,2	0,72	8760	6.307,20
UTA 3	Sala operatoria E-D	1,2	0,72	8760	6.307,20
UTA 4	Sala operatoria E-D	1,2	0,72	8760	6.307,20
UTA 5	Direzione Sanitaria	4	2,4	8760	21.024,00
UTA 6	CAVS	4,6	2,76	8760	24.177,60
UTA 7	Reparto glaucomi	4,6	2,76	8760	24.177,60
UTA 8	Clinica universitaria	4,6	2,76	8760	24.177,60

UTA 9	Laboratorio Analisi	4,2	2,52	8760	22.075,20
UTA 10	Cardiologia	5,2	3,12	8760	27.331,20
UTA 11	ortottica				27.331,2
UTA 11	Radiologia	3,3	1,98	8760	17.344,80
UTA 12	Ambulatori clinica Univ.	8,5	5,1	8760	44.676,00
UTA 13	Pronto Soccorso	4	2,4	8760	21.024,00
					Totale 351.100,80

Tabella 3. 8: Consumi elettrici per le unità di trattamento aria

3.1.4.3 Fabbisogno elettrico per l'illuminazione

Il presidio Ospedaliero Oftalmico presenta un sistema di illuminazione caratterizzato in prevalenza da lampade a fluorescenza e pochi corpi illuminanti a led: ci si aspetta quindi che il consumo elettrico per soddisfare tale fabbisogno sia particolarmente elevato.

La valutazione della potenza elettrica e quindi dell'energia consumata per l'illuminazione si effettua attraverso la conoscenza delle ore di utilizzo di questi apparecchi, dato che si è potuto stimare a partire dalla fruizione della struttura e dall'orario di apertura dei vari reparti che compongono il presidio ospedaliero.

Per rendere più realistico la valutazione dell'energia annua consumata per la sola illuminazione sono stati inoltre stimati attraverso colloquio con tecnici e per ispezione visiva degli appropriati fattori di contemporaneità pari al rapporto tra il numero totale di corpi illuminanti installati e quelli accesi.

Si è inoltre considerato il consumo del reattore nelle lampade a fluorescenza pari al 10% della potenza installata.

Nella Tabella 3.9 sono riportati i risultati ottenuti:

Quinto piano- Direzione sanitaria					
Tipo lampada	Locale	Quantità	Potenza tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
Faretti Alogeni	Uffici	14	2800	2277	5.171,32
Faretti Alogeni	Corridoio	10	2000	2277	3.693,80
	Altro	39	2930	2777	3.409,93
Quarto piano-Medico competente					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	Potenza tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
4x18 lamellari incasso	Corridoio	15	1188	2024	2.404,51
2x58W	Studi medici	18	2000	2024	3.718,98
4x18 lamellari incasso	Sala visita	18	1425,6	2777	2.308,33
	altro	11	712,8	2777	1.057,99
Quarto piano-Spogliatoi					
2x36	corridoio	7	554,4	2777	1.154,17
2x36	vani tecnici	24	1900,8	2777	1.250,35
Terzo piano- Diagnostica per immagini					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P,tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]

4x18 lamellari incasso	Corridoio	25	1980	2024	4.007,52
4x18 lamellari incasso	Attesa	8	633,6	2024	1.282,41
4x18 lamellari incasso	Sala visita	6	475,2	2024	769,44
2x18	bagni	4	158,4	2024	160,30
	altro	17	1346,4	2024	2.180,09
Terzo piano- Ambulatori					
4x18 lamellari incasso	Corridoio	21	1663,2	8760	9.726,39
4x18 lamellari incasso	Sala visita	10	792	2024	1,282,41
4x18 lamellari incasso	Sala attesa	6	475,2	2024	769,44
2x36	bagni	13	1029,6	2024	601,13
	altro	15	594	2024	1.667,13
Terzo piano- Gruppo operatorio					
		124	20.039,00	3542	56.782,51
Secondo Piano - CAVS					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]

4x18 lamellari incasso	Corridoio	10	792	8760	6,937,92
4x18 lamellari incasso	Degenza	39	3088,8	8760	19,842,45
4x18 lamellari incasso	ufficio caposala	4	316,8	8760	647,54
4x18 lamellari incasso	Sala visita	4	316,8	8760	2.035,12
4x18 lamellari incasso	bagni	16	1584	8760	8.140,49
Secondo piano- Ambulatori					
4x18 lamellari incasso	Corridoio	16	1267,2	8760	2.244,21
4x18 lamellari incasso	Sala visita	21	1663,2	2024	2.693,5
4x18 lamellari incasso	Sala attesa	10	792	2024	1.282,41
2x36	bagni	16	792	2024	961,80
Secondo piano-Day Hospital					
4x18 lamellari incasso	Corridoio	33	2613,6	3289	8.596,13

4x18 lamellari incasso	degenza	22	1742,4	3289	4.584,60
4x18 lamellari incasso	Sala visita	2	158,4	3289	416,78
	altro	8	633,6	3289	1.667,13
Secondo piano-Chiesa					
		28	4900	3285	14.486,85
Piano secondo e primo ammezzato					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P,tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
2x36	Corridoio	4	316,8	2530	801,50
	Uffici	24	2288	2530	4.630,91
	locale tecnico	8	633,6	2530	320,60
	Spogliatoio	22	1742,4	8760	6.105,37
Piano Primo-Ortottica					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P,tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
4x18 lamellari incasso	Corridoio	19	1504,8	2024	3.045,72
4x18 lamellari incasso	Ambulatorio	31	2455,2	2024	3.975,46

4x18 lamellari incasso	Ufficio	4	316,8	2024	512,96
4x18 lamellari incasso	Altro	7	554,4	2024	897,68
4x18 lamellari incasso	bagno	8	633,6	2024	512,96
Primo piano -clinica oculistica					
2x36	corridoio	23	1821,6	8760	15.957,22
2x36	degenza	36	2851,2	8760	19.981,21
	attesa	5	401,5	8760	2.344,76
	bagni	22	871,2	8760	4.070,25
Primo piano -cardiologia					
Applique	Corridoio	9	1207,8	8760	10.580,33
Faretti incasso	Corridoio	14	800,8	8760	7.015,01
Faretti	Corridoio	3	237,6	8760	2.081,38
4x18 lamellare	Corridoio	7	539	8760	4.721,64
faretti 2x26	Sala visita	45	3168	2024	5.129,63
faretti 2x32	Sala attesa	9	514,8	2024	1.041,96
faretti 2x32	bagni	15	1386	2024	1.402,63
Primo piano -Malattie metaboliche					

2x55 incasso parabola	Corridoio	16	1207,8	2024	3.134,77
4x18 lamellari incasso	sala visita	9	800,8	2024	1.154,17
4x18 lamellari incasso	altro	30	237,6	2024	3.900,65
Piano Terra-Clinica universitaria					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P,tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
applique	Corridoio	20	2420	2024	4,898,08
faretti 2x32	corridoio	15	1056	2024	2,137,34
faretti incasso 2x36	Ambulatori	72	4118,4	2024	8,335,64
faretti incasso 2x36	ufficio	6	343,2	2024	694,64
2x36	altro	32	1830,4	2024	3,704,73
	Aula magna	30	2640	2024	5,343,36
Piano Terra-Pronto soccorso					
4x18 lamellari	corridoio	31	2455,2	8760	21.507,55
2x55	varie	18	2178	8760	19.079,28
Piano Terra-Pronto soccorso					

4x18 lamellari	Attesa	23	1821,6	1771	2.580,84
	Vari	20	1584	1771	2.244,21
Piano Terra-Ingresso					
Led 40W	Ingresso	16	704	8760	6.167,04
Applique	Corridoio	9	1089	8760	9.539,64
Piano Terra-Radiologia					
4x18 lamellare	Corridoio	24	1900,8	2024	3.847,22
	Sala visita	45	4771,8	2024	7.726,50
Piano Terra-Pronto soccorso					
2x55	attesa	19	2299	2024	3.722,54
	sala visita	10	864	2024	1.398,99
	altro	44	3484,8	2024	5.642,59
Locale interrato -Punto prelievi					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P,tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
4x18		94	7,444,8	2024	12.054,62
2x36	locali tecnici	30	2376	8760	961,80
Locali tecnici vari					
	Corridoio	32	2534,4	8760	22.201,34

2x36	locali tecnici	66	4752	8760	8.325,50
	altro	186	3069		2.688,44
Scale					
		26	2059,2	8760	18.038,59

Tabella 3.9: consumi elettrici per illuminazione

Delle 2088 lampade censite dall'ufficio tecnico mancano, nell'elenco sopra riportato, 207 lampade. Per questo motivo si è deciso di considerare una densità di potenza media e, attraverso delle ore equivalenti medie di funzionamento, si è calcolata l'energia media da integrare a quella già calcolata così da avere una stima più accurata.

Il totale è stimato essere 535.759,26 kWh/anno di consumo di energia elettrica per illuminazione.

3.1.4.4 Fabbisogno elettrico Ausiliari centrale Termica

Nella centrale termica sono presenti gli ausiliari che servono a trasportare l'acqua nelle batterie delle UTA, nei circuiti idraulici per il riscaldamento che serve le varie zone del presidio Ospedaliero e gli accumuli di acqua calda sanitaria.

Nella tabella 3.10 è riportato l'elenco degli ausiliari con la rispettiva zona asservita, la potenza e la portata elaborata delle pompe e il corrispettivo consumo energetico.

Per il calcolo della potenza elettrica assorbita dalle pompe si utilizza un rendimento del 96%.

Pompa	Zona asservita	Potenza[kW]	Portata[mc/h]	ore di funz, [h]	Energia [kWh]
EP1	Circuito ACS	0,8	20	8760	6.727,68
EP2	UTA piani primo a quinto	2,2	60	8760	18.501,12
EP3	Riscaldamento lato Via Juvarra	5,5	100	1510	7.972,8
EP4	UTA sale operatorie	1,55	30	8760	13.034,88
EP5	Riscaldamento lato via Passalacqua	5,5	100	1510	7.972,8
Ep6	UTA piano terra	3	44	8760	25.228,8
Ep7	Riscaldamento lato via Manzoni	5,5	100	1510	79.72,8
EP9	collettori centrale idrica	0,6	5	8760	50.45,76
EP10	Accumuli ACS	0,4	10	8760	3.363,84
EP11	Accumuli ACS	0,4	10	8760	3.363,84
EP12	Acqua refrigerata	2,2	50	-	19.272
				TOTALE	118.456,32

Tabella 3.10:consumi elettrici ausiliari della centrale termica.

3.1.4.5 Apparecchi elettromedicali

Si definiscono apparecchi elettromedicali secondo la norma CEI 62-5¹³, un sottoinsieme dei Dispositivi Medici che, in accordo a quanto definito dalla Direttiva 93/42/CEE, rispondono alla seguente definizione: “*dispositivo medico munito di non più di una connessione ad una particolare sorgente di alimentazione destinato alla diagnosi, al trattamento o alla sorveglianza del paziente e che entra in contatto fisico o elettrico col paziente e/o trasferisce energia verso o dal paziente e/o rileva un determinato trasferimento di energia verso o dal paziente, Il dispositivo comprende anche quegli*

¹³ Apparecchi elettromedicali Parte 1: Prescrizioni generali relative alla sicurezza fondamentale e alle prestazioni essenziali

accessori, definiti dal costruttore, che sono necessari per permettere l'uso normale del dispositivo”.

A seguito di un colloquio con i responsabili del settore Ingegneria Clinica presente nel presidio Ospedaliero, è stato possibile reperire un elenco di tutti i dispositivi elettromedicali utilizzati all'interno dell'Ospedale Oftalmico. Tuttavia, considerando il fatto che il Presidio è indirizzato soprattutto alla cura di disturbi legati all'occhio, la maggior parte degli apparecchi presenti nel presidio sono caratterizzati da basse potenze installate e, unitamente al fatto che il loro utilizzo è molto limitato nel tempo, l'incidenza sul consumo elettrico è trascurabile. Ciononostante, sono stati selezionati alcuni apparecchi elettromedicali particolarmente energivori che si ipotizza possano avere un'incidenza nel consumo di energia elettrica. Tra questi possiamo sicuramente annoverare le TAC, le macchine sterilizzatrici e i frigoriferi biologici.

Nella tabella 3.11 sono riportati l'elenco degli apparecchi scelti con le rispettive potenze. La stima del consumo energetico è stata possibile considerando il numero di esami effettuati con tali apparecchi, ricavati dai dati sulle prestazioni ambulatoriali, relativi al 2017, forniti dalla direzione sanitaria.

Apparecchio	Ubicazione	Quantità	Ore equivalenti	Potenza elemento [kW]	Potenza totale [kW]	Consumo [kWh/anno]
Autoclave	Sale operatorie	3	2860	17	51	145.860
Autoclave	Sale operatorie	1	2992	4,2	4,2	12.566,4
Generatore alta tensione (TAC)	Radiologia	1	139,35	100	100	13.935
Generatore alta tensione (TAC)	Radiologia	2	96,96	65	130	12.569,9
Congelatori da laboratorio	Servizio di laboratorio analisi	5	8760	0,45	2,25	19.710

Frigorifero Biologico	Servizio di laboratorio analisi	8	8760	0,22	1,76	15.417,6
					totale	220.058,9

Tabella 3. 11: Consumi elettrici degli apparecchi elettromedicali più energivori

3.1.4.6 Ripartizione dei consumi elettrici

Dalla stima dei consumi elettrici del presidio ospedaliero, è possibile valutare come l'energia elettrica si ripartisce tra i vari usi all'interno dell'Oftalmico come mostrato in figura 25.

Si è deciso, per ottenere l'incidenza sui consumi totali, di considerarlo come media dei consumi elettrici degli ultimi due anni perché completi.

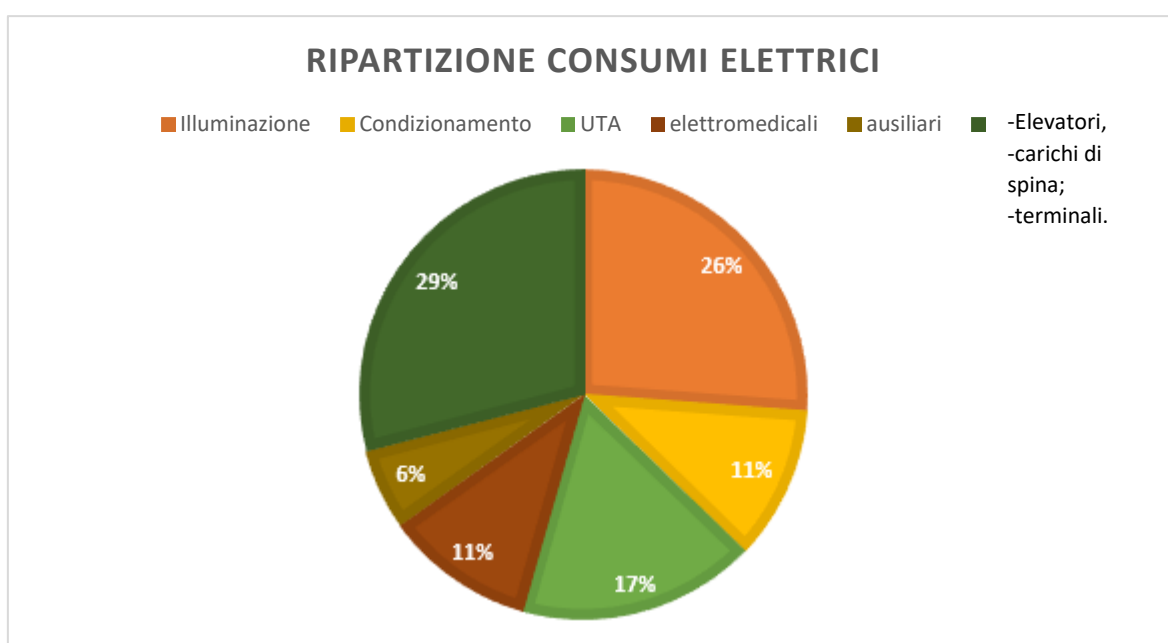


Figura 25: Ripartizione dei consumi elettrici nel presidio ospedaliero.

3.2 Energia termica

L'analisi dei consumi termici del Presidio ospedaliero ha come obiettivo quello di valutare l'utilizzo di questo vettore energetico all'interno della struttura.

È possibile affermare che l'energia termica nel Presidio viene utilizzata principalmente per il riscaldamento nel periodo invernale attraverso l'alimentazione dei radiatori e le batterie di riscaldamento delle UTA e per la produzione di acqua calda sanitaria durante tutto l'anno. Come nel caso dell'analisi dei consumi elettrici si è proceduto con la raccolta e l'analisi delle bollette.

3.2.1 Raccolta delle bollette

Al fine di valutare i consumi termici del presidio Ospedaliero Oftalmico, sono state analizzate le bollette del triennio 2016-2017-2018 riguardanti la fornitura del gas naturale utilizzato nella struttura.

Al fine di analizzare al meglio i dati raccolti, si è cercata una correlazione con le temperature medie mensili registrate dall'ARPA presso la stazione meteorologica "Torino Via della Consolata" che risulta essere quella più vicina al presidio ospedaliero, come fatto nel caso dell'analisi delle bollette elettriche. Nelle tabelle 3.12, 3.13 e 3.14 sono riportati i dati ottenuti dall'analisi delle bollette.

In esse è contenuto il consumo mensile, valutato in Sm^3 , la spesa, comprensiva d'iva mese per mese e la temperatura media mensile registrata dalla stazione meteorologica presa come riferimento.

CONSUMI OFTALMICO ANNO 2016 -GAS			
T. media [°C]	Periodo	Consumi [Sm^3]	spesa [€] (IVA esclusa)
5,10	gen	63.350,00	23.819,55
7,20	feb	52.460,00	18.410,65
10,00	mar	50.177,00	17.066,33
14,90	apr	21.213,00	5.885,06
17,10	mag	18.851,00	5.061,78
22,00	giu	13.310,00	3.335,14
25,50	lug	4.368,00	1.205,16
24,70	ago	5.939,00	1.604,07
22,00	set	10.766,00	2.829,77
13,50	ott	34.357,00	9.391,87
8,90	nov	51.391,00	13.999,81
5,50	dic	68.842,00	18.721,69
TOTALE 2016		395.024,00	121.330,88

Tabella 3.12: Consumi di gas naturale anno 2016. Sono inoltre riportate le spese e la temperatura mensile

CONSUMI OFTALMICO ANNO 2017 - GAS			
Tmedia(°C)	Periodo	Consumi [Sm^3]	spesa [€] (IVA esclusa)
2,90	gen	76.771,00	27.616,24
6,90	feb	53.144,00	26.132,69
12,90	Mar	41.143,00	11.448,12
15,10	Apr	25.536,00	7.173,06
19,40	mag	19.829,00	5.176,98
24,90	giu	3.939,00	-
25,60	lug	5.939,00	3.432,15
25,70	ago	2.742,00	1.635,43
19,00	set	6.104,00	3.524,87
15,80	ott	16.640,00	6.005,33
8,70	nov	59.904,00	14.082,03
3,10	dic	67.731,00	19.748,19
TOTALE 2017		375.483,00	125.975,09

Tabella 3.13: Consumi di gas naturale anno 2017. Sono inoltre riportate le spese e la temperatura mensile

CONSUMI OFTALMICO ANNO 2018 - GAS			
Tmedia(°C)	Periodo	Consumi [Sm^3]	spesa [€] (IVA esclusa)
6,50	gen	53.715,00	28.867,51
4,00	feb	57.580,00	29.398,14
7,90	Mar	48.355,00	19.899,26
16,20	Apr	18.105,00	6.635,36
18,50	mag	9.578,00	3.604,50
23,70	giu	5.947,00	2.280,79
26,00	lug	3.680,00	-
25,90	ago	2.770,00	-
21,70	set	4.936,00	-
15,70	ott	14.176,00	-
9,70	nov	32.094,00	-
4,90	dic	44.481,00	-
TOTALE 2018		294.877,00	-

Tabella 3.14: Consumi di gas naturale anno 2018. Sono inoltre riportate le spese e la temperatura mensile

Si è quindi proceduto a confrontare l'andamento del consumo con la temperatura media mensile per verificarne la correlazione come riportato in figura 26, 27 e 28 per gli anni 2016, 2017 e 2018 rispettivamente.

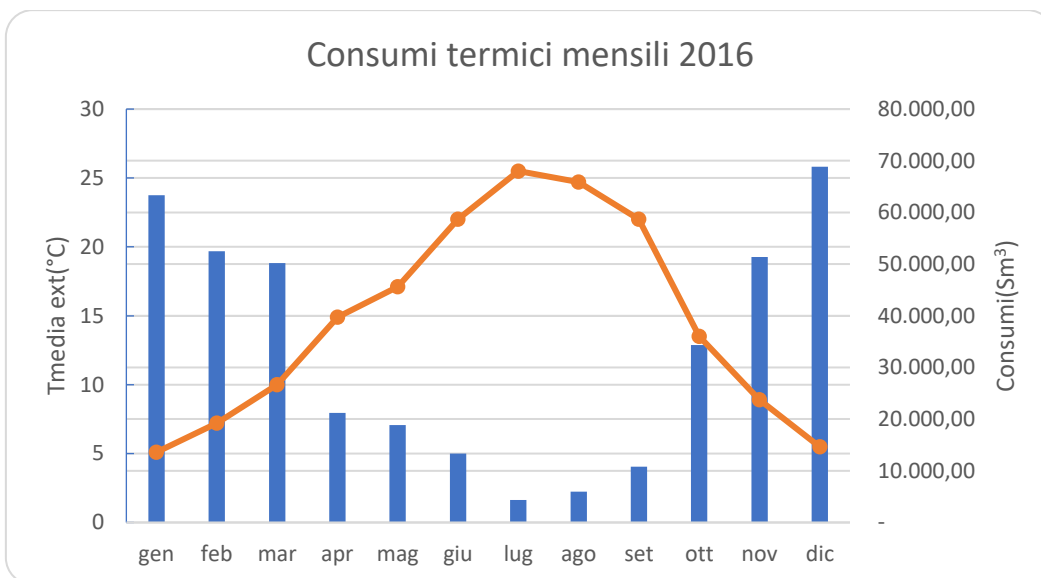


Figura 26: consumi di gas naturale anno 2016 in funzione della temperatura mensile.

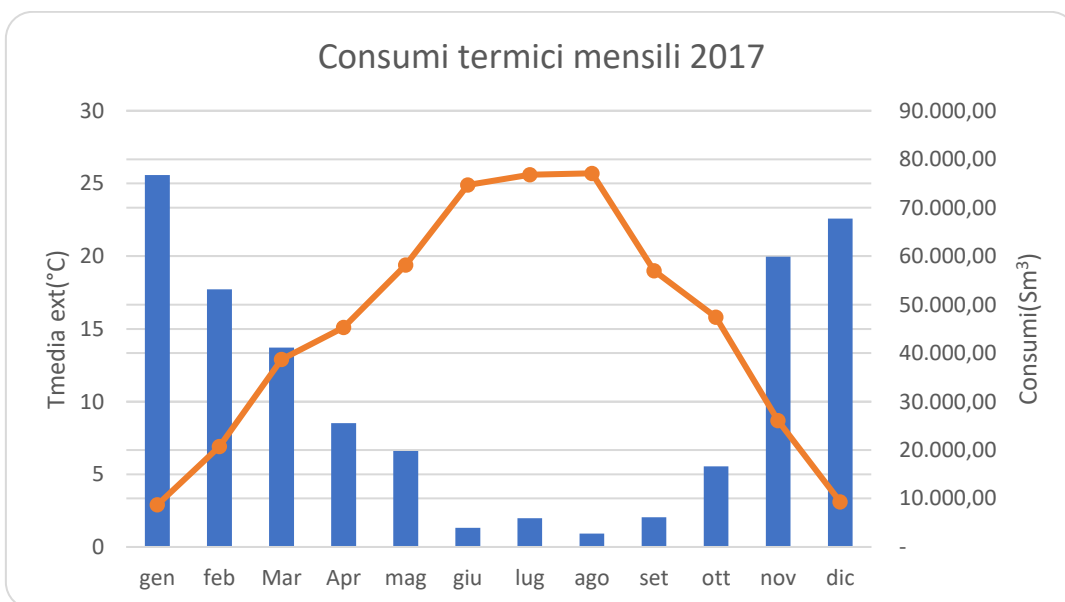


Figura 27: consumi di gas naturale anno 2017 in funzione della temperatura mensile.

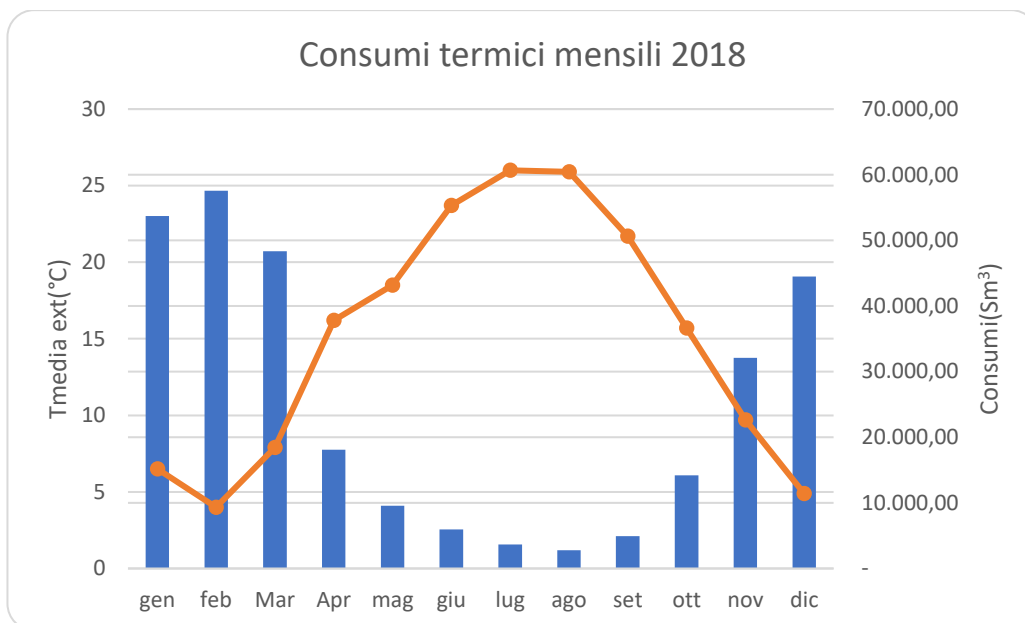


Figura 28: consumi di gas naturale anno 2018 in funzione della temperatura mensile.

Analizzando i consumi di gas naturale del Presidio ospedaliero è possibile vedere come questi dipendano dal valore assunto dalla temperatura esterna. Si può osservare che, man mano che la temperatura aumenta il consumo di gas diminuisce raggiungendo il minimo quanto è finita la stagione di riscaldamento: in questo periodo il consumo può essere imputato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e per le batterie di post riscaldamento delle unità di trattamento aria.

3.2.2 Fabbisogno termico totale

A partire dai dati fatturati nelle bollette in Sm^3 per il gas metano è possibile valutare il fabbisogno termico della struttura attraverso la conversione in kWh. Per farlo si è utilizzato il valore di potere calorifero inferiore pari a $9,59 \text{ kWh/Sm}^3$ e si è inoltre moltiplicato per 0,85, valor medio del rendimento di caldaia.

Nella tabella 3.15 e 3.16 e in figura 29 ,30 e 31 si riportano i dati ottenuti.

Fabbisogno Termico 2016		
T.media(°C)	Periodo	Effetto utile [kWh]
5,10	gen	516.397,53
7,20	feb	427.627,69
10,00	mar	409.017,82
14,90	apr	172.917,77
17,10	mag	153.663,93
22,00	giu	108.496,47
25,50	lug	35.605,75
24,70	ago	48.411,76
22,00	set	87.759,05
13,50	ott	280.061,09
8,90	nov	418.913,74
5,50	dic	561.165,56
TOTALE 2016		3.220.038,14

Tabella 3.15: fabbisogno termico mensile anno 2016

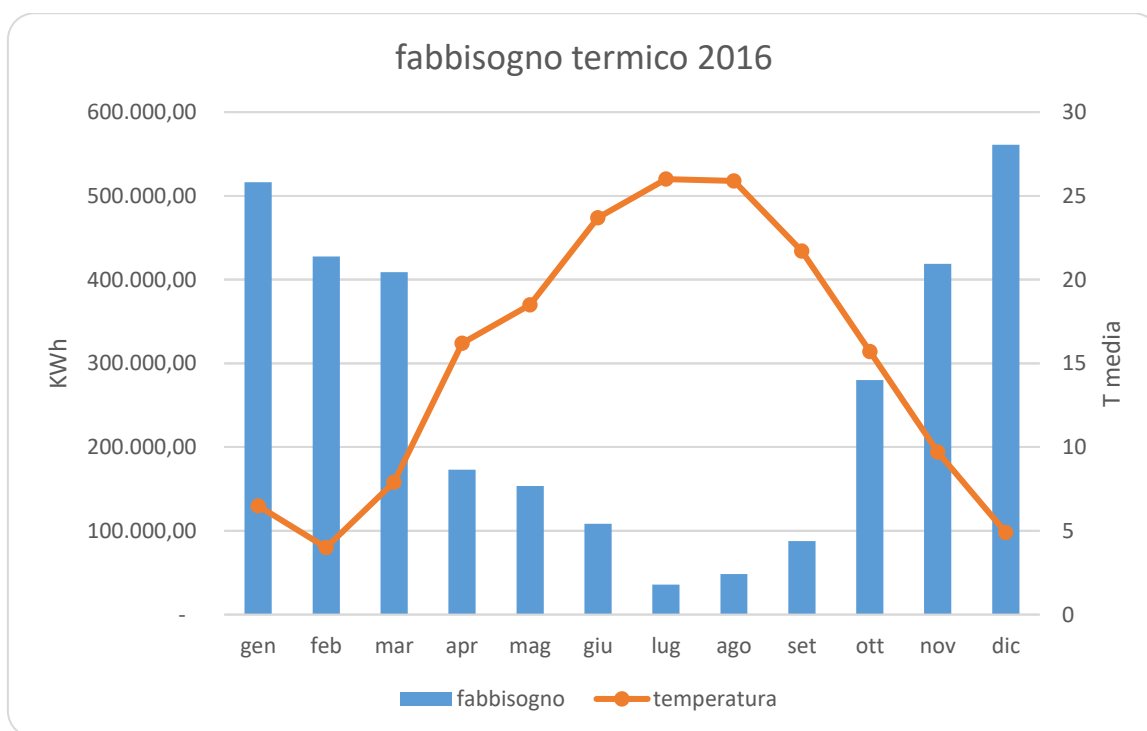


Figura 29: Fabbisogno termico in funzione della temperatura mensile, anno 2016

Fabbisogno termico 2017		
T.media(°C)	Periodo	Effetto utile [kWh]
2,90	gen	625.798,81
6,90	feb	433.203,32
12,90	mar	335.377,16
15,10	apr	208.156,70
19,40	mag	161.636,09
24,90	giu	85.590,75
25,60	lug	48.411,76
25,70	ago	22.351,41
19,00	set	49.756,76
15,80	ott	135.640,96
8,70	nov	488.307,46
3,10	dic	552.109,25
TOTALE 2017		3.146.340,42

Tabella 3.16: fabbisogno termico mensile anno 2016

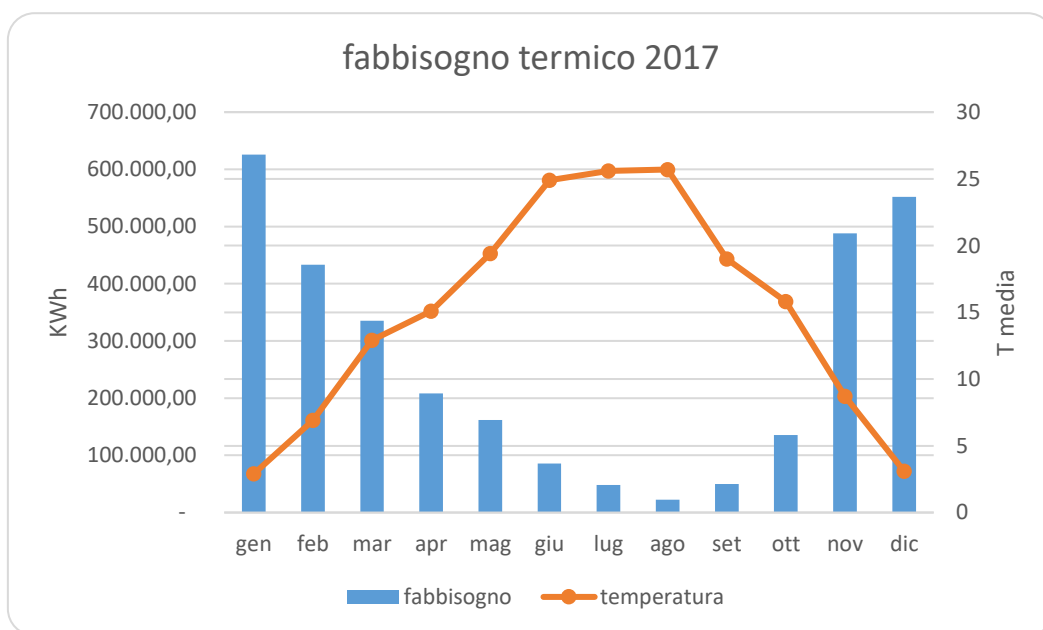


Figura 30: Fabbisogno termico in funzione della temperatura mensile, anno 2017

Fabbisogno termico 2018		
T.media(°C)	Periodo	Effetto utile [kWh]
6,50	gen	437.857,82
4,00	feb	469.363,37
7,90	mar	394.165,78
16,20	apr	147.582,91
18,50	mag	78.075,07
23,70	giu	48.476,97
26,00	lug	26.288,59
25,90	ago	26.288,59
21,70	set	69.548,60
15,70	ott	111.039,73
9,70	nov	264.940,05
4,90	dic	495.203,63
TOTALE 2018		2.568.831,10

Tabella 3.17: fabbisogno termico mensile anno 2018

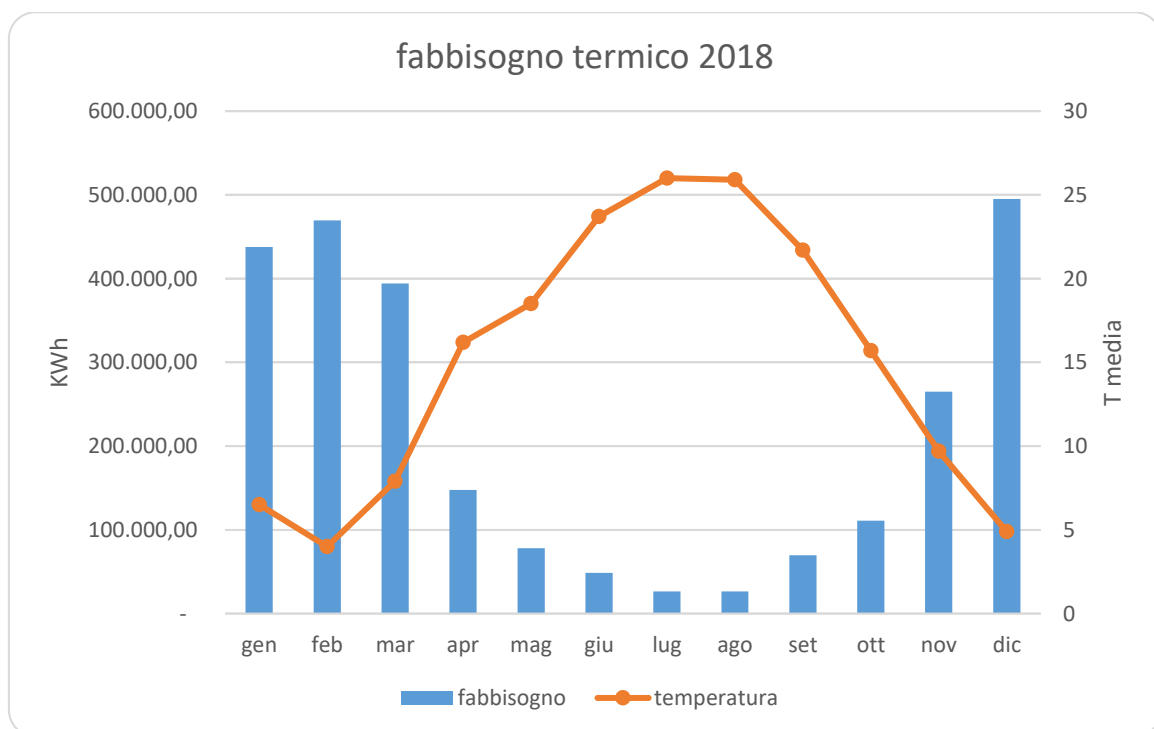


Figura 31: Fabbisogno termico in funzione della temperatura mensile, anno 2018

3.2.2 Consumi giornalieri

Per un'analisi più dettagliata, sono stati richiesti al distributore i dati giornalieri di consumo di gas naturale impiegato nella struttura, al fine di permettere una ripartizione del vettore energetico di cui si mostra l'andamento, in funzione della temperatura, in figura 32.

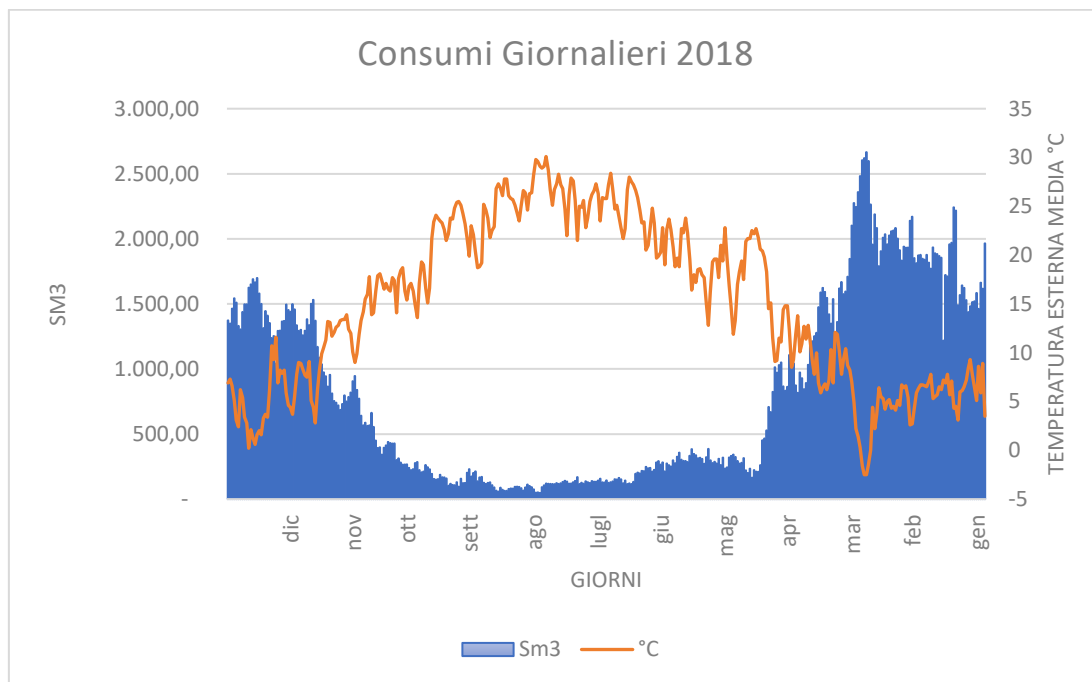


Figura 32: andamento dei consumi giornalieri di gas naturale in funzione della temperatura.

Analizzando l'andamento del consumo giornaliero ottenuto si può affermare che il periodo dell'anno che va da giugno a settembre è quello caratterizzato dai consumi più bassi e dalle temperature più alte possiamo imputare tutto il consumo di gas nella centrale termica alla produzione di acqua calda sanitaria e per le batterie di post-riscaldamento usate dalle unità di trattamento aria.

Per meglio comprendere il fabbisogno termico dell'Ospedale durante tutto l'anno, si è voluto analizzare il consumo di gas naturale in funzione della tipologia del giorno ossia feriale o festivo come mostrato in figura 33.

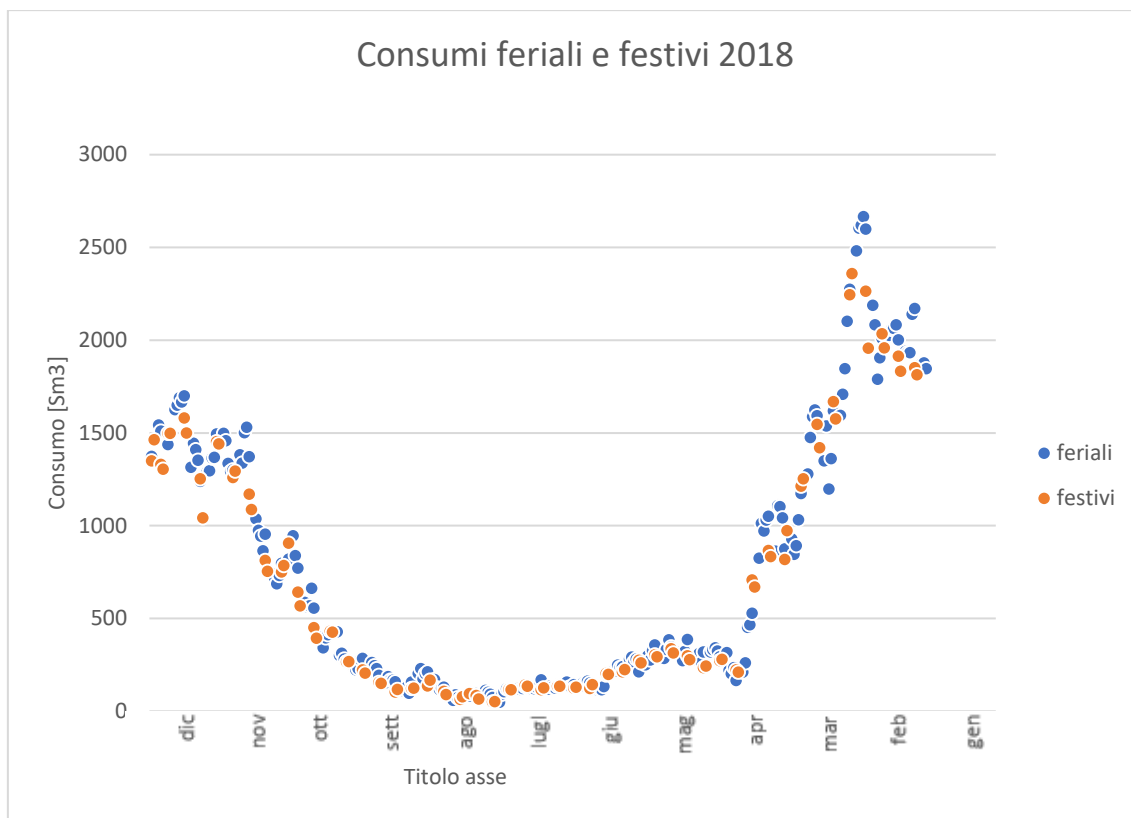


Figura 33: andamento dei consumi giornalieri di gas naturale in funzione della temperatura

È opportuno notare che non vi è una differenza nei consumi in base alla tipologia di giorno come ci si potrebbe aspettare. Dai dati della fruizione della struttura infatti nei giorni festivi molti reparti del presidio sono chiusi e quindi ci si aspetterebbe una netta diminuzione dei consumi ma ciò non accade, sintomo che non vi è una gestione del fabbisogno termico che invece si basa esclusivamente sulla curva climatica.

3.2.3 Ripartizione dei consumi termici

La fase di disaggregazione dei consumi termici, analogamente a quella relativa ai consumi elettrici, consiste nella ripartizione dei consumi del sistema edificio-impianto nei suoi usi finali.

Per ottenerlo si è cercato di stimare un carico base presente in tutto l'anno imputabile sia alla produzione di acqua calda sanitaria, che si prevede sempre necessaria all'interno Presidio sia in estate che in inverno, ma anche per le batterie di post riscaldamento delle UTA funzionanti anch'esse tutto l'anno. La restante parte è possibile attribuirle al riscaldamento della struttura.

In figura 34 riporta la stima effettuata:

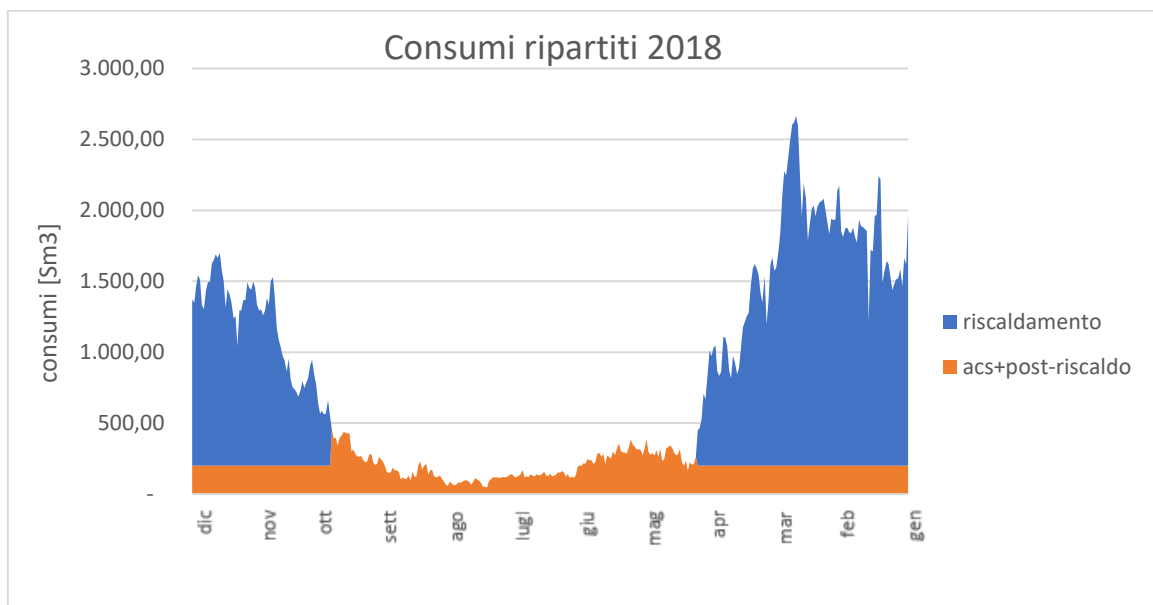


Figura 34: Consumi di gas naturale anno 2018, suddivisi tra riscaldamento e acqua calda sanitaria e post riscaldamento.

È possibile vedere che, mediando i consumi registrati nel periodo in cui il riscaldamento è spento, si ottiene un valor medio di consumo pari a circa 200 Sm3/giorno che si è assunto essere il carico di base per la parte restante dell'anno.

Nel grafico a torta in figura 35, si riporta la ripartizione dei consumi termici differenziati in base agli usi finali.

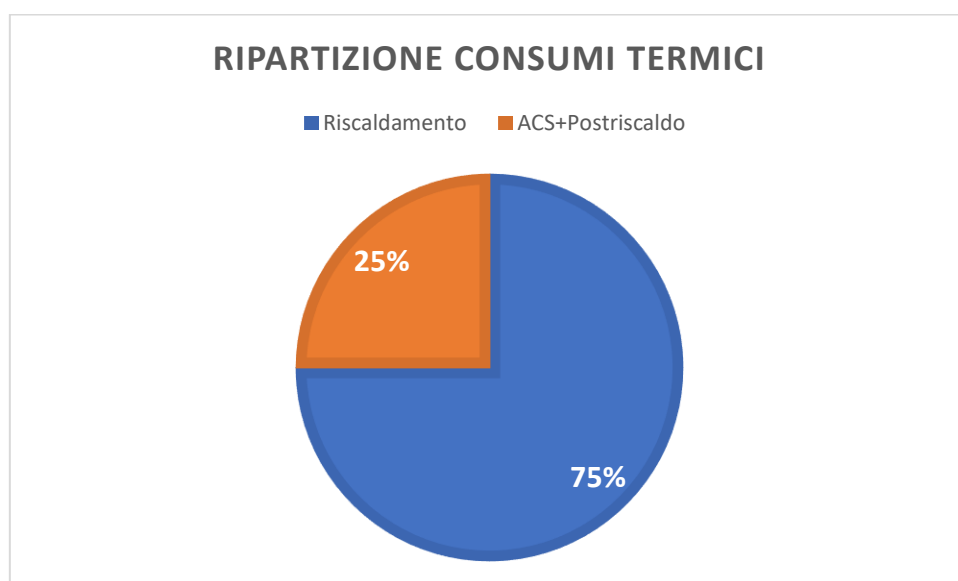


Figura 35: Ripartizione consumi termici nel presidio ospedaliero Oftalmico

Capitolo 4: Proposta di intervento di risparmio energetico: Relamping

Dalla diagnosi energetica effettuata presso il Presidio ospedaliero Oftalmico è emerso che circa il 26% dei consumi energetici di tutta la struttura è imputabile alla sola illuminazione.

Si è quindi pensato di intervenire sull'attuale sistema di illuminazione, costituito da apparecchi fluorescenti, attraverso una sostituzione con sorgenti a led attuando quindi il cosiddetto relamping.

Con il termine relamping infatti, si indica la possibilità di sostituire una lampada tradizionale ormai considerata obsoleta da un punto di vista tecnologico, con lampade led.

Le lampade fluorescenti infatti sono apparecchi luminosi in cui la maggior parte dell'energia da esse consumata per il loro funzionamento si dissipa sotto forma di calore, la durata di vita è limitata e inoltre vi sono elevati costi di manutenzione e smaltimento per le sostanze dannose per l'ambiente in esse contenute come ad esempio mercurio.

L'utilizzo della tecnologia led presenta molti vantaggi:

- è una tecnologia a basso impatto ambientale in quanto non sono presenti al loro interno sostanze pericolose per l'ambiente;
- sono caratterizzati da bassi consumi e quindi la richiesta di energia per soddisfare il fabbisogno per illuminazione diminuisce e ciò comporta una diminuzione della CO_2 emessa in ambiente;
- la riduzione dei consumi energetici comporta un risparmio economico in bolletta;
- la vita utile della lampada è molto elevata se comparata alle tecnologie tradizionali con benefici sulla manutenzione;
- bassi tempi di ritorno dell'investimento.

Per effettuare la sostituzione degli apparecchi fluorescenti con quelli a led, sono state individuate le zone tipo che caratterizzano la struttura ospedaliera e, con l'ausilio del software Dialux, si andranno a verificare i requisiti illuminotecnici dell'ambiente considerato per la corretta progettazione.

Dopo aver valutato il risparmio energetico conseguito e il rispettivo tempo di ritorno

dell'investimento, è opportuno fornire anche una stima dell'indicatore energetico LENI (*Lighiting Energy Numerical Indicator*) confrontando gli scenari ante e post-intervento.

Prima di affrontare quanto detto, è necessario dare alcune indicazioni sulle grandezze illuminotecniche utilizzate e sulle due tipologie di apparecchi illuminanti oggetto dell'analisi.

4.1 Le grandezze fotometriche¹⁴

La valutazione del fenomeno luminoso da parte di una sorgente puntiforme è possibile grazie alle grandezze fotometriche.

Le grandezze fondamentali nel campo dell'illuminotecnica sono quattro: il flusso luminoso e l'intensità luminosa che riguardano l'apparecchio di illuminazione, la luminanza e l'illuminamento che riguardano sia le sorgenti luminose che le superfici illuminate.

Le sorgenti luminose sono inoltre caratterizzate da un punto di vista qualitativo dall'indice di resa cromatica e dalla temperatura di colore correlata.

4.1.1 Flusso luminoso

Si definisce flusso luminoso e si misura in lumen [lm], la quantità di energia luminosa irradiata da una sorgente nell'unità di tempo, riferita alla percezione dell'occhio umano.

In caso di radiazione monocromatica, caratterizzata da onde della stessa lunghezza d'onda, è possibile valutare il flusso come:

$$\Phi = K_{\lambda} * \Phi_e \quad [lm] \quad (4.1)$$

$$\Phi = K_{MAX} * \Phi_e * V_{\lambda} \quad [lm] \quad (4.2)$$

In cui è possibile definire:

- K_{λ} = *fattore di visibilità*;
- Φ_e = *flusso energetico di quella luce*;
- $V_{\lambda} = K_{\lambda} / K_{MAX}$ = *fattore di visibilità relativa*, è indicativo della sensibilità del nostro occhio al variare della lunghezza d'onda della radiazione;

¹⁴ Tratto da: Pellegrino A., dispensa del corso "Sistemi per l'illuminazione e il controllo del rumore".

- K_{MAX} = *fattore di conversione da grandezze energetiche a grandezze luminose*, è il valore massimo del fattore di visibilità, riferito alla lunghezza d'onda in corrispondenza della quale è associata la massima luminosità percepita in condizioni di radianza costante.

In caso di radiazione eterocromatica, costituita cioè da più lunghezze d'onda nel campo si effettua un integrale nell'intervallo delle lunghezze d'onda della luce visibile.

$$\Phi = K_{MAX} * \int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \Phi_{e,\lambda} * V_{\lambda} * d\lambda \quad (4.3)$$

4.1.1 Intensità luminosa

L'intensità luminosa che misura in candela [cd], è una grandezza fotometrica vettoriale definita come la densità di flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme, per unità di angolo solido in quella data direzione e si valuta come:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad [cd] \quad (4.4)$$

In cui $d\Phi$ e $d\omega$ sono rispettivamente il flusso emesso entro un certo angolo solido e l'ampiezza dell'angolo solido stesso.

L'intensità luminosa è una grandezza che esprime in che modo l'energia emessa dalla sorgente si distribuisce nello spazio. Al fine di valutare la distribuzione dell'intensità luminosa si usano delle rappresentazioni tridimensionali attraverso il cosiddetto solido fotometrico che rappresenta l'unione di tutti i vettori intensità luminosa emessi nello spazio, in ogni direzione, dalla sorgente.

Il solido fotometrico fornisce informazioni utili su come la sorgente in esame emette nello spazio ossia sulla direzione e sull'intensità, sull'eventuale simmetria nell'emissione e sulle direzioni prevalenti. Sezionando il solido con opportuni piani si ottiene la curva fotometrica che rappresenta in coordinate polari la distribuzione dell'intensità luminosa di un apparecchio di illuminazione.

4.1.3 La Luminanza

La luminanza [cd/m² o nit] è una grandezza vettoriale espressa come il rapporto tra il flusso luminoso emesso o riflesso da una superficie luminosa, per unità di angolo solido in una determinata direzione, e la superficie emettente proiettata su un piano perpendicolare alla direzione stessa, in formule:

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA * \cos\beta * d\omega} \quad \left[\frac{cd}{m^2}\right] \quad (4.5)$$

Il termine $dA * \cos\beta$ è la proiezione di dA sul piano perpendicolare alla direzione di osservazione mentre il termine al numeratore, quadrato del flusso emesso o riflesso, è funzione del tipo di materiale tramite il fattore di riflessione.

4.1.4 Illuminamento

L'illuminamento che si misura in lux [lx] è il rapporto tra il flusso luminoso incidente su una superficie elementare e l'area della superficie elementare stessa e si valuta come:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad [lux] \quad (4.6)$$

L'illuminamento, parametro fondamentale in sede progettuale, dipende dal flusso luminoso incidente e l'area dell'oggetto. È indispensabile per valutare la quantità di luce presente o che si vuole ottenere all'interno di un locale e sulle superfici dei compiti visivi individuati. All'aumentare dell'illuminamento aumenta la capacità dell'occhio di distinguere i particolari di piccole dimensioni.

4.1.5 Temperatura di colore correlata

Esprime la tonalità di colore della luce, confrontando la temperatura assoluta di un corpo nero che irradia luce con la stessa tonalità di colore emessa dalla sorgente in oggetto e ha per unità di misura il Kelvin.

In tabella 4.1 è riportata la temperatura di colore correlata associata alla rispettiva cromaticità della luce:

Temperatura di colore correlata [K]	Colore della luce
TCC < 3300 K	Luce calda
3300 K < TCC < 5300 K	Luce neutra
TCC > 5300 K	Luce fredda

Tabella 4.1: Valori possibili della temperatura di colore correlata

4.1.6 Resa cromatica

L'indice di resa cromatica Ra di una sorgente luminosa rappresenta il grado di fedeltà con cui essa è in grado di restituire i colori della superficie che illumina ed è un indicatore della qualità della luce emessa: è un parametro fondamentale sia per la valutazione del benessere visivo che per le prestazioni degli apparecchi illuminanti.

È espresso da un valore tra 0 che rappresenta il peggior grado di fedeltà per la riproduzione dei colori a 100 che è il migliore. Una buona sorgente luminosa presenta un indice di resa cromatica di almeno 80.

4.2 Tecnologie a confronto

Al fine di comprendere al meglio le opportunità di risparmio energetico offerte dalla tecnologia a led, è opportuno effettuare un confronto tra le lampade fluorescenti, tecnologia ad oggi utilizzata nel Presidio ospedaliero e che costituisce la situazione definita “ante”, con il sistema a led cui si basano gli apparecchi illuminanti da utilizzare in fase di relamping.

4.2.1 Principio di funzionamento e caratteristiche delle lampade fluorescenti

Le lampade fluorescenti fanno parte della tipologia di lampade a scarica in cui l'emissione luminosa avviene attraverso una scarica in un gas, vapori di mercurio, a bassa pressione.

I corpi luminosi afferenti a tale tipologia sono costituiti da un tubo di vetro sigillato con all'estremità elettrodi e all'interno una miscela di mercurio e Argon. Il principio di funzionamento si può schematizzare in tre fasi:

- gli elettroni liberi generati dalla scarica tra gli elettrodi vengono accelerati da un campo elettrico applicato;
- l'energia cinetica degli elettroni liberi viene convertita in energia di eccitazione degli atomi di gas il quale si ionizza;
- l'energia di eccitazione è convertita in radiazione elettromagnetica nel campo dell'ultravioletto.

La radiazione, attraversando delle polveri fluorescenti depositate sull'interno del tubo, viene portata nel campo del visibile e fuoriesce dalla sorgente luminosa come luce bianca. Gli apparecchi illuminanti che utilizzano lampade a fluorescenza hanno bisogno di un reattore per poter funzionare il quale può essere di due tipi elettromagnetico o elettronico. Quest'ultimo, sebbene sia più costoso, presenta, rispetto a quello elettromagnetico, minori dimensioni, minori cablaggi, minor costo di manutenzione, eliminazione del flickering e la possibilità di dimmeraggio oltre ad offrire un importante riduzione dei consumi energetici.

Le lampade fluorescenti si sono affermate sul mercato grazie alla loro efficienza luminosa particolarmente alta.

Tuttavia, in queste lampade solo il 2% dell'energia che viene assorbita si trasforma direttamente in luce in quanto circa il 60% produce una radiazione ultravioletta a 253,7 nm che grazie alla presenza dei fosfori si converte per circa il 20% in luce visibile, il resto in calore. La restante energia assorbita dalla lampada si trasforma in calore disperso o come radiazione infrarossa a elevata lunghezza d'onda oppure si disperde attraverso fenomeni di conduzione e convezione nell'ambiente circostante.

Tra le caratteristiche di una lampada fluorescente possiamo annoverare:

- Efficienza luminosa variabile tra 40-104 lm/W per le lineari e 46-75 lm/W per le compatte;

- Temperatura di colore correlata variabile tra 2700K e 6800K;
- Resa cromatica compresa tra 50-98 per le fluorescenti lineari e tra 76-90 per le compatte;
- Flusso luminoso generalmente compreso tra 750-9000 lm;
- Presentano tempi di accensione più elevati, fino ad alcuni secondi;
- Dimensioni elevate con impossibilità di essere usati in proiettori;
- Spettro di emissione a bande non continuo: presenza di buchi di emissione e picchi spettrali in corrispondenza dei tre colori primari, che formano la luce bianca in uscita.
- Sono inquinanti in quanto presentano mercurio che è tossico per l'ambiente.

4.2.2 Principio di funzionamento e caratteristiche delle lampade LED

Il led, acronimo di Light Emitting Diode, è sostanzialmente un diodo che attraverso la capacità di materiali semiconduttori di produrre fotoni, emette luce.

Lo sviluppo dei led per l'illuminazione, si deve alla scoperta effettuata di tre ricercatori giapponesi (Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Shuji Nakamura), i quali inventarono, grazie alle loro ricerche, il LED blu.

È stato possibile creare la luce bianca combinando, per sintesi additiva, i LED a luce verde e rossa già esistenti con quello blu di recente invenzione. La tecnologia si è poi evoluta e oggi la luce bianca è ottenuta per fotoluminescenza ossia i LED blu vengono ricoperti da uno strato di fosfori che emettono luce gialla se stimolati dalla luce blu dei LED. La combinazione di luce blu e gialla produce, come mostrato in figura 36, la luce bianca la cui tonalità può essere variata: aumentando la quantità di fosfori ottengo una luce calda, se la diminuisco la luce sarà fredda.

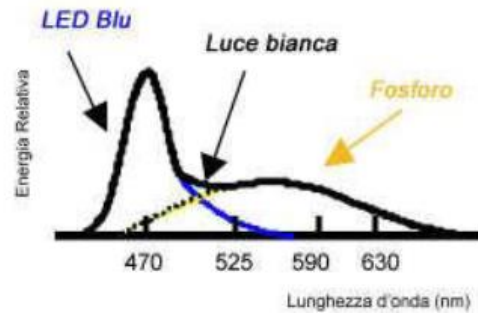


Figura 36: Produzione della luce bianca per sintesi additiva (tratta da: A. Pellegrino, dispensa corso "Sistemi per l'illuminazione e controllo del rumore").

Il principio di funzionamento di un led è basato su quello di un diodo ad emissione luminosa, costituito da una materiale semiconduttore come ad esempio arseniuro di gallio o fosfuro di gallio, e, sfruttando le loro proprietà ottiche, si producono fotoni attraverso fenomeni di ricombinazione elettrone-lacuna nella cosiddetta giunzione p-n.

La lunghezza d'onda λ del fotone emesso, dipendente dal drogante utilizzato, è correlata alla tonalità della luce della sorgente led.

I corpi illuminanti a LED presentano molteplici vantaggi riguardanti diversi ambiti:

- LUCE: lunga durata di vita, alta efficienza luminosa, assenza di radiazione UV e IR, luce colorata satura, ottiche efficienti in materiale plastico;
- DESIGN: Dimensioni contenute, possibilità di composizione della sorgente in moduli;
- AMBIENTE: Assenza di mercurio;
- SICUREZZA: Bassa tensione di alimentazione, accensione a freddo fino a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, robustezza, insensibilità a umidità e vibrazioni;
- TECNOLOGIA: Dinamicità della luce (RGB o AWG), accensione immediata 100%, possibilità di regolazione del flusso luminoso.

I led tuttavia presentano anche una serie di svantaggi. Tra questi possiamo annoverare il calo delle prestazioni all'aumentare temperatura di giunzione che comporta una riduzione del flusso luminoso e della durata di vita come mostrato in figura 37.

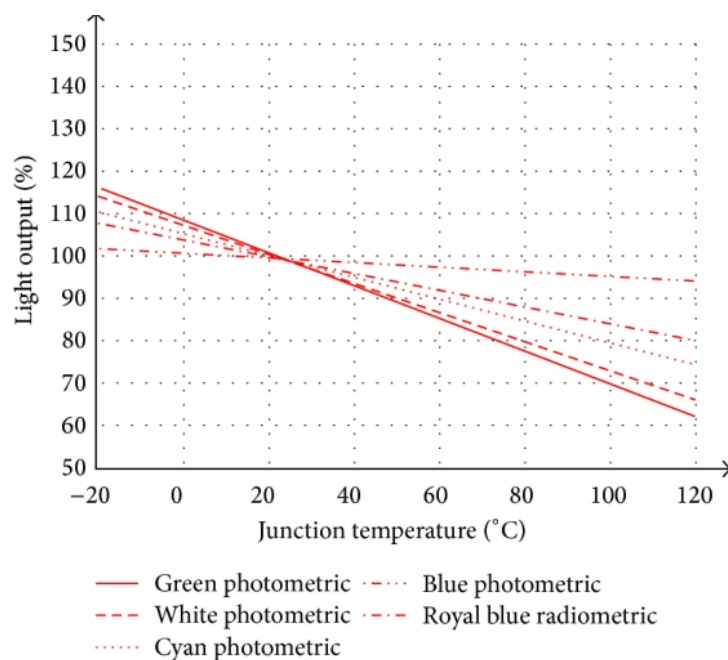


Figura 37: Diminuzione percentuale di flusso luminoso emesso all'aumentare della temperatura di giunzione del LED (Tratto da Hsieh, Chi-Chang & Li, Yan-Huei. *The Study for Saving Energy and Optimization of LED Street Light Heat Sink Design*. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015).

Un altro aspetto che può portare a un decremento della vita di un led sono gli alimentatori scelti perché, essendo componenti delicati, se di scarsa qualità potrebbero comprometterne la durata.

Per quanto riguarda le tipologie di led oggi disponibili, se ne possono annoverare di tre tipi:

1. Strisce led: costituiti da led disposti linearmente;
2. Piastre led: in cui il led si sviluppa su di un piano con forme diverse;
3. Moduli led: costituiti da assemblati ricoperti di polveri di fosforo.

4.3 La norma 12464 parte 1: Illuminazione dei luoghi di lavoro in interni

Per garantire una corretta progettazione illuminotecnica negli ambienti è opportuno far riferimento alla norma 12464 “*Illuminazione dei Luoghi di Lavoro*” nella cui prima parte si danno le indicazioni necessarie per l’illuminazione nella maggior parte degli ambienti di lavoro interni ed alle aree ad essi associate.

La norma fornisce indicazioni e raccomandazioni per adottare buone pratiche di illuminazione, così da aumentare il comfort visivo degli utenti.

Infatti, parte della norma, è dedicata proprio ai criteri di progettazione illuminotecnica, i quali toccano diversi aspetti del progetto.

Tra gli aspetti cui la norma pone l'attenzione, l'ambiente luminoso è tra i più importanti.

Nella fase di progettazione, i parametri caratterizzanti l'ambiente luminoso cui bisogna porre attenzione che i requisiti illuminotecnici devono soddisfare sono:

- Distribuzione delle luminanze;
- Illuminamento;
- Direzione della luce;
- Distribuzione della luce;
- Resa dei colori;
- Abbagliamento
- Sfarfallamento.

4.3.1 La distribuzione delle luminanze

Tra i parametri che influenza il comfort visivo, la corretta distribuzione della luminanza nell'ambiente è tra i più importanti perché da essa dipende la capacità del nostro occhio di adattarsi all'ambiente e la visibilità del compito.

È opportuno infatti:

- evitare luminanze troppo elevate perché sono responsabili dell'abbagliamento;
- evitare contrasti di luminanza elevati perché causa di affaticamento visivo in quanto l'occhio deve continuamente adattarsi;
- evitare contrasti di luminanza bassi in quanto rendono l'ambiente monotono e poco stimolante per l'osservatore.

Al fine di rendere la distribuzione di luminanza omogenea nell'ambiente la norma da suggerimenti riguardante i coefficienti di riflessione delle superfici come riportato in Tabella 4.2.

Superficie locale	Fattori di riflessione
Soffitto	da 0,7 a 0,9
parete	da 0,5 a 0,8
pavimento	da 0,2 a 0,4

Tabella 4.2: fattori di riflessioni consigliati per soffitto, parete e pavimento.

4.3.2 L'illuminamento

L'illuminamento è un parametro che varia in funzione al tipo di ambiente, dall'attività e dal compito visivo che deve essere svolto. Tale valore è espresso in termini di illuminamento medio mantenuto che rappresenta il valore al di sotto del quale l'illuminamento medio su una superficie non deve mai scendere e si tratta del valore che assume nel momento in cui deve essere effettuata la manutenzione.

$$E_{progetto} = E_{medio} / MF \quad (4.7)$$

La norma CIE 97 definisce il fattore MF come:

$$MF = LLMF * LFS * LMS * RSFM \quad (4.8)$$

Dove:

- MF: fattore di manutenzione;
- LLMF: fattore di manutenzione del flusso luminoso e indica la diminuzione del flusso luminoso della sorgente nel tempo;
- LMF: fattore di manutenzione dell'apparecchio che indica la diminuzione di efficienza di un apparecchio dovuto alla sporcizia che si accumula valutato in funzione delle ore di funzionamento dello stesso;
- RSFM: fattore di manutenzione del locale che indica un calo dei coefficienti di riflessione delle superfici dell'ambiente dovuto allo sporco che si accumula trascorso un certo intervallo di manutenzione;

- LSF: fattore di durata delle lampade che indica la percentuale di lampade ancora funzionanti trascorso un certo intervallo di manutenzione.

I valori di illuminamento medio mantenuto definito dalla normativa è scelto basandosi su condizioni di vista abituali e vengono formulati prendendo in considerazione molteplici aspetti come ad esempio i requisiti per svolgere un determinato compito visivo, ergonomia della visione, esperienza del progettista, sicurezza ed economia ma il progettista può aumentarli o diminuirli a seconda del caso specifico, in presenza ad esempio, di compiti visivi particolarmente onerosi, o che richiedono un grande grado di dettaglio o se l'età del soggetto è elevata. Si può decidere di diminuire nel caso di compito visivo da svolgere in tempi brevi.

Al fine di ottenere una corretta distribuzione delle luminanze, è anche importante attenzionare l'illuminamento nelle zone prossime al compito visivo. Per farlo si considera un'area posta a 0,5 m attorno alla zona considerata affinché si è certi che non vi sia abbagliamento molesto o affaticamento al fine di valutarne l'uniformità.

Il rapporto tra gli illuminamenti del compito visivo e la zona circostante è definito dalla norma, come riportato in tabella 4.3.

Illuminamento dell'area del compito visivo [lux]	Illuminamento dell'area immediatamente circostante [lux]
>750	500
500	300
300	200
200	150
150	E task
100	E task
<50	E task

Tabella 4.3: valori di illuminamento nel compito visivo e area circostante

Per quanto riguarda le pareti e il soffitto invece la norma prescrive:

- Un illuminamento medio delle pareti maggiore di 50 lx; nel caso di uffici, ospedali, aule scolastiche il valore deve essere superiore a 75lx con uniformità 0,10;

- Un illuminamento medio del soffitto superiore a 30 lx; e nel caso di ambienti presenti in uffici, ospedali, aule scolastiche il valore si pone maggiore di 50 lx con uniformità di 0,10.

4.3.3 Abbagliamento

L'abbagliamento è un disturbo generato da un elevato gradiente di luminanza all'interno del campo visivo rispetto a quella media della zona e può essere valutato come abbagliamento molesto o debilitante da parte del soggetto. L'abbagliamento prodotto invece da superfici speculari è detto abbagliamento velante.

L'abbagliamento molesto prodotto dai corpi illuminanti, in fase di progettazione, è valutato dall'indice unificato di abbagliamento UGR (Unified Glare Rating):

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{Lb} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (4.9)$$

Dove:

- Lb : luminanza di background [cd/m^2];
- L : luminanza delle parti luminose di ogni apparecchio di illuminazione nella direzione dell'occhio dell'osservatore [cd/m^2];
- w : angolo solido delle parti luminose di ogni apparecchio di illuminazione nella direzione dell'osservatore [sr];
- P : indice di posizione di Guth, per ogni apparecchio di illuminazione nella direzione dell'occhio dell'osservatore;

In tabella 4.4 sono riportati i valori di UGR per varie applicazioni:

UGR<13	Abbagliamento inesistente
13<UGR<16	applicazioni molto impegnative
16<UGR<19	uffici
19<UGR<22	applicazioni industriali
22<UGR<25	lavorazioni grossolane
25<UGR<28	ambienti di transito; applicazioni con scarsa esigenza
28<UGR	abbagliamento elevato

Tabella 4.4: valori di UGR imposti dalla normativa

4.3.4 Colore apparente e resa cromatica

La cromaticità della luce emessa dalla sorgente luminosa è definita dalla temperatura di colore correlata. La scelta di quest'ultima, dipende dal livello di illuminamento, dai colori dell'ambiente, dall'arredo e dal tipo di applicazione.

L'indice di resa cromatica necessario per soddisfare le esigenze di prestazione visiva e gradevolezza dell'ambiente, non deve mai scendere al di sotto di 80 in interni dove le persone lavorano e permangono per lunghi periodi.

4.3.5 Requisiti illuminotecnici: ambito ospedaliero

Si riporta adesso un estratto dei valori prescritti dalla normativa 12464 parte 1, relativamente all'ambito delle strutture sanitarie, oggetto della tesi.

Strutture sanitarie		E_m	UGR _L	U_o	R_a
Sale del personale	Sale di servizio	500	19	0,6	80
	Sale di soggiorno del personale	300	19	0,6	80
Camere di degenza	Illuminazione generale (sul pavimento)	100	19	0,4	80
	Illuminazione di lettura	300	19	0,7	80
	Visite mediche semplici	300	19	0,6	80
	Visite mediche con terapie	1000	19	0,7	90
	Illuminazione notturna e di orientamento	5	–	–	80
	Bagni e toilettes dei pazienti	200	22	0,4	80
Sale di visite mediche (generiche)	Illuminazione generale	500	19	0,6	90
	Visite mediche con terapie	1000	19	0,7	90
Sale di visite oculistiche	Illuminazione generale	500	19	0,6	90
	Visite all'occhio esterno	1000	–	–	90
	Test oculistici di lettura e colori	500	16	0,7	90
Sale di visite otorinolaringoiatriche	Illuminazione generale	500	19	0,6	90
	Visite alle orecchie	1000	–	–	90
Sale di diagnostica con immagini	Illuminazione generale	300	19	0,6	80
	Diagnostica con schermi, ingrandimenti e sistemi televisivi	50	19	–	80
Sale parti	Illuminazione generale	300	19	0,6	80
	Visite mediche con terapie	1000	19	0,7	80
Sale terapie (generiche)	Dialisi (meglio con luce regolabile)	500	19	0,6	80
	Dermatologia	500	19	0,6	90
	Endoscopia	300	19	0,6	80
	Bendaggi	500	19	0,6	80
	Bagni terapeutici	300	19	0,6	80

	Massoterapie e radiazioni	300	19	0,6	80
Reparti operatori	Preparazione e risveglio	500	19	0,6	90
	Sale operatorie	1000	19	0,6	90
	Zona operatoria				
Terapie intensive	Illuminazione generale (sul pavimento)	100	19	0,6	90
	Visite semplici (sul letto)	300	19	0,6	90
	Visite con terapie (sul letto)	1000	19	0,7	90
	Controllo notturno	20	19	-	90
Odontoiatria	Illuminazione generale (senza abbagliare il paziente)	500	19	0,6	90
	Zona paziente	1000	-	0,7	90
	Zona operatoria	-	-	-	-
	Analisi del bianco dei denti	-	-	-	-
Laboratori e farmacie	Illuminazione generale	500	19	0,6	80
	Controllo colori	1000	19	0,7	90
Ambienti asettici	Locali di sterilizzazione	300	22	0,6	80
	Locali di disinfezione	300	22	0,6	80
Autopsie e obitori	Illuminazione generale	500	19	0,6	90
	Tavoli di autopsia	5000	-	-	90
Strutture sanitarie					
Ambienti generici	Sale d'attesa	200	22	0,4	80
	Corridoi: di giorno	100	22	0,4	80
	Corridoi: pulizie	100	22	0,4	80
	Corridoi: di notte	50	22	0,4	80
	Corridoi multifunzionali	200	22	0,6	80
	Sale di soggiorno diurno	200	22	0,6	80
	Ascensori per il pubblico	100	22	0,6	80
	Ascensori di servizio	200	22	0,6	80

Tabella 4.5: Valori prescritti dalla norma 12464-1 (Tratto da: Zumbotbel, Manuale illuminotecnico pratico)

4.4 Illuminazione di ambienti ospedalieri: utilizzo del software di calcolo Dialux

L'ambiente ospedaliero è generalmente costituito da un insieme di aree, ognuna con una funzione diversa, che richiedono una differente soluzione di illuminazione.

Queste strutture sono utilizzate da diverse tipologie di utenti come ad esempio personale medico, pazienti, visitatori, personale di servizio, impiegati i quali avranno accesso alle diverse zone di cui si compone un ospedale e ciò bisogna tenerne conto in fase di progettazione illuminotecnica al fine di creare un ambiente:

- confortevole e rilassante per i pazienti;

- funzionale per il personale medico;
- che permetta il corretto svolgimento di tutte le attività al personale di servizio;
- che faciliti l'orientamento e la permanenza di tutti gli utenti che vi transitano;
- che garantisca sicurezza, comfort e benessere di utenti e operatori.

Al fine di raggiungere questi obiettivi, la progettazione degli ambienti interni di una struttura ospedaliera ha introdotto i concetti di “*umanizzazione e de-ospedalizzazione*”¹⁵ andando dunque a rivolgere l'attenzione ai materiali utilizzati e la loro gradevolezza, alla scelta di colori per le implicazioni che queste hanno sui pazienti e la loro psicologia e all'uso della luce non soltanto per rispettare i requisiti di illuminazione ma anche per garantire comfort e benessere all'ambiente e quindi alla psiche.

Il progetto illuminotecnico deve quindi affiancare da una parte gli aspetti quantitativi della luce in termini di illuminamento medio mantenuto, distribuzione della luminanza, abbagliamento ecc., a quelli qualitativi ossia la sensazione fornita dai colori, integrazione tra luce naturale ed artificiale, differenziazione in funzione delle destinazioni d'uso ecc... Focalizzando l'attenzione all'aspetto quantitativo dell'illuminamento, il soddisfacimento dei requisiti illuminotecnici prescritti dalla normativa è verificato con il software di grafica 3D Dialux considerato¹⁶ tra i più importanti ed utilizzati programmi di progettazione illuminotecnica e per la pianificazione luminosa, tra gli specialisti del settore.

Il software permette di ricreare in 3D gli ambienti interni di cui si intende effettuare la simulazione. Dopo aver creato la geometria del locale, impostando opportunamente i valori di altezza, lunghezza e larghezza, si caratterizza l'ambiente attraverso i materiali e i colori i quali saranno essenziali nella definizione del coefficiente di riflessione infatti la riflettanza delle superfici di un ambiente è legata ad una corretta distribuzione dell'illuminazione.

La scelta degli apparecchi da installare nasce dalla valutazione dei compiti visivi da svolgere negli ambienti che si stanno simulando. Impostando un coefficiente di manutenzione pari a 0,8 si valutano gli output offerti dal software posizionando opportune superfici di calcolo.

Gli output di interesse sono rispettivamente l'illuminamento medio mantenuto e l'abbagliamento UGR che devono essere confrontati con i valori espressi nella norma

¹⁵ Palladino P., “*Manuale di Illuminazione*”. Milano, Tecniche nuove (2005)

¹⁶ Disano Illuminazione S.p.A.

12464-1.

Il primo passo per attuare quest'intervento di efficientamento energetico è stato quello di individuare gli ambienti tipici e ricorrenti dell'edificio.

Possiamo quindi annoverare:

- Corridoio;
- Sala attesa;
- Sala visita/ambulatorio;
- Degenza;
- Scale;
- Uffici;
- Locali tecnici.
- Bagni

4.4.1 Corridoi

In una struttura ospedaliera, i corridoi e le aree di circolazione rappresentano delle vere e proprie arterie per la struttura in quanto collegano tra loro le differenti aree di cui si compone.

A causa delle ore di utilizzo degli apparecchi illuminanti in queste zone soprattutto nel caso in cui essi rimangono accesi per tutta la durata della giornata come ad esempio nelle aree delle degenze, questi spazi meritano attenzione in quanto sono ambienti particolarmente energivori e l'installazione dei LED comporta una grande opportunità di risparmio energetico.

I corridoi del Presidio ospedaliero presentano caratteristiche architettoniche che li differenziano l'uno dall'altro e richiedono quindi una diversa illuminazione.

Il più diffuso è sicuramente quello che presenta il controsoffitto al cui interno trovano spazio gli apparecchi di illuminazione come mostrato in Figura 38 tramite la modellazione effettuata con Dialux, ma è pur vero che, in alcune zone della struttura, sono presenti corridoi caratterizzati dalle volte molto ampie data la natura storica del complesso e ciò richiede chiaramente una illuminazione adeguata che valorizzi questa tipologia d'ambiente come si evince dalla Figura 39.

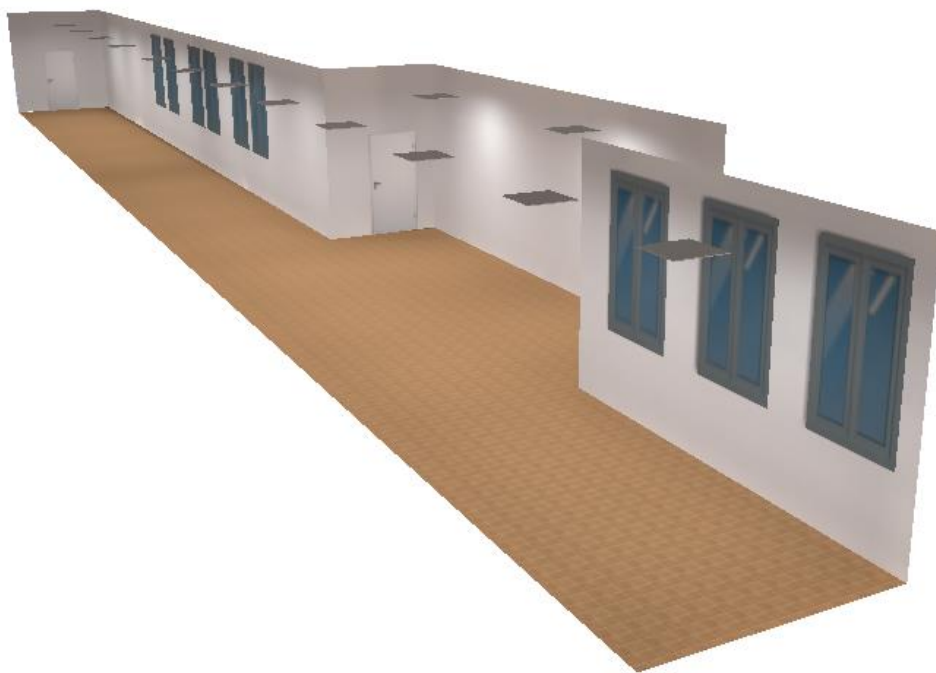


Figura 38: Vista in 3D di un corridoio con controsoffitto



Figura 39: Rappresentazione 3D di uno corridoio con volte

La funzione di un corridoio è quella di creare i vari collegamenti necessari tra i numerosi reparti presenti all'interno dell'ospedale, tra le differenti zone presenti all'interno di uno stesso reparto, tra le zone di attesa e tra gli uffici.

Nelle aree dove circolano i pazienti e i visitatori i punti cardine che determinano un'illuminazione ottimale sono la guida nel percorrere la zona, la sicurezza e la

rassicurazione di coloro che li percorrono soprattutto per i pazienti e ciò può essere ottenuto da un'illuminazione omogenea ed evitando angoli bui.

Grande attenzione deve essere posta nella scelta degli apparecchi di illuminazione in quanto sono zone generalmente particolarmente energivore e dunque è d'obbligo trovare un compromesso tra soluzioni che diano gradevolezza all'ambiente e che aiutino all'orientamento e dall'altro il risparmio energetico.

I requisiti previsti dalla normativa sono presenti in Tabella 4.6.

Zona	E_m [lx]	UGR	U0	Ra
Corridoio	100	22	0.4	80

Tabella 4.6: Valori prescritti dalla normativa per il corridoio

Nella tabella 4.7 sono riportate le principali informazioni dell'apparecchio LED scelto. Si è scelto di non modificare i faretti presenti nella situazione ante in quanto necessari per la valorizzazione delle volte presenti in alcune tipologie di corridoio.

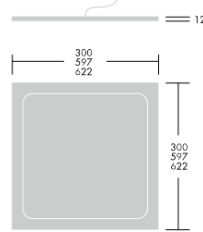
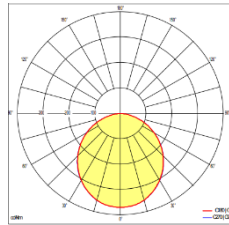
• Nome: OMEGA LED 3300-840 HFIX Q597 • Produttore: Thorn Lighting	
Caratteristiche della sorgente: • Tipologia: LED • Potenza: 27,3W • Flusso Luminoso: 3300lm • TCC: 4000 K • Ra:80 • Efficienza apparecchio: 121 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: • IP:44 • IK 02 • Curva fotometrica: 

Tabella 4.7: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per il corridoio

In figura 40 si riportano i risultati in false color da Dialux per la prima tipologia di corridoio.

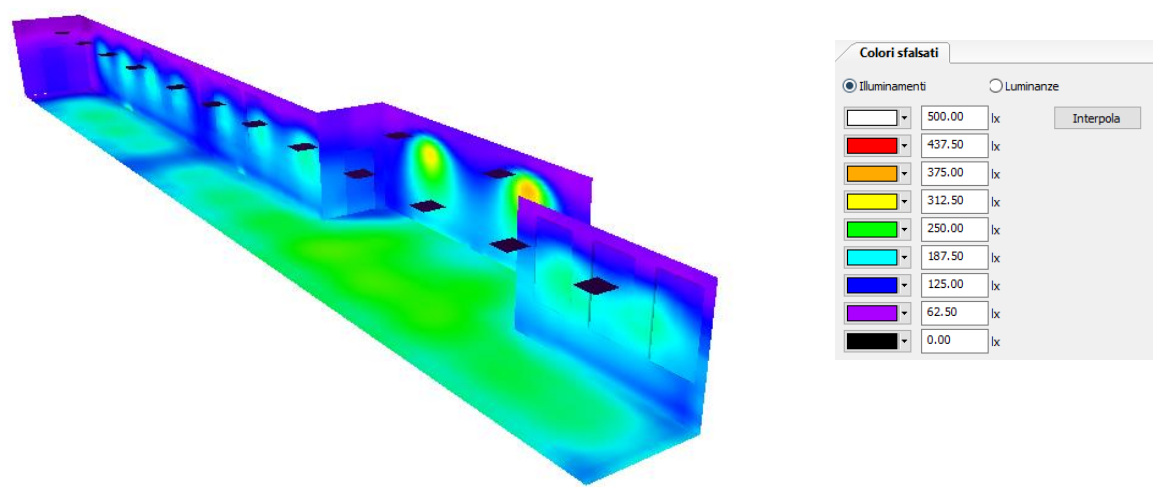


Figura 40: Rappresentazione in false color dell'illuminamento del corridoio

Nella figura 41 sono evidenziate le superfici di calcolo scelte e, nelle figure 42 e 43, i valori di illuminamento medio mantenuto ottenuto:

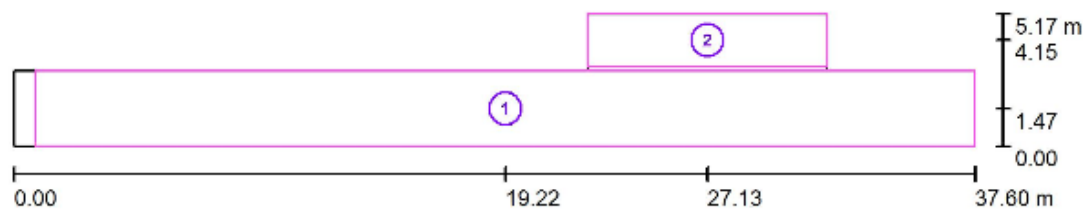


Figura 41: superfici di calcolo per il corridoio

• **Superficie di calcolo 1 (pavimento):**

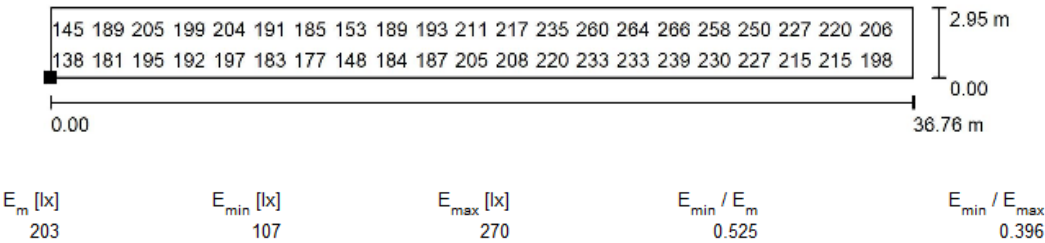
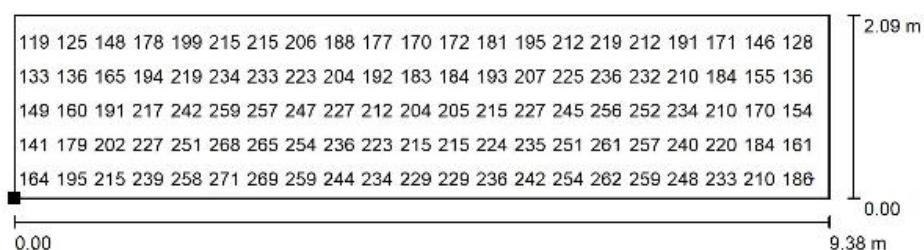


Figura 42: valori di illuminamento per la superficie di calcolo 1 nella prima tipologia di corridoio

- **Superficie di calcolo 2 (pavimento):**



E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
203	93	271	0.459	0.344

Figura 43: valori di illuminamento per la superficie di calcolo 2 nella seconda tipologia di corridoio

Si è quindi passati alla valutazione dell'UGR al fine di verificare l'abbagliamento, simulando un osservatore posto in diverse zone, come mostra la figura 44, del corridoio i cui risultati sono riassunti in tabella 4.8.

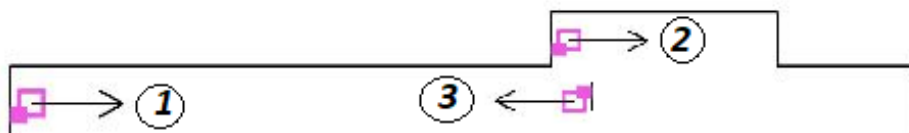


Figura 44 superfici di calcolo per UGR

	Min	Max
Superficie UGR 1	19	20
Superficie UGR 2	17	18
Superficie UGR 3	17	18

Tabella 4.8: valori UGR corridoio

In figura 45 è invece riportata la valutazione dell'illuminamento nel caso di corridoio con tetti a volta.

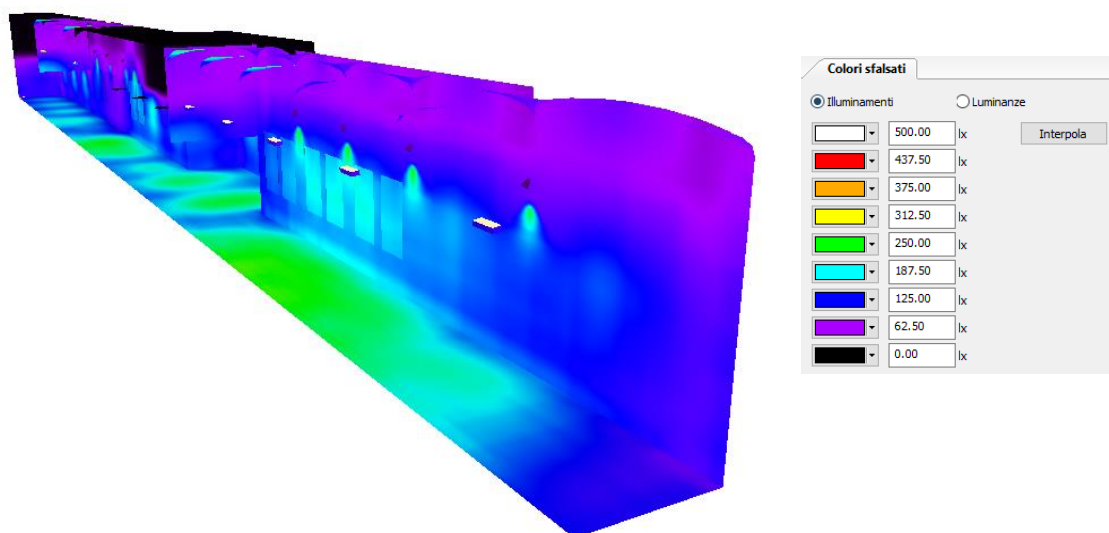


Figura 45: Rappresentazione in false color dell'illuminamento nel corridoio con volte

Vengono dunque evidenziate le superfici di calcolo in figura 46 e i risultati ottenuti nelle figure 47 e 48.

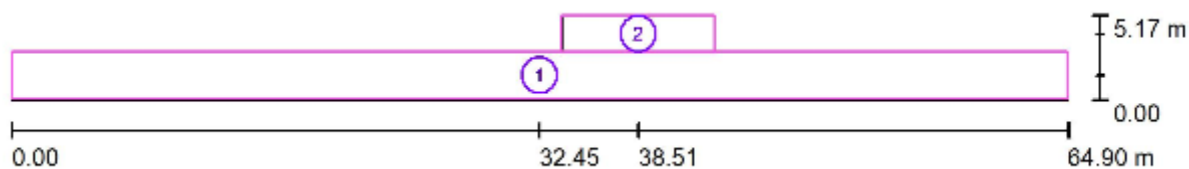


Figura 46: Superfici di calcolo nel corridoio con volte

- **Superficie di calcolo 1 (pavimento):**

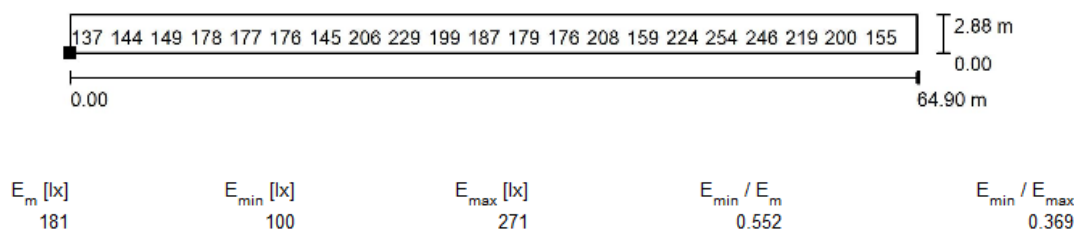


Figura 47: valori di illuminamento per la superficie di calcolo 1, corridoio con volte

- **Superficie di calcolo 2 (pavimento):**

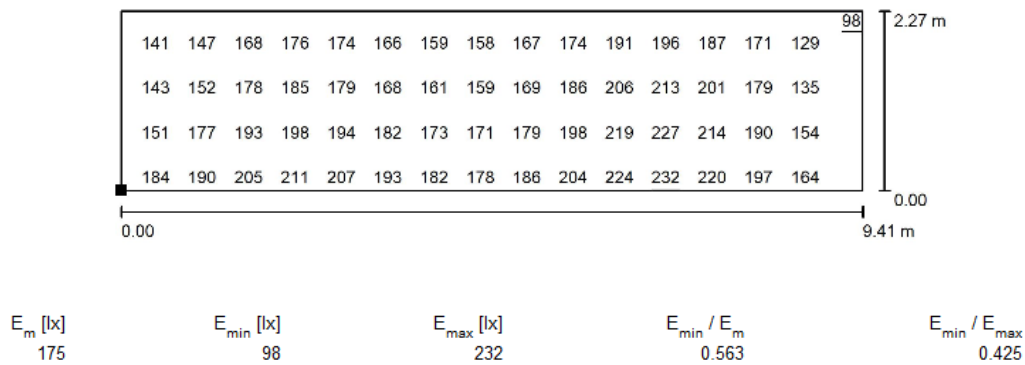


Figura 48: valori di illuminamento per la superficie di calcolo 2, corridoio con volte

Infine, si è verificato il valore dell'UGR come riportato in figura 49.

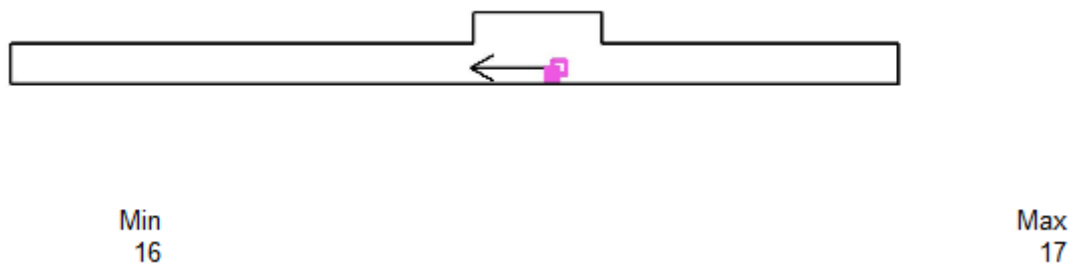


Figura 49: verifica valori UGR, corridoio con volte

4.4.2 Sala attesa

La sala d'attesa è il luogo in cui i pazienti aspettano il proprio turno prima che venga erogata la prestazione medica. Vi sono diverse aree adibite a sale d'attesa nel Presidio ospedaliero collocate generalmente in prossimità degli ambulatori e/o studi medici.

La rappresentazione di una tipica sala d'attesa è riportata in Figura 50. È possibile osservare che essa si compone di alcune file di sedie utilizzate dai pazienti in cui possono attendere il proprio turno in assoluta comodità.



Figura 50: rappresentazione in 3D della sala d'attesa

Progettare la giusta illuminazione di una sala d'attesa in un contesto medico/ospedaliero non è un compito semplice in quanto è di primaria importanza rendere gradevole l'ambiente per i pazienti. È tipica di questi luoghi infatti un'illuminazione fredda che risulta essere perfetta per donare all'ambiente una sensazione di igiene e pulizia tuttavia essa trasmette anche un senso di urgenza ed è quindi poco adatta a luoghi in cui i pazienti potrebbero sostare a lungo. Per un giusto compromesso è opportuno optare per un'illuminazione la cui temperatura di colore correlata doni all'ambiente un clima che sia da una parte confortevole ma al contempo idoneo ad illuminare luoghi ospedalieri. Il bianco naturale si pone a metà strada tra TCC fredde e calde perfetto per dare sia un senso di igiene sia comfort al paziente. Si opta dunque per TCC tra i 4000K e i 5000K e, data la tipologia del luogo che deve essere confortevole, il compito visivo valutato a livello del pavimento, non è particolarmente impegnativo.

La norma come indicato in Tabella 4.9, per questa tipologia di ambiente, prescrive:

Zona	E_m [lx]	UGR	U0	Ra
Sala attesa	200	22	0.4	80

Tabella 4.9: Valori prescritti dalla normativa per la sala d'attesa

Al fine di raggiungere i requisiti illuminotecnici prescritti, in tabella 4.10 si riporta le caratteristiche dell'apparecchio illuminante scelto.

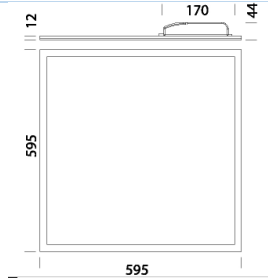
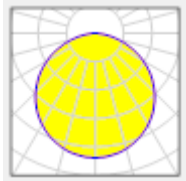
• Nome: Eco Pannello Luminoso • Produttore: Fosnova	
Caratteristiche della sorgente: • Tipologia: LED • Potenza: 34,4W • Flusso Luminoso: 3675 lm • TCC: 4000 K • Ra: 80 • Efficienza apparecchio: 106,83 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: • IP:40 • IK 05 • Curva Fotometrica 

Tabella 4.10: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per la sala d'attesa.

I risultati ottenuti, in termini di illuminamento medio mantenuto a livello del pavimento, sono mostrati nella rappresentazione in false color riportata in Figura 51.

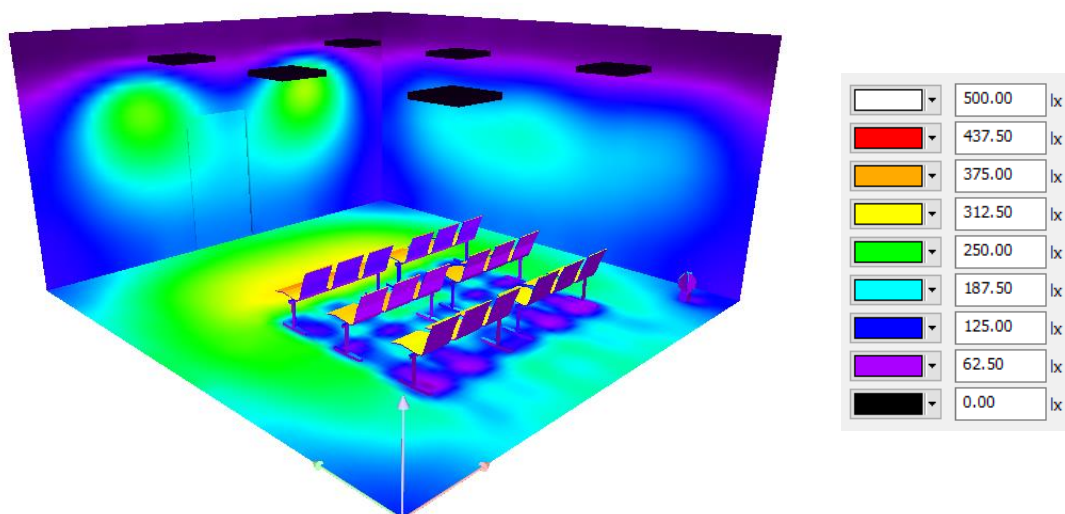


Figura 51: Rappresentazione in false color dell'illuminamento per la sala d'attesa

In figura 52 è riportata la grafica dei valori con i valori di illuminamento a livello del pavimento:

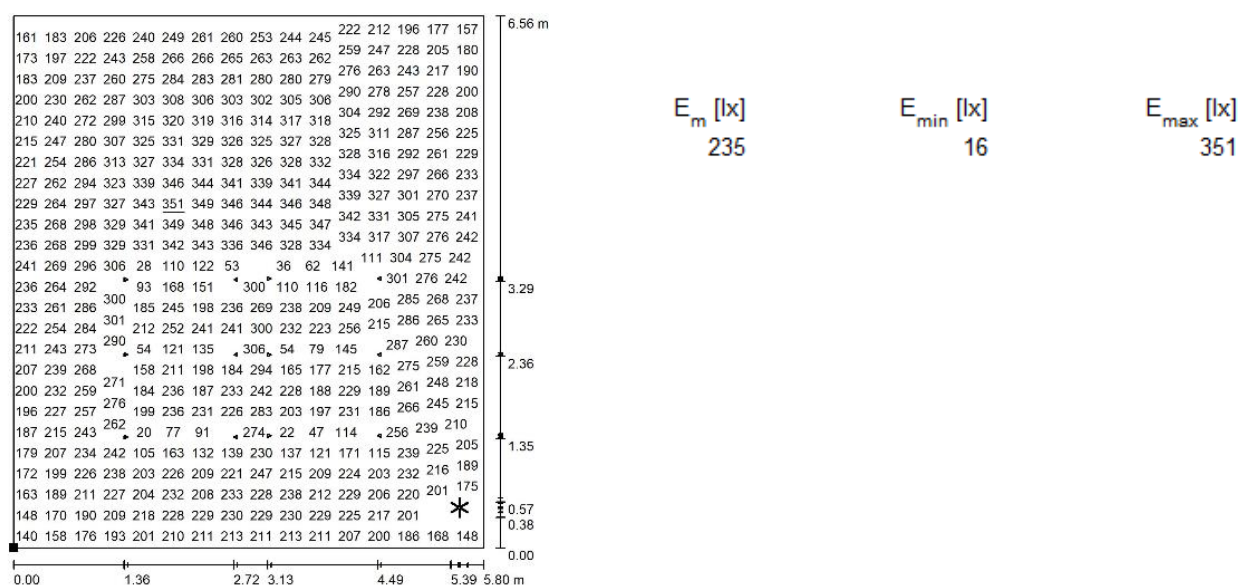


Figura 52: valori di illuminamento medio mantenuto per la sala d'attesa

Per quanto concerne la valutazione dell'abbagliamento, è stato simulato un osservatore in attesa sulle sedie ottenendo i risultati mostrati in figura 53 che rientrano nei limiti normativi.



Figura 53: verifica UGR per la sala d'attesa

4.4.3 Sala Visita e trattamento

Nel presidio Ospedaliero Oftalmico sono presenti diversi ambienti predisposti all'incontro tra paziente e personale medico infatti, nei vari reparti di cui si compone la struttura, sono presenti locali quali sale visita e gli ambulatori.

Nella tipica sala visita è prevista la presenza di un lettino che il paziente può utilizzare per sdraiarsi durante la visita e una scrivania usata del medico per interloquire col paziente. A completare lo spazio, in prossimità delle pareti si rende necessaria l'installazione di mensole, utili per raccogliere le cartelle cliniche dei pazienti.

Rientrano in questa tipologia di ambiente anche gli ambulatori caratterizzati essenzialmente da una postazione utilizzata dal personale medico per interfacciarsi con i pazienti, lettura e scrittura.

Un esempio di questi ambienti è presentato nelle figure 54 e 55.



Figura 54: rappresentazione in 3D di una sala visita



Figura 55: rappresentazione in 3D di una stanza ad uso medico

Il livello di illuminamento in questi ambienti varia in funzione all'attività che si intende svolgere. Per la sala visita propriamente detta, si è previsto un sistema di illuminazione generale che fornisce una luce uniforme e una dedicata al lettino usato dal paziente per la visita.

Gli ambulatori di cui si compone il presidio ospedaliero sono degli ambienti in cui il personale medico svolge un compito visivo essenzialmente su di una scrivania per attività quali lettura, scrittura e per interloquire con il paziente.

Nelle sale visita invece è presente anche un lettino in cui il paziente si sdraia e può essere visitato: anche questa è una zona in cui il compito visivo è particolarmente importante e diventa tanto più impegnativo quanto la visita è semplice o prevede terapie particolari.

In Tabella 4.11 si riportano i requisiti illuminotecnici da rispettare per i compiti visivi individuati.

Zona	E_m [lx]	UGR	U0	Ra
Ambulatorio e sala visita: scrivania	500	19	0.6	80
Sala visita: lettino (visita generica)	500	19	0.6	90
Sala visita: lettino (visita con terapia)	1000	19	0.7	90
Scaffali	200	19	0.4	80
Scrivania	500	19	0.6	80

Tabella 4. 11: Valori prescritti dalla normativa per la sala visita e trattamento

Gli apparecchi LED scelti in questi ambienti sono proposti nella tabella 4.12 e 4.13.

• Nome: 3F Reno 200WH • Produttore: 3F Filippi • Note: usata nelle sale visita.	
Caratteristiche della sorgente: • Tipologia: LED • Potenza: 20 W • Flusso Luminoso: 2251 lm • TCC: 4000 K • Efficienza: 113 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: • IP 44 • Curva fotometrica: 

Tabella 4.12: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per la sala visita.

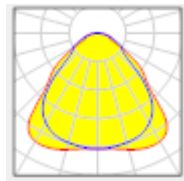
- Nome: Disano 842 LED Panel - Produttore: Disano	
Caratteristiche della sorgente: - Tipologia: LED - Potenza: 33 W - Flusso Luminoso: 3600 lm - TCC: 4000 K - Ra: 80 - Efficienza: 109 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: - IP 43 - IK 06 - Curva fotometrica 

Tabella 4.13: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per la sala visita e ambulatorio.

Per quanto concerne la sala visita i risultati del calcolo illuminotecnico per il rispetto dei limiti normativi è riportato in figura 56 e nelle figure 57, 58 e 59 i valori delle superfici di calcolo individuate:

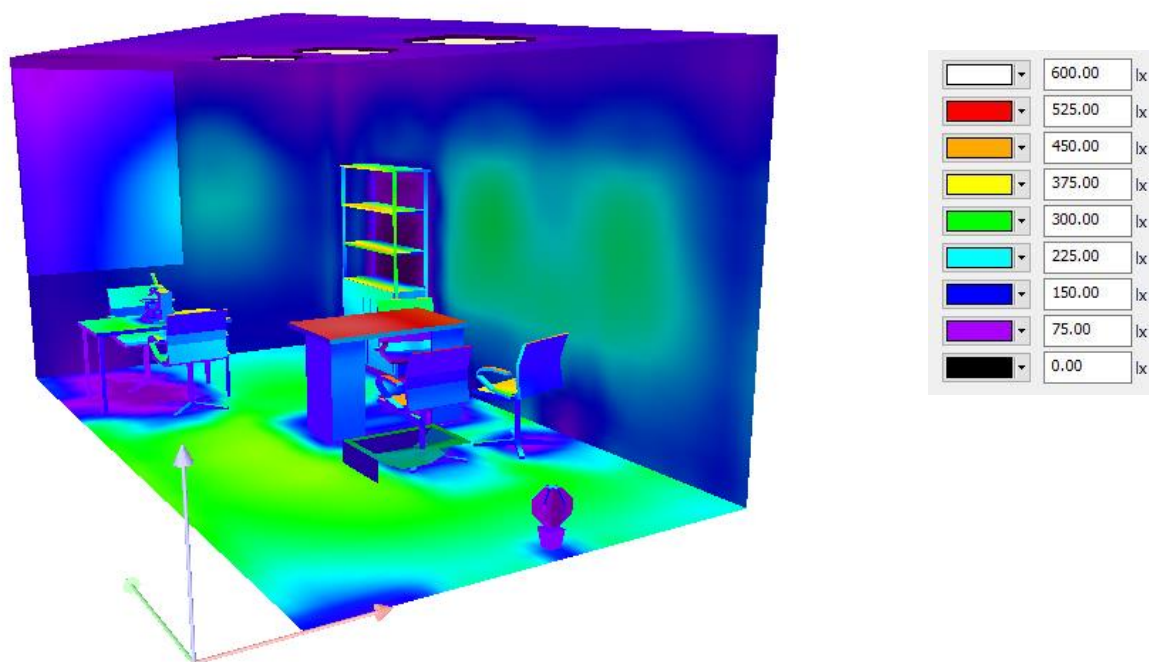


Figura 56: rappresentazione in false color dell'illuminamento per lo studio medico

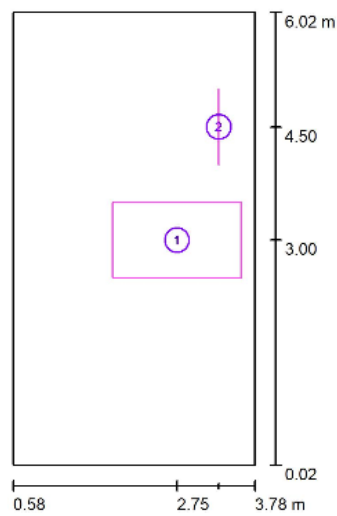


Figura 57: superfici di calcolo nello studio medico

1. Superficie di calcolo 1 (scrivania):

508	514	521	523	527	527	524	522	515	508	496	484	485	469	456	435	1.00 m
502	508	515	518	522	521	518	516	510	504	492	481	483	466	453	432	
510	515	523	525	529	529	525	523	516	510	496	485	484	469	453	434	
505	510	519	520	525	525	521	519	511	505	492	481	480	465	449	431	
511	516	525	526	531	531	527	525	519	513	498	488	485	472	455	439	
507	512	522	523	528	528	524	522	516	510	494	485	481	468	452	436	
510	515	525	527	532	532	527	525	519	513	497	486	483	469	452	437	
508	514	523	525	530	529	525	523	517	511	495	484	481	466	451	436	
513	518	527	529	535	534	530	528	523	517	500	490	487	472	452	437	
513	519	529	531	536	536	531	529	523	517	501	490	486	472	453	438	
510	516	524	526	532	531	527	525	520	514	498	488	485	471	453	437	
513	518	528	530	535	535	531	529	523	517	501	490	487	473	456	439	
507	513	521	522	527	527	523	521	518	511	498	487	485	469	454	435	
512	517	526	527	533	533	528	526	522	516	501	490	488	472	457	438	
504	510	517	519	523	523	520	517	515	508	497	485	485	468	455	434	
509	515	523	524	529	529	525	522	520	513	499	487	488	471	457	437	
0.00																1.70 m

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
502	431	536	0.857

Figura 58: valori di illuminamento nella superficie di calcolo1, studio medico

2. Superficie di calcolo 2 (scaffali):

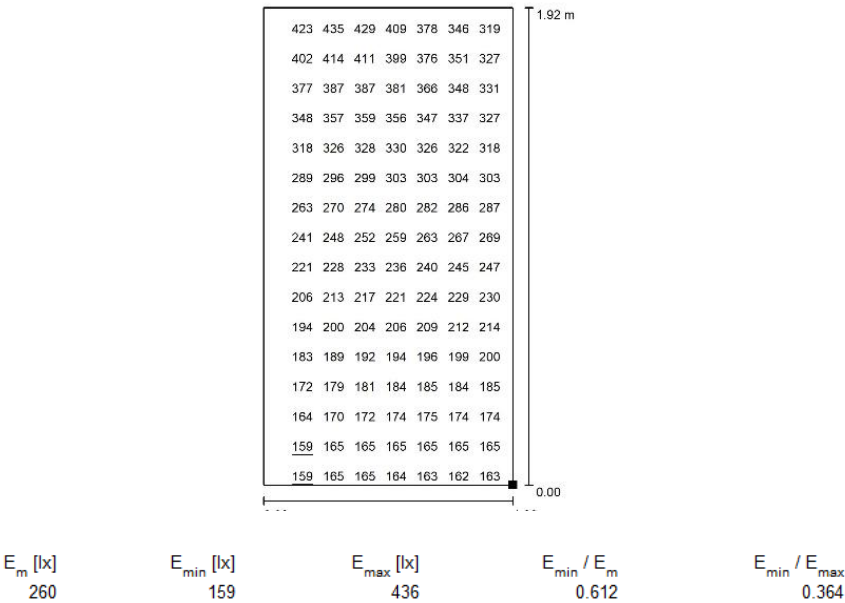


Figura 59: valori di illuminamento nella superficie di calcolo 2, studio medico

Si è provveduto anche alla verifica dell'UGR, simulando un osservatore posto in prossimità della scrivania come mostrato in Figura 60.

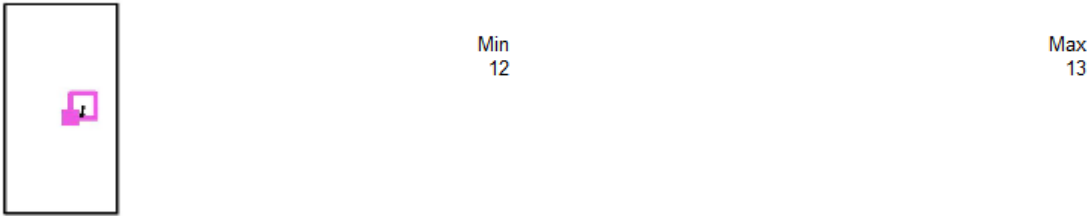


Figura 60: valori UGR sala medica

Per quanto concerne la sala visita invece, nella figura 61 si dà la rappresentazione in false color della nuova configurazione con l'installazione dei led.

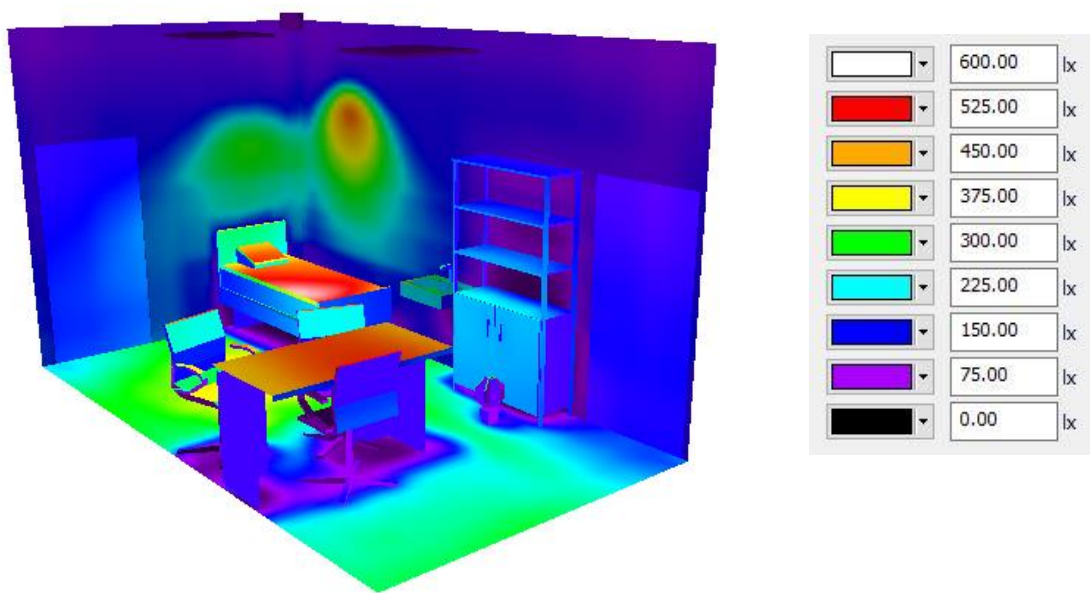


Figura 61: rappresentazione in false color dell'illuminamento nella sala visita

Si evidenziano quindi, in Figura 62, le superfici di calcolo in cui verificare i requisiti illuminotecnici.

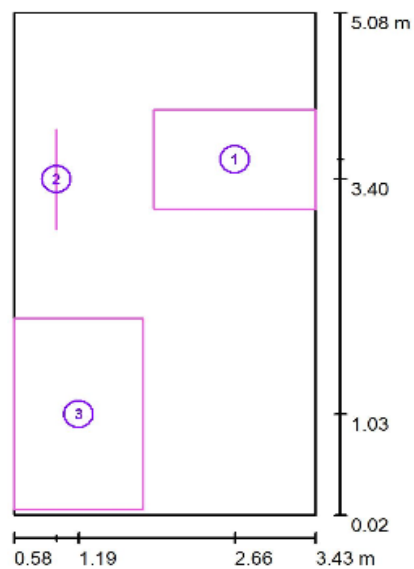


Figura 62: superfici di calcolo nella sala visita

- **Superficie di calcolo 1 (scrivania):**

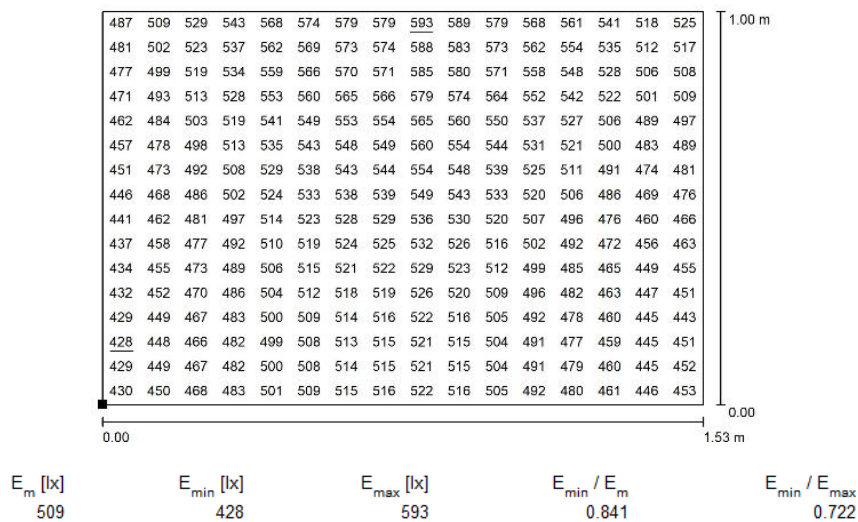


Figura 63: valori di illuminamento superfice di calcolo1, sala visita

- **Superficie di calcolo 2 (scaffale):**

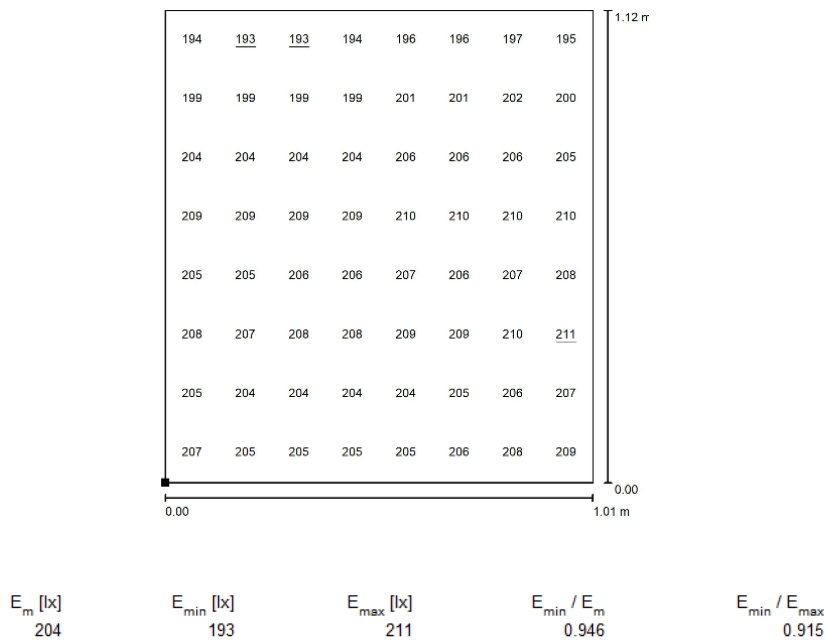


Figura 64: valori di illuminamento superfice di calcolo2, sala visita

- **Superficie di calcolo 3 (lettino):**

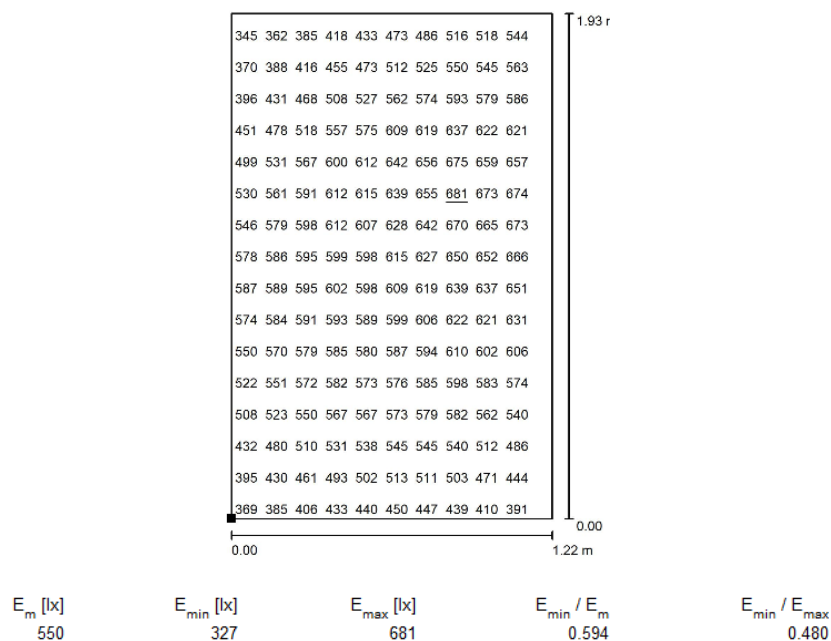


Figura 65: valori di illuminamento superficie di calcolo3, sala visita

Si verifica infine il rispetto dell'UGR sia nella zona in prossimità della scrivania, simulando degli osservatori posti attorno al tavolo, sia per una persona che si appresta ad effettuare una visita medica sul letto come mostrato nelle figure 66 e 67.



Figura 66: verifica UGR per un osservatore in prossimità della scrivania, sala visita



Figura 67: verifica UGR per un osservatore in prossimità del letto, sala visita

4.4.4 Sala degenza

Nel presidio Ospedaliero Oftalmico sono presenti diverse degenze costituite da due o da tre posti letto che ospitano i pazienti che necessitano di un ricovero prolungato o in regime di Day Hospital.

Tra i reparti in cui sono presenti le degenze è possibile annoverare il *CAVS* (continuità assistenziale a valenza sanitaria) che ospita i malati, generalmente anziani, che seppur hanno superato la fase acuta della malattia non possono tornare a casa, la Clinica Oculistica o l'ala dedicata al Day Hospital.

Quale che sia la collocazione della degenza all'interno del Presidio, questo ambiente accoglie il paziente durante il periodo di ricovero e diventa una sorta di abitazione, seppur temporanea, e come tale deve essere pensata garantendo il comfort di chi vi alloggia. Per questi motivi la degenza deve essere accogliente e questo passa anche per un'illuminazione adeguata che deve essere adatta alle esigenze del malato il quale trascorrerà gran parte del suo tempo a letto. È d'obbligo dunque creare un'atmosfera gradevole che è necessaria al fine di favorire, anche da un punto di vista psicologico, la guarigione.

Nelle sale di degenza in particolare, devono essere soddisfatti i requisiti illuminotecnici tali per cui venga assicurata una sufficiente illuminazione generale in tutto l'ambiente, dare un'illuminazione localizzata al posto letto utile sia per il malato, il quale deve svolgere le attività quotidiane quali ad esempio mangiare o leggere, ma anche per il personale medico per eventuali visite o medicazioni.

Al fine di raggiungere gli obiettivi di illuminamento medio richiesto una soluzione adottata è quella di integrare ai corpi illuminanti presenti sul soffitto degli apparecchi testa-letto che consentono di concentrare la luce sul piano interessato creando dunque un'illuminazione idonea sia per il personale medico che per il paziente.

Si segnala che, poiché i testa-letto non sono coinvolti nel relamping, vengono omessi nello studio in esame.

La rappresentazione di una tipica degenza è riportata in Figura 68.



Figura 68: rappresentazione 3D sala degenza

I requisiti illuminotecnici che la norma prescrive sono riportati in Tabella 4.14.

Zona	E_m [lx]	UGR	U0	Ra
Illuminazione generale (pavimento)	100	19	0.4	80
Illuminazione di lettura	200	19	0.7	80
Visite mediche semplici	300	19	0,6	80
Visite mediche con terapie	1000	19	0,7	90

Tabella 4. 14: Valori prescritti dalla normativa per la sala visita e trattamento

Per quanto concerne l'illuminazione generale, la proposta di apparecchi LED da installare è riportata in Tabella 4.15.

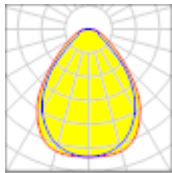
• Nome: Disano 840 LED Panel • Produttore: Disano	
Caratteristiche della sorgente: • Tipologia: LED • Potenza: 33 W • Flusso Luminoso: 3318 lm • TCC: 4000 K • Ra:>90 • Efficienza: 100,55 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: • IP 43 • IK 06 • Curva fotometrica 

Tabella 4.15: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per la sala degenza.

Nella seguente Figura 69 si riporta prima la rappresentazione in false color e poi, nella figura 70, i valori di illuminamento nella superficie di calcolo individuata.

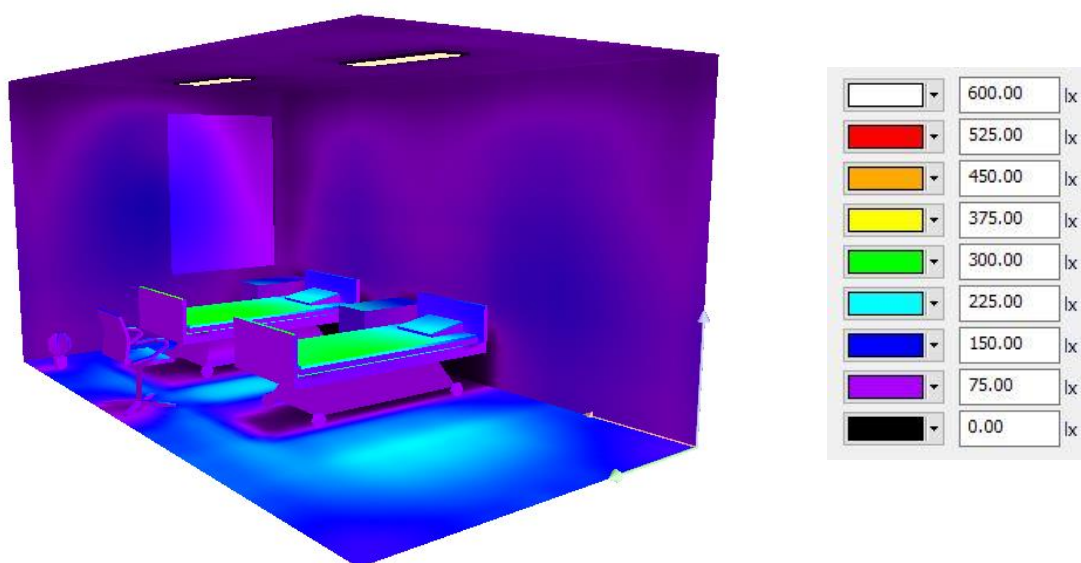


Figura 69: rappresentazione in false color dell'illuminamento sala degenza

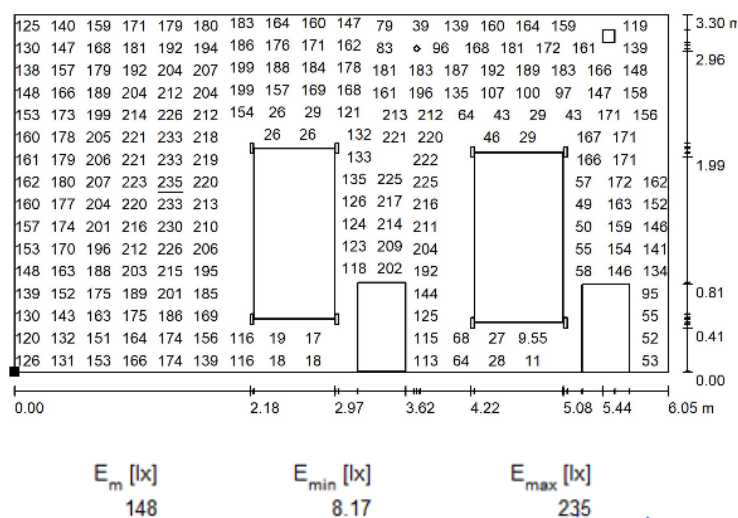


Figura 70: Valore di illuminamento medio mantenuto nella sala degenza

Per la verifica dell'UGR, come mostrato in figura 71, si è simulato un osservatore, il paziente, posto su un di un letto che compone la degenza.



Figura 71: verifica UGR sala degenza

4.4.5 Uffici

All'interno dell'Ospedale sono presenti degli ambienti in cui viene svolta attività di ufficio ed è quindi necessario creare condizioni visive ottimali al fine di lavorare in modo produttivo in un'atmosfera confortevole.

Gli uffici presenti nel presidio Ospedaliero sono concentrati prevalentemente al secondo

piano ammezzato in cui sono presenti gli uffici tecnici e al quinto piano in cui trovano sede gli uffici della Direzione sanitaria.

Il locale in oggetto ospita le postazioni di lavoro in cui gli impiegati svolgono le loro mansioni prevalentemente sulle superfici orizzontali delle scrivanie poste nella stanza. Data la tipologia di ambiente, sono previste la presenza di scaffalature che permettono la consultazione di documenti e materiale tecnico d'ufficio. Il modello dell'ufficio tipo presente nella struttura è riportato in Figura 72.



Figura 72: rappresentazione 3D ufficio

La creazione di un luogo di lavoro confortevole è necessaria affinché le persone abbiano il massimo del rendimento e questo passa anche attraverso un'illuminazione adeguata che serve a garantire una giusta visibilità a chi lavora.

Strettamente connessa all'illuminazione infatti vi è la produttività dei dipendenti infatti una quantità di luce non adeguata comporta un progressivo calo del rendimento e un conseguente aumento dalla possibilità di commettere errori.

C'è poi da considerare che le luci artificiali di un ufficio rimangono accese per molte ore al giorno, in estate come in inverno, e per questo motivo devono avere caratteristiche di bassi consumi e tonalità di colore calde o neutre quindi temperatura di colore correlata non superiore ai 4000K.

Nella seguente tabella 4.16 sono riportati i valori di riferimento limite da considerare nella progettazione relativi alle superfici di calcolo considerate:

Zona	E_m [lx]	UGR	U0	Ra
Scrivania	500	19	0.6	80
Scaffali	200	19	0.4	80

Tabella 4.16: Valori prescritti dalla normativa per l'ufficio

La scelta sull'apparecchio LED usato in questa ambiente per il rispetto della norma è indicato in Tabella 4.17.

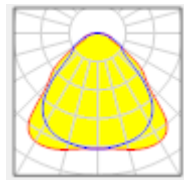
- Nome: Disano 842 LED Panel - Produttore: Disano	
Caratteristiche della sorgente: - Tipologia: LED - Potenza: 33 W - Flusso Luminoso: 3600 lm - TCC: 4000 K - Ra: 80 - Efficienza: 109 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: - IP 43 - IK 06 - Curva fotometrica 

Tabella 4. 17: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per l'ufficio.

La rappresentazione dell'illuminamento tramite false color è riportato in Figura 73.

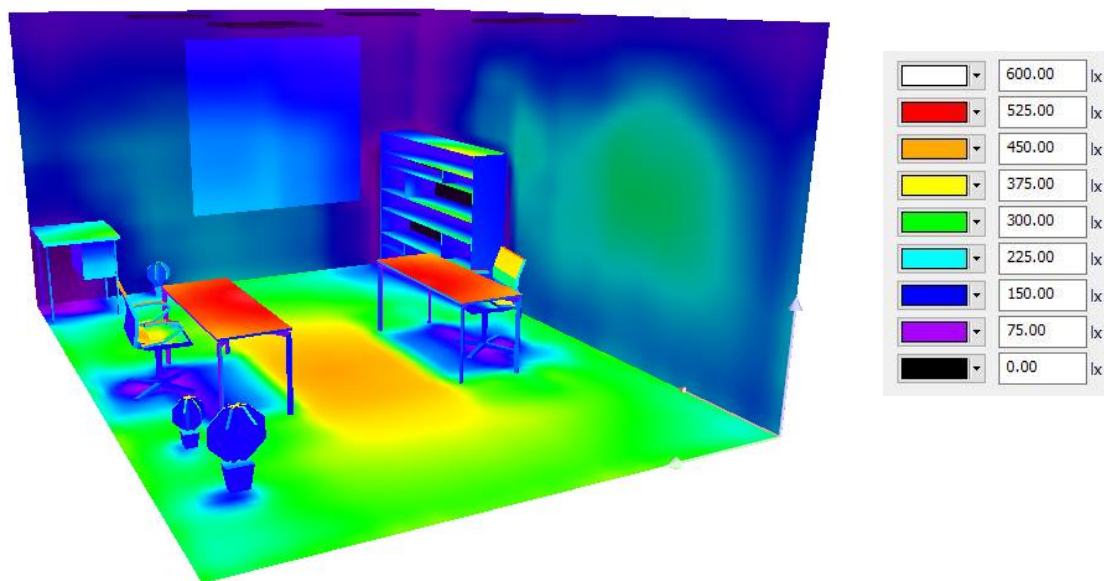


Figura 73: rappresentazione in false color dell'illuminamento medio mantenuto nell'ufficio

Al fine di un corretto svolgimento delle attività previste nel locale, sono state inserite delle superfici di calcolo idonee per verificare, con gli apparecchi LED scelti, i requisiti minimi richiesti dalla norma relativa alle attività svolte, in particolare orizzontali (piano di lavoro) e verticali (scaffalature) come riportato in Figura 74.

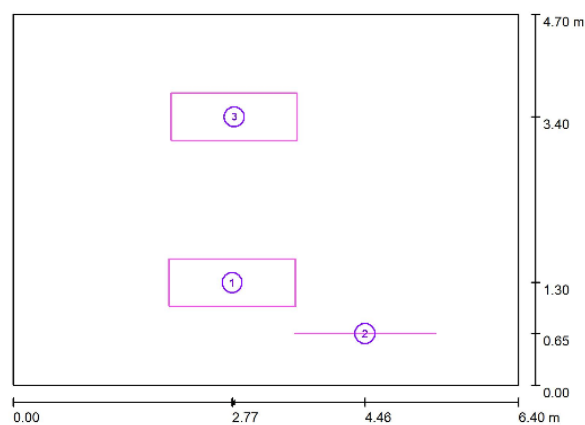


Figura 74: superfici di calcolo considerate nell'ufficio

• Superficie di calcolo 1: tavolo

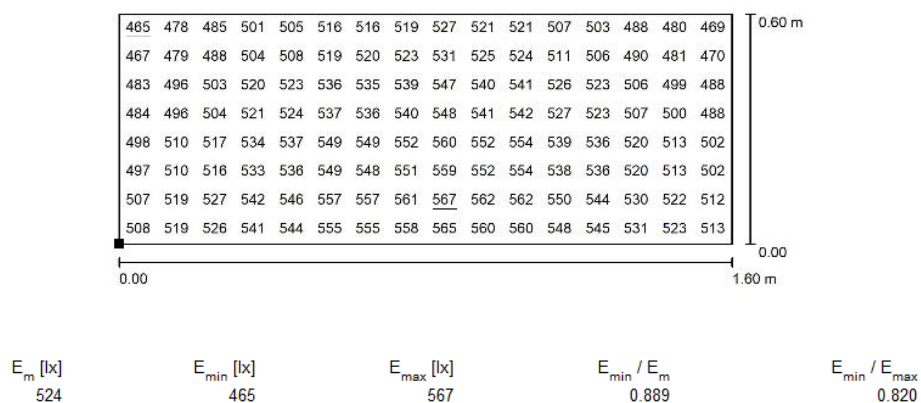


Figura 75: valore di illuminamento medio mantenuto superfice 1, ufficio

• Superficie di calcolo 2: tavolo

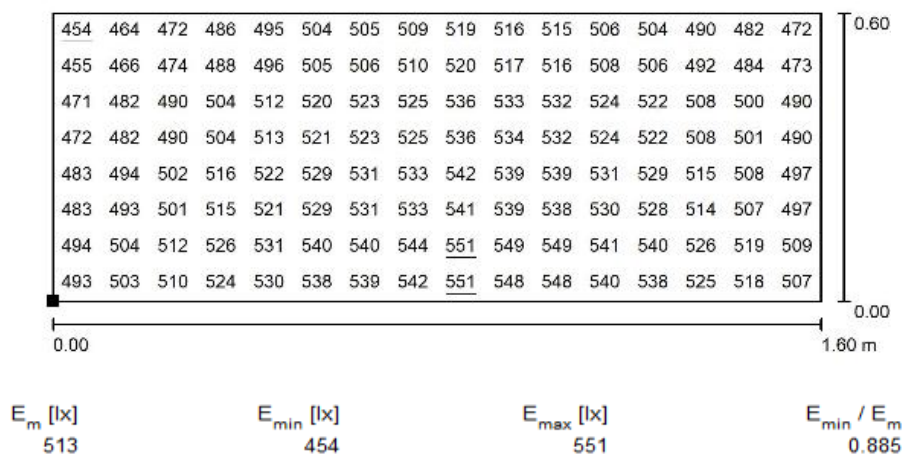


Figura 76: valore di illuminamento medio mantenuto superfice 2, ufficio

• Superficie di calcolo 3: scaffale

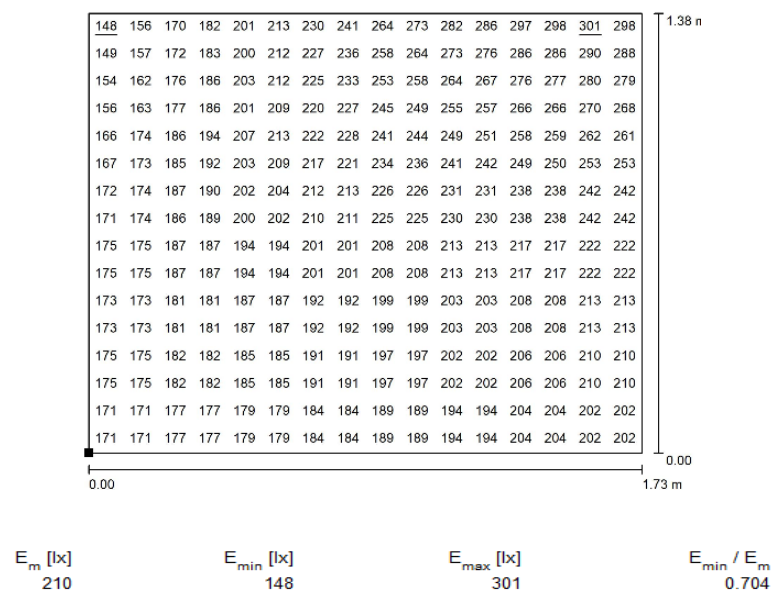


Figura 77: valore di illuminamento medio mantenuto superfice 3, ufficio

Si passa infine alla verifica dell'abbagliamento tramite UGR ponendo delle superfici di calcolo UGR ideone per simulare l'osservatore.

• Osservatore posto in prossimità della scrivania

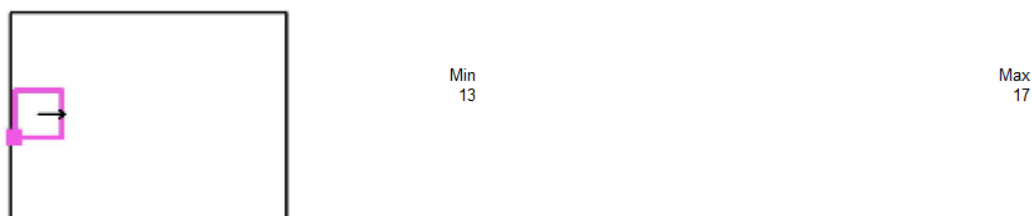


Figura78: verifica UGR per un osservatore vicino la scrivania

• Osservatore verso la stanza

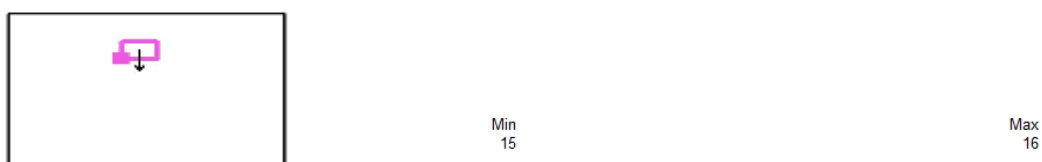


Figura 79: verifica UGR per un osservare che guarda verso la stanza, ufficio

4.4.6 Scale

La struttura del Presidio ospedaliero si sviluppa, nella sua interezza, su cinque livelli e pertanto sono presenti molti vani scala col compito di collegare i vari piani di cui è costituito l'edificio. Si è deciso di installare apparecchi LED in quanto, essendo questi ambienti illuminati 24 ore al giorno per tutto l'anno, l'attuale tecnologia a fluorescenza risulta particolarmente energivora.

In figura 80 si riporta la riproduzione di un tipico vano scala.

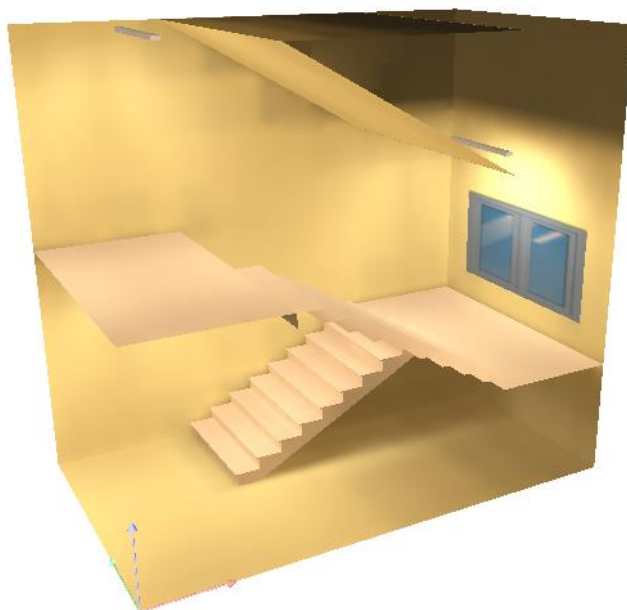


Figura 80: rappresentazione 3D vano scala

Particolare attenzione bisogna porre all'illuminamento delle scale perché, se adeguato, permette di percorrere in totale sicurezza i gradini di cui si compone.

Il compito visivo dunque, valutato con idonee superfici di calcolo a livello degli scalini, deve avere un adeguato livello di illuminazione in quanto le scale sono passaggi che possono diventare pericolosi, provocare cadute accidentali, e dunque devono essere ben visibili. I requisiti per ottenere questo sono riportati in Tabella 4.18.

Zona	E_m [lx]	UGR	U0	Ra
Scale	100	25	0.4	40

Tabella 4.18: Valori prescritti dalla normativa per le scale

L'apparecchio di illuminazione scelto è riportato in Figura 4.19.

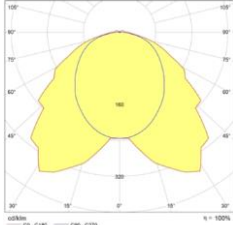
- Nome: Linda LED L1270 - Produttore: 3F Filippi	
Caratteristiche della sorgente: - Tipologia: LED - Potenza:28 W - Flusso Luminoso: 3593lm - TCC: 4000 K - Ra: >80 - Efficienza luminosa 128,32 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: - IP: 65 - IK10 - Curva fotometrica 

Tabella 4.19: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per le scale

In figura 81 si riporta quindi la rappresentazione in false color dell'illuminazione dopo l'intervento di installazione LED.

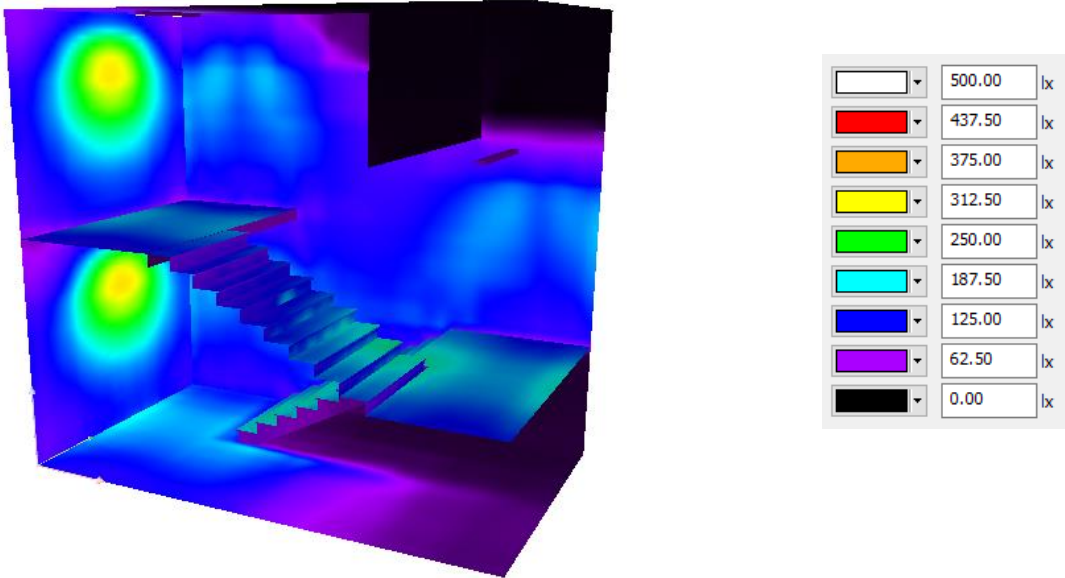


Figura 81: rappresentazione in false color dell'illuminamento medio mantenuto, vano scala

Nella seguente figura 82 si riportano le superfici di calcolo scelte vale a dire i pianerottoli e alcuni scalini rappresentavi.

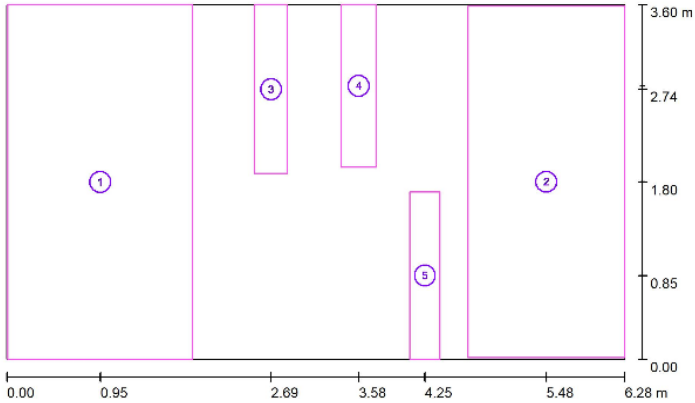


Figura 82: superfici di calcolo individuate, vano scala

- **Superfici di calcolo 1 e 2: pianerottoli**

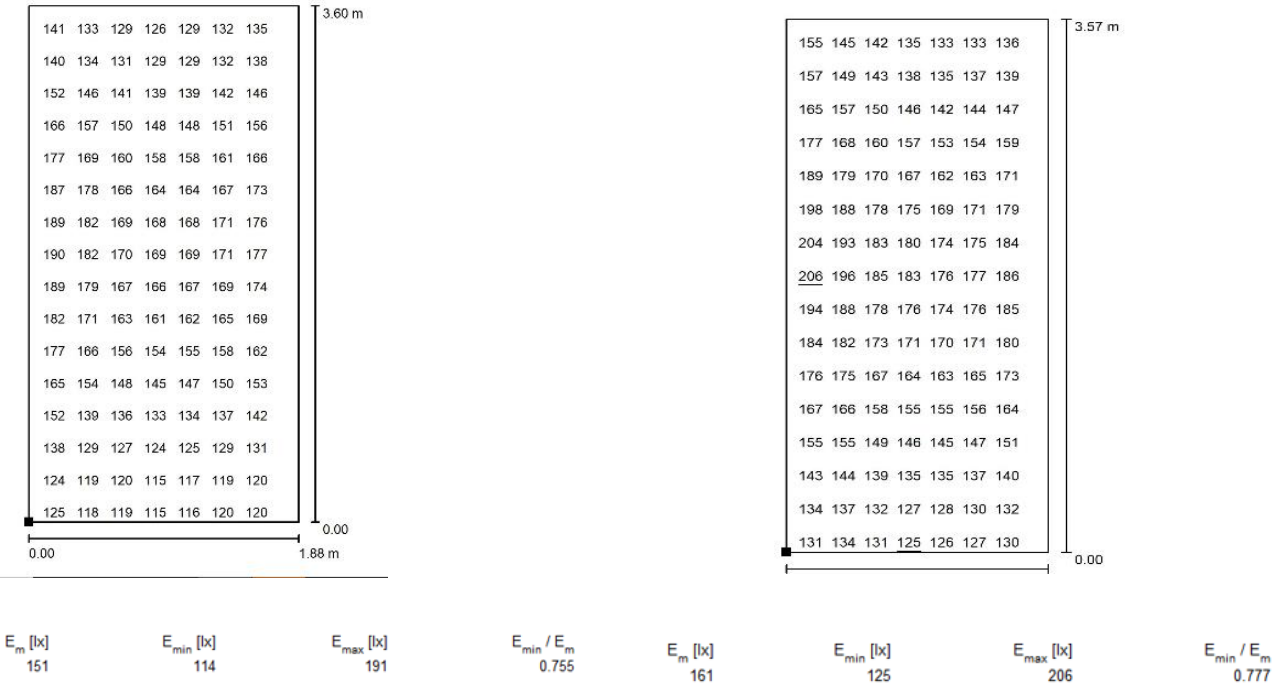
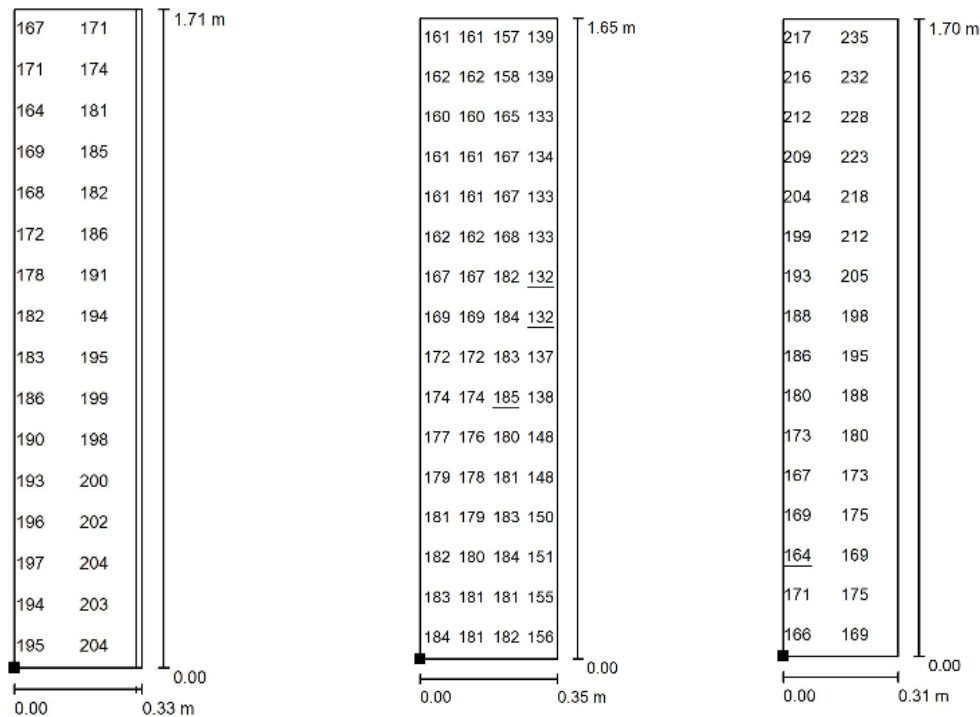


Figura 83: valori di illuminamento medio mantenuto nelle superfici di calcolo 1 e 2, vano scala

• **Superfici di calcolo 3,4,5: scalini**



Superficie 3)	E_m [lx] 186	E_{min} [lx] 161	E_{max} [lx] 218	E_{min} / E_m 0.867	E_{min} / E_{max} 0.739
Superficie 4)	E_m [lx] 164	E_{min} [lx] 132	E_{max} [lx] 185	E_{min} / E_m 0.801	E_{min} / E_{max} 0.712
Superficie 5)	E_m [lx] 196	E_{min} [lx] 164	E_{max} [lx] 240	E_{min} / E_m 0.834	E_{min} / E_{max} 0.681

Figura 84: valori di illuminamento medio mantenuto nelle superfici di calcolo 3,4,5, vano scala

Si verifica infine il valori di UGR simulando un osservatore posto in diverse posizioni del vano scala in esame come mostrato in figura 85 e 86.

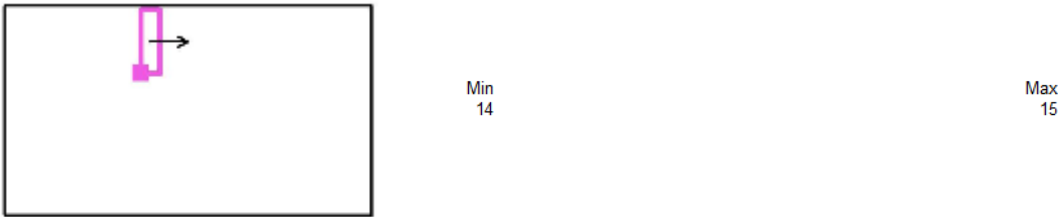


Figura 85: verifica del valore UGR 1, vano scala



Figura 86: verifica del valore UGR 2, vano scala

4.4.7 Locali tecnici e bagni

Per questi locali si riportano, nelle tabelle 4.20 e 4.21, le caratteristiche degli apparecchi illuminanti LED che si è deciso di installare.

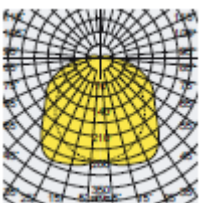
• Nome: Hydro LED • Produttore: Disano	
Caratteristiche della sorgente: • Tipologia: LED • Potenza: 36 W • Flusso Luminoso: 5094 lm • TCC: 4000 K • Ra: >80 • Efficienza luminosa 141,5 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: • IP: 66 • Curva fotometrica 

Tabella 4.20: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per i locali tecnici

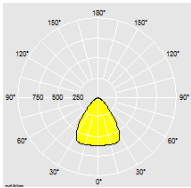
- Nome: THORN - CHAL 150 LED 2000-840 HF RSB - Produttore: Thorn Lighting	
Caratteristiche della sorgente: - Tipologia: LED - Potenza: 17,3 W - Flusso Luminoso: 1980 lm - TCC: 4000 K - Ra: >80 - Efficienza luminosa 114,45 lm/W	Caratteristiche dell'apparecchio: - IP: 54 - Curva fotometrica: 

Tabella 4.21: Caratteristiche tecniche apparecchio LED per il bagno

4.5 Consumi energetici post-intervento

Individuati gli apparecchi LED da utilizzare in sostituzione di quelli fluorescenti ad oggi installati e dopo aver verificato il rispetto dei valori prescritti nella norma 12464-1 negli ambienti tipo individuati, si è proceduto ad effettuare l'intervento vero e proprio per la valutazione del consumo energetico.

La valutazione del numero di apparecchi illuminanti da destinare ai vari ambienti dei reparti che compongono l'ospedale, è avvenuta considerando la densità di potenza in $\frac{W}{m^2}$, output di Dialux, degli ambienti tipo presi in esame, che risultano essere necessari affinché i requisiti illuminotecnici con gli apparecchi LED scelti siano rispettati. In tabella 4.22 si riportano i dati ottenuti.

Locale	Densità di potenza [$\frac{W}{m^2}$]
Corridoio	2,9
Corridoio con volte	7,82
Uffici	4,39

Ambulatorio/Studio medico	5,16
Sala attesa	5,07
Degenza	3,29
Sala visita	5,96
Scale	3,72

Tabella 4. 22: densità di potenza degli apparecchi LED negli ambienti tipo

A partire da questi dati, è possibile valutare il numero di apparecchi illuminanti LED da installare in ogni ambiente individuato, nota la loro superficie.

Va tuttavia sottolineato che i consumi energetici considerati nella valutazione dipendono fortemente sia dalle ore di accensione dello stesso, sia dalle eventuali strategie di controllo che si intendono attuare, le quali influiscono sulla potenza assorbita dagli apparecchi di illuminazione

Il calcolo dei consumi energetici per l'illuminazione è effettuato a parità di condizioni utilizzate nella valutazione precedente all'intervento: questo vuol dire che rimangono inalterate le ore di utilizzo degli apparecchi illuminanti che coincidono con quelli di fruizione della struttura ma anche i fattori di contemporaneità stimati nella valutazione precedente e che si è deciso di adottare.

Nella Tabella 4.23 si riassumono i risultati ottenuti dall'intervento di sostituzione.

Quinto piano-Direzione sanitaria					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
Disano 842 LED	Uffici	21	693	2277	1.279,90
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	7	203,8	2277	376,37
-	Altro	39	2930	2777	3.409,93
Quarto piano-Medico competente					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]

Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	13	1188	2024	718,62
Disano 842 LED Panel	Studi medici	20	660	2024	1.068,67
Disano 842 LED Panel	Sala visita	19	747	2777	1.209,54
3F Reno 200WH		6			
Thorn Chal 150 LED	Bagni	7	121,1	2777	512,96
-	Altro		316,8	2777	147,06
Quarto piano-Spogliatoi					
-	Altro	14	1900,8	2777	1.154,17
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	24	382,7	2777	774,61
Terzo piano- Diagnostica per immagini					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	15	401,5	2024	812,65
Fosnova Ecopannello	Attesa	6	206,4	2024	417,75
Disano 842 LED Panel	Sala visita	• 6	139	2024	225,07
3F Reno 200WH		• 2			
Thorn Chal 150 LED	bagni	4	69,2	2024	70,03
Disano 842 LED Panel	Ambulatori	24	792	2024	1.122,11
Terzo piano- Ambulatori					
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	19	520,6	8760	3.044,52
Fosnova Ecopannello	Sala attesa	6	206,4	2024	334,2

Disano 842 LED Panel	Sala visita	• 7	291	2024	471,19
3F Reno 200WH		• 3			
Thorn Chal 150 LED	bagni	15	259,5	2024	262,61
Disano 842 LED Panel	ambulatori	14	462	2024	748,07
Terzo piano- Gruppo operatorio					
-	-	124	20.039,00	3542	56.782,51
Secondo Piano - CAVS					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	12	323,9	8760	2.837,37
Disano 840 LED Panel	Degenza	20	660	8760	4.239,84
Disano 842 LED Panel	ufficio caposala	3	99	8760	202,36
Disano 842 LED Panel	Sala visita	• 3	119	8760	764,46
3F Reno 200WH		• 1			
Thorn Chal 150 LED	Bagni	16	275,2	8760	1.767,88
Secondo piano- Ambulatori					
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	23	637,71	8760	1.290,73
Fosnova Ecopannello	Sala attesa	15	516	2024	835,51
Disano 842 LED Panel	Sala visita e ambulatori	• 41	1413	2024	2.287,93
3F Reno 200WH		• 3			
Thorn Chal 150 LED	bagni	10	173	2024	210,09

Secondo- Day Hospital					
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	25	679,5	3289	2.234,59
Disano 840 LED Panel	degenza	24	792	3289	2.083,91
Disano 842 LED Panel	Sala visita	• 3	119	3289	313,11
3F Reno 200WH		• 1			
Thorn Chal 150 LED	bagni	14	242,2	3289	398,30
	altro	8	633,6	3289	1.667,13
Secondo piano-Chiesa					
-	-	28	4900	3285	14.486,85
Piano secondo e primo ammezzato					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	5	141,9	2530	359
Disano 842 LED Panel	Uffici	26	858	2530	1.736,59
Hydro LED	locale tecnico	8	288	2530	145,73
	Spogliatoio	22	1742,4	8760	6.105,37
Piano Primo-Ortottica					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	16	447,6	2024	905,97
Disano 842 LED Panel	Ambulatorio	37	1221	2024	1.977,04
Disano 842 LED Panel	Ufficio	3	99	2024	160,30
-	Altro	7	554,4	2024	897,68
Thorn Chal 150 LED	bagno	8	138,4	2024	112,05
Primo Piano-Clinica Oculistica					
Thorn Lighting Omega LED	corridoio	18	502,3	8760	4.400,73
Disano 840 LED Panel	degenza	37	1221	8760	8.556,77

Fosnova Ecopannello	attesa	6	206,4	8760	1.205,38
Thorn Chal 150 LED	bagni	22	380,6	8760	1.778,16
Primo Piano-Cardiologia					
Applique	Corridoio	9	1207,8	8760	10.580,33
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	7	202,33	8760	1.772,44
Faretti	Corridoio	3	237,6	8760	2.081,38
4x18 lamellare	Corridoio	7	539	8760	4.721,64
Disano 842 LED Panel	Sala visita	• 40	1640	2024	2.655,49
3F Reno 200WH		• 16			
Fosnova Ecopannello	Sala attesa	6	206,4	2024	417,75
Thorn Chal 150 LED	bagni	15	259,5	2024	262,61
Primo Piano-Malattie Metaboliche					
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	6	151,32	2024	245,02
Disano 842 LED Panel	sala visita & trattamento e uffici	• 23	1251	2024	2.025,62
3F Reno 200WH		• 3			
Lamellare incasso		• 6			
Piano Terreno- Clinica universitaria					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
applique	Corridoio	20	2420	2024	4.898,08
Fosnova Ecopannello	attesa	9	309,6	2024	626,63

Disano 842 LED Panel	Ambulatori	37	1188	2024	2.404,51
Disano 842 LED Panel	ufficio	6	343,2	2024	694,64
-	altro	32	1830,4	2024	3.704,73
-	Aula magna	30	2640	2024	5.343,36
Piano Terreno- Pronto soccorso					
Thorn Lighting Omega LED	corridoio	6	545	8760	4.774,24
-	altro	18	2178	8760	19.079,28
Piano Terreno- Cup e prelievi					
Fosnova Ecopannello	altro	15	516	1771	731,07
	Vari	20	1584	1771	2.244,21
Piano Terreno- Ingresso					
LED 40W	Ingresso	16	704	8760	6.167,04
Applique	Corridoio	9	1089	8760	9.539,64
Piano Terreno-radiologia					
Thorn Lighting Omega LED	Corridoio	16	430,708	2024	871,75
Disano 842 LED Panel	ambulatorio	41	1353,00	2024	2.190,78
Piano Terreno-Ipovisione					
Fosnova Ecopannello	attesa	20	688	2024	1.114,01
Disano 842 LED Panel	sala visita	• 10	410	2024	663,87
3F Reno 200WH		• 4			
	altro	44	3484,8	2024	5.642,59
Locale interrato- Punto prelievi					
Tipo di lampada	Locale	Quantità	P.tot[W]	Orario di funzionamento [h/anno]	Energia [kWh/anno]
-	varie	94	7.444,8	2024	12.054,62
Hydro LED	locali tecnici	30	1.080,00	8760	437,18

Locale interrato- locali tecnici vari					
	Corridoio	32	2534,4	8760	22.201,34
Hydro LED	locali tecnici	203	7308	8760	6.401,81
	altro	186	3069		2.688,44
Scale					
Linda LED L1270	Vano scala	54	936	8760	8.514,72

Tabella 4.23: Consumi energetici con apparecchi LED

È possibile quindi valutare il consumo totale di energia elettrica per la sola illuminazione e confrontarla con il risultato ottenuto durante la fase di diagnosi energetica. Si ricorda che anche in questo caso si tengono in considerazione quelle lampade di cui non è nota l'ubicazione ma rientrano nel computo fornito dall'ufficio tecnico: questi apparecchi illuminanti non rientrano nell'intervento di relamping.

Nella Tabella 4.24 si riportano i risultati ottenuti, confrontando il consumo post-intervento con la situazione *ante*, mettendo in evidenza il risparmio in termini di consumo di energia elettrica utilizzando la tecnologia a LED.

Scenario	Consumo [kWh/anno]	
ANTE	535.759,26	
POST	352.638,60	
Risparmio	177.201,73	34,3% risparmio con LED

Tabella 4.24: Confronto scenari ante e post-intervento

4.5 Valutazione del payback period

Dalla valutazione del risparmio energetico ottenuto in seguito all'installazione degli apparecchi LED, è opportuno fornire una stima circa il tempo di ritorno dell'intervento. Esistono diversi metodi di calcolo usati nell'analisi di fattibilità economica di un intervento e, tra questi, possiamo annoverare la stima del payback period.

Per procedere all'analisi economica è necessario conoscere il prezzo degli apparecchi illuminanti che si è scelto di utilizzare e questo, unitamente al prezzo di posa in opera, fornirà il costo totale dell'investimento. Nella valutazione sono stati consultati, in mancanza di dati, i cataloghi delle aziende produttrici degli apparecchi LED mentre per il costo di installazione si è considerato, in assenza di dati, un valore pari al 20% del costo degli apparecchi.

È opportuno ricordare che l'utilizzo dei cataloghi delle aziende fornitrici comporta una sovrastima del prezzo d'acquisto rispetto a quanto effettivamente si pagherebbe attraverso le aziende distributrici di prodotti per l'illuminazione e ciò comporta che il tempo di ritorno dell'investimento valutato è sovrastimato.

In tabella 4.25 si riportano i dati economici necessari alla valutazione dell'investimento.

Tipologia apparecchio	Quantità	Prezzo unitario [€/pezzo]	Prezzo installazione [€/pezzo]	Prezzo totale [€]
Disano Hydro 960	241	34,2	27,89	14.529,89
Thorn Lighting Omega LED	206	75,73	22,32	17.276,99
Disano 842 LED Panel	383	66,00	13,2	29.766,00
Disano 840 LED Panel	81	98,00	19,6	9.525,60
Fosnova Ecopannello	97	140,00	42,00	16.296,00
3F Reno 200WH	40	87,7	17,54	4.209,6
Linda LED 3F Filippi	54	91,3	18,26	5.916,24
Thorn Chal 150 LED	111	37,69	7,53	5.020,3
				102.568,97

Tabella 4.25: dati economici dei LED scelti

Individuato il costo di investimento è necessario adesso valutare il risparmio economico annuo. Per farlo, si considera un prezzo unitario dell'energia elettrica pari a 0,17 €/kWh e attraverso la formula:

$$R = E_{el,risp} * c_{el} \quad [€/anno] \quad (4.10)$$

Dove:

- R =risparmio economico annuo [€/anno];
- $E_{el,risp}=E_{el,ante} - E_{el,post}$ risparmio energetico annuo [kWh/anno];
- c_{el} prezzo unitario energia elettrica;

Noto il risparmio conseguito è possibile valutare il payback period dell'investimento come:

$$SPB = \frac{I}{R} \quad [anno] \quad (4.11)$$

In cui:

- SPB : Simple Payback Period [anno];
- I : investimento [€];
- R : risparmio economico [€/anno].

In tabella 4.26 si riassumono i risultati ottenuti.

$E_{el,risp}$ [kWh/anno]	177.201,73
c_{el} [€/kWh]	0,17
R [€/anno]	30.124,3
I [€]	102.568,97
SPB [anni]	3,4

Tabella 4.26: Valutazione del SPB dell'investimento

Il tempo di ritorno stimato risulta coerente con questa tipologia di interventi.

Quanto già detto per la valutazione dei consumi energetici e quindi sul risparmio conseguito tramite l'utilizzo dei LED, si riflette anche sul tempo di ritorno dell'investimento in quanto quest'ultimo dipende dalle ore di utilizzo degli apparecchi illuminanti: maggiore è il numero di ore annue di utilizzo dell'impianto maggiore saranno i kWh annui risparmiati e quindi il payback period sarà inferiore.

È utile infine confrontare il tempo di ritorno stimato con il tempo di vita degli apparecchi LED in quanto se SPB risulta essere inferiore alla vita utile di un apparecchio esso dovrà essere nuovamente sostituito prima che l'investimento sia rientrato, aumentando quindi i costi e ciò farebbe sì che l'intervento risulti essere non conveniente dal punto di vista economico. Nel caso della tecnologia LED questo aspetto è trascurabile dal momento che, come si vedrà nel paragrafo sulla manutenzione, la vita media di un LED è di molto superiore a questo intervallo.

4.6 Valutazione del LENI (Lighting Energy Numeric Indicator)

4.6.1 La norma UNI EN 15193¹⁷

Nell'ottica della valutazione dei consumi energetici negli edifici, la direttiva Europea 2010/31/UE¹⁸ pone l'attenzione sulla valutazione dei consumi energetici nell'edilizia, dettando le linee guida da seguire riguardanti l'efficienza energetica per il sistema edificio-impianto.

Per quanto concerne l'illuminazione è stata emanata la norma UNI EN 15193 "Requisiti energetici per l'illuminazione" che diventa il riferimento per la valutazione del consumo energetico degli impianti di illuminazione prendendo in considerazione:

- Fabbisogno per l'illuminazione;
- Presenza di luce naturale;
- L'impianto di illuminazione installato;
- Comportamento degli utenti.

¹⁷ Tratto da: Pellegrino A., appunti del corso "Sistemi per l'illuminazione e il controllo del rumore".

¹⁸ Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

In essa viene definito un indicatore energetico che prende il nome di LENI (Light Energy Numeric Indicator) che esprime l'energia consumata nell'edificio per unità di superficie in un anno.

Di seguito si introducono le quantità definite dalla normativa 15193-1.

$$\text{LENI} = \frac{\text{Energia consumata su base annua comprese le potenze parassite}}{\text{Superficie utile della zona considerata}} \quad [\text{kWh/m}^2\text{anno}] \quad (4.12)$$

Per la valutazione del LENI è necessario valutare l'energia totale per l'illuminazione in kWh/anno, che può essere calcolata con la relazione:

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \quad [\text{kWh}/t_s] \quad (4.13)$$

In cui:

- $W_{L,t}$ [kWh] è il fabbisogno energetico necessario agli apparecchi di illuminazione per garantire le condizioni di illuminazione fissate in sede progettuale in termini di illuminamento medio mantenuto come indicato dalla norma UNI EN 12464;
- $W_{P,t}$ [kWh] che esprime il fabbisogno di energia richiesto per il funzionamento dei dispositivi di illuminazione di emergenza e dello standby dei vari sistemi di controllo dell'illuminazione eventualmente presenti.

In formule:

$$W_{L,t} = \sum \frac{(P_n \times F_c) \times [(t_d \times F_o \times F_d) + (t_n \times F_o)]}{1000} \quad [\text{kWh}/t_s] \quad (4.14)$$

$$P_n = \sum_i P_i \quad [\text{W}] \quad (4.15)$$

In cui:

- P_n [W] è la potenza totale installata nell'ambiente, somma delle potenze delle i-esime zone;
- P_i [W]: potenza elettrica consumata dalle lampade, reattori e da altri componenti associati all'apparecchio di illuminazione e include le potenze parassite;
- t_d [h] ore di funzionamento del sistema di illuminazione in presenza di luce naturale;

- t_n [h] ore di funzionamento del sistema di illuminazione in assenza di luce naturale
- F_c fattore di illuminamento costante;
- F_o fattore di dipendenza dall'occupazione;
- F_d fattore di dipendenza dalla luce diurna.

Per quanto concerne l'energia parassita, $W_{P,t}$, il calcolo si effettua come segue:

$$W_{P,t} = \sum \frac{P_{pc} \times t_y + (P_{em} \times t_e)}{1000} \quad [kWh/t_s] \quad (4.16)$$

$$P_{pc} = \sum_i P_{ci} \quad [W] \quad P_{em} = \sum_i P_{ei} \quad [W] \quad (4.17)$$

In cui:

- $P_{p,c}$ [W] è la potenza elettrica totale assorbita dagli ausiliari di controllo degli apparecchi di illuminazione quando i corpi illuminanti non sono in funzione;
- P_{em} [W]: potenza elettrica totale di ricarica degli apparecchi di illuminazione di emergenza dell'ambiente o zona;
- t_y [h]: numero di ore corrispondenti ad un anno;
- t_{em} [h]: tempo necessario alla ricarica delle batterie degli apparecchi di emergenza durante di funzionamento degli impianti di illuminazione

Per la valutazione del LENI è dunque necessario calcolare i fattori sopra descritti che concorrono a definire il consumo per illuminazione annuo dell'edificio.

- **Fabbisogno energetico per illuminazione: valutazione del Fattore di dipendenza dalla luce naturale ($F_{D,n}$)**

Permette di valutare il risparmio energetico conseguente alla disponibilità di luce naturale all'interno dell'edificio, comportando un minore utilizzo di illuminazione artificiale per il raggiungimento dei requisiti normativi richiesti.

Questo fattore è pari a:

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n} \times F_{D,C,n}) \quad [-] \quad (4.18)$$

In cui:

- $F_{D,S,n}$: fattore di disponibilità della luce naturale ed esprime l'apporto che la luce naturale fornisce al valore di illuminamento medio necessario nella

zona “n” in esame stimandone il risparmio energetico conseguito in relazione alle condizioni climatiche, il fattore di luce diurna e al tipo di schermature;

- $F_{D, C, n}$: fattore che tiene in considerazione della capacità da parte del sistema di controllo eventualmente installato di sfruttare la presenza di luce naturale nella zona “n” considerata.

La valutazione dell’indice passa per la determinazione dell’impatto che le caratteristiche architettoniche hanno sulla penetrazione della luce nell’edificio che varia a seguito delle ostruzioni eventualmente presenti.

Più in dettaglio:

$$F_{D,S} = t_{rel,D,SNA} \times F_{D,S,SNA} + t_{rel,D,SA} \times F_{D,S,SA} \quad (4.19)$$

Il termine $F_{D,S,SNA}$, fattore di disponibilità di luce naturale in assenza delle schermature, è determinato in funzione di:

- Latitudine;
- rapporto tra illuminamento diretto e diffuso H_{dir}/H_{glob} ;
- orientamento della facciata in cui è presente l’apertura;
- presenza di illuminazione naturale quando la schermatura non è presente, definita attraverso il fattore di luce diurna D;
- requisito di illuminamento da normativa.

Il fattore di luce diurna D, della zona in esame, è valutato come:

$$D = D_C \times \tau_{D65} \times k_1 \times k_2 \times k_3 \quad (4.20)$$

In cui:

- τ_{D65} , k_1 , k_2 , k_3 rappresentano rispettivamente il fattore di trasmissione diretto emisferico e fattori di correzione relativi a telai, sporcamento e correzione per trasmissione diffusa;
- D_C , fattore di luce diurna dovuto alle aperture senza considerare le schermature, è valutato come:

$$D_C = (4,13 + 20,0 \times I_T - 1,36 \times I_{DE}) \times I_O \quad (4.21)$$

Come è possibile notare, questo fattore è funzione di alcuni indici che tengono in considerazione di come le costruzioni incidano sulla penetrazione della luce nell'edificio:

1. INDICE DI TRASPARENZA – I_T

$$I_T = A_C / A_D \quad (4.22)$$

dove:

- A_C : rappresenta l'area delle aperture nella facciata della zona in esame;
- A_D : area totale del piano di lavoro orizzontale in cui incide la luce naturale.

Per determinare il valore di A_D si prendono in considerazione:

- $a_{D, \max}$: rappresenta la massima penetrazione di luce naturale nella zona ed è funzione di fattori geometrici: è opportuno sottolineare come non sempre corrisponde alla reale profondità dell'ambiente.

$$a_{D, \max} = 2,5 \times (h_{Li} - h_{Ta}) \text{ [m]} \quad (4.23)$$

In cui:

- $a_{D, \max}$ = massima profondità dell'area illuminata dalla luce naturale;
- h_{Li} = altezza dell'architrave misurata a partire dal pavimento;
- h_{Ta} = altezza del piano in cui si svolge il compito visivo, a partire dal pavimento.

Si possono verificare 3 situazioni descritte in tabella 4.27.

$a_{\text{reale}} < a_{D, \max}$	$a_D = a_{\text{reale}}$
$a_{\text{reale}} < 1,25 * a_{D, \max}$	$a_D = a_{\text{reale}}$
$a_{\text{reale}} \geq 1,25 * a_{D, \max}$	$a_D = a_{D, \max}$

Tabella 4.27 : determinazione dell'area di luce naturale

Si può quindi valutare l'area che beneficia della luce naturale come:

$$A_{D,j} = a_D \times b_D \quad (4.24)$$

- a_D = profondità dell'area che dispone di luce naturale
- b_D = larghezza dell'area che dispone di luce naturale

$$\begin{array}{l} A_D \rightarrow F_D < 1 \\ A_{ND} \rightarrow F_D = 1 \end{array}$$

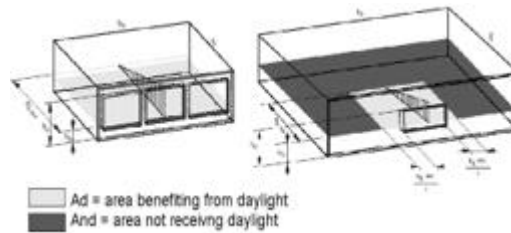


Figura 87: esempio di valutazione area che beneficia di luce naturale e area che non ne beneficia

2. INDICE DI PROFONDITA' – I_{de}

$$I_{De} = a_D / (h_{Li} - h_{Ta}) \quad (4.25)$$

Dove:

- a_D = profondità dell'area illuminata dalla luce naturale;
- h_{Li} = altezza dell'architrave misurata a partire dal pavimento;
- h_{Ta} = altezza del piano in cui si svolge il compito visivo, a partire dal pavimento.

3. INDICE DI OSTRUZIONE – I_O

$$I_O = I_{O,OB} \times I_{O,OV} \times I_{O,VF} \times I_{O,CA} \times I_{O,GDF} \quad (4.26)$$

In dettaglio gli indici che compongono I_O

- $I_{O,OB}$ = fattore che tiene conto dell'ostruzione frontale:

$$I_{O,OB} = \cos(1,5 \times \gamma_{O,OB}) \quad \text{per } \gamma_{O,OB} < 60^\circ \quad (4.26)$$

$$I_{O,OB} = 0 \quad \text{per } \gamma_{O,OB} \geq 60^\circ$$

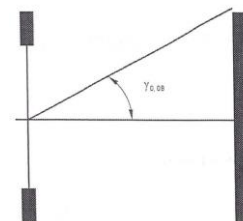


Figura 88: valutazione angolo per tener conto delle ostruzioni frontali

- $I_{O,OV}$ = fattore che tiene conto delle ostruzioni orizzontali (mensola orizzontale):

$$I_{O,OV} = \cos (1,33 \times \gamma_{O,OV}) \quad \text{per } \gamma_{O,OV} < 67,5^\circ \quad (4.27)$$

$$I_{O,OV} = 0 \quad \text{per } \gamma_{O,OV} \geq 67,5^\circ$$

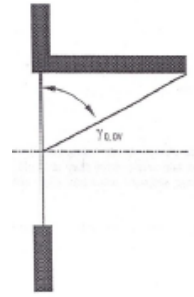


Figura 89: valutazione dell'angolo per la valutazione dell'ostruzione orizzontale

- $I_{O,VF}$ = fattore che tiene conto dell'ostruzione laterale

$$I_{O,VF} = 1 - \gamma_{O,VF}/300^\circ \quad (4.28)$$

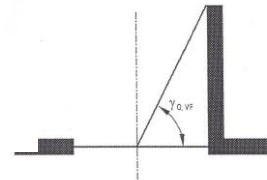


Figura 90: dell'angolo per l'ostruzione laterale

- $I_{O,CA}$ = fattore che tiene conto di atrii e/o cortili

$$I_{O,CA} = 1 - 0,85 w_{l,d} \quad \text{per cortili} \quad (4.29)$$

$$I_{O,CA} = \tau_{At} \times k_{AT,1} \times k_{AT,2} \times k_{AT,3} (1 - 0,85 w_{l,d}) \quad \text{per atrii}$$

$$I_{O,CA} = 0 \quad \text{per } w_{l,d} > 1,18$$

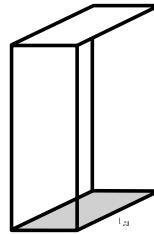


Figura 91: valutazione del fattore per le correzioni dovute ai cortili

valutato definendo l'indice di profondità del cavedio come:

$$w_{l,d} = h_{At} (l_{At} + w_{At}) / (2 l_{At} w_{at}) \quad (4.30)$$

e i fattori correttivi $K_{AT,1}$, $K_{AT,2}$, $K_{AT,3}$ e τ_{At} fattore di trasmissione e fattori di correzione relativi alle superficie trasparente dell'atrio.

- $I_{O,GDF}$ = fattore di correzione per tener conto di facciate doppie verticali:

$$I_{O,GDF} = \tau_{GDF} \times k_{GDF,1} \times k_{GDF,2} \times k_{GDF,3} \quad (4.31)$$

$\tau_{GDF,1}$, $K_{GDF,1}$, $K_{GDF,2}$ e $K_{GDF,3}$ rispettivamente fattore di trasmissione e fattori di correzione relativi alle facciata doppia trasparente.

Si può quindi valutare, noti questi fattori come la luce penetri nell'ambiente come mostrato in tabella 4.28, e le implicazioni sul risparmio energetico.

Classification		Penetrazione della luce naturale
D_c	D	
$D_c \geq 6\%$	$D \geq 3\%$	Strong
$6\% > D_c \geq 4\%$	$3\% > D \geq 2\%$	Medium
$4\% > D_c \geq 2\%$	$2\% > D \geq 1\%$	Weak
$D_c < 2\%$	$D < 1\%$	None

Tabella 4.28: fattore di luce diurna

Si passa ora alla stima delle potenzialità di risparmio energetico in rapporto alla condizione climatiche locali, all'illuminamento richiesto, al fattore di luce diurna e al tipo di schermature mobili presenti.

Il termine $t_{rel,D,SNA}$ rappresenta la frazione di tempo in cui il sistema di schermatura non è presente e viene determinata in funzione del luogo geografico in cui è posizionato l'edificio, delle condizioni climatiche e dell'orientamento della superficie vetrata. I parametri utilizzati per definire questo termine sono dunque:

- la latitudine;
- la condizione di illuminazione esterna o esposizione luminosa della località considerata, definita come rapporto tra l'illuminamento diretto e diffuso (H_{dir}/H_{glob});
- l'orientamento della superficie vetrata.

Per la valutazione si fa uso di apposite tabelle come ad esempio quelle riportate in figura 91:

t_{rel,D, SNA_j} South									
H_{dir}/H_{glob}	γ								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,99	0,97	0,94	0,93	0,96	0,98	0,98	0,93	0,88
0,2	0,94	0,91	0,86	0,84	0,86	0,87	0,86	0,80	0,72
0,3	0,89	0,86	0,79	0,75	0,75	0,76	0,75	0,69	0,61
0,4	0,83	0,80	0,71	0,65	0,64	0,65	0,65	0,60	0,53
0,5	0,71	0,67	0,57	0,50	0,49	0,50	0,51	0,47	0,40
0,6	0,55	0,51	0,41	0,33	0,32	0,34	0,36	0,32	0,23
0,7	0,47	0,43	0,32	0,24	0,23	0,26			
0,8	—	0,42	0,32	0,24	0,23	0,26			
0,9	—	0,42	0,32	0,24	0,23	0,26			

t_{rel,D, SNA_j} North									
H_{dir}/H_{glob}	γ								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,2	0,97	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,3	0,92	0,92	0,94	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,4	0,84	0,85	0,89	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,5	0,77	0,79	0,83	0,91	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
0,6	0,73	0,75	0,80	0,89	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
0,7	0,71	0,73	0,79	0,88	0,98	1,00	—	—	—
0,8	—	0,73	0,79	0,88	0,98	1,00	—	—	—
0,9	—	0,73	0,79	0,88	0,98	1,00	—	—	—

Figura 92: esempio di tabelle per il calcolo di $t_{rel,D,SA}$

Si può quindi calcolare il termine F_{D,S, SNA_j} , fattore di disponibilità di luce naturale in assenza delle schermature, dopo aver valutato D , fattore di luce diurna, attraverso delle tabelle, come mostrato in un estratto in figura 92:

F_{D,S, SNA_j} [%]											
South façade											
Geo-graphic location γ	Σ_m [°]	H_{dir}/H_{glob}	D [%]								
			0,125	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0
0°–15°	100	0,34	31,9	95,6	97,9	99,4	99,7	99,9	99,9	100,0	100,0
		0,66	28,1	94,3	94,0	98,2	96,1	99,3	99,3	100,0	100,0
		0,34	25,1	75,2	83,3	91,9	94,0	96,8	96,0	99,2	99,6
		0,66	19,9	59,8	67,7	78,3	82,5	88,4	90,5	95,5	98,2
	300	0,34	18,5	55,6	68,2	82,2	85,7	91,8	94,8	97,2	98,5
		0,66	14,7	44,0	54,3	65,7	69,3	78,4	80,1	85,8	91,5
		0,34	12,9	38,6	52,6	70,2	75,0	84,4	90,0	94,4	96,8
		0,66	10,3	30,9	42,4	55,4	58,8	66,8	70,6	76,2	83,1
	500	0,34	9,7	29,1	41,0	59,2	64,7	77,2	85,0	91,4	94,8
		0,66	7,8	23,3	33,4	47,2	50,7	59,7	64,2	70,0	76,3
		0,34	3,6	30,8	92,4	95,9	97,8	97,8	98,7	99,0	99,4
		0,66	2,9	4,1	96,6	99,2	99,6	99,6	99,6	100,0	100,0
	750	0,34	24,3	73,0	83,1	91,1	92,0	95,3	96,7	98,2	98,7
		0,66	20,6	61,7	70,8	87,8	88,4	94,3	95,9	98,5	99,5
		0,34	17,9	53,7	69,0	82,7	84,8	90,8	93,8	96,6	97,7
		0,66	14,8	44,3	61,0	75,4	77,0	85,9	89,8	94,6	97,2
15°–30°	100	0,34	12,3	36,9	53,5	71,4	75,1	84,5	89,6	94,2	96,4
		0,66	10,3	30,8	46,9	62,7	65,0	76,3	81,9	89,2	93,8
		0,34	9,2	27,7	41,7	60,5	65,1	77,9	85,1	91,5	94,5
		0,66	7,7	23,2	37,0	52,6	55,4	67,9	74,9	83,8	89,7
	300	0,45	26,9	90,6	98,7	92,1	90,7	93,0	93,1	94,5	94,7
		0,71	17,8	53,3	70,1	80,0	78,4	84,6	85,6	89,5	90,3
		0,45	2,1	17,8	53,3	70,1	80,0	84,6	85,6	89,5	90,3
		0,71	17,8	53,3	70,1	80,0	78,4	84,6	85,6	89,5	90,3
	500	0,34	12,3	36,9	53,5	71,4	75,1	84,5	89,6	94,2	96,4
		0,66	10,3	30,8	46,9	62,7	65,0	76,3	81,9	89,2	93,8
		0,34	9,2	27,7	41,7	60,5	65,1	77,9	85,1	91,5	94,5
		0,66	7,7	23,2	37,0	52,6	55,4	67,9	74,9	83,8	89,7
	750	0,34	12,3	36,9	53,5	71,4	75,1	84,5	89,6	94,2	96,4
		0,66	10,3	30,8	46,9	62,7	65,0	76,3	81,9	89,2	93,8
		0,34	9,2	27,7	41,7	60,5	65,1	77,9	85,1	91,5	94,5
		0,66	7,7	23,2	37,0	52,6	55,4	67,9	74,9	83,8	89,7
45°–60°	100	0,39	25,3	75,8	83,2	88,4	88,5	90,9	90,9	92,0	93,4
		0,58	24,3	72,8	84,2	90,0	88,2	91,8	92,0	94,1	94,8
		0,39	17,2	51,7	64,0	75,3	76,7	83,7	87,5	91,4	93,5
		0,58	16,7	50,2	66,5	78,0	77,5	85,0	87,7	92,3	94,4
	300	0,39	12,0	38,0	49,8	63,7	66,4	75,3	81,1	87,8	90,7
		0,58	11,5	34,6	51,3	66,0	66,6	76,4	80,7	87,1	90,8
		0,39	8,1	24,3	36,9	51,7	54,5	65,6	73,0	81,6	86,2
		0,58	8,0	23,9	36,9	54,5	56,0	68,3	74,8	83,0	87,9
	500	0,39	6,1	18,3	28,4	42,4	45,4	57,9	66,5	76,3	82,2
		0,58	6,0	17,9	30,2	45,1	46,9	60,4	68,5	78,6	84,5
		0,39	4,0	12,0	20,6	31,7	32,1	42,2	48,2	58,4	61,8
		0,58	4,0	12,1	19,5	30,1	32,1	42,2	48,2	58,4	61,8
	750	0,39	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
		0,58	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
		0,39	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
		0,58	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
60°–75°	100	0,40	13,2	39,7	51,3	61,5	62,5	68,3	71,5	76,3	77,1
		0,48	11,9	35,7	46,1	54,4	54,6	59,9	62,6	66,3	68,0
		0,40	8,6	25,7	38,1	51,4	53,6	61,9	66,7	72,1	74,9
		0,48	7,9	23,8	35,6	46,3	47,2	54,1	57,9	62,9	65,4
	300	0,40	5,7	17,1	26,7	39,8	42,6	53,5	60,1	67,3	70,9
		0,48	5,4	16,1	25,7	37,5	39,3	47,8	52,7	58,9	62,2
		0,40	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
		0,48	4,0	12,1	19,5	30,1	32,1	42,2	48,2	58,4	61,8
	500	0,40	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
		0,48	4,0	12,1	19,5	30,1	32,1	42,2	48,2	58,4	61,8
		0,40	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
		0,48	4,0	12,1	19,5	30,1	32,1	42,2	48,2	58,4	61,8
	750	0,40	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
		0,48	4,0	12,1	19,5	30,1	32,1	42,2	48,2	58,4	61,8
		0,40	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7
		0,48	4,0	12,1	19,5	30,1	32,1	42,2	48,2	58,4	61,8

Figura 93: esempio di tabella per la valutazione di $F_{D,S, SNA}$

Il termine $F_{D,S, SNA}$ è determinato in base a:

- classe di disponibilità della luce diurna (D_{class} funzione del fattore di luce valutato in assenza del componente trasparente e/o schermante (D_{CA});
- il tipo di schermatura utilizzato.

Vengono considerate quattro tipologie di schermature come mostrato nella tabella in Figura 94.

System solution (to be used for the period $t_{rel,D,SA,j}$)		$F_{D,S,SA,j}$			
		Classification of daylight availability			
		None	Low	Medium	Strong
1	Glare protection only: systems which provide glare protection in compliance with the regulations applying to the respective utilization profile, e. g. regulations for computer terminal workplaces. This includes manually operated venetian blinds and semi-transparent fabric sun-screens.	—	0,1	0,2	0,3
2	Automatically-operated protection against solar radiation and glare: devices to protect against solar radiation and/or glare and which can be moved in relation to the amount of daylight available. Venetian blinds which are automatically opened slightly after being lowered, so that transmittance is greater than that of the fully-closed blinds.	—	0,2	0,43	0,55
3	Light-guiding systems.	—	0,3	0,65	0,8
4	No protection against solar radiation and shades. NOTE Only applicable for areas being evaluated to which no special regulations or provisions such as the regulations for computer terminal workplaces apply.	—	0,6	0,75	0,8

Figura 94: valutazione di $F_{D,S,SA}$

Il termine $F_{D,C,n}$ rappresenta invece la potenzialità di sfruttamento della luce naturale da parte del sistema di controllo ed è valutato tramite apposite tabelle, come quella in figura 95.

Type of control		Type of system	$F_{D,C,i}$ as a function of daylight supply									
			Classification of daylight availability									
			Low			Medium			Strong			
			E_m									
			300 lx	500 lx	750 lx	300 lx	500 lx	750 lx	300 lx	500 lx	750 lx	
Manual		I	0,60	0,47	0,44	0,65	0,62	0,49	0,60	0,57	0,54	
Automated	Switched	On/off	II	0,58	0,59	0,59	0,63	0,63	0,62	0,67	0,66	0,65
		On/off in stages	III	0,65	0,70	0,73	0,70	0,73	0,75	0,73	0,75	0,76
		Daylight responsive off	IV	0,65	0,70	0,73	0,70	0,73	0,75	0,73	0,75	0,76
		Stand-by losses, switch-on	V	0,65	0,70	0,73	0,70	0,73	0,75	0,73	0,75	0,76
	Dimmed	No stand-by losses, switch-on	VI	0,71	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,81	0,81	0,81
		Stand-by losses, no switch-on	VII	0,72	0,77	0,80	0,77	0,80	0,83	0,80	0,83	0,84

Figura 95: esempio di tabella per la valutazione di $F_{D,C,n}$

- Fabbisogno energetico per illuminazione: valutazione del Fattore di dipendenza dall'occupazione (F_o)

Si distinguono due diversi casi:

- $F_O = 1$ se:
 - L'illuminazione è garantita da un sistema centralizzato per più di un ambiente;
 - Ambienti con area maggiore di 30m², illuminate da un gruppo singolo di apparecchi con accensione manuale o automatica;
- $F_O < 1$:
 - In sale riunioni che non abbiano un'accensione centralizzata;
 - Ambienti con area minore di 30m², illuminate da un gruppo singolo di apparecchi: se vi è un sistema di controllo automatico di presenza, il sensore deve coprire un'area coincidente con quella illuminata dai corpi illuminanti.

In formule, è possibile valutare questo fattore come:

$$F_O = 1 - \left[(1 - F_{oc}) \times \frac{F_A}{0,2} \right] \quad [-] \quad \text{Se } 0,0 \leq F_A \leq 0,2 \quad (4.32)$$

$$F_O = F_{oc} + 0,2 - F_A \quad [-] \quad \text{Se } 0,2 \leq F_A \leq 0,9 \quad (4.33)$$

$$F_O = [7 - (10 \times F_{oc})] \times (F_A - 1) \quad [-] \quad \text{Se } 0,9 \leq F_A \leq 1,0 \quad (4.34)$$

Le formule menzionate sono funzione dei termini F_{oc} , fattore di dipendenza dall'occupazione e F_A , fattore di assenza, valutabili con le tabelle riportate in figura 96 e 97.

F _{oc} VALUES	
systems without automatic presence or	F _{oc}
manual on/off switch	1.00
manual on/off switch + additional automatic	0.95
systems with automatic presence and/or	F _{oc}
auto on / dimmed	0.95
auto on / auto off	0.90
manual on/dimmed	0.90
manual on/auto off	0.80

Figura 96: tabella per la valutazione di F_{oc}

Overall building calculation		Room by room calculation			Overall building calculation		Room by room calculation		
Building type	F _A	Building type	Room type	F _A	Building type	F _A	Building type	Room type	F _A
Offices	0,20	Offices	Cellular office 1 person.	0,4	Hotels and restaurants	0	Hotels and restaurants	Entrance hall/lobby	0
			Cellular office 2-6 persons.	0,3				Corridor (dimmed)	0,4
			Open plan office > 6 persons sensing/30 m ²	0				Hotel room	0,6
			Open plan office > 6 persons sensing/10 m ²	0,2				Dining hall/cafe/terrace	0
			Corridor (dimmed)	0,4				Kitchen	0
			Entrance hall	0				Conference room	0,4
			Showroom/expo	0,6				Kitchen/storage	0,5
			Bathroom	0,9					
			Rest room	0,5			Wholesale and retail service	Sales area	0
			Storage room/cloakroom	0,9				Store room	0,2
			Technical plant room	0,98				Store room, cold stores	0,6
			Copy/printing/office room	0,5					
			Conference room	0,5					
			Archives	0,98					
Educational buildings	0,2	Educational buildings	Classroom	0,25			Other areas	Waiting areas	0
			Room for group activities	0,3				Stairs (dimmed)	0,2
			Corridor (dimmed)	0,6				Theatrical stage and auditorium	0
			Junior common room	0,5				Congress hall/exhibition hall	0,5
			Lecture hall	0,4				Museum/exhibition hall	0
			Staff room	0,4				Library/reading area	0
			Gymnasium/Sports hall	0,3				Library/archive	0,9
			Dining hall	0,2				Sports hall	0,3
			Teachers' staff common room	0,4				Car parks office - Private	0,95
			Copy/printing/storage room	0,4				Car parks - Public	0,8
			Kitchen	0,2			Manufacturing factory	Assembly hall	0
			Library	0,4				Smaller assembly room	0,2
Hospitals	0	Hospitals	Wards/bedroom	0				Storage rack area	0,4
			Examination/treatment	0,4				Open storage area	0,2
			Pre-operation	0,4				Painting room	0,2
			Recovery ward	0					
			Operating theatre	0					

Figura 97: esempio di tabella per la valutazione di Fa

- **Fabbisogno energetico per illuminazione: valutazione del Fattore di illuminamento costante (Fc):**

Fattore di illuminamento costante Fc può essere valutato dalla relazione:

$$F_c = 1 - \frac{1}{2} F_{cc} \frac{(1 + MF)}{2} \quad [-] \quad (4.35)$$

In cui MF è il coefficiente di manutenzione ed $F_{c,c}$ efficienza del controllo dell'illuminamento medio.

Si hanno così tutti i termini per valutare il LENI.

4.6.2 Stima del LENI della struttura ospedaliera

Il passo successivo nell'analisi dei consumi energetici per l'illuminazione è stato quello di valutare per il Presidio ospedaliero l'indicatore energetico LENI. A seguito del processo di relamping a cui è stato sottoposto parte della struttura ci si aspetta che il valore del LENI diminuisca rispetto alla situazione ante in cui l'impianto di illuminazione era costituito nella totalità da apparecchi fluorescenti notevolmente più energivori.

Per la valutazione dell'indicatore energetico si è fatto uso di un foglio di calcolo Excel¹⁹ in cui è possibile inserire tutti i dati necessari illustrati precedentemente che portano alla valutazione del LENI per le zone che si stanno analizzando.

In tabella 4.29 si riassumono i dati di input inseriti nel foglio di calcolo.

Dati di input nel foglio di calcolo per la valutazione del LENI	
Illuminamento medio mantenuto	Dipende dal compito visivo che si svolge
Destinazione d'uso	Varia in base alla zona di cui si valuta il LENI
Tipologia di apertura	Vetro su singola parete (Le finestre del PO sono di questa tipologia)
Schermatura solare mobile	Nessuna protezione (Le finestre del PO non sono dotate di schermature).
Potenza impianto	Varia in funzione della potenza totale installata nell'ambiente in esame.
Fattore di manutenzione MF	0,8
Efficienza di controllo dell'illuminamento costante $F_{c,c}$	1
Controllo sulla luce naturale	Manuale (non ci sono sistemi di controllo)
Occupazione	interruttore ON/OFF manuale (non ci sono sistemi di controllo da parte degli occupanti)
Caratteristiche geometriche della zona	Area della zona Profondità zona Larghezza zona Altezza architrave Altezza piano di lavoro Altezza ambiente
Caratteristiche geometriche dell'apertura	Larghezza parete aperture Larghezza zona aperture Area totale aperture
Ostruzioni presenti	Ostruzione frontale Ostruzione orizzontale Ostruzione laterale
$F_{D, S, SNA}$ $t_{rel,D,SNA}$	Valutato con le apposite tabelle

Tabella 4 29: dati di input per il foglio di calcolo Excel

¹⁹ A. Pellegrino, V. Lo Verso, A. Paraggmyan, "Foglio di calcolo per la determinazione dell'indice LENI secondo la procedura della norma EN15193-1:2017"

E ‘possibile osservare come dati di input: la latitudine, la condizione climatica espressa dal rapporto $H_{\text{dir}}/H_{\text{glob}}$, la destinazione d’uso dell’ambiente, il valore di illuminamento medio mantenuto, e le informazioni sulle aperture e gli eventuali sistemi di controllo.

Figura 98: estratto del foglio di calcolo per il LENI

158

		Zona 1			$I_{Tr,j}$	0,26
Area della zona		121,02			$I_{RD,j}$	2,50
Profondità zona		6,40			$I_{Sh,j}$	0,79
Larghezza zona		3,10			D_{CA}	4,63
Altezza architrave		2,70			Fattore di trasmissione norm.	0,80
Altezza piano di lavoro		0,80			Fattore di correzione	0,80
Altezza ambiente		3,00			Fattore di correzione	0,90
					Fattore di correzione	0,85
					D	2,27
Larghezza parete aperture		28,90				
Larghezza zona aperture		10,40				
Area totale aperture		15,60				
Orientamento						
	A_D	60,68				
	A_{ND}	60,34				
Ostruzione frontale		20,57				
Ostruzione orizzontale						
Ostruzione laterale		24,50				
Atrio/Corte interna						
Facciata vetrata doppia		0,00				

Figura 99: estratto del foglio di calcolo del LENI, parte 2

Con le ultime righe del foglio di calcolo, si completano i dati necessari per la valutazione dell'indice LENI come mostrato in figura 100.

		Zona 1			Zona 1
Tempo relativo schermi non attivati	$t_{rel,D,SNA}$	0,78		t_d	3000
	$F_{DS,SNA}$	75,00		t_n	2000
Tempo relativo schermi attivati	$t_{rel,d,SA}$	0,22		t_s	
	$F_{DS,SA}$	0,75		t_e	
				F_c	1,00
	FDS	0,75		F_o	1,00
	FDC	0,55		F_D	0,59
	FD	0,59		$W_{L,n}$	2167,85
		Zona 1		$W_{P,n}$	0,00
	FA	0			
				LENI sub	17,91
	FOC	1			
	FO	1			

Figura 100: risultati del foglio di calcolo Excel

Per il calcolo del LENI per l'intera struttura si è pensato di suddividere gli ambienti in base alla destinazione d'uso tipiche di un ospedale e, effettuando una media pesata, si è stimato l'indicatore energetico sia per la situazione precedente al relamping che per quella in cui sono installati i LED per gli ambienti coinvolti nel relamping.

Nella figura 101 si riportano i risultati ottenuti:

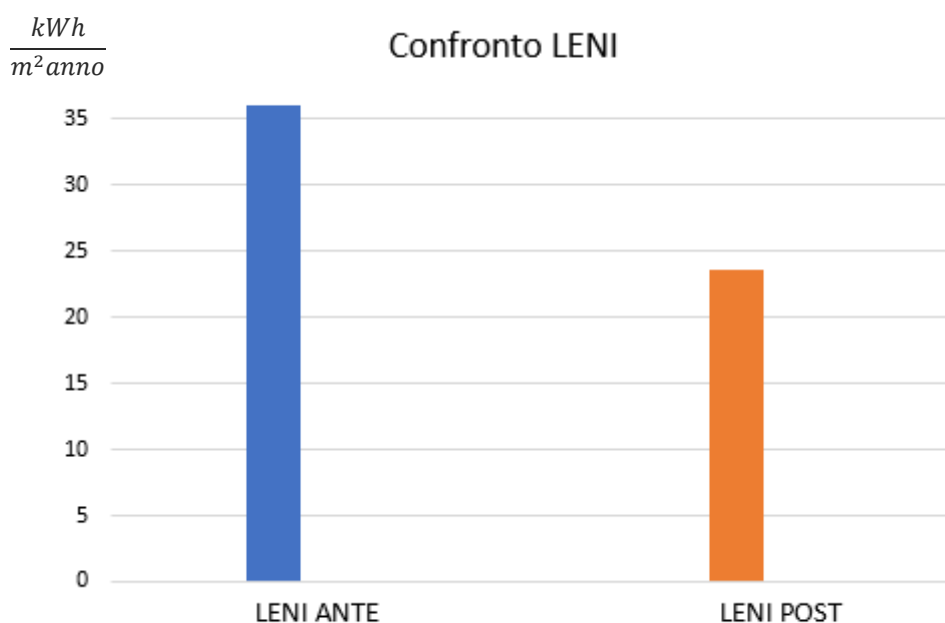


Figura 101: confronto tra il LENI prima dell'intervento, in blu, e a seguito dell'utilizzo dei LED, in arancione.

Come ci si aspettava il valore del LENI è diminuito di circa il 35% rispetto alla situazione precedente all'intervento: l'installazione dei LED che ha portato a una diminuzione dei consumi energetici per l'illuminazione e ciò si riflette anche nella diminuzione di questo indice per soddisfare i requisiti illuminotecnici.

4.7 Stima delle emissioni di anidride carbonica evitate

L'utilizzo degli apparecchi di illuminazione a LED ha permesso un risparmio energetico per il consumo di energia elettrica destinata all'illuminazione.

Questo vuol dire che vi è una mancata produzione di energia elettrica in quanto il fabbisogno da soddisfare è minore e ciò comporta un inevitabile diminuzione di anidride carbonica immessa in atmosfera da parte delle centrali di produzione.

Per stimare l'emissione di anidride carbonica che è stata evitata, si è fatto uso del rapporto ISPRA²⁰ nel quale definisce un fattore di emissione di anidride carbonica a causa dei consumi elettrici pari a 318,2 g_{CO2}/kWh_{el}.

Dal confronto dello scenario post e ante si ha, come visto, un risparmio di energia elettrica pari a 176.856,52 kWh_{el}/anno il che comporta, moltiplicando per il fattore precedentemente introdotto, un risparmio di anidride carbonica emessa in ambiente di 56,28 tonnellate rispetto alla situazione attuale.

²⁰ Rapporto 280/2018 dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2018)

Capitolo 5: Manutenzione dell'impianto di illuminazione

A seguito dell'installazione del nuovo impianto di illuminazione caratterizzato da corpi illuminanti LED, è di fondamentale importanza garantire che esso mantenga le sue prestazioni nel tempo. È per questo motivo infatti che la corretta manutenzione riveste un ruolo chiave nella gestione di un impianto: lo scopo principale è quello di far sì che il sistema di illuminazione mantenga i requisiti stabiliti in sede progettuale garantendo, durante la sua vita, il livello di illuminamento necessario per svolgere i compiti visivi, le condizioni di sicurezza e le prestazioni energetiche del sistema.

Con il passare del tempo tuttavia si assiste a un vero e proprio decadimento del flusso luminoso dovuto a un progressivo deterioramento dell'impianto installato. Ciò dipende oltre che dalla tipologia di apparecchio utilizzato, anche dalle condizioni dell'ambiente come ad esempio lo sporcamento delle pareti che comporta una riduzione della riflessione della luce nell'ambiente oppure da eventuali guasti. Per far fronte a questa problematica si definisce un fattore di manutenzione, per quanto concerne l'ambito progettuale, e un programma di manutenzione che indica dopo quanto tempo effettuare l'intervento manutentivo.

Il passaggio dalla tecnologia a fluorescenza a quella LED, impiegata nell'intervento di relamping, comporta oltre ai già citati benefici in termini di risparmio energetico, anche un miglioramento dal punto di vista della manutenzione.

Gli apparecchi di illuminazione fluorescenti e LED richiedono diversi approcci alla manutenzione in quanto la vita utile è diversa e ciò si riflette sul programma di manutenzione da adottare. Col presente capitolo si vogliono presentare i diversi approcci manutentivi e stimare i costi di manutenzione annui relative al nuovo impianto.

5.1 Cenni sulla manutenzione di apparecchi fluorescenti²¹

Per una lampada fluorescente lineare, molto diffusa nel Presidio ospedaliero, il rapporto tecnico 97-2015 del CIE fornisce indicazioni sul tipico deprezzamento del flusso luminoso che caratterizza queste lampade come indica la figura 102.

²¹ Tratto da: dal rapporto tecnico CIE 97:2005

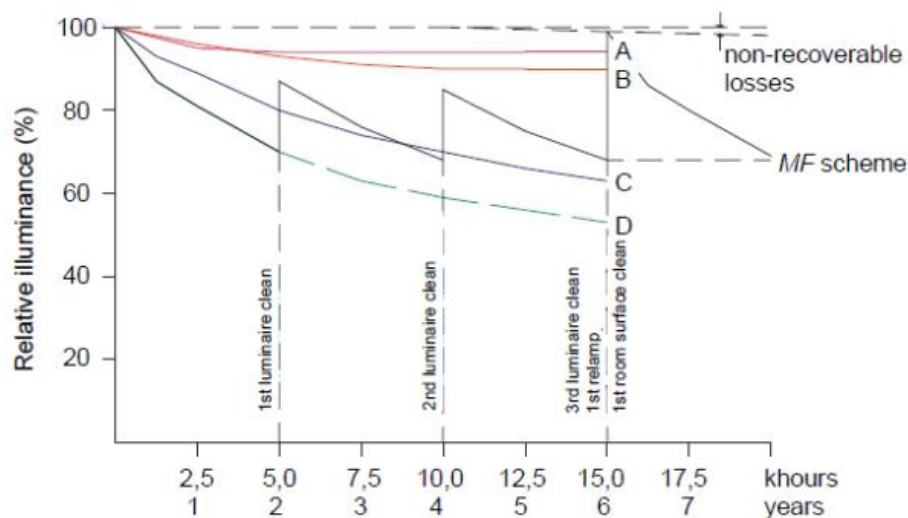


Figura 102: diminuzione percentuale dell'illuminamento nel tempo per una lampada fluorescente lineare (tratto dal rapporto tecnico CIE97:2005)

Secondo il rapporto CIE, analizzando il grafico che riporta il decremento del flusso luminoso relativo in funzione del numero di ore di utilizzo, le cause che determinano il decadimento dipendono da:

- le perdite non recuperabili, che valgono circa il 3%, imputabili a invecchiamento del materiale, alla temperatura di esercizio della lampada o alla tensione;
- le perdite dovute allo sporco della stanza (Curva A);
- le perdite imputabili alla lampada stessa (Curva B);
- le perdite imputabili all'apparecchio (Curva C);
- la curva D rappresenta lo scenario senza manutenzione in cui è possibile osservare che il flusso luminoso decade continuamente e velocemente fino ad arrivare al di sotto del 50% dopo 6 anni.

All'atto della manutenzione il flusso luminoso si riporta, a meno delle perdite non recuperabili, a circa il 100% con il tipico andamento a dente di sega.

Generalmente²², la fase di manutenzione di questi apparecchi coinvolge la sostituzione delle lampade, dell'alimentatore e dello starter, la pulizia degli apparecchi di illuminazione e delle superfici delle stanze.

²² Rapporto tecnico CIE97:2005

La modalità di sostituzione delle lampade, secondo la norma, può essere di tre tipi:

- 1) Sostituzione singola o spot re-lamping in cui ogni volta che una singola lampada si guasta essa si sostituisce e in questo caso parleremo di manutenzione correttiva;
- 2) Sostituzione in gruppo o Group re-lamping in cui, anche se alcune sono ancora funzionanti, si decide di procedere alla sostituzione dopo un intervallo temporale prestabilito e ciò ha un beneficio sui costi di manodopera in quanto si riducono i tempi di sostituzione per lampada e in questo caso parleremo di manutenzione preventiva.
- 3) Sostituzione combinata singola lampada-gruppo che è la combinazione delle due precedenti.

Focalizzando la nostra attenzione sulla seconda modalità, è possibile stabilire, anche a seguito di studi in tal senso²³, un intervallo di tempo ottimale per l'intervento che dipende essenzialmente dal fattore di durata delle lampade (LSF) e dal fattore di mantenimento del flusso luminoso della lampada (LLMF). Il fattore di durata della lampada viene definito come la probabilità che le lampade continuino a funzionare dopo un certo intervallo di tempo e fornisce indicazioni sul numero di lampade che risultano essere operanti dopo un dato intervallo. Per queste valutazioni, il costruttore fornisce le ore di funzionamento della lampada in corrispondenza del 50% di lampade sopravvissute a seguito di un test.: è da notare che per le lampade a scarica tale parametro è influenzato dai cicli di accensione e spegnimento e dal sistema di alimentazione.

In figura 103 è rappresentato il tipico andamento che assume il tasso di sopravvivenza delle lampade fluorescenti messo in relazione alla percentuale di vita media della lampada.

²³ Adelmi A., "Ottimizzazione energetica e manutentiva di un impianto di illuminazione in ambito ospedaliero", Politecnico di Torino, 2018

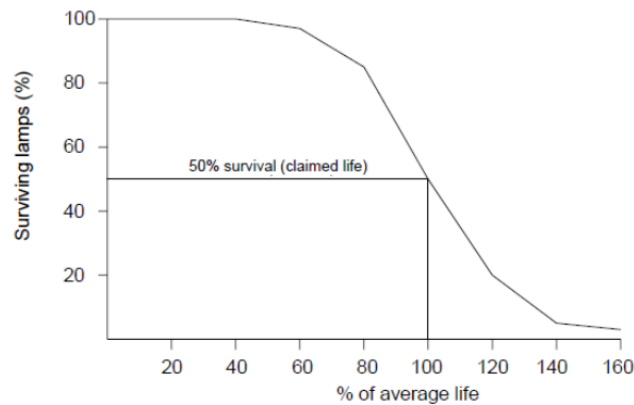


Figura 103: Tipico andamento del tasso di sopravvivenza per lampade fluorescenti lineari. (tratto dal rapporto tecnico CIE 97:2005)

Per quanto riguarda il secondo fattore per la valutazione l'intervallo ottimale di intervento già studi hanno sottolineato che si deve tenere in considerazione il decadimento del flusso luminoso durante la vita utile della lampada (LLMF) che viene definito come il rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla lampada in un dato istante e il flusso luminoso inizialmente emesso. Per le lampade fluorescenti il fattore LLMF lo si può considerare nel range di 0,75-0,90.

Con la figura 104 è infine possibile valutare l'intervallo che può essere considerato ottimale per la sostituzione delle lampade fluorescenti lineari definito in funzione del fattore di sopravvivenza e quindi della percentuale di vita delle lampade rispetto alla percentuale di lampade non più funzionanti, mostrato nella figura a sinistra, e al fattore di mantenimento del flusso luminoso e cioè la percentuale di vita della lampada rispetto alla percentuale di flusso luminoso emesso dalla stessa come indicato nella figura a destra.

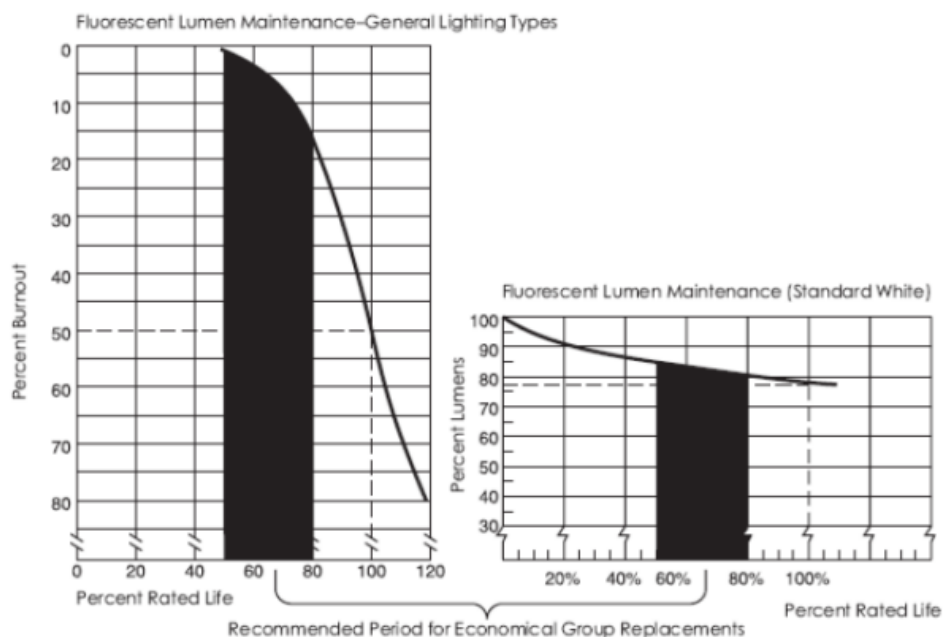


Figura 104: stima del periodo economicamente ottimale per la sostituzione in gruppo delle lampade fluorescenti (tratto da BOMI International, 2009)

Come evidenziato, il periodo più conveniente per effettuare la sostituzione di gruppo può essere considerato pari al 70-80% della vita utile della lampada infatti per valori superiori all'80% si assiste a un rapido decremento delle prestazioni della lampada in termini di flusso luminoso ma anche il numero di guasti aumenta considerevolmente.

5.1.1 Scenario ante-operam

A titolo di esempio si vogliono dare indicazioni sull'intervallo in cui effettuare l'intervento di manutenzione per la tipologia di lampada più diffusa all'interno del presidio ospedaliero Oftalmico.

Le caratteristiche dell'apparecchio in esame sono riportate nella tabella 5.1.

• Nome: 773 Comfort • Produttore: Disano	
Caratteristiche della sorgente: • Tipologia: Fluorescente T8 • Potenza: 73 W • Flusso Luminoso: 1350lm • TCC: 4000 K • Ra:1b • Efficienza apparecchio: 18,5 lm/W • Reattore elettronico	Caratteristiche dell'apparecchio: • IP:20 • IK 07

Tabella 5.1: Caratteristiche tecniche lampada a fluorescenza

Essendo dotati di reattore elettronico, negli apparecchi non è presente lo starter e la sostituzione riguarda essenzialmente la lampada.

Non avendo dati sufficienti per l'analisi, sono stati presi in considerazione quelli forniti da OSRAM uno dei maggiori fabbricanti di prodotti per l'illuminazione.

Vengono riportati in tabella 5.2, la durata caratteristica della lampada, in ore, ossia la sua vita utile in corrispondenza del valore di LSF pari a 0,5 e definiamo la durata di relamping ossia la durata della lampada al momento in cui si effettua la sostituzione ed è valutato come l'80% della durata caratteristica, valore ritenuto ottimale come definito nel paragrafo precedente.

Tipo di lampada	LSF	Durata caratteristica [h]	Durata di relamping [h]
4x18	0,5	20.000	16.000

Tabella 5.2 Durata caratteristica e durata di relamping della lampada a fluorescenza

L'intervallo in cui effettuare la sostituzione può essere valutato come:

$$\text{Intervallo di relamping} = \frac{\text{Durata di relamping}}{\text{ore di funzionamento}} [\text{anni}] \quad (5.1)$$

È possibile notare come esso dipenda dalle ore di funzionamento della lampada in modo inversamente proporzionale: maggiore è la durata più frequenti sono gli intervalli di relamping.

Prendendo in considerazione i dati di fruizione della struttura si presentano due casistiche che seguono gli orari di fruizione dei vari reparti.

In tabella 5.3 sono riportati i valori ottenuti da questa analisi.

Ore di utilizzo lampada [h]	Intervallo di relamping [anni]
8760	2
2024	8

Tabella 5.3: valutazione intervallo di relamping caso ante

È possibile notare come in aree in cui esse sono sempre accese, come ad esempio nelle degenze o in parte dei corridoi, l'intervallo di relamping è molto breve ma comunque in linea con il tipo di lampada²⁴, nel secondo caso invece dato l'utilizzo per 8 ore al giorno nei soli giorni lavorativi, coincidente con la fruizione di certi reparti, l'intervallo di relamping cresce significativamente.

5.2 Generalità sulla manutenzione e modi di guasto di apparecchi LED

La gestione della manutenzione degli apparecchi LED considera altri parametri rispetto a quella delle lampade fluorescenti dal momento che la tecnologia su cui si basa il loro principio di funzionamento è profondamente diversa.

Come detto il LED è di per sé un diodo cioè un componente elettronico al cui interno è

²⁴ MST Manutenzioni e Servizi Tecnici S.r.l. (2018)

presente anche l'alimentatore, le ottiche per direzionare la luce, dissipatori ed altri ausiliari.

In quanto prodotti elettronico, è possibile valutare il tasso di guasto di questi componenti attraverso la cosiddetta curva a vasca da bagno, come mostra la figura 105.

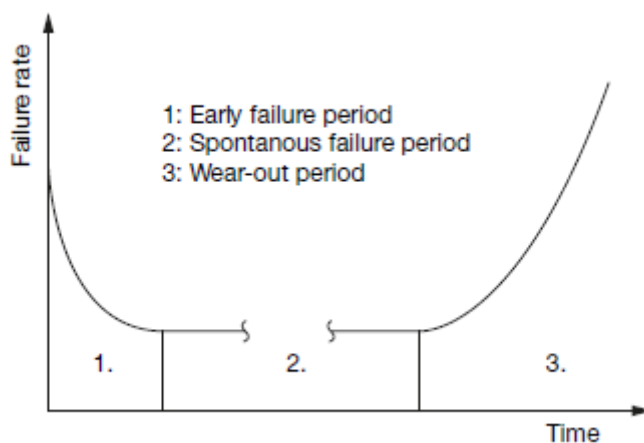


Figura 105: andamento del tasso di guasto per componenti elettronici (Tratto da: Osram, reliability and Lifetime of LEDs, Application note No. AN006)

È possibile individuare tre periodi durante la vita del componente: periodo di mortalità infantile, che si verifica nei primi mesi di vita, periodo di vita utile con tasso di guasto basso per un lungo periodo e periodo di fine vita in cui l'andamento della curva presenta una crescita esponenziale.

Si possono accorpare per semplicità i primi due periodi di vita del LED in cui si verificano i cosiddetti “modi di guasto estrinseci” che sono dovuti a difetti nei materiali o difetti nel processo di produzione. Generalmente essi si verificano durante le operazioni di installazione come ad esempio la saldatura dei componenti o nelle prime ore di vita successive all'accensione del corpo illuminante.

Nella zona della curva con andamento esponenziale, si verificano invece i modi di guasto detti “intrinseci” che portano al degrado delle caratteristiche del LED.

Il LED infatti subisce un graduale decremento del flusso luminoso accelerato soprattutto dalla temperatura di esercizio del LED. Per tener conto del decadimento del flusso luminoso si definisce secondo la norma DIN IEC/PAS 62 717 la *vita operativa* del LED attraverso una dicitura del tipo:

LxxByy

I parametri da cui dipende sono:

- Durata utile (L) che indica la percentuale di decremento del flusso luminoso rispetto alle ore di funzionamento utili;
- Aspettativa di vita (B) che dà un'idea della qualità del componente utilizzato in quanto definisce la percentuale di LED che allo scadere delle ore non mantiene le caratteristiche dichiarate: se il valore non è definito è da intendersi pari al 50%.

Un esempio di andamento del decadimento del flusso luminoso è riportato in figura 106.

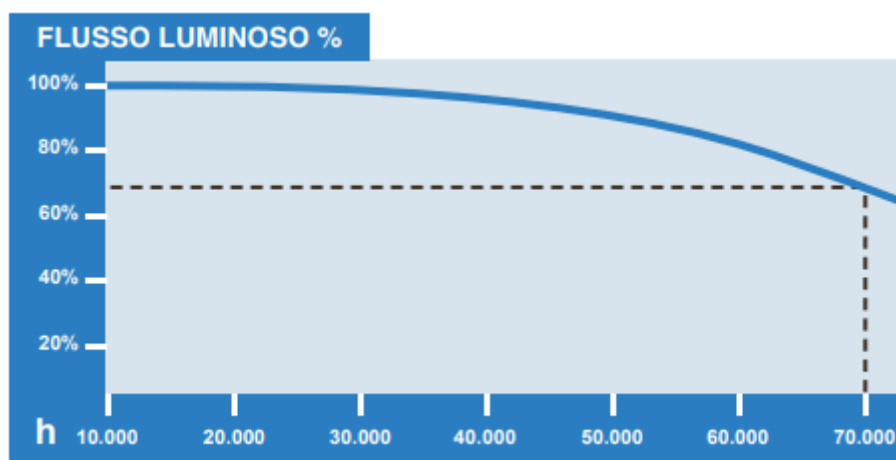


Figura 106: Esempio della variazione del flusso luminoso in funzione delle ore di funzionamento (Tratto da: Disano)

Se ad esempio il LED in esame fosse caratterizzato dalla sigla L70B20 questa indica che al raggiungimento delle 70.000 ore l'80% (B20) del LED presenta un flusso residuo pari o superiore al 70% del flusso iniziale (L70).

Talvolta nelle schede tecniche²⁵ si considera anche il *tasso di gusto* del LED (C) che rappresenta la percentuale di LED che alla fine della loro vita utile non sono più funzionanti.

Infine, si può valutare il *tasso di imperfezione*, indicato con F, valore generalmente compreso tra 10 e 50, che indica attraverso l'utilizzo di un solo parametro la qualità del componente LED utilizzato perché definisce, oltre alla percentuale di componenti che

²⁵ 3F Filippi

non mantengono le caratteristiche di flusso luminoso dichiarato (B), anche la percentuale di mortalità del componente LED (C). Il tasso di imperfezione è pari alla somma del tasso di guasto e dell'aspettativa di vita B.

Tuttavia, gli stress termomeccanici sul componente come ad esempio i cicli di temperatura o l'usura dello stesso non possono essere misurati e quindi non è possibile definire per quest'ultimi un parametro come fatto per la degradazione del flusso luminoso: per questo motivo per tenerne conto vengono condotti degli specifici test a fatica.

Da quanto detto, l'affidabilità dei LED dipende da vari elementi ed è influenzata da fattori sia fisici come ad esempio umidità o temperatura ma anche da fattori operativi ed esterni come la tensione e corrente di alimentazione, sforzi meccanici, chimici e radiazione luminosa, cali di alimentazione o sovraccarichi che possono condurre e influenzare l'invecchiamento del componente.

Focalizzando l'attenzione sulla temperatura, la produzione di calore in un LED deriva dai fenomeni di ricombinazione degli elettroni e delle lacune in prossimità della giunzione oltre al fatto che nel reticolo cristallino del semiconduttore si verificano piccole vibrazioni che causano anch'essi l'innalzamento della temperatura e dal momento che la giunzione è piccola, la densità di energia in questo volume è molto grande e la temperatura aumenta velocemente.

La temperatura della giunzione passa per la valutazione della resistenza valutata alla giunzione R_{th} che riflette le caratteristiche di scambio termico del LED. Minore è R_{th} migliori sono le proprietà di scambio termico del LED: se il calore è trasferito in modo efficiente la temperatura di giunzione non aumenta significativamente.

Prendendo in considerazione la struttura di un moderno LED, il calore passa dalla giunzione fino al punto di saldatura in cui il LED è a contatto con il PCB, il circuito stampato, in figura 107 alla temperatura T_c .

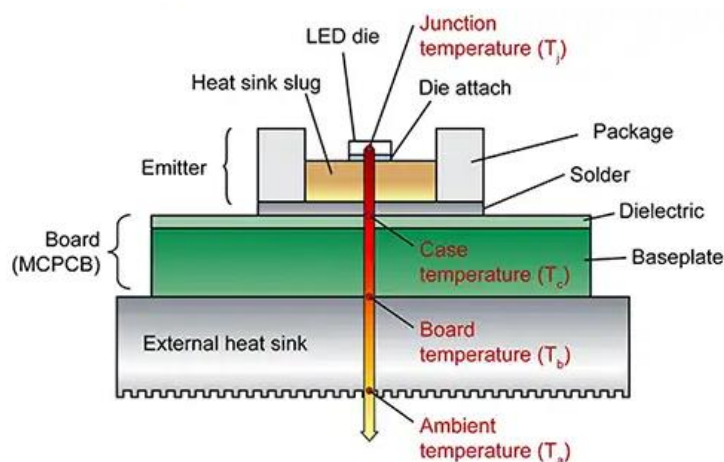


Figura 107: Struttura di un tipico LED con evidenziato il percorso dell'energia termica dissipata (Tratto da: S. Keeping, "Understanding LED Internal Thermal Resistance", 2008).

In figura 108 è riportato un esempio di come la resistenza influisce sulla temperatura di giunzione e quindi sulla vita del LED.

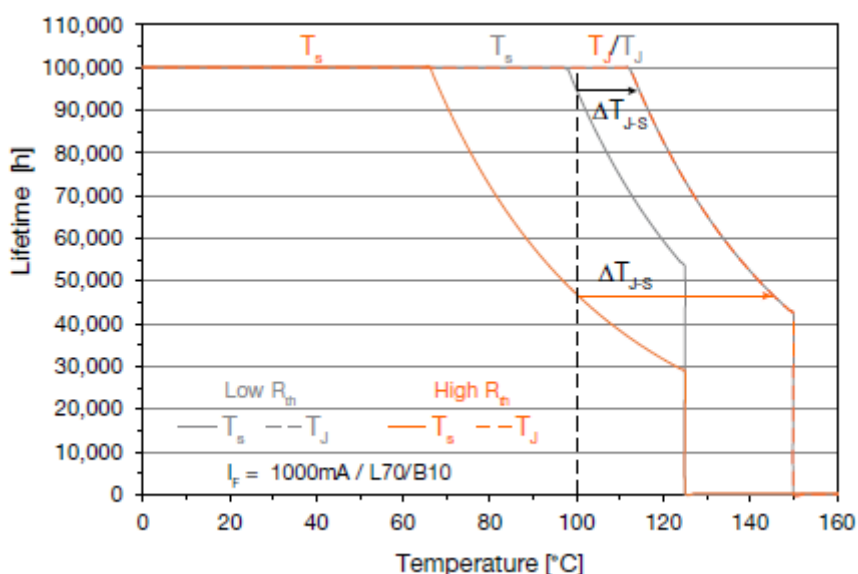


Figura 108: influenza della temperatura di giunzione sulla vita utile del LED (tratto da Osram, Reliability and Lifetime of LEDs, Application note No. AN006)

Considerando la temperatura di saldatura a 100°C, a parità di corrente, si valuta l'andamento della temperatura di giunzione nei due casi in cui vi è una bassa resistenza di contatto e una alta resistenza di giunzione. È possibile osservare che nel caso di R_{th} minore, il ΔT tra la giunzione e il punto di saldatura è minore rispetto al caso in cui la

resistenza termica è elevata. Questo comporta dei tempi di vita del LED diversi che, nel secondo caso, si riducono sensibilmente in quanto esso si innalza all'aumentare della temperatura di giunzione.

5.2.1 Scenario post- operam

Per la valutazione del tempo dopo il quale effettuare la sostituzione degli apparecchi LED prendiamo in considerazione, a differenza delle lampade fluorescenti, il decremento del flusso luminoso, parametro dichiarato dal costruttore dell'apparecchio. Nella progettazione illuminotecnica effettuata tramite il software Dialux si è scelto di utilizzare un fattore di manutenzione pari a 0,8: ciò significa che significa che si reputa necessario, al fine di garantire l'illuminamento di progetto, di cambiare gli apparecchi nel momento in cui emettono l'80% del flusso luminoso iniziale.

Per procedere alla stima della durata degli apparecchi LED e la loro sostituzione si parte prendendo in considerazione la durata caratteristica dichiarata nelle schede tecniche dei produttori espressa, come detto nel paragrafo precedente nella forma LXXBYY, riportata in tabella 5.4.

Lampada	Mantenimento flusso luminoso
960 Hydro LED	L80B20 a 50.000h
Omega LED 840 HFIX	L90B50 a 50.000h
Disano 842 LED PANEL	L80B20 a 50.000h
Linda LED	L80B10 a 50.000h
Led Panel 840	L80B20 a 50.000h
Fosnova Ecopannello	L80B20 a 50.000h
3F Reno	L85B10 a 30000h
Chal LED	L80B50 a 40.000h

Tabella 5.4: mantenimento del flusso luminoso per le lampade LED scelte

Anche in questo caso è stato valutato il periodo dopo cui effettuare la sostituzione dividendo il valore in ore riportato nella tabella precedente per il numero effettivo di utilizzo della lampada LED. Anche in questo caso l'intervallo temporale in anni dopo cui intervenire dipende fortemente dalle ore annue di utilizzo della lampada come mostra la tabella 5.5.

Lampada	Vita operativa [h]	ore di funzionamento nei vari ambienti [h]	intervallo relamping [anni]
960 Hydro LED	50.000	-	-
Omega LED 840 HFIX	50.000	• 2277 • 2024 • 2024 • 8760 • 3289 • 2530	• 22 • 25 • 25 • 6 • 15 • 20
Disano 842 LED PANEL	50.000	• 2277 • 2530 • 2024	• 22 • 20
Linda LED	50.000	• 8760	• 6
Led Panel 840	50.000	• 3289 • 8760	• 15 • 6
Fosnova Ecopannello	50.000	• 2024	• 25
3F Reno	30.000	• 2024 • 3289 • 8760	• 15 • 9 • 3
Chal LED	40.000	-	-

Tabella 5.5 intervallo di relamping per i LED in funzione delle ore di utilizzo

Da quanto emerso è possibile osservare che il tempo necessario dopo il quale effettuare il relamping cambia fortemente tra il caso LED e quello fluorescente. In particolar modo esso aumenta fino a giungere al 60% nei locali in cui sono state sostituite le lampade descritte nel paragrafo precedente, valore tuttavia influenzato come visto nella tabella 5.5 dalle ore di utilizzo.

Conclusioni

Con il presente lavoro di tesi sono stati valutati i consumi energetici, le loro criticità e i margini di miglioramento all'interno di una struttura ospedaliera.

Al fine di fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo di energia nel sistema edificio-ambiente è stata svolta una diagnosi energetica standard.

Dopo aver effettuato la raccolta e l'elaborazione dei dati necessari in termini di consumi dei vettori energetici utilizzati e i sistemi impiantistici installati si è pervenuti alla ripartizione dell'energia elettrica e termica.

I risultati conseguiti mostrano come l'11% dell'energia elettrica viene usata per soddisfare il fabbisogno di raffrescamento nel periodo estivo, il 17% per alimentare le unità di trattamento aria, l'11% è destinato agli apparecchi elettromedicali energivori, un 6% per le pompe gemellari presenti in centrale termica, ben il 26% per l'illuminazione e il 29% finale comprende altri usi come gli elevatori, i carichi di spina, i terminali ecc.... Per quanto concerne il fabbisogno di energia termica esso si ripartisce per il 75% per soddisfare la richiesta di riscaldamento della struttura e per il restante 25% per la produzione di acqua calda sanitaria e le batterie di post riscaldamento delle unità di trattamento aria funzionanti tutto l'anno.

L'obiettivo della diagnosi è anche quello di individuare possibilità di interventi di efficientamento energetico per la struttura al fine di ridurre i consumi e, visti i risultati della ripartizione dei consumi elettrici, intervenire sull'impianto di illuminazione è sembrato essere un buon punto di partenza. La proposta di relamping, affrontata nel quarto capitolo, mira essenzialmente alla sostituzione dei corpi illuminanti fluorescenti con quelli a LED. Per far questo è stato affrontato uno studio illuminotecnico tramite il software DIALUX degli ambienti tipo della struttura e ha portato, una volta scelti i nuovi corpi illuminanti che rispettano i valori di illuminamento medio mantenuto per i compiti visivi e le indicazioni normative sull'abbagliamento, un risparmio in termini di energia elettrica destinata all'illuminazione del 34% rispetto alla situazione attuale con un tempo di ritorno dell'investimento di circa 3 anni.

La diminuzione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione è anche evidenziata attraverso la definizione del LENI, indicatore dei requisiti energetici per l'illuminazione, che scende da $37 \frac{kWh}{m^2 anno}$ a $24 \frac{kWh}{m^2 anno}$.

Si è inoltre voluto verificare come l'aumento della vita utile di un apparecchio LED

rispetto a quelli a fluorescenza incida nell'intervallo di manutenzione e anche in questo caso la scelta del LED si rivela efficace perché l'intervallo di relamping, a parità di utilizzo dell'apparecchio, aumenta significativamente.

Infine, il beneficio dell'installazione dei LED riguarda anche la riduzione delle emissioni di sostanze climalteranti e in particolar modo di anidride carbonica in atmosfera a seguito della riduzione di energia elettrica richiesta dalla struttura: si è stimato un valore di CO₂ evitata pari a 56,28 tonnellate/anno.

Da quanto emerso si può affermare che la proposta di relamping è un intervento di efficientamento e riqualificazione energetica che si pone nell'ottica della sostenibilità energetico-ambientale oggi molto ricercata soprattutto in un contesto, come quello ospedaliero, in cui i consumi energetici per l'illuminazione hanno un peso importante.

Bibliografia

- “Rapporto annuale efficienza energetica 2018”, ENEA.
- 3F Filippi Illuminazione (2018). Catalogo LED. Tratto da: www.3F-Filippi.com;
- Adelmi A., “Ottimizzazione energetica e manutentiva di un impianto di illuminazione in ambito ospedaliero”, Politecnico di Torino, 2018;
- ASHRAE Standard 62, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, 1989;
- BOMI International. (2009). Operating and Maintaining Lighting Systems;
- Carpinelli M., Macagno S., “Il monitoraggio energetico delle strutture sanitarie regionali”, Ires Piemonte, 2018;
- Ciceri M., “Vantaggi LED: ecco quali sono”, 2015. Tratto da: www.ideegreen.it;
- CIE 97:2005. (s.d.). Technical Report - Guide on maintenance of indoor electric lighting systems;
- D.Lgs. 115/08 “Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all’ efficienza degli usi finali dell’energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE”;
- Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n. 102, “Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE”;
- Di Bari M., Prestifilippo S., “Presidio ospedaliero Oftalmico- Audit energetico”;
- Diagnosi Energetica: la Nuova Norma UNI di riferimento (n.d.), 2017. Tratto da: www.ediliziaenergetica.it;
- Disano Illuminazione S.p.A. (s.d.). Catalogo Disano. Tratto da Disano Illuminazione spa: <http://www.disano.it> ;
- Ghedini S., “Diagnosi energetica di un presidio ospedaliero: Metodologia standard e criticità riscontrate nell’analisi energetica del P.O. Martini di Torino”, Politecnico di Torino,

2018.;

- ISPRA. (2018). Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra e altri gas nel settore elettrico;
- L. Mazzeola, L. Piterà, Efficienza energetica attraverso la Diagnosi e il servizio Energia degli edifici: Linee guida, AICARR, 2013;
- OSRAM, reliability and Lifetime of LEDs, Application note No. AN006;
- Palladino P., “Manuale di Illuminazione”. Milano, Tecniche nuove (2005);
- Pellegrino A., Appunti del corso “Sistemi per l’Illuminazione e il controllo del rumore”.2018;
- S. Keeping, “Understanding LED Internal Thermal Resistance”,2008;
- S. Cellura, “ANALISI ENERGETICA E SIMULAZIONE TERMOFISICA DI UN PRESIDIO OSPEDALIERO: IL CASO-STUDIO DELL’OSPEDALE OFTALMICO SPERINO.” Politecnico di Torino,2018.
- UNI 10339 Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d’offerta, l’offerta, l’ordine e la fornitura”;
- UNI 9182 “Impianti di alimentazione e distribuzione d’acqua fredda e calda – progettazione, installazione e collaudo”;
- UNI CEI EN 1624 - 2:2014- “Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici”;
- UNI CEI EN 16247- 1:2012 - “Diagnosi energetiche Parte 1: Requisiti generali;
- UNI CEI/TR 11428:2011, “Gestione dell’energia. Diagnosi energetiche. Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica”;
- UNI EN 12464-1:2011, “Luce e illuminazione. Illuminazione nei posti di lavoro. Parte 1: Posti di lavoro interni”;
- UNI EN 15193-1:2017 “Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione - Parte 1: Specificazioni, Modulo M9”;

- UNI/TS 11300-2 “Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”;
- Zumtobel (2017, luglio). Manuale Illuminotecnico Pratico.