

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica

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

Tesi di Laurea Magistrale

Ottimizzazione energetica e manutentiva di un impianto di illuminazione in ambito ospedaliero



Relatori

prof. Marco Carlo Masoero
ing. Giulio Cerino Abdin

Candidato

Alessandro Adelmi

A.A.2017/2018

Sommario

1	Introduzione.....	1
1.1	Panoramica dei consumi elettrici nazionali.....	3
1.2	Il concetto di Efficienza Energetica	5
2	Riferimenti Normativi	7
2.1	Quadro normativo sull'efficienza energetica	7
2.2	Quadro normativo sull'illuminotecnica.....	9
3	Il caso studio: il Nuovo Ospedale di Alba-Bra.....	11
3.1	Informazioni generali sulla struttura	11
3.2	L'impianto di illuminazione e il motivo dell'intervento	16
4	L'intervento di sostituzione.....	21
4.1	Le grandezze illuminotecniche di interesse generale	21
4.1.1	Intensità luminosa.....	21
4.1.2	Flusso luminoso.....	21
4.1.3	Luminanza	22
4.1.4	Illuminamento	22
4.1.5	Temperatura di colore correlata.....	22
4.1.6	Resa cromatica	23
4.2	Generalità sulle lampade fluorescenti	23
4.2.1	Principio di funzionamento	23
4.2.2	Caratteristiche.....	23
4.3	Situazione ante operam	24
4.3.1	Potenza assorbita	25
4.3.2	Distinta apparecchi di illuminazione.....	25
4.4	Generalità sui LED.....	27
4.4.1	Principio di funzionamento	27
4.4.2	Vantaggi dei LED.....	27
4.4.3	Svantaggi dei LED	28
4.4.4	Tipologie di LED.....	29
4.4.5	Sicurezza fotobiologica	29
4.5	Confronto dei fornitori	30
4.5.1	Scelta del fornitore	31
4.6	Situazione post operam	32
4.6.1	Distinta apparecchi di illuminazione.....	32
4.7	Confronto efficienze luminose	33
5	Intervento di sostituzione – I costi energetici.....	36

5.1	Metodologia di calcolo	36
5.2	Caso reale	38
5.2.1	Apparecchi di illuminazione già installati	39
5.2.2	Apparecchi di illuminazione da installare	42
5.2.3	Prezzi fluorescenti-led a confronto.....	43
5.2.4	La questione contrattuale del caso in esame.....	43
5.3	Caso teorico: tutti gli apparecchi già installati	44
6	Intervento di sostituzione – I costi di manutenzione	49
6.1	Generalità sulla manutenzione (CIE 97:2005)	49
6.1.1	Fattore di manutenzione	50
6.1.2	Programma di manutenzione.....	52
6.2	Costi di manutenzione – Ante operam	54
6.2.1	Costi di sostituzione dei componenti.....	58
6.2.2	Costi per la pulizia.....	67
6.3	Costi di manutenzione – Post operam	70
6.3.1	Costi di sostituzione degli apparecchi	73
6.3.2	Costi per la pulizia.....	77
6.4	Confronto tra i costi di manutenzione	79
7	Analisi e confronto dei costi complessivi.....	81
7.1	Costi annuali d’esercizio ante operam.....	81
7.2	Costi annuali d’esercizio post operam.....	82
7.3	Costi complessivi d’impianto	84
8	Analisi e confronto illuminotecnico	92
8.1	Analisi dello spazio fisico	92
8.2	Requisiti illuminotecnici	98
8.3	Impianto di illuminazione	98
8.4	Confronto risultati illuminotecnici	104
8.5	Considerazioni.....	112
9	Conclusioni.....	113
10	Bibliografia.....	115

1 Introduzione

Nel corso degli ultimi decenni la crescita dei consumi di energia si è particolarmente intensificata.

Le cause principali sono il fenomeno di industrializzazione dei paesi in via di sviluppo e il progressivo aumento della popolazione mondiale che, attualmente, ha superato i 7,6 miliardi di persone e si prevede che raggiunga quota 8,6 miliardi nel 2030 e 9,8 miliardi nel 2050 (ONU, 2017).

L'accrescimento spropositato dei consumi energetici ha dato luogo a diverse ripercussioni sull'ambiente, come l'aumento dell'inquinamento atmosferico dovuto alle emissioni di inquinanti sempre maggiori e il fenomeno del riscaldamento globale, il quale è la causa primaria dei cambiamenti climatici ed è generato dall'effetto serra derivante dalle emissioni di CO₂.

Un'altra problematica nota è l'esaurimento delle fonti di energia fossili (o non rinnovabili) come carbone, gas naturale e derivati petroliferi, la quale insidia la produzione di energia in un mondo sempre più energivoro.

Tali tematiche sono attualmente molto rilevanti e, a livello mondiale, le prime contromisure sono state prese con il *protocollo di Kyoto*, un noto trattato internazionale in materia ambientale sul cambiamento climatico redatto nel 1997 ed entrato in vigore a partire dal 2005. L'accordo prevedeva l'obbligo per gli stati aderenti di ridurre la percentuale di emissioni di inquinanti tra il 2008 e il 2012.

Con l'*accordo di Doha* (2012) il protocollo è stato esteso fino al 2020, aumentando gli obblighi e gli obiettivi di riduzione percentuale delle emissioni di inquinanti.

A livello europeo, per prolungare gli effetti del *protocollo di Kyoto*, l'UE ha emanato il "*Pacchetto Clima-Energia 20 20 20*", entrato in vigore dal 2009 (con la Direttiva 2009/29/CE) e valido dal 2013 al 2020.

Il Piano 20 20 20 prevede, entro l'anno 2020, il conseguimento di tre obiettivi: la riduzione del 20% di emissioni di gas serra, l'aumento al 20% della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e il miglioramento del 20% dell'efficienza energetica.

Dunque, si osserva che, ad oggi, le principali misure per contrastare l'utilizzo di fonti fossili e la crescita dei consumi energetici (cause principali del cambiamento climatico) sono rispettivamente lo sviluppo delle Fonti Energetiche Rinnovabili (le così dette FER) e l'aumento dell'efficienza energetica.

Le FER sono quelle risorse di energia che si rigenerano in tempi brevi (paragonabili alla durata di vita dell'essere umano), sono molteplici e comprendono energia solare, eolica, idroelettrica, geotermica, aerotermica e da biomassa.

L'efficienza energetica, in generale, indica una riduzione dei consumi di energia a parità di risultato/prodotto/effetto finale. Ciò è correlato all'uso razionale dell'energia e può riguardare sia un singolo apparecchio che un intero sistema.

All'efficienza energetica si associa, in maniera del tutto analoga, il concetto di *ottimizzazione*.

Un *intervento di ottimizzazione* è un'azione volta a migliorare le prestazioni di un sistema più o meno complesso, incrementandone complessivamente l'efficienza energetica.

Esistono diverse tipologie di interventi di ottimizzazione in funzione dell'ambito di applicazione o del tipo di fabbisogno coinvolto (generalmente termico o elettrico). Ad esempio, nei settori civile e terziario si effettuano interventi di coibentazione degli edifici, sostituzione dei serramenti, ammodernamento della centrale termica o installazione di sistemi di illuminazione a basso consumo. In ambito industriale si effettuano interventi di ottimizzazione dei vari processi, come l'utilizzo di scambiatori di calore per sfruttare eventuali residui di energia che altrimenti andrebbero persi o l'installazione di macchinari o apparecchi ad elevate prestazioni.

Vi sono applicazioni anche nell'ambito dei trasporti, tramite l'utilizzo di veicoli più performanti, componenti per sfruttare le dissipazioni e motori ibridi o elettrici.

Un'altra categoria di interventi per promuovere l'efficienza energetica riguarda tutti i sistemi di controllo che permettono di regolare e/o gestire anche da remoto (uno tra tanti il sistema BMS - Building Management System o BAS - Building Automation System).

Con la presente tesi si vogliono studiare gli effetti dal punto di vista tecnico, economico e prestazionale di un intervento di ottimizzazione di un impianto di illuminazione, tramite la sostituzione di corpi

illuminanti fluorescenti con apparecchi a LED, per un edificio del settore terziario, in particolare una struttura ospedaliera.

È necessario premettere che la gestione del risparmio energetico per l'illuminazione in ambito ospedaliero è un tema tanto delicato quanto articolato. Gli ospedali sono strutture complesse perché presentano al loro interno molteplici attività ognuna delle quali necessita, allo stesso tempo, di diversi requisiti da rispettare (da quelli funzionali e gestionali a quelli tecnici).

La normativa nazionale che regola l'illuminazione dei luoghi di lavoro interni (UNI EN 12464-1) definisce decine di spazi sanitari differenti con diverse esigenze illuminotecniche: dai locali di uso generale (sale d'attesa, corridoi, day room) ai locali per il personale (uffici, spogliatoi) a tutti i locali di visita e trattamento (visite semplici e specializzate, sale operatorie, etc.) ognuno dei quali richiede diversi livelli di illuminamento, abbagliamento UGR ed indice di resa cromatica Ra¹.

I consumi elettrici per l'illuminazione di un ospedale non avente corpi illuminanti ad alta efficienza, costituiscono solitamente dal 15 al 30% del totale dei consumi di energia elettrica² e perciò non rappresentano la componente più rilevante di consumo. (ENEA - Rizzo Gianfranco, 2009)

Tuttavia, in senso assoluto, si tratta di quantità di energia rilevanti e se si considera che gli ospedali sono tra le poche categorie di edifici in cui è presente un'attività continuativa e presenza di personale h24 per tutti i giorni all'anno, effettuare attività di efficientamento energetico di questo tipo risulta di particolare interesse.

L'edificio oggetto di studio è l'ospedale di Alba-Bra (CN), edificio di nuova costruzione i cui lavori stanno per essere ultimati e per il quale si prevede la messa in esercizio entro il 2018.

In realtà, la realizzazione della struttura ha richiesto tempistiche più lunghe rispetto a quanto si era preventivato nel progetto esecutivo dei primi anni 2000 ed è per questo motivo che, in corso di realizzazione, l'azienda responsabile del progetto ha valutato una maggiore convenienza nel passare dall'impianto fluorescente previsto ad uno più performante a LED.

Nel momento in cui è stata applicata la variante al progetto, solo una parte degli apparecchi di illuminazione era già stata installata. Di conseguenza, è stato possibile intervenire con maggior facilità sulla parte di ospedale priva di corpi illuminanti e, solo in seguito, si è valutata la possibilità di sostituire la parte di impianto già completata.

L'analisi della presente tesi riguarderà il confronto dei consumi e dei costi energetici e di manutenzione tra la situazione ante e post intervento, secondo due diverse casistiche:

1. Situazione pre-intervento dove solo una parte degli apparecchi di illuminazione sono già installati (caso reale).
2. Situazione pre-intervento dove tutti gli apparecchi di illuminazione dell'intero ospedale si considerano già installati.

Nel primo caso, per la parte degli apparecchi già installati, si prevede un intervento di sostituzione con relativo costo d'investimento e un possibile tempo di ritorno dovuto ad eventuali risparmi economici post-intervento. Questo tipo di analisi, nel secondo caso, viene estesa a tutti i corpi illuminanti.

Per la parte di apparecchi ancora da acquistare e installare, invece, si intende effettuare un'analisi di confronto apparecchiature fluorescenti-LED, stimando il tempo di rientro da un eventuale extra-costi dovuto all'acquisto della tecnologia più performante.

Il passaggio dagli apparecchi fluorescenti a quelli LED, come verrà approfondito in seguito, andrà ad incidere sul consumo finale di energia elettrica della struttura e sui costi di gestione e manutenzione dell'impianto di illuminazione.

Questa considerazione suggerisce l'ossatura principale di questa tesi: per prima cosa verrà valutato il risparmio energetico ed economico tra la situazione ante e quella post operam, il risparmio economico

¹ I valori precisi per alcuni locali di interesse verranno forniti più avanti.

² Per il settore ospedaliero italiano, i consumi di energia totale ammontano a circa 3500 GWh annui. (ENEA - Rizzo Gianfranco, 2009)

dovuto ai diversi costi manutentivi dei due impianti ed infine un confronto dal punto di vista illuminotecnico tramite simulazione con il software DIALux di alcuni ambienti modello.

1.1 Panoramica dei consumi elettrici nazionali

Per cominciare e per inquadrare meglio l'analisi da sviluppare, può essere utile tracciare una panoramica sul consumo di energia elettrica a livello nazionale.

Attualmente in Italia, il consumo annuo si aggira attorno ai 300 TWh (Terna).

Nel grafico che segue è riportato l'andamento della suddivisione dei consumi per i quattro settori d'utilizzo (industria, terziario, domestico e agricoltura), dal 2000 al 2016:

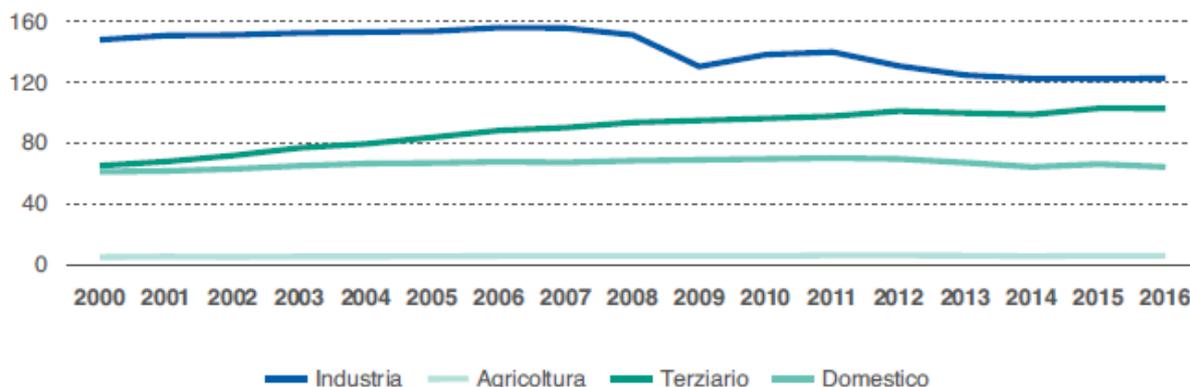


Figura 1.1 Andamento dei consumi elettrici nazionali, espressi in TWh, ripartiti per settore dal 2000 al 2016 (Terna, Analisi Dati Elettrici, 2016)

Si osserva che i settori dell'agricoltura e domestico hanno mantenuto consumi pressoché costanti per l'intera durata del periodo e, mentre il settore dell'industria ha subito un calo a partire dal 2008 (in coincidenza con la crisi economica nazionale), i consumi del terziario sono sensibilmente cresciuti.

Il consumo complessivo nel 2016 è stato di 295,51 TWh ed è riportato nel grafico a torta sottostante, suddiviso tra i vari settori di utilizzo sia in termini di quantità di energia consumata che di percentuali sul totale:

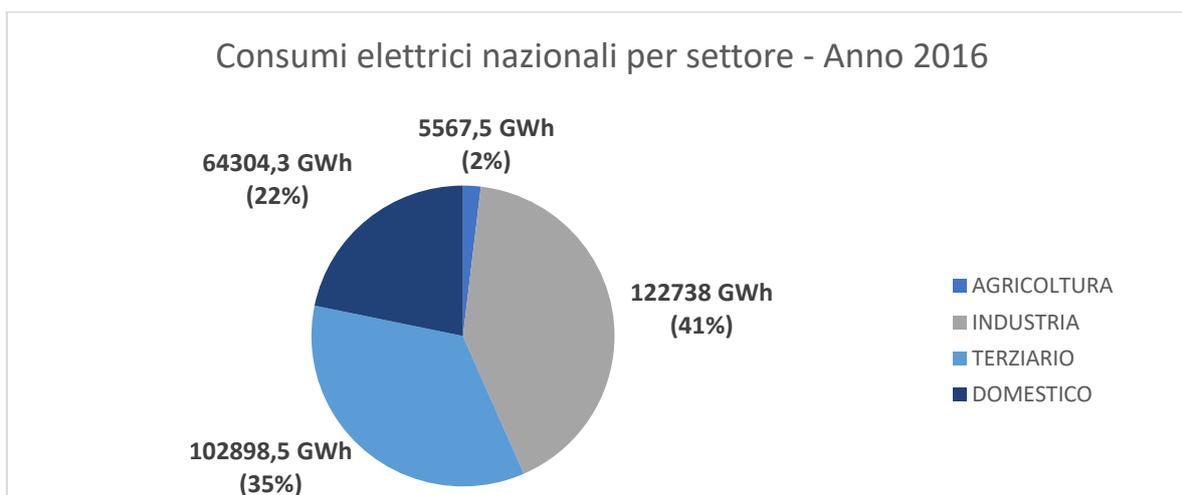


Figura 1.2 Distribuzione dei consumi nazionali di energia elettrica per settore³ (Terna, Dati Statistici - Consumi, 2016)

³ Il grafico fa riferimento ai consumi globali nazionali - comprensivi cioè sia dei consumi di acquisto che dei consumi autoprodotti - al netto delle perdite di trasmissione e di distribuzione.

Nonostante il calo degli ultimi anni l'industria è ancora il settore più energivoro, seguito dal terziario che da solo occupa più di 1/3 del consumo totale.

Il terziario è il settore in cui si forniscono servizi, cioè attività immateriali che possono o meno essere incorporate in un bene. (Wikipedia, s.d.)

Al suo interno, i servizi erogati si dividono in vendibili e non vendibili.

I servizi vendibili comprendono:

- Trasporti
- Comunicazioni
- Commercio
- Alberghi, ristoranti e bar
- Credito e assicurazioni
- Altri servizi vendibili

I servizi non vendibili includono:

- Pubblica Amministrazione (PA)
- Illuminazione pubblica
- Altri servizi non vendibili

Vediamo come sono ripartiti i 102,9 TWh, consumati nel settore terziario, tra le varie tipologie di attività sopra elencate:

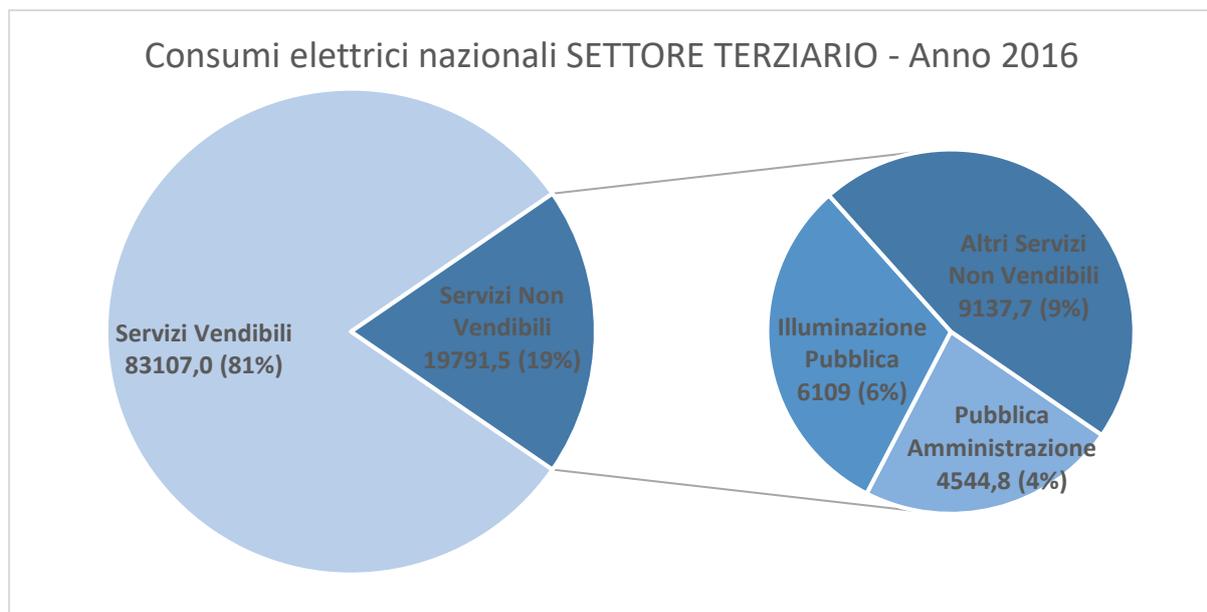


Figura 1.3 Distribuzione dei consumi di energia elettrica in Italia, espressi in GWh, per il settore terziario (Terna, Dati Statistici - Consumi, 2016)

Le grandezze percentuali presenti nel grafico fanno riferimento alla quota rispetto al consumo totale del terziario.

Essendo di proprietà ASL (Azienda Sanitaria Locale), il nuovo ospedale di Alba-Bra rientra tra queste tipologie di attività. In particolare, l'intervento oggetto di studio andrà ad incidere sui consumi di energia elettrica per la Pubblica Amministrazione che pesano circa il 4%.

Nonostante possa sembrare una percentuale poco rilevante è necessario puntualizzare che si tratta della quota rispetto all'intero settore.

Per quanto riguarda il settore ospedaliero la porzione di consumi per l'illuminazione cresce notevolmente e ricopre, secondo i dati di ENEA (2009), dal 15% al 30% del totale di energia elettrica.

1.2 Il concetto di Efficienza Energetica

Come già anticipato, l'efficienza energetica fa parte di una serie di contromisure adottate per limitare i consumi di energia a parità di servizi offerti e mitigare, assieme all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, gli effetti indesiderati dell'utilizzo dei combustibili fossili, come l'inquinamento e i cambiamenti climatici.

Inoltre, è di forte interesse perché permette di ridurre il consumo di risorse risparmiando in termini economici sulla bolletta energetica. L'Efficienza Energetica riguarda tutti quei sistemi che utilizzano una determinata fonte di energia per assicurare il loro funzionamento, tali sistemi possono essere attivi (es. lavorazioni) o passivi (es. edifici). Il concetto è applicabile a tutti i settori noti: industriale, civile e terziario.

Il concetto di Efficienza Energetica può essere riassunto con la seguente frase (FIRE - Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia, s.d.):

Fare Efficienza Energetica non vuol dire altro che produrre lo stesso output con minori quantità di energia primaria in input oppure, ugualmente, a parità di stesse quantità in input, produrre output maggiori (quantitativamente o qualitativamente).

In altre parole, tramite un iniziale esborso economico più o meno rilevante (in funzione delle azioni e delle modifiche che si vogliono apportare), è possibile rendere più efficiente dal punto di vista energetico il proprio sistema/edificio/processo, ottenendo come risultato una serie di vantaggi.

Il beneficio che maggiormente interessa i privati, le aziende e le PA è quello economico in quanto, riducendo i consumi dei vettori energetici, si diminuisce la spesa necessaria al loro acquisto.

In questo modo è evidente che è possibile valutare un tempo di ritorno dell'investimento, che varia di caso in caso.

Per l'intervento specifico in esame, oltre al risparmio di energia saranno da valutare anche i benefici in termini di costi di manutenzione degli apparecchi durante la durata utile dell'impianto.

2 Riferimenti Normativi

2.1 Quadro normativo sull'efficienza energetica

Direttiva 2012/27/UE

Direttiva a livello europeo sull'efficienza energetica, datata 25 ottobre 2012. Modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

La direttiva stabilisce un quadro comune di misure per promuovere l'efficienza energetica all'interno dell'UE e per perseguire l'obiettivo portarla alla soglia del 20% entro il 2020.

Essa stabilisce le norme per rimuovere gli ostacoli nel mercato dell'energia e per facilitare l'efficienza nella fornitura e nell'utilizzo dell'energia. Inoltre, fissa gli obiettivi nazionali in materia di efficienza energetica per il 2020.

DM 11/01/2017

Il decreto ministeriale dell'11 gennaio 2017 rappresenta la più recente tra le successive modifiche e integrazioni (oltre al DM 21/12/07 e al Decreto del 28/12/2012) dei due DM del 20 luglio 2004, i quali applicano l'art. 9 del D. Lgs. n. 79/99 e l'art. 16 del D. Lgs. n. 164/00.

Rappresenta il recepimento a livello nazionale della direttiva europea 2012/27/UE.

Il decreto determina gli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico che devono essere conseguiti dalle imprese di distribuzione dell'energia elettrica e il gas (soggetti obbligati), nel periodo 2017-2020.

Inoltre, definisce le nuove Linee Guida per la preparazione, l'esecuzione e la valutazione dei progetti di efficienza energetica.

UNI CEI EN 15900:2010 *“Servizi di Efficienza Energetica – Definizioni e Requisiti”*

Versione nazionale ufficiale della norma europea EN 15900 (di maggio 2010), riguarda le definizioni e i requisiti minimi per un miglioramento del Servizio di Efficienza Energetica: non descrive i requisiti del fornitore del servizio (i quali sono oggetto della UNI CEI 11352:2014), ma individua e descrive le principali fasi del processo di fornitura del servizio e ne evidenzia i requisiti fondamentali. (UNI, UNI - Ente Italiano di Normazione, s.d.)

Inoltre, specifica che le responsabilità tra le parti devono essere specificate in fase di contratto e la quantificazione del miglioramento di efficienza energetica deve essere effettuata dal fornitore del servizio (che può essere garantito oppure no).

Elenca anche le azioni di incremento dell'efficienza che sono: sostituzioni, modifiche, aggiunta di componenti/apparecchiature, ottimizzazione della gestione e manutenzione, formazione ed informazione, implementazione di un Sistema di Gestione dell'Energia.

In allegato riporta la seguente check list da utilizzare per verificare il servizio offerto:

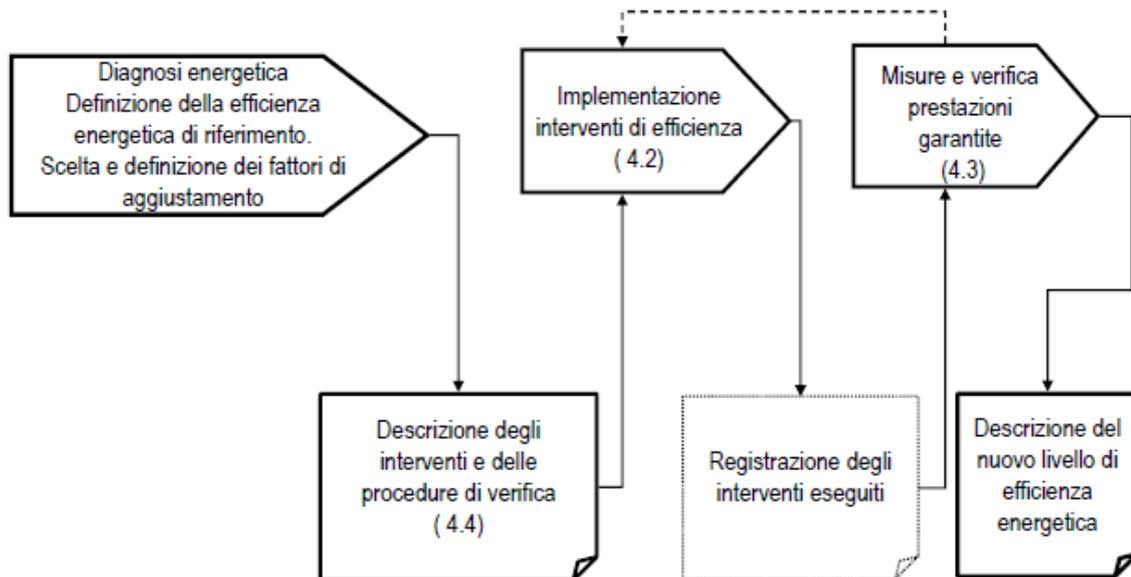


Figura 2.1 Check list di verifica del Servizio di Efficienza Energetica (UNI, UNI CEI EN 15900:2010, 2016)

UNI CEI EN ISO 50001:2011 “Sistemi di Gestione dell’Energia - Requisiti e linee guida per l’uso”

Versione italiana della norma internazionale ISO 50001, ha sostituito la precedente UNI CEI EN 16001 (valida solo a livello europeo).

La norma fornisce alle imprese i requisiti per creare, sviluppare e integrare un Sistema di Gestione dell’Energia (SGE) nella gestione quotidiana delle loro attività.

L’obiettivo è permettere ad ogni impresa di perseguire, con un approccio sistematico e metodologia univoca, il continuo miglioramento della propria prestazione energetica comprendendo in questa il concetto di efficienza energetica nonché il consumo e l’uso dell’energia.

L’approccio metodologico è schematizzabile in 4 fasi (FIRE, s.d.):

- **PLAN**: inquadrare gli aspetti energetici più significativi dell’impresa, analizzarli e valutare eventuali criticità e problematiche energetiche. Successivamente, individuare gli obiettivi da perseguire e pianificare le scelte operative per raggiungerli.
- **DO**: realizzare le misure e le azioni individuate nella fase di pianificazione.
- **CHECK**: fase di controllo, verificare l’efficacia e i risultati delle azioni intraprese ed esaminare potenziali nuovi punti deboli.
- **ACT**: ricominciare il ciclo di pianificazione e definire nuovi obiettivi.

Un SGE risulta una soluzione molto utile perché permette, in modo sistematico, di individuare gli obiettivi energetici, le opportunità di miglioramento e gli strumenti adeguati al loro conseguimento.

Inoltre, assicura il rispetto di tutti i requisiti obbligatori e, ottimizzando i processi e riducendo i costi legati ai consumi energetici, consente sia di incrementare la competitività nei confronti dei concorrenti che di migliorare la reputazione aziendale.

Le organizzazioni, approcciando la norma volontariamente, sono libere di poter decidere quali e quanti obiettivi da raggiungere e le relative tempistiche di attuazione.

UNI CEI 11352:2014 “Gestione dell’energia – Società che forniscono servizi energetici (ESCO) – Requisiti generali e lista di controllo per la verifica dei requisiti”

La norma definisce i requisiti minimi dell’offerta in termini di servizi energetici per le società che vogliono svolgere il ruolo di Energy Service Company (ESCO).

Tra i requisiti minimi emergono capacità di tipo organizzativo, diagnostico, progettuale, gestionale, economiche e finanziarie che la società deve possedere, come ESCo, per offrire i servizi di efficienza energetica presso i propri clienti.

La struttura principale della normativa è composta dai requisiti generali, dalle attività facoltative e dalla lista di controllo per la verifica dei risultati.

Inoltre, sono presenti la lista di controllo per la verifica dei requisiti e per l’accreditamento delle ESCo (Appendice A) e i contenuti minimi dell’offerta di servizi energetici (Appendice B).

Secondo la normativa italiana (Decreto legislativo 115/2008) la ESCo è definita come:

"Persona fisica o giuridica che fornisce servizi energetici ovvero altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica nelle installazioni o nei locali dell'utente e, ciò facendo, accetta un certo margine di rischio finanziario. Il pagamento dei servizi forniti si basa, totalmente o parzialmente, sul miglioramento dell'efficienza energetica conseguito e sul raggiungimento degli altri criteri di rendimento stabiliti."

Una ESCo certificata a fronte della UNI 11352 è in grado di offrire ai propri clienti contratti a garanzia di risultato (o Energy Performance Contract – EPC), tramite i quali viene remunerata in base ai risparmi energetici conseguiti (Finanziamento Tramite Terzi).

Emerge quindi la necessità di personale qualificato e specializzato nel settore, infatti tra i requisiti è richiesta la presenza all’interno del proprio organico di un Esperto in Gestione dell’Energia (EGE, certificato secondo la norma UNI CEI 11339 o in possesso dei requisiti richiesti).

2.2 Quadro normativo sull’illuminotecnica

UNI EN 12464-1-2011 “Luce e illuminazione. Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1: posti di lavoro in interni”

La norma definisce i requisiti illuminotecnici per una corretta progettazione degli impianti di illuminazione in ambienti di lavoro interni.

Vengono forniti i valori di illuminamento, uniformità (distribuzione delle luminanze), grado massimo di abbagliamento e resa cromatica, in riferimento a tutti i compiti visivi abituali, inclusi quelli che prevedono l’utilizzo di videoterminali e per persone dotate di normale capacità oftalmica (visiva).

L’entità di tali parametri deve essere in grado di soddisfare tre principali esigenze: il comfort visivo (sensazione di benessere mentre si svolge il compito visivo), la prestazione visiva e la sicurezza.

UNI EN 15193-1:2017 “Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per l’illuminazione – Parte 1: Specificazioni, Modulo M9”

La norma specifica il metodo per valutare la prestazione energetica dei sistemi d’illuminazione all’interno degli edifici residenziali e non residenziali e per calcolare, o misurare, la quantità di energia consumata per l’illuminazione negli edifici. Si applica sia ad edifici di nuova costruzione, sia a quelli già esistenti che quelli ristrutturati.

Inoltre, riporta il metodo di calcolo del LENI: un parametro, espresso in $\frac{kWh}{m^2 \cdot y}$, che quantifica e misura l’efficienza energetica degli impianti di illuminazione negli edifici.

La norma non comprende diversi aspetti tra cui i requisiti di illuminazione, la progettazione dei sistemi di illuminazione e la pianificazione dei sistemi degli impianti di illuminazione.

Non sono comprese neanche le caratteristiche dei prodotti di illuminazione (lampade, apparecchi di illuminazione e dispositivi di controllo) e dei sistemi utilizzati come “display lighting⁴”, delle lampade da tavolo e degli apparecchi integrati nei mobili. Inoltre, non è fornita alcuna procedura per la simulazione dinamica di scena di illuminazione impostate⁵.

⁴ Termine che comprende l’illuminazione volta ad evidenziare oggetti in esposizione (mostre) e merce in vendita, ma anche l’illuminazione usata nei luoghi d’intrattenimento pubblico.

Sono esclusi speciali sistemi di illuminazione come quelli utilizzati nei teatri e negli studi fotografici, le insegne luminose e l’illuminazione tascabile (torce, etc.). Sono esclusi anche tutti i tipi di luci di emergenza e gli elementi decorativi come luci delle fontane o lampadari. (Carbon Trust, s.d.)

⁵ È intesa la variazione di scene di luce a seconda della funzione che si vuole attribuire ad un certo tipo di locale o all’ora della giornata.

3 Il caso studio: il Nuovo Ospedale di Alba-Bra

3.1 Informazioni generali sulla struttura

L'edificio è situato a metà tra i due comuni piemontesi all'interno dell'area Alba-Bra-Langhe e Roero nella provincia di Cuneo, la quale presenta una superficie del territorio di oltre 1500 km² e circa 170.000 abitanti.

L'idea di costruire una nuova struttura ospedaliera in quella zona risale agli anni '90, successivamente alle leggi di riforma sanitaria finalizzate a rinnovare e potenziare le strutture e alla nascita di un comitato promotore di opere pubbliche.

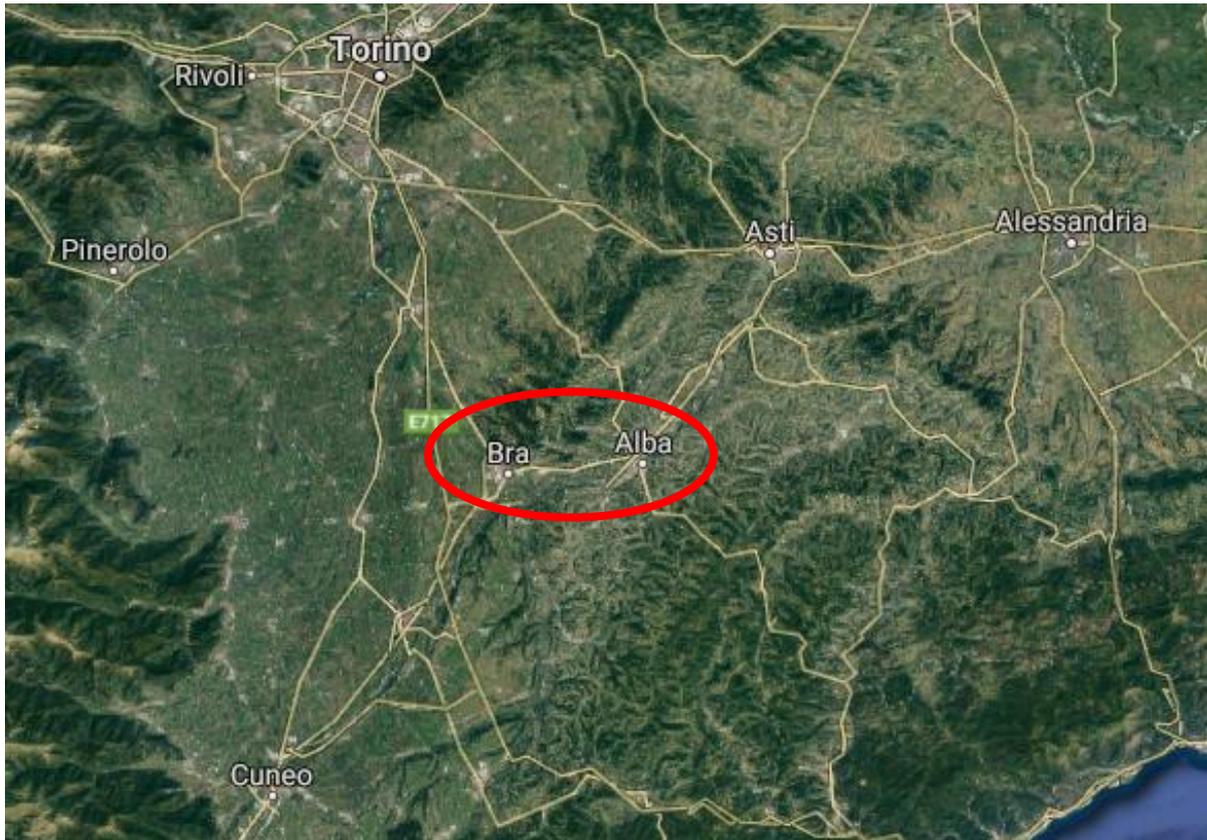


Figura 3.1 – Panoramica della collocazione geografica dell'ospedale (Google Maps, s.d.).

In particolare, la struttura sorge nell'area del comune di Verduno in un luogo molto suggestivo sul fronte nord dell'omonima collina e sul lato destro del fiume Tanaro.

La posizione è strategica poiché, oltre ad essere nel baricentro geografico tra Alba e Bra, è nelle vicinanze dell'autostrada Asti-Cuneo ed in un'area con ampia disponibilità di spazio.

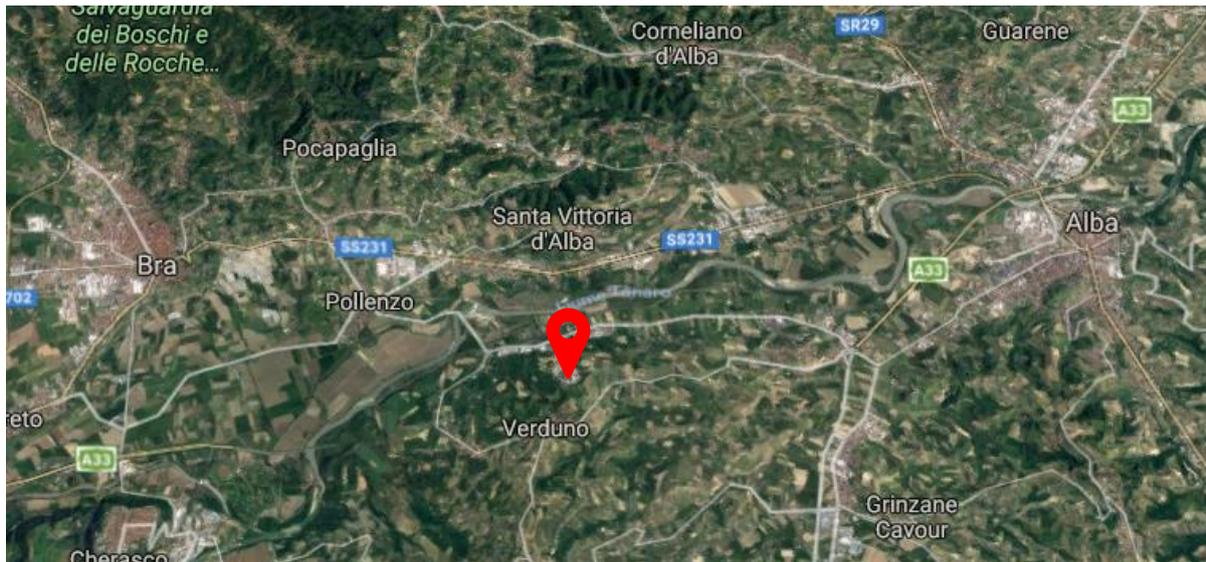


Figura 3.2 – Zona di collocazione zoomata (Google Maps, s.d.).

La realizzazione del progetto è ad opera del concessionario M.G.R. Verduno S.p.A. e in particolare della società Neosia, socio di maggioranza e facente parte del gruppo Maire Tecnimont.

Mentre il progetto preliminare è stato approvato nel 1999, quello definitivo è stato accettato nel 2001 e nel 2004 l'esecutivo (ASL CN2, s.d.).

Nel progetto si è dovuto tener conto di diverse complessità strutturali legate alla morfologia del terreno argilloso e si è prevista l'esecuzione di centinaia di pozzi trivellati a diversa profondità, al fine di canalizzare le acque sotterranee a valle e garantire l'integrità sia della struttura che del suolo sottostante.

Siccome non era stato inizialmente previsto, ciò ha causato complicazioni al cantiere sia in termini economici che temporali.

Ad oggi l'esecuzione dei lavori sta per essere ultimata e si prevede che la struttura entri in funzione verso la fine dell'anno.

Vista l'entità dell'opera, le scelte progettuali hanno fortemente tenuto in considerazione dell'importante aspetto di integrazione del complesso ospedaliero con l'ambiente circostante, al fine di ridurre il più possibile l'impatto ambientale.

In generale, il progetto è stato volto a promuovere il concetto di ecosostenibilità relazionale ad opere di grandi dimensioni, ottimizzando l'interazione edificio-impianto e riducendo i consumi energetici e le emissioni di inquinanti in atmosfera durante il ciclo di vita.

La struttura è composta da 6 piani interrati più 5 piani fuori terra, per una superficie totale di circa 94.000 m². L'edificio si sviluppa in orizzontale e si articola in tre elementi architettonici strutturali distinti.

La piastra, l'area dei reparti medico-tecnici, diagnostica e accettazione, costituisce la base degli altri elementi e si sviluppa lungo tutta la superficie dell'edificio.



Figura 3.3 – Vista dall'alto del cantiere (Google Maps, s.d.).

Il corpo sospeso, sede delle degenze e delle aree mediche, è costituito da due edifici lineari che si ergono dalla piastra alla loro base.

Infine, la galleria, elemento centrale del complesso, funge da centro d'accoglienza e attraversa l'ospedale da nord a sud seguendo la pendenza collinare.



Figura 3.4 – Il nuovo ospedale di Alba-Bra in fase di costruzione (ASL CN2, s.d.).

L'involucro è stato progettato per sfruttare in maniera funzionale gli apporti gratuiti di energia: dalla radiazione solare, anche a scopo di illuminamento, allo sfruttamento di sistemi di ventilazione naturale e facciate ventilate.

Le pareti opache sono state costruite con materiali a bassa trasmittanza termica e con isolanti eco-sostenibili, inoltre per buona parte delle strutture è stato utilizzato calcestruzzo alleggerito con pannelli più sottili e peso specifico minore.

L'elevato numero di superfici vetrate, accoppiato a sistemi di controllo e schermatura della radiazione solare, permette di sfruttare al meglio gli apporti di luce naturale, riducendo i consumi legati agli impianti di illuminazione e incrementando il comfort negli ambienti interni.

Tra le altre soluzioni adottate vi sono l'utilizzo di facciate ventilate e di materiali che necessitano di minori imballaggi e risorse in trasporti e buone prestazioni in termini di durata e manutenzione.

A livello impiantistico, si è previsto un sistema di riscaldamento invernale con acqua a bassa temperatura, che riduce le dispersioni termiche e si rende più versatile.

Nella centrale termica è presente una pompa di calore invertibile e due motori cogenerativi i quali sono accoppiati, durante il periodo estivo, ad un gruppo frigorifero rigenerativo ad assorbimento.

Completano la centrale termica due caldaie d'integrazione e tre generatori per la produzione indipendente di vapore.

La centrale frigorifera è composta dal già citato gruppo ad assorbimento e da tre gruppi frigo a compressione.

Inoltre, è presente un impianto fotovoltaico per l'autoproduzione di energia elettrica (in aggiunta ai cogeneratori).

Sono poi previsti dei sistemi di raccolta dell'acqua piovana e dei sistemi di recupero dei cascami energetici⁶.

Lo scopo è quello di garantire un utilizzo razionale delle risorse energetiche, anche grazie ad una gestione informatizzata degli impianti.

Per concludere si elencano i principali usi energetici della struttura, i quali sono numerosi vista la complessità dell'edificio e le molteplici attività al suo interno:

⁶ Porzioni di energia, termica o elettrica, considerata "di scarto" dai processi produttivi ma avente una certa valenza per altre tipologie di processi interni.

- Climatizzazione estiva e invernale (fabbisogni termici e frigoriferi, sia per i terminali di climatizzazione che per le batterie di pre-post riscaldamento delle UTA).
- Produzione di vapore (fabbisogno termico).
- Produzione di acqua calda sanitaria (fabbisogno termico).
- Ventilazione (fabbisogno elettrico per i ventilatori delle UTA).
- Pompe di circolazione (fabbisogno elettrico).
- Forza motrice (fabbisogno elettrico per apparecchiature varie, come ascensori, scale mobili, postazioni di lavoro).
- Illuminazione (fabbisogno elettrico).

Come si può desumere, l'intervento oggetto di studio andrà ad incidere sul fabbisogno elettrico per l'illuminazione.

Per completezza, nel seguito si riporta uno schema semplificato del sistema, che parte dai vettori energetici utilizzati (energia elettrica e gas naturale), per poi passare agli impianti di generazione presenti per soddisfare i fabbisogni (termici caldo-freddo ed elettrici), fino ad arrivare ai principali usi energetici delle varie utenze.

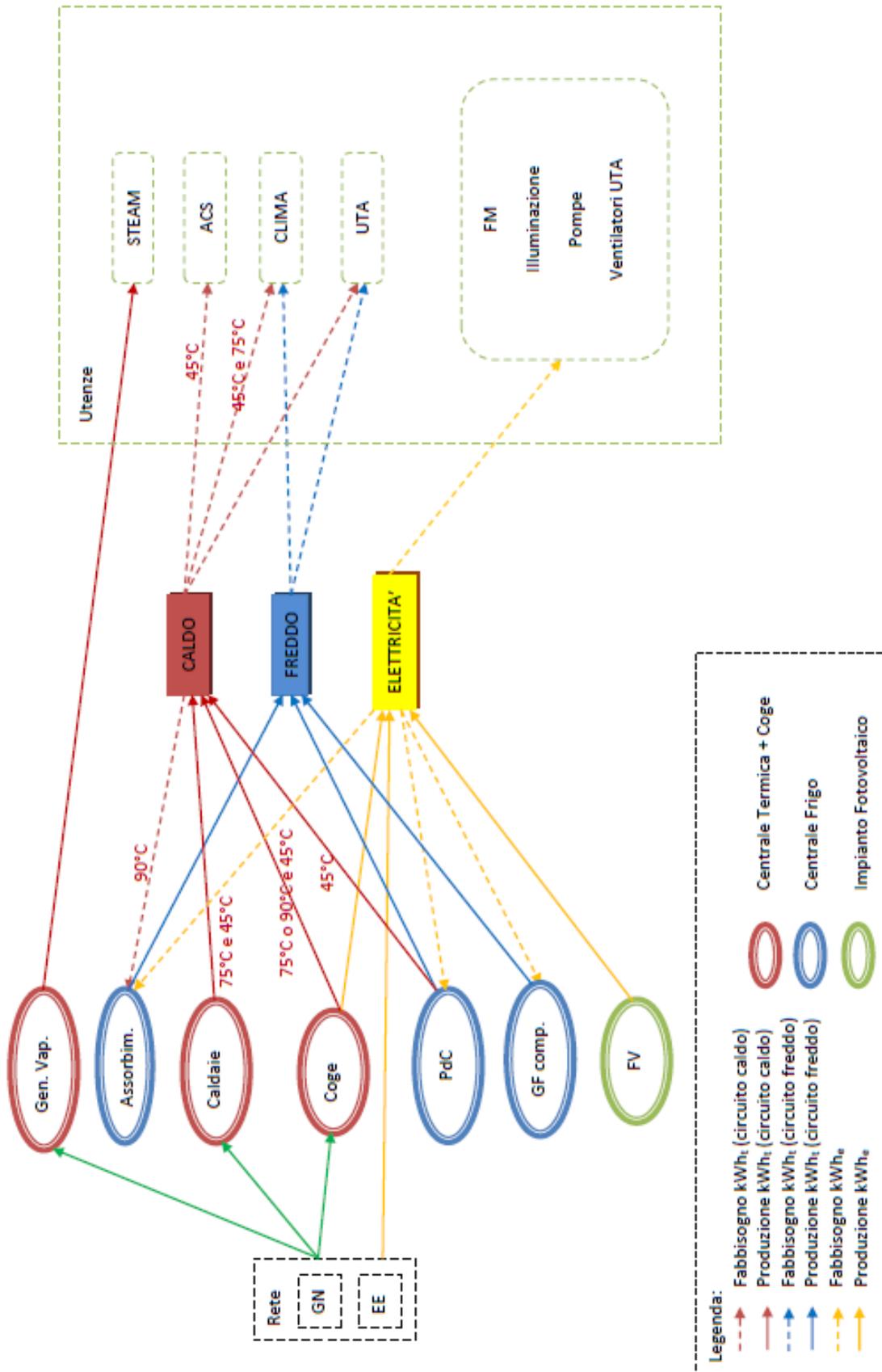


Figura 3.5 – Schema semplificato del sistema impiantistico dell'ospedale.

3.2 L'impianto di illuminazione e il motivo dell'intervento

L'impianto di illuminazione riveste un ruolo molto importante in ambito ospedaliero.

Le principali funzioni dell'impianto sono soddisfare le esigenze di sicurezza, salute e benessere visivo degli utenti, oltre che contribuire alla caratterizzazione estetica dello spazio. I principali componenti dell'impianto di illuminazione sono le lampade, gli apparecchi e i sistemi di controllo.

Nel caso in esame, l'impianto è composto da apparecchi da interno, esterno e d'emergenza, per un totale di circa 18.000 corpi illuminanti.

In generale, nel progetto esecutivo risalente a quasi 15 anni fa, erano stati previsti apparecchi ad alto grado di protezione IP con lampade fluorescenti e reattori elettronici.

Dal punto di vista del controllo, per buona parte degli apparecchi si era prevista la possibilità di dimmeraggio analogico (1-10V) o digitale (DALI).

Recentemente, con il protrarsi dei lavori di realizzazione dell'ospedale, abbinato alla forte diffusione della tecnologia LED in ambito illuminotecnico, è nata la possibilità di sostituire in corso d'opera i corpi illuminanti fluorescenti con dei corpi equivalenti a LED.

Per capire meglio come mai è stata effettuata una sostituzione di apparecchi LED in un edificio di nuova costruzione, è stato fatto un parallelo tra gli avvenimenti principali di progettazione/realizzazione dell'ospedale ed evoluzione tecnologica e di mercato dei LED.

Tale confronto è stato schematizzato nella seguente sequenza temporale:

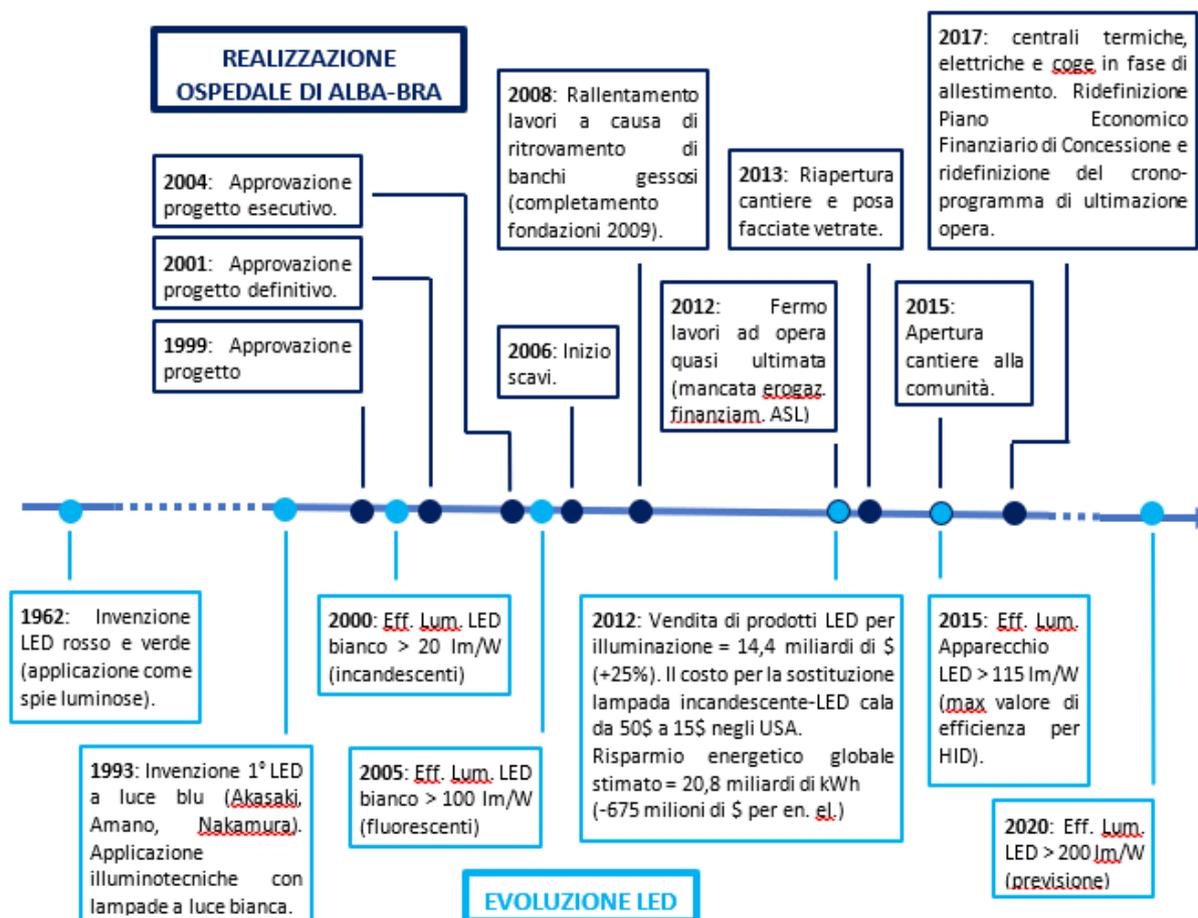


Figura 3.6 – Parallelo temporale tra gli avvenimenti di realizzazione dell'ospedale e di evoluzione della tecnologia LED. Fonti dati: (ASL CN2, s.d.), (Considerazioni di mercato per l'illuminazione a LED, 2013), (DOE - Department Of Energy (USA), 2013), (ENEA, 2010).

Si nota, durante il prolungarsi dei tempi di realizzazione della struttura, l'aumento progressivo per la tecnologia LED dell'efficienza e del numero di vendite nel mercato dell'illuminazione e un relativo calo dei costi per la loro produzione e per la sostituzione degli apparecchi tradizionali.

In particolare, la costruzione dell'ospedale è iniziata nel 2006 e si è protratta fino al 2012 per complicazioni tecniche di realizzazione. Da quel momento, con l'opera in gran parte ultimata, vi sono stati ulteriori ritardi per problematiche amministrative che hanno fatto slittare ulteriormente il completamento dei lavori.

D'altra parte, l'applicazione dei LED in ambito illuminotecnico, i quali erano già impiegati dalla seconda metà del '900 come spie luminose nei macchinari, è cominciata all'inizio degli anni '90 con la scoperta del LED a luce blu, che ha permesso di ottenere un LED a luce bianca.

Il loro sviluppo tecnologico è cominciato tra la seconda metà degli anni '90 e i primi anni 2000 e negli anni successivi vi è stato un graduale aumento dell'efficienza luminosa degli apparecchi, che ha poco alla volta permesso l'ingresso della tecnologia nel mercato illuminotecnico. Il calo dei prezzi, inizialmente molto elevati, e la diffusione di sistemi d'incentivazione hanno portato ad un forte incremento delle vendite e diffusione dei LED a partire dal 2012.

Nel 2015 la tecnologia LED ha superato il valore massimo di efficienza luminosa delle lampade a scarica ad alta densità (HID – High Intensity Discharge lamps) e si prevede un ulteriore aumento dell'efficienza nei prossimi anni.

Le fonti di reperimento dei dati cronologici sono state: il sito dell'ASL (ASL CN2, s.d.), per le informazioni sullo stato dei lavori dell'ospedale mentre, per l'evoluzione della tecnologia LED, un documento dal sito dell'ENEA (ENEA, 2010) ed uno dal DOE (DOE - Department Of Energy (USA), 2013).

Pertanto, la sostituzione dei corpi illuminanti durante la realizzazione di un nuovo edificio è giustificata poiché nel progetto iniziale i LED non potevano essere contemplati perché non ancora affermata sul mercato.

Con il passare del tempo ed il protrarsi dei lavori di costruzione, la tecnologia LED si è fortemente sviluppata e l'ipotesi di intervento è nata nel momento in cui i LED si sono affermati come valida e moderna alternativa ai sistemi di illuminazione tradizionali.

L'intervento di sostituzione è stato facilitato poiché, nel momento in cui si è optato per la sostituzione, solo una quota parte degli apparecchi era già stata installata. Nella pratica ci sono state altre complicazioni contrattuali che verranno discusse più avanti.

I benefici che porta questo tipo intervento sono molteplici e soddisfano una serie di requisiti che sono richiesti attualmente agli impianti di illuminazione:

- Contenimento dei consumi energetici
- Facilità di manutenzione e contenimento dei relativi costi
- Maggiore flessibilità e durata di vita

Tutto questo sempre garantendo la rispondenza alle normative di sicurezza e la compatibilità formale con l'ambiente.

Si vuole sottolineare che nella presente analisi sono stati considerati solamente gli apparecchi per l'illuminazione interna. Gli apparecchi d'emergenza sono stati esclusi perché non è stato possibile reperire le schede tecniche degli apparecchi originari, attualmente fuori produzione. Gli apparecchi da esterno invece non erano ancora stati definiti al momento del cambio di tecnologia, perciò al momento del trasferimento dei dati da parte di Neosia, erano disponibili solamente le schede tecniche degli apparecchi in configurazione post operam.

Tuttavia, gli apparecchi per l'illuminazione degli interni rappresentano la quota maggioritaria con circa 15.000 pezzi sui 18.000 apparecchi totali.

Inoltre, dati i bassi valori di assorbimento elettrico degli apparecchi di emergenza, la bassa quantità degli apparecchi da esterno rispetto al totale (poco più di 200) e considerando che la struttura è utilizzata 24 ore su 24, l'illuminazione di ambienti interni incide in maniera maggioritaria rispetto a quella esterna e,

pertanto, si può affermare che le esclusioni sono poco impattanti sulle quantità di energia e costi dell'impianto di illuminazione.

I corpi illuminanti oggetto dell'analisi sono stati differenziati e suddivisi in base alle macro aree dove sono (o devono essere) installati.

La tabella seguente riporta la tipologia (tratta dalla descrizione del capitolato d'appalto), l'ambiente di installazione e il numero di apparecchi, specificandone la quantità già installata e ancora da installare:

	TIPOLOGIA	AMBIENTE D'INSTALLAZIONE	NUMERO TOTALE APPARECCHI	Da installare	Installati
1	2x36W IP65 (<i>lampade stagne in policarbonato</i>)	LOCALI TECNICI	413	335	78
2	2x58W IP65 (<i>lampade stagne in policarbonato</i>)	AUTORIMESSA E LOCALI TECNICI	973	929	44
3	1x18W IP44 (<i>tonde ad incasso</i>)	CORRIDOI DEGENZE	707	451	256
4	2x18W IP44 (<i>tonde ad incasso</i>)	CORRIDOI DEGENZE	612	510	102
5	2x26W IP44 (<i>tonde ad incasso</i>)	BAGNI	883	700	183
6	1x55W IP54 plafone (<i>lampade per vani scala</i>)	SCALE	325	241	84
7	1x55W IP54 incasso DALI (<i>corridoi</i>)	CORRIDOI	4543	3604	939
8	2x55W IP54 incasso (<i>deg. Rianimazione, antishok</i>)	DEGENZE	254	167	87
9	2x55W IP54 DIMM 1-10V (<i>degenze</i>)	DEGENZE	346	272	74
10	4x18W IP54 incasso (<i>locali ordinari es. depositi, spogliatoi</i>) Ra80	LOCALI DI SERVIZIO - DEPOSITI - SPOGLIATOI	1565	1355	210
11	4x18W IP54 incasso DIMM 1-10V (<i>uffici, studi medici</i>) Ra80	UFFICI - AMBULATORI - STUDI MEDICI	17	4	13
12	4x24W IP54 incasso (<i>sale riunioni, prep. Pasti, loc. infermieri</i>) Ra90	SALE RIUNIONI	1247	1113	134
13	4x24W IP54 incasso DIMM 1-10V (<i>uffici, studi medici</i>) Ra90	UFFICI - AMBULATORI - STUDI MEDICI	2735	2302	433
14	3x55W IP54 incasso asettiche DIMM 1-10V Ra90 (<i>sale operatorie, emodin.</i>)	LOCALI ASETTICI - SALE OPERATORIE, EMODIN.	202	202	0
15	4x24W IP54 incasso asettiche DIMM 1-10V Ra90 (<i>sale terapia</i>)	LOCALI ASETTICI - SALE TERAPIA	36	36	0
16	4x54W IP54 incasso asettiche DIMM 1-10V Ra90 (<i>sale operatorie</i>)	LOCALI ASETTICI - SALE OPERATORIE	12	12	0
	TOTALE		14870	12233	2637

Tabella 3.1 – Elenco delle tipologie, ambiente di installazione e quantità degli apparecchi di illuminazione oggetto di studio.

Si riportano i dati della tabella nel seguente grafico a barre:

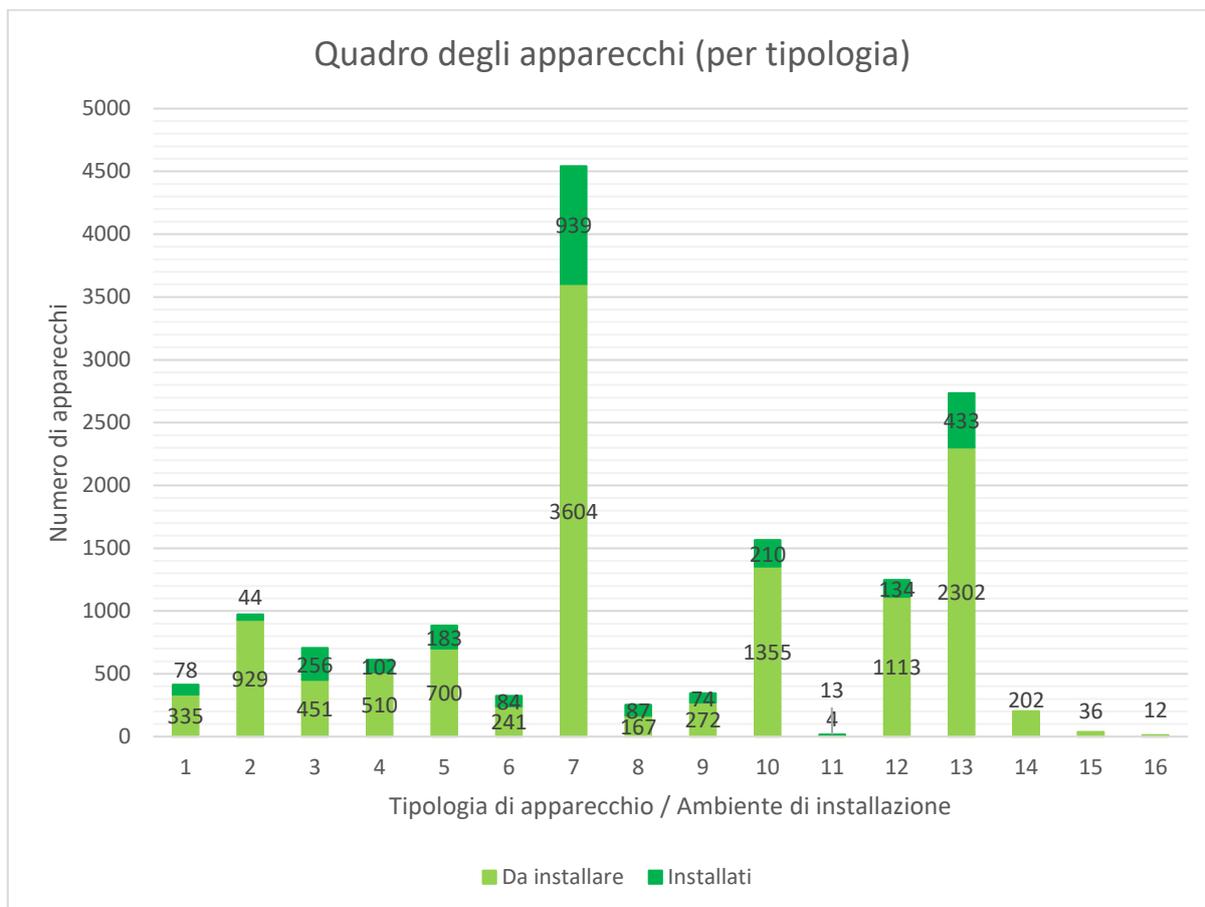


Figura 3.7 – Numero di apparecchi da installare e installati divisi per tipologia.

Per l'intero impianto di illuminazione si ha:

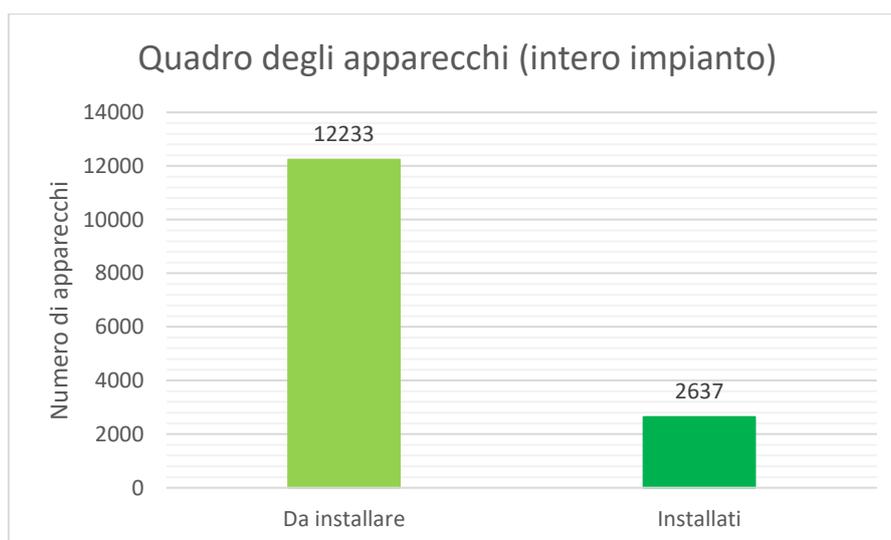


Figura 3.8 – Numero di apparecchi da installare e installati per l'intero impianto.

Si osserva che, al momento dell'intervento di sostituzione, il numero di apparecchi installati è basso e costituisce il 17,7% di previsti per la totalità dell'impianto.

4 L'intervento di sostituzione

Nel presente capitolo verrà introdotto l'intervento di sostituzione tramite la descrizione degli scenari ante e post intervento (rispettivamente fluorescente-LED). In particolare, per entrambi i casi, verranno fornite delle nozioni generali sul principio di funzionamento, le caratteristiche principali e le configurazioni dell'impianto di illuminazione. Inoltre, verrà illustrata la scelta del fornitore per gli apparecchi sostitutivi.

Prima di affrontare quanto anticipato, occorre trattare alcune tematiche introduttive sulle grandezze caratteristiche in ambito illuminotecnico e sul principio di funzionamento delle tipologie di apparecchi oggetto dell'analisi.

4.1 Le grandezze illuminotecniche di interesse generale

Tra le grandezze di interesse generale è necessario menzionare le grandezze fotometriche. Sono grandezze utili a valutare il fenomeno luminoso in maniera oggettiva.

La maggior parte delle grandezze fotometriche descrivono la luce in maniera quantitativa, siccome ruotano attorno al concetto di flusso luminoso (quantità di luce).

Si vedrà che la luce varia anche in termini qualitativi tramite la tonalità di colore della luce.

4.1.1 Intensità luminosa

L'intensità luminosa (detta anche densità angolare di flusso) è definita come il flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme, per unità di angolo solido in una data direzione:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad [cd] \quad (4.1)$$

Dove l'unità di misura è la *candela* [cd], una delle unità di misura fondamentali del Sistema Internazionale (SI). Viene definita come l'intensità luminosa in una data direzione di una sorgente che emette radiazione monocromatica ad una frequenza pari a 540×10^{12} Hz (lunghezza d'onda = 555 nm) con intensità radiante pari a 1/683 W/sr.

4.1.2 Flusso luminoso

Il flusso luminoso è la quantità di energia luminosa emessa da una sorgente nell'unità di tempo. Viene misurata in *lumen* [lm].

In caso di radiazione monocromatica:

$$\Phi = K_\lambda * \Phi_e \quad [lm] \quad (4.2)$$

$$\Phi = K_{MAX} * \Phi_e * V_\lambda \quad [lm] \quad (4.3)$$

Dove:

K_λ = *fattore di visibilità*

Φ_e = *flusso energetico di quella luce*

$V_\lambda = \frac{K_\lambda}{K_{MAX}}$ = *fattore di visibilità relativa*, esprime la sensibilità del nostro occhio al variare della lunghezza d'onda della radiazione.

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

In caso di radiazione eterocromatica (composta):

$$\Phi = K_{MAX} * \int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \Phi_{e,\lambda} * V_{\lambda} * d\lambda \quad (4.4)$$

4.1.3 Luminanza

La luminanza è definita come il rapporto tra 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:

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

L'unità di misura è *candela per metro quadro* [cd/m^2] o [*nit*].

Il termine $dA * \cos\beta$ è la proiezione di dA sul piano perpendicolare alla direzione di osservazione (superficie apparente). La superficie apparente quantifica il flusso luminoso emesso o riflesso che arriva all'occhio dell'osservatore.

Il flusso emesso o riflesso $d^2\Phi$ è funzione del tipo di materiale (fattore di riflessione).

La luminanza è ciò che si vede (gli oggetti illuminati), al contrario del flusso luminoso che non è visibile.

4.1.4 Illuminamento

L'illuminamento è il rapporto tra il flusso luminoso incidente su una superficie elementare e l'area della superficie elementare stessa:

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

L'illuminamento si misura in [lux], [lx] o [$lumen/m^2$] e rappresenta il parametro progettuale più importante.

Mentre la luminanza considera il tipo di materiale, il colore, l'angolo di osservazione del singolo oggetto (non imponibili a priori a progetto), l'illuminamento dipende esclusivamente dal flusso luminoso incidente e l'area dell'oggetto. Dalla (4.6) si nota anche che la luminanza dipende dall'illuminamento.

4.1.5 Temperatura di colore correlata

È la grandezza utilizzata per descrivere il fenomeno luminoso in termini qualitativi ed esprime la tonalità di colore della luce, confrontandola in modo diretto con la temperatura assoluta di un corpo nero che irradia luce con la stessa tonalità di colore emessa dalla sorgente in esame.

In altre parole, la temperatura di colore correlata (TCC) è la temperatura di un corpo nero che emette la stessa luce della sorgente luminosa reale. L'unità di misura è il *kelvin* [K].

Per intervalli di TCC si associa un valore di tonalità di colore, come riassume la tabella seguente.

TCC	Tonalità di colore
$TCC < 3300 K$	Luce bianco calda
$3300 K < TCC < 5300 K$	Luce bianca neutra
$TCC > 5300 K$	Luce bianco fredda

Tabella 4.1 – Tonalità di colore della luce bianca e TCC.

Si sottolinea che la TCC caratterizza solamente le luci bianche. Per bassi valori di TCC si ha luce calda, viceversa per alti valori di TCC si ha luce fredda.

4.1.6 Resa cromatica

Non fa parte delle grandezze fotometriche ma rappresenta una grandezza illuminotecnica di notevole importanza ed è un parametro fondamentale per la valutazione sia del comfort visivo che delle prestazioni delle lampade.

L'indice di resa cromatica Ra di una sorgente 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.

Il valore di resa cromatica Ra (o CRI – Color Rendering Index) è compreso tra 0 e 100, dove 0 è il peggior grado di fedeltà per la riproduzione dei colori mentre 100 è il migliore.

Una buona sorgente luminosa presenta almeno $Ra > 80$.

4.2 Generalità sulle lampade fluorescenti

4.2.1 Principio di funzionamento

Le lampade fluorescenti fanno parte della tipologia di sorgenti a scarica nei gas (a vapori di mercurio) a bassa pressione.

Le lampade a scarica nei gas sono dotate di elettrodi agli estremi del tubo e contengono al loro interno una miscela di gas. Gli elettrodi generano una scarica⁷ all'interno della lampada ionizzando i vapori di mercurio presenti nella miscela, i quali producono radiazione elettromagnetica nel campo dell'ultravioletto.

La radiazione, attraversando delle polveri fluorescenti a rivestimento del bordo interno del tubo, viene tradotta nel campo del visibile e fuoriesce dalla sorgente luminosa come luce bianca.

Le lampade fluorescenti differiscono dalle lampade a scarica a vapori di sodio, nelle quali la ionizzazione produce radiazione direttamente nel campo del visibile con colorazione giallo-arancio e pertanto non necessitano delle polveri fluorescenti.

4.2.2 Caratteristiche

Le lampade fluorescenti sono adatte all'illuminazione di interni e sono molto diffuse nei luoghi di lavoro, nelle scuole e negli ospedali.

Sono lampade che necessitano di un alimentatore per funzionare. Si distinguono due tipologie di alimentatori: reattori elettromagnetici e reattori elettronici.

I reattori elettronici sono più costosi ma presentano una serie di vantaggi come minori dimensioni, minori cablaggi, allungamento della durata di vita delle lampade, diminuzione dei costi di

⁷ La scarica viene innescata da gas ausiliari (Argon, Cripton, Xenon).

manutenzione, eliminazione totale dello sfarfallio (flickering), possibilità di dimmeraggio sia analogico (1-10V) che digitale (DALI) e riduzione del consumo energetico.

Esistono due categorie principali di lampade fluorescenti: le lampade lineari (tubo) e quelle compatte (con o senza alimentatore integrato).

Si elencano altre caratteristiche delle lampade fluorescenti:

- Elevata efficienza luminosa (55-100 lm/W a seconda del modello).
- Grande varietà di prodotti per una possibilità di scelta diversificata in termini di temperatura di colore correlata TCC (luce calda 2700K – neutra 3300K – fredda 4000K).
- Buona resa cromatica Ra che è comunque inferiore a 100 (solitamente 80-90).
- Superficie estesa e flusso luminoso non troppo alto (1000-5000 lm per tubo).
- Il flusso luminoso varia con la temperatura ambiente. Poiché il flusso si riduce al calare della temperatura dell'aria, è presente un range di temperatura ambiente per il funzionamento ottimale (25-35°C).
- Presentano tempi di accensione più elevati (della durata di qualche secondo). In particolare, le lampade fluorescenti compatte con alimentatore integrato richiedono alcuni minuti per raggiungere il flusso luminoso nominale e presentano un maggior decadimento del flusso con nel tempo.
- Dimensioni relativamente elevate e produzione di luce diffusa. Di conseguenza non possono essere considerate come sorgenti puntiformi, non producono abbagliamento e sono difficilmente direzionabili (impossibilità di utilizzo in apparecchi tipo proiettori).
- Spettro di emissione a bande non continuo: presenza di buchi di emissione e picchi in corrispondenza dei tre colori primari (in uscita si ha luce bianca).
- Rifiuti speciali: data la presenza di mercurio (tossico) e componenti elettronici, al momento dello smaltimento devono essere destinate a centri di raccolta con costi associati solitamente già compresi dal fornitore nel prezzo della lampada.

4.3 Situazione ante operam

Come detto in precedenza, nella configurazione impiantistica pre-intervento tutte le lampade sono di tipo fluorescente. La tabella seguente indica le caratteristiche principali degli apparecchi di illuminazione in questa configurazione:

Tipologia di sorgente luminosa	Fluorescente
Tipologia di alimentatore	Reattore elettronico
Grado di protezione	≥ IP44
Temperatura di colore correlata - TCC	4000 K (luce neutra)
Resa cromatica - Ra	80-90

Tabella 4.2 - Caratteristiche generali degli apparecchi di illuminazione (ante operam)

Si evidenzia che è stato necessario l'aggiornamento di tutte le schede tecniche per ogni tipologia di corpo illuminante, al fine di conoscere con esattezza tutti i parametri illuminotecnici utili all'analisi. Per il caso ante operam, Disano è fornitore unico degli apparecchi di illuminazione. Per l'aggiornamento di tutte le schede è stato consultato il sito internet del fornitore (www.disano.it). Le schede tecniche degli apparecchi utilizzate vengono riportate in allegato.

4.3.1 Potenza assorbita

La potenza assorbita da un apparecchio fluorescente non dipende solamente dal numero e dalla potenza delle singole lampade che lo compongono ma anche dalla tipologia di reattore.

Infatti, un apparecchio cablato con reattore elettromagnetico assorbe molta più potenza rispetto ad uno stesso apparecchio dotato di reattore elettronico.

Sviluppare delle analisi senza considerare il reattore può portare a stimare un assorbimento sensibilmente diverso da quello reale.

Nel caso in esame tutti i corpi illuminanti sono dotati di reattore elettronico, perciò la potenza assorbita dal sistema "lampada + reattore" non sarà tanto maggiore rispetto a quella assorbita dalle sole lampade.

La potenza assorbita da ogni apparecchio è stata trovata dalla corrispondente scheda tecnica trovata sul sito del produttore, alla voce "*W_{tot}*" *potenza totale assorbita dal sistema* (Disano Illuminazione S.p.A., s.d.).

Per alcuni apparecchi datati e non più in produzione per i quali non è stata trovata la scheda tecnica, si è utilizzato una tabella all'interno di un documento⁸ del produttore 3F Filippi. La tabella fornisce la potenza in W assorbita dal sistema lampada più alimentatore a seconda del tipo di apparecchio e del tipo di alimentatore.

I valori riportati da 3F Filippi sono in linea con quelli dichiarati da Disano, perciò l'utilizzo della tabella si può considerare un'approssimazione accettabile.

Si riporta in basso un estratto della tabella 3F Filippi sia con reattore elettromagnetico che con reattore elettronico. Si noti la differenza tra gli assorbimenti nei due casi, a sottolineare quanto detto poco sopra.

Tabella 3F Filippi			
Reattore Elettromagnetico ⁹		Reattore Elettronico	
Apparecchi	Potenza (W) sistema lampada + alimentatore	Apparecchi	Potenza (W) sistema lampada + alimentatore
1x18	27,5	1x18	19
1x36	45	1x36	36
1x58	70	1x58	56
2x18	45	2x18	36
2x36	90	2x36	70
2x58	140	2x58	108
3x18	73	3x18	55

Tabella 4.3 – Potenza assorbita dal sistema lampada-alimentatore (estratto della tabella 3F Filippi).

4.3.2 Distinta apparecchi di illuminazione

Nella seguente tabella, si riportano le caratteristiche illuminotecniche degli apparecchi (flusso luminoso, temperatura di colore correlata TCC e resa cromatica Ra), il grado di protezione IP e la potenza unitaria assorbita:

Tipologia	Ambiente d'installazione	N° tot	Costruttore - Modello	IP	Flusso luminoso [lm/tubo]	TCC [K]	Ra	Potenza unitaria [W]
1	2x36W LOCALI TECNICI	413	DISANO - Hydro T8 921	IP66	3350	4000	80-89	70

⁸ Documento fornito dal Dipartimento Energia del Politecnico di Torino.

⁹ Reattore con cablaggio a starter, diverso da quello a basse perdite.

	Tipologia	Ambiente d'installazione	N° tot	Costruttore - Modello	IP	Flusso luminoso [lm/tubo]	TCC [K]	Ra	Potenza unitaria [W]
2	2x58W	AUTORIMESSA E LOCALI TECNICI	973	DISANO - Hydro T8 921	IP66	5200	4000	80-89	112
3	1x18W (tonde ad incasso)	CORRIDOI DEGENZE	707	DISANO - office 1 - 65°	IP44	1200	4000	80-89	18
4	2x18W (tonde ad incasso)	CORRIDOI DEGENZE	612	DISANO - office 3 - 65°	IP44	1200	4000	80-89	35
5	2x26W (tonde ad incasso)	BAGNI	883	DISANO - office 3 - 65°	IP44	1800	4000	80-89	49
6	1x55W plafone	SCALE	325	DISANO - Gabbiano 708 IP54	IP54	4800	4000	80-89	60
7	1x55W incasso DALI	CORRIDOI	4543	DISANO - Gabbiano 808 IP54	IP54	4800	4000	80-89	60
8	2x55W incasso	DEGENZE	254	DISANO - Gabbiano 808 IP54	IP54	4800	4000	80-89	98
9	2x55W DIMM 1- 10V	DEGENZE	346	DISANO - Gabbiano 808 IP54	IP54	4800	4000	80-90	98
10	4x18W incasso	LOCALI DI SERVIZIO - DEPOSITI - SPOGLIATOI	1565	DISANO - Comfort 827 T8 IP54	IP54	1350	4000	80-90	73
11	4x18W incasso DIMM 1- 10V	UFFICI - AMBULATORI - STUDI MEDICI	17	DISANO - Comfort 827 T8 IP54	IP54	1350	4000	80-90	76
12	4x24W incasso	SALE RIUNIONI	1247	DISANO - Supercomfort 852 IP54	IP54	1750	4000	90	104
13	4x24W incasso DIMM 1- 10V	UFFICI - AMBULATORI - STUDI MEDICI	2735	DISANO - Supercomfort 852 IP54	IP54	1750	4000	90	104
14	3x55W incasso asettiche DIMM 1- 10V	LOCALI ASETTICI - SALE OPERATORIE, EMODIN.	202	DISANO - Supercomfort 852 IP54 4x54	IP54	4450	4000	90	236
15	4x24W incasso asettiche DIMM 1- 10V	LOCALI ASETTICI - SALE TERAPIA	36	DISANO - Ermetica 843 T5	IP65	1750	4000	90	106
16	4x54W incasso asettiche DIMM 1- 10V	LOCALI ASETTICI - SALE OPERATORIE	12	DISANO - Ermetica 843 T5	IP65	4450	4000	90	218

Tabella 4.4 – Distinta apparecchi di illuminazione in configurazione ante operam. Per ognuno sono indicati il costruttore/modello, il grado di protezione, i parametri illuminotecnici e la potenza unitaria assorbita.

La colonna "Tipologia" riporta la descrizione del modello richiesto nel capitolato d'appalto e da qui in avanti verrà utilizzata per distinguere le tipologie di apparecchio sia nel caso pre che in quello post intervento.

Nel seguito vengono trattati aspetti inerenti alla sostituzione dei corpi illuminanti, dalle informazioni generali sulla tecnologia LED, alla scelta del fornitore fino alla configurazione dell'impianto post intervento.

4.4 Generalità sui LED

Il LED, acronimo di *Light Emitting Diode*, è un diodo che emette radiazione luminosa¹⁰.

I diodi luminosi non sono una tecnologia di recente invenzione, infatti risalgono storicamente agli anni '60 dove venivano utilizzati come spie luminose di segnalazione.

La svolta per l'applicazione in ambito illuminotecnico è avvenuta tra gli anni '90-'95 grazie alla scoperta, da parte di tre ricercatori giapponesi¹¹ (Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Shuji Nakamura), del LED a luce blu.

Tale scoperta ha reso possibile la sintesi additiva con i led a luce verde e rossa preesistenti e, di conseguenza, la nascita di dispositivi a LED in grado di produrre luce bianca per l'illuminazione degli ambienti.

4.4.1 Principio di funzionamento

Il diodo è composto da un materiale semiconduttore che, drogato tramite giunzione p-n, quando attraversato da corrente produce fotoni per emissione spontanea.

La giunzione p-n non è altro che una sottile zona di confine che funge da interfaccia di congiunzione tra uno strato con eccesso di elettroni (n) ed uno con eccesso di lacune (p).

Gli elettroni liberi presenti nella banda di conduzione (strato n), quando vengono sottoposti a tensione diretta, si combinano con le lacune della banda di valenza (strato p).

Ogni volta che questo accade, gli elettroni cedono energia sotto forma di quanti di luce (fotoni) con una lunghezza d'onda caratteristica in funzione degli elementi utilizzati per drogare il semiconduttore.

La lunghezza d'onda λ del fotone emesso determina la tonalità della luce della sorgente.

La luce bianca LED può essere ottenuta attraverso diversi metodi:

- Sintesi additiva di colori primari (RGB): dimmerando i tre colori primari non solo posso ottenere luce bianca, ma qualsiasi tonalità di luce colorata. Da notare che la luce bianca (TCC = 2700 K) non è ottimale per applicazioni interne.
- Sintesi additiva con colori complementari (B-Y): il chip che compone un LED blu viene ricoperto da fosfori in grado di convertire la luce in bianca (metodologia più moderna). Inizialmente si otteneva luce azzurra poi, perfezionando la tecnologia, si è cominciato ad ottenere luce bianca.
- AWB (Ambra-Bianco-Blu): si tratta del bilanciamento del bianco automatico, per variare la tonalità della luce bianca da calda a fredda e viceversa a seconda della temperatura di colore correlata della sorgente. Utilizzata anche in ambito fotografico per riprodurre con esattezza la luce esistente.

4.4.2 Vantaggi dei LED

I corpi illuminanti a LED presentano molteplici vantaggi sotto diversi aspetti:

LUCE	Lunga durata di vita
	Alta efficienza luminosa (in genere superiore ai 100 lm/W)

¹⁰ Fonte delle generalità sui LED: (Pellegrino, 2016-2017).

¹¹ Premiati nel 2014 con il Nobel per la Fisica.

	Assenza di radiazione UV e IR, di conseguenza sono sorgenti che non danneggiano i materiali (aspetto positivo per l'applicazione nei musei).
	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 (3-24 Vdc)
	Accensione a freddo (fino a -40 °C)
	Robustezza
	Insensibilità a umidità e vibrazioni
TECNOLOGIA	Dinamicità della luce (RGB o AWG)
	Accensione immediata 100%
	Possibilità di regolazione del flusso luminoso

Tabella 4.5 – Principali vantaggi dei LED. Fonte (Pellegrino, 2016-2017)

4.4.3 Svantaggi dei LED

Nonostante i diversi vantaggi, i LED presentano una serie di svantaggi che non vanno trascurati.

In primis, il calo delle prestazioni con l'aumento della temperatura: l'aumento di calore implica una riduzione del flusso luminoso e della durata di vita. La temperatura di funzionamento dell'apparecchio può crescere quando si incrementa la potenza di alimentazione per aumentare il flusso luminoso emesso. Il tipico andamento del flusso luminoso al crescere della temperatura di giunzione è rappresentato nel grafico seguente:

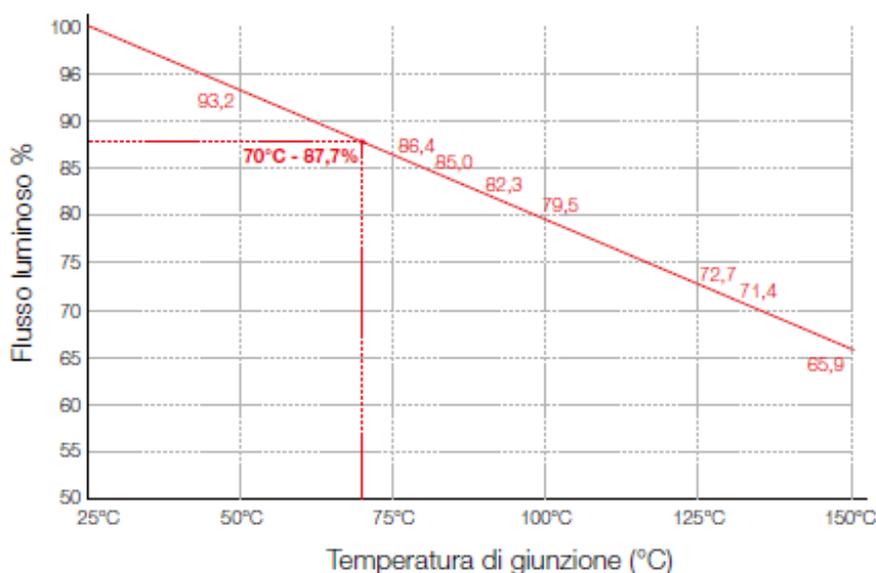


Figura 4.1 – Calo della percentuale di flusso luminoso emesso all'aumentare della temperatura di giunzione (di funzionamento) del LED. Fonte: (3F Filippi S.p.A., 2018).

Solitamente le prestazioni dell'apparecchio LED sono indicate in funzione della temperatura ambiente (25°C da normativa IEC 62722-2-1), mentre le prestazioni del LED devono essere indicate in base alla temperatura di giunzione (60°C-80°C da normativa IEC 62717).

Una soluzione potrebbe essere introdurre un dissipatore di calore, a discapito di dimensioni dell'apparecchio maggiori.

Un altro aspetto negativo sono i problemi di alimentazione: gli alimentatori, in modo particolare per questa tecnologia, sono componenti molto delicati e se di scarsa qualità, riducono la vita del LED.

4.4.4 Tipologie di LED

Si distinguono principalmente tre tipi di LED:

- Strisce: LED disposti linearmente.
- Piastre: LED disposti su un piano di diverse forme.
- Moduli: tanti LED assemblati e ricoperti di fosforo. I moduli possono essere utilizzati per illuminare anche singolarmente, siccome tramite questa tipologia si raggiungono potenze più alte. Sono sorgenti abbaglianti e solitamente vengono utilizzati con schermi e riflettori. Inoltre, necessitano di un dissipatore di calore per tenere bassa la temperatura di funzionamento.

Inoltre, si distinguono due tipi di sorgenti: LED e OLED.

Il LED è una sorgente puntiforme, emette una luce direzionale e pertanto provoca il rischio di abbagliamento. L'OLED è una sorgente superficiale, emette una luce diffusa e non provoca abbagliamento.

L'utilizzo dell'una o dell'altra sorgente dipende dal tipo di esigenza.

4.4.5 Sicurezza fotobiologica

Se la sorgente LED è di bassa qualità e viene utilizzata per tempi di esposizione prolungati può emettere radiazioni nocive per la salute dell'uomo, intaccando alcuni organi del corpo come gli occhi e la pelle (in caso di visione diretta).

La normativa IEC/EN 62471:2010 definisce le classi di rischio (Gruppi di Rischio) per la sicurezza fotobiologica e i limiti di esposizione massima alle sorgenti luminose.

Nella seguente tabella si elencano, in accordo alla normativa, i gruppi di rischio per luce blu:

GRUPPO DI RISCHIO	DESCRIZIONE	ESPOSIZIONE
RG0 (RISCHIO ESENTE)	La sorgente non provoca alcun rischio fotobiologico (rischio retinico da luce blu)	10.000 s (2,8 h)
RG1 (RISCHIO BASSO)	La sorgente non provoca rischio in normali limitazioni di funzionamento sull'esposizione	100 s
RG2 (RISCHIO MODERATO)	La sorgente non provoca rischi se, istintivamente, si guardano sorgenti molto luminose (o in seguito alla sensazione di disagio termico)	0,25 s
RG3 (RISCHIO ELEVATO)	La sorgente potrebbe rappresentare un rischio anche per esposizioni brevi o momentanee	

Tabella 4.6 – Classi di rischio per la sicurezza fotobiologica. Fonti: (IEC EN 62471, 2010) e (3F Filippi S.p.A., 2018).

La normativa EN 60598-1:2015 (Apparecchi di illuminazione – Parte 1: Prescrizioni generali e prove) determina che, ai fini della sicurezza, i gruppi di rischio ammissibili sono l'RG0 e RG1.

Si sottolinea, però, che i due gruppi non devono essere considerati equivalenti.

L'esposizione ad apparecchi RG1 non si ritiene pericolosa in quanto, nell'impiego ordinario, superare tempi di esposizione di 100 secondi è abbastanza difficile (seppur non impossibile, ma questo non si può prevedere a progetto). D'altra parte, il gruppo RG0 rappresenta la classe maggiormente cautelativa perché comporta tempi d'esposizione ancor più lunghi e improbabili da raggiungere (2,8 ore).

Gli apparecchi LED considerati del caso in esame presentano tutti gruppi di rischio RG0 o RG1, tale informazione è stata reperita dalle schede tecniche. Tuttavia, si osserva che la cosa migliore da fare, a fine cautelativo, sarebbe richiedere al produttore il certificato che attesti la Classe di Rischio fotobiologico effettiva.

4.5 Confronto dei fornitori

La scelta degli apparecchi a LED di sostituzione è passata attraverso il confronto di offerte da diversi fornitori.

In genere, il confronto dei prodotti avviene principalmente secondo criteri tecnico-economici oltre che di estetica ed integrazione nello spazio fisico.

In una prima fase di scrematura, si è valutata la conformità degli apparecchi proposti alle caratteristiche tecniche richieste e si sono scartati i fornitori di apparecchi non conformi.

Si sono valutate le offerte economiche di tre fornitori: Disano, Spittler e Zumtobel/Thorn.

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa di confronto fornitori.

Si vuole sottolineare che i prezzi non corrispondono al reale costo sostenuto per la sostituzione poiché:

- Le offerte fanno riferimento alla sola fornitura e non comprendono l'installazione (manodopera).
- Alcune tipologie di apparecchi non sono state considerate poiché non era presente un'offerta da tutti i fornitori.

I prezzi riportati in tabella, difatti, fanno riferimento allo stesso numero, ambiente d'installazione e tipologia di corpi illuminanti per i quali tutti i fornitori hanno presentato un'offerta. Gli apparecchi dei locali tecnici/autorimesse e delle sale operatorie (locali asettici) sono stati considerati a parte.

	Importo totale offerta (Iva escl.)	Garanzia	Tempi di consegna
DISANO	€ 1.009.797,06	2 anni (apparecchi)	4/5 settimane
SPITTLER	€ 962.622,15	5 anni (apparecchi e alimentatore)	4/5 settimane
ZUMTOBEL	€ 939.745,67	5 anni (apparecchi e alimentatore)	4/5 settimane

Tabella 4.7 – Tabella di confronto fornitori.

Note integrative:

Disano: Offre gli alimentatori dimmerabili della marca richiesta però la garanzia degli apparecchi è fornita per soli 2 anni, non conforme alla richiesta di 5. Inoltre, offre prodotti con vita utile L80¹², non conforme alla richiesta di L90.

Spittler: Offre prodotti con ottima resa cromatica (Ra>90) e durata della garanzia conforme. Però propone un alimentatore dimmerabile di una marca diversa rispetto a quella richiesta.

¹² Al termine della vita utile, il LED emette l'80% del flusso luminoso iniziale.

Zumtobel/Thorn: Offre buona parte degli apparecchi con maggiore vita utile (50.000 h L90), ottima resa cromatica (Ra>90) e grado di protezione IP superiore alla specifica tecnica. Però propone un alimentatore dimmerabile di una marca diversa rispetto a quella richiesta.

4.5.1 Scelta del fornitore

Dal confronto delle tre proposte, è stato scelto ZUMTOBEL/THORN perché ha presentato un'offerta economicamente più bassa, tecnicamente migliore e con una durata di garanzia conforme alle richieste. Per alcune tipologie di apparecchi DISANO è risultato più economico ma con prodotti tecnicamente meno prestanti ed una minore durata di garanzia.

Per quanto riguarda gli apparecchi 2X36 E 2X58 dei locali tecnici e delle autorimesse, il raffronto è stato solo tra le offerte di DISANO e SPITTLER dal momento che ZUMTOBEL non ha fornito prodotti in questa sezione.

Sono stati scelti i prodotti DISANO in quanto più economici a parità di caratteristiche tecniche.

Nella sezione delle sale operatorie (locali aseptici, corpi 3X55 4X24 4X54) SPITTLER non ha fornito apparecchi.

DISANO, anche se più economico, ha offerto prodotti non conformi con scarso illuminamento e vita utile.

Pertanto, è stato scelto ZUMTOBEL che offre prodotti con ottime caratteristiche tecniche, buon illuminamento, resa cromatica Ra>90 e vita utile L90.

Nella tabella seguente si riassumono i fornitori scelti per ogni tipo di apparecchio e ambiente di installazione:

	Tipologia	Ambiente d'installazione	Fornitore scelto
1	2x36W	LOCALI TECNICI	DISANO
2	2x58W	AUTORIMESSA E LOCALI TECNICI	DISANO
3	1x18W (<i>tonde ad incasso</i>)	CORRIDOI DEGENZE	ZUMTOBEL
4	2x18W (<i>tonde ad incasso</i>)	CORRIDOI DEGENZE	ZUMTOBEL
5	2x26W (<i>tonde ad incasso</i>)	BAGNI	ZUMTOBEL
6	1x55W plafone	SCALE	ZUMTOBEL
7	1x55W incasso DALI	CORRIDOI	ZUMTOBEL
8	2x55W incasso	DEGENZE	ZUMTOBEL
9	2x55W DIMM 1-10V	DEGENZE	ZUMTOBEL
10	4x18W incasso	LOCALI DI SERVIZIO - DEPOSITI - SPOGLIATOI	ZUMTOBEL
11	4x18W incasso DIMM 1-10V	UFFICI - AMBULATORI - STUDI MEDICI	ZUMTOBEL
12	4x24W incasso	SALE RIUNIONI	ZUMTOBEL
13	4x24W incasso DIMM 1-10V	UFFICI - AMBULATORI - STUDI MEDICI	ZUMTOBEL
14	3x55W incasso aettiche DIMM 1-10V	LOCALI ASETTICI - SALE OPERATORIE, EMODIN.	ZUMTOBEL

	Tipologia	Ambiente d'installazione	Fornitore scelto
15	4x24W incasso asettiche DIMM 1-10V	LOCALI ASETTICI - SALE TERAPIA	ZUMTOBEL
16	4x54W incasso asettiche DIMM 1-10V	LOCALI ASETTICI - SALE OPERATORIE	ZUMTOBEL

Tabella 4.8 – Riepilogo, locale per locale, del fornitore scelto.

4.6 Situazione post operam

La potenza assorbita dagli apparecchi è stata ricavata dalle schede tecniche disponibili sui rispettivi siti web dei produttori¹³. Le schede, in quanto riferite a prodotti recenti, sono state reperite più facilmente e non hanno necessitato di alcun aggiornamento (vengono riportate in allegato).

I valori sono riportati conformemente alle normative di riferimento per gli apparecchi di illuminazione.

4.6.1 Distinta apparecchi di illuminazione

Come per il caso pre intervento, si riportano nella seguente tabella le caratteristiche illuminotecniche, il grado di protezione e la potenza assorbita degli apparecchi di sostituzione:

	Tipologia	Ambiente d'installazione	N° tot	Costruttore - Modello	IP	Flusso luminoso	TCC [K]	Ra	Potenza unitaria [W]
1	2x36W	LOCALI TECNICI	413	DISANO - Hydro LED 960	IP66	5094	4000	80+	36
2	2x58W	AUTORIMESSA E LOCALI TECNICI	973	DISANO - Hydro LED 960	IP66	6786	4000	80+	51
3	1x18W (tonde ad incasso)	CORRIDOI DEGENZE	707	THORN - CHAL 150 LED 1400-840 HF RSB	IP54	1410	4000	80+	12,3
4	2x18W (tonde ad incasso)	CORRIDOI DEGENZE	612	THORN - CHAL 150 LED 1400-840 HF RSB	IP54	1410	4000	80+	12,3
5	2x26W (tonde ad incasso)	BAGNI	883	THORN - CHAL 150 LED 2000-840 HF RSB	IP54	1980	4000	80+	17,3
6	1x55W plafone	SCALE	325	THORN - OMEGA LED 4000-840 HF Q597	IP44	4000	4000	80+	36,5
7	1x55W incasso DALI	CORRIDOI	4543	THORN - OMEGA LED 3300-840 HFIX Q597	IP44	3300	4000	80+	27,3
8	2x55W incasso	DEGENZE	254	THORN - OMEGA LED 4000-940 HF Q597	IP44	4000	4000	90+	36,7

¹³ Fonti: (Disano Illuminazione S.p.A., s.d.) e (Zumtobel, s.d.)

	Tipologia	Ambiente d'installazione	N° tot	Costruttore - Modello	IP	Flusso luminoso	TCC [K]	Ra	Potenza unitaria [W]
9	2x55W DIMM 1-10V	DEGENZE	346	THORN - OMEGA LED 4000-940 HFIX Q597	IP44	4000	4000	90+	35,7
10	4x18W incasso	LOCALI DI SERVIZIO - DEPOSITI - SPOGLIATOI	1565	THORN - OMEGA LED 3300-840 HF Q597	IP44	3300	4000	80+	29
11	4x18W incasso DIMM 1-10V	UFFICI - AMBULATORI - STUDI MEDICI	17	THORN - OMEGA LED 3300-840 HF Q597	IP44	3300	4000	80+	29
12	4x24W incasso	SALE RIUNIONI	1247	THORN - OMEGA LED 4000-940 HF Q597	IP44	4000	4000	90+	36,7
13	4x24W incasso DIMM 1-10V	UFFICI - AMBULATORI - STUDI MEDICI	2735	THORN - OMEGA LED 4000-940 HFIX Q597	IP44	4000	4000	90+	35,7
14	3x55W incasso asettiche DIMM 1-10V	LOCALI ASETTICI - SALE OPERATORIE, EMODIN.	202	ZUMTOBEL - CLEAN A-MP LED 6200-940 M600Q LDO	IP65	6060	4000	90+	56,2
15	4x24W incasso asettiche DIMM 1-10V	LOCALI ASETTICI - SALE TERAPIA	36	ZUMTOBEL - CLEAN C-O LED 5200-940 M600Q LDO	IP54	5080	4000	90+	49,2
16	4x54W incasso asettiche DIMM 1-10V	LOCALI ASETTICI - SALE OPERATORIE	12	ZUMTOBEL - CLEAN C-O LED 5200-940 M600Q LDO	IP54	5080	4000	90+	49,2

Tabella 4.9 - Distinta apparecchi di illuminazione in configurazione post operam. Per ognuno sono indicati il costruttore/modello, il grado di protezione, i parametri illuminotecnici e la potenza unitaria assorbita.

4.7 Confronto efficienze luminose

Dai dati reperiti dalle schede tecniche, sono stati calcolati i valori di efficienza luminosa per ogni tipologia di apparecchio. Le grandezze ante e post operam sono state confrontate nella tabella sottostante:

	Tipologia	Efficienza luminosa (fluorescente) [lm/W]	Efficienza luminosa (LED) [lm/W]
1	2x36W	95,7	141,5
2	2x58W	92,9	133,1
3	1x18W (tonde ad incasso)	66,7	114,6

	Tipologia	Efficienza luminosa (fluorescente) [lm/W]	Efficienza luminosa (LED) [lm/W]
4	2x18W (tonde ad incasso)	68,6	114,6
5	2x26W (tonde ad incasso)	73,5	114,5
6	1x55W plafone	80,0	109,6
7	1x55W incasso DALI	80,0	120,9
8	2x55W incasso	98,0	109,0
9	2x55W DIMM 1-10V	98,0	112,0
10	4x18W incasso	74,0	113,8
11	4x18W incasso DIMM 1-10V	71,1	113,8
12	4x24W incasso	67,3	109,0
13	4x24W incasso DIMM 1-10V	67,3	112,0
14	3x55W incasso alettiche DIMM 1-10V	56,6	107,8
15	4x24W incasso alettiche DIMM 1-10V	66,0	103,3
16	4x54W incasso alettiche DIMM 1-10V	81,7	103,3

Tabella 4.10 – Confronto tra le efficienze luminose dei due scenari d'impianto.

Si osserva che i corpi illuminanti a LED presentano valori di efficienza luminosa più elevata rispetto a quelli fluorescenti.

Si sottolinea che per gli apparecchi fluorescenti il valore di flusso luminoso utilizzato per il calcolo fa riferimento a quello dichiarato dal costruttore per singolo tubo moltiplicato per il numero di tubi presente, la potenza invece è riferita a quella assorbita dall'intero sistema. Il valore di efficienza luminosa potrebbe essere leggermente inferiore siccome non è stato preso in considerazione l'eventuale rendimento luminoso dell'apparecchio¹⁴ (non dichiarato dal costruttore).

Viceversa, per gli apparecchi LED il valore di efficienza luminosa è più attendibile perché sono stati utilizzati il flusso luminoso uscente e la potenza assorbita dall'apparecchio.

¹⁴ Termine per indicare che il flusso luminoso uscente dall'apparecchio può essere minore rispetto a quello emesso dalla sorgente luminosa.

5 Intervento di sostituzione – I costi energetici

Nel presente capitolo si vuole valutare il costo associato al consumo di energia elettrica, al fine di stimare l'eventuale risparmio energetico, calcolato in kWh all'anno, che è teoricamente possibile ottenere dall'impianto di illuminazione passando da corpi illuminanti fluorescenti a LED. Dal risparmio energetico è possibile calcolare un risparmio economico annuo tramite un valore di prezzo unitario del kilowattora e di conseguenza una stima del tempo di ritorno economico dell'investimento sostenuto per effettuare la sostituzione.

Tuttavia, occorre precisare che questo tipo di analisi è dipendente da una serie di variabili e, pertanto, sarà necessario introdurre delle ipotesi di calcolo.

I consumi energetici, e i conseguenti risparmi, dipendono fondamentalmente da due parametri (tra loro correlati): il tipo di controllo e le ore effettive di utilizzo dell'impianto di illuminazione.

Il tipo di sistema di controllo influisce, tramite i dimmer, sulla potenza assorbita dagli apparecchi luminosi e tramite vari tipi di sensori (di presenza, crepuscolari, di luce diurna, etc.), sulle ore di funzionamento dell'impianto.

Le ore di funzionamento sono anche funzione del tipo di ambiente e dal reale utilizzo degli spazi.

Ad esempio, non è facile stimare il consumo energetico di un ambiente dotato di solo controllo manuale in quanto l'effettivo utilizzo dell'impianto è a discrezione dell'utente.

Per tutti gli apparecchi nel presente studio, si è deciso di adottare le seguenti ipotesi:

- Assenza di dimmerazione: si considera la potenza assorbita nominale dichiarata dal produttore.
- Per ogni tipologia di apparecchio si è considerato un numero fisso di ore di funzionamento giornaliero, a seconda del tipo di locale in cui sono installate: l'eventuale presenza di controllo dell'impianto è contenuta all'interno di questo dato.
- Il sistema di controllo non cambia con la sostituzione dei corpi illuminanti: il dato di ore di funzionamento è uguale sia nel caso ante che nel caso post intervento.

Pertanto, il risparmio energetico calcolato dipenderà solamente dalla riduzione di potenza assorbita sostituendo gli apparecchi fluorescenti con quelli a LED.

Anche se queste ipotesi sembrano essere semplificative sono necessarie poiché, essendo l'ospedale di nuova costruzione, non si hanno a disposizione i profili di funzionamento e dati storici di dimmerazione degli apparecchi.

Il discorso è analogo per la stima dei costi energetici, i quali dipendono dai consumi e dal prezzo dell'energia elettrica.

Si è ipotizzato un prezzo unitario dell'energia elettrica costante ed allineato con il prezzo medio attuale per questa fascia di consumo.

5.1 Metodologia di calcolo

Ai fini della presente analisi è stato necessario, per ogni tipologia di apparecchio d'illuminazione, determinare i seguenti dati.

Potenza unitaria assorbita: per il caso pre-intervento vedere il paragrafo 4.3.1, per il caso post-intervento il paragrafo 4.6.

Prezzo unitario di fornitura: dall'offerta del fornitore/produttore.

Prezzo unitario d'installazione (posa in opera): dal prezziario Regione Piemonte.

Ore di funzionamento giornaliero: ipotizzate a seconda del tipo di ambiente di installazione, in base alla necessità di funzionamento o all'occupazione degli spazi¹⁵.

Si elencano gli step effettuati per ogni tipologia di apparecchio di illuminazione e per entrambe le situazioni ante-post intervento:

1) È stata calcolata la potenza totale moltiplicando la potenza unitaria per il numero di apparecchi.

$$P_{tot} = P_u \times n_{app} \quad [kW] \quad (5.1)$$

Con:

P_u = potenza unitaria dell'apparecchio [kW]

n_{app} = numero di apparecchi [#]

2) Il prezzo totale degli apparecchi, utilizzato per calcolare l'eventuale investimento, è stato ricavato sommando i prezzi unitari di fornitura e posa in opera e moltiplicando per il numero di apparecchi.

$$p_{tot} = p_{u,tot} \times n_{app} \quad [€] \quad (5.2)$$

$$p_{u,tot} = p_{u,forn} + p_{u,po} \quad [€/pezzo] \quad (5.3)$$

Con:

$p_{u,tot}$ = prezzo unitario totale [€/pezzo]

$p_{u,forn}$ = prezzo unitario di fornitura [€/pezzo]

$p_{u,po}$ = prezzo unitario di posa in opera (installazione) [€/pezzo]

3) Le ore di funzionamento annue sono state quantificate moltiplicando le ore di funzionamento giornaliero ipotizzate per 365 giorni all'anno. L'ospedale è infatti una struttura che necessita di un funzionamento continuativo.

$$h_{year} = h_{day} \times 365 \quad [h/y] \quad (5.4)$$

Con:

h_{day} = ore di funzionamento giornaliero [h/d]

365 = giorni di funzionamento annui [d/y]

4) Moltiplicando la potenza totale, espressa in kW, per le ore di funzionamento annue si è ottenuto il consumo energetico in kWh annui.

$$E_{el} = P_{tot} \times h_{year} \quad [kWh/y] \quad (5.5)$$

5) Infine, moltiplicando il consumo annuo per il prezzo unitario dell'energia elettrica si è calcolato il costo energetico annuo.

$$C_{el} = E_{el} \times c_{el} \quad [€/y] \quad (5.6)$$

¹⁵ I dati di ore di funzionamento degli apparecchi sono stati presi da documentazione fornita dalla Neosia, società responsabile della progettazione e realizzazione dell'ospedale.

Con:

$c_{el} = 0,17 = \text{prezzo unitario dell'energia elettrica } [€/kWh]$

Il risparmio energetico annuo ottenibile con l'intervento di sostituzione è dato da:

$$E_{el,risp} = E_{el,ante} - E_{el,post} \quad [kWh/y] \quad (5.7)$$

Con:

$E_{el,ante} = \text{consumo energetico annuo ante operam } [kWh/y]$

$E_{el,post} = \text{consumo energetico annuo post operam } [kWh/y]$

L'associato risparmio economico annuo è quantificato come¹⁶:

$$C_{el,risp} = C_{el,ante} - C_{el,post} \quad [€/y] \quad (5.8)$$

Con:

$C_{el,ante} = \text{costo energetico annuo ante operam } [€/y]$

$C_{el,post} = \text{costo energetico annuo post operam } [€/y]$

Il tempo di ritorno dell'investimento (Simple Payback Period) si calcola come:

$$SPB = \frac{I}{R} \quad [y] \quad (5.9)$$

Con:

$I = \text{Investimento } [€]$

$R = C_{el,risp} \text{ risparmio economico annuo } [€/y]$

L'investimento è il costo o l'extra-costo sostenuto per realizzare un certo tipo di intervento e varia a seconda del caso.

Il risparmio economico annuo rappresenta il beneficio derivante dall'intervento effettuato.

Nello studio in esame, si analizzano due differenti casi. Il primo è quello reale, dove solo una parte degli apparecchi di illuminazione è già stata installata e perciò oggetto dell'intervento di sostituzione.

Nel secondo, invece, si considerano tutti gli apparecchi già installati e quindi una sostituzione completa dell'impianto di illuminazione.

5.2 Caso reale

Nel caso reale, come già anticipato, si è optato per un cambio di apparecchi ancora prima di terminare la realizzazione dell'edificio.

Questo perché ci si è accorti che i corpi illuminanti previsti nel progetto esecutivo, risalente a quasi 15 anni prima, erano oramai una tecnologia superata per un ospedale innovativo come quello di Alba-Bra.

Pertanto, occorre differenziare l'analisi a seconda che l'apparecchio sia già installato o meno.

¹⁶ Modo equivalente: $C_{el,risp} = E_{el,risp} \times c_{el} \quad [€/y]$

5.2.1 Apparecchi di illuminazione già installati

Per gli apparecchi di illuminazione già installati si tratta di una vera e propria sostituzione.

L'investimento iniziale riguarda lo smontaggio dei corpi illuminanti fluorescenti, e l'acquisto più posa in opera di quelli a LED sostitutivi.

Per semplicità, il costo di smontaggio si considera compreso nella posa in opera dei nuovi corpi illuminanti.

Il beneficio derivante dalla sostituzione è il risparmio economico legato alla riduzione dei consumi energetici che, come già detto all'inizio del paragrafo 4.7, dipenderà esclusivamente da una riduzione di potenza assorbita dei nuovi terminali a parità di ore di funzionamento dell'impianto.

Pertanto, non si considerano riduzioni di consumi derivanti da una diversa tipologia di controllo sugli impianti di illuminazione.

Per il caso **ante operam** si è calcolato:

	Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Potenza unitaria P_u [W]	Potenza totale P_{tot} [kW]	h_{day} [h/d]	h_{year} [h/y]	Consumo annuo E_{el} [kWh/y]	Costo energia elettrica annuo C_{el} [€/y]
1	2x36W	78	70	5,5	10	3650	19.930	€ 3.390
2	2x58W	44	112	4,9	24	8760	43.170	€ 7.340
3	1x18W	256	18	4,6	18	6570	30.270	€ 5.150
4	2x18W	102	35	3,6	18	6570	23.450	€ 3.990
5	2x26W	183	49	9,0	18	6570	58.910	€ 10.010
6	1x55W	84	60	5,0	18	6570	33.110	€ 5.630
7	1x55W	939	60	56,3	18	6570	370.150	€ 62.930
8	2x55W	87	98	8,5	10	3650	31.120	€ 5.290
9	2x55W	74	98	7,3	10	3650	26.470	€ 4.500
10	4x18W	210	73	15,3	12	4380	67.150	€ 11.420
11	4x18W	13	76	1,0	12	4380	4.330	€ 740
12	4x24W	134	104	13,9	12	4380	61.040	€ 10.380
13	4x24	433	104	45,0	12	4380	197.240	€ 33.530
14	3x55W	0	236	0,0	6	2190	-	€ 0
15	4x24W	0	106	0,0	12	4380	-	€ 0
16	4x54W	0	218	0,0	12	4380	-	€ 0
TOTALE				180,0			966.350	€ 164.300,00

Tabella 5.1 – Ante Operam: consumo e costo energetico degli apparecchi installati.

Analogamente, per il caso **post operam**:

	Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Potenza unitaria P_u [W]	Potenza totale P_{tot} [kW]	h_{day} [h/d]	h_{year} [h/y]	Consumo annuo E_{el} [kWh/y]	Costo energia elettrica annuo C_{el} [€/y]
1	2x36W	78	36	2,8	10	3650	10.250	€ 1.740
2	2x58W	44	51	2,2	24	8760	19.660	€ 3.340
3	1x18W	256	12,3	3,1	18	6570	20.690	€ 3.520
4	2x18W	102	12,3	1,3	18	6570	8.240	€ 1.400
5	2x26W	183	17,3	3,2	18	6570	20.800	€ 3.540
6	1x55W	84	36,5	3,1	18	6570	20.140	€ 3.420
7	1x55W	939	27,3	25,6	18	6570	168.420	€ 28.630
8	2x55W	87	36,7	3,2	10	3650	11.650	€ 1.980
9	2x55W	74	35,7	2,6	10	3650	9.640	€ 1.640
10	4x18W	210	29	6,1	12	4380	26.670	€ 4.530
11	4x18W	13	29	0,4	12	4380	1.650	€ 280
12	4x24W	134	36,7	4,9	12	4380	21.540	€ 3.660
13	4x24	433	35,7	15,5	12	4380	67.710	€ 11.510
14	3x55W	0	56,2	0,0	6	2190	-	€ 0
15	4x24W	0	49,2	0,0	12	4380	-	€ 0
16	4x54W	0	49,2	0,0	12	4380	-	€ 0
	TOTALE			74,0			407.050	€ 69.190

Tabella 5.2 – Post Operam: consumo e costo energetico degli apparecchi installati.

Si sono ottenuti i seguenti risultati:

$$\text{Risparmio energetico annuo } E_{el,risp} = 559.300 \quad [kWh/y]$$

$$\text{Risparmio economico annuo } C_{el,risp} = 95.110 \quad [€/y]$$

Il costo d'investimento, in quanto intervento di sostituzione, è dato dalla somma dei costi di acquisto e fornitura dei LED. Se ne riporta il calcolo nella seguente tabella:

	Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Prezzo unitario (fornitura) $p_{u,forn}$ [€/pezzo]	Prezzo installazione (posa in opera) $p_{u,po}$ [€/pezzo]	Prezzo totale p_{tot} [€]
1	2x36W	78	€ 32,40	€ 27,89	€ 4.700
2	2x58W	44	€ 36,00	€ 30,66	€ 2.930
3	1x18W	256	€ 33,60	€ 18,42	€ 13.320

	Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Prezzo unitario (fornitura) $p_{u, forn}$ [€/pezzo]	Prezzo installazione (posa in opera) $p_{u, po}$ [€/pezzo]	Prezzo totale p_{tot} [€]
4	2x18W	102	€ 33,60	€ 25,09	€ 5.990
5	2x26W	183	€ 37,69	€ 26,33	€ 11.720
6	1x55W	84	€ 69,70	€ 22,32	€ 7.730
7	1x55W	939	€ 75,73	€ 22,32	€ 92.070
8	2x55W	87	€ 69,70	€ 30,66	€ 8.730
9	2x55W	74	€ 95,67	€ 30,66	€ 9.350
10	4x18W	210	€ 60,35	€ 34,00	€ 19.810
11	4x18W	13	€ 95,67	€ 34,00	€ 1.690
12	4x24W	134	€ 69,70	€ 34,00	€ 13.900
13	4x24	433	€ 95,67	€ 34,00	€ 56.150
14	3x55W	0	€ 307,55	€ 32,90	€ 0
15	4x24W	0	€ 292,99	€ 34,00	€ 0
16	4x54W	0	€ 292,99	€ 35,66	€ 0
TOTALE					€ 248.090

Tabella 5.3 – Calcolo del costo d'investimento.

Investimento $I = 248.090$ [€]

Infine, è possibile calcolare il Simple Payback Period dell'intervento:

$SPB = 2,6$ anni

Il tempo di ritorno dell'investimento ha un valore che si può ritenere accettabile ed in linea con tipologie d'intervento di questo tipo, occorre però fare qualche considerazione.

Il valore del SPB è dipendente dalle ore di utilizzo degli apparecchi di illuminazione.

Benché il risparmio energetico percentuale tra le due configurazioni non varia con le ore di utilizzo dell'impianto¹⁷, il suo valore in termini quantitativi aumenta proporzionalmente alle ore di funzionamento.

Di conseguenza, se l'impianto d'illuminazione lavora per un numero d'ore annue maggiore si avrà una quantità di kWh risparmiati più alta, un risparmio economico annuo maggiore e un SPB più basso. Per contro, se l'impianto lavora per un numero d'ore annue minore si avrà una quantità di kWh risparmiati più bassa, un risparmio economico annuo minore e un SPB più alto.

Nel calcolo del SPB non si è tenuto conto né della variazione nel tempo del prezzo unitario dell'energia, né di parametri economico-finanziari come il tasso di interesse (VAN). Tuttavia, vista l'entità del tempo di ritorno, quanto ipotizzato si considera accettabile.

¹⁷ Nel caso in cui, per tutte le tipologie di apparecchi, le ore di funzionamento annue aumentino della stessa quantità percentuale.

Inoltre, per valutare la convenienza dell'intervento, si rende necessario confrontare il SPB agli anni di vita utile degli apparecchi LED.

Difatti, se un prodotto ha una vita utile minore del SPB vuol dire che andrà sostituito nuovamente prima ancora di rientrare dell'investimento, comportando un aumento dei costi ed un allungamento del tempo di ritorno economico. Se questo dovesse valere per molti apparecchi, l'investimento potrebbe non risultare più conveniente.

Il problema non si pone per il caso in esame siccome il valore di vita utile degli apparecchi LED, come verrà approfondito nel capitolo sulla manutenzione, va da un minimo di 3 anni ad un valor medio di 8-9 (ampiamente superiore al tempo di ritorno calcolato).

5.2.2 Apparecchi di illuminazione da installare

Per gli apparecchi ancora da installare l'analisi risulta differente.

In questo caso, non si tratta più di una sostituzione ma di una variante contrattuale: la società incaricata alla realizzazione della struttura ha valutato la possibilità di apportare delle modifiche al contratto di fornitura per poter attuare delle variazioni/migliorie in corso d'opera.

Pertanto, l'investimento da calcolare per questo tipo di situazione non è altro che un'eventuale extra-costi da sostenere per installare gli apparecchi LED al posto di quelli fluorescenti.

La spesa per la fornitura e l'installazione dei corpi illuminanti fluorescenti è un costo che l'azienda avrebbe comunque dovuto sostenere e pertanto è necessario tenerne conto nel calcolo dell'investimento.

Il beneficio è sempre il risparmio economico associato a quello energetico tra l'impianto pre-post intervento e si valuta come nel caso precedente (secondo la metodologia di calcolo al paragrafo 5.1).

Si valuta, nel seguito, l'eventuale extra-costi dell'impianto a LED rispetto quello fluorescente:

	Tipo	N° app. da install. n_{app}	FLUORESCENTI			LED		
			Prezzo unitario fornitura $p_{u,forn}$ [€/pezzo]	Prezzo install. (P.O.) $p_{u,po}$ [€/pezzo]	Prezzo totale p_{tot} [€]	Prezzo unitario fornitura $p_{u,forn}$ [€/pezzo]	Prezzo install. (P.O.) $p_{u,po}$ [€/pezzo]	Prezzo totale p_{tot} [€]
1	2x36W	335	€ 18,2	€ 27,9	€ 15.430	€ 32,40	€ 27,89	€ 20.200
2	2x58W	929	€ 21,2	€ 30,7	€ 48.170	€ 36,00	€ 30,66	€ 61.930
3	1x18W	451	€ 16,5	€ 18,4	€ 15.760	€ 33,60	€ 18,42	€ 23.460
4	2x18W	510	€ 22,4	€ 25,1	€ 24.200	€ 33,60	€ 25,09	€ 29.930
5	2x26W	700	€ 21,7	€ 26,3	€ 33.610	€ 37,69	€ 26,33	€ 44.810
6	1x55W	241	€ 66,7	€ 22,3	€ 21.460	€ 69,70	€ 22,32	€ 22.180
7	1x55W	3604	€ 108,5	€ 22,3	€ 471.300	€ 75,73	€ 22,32	€ 353.370
8	2x55W	167	€ 93,4	€ 30,7	€ 20.720	€ 69,70	€ 30,66	€ 16.760
9	2x55W	272	€ 111,1	€ 30,7	€ 38.560	€ 95,67	€ 30,66	€ 34.360
10	4x18W	1355	€ 68,7	€ 34	€ 139.210	€ 60,35	€ 34,00	€ 127.840
11	4x18W	4	€ 84,1	€ 34	€ 470	€ 95,67	€ 34,00	€ 520
12	4x24W	1113	€ 140,2	€ 34	€ 193.830	€ 69,70	€ 34,00	€ 115.420
13	4x24	2302	€ 166,8	€ 34	€ 462.330	€ 95,67	€ 34,00	€ 298.500
14	3x55W	202	€ 248,3	€ 32,9	€ 56.790	€ 307,55	€ 32,90	€ 68.770

Tipo	N° app. da install. n_{app}	FLUORESCENTI			LED			
		Prezzo unitario fornitura	Prezzo install. (P.O.)	Prezzo totale p_{tot}	Prezzo unitario fornitura	Prezzo install. (P.O.)	Prezzo totale p_{tot}	
		$P_{u,forn}$ [€/pezzo]	$P_{u,po}$ [€/pezzo]	[€]	$P_{u,forn}$ [€/pezzo]	$P_{u,po}$ [€/pezzo]	[€]	
15	4x24W	36	€ 193,5	€ 34	€ 8.190	€ 292,99	€ 34,00	€ 11.770
16	4x54W	12	€ 320,3	€ 35,7	€ 4.270	€ 292,99	€ 35,66	€ 3.940
<i>TOTALE</i>					€ 1.554.300		€ 1.233.760	

Tabella 5.4 – Confronto tra i costi di fornitura + installazione tra impianto fluorescente e led.

Si nota subito che non vi è alcun extra-costi in quanto il prezzo totale di fornitura e posa in opera dei led è addirittura minore degli apparecchi fluorescenti.

Questo vuol dire che, in questo caso, gli apparecchi a LED convengono a prescindere dei benefici di risparmio energetico.

Pertanto, non si calcola alcun tempo di ritorno economico come fatto per il caso degli apparecchi già installati.

5.2.3 Prezzi fluorescenti-led a confronto

Fino a qualche anno fa sarebbe stato impensabile ottenere un risultato del genere poiché i led, tecnologia più moderna e recente in ambito illuminotecnico, hanno da sempre comportato costi maggiori rispetto agli apparecchi “tradizionali”.

Tuttavia, negli ultimi anni il costo dei led si è abbassato notevolmente grazie a diversi fattori tra i quali: il crescente sviluppo tecnologico, l'economia di scala e l'ingresso nel mercato dei grossi marchi d'elettronica, illuminazione e non solo, che ha aumentato il numero di competitors.

Per contro, il prezzo degli apparecchi fluorescenti non ha subito variazioni sensibili in questi anni ma è rimasto piuttosto stabile. Questo è probabilmente dovuto al fatto che i vecchi modelli sono stati sostituiti da modelli analoghi dotati di componenti più performanti e tecnologicamente migliori¹⁸ (tubo T5, reattore elettronico, etc.) ma d'altra parte economicamente più onerosi.

Al contrario di quanto si poteva pensare la diminuzione della richiesta degli apparecchi fluorescenti, causata dalla diffusione dei led, sembra non aver influito sui prezzi di vendita.

Al giorno d'oggi è quindi possibile che, per qualche tipologia di apparecchio comune e prodotto su larga scala, un apparecchio led sia meno costoso rispetto alla versione equivalente fluorescente e il caso in esame ne è la prova.

Si sottolinea che i prezzi degli apparecchi che sono stati riportati sono attendibili perché presi dalle offerte economiche effettuate dai fornitori. Sebbene i prezzi degli apparecchi fluorescenti risalcano a qualche anno fa, sono stati di recente riconfermati¹⁹ mediante richiesta fornitore stesso.

5.2.4 La questione contrattuale del caso in esame

Teoricamente, dai risultati ottenuti è logico pensare che l'intervento di sostituzione porti, invece che un costo d'investimento, un beneficio in fase di acquisto che si aggiunge a quello di risparmio energetico. Ne consegue che, l'investimento da sostenere per sostituire gli apparecchi già installati potrebbe essere ripagato dalla sola differenza di prezzo led-fluorescenti ancora da installare.

¹⁸ Come quelli previsti per l'ospedale di Alba-Bra.

¹⁹ Poiché la richiesta non aveva scopo commerciale ma era a solo titolo informativo, sono stati forniti i prezzi “da listino” per alcune tipologie di apparecchi senza considerare alcun tipo di scontistica.

Nella pratica però, la società responsabile dei lavori era già legata contrattualmente agli importi previsti nel caso pre-intervento.

Comunque, la sostituzione è stata resa possibile con una proposta di variante al contratto puramente tecnica, lasciando le condizioni economiche invariate.

Pertanto, per la parte di apparecchi ancora da installare non si considera alcun beneficio in fase di acquisto ma rimane il vantaggio di risparmio economico ottenuto con i nuovi apparecchi a led.

Considerando quindi l'intervento di sostituzione applicato alla totalità dei corpi illuminanti (da installare e già installati) si ha che:

- L'investimento da sostenere riguarda la sola sostituzione degli apparecchi già installati.
- Il beneficio di risparmio energetico ed economico è dato dalla totalità degli apparecchi e di conseguenza è molto maggiore rispetto a quanto calcolato nel paragrafo 5.2.1.

Il risparmio energetico annuo, dovuto alla sostituzione fluorescenti-LED per l'intero impianto di illuminazione, è pari a 3,6 GWh/y (si passa da oltre 6,1 GWh/y consumati prima dell'intervento a soli 2,5 GWh/y nello scenario post).

Gli ulteriori benefici associati al risparmio energetico sono la riduzione di emissioni di CO₂, pari a 1.150 tonnellate di CO₂ all'anno, e il risparmio economico per l'acquisto dell'energia elettrica, pari a 615.000 € annui.

La riduzione delle emissioni di CO₂ è stata calcolata moltiplicando i kWh elettrici risparmiati all'anno per un fattore di emissione di CO₂ dovuto ai consumi elettrici, pari a 318,2 g_{CO2}/kWh_{el}. Il valore del fattore di emissione fa riferimento all'anno 2017 ed è stato reperito dal rapporto 280/2018 dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2018).

Queste considerazioni verranno integrate nell'analisi globale dal momento in cui verranno calcolati anche i costi di manutenzione nelle due diverse configurazioni impiantistiche.

5.3 Caso teorico: tutti gli apparecchi già installati

Si vuole valutare il tempo di ritorno economico dell'intervento di sostituzione nel caso in cui, al momento dell'operazione, l'impianto di illuminazione è completo e tutti i corpi illuminanti sono già stati installati.

La presente analisi non è altro che l'estensione a tutto l'impianto di quanto fatto al paragrafo 5.2.1.

I consumi e i costi energetici dell'impianto fluorescente **ante operam** sono riportati nella seguente tabella:

	Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Potenza unitaria P_u [W]	Potenza totale P_{tot} [kW]	h_{day} [h/d]	h_{year} [h/y]	Consumo annuo E_{el} [kWh/y]	Costo energia elettrica annuo C_{el} [€/y]
1	2x36W	413	70	28,9	10	3650	105.520	€ 17.940
2	2x58W	973	112	109,0	24	8760	954.630	€ 162.290
3	1x18W	707	18	12,7	18	6570	83.610	€ 14.210
4	2x18W	612	35	21,4	18	6570	140.730	€ 23.920
5	2x26W	883	49	43,3	18	6570	284.260	€ 48.320
6	1x55W	325	60	19,5	18	6570	128.120	€ 21.780
7	1x55W	4543	60	272,6	18	6570	1.790.850	€ 304.440

	Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Potenza unitaria P_u [W]	Potenza totale P_{tot} [kW]	h_{day} [h/d]	h_{year} [h/y]	Consumo annuo E_{el} [kWh/y]	Costo energia elettrica annuo C_{el} [€/y]
8	2x55W	254	98	24,9	10	3650	90.860	€ 15.450
9	2x55W	346	98	33,9	10	3650	123.760	€ 21.040
10	4x18W	1565	73	114,2	12	4380	500.390	€ 85.070
11	4x18W	17	76	1,3	12	4380	5.660	€ 960
12	4x24W	1247	104	129,7	12	4380	568.030	€ 96.570
13	4x24	2735	104	284,4	12	4380	1.245.850	€ 211.790
14	3x55W	202	236	47,7	6	2190	104.400	€ 17.750
15	4x24W	36	106	3,8	12	4380	16.710	€ 2.840
16	4x54W	12	218	2,6	12	4380	11.460	€ 1.950
TOTALE				1.150			6.154.850	€ 1.046.320

Tabella 5.5 - Ante Operam: consumo e costo energetico degli apparecchi installati.

Per quanto riguarda la situazione **post operam**:

	Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Potenza unitaria P_u [W]	Potenza totale P_{tot} [kW]	h_{day} [h/d]	h_{year} [h/y]	Consumo annuo E_{el} [kWh/y]	Costo energia elettrica annuo C_{el} [€/y]
1	2x36W	413	36	14,9	10	3650	54.270	€ 9.230
2	2x58W	973	51	49,6	24	8760	434.700	€ 73.900
3	1x18W	707	12,3	8,7	18	6570	57.130	€ 9.710
4	2x18W	612	12,3	7,5	18	6570	49.460	€ 8.410
5	2x26W	883	17,3	15,3	18	6570	100.360	€ 17.060
6	1x55W	325	36,5	11,9	18	6570	77.940	€ 13.250
7	1x55W	4543	27,3	124,0	18	6570	814.840	€ 138.520
8	2x55W	254	36,7	9,3	10	3650	34.020	€ 5.780
9	2x55W	346	35,7	12,4	10	3650	45.090	€ 7.670
10	4x18W	1565	29	45,4	12	4380	198.790	€ 33.790
11	4x18W	17	29	0,5	12	4380	2.160	€ 370
12	4x24W	1247	36,7	45,8	12	4380	200.450	€ 34.080
13	4x24	2735	35,7	97,6	12	4380	427.660	€ 72.700
14	3x55W	202	56,2	11,4	6	2190	24.860	€ 4.230
15	4x24W	36	49,2	1,8	12	4380	7.760	€ 1.320
16	4x54W	12	49,2	0,6	12	4380	2.590	€ 440

Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Potenza unitaria P_u [W]	Potenza totale P_{tot} [kW]	h_{day} [h/d]	h_{year} [h/y]	Consumo annuo E_{el} [kWh/y]	Costo energia elettrica annuo C_{el} [€/y]
TOTALE			456,5			2.532.100	€ 430.460

Tabella 5.6 - Post Operam: consumo e costo energetico degli apparecchi installati.

Si sono ottenuti i seguenti risultati:

$$\text{Risparmio energetico annuo } E_{el,risp} = 3.622.750 \quad [kWh/y]$$

$$\text{Risparmio economico annuo } C_{el,risp} = € 615.860 \quad [€/y]$$

Nuovamente, l'investimento è dato dal costo di fornitura e posa in opera dei corpi illuminanti a led ed è riportato nella tabella sottostante:

Tipologia	Numero di apparecchi installati n_{app}	Prezzo unitario (fornitura) $p_{u,for}$ [€/pezzo]	Prezzo installazione (posa in opera) $p_{u,po}$ [€/pezzo]	Prezzo totale p_{tot} [€]	
1	2x36W	413	€ 32,40	€ 27,89	€ 24.900
2	2x58W	973	€ 36,00	€ 30,66	€ 64.860
3	1x18W	707	€ 33,60	€ 18,42	€ 36.780
4	2x18W	612	€ 33,60	€ 25,09	€ 35.920
5	2x26W	883	€ 37,69	€ 26,33	€ 56.530
6	1x55W	325	€ 69,70	€ 22,32	€ 29.910
7	1x55W	4543	€ 75,73	€ 22,32	€ 445.440
8	2x55W	254	€ 69,70	€ 30,66	€ 25.490
9	2x55W	346	€ 95,67	€ 30,66	€ 43.710
10	4x18W	1565	€ 60,35	€ 34,00	€ 147.660
11	4x18W	17	€ 95,67	€ 34,00	€ 2.200
12	4x24W	1247	€ 69,70	€ 34,00	€ 129.310
13	4x24	2735	€ 95,67	€ 34,00	€ 354.650
14	3x55W	202	€ 307,55	€ 32,90	€ 68.770
15	4x24W	36	€ 292,99	€ 34,00	€ 11.770
16	4x54W	12	€ 292,99	€ 35,66	€ 3.940
TOTALE					€ 1.481.840

Tabella 5.7 – Calcolo del costo d'investimento.

Investimento $I = 1.481.840$ [€]

Infine, è possibile calcolare il Simple Payback Period dell'intervento come rapporto tra investimento e risparmio economico annuo:

$SPB = 2,4$ anni

Il tempo di ritorno economico è coerente con quello calcolato precedentemente e riferito alla parte di apparecchi installati del caso reale. Valgono le stesse considerazioni di prima.

Il valore è leggermente più basso poiché, rispetto a prima, c'è una percentuale maggiore di apparecchi che ha tempi di rientro minori.

6 Intervento di sostituzione – I costi di manutenzione

In questo capitolo si vuole approfondire l'aspetto legato ai costi di manutenzione dell'impianto di illuminazione. Le due tipologie di apparecchi, infatti, richiedono modalità manutentive diverse con costi associati differenti.

Per entrambe le configurazioni ante-post intervento e in riferimento ad una durata di vita utile dell'impianto, è possibile calcolare un costo annuo di manutenzione.

È risaputo che i led, avendo una vita utile più duratura, dovrebbero presentare costi di manutenzione inferiori rispetto agli apparecchi fluorescenti. Nel seguito verrà sviluppata un'analisi d'approfondimento per verificare quanto detto.

Presumibilmente, se il costo di manutenzione annuale è più basso per gli apparecchi a led, sarà possibile calcolare un risparmio economico annuo legato alla manutenzione dell'impianto.

Al termine dell'analisi sarà possibile confrontare i costi totali delle due diverse soluzioni per la vita utile dell'installazione, che dal punto di vista economico è il confronto più completo.

6.1 Generalità sulla manutenzione (CIE 97:2005)

La manutenzione di un impianto di illuminazione comprende tutte quelle attività volte ad assicurarne il regolare funzionamento nel tempo. La funzione principale dell'impianto è garantire l'illuminamento corretto a svolgere un determinato tipo di attività, mantenendo le condizioni di sicurezza.

La manutenzione degli apparecchi di illuminazione è di fondamentale importanza perché consente di mantenere alte le prestazioni del sistema conformemente ai limiti di progetto, garantire un utilizzo efficiente dell'energia e assicurare un buon livello di illuminamento contendendo i costi.

Il valore di illuminamento su una superficie è dato da una componente diretta ed una indiretta (riflessa). La quantità di luce emessa dagli apparecchi lungo la vita utile, decresce con il passare del tempo e incide sull'abbassamento della componente diretta. Le cause principali sono il decremento di flusso luminoso emesso dalle lampade, i guasti dei singoli componenti che costituiscono il corpo illuminante e l'accumulo di sporcizia sulle superfici e rientrano tra i *fattori recuperabili*.

La velocità di decadimento del flusso luminoso dipende dalla tipologia di apparecchio luminoso e dalle condizioni dell'ambiente di installazione.

L'accumulo di sporcizia sulle pareti della stanza, invece, riduce la componente di flusso luminoso riflessa.

Se protratto nel tempo, l'abbassamento del flusso luminoso produce diversi effetti negativi, come l'incremento dello sforzo visivo, maggiori errori durante le attività lavorative, allungamento del tempo richiesto per svolgere una determinata mansione e più alta probabilità d'incidenti.

Per ovviare a questa problematica, in ambito di progettazione di impianti illuminotecnici si considerano un fattore di manutenzione (MF) e un piano/programma di manutenzione.

Tuttavia, anche con un piano di manutenzione ben programmato, è sempre presente una perdita di illuminamento inevitabile. Tale perdita andrebbe quantificata e conteggiata in fase di progettazione illuminotecnica e di calcolo del fattore di manutenzione, solitamente non eccede mai il 3%.

I fattori che influenzano le perdite inevitabili rientrano nella categoria dei *fattori non recuperabili* e sono: l'invecchiamento dei materiali, la temperatura e la tensione di funzionamento, dipendenti dal tipo di installazione e di ambiente.

A titolo esemplificativo, viene riportato l'andamento del flusso luminoso per una lampada fluorescente lineare di un apparecchio per uso industriale²⁰:

²⁰ Si assume un programma di sostituzione a singola lampada e si trascura la percentuale di sopravvivenza della lampada tra gli interventi di sostituzione in gruppo.

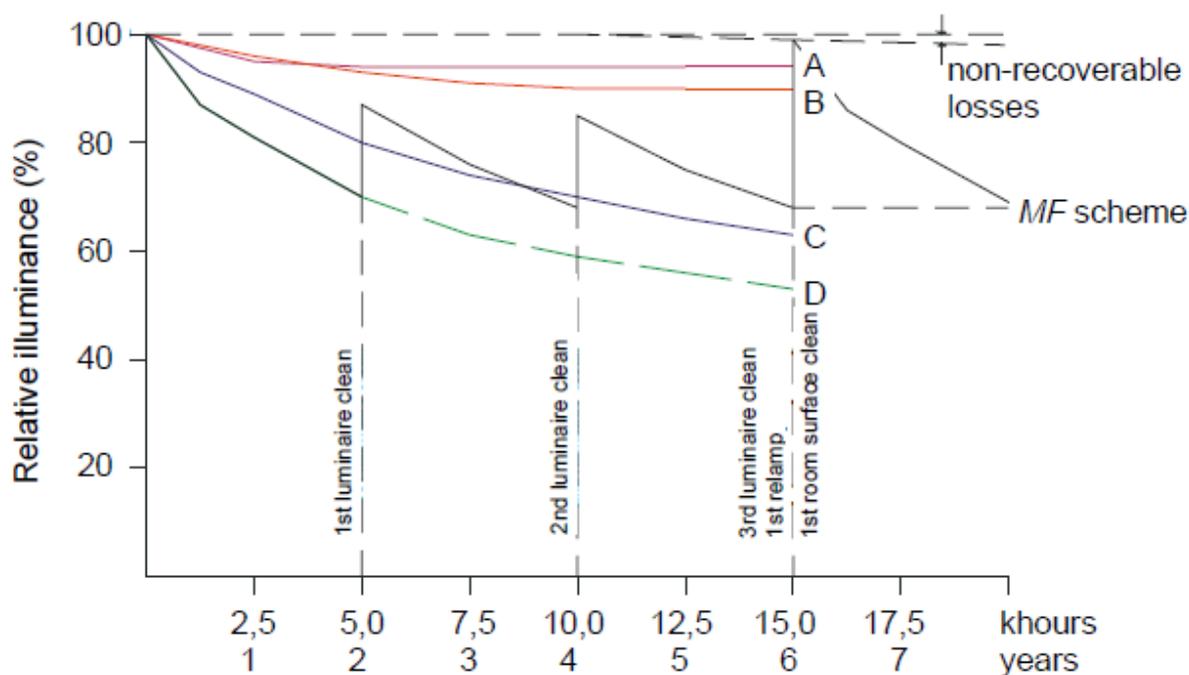


Figura 6.1 - Variazione dell'illuminamento con il tempo per una lampada fluorescente lineare (Fig. 2.1 CIE97:2005)

In figura viene indicato con:

A = curva di mantenimento delle superfici della stanza (con riflettanze 70/50/20, flusso diretto in ambiente pulito).

B = curva di mantenimento del flusso luminoso (lampada fluorescente lineare HF trifosfato).

C = curva di mantenimento dell'apparecchio (apparecchio tipo C – chiuso superiormente, in ambiente pulito).

D = flusso luminoso in assenza di manutenzione.

MF Scheme = fattore di manutenzione di progetto, indica l'illuminamento relativo mediamente mantenuto.

Si nota che il flusso luminoso in presenza di manutenzione segue l'andamento tipico “a dente di sega”. Nel momento in cui viene effettuato il re-lamping, il valore di illuminamento torna prossimo al 100%, a meno della quota di perdite non recuperabili.

In assenza di manutenzione l'andamento decresce continuamente e può calare fino a valori sotto il 50% dell'illuminamento relativo.

Nel seguito vengono approfondite le tematiche del fattore di manutenzione e del programma di manutenzione.

6.1.1 Fattore di manutenzione

Il fattore di manutenzione è definito come il rapporto tra l'illuminamento medio mantenuto sul piano di lavoro dopo un certo periodo di utilizzo degli apparecchi luminosi e l'illuminamento medio iniziale ottenuto con l'impianto nuovo (illuminamento di progetto) ed è il termine comprensivo di tutte le perdite.

$$MF = \frac{\bar{E}_{maintained}}{E_{initial}} \quad (6.1)$$

Con:

$$\bar{E}_{maintained} = \text{Illuminamento medio mantenuto [lx]}$$

$$E_{initial} = \text{Illuminamento iniziale (progetto) [lx]}$$

L'illuminamento medio mantenuto è l'illuminamento medio nel momento in cui dovrebbe essere fatta manutenzione. Tale valore è utilizzato in ambito di progettazione illuminotecnica e rappresenta il limite sotto al quale l'illuminamento medio su una certa superficie non può mai scendere:

$$\bar{E}_{maintained} = E_{initial} \times MF \quad [lx] \quad (6.2)$$

I valori di riferimento di $\bar{E}_{maintained}$ per posti di lavoro interni sono forniti nella normativa UNI EN 12464-1 (2011) in funzione del tipo di ambiente, attività e compito visivo.

La CIE 97:2005 definisce il fattore di manutenzione MF come:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \quad (6.3)$$

Dove:

*LLMF = Diminuzione del flusso luminoso della sorgente nel tempo
(Lamp Lumen Maintenance Factor)*

LSF = Fattore di sopravvivenza della lampada²¹ (Lamp Survival Factor)

LMF = Diminuzione del flusso luminoso dell'apparecchio in funzione delle ore di funzionamento dello stesso (Luminaire Maintenance Factor)

RSMF = Diminuzione delle caratteristiche di riflessione delle superfici del locale per effetto dello sporco (Room Surface Maintenance Factor)

Il valore di questi fattori dipende dal tipo di lampada, apparecchio, tipo di ambiente, tipo di interno e dal tempo.

Per il caso in esame, si è utilizzato un fattore di manutenzione pari a:

$$MF = 0,8$$

Sia per l'impianto con apparecchi fluorescenti che con apparecchi a LED²².

Si vuole sottolineare che questo valore è coerente con il valore di MF indicato nella tabella 4.1 del rapporto CIE97:2005, sotto le seguenti ipotesi:

- Stanza di medie dimensioni, con riflettanza 70/50/20 rispettivamente di soffitto/muri/pavimento.
- Intervallo di pulizia di lampade e apparecchi luminosi = 1 anno.
- Intervallo di pulizia delle superfici della stanza = 6 anni.
- Sostituzione delle singole lampade guaste.
- Intervallo di sostituzione lampade in gruppo (ore di funzionamento) = 15000 h (LLMF = 0,90) per lampade fluorescenti lineari

²¹ Fattore che tiene conto di quante lampade sono ancora in funzione dopo tot ore di funzionamento.

²² Valore fornito dall'azienda che si è occupata del progetto illuminotecnico (NEOSIA S.p.A.)

Di seguito è riportata la tabella:

Lamp type		Incandescent halogen				Compact fluorescent				HF with pre-heat fluorescent linear tri-phosphor			
Environment		VC	C	N	D	VC	C	N	D	VC	C	N	D
Luminaire													
Type	DFP												
A	0,5	0,87	0,80	0,70	0,59	0,81	0,75	0,66	0,55	0,82	0,76	0,66	0,56
B	0,5	0,86	0,78	0,73	0,59	0,80	0,73	0,64	0,55	0,81	0,74	0,64	0,56
C	0,0	0,87	0,79	0,69	0,61	0,81	0,74	0,65	0,57	0,82	0,75	0,66	0,58
D	0,0	0,87	0,79	0,70	0,63	0,81	0,74	0,65	0,59	0,82	0,74	0,66	0,60
E	0,0	0,88	0,84	0,77	0,70	0,83	0,79	0,72	0,66	0,84	0,80	0,73	0,67
F	1,0	0,81	0,69	0,55	0,39	0,76	0,64	0,52	0,36	0,77	0,65	0,52	0,37
G	0,0	0,92	0,88	0,82	0,76	0,86	0,83	0,77	0,71	0,87	0,84	0,78	0,72

Tabella 6.1 - Valori tipici del fattore di manutenzione per varie combinazioni di lampade e apparecchi di illuminazione (estratto tabella 4.1 CIE97:2005).

Nel caso in esame si ha:

- Tipo di apparecchio = D/E – Chiuso IP2X/Anti-polvere IP5X
- Tipo di lampada = Fluorescente Lineare
- Tipo di ambiente = Molto Pulito (VC – Very Clean)

Il valore del fattore di manutenzione risultante è:

$$MF = 0,82 \div 0,84$$

Tale fattore di manutenzione è allineato con quello ipotizzato, considerando anche che nella realtà l'intervallo di pulizia sarà maggiore di 1 anno e di conseguenza il valore di MF ricavato da tabella un po' più basso.

6.1.2 Programma di manutenzione

Il programma (o piano) di manutenzione, se efficace, è di fondamentale importanza perché è in grado di aumentare significativamente l'efficienza dell'impianto di illuminazione e di garantirne le prestazioni nel tempo. Inoltre, un programma ben concepito fornisce un valore di fattore di manutenzione più alto, permettendo di ridurre la potenza installata per soddisfare i requisiti illuminotecnici.

L'obiettivo principale è far sì che l'impianto fornisca un illuminamento adeguato allo svolgimento delle attività e il comfort degli utenti, mantenendo i costi ridotti.

In assenza di tale programma, l'impianto subirebbe un deterioramento causato da sporcizia, deprezzamento, esaurimento e/o guasti delle lampade e dei componenti degli apparecchi.

Pertanto, il programma dovrebbe comprendere le lampade e la loro frequenza di sostituzione, gli apparecchi, gli intervalli e i metodi di pulizia sia delle pareti della stanza che dei corpi illuminanti.

La manutenzione può essere definita con due modalità differenti: programmazione ad intervalli regolari oppure variabili.

La programmazione ad intervalli regolari determina una cadenza fissa degli interventi di pulizia e manutenzione, mentre in quella ad intervalli variabili la pulizia avviene con frequenza irregolare.

Nei grafici seguenti si riporta la differenza tra i due piani manutentivi:

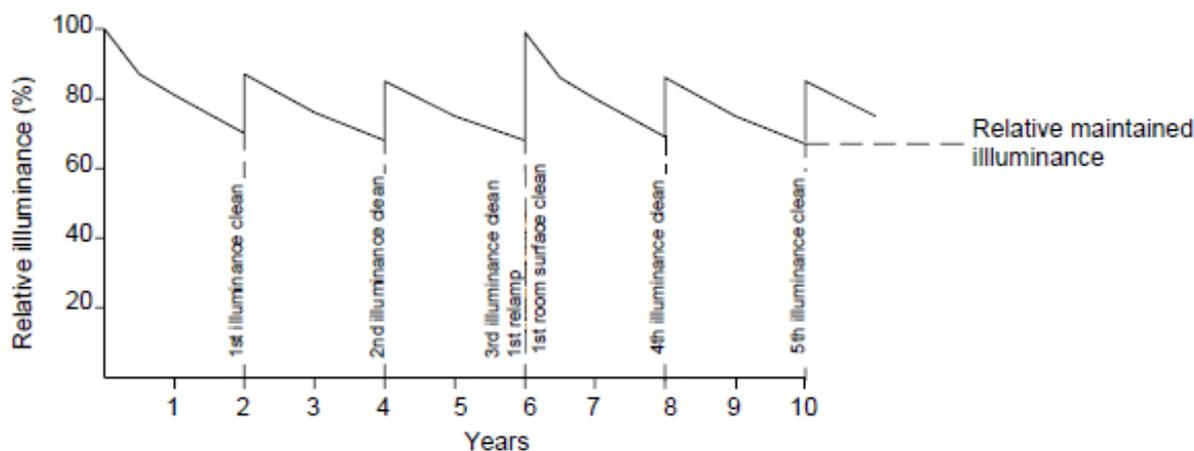


Figura 6.2 – Programma di manutenzione ad intervalli regolari (Fig. 5.1 CIE97:2005)

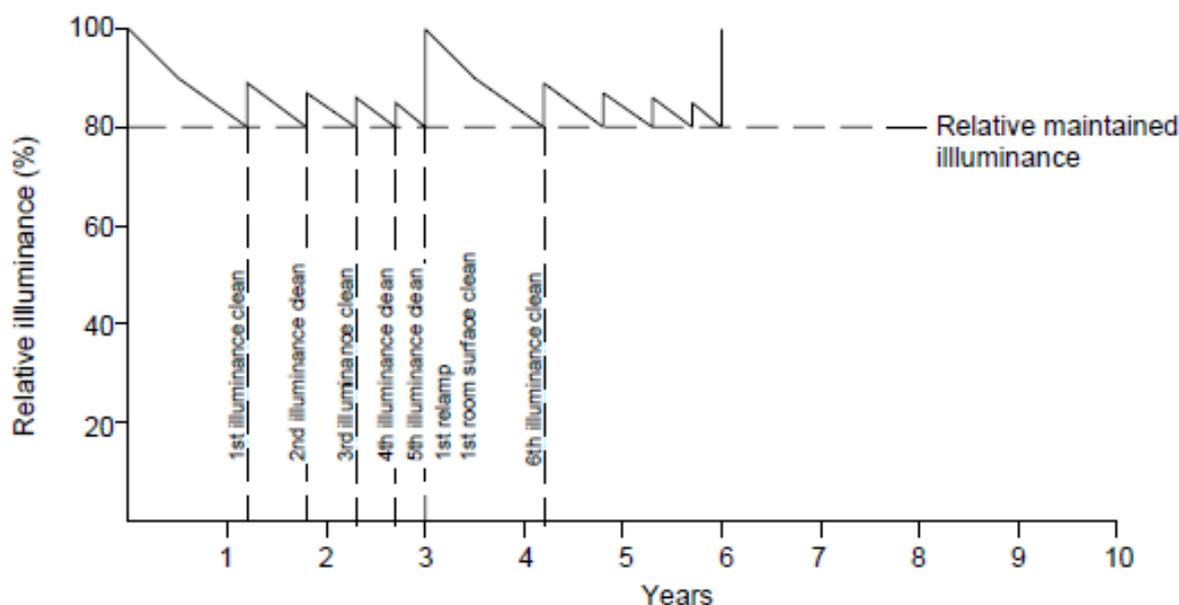


Figura 6.3 – Programma di manutenzione ad intervalli variabili (Fig. 5.2 CIE97:2005)

Il programma di manutenzione ad intervalli variabili risulta particolarmente vantaggioso quando l'impianto di illuminazione presenta costi iniziali d'installazione e costi energetici elevati ma bassi costi di manutenzione, in quanto tale programma garantisce un fattore di manutenzione più elevato rispetto al programma ad intervalli regolari.

Nel presente studio verrà considerato, per semplificare la trattazione, un programma di manutenzione ad intervalli regolari sia per l'impianto fluorescente ante operam che per quello a LED.

In ogni caso si vuole evidenziare che gli intervalli di pulizia e di re-lamping avranno comunque durata diversa da un caso all'altro e a seconda della tipologia di apparecchio di illuminazione.

Nel seguito, verranno stimati e confrontati i costi annui di manutenzione per le situazioni impiantistiche ante e post intervento.

6.2 Costi di manutenzione – Ante operam

Come già più volte anticipato, gli apparecchi che costituiscono l'impianto di illuminazione pre-intervento sono tutti a tecnologia fluorescente.

I corpi illuminanti fluorescenti sono principalmente costituiti da:

- Lampade (sorgenti luminose).
- Alimentatore magnetico o elettronico.
- Starter (presente solo con alimentatori magnetici): componente per avviare il funzionamento delle lampade a scarica.
- Apparecchio di illuminazione: struttura per controllare il flusso luminoso emesso, evitare l'abbagliamento, garantire la sicurezza elettrica e proteggere la lampada da urti e agenti esterni.

In generale, le principali attività di manutenzione per questa tipologia di impianto sono la sostituzione delle lampade (re-lamping), la sostituzione dei componenti guasti (solitamente alimentatore e starter), la pulizia degli apparecchi di illuminazione e la riverniciatura delle superfici delle stanze.

Nel caso specifico, tutti i corpi illuminanti sono dotati di reattore elettronico e di conseguenza non sono provvisti di starter. Pertanto, la sostituzione riguarderà solamente le lampade e l'alimentatore. Inoltre, non vengono presi in considerazione i costi legati alla riverniciatura delle superfici della stanza.

Si riportano delle indicazioni generiche tratte dalla guida CIE97:2005 e da un documento redatto dal BOMI International²³ riguardanti il re-lamping e gli intervalli di pulizia degli apparecchi.

La sostituzione delle lampade avviene solitamente in tre modalità:

- Sostituzione della singola lampada (*spot re-lamping*): la lampada viene sostituita nel momento in cui si guasta.
- Sostituzione in gruppo (*group re-lamping*): trascorso un prestabilito intervallo di tempo, le lampade vengono sostituite in gruppo anche se sono ancora funzionanti. Questa tipologia di sostituzione permette di risparmiare sui costi di manodopera perché si riducono i tempi di sostituzione per lampada.
- Sostituzione combinata singola lampada-gruppo (*combined spot-group re-lamping*): questa tipologia di sostituzione non è altro che la combinazione delle due precedenti. Presenta costi complessivi maggiori ma, essendo più completa, assicura maggiormente il corretto funzionamento dell'impianto.

Il tempo richiesto per la sostituzione di una singola lampada è dato dal tempo necessario al manutentore/i per una serie di attività: identificare la lampada da sostituire, prendere la nuova lampada, posizionare la scala, aprire l'apparecchio, sostituire la lampada, pulire, risistemare la scala e disfarsi della lampada guasta.

Questo tempo si riduce notevolmente con le sostituzioni in gruppo, con un conseguente calo del costo di manodopera.

Dal punto di vista economico, esiste un intervallo di tempo ottimale per la sostituzione in gruppo. Tale periodo è funzione principalmente di due fattori: il fattore di sopravvivenza della lampada e il fattore di mantenimento del flusso luminoso della lampada.

Il fattore di sopravvivenza della lampada (LSF) è la probabilità che le lampade continuino a lavorare trascorso un determinato periodo di tempo ed indica la percentuale di lampade rimaste funzionanti, su un gruppo rappresentativo di una certa tipologia di lampada, dopo tale periodo.

²³ Istituto di educazione non profit che propone corsi di alta formazione a livello professionale sul sistema immobiliare e su facility management industriale.

La percentuale di sopravvivenza dipende dal tipo di lampada e, in caso di lampade a scarica nel gas, dalla frequenza di switch e dal sistema di zavorramento. I guasti riducono l'illuminamento dell'impianto e l'uniformità di distribuzione del flusso luminoso, ma questi effetti vengono mitigati dalla sostituzione delle lampade "a spot".

Solitamente, il costruttore della lampada fornisce la durata di vita utile in ore quando il 50% delle lampade testate sono sopravvissute²⁴.

Si riporta il tipico andamento del tasso di sopravvivenza delle lampade fluorescenti lineari (curva di mortalità) in funzione della percentuale di vita utile della lampada:

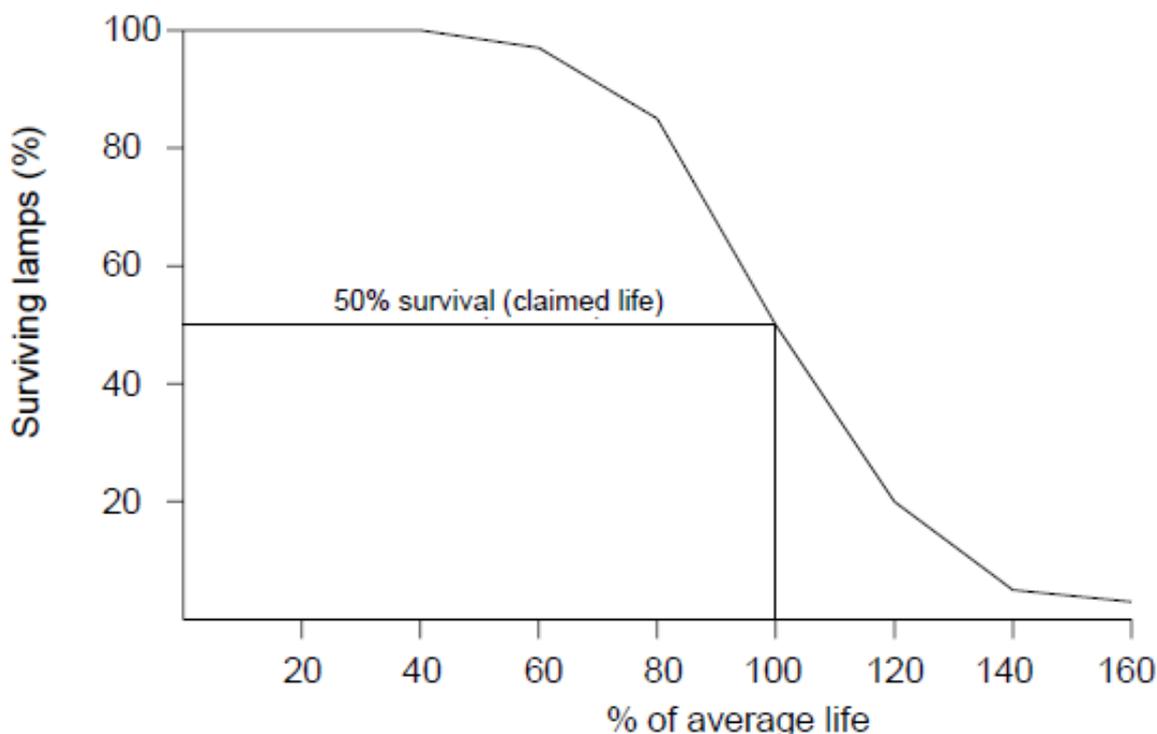


Figura 6.4 – Tipica curva di mortalità per lampade fluorescenti lineari (ottenuta per un campione di lampade statisticamente rappresentativo con 8 cicli di switch ogni 24 ore). (CIE 97:2005)

Il fattore di mantenimento del flusso luminoso della lampada (LLMF) è il rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla lampada in un determinato momento della vita e il flusso luminoso iniziale. È un fattore per tenere in considerazione il decadimento di flusso luminoso durante la vita della lampada, presente per tutte le tipologie di sorgenti. Tipicamente, le lampade fluorescenti lineari presentano a fine vita utile una riduzione del flusso luminoso che varia dal 10% al 25% (LLMF=0,75/0,90).

Di seguito si riporta l'intervallo ottimale per la sostituzione in gruppo delle lampade lineari fluorescenti sia riferito al fattore di sopravvivenza che a quello di mantenimento del flusso luminoso:

²⁴ Per valori accurati è necessario consultare quelli forniti dai produttori.

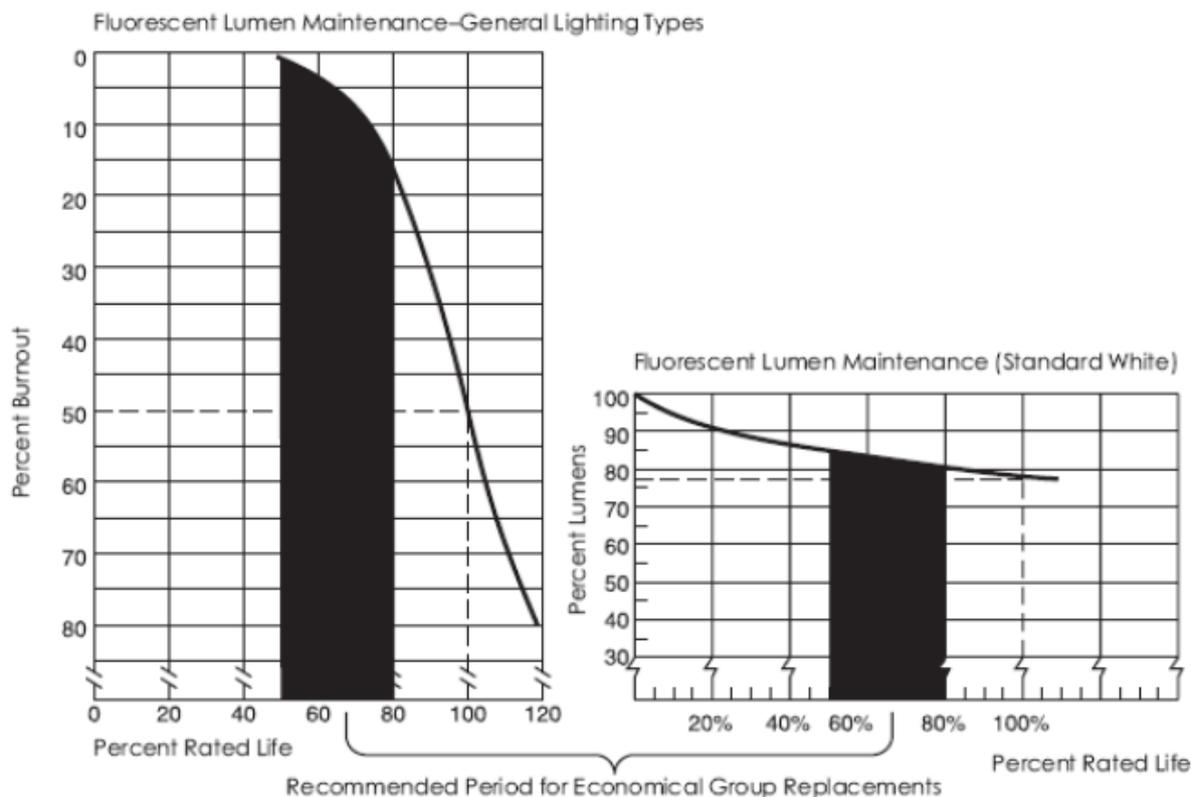


Figura 6.5 – Periodo economicamente ottimale per la sostituzione in gruppo delle lampade fluorescenti. (Fig. tratta da (BOMI International, 2009)

In figura, l'area annerita rappresenta l'intervallo di tempo ottimale per la sostituzione riferito in termini di percentuale di vita delle lampade e in funzione della percentuale di lampade non più funzionanti (% burnout) a sinistra e della percentuale di flusso luminoso emesso a destra.

In genere, il periodo economicamente più conveniente per effettuare la sostituzione di gruppo è intorno al 70-80% della vita utile della lampada. Tale valore, infatti, è il giusto compromesso tra una durata di funzionamento non troppo breve e accettabili prestazioni delle lampade.

Si nota come, una volta superato l'80% del valore di vita nominale, la percentuale di guasti nelle lampade aumenti notevolmente e il flusso luminoso emesso scenda sotto l'80%.

Invece, prima di tale intervallo il numero di lampade soggette a guasti è contenuto e il flusso emesso ha ancora valori ammissibili. Di conseguenza, effettuare la sostituzione di gruppo troppo presto non è economicamente consigliato.

Nel caso di sostituzione combinata, il tempo ottimale di sostituzione rappresenta il periodo in cui diventa maggiormente conveniente la sostituzione in gruppo rispetto alla sostituzione a singola lampada.

Per quanto riguarda la pulizia e il controllo del sistema di illuminazione, la CIE97:2005 fornisce alcuni valori di riferimento in funzione della tipologia di ambiente e di apparecchio illuminante.

L'ispezione dell'impianto è un'attività utile a garantire una corretta manutenzione e un corretto illuminamento dei luoghi di lavoro²⁵. La tabella seguente riporta la classificazione delle tipologie di ambiente per grado di pulizia e suggerisce gli intervalli di ispezione dell'impianto di illuminazione:

²⁵ In alcuni paesi sono richiesti per legge adeguati livelli di illuminamento nei luoghi di lavoro.

Inspection interval	Environment	Activity or task area
3 years	Very Clean (VC)	Clean rooms, semi conductor plants, hospital clinical areas*, computer centres
	Clean (C)	Offices, schools, hospital wards
2 years	Normal (N)	Shops, laboratories, restaurants, warehouses, assembly areas, workshops
1 year	Dirty (D)	Steelworks, chemical works, foundries, welding, polishing, woodwork

* For reason of hygiene control, more frequent inspection may be required.

Figura 6.6 – Intervalli d’ispezione dell’impianto di illuminazione consigliati per diverse tipologie di ambienti di lavoro (Tab. 2.1 CIE97:2005)

Gli ambienti corrispondenti al caso in esame, trattandosi di luoghi ospedalieri, rientrano nelle categorie “Clean” (C) e “Very Clean” (VC). L’intervallo di ispezione consigliato è di 3 anni.

Al fine di sviluppare correttamente il programma manutentivo, si riporta un estratto della tabella indicativa degli intervalli di pulizia per le diverse tipologie di apparecchi di illuminazione e in funzione dell’ambiente di installazione:

Cleaning Intervals Environment	3 years			2 years			1 year		
	VC C	N	D	VC C	N	D	VC C	N	D
Luminaire type									
A, Bare batten 	X				X				X
B, Open top housing (natural ventilated) 	X				X				X
C, Closed top housing (unventilated) 	X			(X)				X	
D, Enclosed IP2X 	X			(X)				X	
E, Dust proof IP5X 	X	X				X			

Figura 6.7 – Valori indicativi degli intervalli di pulizia per tipologia di apparecchio e tipo di ambiente di installazione (estratto da Tab. 2.2 CIE97:2005)

La tabella è valida per gli apparecchi aventi qualsiasi tipologia di lampada²⁶ e in riferimento ad un fattore di manutenzione superiore a 0,80.

L'intervallo di pulizia indicativo del caso in esame è di 3 anni, siccome sono presenti apparecchi di tipologia D/E (IP2X/IP5X) e gli ambienti sono classificati come puliti/molto puliti.

6.2.1 Costi di sostituzione dei componenti

Ricapitolando quanto detto nel paragrafo precedente, l'impianto di illuminazione pre-intervento presenta apparecchi con sorgenti fluorescenti lineari e reattori elettronici.

Essendo dotati di reattore elettronico, negli apparecchi non è presente lo starter e il costo di sostituzione sarà dato solamente dal ricambio delle lampade e del reattore.

6.2.1.1 Costi di sostituzione delle lampade

La metodologia per il calcolo del costo associato alla sostituzione delle lampade, di seguito riportata, è stata ripresa dalla guida CIE97:2005.

Il costo unitario totale di sostituzione delle lampade è dato dal costo di fornitura e dal costo di manodopera (per l'intervento). Il costo di manodopera dipende dalla modalità con la quale vengono sostituite le lampade.

Il costo unitario per la sostituzione a singola lampada (spot) è dato da:

$$C_s = L + S \quad [€/lampada] \quad (6.4)$$

Dove:

L = costo della lampada [€/lampada]

S = costo di manodopera per sostituzione a singola lampada [€/lampada]

Il costo unitario per la sostituzione in gruppo è dato da:

$$C_g = L + B \quad [€/lampada] \quad (6.5)$$

Dove:

L = costo della lampada [€/lampada]

B = costo di manodopera per sostituzione in gruppo [€/lampada]

Per il caso in esame si considera una sostituzione combinata spot-gruppo, in quanto nell'ospedale ci sono ambienti di lavoro che richiedono, in ogni momento, il corretto funzionamento dell'impianto di illuminazione per assicurare la continuità del servizio ed evitare pericolose/inopportune condizioni di lavoro.

Il costo unitario di sostituzione combinata spot-gruppo è stato calcolato come segue:

$$C_{t,1^a} = \frac{100 * C_g + F * C_s}{I} \quad [€/lampada] \quad (6.6)$$

Dove:

F = percentuale di lampade guaste al momento della sostituzione in gruppo [%]

²⁶ Ad eccezione di quelli con lampade a scarica ad alta pressione che comunque hanno un funzionamento analogo alla tipologia di apparecchio B.

I = percentuale della vita nominale (caratteristica) della lampada al momento della sostituzione in gruppo [%]

Tale formula, è stata utilizzata per calcolare il costo unitario riferito alla sola 1^a sostituzione (1° intervallo di re-lamping).

Dalla 2^a sostituzione in poi è stata utilizzata la formula semplificata, siccome si ipotizza che, per le successive sostituzioni spot, vengano utilizzate le lampade ancora funzionanti tenute dalla sostituzione in gruppo precedente. Dunque, nel costo di sostituzione a spot C_s , si trascura il costo associato all'acquisto delle lampade e la formula (6.3) si semplifica in:

$$C_t = \frac{100 * C_g + F * S}{I} \quad [€/lampada] \quad (6.7)$$

La percentuale di lampade guaste al momento della sostituzione in gruppo è stata calcolata come segue:

$$F = (1 - LSF) * 100 \quad [%] \quad (6.8)$$

LSF, come già anticipato, è il fattore di sopravvivenza ed è un dato caratteristico delle lampade fluorescenti. Indica quante lampade sono ancora funzionanti dopo un certo numero di ore di funzionamento. I costruttori forniscono diversi valori del fattore di sopravvivenza, solitamente uno ogni 4000-5000 ore di funzionamento fino alla durata caratteristica della lampada (per la quale $LSF = 0,5$). Si richiama la Figura 6.4.

Per il caso in esame, non conoscendo con esattezza il produttore delle lampade installate negli apparecchi, i valori di LSF sono stati presi dal sito di OSRAM, uno dei maggiori fabbricanti di prodotti per l'illuminazione.

Le lampade prese come riferimento dal sito si ritengono molto fedeli a quelle realmente installate in quanto, a parità di potenza assorbita, emettono lo stesso flusso luminoso.

Si osserva che il costo della sostituzione combinata è fortemente dipendente dal fattore di sopravvivenza delle lampade.

Infatti, se aumenta il numero di lampade sopravvissute all'intervallo di sostituzione (se cresce LSF), diminuisce il numero necessario di sostituzioni a singola lampada (cala F) che, come vedremo, sono economicamente più onerose.

Idealmente, il costo di sostituzione combinata sarebbe il minimo possibile se tutte le lampade sopravvivevano all'intervallo di re-lamping. Infatti, dalla formula (6.6), per LSF che tende a 1, F tende a 0 e il costo di sostituzione combinata tende a quello per la sostituzione in gruppo.

La percentuale di vita nominale della lampada al momento della sostituzione è stata calcolata come:

$$I = \frac{D_{relamping}}{D_{caratteristica}} * 100 \quad [%] \quad (5.9)$$

Dove:

$D_{relamping}$ = Durata della lampada al momento della sostituzione in gruppo [h]

$D_{caratteristica}$ = Durata caratteristica della lampada (vita utile nominale) [h]

La durata di re-lamping è stata scelta considerando che, per una sostituzione in gruppo economicamente ottimale come visto nel paragrafo 6.2, il valore di I deve essere prossimo al 70%-80% della durata di vita caratteristica della lampada.

Ai fini della seguente analisi, per ogni tipologia di apparecchio, è stato necessario reperire una serie di dati. Nella tabella riassuntiva in basso si riportano i principali dati raccolti e la rispettiva fonte:

Dato	Fonte
Fattore di sopravvivenza della lampada LSF	OSRAM (sito)
Durata di vita (caratteristica e di re-lamping)	OSRAM (sito)
Costo unitario di fornitura lampada	Prezziario DEI
Costo unitario di manodopera (P.O.) lampada	MST Manutenzioni & Servizi Tecnici Srl

Tabella 6.2 – Tipologia e fonte dei dati raccolti per la valutazione dei costi di sostituzione dei componenti.

I costi unitari di manodopera (posa in opera) per la sostituzione delle lampade, sia a spot (S) che a gruppo (B), sono stati stimati grazie al reperimento di dati utili dall'azienda MST S.r.l., specializzata in servizi di manutenzione.

I dati forniti da MST sono stati:

	Sostituzione SPOT	Sostituzione in GRUPPO	
Tempo impiegato per la sostituzione delle lampade di un apparecchio con 2 tubi fluorescenti	6	4	Minuti/apparecchio
Costo orario di manodopera	42	42	€/h

Tabella 6.3 – Dati reperiti da MST S.r.l. per la stima dei costi unitari di manodopera per la sostituzione delle lampade.

Il costo orario di manodopera è stato stabilito considerando l'impiego di una scala e di n.2 tecnici²⁷ a 21 €/h per tecnico.

Il costo unitario di manodopera per la sostituzione delle lampade è stato calcolato moltiplicando il tempo orario impiegato per sostituire una lampada e il costo orario di manodopera:

	SPOT (S)	GRUPPO (B)	
Numero di tubi ad apparecchio	2	2	tubi/apparecchio
Tempo impiegato per la sostituzione delle lampade dell'apparecchio	6	4	min/apparecchio
Tempo orario di sostituzione della singola lampada	0,05	0,03	h/tubo
Costo orario di manodopera	42	42	€/h
Costo unitario di manodopera per la sostituzione delle lampade	2,1	1,4	€/tubo

Tabella 6.4 – Calcolo del costo unitario di manodopera per la sostituzione delle lampade, a spot (S) e a gruppo (B).

Tali valori di S e B sono stati inseriti, rispettivamente, nelle formule (6.4) e (6.5) per il calcolo dei costi unitari complessivi della sostituzione C_s e C_g .

²⁷ Numero minimo obbligatorio quando per l'intervento viene utilizzata una scala.

Costi totali per la sostituzione delle lampade

I costi totali per la sostituzione delle lampade per l'impianto di illuminazione sono stati calcolati secondo la seguente procedura, schematizzata nei principali step.

1) Valutazione dell'intervallo di sostituzione delle lampade in gruppo (intervallo di re-lamping)

Per prima cosa è stato necessario stabilire ogni quanto effettuare la sostituzione dei vari gruppi di lampade.

Per ogni tipologia di apparecchio, l'intervallo di sostituzione (in anni) è stato trovato dividendo la durata di re-lamping per le ore di funzionamento annuali.

Richiamando quanto detto nel paragrafo 6.2 e nella Figura 6.5, la durata di re-lamping è la durata di vita delle lampade ritenuta economicamente ottimale per la sostituzione e corrisponde a circa il 70%-80% della durata nominale dichiarata dal produttore.

Le ore di funzionamento sono le stesse ipotizzate per l'analisi di risparmio energetico.

Si riportano, per l'intero impianto, i vari intervalli di re-lamping:

	Tipologia	Fattore di sopravv. (re-lamping)	Durata di re-lamping $D_{relamping}$ [h]	Fattore di sopravv. (caratteristica)	Durata caratteristica $D_{caratteristica}$ [h]	Ore di funzionamento annuo [h/y]	Intervallo di re-lamping [y]
1	2x36W	0,9	16000	0,5	20000	3650	4
2	2x58W	0,9	16000	0,5	20000	8760	2
3	1x18W	0,81	16000	0,5	20000	6570	2
4	2x18W	0,81	16000	0,5	20000	6570	2
5	2x26W	0,81	16000	0,5	20000	6570	2
6	1x55W	0,81	16000	0,5	20000	6570	2
7	1x55W DALI	0,81	16000	0,5	20000	6570	2
8	2x55W	0,81	16000	0,5	20000	3650	4
9	2x55W 1-10V	0,81	16000	0,5	20000	3650	4
10	4x18W	0,7	12000	-	20000	4380	3
11	4x18W 1-10V	0,7	12000	-	20000	4380	3
12	4x24W	0,85	20000	-	24000	4380	5
13	4x24W 1-10V	0,85	20000	-	24000	4380	5
14	3x55W 1-10V	0,85	20000	-	24000	2190	9
15	4x24W 1-10V	0,85	20000	-	24000	4380	5
16	4x54W i 1-10V	0,85	20000	-	24000	4380	5

Tabella 6.5 – Intervalli di re-lamping per ogni tipologia di apparecchio dell'impianto.

Si nota che gli apparecchi più utilizzati sono sottoposti a re-lamping ogni 2 anni. Tale valore è in linea con la cadenza media delle sostituzioni negli impianti di illuminazione con lampade fluorescenti (fonte: MST).

Per la tipologia di apparecchio n. 14 l'intervallo di re-lamping assume un valore molto più alto a causa del basso funzionamento ipotizzato (solo 6 ore al giorno), siccome si tratta di apparecchi installati nelle sale operatorie (aree con basso profilo di utilizzo).

La lunghezza dell'intervallo di sostituzione dipende quindi dalle ore di funzionamento delle lampade e dalla durata delle stesse. Ovviamente, gli intervalli di sostituzione sono più frequenti per lampade poco durature e/o molto utilizzate e, per contro, tali intervalli saranno più rari per lampade aventi lunga durata e/o poco utilizzate.

Le ore di funzionamento dipendono da diversi fattori come il numero di ore lavorative, la presenza di luce naturale e la presenza di controlli.

2) Valutazione del costo unitario per la sostituzione delle lampade

Il costo unitario per la sostituzione combinata spot-gruppo è stato calcolato seguendo la metodologia di calcolo riportata dalla guida CIE97:2005, descritta precedentemente e riepilogata nel seguito:

- I. Stima del costo per la fornitura dei vari tipi di lampade L dal prezzario DEI.
- II. Calcolo del costo unitario di manodopera per la sostituzione delle lampade (Tabella 6.4):
Sostituzione a singola lampada: $S = 2,1 \text{ €/lampada}$
Sostituzione a gruppo: $B = 1,4 \text{ €/lampada}$
- III. Calcolo del costo unitario per la sostituzione a singola lampada C_s e a gruppo C_g , rispettivamente con le formule (5.4) e (5.5).
- IV. Calcolo del costo unitario per la sostituzione combinata singolo-gruppo, utilizzando la formula (6.6) per la 1^a sostituzione e la formula semplificata (6.7) dalla 2^a sostituzione in poi²⁸.

Si riportano i costi unitari per la sostituzione delle lampade, differenziando la 1^a sostituzione combinata dalle altre:

Tipologia	Costo fornitura lampada L	Costo sostituzione "spot" C_s	Costo sostituzione "gruppo" C_g	Costo unitario sostituzione combinata singolo + gruppo (1 ^{°a} sostituzione) $C_{t,1a}$	Costo unitario sostituzione combinata singolo + gruppo (2 ^{°a} sostituzione in poi) C_t
	[€/pezzo]	[€/pezzo]	[€/pezzo]	[€/pezzo]	[€/pezzo]
1	2x36W	€ 6,22	€ 8,32	€ 7,62	€ 10,57
2	2x58W	€ 6,83	€ 8,93	€ 8,23	€ 11,40
3	1x18W	€ 9,85	€ 11,95	€ 11,25	€ 16,90
4	2x18W	€ 9,85	€ 11,95	€ 11,25	€ 16,90
5	2x26W	€ 9,85	€ 11,95	€ 11,25	€ 16,90
6	1x55W	€ 12,11	€ 14,21	€ 13,51	€ 20,26
7	1x55W DALI	€ 12,11	€ 14,21	€ 13,51	€ 20,26
8	2x55W	€ 12,11	€ 14,21	€ 13,51	€ 20,26
9	2x55W 1-10V	€ 12,11	€ 14,21	€ 13,51	€ 20,26

²⁸ I dati necessari per il calcolo dei parametri I ed F sono riportati nella Tabella 6.5.

Tipologia	Costo fornitura lampada L	Costo sostituzione "spot" C _s	Costo sostituzione "gruppo" C _g	Costo unitario sostituzione combinata singolo + gruppo (1 ^o a sostituzione) C _{t,1a}	Costo unitario sostituzione combinata singolo + gruppo (2 ^o a sostituzione in poi) C _t	
	[€/pezzo]	[€/pezzo]	[€/pezzo]	[€/pezzo]	[€/pezzo]	
10	4x18W	€ 6,07	€ 8,17	€ 7,47	€ 16,54	€ 13,50
11	4x18W 1-10V	€ 6,07	€ 8,17	€ 7,47	€ 16,54	€ 13,50
12	4x24W	€ 10,79	€ 12,89	€ 12,19	€ 16,95	€ 15,01
13	4x24W 1-10V	€ 10,79	€ 12,89	€ 12,19	€ 16,95	€ 15,01
14	3x55W 1-10V	€ 11,97	€ 14,07	€ 13,37	€ 18,58	€ 16,42
15	4x24W 1-10V	€ 10,79	€ 12,89	€ 12,19	€ 16,95	€ 15,01
16	4x54W 1-10V	€ 11,97	€ 14,07	€ 13,37	€ 18,58	€ 16,42

Tabella 6.6 – Costi unitari per la sostituzione combinata delle lampade per ogni tipologia di apparecchio dell'impianto.

Si osserva che:

- Grazie a costi di manodopera più contenuti, il costo unitario per la sostituzione in gruppo C_g è minore rispetto a quello per la sostituzione a spot C_s e un po' più vicino al solo costo di fornitura della lampada.
- Passando dalla prima alla seconda sostituzione, il costo unitario diminuisce. Ciò è dovuto al fatto che si utilizzano le lampade ancora funzionanti, tenute dopo la prima sostituzione, per le sostituzioni a spot delle lampade guaste negli intervalli successivi, risparmiando sul relativo costo di fornitura.

3) Valutazione del costo annuo relativo alla sostituzione delle lampade

Il costo totale annuo per la sostituzione combinata delle lampade, differenziato come sopra tra la 1^a sostituzione e quelle successive, è stato calcolato per ogni tipologia di apparecchio moltiplicando il corrispondente costo unitario per il numero di lampade (dato dal numero di apparecchi per il numero di lampade per apparecchio) e dividendo per l'intervallo di re-lamping (in anni).

Tipo	N° tot. App.	N° Tubi per app.	Intervallo di re- lamping [y]	Costo unitario sost. combinata (1 ^o a sost.) C _{t,1a}	Costo unitario sostit. combinata (2 ^o a in poi) C _t	COSTO ANNUO SOST. LAMPADA (1a)	COSTO ANNUO SOST. LAMPADA (2a in poi)	
				[€/pezzo]	[€/pezzo]	[€/y]	[€/y]	
1	2x36W	413	2	4	€ 10,57	€ 9,79	€ 2.182	€ 2.021
2	2x58W	973	2	2	€ 11,40	€ 10,55	€ 11.096	€ 10.265
3	1x18W	707	1	2	€ 16,90	€ 14,56	€ 5.974	€ 5.147
4	2x18W	612	2	2	€ 16,90	€ 14,56	€ 10.343	€ 8.911
5	2x26W	883	2	2	€ 16,90	€ 14,56	€ 14.923	€ 12.858
6	1x55W	325	1	2	€ 20,26	€ 17,39	€ 3.293	€ 2.825
7	1x55W DALI	4543	1	2	€ 20,26	€ 17,39	€ 46.026	€ 39.493

Tipo	N° tot. App.	N° Tubi per app.	Intervallo di re-lamping [y]	Costo unitario sost. combinata (1°a sost.) $C_{t,1a}$	Costo unitario sostit. combinata (2°a in poi) C_t	COSTO ANNUO SOST. LAMPADA (1a)	COSTO ANNUO SOST. LAMPADA (2a in poi)	
				[€/pezzo]	[€/pezzo]	[€/y]	[€/y]	
8	2x55W	254	2	4	€ 20,26	€ 17,39	€ 2.573	€ 2.208
9	2x55W 1-10V	346	2	4	€ 20,26	€ 17,39	€ 3.505	€ 3.008
10	4x18W	1565	4	3	€ 16,54	€ 13,50	€ 34.503	€ 28.170
11	4x18W 1-10V	17	4	3	€ 16,54	€ 13,50	€ 375	€ 306
12	4x24W	1247	4	5	€ 16,95	€ 15,01	€ 16.908	€ 14.970
13	4x24W 1-10V	2735	4	5	€ 16,95	€ 15,01	€ 37.083	€ 32.833
14	3x55W 1-10V	202	4	9	€ 18,58	€ 16,42	€ 1.668	€ 1.474
15	4x24W 1-10V	36	4	5	€ 16,95	€ 15,01	€ 488	€ 432
16	4x54W 1-10V	12	4	5	€ 18,58	€ 16,42	€ 178	€ 158
TOTALE							€ 191.100	€ 165.100

Tabella 6.7 – Costo annuo totale relativo alla sostituzione combinata delle lampade per tutti i tipi di apparecchio dell'impianto.

Si nota che il costo annuo per la sostituzione di tutte le lampade dell'impianto si abbassa di quasi 30.000 € una volta effettuato il primo re-lamping di tutto l'impianto. Tale differenza di costo sottolinea l'importanza a conservare le lampade sostituite ancora funzionanti.

Nel seguito, vengono calcolati i costi annui associati alla sostituzione dei reattori negli apparecchi.

6.2.1.2 Costi di sostituzione del reattore

Il costo unitario totale di sostituzione del reattore è semplicemente dato dalla somma del costo di fornitura e manodopera (P.O.):

$$C_r = R + P_r \quad [€/reattore] \quad (6.10)$$

Dove:

R = costo unitario di fornitura del reattore [€/reattore]

P_r = costo unitario di manodopera del reattore [€/reattore]

Si ipotizza che il costo di manodopera P_r comprenda sia lo smontaggio del vecchio reattore che la posa in opera di quello nuovo.

Il costo di sostituzione del reattore dipende principalmente dalla tipologia di reattore. Esistono diversi tipi di reattore, in funzione di diversi parametri:

- Tipo di funzionamento: elettromagnetico o elettronico.
- Tipo di reattore elettronico: non dimmerabile, dimmerabile 1-10V, DALI.
- Con/senza preriscaldamento dei catodi.
- Tipo di lampada fluorescente.

- Potenza delle lampade alimentate.

I valori dei costi unitari per ogni tipologia di reattore presente nei vari apparecchi di illuminazione sono stati reperiti dal Prezziario DEI, come indicato nella seguente tabella:

Dato	Fonte
Costo unitario di fornitura reattore	Prezziario DEI
Costo unitario di manodopera (P.O.) reattore	Prezziario DEI

Gli alimentatori negli apparecchi dell'ospedale in esame sono di vario tipo: non dimmerabili, dimmerabili 1-10V o DALI. In generale, non hanno il preriscaldamento dei catodi e sono adatti a lampade fluorescenti lineari e/o compatte.

Costi totali per la sostituzione dei reattori

Anche in questo caso, viene illustrata la metodologia a step che è stata utilizzata.

1) Valutazione dell'intervallo di sostituzione del reattore

Si è ipotizzato di sostituire il reattore degli apparecchi ogni 3 volte che vengono sostituite le lampade fluorescenti. Questo equivarrebbe a sostituire il reattore ogni 40.000-60.000 ore di funzionamento dell'apparecchio.

La durata di vita nominale massima per reattori analoghi varia tra le 50.000-100.000 ore (Tridonic Italia S.r.l., s.d.) con un tasso di malfunzionamento che varia tra 0,1-0,2% per le prime 1000 ore.

I valori assunti sono più bassi ma si sottolinea che comprendono il tasso di malfunzionamento e che la vita nominale dichiarata dai produttori è espressa in termini di durata massima raggiungibile. Pertanto, si ritiene l'ipotesi accettabile e più cautelativa.

2) Valutazione del costo unitario per la sostituzione dei reattori

Il costo unitario per la sostituzione dei reattori è stato calcolato con la formula (6.10).

Tale costo, come già detto, è dato dalla somma di due componenti: il costo di fornitura e il costo di manodopera comprensivo di smontaggio del vecchio reattore e di installazione del nuovo.

Le voci di costo sono state prese dal prezziario DEI a seconda della tipologia del reattore²⁹ e sono riportate in tabella:

	Tipologia di apparecchio	Costo fornitura reattore R [€/pezzo]	Costo P.O. reattore P _r [€/pezzo]	Costo unitario sostituzione reattore C _r [€/pezzo]
1	2x36W lineari	€ 22,21	€ 15,44	€ 37,65
2	2x58W lineari	€ 24,66	€ 15,76	€ 40,42
3	1x18W compatte	€ 20,82	€ 10,25	€ 31,07
4	2x18W compatte	€ 20,82	€ 10,25	€ 31,07
5	2x26W compatte	€ 20,82	€ 10,25	€ 31,07
6	1x55W lineari	€ 23,03	€ 10,35	€ 33,38

²⁹ Il tipo di reattore da utilizzare cambia in relazione all'apparecchio che deve alimentare

	Tipologia di apparecchio	Costo fornitura reattore R [€/pezzo]	Costo P.O. reattore P _r [€/pezzo]	Costo unitario sostituzione reattore C _r [€/pezzo]
7	1x55W lineari DALI	€ 80,48	€ 9,95	€ 90,43
8	2x55W lineari	€ 24,66	€ 15,76	€ 40,42
9	2x55W lineari 1-10V	€ 92,53	€ 15,06	€ 107,59
10	4x18W lineari	€ 107,61	€ 16,08	€ 123,69
11	4x18W lineari 1-10V	€ 107,61	€ 16,08	€ 123,69
12	4x24W lineari	€ 106,41	€ 15,90	€ 122,31
13	4x24W lineari 1-10V	€ 106,41	€ 15,90	€ 122,31
14	3x55W lineari 1-10V	€ 106,41	€ 15,90	€ 122,31
15	4x24W lineari 1-10V	€ 106,41	€ 15,90	€ 122,31
16	4x54W lineari 1-10V	€ 106,41	€ 15,90	€ 122,31

Tabella 6.8 – Costo unitario per la sostituzione del reattore per ogni tipologia di apparecchio dell'impianto.

Il costo unitario comprensivo di fornitura e posa in opera varia notevolmente a seconda del tipo di reattore. Il costo per i reattori elettronici non dimmerabili che alimentano lampade di bassa potenza è di poco superiore ai 30 €, mentre aumenta notevolmente per i reattori dimmerabili (sia DALI che 1-10V).

3) Valutazione del costo annuo per la sostituzione dei reattori

Il costo annuo dovuto alla sostituzione dei reattori è stato determinato moltiplicando il costo unitario di sostituzione del reattore per il numero di apparecchi³⁰ (costo totale per sostituzione) e dividendo per l'intervallo di sostituzione dei reattori espresso in anni (uguale a 3 volte l'intervallo di re-lamping):

	Tipologia di apparecchio	Numero totale apparecchi illuminanti	Intervallo di re-lamping [y]	Intervallo sostituzione reattore [y]	Costo unitario sostituzione reattore C _r [€/pezzo]	COSTO ANNUO SOSTITUZIONE REATTORE [€/y]
1	2x36W lineari	413	4	12	€ 37,65	€ 1.296
2	2x58W lineari	973	2	6	€ 40,42	€ 6.555
3	1x18W compatte	707	2	6	€ 31,07	€ 3.661
4	2x18W compatte	612	2	6	€ 31,07	€ 3.169
5	2x26W compatte	883	2	6	€ 31,07	€ 4.572
6	1x55W lineari	325	2	6	€ 33,38	€ 1.808
7	1x55W lineari DALI	4543	2	6	€ 90,43	€ 68.471

³⁰ Considerando un alimentatore per corpo illuminante.

	Tipologia di apparecchio	Numero totale apparecchi illuminanti	Intervallo di re-lamping [y]	Intervallo sostituzione reattore [y]	Costo unitario sostituzione reattore C_r [€/pezzo]	COSTO ANNUO SOSTITUZIONE REATTORE [€/y]
8	2x55W lineari	254	4	12	€ 40,42	€ 856
9	2x55W lineari 1-10V	346	4	12	€ 107,59	€ 3.102
10	4x18W lineari	1565	3	9	€ 123,69	€ 21.508
11	4x18W lineari 1-10V	17	3	9	€ 123,69	€ 234
12	4x24W lineari	1247	5	15	€ 122,31	€ 10.168
13	4x24W lineari 1-10V	2735	5	15	€ 122,31	€ 22.301
14	3x55W lineari 1-10V	202	9	27	€ 122,31	€ 915
15	4x24W lineari 1-10V	36	5	15	€ 122,31	€ 294
16	4x54W lineari 1-10V	12	5	15	€ 122,31	€ 98
TOTALE						€ 149.000

Tabella 6.9 – Costo annuo di sostituzione dei reattori per le varie tipologie di apparecchi dell'impianto di illuminazione.

Si nota che il costo annuo totale di sostituzione degli alimentatori per l'intero impianto non è affatto irrilevante ed è dello stesso ordine di grandezza della spesa annua per la sostituzione delle lampade. Dunque, se nella stima dei costi di manutenzione si trascurasse questo componente e si considerasse la sola sostituzione delle lampade, si sottostimerebbe la valutazione.

Il costo totale per la sostituzione dei componenti dell'intero impianto è dato dalla somma dei costi di sostituzione di lampade e reattori. Nel seguito si distinguono due tipi di costo a seconda che si tratti della prima sostituzione o dalla seconda in poi:

COSTO TOTALE ANNUO PER LA SOSTITUZIONE DEI COMPONENTI

<i>FL - 1^a sostituzione</i>	€ 340.100	[€/y]
<i>FL - 2^a in poi</i>	€ 314.100	[€/y]

Tabella 6.10 – Costi totali annui per la sostituzione dei componenti dell'impianto.

6.2.2 Costi per la pulizia

Il calcolo dei costi per la pulizia è stato effettuato sotto le seguenti ipotesi:

- Si è considerata la sola pulizia delle superfici degli apparecchi trascurando la riverniciatura delle superfici delle stanze.
- Durante gli interventi di sostituzione in gruppo delle lampade, si ipotizza che venga fatta contemporaneamente anche attività di pulizia, con i relativi costi compresi in quelli di manodopera per il re-lamping.
- Intervallo di pulizia in funzione dell'intervallo di re-lamping: uguale a quello di re-lamping, se quest'ultimo minore o uguale di 4 anni (si rientra nel punto sopra). Invece, per intervalli di re-lamping maggiori di 4 anni, si considerano in aggiunta degli intervalli di pulizia intermedi.

In pratica, ai fini del calcolo del costo totale per la pulizia, si conteggia solamente la spesa derivante dagli interventi che vengono effettuati tra un re-lamping ed un altro (nel seguito definiti come interventi “extra” in merito alle ipotesi soprastanti, cioè operazioni di pulizia effettuate al di fuori di un re-lamping).

Tali interventi sono necessari per mantenere l’intervallo di pulizia in linea con quanto suggerito in Figura 6.7 dalla guida CIE97:2005. Per luoghi puliti e apparecchi con alto grado di protezione, l’intervallo consigliato è di 3 anni (fino a un massimo di 4 per luoghi molto puliti).

Per lampade aventi elevata vita utile (come si vedrà con i LED) e/o con ore di funzionamento annue limitate (come quelle installate nelle sale operatorie) l’intervallo di re-lamping potrebbe essere maggiore rispetto ai 3-4 anni e, per questo motivo, si renderanno necessari interventi di pulizia intermedi.

Il costo per la singola pulizia extra è stato stimato considerando:

Tempo di pulizia = 5 min/apparecchio;

Costo orario di pulizia = 10 €/ora;

Il tempo per la pulizia non è particolarmente elevato poiché per rimuovere la polvere depositatasi sopra, trattandosi di apparecchi chiusi ad elevato grado di protezione, non è necessario smontare alcun componente ma è sufficiente una pulizia superficiale con un panno umido.

Per ogni apparecchio, il costo di pulizia annuo è stato stimato con la procedura descritta di seguito:

- 1) Definizione dell’intervallo di pulizia a seconda dell’intervallo di re-lamping. Per sostituzioni effettuate ogni 5 anni o più, l’intervallo di pulizia è stato quantificato come sottomultiplo dell’intervallo di re-lamping, in maniera tale che ricadesse circa ogni 3 anni.
Per sostituzioni ogni 4 anni o meno, i due intervalli sono i medesimi e le attività coincidenti.
- 2) Calcolo del numero di pulizie extra, come quantità di pulizie non effettuate contemporaneamente alla sostituzione delle lampade.
- 3) Calcolo del costo per singola pulizia, ottenuto moltiplicando il tempo di pulizia (in ore/apparecchio) per il costo orario di pulizia per il numero di apparecchi da pulire.
- 4) Calcolo del costo annuo di pulizia, moltiplicando il numero di pulizie extra per il costo per singola pulizia e dividendo per l’intervallo di re-lamping.

La tabella riporta i risultati dei calcoli effettuati:

	Tipologia	Numero totale apparecchi	Intervallo di re-lamping [y]	Intervallo pulizia [y]	n° pulizie EXTRA	Costo pulizia [€/pulizia]	COSTO ANNUO PULIZIA [€/y]
1	2x36W	413	4	4	0	€ 344	€ 0
2	2x58W	973	2	2	0	€ 811	€ 0
3	1x18W	707	2	2	0	€ 589	€ 0
4	2x18W	612	2	2	0	€ 510	€ 0
5	2x26W	883	2	2	0	€ 736	€ 0
6	1x55W	325	2	2	0	€ 271	€ 0
7	1x55W DALI	4543	2	2	0	€ 3.786	€ 0
8	2x55W	254	4	4	0	€ 212	€ 0
9	2x55W 1-10V	346	4	4	0	€ 288	€ 0

	Tipologia	Numero totale apparecchi	Intervallo di re-lamping	Intervallo pulizia	n° pulizie EXTRA	Costo pulizia	COSTO ANNUO PULIZIA
			[y]	[y]		[€/pulizia]	[€/y]
10	4x18W	1565	3	3	0	€ 1.304	€ 0
11	4x18W 1-10V	17	3	3	0	€ 14	€ 0
12	4x24W	1247	5	2,5	1	€ 1.039	€ 208
13	4x24W 1-10V	2735	5	2,5	1	€ 2.279	€ 456
14	3x55W 1-10V	202	9	3	2	€ 168	€ 37
15	4x24W 1-10V	36	5	2,5	1	€ 30	€ 6
16	4x54W 1-10V	12	5	2,5	1	€ 10	€ 2
TOTALE							€ 700

Tabella 6.11 – Costo annuo di pulizia per ogni tipologia di apparecchio dell'impianto fluorescente.

Si nota che, essendo necessaria solamente una pulizia superficiale grazie all'elevato grado di protezione degli apparecchi, i tempi e i costi unitari di pulizia non sono elevati e, comprendendo i costi delle operazioni di pulizia nell'attività re-lamping, il costo annuo associato agli interventi di pulizia extra è trascurabile.

Se i costi di pulizia non fossero compresi nei costi di manodopera dell'intervento di re-lamping, il costo annuo per la pulizia dei corpi illuminanti diventerebbe:

	Tipologia	Numero totale apparecchi	Intervallo di re-lamping	Intervall o pulizia	Costo pulizia	COSTO ANNUO PULIZIA
			[y]	[y]	[€/pulizia]	[€/y]
1	2x36W	413	4	4	€ 344	€ 86
2	2x58W	973	2	2	€ 811	€ 405
3	1x18W	707	2	2	€ 589	€ 295
4	2x18W	612	2	2	€ 510	€ 255
5	2x26W	883	2	2	€ 736	€ 368
6	1x55W	325	2	2	€ 271	€ 135
7	1x55W DALI	4543	2	2	€ 3.786	€ 1.893
8	2x55W	254	4	4	€ 212	€ 53
9	2x55W 1-10V	346	4	4	€ 288	€ 72
10	4x18W	1565	3	3	€ 1.304	€ 435
11	4x18W 1-10V	17	3	3	€ 14	€ 5
12	4x24W	1247	5	2,5	€ 1.039	€ 416
13	4x24W 1-10V	2735	5	2,5	€ 2.279	€ 912

	Tipologia	Numero totale apparecchi	Intervallo di re- lamping [y]	Intervall o pulizia [y]	Costo pulizia [€/pulizia]	COSTO ANNUO PULIZIA [€/y]
14	3x55W 1-10V	202	9	3	€ 168	€ 56
15	4x24W 1-10V	36	5	2,5	€ 30	€ 12
16	4x54W 1-10V	12	5	2,5	€ 10	€ 4
TOTALE						€ 5.400

Tabella 6.12 – Costo annuo di pulizia per ogni tipologia di apparecchio dell'impianto, considerando i costi unitari di pulizia non compresi nei costi di manodopera dell'intervento di re-lamping.

Dove il costo annuo di pulizia è stato calcolato dividendo il costo unitario per l'intervallo di pulizia. Rispetto al caso precedente, la spesa annua è relativamente più elevata ma, in termini assoluti, rispetto ai costi per la sostituzione delle lampade e dei reattori il costo annuo di pulizia si può ancora considerare praticamente trascurabile.

Per questo motivo, le ipotesi precedentemente introdotte si reputano plausibili e sensate e i costi associati alla pulizia degli apparecchi non si ritengono particolarmente rilevanti per il calcolo dei costi di manutenzione negli impianti di illuminazione.

Il costo totale annuo per la manutenzione dell'impianto è dato dalla somma della spesa per la sostituzione dei componenti e da quella per la pulizia. Come in precedenza, si distingue tra primo intervento di sostituzione e successivi:

COSTO TOTALE ANNUO PER LA MANUTENZIONE		
<i>FL - 1^a sostituzione</i>	€ 340.800	[€/y]
<i>FL - 2^a in poi</i>	€ 314.800	[€/y]

Tabella 6.13 – Costo totale annuo per la manutenzione dell'impianto di illuminazione fluorescente.

6.3 Costi di manutenzione – Post operam

In questo caso, il discorso sui costi di manutenzione è un po' diverso, siccome si tratta di apparecchi LED con una tecnologia completamente diversa dal fluorescente.

I LED sono dispositivi di illuminazione a stato solido, nei quali si impiega un materiale semiconduttore al posto di un filamento o di un gas. Generalmente gli apparecchi di illuminazione sono costituiti da un insieme di chip (LED) incapsulati, accorpati e montati su un circuito stampato secondo svariate modalità (strisce, piastre e moduli) e da un sistema di alimentazione formato da componenti e circuiti elettronici.

I LED non si bruciano come le lampade tradizionali e i malfunzionamenti più comuni per questa tipologia di apparecchi sono dovuti, oltre che ad un'elevata temperatura di funzionamento (come già accennato nel paragrafo 4.4.3), principalmente ai guasti dei componenti elettronici. In primo luogo, si identificano tre cause di guasto:

- Difetti dei componenti
- Saldature imperfette
- Cause esterne

I primi due punti generano guasti nel periodo di vita iniziale del dispositivo e rientrano tra le cause tipiche della *mortalità infantile*, prima parte ad alto tasso di guasto della curva a vasca da bagno

sull'affidabilità dei componenti. In genere, i costruttori sottopongono i componenti ad un periodo di burn-in, cioè un processo di accensione e spegnimento di alcune decine di ore (equivalente ad un rodaggio), nel quale vengono individuate, se presenti, tali tipologie di problematiche. Questa procedura serve a minimizzare i malfunzionamenti dei componenti una volta entrati in funzione.

In ogni modo, nel caso in esame tutti gli apparecchi luminosi forniti sono dotati di garanzia e, dunque, eventuali guasti dei componenti (seppur rari) sono di scarso interesse ai fini dell'analisi sui costi di manutenzione.

Le cause esterne, invece, sono costituite da sovratensioni e da transitori che generano sovracorrenti. Anche questi fenomeni sono stati trascurati nel presente studio, in quanto si presuppone che un ospedale di nuova costruzione come quello di Alba-Bra sia dotato di tutte le misure di sicurezza³¹ necessarie ad evitare avvenimenti di questo genere.

Secondo queste considerazioni, è subito evidente che per la manutenzione di un impianto di illuminazione a LED i guasti e i malfunzionamenti dei componenti sono meno rilevanti rispetto ad un impianto fluorescente.

D'altra parte, però, gli apparecchi a LED sono caratterizzati da un progressivo decadimento del flusso luminoso emesso dalle sorgenti. Infatti, al contrario delle sorgenti luminose tradizionali, i LED non si spengono improvvisamente una volta terminata la loro vita utile ma, durante il loro utilizzo, sono caratterizzati da un graduale decremento del flusso luminoso iniziale, fino a "consumarsi" completamente dopo un periodo di tempo molto lungo.

Come si è visto, tale decadimento viene fortemente accentuato all'aumentare della temperatura di funzionamento ma è ugualmente presente anche in condizioni ottimali di lavoro. Ne consegue che, dopo un certo periodo di tempo, i corpi illuminanti non riusciranno più a garantire un adeguato livello di illuminamento e sarà necessaria la loro sostituzione.

Occorre puntualizzare che se, per un qualsiasi motivo, un singolo LED smette di funzionare oppure emette un flusso luminoso molto più basso degli altri questo non compromette il funzionamento dell'intero apparecchio. Di conseguenza, la sostituzione delle singole sorgenti non ha alcun senso (oltre che non è praticabile per questioni tecniche).

Analogamente a prima, per valutare i costi di manutenzione dell'impianto di illuminazione, occorre stimare un periodo di sostituzione degli apparecchi (programma di manutenzione).

Ma al contrario del caso precedente, dove si consideravano le sostituzioni dei singoli componenti degli apparecchi in funzione della loro vita utile e del tasso di guasto, per l'impianto a LED si considera la sostituzione completa degli apparecchi una volta che il flusso luminoso emesso non è più sufficiente ad assicurare un adeguato illuminamento.

Inoltre, si considera la sola sostituzione in gruppo dei corpi illuminanti e, dati i bassi tassi di malfunzionamento degli apparecchi LED, si trascura quella a spot presente nel caso ante operam.

La grandezza di riferimento per valutare il tempo di sostituzione per un certo apparecchio è la durata di vita utile del LED, fornita da ogni produttore nella scheda tecnica. Al valore di vita utile, espresso in ore, è accostata una sigla composta da alcuni parametri caratteristici.

Nel seguito, si riporta la definizione di tali parametri usata nel *Catalogo LED 2018* di 3F Filippi.

L (durata utile) = percentuale di decadimento del flusso luminoso riferito alle ore di funzionamento utili (di solito 50.000 ore)

Esempio:

L85: 50.000h = dopo 50.000 h di funzionamento l'apparecchio LED fornisce ancora l'85% del flusso luminoso iniziale.

³¹ Ad esempio, l'utilizzo di filtri passivi costituiti da una rete di condensatori ed induttori.

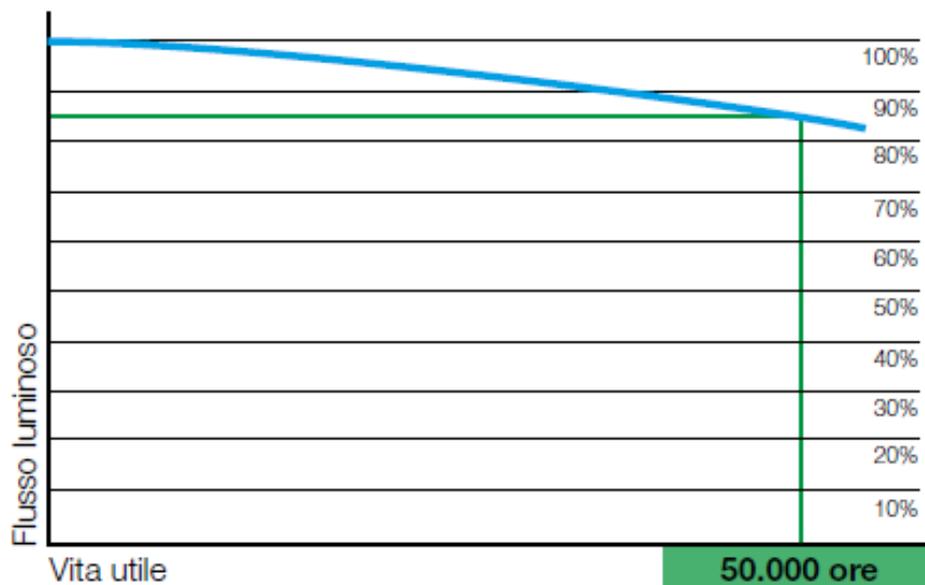


Figura 6.8 – Andamento del flusso luminoso emesso dall'apparecchio LED in funzione delle ore di funzionamento. (3F Filippi S.p.A., 2018)

B (aspettativa di vita del LED) = percentuale di componenti che al termine delle normali 50.000 ore non mantiene le caratteristiche di flusso luminoso dichiarate

Esempio:

L85/B10: 50.000h = dopo 50.000 h di funzionamento il 90% (B10) dei componenti presenta un flusso luminoso residuo pari o superiore all'85% di quello iniziale (L85).

Se il valore di B non è precisato è da intendersi B50, cioè la metà dei LED dell'apparecchio non garantisce più l'85% del flusso luminoso iniziale.

Questo parametro è indice della qualità dei singoli LED utilizzati ma anche della bontà di funzionamento dell'apparecchio poiché è dipendente pure dalle condizioni di lavoro del LED all'interno del corpo illuminante.

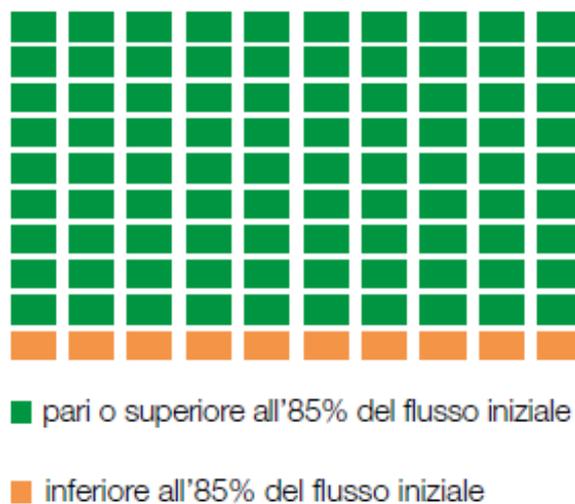


Figura 6.9 – Rappresentazione grafica della definizione di L85B10 su un apparecchio composto da 100 chip LED. (3F Filippi S.p.A., 2018)

C (tasso di guasto del LED) = percentuale di LED che alla fine della durata utile non sono più funzionanti

Esempio:

Questo parametro può essere indicato con due diverse combinazioni.

L85/B10/C0: 50.000h = dopo 50.000 h di funzionamento, la percentuale di LED spenti è 0%.

L85/B10: 50.000h – L0/C10: 200.000h = dopo 200.000 h, la percentuale di LED spenti è 10%.

Se il valore di C non è precisato è da intendersi C0.

Alle volte, può essere indicato il parametro F (tasso di imperfezione) che non è altro che la somma dei valori di B e di C . Questo tasso indica in maniera più dettagliata la qualità dei componenti utilizzati, in quanto è comprensivo sia della percentuale di elementi che non mantengono il flusso luminoso dichiarato (B) che la percentuale di mortalità dei componenti LED (C).

Anche per il caso post operam, per il calcolo dei costi annui di manutenzione, ai costi per la sostituzione degli apparecchi di illuminazione andranno aggiunti i costi per la pulizia degli stessi.

6.3.1 Costi di sostituzione degli apparecchi

La metodologia adottata per il calcolo dei costi di sostituzione degli apparecchi si basa su quanto detto in precedenza: per la sostituzione dei corpi illuminanti a LED è necessario focalizzarsi sul decremento graduale di flusso luminoso emesso e non tanto sui tassi di guasto o malfunzionamento.

L'operazione di sostituzione va effettuata quando il dispositivo di illuminazione non emette più abbastanza flusso luminoso per soddisfare i requisiti illuminotecnici.

Riprendendo quanto detto nel paragrafo 6.1.1, per la progettazione illuminotecnica è stato utilizzato un fattore di manutenzione pari a 0,8. Tale fattore è un termine comprensivo di tutte le possibili perdite dell'impianto di illuminazione e viene utilizzato in fase di progettazione per sovradimensionare l'impianto al fine di garantire che i requisiti minimi di illuminamento vengano rispettati sino al momento in cui viene effettuata la manutenzione.

Considerando che l'illuminamento in un certo ambiente è direttamente proporzionale al flusso luminoso emesso dal sistema di illuminazione, si ritiene accettabile sostituire gli apparecchi nel momento in cui emettono l'80% del flusso luminoso iniziale.

Il dato fondamentale per questo tipo di analisi è il valore di vita utile fornito dai produttori nelle schede tecniche degli apparecchi.

La metodologia di calcolo che è stata utilizzata viene descritta nel seguito:

1) Stima della durata effettiva degli apparecchi a LED

La durata effettiva è la durata di "vita utile equivalente" per garantire un flusso luminoso maggiore o uguale all'80% di quello inizialmente emesso dall'apparecchio. È la durata, in termini di ore di funzionamento, oltre la quale si ipotizza che il flusso luminoso emesso scenda sotto l'80% e non sia più in grado di soddisfare i requisiti illuminotecnici.

La durata effettiva è stata stimata partendo dal valore di durata caratteristica dichiarata dal produttore ed espressa normalmente nella forma LXXBYY a 50.000 h, dove il significato dei parametri L e B è spiegato nel capitolo soprastante.

La durata caratteristica è stata opportunamente ridotta o aumentata in base all'ipotesi semplificativa che il decremento nel tempo di flusso luminoso emesso dagli apparecchi è pressoché di tipo lineare.

Nella tabella seguente si riporta la stima della durata effettiva di ogni tipologia di apparecchio e la motivazione di tale scelta:

	Tipo	Ambiente d'install.	Durata caratt. [h]	Durata effettiva [h]	Note
1	2x36W	locali tecnici	50000 (L70B20)	30000	Il 70% del flusso luminoso garantito dall'80% dei LED dell'apparecchio non è accettabile. Si ipotizza che a 30.000 h possa corrispondere un L90B20. Meno cautelativo, ma potrebbe andare anche bene L80B20 (20% che garantisce meno dell'80% del flusso e l'80% che ne garantisce 80% o più) che potrebbe corrispondere a 40.000 h.
2	2x58W	autorimessa e locali tecnici	50000 (L70B20)	30000	
3	1x18W	corridoi degenze	50000 (L80)	40000	50.000 L80B50 potrebbe essere non più sufficiente perché il 50% dei LED non garantisce l'80% del flusso. Probabilmente occorrerà sostituire le lampade a 40.000-45.000 h.
4	2x18W	corridoi degenze	50000 (L80)	40000	
5	2x26W	bagni	50000 (L80)	40000	È stato scelto 40.000 h in maniera cautelativa.
6	1x55W	scale	50000 (L90)	50000	L90B50 è una condizione sufficiente ad assicurare il requisito di almeno l'80% del flusso luminoso emesso inizialmente. Tuttavia, sempre in via cautelare, la durata effettiva non è stata maggiorata ma è stata considerata uguale a quella dichiarata dal produttore (50.000 h).
7	1x55W DALI	corridoi	50000 (L90)	50000	
8	2x55W	degenze	50000 (L80)	40000	Discorso analogo agli apparecchi 3,4,5.
9	2x55W 1-10V	degenze	50000 (L90)	50000	Discorso analogo agli apparecchi 6,7.
10	4x18W	locali di servizio	50000 (L90)	50000	Discorso analogo agli apparecchi 6,7.
11	4x18W 1-10V	uffici - ambulatori - studi medici	50000 (L90)	50000	Discorso analogo agli apparecchi 6,7.
12	4x24W	sale riunioni	50000 (L80)	40000	Discorso analogo agli apparecchi 3,4,5.
13	4x24W 1-10V	uffici - ambulatori - studi medici	50000 (L90)	50000	Discorso analogo agli apparecchi 6,7.
14	3x55W 1-10V	locali asettici - sale op.	50000 (L90)	50000	Discorso analogo agli apparecchi 6,7.
15	4x24W 1-10V	locali asettici - sale terapia	50000 (L90)	50000	Discorso analogo agli apparecchi 6,7.
16	4x54W 1-10V	locali asettici - sale op.	50000 (L90)	50000	Discorso analogo agli apparecchi 6,7.

Tabella 6.14 – Durata effettiva stimata per ogni tipologia di apparecchio dell'impianto di illuminazione.

2) Calcolo dell'intervallo di re-lamping

L'intervallo di sostituzione degli apparecchi di illuminazione è stato calcolato dividendo la durata effettiva per il numero di ore di funzionamento annue ed è riportato nella tabella sottostante:

	Tipologia	Durata effettiva [h]	Ore di funzionamento giornaliero [h/d]	Ore di funzionamento annuo [h/y]	Intervallo di re-lamping [y]
1	2x36W	30000	10	3650	8

	Tipologia	Durata effettiva [h]	Ore di funzionament o giornaliero [h/d]	Ore di funzionament o annuo [h/y]	Intervallo di re- lamping [y]
2	2x58W	30000	24	8760	3
3	1x18W	40000	18	6570	6
4	2x18W	40000	18	6570	6
5	2x26W	40000	18	6570	6
6	1x55W	50000	18	6570	8
7	1x55W DALI	50000	18	6570	8
8	2x55W	40000	10	3650	11
9	2x55W 1-10V	50000	10	3650	14
10	4x18W	50000	12	4380	11
11	4x18W 1-10V	50000	12	4380	11
12	4x24W	40000	12	4380	9
13	4x24W 1-10V	50000	12	4380	11
14	3x55W 1-10V	50000	6	2190	23
15	4x24W 1-10V	50000	12	4380	11
16	4x54W 1-10V	50000	12	4380	11

Tabella 6.15 – Intervalli di re-lamping per ogni tipo di apparecchio dell'impianto di illuminazione.

Si nota subito che in questo caso gli intervalli di sostituzione degli apparecchi sono molto più lunghi rispetto al caso ante operam, nonostante le stime cautelative di durata effettiva.

3) Calcolo del costo per singola sostituzione

Per ogni tipologia di apparecchio, il costo per singola sostituzione è stato ottenuto moltiplicando il costo unitario di sostituzione per il numero di apparecchi.

Il costo unitario di sostituzione comprende le attività di smontaggio, fornitura e posa in opera. È stato calcolato sommando i prezzi unitari di fornitura e posa in opera già considerati per l'acquisto e installazione degli apparecchi nell'analisi di risparmio energetico presenti in Tabella 5.3 ed ottenuti, i primi dall'offerta economica dei fornitori, i secondi dal prezzario Piemonte.

In tabella sono riportati i costi per singola sostituzione:

	Tipologia	Numero totale apparecchi illuminanti	Costo unitario sostituzione [€/pezzo]	Costo sostituzione [€/sostituzione]
1	2x36W	413	€ 60,29	€ 24.900
2	2x58W	973	€ 66,66	€ 64.860

	Tipologia	Numero totale apparecchi illuminanti	Costo unitario sostituzione [€/pezzo]	Costo sostituzione [€/sostituzione]
3	1x18W	707	€ 52,02	€ 36.780
4	2x18W	612	€ 58,69	€ 35.920
5	2x26W	883	€ 64,02	€ 56.530
6	1x55W	325	€ 92,02	€ 29.910
7	1x55W DALI	4543	€ 98,05	€ 445.440
8	2x55W	254	€ 100,36	€ 25.490
9	2x55W 1-10V	346	€ 126,33	€ 43.710
10	4x18W	1565	€ 94,35	€ 147.660
11	4x18W 1-10V	17	€ 129,67	€ 2.200
12	4x24W	1247	€ 103,70	€ 129.310
13	4x24W 1-10V	2735	€ 129,67	€ 354.650
14	3x55W 1-10V	202	€ 340,45	€ 68.770
15	4x24W 1-10V	36	€ 326,99	€ 11.770
16	4x54W 1-10V	12	€ 328,65	€ 3.940

Tabella 6.16 – Costo per singola sostituzione per ogni tipo di apparecchio dell'impianto.

Tale costo di sostituzione è in linea con quanto già detto per gli impianti LED, per i quali gli apparecchi di illuminazione si guastano più difficilmente e vengono sostituiti interamente dal momento in cui non emettono una sufficiente quantità di flusso luminoso.

Questo comporta costi unitari più elevati rispetto al caso pre-intervento ma da sostenere per tempi molto più lunghi.

4) Calcolo del costo annuo per la sostituzione degli apparecchi

Il costo annuo dovuto alla sostituzione dei dispositivi a LED è stato calcolato, per ogni tipo di apparecchio, dividendo il costo per singola sostituzione per la durata dell'intervallo di re-lamping. La tabella sottostante riassume i dati principali per il calcolo del costo annuo di sostituzione degli apparecchi:

	Tipo	N° totale app.	Durata effettiva [h]	Ore di funz. annuo [h/y]	Intervallo di re-lamping [y]	Costo unitario sostit. [€/pezzo]	Costo sostit. [€/sostituzioni]	COSTO ANNUO SOSTITUZIONE [€/y]
1	2x36W	413	30000	3650	8	€ 60,29	€ 24.900	€ 3.113
2	2x58W	973	30000	8760	3	€ 66,66	€ 64.860	€ 21.620
3	1x18W	707	40000	6570	6	€ 52,02	€ 36.780	€ 6.130
4	2x18W	612	40000	6570	6	€ 58,69	€ 35.920	€ 5.987

	Tipo	N° totale app.	Durata effettiva a	Ore di funz. annuo	Intervall o di re- lamping	Costo unitario sostit.	Costo sostit.	COSTO ANNUO SOSTITUZION E
			[h]	[h/y]	[y]	[€/pezzo]	[€/sostituzion e]	[€/y]
5	2x26W	883	40000	6570	6	€ 64,02	€ 56.530	€ 9.422
6	1x55W	325	50000	6570	8	€ 92,02	€ 29.910	€ 3.739
7	1x55W DALI	4543	50000	6570	8	€ 98,05	€ 445.440	€ 55.680
8	2x55W	254	40000	3650	11	€ 100,36	€ 25.490	€ 2.317
9	2x55W 1-10V	346	50000	3650	14	€ 126,33	€ 43.710	€ 3.122
10	4x18W	1565	50000	4380	11	€ 94,35	€ 147.660	€ 13.424
11	4x18W 1-10V	17	50000	4380	11	€ 129,67	€ 2.200	€ 200
12	4x24W	1247	40000	4380	9	€ 103,70	€ 129.310	€ 14.368
13	4x24W 1-10V	2735	50000	4380	11	€ 129,67	€ 354.650	€ 32.241
14	3x55W 1-10V	202	50000	2190	23	€ 340,45	€ 68.770	€ 2.990
15	4x24W 1-10V	36	50000	4380	11	€ 326,99	€ 11.770	€ 1.070
16	4x54W 1-10V	12	50000	4380	11	€ 328,65	€ 3.940	€ 358
TOTALE								€ 175.800

Tabella 6.17 – Tabella riepilogativa del costo annuo per la sostituzione degli apparecchi dell'impianto di illuminazione.

Si nota che il costo annuo totale per la sostituzione degli apparecchi di illuminazione è inferiore rispetto al caso con impianto fluorescente.

La causa principale è il deciso aumento di durata utile degli apparecchi a LED che allunga l'intervallo di re-lamping e compensa i costi unitari di sostituzione degli apparecchi più alti rispetto al caso precedente.

Il risultato è una differenza di circa 150.000 euro annui di spesa economica a vantaggio della configurazione impiantistica post intervento.

6.3.2 Costi per la pulizia

Per la valutazione dei costi dovuti alla pulizia dell'impianto, il discorso e la metodologia di calcolo sono analoghi al caso precedente.

Nuovamente, si sono conteggiati soltanto i costi legati agli interventi di pulizia "extra" tra un re-lamping ed un altro, dal momento che il costo di manodopera di sostituzione delle lampade si ritiene comprensivo delle attività di pulitura.

Ancora una volta, i periodi di pulizia sono stati stabiliti per garantire una durata degli intervalli conforme con quanto prescritto dalla guida tecnica CIE97:2005.

Per il calcolo del costo della singola pulizia si è considerato sempre:

Tempo di pulizia = 5 min/apparecchio;

Costo orario di pulizia = 10 €/ora;

Si riporta un'altra volta, in breve, la metodologia di calcolo utilizzata:

- 1) Definizione dell'intervallo di pulizia a seconda dell'intervallo di re-lamping.
- 2) Calcolo del numero di pulizie extra.
- 3) Calcolo del costo per singola pulizia, moltiplicando il tempo di pulizia (in ore/apparecchio) per il costo orario di pulizia per il numero di apparecchi da pulire.
- 4) Calcolo del costo annuo di pulizia, moltiplicando il numero di pulizie extra per il costo per singola pulizia e dividendo per l'intervallo di re-lamping.

In tabella si riportano i costi di pulizia per l'impianto a LED:

	Tipologia	Numero totale apparecchi	Intervallo di re-lamping [y]	Intervallo pulizia [y]	n° pulizie EXTRA	Costo pulizia [€/pulizia]	COSTO ANNUO PULIZIA [€/y]
1	2x36W	413	8	4	1	€ 344	€ 43
2	2x58W	973	3	3	0	€ 811	€ 0
3	1x18W	707	6	3	1	€ 589	€ 98
4	2x18W	612	6	3	1	€ 510	€ 85
5	2x26W	883	6	3	1	€ 736	€ 123
6	1x55W	325	8	4	1	€ 271	€ 34
7	1x55W DALI	4543	8	4	1	€ 3.786	€ 473
8	2x55W	254	11	4	2	€ 212	€ 38
9	2x55W 1-10V	346	14	4	3	€ 288	€ 62
10	4x18W	1565	11	4	2	€ 1.304	€ 237
11	4x18W 1-10V	17	11	4	2	€ 14	€ 3
12	4x24W	1247	9	3	2	€ 1.039	€ 231
13	4x24W 1-10V	2735	11	4	2	€ 2.279	€ 414
14	3x55W 1-10V	202	23	4	5	€ 168	€ 37
15	4x24W 1-10V	36	11	4	2	€ 30	€ 5
16	4x54W 1-10V	12	11	4	2	€ 10	€ 2
TOTALE							€ 1.900

Tabella 6.18 - Costo annuo di pulizia per ogni tipologia di apparecchio dell'impianto a LED.

Rispetto al caso precedente, la spesa annua per la pulizia degli apparecchi dell'intero impianto è aumentata passando da 700 € a 1900 €.

La causa principale risiede nell'allungamento dell'intervallo di re-lamping grazie ad una maggiore durata utile degli apparecchi, con conseguente aumento dei costi relativi ad un numero più alto di pulizie "extra" (volte a rispettare gli intervalli di pulizia ogni 3-4 anni).

Tuttavia, in termini assoluti, gli oneri per la pulizia degli apparecchi sono ancora poco rilevanti rispetto al totale per la manutenzione.

Nuovamente si è calcolato il costo totale annuo per la manutenzione dell'impianto, sommando il costo per la sostituzione degli apparecchi a quello di pulizia.

COSTO TOTALE ANNUO PER LA MANUTENZIONE

<i>LED</i>	€ 177.700	[€/y]
------------	------------------	--------------

Tabella 6.19 - Costo totale annuo per la manutenzione dell'impianto di illuminazione a LED.

6.4 Confronto tra i costi di manutenzione

In tabella si riassume quanto emerso dai calcoli effettuati:

COSTI DI MANUTENZIONE ANNUI				
		ANTE (FL- 1a sostituzione)	ANTE (FL - 2a in poi)	POST (LED)
Sostituzione dei componenti	Sostituzione lampade	€ 191.100	€ 165.100	-
	Sostituzione reattori	€ 149.000	€ 149.000	-
	Sostituzione intero apparecchio	-	-	€ 175.800
Pulizia		€ 700	€ 700	€ 1.900
TOTALE		€ 340.800	€ 314.800	€ 177.700
RISPARMIO		€ 163.100	€ 137.100	-

Tabella 6.20 – Ripartizione e confronto dei costi annuali di manutenzione tra le situazioni pre e post intervento.

La sostituzione dei componenti è evidente che sia la voce di costo più onerosa in materia di manutenzione.

Nel caso pre intervento con apparecchi fluorescenti, la sostituzione riguarda principalmente il cambio di lampade, differenziando tra prima sostituzione in gruppo e successive, e reattori che si sono guastati o hanno terminato la loro vita utile.

Non è stata considerata la sostituzione degli starter, poiché gli apparecchi sono dotati di alimentatori elettronici che non ne prevedono l'utilizzo, così come la sostituzione di plafoniere e supporti, in quanto si ritiene che non sia necessaria durante la vita utile dell'impianto.

Il costo di sostituzione delle lampade si abbassa dopo il primo re-lamping di gruppo, in quanto si è ritenuto che le lampade cambiate ma ancora funzionanti vengano utilizzate per i futuri rimpiazzamenti di singoli pezzi. Questo calo è coerente con il fatto che si ottiene un risparmio sulla fornitura delle lampade per la sostituzione a spot.

Nel caso post intervento con corpi a LED, si è considerata la sostituzione degli interi apparecchi che hanno terminato la vita utile, stimata in base alla quantità di flusso luminoso emesso. Eventuali guasti o malfunzionamenti sono stati trascurati.

La spesa per la pulizia rappresenta una componente praticamente trascurabile. Tuttavia, si vuole far notare che aumenta nel caso a LED, a causa di un maggior numero di pulizie "extra" non comprese nell'attività di sostituzione degli apparecchi.

Il costo di manutenzione totale annuo dell'impianto si abbassa fortemente passando dalla configurazione fluorescente a quella LED. Il risparmio annuo ottenibile è riportato in relazione ai due diversi tipi di situazioni prima dell'intervento e varia tra 137.100 € e 163.100 €.

Nel seguito, si riportano le medesime quantità della tabella in un grafico a barre di confronto:

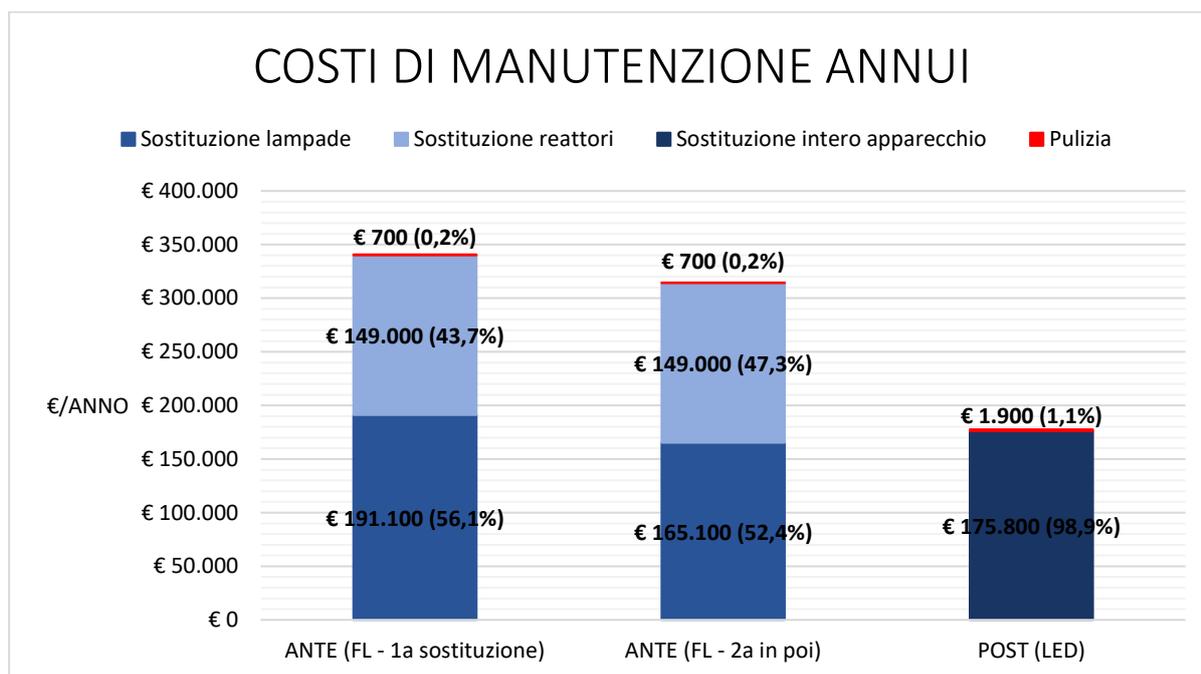


Figura 6.10 – Composizione dei costi annui di manutenzione e confronto tra le diverse configurazioni impiantistiche.

Nel grafico è ancora più evidente la ripartizione delle frazioni costituenti il totale annuo per la manutenzione. Tra parentesi si riportano le percentuali sul totale di ciascuna componente di costo. Si nota nuovamente che la sostituzione dei componenti riveste il ruolo predominante, a discapito delle spese di pulizia che sono praticamente impercettibili.

È molto evidente la differenza di costo annuo tra le configurazioni fluorescenti pre intervento e quella a LED, merito di una forte riduzione del costo per la sostituzione dei componenti.

La sostituzione degli interi apparecchi LED, infatti, presenta costi unitari più alti ma è caratterizzata da una frequenza di accadimento molto minore grazie ad una vita utile dei dispositivi più duratura.

A livello quantitativo, la spesa per la sostituzione dei corpi LED è in linea con il costo per la sola sostituzione delle lampade fluorescenti.

Ne consegue che le due configurazioni impiantistiche differiscono di una quantità dello stesso ordine di grandezza degli oneri per la sostituzione dei reattori, a sottolineare la rilevanza di tale componente di costo. Trascurare gli alimentatori, infatti, porterebbe ad una notevole sottostima dei costi di manutenzione per un impianto fluorescente.

Si può concludere che, oltre al risparmio energetico, l'impianto di illuminazione a LED porta ulteriori benefici economici anche dal punto di vista manutentivo.

7 Analisi e confronto dei costi complessivi

A compimento di quanto effettuato finora, si vuole sviluppare un'analisi comparativa sui costi complessivi tra le due situazioni impiantistiche.

In generale, i costi complessivi dell'impianto di illuminazione sono dati dalla somma dei costi d'esercizio e di un eventuale costo d'investimento iniziale. A loro volta, i costi d'esercizio del sistema d'illuminazione sono composti dai costi per l'energia elettrica consumata e da quelli per la manutenzione.

Lo studio risulta particolarmente utile per apprezzare la differenza di andamento dei costi da sostenere durante la vita utile dell'impianto nei due diversi scenari e permette di valutare il periodo di rientro dell'investimento.

7.1 Costi annuali d'esercizio ante operam

Si riportano, per ogni apparecchio e nel caso pre intervento, tutte le spese annuali che sono da sostenere nella conduzione dell'impianto e che sono state calcolate in precedenza:

Tipologia	COSTO ANNUO D'ESERCIZIO					
	COSTO ANNUO MANUTENZIONE				COSTO ANNUO ENERGIA	
	COSTO ANNUO SOSTITUZIONE LAMPADE (1a)	COSTO ANNUO SOSTITUZIONE LAMPADE (2a in poi)	COSTO ANNUO SOSTITUZIONE REATTORI	COSTO ANNUO PULIZIA		
	[€/y]	[€/y]	[€/y]	[€/y]	[€/y]	
1	2x36W	€ 2.182	€ 2.021	€ 1.296	€ 0	€ 17.940
2	2x58W	€ 11.096	€ 10.265	€ 6.555	€ 0	€ 162.290
3	1x18W	€ 5.974	€ 5.147	€ 3.661	€ 0	€ 14.210
4	2x18W	€ 10.343	€ 8.911	€ 3.169	€ 0	€ 23.920
5	2x26W	€ 14.923	€ 12.858	€ 4.572	€ 0	€ 48.320
6	1x55W	€ 3.293	€ 2.825	€ 1.808	€ 0	€ 21.780
7	1x55W DALI	€ 46.026	€ 39.493	€ 68.471	€ 0	€ 304.440
8	2x55W	€ 2.573	€ 2.208	€ 856	€ 0	€ 15.450
9	2x55W 1-10V	€ 3.505	€ 3.008	€ 3.102	€ 0	€ 21.040
10	4x18W	€ 34.503	€ 28.170	€ 21.508	€ 0	€ 85.070
11	4x18W 1-10V	€ 375	€ 306	€ 234	€ 0	€ 960
12	4x24W	€ 16.908	€ 14.970	€ 10.168	€ 208	€ 96.570
13	4x24W 1-10V	€ 37.083	€ 32.833	€ 22.301	€ 456	€ 211.790
14	3x55W 1-10V	€ 1.668	€ 1.474	€ 915	€ 37	€ 17.750
15	4x24W 1-10V	€ 488	€ 432	€ 294	€ 6	€ 2.840
16	4x54W 1-10V	€ 178	€ 158	€ 98	€ 2	€ 1.950
TOTALE		€ 191.100	€ 165.100	€ 149.000	€ 700	€ 1.046.320

Tabella 7.1 – Ripartizione costi annuali d'esercizio per ogni apparecchio dell'impianto di illuminazione fluorescente.

Si ricorda che il costo annuo dell'energia è stato ottenuto moltiplicando il consumo elettrico stimato per il costo unitario dell'energia elettrica, assunto pari a 0,17 €/kWh.

Il costo annuale per l'esercizio dell'impianto fluorescente si divide sempre nei due casi:

	COSTO ANNUO D'ESERCIZIO	
	<i>1° re-lamping</i>	<i>Dal 2° re-lamping in poi</i>
	[€/y]	[€/y]
<i>MANUTENZIONE</i>	€ 340.800	€ 314.800
<i>ENERGIA ELETTRICA</i>	€ 1.046.320	€ 1.046.320
TOTALE	€ 1.387.120	€ 1.361.120

Tabella 7.2 – Costi totali annuali per l'esercizio dell'impianto di illuminazione fluorescente.

Dove l'unica differenza è il costo per la sostituzione delle lampade che si abbassa leggermente dal secondo re-lamping in poi.

Nel seguito, i grafici a torta riportano il peso percentuale di manutenzione ed energia elettrica sulla spesa totale:

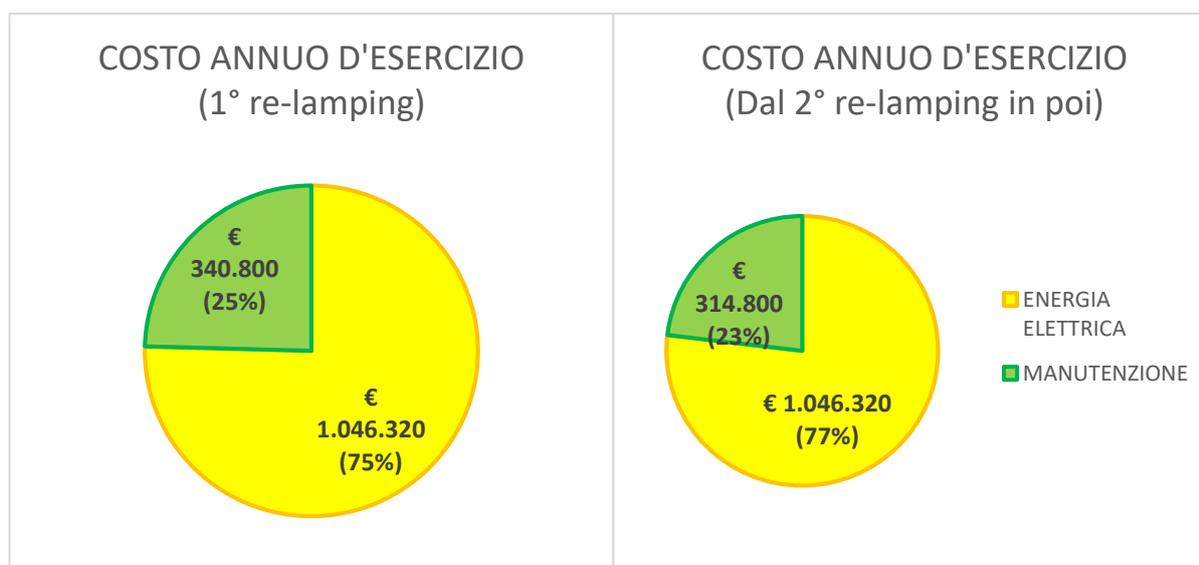


Figura 7.1 – Ripartizione grafica del costo totale annuale d'esercizio per l'impianto di illuminazione fluorescente.

7.2 Costi annuali d'esercizio post operam

Anche per il caso post intervento, si riportano tutte le spese annuali che sono da sostenere nella conduzione dell'impianto, calcolate precedentemente:

		COSTO ANNUO D'ESERCIZIO		
		COSTO ANNUO MANUTENZIONE		COSTO ANNUO ENERGIA
Tipologia		COSTO ANNUO SOSTITUZIONE APPARECCHI	COSTO ANNUO PULIZIA	
		[€/y]	[€/y]	[€/y]
1	2x36W	€ 3.113	€ 43	€ 9.230

		COSTO ANNUO D'ESERCIZIO		
		COSTO ANNUO MANUTENZIONE		COSTO ANNUO ENERGIA
Tipologia		COSTO ANNUO SOSTITUZIONE APPARECCHI	COSTO ANNUO PULIZIA	
		[€/y]	[€/y]	[€/y]
2	2x58W	€ 21.620	€ 0	€ 73.900
3	1x18W	€ 6.130	€ 98	€ 9.710
4	2x18W	€ 5.987	€ 85	€ 8.410
5	2x26W	€ 9.422	€ 123	€ 17.060
6	1x55W	€ 3.739	€ 34	€ 13.250
7	1x55W DALI	€ 55.680	€ 473	€ 138.520
8	2x55W	€ 2.317	€ 38	€ 5.780
9	2x55W 1-10V	€ 3.122	€ 62	€ 7.670
10	4x18W	€ 13.424	€ 237	€ 33.790
11	4x18W 1-10V	€ 200	€ 3	€ 370
12	4x24W	€ 14.368	€ 231	€ 34.080
13	4x24W 1-10V	€ 32.241	€ 414	€ 72.700
14	3x55W 1-10V	€ 2.990	€ 37	€ 4.230
15	4x24W 1-10V	€ 1.070	€ 5	€ 1.320
16	4x54W 1-10V	€ 358	€ 2	€ 440
TOTALE		€ 175.800	€ 1.900	€ 430.460

Tabella 7.3 – Ripartizione costi annuali d'esercizio per ogni apparecchio dell'impianto di illuminazione a LED.

Il costo annuale per l'esercizio dell'impianto si riduce nel caso a LED ed è pari a:

COSTO ANNUO D'ESERCIZIO	
[€/y]	
MANUTENZIONE	€ 177.700
ENERGIA ELETTRICA	€ 430.460
TOTALE	€ 608.160

Tabella 7.4 – Costi totali annuali per l'esercizio dell'impianto di illuminazione a LED.

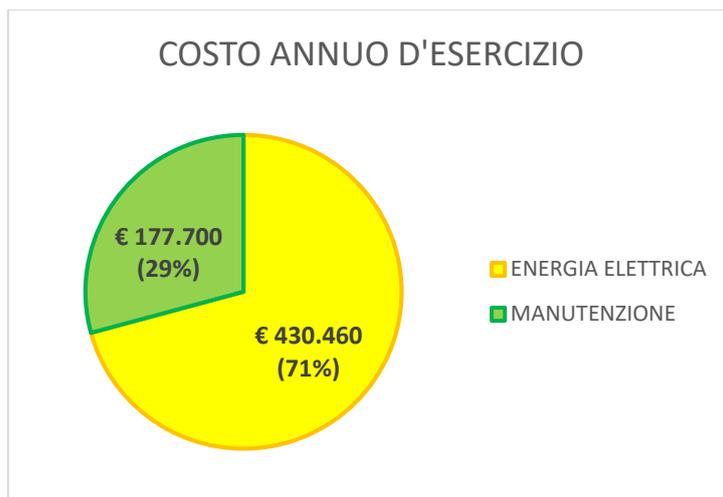


Figura 7.2 - Ripartizione grafica del costo totale annuale d'esercizio per l'impianto di illuminazione a LED.

Si osserva che i costi associati all'energia elettrica sono percentualmente più bassi rispetto al caso precedente, nonostante rappresentino comunque la componente più rilevante.

Questo è dovuto al fatto che, con il cambio fluorescente-LED, i risparmi economici relativi ai costi per il consumo di energia elettrica sono maggiori in percentuale rispetto a quelli per la manutenzione.

7.3 Costi complessivi d'impianto

Dopo aver definito i costi annuali d'esercizio, si è potuto stimare l'andamento dei costi complessivi, anno per anno, per ciascuno scenario di impianto.

Per prima cosa, è stato definito un costo iniziale riferito all'anno "0" (punto di partenza dell'analisi) e pari al costo di investimento sostenuto per ogni configurazione d'impianto:

$$C_0 = \text{Investimento} \quad [€] \quad (7.1)$$

Nel presente studio, l'investimento iniziale è ovviamente presente per il solo caso a LED, in quanto l'impianto fluorescente non è altro che la configurazione ante operam preesistente.

L'investimento che è stato considerato nel caso post operam riguarda solamente la sostituzione della parte di apparecchi già installati. Infatti, come già visto precedentemente (paragrafo 5.2), per la parte di apparecchi ancora da installare è emerso che il costo per l'acquisto e posa dei LED era addirittura minore di quello equivalente per le lampade fluorescenti. Per questo motivo e per vincoli preesistenti con i fornitori, la sostituzione degli apparecchi ancora da installare è stata trattata come semplice proposta di variante tecnologica al contratto già stipulato, senza implicare né benefici economici né costi aggiuntivi (come poi è accaduto realmente alla società esecutrice dei lavori). Per ulteriori approfondimenti in merito, si rimanda nello specifico al paragrafo 5.2.2).

L'investimento iniziale per il caso LED è già stato calcolato in precedenza e viene riportato per completezza:

	Tipologia	Numero totale apparecchi illuminanti	Numero di apparecchi installati	Investimento [€]
1	2x36W	413	78	€ 4.700
2	2x58W	973	44	€ 2.930

	Tipologia	Numero totale apparecchi illuminanti	Numero di apparecchi installati	Investimento [€]
3	1x18W	707	256	€ 13.320
4	2x18W	612	102	€ 5.990
5	2x26W	883	183	€ 11.720
6	1x55W	325	84	€ 7.730
7	1x55W	4543	939	€ 92.070
8	2x55W	254	87	€ 8.730
9	2x55W	346	74	€ 9.350
10	4x18W	1565	210	€ 19.810
11	4x18W	17	13	€ 1.690
12	4x24W	1247	134	€ 13.900
13	4x24	2735	433	€ 56.150
14	3x55W	202	0	€ 0
15	4x24W	36	0	€ 0
16	4x54W	12	0	€ 0
TOTALE				€ 248.000

Tabella 7.5 – Costo totale d’investimento caso post operam (LED).

Dopo aver determinato l’eventuale costo iniziale, è stato stimato l’andamento dei costi complessivi per ogni scenario d’impianto facendo la cumulata, di anno in anno, dei costi relativi alla sua gestione. In particolare, per il generico anno “i” i costi complessivi sono stati calcolati come segue:

$$C_i = C_{i-1} + C_{ESERCIZIO,i} \quad [€/y] \quad (7.2)$$

Dove C_{i-1} è il costo complessivo riferito all’anno precedente e $C_{ESERCIZIO}$ è il costo d’esercizio annuale dell’impianto, comprendente i costi di manutenzione e consumo di energia elettrica:

$$C_{ESERCIZIO,i} = C_{MANUTENZIONE,i} + C_{ENERGIA ELETTRICA,i} \quad [€/y] \quad (7.3)$$

Il costo annuo per la manutenzione $C_{MANUTENZIONE}$, come già visto, è stato calcolato diversamente per i due casi e di seguito si riportano le formule generali utilizzate.

Per il caso **ante operam**:

$$C_{MANUTENZIONE,i} = C_{SOSTITUZ LAMPADE,i} + C_{SOSTITUZ REATTORI,i} + C_{PULIZIA,i} \quad [€/y] \quad (7.4)$$

Dove il costo annuo per la sostituzione delle lampade è diverso a seconda che la prima sostituzione in gruppo sia avvenuta oppure no:

$$C_{SOSTITUZ LAMPADE,i} = C_{1^a SOST} \quad [€/y] \quad se \quad Anno_i \leq Intervallo \ di \ relamping \ [y] \quad (7.5)$$

$$C_{SOSTITUZ LAMPADE,i} = C_{2^a IN POI} \quad [€/y] \quad se \quad Anno_i > Intervallo \ di \ relamping \ [y] \quad (7.6)$$

Il conto è stato effettuato per ogni tipologia di apparecchio siccome ciascuna presenta diversi intervalli di re-lamping.

Per il caso **post operam**:

$$C_{MANUTENZIONE,i} = C_{SOSTITUZ APPARECCHI,i} + C_{PULIZIA,i} \quad [€/y] \quad (7.7)$$

Dove $C_{SOSTITUZ APPARECCHI}$ è il costo per la sostituzione degli interi apparecchi LED quando smettono di emettere una sufficiente quantità di flusso luminoso.

Per quanto riguarda $C_{ENERGIA ELETTRICA}$, in entrambi i casi si è deciso di applicare una percentuale di incremento annuo per tenere in considerazione il trend crescente del prezzo dell'energia. Il costo associato all'energia elettrica consumata per il generico anno "i" è stato calcolato:

$$C_{ENERGIA ELETTRICA,i} = C_{ENERGIA} * (1 + \% \text{ incremento})^{(i-1)} \quad [€/y] \quad (7.8)$$

Infine, sono stati definiti i seguenti parametri caratteristici dell'analisi:

PARAMETRI CARATTERISTICI

Percentuale di incremento annuo del costo dell'energia	2%
Vita utile dell'impianto (durata dell'analisi)	15 anni

Si sono considerati 15 anni di vita utile dell'impianto siccome si ritiene che in tale periodo non siano necessarie né alcuna sostituzione delle plafoniere degli apparecchi fluorescenti, volutamente escluse dall'analisi dei costi di manutenzione ante operam, né alcun tipo di attività considerevoli di rifacimento o riammodernamento dell'impianto, difficili da tenere in conto nel caso studio.

Inoltre, visto la repentina evoluzione tecnologica in ambito illuminotecnico e il continuo calo delle applicazioni "tradizionali", si pensa che tra 15 anni la tecnologia fluorescente potrebbe non essere più utilizzata, uscendo così dal mercato.

Si riporta il calcolo effettuato per ogni tipologia di apparecchio fluorescente dell'impianto, prima per il caso ante operam fluorescente (Tabella 7.6) poi per quello post operam a LED (Tabella 7.7). I costi sono da intendersi in migliaia di €.

ANDAMENTO COSTI COMPLESSIVI CASO ANTE OPERAM

Tipologia	ANNO															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	[k€]															
1 (2x36W)	0	21,4	43,2	65,3	87,9	110,6	133,7	157,2	181,2	205,5	230,2	255,4	281,1	307,1	333,7	360,6
2 (2x58W)	0	179,9	363,1	548,8	737,8	930,3	1.126,3	1.325,9	1.529,2	1.736,1	1.946,9	2.161,5	2.380,1	2.602,8	2.829,6	3.060,5
3 (1x18W)	0	23,8	48,0	71,6	95,5	119,6	144,1	169,0	194,1	219,5	245,3	271,5	297,9	324,8	352,0	379,5
4 (2x18W)	0	37,4	75,3	112,3	149,8	187,7	226,2	265,3	304,8	344,9	385,6	426,8	468,6	511,1	554,1	597,7
5 (2x26W)	0	67,8	136,6	204,3	273,0	342,7	413,5	485,4	558,3	632,3	707,5	783,9	861,4	940,1	1.020,0	1.101,2
6 (1x55W)	0	26,9	54,2	81,5	109,2	137,4	166,1	195,3	224,9	255,1	285,8	316,9	348,7	380,9	413,7	447,1
7 (1x55W)	0	418,9	844,0	1.268,7	1.699,7	2.137,2	2.581,3	3.032,1	3.489,8	3.954,4	4.426,2	4.905,3	5.391,8	5.885,9	6.387,7	6.897,3
8 (2x55W)	0	18,9	38,1	57,6	77,4	97,2	117,3	137,8	158,6	179,7	201,3	223,2	245,4	268,1	291,1	314,6
9 (2x55W)	0	27,6	55,7	84,2	113,1	142,0	171,4	201,2	231,5	262,2	293,5	325,2	357,5	390,3	423,6	457,5
10 (4x18W)	0	141,1	283,9	428,4	568,3	710,1	853,7	999,2	1.146,6	1.295,9	1.447,3	1.600,7	1.756,1	1.913,7	2.073,4	2.235,3
11 (4x18W)	0	1,6	3,2	4,8	6,3	7,9	9,5	11,1	12,8	14,4	16,1	17,8	19,6	21,3	23,1	24,9
12 (4x24W)	0	123,9	249,6	377,4	507,2	639,0	770,9	905,0	1.041,3	1.179,8	1.320,6	1.463,6	1.609,0	1.756,9	1.907,1	2.059,9
13 (4x24W)	0	271,6	547,5	827,7	1.112,3	1.401,4	1.690,8	1.984,9	2.283,8	2.587,5	2.896,2	3.210,0	3.528,9	3.853,1	4.182,6	4.517,7
14 (3x55W)	0	20,4	41,1	62,2	83,6	105,5	127,7	150,3	173,3	196,7	220,4	244,4	268,9	293,9	319,3	345,1
15 (4x24W)	0	3,6	7,3	11,1	14,9	18,7	22,6	26,5	30,5	34,6	38,7	42,9	47,2	51,5	55,9	60,4
16 (4x54W)	0	2,2	4,5	6,8	9,1	11,5	13,9	16,4	18,9	21,4	24,0	26,7	29,3	32,1	34,9	37,7
TOTALE	0	1.387	2.795	4.213	5.645	7.099	8.569	10.062	11.579	13.120	14.686	16.276	17.892	19.533	21.202	22.897

Tabella 7.6 – Calcolo dei costi complessivi d'impianto cumulati nel tempo (caso ante operam).

Tipologia	ANDAMENTO COSTI COMPLESSIVI CASO POST OPERAM															
	ANNO															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 (2x36W)	4,7	17,1	29,7	42,4	55,4	68,5	81,9	95,4	109,2	123,1	137,3	151,7	166,4	181,2	196,3	211,7
2 (2x58W)	2,9	98,5	195,4	294,0	394,0	495,6	598,8	703,7	810,2	918,4	1.028,3	1.140,0	1.253,5	1.368,9	1.486,1	1.605,2
3 (1x18W)	13,3	29,3	45,4	61,7	78,3	95,0	111,9	129,1	146,5	164,1	181,9	200,0	218,3	236,8	255,6	274,7
4 (2x18W)	6,0	20,5	35,1	49,9	64,9	80,1	95,5	111,0	126,7	142,7	158,8	175,1	191,6	208,4	225,3	242,5
5 (2x26W)	11,7	38,3	65,3	92,6	120,2	148,2	176,6	205,4	234,5	264,0	294,0	324,3	355,1	386,2	417,9	449,9
6 (1x55W)	7,7	24,8	42,0	59,6	77,4	95,5	113,9	132,6	151,6	170,9	190,5	210,5	230,7	251,3	272,2	293,5
7 (1x55W)	92,1	286,7	484,2	684,5	887,6	1.093,7	1.302,8	1.514,9	1.730,2	1.948,7	2.170,4	2.395,4	2.623,8	2.855,6	3.090,9	3.329,9
8 (2x55W)	8,7	16,9	25,1	33,5	42,0	50,6	59,3	68,2	77,2	86,3	95,6	105,0	114,5	124,2	134,0	144,0
9 (2x55W)	9,4	20,2	31,2	42,4	53,7	65,2	76,8	88,7	100,7	112,8	125,2	137,7	150,4	163,3	176,4	189,7
10 (4x18W)	19,8	67,3	115,4	164,2	213,7	264,0	314,9	366,6	419,1	472,4	526,4	581,3	636,9	693,4	750,8	809,1
11 (4x18W)	1,7	2,3	2,8	3,4	4,0	4,6	5,2	5,9	6,5	7,1	7,8	8,4	9,1	9,8	10,4	11,1
12 (4x24W)	13,9	62,6	111,9	162,0	212,8	264,2	316,5	369,5	423,2	477,7	533,1	589,2	646,2	704,0	762,7	822,2
13 (4x24W)	56,2	161,5	268,3	376,6	486,4	597,8	710,7	825,2	941,4	1.059,2	1.178,7	1.300,0	1.423,1	1.547,9	1.674,6	1.803,2
14 (3x55W)	0,0	7,3	14,6	22,0	29,5	37,1	44,8	52,6	60,5	68,5	76,6	84,8	93,1	101,4	109,9	118,6
15 (4x24W)	0,0	2,4	4,8	7,3	9,7	12,2	14,8	17,3	19,9	22,6	25,2	27,9	30,6	33,4	36,1	39,0
16 (4x54W)	0,0	0,8	1,6	2,4	3,3	4,1	4,9	5,8	6,7	7,5	8,4	9,3	10,2	11,1	12,1	13,0
TOTALE	248	856	1.473	2.098	2.733	3.377	4.029	4.692	5.364	6.046	6.738	7.441	8.153	8.877	9.612	10.357

Tabella 7.7 – Calcolo dei costi complessivi d'impianto cumulati nel tempo (caso post operam).

I valori dei costi complessivi riferiti alla totalità dell'impianto nei due diversi scenari sono stati plottati sullo stesso grafico e confrontati:

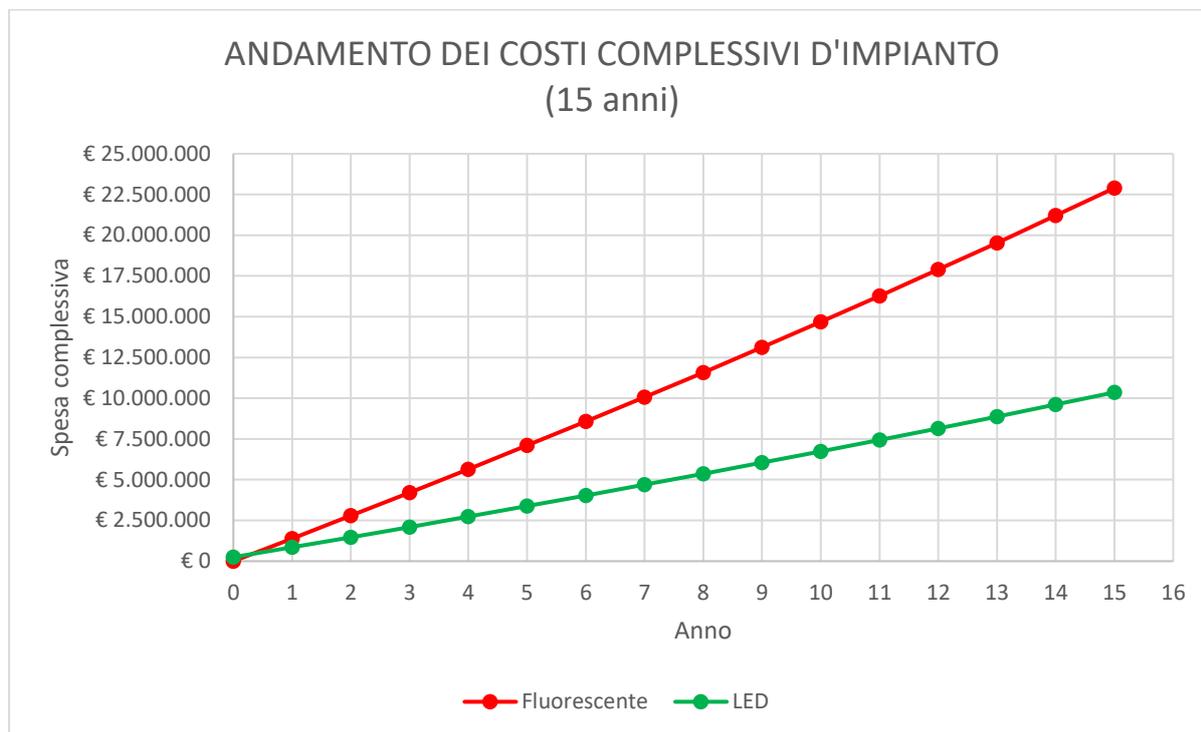


Figura 7.3 - Evoluzione dei costi complessivi impianto fluorescente-LED a confronto su un periodo di 15 anni.

Rispetto agli ordini di grandezza riportati nel grafico, l'investimento iniziale di 248.000 euro per l'impianto a LED è quasi impercettibile. Nel seguito, si riporta lo stesso andamento dei costi complessivi di sopra zoomato e riferito ai primi 3 anni di funzionamento dell'impianto:

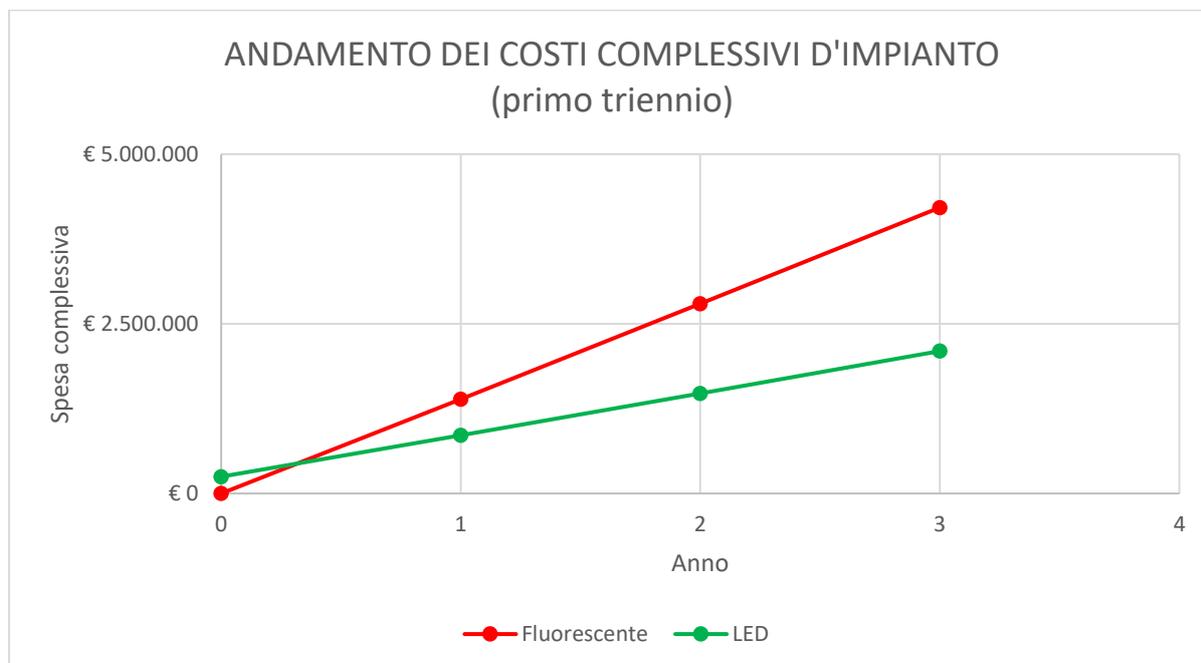


Figura 7.4 - Evoluzione dei costi complessivi impianto fluorescente-LED a confronto sul primo triennio.

Si nota immediatamente che a fronte di un basso esborso economico, l'impianto configurato con i LED garantisce un notevole risparmio rispetto a quello fluorescente.

Al termine dei 15 anni il costo complessivo è più che dimezzato e si passa da 22,9 milioni di euro a poco più di 10,3 ottenendo un risparmio economico totale oltre i 12 milioni di euro.

Il valore del periodo di ritorno economico è molto basso ed è inferiore ai 6 mesi. Le cause principali sono:

- Elevati risparmi economici dati dalla totalità dell'impianto e dovuti a una minor consumo di energia e minori costi manutentivi.
- Basso costo d'investimento, se paragonato all'entità dell'intervento di sostituzione. Infatti, per passare da uno scenario all'altro, è bastata la sostituzione dei soli apparecchi già installati (costituenti il 17,7% del totale). La sostituzione degli apparecchi da installare non ha comportato extra-costi perché è stato sufficiente proporre una variante al contratto in essere con i fornitori. Tale considerazione è quella che più si avvicina a quanto successo realmente all'azienda esecutrice dei lavori all'ospedale di Alba-Bra.

Quindi, mentre i benefici economici sono stati calcolati per tutti gli apparecchi dell'impianto, per il costo d'investimento sono stati considerati solamente quelli precedentemente installati.

Applicando quanto fatto finora al caso teorico in cui tutti gli apparecchi dell'impianto erano già stati installati, il costo d'investimento passerebbe da 248.000 € a 1.482.000 € e l'andamento dei costi complessivi diventerebbe:

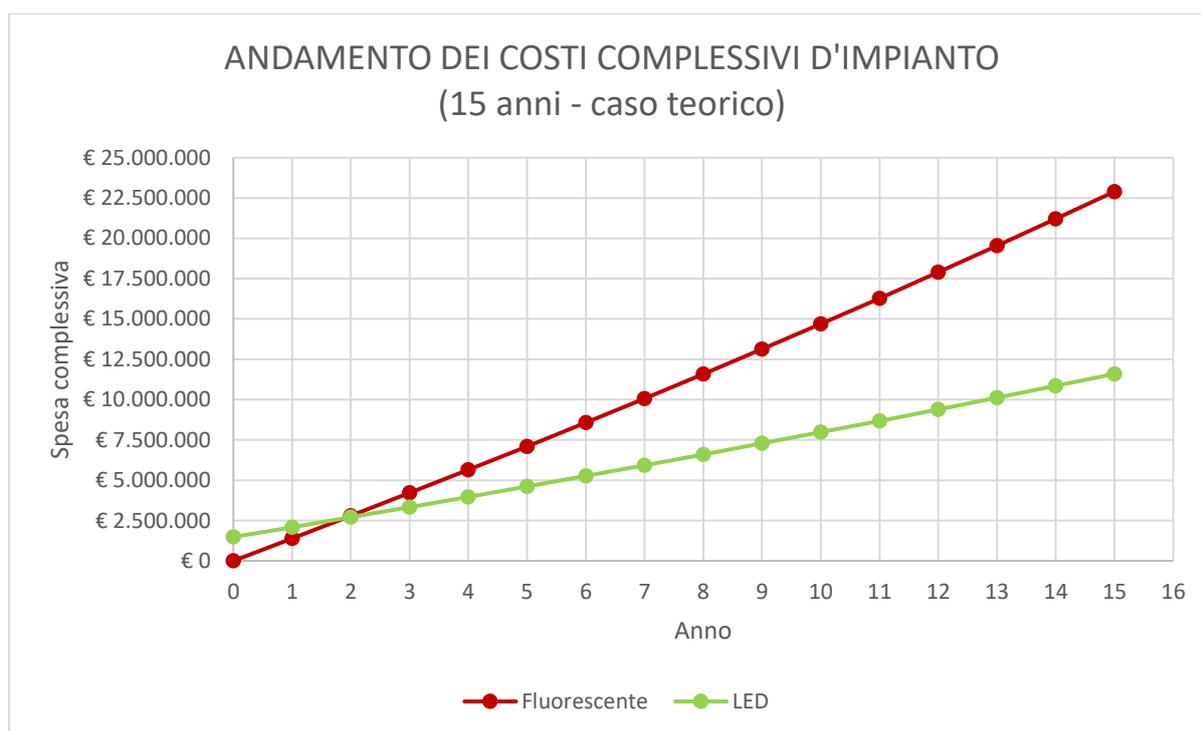


Figura 7.5 - Evoluzione dei costi complessivi impianto fluorescente-LED a confronto su un periodo di 15 anni (caso teorico).

Il periodo di ritorno dell'investimento sarebbe intorno ai 2 anni. Tale valore è minore rispetto a quello equivalente calcolato nell'analisi di risparmio energetico (2,4 anni) poiché in questo caso si aggiungono anche i risparmi annui dovuti alla manutenzione.

Tornando al caso reale, dai calcoli sui costi di esercizio si sono ottenuti un risparmio annuo percentuale sulla manutenzione che oscilla tra il 44% e il 48% e sul consumo di energia elettrica poco inferiore del 60%, i quali generano un risparmio complessivo del 55%.

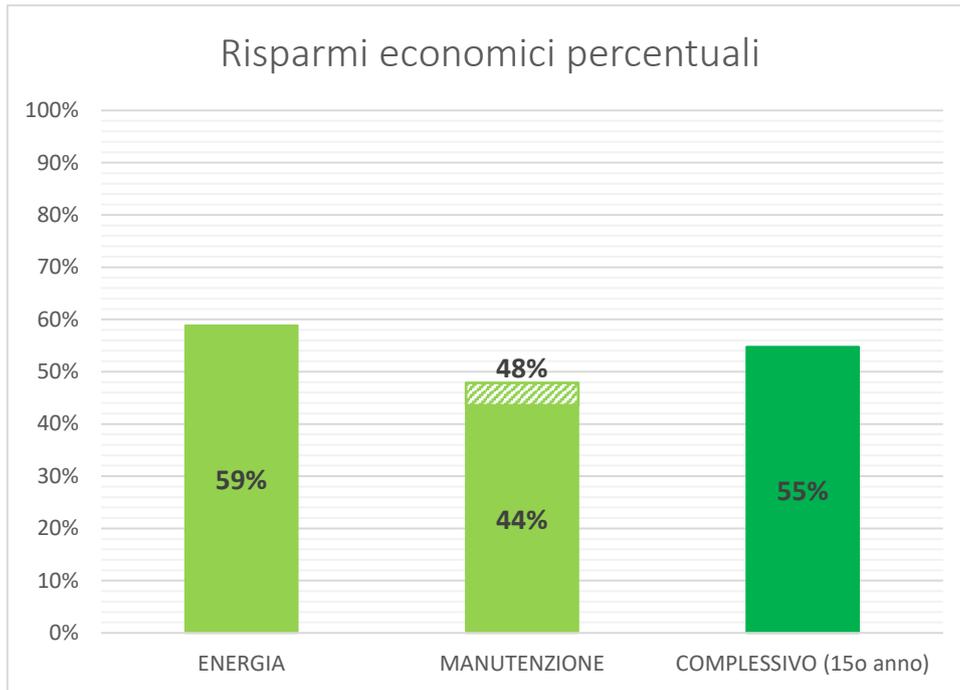


Figura 7.6 – Percentuali di risparmio economico tra i due scenari d’impianto.

Dunque, si può affermare che la sostituzione degli apparecchi a LED è un intervento di ottimizzazione che porta notevoli risparmi sia a livello energetico che manutentivo ed è in grado di garantire benefici economici e di ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera.

Nel seguito, come verifica ultima, si confronteranno i due scenari anche dal punto di vista illuminotecnico per verificare che non vi siano discostamenti nella qualità dell’illuminamento degli ambienti.

Si ricorda, infatti, che l’intervento di efficienza energetica è tale se e solo se garantisce una riduzione dei costi/consumi a parità di output fornito.

8 Analisi e confronto illuminotecnico

Si premette che, solitamente, questo tipo di analisi viene svolta al momento della verifica di idoneità tecnica dei prodotti offerti, a monte dei calcoli di risparmio economico.

Nel caso in esame, è stata effettuata a posteriori siccome i prodotti LED erano già stati tecnicamente approvati dall'azienda responsabile dell'esecuzione dei lavori. Di conseguenza, il presente studio è a completamento di quanto fatto in precedenza.

Attraverso il software DIALux³², è stata fatta la simulazione del funzionamento degli apparecchi in alcuni ambienti-tipo della struttura.

Gli ambienti considerati sono tipologie di locali caratteristiche degli ospedali e vengono elencati nel seguito:

- Ambulatorio
- Corridoio
- Degenza
- Sala operatoria
- Studio medico

Lo scopo è quello di rilevare eventuali differenze e di verificare che i valori di illuminamento, soprattutto per il caso a LED, rispettino quelli richiesti dalla normativa.

L'analisi, riportata nel seguito, parte dall'analisi dello spazio fisico per ogni tipologia di locale (piante, 3D, tipi di attività svolte), per poi passare ai requisiti illuminotecnici da garantire per normativa e alla descrizione dell'impianto di illuminazione nelle due configurazioni.

Per concludere, viene riportato il confronto tra i risultati nei due scenari e con i valori indicati dalla norma.

8.1 Analisi dello spazio fisico

Per ogni tipologia di locale, si riporta la planimetria, la vista tridimensionale, le dimensioni caratteristiche e i coefficienti di riflessione delle pareti. Inoltre, si indicano le attività/funzioni tipicamente svolte.

³² DIALux è uno dei software più comunemente utilizzati per la progettazione di impianti di illuminazione.

Ambulatorio

Planimetria, disposizione oggetti, vista 3D, dimensioni caratteristiche e coefficienti di riflessione:

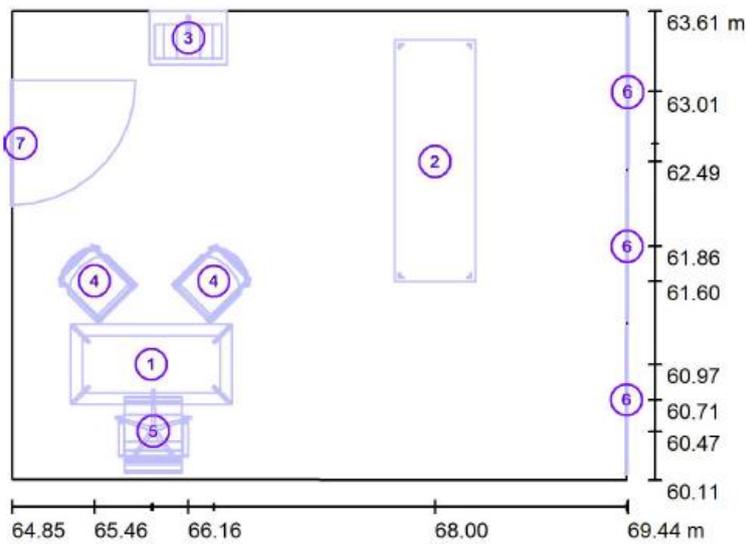
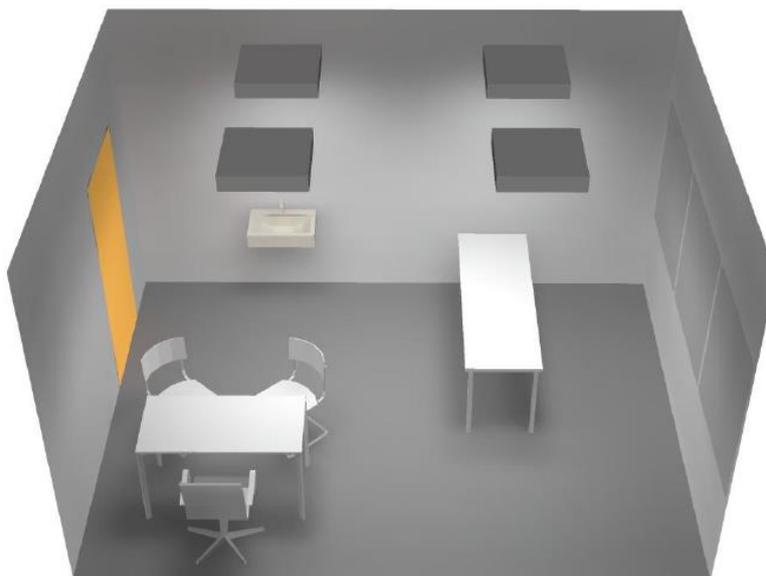


Figura 8.1 – Planimetria locale e disposizione oggetti.

LISTA OGGETTI

No.	Pezzi	Denominazione
1	1	Scrivania 120x60
2	1	Lettino 180x60
3	1	Lavabo
4	2	Sedia a sbalzo
5	1	Sedia girevole
6	3	Finestra
7	1	Porta



**GRANDEZZE
CARATTERISTICHE**

Lunghezza X	4.59 m
Larghezza Y	3.50 m
Altezza Z	2.78 m
Area	16.04 m ²
FM	0.80

COEFF. RIFLESSIONE

Pavimento	30%
Soffitto	70%
Pareti	50%

Figura 8.2 – Rendering 3D della stanza.

Attività svolte: dialogo con pazienti, lettura e scrittura (scrivania), visita medica.

Corridoio

Planimetria, vista 3D, dimensioni caratteristiche e coefficienti di riflessione:

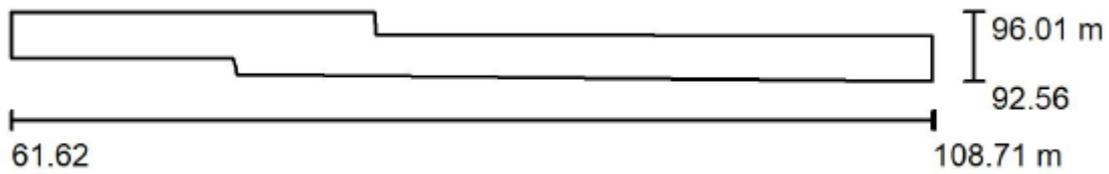


Figura 8.3 - Planimetria locale.

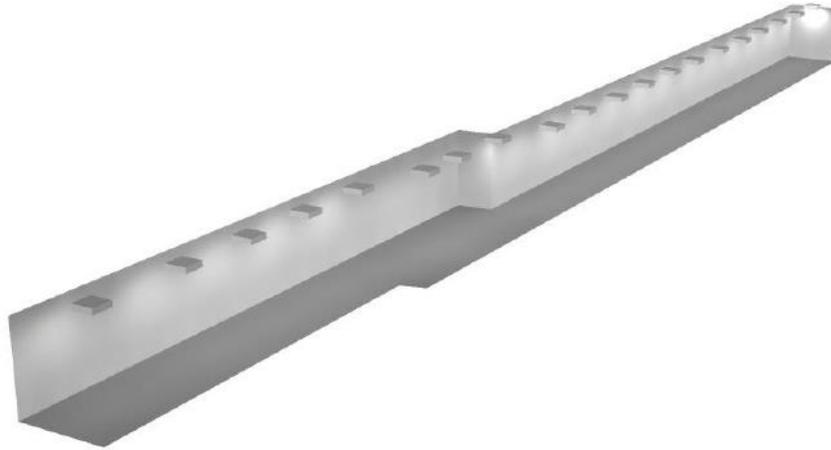


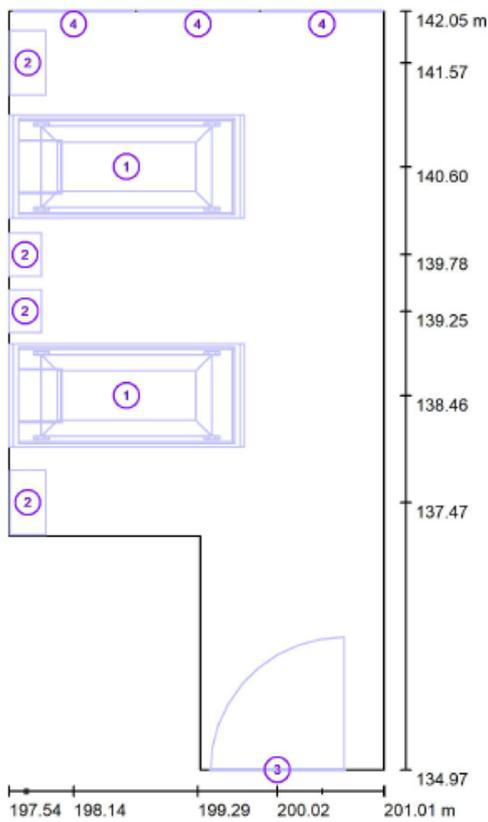
Figura 8.4 - Rendering 3D della stanza.

GRANDEZZE CARATTERISTICHE	
Lunghezza X	47.09 m
Larghezza Y	3.45 m
Altezza Z	2.40 m
Area	109.62 m ²
FM	0.80
COEFF. RIFLESSIONE	
Pavimento	30%
Soffitto	70%
Pareti	50%

Attività svolte: area di passaggio (circolazione) diurna e notturna.

Degenza

Planimetria, disposizione oggetti, vista 3D, dimensioni caratteristiche e coefficienti di riflessione:



LISTA OGGETTI		
No.	Pezzi	Denominazione
1	2	Letto d'ospedale
2	4	Comodino
3	1	Porta
4	3	Finestra

GRANDEZZE CARATTERISTICHE	
Lunghezza X	3.48 m
Larghezza Y	7.08 m
Altezza Z	2.80 m
Area	20.73 m ²
FM	0.80
COEFF. RIFLESSIONE	
Pavimento	30%
Soffitto	70%
Pareti	50%

Figura 8.5 - Planimetria locale e disposizione oggetti.

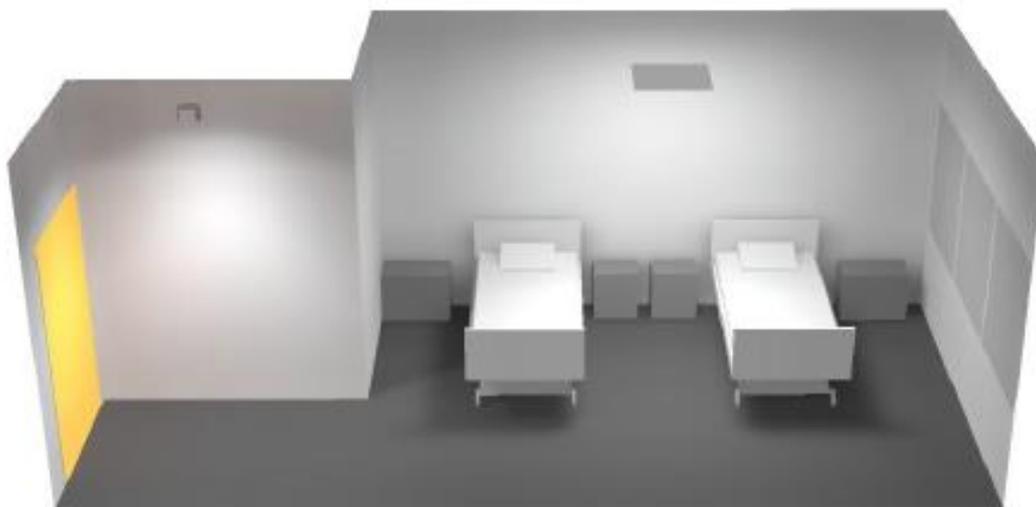


Figura 8.6 - Rendering 3D della stanza.

Attività svolte: riposo, lettura e scrittura, visite mediche, dialogo con personale.

Sala operatoria

Planimetria, disposizione oggetti, vista 3D, dimensioni caratteristiche e coefficienti di riflessione:

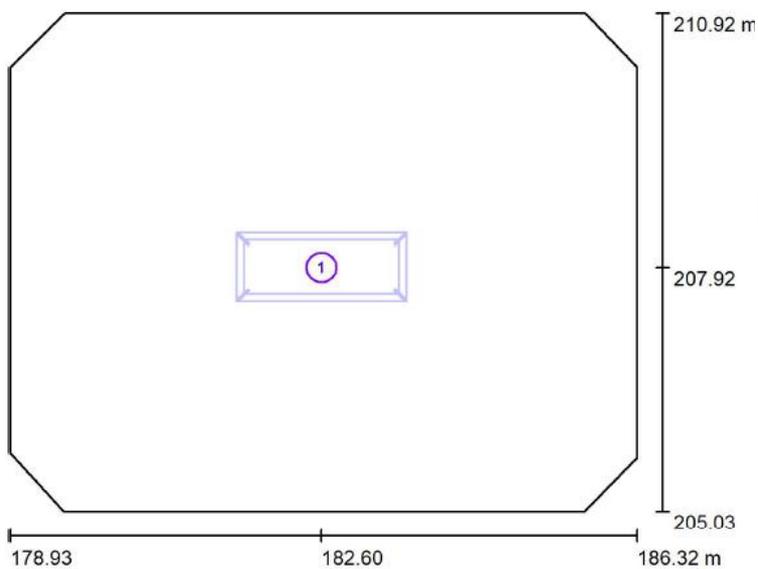


Figura 8.7 - Planimetria locale e disposizione oggetti.

LISTA OGGETTI

No.	Pezzi	Denominazione
1	1	Tavolo operatorio 200x80

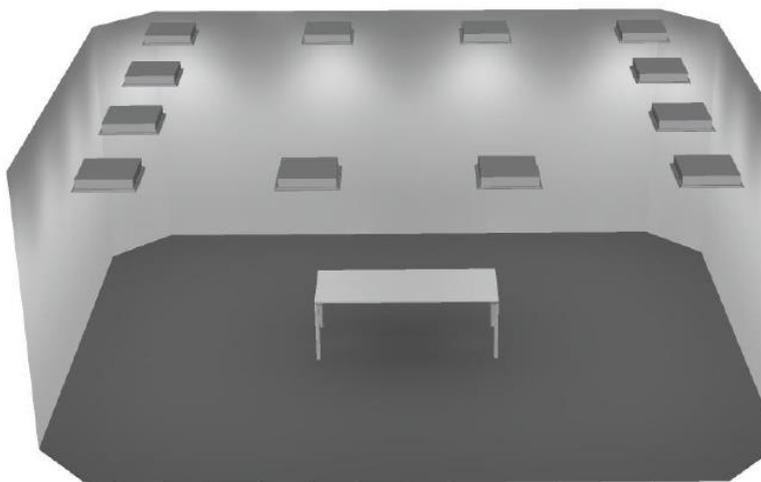


Figura 8.8 - Rendering 3D della stanza.

GRANDEZZE CARATTERISTICHE

Lunghezza X	7.40 m
Larghezza Y	5.89 m
Altezza Z	3.00 m
Area	42.74 m ²
FM	0.80
COEFF. RIFLESSIONE	
Pavimento	30%
Soffitto	70%
Pareti	50%

Attività svolte: interventi chirurgici.

Studio medico

Planimetria, disposizione oggetti, vista 3D, dimensioni caratteristiche e coefficienti di riflessione:

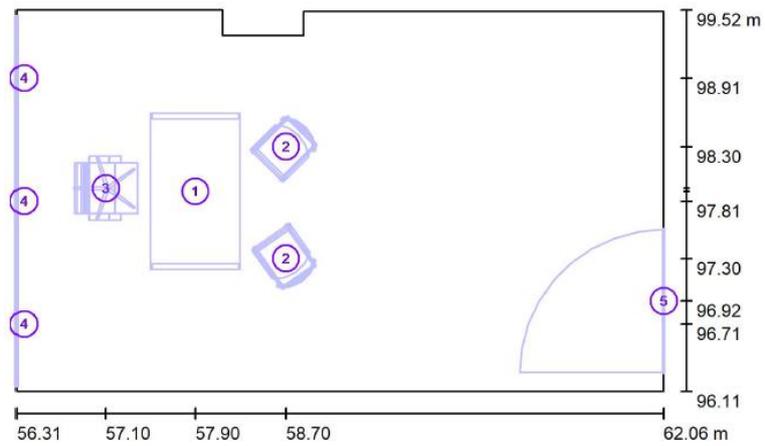


Figura 8.9 - Planimetria locale e disposizione oggetti.

LISTA OGGETTI

No.	Pezzi	Denominazione
1	1	Scrivania 140x80
2	2	Sedia a sbalzo
3	1	Sedia girevole
4	3	Finestra
5	1	Porta

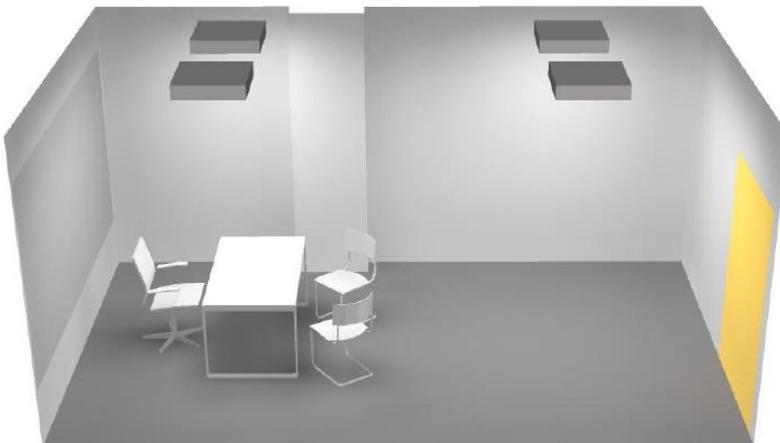


Figura 8.10 - Rendering 3D della stanza.

GRANDEZZE CARATTERISTICHE

Lunghezza X	5.75 m
Larghezza Y	3.41 m
Altezza Z	2.70 m
Area	19.40 m ²
FM	0.80

COEFF. RIFLESSIONE

Pavimento	30%
Soffitto	70%
Pareti	50%

Attività svolte: dialogo con pazienti, lettura e scrittura.

8.2 Requisiti illuminotecnici

I parametri illuminotecnici da rispettare per ambienti interni sono indicati dalla normativa UNI EN 12464-1 (*Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1: posti di lavoro in interni*), la quale fornisce i valori a seconda del settore lavorativo, tipo di ambiente e compito visivo che è comunemente richiesto.

Per una corretta illuminazione è necessario soddisfare 3 esigenze fondamentali: comfort visivo, prestazione visiva e la sicurezza. La UNI EN 12464-1 definisce una serie di parametri fondamentali per soddisfare tali necessità, i quali sono caratteristici dell'ambiente luminoso:

- Distribuzione delle luminanze
- Illuminamento medio mantenuto
- Illuminamento delle zone circostanti al compito
- Abbagliamento molesto
- Apparenza del colore (Temperatura di colore correlata)
- Resa cromatica del colore
- Fattore di manutenzione

Per semplicità di trattazione, tra i requisiti illuminotecnici si riportano soltanto i valori di illuminamento medio, i quali sono stati reperiti direttamente dalla UNI EN 12464-1 e dal “*Manuale illuminotecnico pratico*” di Zumtobel (che fa comunque riferimento alla UNI EN 12464-1).

Nella seguente tabella si indicano, per ogni locale-tipo del caso in esame, i valori di illuminamento medio mantenuto da garantire:

VALORI DI ILLUMINAMENTO MEDIO MANTENUTO		
Ambiente tipo	Attività	E _m [lux]
Ambulatorio	Visite semplici (sul letto)	300
	Visite con terapie (sul letto)	1000
	Ufficio personale (scrivania)	500
Corridoio	Durante il giorno	200
	Durante la notte	50
Degenza	Illuminazione generale (pavimento)	100
	Illuminazione di lettura	300
	Visite mediche semplici	300
	Visite mediche con terapie	1000
Sala operatoria	Sala operatoria	1000
	Area operatoria	10000 - 100000
Studio medico	Ufficio personale	500

Tabella 8.1 – Requisiti di illuminamento medio mantenuto per ogni tipologia di locale. Fonti: (UNI, 2011) e (Zumtobel, 2018).

8.3 Impianto di illuminazione

Nel seguito si descrive l'impianto di illuminazione che è stato previsto per ogni tipologia di ambiente. Si riporta la disposizione in pianta, la vista laterale 3D (per mostrare il tipo di montaggio) e la descrizione degli apparecchi di illuminazione nelle due configurazioni impiantistiche (ANTE = fluorescente; POST = LED). Si segnala che in alcuni locali non è stata considerata la presenza di alcuni corpi illuminanti (travi testa-letto, lampade scialitiche per sale operatorie, lampade da scrivania e lampade da terra) in quanto non rientranti tra gli apparecchi coinvolti nella sostituzione e, per questo motivo, non oggetto della presente analisi.

Ambulatorio

Disposizione in pianta e descrizione della tipologia di apparecchio nei due scenari d'impianto:

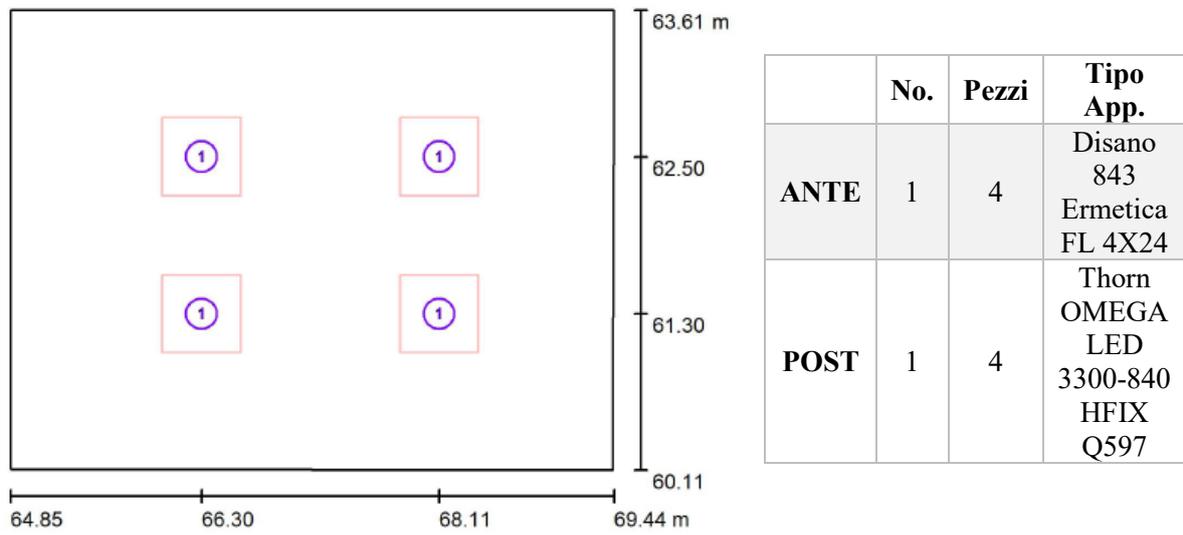


Figura 8.11 – Disposizione in pianta degli apparecchi di illuminazione.

Vista laterale 3D del locale nei due casi:



Figura 8.12 – Vista laterale 3D (ANTE).

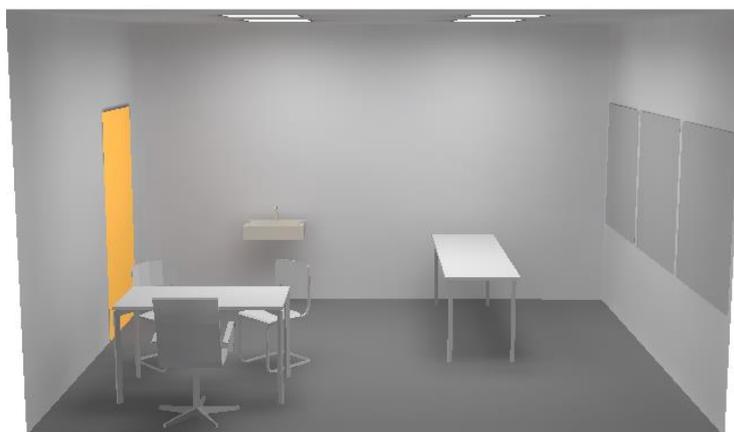


Figura 8.13 – Vista laterale 3D (POST).

Corridoio

Disposizione in pianta e descrizione della tipologia di apparecchio nei due scenari d’impianto:

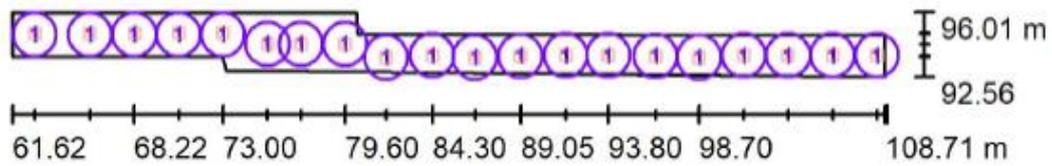


Figura 8.14 – Disposizione in pianta degli apparecchi di illuminazione.

	No.	Pezzi	Tipo Apparecchio
ANTE	1	20	3FFilippi L371x55 C HF ³³
POST	1	20	Thorn OMEGA LED 3300-840 HFIX Q597

Vista frontale 3D del locale nei due casi:

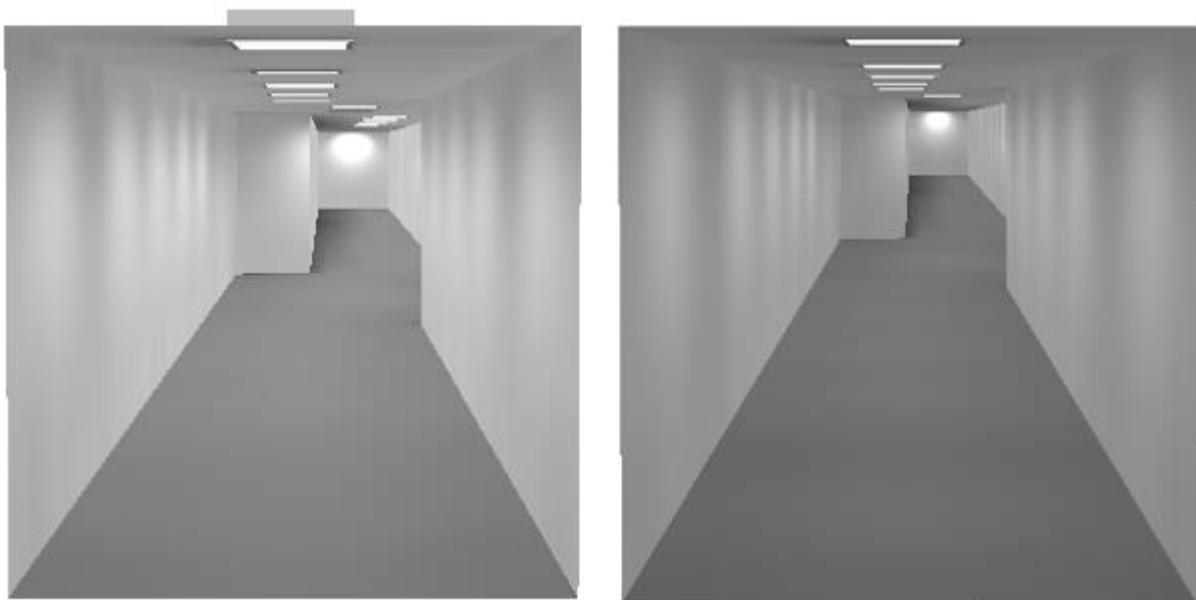
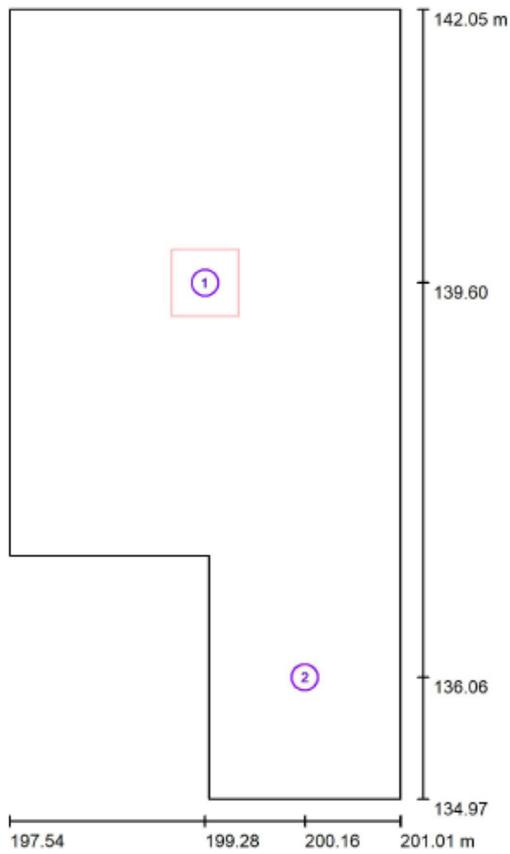


Figura 8.15 – Vista frontale 3D del corridoio: a sinistra il caso ANTE, a destra il caso POST.

³³ Apparecchio analogo a quello realmente utilizzato Disano Gabbiano 808 1x55 (non presente su DIALux).

Degenza

Disposizione in pianta e descrizione della tipologia di apparecchio nei due scenari d'impianto:



	No.	Pezzi	Tipo Apparecchio
ANTE	1	1	Disano 808 Gabbiano FLC 2X55
	2	1	Disano Office 3-65° FLC 2X18
POST	1	1	Thorn OMEGA LED 3300-840 HF Q597
	2	1	Thorn CHAL 150 LED1400-840 HF RSB

Figura 8.16 - Disposizione in pianta degli apparecchi di illuminazione.

Vista laterale 3D del locale nei due casi:



Figura 8.17 - Vista laterale 3D (ANTE).



Figura 8.18 - Vista laterale 3D (POST).

Sala operatoria

Disposizione in pianta e descrizione della tipologia di apparecchio nei due scenari d'impianto:

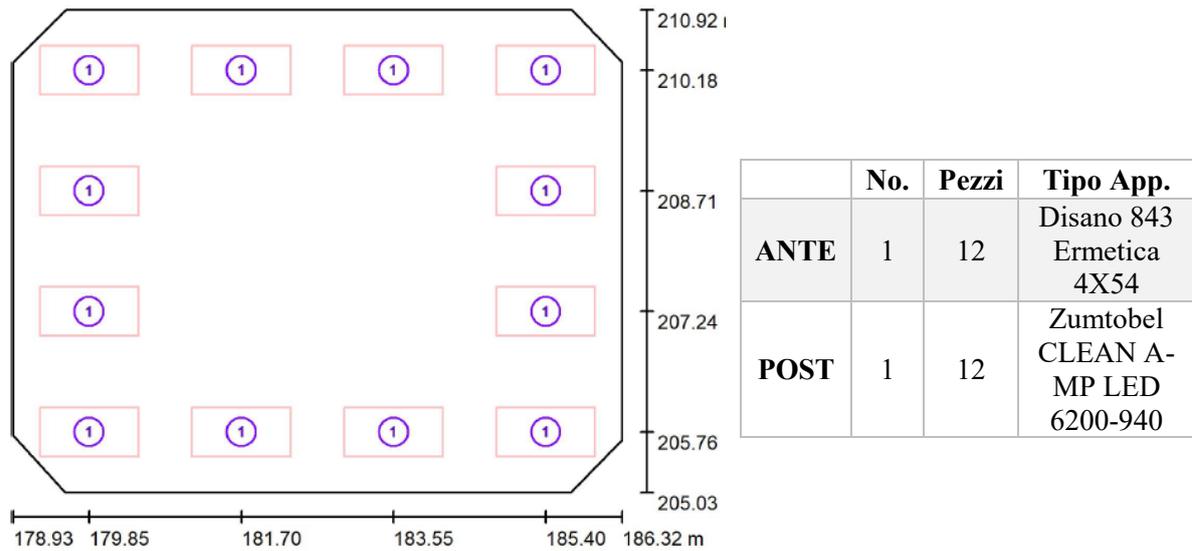


Figura 8.19 - Disposizione in pianta degli apparecchi di illuminazione.

Vista laterale 3D del locale nei due casi:



Figura 8.20 - Vista laterale 3D (ANTE).

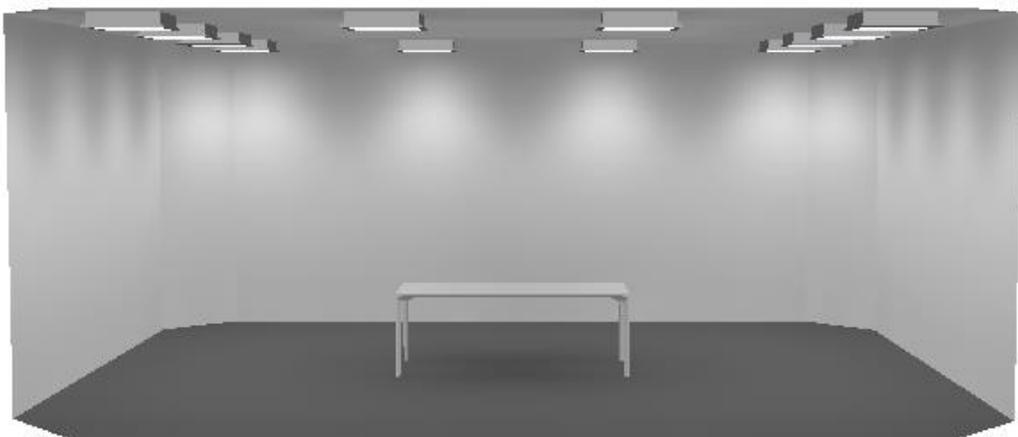


Figura 8.21 - Vista laterale 3D (POST).

Studio medico

Disposizione in pianta e descrizione della tipologia di apparecchio nei due scenari d'impianto:

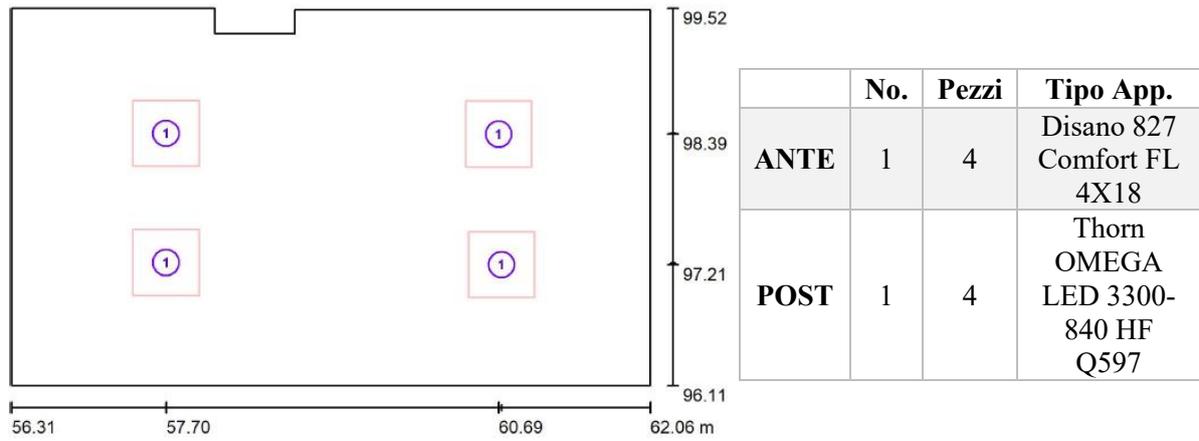


Figura 8.22 - Disposizione in pianta degli apparecchi di illuminazione.

Vista laterale 3D del locale nei due casi:

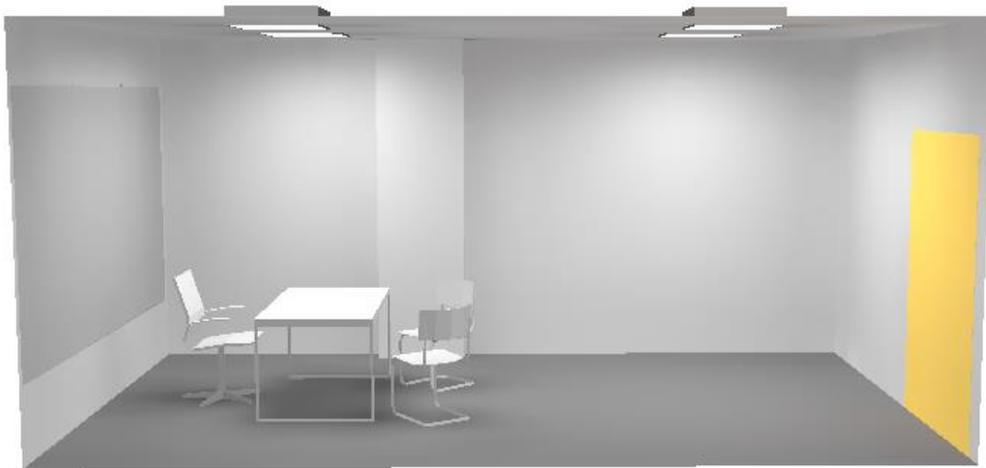


Figura 8.23 - Vista laterale 3D (ANTE).



Figura 8.24 - Vista laterale 3D (POST).

8.4 Confronto risultati illuminotecnici

Si riportano i risultati del calcolo illuminotecnico simulato con DIALux, il confronto tra gli scenari d'impianto mediante rappresentazione 3D in colori sfalsati dell'illuminamento degli ambienti e la verifica dei requisiti normativi.

Ambulatorio

Disposizione delle superfici di calcolo:

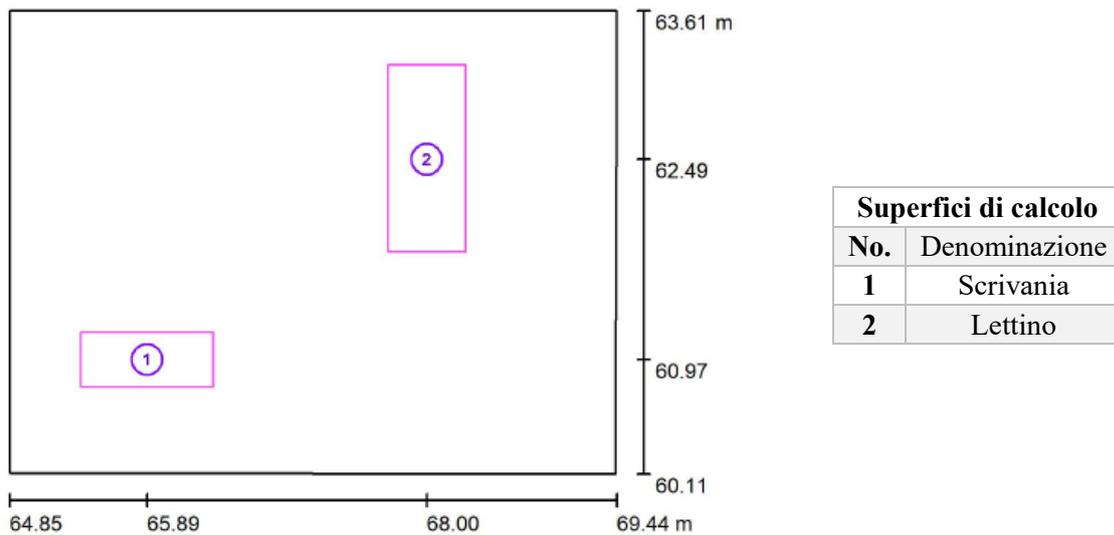


Figura 8.25 – Disposizione in pianta delle superfici di calcolo.

Risultati illuminotecnici caso ANTE operam (impianto fluorescente):

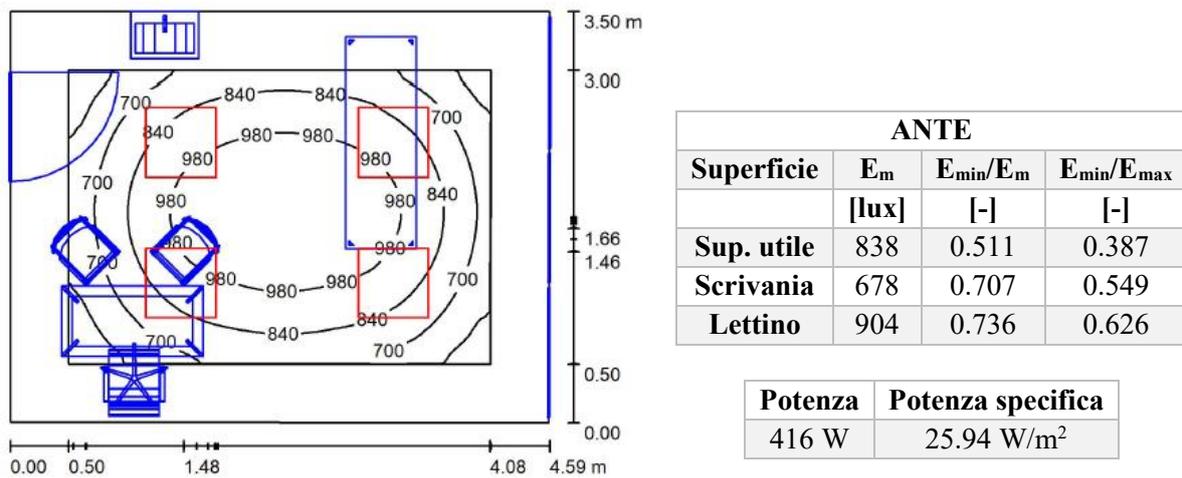


Figura 8.26 – Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

Risultati illuminotecnici caso POST operam (impianto LED):

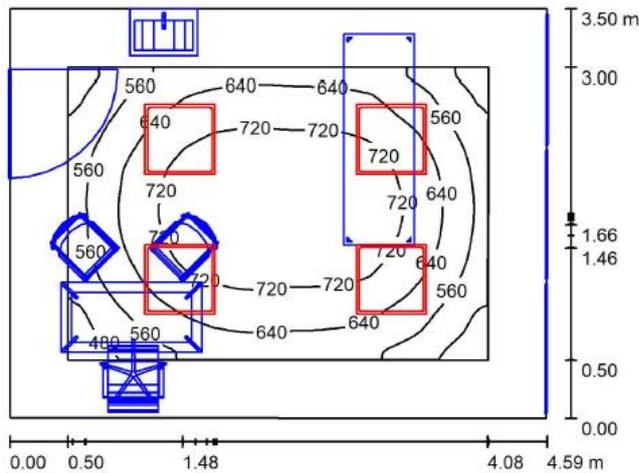


Figura 8.27 – Rappresentazione isolinee (illuminazione costante) in pianta.

POST			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	648	0.643	0.526
Scrivania	564	0.803	0.677
Lettino	684	0.798	0.706

Potenza	Potenza specifica
142.8 W	8.91 W/m ²

Confronto dell'illuminamento dei locali mediante rappresentazione 3D in colori sfalsati (*false color*):

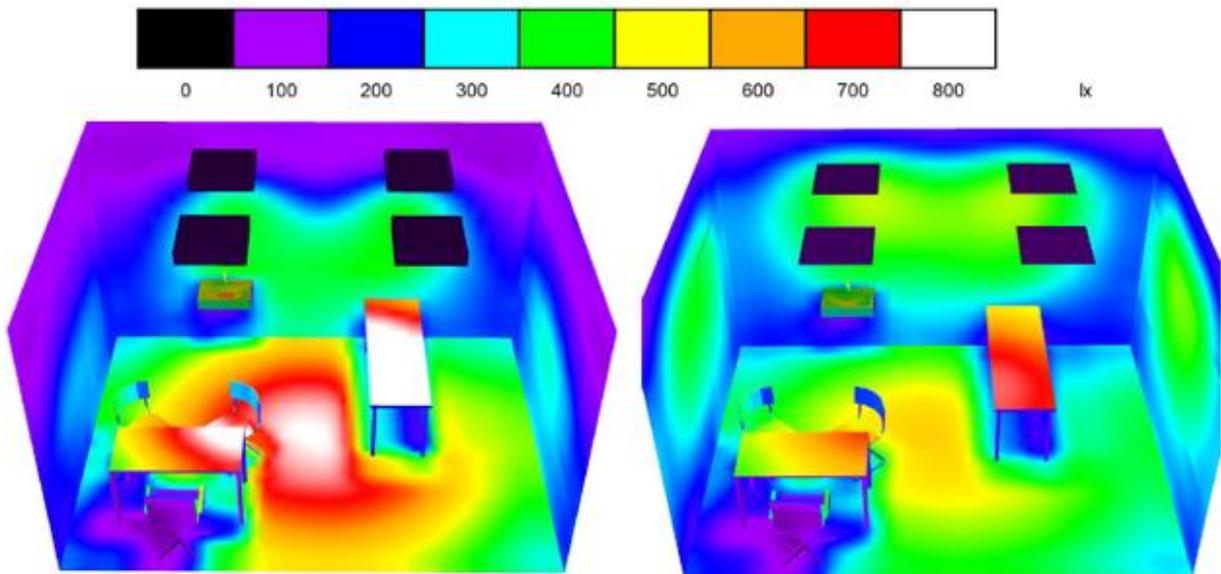


Figura 8.28 – Rappresentazione 3D a colori sfalsati dell'illuminamento dell'ambulatorio nei due diversi casi: ANTE intervento a sinistra, POST intervento a destra.

Confronto con normativa: nel caso pre intervento, i valori di illuminamento sono molto maggiori rispetto a quelli richiesti da normativa. Sulla scrivania vi sono 678 lux contro i 500 lux richiesti, mentre sul lettino ben 904 lux contro i 300 lux richiesti durante le visite semplici. Si sottolinea che sul lettino i 1000 lux per visite con terapie sono raggiungibili mediante apparecchi sia appositi che non, tipo quelli da terra, non previsti nel presente progetto illuminotecnico ma facilmente integrabili.

Nel caso post intervento i valori di illuminamento sono inferiori ma garantiscono comunque i requisiti: 564 lux sulla scrivania e 684 lux sul lettino. Il discorso sull'illuminamento per visite specialistiche è analogo al caso precedente.

Confronto scenari: dalla rappresentazione in false color si nota che, mentre l'impianto fluorescente (a sinistra) fornisce un flusso luminoso più intenso ma più localizzato, l'impianto a LED sembra

distribuirlo in maniera più uniforme. Nel caso ante operam, alcune aree risultano eccessivamente illuminate (con valori di illuminamento a terra che superano 800 lux) e molto probabilmente potrebbe essere necessaria la dimmerazione degli apparecchi.

Nel caso post operam l'illuminamento è più diffuso (basta osservare come vengono illuminate le pareti rispetto al caso precedente) e i valori sono più contenuti ma comunque in linea, come visto, con i requisiti normativi. Inoltre, tra le due configurazioni impiantistiche si passa da una potenza specifica di 25.94 W/m² con gli apparecchi fluorescenti a 8.91 W/m² con quelli a LED.

Corridoio

Risultati illuminotecnici caso ANTE operam (impianto fluorescente):

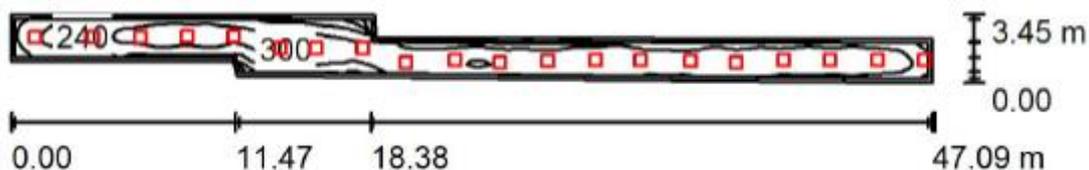


Figura 8.29 - Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

ANTE			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	268	0.595	0.516

Potenza	Potenza specifica
1200 W	10.95 W/m ²

Risultati illuminotecnici caso POST operam (impianto LED):

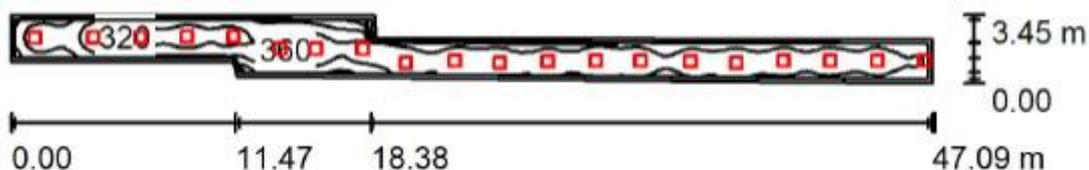


Figura 8.30 - Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

POST			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	315	0.595	0.510

Potenza	Potenza specifica
546 W	4.98 W/m ²

Confronto dell'illuminamento dei locali mediante rappresentazione 3D in colori sfalsati (*false color*):

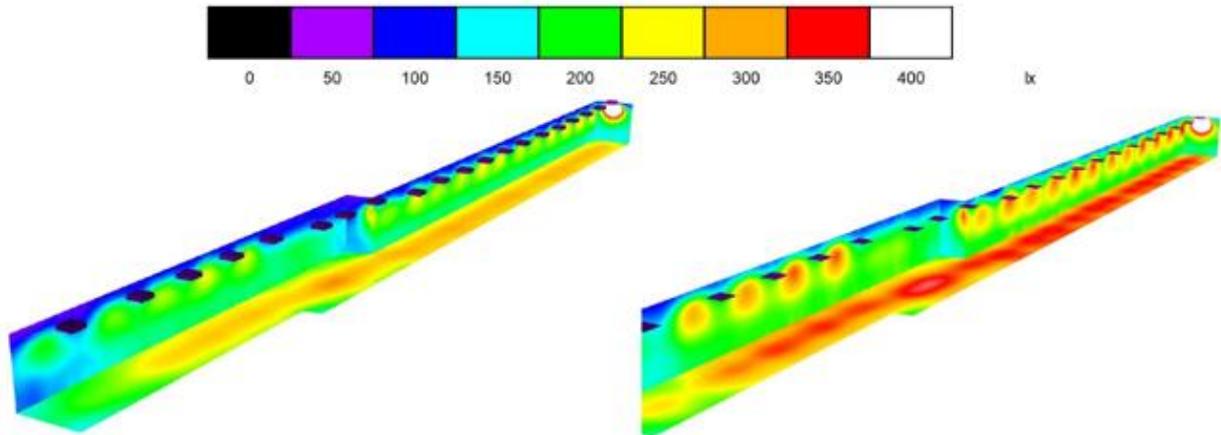


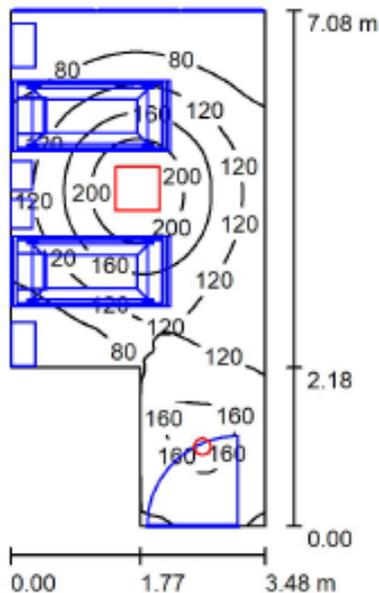
Figura 8.31 - Rappresentazione 3D a colori sfalsati dell'illuminamento del corridoio nei due diversi casi: ANTE intervento a sinistra, POST intervento a destra.

Confronto con normativa: entrambi i casi, ante e post intervento, garantiscono i requisiti normativi per l'illuminamento del corridoio che sono pari a 200 lux di giorno e 50 lux di notte. L'impianto fluorescente fornisce 268 lux mentre quello a LED 315 lux.

Confronto scenari: questa volta è l'impianto a LED a fornire un illuminamento eccessivo rispetto a quanto richiesto da normativa e dovrà necessitare di maggiore dimmerazione. Tuttavia, si fa notare che circa la metà degli apparecchi è programmata per il funzionamento d'emergenza e, in entrambi i casi, è stata effettuata la simulazione con l'impianto totalmente acceso e nella realtà alcuni apparecchi potrebbero non essere accesi durante il normale funzionamento.

Degenza

Risultati illuminotecnici caso ANTE operam (impianto fluorescente):

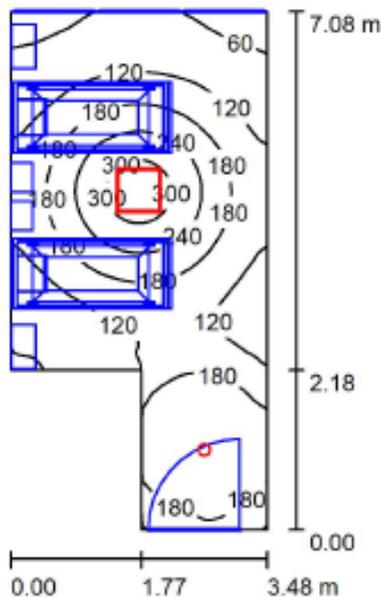


ANTE			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	124	0.330	0.172

Potenza	Potenza specifica
132.7 W	6.40 W/m ²

Figura 8.32 - Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

Risultati illuminotecnici caso POST operam (impianto LED):



POST			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	157	0.287	0.137

Potenza	Potenza specifica
48 W	2.32 W/m ²

Figura 8.33 - Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

Confronto dell'illuminamento dei locali mediante rappresentazione 3D in colori sfalsati (*false color*):

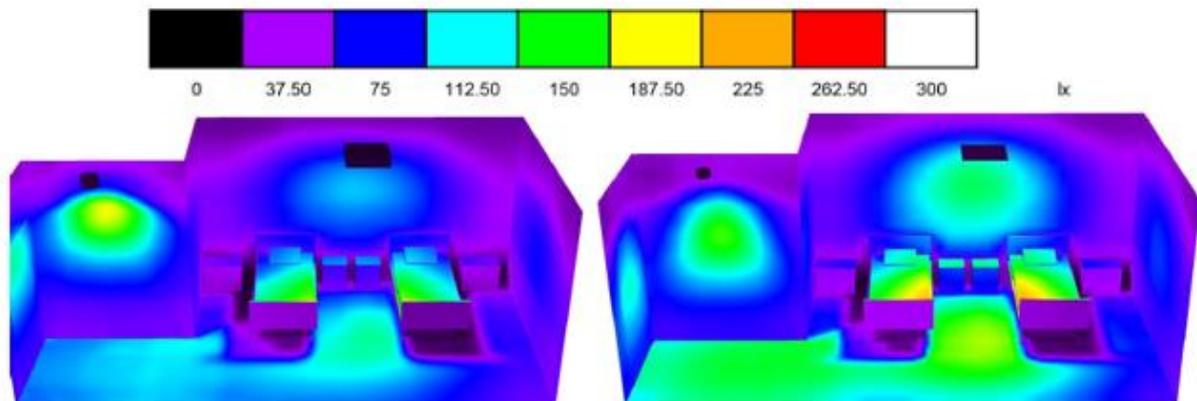


Figura 8.34 - Rappresentazione 3D a colori sfalsati dell'illuminamento della camera di degenza nei due diversi casi: ANTE intervento a sinistra, POST intervento a destra.

Confronto con normativa: entrambi i casi soddisfano il requisito illuminotecnico di illuminazione generale a pavimento pari a 100 lux. Infatti, nel caso ante, sulla superficie utile vi sono 124 lux (a ridosso del pavimento), mentre nel caso post operam 157 lux. I requisiti di illuminamento di lettura e per la visita semplice o con terapie sono raggiungibili considerando l'apporto della trave testa-letto, non prevista nella presente analisi.

Confronto scenari: le due configurazioni impiantistiche si equivalgono, anche se quella a LED garantisce un margine di illuminamento leggermente superiore, visibile nella rappresentazione in colori sfalsati (sul pavimento si raggiungono 150 lux, al contrario l'impianto fluorescente supera di poco i 100 lux).

Sala operatoria

Risultati illuminotecnici caso ANTE operam (impianto fluorescente):

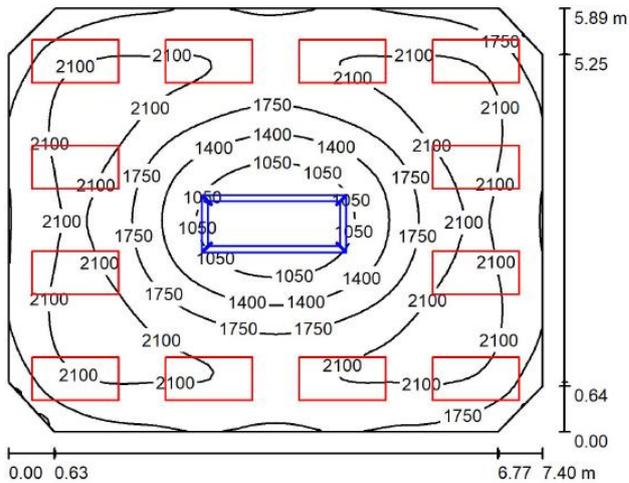


Figura 8.35 - Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

ANTE			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	1820	0.382	0.304

Potenza	Potenza specifica
2616 W	61.21 W/m ²

Risultati illuminotecnici caso POST operam (impianto LED):

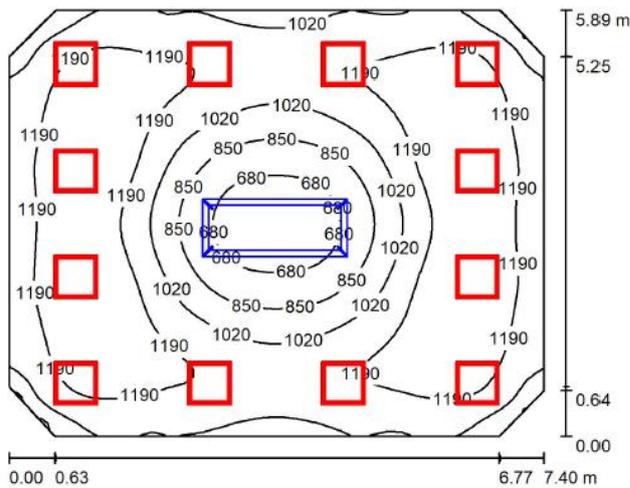


Figura 8.36 - Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

POST			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	1094	0.517	0.414

Potenza	Potenza specifica
674.4 W	15.78 W/m ²

Confronto dell'illuminamento dei locali mediante rappresentazione 3D in colori sfalsati (*false color*):

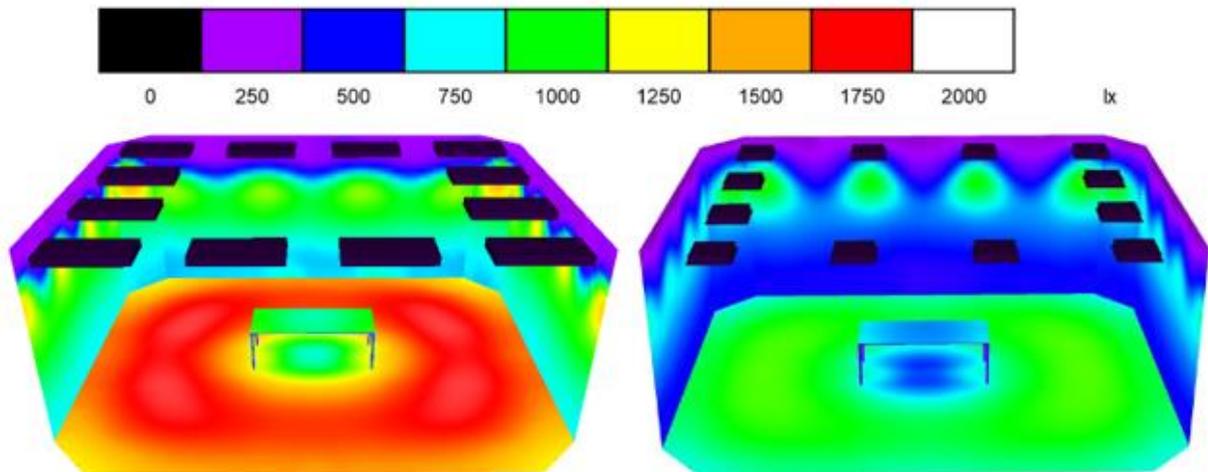


Figura 8.37 - Rappresentazione 3D a colori sfalsati dell'illuminamento della camera di degenza nei due diversi casi: ANTE intervento a sinistra, POST intervento a destra.

Confronto con normativa: i 1000 lux richiesti in sala operatoria sono garantiti da entrambi gli scenari. Nel caso fluorescente vi sono 1800 lux sulla superficie utile, contro i 1094 lux del caso a LED. Gli alti valori di illuminamento richiesti nell'area operatoria vengono raggiunti tramite l'utilizzo di apposite lampade scialitiche, non previste nella simulazione.

Confronto scenari: rispetto al caso post intervento, che sembra assicurare la giusta quantità di flusso luminoso, l'impianto nel caso pre intervento, con i suoi 1800 lux sulla superficie utile, risulta essere leggermente sovradimensionato e pertanto necessiterebbe di dimmerazione. Questo è particolarmente evidente nel confronto in false color. Inoltre, tra le due configurazioni impiantistiche si passa da una potenza specifica di 61.21 W/m² a soli 15.78 W/m².

Studio Medico

Disposizione delle superfici di calcolo:

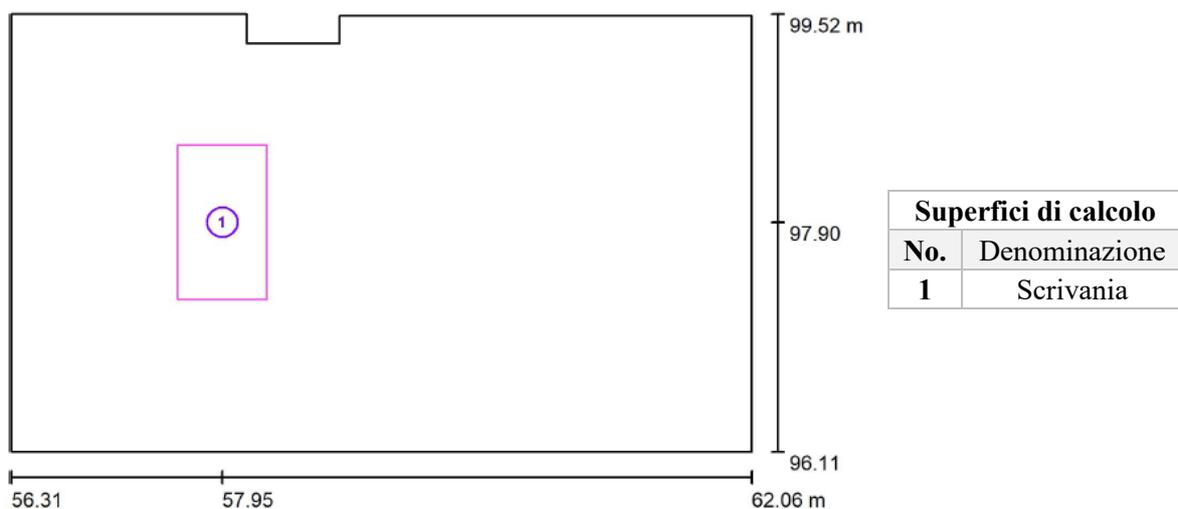


Figura 8.38 - Disposizione in pianta delle superfici di calcolo.

Risultati illuminotecnici caso ANTE operam (impianto fluorescente):

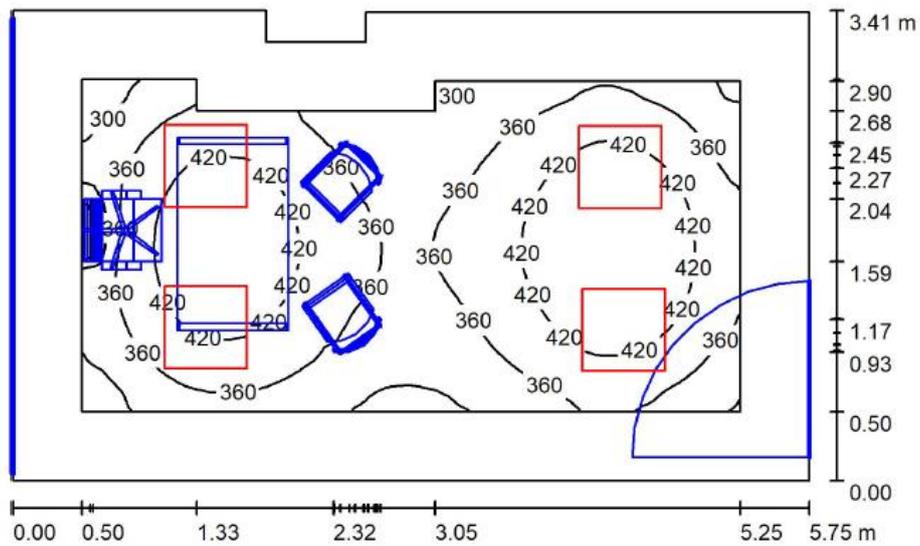


Figura 8.39 - Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

ANTE			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	380	0.513	0.409
Scrivania	444	0.904	0.858

Potenza	Potenza specifica
304 W	15.67 W/m ²

Risultati illuminotecnici caso POST operam (impianto LED):

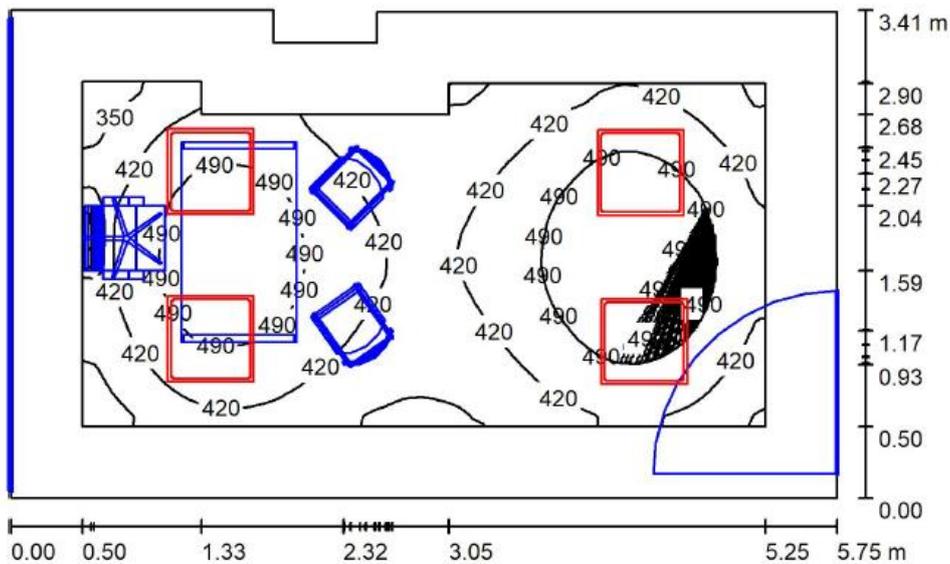


Figura 8.40 - Rappresentazione isolinee (illuminamento costante) in pianta.

POST			
Superficie	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
	[lux]	[-]	[-]
Superficie utile	440	0.536	0.426
Scrivania	519	0.913	0.874

Potenza	Potenza specifica
116 W	5.98 W/m ²

Confronto dell'illuminamento dei locali mediante rappresentazione 3D in colori sfalsati (*false color*):

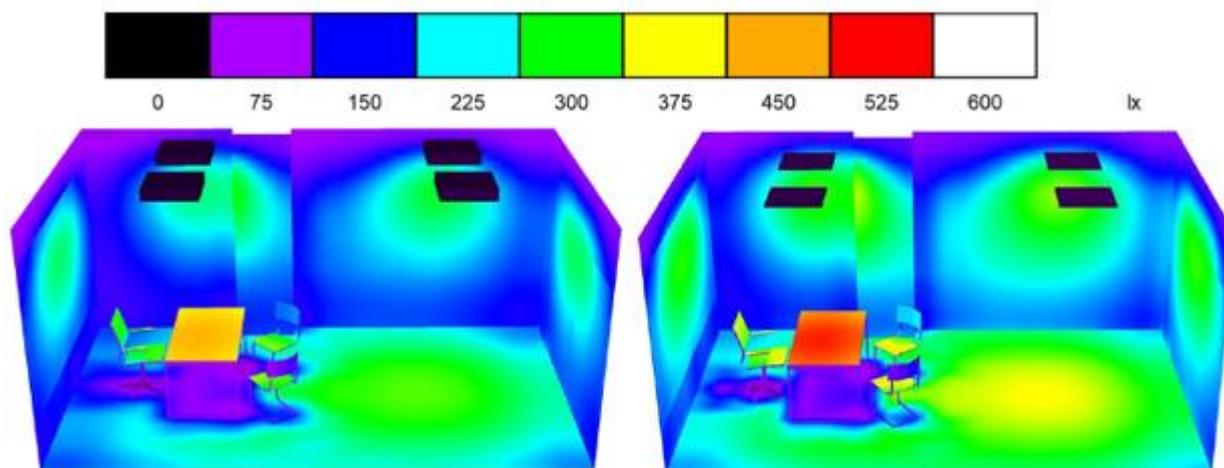


Figura 8.41 - Rappresentazione 3D a colori sfalsati dell'illuminamento della camera di degenza nei due diversi casi: ANTE intervento a sinistra, POST intervento a destra.

Confronto con normativa: il caso fluorescente pre intervento presenta un illuminamento sulla superficie utile pari a 380 lux e 444 lux sulla scrivania. Di conseguenza, non soddisfa il requisito illuminotecnico di 500 lux sul piano di lavoro. Nel caso a LED, invece, è stato ottenuto un illuminamento pari 440 lux sulla superficie utile e 519 lux sulla scrivania, tale valore soddisfa quanto previsto da normativa.

Tuttavia, si osserva che l'illuminamento sul piano di lavoro può essere facilmente incrementato attraverso l'installazione di una lampada da tavolo.

Confronto scenari: l'impianto a LED, rispetto a quello fluorescente, risulta fornire un illuminamento più adeguato allo svolgimento delle attività dello studio medico e non necessita di apparecchi integrativi.

In aggiunta, si passa da una potenza installata specifica di 15.67 W/m² a 5.98 W/m².

8.5 Considerazioni

Anche dal punto di vista illuminotecnico, si è potuto constatare che gli apparecchi LED scelti per la sostituzione sono adeguati e nella maggior parte dei casi-tipo analizzati, portano a livelli di illuminamento più vicini a quelli previsti da normativa. Oltre a ciò, l'impianto a LED garantisce livelli di potenza installata per m² molto più bassa rispetto all'impianto fluorescente e questo va ad integrare ulteriormente il discorso sui benefici di risparmio energetico già ampiamente discussi.

Si può quindi affermare che gli apparecchi LED costituiscono una miglioria tecnico funzionale dell'impianto di illuminazione che era previsto in precedenza e rappresentano a tutti gli effetti un intervento di ottimizzazione dell'impianto di illuminazione.

9 Conclusioni

Con il presente studio si sono voluti analizzare le conseguenze di un intervento di sostituzione degli apparecchi di illuminazione per una struttura ospedaliera, con lo scopo di quantificare i benefici derivabili. L'analisi è stata condotta a tutto tondo considerando gli aspetti prestazionali ed economici sia in termini energetici che manutentivi, in aggiunta è stata effettuata una verifica tecnico-funzionale del funzionamento degli apparecchi in alcuni ambienti caratteristici dell'edificio.

Quanto fatto ha portato ad una serie di risultati e considerazioni, riportati nel seguito.

Abbassamento del costo dei LED

Il prezzo di fornitura degli apparecchi LED sta continuando a seguire il trend calante caratteristico degli ultimi anni e si sta allineando con i costi caratteristici delle sorgenti luminose fluorescenti tradizionali. Nel caso in esame, per le tipologie di apparecchi maggiormente diffuse e comunemente prodotte, il costo di fornitura dei LED è addirittura minore degli equivalenti corpi illuminanti fluorescenti.

Questo è dovuto al fatto che oramai i LED sono una tecnologia che è entrata a tutti gli effetti nell'economia di scala e l'aumento del numero di applicazioni ha generato un aumento della produzione e un abbattimento dei costi. D'altra parte, le lampade fluorescenti negli ultimi anni sono state caratterizzate da miglioramenti tecnologici che ne hanno aumentato le prestazioni, come il passaggio da reattori ferromagnetici ad elettronici e da tubi fluorescenti T8 a T5. Tuttavia, tali migliorie implicano costi maggiori di produzione degli apparecchi fluorescenti e il prezzo di fornitura, al contrario dei LED, non ha subito diminuzioni sensibili in tempi recenti.

In aggiunta, se si osserva che anche le lampade fluorescenti più prestanti presentano valori di efficienza luminosa e durata comunque inferiori alla tecnologia LED, si può affermare che la tecnologia fluorescente è destinata ad essere sempre meno impiegata negli impianti di illuminazione, con la probabilità di uscire dal mercato nei prossimi anni.

Benefici energetici

In generale, la sostituzione di apparecchi fluorescenti con LED a basso consumo permette di ottenere elevati risparmi energetici, con conseguente risparmio economico e riduzione nelle emissioni di CO₂.

Nel caso in esame, per l'intero impianto il risparmio percentuale energetico ed economico ammonta al 59%, i consumi di energia elettrica si riducono di 3,6 GWh annui, la spesa economica per la fornitura di energia cala poco più di 600.000 € annui e le emissioni di CO₂ in atmosfera diminuiscono di 1.150 tonnellate all'anno.

Considerando il solo beneficio di risparmio energetico, il PBP (Pay Back Period) per una sostituzione di questo tipo per l'intero impianto è circa 2 anni e mezzo, ma nel caso in esame è molto minore in quanto nel costo d'investimento è stata considerata la sola sostituzione degli apparecchi già installati. La quota di apparecchi ancora da installare, infatti, non ha comportato alcun extra-costi in virtù del fatto che i prezzi di fornitura dei LED sono risultati complessivamente minori rispetto agli apparecchi fluorescenti.

A causa di vincoli contrattuali con il fornitore degli apparecchi fluorescenti, la sostituzione degli apparecchi ancora da installare non ha generato benefici economici di fornitura ma solamente di natura energetica. Infatti, la sostituzione degli apparecchi ancora non installati è stata considerata come semplice variante tecnologica al contratto preesistente.

Si vuole far notare che la convenienza economica di risparmio energetico e il tempo di ritorno dell'investimento sono dipendenti dall'utilizzo dell'impianto: nonostante il risparmio energetico ed economico percentuale rimanga invariato, in termini quantitativi, più l'impianto viene utilizzato maggiori saranno i risparmi economici annui e minore sarà il PBP.

Benefici sulla manutenzione

La sostituzione fluorescenti-LED porta anche dei benefici economici dovuti ad una diminuzione dei costi di manutenzione. Nel caso oggetto di studio, la percentuale di risparmio economico annuo per la manutenzione oscilla tra il 44%-48% e i costi di manutenzione si abbassano di 140.000-160.000 € annui. L'entità del risparmio varia in quanto si è considerato che dalla seconda sostituzione in gruppo delle lampade fluorescenti, le sorgenti ancora funzionanti vengono riutilizzate per le sostituzioni a spot future, abbassando i costi unitari per le successive sostituzioni e riducendo il risparmio economico ottenuto con i LED. Si evidenzia quindi il ruolo fondamentale dei risparmi sulla manutenzione, i quali spesso non vengono particolarmente approfonditi ma vanno ad integrare sensibilmente i benefici economici dovuti al risparmio energetico.

Benefici sui costi complessivi d'esercizio

A livello di costi complessivi d'impianto, che comprendono il consumo energetico e i costi di manutenzione, l'intervento di sostituzione permette di ottenere un risparmio economico percentuale pari al 55% annuo.

A livello numerico, si passa da costi d'esercizio annui superiori a 1.350.000 € nello scenario ante operam ad un costo totale pari a circa 600.000 € nello scenario post operam, generando un risparmio economico globale intorno a 770.000 € annui.

Effettuando una proiezione dei costi complessivi d'impianto nelle due configurazioni lungo una durata di vita presunta pari a 15 anni, si ottiene un risparmio economico totale superiore a 12,5 milioni di €.

In questo caso, il PBP per l'investimento che sarebbe necessario per la sostituzione degli apparecchi dell'intero impianto si abbassa, rispetto a quello calcolato per il solo risparmio energetico, a circa 2 anni. Tale diminuzione è dovuta al fatto che si considera anche l'apporto dei minori costi di manutenzione, che riducono ulteriormente i tempi di ritorno dell'investimento.

Nuovamente, nel caso reale oggetto di studio, il PBP è molto minore (inferiore 6 mesi) a causa del basso costo sostenuto per la sostituzione dei soli apparecchi già installati.

Benefici illuminotecnici

Dalla simulazione del funzionamento degli apparecchi attraverso il software DIALux, è emerso che i LED scelti per la sostituzione sono adeguati anche dal punto di vista illuminotecnico.

Per la maggior parte delle tipologie di ambienti analizzati, i LED sembrano assicurare valori di illuminamento più vicini ai requisiti normativi.

Di conseguenza si può affermare che i LED rappresentano una tecnologia ideale in ambito ospedaliero, poiché, senza presentare alcun rischio fotobiologico, sono caratterizzati da elevati valori di efficienza luminosa e alta resa cromatica per soddisfare gli elevati requisiti illuminotecnici di questi ambienti.

Rappresentano pertanto una miglioria tecnico funzionale del precedente impianto di illuminazione fluorescente.

Conclusione generale

Si può concludere affermando che la sostituzione degli apparecchi fluorescenti con dispositivi LED rappresenta a tutti gli effetti un intervento di ottimizzazione dell'impianto di illuminazione, in grado di promuovere l'efficienza energetica, abbassare i costi manutentivi e, più in generale, i costi complessivi associati all'esercizio e gestione dell'impianto, assicurando un'ottima qualità della luce nei locali illuminati.

Per di più, il constatato abbassamento dei costi di fornitura degli apparecchi rende la tecnologia LED ancora più appetibile sul mercato illuminotecnico e per molteplici applicazioni.

La sostituzione a LED è sicuramente da considerare come una delle soluzioni principali per promuovere l'efficienza energetica in contesti dove i consumi per l'illuminazione rivestono una parte rilevante dell'energia elettrica totalmente assorbita.

10 Bibliografia

- (s.d.). Tratto da FIRE - Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia: <http://fire-italia.org/category/energy-management/efficienza-energetica/>
- (s.d.). Tratto da Google Maps: maps.google.com
- 3F Filippi S.p.A. (2018). *Catalogo LED - 2018*.
- ASL CN2. (s.d.). *Il Nuovo Ospedale Alba-Bra*. Tratto da ASL CN2 - Azienda Sanitaria Locale CN2 - Alba e Bra: www.aslcn2.it
- BOMI International. (2009). *Operating and Maintaining Lighting Systems*.
- Carbon Trust. (s.d.). Tratto da www.carbontrust.com
- CIE 97:2005. (s.d.). *Technical Report - Guide on maintenance of indoor electric lighting systems*.
- Considerazioni di mercato per l'illuminazione a LED*. (2013). Tratto da Luce e Design: www.lucenews.it
- DEI - Tipografia del genio civile. (2017, Dicembre). *Prezziario DEI - 2° semestre 2017. Prezzi informativi dell'edilizia - Impianti Elettrici*.
- Direttiva 2012/27/UE. (2012, Ottobre 25).
- Disano Illuminazione S.p.A. (s.d.). *Catalogo Disano*. Tratto da Disano Illuminazione spa: <http://www.disano.it>
- DM 11/01/2017. (2017, Gennaio 11).
- DOE - Department Of Energy (USA). (2013). *Adoption of Light Emitting Diodes in common lighting applications*.
- EN 60598-1. (2015). *Apparecchi di illuminazione – Parte 1: Prescrizioni generali e prove*.
- ENEA - Rizzo Gianfranco. (2009, Marzo). *Ricerca Sistema Elettrico*. Tratto da ENEA: http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/condizionamento/rse14.pdf
- ENEA. (2010). *Stato dell'arte dei LED*. Tratto da ENEA: www.enea.it
- FIRE. (s.d.). Tratto da FIRE - Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia: www.fire-italia.org
- IEC 62717. (s.d.).
- IEC 62722-2-1. (s.d.).
- IEC EN 62471. (2010). *Photobiological safety of lamps and lamp systems*.
- ISPRA. (2018). *Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra e altri gas nel settore elettrico*.
- MST Manutenzioni e Servizi Tecnici S.r.l. (2018).
- NEOSIA S.p.A. (s.d.).
- ONU. (2017). *World Population Prospects*.
- OSRAM. (s.d.). Tratto da www.osram.it

Pellegrino, A. (2016-2017). Dispense d'esame. *Sistemi per l'Illuminazione e il Controllo del Rumore*.

Terna. (2016). *Analisi Dati Elettrici*.

Terna. (2016). *Dati Statistici - Consumi*.

Tridonic Italia S.r.l. (s.d.). Tratto da www.tridonic.it

UNI. (2011). UNI CEI EN ISO 50001. *Sistemi di Gestione dell'Energia - Requisiti e linee guida per l'uso*.

UNI. (2011). UNI EN 12464-1-2011. *Luce e illuminazione. Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: posti di lavoro in interni*.

UNI. (2014). UNI CEI 11352. *Gestione dell'energia – Società che forniscono servizi energetici (ESCo) – Requisiti generali e lista di controllo per la verifica dei requisiti*.

UNI. (2016). *UNI CEI EN 15900:2010*. Tratto da UNI - Ente Italiano di Normazione.

UNI. (2017). UNI EN 15193-1. *Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per l'illuminazione – Parte 1: Specificazioni, Modulo M9*.

UNI. (s.d.). *UNI - Ente Italiano di Normazione*. Tratto da www.uni.com

Wikipedia. (s.d.). *Settore Terziario*. Tratto da Wikipedia, l'enciclopedia libera:
https://it.wikipedia.org/wiki/Settore_terziario

Zumtobel. (2018, Aprile). *Manuale Illuminotecnico Pratico*.

Zumtobel. (s.d.). *Catalogo Zumtobel*. Tratto da www.zumtobel.com