

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**AUMENTO DE LA PRESTACIÓN ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS CON
EL USO DE SISTEMAS DE ILLUMINACIÓN DE ALTA EFICIENCIA**

Prof . Guía: Ing. Luigi Martirano

Tutor Industrial: Ing. Giorgio Cecchini

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Veronica C., Reyes L.
Para optar al título de
Ingeniero Electricista**

Caracas, 2014.



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale

Dipartimento di Ingegneria Astronautica,

Elettrica ed Energetica

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrotecnica

***“INCREMENTO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI
EDIFICI CON L’IMPIEGO DI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE AD
ALTA EFFICIENZA”***

Relatore:

Prof. Ing. Luigi Martirano

Laureando:

Veronica Carolina Reyes Laiz

Matricola: 1498316

Correlatore:

Giorgio Cecchini

Anno Accademico 2013/2014

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare il Prof. Luigi Martirano, relatore di questa tesi, per i preziosi insegnamenti durante quest'ultimo anno di Laurea Magistrale e per le numerose ore dedicate alla mia tesi. Grazie infinite a Giorgio Cecchini, correlatore, che mi ha seguita con costanza ed entusiasmo ascoltando e assecondando i miei pensieri e le mie idee, e per essersi sempre dimostrato un ottimo docente.

Inoltre, ringrazio sentitamente il Ing. Matteo Manganelli che è stato sempre disponibile a dirimere i miei dubbi durante la stesura di questo lavoro.

Intendo poi ringraziare i professori e il personale tecnico ed amministrativo dell'Università di Roma "La Sapienza", sottolineando la particolare disponibilità del Sig. Berto David e del Sig. Schipani Mario per avermi fornito l'aiuto nei momenti in cui avevo bisogno.

Un ultimo ringraziamento ai compagni di studi, per essermi stati vicini sia nei momenti difficili, sia nei momenti felici. In particolare mia amica Andrade Katherine, per essermi stata vicina ogni momento durante lo sviluppo del lavoro e per la sua compagnia in questi tre anni di avventura universitaria all'estero, essendo non solo una amica ma anche la mia famiglia in Italia.

Il grazie più grande, infine, va ai miei genitori, che, con il loro incrollabile sostegno morale ed economico, mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo, motivandomi sempre a continuare fino alla fine. Un ringraziamento alla mia nonna, per l'affetto immenso che mi ha donato in tutti questi anni, al mio fratello Walter per essere un angelo, da chi io possa sempre imparare il meglio da ogni cosa. Grazie a te, mia sorella, Marilyn, per essermi vicina in questi anni e condividere con me questa meravigliosa esperienza.

Voglio ringraziare principalmente Dio, perché è lui chi mi ha dato la grazia di arrivare a questo momento, chi mi ha dato la forza durante questi anni universitari fino a portare a termine la tesi nonostante i diversi momenti difficili.

Veronica Carolina Reyes Laiz

SINTESI

Uno dei principali vantaggi derivante dall'introduzione di un sistema di controllo dell'illuminazione è il risparmio energetico. Il presente progetto espone un sistema di illuminazione basato su LED, introducendo l'utilizzazione di sistemi di automazione e controllo per essere certi di consumare solo l'energia necessaria.

In particolare la relazione mira a descrivere i criteri utilizzati per le scelte progettuali, le caratteristiche prestazionali e descrittive dei materiali prescelti, nonché i criteri di progettazione degli impianti per quanto riguarda la Funzionalità e l'Economia di gestione.

ABSTRACT

In order to minimize energy consumption for lighting in an educational building, two changes are suggested: new and more efficient lights and automation.

Analysis have been processed using Dialux, lighting simulation software.

Results evaluation are described by the LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), the energy performance indicators and the expenditures factors.

Keywords: efficient lights, automation, Dialux, ETS4, LENI.

RIASSUNTO (SPAGNOLO)

Veronica C., Reyes Laiz

AUMENTO DE LA PRESTACIÓN ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS CON EL
USO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE ALTA EFICIENCIA

Tutor o Profesor Guía: Ing. Luigi Martirano. Tutor Industrial: Ing. Giorgio Cecchini. Tesis. Roma. La Sapienza. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Mención Potencia. Trabajo de grado. 209h. + Anexos.

Palabras Claves: Sistema de iluminación a alta eficiencia; Ahorro energético; LED; Prestación luminotécnica; Prestación Energética; LENI; Sistemas de control; Conveniencia Económica.

Resumen. La iluminación juega un papel fundamental en el desarrollo de las actuales actividades sociales, comerciales e industriales. El sistema de iluminación representa dentro del consumo energético de los servicios generales de un edificio, un porcentaje significativo. En consecuencia, hacerla más eficiente representa ya, una prioridad.

La tecnología ha evolucionado a sistemas de iluminación que cada vez, son más eficientes energéticamente. Por tanto, existe un gran potencial de ahorro, energético y económico, alcanzable mediante el empleo de equipos eficientes, unido al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del local a iluminar.

El presente trabajo se obtiene a partir de la integración de las normas (UNI 15193 y UNI EN 12464 y UNI EN 15217) con artículos de investigación científica

sobre el tema, y tiene como objetivo la reducción del consumo energético relativo a la iluminación en una institución universitaria, específicamente, en la escuela de Ingeniería Eléctrica de la universidad de Roma “La Sapienza”. El área de estudio consta de un total de 1800m², distribuidos en dos plantas. Es desarrollado en colaboración con la empresa F.C. Automazioni S.R.L., una sociedad muy bien situada en el campo de la automatización de edificios y del ahorro de energía. Se espera la realización con la participación de ABB que proporciona materiales y tecnologías de última generación en lo que respecta a los sistemas de control y ITAWAN que ofrece los equipos de iluminación de alta eficiencia y ajustables.

Con la finalidad de convertir el sistema de iluminación actual en uno más eficiente en términos energéticos, se plantea como alternativa:

1) Sustitución de luminarias existentes con LED, el cual constituye un modelo más eficiente

Hay que tener en cuenta el rendimiento de la luminaria, de forma que refleje y distribuya mejor la luz, ya que, cuánto mayor rendimiento menor potencia será necesario instalar.

2) Adopción de sistemas de automatización, de regulación y control

En función del aporte de luz natural, bien apagando o encendiendo la iluminación cuando el nivel está por debajo o por encima de un valor, o bien regulando la iluminación artificial de forma progresiva. El aprovechamiento de la luz natural permite una considerable reducción del consumo de energía eléctrica y, por tanto, un ahorro sustancial de energía, ya que en determinados momentos, y con un buen diseño, permite reducir el uso de iluminación artificial.

Existen interruptores temporizados que apagan la iluminación tras un tiempo programado y que son más convenientes en lugares dónde las personas permanecen un tiempo limitado. Estos permiten establecer un control horario, que resulta útil en los edificios del sector terciario, por ejemplo edificios de oficinas o edificios comerciales,

en los que existe un horario definido, y resulta posible encender y apagar la iluminación automáticamente.

Los detectores de presencia o movimiento encienden la iluminación cuando o detectan movimiento y lo mantienen durante un tiempo programado.

La metodología adoptada consiste en realizar un estudio de la situación actual para pasar al diseño del sistema de iluminación a alta eficiencia.

Para cuantificar los resultados obtenidos es utilizado el LENI, un Indicador numérico de consumo de energía para la iluminación total anual requerida en el edificio y dado en [kWh/m².año] que, confrontando el valor del LENI obtenido con el resultante del estado actual y multiplicando por el área considerada, es posible individuar el ahorro energético obtenido.

Así mismo, vienen calculados los índices parciales que permiten cuantificar la prestación energética de los sistemas de iluminación para interiores.

EP_L: Rendimiento energético del aparato iluminante [W/lm]

EP_S: Rendimiento energético del sistema de aparatos iluminantes [W/lm]

EP_C: Rendimiento energético del sistema de control [p.u.]

EP_G: Rendimiento energético global del sistema de iluminación [W/lm]

Es posible clasificar energéticamente un sistema de iluminación en un contexto global a través del índice *EP_G*, o evaluando separadamente el rendimiento de los aparatos (*EP_L*), de todo el sistema de aparatos iluminantes (*EP_S*) y el rendimiento del sistema de control (*EP_C*). Cada indicador, viene luego contextualizado en una escala, en manera tal, que el valor resultante sea posicionado en un intervalo que corresponde a una clase energética, que va desde la más óptima (*A*) a la menos adecuada (*G*).

Posteriormente con la finalidad de presentar las soluciones en términos económicos, se consideran para cada una:

- Costo de instalación.
- Costo compresivo de todos los dispositivos utilizados.
- Ahorro de energía anual.

Se calcula el valor del VAN (Valor Actual Neto), procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión, así como el Payback (tiempo de retorno de la inversión), es decir, cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja, para poder así evaluar la conveniencia económica del costo inicial.

Para concluir el presente trabajo de grado, se propone un instrumento de tipo cualitativo para la evaluación de la prestación energética de cualquier edificio respecto al sistema de iluminación.

EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL

Constituye la primera etapa del proyecto y corresponde al análisis del sistema de iluminación existente. Está constituida en seis (6) fases de investigación que se describen a continuación:

1) Recopilación de información dimensional de los locales

Viene particularizada cada planta del edificio en áreas, y estas a su vez en locales. Con la planimetría, vienen especificadas las dimensiones de cada uno.

2) Reconocimiento de la destinación de uso de cada locales

Entre los ambientes que conforman el edificio se encuentran: laboratorios, oficinas de profesores a dedicación exclusiva, dos aulas educativas, baños para uso de los estudiantes y para uso privado, sala de reuniones, sala de computación y pasillos.

3) Potencia instalada

Se calculó multiplicando el número de lámparas por su potencia unitaria, teniendo en cuenta que en la potencia de la lámpara es necesario incluir la potencia del equipo auxiliar (en caso de que la lámpara lo requiera). Adicionalmente se tomó nota

del tipo de lámpara instalada, donde casi en su totalidad correspondían al tipo fluorescente tubular.

4) Identificación de grupos de control de las lámparas

Se verificó la existencia o no de grupos de control presentes en el local, así como el número en caso de existir.

5) Individuación de la modalidad de gestión de la iluminación

Se identificó si la modalidad de gestión de la iluminación es de tipo manual o automático. Resultó que toda la edificación corresponde a un encendido y apagado de tipo manual, por lo que, se individuó, una vez posicionadas las luminarias en la planimetría, el grupo de lámparas encendidas correspondiente con cada interruptor.

6) Medición de la iluminancia media mantenida

A través del cálculo del índice del local fue posible determinar el número de mediciones de la luminancia a realizar, para posteriormente realizar una media de los resultados. El instrumento utilizado para la medición fue el luxómetro, descansando el instrumento sobre la superficie a ser evaluada con el sensor de luz hacia arriba. Se tomó en general, la superficie de trabajo horizontal a la altura de 0,85 m sobre el suelo, para las zonas de tránsito en cambio, una altura de 0,2 m por encima del suelo.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN A ALTA EFICIENCIA

La metodología planteada para el diseño se describe a continuación en siete (7) fases.

1) Investigación de las prestaciones luminotécnicas requeridas en los edificios escolares

Los niveles de luminancia que deben ser garantizados en los lugares de trabajo de interiores se especifican en la norma EN 12464-1 [1], que define los requisitos esenciales para la iluminación en un entorno (interno) de trabajo con cierta destinación de uso de las tareas visuales, previstos siempre en relación a la actividad que se realice,

se llevan a cabo en cumplimiento de la salud y seguridad del trabajador, con especial atención al nivel de confort visual y requisitos de prestación visual.

2) Selección de la tecnología de las lámparas que se utilizará para la sustitución de las lámparas actuales con otras a alta eficiencia

La elección de las lámparas está motivada por las exigencias funcionales, proyectivas, estéticas y de coste. En el diseño se adoptarán las fuentes de iluminación con tecnología LED, ya que representan una alternativa viable a los sistemas tradicionales de iluminación tanto por el bajo consumo de energía que por las propiedades funcionales: una solución eficiente y moderna para iluminar y decorar cualquier ambiente de interior o al aire libre, tanto residencial como industrial.

En particular, se tienen en cuenta los paneles LED, ya que permiten una iluminación innovadora, son sutiles y luminosos, se puede instalar en techos con facilidad. Específicamente se considera utilizar un panel a LED de potencia 40W, dimensiones 60cm*60cm, de la industria OKT.

3) Diseño profesional de la iluminación

Donde se realiza la simulación de las luminarias nuevas adoptas, controlando que la iluminación resultante sea coherente con lo establecido en la normativa UNI EN 12464-1. Teniendo especial cuidado con los valores de los coeficientes de reflexión. Con el objetivo de acercarse lo más posible en una situación real, donde los colores son en su gran mayoría claros, se definen:

- Pisos: 64% (Grillo)
- Techo: 83% (Blanco)
- Paredes: 83% (Blanco)

4) Razonamiento de la forma de gestionar la iluminación en función del local

Se realizó un estudio individualizado para cada habitación de acuerdo a la frecuencia de ocupación, uso previsto, disponibilidad de luz natural y dimensiones natural. Quedando las siguientes tipologías de ambientes:

- Habitaciones con alta disponibilidad de luz natural y operativas: Se propone la adopción de un sensor de presencia y luminosidad, capaz de controlar automáticamente

el encendido y apagado al detectar la presencia y continuamente regular el flujo luminoso de las lámparas en función de la luz natural, manteniendo la iluminancia constante al umbral predeterminado.

- Habitaciones sin disponibilidad de luz natural y operativas: Se propone la adopción de un sensor de presencia (control sólo en función de la ocupación). El encendido se lleva a cabo de forma automática en cuanto el sensor detecta la presencia de una persona o actividad. El apagado siempre se lleva a cabo de forma automática, después de un cierto tiempo programado adecuadamente para evitar inútiles encendidos y apagados.

- Habitaciones no operativas: Pertenecen a esta categoría todos aquellos depósitos y almacenes. El encendido se realiza en modo manual a través de un botón con un relé temporizado que permite apagar automáticamente después de un tiempo de retardo programado.

- Pasillos: El apagado viene de manera automática, está previsto mantener un escenario con poca luz de cortesía, con un tiempo de retraso de apagado no demasiado largo, ya que son entornos caracterizados por una ausencia intermitente.

- Baños: El encendido/apagado están vinculados al encendido/apagado de ambientes circunstantes, es decir, de forma automática y que, considerando que la mayoría del tiempo se mantienen ocupados, se mantendrá constantemente encendido. Excepción especial se hace para el caso de los baños para uso privado, ya que no están ocupados todo el tiempo, es inútil para mantener las luces encendidas, por lo que se coloca un botón con relé temporizado.

5) Componentes Konnex

De entre los dispositivos utilizados para el sistema de automatización (todos pertenecientes a la empresa ABB), se encuentran:

- Sensores de presencia y de movimiento dual, (modelo 6131/11), que constituye un dispositivo de ingreso en el sistema Konnex, capaz de relevar la iluminación así como la presencia de personas, enviando mensajes a la red KNX, destinados a los actuadores. Regulan automáticamente el alumbrado artificial en función del aporte de luz natural,

bien apagando o encendiendo la iluminación cuando el nivel está por debajo o por encima de un valor, o bien regulando la iluminación artificial de forma progresiva.

- Actuadores Universales Dimmer (US/S 2.300.1), constituye un dispositivo de salida en el sistema Konnex, que permite comandar directamente los aparatos iluminantes.

- Interfaz universal, (modelo US/U4.2 de 4 canales), se utiliza para establecer una comunicación entre la red KNX y dispositivos de comando tradicional. Cada uno de los canales considerados como entrada, viene a ser programado para una función en específico, según como corresponda, de entre las cuales se encuentran: Sensor de conmutación; Sensor de conmutación / Dimmer; Operación forzada; Control de escenarios; Control LED.

- Gateway DALI, (modelo DG/S 8.1 de 8 canales), representa un módulo de interfaz que permite la integración de la tecnología DALI en el sistema de gestión de los edificios Konnex. Las lámparas a LED requieren, para su funcionamiento, de balastos de control que funcionan con protocolo DALI.

6) Programación con el software ETS4

Software que permite el diseño y creación de edificios inteligentes basados en el sistema KNX. La programación del dispositivo permite la configuración, puesta en marcha, diagnóstico y control del sistema. Fue realizada siguiendo una serie de pasos:

- Disposición de los Cuadros: En primer lugar, se identifican las posiciones de los cuadros eléctricos, donde se instalan los actuadores y gateway DALI. Como resultado, cuatro (4) Cuadros en la planta baja y cinco (5) Cuadros en la primera planta.

- Construcción del edificio: Se recrea la estructura del edificio con sus dos pisos, cada uno compuesto de diferentes entornos

- Topología: Se halló principalmente el número de dispositivos por piso, y se encontró más de 64 dispositivos, ya que la fuente de alimentación seleccionada no es capaz de alimentar a más de 64 equipos, se ha diseñado todo el edificio con una sola área y cuatro (4) líneas, dos (2) dedicadas a la planta baja y dos (2) a la primera planta.

- Direcciones de grupo: Las direcciones de los grupos se estructuran en una jerarquía de 3 niveles:

- 1) *Grupo principal*: Aquellas direcciones que coinciden con la iluminación y el comando de tipo general.
- 2) *Grupo central*: para el Grupo principal "iluminación", fueron creados como grupos centrales Dimmer y On / Off, así como, estado ON / OFF. Para los comandos generales en cambio se ha creado un grupo central llamado Automatización.
- 3) *Subgrupo*: para cada grupo central se crean las direcciones de los grupos que corresponden con los dispositivos que pertenecen a la misma función.

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Se hace referencia a la norma UNI EN 15193 en relación con el consumo de energía debido a la iluminación artificial de los ambientes internos de trabajo. La misma, presenta el índice de eficiencia energética del sistema de iluminación, LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), un método de verificación del consumo energético.

Con implementación de las intervenciones, se obtiene una disminución del LENI, y por lo tanto del consumo energético. Considerando solo sustituir las lámparas por aquellas con alta eficiencia (tecnología LED), se obtiene una reducción del LENI desde 38.63 hasta $17.13 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{anno}$. Introduciendo un control automático dependiente de la ocupación y de la disponibilidad de luz natural, se pasa a disminuir a $10,27 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{anno}$. En términos de ahorro:

56% - Solamente con la sustitución de las lámparas

73% - Con la implementación de sistemas de control automático

Eficiencia Energética

Con el fin de proporcionar el nivel de eficiencia energética del edificio de una manera eficaz, la UNI EN 15217 - presenta métodos para expresar el rendimiento de energía y para la certificación energética de los edificios. Introduce los indicadores contextualizados en una escala (por lo que es visualmente evidente, donde el índice se posiciona en el intervalo de eficiencia que va de un valor mínimo a un máximo,

indicando la clase energética). Es posible clasificar energéticamente un sistema de iluminación en su totalidad a través del índice *EPG*.

Al comparar el valor obtenido para el estado actual y para el proyecto (teniendo en cuenta la automatización incluida), se obtiene que el rendimiento energético pasó de una clase D a una clase A.

CONVENIENCIA ECONOMICA

Se calcula el tiempo de recuperación de la inversión, un parámetro que indica en cuántos años se pagará por sí mismo en una solución con un costo inicial más alto, pero más eficiente en términos de costes de funcionamiento.

Sólo para la sustitución de las lámparas se tiene una inversión de € 83,953.18, una amortización en cinco años y una ganancia de aproximadamente € 123131,24. A largo plazo, por tanto, el sistema es rentable.

Considerando ahora la adición de sistemas de control automático, la inversión sigue siendo conveniente, ya que, se tiene una amortización del costo en siete años y una ganancia al final de la vida del proyecto de aproximadamente € 94.526,05, pero inferior respecto al caso anterior correspondiente a la sólo sustitución de las lámparas.

La UNI EN 15232, que introduce la incidencia de la automatización, resalta, sin embargo, que es posible un ahorro del 33% del consumo en energía térmica con la introducción de sistemas de control automático. Si se considera este ahorro más aquel obtenido para la iluminación, con la misma inversión, se obtiene una amortización de entre 2 y 3 años, con una ganancia al final de la vida del proyecto de € 415.436,75. Todo esto gracias a que, los dispositivos seleccionados para el diseño valen también para la automatización del sistema de climatización, además de valer para el sistema de iluminación.

ESTIMA DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El análisis realizado en el sistema de iluminación actual de la Escuela de Ingeniería Eléctrica permite establecer un posible método para evaluar la eficiencia energética para cualquier tipo de edificio en lo que se refiere a la iluminación. Este se presenta en manera de cuestionario donde las primeras preguntas ofrecerán información y por lo tanto las respuestas no serán valoradas, para luego continuar con una serie de preguntas que irán evaluadas en una escala del 0 *al* 100, donde, la mayor puntuación corresponde a la adopción, de parte del usuario, más adecuada para obtener un sistema de iluminación eficiente. Utilizando indicadores gráficos es posible apreciar el impacto inmediato, donde se utilizó como ejemplo el aula 40 obteniendo para el estado actual un valor de evaluación igual a 67% y un 96% implementando un control en función de luz natural y de la ocupación, además de una sustitución de las luminarias existentes por aquellas a tecnología LED.

INDICE GENERALE

| | |
|---|-------|
| RINGRAZIAMENTI | iii |
| SINTESI | iv |
| ABSTRACT | iv |
| RIASSUNTO (SPAGNOLO)..... | v |
| INDICE GENERALE | xvi |
| INDICE DELLE FIGURE | xx |
| INDICE DELLE TABELLE | xxiv |
| INDICE DEI GRAFICI..... | xxvii |
| INTRODUZIONE..... | 1 |
| PRESENTAZIONE DEL PROBLEMA | 3 |
| OBIETTIVI | 4 |
| OBIETTIVO GENERALE..... | 4 |
| OBIETTIVI SPECIFICI..... | 4 |
| CAMPO DI APPLICAZIONE..... | 4 |
| CAPITOLO I..... | 5 |
| ASPETTI GENERALI DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE | 5 |
| 1.1 Riferimenti normativi | 5 |
| 1.2 Componenti di un impianto di illuminazione | 8 |
| 1.2.1 Sorgenti luminose..... | 9 |
| 1.2.2 Ausiliari..... | 15 |
| 1.2.3 Apparecchi e ottiche..... | 16 |
| 1.3 Il progetto: Livello di illuminamento, indice del locale | 19 |
| 1.4 Installazione: potenza degli apparecchi, disposizione e utilanza..... | 22 |
| 1.5 Sistemi di controllo..... | 23 |
| 1.5.1 Strategie di controllo | 24 |
| 1.5.2 Tecniche di controllo..... | 28 |
| 1.5.3 Modi di controllo..... | 35 |
| 1.5.4 Componenti del sistema di controllo..... | 36 |

| | | |
|-------|--|----|
| 1.6 | Architettura KNX | 37 |
| | CAPITOLO II..... | 42 |
| | EFFIENZA ENERGETICA DI UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE | 42 |
| 2.1 | Parametri di influenza dell'efficienza del sistema..... | 43 |
| 2.1.1 | Sorgenti luminose: efficienza luminosa, LLMF, LSF..... | 45 |
| 2.1.2 | Apparecchi di illuminazione: rendimento ottico (LOR), LMF | 45 |
| 2.2 | Parametri di influenza in un sistema di controllo | 49 |
| 2.2.1 | Fattore di dipendenza dall'occupazione: FO..... | 49 |
| 2.2.2 | Fattore di dipendenza dalla luce diurna: FD | 59 |
| 2.2.3 | Fattore d'illuminamento costante: FC..... | 67 |
| 2.3 | Certificazione Energetica | 68 |
| 2.3.1 | Indicatore dell'efficienza energetica dell'apparecchio (EPL) | 69 |
| 2.3.2 | Indicatore dell'efficienza energetica del sistema di apparecchi (EPS) | 70 |
| 2.3.3 | Indicatore dell'efficienza energetica del sistema di controllo (EPC) | 72 |
| 2.3.4 | Indicatore dell'efficienza energetica globale del sistema (EPG)..... | 72 |
| 2.4 | Risparmio energetico come parametro progettuale | 74 |
| 2.4.1 | Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici. | 74 |
| 2.4.2 | Requisiti energetici per illuminazione..... | 76 |
| 2.5 | Fattori di spesa..... | 80 |
| 2.5.1 | Fattore di spesa per l'illuminazione..... | 81 |
| 2.5.2 | Aspetti generali sull'approccio dei fattori di spesa per i sistemi di illuminazione..... | 89 |
| | CAPITOLO III | 90 |
| | ANALISI COSTI – BENEFICI DEI PROGETTTI DI INVESTIMENTO | 90 |
| 3.1 | Indicatori rilevanti | 91 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.1.1 | Valore Attuale Netto (VAN)..... | 91 |
| 3.1.2 | Tasso di Rendimento Interno (TIR) | 94 |
| 3.1.3 | Tempo di Ritorno (TR) | 95 |
| | CAPITOLO IV | 96 |
| | METODOLOGIA | 96 |
| 4.1 | Metodologia per lo studio dello stato attuale..... | 96 |
| 4.2 | Metodologia per il disegno della progettazione | 97 |
| | CAPITOLO V | 98 |
| | STATO ATTUALE..... | 98 |
| 5.1 | Studio del fabbricato..... | 98 |
| 5.2 | Rilevamento dello stato attuale..... | 101 |
| | CAPITOLO VI..... | 112 |
| | PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI ILLUMINAZIONE | 112 |
| 6.1 | Prestazione illuminotecnica | 112 |
| 6.2 | Scelta delle sorgenti di luce artificiale..... | 114 |
| 6.3 | Progettazione in DIALux..... | 115 |
| 6.4 | Gestione dell'impianto di illuminazione | 123 |
| 6.5 | Componenti KNX..... | 126 |
| 6.5.1 | Rilevatore di presenza | 126 |
| 6.5.2 | Attuatore..... | 128 |
| 6.5.3 | Gateway DALI | 128 |
| 6.5.4 | Interfaccia..... | 129 |
| 6.5.5 | Alimentatore di linea..... | 130 |
| 6.5.6 | Accoppiatore di linea | 131 |
| 6.5.7 | Cavo EIB | 132 |
| 6.6 | Programmazione in ETS4..... | 132 |
| 6.6.1 | Disposizione dei Quadri | 133 |
| 6.6.2 | Costruzione dell'edificio | 135 |

| | | |
|--|--|-----|
| 6.6.3 | Topologia | 136 |
| 6.6.4 | Indirizzi di gruppo..... | 139 |
| 6.6.5 | Configurazione dei componenti | 140 |
| 6.7 | Considerazioni | 161 |
| 6.7.1 | Considerazioni Generali..... | 161 |
| 6.7.2 | Considerazioni Piano Terra..... | 163 |
| 6.7.3 | Considerazioni Primo Piano..... | 164 |
| 6.8 | Planimetria..... | 165 |
| CAPITOLO VII..... | | 167 |
| ANALISI ENERGETICA E FINANZIARIA DI UN INTERVENTO | | 167 |
| 7.1 | Analisi Energetica..... | 167 |
| 7.1.1 | Valutazione della prestazione energetica | 167 |
| 7.1.2 | Efficienza del sistema di illuminazione..... | 171 |
| 7.2 | Calcoli di convenienza economica – finanziaria nella valutazione dell’investimento | 185 |
| CAPITOLO VIII | | 198 |
| STIMA DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DI UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE | | 198 |
| 8.1 | Valutazione quantitativa..... | 198 |
| 8.2 | Valutazione qualitativa dell’impianto | 201 |
| RACCOMANDAZIONI | | 205 |
| CONCLUSIONI..... | | 206 |
| RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | | 208 |
| ALLEGATI | | 209 |
| [Allegato No. 1]..... | | 210 |
| [Scheda tecnica del luxmetro] | | 210 |
| [Allegato No. 2]..... | | 212 |
| [Curve fotometriche delle lampade utilizzate] | | 212 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|-----|
| Figura #1. 1: Sorgenti Luminose..... | 9 |
| Figura #1. 2: Lampada ad incandescenza | 10 |
| Figura #1. 3: Schema di inserzione di una lampada fluorescente normale..... | 12 |
| Figura #1. 4: In alto a sinistra “switching in the lamp”, in alto a destra “switching in the luminaire”, in basso a sinistra “switching groups of lamps”, in basso a destra “switching groups of luminaires” | 29 |
| Figura #1. 5: Regolazione in dimming mediante un sistema ausiliario BUS tipo DALI | 32 |
| Figura #1. 6: Regolazione in dimming mediante un sistema BUS primario ed uno secondario tipo DALI..... | 32 |
| Figura #1. 7: Architettura Konnex | 38 |
| Figura #1. 8: topologia del cablaggio..... | 39 |
| Figura #1. 9: Distanza tra gli oggetti di comunicazione | 39 |
| | |
| Figura #2. 1: Andamento dell'accensione delle lampade in funzione della presenza | 52 |
| Figura #2. 2: Disposizione dei gruppi di controllo | 66 |
| Figura #2. 3: Rappresentazione dei parametri che influiscono sul fabbisogno energetico per l'illuminazione Wnd..... | 81 |
| Figura #2. 4: Rappresentazione del fattore di spesa per il sistema di illuminazione eL e dei fattori di spesa parziali | 81 |
| | |
| Figura #5. 1: Planimetria Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Piano Terra..... | 98 |
| Figura #5. 2: Planimetria Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Primo Piano..... | 99 |
| Figura #5. 3: Prospetto 1-2. Dipartimento di Ingegneria Elettrica..... | 100 |
| Figura #5. 4: Prospetto 2-3-4. Dipartimento di Ingegneria Elettrica | 100 |

| | |
|--|-----|
| Figura #5. 5: Prospetto 4-5. Dipartimento di Ingegneria Elettrica..... | 100 |
| Figura #5. 6: Rappresentazione dei parametri del locale | 103 |
| Figura #5. 7: Rilevamento dello stato attuale in pianta. Piano Terra..... | 109 |
| Figura #5. 8: Rilevamento dello stato attuale in pianta. Piano Terra..... | 110 |
| | |
| Figura #6. 1: Ingresso (Area 1) – Visualizzazione 3D..... | 117 |
| Figura #6. 2: Ingresso (Area 1) – Planimetria..... | 117 |
| Figura #6. 3: Corridoio (Area 5 e Area 6/8) – Visualizzazione 3D | 118 |
| Figura #6. 4: Corridoio (Area 5 e Area 6/8) – Planimetria | 118 |
| Figura #6. 5: Corridoio (Area 15 e Area 11) – Visualizzazione 3D | 119 |
| Figura #6. 6: Corridoio (Area 15 e Area 11) – Planimetria | 119 |
| Figura #6. 7: Aula 39 (Area 17) – Visualizzazione 3D..... | 120 |
| Figura #6. 8: Aula 39 (Area 17) – Planimetria..... | 120 |
| Figura #6. 9: Aula 40 (Area 2 e Area 21) – Visualizzazione 3D (Profilo) | 121 |
| Figura #6. 10: Aula 40 (Area 2 e Area 21) – Visualizzazione 3D..... | 121 |
| Figura #6. 11: Aula 40 (Area 2 e Area 21) – Planimetria..... | 122 |
| Figura #6. 12: Creazione del edificio e degli ambienti | 136 |
| Figura #6. 13: Dislocazione dei componenti KNX negli ambienti..... | 136 |
| Figura #6. 14: Creazione della topologia dell’impianto..... | 137 |
| Figura #6. 15: Creazione della topologia dell’impianto e islocazione dei dispositivi per linea..... | 138 |
| Figura #6. 16: Modifica dell’indirizzo di gruppo..... | 138 |
| Figura #6. 17: Gruppi principali e gruppi centrali | 139 |
| Figura #6. 18: Dislocazione degli indirizzi di gruppo per gruppo centrale | 140 |
| Figura #6. 19: Ogetti di comunicazione del rilevatore di presenza..... | 141 |
| Figura #6. 20: Settori di rilevamento- Parametri del rilevatore di presenza | 142 |
| Figura #6. 21: Valore iniziale di regolazione (%) - Parametri del rilevatore..... | 143 |

| | |
|--|-----|
| Figura #6. 22: Luce ridotta di cortesia - Parametri del rilevatore di presenza... | 144 |
| Figura #6. 23: Oggetti di comunicazione dell'attuatore – On /Off Manuale..... | 145 |
| Figura #6. 24: Contatto normalmente chiuso - Parametri dell'attuatore - On /Off Manuale..... | 146 |
| Figura #6. 25: Logica invertita - Parametri dell'attuatore - On /Off Manuale.... | 146 |
| Figura #6. 26: Oggetti di comunicazione dell'attuatore – On Man. /Off Auto.... | 147 |
| Figura #6. 27: Abilitazione del tempo di ritardo - Parametri dell'attuatore - On Manuale /Off Automatico | 148 |
| Figura #6. 28: Preavviso prima del termine Luci - Parametri dell'attuatore - On Man. /Off Auto | 148 |
| Figura #6. 29: Oggetti di comunicazione dell'attuatore – On /Off Automatico ... | 149 |
| Figura #6. 30: Valore oggetto stato commutazione - Parametri dell'attuatore - On /Off Automatico | 150 |
| Figura #6. 31: Funzione Abilita tempo di ritardo - Parametri dell'attuatore - On /Off Automatico | 150 |
| Figura #6. 32: Oggetti di comunicazione del Gateway DALI | 151 |
| Figura #6. 33: Parametri del Gateway DALI..... | 152 |
| Figura #6. 34: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Controllo LED..... | 153 |
| Figura #6. 35: Parametri dell'interfaccia – Controllo LED | 153 |
| Figura #6. 36: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Sensore di commutazione (Comm. Auto / Man)..... | 154 |
| Figura #6. 37: Parametri dell'interfaccia – Sensore di commutazione (Comm. Auto / Man) | 155 |
| Figura #6. 38: Parametri dell'interfaccia – Accesso al Primo Piano | 156 |
| Figura #6. 39: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia –Accesso al Primo Piano | 156 |
| Figura #6. 40: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Sensore di commutazione (Comm. Acc. / Sp.) | 157 |

| | |
|---|-----|
| Figura #6. 41: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Sensore di commutaz./Dimmer (Incremento luce)..... | 158 |
| Figura #6. 42: Parametri dell'interfaccia – Sensore di commutaz./Dimmer (Incremento luce)..... | 159 |
| Figura #6. 43: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Sensore di commutaz./Dimmer (Decremento luce)..... | 160 |
| Figura #6. 44: Parametri dell'interfaccia – Sensore di commutaz./Dimmer (Decremento luce)..... | 160 |
| Figura #6. 45: Oggetti di comunicazione associati al indirizzo di gruppo “Chiusura Serale” | 161 |
| Figura #6. 46: Curva di decadimento LED lumileds rebel a 350mA e $T_a=25^{\circ}\text{C}$ | 163 |
| Figura #6. 47: Planimetria Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Piano Terra. Lampade a LED e dispositivi KNX | 165 |
| Figura #6. 48: Planimetria Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Primo Piano. Lampade a LED e dispositivi KNX | 166 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|----|
| Tabella #1. 1: Classificazione degli apparecchi illuminanti in funzione del flusso luminoso emesso | 17 |
| Tabella #1. 2: Tipi di lampade e loro caratteristiche principali | 19 |
| Tabella #1. 3: Tipi di lampade e loro caratteristiche principali | 19 |
| Tabella #1. 4: Coefficienti di utilizzazione CU | 21 |
| Tabella #1. 5: Rendimento della regolazione η_R | 33 |
| | |
| Tabella #2. 1: Valori per il fattore di assenza | 50 |
| Tabella #2. 2: Valori per il fattore di controllo | 50 |
| Tabella #2. 3: Valori per il fattore di dipendenza dall'occupazione | 50 |
| Tabella #2. 4: Valori Fattore di occupazione F_O | 51 |
| Tabella #2. 5: Valutazione fattore di controllo F_{OC} | 51 |
| Tabella #2. 6: Fattore di occupazione FO in funzione del valore di FA..... | 54 |
| Tabella #2. 7: Fattore di occupazione FOC per diversi valori di FE | 56 |
| Tabella #2. 8: Fattore di occupazione FOC per diversi valori di tR (Modalità Auto On / Auto Off)..... | 58 |
| Tabella #2. 9: Fattore FD con valori A e B..... | 59 |
| Tabella #2. 10: Fattore FD con valori A e B..... | 60 |
| Tabella #2. 11: Fattore FDC | 60 |
| Tabella #2. 12: Valori di FD in funzione di E, della disponibilità di luce diurna (forte, media o debole) valutabile tramite la norma UNI EN 15193, della latitudine e del tipo di controllo | 61 |
| Tabella #2. 13: Daylight Factor, calcolabili dalla norma UNI EN 15193 | 61 |
| Tabella #2. 14: Valori medi di DF per WZ e TZ | 64 |
| Tabella #2. 15: FDS per le stanze strette ($d/h < 1$) e profonde ($d/h > 1$)..... | 65 |
| Tabella #2. 16: FDC per le stanze strette ($d/h < 1$) e profonde ($d/h > 1$)..... | 66 |
| Tabella #2. 17: Scala di prestazione energetica in funzione dei parametri R_s e R_r 69 | |
| Tabella #2. 18: Valori dell'indicatore EPL | 70 |

| | |
|---|-----|
| Tabella #2. 19: Valori dell'indicatore EPS | 71 |
| Tabella #2. 20: Valori dell'indicatore EPC | 72 |
| Tabella #2. 21: Classificazione complessiva degli indicatori di efficienza energetica del sistema di illuminazione..... | 73 |
| Tabella #2. 22: Risparmio energetico per i consumi per edifici non residenziali. | 76 |
| Tabella #2. 23: Ore di funzionamento annue predefinite in funzione del tipo di edificio | 80 |
| Tabella #2. 24: Fattori di utilizzazione (effettivo e riferimento) in funzione dell'indice del locale k e la frazione di flusso verso l'alto | 88 |
| | |
| Tabella #5. 1: Determinazione del num. di punti di misura..... | 103 |
| Tabella #5. 2: Rilevamento dello stato attuale, Piano Terra | 104 |
| Tabella #5. 3: Rilevamento dello stato attuale, Piano Terra | 106 |
| Tabella #5. 4: Legenda..... | 111 |
| | |
| Tabella #6. 1: Valori di illuminamento per zona compito e per zona circostanti, valori minimi dell'uniformità di illuminamento | 112 |
| Tabella #6. 2: Valori minimi di illuminamento medio mantenuto (E_m) relativi ad alcuni tipi di ambienti di lavoro, raccomandati nella UNI EN 12464-1. Per completezza sono riportati: i valori massimi dell'indice di abbagliamento (UGR_L), i valori massimi dell'indice di resa cromatica (R_a) delle lampade. | 113 |
| Tabella #6. 3: Valori di illuminamento consigliati per le diverse attività (CIE), valori minimi, medi e massimi di illuminamento..... | 114 |
| Tabella #6. 4: Scelta delle lampade..... | 115 |
| Tabella #6. 5: Illuminamento e uniformità progettati per diverse attività | 116 |
| Tabella #6. 6: Campo di rilevamento in funzione dell'altezza di montaggio e attività | 127 |
| Tabella #6. 7: Carichi sui componenti KNX di quadro, Piano Terra..... | 133 |
| Tabella #6. 8: Carichi sui componenti KNX di quadro, Primo Piano | 134 |
| Tabella #6. 9: Numero totale di dispositivi installati per piano | 137 |

| | |
|---|-----|
| Tabella #7. 1: Valori dell'indice LENI ottenuti per lo stato attuale e per il sistema progettato, calcolati con il metodo introdotto dalla norma e con l'approccio | 168 |
| Tabella #7. 2: Confronto dei valori dell'indice LENI calcolati con il metodo introdotto dalla norma per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato considerando solo la sostituzione delle lampade e l'automazione | 169 |
| Tabella #7. 3: Valori di riferimento per il calcolo del fattore di spesa eL, es..... | 173 |
| Tabella #7. 4: Fattori di spesa parziali per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato (Piano Terra) | 174 |
| Tabella #7. 5: Fattori di spesa parziali per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato (Primo Piano) | 176 |
| Tabella #7. 6: Indicatori dell'efficienza energetica per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato (Piano Terra) | 179 |
| Tabella #7. 7: Indicatori dell'efficienza energetica per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato (Primo Piano) | 181 |
| Tabella #7. 8: Valori di EPG e classe energetica | 184 |
| Tabella #7. 9: Analisi tecnico economico dello stato di progetto | 185 |
| Tabella #7. 10: Analisi energetica dell'investimento | 186 |
| Tabella #7. 11: Investimento – Piano Terra | 187 |
| Tabella #7. 12: Investimento – Piano Terra | 189 |
| Tabella #7. 13: Investimento totale dell'impianto con prezzi di listino | 191 |
| Tabella #7. 14: Investimento totale dell'impianto con lo sconto del 50% su ogni dispositivo | 191 |
| Tabella #7. 15: Investimento totale dell'impianto con la sola sostituzione delle lampade | 191 |
| Tabella #7. 16: Analisi finanziaria di un investimento (Automazione inclusa).. | 193 |
| Tabella #7. 17: Analisi finanziaria di un investimento (Sola sostituzione di lampade) | 194 |
| Tabella #7. 18: Analisi finanziaria di un investimento (Considerando il risparmio di energia termica) | 196 |

INDICE DEI GRAFICI

| | |
|---|-----|
| Grafico #2. 1: Cambiamenti di illuminazione durante la vita del sistema di illuminazione, mostrando l'influenza delle varie operazioni di manutenzione (lampada fluorescente tubolare)..... | 48 |
| Grafico #2. 2: Fattore di occupazione FO per diversi ambienti in funzione di FE | 54 |
| Grafico #2. 3: Fattore di Controllo FOC per diverse modalità di controllo dell'illuminazione | 56 |
| Grafico #2. 4: Fattore di Controllo FOC per diversi valori di tR..... | 58 |
| Grafico #2. 5: Illustrazione del fattore di spesa parziale per il controllo dell'illuminamento costante eL, C in funzione del fattore di efficienza per il controllo dell'illuminamento costante FCC e del fattore di manutenzione MF. | 84 |
| Grafico #2. 6: Illustrazione del fattore di spesa parziale per controllo dell'illuminazione dipendente dell'occupazione eL, O in funzione del fattore di occupazione FOC e del fattore di assenza FA | 85 |
| | |
| Grafico #7. 1: Influenza della sostituzione di lampade (per quelle a LED) e dei sistemi di automazione | 168 |
| Grafico #7. 2: Crescita del Valore Attuale Netto (VAN) – (Automazione inclusa) | 193 |
| Grafico #7. 3: Crescita del Valore Attuale Netto (VAN) – (sola sostituzione di lampade) | 194 |
| Grafico #7. 4: Crescita del Valore Attuale Netto (VAN) – (Considerando il risparmio di energia termica)..... | 196 |

INTRODUZIONE

L'illuminazione rappresenta una parte importante del consumo energetico di un edificio. Renderla più efficiente rappresenta dunque una priorità, e le possibilità di risparmio sono molto elevate, grazie alle lampadine a basso consumo energetico che consumano cinque volte di meno rispetto a quelle tradizionali. Un'altra priorità è la promozione di un uso maggiore di metodi di riscaldamento e raffreddamento passivo, biomasse e altre fonti di energia rinnovabili per elettrodomestici.

Questo lavoro di tesi, è ottenuto a partire dall'integrazione delle normative vigenti (UNI 15 193, UNI EN 12 464 e UNI EN 15 217) con gli articoli di ricerca scientifica a riguardo, e consiste nella proposta di un progetto per la realizzazione di un sistema di controllo intelligente dell'impianto di illuminazione per il Dipartimento di Ingegneria Elettrica appartenenti al Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica (DIAEE) dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", in collaborazione con F.C. Automazioni S.R.L, azienda molto ben inserita nel campo della building automation e dell'energy saving. Si prevede detta realizzazione con la partecipazione dell'ABB che offre materiali e tecnologie di ultima generazione per quanto riguarda i sistemi di controllo ed ITAWAN che offre i corpi illuminanti ad elevato rendimento e regolabili.

Il sistema permetterà la gestione automatizzata degli impianti di illuminazione pensando al contributo di luce naturale proveniente dalle finestre e l'effettivo utilizzo del edificio le attività didattiche.

Presentando in breve la struttura della tesi, si parte da capitoli teorici che introducono alle definizioni rilevanti per lo sviluppo del lavoro fino sette capitoli che espongono l'implementazione del progetto del sistema di illuminazione ad alta efficienza e l'analisi tecnico-economica dell'impianto di illuminazione.

Il primo capitolo introduttivo, illustra le nozioni base degli impianti di illuminazione arrivando fino a sei capitoli. Il Capitolo II, affronta in dettaglio le questioni riguardanti l'efficienza energetica di un impianto di illuminazione, includendo tutti i parametri di influenza sia dell'efficienza che del sistema di controllo, inoltre presenta l'indice di efficienza energetica del sistema di illuminazione (LENI) e i fattori di spesa accennati dal rapporto tecnico di tipo informativo della normativa UNI EN 15193. Il Capitolo III, chiarisce su l'analisi costi-benefici dei progetti di investimento.

La metodologia implementata per la presentazione del progetto per il sistema di illuminazione efficiente viene presentata nel Capitolo IV. Successivamente il Capitolo V, mostra tutto lo studio eseguito per lo stato attuale evidenziando tutta l'informazione riscontrata. In seguito il Capitolo VI si propone di delineare la progettazione per l'implementazione di un sistema di illuminazione ad alta efficienza nel Dipartimento.

Nel Capitolo VII, è riportata l'incidenza energetica degli interventi, consentendo di verificare la sostenibilità economica, stimando il costo di investimento ed il periodo di ammortamento delle spese (payback time).

Finalmente, il Capitolo VIII stabilisce una metodologia per realizzare la valutazione energetica di un impianto di illuminazione per qualsiasi tipo di edificio.

PRESENTAZIONE DEL PROBLEMA

L'automazione è nata nel corso della terza rivoluzione industriale allo scopo di studiare, trovare strumenti e strategie per migliorare la qualità della vita; migliorare la sicurezza; semplificare la progettazione, l'installazione, la manutenzione e l'utilizzo della tecnologia; ridurre i costi di gestione e convertire sia i vecchi ambienti che i vecchi impianti.

Di fronte a questi indiscutibili vantaggi si è pensato di proporre un “Incremento della prestazione energetica degli edifici con l'impiego di sistemi di illuminazione ad alta efficienza”, considerando come caso di studio il Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Roma La Sapienza.

OBIETTIVI

OBIETTIVO GENERALE

Incremento della prestazione energetica con l'impiego di sistemi di illuminazione ad alta efficienza del Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università degli Studi "La Sapienza", riducendo il consumo di energia e prevenendo gli sprechi.

OBIETTIVI SPECIFICI

- Esaminare le prestazioni illuminotecniche dello stato attuale.
- Controllare la potenza installata ad oggi per ogni locale.
- Indagare sulle prestazioni illuminotecniche di riferimento a seconda del tipo e destinazione del locale.
- Scelta delle sorgente luminose da utilizzare per il disegno del progetto.
- Progettare la luce con l'adopero di un software di progettazione illuminotecnica e di conseguenza individuare il numero e tipo di lampade da utilizzare.
- Definire la logica di progettazione da implementare.
- Individuare la posizione, quantità e tipologia di dispositivi KNX da installare sia per le stanze che per i quadri.
- Utilizzare il software ETS4 per la configurazione dei dispositivi.
- Realizzare una valutazione energetica e finanziaria degli interventi per verificare la sostenibilità.
- Stabilire un metodo di valutazione energetica sia per nuovi impianti di illuminazione che per quelli esistenti.

CAMPO DI APPLICAZIONE

Le valutazioni sia energetica che finanziaria saranno soggette a discussione per decidere posteriormente l'applicazione o meno degli interventi proposti.

CAPITOLO I

ASPETTI GENERALI DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE

1.1 Riferimenti normativi

I documenti di riferimento nel campo della fotometria e dell'illuminotecnica sono opera di tre organismi: la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) a livello internazionale, il CEN in Europa e l'UNI in Italia.

Le norme nazionali, quando il prefisso UNI è seguito dalla sigla EN, sono il recepimento italiano di norme internazionali.

Le norme UNI alle quali si fa riferimento per lo svolgimento della tesi e delle quali si riporta il sommario originale, sono:

- **Norma: UNI EN 12464-1**

Anno: 2004

Titolo: Luce e illuminazione. Illuminazione dei posti di lavoro. Parte 1: Posti di lavoro in interni.

Sommario: La norma specifica i requisiti illuminotecnici per i posti di lavoro in interni, che corrispondono alle esigenze di comfort visivo e di prestazione visiva. Sono considerati tutti i compiti visivi abituali, inclusi quelli che comportano l'utilizzo di attrezzature munite di videoterminali.

- **Norma: UNI EN 15193**

Titolo: Prestazione energetica degli edifici. Requisiti energetici per illuminazione

Anno: 2008

Sommario: La norma specifica la metodologia di calcolo del consumo energetico degli impianti di illuminazione in interni di edifici e definisce un indicatore numerico dei

requisiti energetici per l'illuminazione da utilizzare per la certificazione energetica. Essa può essere usata sia per gli edifici esistenti sia per gli edifici nuovi o in ristrutturazione.

La norma fornisce anche i riferimenti su cui basare i valori limite di energia previsti per l'illuminazione. Inoltre fornisce una metodologia per il calcolo dell'energia istantanea consumata per l'illuminazione per la stima dell'efficienza energetica globale dell'edificio. Sono escluse le potenze parassite non incluse negli apparecchi.

È considerata la presente normativa in vista che la legge 3 agosto 2013, n.90 (Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n.63) sostituisce l'articolo 11 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 dal seguente:

«Art. 11. (Norme transitorie). - 1. Nelle more dell'aggiornamento delle specifiche norme europee di riferimento per l'attuazione della direttiva 2010/31/UE, le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, di cui all'articolo 3, comma 1, del d.P.R. 2 aprile 2009, n. 59, predisposte in conformità alle norme EN a supporto delle direttive 2002/91/CE e 2010/31/UE, sono quelle di seguito elencate:

- a) raccomandazione CTI 14/2013 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio", o normativa UNI equivalente e successive norme tecniche che ne conseguono;*
 - b) UNI/TS 11300 - 1 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale;*
 - c) UNI/TS 11300 - 2 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione;*
 - d) UNI/TS 11300 - 3 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;*
 - e) UNI/TS 11300 - 4 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria.*
- e-bis) UNI EN 15193 - Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione».*

- **Norma: UNI 10840**

Anno: 2000

Titolo: Luce e illuminazione. Locali scolastici. Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale.

Sommario: La norma specifica i criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale delle aule e di altri locali scolastici, in modo da garantire le condizioni generali per il benessere e la sicurezza degli studenti e degli altri utenti della scuola.

- **Norma: UNI EN 15217**

Anno: 2007

Titolo: Prestazione energetica degli edifici - Metodi per esprimere la prestazione energetica e per la certificazione energetica degli edifici

Sommario: La norma europea specifica: a) gli indicatori globali per esprimere la prestazione energetica complessiva degli edifici, comprendente i sistemi di riscaldamento, ventilazione, condizionamento dell'aria, acqua calda sanitaria e illuminazione; b) le modalità per esprimere i requisiti di prestazione energetica per la progettazione di nuovi edifici o la ristrutturazione di edifici esistenti; c) le procedure per definire i valori di riferimento; d) le modalità per elaborare una procedura per la certificazione energetica degli edifici.

- **Norma: UNI EN 15193_2**

Anno: Normativa in preparazione

Titolo: Progetto di documento di lavoro prCEN / TR 15193-2 v8.0LB

Sommario: Questo documento supporta la direttiva UE 2010/31 / CE sul rendimento energetico degli edifici. Comprende la stima del fabbisogno energetico per l'illuminazione nella costruzione e forma i supporti pratici del rendimento energetico norma CEN prEN 15193-1 degli edifici - fabbisogno energetico per l'illuminazione.

Il layout del documento è strutturato per seguire sostanzialmente il contenuto della prEN 15.193-1 standard.

- **Norma: UNI EN 15232**

Anno: 2007

Titolo: Prestazione energetica degli edifici. Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici.

Sommario: La norma specifica:

- Una lista strutturata delle funzioni di regolazione, automazione e gestione tecnica degli edifici che hanno un'incidenza sulla prestazione energetica degli stessi;
- Un metodo per definire i requisiti minimi da applicare per la regolazione, l'automazione e la gestione tecnica degli edifici di diversa complessità;
- I metodi dettagliati per valutare l'incidenza di queste funzioni su un determinato edificio;
- Un metodo semplificato per arrivare ad una prima stima dell'impatto di queste funzioni su edifici rappresentativi.

1.2 Componenti di un impianto di illuminazione

Le sorgenti primarie di luce artificiale, dette lampade, sono alimentate da energia elettrica e generalmente inserite in dispositivi realizzati con materiali riflettenti e/o rifrangenti atti ad effettuare il controllo in intensità (attenuazione) e direzionalità del flusso luminoso da esse emessa. L'insieme della lampada e del dispositivo di controllo è detto apparecchio illuminante.

Tra i parametri caratteristici delle lampade si trovano:

- *Tensione di alimentazione:* indica la tensione, in Volt, di alimentazione elettrica.

- *Potenza elettrica*: rappresenta, in watt, la potenza necessaria al funzionamento della lampada.
- *Flusso luminoso*: rappresenta la quantità di luce emessa dalla lampada ed è espressa in lumen.
- *Efficienza luminosa η* : è espressa dal rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla lampada e a potenza elettrica necessaria al funzionamento della stessa [lm/W].

1.2.1 Sorgenti luminose

I tipi di sorgenti luminose elettriche fondamentali per l'illuminazione sono classificabili in base alla modalità di generazione della luce.

Per comprendere meglio la trattazione è opportuno osservare la seguente immagine riassuntiva:

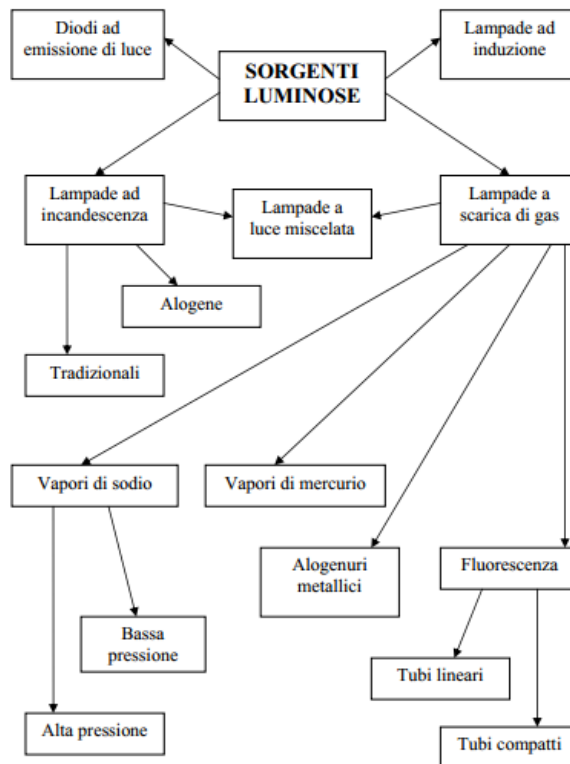


Figura #1. 1: Sorgenti Luminose

Di seguito si elencano le caratteristiche delle tipologie di lampade maggiormente diffuse per illuminazione interna. Si precisa che non sono state, quindi, analizzate le lampade utilizzate principalmente per illuminazione di esterni (lampade ai vapori di sodio o di mercurio B.P. o A.P., lampade agli alogenuri metallici, lampade ad induzione...).

1.2.1.1 Le lampade ad incandescenza

Le lampade ad incandescenza comprendono sia le “tradizionali lampadine” che le “lampade alogene”. Entrambe generano la luce per effetto termico, secondo il principio per cui un corpo riscaldato ad alta temperatura e portato all’incandescenza emette radiazioni luminose.

- **Le lampade ad incandescenza tradizionali**

Sono costituite da un bulbo in vetro dal quale viene tolta l’aria e sostituita con un gas inerte, generalmente Argon con piccole quantità di Azoto; al suo interno, un filamento di Tungsteno attraversato dalla corrente elettrica diventa incandescente ed emette una certa quantità di luce.



Figura #1. 2: Lampada ad incandescenza

Le lampade ad incandescenza “tradizionali” sono caratterizzate da un’efficienza luminosa piuttosto modesta (circa 10-15 lumen/watt) e da una durata di vita di circa 1.000 ore. Queste lampade forniscono istantaneamente il flusso luminoso e, se spente, si riaccendono immediatamente.

Con l'invecchiamento emettono sempre meno luce, pur consumando sempre la stessa quantità di energia, in quanto il tungsteno evapora dal filamento e si deposita in forma di strato scuro sulla parete interna del bulbo di vetro. Per cui sono le più costose per quello che riguarda i consumi, anche se sono le più economiche al momento dell'acquisto. Emettono luce di tonalità "calda" e l'indice di resa cromatica (capacità di distinguere agevolmente i colori) ha il valore massimo: 100. Ciò contribuisce al "comfort" visivo tipico di queste lampade.

- **Lampade ad incandescenza "alogene"**

Sono lampade introdotte per superare i limiti delle tradizionali lampade ad incandescenza, cioè la bassa efficienza e la breve durata di vita. Oggi, specialmente le alogene dicroiche e le alogene IRC a risparmio di energia sono un'ottima soluzione per illuminare tavoli da lavoro e studio. È possibile suddividerle in due grandi famiglie:

- A bassa tensione (230V, tensione di rete);
- A bassissima tensione (6V, 12V, 24V trasformatore).

Le lampade alogene hanno una efficienza luminosa (circa 15-25 lumen/watt) che è quasi il doppio di quelle tradizionali. Durano il doppio di quelle tradizionali (la durata media è di circa 2.000 ore); quelle di ultima generazione (IRC) durano più di 4000 ore. Il decadimento del flusso luminoso in funzione delle ore di vita è praticamente trascurabile e non si ha annerimento del bulbo.

Sono consigliate dove serve illuminazione localizzata e decorativa, immediata disponibilità di luce, utilizzo discontinuo e accensioni e spegnimenti frequenti.

1.2.1.2 Le lampade a scarica

Sono generalmente quelle a vapori di sodio e di mercurio e in particolare le fluorescenti e fluorescenti compatte (comunemente chiamate a risparmio energetico).

- **Lampade Fluorescenti**

Sono costituite da un tubo di vetro rivestito internamente da uno strato di speciali polveri fluorescenti, che contiene vapore di mercurio a bassa pressione. In corrispondenza delle estremità vi sono due elettrodi che al passaggio della corrente generano una scarica a cui è associata l'emissione di radiazioni luminose.

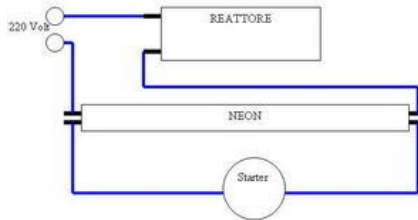


Figura #1. 3: Schema di inserzione di una lampada fluorescente normale

Per alimentare queste lampade è necessario utilizzare un “reattore”, che serve a limitare il valore della corrente. Se il reattore è del tipo “tradizionale” occorre anche uno “starter”, che serve a preriscaldare gli elettrodi per favorire l'accensione, se invece è del tipo “elettronico” lo starter non serve.

Queste lampade differiscono tra loro per tipo di reattore utilizzato, per prestazioni e per dimensioni, hanno un'elevata efficienza luminosa e una lunga durata di vita. Possiamo suddividere le lampade fluorescenti in:

(1) Lampade fluorescenti tubolari: conosciute anche come “neon”, possono essere lineari o circolari. I diametri più adottati sono di 16mm, chiamate T5, e 26mm, chiamate T8. Le caratteristiche della luce emessa dalla lampada sono determinate dalla polvere fluorescente che riveste la parete interna del tubo. Le lampade fluorescenti tubolari hanno un'elevata efficienza luminosa, da 50 a 120lm/W, che è da 4 a 10 volte superiore a quella delle lampade ad incandescenza.

Hanno una lunga durata di vita, circa 10.000 ore, che è circa 10 volte maggiore delle lampade ad incandescenza. Ma attenzione, accensioni e spegnimenti molto frequenti, con intervalli inferiori ai 15 minuti, riducono sensibilmente il tempo di vita di queste lampade. Hanno una resa cromatica superiore a 80 e si accendono immediatamente o quasi immediatamente.

(2) *Lampade fluorescenti compatte*: conosciute come “lampade a risparmio di energia” hanno dimensioni e tonalità di luce simili a quelle delle lampade ad incandescenza, ma un’efficienza luminosa e da una durata di vita notevolmente superiori, hanno un’elevata efficienza luminosa, da 50 a 75lm/W, che è da 4 a 7 volte superiore a quella delle lampade ad incandescenza. Il flusso luminoso non è regolabile. Esistono nella versione con reattore integrato e non integrato all’interno della lampada. Il reattore può essere del tipo convenzionale o elettronico che è più efficiente.

1.2.1.3 I LED

I Diodi a emissione luminosa (LED: Lighting Emitting Diode) sono basati in semiconduttori che trasformano direttamente la corrente elettrica in luce. Non hanno nessun filamento, in modo che hanno un’elevata durata di vita (50000 ore). Sono anche 80% più efficiente rispetto lampade ad incandescenza.

La ricerca sui LED è in forte sviluppo, in quanto queste sorgenti presentano molti vantaggi rispetto alle tradizionali sorgenti per illuminazione. Esse presumibilmente saranno le sorgenti luminose del futuro, nonostante abbiano dei limiti, attualmente ancora oggetto di ricerca, che ne impediscono al momento l’impiego su larga scala.

I punti di forza dei LED possono essere così sintetizzati:

- *Risparmio energetico*: a parità di potenza assorbita, il LED produce un flusso luminoso di circa cinque volte superiore a quello delle lampade ad incandescenza e alogene.

- *Scarso calore sviluppato*: l'efficienza elevata è legata al fatto che solo una piccola parte dell'energia assorbita è dissipata sotto forma di calore, a differenza delle lampade a incandescenza e delle fluorescenti;
- *Bassa potenza richiesta*: al contrario delle lampade tradizionali, i LED hanno bisogno di correnti talmente ridotte che è possibile tranquillamente autoalimentarli con energie rinnovabili (luce del sole o del vento). Questo concetto è già applicato alla segnaletica e ai lampioni per illuminazione urbana, perché molto conveniente dal punto di vista dei costi di gestione.
- *Funzionamento in sicurezza*: rispetto alle lampade normali, che lavorano a tensione di rete, i comuni LED sono più sicuri, perché alimentati a bassa o a bassissima tensione.
- *Lunghissima durata di vita*: con le loro 50000 ore di vita per blu e bianco e 10000 ore per i monocromatici, i LED superano abbondantemente le 750 ore delle lampade a incandescenza e le 15000-20000 ore delle lampade fluorescenti, per cui risultano particolarmente adatti all'utilizzo in situazioni in cui è oneroso, difficoltoso o pericoloso sostituire la sorgente luminosa.
- *Risparmio sui costi di manutenzione*: avendo elevata durata di vita, la manutenzione risulta diluita nel tempo.
- *Resistenza agli urti e alle sollecitazioni*: i diodi sono meccanicamente robusti e anche se cadono a terra non si danneggiano, neppure a caldo, al contrario delle lampade ad incandescenza che, se urtate quando sono ancora calde, si fulminano con facilità
- *Dimensioni e peso ridotti*: permettono di progettare apparecchi compatti e di ridotta profondità, e rappresentano quindi un'ottima soluzione per dispositivi portatili, come cellulari e torce
- *Accensione a freddo*: al contrario delle lampade fluorescenti, i LED hanno tempo di accensione pari a zero fino a temperature di -40°C, per cui il flusso immediatamente pari al flusso di regime.
- *Assenza di componente ultravioletta*: l'assenza totale di emissione UV fa sì che i LED non alterino i colori e non attirino insetti, per cui risultano la sorgente luminosa ideale per illuminare tutti quegli oggetti soggetti a degradazione, come opere d'arte e alimenti.

I punti di debolezza dei LED possono essere così sintetizzati:

- *Prezzo elevato*: a parità di flusso luminoso, il costo dei LED è molto elevato rispetto a quello delle sorgenti tradizionali a incandescenza e a scarica.
- *Bassa resa cromatica*: i LED sono in grado di riprodurre i colori sovrasaturandoli; all'apparenza la resa cromatica è buona.
- *Spegnimento graduale*: a differenza delle lampade tradizionali, il LED diminuisce il suo flusso a poco a poco, per cui tende a non spegnersi completamente dopo la messa in off degli interruttori. Questo problema può essere risolto inserendo uno switch temporizzato che scollega fisicamente il circuito.

1.2.2 Ausiliari

In generale, a meno delle lampade ad alimentazione diretta (incandescenza ed alogene a 230V), tutte le altre necessitano di accessori elettrici che introducono delle perdite nell'assorbimento di potenza elettrica dalla rete.

Le lampade a scarica richiedono un dispositivo che controlli la corrente d'alimentazione. Questo compito può essere svolto da un reattore elettromagnetico le cui caratteristiche corrispondano a quelle della lampada in questione, generano perdite che possono essere quantificate intorno al 10-15% de la potenza nominale (espressa in W) delle lampade ad essi collegate. Altri accessori elettrici necessari sono un condensatore di rifasamento ed uno starter. Lo starter per le lampade a fluorescenza; hanno la funzione di creare una sovratensione istantanea (800-900 V) che provoca l'innesco della scarica all'interno della lampada; accenditori per le lampade a scarica hanno la funzione di generare una tensione elevata (valori da 0,6kV a 5kV) ai capi della lampada, per innescare la scarica all'interno della stessa.

In alternativa può essere utilizzato un reattore di tipo elettronico integrato (ballast). Tipicamente i reattori elettronici hanno minori perdite ed offrono i seguenti vantaggi:

- Assenza di sfarfallio all'accensione;
- A regime, totale assenza dell'effetto stroboscopico, grazie all'elevata frequenza di lavoro;

- Funzionamento senza emissione di rumore;
- Controllo della tensione di lampada indipendentemente dalla tensione di rete;
- Miglioramento della stabilità del flusso luminoso, indipendentemente dalla tensione di rete, per tutta la durata di vita della lampada;
- Prolungamento della durata di vita della lampada.

Le lampade alogene a bassissima tensione necessitano di trasformatori di tipo ferromagnetico o elettronico, per il loro funzionamento. Hanno la funzione di ridurre la tensione di rete al valore nominale della lampada (6-12-24).

I LED necessitano di driver per il controllo della corrente, che nella maggioranza dei casi serve per ridurre la tensione di rete e convertire la corrente alternata in corrente continua.

1.2.3 Apparecchi e ottiche

Gli apparecchi d'illuminazione per interni ed esterni svolgono tre funzioni principali:

- Controllano il flusso luminoso della lampada e lo dirigono nella direzioni desiderate;
- Evitano l'abbagliamento, schermando completamente la lampada nella direzione di osservazione e riducendo la sua luminanza ad un valore tollerabile;
- Proteggono le lampade da danneggiamenti di carattere meccanico o chimico, garantiscono la sicurezza elettrica funzionale e quella contro i contatti accidentali (scosse elettriche).

Un apparecchio illuminante è sostanzialmente costituito da:

- Una o più lampade;
- Attacchi portalampada;
- Ausiliari e cablaggi elettrici per l'accensione, il funzionamento e la regolazione delle lampade;
- Contenitore;

- Elementi di controllo del flusso luminoso ovvero gruppo ottico costituito da elementi trasparenti rifrattori di indirizzamento del flusso, elementi riflettori posti attorno alla lampada per il recupero del flusso, schermi per limitare la dispersione e l'abbagliamento.

Il rendimento ottico di un apparecchio d'illuminazione è determinato dal rapporto tra il flusso luminoso che esce dall'apparecchio illuminante (Φ_{app}) e il flusso emesso dalle lampade funzionanti senza apparecchio (Φ_{lamp}):

$$\eta_{app} = \frac{\Phi_{app}}{\Phi_{lamp}} \quad [p. u.]$$

- Riflettori diffondenti: $\eta_{app} = 65-75\%$;
- Riflettori speculari: $\eta_{app} = 45-90\%$;
- Diffusori per illuminazione diretta o indiretta: $\eta_{app} = 60-75\%$.

La tabella che segue evidenzia la classificazione degli apparecchi illuminanti in funzione del flusso luminoso emesso.

Tabella #1. 1: Classificazione degli apparecchi illuminanti in funzione del flusso luminoso emesso

| Classificazione apparecchio | Distribuzione del flusso [%] | |
|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | Verso l'alto | Verso il basso |
| Diretto | 0-10 | 90-100 |
| Semi-diretto | 10-40 | 60-90 |
| Diffuso | 40-60 | 40-60 |
| Semi-indiretto | 60-90 | 10-40 |
| Indiretto | 90-100 | 0-10 |

Gli apparecchi illuminanti sono i contenitori delle sorgenti luminose e devono rispondere a requisiti illuminotecnici, elettrici, meccanici e funzionali.

Al fine di rispondere ai requisiti illuminotecnici gli apparecchi sono dotati di accessori ottici:

- 1) Riflettori, che consentono di proiettare al di fuori dell'apparecchio due fasci di luce sovrapposti provenienti, l'uno direttamente dalla lampada, l'altro riflesso da una superficie a sezione circolare, parabolica, ellittica, iperbolica, denominata, appunto, riflettore. Il più delle volte essi realizzano le ripartizioni desiderate senza ricorrere all'impiego di altri elementi di controllo.
- 2) Rifrattori, che si impiegano quando il solo riflettore non è sufficiente per controllare il flusso in corrispondenza della superficie di emissione. Essi sfruttano un fenomeno che va sotto il nome di "riflessione totale interna" e consistono generalmente in coppe o pannelli lisci da una parte e di prismi conici o piramidali sull'altra.
- 3) Diffusori, attraverso i quali si può aumentare la dimensione apparente della sorgente in modo da ridurre la luminanza della lampada. Essi sono costruiti con vetro o plastiche opportunamente trattate (ad esempio polistirene, acrilico) e talvolta sono realizzati con carta pergamenata o con stoffe.
- 4) Schermi, che possono essere interni oppure esterni all'apparecchio d'illuminazione. Essi si identificano con deflettori, lamelle, nidi d'ape, alette o altro e fungono da recuperatori di flusso o da dispositivi antiabbagliamento.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali dei diversi tipi di lampade (Tabella #1.2 e Tabella#1.3).

Tabella #1. 2: Tipi di lampade e loro caratteristiche principali

| <i>Tipo di lampada</i> | <i>Tempo di Accensione/ Spegnimento</i> | <i>Alimentazione</i> | <i>Regolazione luminosa</i> | <i>Applicazioni tipiche</i> |
|-------------------------------|---|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Alogena a bassa tensione | Immediato | Tensione di rete | 0-100 % | Generale |
| Alogena a bassissima tensione | Immediato | 6, 12, 24 V | 0-100% | Generale |
| Fluorescente compatta | Immediato | Reattore | 25-100 % | Generale |
| Fluorescente tubolare | Immediato | Reattore | 25-100 % | Generale |
| LED | Immediato | Alimentatore | 0-100 % | Generale e decorativa |

Tabella #1. 3: Tipi di lampade e loro caratteristiche principali

| <i>Tipo di lampada</i> | <i>Potenze nominali tipiche [W]</i> | <i>Tensione di alimentazione [V]</i> | <i>Temp. di colore Tc [K]</i> | <i>Efficienza luminosa ϵ_L [lm/W]</i> | <i>Resa cromatica Ra</i> | <i>Durata vita media [h]</i> |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---|--------------------------|------------------------------|
| Alogena a bassa tensione | 5-150 | 230 | 3200 | 18-23 | 100 | 3000 |
| Alogena a bassissima tensione | 5-150 | 6, 12, 24 | 3200 | fino a 25 | 100 | 3000 |
| Fluorescente compatta | 3-25 | 230 | 2700-6000 | 40-70 | 70-85 | 5000-6000 |
| Fluorescente tubolare | 10-80 | 230 | 2700-6000 | 60-100 | 70-85 | 12000 |
| LED | fino a 10 | 1-5 | 3000-9000 | 10-150 | 60-80 | 60000 |

1.3 Il progetto: Livello di illuminamento, indice del locale

Uno dei parametri fondamentali cui fare riferimento nella progettazione illuminotecnica di interni è rappresentato dal livello di illuminamento (espresso in lux) sui vari piani di riferimento (cioè i piani su cui ha luogo il compito visivo preso in considerazione); generalmente, questo viene considerato a 85 cm dalla quota pavimento (altezza media di un piano di lavoro).

La norma europea UNI-EN 12464-1 [1] definisce i valori di illuminamento medio mantenuto richiesti sui luoghi di lavoro e pertanto costituisce un importante riferimento per i progettisti.

Devono essere considerati vari coefficienti che tengono conto in pratica del fatto che per realizzare un determinato livello di illuminamento medio su una data superficie occorre prevedere un flusso luminoso installato maggiore del valore di flusso calcolato come prodotto dell'illuminamento E richiesto per la superficie S illuminata, che si definisce flusso utile:

$$\Phi_U = E \cdot S \quad [lm]$$

La necessita di prevedere un flusso maggiore del flusso utile deriva dal fatto che l'illuminazione, dalla sua emissione al raggiungimento della superficie da illuminare, subisce delle riduzioni. Il metodo del flusso totale consiste nel valutare tali coefficienti riduttivi e quindi definire il valore di flusso.

Generalmente i coefficienti riduttivi considerati sono due:

- **Coefficiente di mantenimento (m):** Congloba in se le riduzioni di flusso prevedibili nel tempo; tiene conto della variabilità del flusso emesso con l'esercizio degli apparecchi illuminanti ed è dato dal prodotto di due fattori:
 - m' : tiene conto dello stato di pulizia in cui si prevede verranno mantenuti gli apparecchi illuminanti, ha valori compresi tra 0,40 e 0,85 (norme UNI 10380);
 - m'' : tiene conto del decadimento nel tempo del flusso luminoso che si assume mediamente pari a 0,85-0,90.
- **Coefficiente di utilizzazione (u):** Esprime le riduzioni di flusso “nello spazio”, cioè strutturali e di realizzazione. Per coefficiente di utilizzazione si intende il rapporto tra il flusso totale incidente sul piano illuminato (coincidente solitamente con il piano di lavoro) ed il flusso totale emesso dalle lampade installate nell'ambiente.

Tiene conto:

- Delle caratteristiche geometriche dell'ambiente considerato;
- Del colore delle pareti;

- Del rendimento dell'apparecchio illuminante.

L'indice del locale (i) è un parametro molto utile per il calcolo del flusso luminoso totale emesso dalle sorgenti da installare in un ambiente al fine di garantire un certo illuminamento medio sul piano di lavoro. Si basa nelle dimensioni geometriche del locale, può essere ricavato dalla seguente espressione, (per ambiente rettangolare o ricondotto a tale forma):

$$i = \frac{a \cdot b}{h_u \cdot (a + b)}$$

Dove

a e b : Profondità e lunghezza del locale [m];

h_u : Altezza dell'apparecchio illuminante rispetto al piano di lavoro [m].

Il coefficiente di utilizzazione CU si può estrarre dalla Tabella #2.2.1, in funzione del indice del locale e dei coefficienti di riflessione.

Tabella #1. 4: Coefficienti di utilizzazione CU

| COEFFICIENTI DI UTILIZZAZIONE [%] | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Fattori di riflessi | Soffitto | 80 | | | | 50 | | | 30 | 0 |
| | Parete | 50 | | 30 | | 50 | 30 | | 30 | 0 |
| | Pavimento | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 30 | 10 | 10 | 0 |
| Indice del locale (i) | 0,6 | 29 | 28 | 26 | 25 | 28 | 25 | 25 | 24 | 22 |
| | 0,8 | 34 | 32 | 31 | 29 | 33 | 30 | 29 | 29 | 26 |
| | 1 | 38 | 36 | 35 | 33 | 37 | 33 | 32 | 32 | 29 |
| | 1,25 | 42 | 39 | 38 | 36 | 40 | 37 | 35 | 35 | 32 |
| | 1,5 | 45 | 41 | 41 | 38 | 42 | 39 | 38 | 37 | 35 |
| | 2 | 49 | 44 | 45 | 41 | 45 | 43 | 41 | 40 | 38 |
| | 2,5 | 51 | 45 | 48 | 43 | 47 | 45 | 42 | 42 | 40 |
| | 3 | 53 | 46 | 50 | 45 | 49 | 47 | 44 | 43 | 41 |
| | 4 | 56 | 48 | 54 | 47 | 51 | 50 | 46 | 45 | 44 |
| 5 | 58 | 50 | 56 | 49 | 53 | 52 | 48 | 47 | 45 | |

1.4 Installazione: potenza degli apparecchi, disposizione e utilanza

L'illuminamento medio lordo (d'installazione) E_i , viene valutato dal rapporto tra l'illuminamento medio stabilito E per l'ambiente considerato ed il prodotto $m \cdot CU$:

$$E_i = \frac{E}{m \cdot u} \quad [lux]$$

Per il calcolo della potenza specifica elettrica (p) da installare, è necessario fissare il tipo di lampada ad utilizzare, ed stimare un valore di efficienza luminosa ε [lm/W];

$$p = \frac{E_i}{\varepsilon} = \frac{E}{m \cdot u \cdot \varepsilon} \quad \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

Dalla potenza specifica p , essendo nota la superficie complessiva S dell'ambiente da illuminare, è possibile calcolare la potenza complessiva da prevedere per l'ambiente stesso.

$$P = p \cdot S \quad [W]$$

Dal rapporto tra la potenza complessiva calcolata P e la potenza della lampada scelta ad adottare P_1 [W], è possibile individuare il numero di apparecchi illuminanti necessari da installare per realizzare l'illuminamento prefissato nell'ambiente.

$$n = \frac{P}{P_1}$$

È da considerare il valore intero immediato superiore del rapporto stesso.

L'uniformità oltre che dal tipo di apparecchio e dalle riflessioni delle pareti, dipende essenzialmente dal rapporto tra l'interdistanza D fra apparecchi contigui e la loro altezza utile hu sulla superficie da illuminare ($e = D/hu$): per valori di $e \leq 1$ si realizza generalmente una buona uniformità. Ovviamente a questa tendenza si oppone la moltiplicazione dei costi rispetto a soluzioni che realizzano una minore uniformità.

Si può avere:

- **Illuminazione generale:**

Quando le sorgenti luminose sono distribuite in modo regolare nell'ambiente in modo tale da avere una illuminazione uniforme sul piano di lavoro. Questo tipo di installazione però porta ad un elevato costo per garantire un adeguato illuminamento in corrispondenza delle singole postazioni di lavoro;

- **Illuminazione localizzata:**

Quando le sorgenti luminose sono sistemate unicamente in corrispondenza delle singole postazioni di lavoro con una non uniforme illuminazione sul piano di lavoro, ma costi contenuti;

- **Illuminazione mista:**

Si tende ad avere una buona illuminazione generale per garantire un livello minimo di illuminamento uniforme sul piano di lavoro ed una illuminazione supplementare localizzata in corrispondenza delle postazioni di lavoro con compiti visivi delicati.

1.5 Sistemi di controllo

Dalla guida per sistemi di illuminazione ad alta efficienza [2] si tiene che i dispositivi sui quali i sistemi possono attuare il controllo sono:

- Apparecchi di illuminazione, per gestire la luce artificiale all'interno degli ambienti.
- Sistemi di schermatura, per gestire la luce naturale all'interno degli ambienti.

Nella maggior parte dei casi i sistemi di controllo gestiscono esclusivamente l'illuminazione artificiale mentre la movimentazione dei sistemi di schermatura e, quindi, la regolazione dell'illuminazione naturale, avviene con modalità di gestione manuale.

1.5.1 Strategie di controllo

Le strategie di controllo possono essere sintetizzate in:

a) Integrazione della luce naturale e artificiale: viene considerata la disponibilità di luce naturale all'esterno e, quindi, entrante in ambiente attraverso le superfici finestrate. È necessario fare una distinzione in relazione ai dispositivi sui quali i sistemi attuano il controllo:

- Nel caso in cui siano controllati gli apparecchi di illuminazione la presenza di luce naturale all'interno dell'ambiente permetterà di modificare la quantità di flusso luminoso emesso dagli apparecchi di illuminazione fino al raggiungimento di valori predefiniti (e sempre in base alla reale occupazione).
- Nel caso in cui sia presente la gestione dei sistemi di schermatura (tende, veneziane, frangisole etc.) la presenza di luce naturale esterna determina la regolazione automatica degli schermi sulla base di una programmazione eseguita in relazione alla geometria solare del luogo dall'orientamento della facciata sulla quale gli schermi sono installati. L'obiettivo, in questo caso, è favorire la penetrazione della radiazione solare diffusa in specifici momenti della giornata e schermare la radiazione solare diretta.
- Nel caso in cui si attivi il controllo congiunto dei sistemi di schermatura e degli apparecchi di illuminazione, si integra l'illuminazione naturale con quella artificiale in base alle condizioni di illuminamento esterno e alla posizione del sole. Di conseguenza l'emissione luminosa degli apparecchi di illuminazione viene regolata in base alla luminosità complessiva risultante in ambiente

b) Modalità di utilizzo degli ambienti: nel caso in cui sia noto il profilo di occupazione degli ambienti è possibile definire un orario di inizio e fine attività e, di conseguenza, programmare l'accensione e lo spegnimento (parziale o totale) degli apparecchi di illuminazione artificiale. Se, invece, si tratta di ambienti caratterizzati da un'occupazione prevalentemente discontinua è possibile utilizzare dei dispositivi che rilevinò la presenza/assenza delle persone in modo da accendere/spegnere gli

apparecchi di illuminazione solo quando effettivamente necessario. Inoltre, a seconda delle effettive attività che vengono svolte all'interno di un ambiente o dei momenti della giornata, è possibile programmare delle “scene di luce” differenziate.

Quindi i sistemi di gestione e controllo degli impianti di un edificio perseguono sostanzialmente le seguenti strategie di controllo:

- 1) Per presenza persone o attività (F_O):
 - Programmazione oraria (scheduling);
 - Presenza (occupancy);
 - Remotizzazione (remoting);
 - Zonizzazione (zoning).
- 2) Per integrazione con luce naturale (F_D):
 - Guadagno (daylighting).
- 3) Per controllo costante dell'illuminazione (F_C):
 - Controllo costante della luce (illuminante control).

1.5.1.1 Per presenza persone o attività (F_O)

- Programmazione oraria (scheduling)

L'accensione, lo spegnimento e la regolazione dell'impianto in un ambiente o in una zona dell'ambiente sono comandati tramite un segnale orario. È opportuno che lo scheduling consenta una programmazione sia di tipo settimanale (per differenziare i giorni feriali dal sabato e la domenica) che annuale (per differenziare la strategia di controllo nei giorni “speciali” quali Natale, Festa Patronale, 25 aprile, 1° maggio, Capodanno, Epifania, ecc.). Il segnale orario utilizzato può essere di tipo fisso (ore 8:30) oppure di tipo temporizzato (30 minuti). La strategia consente di risparmiare lo spreco di energia che si avrebbe negli ambienti dopo l'orario di sicura assenza di attività.

- *Presenza (occupancy)*

L'accensione, lo spegnimento e la regolazione dell'impianto in un ambiente o in una zona dell'ambiente sono comandati tramite un segnale che indica l'effettiva presenza di persone nel locale considerato. Il segnale può provenire da uno o più sensori di presenza sensibili alla rilevazione di movimento e che siano in grado di coprire tutta l'area interessata dalla presenza di persone in un determinato ambiente oppure da altri dispositivi come un contatto magnetico posto sulla porta del locale, una scheda elettronica utilizzata come chiave con relativo porta schede, ecc.

Questa strategia consente di risparmiare lo spreco di energia che si avrebbe negli ambienti in assenza di persone o attività e risulta estremamente efficace in tutti quegli ambienti, quali ad esempio gli uffici, in cui la presenza è saltuaria e poco prevedibile ed in cui vi è un fattore di assenza F_A elevato.

- *Remotizzazione*

Questa strategia consente di gestire l'impianto in modo remoto, offrendo al personale di esercizio (guardiani, ecc.) oppure al servizio di gestione tecnica per l'esercizio e la manutenzione degli impianti (*Technical Building Management*) uno strumento di supervisione e telecontrollo.

La strategia consente di ottimizzare l'utilizzo degli impianti avendo a disposizione un sistema di supervisione dello stato di effettivo funzionamento dell'impianto e un sistema di comando remoto delle accensioni e delle regolazioni; consente, inoltre, di introdurre una notevole flessibilità di gestione, molto apprezzata a fronte di mutate esigenze di gestione dell'impianto (es. riconfigurazione degli spazi o modificata destinazione d'uso degli ambienti).

- *Zonizzazione (zoning)*

È possibile suddividere l'impianto in più zone di utilizzazione specialmente per i locali di notevoli dimensioni che prevedono differenti attività. L'impianto può offrire prestazioni differenziate in funzione delle attività previste nelle varie zone del locale. Questa strategia consente di ottimizzare l'utilizzo degli impianti, evitando lo spreco di energia in zone degli ambienti dove non è necessaria.

1.5.1.2 Per integrazione con luce naturale (F_D)

L'accensione, lo spegnimento e la regolazione dell'impianto delle luci in un ambiente o in una zona dell'ambiente sono comandati tenendo conto della disponibilità di energia luminosa o termica proveniente dall'esterno. La disponibilità di luce è data da un segnale fornito da un sensore di luminosità posto all'interno del locale. Il corretto posizionamento del sensore gioca un ruolo fondamentale nelle applicazioni di regolazione automatica della luce. Pur essendo difficile stabilire una regola generale per il posizionamento del sensore, in quanto si dovrebbero valutare i vari casi specifici, in linea di massima andrebbe installato a soffitto in una posizione tale per cui la luce esterna che entra da eventuali elementi architettonici (ad esempio finestre) non incida direttamente su di stesso (in pratica il punto più buio del soffitto in tutte le condizioni).

1.5.1.3 Per controllo costante dell'illuminazione (F_C)

Tiene conto di un controllo luce che regola la massima potenza erogabile di un impianto in modo tale da mantenere un valore d'illuminamento prefissato sul piano di lavoro evitando che si determini un livello d'illuminamento superiore al necessario. Determina una riduzione dei consumi a parità di prestazione d'illuminamento richiesto per due motivi:

- Differenza tra la densità effettiva di potenza δ_E e quella teorica δ_{TEOR} ;
- A causa del decadimento naturale delle lampade (fattore di manutenzione MF).

In linea del tutto generale si sovradimensiona l'impianto in termini di potenza dell'ordine di 1/0,8 per evitare che nei primi periodi di utilizzo delle lampade, cioè a piena efficienza, si determini un livello d'illuminamento superiore al necessario.

1.5.2 Tecniche di controllo

Esistono due tecniche di controllo del flusso luminoso emesso da un sistema di illuminazione (a, b) ed altre tecniche di controllo di altri parametri caratteristici dell'apparecchio illuminante:

- a) Accensione/spegnimento (*switching*)
- b) Regolazione dell'intensità (*dimming*)
- c) Variazione del colore
- d) Variazione della temperatura di colore
- e) Attivazione di scene e sequenze luminose
- f) Movimentazione dei sistemi di schermatura.

1.5.2.1 Accensione/spegnimento (switching)

Il circuito elettronico viene chiuso/aperto e nella gran parte delle sorgenti di illuminazione l'attivazione ha effetti immediati tranne che per le lampade a scarica ad alta pressione, le quali necessitano di qualche minuto per l'accensione e di un periodo di raffreddamento ancora maggiore prima della riaccensione.

L'accensione in on-off (*switching*) opportuna di singole o gruppi di lampade di un sistema di illuminazione (Figura #1.4) consente di regolare il flusso luminoso complessivamente emesso dal sistema. È possibile effettuare la regolazione attraverso lo *switching* per:

- Singola lampada (*switching in the lamp*);
- Singolo apparecchio (*switching in the luminaire*);
- Gruppi di lampade (*switching groups of lamps*) come

Evoluzione dello *switching in the lamp*;

- Gruppi di apparecchi (*switching groups of luminaires*) come evoluzione dello *switching in the luminaire*.

L'accensione e lo spegnimento possono avvenire in base:

- Alla reale occupazione degli ambienti (presenza/assenza degli utenti);
- Al tempo di occupazione (essendo noti gli orari di inizio e fine attività e quindi in base ad una programmazione oraria);
- Alla disponibilità di luce naturale entrante dalle superfici finestrate.

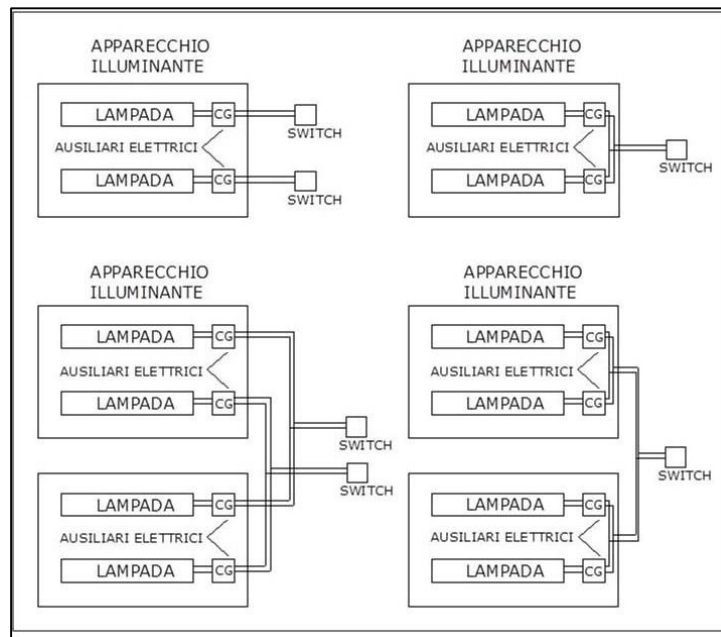


Figura #1. 4: In alto a sinistra “*switching in the lamp*”, in alto a destra “*switching in the luminaire*”, in basso a sinistra “*switching groups of lamps*”, in basso a destra “*switching groups of luminaires*”

Lo switching di singola lampada o singolo apparecchio consente di ottenere un numero maggiore di gradini di regolazione. Nel caso di utilizzo di azioni di controllo del tipo ad interruttori, a relay o a PLC si complica il cablaggio e pertanto si preferisce, in questi casi, adottare una tecnica di controllo del tipo *switching groups of luminaires*. Nel caso

di azione di controllo ad attuatore BUS il cablaggio può semplificarsi notevolmente dal momento che l'azione di switching avviene localmente sulla lampada.

1.5.2.2 Regolazione dell'intensità (dimming)

Dimmerare significa regolare senza discontinuità il flusso luminoso di una sorgente. È possibile, in questo modo, impostare a piacere le situazioni luminose, aumentando il comfort visivo e riducendo il consumo di energia elettrica. La dimmerazione può avvenire in base:

- Alla disponibilità di luce naturale entrante dalle superfici finestrate;
- Ad un intervento diretto da parte degli utenti;
- Ad una programmazione oraria;
- Al livello di illuminamento medio mantenuto definito per l'ambiente, in modo da garantire un ambiente luminoso costante nel tempo, pur considerando il decadimento del flusso emesso dagli apparecchi (*maintenance control*).

Questa funzione permette di regolare l'emissione luminosa nel tempo in base al livello di illuminamento da garantire. In questo modo gli impianti non vengono sovradimensionati e l'energia richiesta a tale scopo è sempre quella strettamente necessaria, con l'effetto di prolungare anche gli intervalli di manutenzione.

Il controllo a prescindere dalla tecnica può essere realizzato in vari modi:

1. *Con il cablaggio tradizionale*: agendo direttamente sulla lampada tramite opportuni dispositivi:
 - Mediante potenziometro con lampade resistive;
 - Tramite pulsanti per la regolazione in modalità "switch mode" nel caso di lampade dotate di reattore DALI ed ingressi per il collegamento di pulsanti per lo "switch mode";

- Utilizzando controlli ausiliari analogici quali 0-10V o 1-10V per lampade fluorescenti con ballast analogico;
 - Per pilotare regolatori di potenza esterni.
2. *Con standard di comunicazione digitale DALI (Digital Addressable Lighting Interface) per alimentatori elettronici (ECG). DALI elimina il divario esistente tra due mondi: da una parte i sistemi 1-10 V (semplici ed economici ma non sufficientemente flessibili), dall'altra i complessi sistemi di controllo degli edifici (building management) caratterizzati da elevati livelli d'intelligenza e funzionalità, ma anche da elevati livelli di conoscenza sistemica e dall'impiego di dispositivi molto costosi. Questo sistema è facile da usare e al tempo stesso versatile, è basato su pochi componenti di costo non elevato, ha un cablaggio minimo e un concetto operativo semplice focalizzato sul controllo della luce in ambienti diversi e in funzione delle diverse attività che in tali ambienti si svolgono. DALI non è un sistema, ma la definizione di un'interfaccia per la comunicazione digitale tra un modulo di comando e gli alimentatori elettronici. Esso mette a disposizione un mezzo intelligente per il controllo della luce in un ambiente con ridotto costo dei componenti, elevata funzionalità e facilità di applicazione.*
 3. *Con sistemi bus digitali del tipo HBES (EN50090) (ad esempio KNX, LON). Questa tecnologia (Fig.9) risponde a tutti i requisiti base, ma è anche adatta a svolgere funzioni molto più complesse all'interno degli edifici ed è, spesso, associata a costi elevati. In genere, richiede l'installazione di una linea speciale di controllo, deve essere supportata da esperti nella fase d'inizializzazione e, solo in casi eccezionali, consente agli utenti di provvedere direttamente al cambiamento delle impostazioni originarie.*
 4. *Con sistemi Bus aperti e con interfaccia software di programmazione user-friendly. Con questo controllo è possibile svolgere funzioni molto più ampie rispetto alla mera regolazione dell'illuminazione e, inoltre, sono notevolmente superati i limiti del Bus "secondario" DALI in termini di numero di ballast gestibili (max 64 ballast), di gruppi (massimo 15), di estensione complessiva*

(al massimo 300m) e, non da ultimo, è consentito una notevole ampliabilità delle funzionalità implementabili rispetto ad uno standard dedicato di fatto esclusivamente alla regolazione della luce quale è il DALI.

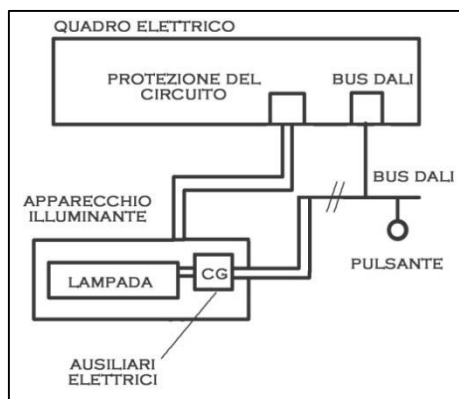


Figura #1. 5: Regolazione in dimming mediante un sistema ausiliario BUS tipo DALI

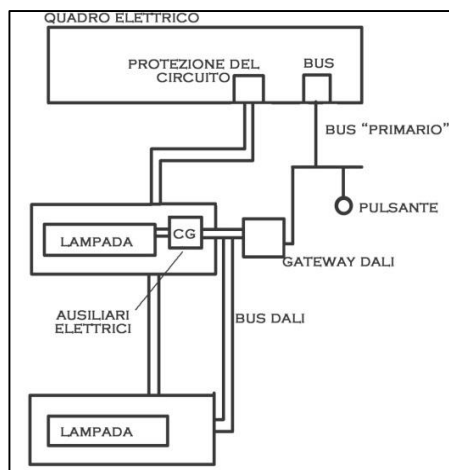


Figura #1. 6: Regolazione in dimming mediante un sistema BUS primario ed uno secondario tipo DALI

La regolazione tramite modulazione del flusso luminoso emesso da una lampada ha una caratteristica flusso-tempo tipicamente non lineare a seconda del tipo di sorgente luminosa e del tipo di sistema di regolazione.

Per caratterizzare il comportamento in termini di efficienza di un sistema di regolazione del flusso luminoso emesso da un apparecchio si può definire il rendimento della regolazione:

$$\eta_R = \frac{\Sigma \Phi_{R\%}}{p_{R\%}} [p. u.]$$

essendo:

- $\Phi_{R\%}$:(%)il flusso luminoso regolato emesso dalla lampada in percentuale rispetto al flusso luminoso nominale $\Phi_{R\%}=\Phi_R/\Phi_L$;
- $p_{R\%}$: (%) la potenza elettrica assorbita dalla lampada che emette il flusso luminoso regolato Φ_R in percentuale rispetto alla potenza nominale P_L : $p_{R\%}=P_R/P_L$.

Nella realtà η_R è una curva di valori che variano in funzione del flusso regolato e, pertanto, può essere espresso con un parametro approssimato (Tabella #1.5).

Tabella #1. 5: Rendimento della regolazione η_R

| | η_R |
|-------------------------------|----------------------------|
| Dimming incandescenza/alogeno | 0,7 |
| Dimming fluorescenza | 0,8 |
| Switching | 1 |

E' un indicatore utile per caratterizzare l'efficienza intrinseca del sistema di regolazione.

1.5.2.3 Variazione del colore

Il sistema di controllo permette la variazione del colore delle sorgenti di illuminazione. Lo spazio cromatico ottenibile dipende dal tipo di lampada e dal tipo di tecnologia

impiegata. La luce colorata permette di variare l'atmosfera degli ambienti ed accentuare i singoli oggetti. La variazione del colore può avvenire in base:

- Ad un intervento diretto da parte degli utenti;
- Ad una programmazione oraria.

1.5.2.4 Variazione della temperatura di colore

È possibile variare la tonalità di colore della luce emessa dalle sorgenti. Modificando la temperatura di colore è possibile simulare, attraverso la luce artificiale, l'illuminazione naturale proveniente dal sole. La variazione della temperatura di colore può avvenire in base:

- Ad un intervento diretto da parte degli utenti;
- Ad una programmazione oraria.

1.5.2.5 Attivazione di scene e sequenze luminose

Una scena rappresenta una situazione luminosa statica attraverso la quale definire dei valori per ogni apparecchio o gruppo di apparecchi. I valori possono essere l'accensione, lo spegnimento o il livello di illuminamento compreso tra un minimo ed un massimo. Per impostare una sequenza è necessario definire sia le singole scene sia i parametri delle transizioni. Il tempo di transizione, infatti, rappresenta la durata del cambiamento della scena (può essere brevissimo, con un cambio di scena immediato, oppure durare alcune ore).

Il sistema di controllo permette la memorizzazione delle diverse situazioni cromatiche che possono essere richiamate in base:

- Ad un intervento diretto da parte degli utenti;
- Ad una programmazione oraria.

1.5.2.6 Movimentazione dei sistemi di schermatura

Le schermature possono essere gestite in relazione alla posizione (aperte/chiuso) ed eventualmente alla regolazione dei componenti lamellari (veneziane, frangisole) in base:

- Alle condizioni luminose esterne;
- Alla richiesta specifica degli utenti.

1.5.3 Modi di controllo

Il modo di controllo esprime la modalità di gestione del sistema di controllo e può essere:

- Manuale: le azioni vengono effettuate manualmente dall'operatore;
- Automatico stand alone: le azioni vengono effettuate in modo automatizzato tramite un sistema locale che non comunica con il resto del sistema di controllo
- Automatico centralizzato: le azioni vengono effettuate in modo automatizzato tramite un sistema generale. Il modo di controllo automatico centralizzato può essere ad intelligenza concentrata oppure ad intelligenza distribuita
- Misto: il sistema di controllo non necessita dell'interazione dell'utente ma, nel momento in cui le condizioni di illuminazione definite e richiamate dall'impianto non dovessero rispecchiare la necessità dell'utente, consente, in qualsiasi momento, di modificarle. In molte tipologie di ambienti, infatti, può presentarsi la necessità di realizzare condizioni di illuminazione diverse da quelle previste dal sistema automatico, in relazione alla presenza di particolari condizioni esterne o per lo svolgimento di attività temporanee diverse da quelle solite.

1.5.4 Componenti del sistema di controllo

Nella maggior parte dei casi i sistemi di controllo gestiscono esclusivamente l'illuminazione artificiale mentre, la movimentazione dei sistemi di schermatura e, quindi, la regolazione dell'illuminazione naturale, avviene con modalità di gestione manuale.

Gli strumenti attraverso i quali vengono generate concretamente delle modifiche al funzionamento dell'impianto sono i dispositivi di controllo, necessari a recepire dei dati e a trasmetterli come segnali atti a mantenere o variare il funzionamento dei terminali controllati. Possono essere classificati in:

1) Dispositivi attivi: sono così chiamati perché attuano automaticamente, in base alle condizioni dell'ambiente in cui vengono installati, le modifiche all'impianto di illuminazione sulla base di impostazioni programmate. Sono definibili come dispositivi attivi:

- *Fotosensori*: sono dispositivi che sono in grado di leggere la quantità di luce naturale incidente su una superficie di riferimento (il piano orizzontale di una scrivania o la superficie verticale di un componente finestrato) in modo da regolare il flusso luminoso emesso dagli apparecchi nell'ottica di mantenere un valore di illuminamento costante in un ambiente. Indipendentemente dalla modalità di funzionamento e dalla posizione, il compito del fotosensore è quello di variare la quantità di flusso luminoso emesso dagli apparecchi di illuminazione accendendoli, spegnendoli o regolandone il flusso luminoso emesso, in relazione alla disponibilità di luce naturale presente in ambiente. Questa regolazione permette di fornire la quantità di illuminazione artificiale necessaria ad integrare quella naturale.
- *Sensori di occupazione*: possono essere a ultrasuoni o a infrarossi e hanno il compito di rilevare la presenza/assenza di persone all'interno degli ambienti in cui sono installati con l'obiettivo di accendere o spegnere gli apparecchi di illuminazione ottimizzando l'utilizzo delle luci artificiali. Il sistema di

funzionamento è simile a quello dei dispositivi anti-intrusione. Un sensore di occupazione va installato tenendo conto delle caratteristiche del dispositivo, dell'ambiente e delle attività da svolgere. Può essere collocato in verticale, a parete, in orizzontale o a soffitto. Risulta, quindi, fondamentale conoscere il campo di lettura del sensore per evitare zone scoperte o movimenti al di fuori dell'area di controllo.

- *Timer*: è un dispositivo che, agendo sulla linea elettrica dell'impianto di illuminazione, determina la chiusura e/o l'apertura del contatto elettrico accendendo o spegnendo gli apparecchi di illuminazione secondo fasce orarie predefinite. Esso garantisce l'utilizzo di luce artificiale durante le ore effettive di utilizzo, conoscendo il profilo d'uso degli ambienti. L'accensione e lo spegnimento degli apparecchi di illuminazione può essere totale o parziale determinando in alcuni casi anche la regolazione del flusso luminoso. La programmazione del timer avviene impostando la regolazione dell'impianto su base giornaliera, settimanale, mensile e/o annuale, differenziandola anche in base alle stagioni.

2) Dispositivi passivi: sono così chiamati perché necessitano di un intervento manuale, determinato dall'utente, per eseguire modifiche all'impianto di illuminazione secondo impostazioni predefinite. Si tratta, in questo caso, di interruttori, tastiere, telecomandi, touchscreen o qualsiasi altro dispositivo attraverso il quale le impostazioni possano essere richiamate manualmente.

1.6 Architettura KNX

All'interno di una rete EIB/KNX possiamo distinguere vari dispositivi raggruppati in linee, a loro volta appartenenti a delle "zone" o "aree" che costituiscono il sistema completo. La linea che li unisce è il bus, costituito da un doppino utilizzato sia per la

trasmissione dei segnali che per l'alimentazione dei dispositivi. Ogni linea può raggruppare fino a 64 dispositivi, ogni area fino a 15 linee e ogni sistema può comprendere fino a 15 aree distinte. In ogni sistema EIB/KNX è possibile connettere oltre 14400 dispositivi diversi. Le linee vengono collegate alle linee principali mediante accoppiatori di linea (AL); più linee principali possono essere accoppiate tra loro mediante una linea dorsale e gli accoppiatori di area.

Tra i dispositivi che possono essere collegati si trovano: sensori di presenza, controllo accessi, attuatori per le luce, lampade di emergenza, display, termostati.

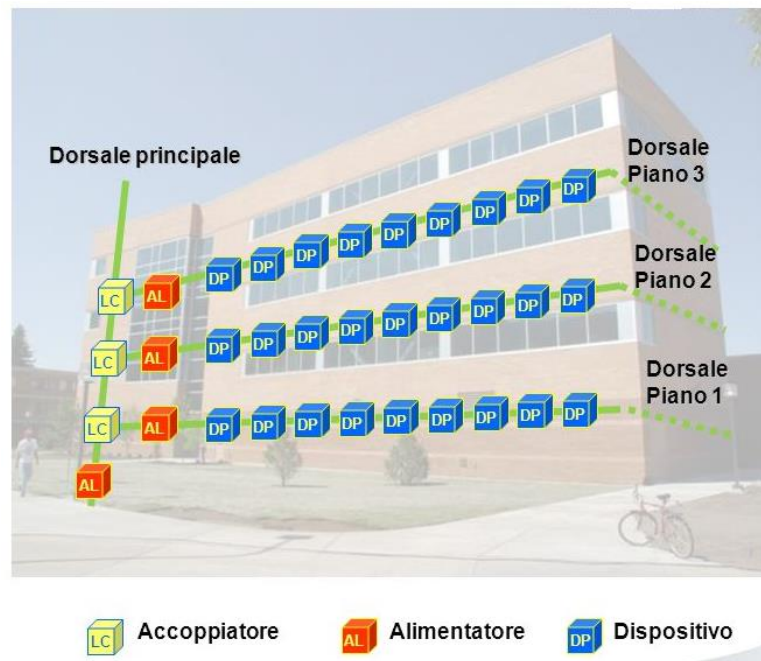


Figura #1. 7: Architettura Konnex

Ciascun tipo di linea principale o dorsale che definisce una sezione del sistema può avere la distribuzione che si definisce (lineare, a stella, ad albero o una qualsiasi combinazione).

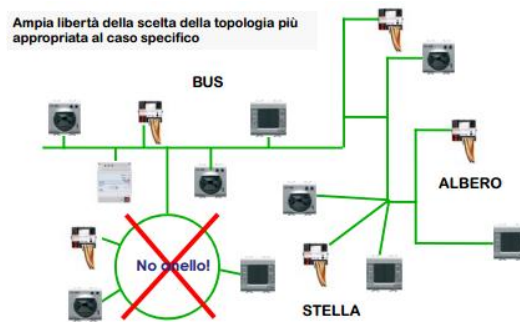


Figura #1. 8: topologia del cablaggio

Per garantire il funzionamento del sistema devono essere rispettati i seguenti standard KNX:

- Lunghezza massima di una singola linea 1000 m (somma dei singoli tratti di condotta)
- Numero massimo di dispositivi sulla singola linea 64 connessi al bus
- Distanza massima fra 2 dispositivi 700 m
- Distanza massima di un dispositivo dall'alimentatore 350 m
- Numero massimo di alimentatori per linea 2 (posti almeno a 200 m uno dall'altro)
- Quando sono presenti oltre 30 componenti in 10 m di linea, l'alimentatore deve essere posizionato nelle immediate vicinanze.



Figura #1. 9: Distanza tra gli oggetti di comunicazione

Un vantaggio del cavo bus è che può essere posato senza problemi accanto alla linea di alimentazione a 230 V, negli stessi tubi o canalizzazioni. Lo scambio d'informazione tra dispositivi avviene mediante telegrammi che trasmettono le informazioni necessarie sotto forma di bit. Ogni volta che si aziona un interruttore oppure viene eccitato un sensore di allarme o semplicemente se un dispositivo ha informazioni da trasmettere viene immesso un telegramma sul bus. Il telegramma è costituito da più campi ognuno dei quali contiene una precisa informazione.

I campi sono:

- *Campo di controllo*: contiene informazioni sul tipo di messaggio e priorità telegramma.
- *Indirizzi di partenza*: contiene l'indirizzo fisico del dispositivo sorgente.
- *Indirizzo di destinazione*: contiene un indirizzo di gruppo ma in alcuni casi può contenere un indirizzo fisico.
- *Lunghezza*: indica la dimensione del campo dati del telegramma (0-15 byte); la lunghezza massima di un telegramma è 23 byte.
- *Routing center*: indica il numero di salti che il telegramma compie prima di raggiungere la destinazione.
- *Dati*: contiene le informazioni che il dispositivo iniziale invia ad un altro indirizzo
- *Byte di controllo*: è un byte che permette di verificare se i dati negli altri campi sono arrivati correttamente.

Per ciò che riguarda l'indirizzamento dobbiamo distinguere due tipi di indirizzi: indirizzo fisico e indirizzo di gruppo.

Ad ogni dispositivo corrisponde un indirizzo "fisico" univoco in tutto il sistema, e ha l'aspetto di:

1.1.1

Dove il primo numero rappresenta l'area, il secondo la linea, il terzo il dispositivo.

Indirizzo di Zona (Area): 4 bit → 16 valori da 0 a 15 (0 riservato alla dorsale)

Indirizzo di Linea: 4 bit → 16 valori da 0 a 15 (0 riservato alla dorsale)

Indirizzo del Dispositivo: 8 bit → 256 valori da 0 a 255 (0 riservato all'accoppiatore)

L'indirizzo di gruppo invece può essere definito come un indirizzo comune a due o più dispositivi inter correlati da una stessa logica funzionale, possiamo dire che l'indirizzo di gruppo realizza un cablaggio logico tra i vari dispositivi. Gli indirizzi di gruppo a differenza di quelli fisici vengono indicati come:

1/1/1

Dove il concetto di area, linea, campo viene sostituito da gruppo principale, gruppo centrale e gruppo minore (o sottogruppo).

Indirizzo di Gruppo principale: 4 bit → 16 valori da 0 a 15

Indirizzo di Gruppo centrale: 3 bit → 8 valori da 0 a 7

Indirizzo del Dispositivo: 8 bit → 256 valori da 0 a 255

Finalmente l'assegnazione degli indirizzi fisici e di gruppo si esegue tramite programmazione con il software ETS.

Per quanto riguarda i mezzi trasmissivi lo standard KNX ne prevede diversi:

- TP (Twisted Pair) TP-1. Questo mezzo di comunicazione (cavo bus twistato con velocità pari a 9600 bit a secondo) proviene da EIB.
- PL (Power Line) PL 110. Questo mezzo di comunicazione (rete di alimentazione con velocità pari a 1200 bit al secondo) proviene da EIB.
- RF (Radio Frequency). I dispositivi KNX che supportano questo mezzo di comunicazione usano segnali radiofrequenza per trasmettere telegrammi KNX
- IP (ETHERNET). I telegrammi KNX possono essere trasmessi incapsulati in telegrammi IP. I router IP rappresentano un 'alternativa all' interfaccia dati USB per linee TP.

CAPITOLO II

EFFIENZA ENERGETICA DI UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

Gli interventi realizzabili per l'aumento della efficienza di un sistema di illuminazione nel suo complesso, ricadono in due categorie principali:

- Sostituzione di componenti e sistemi con altri più efficienti (lampade, alimentatori, corpi illuminanti, regolatori);
- Adozione di sistemi automatici di regolazione, accensione e spegnimento dei punti luce (sensori di luminosità e di presenza, sistemi di regolazione).

Per quanto riguarda le lampade si segnalano gli interventi di sostituzione delle lampade con quelle lampade a LED, che, grazie alla sua altissima efficienza, la tecnologia LED garantisce un risparmio rispetto alle normali lampadine a incandescenza del 90% e del 60% rispetto a quelle a basso consumo.

Gli interventi inerenti alla regolazione riguardano: il comando manuale per aree distinte, il controllo automatico a tempo, il comando automatico con rilevatore di presenza, la regolazione del flusso luminoso in funzione del decadimento delle lampade, dell'orario e dell'apporto di luce diurna.

Nei paragrafi successivi si descriveranno i parametri di influenza dell'efficienza del sistema che possono riguardare:

- La scelta del tipo di sorgente luminosa: della sua efficienza luminosa (ϵ_L), del fattore di decadimento del flusso luminoso ($LLMF$) e del suo fattore di mortalità (LSF);

- La scelta del tipo di apparecchio di illuminazione: del suo rendimento ottico (LOR) e del fattore di manutenzione dell'apparecchio (LMF) che tiene conto del suo stato di pulizia;

Si descriveranno anche i parametri caratteristici del controllo che possono riguardare alla presenza o meno di persone nel locale, alla considerazione del contributo della luce diurna e al controllo costante dell'illuminazione.

2.1 Parametri di influenza dell'efficienza del sistema

La efficienza effettiva del sistema di illuminazione risulta ottenibile dal rapporto:

$$\delta_E = \frac{P_N}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Essendo

P_N : La potenza elettrica nominale complessiva dell'impianto di illuminazione effettivamente installata [W].

A : L'area del locale oggetto della valutazione [m^2].

La potenza P_N può essere espressa anche come somma delle potenze degli apparecchi illuminanti installati, tramite la relazione:

$$P_N = n_L \cdot n_A \cdot P_L \cdot (1 + p_a) \quad [W]$$

Dove:

n_A : Numero di apparecchi illuminanti utilizzati per l'illuminazione del locale.

n_L : Numero di lampade per apparecchio.

p_a : Fattore che tiene conto degli ausiliari.

P_L : Potenza elettrica assorbita dalla sorgente luminosa senza tenere conto delle perdite negli ausiliari elettrici.

È possibile determinare un'efficienza teorica (δ_T) dal rapporto tra la potenza elettrica necessaria ad illuminare il locale e la superficie del locale stesso, che serve come un indicatore di solo riferimento, dato che, tiene conto delle caratteristiche dei componenti adottati ma non tiene conto della disposizione effettiva degli apparecchi in termini di numero, ma che risulta utile in fase di analisi dell'impianto in riferimento alle tipologie di componenti scelti.

$$\delta_T = \frac{E \cdot (1 + p_A)}{\varepsilon_L \cdot CU \cdot MF} = \frac{E}{\varepsilon_L \cdot \eta_O \cdot \eta_A \cdot \eta_T} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Dove:

E : illuminamento medio [lux];

ε_L : efficienza luminosa della lampada [lm/W];

η_O : rendimento ottico dell'apparecchio (*p. u.*);

η_A : rendimento degli ausiliari (*p. u.*);

η_T : rendimento nel tempo dell'apparecchio illuminante (*p. u.*).

Da questo indicatore di riferimento δ_T è possibile valutare l'efficienza relativa δ_R di sistema di illuminazione espressa in *p. u.*, in relazione con l'efficienza effettiva δ_E calcolata in sede di progetto:

$$\delta_R = \frac{\delta_E - \delta_T}{\delta_T} \quad [p. u.]$$

Lo scostamento δ_R si può calcolare su due riferimenti:

- (1) Con lo stesso tipo di apparecchio illuminante usato;
- (2) Con un apparecchio di riferimento, diverso da quello usato.

Se lo scostamento risulta essere rilevante significa che si è fatto un errore nella scelta dell'apparecchio illuminante.

2.1.1 Sorgenti luminose: efficienza luminosa, LLMF, LSF

L'efficienza luminosa di una sorgente di luce è uno dei parametri più importanti per la stima del consumo energetico, in quanto nelle lampade, anche in quelle più efficienti, l'energia elettrica assorbita si trasforma in parte in forme di energia diverse dalla luce visibile, come le radiazioni UV ed il calore. Ed è per questo che influenza nell'efficienza del sistema. È data dal rapporto tra il flusso luminoso Φ_L emesso e la potenza elettrica P_L di alimentazione.

$$\varepsilon_L = \frac{\Phi_L}{P_L} \left[\frac{lm}{W} \right]$$

Altri fattori che influenzano l'efficienza del sistema, è quello di manutenzione del flusso luminoso (*LLMF*), che indica la riduzione specifica del flusso di una lampada nel corso della sua durata, e il fattore di durata delle lampade (*LSF*) che indica la percentuale di lampade ancora funzionanti trascorso un certo intervallo di manutenzione.

2.1.2 Apparecchi di illuminazione: rendimento ottico (LOR), LMF

Il sistema ottico ha la funzione essenziale di indirizzare in modo opportuno il flusso emesso dalle sorgenti luminose. Di fatto gli apparecchi illuminanti riducono il flusso luminoso della/e lampade, assorbendone una parte e diffondendo il resto. Questa caratteristica viene illustrata da quello che viene definito il rendimento ottico di un apparecchio detto *Light Output Ratio* LOR (CIE 52/1982), ossia il rapporto tra il flusso totale emesso dall'apparecchio Φ_A , misurato in determinate condizioni, ed il flusso luminoso emesso dalla lampada funzionanti senza apparecchio Φ_L .

$$\eta_o = \frac{\Phi_A}{\Phi_L} = LOR \quad [p. u.]$$

Da questo, è possibile determinare l'efficienza di un apparecchio illuminante, che può essere espressa tramite il rapporto tra il flusso luminoso utile irraggiato

dall'apparecchio Φ_A e la potenza elettrica P_L assorbita senza tenere conto delle perdite negli ausiliari elettrici, oppure come il prodotto dell'efficienza della sorgente ε_L per il rendimento ottico η_O dell'apparecchio:

$$\varepsilon_A = \frac{\Phi_A}{P_L} = \varepsilon_L \cdot \eta_O \quad \left[\frac{lm}{W} \right]$$

L'efficienza luminosa dell'apparecchio luminoso come complesso lampada ausiliari ottica è pari al rapporto tra il flusso luminoso utile e la potenza elettrica assorbita complessivamente dall'apparecchio P_T [W] tenendo conto delle perdite negli ausiliari elettrici di alimentazione P_A [W]. Può essere espressa anche come il prodotto dell'efficienza dell'apparecchio per il rendimento elettrico degli ausiliari:

$$\varepsilon_{LAO} = \frac{\Phi_U}{(P_L + P_A)} = \varepsilon_L \cdot \eta_O \cdot \eta_A \quad \left[\frac{lm}{W} \right]$$

Si definisce il rendimento elettrico η_A (p. u.) degli ausiliari dal rapporto:

$$\eta_A = \frac{1}{(1 + p_A)} \quad [p. u.]$$

Essendo:

p_A : Perdite elettriche in [p.u.]

$$p_A = \frac{P_A}{P_L} \quad [p. u.]$$

Nel caso di lampade a scarica gli ausiliari elettrici sono costituiti dal complesso reattore, condensatore, starter. Nel caso di lampade ad incandescenza in bassissima tensione (<220V) gli ausiliari elettrici sono costituiti dal trasformatore di tensione. Nel caso di LED gli ausiliari elettrici sono costituiti dal driver di alimentazione.

L'efficienza di un apparecchio illuminante che tenga conto dell'installazione può essere espressa, pertanto, come il prodotto dell'efficienza della sorgente ε_L , per il rendimento ottico η_O dell'apparecchio per il rendimento dell'installazione η_I :

$$\varepsilon_I = \varepsilon_L \cdot \eta_O \cdot \eta_I \quad \left[\frac{lm}{W} \right]$$

Il rendimento dell'installazione η_I (p.u.) è pari al rapporto tra il flusso luminoso che raggiunge direttamente ed indirettamente il piano di lavoro Φ_U e il flusso emesso dall'apparecchio Φ_A :

$$\eta_I = \frac{\Phi_U}{\Phi_A} \quad [p. u.]$$

Da questo, può essere ricavato il coefficiente di utilizzazione CU dell'apparecchio illuminante, che è un parametro che dipende dalle caratteristiche del locale (coefficienti di riflessione ed indice del locale).

$$CU = \eta_O \cdot \eta_I \quad [p. u.]$$

Il flusso luminoso utile disponibile sul piano di lavoro che tiene conto del decadimento del flusso nel tempo può essere espresso mediante la formula:

$$\Phi_{U(t)} = MF \cdot \Phi_L \quad [lm]$$

Essendo MF il fattore di mantenimento, parametro che descrive la riduzione graduale del livello di illuminazione all'interno di un locale nel corso della vita dell'impianto, ed per questo, che può essere considerato come un rendimento nel tempo dell'apparecchio illuminante:

$$\eta_T = MF$$

L'efficienza luminosa dell'apparecchio luminoso come complesso lampada ausiliari ottica nel tempo (efficienza luminosa dell'impianto), può essere definita come il rapporto tra il flusso luminoso utile disponibile sul piano di lavoro che tiene conto del decadimento del flusso $\Phi_{U(t)}$ e la potenza elettrica assorbita dal complesso lampada-ausiliari elettrici di alimentazione:

$$\varepsilon_{(t)} = \frac{\Phi_{U(t)}}{(P_L + P_A)} \left[\frac{lm}{W} \right]$$

Pertanto si può concludere che:

$$\varepsilon_{(t)} = \varepsilon_L \cdot \eta_O \cdot \eta_A \cdot \eta_T$$

I cambiamenti di illuminazione durante la vita del sistema di illuminazione, contemporaneamente con l'influenza di diverse operazioni di manutenzione di una lampada fluorescente tubolare, sono presentati nella figura che segue:

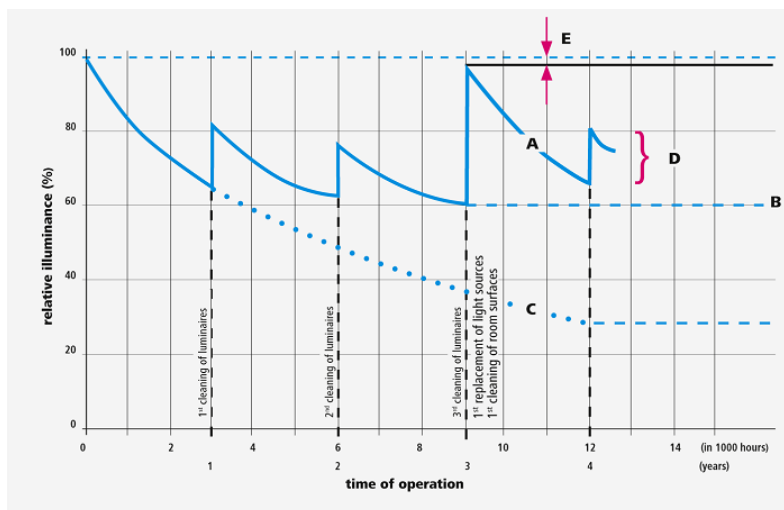


Grafico #2. 1: Cambiamenti di illuminazione durante la vita del sistema di illuminazione, mostrando l'influenza delle varie operazioni di manutenzione (lampada fluorescente tubolare)

- A – Curva di un sistema di illuminazione mantenuto
- B - Fattore di manutenzione, valore mantenuto
- C - Curva di un sistema di illuminazione non mantenuto
- D - Benefici della pulizia di apparecchi ad intervalli regolari
- E - Perdita irreversibile causata dall'invecchiamento dei materiali di apparecchi

Secondo la figura l'apparecchio illuminante subisce, in assenza di manutenzione, un decadimento del flusso luminoso che può determinare una riduzione di illuminamento fino al 40% del valore iniziale.

Prevedendo un piano di manutenzione con frequenza annuale per la pulizia delle lampade e dell'apparecchio illuminante si ottengono dei benefici che, comunque, decrescono con il passare del tempo per effetto dell'invecchiamento e dello stato di pulizia delle superfici del locale. La pulizia delle superfici del locale e la sostituzione dell'apparecchio illuminante, dopo tre anni dall'installazione, consente di ripristinare il livello di illuminamento inizialmente scelto in fase di progetto, mentre la mancata pulizia delle superfici del locale gioca un ruolo non trascurabile in tal senso.

2.2 Parametri di influenza in un sistema di controllo

2.2.1 Fattore di dipendenza dall'occupazione: FO

Fattore che tiene conto dell'eventuale presenza di un controllo luce, manuale o automatico, sensibile all'occupazione dei locali. È funzione del tipo di sistema di controllo dell'illuminazione (attraverso il coefficiente F_{OC}) e del livello di assenza degli occupanti nell'ambiente considerato (attraverso il coefficiente F_A). Assume valori compresi nell'intervallo: $0 \leq F_O \leq 1$.

Il coefficiente F_O potrà essere calcolato tramite il metodo fornito dalla norma UNI EN 15193 [3], calcolando i due fattori menzionati precedentemente, in funzione della

tipologia del sistema di controllo scelto (Tabella #3.2) e il valore del fattore di assenza FA secondo le varie tipologie di edificio e locale (Tabella #3.1).

Tabella #2. 1: Valori per il fattore di assenza

| Valori di riferimento per il coefficiente FA | | | |
|--|-----|------------------------------|------|
| Uffici | | Edifici scolastici | |
| 0,2 | | 0,2 | |
| Uffici per una persona | 0,4 | Classi | 0,25 |
| Uffici da 1 a 6 persone | 0,3 | Spazi per attività di gruppo | 0,3 |
| Corridoi | 0,4 | Corridoi | 0,4 |
| Hall | 0 | Biblioteca | 0,4 |
| Showroom/Expo | 0,6 | Palestra | 0,3 |
| Bagni | 0,9 | Mensa | 0,2 |
| Sala Conferenze | 0,5 | Cucina | 0,2 |

Tabella #2. 2: Valori per il fattore di controllo

| | |
|--|------------|
| System without automatic presence or absense detection | FOC |
| Manual On / Off Switch | 1.00 |
| Manual On / Off Switch + additional automatic sweeping extinction signal | 0.95 |
| System with automatic presence and/or absense detection | FOC |
| Auto On / Dimmed | 0.95 |
| Auto On / Auto Off | 0.90 |
| Manual On / Dimmed | 0.90 |
| Manual On / Auto Off | 0.80 |

Tabella #2. 3: Valori per il fattore di dipendenza dall'occupazione

| | |
|--|---|
| $F_o = 1$ | Se l'illuminazione è controllata centralmente o in gruppi per aree maggiori di 30m ² |
| $F_o = 1 - F_A \cdot \frac{1 - F_{OC}}{0.2}$ | Se $0.0 \leq F_A \leq 0.2$ |
| $F_o = F_{OC} + 0.2 - F_A$ | Se $0.2 \leq F_A \leq 0.9$ |
| $F_o = (7 - 10F_{OC}) \cdot (F_A - 1)$ | Se $0.9 \leq F_A \leq 1.0$ |

I risultati possono essere tabellati ottenendo i valori sottostanti

Tabella #2. 4: Valori Fattore di occupazione F_o

| F_A | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|---|-----|-------|-------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Accensione e spegnimento manuale | 1 | 1 | 1 | 0,9 | 0,80 | 0,7 | 0,60 | 0,50 | 0,40 | 0,30 | 0,00 |
| Accensione e spegnimento manuale + sistema generale automatico di spegnimento | 1 | 0,975 | 0,950 | 0,85 | 0,75 | 0,6 | 0,55 | 0,45 | 0,35 | 0,25 | 0,00 |
| Accensione automatica e spegnimento con dimmerizzazione | 1 | 0,975 | 0,950 | 0,85 | 0,75 | 0,6 | 0,55 | 0,45 | 0,35 | 0,25 | 0,00 |
| Accensione e spegnimento automatico | 1 | 0,950 | 0,900 | 0,80 | 0,70 | 0,6 | 0,5 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,00 |
| Accensione manuale e spegnimento con dimmerizzazione | 1 | 0,950 | 0,900 | 0,80 | 0,70 | 0,6 | 0,50 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,00 |
| Accensione manuale e spegnimento automatico | 1 | 0,900 | 0,800 | 0,70 | 0,60 | 0,5 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,00 |

Inoltre, nell'articolo "Energy performance of Buildings: An useful procedure to estimate the impact of the lighting control system", di G.Parise, L.Martirano, L.Parise [4], viene accennato un metodo alternativo al calcolo dei fattori di influenza in un sistema di controllo. In particolare, l'approccio proposto introduce la seguente formula:

$$FO = 1 - FA FOC \quad [PU]$$

Il fattore di controllo F_{oc} è relativo alla modalità con cui avviene il controllo dell'illuminazione (manuale, automatica o centralizzata) e al comportamento che si prospetta per gli occupanti del locale F_E (Tabella #3.5).

Tabella #2. 5: Valutazione fattore di controllo F_{oc}

| Spegnimento | Accensione | F_{oc} |
|--------------------|---------------------|----------------------------|
| Manuale | Manuale, Automatica | $0,5/F_E$ |
| Automatico | Manuale | F_R |
| | Automatica | $0,95F_R$ |
| Centralizzato | Manuale | $0,7/F_E$ |

Dove:

- F_E è il fattore di uscita e rappresenta il numero di volte che gli occupanti escono dal locale in un'ora. Può assumere valori che vanno da 1 verso 6.
- F_R è il fattore di ritardo e dipende dall'impostazione del tempo di ritardo t_R (in minuti) che si sceglie per lo spegnimento automatico delle lampade in assenza di personale nel locale e dal tempo di assenza di personale t_A in un'ora.

Si può dire che:

$$t_A = 60 \cdot \frac{F_A}{F_E} \quad [h]$$

$$F_R = 1 - \frac{t_R}{t_A} \text{ (solo se } t_A > t_R \text{)} \quad [p.u.]$$

Nella progettazione e nell'installazione è necessario impostare il tempo di ritardo t_R in modo tale che esso sia minore al tempo di assenza di personale t_A ($t_R < t_A$).

Rispetto al metodo standard questa metodologia considera sia il comportamento degli occupanti mediante il fattore di uscita F_E che il comportamento del sistema automatico mediante il fattore di ritardo F_R (Fig. #2.1).

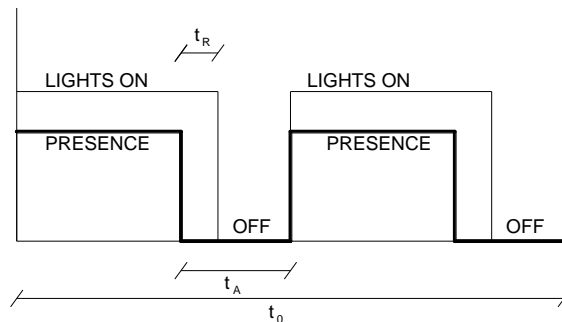


Figura #2. 1: Andamento dell'accensione delle lampade in funzione della presenza

Ovviamente, nella progettazione e installazione è necessario impostare il tempo di ritardo t_R in modo tale che $t_R < t_A$.

MODIFICA AL CASO: ACCENSIONE E SPEGNIMENTO MANUALE

$$FOC = 0,5/FE$$

Non è possibile generalizzare questa formula per tutti i valori del fattore di uscita FE , dato che perde significato la definizione di FOC , fattore che rappresenta la modalità in cui viene effettuato il controllo dell'illuminazione. Questo non potrà mai sovrappassare un valore pari a 1, il cui significa un controllo ideale. Per il caso di controllo di tipo manuale, sarà assunto un valore massimo pari a 0,9.

Si terrà di conseguenza:

$$FOC = 0,9 \quad FE \leq 0,5$$

$$FOC = f(FE) = 0,5/FE \quad 0,5 < FE \leq 6$$

Per capire per quale motivo viene fatta una modifica, è evidenziato di seguito il caso di un ufficio, dove la norma UNI EN 15193 [3] assegna un valore di $FA = 0,4$, assumendo una frequenza di uscita pari a $FE = 0,1$, che vuol dire, la persona non esce in un'ora.

$$FO = 1 - FA * FOC = 1 - (0.4) * \left(\frac{0.5}{0.1}\right)$$

$$FO = -1$$

La tabella #2.6 indica i valori ottenuti per il fattore di occupazione FO rivolgendosi ai tipi di ambiente più comuni presenti in un edificio scolastico, ai quali corrisponde uno specifico valore di FA , stabilito dalla normativa.

Tabella #2. 6: Fattore di occupazione FO in funzione del valore di FA

| FE <i>(Frequenza di uscita)</i> | | FOC | FO (Aule e Lab.) <i>FA=0,25</i> | FO (Uffici) <i>FA=0,4</i> | FO (Corridoi) <i>FA=0,6</i> |
|---|------|------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Mai</i> | 0,10 | 0,90 | 0,78 | 0,64 | 0,46 |
| <i>1 volta ogni 8 ore</i> | 0,13 | 0,90 | 0,78 | 0,64 | 0,46 |
| <i>1 volta ogni 6 ore</i> | 0,17 | 0,90 | 0,78 | 0,64 | 0,46 |
| <i>1 volta ogni 5 ore</i> | 0,20 | 0,90 | 0,78 | 0,64 | 0,46 |
| <i>1 volta ogni 4 ore</i> | 0,25 | 0,90 | 0,78 | 0,64 | 0,46 |
| <i>1 volta ogni 3 ore</i> | 0,33 | 0,90 | 0,78 | 0,64 | 0,46 |
| <i>1 volta ogni 2 ore</i> | 0,50 | 0,90 | 0,78 | 0,64 | 0,46 |
| <i>1 volta ogni ora</i> | 1,00 | 0,50 | 0,88 | 0,80 | 0,70 |
| <i>2 volta ogni ora</i> | 2,00 | 0,25 | 0,94 | 0,90 | 0,85 |
| <i>3 volta ogni ora</i> | 3,00 | 0,17 | 0,96 | 0,93 | 0,90 |
| <i>4 volta ogni ora</i> | 4,00 | 0,13 | 0,97 | 0,95 | 0,93 |
| <i>5 volta ogni ora</i> | 5,00 | 0,10 | 0,98 | 0,96 | 0,94 |
| <i>6 volta ogni ora</i> | 6,00 | 0,08 | 0,98 | 0,97 | 0,95 |

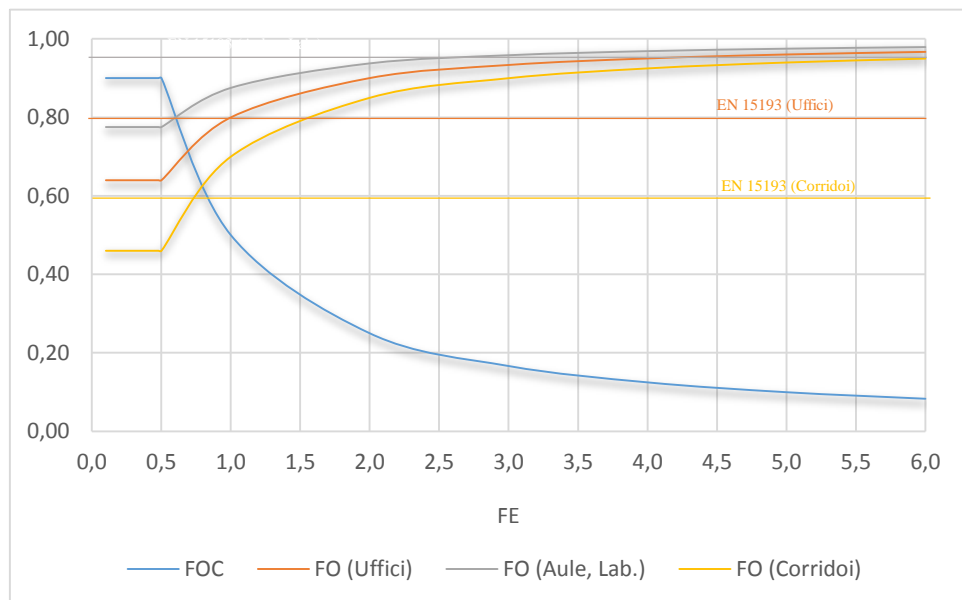


Grafico #2. 2: Fattore di occupazione FO per diversi ambienti in funzione di FE

Nel grafico precedente vengono evidenziati inoltre, i valori per il fattore di occupazione risultanti dallo standard UNI EN 15193, in funzione solo dal fattore di assenza (FA) e del tipo di controllo (FOC) che, per il caso in studio (Accensione e Spegnimento MANUALE) viene fissato pari a 1.

Da questi risultati si risale ad una semplice conclusione, la normativa fissa un unico valore per il fattore di occupazione (FO) a prescindere della frequenza di uscita delle persone dal locale.

Questo approccio invece, considerando tale fattore, dimostra che se la frequenza di uscita fosse minima, cioè, minore di una volta all'ora, la percentuale di assenza viene recuperata, mentre per una frequenza più elevata aumenta il fattore di occupazione.

MODIFICA AL CASO: ACCENSIONE MANUALE E SPEGNIMENTO CENTRALIZZATO

L'*FOC*, fattore che rappresenta la modalità in cui viene effettuato il controllo dell'illuminazione, non può mai sovrappassare un valore pari a 1, si terrà di conseguenza:

$$FOC = 1 \quad FE \leq 0,5$$

$$FOC = f(FE) = 0,7/FE \quad 0,5 < FE \leq 6$$

CONFRONTO TRA LE MODALITÀ DI CONTROLLO

Per valutare la modalità di controllo dell'illuminazione più efficiente con il fine di ridurre il consumo di energia, si mettono in confronto tutte quelle menzionate precedentemente.

Fissando un $t_R = 5min$, e considerando un ufficio, caratterizzato da un fattore di assenza $F_A = 0,4$

$$FR = 1 - \frac{t_R \cdot F_E}{60 \cdot F_A} \quad F_E \leq 4$$

$$FR = 0 \quad 4 < F_E \leq 6$$

Tabella #2. 7: Fattore di occupazione FOC per diversi valori di FE

| FE (Frequenza di uscita) | | FR | FOC (Acc:M/A, Sp:M) | FOC (Acc:M, Sp:A) | FOC (Acc:A, Sp:A) | FOC (Acc:M, Sp:C) |
|------------------------------------|------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Mai | 0,10 | 0,98 | 0,90 | 0,98 | 0,93 | 1,00 |
| 1 volta ogni 8 ore | 0,13 | 0,97 | 0,90 | 0,97 | 0,93 | 1,00 |
| 1 volta ogni 6 ore | 0,17 | 0,97 | 0,90 | 0,97 | 0,92 | 1,00 |
| 1 volta ogni 5 ore | 0,20 | 0,96 | 0,90 | 0,96 | 0,91 | 1,00 |
| 1 volta ogni 4 ore | 0,25 | 0,95 | 0,90 | 0,95 | 0,90 | 1,00 |
| 1 volta ogni 3 ore | 0,33 | 0,93 | 0,90 | 0,93 | 0,88 | 1,00 |
| 1 volta ogni 2 ore | 0,50 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,85 | 1,00 |
| 1 volta ogni ora | 1,00 | 0,79 | 0,50 | 0,79 | 0,75 | 0,70 |
| 2 volta ogni ora | 2,00 | 0,58 | 0,25 | 0,58 | 0,55 | 0,35 |
| 3 volta ogni ora | 3,00 | 0,38 | 0,17 | 0,38 | 0,36 | 0,23 |
| 4 volta ogni ora | 4,00 | 0,17 | 0,13 | 0,17 | 0,16 | 0,18 |
| 5 volta ogni ora | 5,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,14 |
| 6 volta ogni ora | 6,00 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,12 |

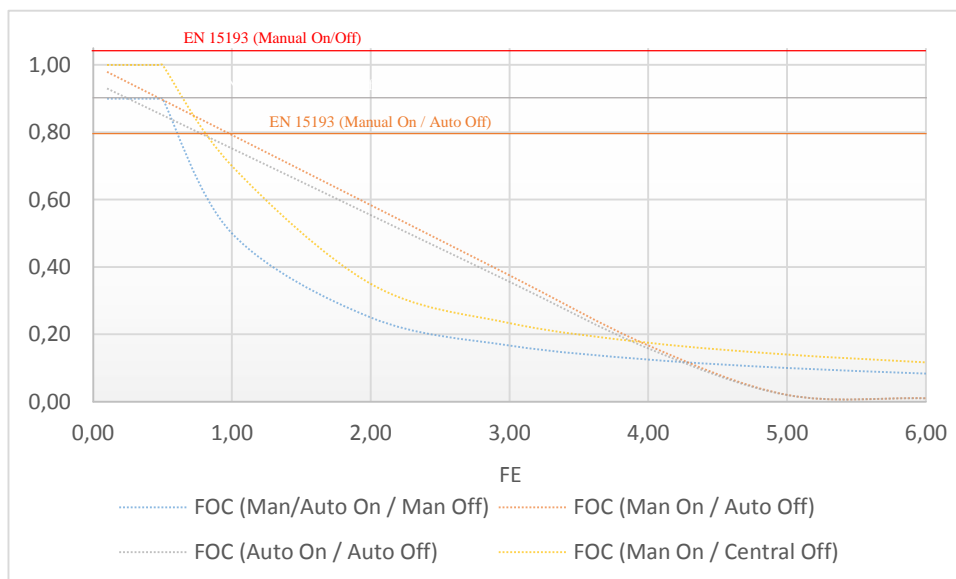


Grafico #2. 3: Fattore di Controllo FOC per diverse modalità di controllo dell'illuminazione

Il grafico#2.3 mostra che, dall'approccio, il sistema più efficiente in quanto a ridurre il consumo energetico corrisponde con una accensione manuale ed uno spegnimento automatico, del tutto coincidente con la normativa. La differenza è evidente, la normativa propone un valore costante del fattore di controllo (FOC) a prescindere del fattore di uscita.

Dal punto di vista dall'occupazione, il fatto di considerare la frequenza di uscita permette di capire il fatto che, quando sono assenze lunghe si recupera tutto, mentre per assenze brevi si deve considerare il tempo di ritardo come il minore possibile.

Nel caso di modalità Auto On / Auto Off, se la frequenza di uscita è elevata, cioè, l'intervalli di assenza sono brevi, il fattore di controllo risulta nullo (FOC) che vuol dire non c'è nessun controllo, o meglio, un sistema regolato a 5 minuti con frequenza di uscita elevata non si attiverà. Di conseguenza, è necessario un sistema quasi istantaneo in cui il tempo di ritardo (t_R) sia molto minore del tempo di assenza (t_A) che porta ad un fattore di ritardo (FR) circa pari ad 1 e perciò, anche un fattore di controllo (FOC) circa pari ad 1.

Per capire meglio l'influenza del tempo di ritardo, vengono confrontati i valori di FOC risultanti per la modalità *Auto On / Auto Off*, per diversi t_R , come si mostra nella tabella #3.8 e dal grafico #3.4.

Si conclude che, affinché un sistema possa essere efficiente e attivato, vale a dire, che sia in grado di spegnere le luci all'uscire della persona, è necessario una conoscenza della frequenza di uscita. Se l'assenza fosse lunga, ovvero sia, meno di due uscite in un ora, il sistema si attiva per tutti i tempi di ritardo considerati. Man mano che aumenta la frequenza di uscita e di conseguenza diminuisce il tempo di assenza, è necessario ridurre il tempo di ritardo impostato per il sensore di presenza, in maniera tale che il sistema sia in grado di attivarsi una volta che esce la persona dall'ufficio. Se non fosse

impostato nessun tempo di ritardo allo spegnimento, il fattore di controllo, si mantiene pari a 0,95 a prescindere della frequenza di uscita.

*Tabella #2. 8: Fattore di occupazione FOC per diversi valori di t_R
(Modalità Auto On / Auto Off)*

| <i>FE (Frequenza di uscita)</i> | | <i>FOC ($t_R = 10 \text{ min}$)</i> | <i>FOC ($t_R = 5 \text{ min}$)</i> | <i>FOC ($t_R = 1 \text{ min}$)</i> | <i>FOC ($t_R = 0 \text{ min}$)</i> |
|-------------------------------------|-------------|--|---|---|---|
| <i>Mai</i> | <i>0,10</i> | 0,91 | 0,93 | 0,95 | 0,95 |
| <i>1 volta ogni 8 ore</i> | <i>0,13</i> | 0,90 | 0,93 | 0,95 | 0,95 |
| <i>1 volta ogni 6 ore</i> | <i>0,17</i> | 0,88 | 0,92 | 0,94 | 0,95 |
| <i>1 volta ogni 5 ore</i> | <i>0,20</i> | 0,87 | 0,91 | 0,94 | 0,95 |
| <i>1 volta ogni 4 ore</i> | <i>0,25</i> | 0,85 | 0,90 | 0,94 | 0,95 |
| <i>1 volta ogni 3 ore</i> | <i>0,33</i> | 0,82 | 0,88 | 0,94 | 0,95 |
| <i>1 volta ogni 2 ore</i> | <i>0,50</i> | 0,75 | 0,85 | 0,93 | 0,95 |
| <i>1 volta ogni ora</i> | <i>1,00</i> | 0,55 | 0,75 | 0,91 | 0,95 |
| <i>2 volta ogni ora</i> | <i>2,00</i> | 0,16 | 0,55 | 0,87 | 0,95 |
| <i>3 volta ogni ora</i> | <i>3,00</i> | 0,00 | 0,36 | 0,83 | 0,95 |
| <i>4 volta ogni ora</i> | <i>4,00</i> | 0,00 | 0,16 | 0,79 | 0,95 |
| <i>5 volta ogni ora</i> | <i>5,00</i> | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 0,95 |
| <i>6 volta ogni ora</i> | <i>6,00</i> | 0,00 | 0,00 | 0,71 | 0,95 |

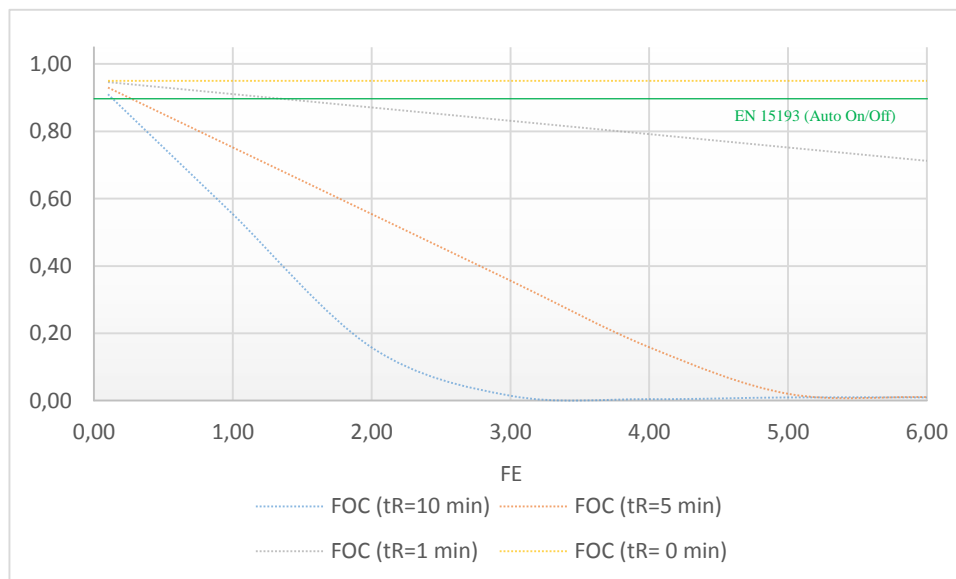


GRAFICO #2. 4: FATTORE DI CONTROLLO FOC PER DIVERSI VALORI DI t_R

2.2.2 Fattore di dipendenza dalla luce diurna: FD

Fattore che tiene conto dell'eventuale presenza di un controllo luce sensibile alla presenza di luce diurna. È diverso da uno solo se sono presenti sistemi di regolazione dell'illuminazione in relazione alla disponibilità di luce diurna.

Viene sposta una definizione da normativa, più complessa e precisa, e una definizione dalla letteratura scientifica, che permette di snellire alcuni calcoli e considerazioni per condizioni tipiche.

La normativa UNI EN 15193 [3] definisce questo numero come segue:

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n}F_{D,C,n})$$

$F_{D,S,n}$: Fattore di disponibilità di luce diurna nella zona n.

$F_{D,C,n}$: Fattore di controllo della luce diurna nella zona n.

Il Fattore Fds è pari a 1 se la penetrazione di luce naturale è nulla e può essere calcolato in due modi:

- Dalla formula:

$$F_{DS} = a + b \cdot \gamma_{sito}$$

Tabella #2. 9: Fattore FD con valori A e B

| Illuminamento mantenuto [lux] | Daylight penetration | a | b |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------|----------|
| 300 | Debole | 1.2425 | -0.0117 |
| | Medio | 1.3097 | -0.0106 |
| | Forte | 1.2904 | -0.0088 |
| 500 | Debole | 0.9432 | -0.0094 |
| | Medio | 1.2425 | -0.0117 |
| | Forte | 1.3220 | -0.0110 |
| 750 | Debole | 0.6692 | -0.0067 |
| | Medio | 1.0054 | -0.0098 |
| | Forte | 1.2912 | -0.0121 |

- Direttamente dalla tabella:

Tabella #2. 10: Fattore FD con valori A e B

| <i>Sito</i> | <i>Latitudine γ [°]</i> | <i>Daylight Supply Factor Fds</i> | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|--------------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>300 lux</i> | | | <i>500 lux</i> | | | <i>750 lux</i> | | |
| | | <i>Deb.</i> | <i>Med.</i> | <i>Forte</i> | <i>Deb.</i> | <i>Med.</i> | <i>Forte</i> | <i>Deb.</i> | <i>Med.</i> | <i>Forte</i> |
| <i>Atene</i> | 39 | 0.8 | 0.91 | 0.96 | 0.59 | 0.8 | 0.9 | 0.41 | 0.63 | 0.62 |
| <i>Lione</i> | 46 | 0.7 | 0.92 | 0.89 | 0.51 | 0.7 | 0.82 | 0.36 | 0.55 | 0.72 |
| <i>Bratislava</i> | 46 | 0.68 | 0.8 | 0.87 | 0.49 | 0.68 | 0.79 | 0.35 | 0.54 | 0.7 |
| <i>Francoforte</i> | 50 | 0.68 | 0.78 | 0.85 | 0.47 | 0.86 | 0.77 | 0.33 | 0.52 | 0.68 |
| <i>Watford</i> | 52 | 0.63 | 0.78 | 0.83 | 0.45 | 0.63 | 0.75 | 0.35 | 0.50 | 0.65 |
| <i>Roma</i> | 42 | 0.75 | 0.86 | 0.92 | 0.55 | 0.75 | 0.86 | 0.39 | 0.59 | 0.77 |

Fdc è calcolato dalla seguente tabella:

Tabella #2. 11: Fattore FDC

| <i>Controllo della luce artificiale</i> | <i>Fdc come funzione della penetrazione della luce diurna</i> | | |
|--|---|--------------|--------------|
| | <i>Debole</i> | <i>Medio</i> | <i>Forte</i> |
| <i>Manuale</i> | 0.20 | 0.30 | 0.40 |
| <i>Automatico, Dipendente dalla luce</i> | 0.75 | 0.77 | 0.85 |

Può essere valutato direttamente dalla tabella sottostante in funzione:

- Della latitudine in cui è posizionato l'ambiente di valutazione (Nord, Centro, Sud Italia);
- Del sistema di controllo manuale o automatico;
- Del valore di illuminamento di progetto 300, 500, 750 lux;
- Della classificazione qualitativa della disponibilità di luce naturale (debole, media forte).

Tabella #2. 12: Valori di FD in funzione di E, della disponibilità di luce diurna (forte, media o debole) valutabile tramite la norma UNI EN 15193, della latitudine e del tipo di controllo

| | | 300 | | | 500 | | | 750 | | |
|--------|-----|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | | <i>Debole</i> | <i>Media</i> | <i>Forte</i> | <i>Debole</i> | <i>Media</i> | <i>Forte</i> | <i>Debole</i> | <i>Media</i> | <i>Forte</i> |
| Nord | Man | 0,86 | 0,75 | 0,64 | 0,90 | 0,79 | 0,67 | 0,93 | 0,84 | 0,71 |
| | Aut | 0,48 | 0,37 | 0,24 | 0,62 | 0,46 | 0,30 | 0,73 | 0,58 | 0,39 |
| Centro | Man | 0,85 | 0,74 | 0,63 | 0,89 | 0,78 | 0,66 | 0,92 | 0,82 | 0,69 |
| | Aut | 0,44 | 0,34 | 0,22 | 0,59 | 0,42 | 0,27 | 0,71 | 0,55 | 0,35 |
| Sud | Man | 0,84 | 0,73 | 0,62 | 0,88 | 0,76 | 0,64 | 0,92 | 0,81 | 0,67 |
| | Aut | 0,40 | 0,31 | 0,18 | 0,56 | 0,38 | 0,24 | 0,69 | 0,51 | 0,30 |

Dall'analisi della tabella, si evidenzia la necessità di trovare la stima della predisposizione del locale a percepire la luce diurna, che può essere riscontrato con il calcolo di due indici D e Dc, il primo, definito come “fattore di classificazione della luce diurna” e il secondo, “fattore di luce diurna”. La differenza consiste nel fatto che il primo tiene conto della finestratura, mentre il secondo fornisce una stima della predisposizione del locale a percepire luce diurna. Nella tabella che segue, verranno estratti i valori di penetrazione “Debole”, “Medio” e “Forte”, a partire dai valori ricavati da D e Dc:

Tabella #2. 13: Daylight Factor, calcolabili dalla norma UNI EN 15193

| Classificazione | | Penetrazione luce diurna |
|------------------------|-------------|---------------------------------|
| Dc | D | |
| Dc ≥ 7% | D ≥ 3% | Forte |
| 4% ≤ Dc < 7% | 2% ≤ D < 3% | Media |
| 2% ≤ Dc < 4% | 1% ≤ D < 2% | Debole |
| Dc < 2% | D < 1% | Nulla |

Si fa riferimento al secondo indice, Dc, dato che, il calcolo è molto specifico e dettagliato, dove la sua definizione del fattore di luce diurna Dc, è la seguente:

$$D_c = (4,13 + 20I_T - 1,36I_{DE})I_O$$

Dove

• **I_T : indice di trasparenza**, che rappresenta il rapporto tra l'area lorda delle aperture nella facciata (A_C) e l'area del piano di lavoro orizzontale che è beneficiata di luce diurna, area esposta (A_D).

$$I_T = \frac{A_C}{A_D}$$

A_C : Apertura della facciata

A_D : Superficie che beneficia della luce diurna,

$$A_D = a_o b_o$$

a_D : Profondità dell'area con luce diurna

$$a_D = 2.5(h_{Li} - h_{Ta}), \text{ se } a \geq 1,25 \cdot a_D$$

$$a_D = a \text{ (profondità del locale)}, \text{ se } a < 1,25 \cdot a_D$$

b : Lunghezza dell'area con luce diurna

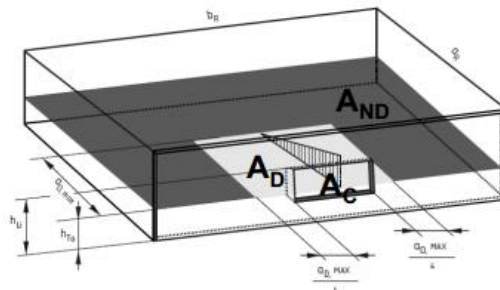
$$b_D = l_{fin} + \frac{a_D}{2}$$

Con:

h_{Li} : Altezza da terra del punto superiore della finestra

h_{La} : Altezza da terra del punto inferiore della finestra

L'immagine sottostante permette di comprendere al meglio lo sviluppo:



• **I_{DE} : indice di profondità**, che definisce la massima profondità possibile per la penetrazione della luce naturale in ambiente in relazione all'altezza dell'apertura finestrata.

$$I_{DE} = \frac{a_D}{h_{Li} - h_{Ta}}$$

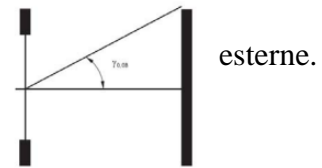
• **I_O : indice di ostruzione**, che rappresenta l'effetto della riduzione della luce naturale entrante in ambiente a causa delle presenza di ostruzioni esterne all'ambiente (ad esempio ostruzioni esterne frontali, mensole orizzontali e verticali).

$$I_O = I_{O,OB} \cdot I_{O,OV} \cdot I_{O,OVF} \cdot I_{O,OCA} \cdot I_{O,OGDF}$$

$I_{O,OB}$: Fattore di ombreggiamento dovuto ad ostruzioni

$$I_{O,OB} = \cos(1.5\gamma_{O,OB}) \quad \text{se} \quad \gamma_{O,OB} < 60^\circ$$

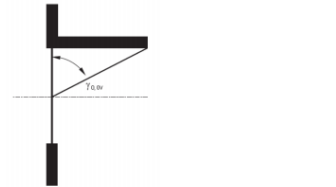
$$I_{O,OB} = 0 \quad \text{se} \quad \gamma_{O,OB} \geq 60^\circ$$



$I_{O,OV}$: Fattore di ombreggiamento dovuto ad aggetti

$$I_{O,OV} = \cos(1.33\gamma_{O,OV}) \quad \text{se} \quad \gamma_{O,OV} < 67.5^\circ$$

$$I_{O,OV} = 0 \quad \text{se} \quad \gamma_{O,OV} \geq 67.5^\circ$$



$I_{O,OVF}$: Fattore di ombreggiamento dovuto ad aggetti verticali.

$I_{O,OCA}$: Fattore di ombreggiamento dovuto a cortili ed atri.

$I_{O,OGDF}$: Fattore di ombreggiamento dovuto alla presenza di doppie facciate vetrate.

Approccio secondo il metodo specifico

Viene accennato un metodo alternativo al calcolo dei fattori F_{ds} e F_{dc} , che tiene conto della profondità del locale preso in esame. In questo approccio una stanza è suddivisa in tre zone secondo la penetrazione della luce diurna:

- 1) **Window Zone (WZ):** Caratterizzata da una disponibilità di luce diurna forte ($D_C > 2-4\%$), in cui durante le ore di funzionamento diurno può, generalmente, essere comandato lo spegnimento dell'impianto di illuminazione. La profondità a_{WZ} della "Window Zone" può essere assunta, in prima approssimazione, pari all'altezza h_{fin} della finestratura ($a_{WZ}=h_{fin}$), e l'area corrispondente pari a A_{WZ} .
- 2) **Transition Zone (TZ):** Caratterizzata da una disponibilità di luce diurna media ($D_C > 1\%$) in cui, durante le ore di funzionamento diurno, il flusso luminoso emesso dagli apparecchi illuminanti può essere parzializzato in modo discreto o continuo mediante strategie di switching o dimming. La profondità a_{TZ} della "Transition Zone" può essere assunta, in prima approssimazione, pari a due volte l'altezza h_{fin} della finestratura ($a_{TZ}=2h_{fin}$), e l'area corrispondente pari a A_{TZ} .
- 3) **Interior Zone (IZ):** Caratterizzata dall'assenza di disponibilità di luce diurna, in cui durante le ore di funzionamento l'impianto di illuminazione deve essere necessariamente acceso. L'area A_{IZ} della "Interior Zone" corrisponde all'area A_{ND} indicata nella norma UNI EN 15193.

La quantità di luce in una zona può essere quantificata da un fattore puntuale "Daylight Factor" $DF [PU]$ che rappresenta il rapporto tra illuminamento esterno ed interno. Il DF medio per la WZ e TZ, per ambienti con forte, medio, debole e nessuna disponibilità di luce sono riportati nella Tabella #3.14.

Tabella #2. 14: Valori medi di DF per WZ e TZ

| | $D_C > 3\%$ Strong | $3\% > D_C > 2\%$ Medium | $2\% > D_C > 1\%$ Weak | $D_C < 1\%$ None |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| DF_{WZ} | 10% | 7% | 4% | 2% |
| DF_{TZ} | 2% | 2% | 1% | 0% |

La stanza può essere classificata in:

- Stanze strette, quando $d/h < 1$. In questo caso di stanza è presente solo la WZ.
- Stanze profondi, quando $d/h > 1$.

Analogamente al metodo standard il fattore dipendente di luce diurna FD per una stanza oppure una zona dell'edificio, è determinato in funzione di F_{DS} e F_{DC} .

Fattore di disponibilità Daylight F_{DS}

Adottando il metodo proposto nel documento precedente [4], è possibile stimare i valori di F_{DS} e F_{DC} (secondo l'illuminamento di riferimento e la disponibilità di luce diurna).

La tabella #2.15 mostra i valori di F_{DS} per le stanze strette e profonde, rispettivamente, come E_{rif} e il cambio disponibilità luce del giorno.

Tabella #2. 15: F_{DS} per le stanze strette ($d/h < 1$) e profonde ($d/h > 1$)

| | | narrow rooms ($d/h < 1$) | | | | deep room ($d/h > 1$) | | | |
|------------------------|-----|----------------------------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|
| | | Dayligh availability | | | | Daylight availability | | | |
| E _{REF} [lux] | | N | W | M | S | N | W | M | S |
| | 150 | 0.25 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.15 | 0.75 | 0.95 | 1.00 |
| | 300 | 0.10 | 0.90 | 1.00 | 1.00 | 0.05 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |
| | 500 | 0.05 | 0.60 | 0.90 | 0.95 | 0.00 | 0.40 | 0.60 | 0.70 |

Dove:

N- Nessuna

W- Debole

M- Media

S – Forte

d- profondità del locale [m]

h – altezza del locale [m]

I valori FDS riportati in Tabella #2.15 sono calcolati dagli autori, considerando il DF medio mostrato nella Tabella #2.14.

Fattore di controllo di illuminazione F_{DC}

I valori F_{DC} sono mostrati in Tabella #2.16

Tabella #2. 16: F_{DC} per le stanze strette ($d/h < 1$) e profonde ($d/h > 1$)

| E_{REF} [lux] | | narrow rooms ($d/h < 1$) | | deep rooms ($d/h > 1$) | | | | |
|-----------------|------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|------|------|----|
| | | Manual | Automatic | Manual | Automatic | | | |
| | | | | | Control groups layout | | | |
| | | | | | S1GC | S2GC | S50% | DM |
| 150 | 0.50 | 1.00 | 0.00 | 0.75 | 0.80 | 0.95 | 1.00 | |
| 300 | 0.50 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.85 | 0.95 | |
| 500 | 0.50 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.65 | 0.80 | |

Con:

S1GC – un gruppo di controllo per tutti gli apparecchi della Zona illuminata (A_D), utilizzando la tecnica dello Switch (Commutazione - On/Off)

S2GC – due diversi gruppi di controllo della zona illuminata: una per la Windows Zone (WZ), e uno per la Transition Zone (TZ), utilizzando la tecnica dello Switching (Commutazione - On/Off).

S50% - come S2GC però con la possibilità di parzializzare ogni gruppo al 50% del flusso luminoso.

DM – Tecnica del Dimming individuale per ogni gruppo

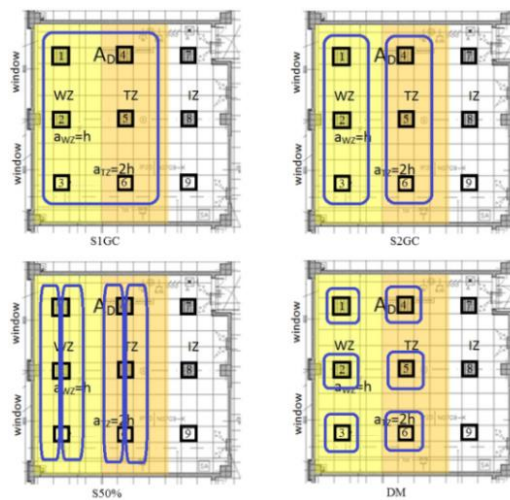


Figura #2. 2: Disposizione dei gruppi di controllo

2.2.3 Fattore d'illuminamento costante: FC

Tiene conto di un controllo luce che regola la massima potenza erogabile dall'impianto, per evitare che nei primi periodi di utilizzo delle lampade, ovvero, quando sono in piena efficienza, si determini un livello di illuminamento superiore al necessario.

Può essere espresso in funzione del coefficiente di manutenzione, MF (*maintenance factor*) secondo la relazione:

$$F_C = \frac{(1 + MF)}{2}$$

L'introduzione del coefficiente di manutenzione (*MF*) permette di considerare che, per mantenere in un dato ambiente l'illuminamento medio (E_m) precisato nella normativa tecnica [1] (UNI 12664-1), l'illuminamento iniziale dovrà risultare maggiorato di un fattore $1/MF$ ($0 < MF \leq 1$). Ciò per considerare il decadimento del flusso luminoso delle lampade, l'invecchiamento degli apparecchi e degli ambienti (in particolare legato all'impolveramento delle superfici esposte).

La normativa [3] (UNI 15193) valuta il fattore di manutenzione (*MF*) come il prodotto di quattro parametri, il cui valore può essere ricavato da apposite tabelle:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF \quad [p. u.]$$

Dove:

- LLMF: è il fattore di decadimento del flusso luminoso della lampada (Lamp Lumen Maintenance Factor) che è dato dai produttori delle lampade ed indica la riduzione specifica del flusso di una lampada nel corso della sua durata di vita;
- LSF: è il fattore di mortalità delle lampade (Lamp Survival Factor) che è dato dai produttori di lampade ed indica la percentuale di lampade ancora funzionanti trascorso un certo intervallo di manutenzione;

- LMF: è il fattore di manutenzione dell'apparecchio (Luminaire Maintenance Factor) ed è dato dai produttori dei corpi illuminanti ed indica il calo di efficienza di un apparecchio dovuto alla sporcizia che si accumula trascorso un certo intervallo di manutenzione/pulizia;
- RSMF: è il fattore di manutenzione delle superfici del locale (Room Surface Maintenance Factor) ed è dato dai produttori dei corpi illuminanti ed indica il calo degli indici di riflessione delle superfici perimetrali, dovuto alla sporcizia che si accumula trascorso un certo intervallo di manutenzione/pulizia.

2.3 Certificazione Energetica

Al fine di comunicare il livello di prestazione energetica di un edificio in modo efficace, la norma UNI EN 15217:2007 [5], suggerisce i seguenti indicatori espliciti da quantificare le prestazioni energetiche dei sistemi di illuminazione per interni.

EP_L : Efficienza energetica dell'apparecchio [W/m]

EP_S : Efficienza energetica del sistema di apparecchi [W/m]

EP_C : Efficienza energetica del sistema di controllo [p.u.]

EP_G : Efficienza energetica globale del sistema [W/m]

È possibile classificare energeticamente un sistema di illuminazione nella sua globalità attraverso l'indice EP_G , ovvero, valutando separatamente l'efficienza degli apparecchi (EP_L), di tutto il sistema di apparecchi (EP_S) e l'efficienza del sistema di controllo (EP_C). Ogni indicatore viene poi contestualizzato in una scala (in modo che sia visivamente evidente, dove l'indice si posizioni nell'intervallo di prestazione che va dal minimo verso il massimo) oppure viene convertito in una classe individuata tra un numero di classi limitato (in genere si va dalla classe più performante A, fino alla meno performante G).

Per definire i valori limite di ogni classe, in accordo a quanto indicato nella UNI EN 15217 [5], è sufficiente fissare due valori di riferimento:

- R_R (*Energy performance regulation reference*), valore tipico dei requisiti per il sistema di illuminazione in edifici di nuova costruzione.
- R_S (*Energy performance stock reference*), valore tipico dei requisiti per il sistema di illuminazione che devono essere soddisfatti almeno nel 50% degli edifici esistenti a livello regionale e nazionale.

Viene riportata in seguito nella tabella #2.17 la struttura tipo della scala di prestazione energetica dalla UNI EN 15217 [5], indicando una modifica, la quale consiste nella suddivisione della classe B in due classi A e B, e rinominando la classe A in A+.

Tabella #2. 17: Scala di prestazione energetica in funzione dei parametri R_s e R_r

| Classe Energetica | UNI EN 15217 | Modifica |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| A+ | | |
| A | $EP < 0.5R_r$ | $0.5R_r \leq EP < 0.75R_r$ |
| B | $0.5R_r \leq EP < R_r$ | $0.75R_r \leq EP < R_r$ |
| C | $R_r \leq EP < 0.5(R_r + R_s)$ | $R_r \leq EP < 0.5(R_r + R_s)$ |
| D | $0.5(R_r + R_s) \leq EP < R_s$ | $0.5(R_r + R_s) \leq EP < R_s$ |
| E | $R_s \leq EP < 1.25R_s$ | $R_s \leq EP < 1.25R_s$ |
| F | $1.25 R_s \leq EP < 1.5R_s$ | $1.25R_s \leq EP < 1.5R_s$ |
| G | $1.5R_s \leq EP$ | $1.5R_s \leq EP$ |

2.3.1 Indicatore dell'efficienza energetica dell'apparecchio (EP_L)

L'indicatore EP_L [W/lm], pari al rapporto tra la densità di potenza teorica δ_T [W/m^2] e il valore di illuminamento di riferimento mantenuto sul piano di lavoro E (in funzione

del tipo di compito visivo da svolgere), permette di valutare la prestazione energetica di un apparecchio illuminante:

$$EP_L = \frac{\delta_T}{E} = \frac{1}{\varepsilon_L \cdot \eta_O \cdot \eta_A \cdot \eta_T} [W/lm]$$

La tabella #2.18 individua la scala di valori che permette di classificare la prestazione energetica di un apparecchio illuminante per interni.

Tabella #2. 18: Valori dell'indicatore EP_L

| Classe energetica | $EP_L [W/lm]$ |
|--------------------------|---------------------------------|
| A+ | $EP_L < 0,023$ |
| A | $0,023 \leq EP_L < 0,034$ |
| B | $0,034 \leq EP_L < 0,046$ |
| C | $0,046 \leq EP_L < 0,05$ |
| D | $0,05 \leq EP_L < 0,054$ |
| E | $0,054 \leq EP_L < 0,067$ |
| F | $0,067 \leq EP_L < 0,08$ |
| G | $0,08 \leq EP_L$ |

2.3.2 Indicatore dell'efficienza energetica del sistema di apparecchi (EP_S)

L'indicatore $EP_S [W/lm]$, pari al rapporto tra l'effettiva densità di potenza $\delta_E [W/m^2]$ e il valore di illuminamento di riferimento mantenuto sul piano di lavoro E (in funzione del tipo di compito visivo da svolgere), permette di valutare la prestazione energetica di un sistema di illuminazione di interni, tenendo conto della effettiva installazione:

$$EP_S = \frac{\delta_E}{E} = \frac{n_A \cdot n_L \cdot P_L \cdot (1 + p_A)}{S \cdot E_{riferimento}} [W/lm]$$

Una buona installazione si ottiene quando EP_S è simile a EP_L , con i valori delle classi energetica riportati nella tabella sottostante il sistema di illuminazione nel suo complesso mantiene la stessa classe energetica dell'apparecchio illuminante che lo costituisce, se la densità di potenza reale del sistema si discosta al massimo di un $\pm 10\%$ dal valore della densità teorica di progetto.

Sistemi di illuminazione che non rispettano i requisiti di illuminamento di progetto eccedendo nella prestazione più del $\pm 10\%$ ottengono una classe energetica proporzionalmente meno efficiente. Quei sistemi che invece non soddisfano i requisiti di progetto realizzando un livello di illuminamento inferiore al 90% del valore di riferimento ottengono una classe energetica proporzionalmente più efficiente, ma non consentono di ottenere una classificazione energetica corretta dell'intero impianto di illuminazione.

La Tabella #2.19 individua la scala di valori che permette di classificare la prestazione energetica di un sistema di illuminazione per interni.

Tabella #2. 19: Valori dell'indicatore EP_S

| Classe energetica | $EP_S [W/lm]$ |
|--------------------------|---------------------------------|
| A+ | $EP_S < 0,025$ |
| A | $0,025 \leq EP_S < 0,038$ |
| B | $0,038 \leq EP_S < 0,05$ |
| C | $0,05 \leq EP_S < 0,055$ |
| D | $0,055 \leq EP_S < 0,059$ |
| E | $0,059 \leq EP_S < 0,074$ |
| F | $0,074 \leq EP_S < 0,088$ |
| G | $0,088 \leq EP_S$ |

2.3.3 Indicatore dell'efficienza energetica del sistema di controllo (EP_C)

L'indicatore EP_C [p.u.], coincide esattamente con il fattore F_k introdotto nel metodo di calcolo semplificato dall'approccio proposto nell'articolo "Energy Performance of Buildings: An Useful Procedure to Estimate the Impact of the Lighting Control System" di G.Parise e L.Martirano [4], permette di valutare la prestazione energetica del sistema di controllo per illuminazione di interni:

$$EP_C = F_k = F_o \cdot F_C \cdot [p \cdot \tau \cdot (F_D - 1) + 1] \quad [p.u.]$$

La Tabella #2.20 individua la scala di valori che permette di classificare la prestazione energetica di un sistema di controllo dell'illuminazione per interni.

Tabella #2. 20: Valori dell'indicatore EP_C

| Classe energetica | EP_C [p.u.] |
|--------------------------|---------------------------------|
| A+ | $EP_C < 0,281$ |
| A | $0,281 \leq EP_C < 0,421$ |
| B | $0,421 \leq EP_C < 0,562$ |
| C | $0,562 \leq EP_C < 0,614$ |
| D | $0,614 \leq EP_C < 0,667$ |
| E | $0,667 \leq EP_C < 0,833$ |
| F | $0,833 \leq EP_C < 1$ |
| G | $EP_C = 1$ |

2.3.4 Indicatore dell'efficienza energetica globale del sistema (EP_G)

L'indicatore EP_G [W/lm], pari al prodotto dell'indicatore di efficienza del sistema di apparecchi e del sistema di controllo, permette di valutare la prestazione energetica globale di un impianto di illuminazione di interni:

$$EP_G = EP_S \cdot EP_C [W/lm]$$

L'indice *LENI* (dalla norma UNI EN 15193), può essere valutato ancora attraverso questo indicatore nel modo seguente:

$$LENI = \frac{EP_G \cdot t_o \cdot E}{1000} \left[\frac{kWh}{m^2 anno} \right]$$

La tabella di seguito, indica un riepilogo della classificazione di ogni indicatore di efficienza energetica a seconda della scala di valori:

Tabella #2. 21: Classificazione complessiva degli indicatori di efficienza energetica del sistema di illuminazione

| <i>Classe Energetica</i> | <i>EP_L</i> [W/lm] | <i>EP_S</i> [W/lm] | <i>EP_C</i> [p. u.] | <i>EP_G</i> [W/lm] |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| A+ | EP _L < 0,023 | EP _S < 0,025 | EP _C < 0,281 | EP _G < 0,007 |
| A | 0,023 ≤ EP _L < 0,034 | 0,025 ≤ EP _S < 0,038 | 0,281 ≤ EP _C < 0,421 | 0,007 ≤ EP _G < 0,016 |
| B | 0,034 ≤ EP _L < 0,046 | 0,038 ≤ EP _S < 0,050 | 0,421 ≤ EP _C < 0,562 | 0,016 ≤ EP _G < 0,0281 |
| C | 0,046 ≤ EP _L < 0,050 | 0,050 ≤ EP _S < 0,055 | 0,562 ≤ EP _C < 0,614 | 0,0281 ≤ EP _G < 0,0338 |
| D | 0,050 ≤ EP _L < 0,054 | 0,055 ≤ EP _S < 0,059 | 0,614 ≤ EP _C < 0,667 | 0,0338 ≤ EP _G < 0,0394 |
| E | 0,054 ≤ EP _L < 0,067 | 0,059 ≤ EP _S < 0,074 | 0,667 ≤ EP _C < 0,833 | 0,0394 ≤ EP _G < 0,0616 |
| F | 0,067 ≤ EP _L < 0,080 | 0,074 ≤ EP _S < 0,088 | 0,833 ≤ EP _C < 1 | 0,0616 ≤ EP _G < 0,088 |
| G | EP _L ≥ 0,080 | EP _S ≥ 0,088 | EP _C = 1 | EP _G ≥ 0,088 |

*Questi valori fanno riferimento a edifici o ambienti ad uso uffici.

2.4 Risparmio energetico come parametro progettuale

L' Energy Saving & Building Automation riconosce agli edifici il ruolo di FONTE PRINCIPALE di risparmio potenziale in termini di energia e costi. Si accennano le norme:

- UNI EN 15232 ottobre 2007: Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici
- UNI EN 15193-1 marzo 2008: Requisiti energetici per l'illuminazione

2.4.1 Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici.

I sistemi di automazione e di controllo presenti nell'edificio (BACS, Building Automation and Control System) e l'eventuale implementazione di un sistema di monitoraggio e di analisi dell'impianto (TBM, Technical Building Management), utile ad esempio per la rilevazione dei guasti, hanno un grosso impatto sulle prestazioni energetiche dell'edificio stesso.

La Norma Europea CEN EN15232 [3] pone in evidenza come l'inserimento negli edifici (residenziale e terziario) di Sistemi di Controllo ed Automazione comporta una riduzione dei consumi energetici in generale e principalmente dei più importanti:

- Riscaldamento
- Raffrescamento
- Ventilazione
- Illuminazione
- Produzione Acqua calda

A seconda del livello tecnologico dei componenti, i sistemi sono riconducibili a quattro classi:

- *Classe D:*

BACS non efficiente dal punto di vista energetico, comprende gli impianti tecnici tradizionali e privi di automazione, non efficienti dal punto di vista energetico

- *Classe C:*

Situazione standard di riferimento, corrisponde agli impianti automatizzati con apparecchi di controllo tradizionali o con sistemi BUS (BACS/HBES). È considerata la classe di riferimento perché corrisponde ai requisiti minimi richiesti dalla direttiva EPBD.

- *Classe B:*

BACS avanzato e alcune funzioni TBM, comprende gli impianti controllati con un sistema di automazione bus (BACS/HBES) ma dotati anche di una gestione centralizzata e coordinata delle funzioni e dei singoli impianti (TBM).

- *Classe A:*

BACS e TBM ad elevate prestazioni, come la Classe B ma con livelli di precisione e completezza del controllo automatico tali da garantire elevate prestazioni energetiche all'impianto.

Questa classificazione vale anche per gli impianti di riscaldamento, di ventilazione e di condizionamento (HVAC, Heating, Ventilation and Air Conditioning) oltre a valere ovviamente per il sistema di illuminazione. Gli edifici sono divisi in residenziali e non residenziali.

Il metodo semplificato, o metodo dei fattori BAC, è la procedura di calcolo su base tabellare introdotta dalla EN15232 [3] che permette una stima rapida dell'impatto delle funzioni BAC e TBM sui consumi energetici degli impianti tecnici dell'edificio.

Di seguito sono riportate le tabelle dei fattori BAC (per l'energia termica e elettrica e per diversi tipi di edificio) e le relative stime di risparmio energetico in percentuale, ottenibile passando da una classe di efficienza energetica attiva (A, B, C o D) all'altra.

Tabella #2. 22: Risparmio energetico per i consumi per edifici non residenziali

| "Energia Termica" in Edifici non Residenziali | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|---|---------------|---------------|---------------|
| Tipologia Edificio / Locale | Classi e Fattori di efficienza BAC | | | | Risparmio adottando le classi B e A al posto di C e D | | | |
| | D | C | B | A | Risparmio B/C | Risparmio B/D | Risparmio A/C | Risparmio A/D |
| | Senza Automazione | Automazione Standard | Automazione Avanzata | Alta Efficienza | | | | |
| Uffici | 1,51 | 1,00 | 0,80 | 0,70 | 20% | 47% | 30% | 54% |
| Sale di lettura | 1,24 | 1,00 | 0,75 | 0,50 | 25% | 40% | 50% | 60% |
| Scuole | 1,20 | 1,00 | 0,88 | 0,80 | 12% | 27% | 20% | 33% |
| Ospedali | 1,31 | 1,00 | 0,91 | 0,86 | 9% | 31% | 14% | 34% |
| Hotel | 1,31 | 1,00 | 0,85 | 0,68 | 15% | 35% | 32% | 48% |
| Ristoranti | 1,23 | 1,00 | 0,77 | 0,68 | 23% | 37% | 32% | 45% |
| Negozi / Grossisti | 1,56 | 1,00 | 0,73 | 0,6 | 27% | 53% | 40% | 62% |

| Energia Elettrica in Edifici non Residenziali | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|---|---------------|---------------|---------------|
| Tipologia Edificio / Locale | Classi e Fattori di efficienza BAC | | | | Risparmio adottando le classi B e A al posto di C e D | | | |
| | D | C | B | A | Risparmio B/C | Risparmio B/D | Risparmio A/C | Risparmio A/D |
| | Senza Automazione | Automazione Standard | Automazione Avanzata | Alta Efficienza | | | | |
| Uffici | 1,10 | 1,00 | 0,93 | 0,87 | 7% | 16% | 13% | 21% |
| Sale di lettura | 1,06 | 1,00 | 0,94 | 0,89 | 6% | 11% | 11% | 16% |
| Scuole | 1,07 | 1,00 | 0,93 | 0,86 | 7% | 13% | 14% | 20% |
| Ospedali | 1,05 | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 2% | 7% | 4% | 9% |
| Hotel | 1,07 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 5% | 11% | 10% | 16% |
| Ristoranti | 1,04 | 1,00 | 0,96 | 0,92 | 4% | 8% | 8% | 12% |
| Negozi / Grossisti | 1,08 | 1,00 | 0,95 | 0,91 | 5% | 12% | 9% | 16% |

2.4.2 Requisiti energetici per illuminazione

Si riferisce alla norma UNI EN 15193 [4], "Prestazione energetica degli edifici", che definisce l'indice LENI (Acronimo di Light Energy Numeric Indicator) come un indicatore numerico dell'energia per l'illuminazione totale annuale richiesta nell'edificio appartenenti al settore terziario, tale da stimare il consumo degli impianti di illuminazione all'interno degli edifici e permettere di conseguenza il calcolo risparmio energetico.

Questo standard riconosce come ambienti di applicazioni gli edifici esistenti, nuovi o da ristrutturare. Nel suo campo di applicazione, rappresenta uno strumento di verifica

per edifici esistenti. Inoltre, classifica gli edifici in base alla loro destinazione d'uso ed all'interno di ogni categoria definisce le varie tipologie dei locali che compongono il fabbricato. Per ogni tipo di edificio vengono forniti anche i valori limite di energia previsti per l'illuminazione permettendo quindi il calcolo risparmio energetico globale dell'edificio rispetto al valore di riferimento.

L'indice LENI in questione, esprime l'energia consumata in un edificio per l'illuminazione, riferita ad un m² di superficie e su base annua [kWh/m².anno] ed è ricavabile attraverso due approcci:

(1) Metodo Comprensivo:

Permette una determinazione più accurata dei consumi annuali e mensili derivanti dall'uso dell'impianto di illuminazione artificiale considerando le caratteristiche architettoniche e impiantistiche specifiche di ciascuna zona dell'edificio.

$$LENI = \frac{W}{A} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot anno} \right]$$

Dove:

W : Energia complessiva consumata su base annua per l'illuminazione [kWh/anno]

A : Superficie totale dell'edificio o della zona di edificio considerata [m²]

L'energia totale consumata su base annua per l'illuminazione artificiale può essere determinata come segue:

$$W = (W_L + W_P) = \sum (W_{L,t} + W_{P,t}) \quad [kWh/anno]$$

Dove:

$W_{L,t}$: Energia elettrica consumata in un dato periodo t per garantire l'illuminazione artificiale.

$W_{P,t}$: Energia parassita annuale consumata nel periodo t di riferimento.

La stima dell'energia $W_{L,t}$ e $W_{P,t}$, si effettua utilizzando le due formule di seguito indicate:

$$W_{L,t} = \sum \frac{P_n \cdot F_c \cdot (t_D \cdot F_O \cdot F_D + t_N \cdot F_O)}{1000} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot anno} \right]$$

P_n : Potenza installata di tutti gli apparecchi illuminanti della zona, compresi gli alimentatori, per quelli induttivi potenza pari a 10% P_n della lampada [W].

F_c : Fattore di illuminamento costante. [adim]

t_D : Periodo di funzionamento diurno. Ore di accensione dell'impianto in presenza di luce diurna [h].

F_O : Fattore di dipendenza dall'occupazione. [adim]

F_D : Fattore di dipendenza dalla luce diurna. [adim]

t_N : Periodo di funzionamento notturno. Ore di accensione dell'impianto in assenza di luce diurna. [h]

$$W_{P,t} = \frac{P_{PC} |t_y - (t_D + t_N)| + P_{em} \cdot t_{em}}{1000}$$

P_{PC} : Potenza parassita installata e dovuta ai sistemi di controllo dell'illuminazione calcolata durante il periodo di funzionamento [W].

t_y : Ore annuali (8760) [h].

P_{em} : Potenza parassita installata e dovuta ai sistemi di ricarica delle luci di emergenza [W].

t_{em} : Periodo di tempo in cui le batterie delle luci di emergenza si caricano [h].

I valori delle potenze elettriche P_n , P_{PC} e P_{em} sono ottenuti dal calcolo illuminotecnico. In particolare con riferimento ai consumi relativi all'illuminazione di emergenza degli edifici esistenti, nei casi in cui questi non sono noti o facilmente determinabili, il fabbisogno energetico specifico viene stimato nella UNI EN 15193 [4] pari a 6 kWh/m²anno, (di cui 1 kWh/m²anno per l'illuminazione di emergenza e 5 kWh/m²anno per i sistemi di controllo automatico ove presenti).

(2) Metodo Semplificato:

Consente una stima approssimata dei consumi annuali derivanti dall'uso dell'impianto di illuminazione artificiale. La potenza assorbita per l'illuminazione artificiale viene pesata in funzione del potenziale contributo della luce naturale e dell'incidenza dall'occupazione mediante valori tabellati, definiti in funzione delle tipologie di edificio e dei criteri di controllo (manuale, automatico, automatico con regolazione del flusso luminoso, etc.), a questo vengono aggiunti i consumi parassiti imputabili ai componenti del sistema di controllo e agli apparecchi di illuminazione di emergenza.

Esiste un metodo chiamato "Metodo rapido" proposto nell'articolo "Energy Performance of Buildings: An Useful Procedure to Estimate the Impact of the Lighting Control System" di G.Parise e L.Martirano nell'articolo [5], che fornisce una stima del LENI trascurando la potenza parassita e inserendo un fattore di controllo complessivo F_K :

$$LENI = \frac{(F_K \cdot P_N \cdot t_O)}{(1000 \cdot A)} \quad \left[\frac{kWh}{m^2 \text{anno}} \right]$$

$$F_K = F_o \cdot F_C \cdot [p \cdot \tau (F_D - 1) + 1]$$

$$p = P_D / P_N \quad [adim]$$

$$\tau = t_D / t_O \quad [adim]$$

Dove

P_D : Potenza elettrica del sistema di illuminazione che ricade nell'area che gode di luce naturale ovvero che può essere efficacemente regolata in funzione della luce diurna.
[W]

t_D [h]: Periodo di funzionamento diurno: ore di accensione dell'impianto in presenza di luce diurna.

t_O : Periodo di funzionamento dell'edificio, in assenza di luce naturale. [h]

Tabella #2. 23: Ore di funzionamento annue predefinite in funzione del tipo di edificio

| <i>Locali</i> | <i>Ore di funzionamento definite</i> | | | τ |
|--------------------------|--------------------------------------|-------|-------|--------------|
| | t_D | t_N | t_0 | |
| <i>Uffici</i> | 2250 | 250 | 2500 | 0,9 |
| <i>Scuole</i> | 1800 | 200 | 2000 | 0,9 |
| <i>Ospedali</i> | 3000 | 2000 | 5000 | 0,6 |
| <i>Alberghi</i> | 3000 | 2000 | 5000 | 0,6 |
| <i>Ristoranti</i> | 1250 | 1250 | 2500 | 0,5 |
| <i>Impianti sportivi</i> | 2000 | 2000 | 4000 | 0,5 |
| <i>Negozi</i> | 3000 | 2000 | 5000 | 0,6 |
| <i>Fabbriche</i> | 2500 | 1500 | 4000 | 0,625 |

2.5 Fattori di spesa

Con lo scopo di fornire informazioni corrette per approfondire la conoscenza, l'utilizzo e applicazione della norma di illuminazione UNI EN 15193 [4], è concepito un rapporto tecnico di tipo informativo che accompagna i supporti tecnici dello standard in questione, ed espone che l'efficienza di un dato sistema di illuminazione può essere individuata dal fattore di spesa. Il concetto di fattori di spesa è destinato a consentire una uniforme e omogenea valutazione di tutti i sistemi di prestazione del edificio, differenziando fabbisogno energetico dal consumo di energia.

Il fattore di spesa per i sistemi di illuminazione è composto da fattori di spesa parziali per i rispettivi impianti tecnici. Questo include i sistemi di controllo dell'illuminazione in funzione della presenza degli utenti e della disponibilità di luce diurna e il sistema di illuminazione artificiale, quest'ultimo, può essere a sua volta, suddiviso in fattori di spesa parziali per la generazione, distribuzione e consegna della luce. Poiché non è possibile valutare il fabbisogno energetico per l'illuminazione in generale, è stato necessario definire una sorgente luminosa di riferimento con i rispettivi valori di riferimento.

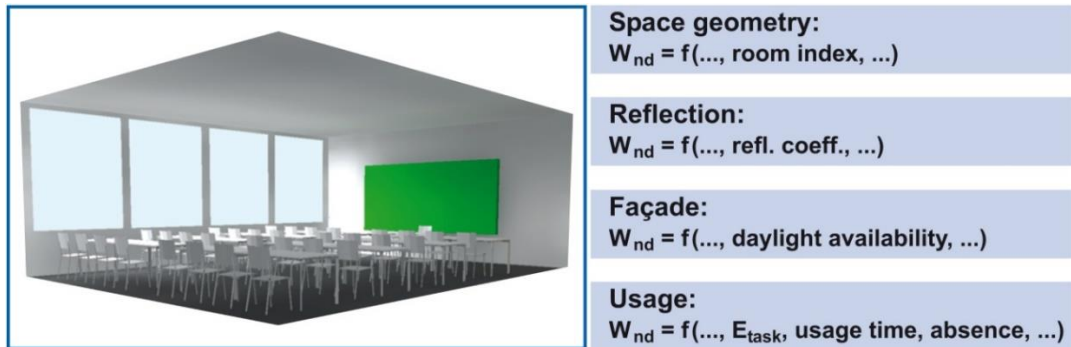


Figura #2. 3: Rappresentazione dei parametri che influiscono sul fabbisogno energetico per l'illuminazione W_{nd}

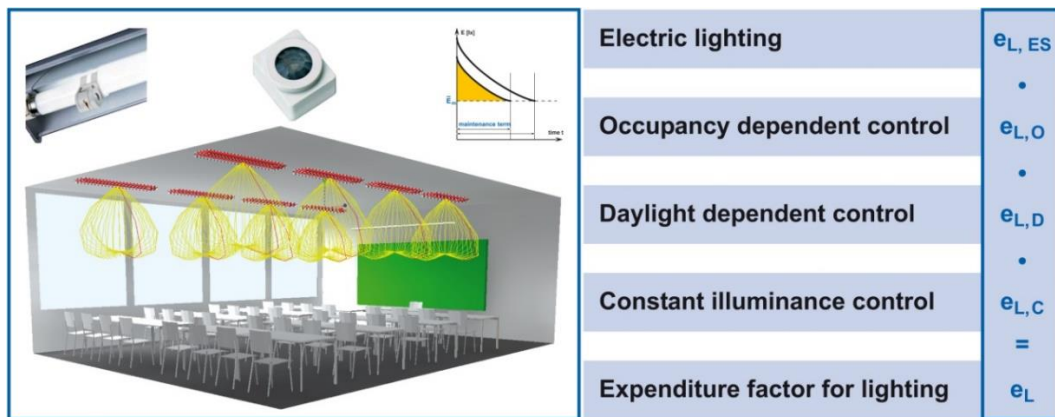


Figura #2. 4: Rappresentazione del fattore di spesa per il sistema di illuminazione e_L e dei fattori di spesa parziali

2.5.1 Fattore di spesa per l'illuminazione

Secondo le definizioni sopra riportate, si può esprimere il fabbisogno energetico come segue:

$$W_{nd} = P_{Ref} \cdot [A_D(t_{Day} \cdot F_{D,Ref} \cdot F_{O,Ref} \cdot F_{C,Ref} + t_{Night} \cdot F_{O,Ref} \cdot F_{C,Ref}) + A_{ND}(t_{Day} \cdot F_{O,Ref} \cdot F_{C,Ref} + t_{Night} \cdot F_{O,Ref} \cdot F_{C,Ref})] \quad [kWh] \quad (\text{Eq. \#2.1})$$

e il consumo di energia come:

$$W_{us} = p \cdot [A_D(t_{Day} \cdot F_D \cdot F_O \cdot F_C + t_{Night} \cdot F_O \cdot F_C) + A_{ND}(t_{Day} \cdot F_O \cdot F_C + t_{Night} \cdot F_O \cdot F_C)] \quad [kWh] \quad (Eq. \#2.2)$$

Il fattore di spesa per i sistemi di illuminazione è ottenuto come rapporto tra le due sopra indicate richieste di energia:

$$e_L = \frac{\text{energyuse}}{\text{energyneed}} = \frac{W_{us}}{W_{nd}} \quad (Eq. \#2.3)$$

Come è stato accennato prima, può essere derivato da una separazione formale dei singoli interessi, sia controllo dell'illuminamento costante, impiego di un controllo dell'illuminazione in dipendenza dall'occupazione e in dipendenza dalla luce diurna, che per il sistema di illuminazione elettrico. Ciascuno di questi è descritto da un fattore di spesa parziale, dalla cui moltiplicazione risulta il fattore di spesa per sistemi di illuminazione (Eq. #2.2). In generale, tutti rappresentano l'efficienza del rispettivo componente, rispetto ad un sistema ideale, è espressa da un rapporto, con il sistema ideale trattati nel denominatore.

$$e_L = e_{L,C} \cdot e_{L,O} \cdot e_{L,D} \cdot e_{L,ES} \quad (Eq. \#2.4)$$

2.5.1.1 Fattore di spesa parziale per il controllo dell'illuminamento costante ($e_{L,C}$)

Il fattore di spesa parziale per il controllo dell'illuminamento costante rappresenta l'efficienza del controllo dell'illuminamento costante ed è in funzione del fattore di manutenzione. Viene calcolato dalla seguente equazione:

$$e_{L,c} = \frac{1 - \frac{1}{2} F_{CC}(1 - MF)}{1 - \frac{1}{2}(1 - MF)} \quad (\text{Eq. \#2.5})$$

Dove

F_{CC} : è il fattore di efficienza del controllo illuminamento costante.

In un controllo ideale dell'illuminamento costante, avente $F_{CC} = 1$, si regola la luce esattamente al livello dell'illuminamento mantenuto, risultando un fattore di spesa parziale $e_{L,c} = 1$. La mancanza di controllo dell'illuminamento costante, ovvero $F_{CC} = 0$, comporterà l'operazione del sistema assente di regolazione, richiedendo così ingressi energetici.

La dipendenza del coefficiente parziale di spesa per il controllo dell'illuminamento costante è illustrato in Grafico #2.5.

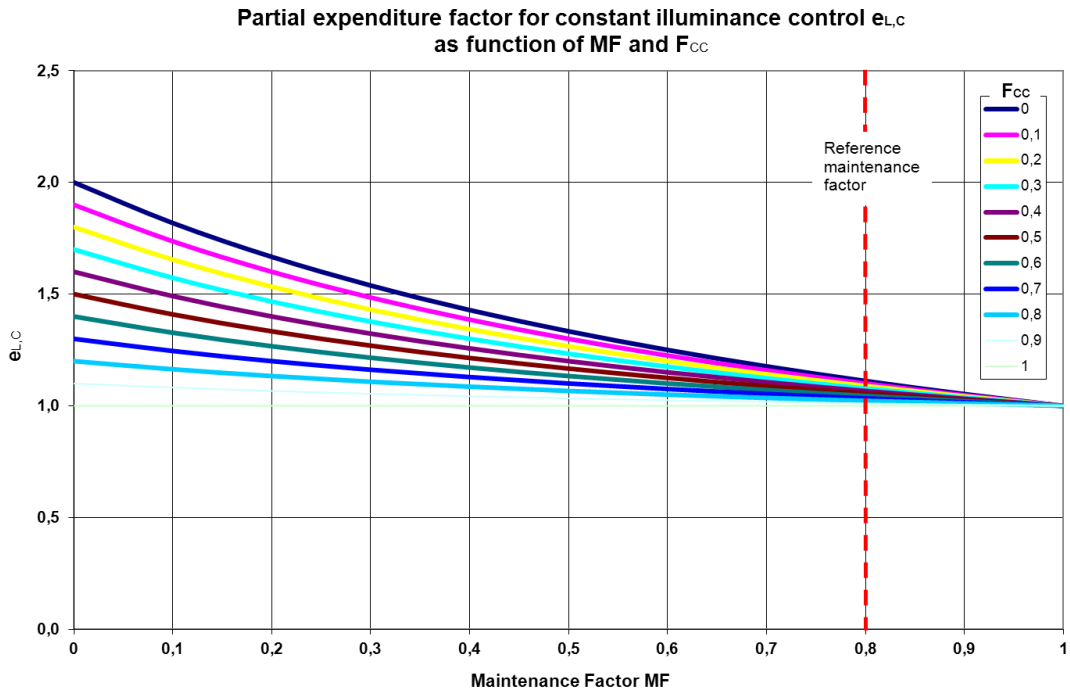


Grafico #2. 5: Illustrazione del fattore di spesa parziale per il controllo dell'illuminamento costante $e_{L,c}$ in funzione del fattore di efficienza per il controllo dell'illuminamento costante FCC e del fattore di manutenzione MF.

2.5.1.2 Fattore di spesa parziale per il controllo dell'illuminazione dipendente dall'occupazione ($e_{L,o}$)

Viene calcolato dal rapporto del fattore di dipendenza dall'occupazione, che rappresenta il tipo di sistema e il suo effetto in funzione del tipo di utilizzo, dalla relativa presenza nella zona in esame (derivata da $1 - FA$)

$$e_{L,o} = \frac{FO}{(1-FA)} \quad (\text{Eq. \#2.6})$$

Un sistema ideale di rilevamento di presenza è in grado di riconoscere pienamente l'assenza di persone e di spegnere le luci, e porterà a un fattore di spesa parziale unitario.

Il grafico #2.6, illustra la dipendenza del fattore di spesa parziale per il controllo dall'occupazione. I valori normativi per FOC sono stati contrassegnati.

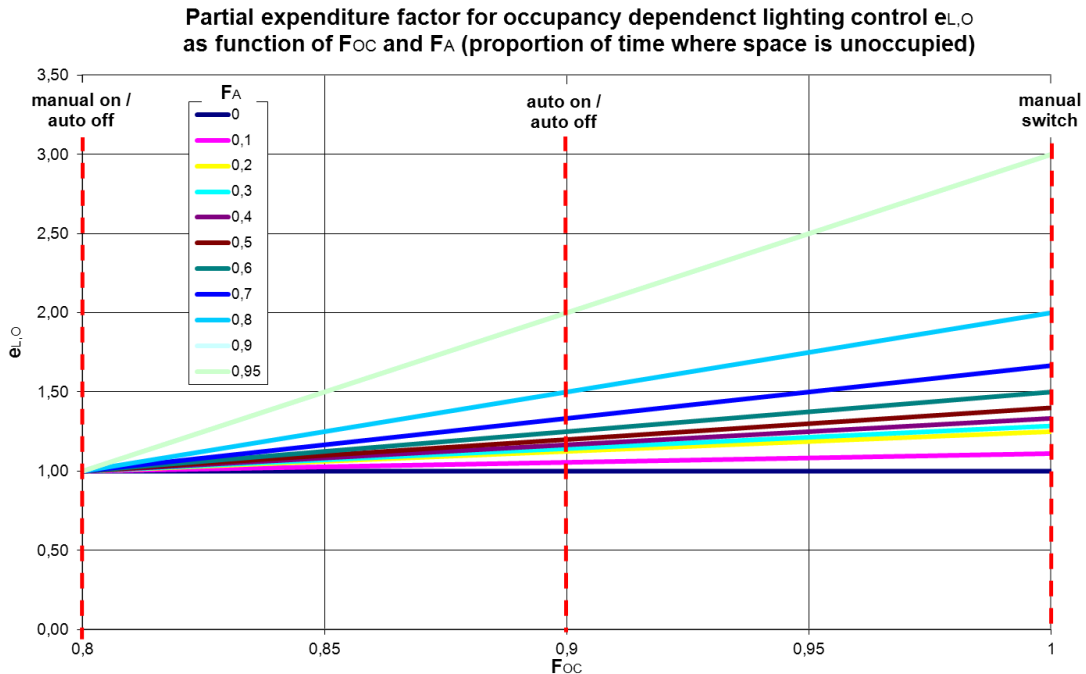


Grafico #2. 6: Illustrazione del fattore di spesa parziale per controllo dell'illuminazione dipendente dell'occupazione $e_{L,O}$ in funzione del fattore di occupazione F_{OC} e del fattore di assenza F_A

2.5.1.3 Fattore di spesa parziale per controllo dell'illuminazione dipendente dalla luce diurna ($e_{L,D}$)

Il fattore di spesa parziale per il controllo dell'illuminazione di dipendenza della luce diurna correla l'effetto del sistema di controllo effettivo al caso ideale. La formula (eq. #2.7) spiega anche il fatto che questo sistema di controllo non influisce sulla domanda di energia d'illuminazione in aree non beneficate dalla luce diurna, né durante le ore notturne.

$$e_{L,D} = \frac{A_D (t_{Day} \cdot (1 - F_{D,S} \cdot F_{D,C}) + t_{Night}) + A_{ND} (t_{Day} + t_{Night})}{A_D (t_{Day} \cdot (1 - F_{D,S}) + t_{Night}) + A_{ND} (t_{Day} + t_{Night})} \quad (\text{Eq. \#2.7})$$

Quando si applica lo standard rapido metodo 2, si assume $F_{D,C} = 0.52$, come il controllo manuale in risposta della luce diurna.

Un sistema ideale di controllo di luce diurna, utilizza l'illuminazione artificiale per completare la quantità disponibile di luce diurna, precisamente fino al punto in cui si ottiene l'illuminamento richiesto con il risultato di un fattore di spesa parziale pari a 1.

2.5.1.4 Fattore di spesa parziale per il sistema di illuminazione artificiale ($e_{L,ES}$)

Il fattore di spesa parziale per il sistema di illuminazione artificiale $e_{L,ES}$, correla la densità di potenza elettrica installata P con la potenza elettrica di valutazione per alimentare il flusso luminoso che è necessario per soddisfare i requisiti connessi all'uso, quando si applica un sistema di riferimento definito in questo contesto. Come determinare queste densità di potenza e il fattore risultante, rispettivamente, dipende dal metodo di calcolo applicato e si determinerà secondo l'approccio del fattore di utilizzazione semplificato.

Sorgente luminosa di riferimento: efficienza luminosa e la distribuzione dell'intensità luminosa

Per la determinazione dei fattori di spesa, è necessario definire una sorgente luminosa di riferimento. Teoricamente, la funzione obiettivo di una sorgente di luce ideale dovrebbe garantire la massima efficienza luminosa possibile ($\eta_L = 683 \text{ lm / W}$), il più alto indice di resa cromatica possibile ($R_a = 100$) e l'indipendenza del colore della luce. Fisicamente, una sorgente con queste caratteristiche non può essere realizzata.

Sulla base delle ipotesi che le lampade fluorescenti e lampade a scarica possono essere considerate pienamente sviluppate e tecnicamente maturi e che i LED sono destinati a diventare una fonte di luce importante in futuro e per essere ulteriormente sviluppata, è stato scelto un riferimento di efficienza luminosa da 140 lm / W. Questo è uno stimato realistico come valore fattibile per il LED.

Determinazione di $e_{L,ES}$ quando si applica il metodo del fattore di utilizzazione semplificato

Le densità di potenza e quindi il fattore di spesa parziale per il sistema di illuminazione artificiale possono essere determinati dalla efficienza luminosa, il fattore di perdita energetica del dispositivo di funzionamento della lampada e il *Light Output Ratio* LOR (rendimento ottico) e il fattore di utilizzazione della stanza. La formula può essere ulteriormente sistemata in funzione della consegna, distribuzione e generazione della luce artificiale. Di conseguenza, ugualmente il fattore di spesa parziale in questione, può essere derivato dalla separazione formale di questi effetti diversi, per i quali sono stati introdotti i fattori di spesa parziali ($e_{L,ES,del}$, $e_{L,ES,dis}$, $e_{L,ES,gen}$).

$$e_{L,ES} = \frac{P}{P_{Ref}} = \frac{\frac{\Phi}{F_{U,e} \cdot \eta_{LB,Ref} \cdot \eta_{L,Ref} \cdot \frac{1}{f_{B,ref}}}}{\frac{\Phi}{F_U \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_L \cdot \frac{1}{f_B}}} = \frac{F_{U,e}}{F_U} \cdot \frac{\eta_{LB,Ref}}{\eta_{LB}} \cdot \frac{\eta_{L,Ref} \cdot f_B}{\eta_L \cdot f_{B,ref}} = e_{L,ES,del} \cdot e_{L,ES,dis} \cdot e_{L,ES,gen}$$

(Eq. 3.5.8)

Fattore di spesa parziale per la consegna della luce artificiale

Il fattore di spesa parziale per la consegna di luce artificiale descrive l'emissione del flusso luminoso emesso dagli apparecchi all'interno dello spazio (piano di lavoro). Esso stabilisce un rapporto specifico dell'oggetto (cioè tenendo conto della geometria dello spazio e rispettivi coefficienti di riflessione nello spazio) tra il fattore di utilizzazione reale dello spazio. Esso viene calcolato come segue:

$$e_{L,ES,del} = \frac{F_{U,e}}{F_U} \quad (\text{Eq. \#2.5.9})$$

Per le camere rettangolari, il fattore di utilizzazione F_U può essere determinato in funzione dell'indice del locale e la frazione del flusso verso l'alto (UFF) usando la Tabella #3.23. Questa tabella comprende anche il fattore di utilizzazione di riferimento, che rappresenta i valori di un sistema diretto con $UFF = 0\%$.

Tabella #2. 24: Fattori di utilizzazione (effettivo e riferimento) in funzione dell'indice del locale k e la frazione di flusso verso l'alto

| Frazione di flusso verso l'alto (UFF) | Indice del locale k | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,25 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 |
| 10% (diretto) | 0,45 | 0,52 | 0,56 | 0,62 | 0,64 | 0,69 | 0,72 | 0,76 | 0,79 | 0,79 |
| 30% (dir./ind.) | 0,39 | 0,44 | 0,48 | 0,51 | 0,54 | 0,57 | 0,60 | 0,62 | 0,64 | 0,67 |
| 70% (ind./dir.) | 0,26 | 0,31 | 0,36 | 0,41 | 0,45 | 0,51 | 0,56 | 0,57 | 0,64 | 0,67 |
| 90% (indiretto) | 0,19 | 0,24 | 0,28 | 0,33 | 0,36 | 0,43 | 0,48 | 0,52 | 0,57 | 0,62 |
| Caso di Riferimento (UFF=0%) $F_{U,e}$ | 0,50 | 0,61 | 0,69 | 0,78 | 0,84 | 0,90 | 0,95 | 0,99 | 1,03 | 1,05 |
| NOTA Valori intermedi dell'indice del locale possono essere interpolati. | | | | | | | | | | |

Per la determinazione dei valori riportati in tabella sono stati applicati i seguenti coefficienti caratteristici di riflessione: soffitto: 70%, parete: 50%, pavimento: 20%.

Fattore di spesa parziale per la distribuzione della luce artificiale

Il fattore di spesa parziale per la distribuzione della luce artificiale considerando il rendimento ottico di riferimento pari al rendimento ottico ideale ($\eta_{LB,Ref} = \eta_{LB,ideale} = 1$), descrive l'efficienza di distribuzione degli apparecchi di illuminazione, ossia l'efficienza di distribuzione della luce emessa dalle lampade

attraverso i corpi illuminanti. Di conseguenza, questo fattore è equivalente al reciproco del rapporto del rendimento ottico (LOR) η_{LB} .

Fattore di spesa parziale per la generazione della luce artificiale

Il fattore di spesa parziale per la generazione di luce artificiale riguarda la reale efficienza luminosa e l'efficienza del dispositivo di comando della sorgente luminosa ad una efficienza luminosa di riferimento e un funzionamento ideale delle sorgenti luminose ($f_{B,Rif} = f_{B,ideale} = 1$).

2.5.2 Aspetti generali sull'approccio dei fattori di spesa per i sistemi di illuminazione

L'applicazione di questo approccio sistematico di valutazione consente ai progettisti di eseguire un rapida analisi e (se necessario) ottimizzazione dei flussi di energia (o di apporto di energia necessaria) nel settore dell'illuminazione, separatamente per le varie componenti tecniche dei sistemi di illuminazione.

Va notato qui che i fattori di spesa reali al momento difficilmente possono mai avvicinarsi a un valore di $e_{L,ES} = 1$, a causa della convenzione di $\eta_L = 140 \text{ lm/W}$. Questa situazione potrebbe però presto cambiare a causa dell'ancora rapido aumento dell'efficienza delle lampade a LED.

Un fattore di spesa di $e_{L,ES} = 1,6$ indica direttamente che i requisiti sulla situazione di illuminazione saranno soddisfatte da un sistema di illuminazione, che supera del 60% la domanda di energia di un sistema energetico ad ottimali prestazioni.

CAPITOLO III

ANALISI COSTI – BENEFICI DEI PROGETTI DI INVESTIMENTO

L'analisi di fattibilità economico-finanziaria rappresenta lo strumento principale di valutazione degli investimenti in edilizia/urbanistica, serve a valutare la realizzabilità in condizioni di equilibrio economico-finanziario, di progetti specifici o a larga scala. Consente anche di valutare la remunerazione del capitale investito.

Nel caso di impianti energetici può essere finalizzata a valutare soluzioni che consentono di risparmiare energia riducendo i consumi, come il caso in studio, un intervento destinato ad un impianto esistente per incrementare l'efficienza energetica, tale che risulti nella riduzione del fabbisogno di energia primaria dell'edificio stesso.

Il costo globale dell'impianto come descritto dal Regolamento Delegato (UE) [8], corrisponde alla somma del valore attuale dei costi dell'investimento iniziale, dei costi di gestione e dei costi di sostituzione (riferiti all'anno di inizio), nonché dei costi di smaltimento, se del caso.

Una soluzione progettuale di un impianto deve essere supportata da due analisi di fattibilità: una tecnica ed una economica. Effettuando l'analisi tecnica spesso ci si trova a dover scegliere tra possibili alternative tutte tecnicamente valide e che conducono ad un dimensionamento tecnico ottimale dell'impianto. Spesso ciò che conduce ad optare per una soluzione rispetto ad un'altra è il risultato della verifica di convenienza economica dell'investimento.

L'analisi economica complessiva viene effettuata sostanzialmente tramite l'analisi costi-benefici, che consiste nel confronto tra l'investimento iniziale e l'ammontare del

guadagno attualizzato che si presume fluisca in entrata per l'investimento stesso nel corso della vita dell'impianto.

L'obiettivo dell'analisi finanziaria è utilizzare le previsioni sui flussi di cassa del progetto per calcolare opportuni indici di rendimento, in particolare il tasso di rendimento interno finanziario (TRIF), e il valore attuale netto finanziario (VANF).

3.1 Indicatori rilevanti

Dalla guida all'analisi costi-benefici dei progetti di investimento [9], si segnalano gli indicatori che servono per condurre l'analisi finanziaria:

1. Valore attuale netto finanziario del progetto
2. Tasso di rendimento interno finanziario
3. Tempo di ritorno

3.1.1 Valore Attuale Netto (VAN)

Il Valore attuale netto finanziario è la somma attualizzata dei ricavi netti del progetto ed è definito come:

$$VAN = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{S_0}{(1 + Cc)^0} + \frac{S_1}{(1 + Cc)^1} + \dots + \frac{S_n}{(1 + Cc)^n}$$

Dove

S_n : Saldo dei flussi di cassa al tempo n

a_t : Fattore di sconto finanziario scelto per l'attualizzazione

Il VAN (valore attuale netto) non rappresenta uno strumento di stima, bensì uno strumento di valutazione, in altri termini, non consente di misurare il valore contabile del progetto, quanto invece consente di valutare se un certo investimento debba essere

realizzato o meno. E' il segno algebrico del VAN che si deve considerare con la massima attenzione, non tanto il suo valore assoluto.

Ci sono de casi possibile:

- 1) *Il Van è positivo o nullo*: il progetto è fattibile poiché i ricavi superano i costi, un VAN positivo significa che l'investimento proposto è in grado di generare un rendimento superiore al rendimento di riferimento
- 2) *Il Van è negativo*: il progetto non è fattibile poiché i costi superano i ricavi.

- ***Flusso di casa***

Il flusso di cassa rappresenta la diminuzione dei costi operativi causata dal nuovo progetto rispetto alle vecchie modalità. Si può valutare il valore economico dell'energia risparmiata tramite la relazione:

$$FC_{Lj} = Q_j * P_j$$

Dove:

Q_j rappresenta la quantità di energia risparmiata nell'anno j-esimo;

P_j rappresenta il prezzo dell'energia nello stesso anno.

- ***Investimento (Io)***

Il flusso di casa per l'anno $n = 0$, corrisponde con l'investimento del progetto e dipende sostanzialmente dalla somma di tutti i costi necessari a portare a termine il nuovo progetto o modifica dell'impianto esistente, quali:

- Prezzo netto delle apparecchiature;
- Costi d'installazione;
- Costo di avviamento;
- Aumento di capitale circolante (se necessario)

A questi costi va, se esistente il valore di recupero netto dell'investimento ritirato.

- ***Tasso di Inflazione (f)***

Nell'analisi di progetto si utilizzano generalmente i prezzi costanti, considerando l'evoluzione dei prezzi, cioè, l'evoluzione nel tempo dei prezzi dell'energia, dei prodotti, dei sistemi edilizi, dei servizi, del personale, della manutenzione e di altri costi. Prezzi che sono corretti dell'inflazione e riferiti ad un anno base. L'effetto dell'inflazione, possono influenzare il calcolo del rendimento finanziario dell'investimento.

- ***Tasso di interesse (i)***

Il tasso di interesse rappresenta quella quota di una certa somma presa a prestito che dovrà essere restituita dopo un periodo in aggiunta alla restituzione della somma stessa. Spesso la somma presa a prestito viene chiamata capitale iniziale, o semplicemente capitale. Gli interessi si calcolano moltiplicando il capitale iniziale per il tasso di interesse (i), possiamo dunque scrivere:

$$\text{Interessi} = \text{Capitale} * i$$

- ***Tasso di sconto***

Il tasso di sconto è il tasso al quale i valori futuri sono attualizzati al valore presente. Usualmente viene considerato grosso modo equivalente al costo opportunità del capitale.

Si supponga che un investimento I_0 effettuato attualmente, dia origine negli anni avvenire a flussi di cassa, positivi o negativi, prodotti nei vari anni j di durata dell'investimento.

Tali flussi di cassa siano: FC_1 al primo anno, FC_2 al secondo anno, FC_j al j -esimo anno. Per effettuare la comparazione si dovranno "attualizzare" i flussi di cassa, ognuno

in riferimento all'anno in cui sarà disponibile, moltiplicandoli per il relativo fattore di sconto, in altre parole, per un coefficiente e di moltiplicazione usato per convertire un flusso finanziario in un determinato momento nel suo valore equivalente alla data iniziale. È derivato dal tasso di sconto:

$$\frac{1}{(1 + C_c)^j}$$

Dove C_c è il costo del capitale, o come è denominato in precedenza, fattore di sconto che può essere ricavato dalla relazione:

$$C_c = 1 - f$$

Differenza tra il tasso di interesse (i) e il tasso d'inflazione (f) stimati.

Finalmente si definisce quindi Valore Attuale Netto (VAN) la differenza tra la somma degli n flussi di cassa attualizzati (n = anni di durata dell'investimento) e l'investimento iniziale I_0 :

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + C_c)^j} - I_0$$

L'anno iniziale è l'anno su cui si basano tutti i calcoli e a partire dal quale è determinato il periodo di calcolo (n), che è il periodo di tempo considerato nel calcolo, espresso in anni.

3.1.2 Tasso di Rendimento Interno (TIR)

Il tasso di rendimento interno dell'investimento esprime la redditività dell'investimento e quindi la capacità del progetto di remunerare il capitale investito ed è definito come quel tasso di interesse che rende nullo il valore attuale netto dell'investimento:

$$VAN(S) = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Se il TIR è superiore al valore del costo del capitale (Cc) assunto per il calcolo del VAN, significa che l'investimento proposto sarebbe conveniente. Al contrario, se il TIR è inferiore, l'investimento non andrebbe effettuato. Inoltre, nella scelta tra possibili alternative di investimento di pari rischio, conviene scegliere quella con il TIR maggiore.

3.1.3 Tempo di Ritorno (TR)

Il Tempo di Ritorno (di payback) è definito come il numero di periodi necessari affinché i flussi di cassa cumulati eguagliano l'investimento, è il rapporto tra l'investimento iniziale ed il flusso di cassa previsto, a cadenza periodica ed assunto costante:

$$TR = \frac{I_0}{FC_L}$$

È un indicatore economico molto utilizzato, ma può fornire indicazioni troppo ottimistiche, poiché non tiene conto ad esempio della durata dell'investimento e del costo del capitale.

CAPITOLO IV

METODOLOGIA

Lo sviluppo del presente lavoro di tesi è suddiviso in due stadi sequenzialmente logici, (a) studio dello stato attuale (b) disegno della progettazione (sistema di controllo automatico dell'illuminazione per un ambiente scolastico).

4.1 Metodologia per lo studio dello stato attuale

Il primo stadio del progetto corrisponde all'analisi dello stato attuale dell'impianto di illuminazione nel Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale, situato in Via delle Sette Sale, Roma. Italia. È costituito dalle seguenti fasi:

- I. Raccolta dell'informazione dimensionale dei locali.
- II. Riconoscimento di aree appartenenti al Dipartimento, destinazione d'uso.
- III. Identificazione dei corpi illuminanti presenti in ogni locale, tipo e numero installato, potenza delle lampade.
- IV. Identificazione di punti di comando delle lampade, ubicazione e numero.
- V. Individuazione della modalità di gestione dell'illuminazione, manuale o automatico.
- VI. Misurazione dell'illuminamento medio mantenuto.
- VII. Valutazione di tutti i parametri che indicano la prestazione energetica dell'impianto.

4.2 Metodologia per il disegno della progettazione

Il disegno del sistema di illuminazione si fonda sulle quattro (6) fasi che seguono:

- I. Indagine delle prestazioni illuminotecniche richieste agli edifici scolastici, normativa di riferimento.
- II. Selezione della tecnologia di lampade da utilizzare per la sostituzione delle lampade attuali con altre ad alta efficienza.
- III. Progettazione in DIALux, individuazione del numero di apparecchi illuminanti necessari per provvedere l'illuminamento medio mantenuto stabilito dalla norma.
- IV. Ragionamento della modalità di gestione dell'illuminazione in funzione delle caratteristiche dimensionali, destinazione d'uso e disponibilità a percepire la luce diurna del locale.
- V. Programmazione con il software ETS dei dispositivi per la configurazione, messa in servizio, diagnostica e monitoraggio del sistema.
- VI. Valutazione di tutti i parametri che indicano la prestazione energetica del impianto.

CAPITOLO V

STATO ATTUALE

5.1 Studio del fabbricato

Il punto di partenza per il disegno del progetto, è costituito dallo studio delle aree da trattare. Il fabbricato è situato a Roma in Via delle Sette Sale, 12b, ed è costituito da due (2) piani denominati “Piano Terra” e “Primo Piano”, ove ciascuno è suddiviso in aree e queste a sua volta in locali. Tale ripartizione si mostra nelle figure che seguono:

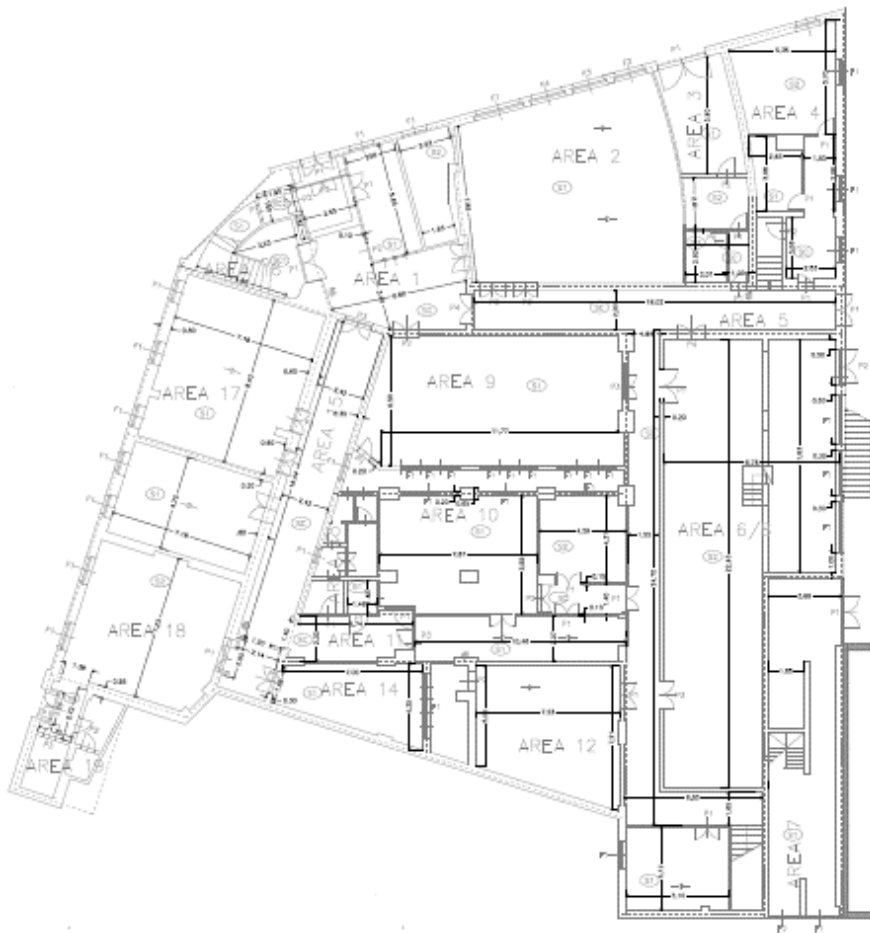


Figura #5. 1: Planimetria Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Piano Terra

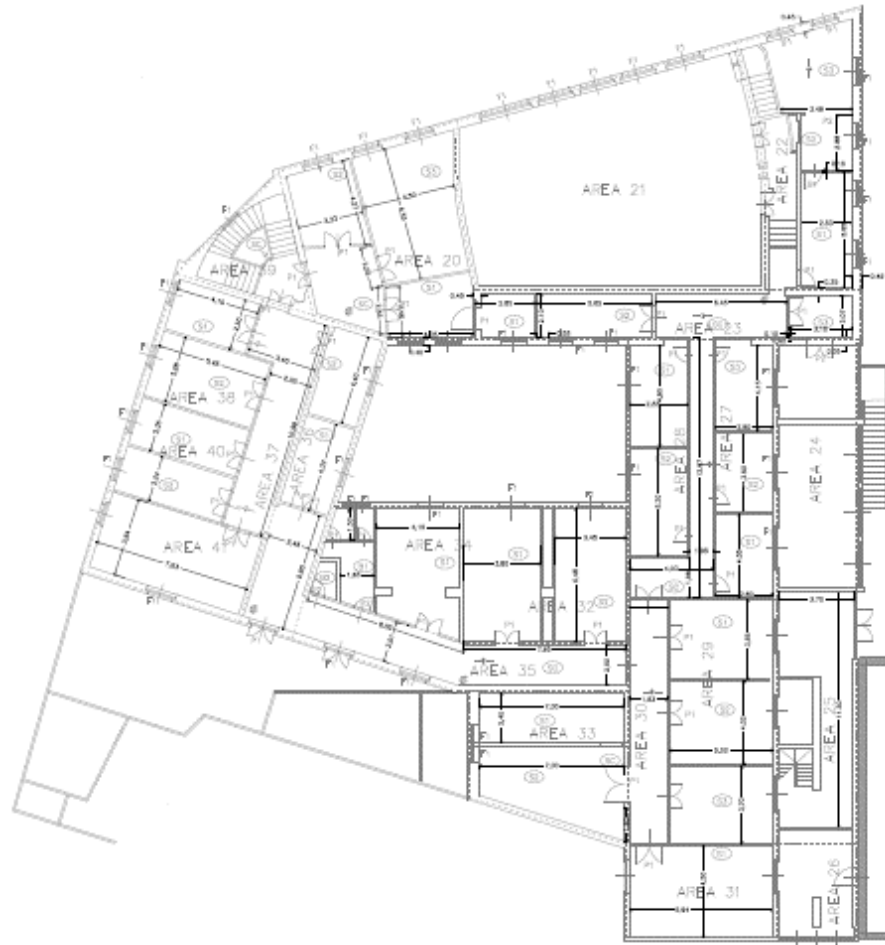


Figura #5. 2: Planimetria Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Primo Piano



Figura #5. 3: Prospetto 1-2. Dipartimento di Ingegneria Elettrica



Figura #5. 4: Prospetto 2-3-4. Dipartimento di Ingegneria Elettrica

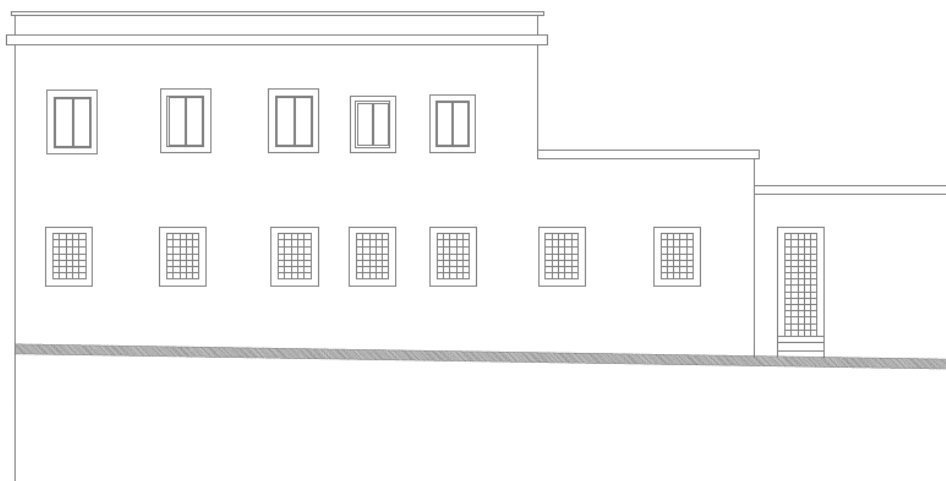


Figura #5. 5: Prospetto 4-5. Dipartimento di Ingegneria Elettrica

Questo studio ha permesso di individuare le dimensioni fisiche e la destinazione d'uso di ogni locale appartenenti l'area in esame tra i quali, si trova al Piano Terra, sostanzialmente, due aule, i laboratori, la biblioteca e i bagni, mentre al Primo Piano sono presenti tutti gli uffici dei professori e i bagni ad uso privato.

5.2 Rilevamento dello stato attuale

L'impianto d'illuminazione presente al Dipartimento di Ingegneria Elettrica, è caratterizzato da una gestione delle luci del tutto manuale.

Per ogni locale sono rilevati i seguenti dati:

- Posizione del punto luce (Piano, area, locale)
- Numero degli apparecchi di illuminazione per punto luce
- Tipo degli apparecchi di illuminazione
- Tipo della sorgente luminosa
- Numero delle sorgenti luminose per apparecchio
- Potenza elettrica della sorgente luminosa
- Numero di punti di comando delle luci
- Illuminamento medio mantenuto presente nel locale.

Per la misura dell'illuminamento, si è stato rivolto al Capitolo 1 (Illuminotecnica), paragrafo "Misurazione dell'illuminamento", del manuale illuminotecnico pratico di ZUMTOBEL [10], il cui, definisce:

"L'illuminamento medio è il valore aritmetico medio di illuminamenti puntiformi che vengono misurati con un luxmetro in condizioni ben definite e in un determinato reticolo."

Di conseguenza, è stato misurato l'illuminamento in diversi punti appartenenti all'area in studio per risalire successivamente al valore medio attraverso un'opportuna interpolazione.

Dati dell'istrumento utilizzato: (Vedere scheda tecnica, [Allegato #1])

- Modello: PHYSICS Line C.A 811
- Intervallo di misurazione: da 20 a 20.000 lux
- Risoluzione: 0,01 lux
- Grado di precisione: Massima precisione, $\pm 3\% L + 10$ punti

Reticolo e altezza di misurazione:

Per verificare correttamente il risultato dell'impianto illuminotecnico, la norma UNI EN 10840 [11], paragrafo 6.2.1 "Illuminamento medio mantenuto E_m ", fa riferimento alle altezze di misurazione per i locali scolastici.

- In generale alla superficie di lavoro orizzontale all'altezza di 0,85 m dal pavimento. Per altre posizioni della superficie di lavoro, l'illuminamento medio mantenuto deve riferirsi alle specifiche situazioni (per esempio ad altezze diverse nel caso di aule di asili nido o scuole materne, o verticali per la lavagna, carte geografiche o altro);
- Per le zone di transito, all'altezza di 0,2 m dal pavimento.

Per definire il reticolo, viene impiegato un metodo basato dalla esperienza dei progettisti, dove, il numero minimo di punti in cui effettuare la misura viene determinato dalla Tabella #6.2.1 una volta individuato l'indice del locale, calcolato come segue:

$$i = \frac{(a * b)}{h_u \cdot (a + b)} \quad (Eq. 1)$$

Dove:

i: Indice del locale

a: Lunghezza del locale [m]

b: Larghezza del locale [m]

h_u: Altezza utile del piano di lavoro [m]

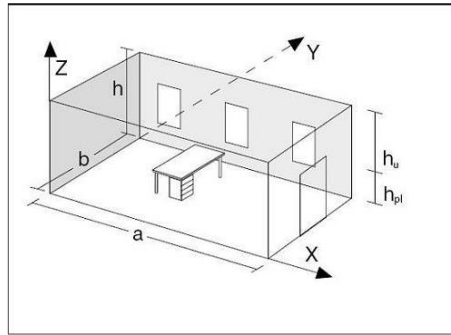


Figura #5. 6: Rappresentazione dei parametri del locale

Tabella #5. 1: Determinazione del num. di punti di misura

| <i>Indice del locale</i> | <i>Num. Min. punti di misura</i> |
|--------------------------|----------------------------------|
| $i \leq 1$ | 4 |
| $1 < i \leq 2$ | 9 |
| $2 < i \leq 3$ | 16 |
| $i > 3$ | 25 |

Il numero minimo di punti di misura rappresenta successivamente il numero di sottoaree al centro delle quali verrà rilevato l'illuminamento puntiforme relativo.

Le dimensioni dei lati di ogni sottoarea sono ricavabili come segue:

$$c = a/\sqrt{n} \quad / \quad d = b/\sqrt{n}$$

Dove:

a: Lato maggiore del locale (lunghezza locale)

b: Lato minore del locale (larghezza locale)

c: Lato maggiore singola sottoarea (lunghezza)

d: Lato minore singola sottoarea (larghezza)

n: Numero minimo punti di misura

Qualora risultasse la dimensione "c" superiore al doppio della dimensione "d", è necessario aumentare il numero di sottoaree. Per i locali laddove viene individuata una

zona di lavoro, vale a dire, quella zona dove viene svolto il compito visivo, in cui non sono note le sue dimensioni e la sua disposizione; tale come viene stipulato dalla norma UNI EN 12464-1 [1], nella sezione 3 “termini e definizioni”, sarà assunta come la zona dove il compito può essere effettuato.

Condizioni della misurazione:

- Evitare luce diurna e altre sorgenti (misurare separatamente e sottrarre)
- Attendere il tempo di accensione delle lampade (tempo impiegato dalla lampada per andare a regime, inteso come il tempo che intercorre tra l'istante di accensione della lampada e l'istante in cui la lampada emette il flusso nominale), prima di cominciare a effettuare le misurazioni

L'informazione raccolta si evidenzia dalle tabelle successive:

Tabella #5. 2: Rilevamento dello stato attuale, Piano Terra

| <i>Locale</i> | <i>Luci fisse</i> | <i>Punti di</i> | <i>Em</i> |
|---|-------------------|-----------------|--------------|
| <i>Destinazione d'uso</i> | <i>W tot</i> | <i>comando</i> | <i>[lux]</i> |
| AREA 1 | | | |
| <i>Area d'ingresso (SC)</i> | 312 | 10 | 232,39 |
| (1), (7) <i>Portineria (S1)</i> | 144 | 2 | 203,88 |
| <i>Laboratorio di calcolo didattico (S2)</i> | 144 | 1 | 219,10 |
| AREA 3 | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 36 | 1 | 125,25 |
| <i>Ufficio Tec. Lab. David (S3)</i> | 72 | 1 | 326,75 |
| <i>Lab. Macchine. Controllo Numerico (S2)</i> | 144 | 2 | 150,07 |
| <i>Macchinari (S1)</i> | 144 | 1 | 129,48 |
| AREA 4 | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 232 | 1 | 125,03 |
| <i>Stanza di Pulizia</i> | 40 | 1 | 71,33 |
| <i>Ufficio A. Ruvio (S1)</i> | 72 | 1 | 215,17 |
| (3), (6) <i>Lab. Impianti Elettrici (S2)</i> | 144 | 1 | 122,24 |
| AREA 5 | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 306 | 4 | 154,27 |
| AREA 6/8 | | | |
| (2) <i>Corridoio (SC)</i> | 324 | 2 | 70,98 |

| | | | | |
|----------------|--|-------------|--------|-----------------|
| (1), (3), (7) | Lab. di Macchine Elettriche e Azionamenti Elettrici (S2) Z. Circostante Z. Compito | 1224 144 | 1 1 | 264,3 481,14 |
| (1), (3), (7) | Lab. Tecnologie Elettriche (S1) | 320 | 2 | 44,00 |
| AREA 9 | | | | |
| (4), (7) | Laboratorio di alte tensioni | 576 | 2 | 340,72 |
| AREA 10 | | | | |
| | Corridoio Biblioteca (SC) | 116 | 1 | 221,06 |
| (2) | Sala lettura Biblioteca (S1) | 598 | 1 | 305,25 |
| | Ufficio Biblioteca (S2) | 144 | 1 | 179,00 |
| AREA 11 | | | | |
| | Corridoio (SC) | 72 | 1 | 102,00 |
| (2) | Magazzino Biblioteca (S1) | 432 | 1 | 54,76 |
| AREA 12 | | | | |
| (5) | Lab. Misure Elettroniche Z. Circostante Z. Compito | 420 360 | 3 | 227,33 |
| | | | 2 | 555,50 |
| | Magazzino Lab. Misure Elettroniche | 72 | 1 | 138,22 |
| AREA 13 | | | | |
| | Bagni uomini | 288 | 1 | 494,75 |
| | Bagni donne | 36 | 2 | 45,90 |
| AREA 14 | | | | |
| (4), (7) | Sala Dottorandi (S1) | 306 | 1 | 491,87 |
| AREA 15 | | | | |
| (2) | Corridoio (SC) | 306 | 6 | 109,00 |
| AREA 16 | | | | |
| (1), (7) | Area di circolazione 1 (SCI) | 90 | 1 | 115,00 |
| | Area di Circolazione. Pulizia (SC2) | 18 | 1 | 76,53 |
| | Deposito, materiali di pulizia (S1) | 40 | 1 | 14,28 |
| AREA 17 | | | | |
| | Aula 39 | 756 | 2 | 681,94 |
| | Lavagna | 72 | 1 | 518,75 |
| AREA 18 | | | | |
| | Sala riunioni (S1) | 288 | 3 | 271,17 |
| | Centro di calcolo (S2) | 738 | 2 | 318,40 |
| AREA 19 | | | | |
| | Stanza di Stoccaggio | 120 | 3 | 98,48 |

Osservazioni

AREA 2 - (Aula 40): E' pressa in considerazione nell'analisi del Primo Piano.

AREA 7 (Informatica e Sistemica) - Accesso limitato.

Interruttori presenti nell'AREA 5, comandano accensione di lampade nel corridoio dell'AREA 6/8

- (1) Presenza di luce naturale, assenza di tapparelle. (Misura eseguita separatamente e sottratta).
- (2) Lampada difettosa.
- (3) Tanti oggetti che fanno ombra.
- (4) Presenza continua di luce naturale a causa di lucernario.
- (5) Plafoniera vecchia.
- (6) Lampade installate da 36W, ad essere sostituite per lampade da 58W.
- (7) Stima della luce artificiale per differenza di valori con Lamp. accese e Lamp. Spente.

Tabella #5. 3: Rilevamento dello stato attuale, Piano Terra

| <i>Locale Destinazione d'uso</i> | <i>Luci fisse W tot</i> | <i>Punti di comando</i> | <i>Em [lux]</i> |
|--|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| AREA 20 | | | |
| (3) <i>Area di circolazione della Direzione (SC)</i> | 72 | 1 | 99,00 |
| <i>Segreteria Didattica, M. Schipani (SI)</i> | 72 | 1 | 283,14 |
| <i>Ufficio Prof. L. Martirano (S2) Z. Circostante Z. Compito</i> | 72 | 1 | 346,50 |
| | 40 | 1 | 514,60 |
| <i>Ufficio Presidente del Consiglio d'Area, E. Santini (S3)</i> | 144 | 1 | 173,00 |
| AREA 21 | | | |
| <i>Aula 40</i> | 2842 | 4 | 496,78 |
| <i>Lavagna</i> | 144 | 1 | 954,00 |
| AREA 22 | | | |
| <i>Scale ed area di circolazione</i> | 78 | 3 | 71,50 |
| <i>Ufficio prof. R. Araneo (SI)</i> | 144 | 1 | 211,40 |
| <i>Ufficio prof. G. Parise (S2)</i> | 202 | 2 | 392,57 |

| AREA 23 | | | | |
|----------------|--|-----|---|--------|
| (2) | <i>Corridoio (SC)</i> | 144 | 5 | 53,54 |
| | <i>Ufficio annesso alla Segreteria Didattica (S1)</i> | 72 | 1 | 255,00 |
| | <i>Ufficio Prof. A. Tamburrano (S2)</i> | 108 | 1 | 182,91 |
| (1) | <i>Ufficio Prof. R. D'Alessio (S3)</i> | 72 | 1 | 272,25 |
| AREA 27 | | | | |
| | <i>Ufficio Segreteria Amministrativo, V.Bifaretti (S1)</i> | 144 | 1 | 187,33 |
| | <i>Ufficio Prof. F. Maradei (S2)</i> | 144 | 1 | 299,78 |
| | <i>Ufficio Prof. F. Giullii Capponi (S3)</i> | 144 | 1 | 195,13 |
| AREA 28 | | | | |
| | <i>Corridoio (SC)</i> | 234 | 2 | 177,59 |
| | <i>Ufficio Prof. U. Grasselli (S1)</i> | 224 | 2 | 690,83 |
| | <i>Ufficio Prof. S. Sangiovanni (S2)</i> | 288 | 2 | 448,08 |
| AREA 29 | | | | |
| | <i>Ufficio Prof. F. Gatta (S1)</i> | 144 | 2 | 213,00 |
| | <i>Ufficio Prof. F. Crescimbeni e Prof. F. Caricchi (S2)</i> | 288 | 1 | 296,89 |
| (3) | <i>Ufficio Prof. M. Pompili (S3)</i> | 464 | 2 | 571,78 |
| AREA 30 | | | | |
| | <i>Corridoio (SC)</i> | 234 | 2 | 233,80 |
| AREA 31 | | | | |
| (1) | <i>Ufficio Prof. M. S. Sarto (S1)</i> | 348 | 2 | 490,93 |
| AREA 32 | | | | |
| | <i>Ufficio Prof. S. Celozzi(S1)</i> | 216 | 2 | 282,92 |
| | <i>Ufficio Prof. L. Podesta (S2)</i> | 144 | 2 | 354,67 |
| AREA 33 | | | | |
| | <i>Ufficio prof. G. Lovat (S1)</i> | 216 | 1 | 668,54 |
| | <i>Ufficio prof. M. D'Amore e prof. M. Feliziani (S2)</i> | 216 | 2 | 341,64 |
| AREA 34 | | | | |
| | <i>Bagni Uomini (B1)</i> | 54 | 2 | 159,44 |
| | <i>Bagni Donne (B2)</i> | 36 | 1 | 133,25 |
| | <i>Ufficio Prof. C. Mazzetti di Pietralata (S1)</i> | 144 | 1 | 227,00 |
| AREA 35 | | | | |
| | <i>Corridoio (SC)</i> | 306 | 4 | 185,90 |
| AREA 36 | | | | |
| | <i>Corridoio (SC)</i> | 90 | 0 | 68,12 |
| | <i>Ufficio Prof. M. C. Falvo (S1)</i> | 144 | 1 | 310,83 |
| | <i>Ufficio Prof. S. Lauria (S2)</i> | 140 | 1 | 242,00 |

| AREA 37 | | | | |
|----------------|---|-----|---|--------|
| | <i>Corridoio (SC)</i> | 144 | 2 | 130,66 |
| AREA 38 | | | | |
| (1) | <i>Ufficio Prof. A. Geri (S1)</i> | 72 | 1 | 273,67 |
| (3) | <i>Ufficio Prof. A. Capasso (S2)</i> | 144 | 1 | 458,57 |
| AREA 39 | | | | |
| (1) | <i>Scale ed area di circolazione</i> | 72 | 1 | 181,60 |
| AREA 40 | | | | |
| | <i>Ufficio Prof. A. G. D'Aldia e prof. G. Bellis (S1)</i> | 232 | 1 | 527,53 |
| | <i>Ufficio Prof. C. Boccaletti (S2)</i> | 144 | 1 | 306,75 |
| AREA 41 | | | | |
| | <i>Ufficio Prof. R. Lamedica</i> | 348 | 2 | 336,20 |

Osservazioni

AREA 24, 25 e 26: All'aperto.

- (1) Presenza di luce naturale (Misura eseguita separatamente e sottratta).
- (2) Lampada difettosa.
- (3) Lampade in sospensione.
- (4) Locale in assenza di personale.

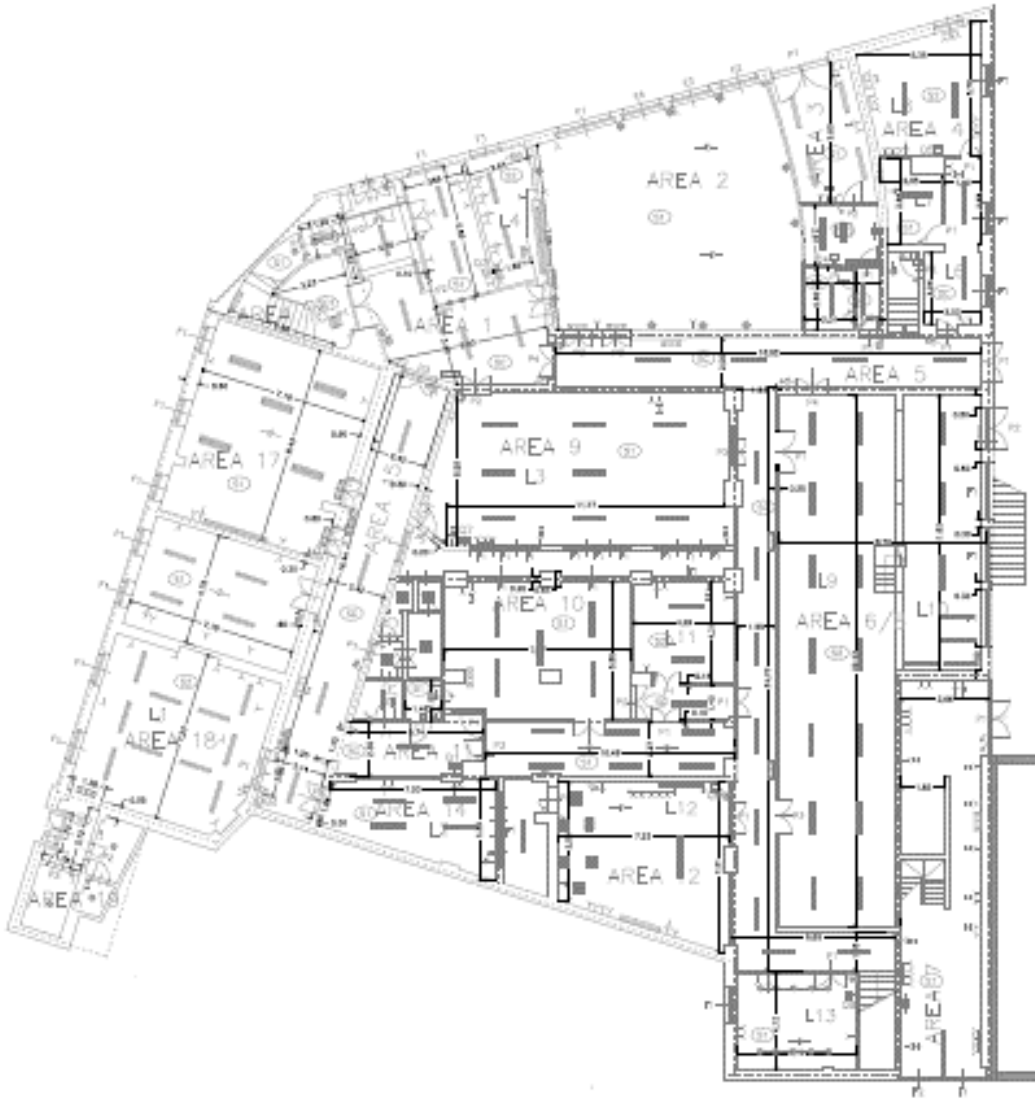


Figura #5. 7: Rilevamento dello stato attuale in pianta. Piano Terra

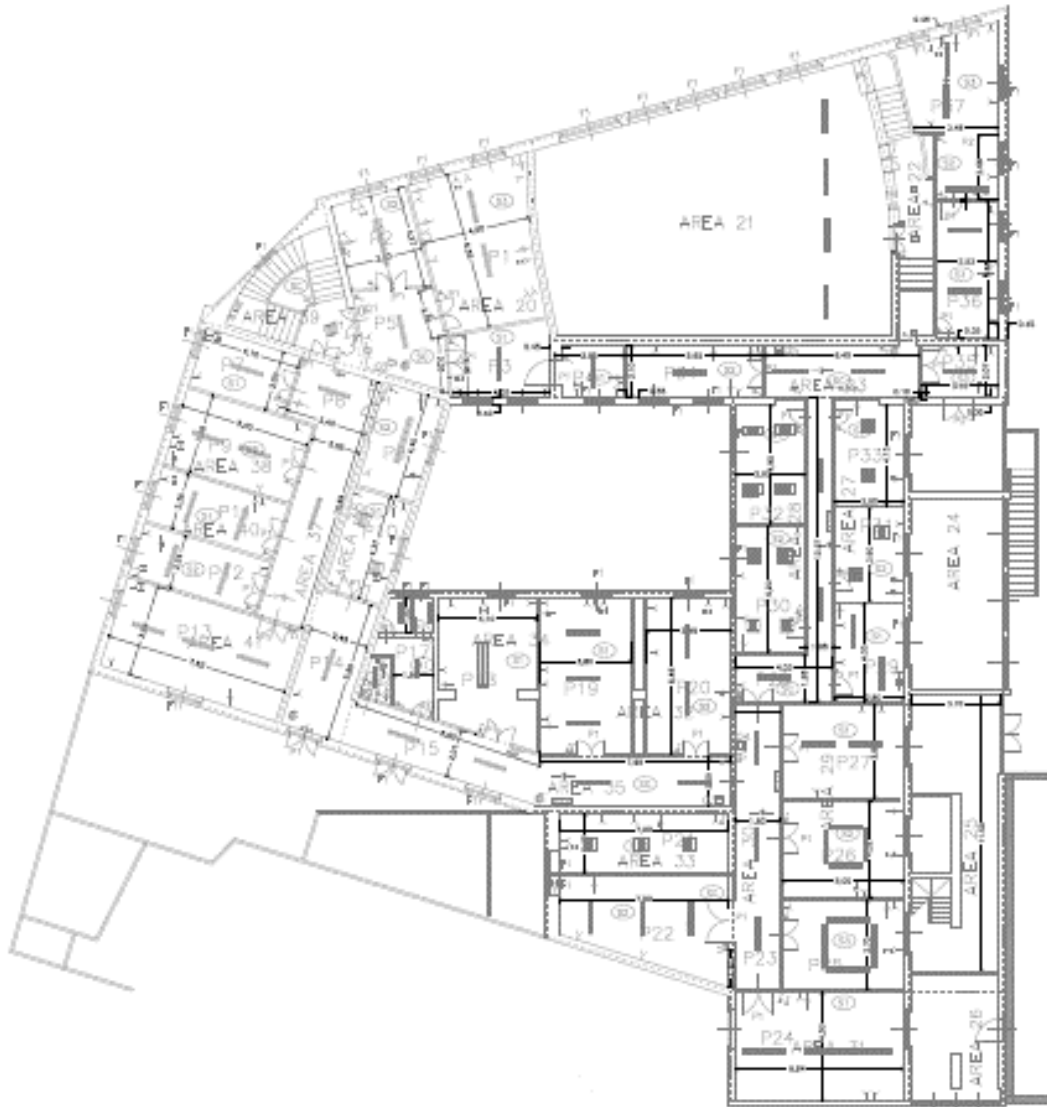


Figura #5. 8: Rilevamento dello stato attuale in pianta. Piano Terra




| Descrizione | Simbolo |
|--|---|
| interruttore |  |
| rete pc |  |
| presa elettrica |  |
| quadro elettrico |  |
| interruttore generale |  |
| lampada fluorescente tubolare 18W |  |
| lampada fluorescente tubolare 36W |  |
| apparecchio illuminante a tubi fluorescenti 4*18W |  |
| apparecchio illuminante a tubi fluorescenti ad alto rendimento 4*14W |  |
| apparecchio illuminante a tubi fluorescenti 2*36W |  |
| apparecchio illuminante a tubi fluorescenti 4*36W |  |
| apparecchio illuminante a tubi fluorescenti 2*58W |  |
| apparecchio illuminante a tubi fluorescenti 2*70W |  |
| lampada di emergenza (fluorescente) 6W |  |
| lampada di emergenza (fluorescente) 18W |  |
| lampada fluorescente compatta 25W |  |
| lampada ad incandescenza 40W |  |
| lampada alogena 250W |  |
| lampada a LED 36W |  |
| scalda acqua |  |
| ventilatore elettrico |  |
| rilevatore di fumo |  |
| manichetta antincendio |  |

Tabella #5. 4: Legenda

CAPITOLO VI

PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

6.1 Prestazione illuminotecnica

Le prestazioni illuminotecniche che devono essere garantite negli ambienti interni di lavoro sono precisate nella UNI EN 12464-1 [1], dove vengono definiti i requisiti illuminotecnici essenziali affinché in un ambiente (interno) di lavoro con assodata destinazione d'uso i compiti visivi, previsti in relazione alle attività lavorative svolte, siano condotti nel rispetto della salute e della sicurezza del lavoratore con particolare attenzione ai livelli di comfort visivo ed alle esigenze della prestazione visiva.

Per garantire una certa uniformità dell'illuminazione in ambienti di lavoro, la normativa UNI EN12664-1 [1] raccomanda che il fattore di uniformità, definito come il rapporto tra l'illuminamento minimo e l'illuminamento medio sul piano di lavoro, non sia inferiore a 0,7 per area di lavoro e non inferiore a 0,5 per area circostante.

Tabella #6. 1: Valori di illuminamento per zona compito e per zona circostanti, valori minimi dell'uniformità di illuminamento

| <i>Illuminamento del Compito [lx]</i> | <i>Illuminamento delle zone immediatamente circostanti [lx]</i> |
|--|---|
| ≥ 750 | 500 |
| 500 | 300 |
| 300 | 200 |
| ≤ 200 | E compito |
| Uniformità: $\geq 0,7$ | Uniformità: $\geq 0,5$ |

In Tabelle #6.2 e #6.3, sono riportati i valori di riferimento dei requisiti illuminotecnici richiesti in funzione del tipo di interno e l'attività, facendo riferimento allo standard

europeo UNI EN12664-1 [1] insieme a quello internazionale CIE S 015/E:2005 [12] (International Commission on Illumination).

Tabella #6. 2: Valori minimi di illuminamento medio mantenuto (E_m) relativi ad alcuni tipi di ambienti di lavoro, raccomandati nella UNI EN 12464-1. Per completezza sono riportati: i valori massimi dell'indice di abbagliamento (UGR_L), i valori massimi dell'indice di resa cromatica (R_a) delle lampade.

| <i>Tipo di interno, compito o attività</i> | <i>E_m (lx)</i> | <i>UGR_L</i> | <i>R_a</i> |
|--|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <i>UFFICI</i> | | | |
| Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati | 500 | 19 | 80 |
| Postazione CAD | 500 | 19 | 80 |
| Sale conferenze e riunioni | 500 | 19 | 80 |
| Ricezione (reception) | 300 | 22 | 80 |
| Archivi | 200 | 25 | 80 |
| <i>LOCALI SCOLASTICI</i> | | | |
| Aule scolastiche | 300 | 19 | 80 |
| Aule per corsi serale e per adulti | 500 | 19 | 80 |
| Sale comune per studenti e aula magna | 200 | 22 | 80 |
| Biblioteca: Sale lettura | 100 | 25 | 80 |
| Magazzini materiale didattico | 500 | 19 | 80 |
| Lavagna | 500 | 19 | 80 |
| Tavolo per dimostrazioni | 500 | 19 | 80 |
| Aule educazione artistica | 500 | 19 | 80 |
| Laboratori di insegnamento | 300 | 19 | 80 |
| Laboratori di informatica | 200 | 22 | 80 |
| Ingressi | 100 | 25 | 80 |
| Corridoi (zone di circolazione) | 100 | 25 | 80 |
| Bagni (toilets, WC) in genere | 150 | 25 | 80 |
| Scale | 150 | 25 | 80 |

Tabella #6. 3: Valori di illuminamento consigliati per le diverse attività (CIE), valori minimi, medi e massimi di illuminamento

| <i>Tipo di destinazione (attività)</i> | <i>Illuminamento [lx]</i> |
|--|----------------------------------|
| Aree esterne industriali, adiacenti agli ingressi | 20 – 30 – 50 |
| Zone di passaggio e di sosta temporanea | 50 – 100 – 150 |
| Ambienti di lavoro occupati saltuariamente (es. luoghi di deposito, atri, corridoi, scale) | 100 – 150 – 200 |
| Prestazioni visive semplici (es. lavorazioni grossolane a macchina) | 200 – 300 – 500 |
| Prestazioni visive medie (es. sale di controllo, uffici) | 300 – 500 – 750 |
| Prestazioni visive elevate per compiti difficili (es. verifica di lavori ad alta precisione) | 1000 – 1500 – 2000 |
| Prestazione visive elevate per compiti di particolare qualità (es. interventi chirurgici) | 2000 |

6.2 Scelta delle sorgenti di luce artificiale

La scelta di una sorgente di luce è motivata da esigenze funzionali, impiantistiche, estetiche e di costo. Nella progettazione sono adottate le sorgenti luminose a tecnologia LED, dato che rappresentano una valida alternativa ai tradizionali sistemi di illuminazione sia per i ridotti consumi che per le proprietà funzionali: una soluzione efficiente e moderna per illuminare e arredare qualsiasi ambiente interno o esterno sia domestico che professionale.

In particolare sono presi in considerazione i pannelli a LED poiché consentono una illuminazione innovativa, sono sottili e luminosissimi, possono essere inseriti nelle controsoffittature con estrema semplicità.

Le lampade scelte nella progettazione si descrivono nella tabella #6.4, le curve fotometriche invece nell'allegato No.1.

Tabella #6. 4: Scelta delle lampade

| Parametri Caratteristiche | OKT - Lighting | NEXOL - Lighting | | |
|-----------------------------------|-------------------|------------------|---------------|---------------|
| | PL-40C-L6W6 | NLBAG0620-P01 | NLBAG1240-P01 | NLBAG1550-C01 |
| ε_L [lm/W] | 120 | 77,1 | 80,55 | 81,23 |
| \varnothing [lm] | 4800 | 1422,19 | 3011,8 | 3827,5 |
| V [V] | 90-240 | 220,83 | 220,82 | 220,6 |
| P [W] | 40 | 18 | 36 | 46 |
| Angolo del fascio [$^\circ$] | 110,3 | 106,89 | 107,95 | 145,67 |
| Dim [cmxcm] | 60x60 | 61x16 | 117x16 | 144,6x16 |

6.3 Progettazione in DIALux

Per la progettazione professionale della luce è stato utilizzato il Software di progettazione illuminotecnica DIALux, che permette di ottenere i calcoli illuminotecnici di ogni tipo e relativa documentazione secondo le normative vigenti.

La procedura eseguita viene riportata di seguito:

- 1) Importazione della planimetria da AutoCAD
- 2) Inserzione del file .IES, corrispondente alla lampada da utilizzare
- 3) Creazione dei locali appartenenti ad ogni piano
- 4) Impostazione dei colori veri delle pareti, soffitto e pavimento

Perché da esso dipende i valori dei coefficienti di riflessione, da prestare particolare attenzione; è importante ricordare che DIALux considera le superficie perfettamente diffondenti. In conseguenza, con il fine di approssimarsi il più possibile a una situazione del tutto reale, sono definiti:

- Pavimento: 64% (Grillo)
- Soffitto: 83% (Bianco)
- Pareti: 83% (Bianco)

5) Scelta del numero di apparecchi illuminanti

Per assegnare la potenza da installare in ogni locale, sono stati ideati un illuminamento medio e un'uniformità in conformità con le normative, riportati in Tabella #7.3.1 a seconda della destinazione d'uso e attività.

Tabella #6. 5: Illuminamento e uniformità progettati per diverse attività

| <i>Attività</i> | <i>Illuminamento [lx]</i> | <i>Uniformità minima</i> |
|---|---------------------------|--------------------------|
| Uffici e Laboratori | 300 | 0,7 |
| Bagni (zona specchio) | 200 | 0,5 |
| Aula 39 e Aula 40 | 300 | 0,7 |
| Lavagna | 500 | 0,7 |
| Corridoi e aree di circolazione | 100 | 0,5 |
| Ingresso | 200 | 0,5 |
| Scale | 150 | 0,5 |
| Depositi, stanze di stoccaggio, Magazzini | 100 | 0,5 |

6) Simulazioni

Una volta inserite le lampade nel locale vengono eseguite le simulazioni con lo scopo di determinare la effettiva potenza da installare per soddisfare i requisiti illuminotecnici. La valutazione è ottenuta avviando il calcolo illuminotecnico e controllando nell'Output sia i valori di illuminamento medio che i valori di uniformità.

Nelle figure sottostanti vengono illustrate le visualizzazioni 3D e planimetria corrispondenti ad alcuni locali a titolo di esempio, ogni uno è stato arredato tramite l'informazione sottratta dal rilevamento dello stato attuale.

Ingresso (A1)

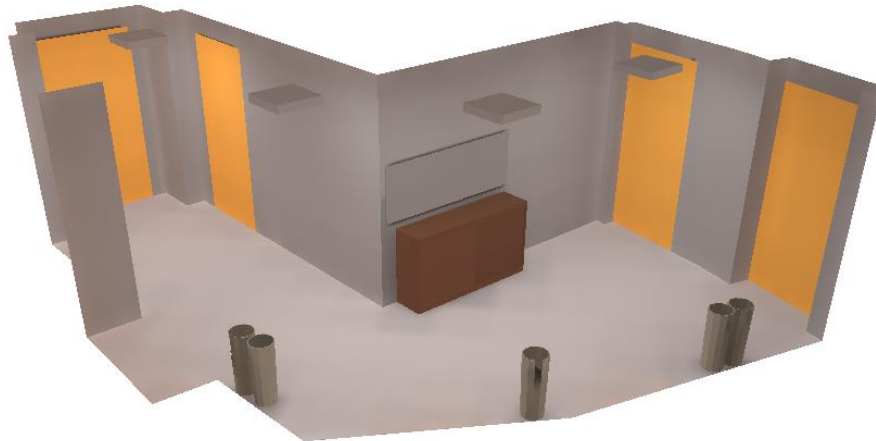


Figura #6. 1: Ingresso (Area 1) – Visualizzazione 3D

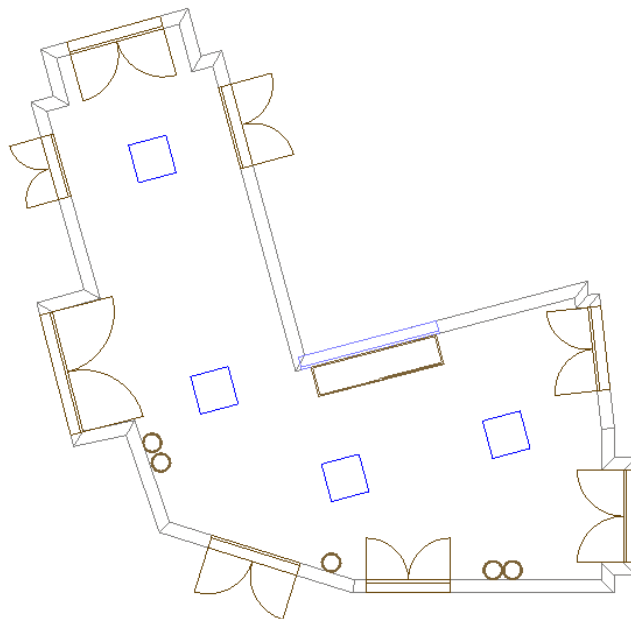


Figura #6. 2: Ingresso (Area 1) – Planimetria

Corridoio (A5 e A6/8)



Figura #6. 3: Corridoio (Area 5 e Area 6/8) – Visualizzazione 3D

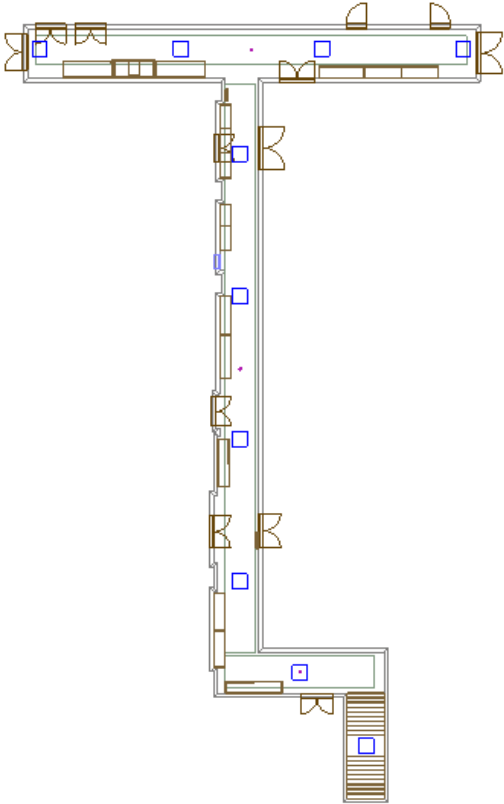


Figura #6. 4: Corridoio (Area 5 e Area 6/8) – Planimetria

Corridoio (A15 e A11)



Figura #6. 5: Corridoio (Area 15 e Area 11) – Visualizzazione 3D

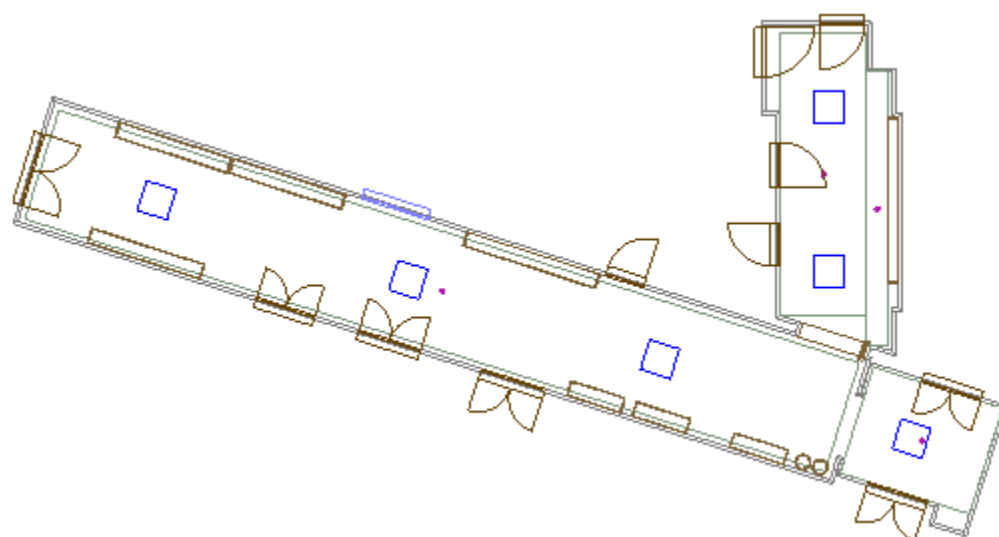


Figura #6. 6: Corridoio (Area 15 e Area 11) – Planimetria

Aula 39 (Area 17)

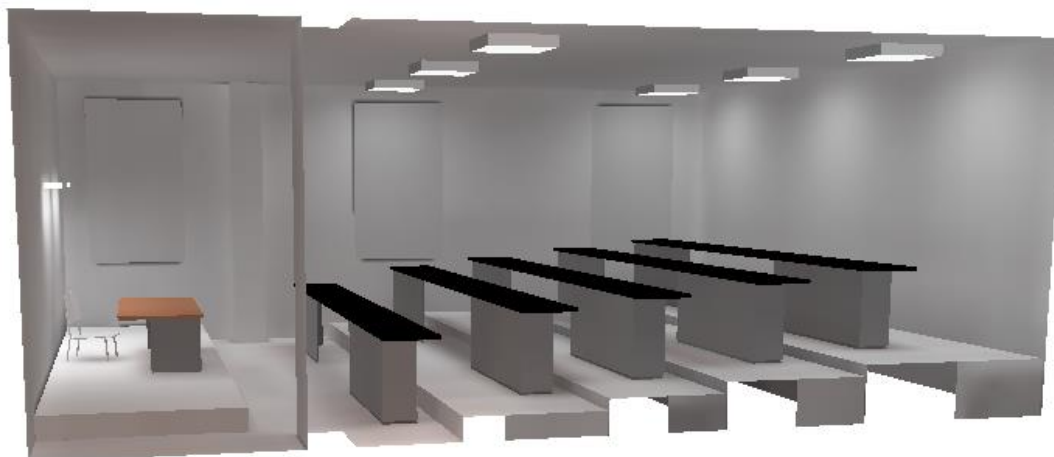


Figura #6. 7: Aula 39 (Area 17) – Visualizzazione 3D

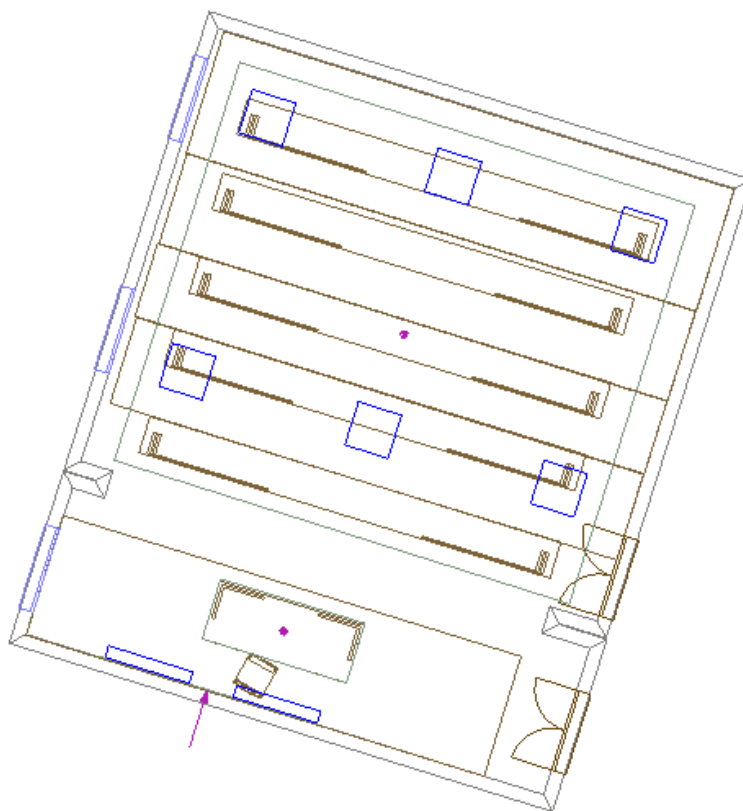


Figura #6. 8: Aula 39 (Area 17) – Planimetria

Aula 40 (A2 e A21)

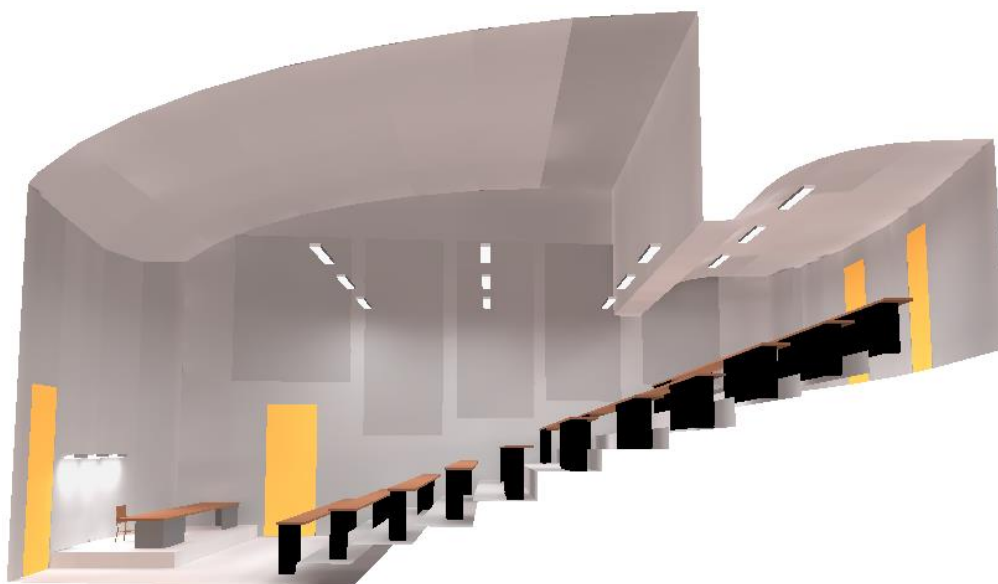


Figura #6. 9: Aula 40 (Area 2 e Area 21) – Visualizzazione 3D (Profilo)

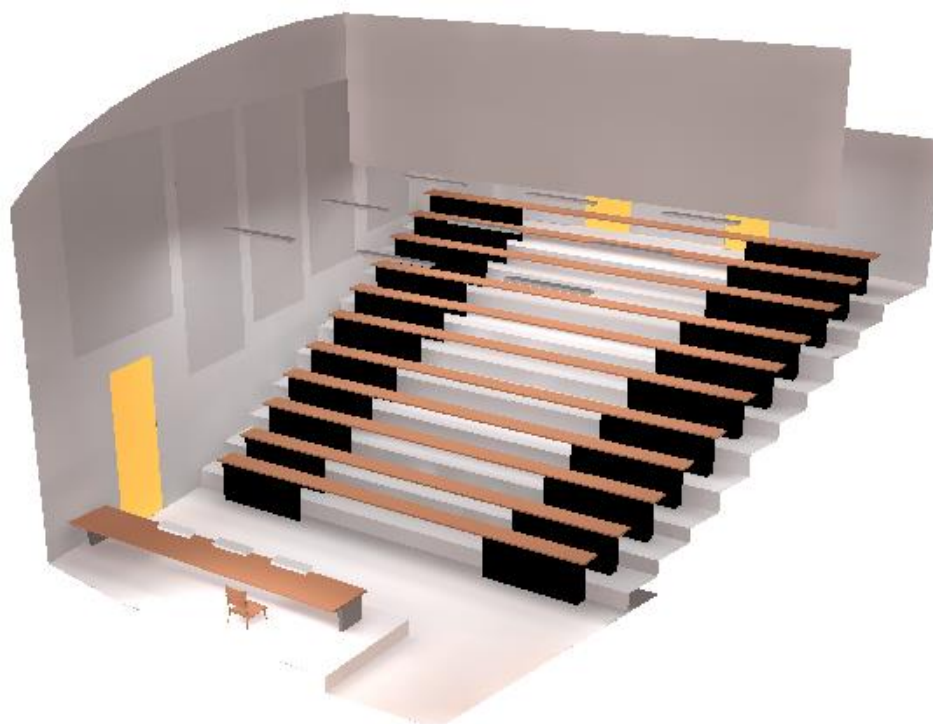


Figura #6. 10: Aula 40 (Area 2 e Area 21) – Visualizzazione 3D

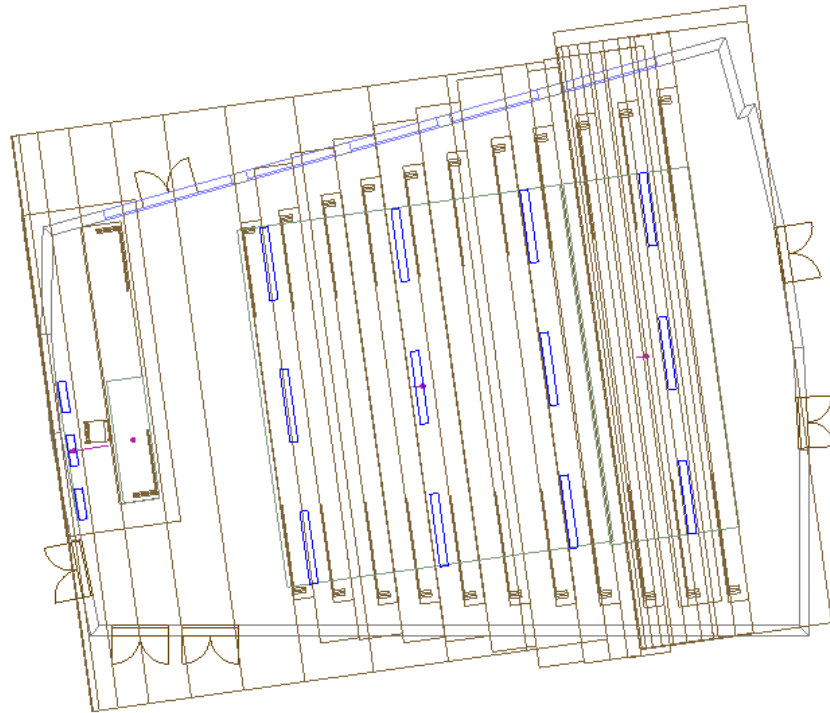


Figura #6. 11: Aula 40 (Area 2 e Area 21) – Planimetria

Considerazioni

- Nei locali in cui l'uniformità risulta inferiore a 0.7, viene adottata una delle seguenti soluzioni
 1. Predefinire una zona margine pari a 20 cm.
 2. Cambio della configurazione geometrica delle lampade.
 3. Creare una superficie di calcolo nella zona di lavoro.
- **Aula 40:** Anche se è un'aula magna, è destinata ad essere utilizzata come aula per l'impartizione di lezioni, per cui viene considerata come aula didattica dove l'illuminamento richiesto risulta di 300lx invece 200lx.

Per la pendenza delle scrivanie, viene regolato il flusso luminoso delle lampade in maniera diversa nella parte centrale da quelle nella parte posteriore come segue:

- Parte Posteriore: 80%
- Parte Centrale: 95%
- Lavagna: 100% (On/Off, non può essere regolata)

6.4 Gestione dell'impianto di illuminazione

Il controllo degli apparecchi luminosi si progetta effettuando una regolazione continua dell'intensità luminosa oppure tipo On/Off, in funzione della disponibilità del locale a percepire luce naturale.

L'accensione / spegnimento e la regolazione degli apparecchi avviene in modo automatico in funzione della presenza delle persone e solo se il livello d'illuminamento è insufficiente. Nei casi in cui, la stanza non sia continuamente occupata, sarà disposto un pulsante con relè temporizzato che dopo l'accensione manuale, attraverso la corretta programmazione, permetterà lo spegnimento dopo il tempo assegnato.

Pur essendo difficile stabilire una regola generale per il posizionamento del sensore, è considerato installato a soffitto in una posizione tale per cui la luce esterna che entra dalle finestre, non incida direttamente su di stesso, cioè, nel punto più buio del soffitto in tutte le condizioni.

È stato fatto uno studio individualizzato per ogni locale in funzione alla frequenza di occupazione, destinazione d'uso, disponibilità di luce naturale e dimensioni.

- *Stanze con elevata disponibilità di luce naturale e operative:*

Si propone la adozione di un sensore di presenza luminosità, in grado di comandare in modo automatico l'accensione e lo spegnimento al rilevare la presenza e di regolare continuamente il flusso luminoso delle sorgenti in funzione della luce naturale, mantenendo l'illuminamento costante ad una soglia prefissata di luminosità.

In altre parole, si intende la funzione regolazione efficacemente abbinata alla funzione presenza persone in modo tale che le luci si accendono e si regolino tenendo conto sia della luce solare sia dell'effettiva presenza di persone, aumentando i risparmi energetici

conseguitabili. Essendo stanze caratterizzate da assenza prolungata, sono utilizzati tempi di spegnimento automatico anche lunghi.

È importante mettere in evidenza che il sensore scelto corrisponde ad un rilevatore di presenza e non di movimento, la differenza sta nella sensibilità, i rilevatore di presenza dispongono di sensori altamente più sensibili e sono in grado di registrare anche il minimo movimento. Tali sensori suddividono uniformemente il rango di rilevamento fino a 1000 zone che, come in una scacchiera, coprono l'intero rango. Viene rilevata anche la più piccola variazione dell'immagine termica, come la digitazione di tasti su una tastiera collocata in un ufficio di grandi dimensioni. Un sensore di movimento, invece, reagisce solamente a variazioni di maggiore entità nell'immagine termica ed è pertanto fondamentalmente adatto alle applicazioni esterne.

- Stanze senza disponibilità di luce naturale e operative:

Si propone la adozione di un sensore di presenza (controllo solo in funzione dell'occupazione). L'accensione avviene in modo automatico non appena il sensore rileva la presenza di una persona o attività. Lo spegnimento avviene sempre in modo automatico, dopo un certo tempo opportunamente programmato per evitare inutili accensioni e spegnimenti. Essendo stanze caratterizzate da assenza prolungata, sono utilizzati tempi di spegnimento automatico anche lunghi.

- Stanze non operative:

Appartengono a questa categoria tutti quei depositi, stanze di stoccaggio e magazzini. L'accensione viene in modo manuale tramite un pulsante con relè temporizzato che permette lo spegnimento in modo automatico dopo un tempo di ritardo programmato, è scelto questa modalità di controllo dato che bisogna infatti considerare l'energia assorbita per il funzionamento dei sistemi di automazione, ammortizzata solo se il locale è utilizzato con continuità.

- Corridoi:

Lo spegnimento automatico è programmato mantenendo uno scenario a luce ridotta di cortesia, con un ritardo per lo spegnimento non eccessivamente lungo dato che sono ambienti caratterizzati da assenza intermittente, secondo l'analisi fatta dall'articolo "Energy Performance of Buildings: An Useful Procedure to Estimate the Impact of the Lighting Control System" [5].

- Bagni:

L'accensione/spegnimento sono legati all'accensione/spegnimento degli ambienti circostanti, ovverosia, in modo automatico e considerando che, nella maggior parte del tempo sono occupati, resteranno continuamente accese.

Particolare eccezione si fa per il caso dei bagni ad uso privato, siccome non sono occupati in continuazione è inutile mantenere le lampade accese, di conseguenza è disposto un pulsante con relè temporizzato in cui l'accensione è in modo manuale e lo spegnimento in modo automatico dopo un tempo di ritardo programmato.

Le accensioni e le regolazioni dell'impianto luci sono effettuate mediante un sistema BUS di controllo.

- I dispositivi di ingresso traducono i comandi impartiti dall'utente o sensori in informazioni digitali.
- I dispositivi di uscita o attuatori traducono le informazioni digitali che viaggiano sul BUS in comandi da inviare ai corpi illuminanti.

Il mezzo di trasmissione delle informazioni è in cavo TP (Twisted Pair) consentendo applicazioni anche in ambienti dove non è consentita o risulta difficile l'installazione di comandi tradizionali.

6.5 Componenti KNX

Tutti i dispositivi selezionati da essere implementati nel progetto, per conseguire la gestione di luci accennata prima, appartengono a ABB i-bus® KNX:

6.5.1 Rilevatore di presenza

- Modello: DualLINE KNX (6131/11 – 500), di presenza e luminosità.
- Funzioni: È in grado non solo di accendere e spegnere le luci, ma anche di regolarne l'intensità. In questo modo la regolazione della luminosità costante diventa molto più accurata e il livello di luminosità desiderato all'interno del locale viene mantenuto costante. Sono disponibili le funzioni "interruttore di luminosità costante" e "regolatore di luminosità costante". Entrambe le funzioni garantiscono che all'interno di un locale in cui sono presenti persone la luminosità non scenda mai al di sotto di un determinato livello.

L'interruttore di luminosità costante è in grado di accendere e spegnere le luci. Il regolatore di luminosità costante può anche regolarne l'intensità per far sì che la luminosità resti il più possibile invariata. Entrambe le funzioni operano in funzione delle condizioni di luminosità e del movimento nel campo di rilevamento.

- Campo di rilevamento:

Il campo di rilevamento del rilevatore di presenza KNX varia a seconda del tipo di movimento e dell'altezza di montaggio nel locale. Il sensore di movimento rileva anche minimi movimenti, ad es. nelle postazioni PC, alle scrivanie ecc. A questo proposito bisogna distinguere tra campo di rilevamento interno e campo di rilevamento esterno nonché tra le diverse altezze di montaggio del rilevatore di presenza.

- **Campo di rilevamento interno (persone sedute)**: Le persone sedute devono trovarsi interamente nel campo di rilevamento. Minore è la distanza tra la persona da rilevare e il rilevatore di presenza, minore può essere anche il movimento perché venga rilevato. Il piano di riferimento per il rilevamento dei movimenti di una

persona seduta si aggira intorno a 1 m. A questa altezza il campo di rilevamento ha una diametro di 6 m (altezza di montaggio del rilevatore di presenza = 2,5 m). Con un'altezza di montaggio maggiore il campo di rilevamento si espande, mentre la sensibilità di rilevamento diminuisce.

- **Campo di rilevamento esterno (persone in movimento):** Per il rilevamento di persone in movimento viene utilizzato un campo di rilevamento più ampio. Il piano di riferimento per il rilevamento è il pavimento. Con un'altezza di montaggio di 2,5 m si ha quindi un campo di rilevamento del diametro di circa 8 m.
- **Rilevamento limitato:** Il campo di rilevamento del rilevatore di presenza può essere limitato. A tale scopo non è necessario coprire l'apparecchio meccanicamente. I singoli settori possono essere disattivati facilmente utilizzando l'applicazione.

Tabella #6. 6: Campo di rilevamento in funzione dell'altezza di montaggio e attività

| <i>Altezza di montaggio</i> | <i>Persone sedute *</i> | <i>Persone in movimento *</i> |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 2,0 m | 4 m | 6 m |
| 2,5 m | 6 m | 8 m |
| 3,0 m | 8 m | 10 m |
| 3,5 m | 10 m | 12 m |
| 4,0 m | 12 m | 14 m |
| 5,0 m | 16 m | 18 m |

*Altezza di seduta: 1 m

**Non adatto per lavori svolti interamente alla scrivania, in alternativa ritardo di spegnimento > 15 min.

6.5.2 Attuatore

- Modelli: SA/S 8.10.2.1, terminale di uscita, 8 canali, 10A.
SA/S 12.10.1, terminale di uscita, 12 canali, 10A.

- Caratteristiche:

Terminali di uscita 10 A SA/S x.10.2.1 sono apparecchi da installazione in serie con design ProM per il montaggio nel distributore. Questi apparecchi sono adatti alla commutazione di carichi ohmici, induttivi e capacitivi.

I terminali di uscita possono essere azionati manualmente tramite un elemento di comando che, contemporaneamente, visualizza lo stato di commutazione.

Il terminale di uscita viene parametrizzato tramite l'ETS. Il collegamento al KNX viene realizzato tramite il morsetto di collegamento bus sul lato frontale.

- Nota:

L'assegnazione dell'indirizzo fisico e l'impostazione dei parametri si eseguono con l'Engineering Tool Software ETS, versione ETS2 V1.3a o superiore. Per le versioni ETS3 o ETS4, occorre importare il programma applicativo specifico.

6.5.3 Gateway DALI

Collega il sistema DALI con il bus KNX. È un modulo d'interfaccia che consente l'integrazione della tecnologia DALI nel sistema di gestione degli edifici KNX.

- Modello: DG/S 8.1, gateway DALI a 8 canali.

- Caratteristiche:

Guida modulare DIN

Larghezza 6 moduli, ABB i-bus® KNX

8 canali (uscite DALI)

Max. 128 dispositivi DALI, 16 per canale

Tensione d'esercizio 230 V c.a./c.c.

Alimentazione DALI integrata

Canale test, ABB i-bus® KNX indipendente

Visualizzazione guasto DALI

Visualizzazione tensione di funzionamento

Nessun indirizzamento DALI

- Descrizione:

Il gateway DALI a 8 canali DG/S 8.1 di ABB i-bus® KNX possiede otto uscite indipendenti DALI alle quali è possibile collegare 16 dispositivi DALI. In questo modo si possono attivare e dimmerizzare fino a 16 lampade contemporaneamente. I segnali di feedback possono essere trasmessi tramite canale e non è prevista la differenziazione tra singole lampade su un canale. Non è necessario un ulteriore indirizzamento DALI. Tutte le impostazioni sono effettuate sull'applicazione DG/S 8.1 nell'ETS. La gestione del dispositivo è simile ad un attuatore dimmer a 8 canali ABB i-bus® KNX Con DALI l'unica preoccupazione dei progettisti o degli installatori del controllo dell'illuminazione è la scelta di apparecchiature adatte alle lampade. Con questi componenti la conversione dalla tecnologia 1-10 V è particolarmente semplice.

I dispositivi DALI sono collegati da una parte al cavo DALI e dall'altra alla rete da 230V. Inoltre si possono utilizzare fasi diverse in un canale. Le lampade sono collegate anche alle apparecchiature dei dispositivi DALI.

6.5.4 Interfaccia

- Modello: US/U 4.2, Interfaccia Universale, 4 canali.

- Caratteristiche:

- Il dispositivo è caratterizzato da quattro canali configurabili come ingressi o uscite mediante l'opportuna configurazione dell'applicazione ETS4.

- Consente il collegamento con pulsanti tradizionali, contatti liberi da tensione oppure LED, mediante l'utilizzo di conduttori di diversi colori.

- Il dispositivo fornisce la tensione necessaria per la scansione dei contatti e, mediante resistenze in serie integrate per l'alimentazione dei LED.

- L'interfaccia universale a quattro canali è adatta all'inserimento in scatole da incasso tradizionali.

- La connessione al bus EIB si effettua mediante il morsetto di collegamento incluso nella fornitura.
- Note:
- Il dispositivo può essere programmato solo mediante il software ETS2, versione 1.2 o superiore.
- I quattro conduttori grigi definiscono un potenziale di riferimento per i pulsanti e gli interruttori collegati.
- I conduttori neri definiscono un potenziale di riferimento per i LED.
- I conduttori inutilizzati devono essere isolati.

6.5.5 Alimentatore di linea

È stato scelto un dispositivo di alimentazione da 640 mA in quanto ogni componente KNX, in genere, assorbe 10 mA. Così facendo si possono collegare a quel dispositivo di alimentazione circa 64 componenti KNX.

- Modello: SV/S 30.640.5, alimentatore di linea da 640mA.
- Caratteristiche:
- L'uscita in tensione è protetta da corto circuiti e sovraccarichi.
- Gli alimentatori di linea KNX con bobina integrata generano e controllano la tensione del sistema KNX (SELV). Con la bobina integrata la linea bus è disaccoppiata dall'alimentatore.
- Il LED bicolore visualizza lo stato dell'apparecchio.
- L'apparecchio del tipo SV/S 30.640.3.1 dispone di un'uscita supplementare di tensione ausiliaria a 30 VCC protetta da cortocircuiti e sovraccarichi. Questa può essere utilizzata per alimentare un'altra linea bus (in collegamento con una bobina separata).
- Note:
- Se l'apparecchio si surriscalda a causa di un sovraccarico permanente ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ nell'alloggiamento) esso si spegne in modo autonomo. Il LED è spento. Un riavvio è

possibile solo quando l'apparecchio si raffredda internamente alla temperatura di esercizio ed è stato scollegato dalla tensione di rete per almeno 60 secondi.

Per assicurare il corretto funzionamento, prima del riavvio è necessario eliminare la causa del sovraccarico.

- Alla messa in servizio, assicurarsi che la corrente nominale non venga superata definitivamente.
- L'uscita di tensione I2 non dotata di bobina di arresto non è galvanicamente isolata dall'uscita di tensione KNX I1. Può essere utilizzata soltanto per alimentare un'altra linea in collegamento con una bobina separata. Non può essere utilizzata per esempio per alimentare dispositivi IP (rispettare le direttive SELV).
- Gli apparecchi sono progettati per un funzionamento continuo. Non sono permessi accensioni e/o spegnimenti frequenti.

6.5.6 Accoppiatore di linea

E' un apparecchio che viene utilizzato come accoppiatore di linea/di area o come amplificatore di linea. Come accoppiatore di linea, il LK/S collega una linea secondaria (terminale) ad una linea principale mentre, come accoppiatore di area, collega una linea dorsale.

- Modello: LK/S 4.1, accoppiatore di linea.
- Caratteristiche:
 - L'accoppiatore di linea LK/S 4.1 con ABB i-bus ® KNX è un apparecchio per installazione in serie con larghezza modulare pari a 2 TE. Viene utilizzato come accoppiatore di linea/di area o come amplificatore di linea. Come accoppiatore di linea, il LK/S collega una linea ad una linea principale, accoppiatore di area, collega una linea dorsale. In questo caso, realizza un isolamento galvanico.
 - Se necessario, il dispositivo LK/S filtra i telegrammi e inoltra soltanto quelli che sono destinati ad altre linee. Per scopi diagnostici, è possibile trasmettere o bloccare tutti i telegrammi.

- Note:

- Per la programmazione sono necessari l'ETS e l'attuale programma applicativo dell'apparecchio.

- Il dispositivo non supporta la funzione di chiusura di un apparecchio KNX nell'ETS. Se si blocca l'accesso a tutti gli apparecchi del progetto mediante un codice BCU, non si ottiene alcun effetto su questo apparecchio. È possibile continuare a rilevare i dati e programmare.

6.5.7 Cavo EIB

- Modello: CV EIB, EC 7xx 8, Cavo per bus ABB i-bus® KNX, 4 fili.

- Caratteristiche:

-Cavo EIB, 4 conduttori (2 coppie) schermati e ritorti.

La prima coppia (rosso, nero) viene usata per il collegamento dei componenti ABB i-bus EIB; la seconda coppia (giallo, bianco) può essere usata per la distribuzione di una ulteriore alimentazione SELV o come cavetto EIBus di riserva.

- Il cavo EIB è costituito da fili rigidi adatti per l'impiego dei morsetti E/GM, dei dispositivi di collegamento VB/S 2.2 e VB/S 4.4 nonché per la connessione diretta sui dispositivi di ingresso ed uscita ABB i-bus EIB provvisti di appositi morsetti.

6.6 Programmazione in ETS4

La configurazione dei dispositivi KNX avviene attraverso l'utilizzo del software ETS, recentemente implementato nella nuova versione 4; attraverso questo unico strumento, unitamente alle librerie dei diversi dispositivi, installatori ed integratori di sistema possono progettare e realizzare edifici intelligenti basati sul sistema KNX.

ETS4 permette di definire la struttura gerarchica dell'edificio, la disposizione dei componenti e la relativa associazione logica per lo svolgimento delle funzioni richieste, il tutto attraverso un'unica interfaccia; a prescindere dal costruttore, tutti i dispositivi certificati Konnex sono in grado di comunicare in modo standard all'interno

dell'impianto, e – una volta caricata la relativa libreria in ETS4 - possono essere configurati con il medesimo meccanismo. Al termine della definizione del progetto, ETS4 – opportunamente collegato al bus – provvede a scaricare nei dispositivi la logica di funzionamento, rendendo l'impianto funzionante in autonomia dal software stesso; la stessa operazione può essere compiuta ogni qualvolta si renda necessaria una estensione o modifica dell'impianto, con la massima flessibilità e semplicità.

6.6.1 Disposizione dei Quadri

Innanzitutto, si individuano le ubicazioni dei quadri elettrici dove sono disposti gli attuatori e i gateway DALI. Per le stanze identificate con elevata disponibilità di luce diurna (dove è proposto il dimmeraggio) vengono utilizzati uno o più canali del dispositivo Gateway DALI, mentre in quelle dove si prevede un controllo carichi On/Off vengono impiegati uno o più canali dell'attuatore.

Risultano necessari quattro (4) quadri al Piano Terra mentre al Primo Piano cinque (5) quadri, posizionati e costituiti come segue:

Tabella #6. 7: Carichi sui componenti KNX di quadro, Piano Terra

| Quadro Ubicazione | Componente KNX | Canale | Carico Associato | |
|------------------------------|--|--|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Q1 Corridoio (A6/8) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A | Lab. Tec. Elettr. (A6/8) | |
| | | B | Corridoio (A6/8) – D1 | |
| | | C | Corridoio (A6/8) – D2 | |
| | | D | Corridoio (A6/8) – D3 | |
| | | E | Ufficio Biblioteca (A10) | |
| | | F | Sala Lettura Biblioteca (A10) | |
| | | G | Lab. Macc. Elettr. – Area Lav. (A6/8) | |
| | | H | Bagno Uomini – Area Comune (A13) | |
| | Attuatore 8 canali (SA/S 8.10.2.1) | A | Lab. Mis. Elettr. - Area Circ. (A12) | |
| | | B | Lab. Mis. Elettr. - Area Lav. (A12) | |
| | | C | Magazzino Lab. Mis. Elettr. (A12) | |
| | | F | Magazzino Biblioteca (A10) | |
| | Q2 Corridoio (A6/8) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A | Lab. Macchine Elettr. (A6/8) - D1 |
| | | | B | Lab. Macchine Elettr. (A6/8) - D2 |
| C | | | Lab. Macchine Elettr. (A6/8) - D3 | |
| D | | | Lab. Macchine Elettr. (A6/8) - D4 | |
| E | | | Lab. AT (A9) - D1 | |
| F | | | Lab. AT (A9) - D2 | |
| G | | | Corridoio (A5) - D1 | |
| H | | | Corridoio (A5) - D2 | |

| | | | |
|-----------------------|--|---|---|
| Q3 Corridoio (A5) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A | Ingresso (A1) - D1 |
| | | B | Ingresso (A1) - D2 |
| | | C | Ufficio Prof. Ruvvio (A4) |
| | | D | Lab. Calcolo Didattico (A1) |
| | | E | Aula 40 (A21) - D1 (Parte Centrale) |
| | | F | Aula 40 (A21) - D2 (Parte Posteriore) |
| | | G | Lab. Impianti Elettrici (A4) |
| | | H | Corridoio (A4) |
| | Attuatore 12 canali (SA/S 12.10.1) | A | Lavagna Aula 40 (A21) |
| | | B | Corridoio (A3) |
| | | C | Ufficio Tec. David (A3) |
| | | D | Lab. Macchine e Contr. Num. (A3) |
| | | E | Macchinari (A3) |
| | | F | Stanza Pulizia (A4) |
| | | H | Area Circ. Pulizia (A16) |
| | | I | Stanza Pulizia (A16) |
| Q4 Corridoio (A15) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A | Corridoio (A15) - D1 |
| | | B | Corridoio (A15) - D2 |
| | | C | Aula 39 (A17) |
| | | D | Portineria (A1) |
| | | E | Sala Riunioni (A18) |
| | | F | Centro Calcolo (A18) |
| | | G | Corridoio (A11) |
| | | H | Sala Dottorandi (A14) |
| | Attuatore 12 canali (SA/S 12.10.1) | A | Lavagna Aula 39 (A17) |
| | | B | Bagno Donne - Privato (A13) |
| | | C | Bagno Donne - Studentesse (A13) |
| | | G | St. Stoccaggio Centro Calcolo (A19) - 1 |
| | | H | St. Stoccaggio Centro Calcolo (A19) - 2 |
| | | I | St. Stoccaggio Centro Calcolo (A19) - 3 |

Tabella #6. 8: Carichi sui componenti KNX di quadro, Primo Piano

| Quadro Ubicazione | Componente KNX | Canale | Carico Associato |
|------------------------------|--|---------------|---------------------------|
| Q1 Corridoio (A23) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A | Prof. Parise (A22) |
| | | B | Prof. Araneo (A22) |
| | | C | Prof. D'Alessio (A23) |
| | | D | Prof. Tamburrano (A23) |
| | | E | Corridoio (A23) |
| | | F | Prof. Grasselli (A28) |
| | | G | Prof. Sangiovanni (A28) |
| | | H | Prof. Capponi (A27) |
| Q2 Corridoio (A30) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A | Prof. Maradei (A27) |
| | | B | Seg. Amministrativo (A27) |
| | | C | Corridoio (A28) - D1 |
| | | D | Corridoio (A28) - D2 |
| | | E | Prof. Gatta (A29) |
| | | F | Prof. Crescimbinì (A29) |
| | | G | Prof. Pompili (A29) |
| | | H | Prof. M. S. Sarto (A31) |

| | | | |
|-----------------------|--|--|---------------------------------|
| Q3 Corridoio (A35) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A | Prof. Lovat (A33) |
| | | B | Prof. D'Amore (A33) |
| | | C | Corridoio (A30) |
| | | D | Prof. Celozzi (A32) |
| | | E | Prof. Podesta (A32) |
| | | F | Prof. Mazzetti (A34) |
| | | G | Corridoio (A35) - D1 |
| | | H | Corridoio (A35) – D2 |
| Q4 Corridoio (A37) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A | Prof. Capasso (A38) |
| | | B | Prof. D'Aldia (A40) |
| | | C | Prof. Boccaletti (A40) |
| | | D | Prof. Lamedica (A41) |
| | | E | Corridoio (A36) |
| | | F | Prof. M. C. Falvo (A36) |
| | | H | Corridoio (A37) |
| | Attuatore 8 canali (SA/S 8.10.2.1) | A | Bagno Uomini (A34) |
| | | B | Bagno Donne (A34) |
| | Q5 Area di Circolazione (A20) | Gateway DALI 8 canali (DG/S 8.1) | A |
| B | | | Prof. Lauria (A37) |
| C | | | Area Circ. (A20) |
| D | | | Area Circ. (A16 e A39) |
| E | | | Prof. Martirano (A20) |
| F | | | Prof. Santini (A20) |
| G | | | Seg. Didattica - Schipani (A20) |
| H | | | Ufficio Annesso Schipani (A23) |

Dopo aver creato un nuovo database in ETS4 si possono configurare e rendere operativi i dispositivi.

6.6.2 Costruzione dell'edificio

È ricreata la struttura dell'edificio con i suoi due piani, ognuno costituito da diversi ambienti, dove si è assegnato tra parentesi l'area a cui appartiene. Solo in questa vista si può capire completamente dove ciascun componente è installato, se in stanza oppure in quadro.

Si è suddiviso ogni piano a metà per presentare, in maniera più organizzata, il progetto, indicando i quadri disposti in quella sezione del piano e le aree che appartengono a essa.

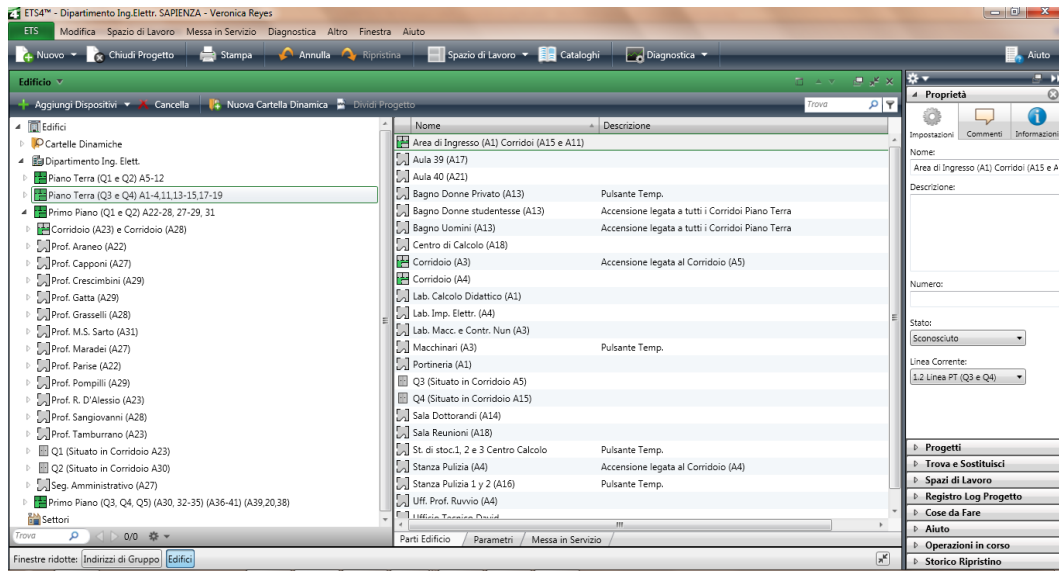


Figura #6. 12: Creazione del edificio e degli ambienti

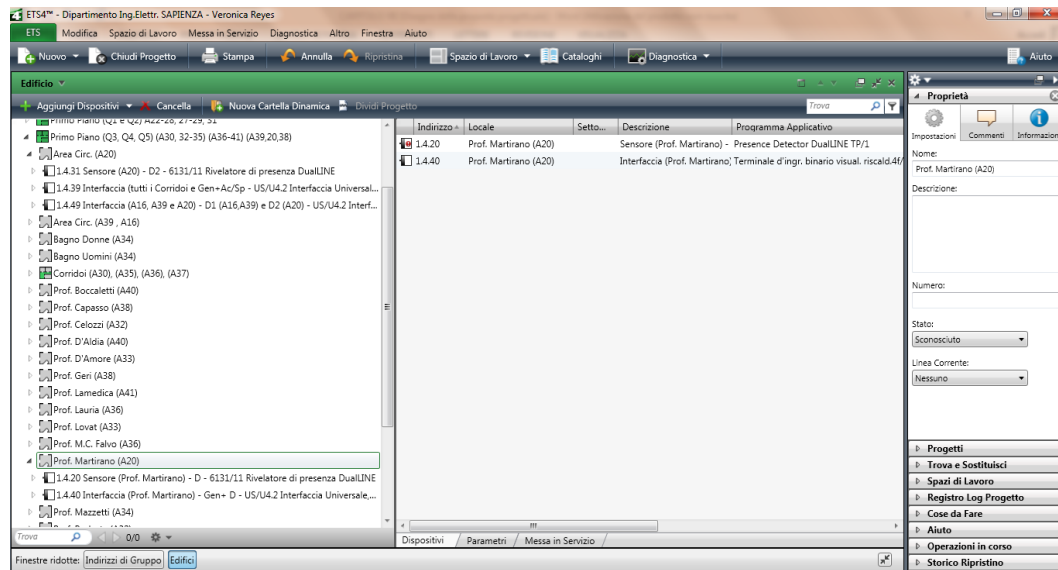


Figura #6. 13: Dislocazione dei componenti KNX negli ambienti

6.6.3 Topologia

Innanzitutto, sono prese in considerazione le limitazioni della topologia KONNEX, dove è permesso un totale di 15 aree, ognuna con 15 linee dove possono essere collegati al massimo 64 dispositivi.

Il numero di dispositivi presenti in ogni piano del edificio è controllato, come si mostra dalla tabella sottostante:

Tabella #6. 9: Numero totale di dispositivi installati per piano

| <i>Dispositivi</i> | <i>Piano Terra</i> | <i>Primo Piano</i> |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| Rilevatore Presenza | 32 | 38 |
| Interfaccia | 30 | 38 |
| Gateway | 5 | 5 |
| Attuatore | 4 | 1 |
| TOTALE | 71 | 82 |

Dato che, in ogni piano si supera il numero massimo di 64 dispositivi per linea, si è progettato l'intero edificio con una sola area e quattro (4) linee, due (2) dedicate al piano terra e due (2) per il primo piano. Il numero di quadri ad installare è in stretta relazione con il numero di attuatori e gateway ad utilizzare, perciò, sono disposti nel piano terra quattro (4) quadri, mentre nel primo piano sono presenti cinque (5) quadri. Si è quindi denominato le linee a seconda dei quadri che essa alimenta.

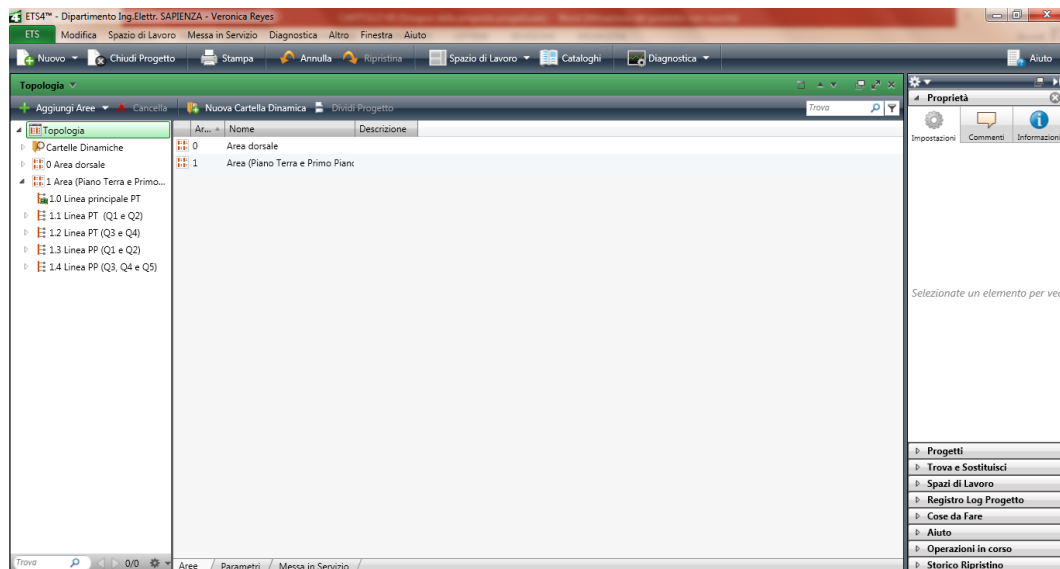


Figura #6. 14: Creazione della topologia dell'impianto

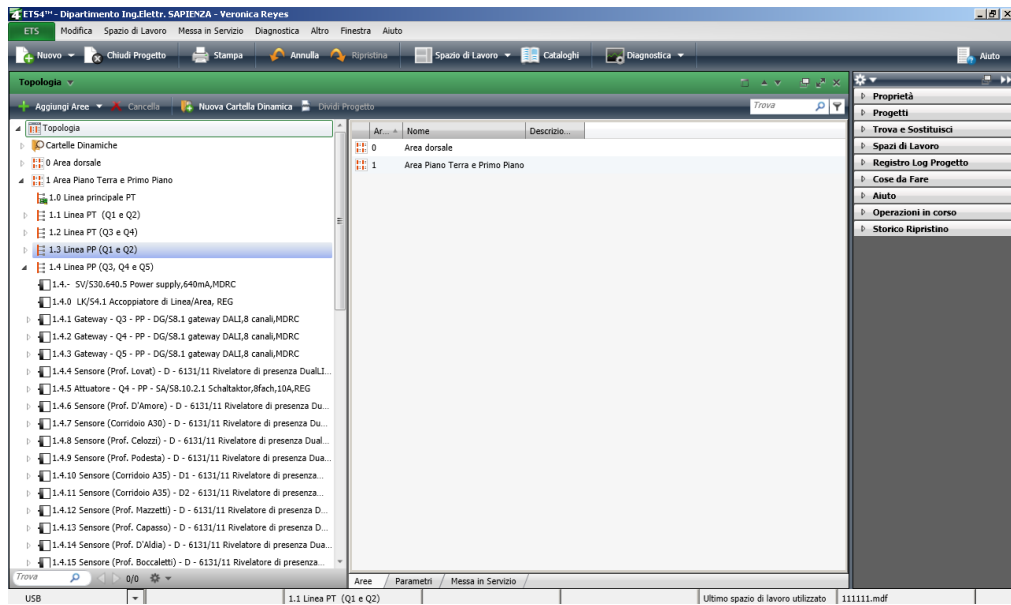


Figura #6. 15: Creazione della topologia dell'impianto e islocazione dei dispositivi per linea

Dopo aver creato la struttura del progetto, si è controllato che ogni dispositivo aggiunto nel locale, corridoio o quadro elettrico abbia l'indirizzo fisico che corrisponde, modificando in Proprietà – Impostazioni, cioè, controllando la linea a cui apparteneva. Questa procedura viene evidenziata dalla figura che segue:

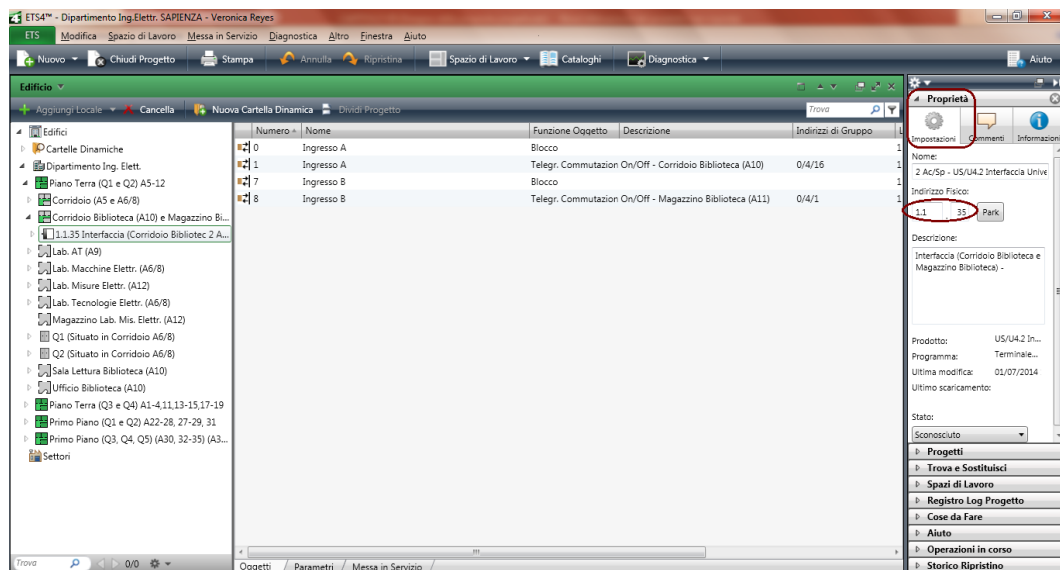


Figura #6. 16: Modifica dell'indirizzo di gruppo

6.6.4 Indirizzi di gruppo

Gli indirizzi di gruppi sono stati strutturati secondo una gerarchia a 3 livelli:

- 1) Gruppo principale: sono stati creati quattro gruppi, che corrispondono all'illuminazione di entrambi i piani, comandi di tipo generale e accesso-porta per accedere al primo piano.
- 2) Gruppo centrale: per il gruppo principale nominato "illuminazione", sono stati creati come gruppi centrali *Dimmer e On/Off*, così come, *stato On/Off*. Per il gruppo "accesso-porta" e "illuminazione generale" è creato un gruppo centrale denominato *Automazione*.
- 3) Sottogruppo: per ogni gruppo centrale sono creati gli indirizzi di gruppi che corrispondono ai dispositivi che appartengono a la stessa funzione.

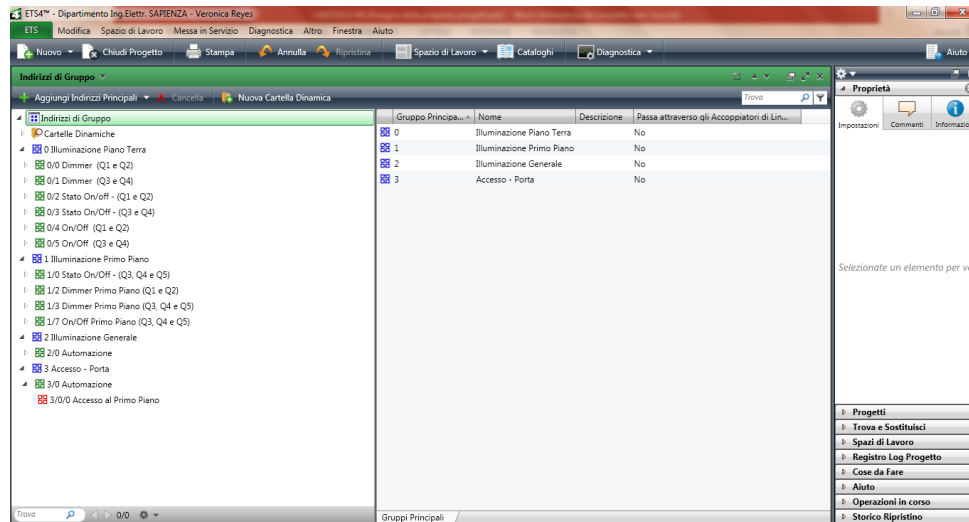


Figura #6. 17: Gruppi principali e gruppi centrali

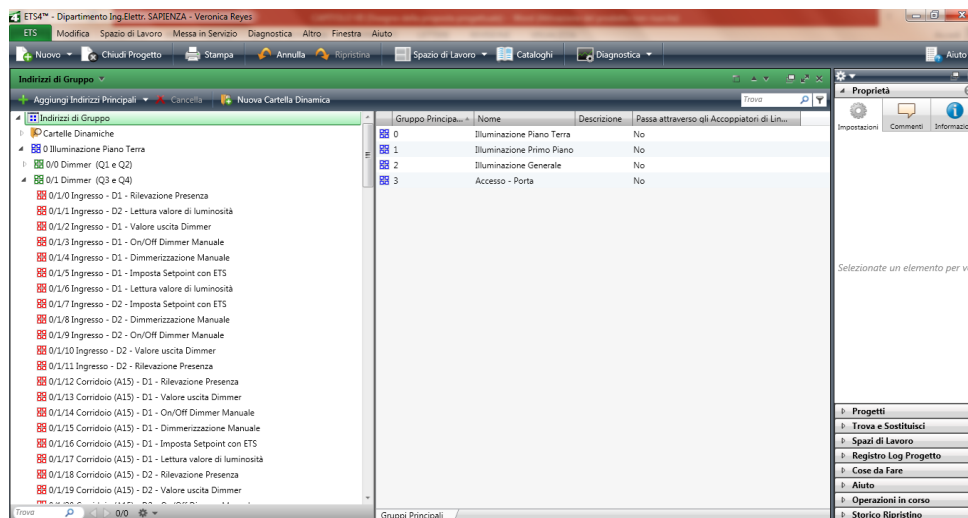


Figura #6. 18: Dislocazione degli indirizzi di gruppo per gruppo centrale

6.6.5 Configurazione dei componenti

6.6.5.1 Rilevatore di presenza

- Oggetti di comunicazione

Come si evidenzia dalla figura che segue, tra gli oggetti di comunicazione del sensore appaiono l'abilitazione movimento, rilevazione persona e abilitazione luminosità costante aventi 1 bit, dato che l'informazione a trasmettere è composta da una risposta puntuale (positiva o negativa), mentre per la regolazione luminosità è scelto quel oggetto di comunicazione avente 1 byte che permette 256 posizioni. Dato che è un sensore con doppia funzionalità, si deve introdurre il valore di Set Point e di luminosità costante con un 1 bit e 2 byte corrispondentemente.

| Num. | Nome | Descrizione | Indirizzi di Gruppo | Lunghezza | C | R | W |
|------|---|----------------------------------|---------------------|-----------|---|---|---|
| 0 | Coppia di tasti 1 (bianco).0 - Valore Commutazione | | | 1 Byte | C | - | W |
| 1 | Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | Abilitazione Movimento | 0/1/44 2/0/1 | 1 bit | C | - | W |
| 2 | Rilevazione di movimento 1.9 - Movimento commutati | Rilevazione Presenza | 0/1/43 | 1 bit | C | - | - |
| 3 | Luce costante 1.0 - Uscita 1 | | | 1 Byte | C | - | W |
| 4 | Luce costante 1.1 - Uscita 2 | Regolazione Luminosità costante | 0/1/45 | 1 Byte | C | - | W |
| 5 | Luce costante 1.2 - Ingresso commutazione | Abilitazione Luminosità costante | 0/1/44 0/1/43 2/0/1 | 1 bit | C | - | W |
| 6 | Luce costante 1.3 - Ingresso regolazione luminosità | | | 4 bit | C | - | W |
| 7 | Luce costante 1.4 - Ingresso valore | | | 1 Byte | C | - | W |
| 8 | Luce costante 1.5 - Ingresso movimento esternament | | | 1 bit | C | - | W |
| 9 | Luce costante 1.7 - Abilitazione | | | 1 bit | C | - | W |
| 10 | Luce costante 1.11 - Salva valore nominale | Memorizza Set Point | 0/1/48 | 1 bit | C | - | W |
| 11 | Luce costante 1.12 - Luminosità effettiva | Valore Luminosità costante | 0/1/49 | 2 Byte | C | R | W |
| 12 | | | | 1 Byte | C | - | W |
| 13 | Oggetti di comunicazione / Descrizione | | | | | | |
| 14 | Indirizzi di Gruppo | | | | | | |
| 15 | Lunghezza | | | | | | |
| 16 | Riscaldamento/Raffreddamento/Ventilazione 1.0 - Us | | | 1 bit | C | - | W |

Figura #6. 19: Oggetti di comunicazione del rilevatore di presenza

Viene ripetuto l'indirizzo di gruppo 0/1/44 – Abilitazione Mov. / Lum. Costante, in maniera tale da abilitare la doppia funzione del sensore, cioè, di abilitare simultaneamente sia la rilevazione di persone che luminosità costante. L'indirizzo 0/1/43 – Aula 40 – D1 – Rilevazione Presenza è inserito non solo nel oggetto di comunicazione descritto come “Rilevazione Presenza” ma anche sul oggetto descritto come “Abilità luminosità costante”, questo per permettere la possibilità che, al rilevarsi una presenza sia attivata anche l'opzione di mantenere un illuminamento costante intro il locale. Questo valore a mantenere costante viene avviato dal oggetto di comunicazione descritto come “Memorizza Set Point”.

- Parametri

I parametri funzionali permettono di modificare le caratteristiche di funzionamento del dispositivo, in modo da adattarsi (entro i limiti offerti) alle richieste del committente. In funzione dell'ubicazione del rilevatore nel locale vengono attivate o meno le porzioni di rilevamento. A titolo di esempio si mostra in figura un caso in cui sono attivate i quattro settori.

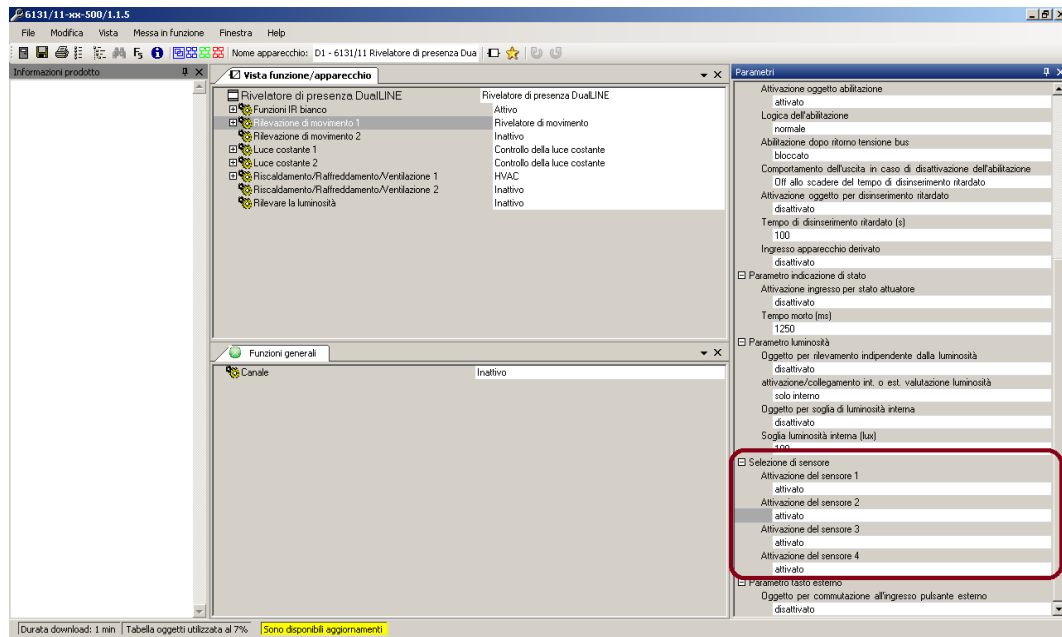


Figura #6. 20: Settori di rilevamento- Parametri del rivelatore di presenza

È attivato solo Rilevazione di movimento 1, dato che l'informazione inviata dal sensore serve solo a un controllo sull'illuminazione.

Il rivelatore di movimento è impostato ad operare nel modo operativo "Segnalazione", con lo scopo di inviare ciclicamente telegrammi sull'oggetto di comunicazione a 1 bit "Avvio movimento".

È configurato un tempo di ritardo per lo spegnimento di 5 minuti, considerando sempre lo studio fatto nella sezione 2.2 del presente lavoro e che la maggior parte delle stanze sono uffici dove l'assenza è circa 40% e la frequenza di uscita quasi nulla, che vuol dire, un tempo di ritardo per lo spegnimento non limitato. È configurato anche un valore di soglia luminosità interna (lux) pari a quel valore assegnato dalla normativa a seconda della destinazione d'uso del locale dove è installato il rivelatore. Con il parametro "Soglia luminosità interna (lux)" si definisce il valore di luminosità al di sotto del quale

il rilevatore di movimento invia telegrammi tramite l'oggetto di comunicazione "Commutazione movimento".

Nota: il valore da immettere è minore del valore di regolazione impostato nel locale tramite un luxmetro. Il rilevatore di presenza tuttavia determina la luminosità necessaria nella posizione in cui è installato, ad es. sul soffitto. Ciò significa che vi è differenza tra la luminosità sulla scrivania e quella sul soffitto, influisce i colori delle pareti, quindi, controllare la risultanti sul tavolo, è necessario parametrizzare in funzione di quello che è intorno.

Quanto riguarda alla luce costante, viene impostato un valore iniziale di regolazione pari a 51% da incrementare luce e buio da questo valore in step di 2.

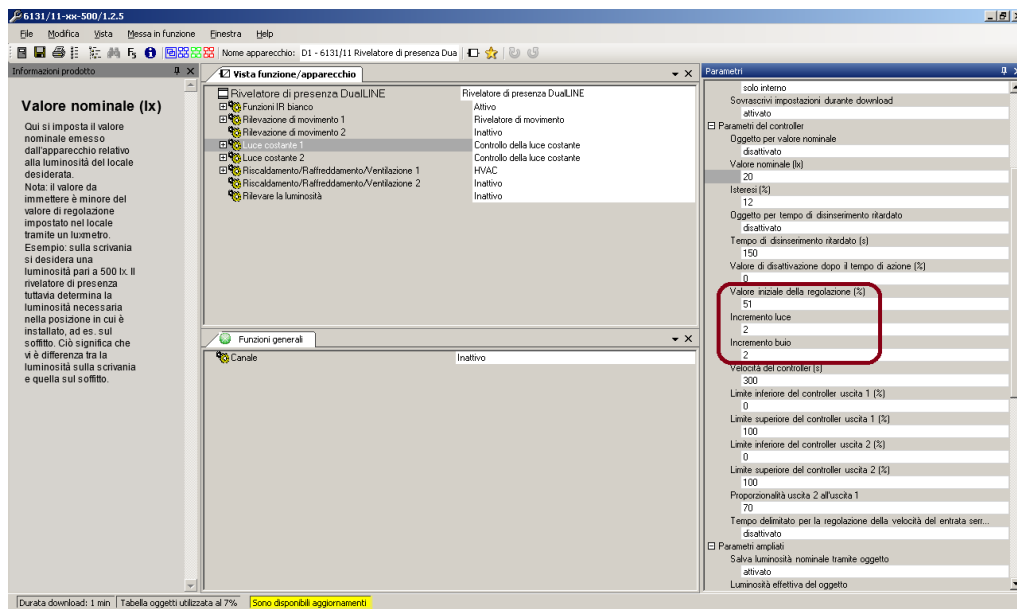


Figura #6. 21: Valore iniziale di regolazione (%) - Parametri del rilevatore

- Corridoi e scale

Con lo scopo di mantenere uno scenario a luce ridotta di cortesia, le luci rimangono accese al 10% quando non si rileva presenza. Tramite:

“Valore disattivato dopo il t di azione”, e inserendo t di azione di 5min.

Assicurando un livello di illuminamento ridotto, ma sufficiente per spostarsi in sicurezza.

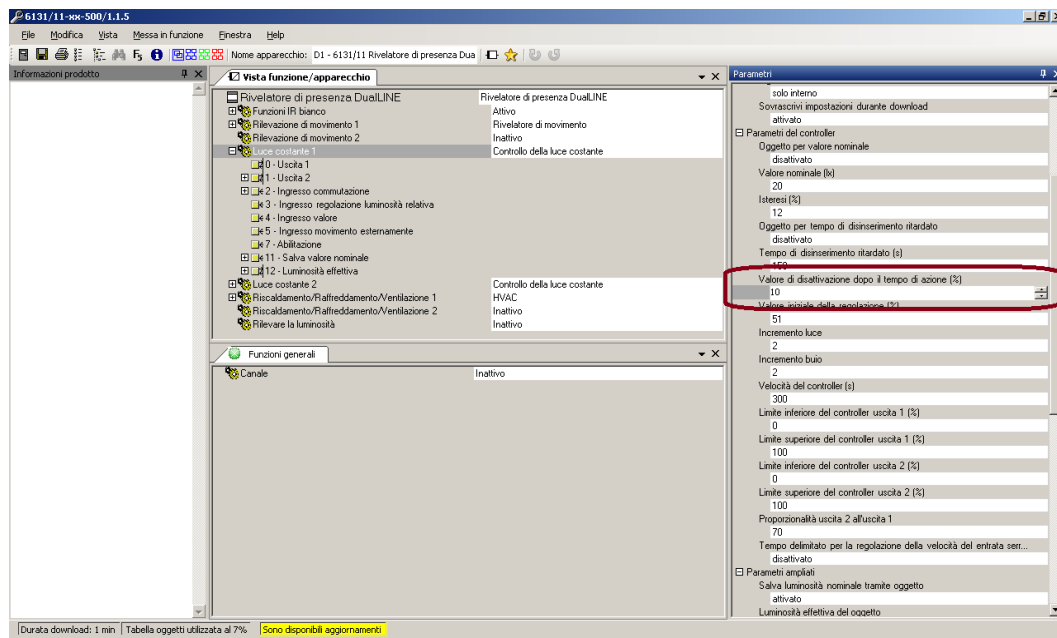


Figura #6. 22: Luce ridotta di cortesia - Parametri del rilevatore di presenza

6.6.5.2 Attuatore

In funzione della configurazione dei parametri, vengono stabiliti gli oggetti di comunicazione. Si configura in maniera diversa a seconda della modalità di accensione/spengimento che è adottata per il locale in particolare.

(a) On/Off Manuale

- *Oggetti di comunicazione*

È il caso dell'accensione e spegnimento per le lampade delle lavagne nelle aule, gli oggetti di comunicazione sono due, "commutazione" e "stato commutazione", entrambi due da 1 bit. È importante lo stato di commutazione in quanto viene inviato il comando

a relè chi, a sua volta, manda lo stato il cui viene letto dal bus. Lo stato del relè viene messo nel pulsante per sincronizzare.

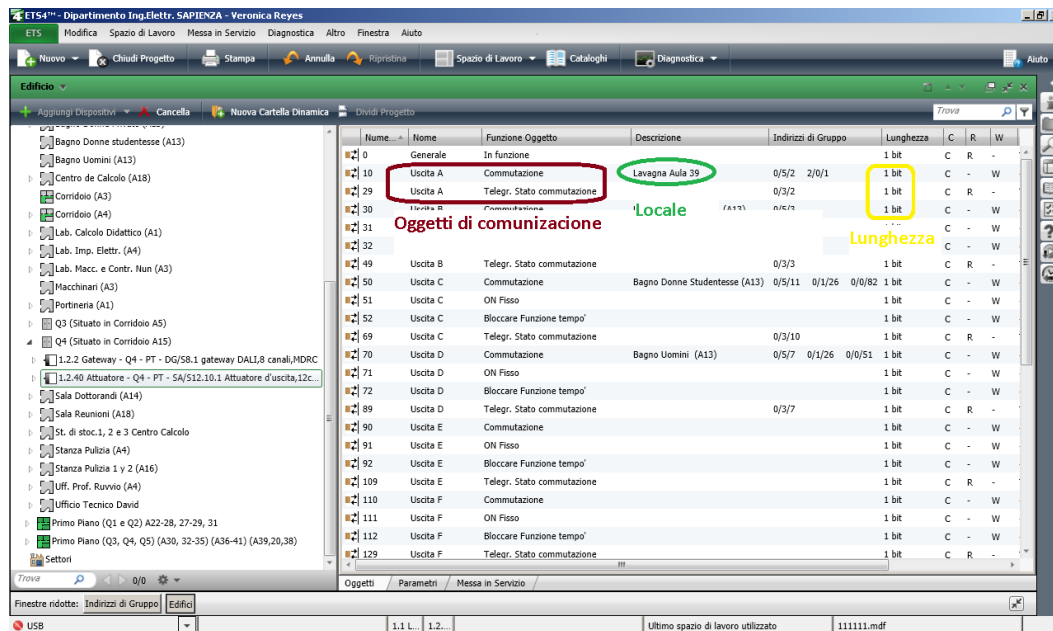


Figura #6. 23: Oggetti di comunicazione dell'attuatore – On /Off Manuale

- Parametri

Per questo caso in cui non si prevede uno spegnimento automatico e dal fatto che al momento di chiudere il Dipartimento si comanderà tutto in automatico, cioè, sarà inviato un 1, è possibile che rimanga accesa la luce della lavagna e può accadere, che al inviare l'uno (se il contatto è impostato normalmente aperto), la lampada rimarrà accesa. Avendo conto di questo fatto, si modifica nei parametri, nel canale corrispondente alle lampade della lavagna, impostando il comportamento dell'uscita come "Normalmente chiuso" e invertendo la logica nel Valore oggetto stato commutazione come "0=chiuso , 1=aperto". La procedura si evidenzia dalle figure che seguono.

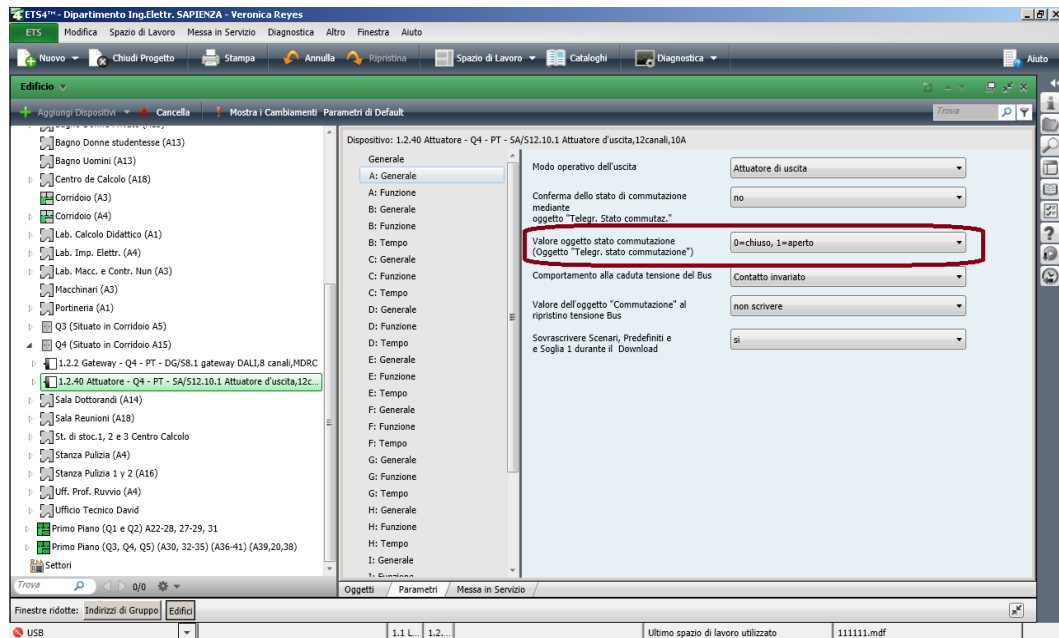


Figura #6. 24: Contatto normalmente chiuso - Parametri dell'attuatore - On /Off Manuale

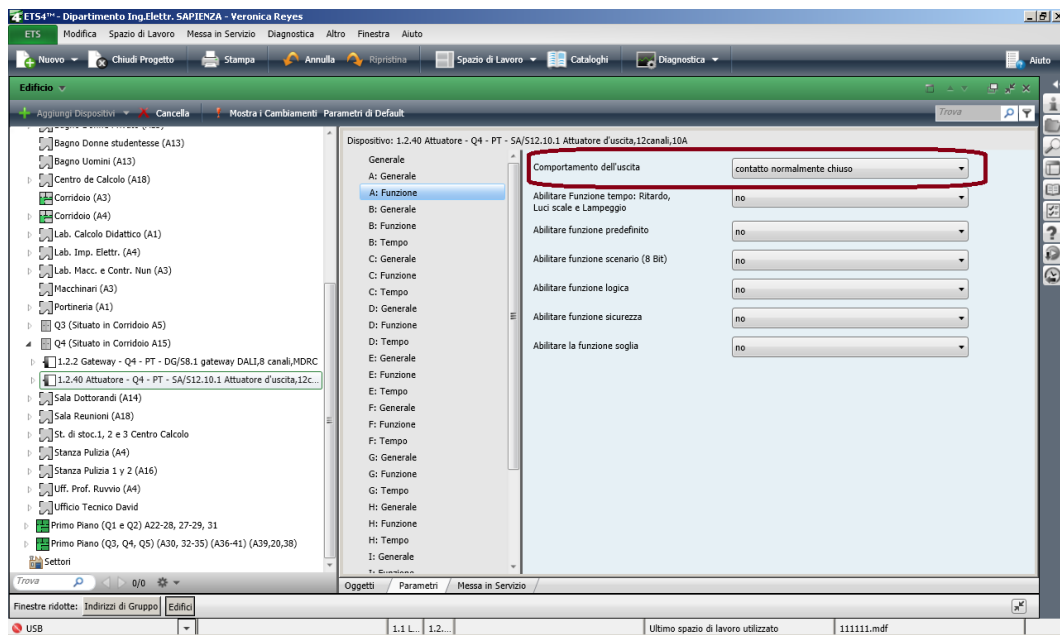


Figura #6. 25: Logica invertita - Parametri dell'attuatore - On /Off Manuale

(b) On Manuale / Off Automatico

- *Oggetti di comunicazione*

È il caso dei depositi, stanze di stoccaggio e magazzini dove viene adoperato un relè temporizzato. Gli oggetti di comunicazione sono quattro, dai quali vengono utilizzati solo due, Commutazione e Telegr. Stato commutazione, entrambi da 1 bit.

| Num. | Nome | Funzione Oggetto | Descrizione | Indirizzi di Gruppo | Lunghezza | C | R | W |
|------|----------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------|---|---|---|
| 0 | Generale | In funzione | | | 1 bit | C | R | - |
| 10 | Uscita A | Commutazione | Lavagna Aula 39 | 0/5/2 2/0/1 | 1 bit | C | - | W |
| 29 | Uscita A | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/2 | 1 bit | C | R | - |
| 30 | Uscita B | Commutazione | Bagno Donne Privato (A13) | 0/5/3 | 1 bit | C | - | W |
| 31 | Uscita B | ON Fisso | | | 1 bit | C | - | W |
| 32 | Uscita B | Bloccare Funzione tempo' | | | 1 bit | C | - | W |
| 49 | Uscita B | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/3 | 1 bit | C | R | - |
| 50 | Uscita C | Commutazione | Bagno Donne Studentesse (A13) | 0/5/11 0/1/26 0/0/82 | 1 bit | C | - | W |
| 51 | Uscita C | ON Fisso | | | 1 bit | C | - | W |
| 52 | Uscita C | Bloccare Funzione tempo' | | | 1 bit | C | - | W |
| 69 | Uscita C | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/10 | 1 bit | C | R | - |
| 70 | Uscita D | Commutazione | Bagno Uomini (A13) | 0/5/7 0/1/26 0/0/51 | 1 bit | C | - | W |
| 71 | Uscita D | ON Fisso | | | 1 bit | C | - | W |
| 72 | Uscita D | Bloccare Funzione tempo' | | | 1 bit | C | - | W |
| 89 | Uscita D | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/7 | 1 bit | C | R | - |
| 90 | Uscita E | Commutazione | | | 1 bit | C | - | W |
| 91 | Uscita E | ON Fisso | | | 1 bit | C | - | W |
| 92 | Uscita E | Bloccare Funzione tempo' | | | 1 bit | C | - | W |
| 109 | Uscita E | Telegr. Stato commutazione | | | 1 bit | C | R | - |
| 110 | Uscita F | Commutazione | | | 1 bit | C | - | W |
| 111 | Uscita F | ON Fisso | | | 1 bit | C | - | W |
| 112 | Uscita F | Bloccare Funzione tempo' | | | 1 bit | C | - | W |
| 129 | Uscita F | Telegr. Stato commutazione | | | 1 bit | C | R | - |

Figura #6. 26: *Oggetti di comunicazione dell'attuatore – On Man. /Off Auto*

- *Parametri*

È necessario abilitare la funzione tempo: Ritardo, il cui viene assegnato in funzione della destinazione d'uso del locale, per il caso di esempio in figura si mostra assegnato un tempo pari a 10min corrispondente a quello impostato per il caso dei bagni.

Per cortesia si è impostato un preavviso di 45s nell'opzione "Preavviso prima del termine Luci" scegliendo nell'elenco "Tramite breve commutazione ON-OFF", selezionando retriggerabile il tempo di accensione assegnato.

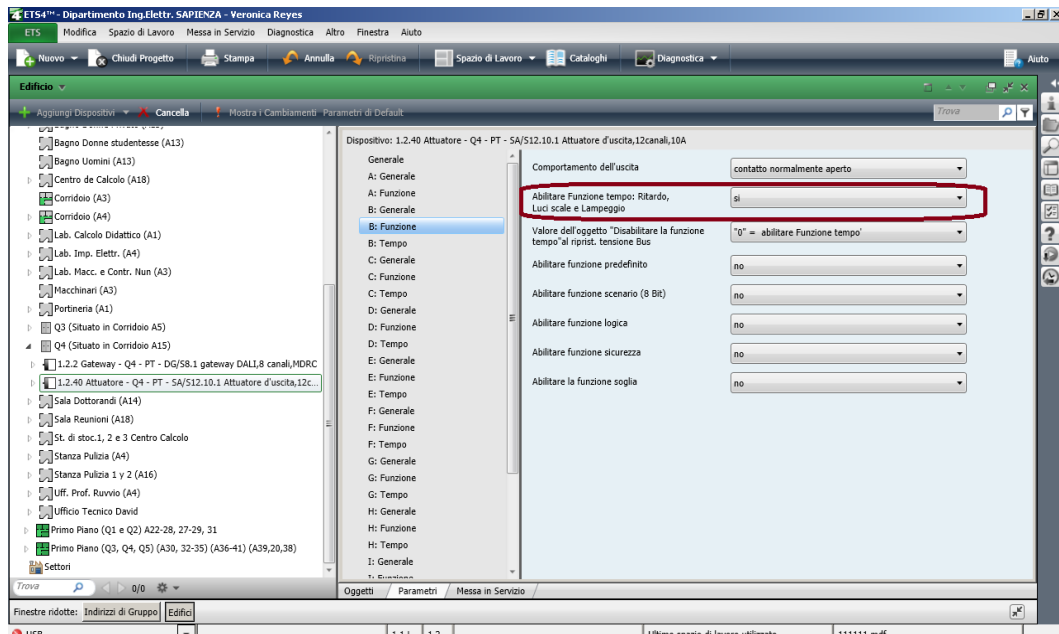


Figura #6. 27: Abilitazione del tempo di ritardo - Parametri dell'attuatore - On Manuale /Off Automatico

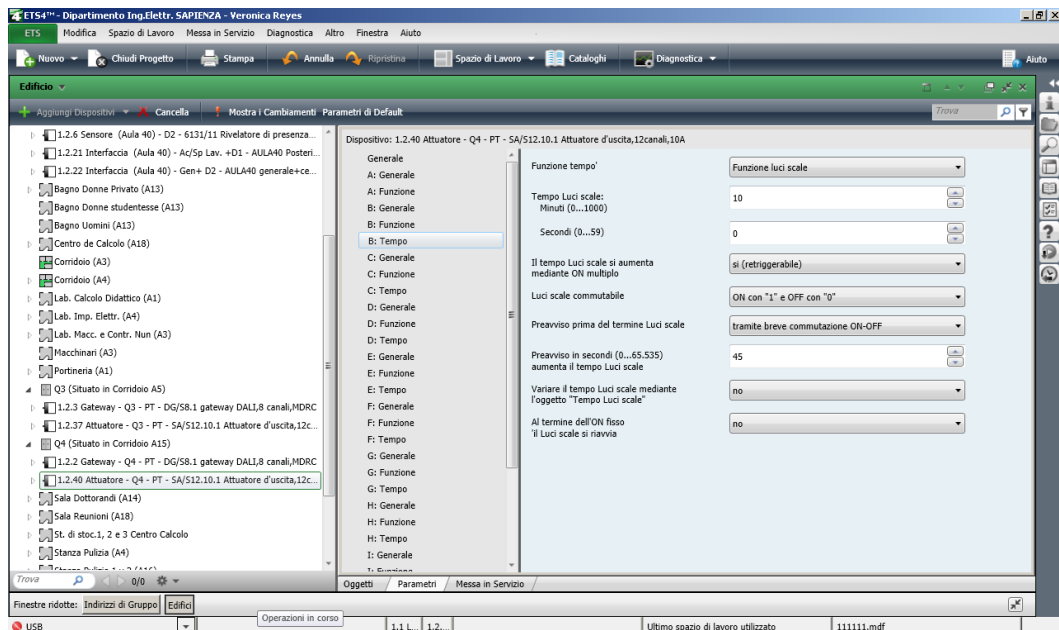


Figura #6. 28: Preavviso prima del termine Luci - Parametri dell'attuatore - On Man. /Off Auto

(c) On/Off Automatico

- *Oggetti di comunicazione*

È il caso di tutti gli uffici e corridoi in cui la penetrazione di luce naturale è nulla.

Gli oggetti di comunicazione sono due, Commutazione e Telegr. Stato commutazione, entrambi i due da 1 bit.

| Num. | Nome | Funzione Oggetto | Descrizione | Indirizzi di Gruppo | Lunghezza | C | R | W |
|------|----------|----------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------|---|---|---|
| 0 | Generale | In funzione | | | 1 bit | C | R | - |
| 10 | Uscita A | Commutazione | Lavagna Aula 40 | 0/5/4 2/0/1 | 1 bit | C | - | W |
| 29 | Uscita A | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/4 | 1 bit | C | R | - |
| 30 | Uscita B | Commutazione | Corridoio (A3) | 0/0/51 0/0/57 | 1 bit | C | - | W |
| 31 | Uscita B | ON Fisso | | | 1 bit | C | - | W |
| 32 | Uscita B | Bloccare Funzione tempo' | | | 1 bit | C | - | W |
| 49 | Uscita B | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/5 | 1 bit | C | R | - |
| 50 | Uscita C | Commutazione | Ufficio Tec. David (A3) | 0/1/115 2/0/1 | 1 bit | C | - | W |
| 69 | Uscita C | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/16 | 1 bit | C | R | - |
| 70 | Uscita D | Commutazione | Lab. Macc. e Contr. Num. (A3) | 0/1/80 2/0/1 | 1 bit | C | - | W |
| 89 | Uscita D | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/15 | 1 bit | C | R | - |
| 90 | Uscita E | Commutazione | Macchinari (A3) | | 1 bit | C | - | W |
| 91 | Uscita E | ON Fisso | | 0/5/8 | 1 bit | C | - | W |
| 92 | Uscita E | Bloccare Funzione tempo' | | | 1 bit | C | - | W |
| 109 | Uscita E | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/6 | 1 bit | C | R | - |
| 110 | Uscita F | Commutazione | Stanza Pulizia (A4) | 0/5/9 | 1 bit | C | - | W |
| 111 | Uscita F | ON Fisso | | | 1 bit | C | - | W |
| 112 | Uscita F | Bloccare Funzione tempo' | | | 1 bit | C | - | W |
| 129 | Uscita F | Telegr. Stato commutazione | | 0/3/8 | 1 bit | C | R | - |
| 130 | Uscita G | Commutazione | | | 1 bit | C | - | W |
| 149 | Uscita G | Telegr. Stato commutazione | | | 1 bit | C | R | - |
| 150 | Uscita H | Commutazione | Area Circ. Pulizia 1 (A16) | 0/5/1 | 1 bit | C | - | W |
| 151 | Uscita H | ON Fisso | | | 1 bit | C | - | W |

Figura #6. 29: *Oggetti di comunicazione dell'attuatore – On /Off Automatico*

- *Parametri*

Non è abilitata la funzione tempo: Ritardo, la logica è sempre la stessa in tutti i casi con rispetto al Valore oggetto stato commutazione che è “1=chiuso, 0=aperto”.

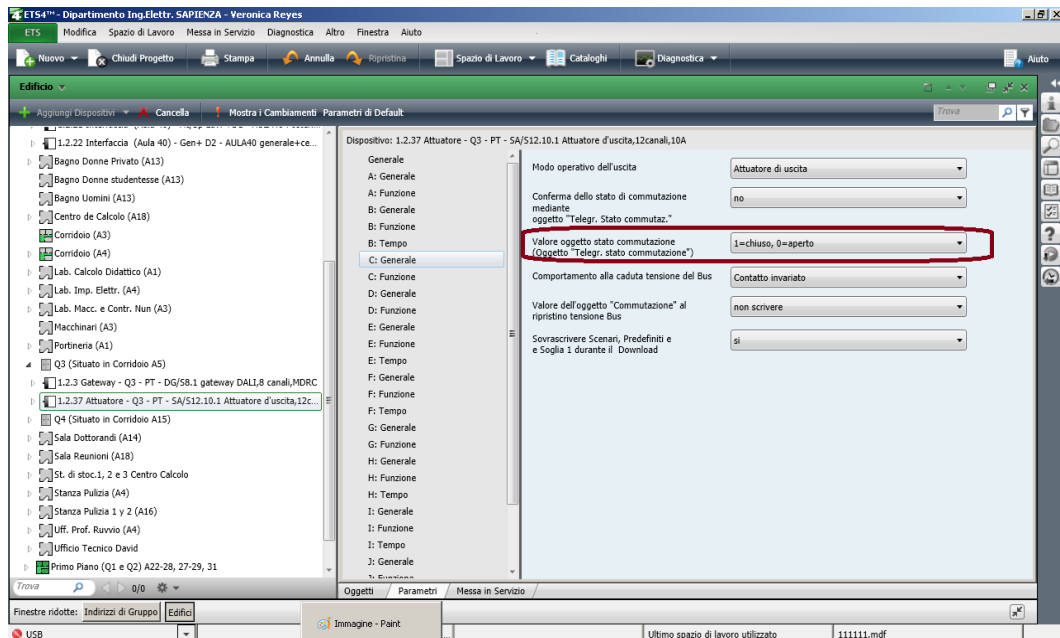


Figura #6. 30: Valore oggetto stato commutazione - Parametri dell'attuatore - On /Off Automatico

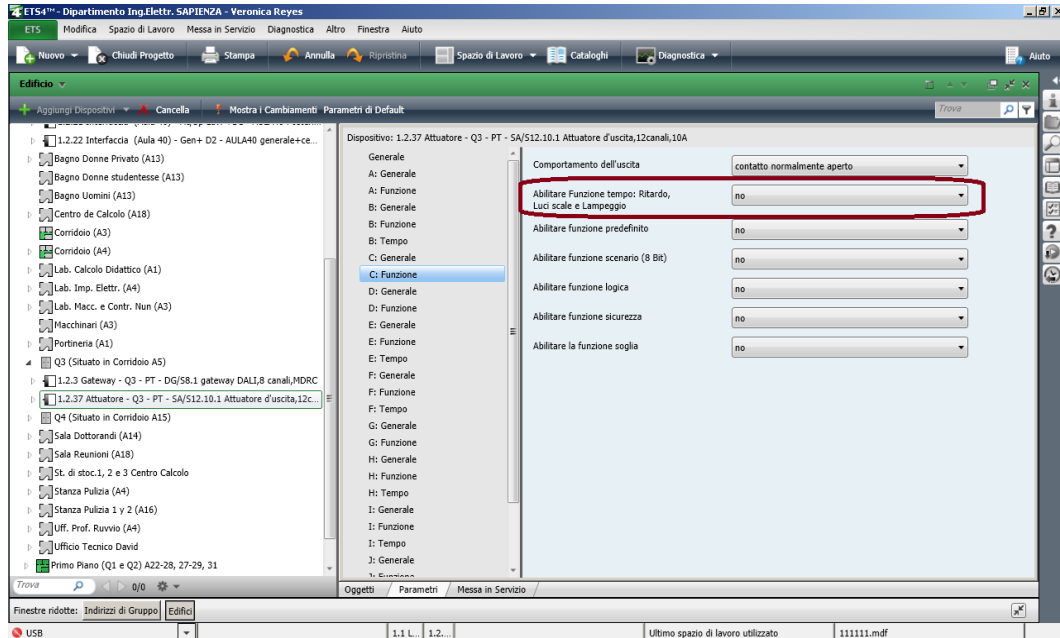


Figura #6. 31: Funzione Abilita tempo di ritardo - Parametri dell'attuatore - On /Off Automatico

6.6.5.3 Gateway DALI

- Oggetti di comunicazione

Ad ogni canale corrispondono quattro oggetti di comunicazioni ai quali viene collegato l'indirizzo di gruppo creato per il locale in specifico e per quella funzione in particolare.

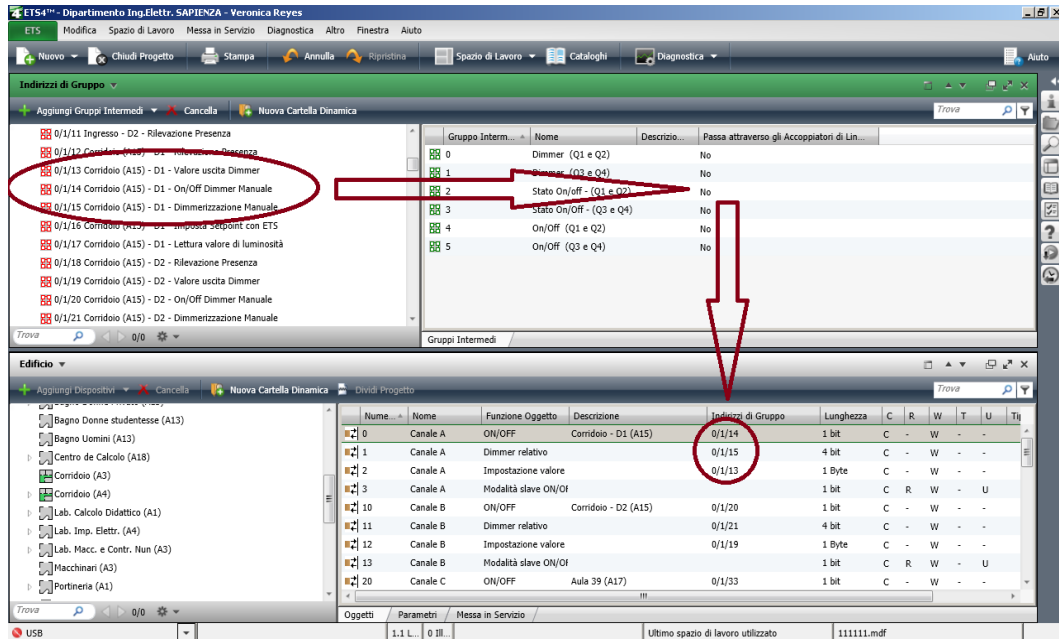


Figura #6. 32: Oggetti di comunicazione del Gateway DALI

- Parametri

I canali sono impostati "Nell'insieme", con modalità operativa "Normale" e con valore max. e min. corrispondente al 100% e al minimo valore dimmer della lampada.

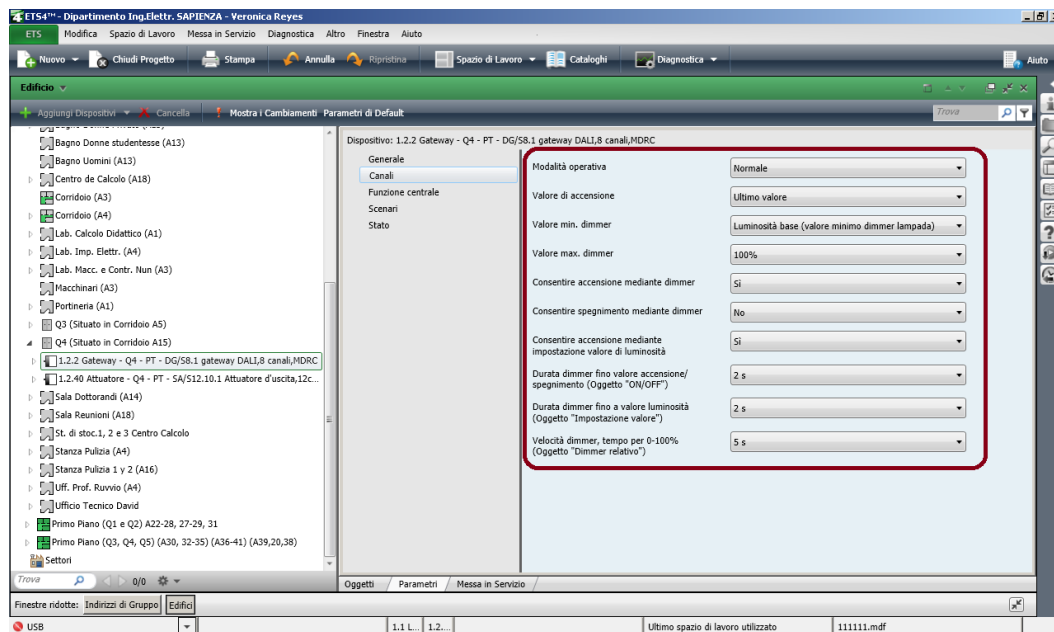


Figura #6. 33: Parametri del Gateway DALI

6.6.5.4 Interfaccia

Sono installate interfacce universali tipo US/U 4.2 (quattro canali) in ogni area, per consentire di integrare apparecchiature di comando di tipo tradizionale (deviatore, interruttore o pulsante), siccome il progetto corrisponde a un edificio scolastico dove non si è sufficientemente attento, quello che conviene economicamente in caso di guasto è sostituire il comando tradizionale invece che il dispositivo di automazione (interfaccia di ingresso).

(a) Funzione “Controllo LED”

- *Oggetti di comunicazione*

Il canale funziona come uscita, e gli oggetti di comunicazione sono due, LED commutazione e LED ON fisso, entrambi i due da 1 bit.

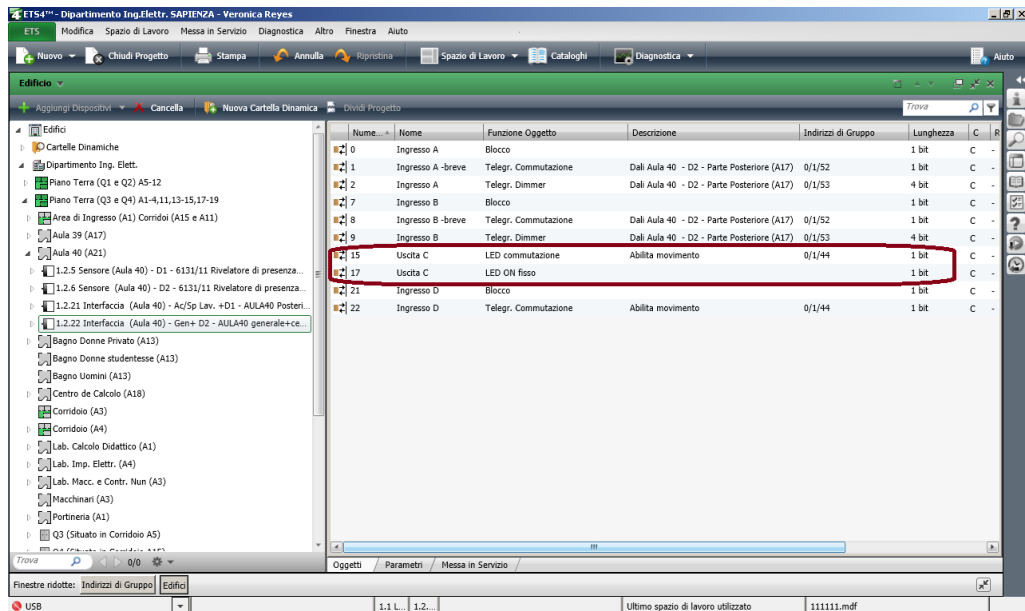


Figura #6. 34: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Controllo LED

- Parametri

L'ingresso viene azionato con la funzione "Controllo LED". Tramite un LED è possibile confermare lo stato, acceso indica "modo forzatura" mentre spento indica "modo automatico".

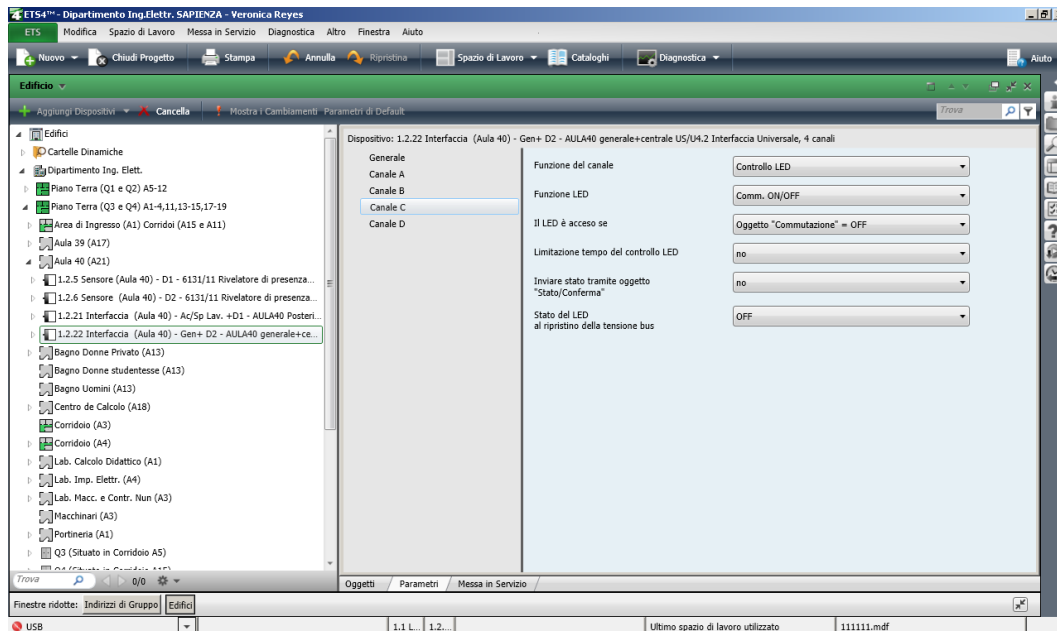


Figura #6. 35: Parametri dell'interfaccia – Controllo LED

(b) Funzione “Sensore di commutazione” – (Comm. Auto./Man.)

- Oggetti di comunicazione

Per il caso di commutazione tra modalità Automatico e Manuale, gli oggetti di comunicazione sono due, Blocco e Telegr. Commutazione, entrambi da 1 bit.

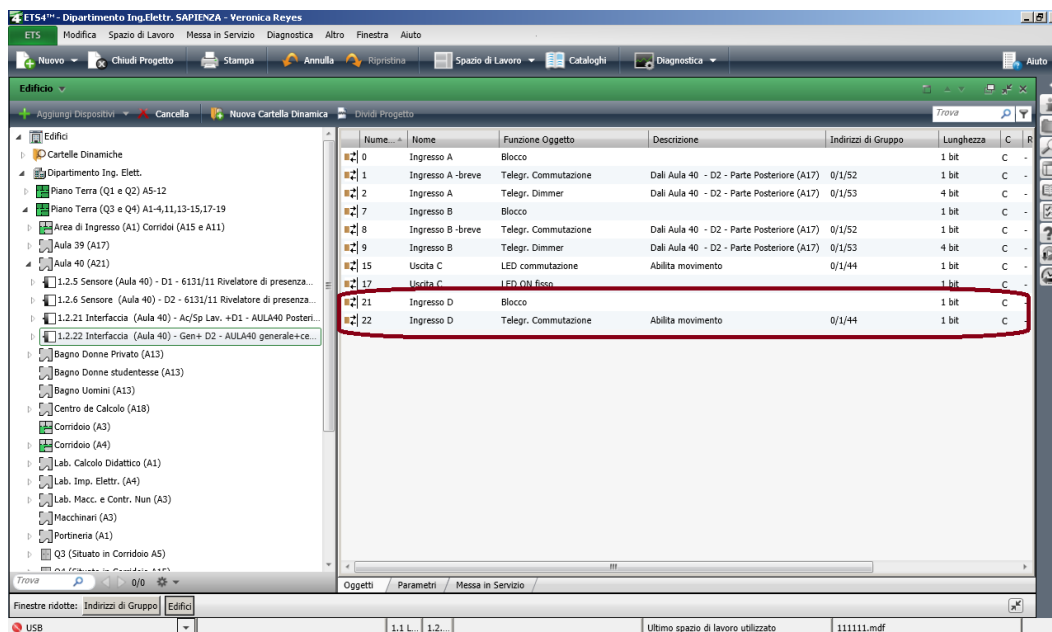


Figura #6. 36: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Sensore di commutazione (Comm. Auto / Man)

- Parametri

È selezionata la funzione "Sensore di commutazione", è collegato al comando tradizionale per commutare tra automatico e manuale, vale a dire, attivare “modo forzatura” quando si trova in “modo automatico” e viceversa.

Nel Piano Terra, dove non se tiene previsto un comando di accesso alla porta di ingresso al Primo Piano, non è impostata una distinzione tra azionamento breve e lungo.

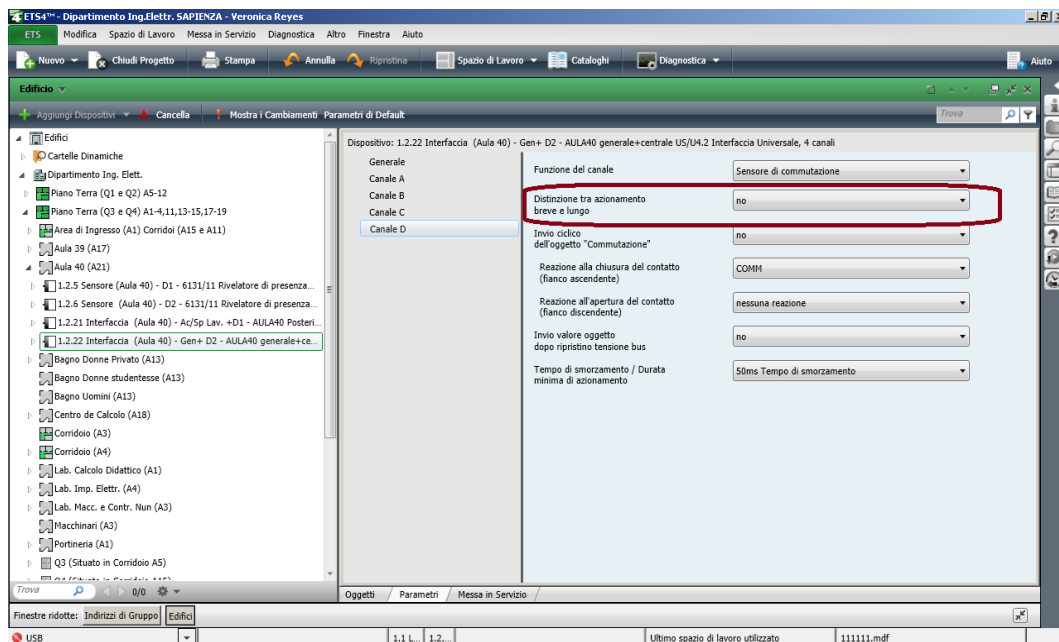


Figura #6. 37: Parametri dell'interfaccia – Sensore di commutazione (Comm. Auto / Man)

Accesso al Primo Piano

Per permettere l'accesso al primo piano da parte dei professori, tramite lo stesso pulsante che commuta tra Auto/Man, nell'interfaccia di ingresso installata in ogni ufficio, viene selezionata l'opzione di distinzione tra azionamento breve e lungo, impostando nell'azionamento breve "COMM" mentre nell'azionamento lungo "ON"

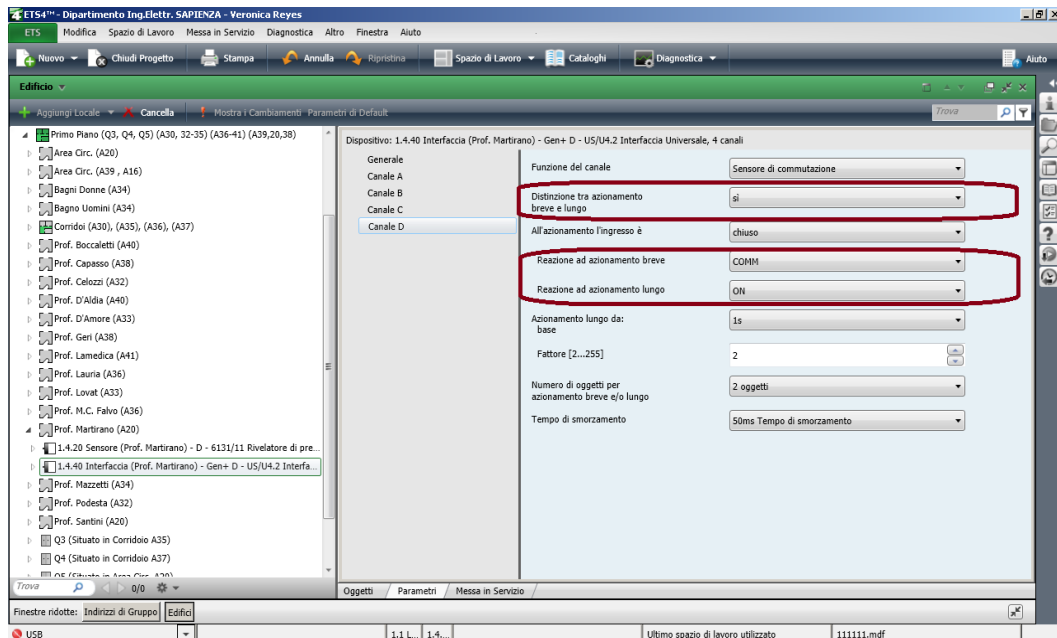


Figura #6. 38: Parametri dell'interfaccia – Accesso al Primo Piano

Gli oggetti di comunicazione passano ad essere tre, Blocco, Telegr. Commutazione e Telegr. Commutazione – Lungo. Inserendo come indirizzo di gruppo nel oggetto di comunicazione Telegr. Commutazione – lungo il 3/0/0 denominato *Accesso al Primo Piano*.

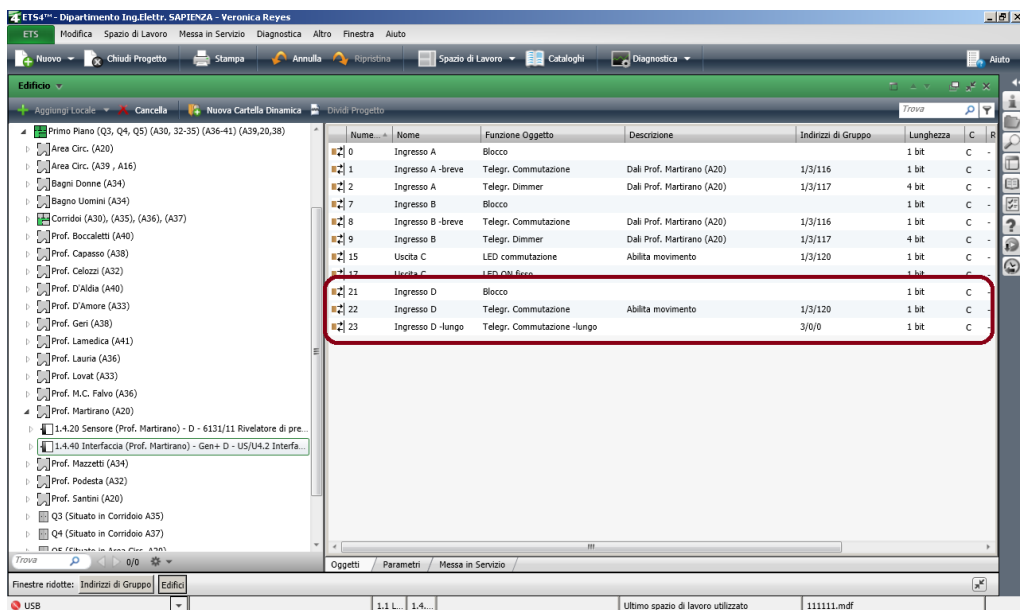
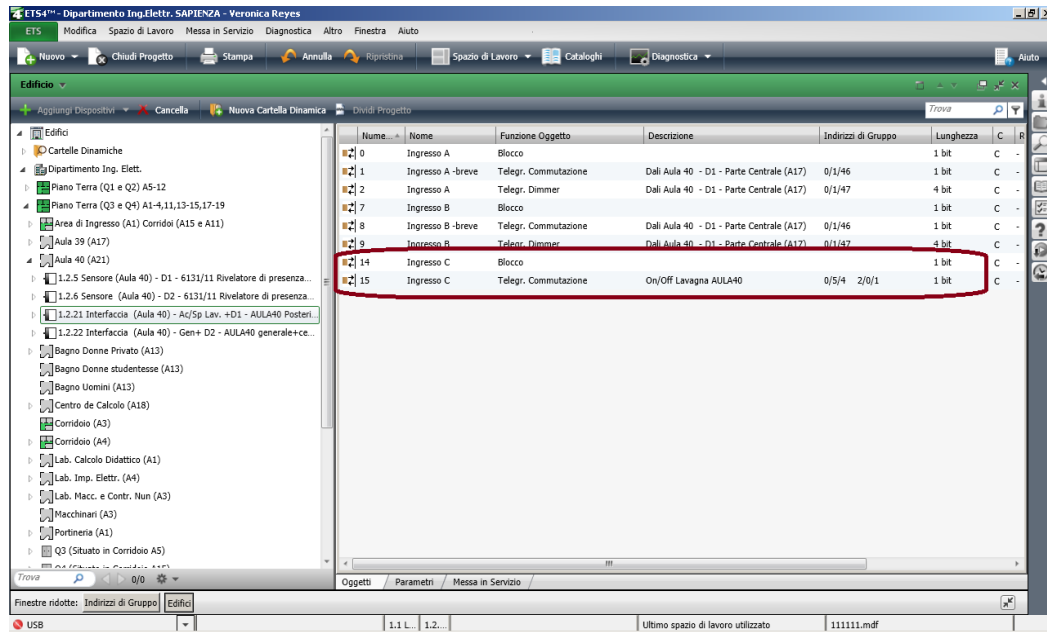


Figura #6. 39: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia –Accesso al Primo Piano

(c) Funzione “Sensore di commutazione” – Comm. Acc/Spagn

- *Oggetti di comunicazione*

Il funzionamento è come ingresso, e gli oggetti di comunicazione sono due, Blocco e Telegr. Commutazione entrambi da 1 bit.



| Num. | Nome | Funzione Oggetto | Descrizione | Indirizzi di Gruppo | Lunghezza | C | R |
|------|-------------------|----------------------|---|---------------------|-----------|---|---|
| 0 | Ingresso A | Blocco | | | 1 bit | C | - |
| 1 | Ingresso A -breve | Telegr. Commutazione | Dal Aula 40 - D1 - Parte Centrale (A17) | 0/1/46 | 1 bit | C | - |
| 2 | Ingresso A | Telegr. Dimmer | Dal Aula 40 - D1 - Parte Centrale (A17) | 0/1/47 | 4 bit | C | - |
| 7 | Ingresso B | Blocco | | | 1 bit | C | - |
| 8 | Ingresso B -breve | Telegr. Commutazione | Dal Aula 40 - D1 - Parte Centrale (A17) | 0/1/46 | 1 bit | C | - |
| 9 | Ingresso B | Telegr. Dimmer | Dal Aula 40 - D1 - Parte Centrale (A17) | 0/1/47 | 4 bit | C | - |
| 14 | Ingresso C | Blocco | | | 1 bit | C | - |
| 15 | Ingresso C | Telegr. Commutazione | On/Off Lavagna AULA40 | 0/5/4 2/0/1 | 1 bit | C | - |

Figura #6. 40: *Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Sensore di commutazione (Comm. Acc. / Sp.)*

- *Parametri*

Viene selezionata la funzione "Sensore di commutazione", è collegato al comando tradizionale per commutare tra l'accensione e lo spegnimento delle lampade, una volta azionata la forzatura.

Per il caso di commutare tra accensione e spegnimento delle lampade, non è impostata una distinzione tra azionamento breve e lungo.

(d) Funzione “Sensore di commutaz./dimmer” (Incremento luce)

- *Oggetti di comunicazione*

Gli oggetti di comunicazione sono tre, Blocco, Telegr. Commutazione e Telegr. Dimmer, da 1 bit e 4 bit corrispondentemente. Per la dimmerizzazione è necessario un numero di bit più elevato, con questa scelta si riesce ad ottenere 16 step. Ad ogni oggetto di comunicazione viene inserito l’indirizzo di gruppo che è in relazione con l’accensione e lo spegnimento Dimmer.

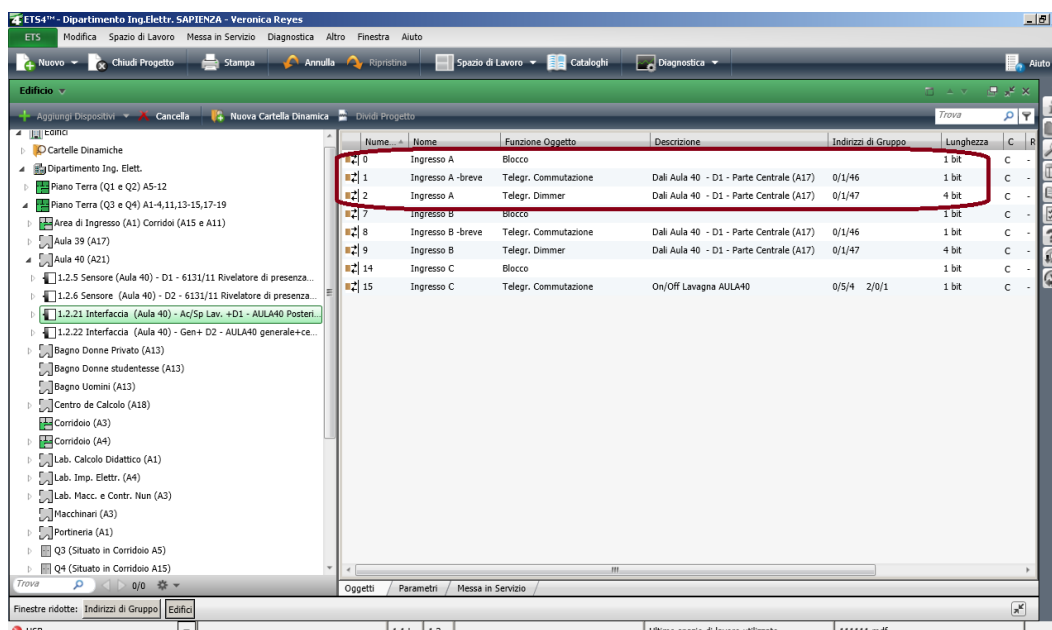


Figura #6. 41: Oggetti di comunicazione dell’interfaccia – Sensore di commutaz./Dimmer (Incremento luce)

- *Parametri*

L’ingresso viene azionato con la funzione “Sensore di commutaz./Dimmer”, con reazione ad azionamento breve “ON” e reazione ad azionamento lungo “Dimmer PIU’ CHIARO”.

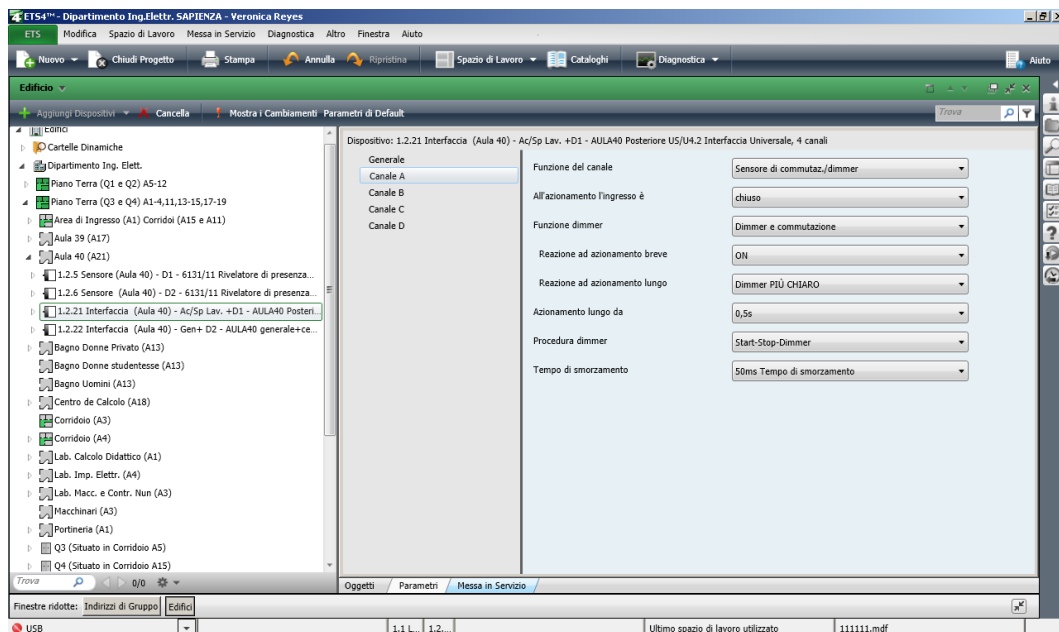


Figura #6. 42: Parametri dell'interfaccia – Sensore di commutaz./Dimmer
(Incremento luce)

(e) Funzione “Sensore di commutaz./dimmer” (Decremento luce)

- *Oggetti di comunicazione*

Gli oggetti di comunicazione sono tre, Blocco, Telegr. Commutazione e Telegr. Dimmer, da 1 bit e 4 bit corrispondentemente. Sono associati gli stessi indirizzi di gruppo che per l'incremento luce.

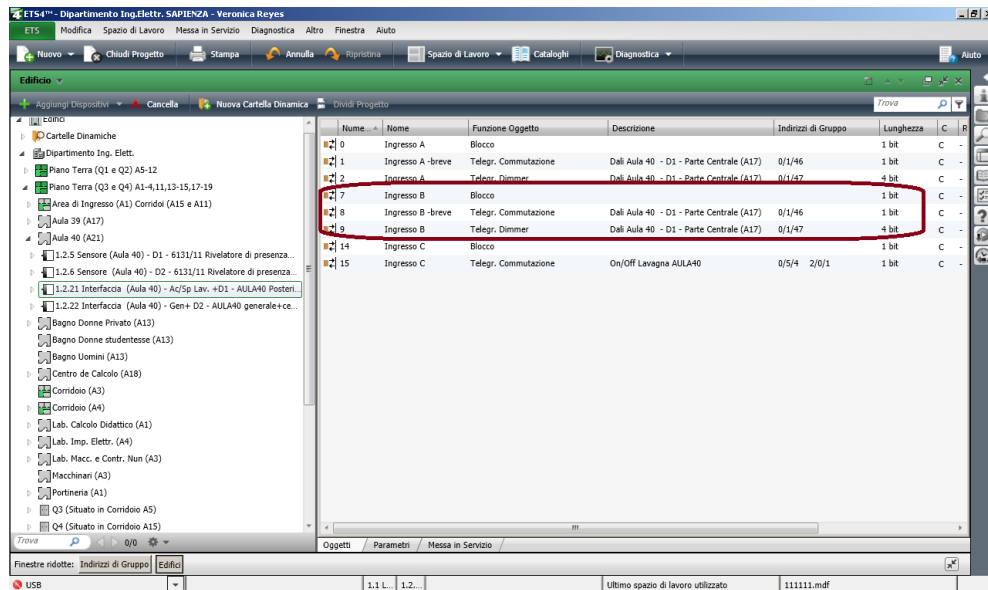


Figura #6. 43: Oggetti di comunicazione dell'interfaccia – Sensore di commutaz./Dimmer (Decremento luce)

- Parametri

L'ingresso viene azionato con la funzione “Sensore di commutaz./Dimmer”, con reazione ad azionamento breve “OFF” e reazione ad azionamento lungo “Dimmer PIU' SCURO”.

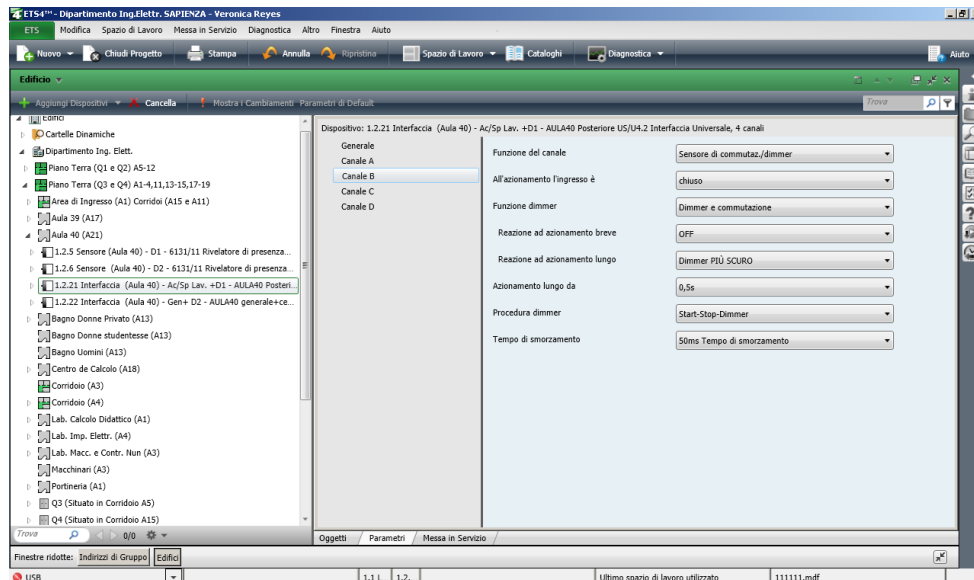


Figura #6. 44: Parametri dell'interfaccia – Sensore di commutaz./Dimmer (Decremento luce)

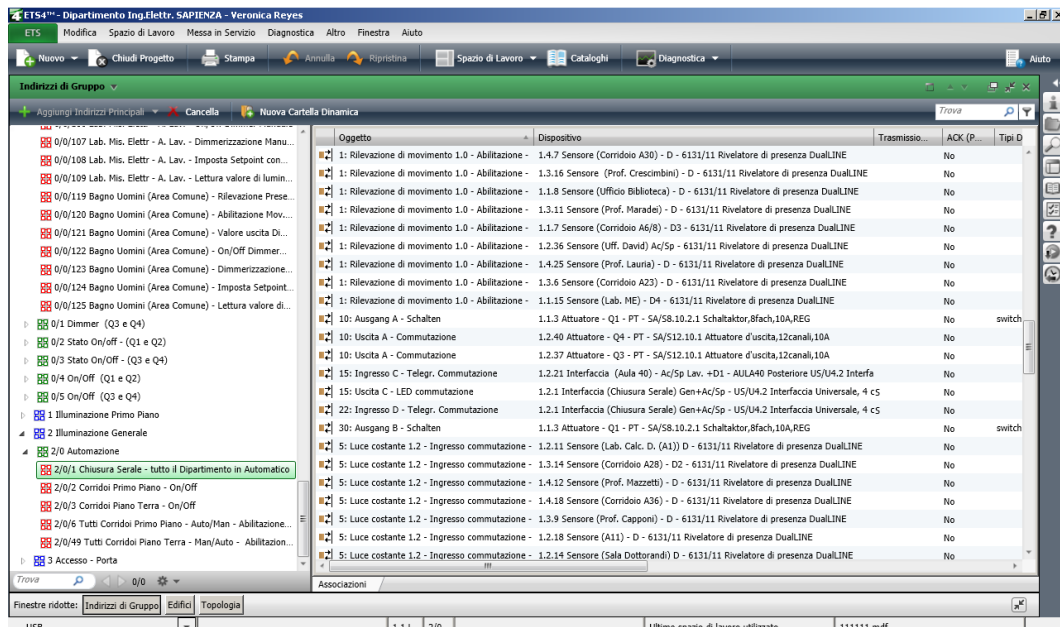
6.7 Considerazioni

6.7.1 Considerazioni Generali

- *Chiusura Serale:*

Il comando a gruppi consente di comandare simultaneamente e in modo coordinato apparecchi luminosi dell'intero edificio. L'utilizzo consiste in inviare un comando di automatico da un pulsante posizionato in portineria (reception), dove tutto il Dipartimento viene posto in modalità *Automatico* se non viene rilevata nessuna presenza, di conseguenza, risulta tutto spento. Si prevede che questo pulsante sia a chiave, in maniera tale che sia di accesso limitato, di conseguenza se un'unica persona l'incaricata di chiudere il dipartimento, allora sarà quella in possesso di questa chiave per un discorso di sicurezza.

Per tale scopo è creato un indirizzo di gruppo denominato "Chiusura serale – Tutto il Dipartimento in Automatico", ed è inserito in tutti dispositivi di automazione presenti nell'impianto progettato come si mostra nella figura che segue.



| Oggetto | Dispositivo | Trasmissione | ACK (P...) | Tipi D |
|--|--|--------------|------------|--------|
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.4.7 Sensore (Corridoio A30) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.3.16 Sensore (Prof. Crescimbin) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.1.8 Sensore (Ufficio Biblioteca) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.3.11 Sensore (Prof. Maradei) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.1.7 Sensore (Corridoio A6/B) - D3 - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.2.36 Sensore (Uff. David) Ac/Sp - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.4.25 Sensore (Prof. Lauria) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.3.6 Sensore (Corridoio A23) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 1: Rilevazione di movimento 1.0 - Abilitazione | 1.1.15 Sensore (Lab. ME) - D4 - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 10: Ausgang A - Schalten | 1.1.3 Attuatore - Q1 - PT - SA/58.10.2.1 Schaltaktor,8fach,10A,REG | | No | switch |
| 10: Uscita A - Commutazione | 1.2.40 Attuatore - Q4 - PT - SA/512.10.1 Attuatore d'uscita,12canali,10A | | No | |
| 10: Uscita A - Commutazione | 1.2.37 Attuatore - Q3 - PT - SA/512.10.1 Attuatore d'uscita,12canali,10A | | No | |
| 15: Ingresso C - Teleg. Commutazione | 1.2.21 Interfaccia (Aula 40) - Ac/Sp Lav. +D1 - AUL40 Posteriore US/U4.2 Interfa | | No | |
| 15: Uscita C - LED commutazione | 1.2.1 Interfaccia (Chiusura Serale) Gen+Ac/Sp - US/U4.2 Interfaccia Universale, 4 cS | | No | |
| 22: Ingresso D - Teleg. Commutazione | 1.2.1 Interfaccia (Chiusura Serale) Gen+Ac/Sp - US/U4.2 Interfaccia Universale, 4 cS | | No | |
| 30: Ausgang B - Schalten | 1.1.3 Attuatore - Q1 - PT - SA/58.10.2.1 Schaltaktor,8fach,10A,REG | | No | switch |
| 5: Luce costante 1.2 - Ingresso commutazione | 1.2.11 Sensore (Lab. Calc. D. (A1)) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 5: Luce costante 1.2 - Ingresso commutazione | 1.3.14 Sensore (Corridoio A28) - D2 - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 5: Luce costante 1.2 - Ingresso commutazione | 1.4.12 Sensore (Prof. Mazzetti) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 5: Luce costante 1.2 - Ingresso commutazione | 1.4.18 Sensore (Corridoio A36) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 5: Luce costante 1.2 - Ingresso commutazione | 1.3.9 Sensore (Prof. Capponi) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 5: Luce costante 1.2 - Ingresso commutazione | 1.2.18 Sensore (A11) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |
| 5: Luce costante 1.2 - Ingresso commutazione | 1.2.14 Sensore (Sala Dottorandi) - D - 6131/11 Rivelatore di presenza DualLINE | | No | |

Figura #6. 45: Oggetti di comunicazione associati all'indirizzo di gruppo "Chiusura Serale"

- *Forzatura:*

Dal sistema progettato, non è necessario un comportamento proattivo della persona che comunque, se vuole, può forzare l'accensione delle lampade spente dall'automatismo (funzione integrativa e non sostitutiva dell'automazione).

È sempre necessario prevedere la possibilità di accensione/spegnimento manuale mediante pulsanti per sicurezza dell'impianto.

La funzione Forzatura consente di forzare l'uscita su ON 100% o su OFF. In caso di forzatura attiva, tutti gli altri comandi non saranno utilizzabili.

- *Dimensionamento dell'impianto*

Si sovradimensiona l'impianto circa 10%, considerando che al inizio sia impostata una regolazione del flusso luminoso minore al 100% che, mantenendo l'illuminamento medio mantenuto richiesto dalla norma permette in anni successivi (dove le lampade tendono a diminuire il flusso luminoso) di passare al 100% e restare sempre sull'illuminamento richiesto. Questo permette di non stressare le giunzioni e di conseguenza allungare che la vita utile della lampada.

Il decadimento del flusso luminoso nel tempo è presentato nel CAPITOLO III, paragrafo 3.2.1 *Apparecchi di illuminazione: rendimento ottico (LOR), LMF*. Nel caso della tecnologia LED, la curva del decadimento del flusso luminoso si mostra nella figura a continuazione:

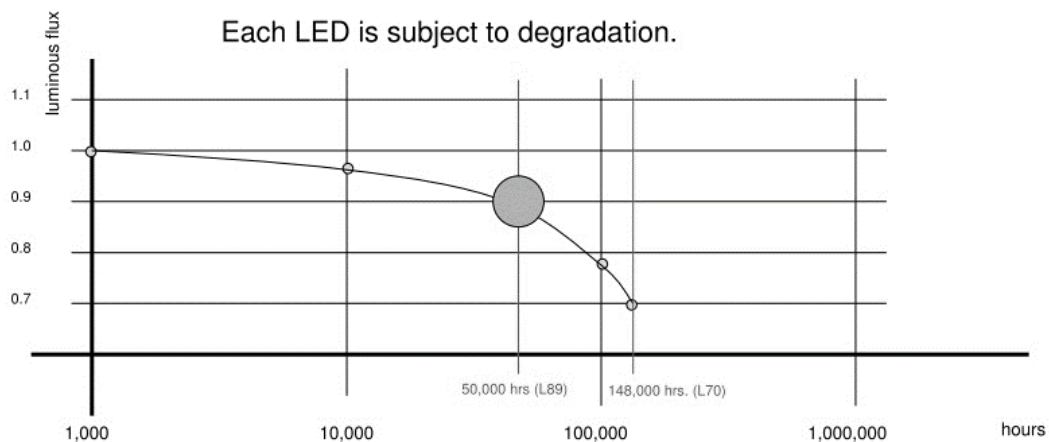


Figura #6. 46: Curva di decadimento LED lumileds rebel a 350mA e $T_a=25^{\circ}C$

6.7.2 Considerazioni Piano Terra

- Vengono gestiti tutti i corridoi Piano Terra in “Modo Forzatura” da Portineria, è installata in essa un’interfaccia di tipo generale che in caso di guasto su un dispositivo appartenente all’automazione, permetta di accendere e spegnere tutti i corridoi tramite un pulsante. È creato l’indirizzo di gruppo 2/0/3 chiamato “Corridoi Piano Terra – On/Off” entro il gruppo principale *Illuminazione Generale*.
- L’accensione e lo spegnimento della lampada del Corridoio Lab. Misure Elettroniche (A12) sono legati all’accensione e allo spegnimento delle lampade dell’Area di Circolazione.
- L’accensione e lo spegnimento della lampada del Corridoio (A3), sono legati all’accensione e allo spegnimento delle lampade del Lab. Macchine. Controllo Numerico (A3).
- L’accensione e lo spegnimento della lampada del Corridoio Biblioteca (A10), sono legati all’accensione e allo spegnimento delle lampade del Corrido (A6/8), Sala Lettura e del Ufficio Biblioteca (A10).
- Lampade corrispondenti all’Area di Circolazione (A16) e all’Area di Circolazione (A39), hanno congiuntamente l’accensione e lo spegnimento sotto lo stesso segnale

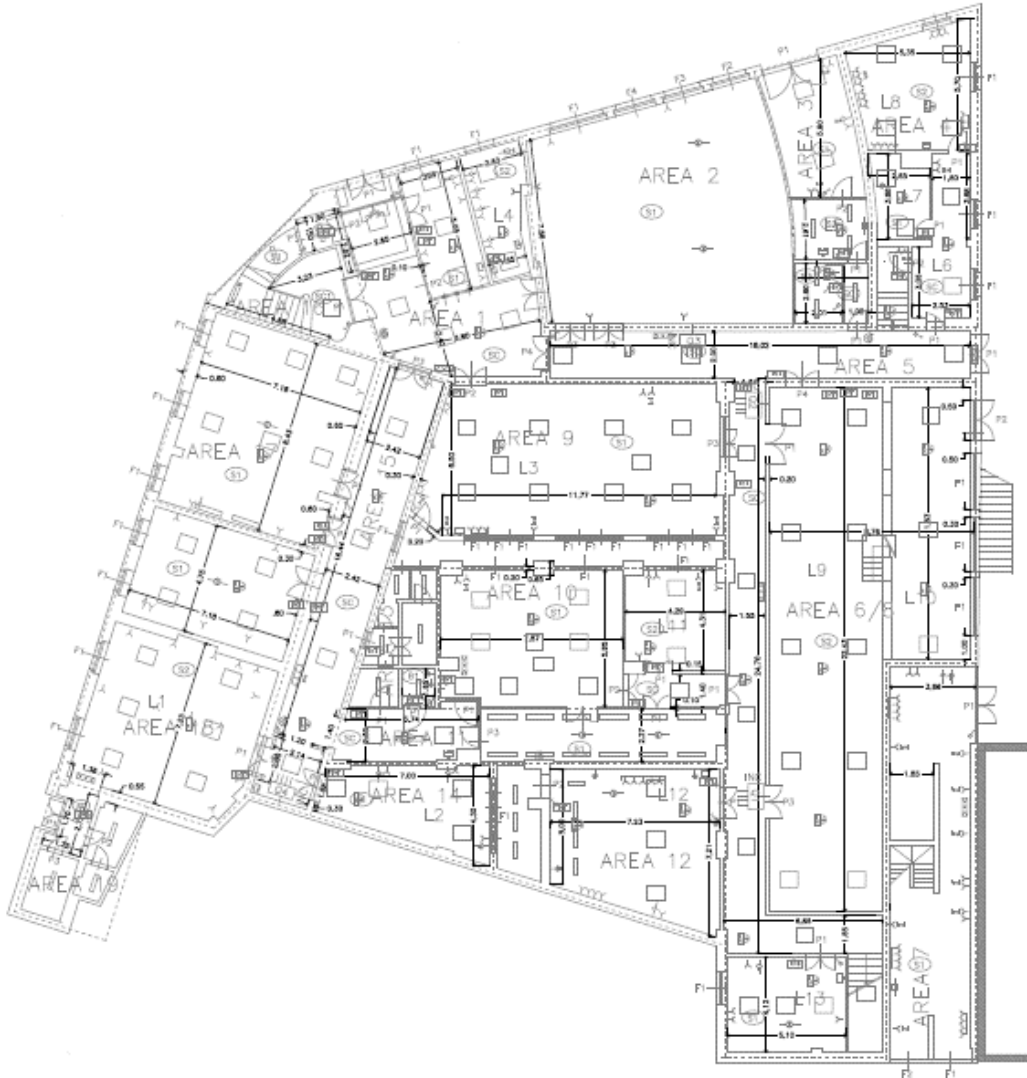
inviato da un unico sensore sospeso dal tetto, in grado di rilevare presenza in questa area sia in Piano Terra che in Primo Piano.

- L'accensione e lo spegnimento delle lampade dei bagni destinati a studenti, sono legati all'accensione e allo spegnimento delle lampade del Corridoio (A15), Corridoio (A11), Sala Lettura (A10), Corridoio (A6/8) e del Corridoio (A5). La accensione di questo relè in modalità temporizzata 10 min., reagisce a tutti i sensori degli ambienti circostanti, è inserito l'indirizzo di gruppo corrispondente ad ogni sensore, cioè, i comandi di automazione nel relè, specificamente nella *Funzione oggetto: Commutazione*.

6.7.3 Considerazioni Primo Piano

- Vengono gestiti tutti i corridoi Primo Piano in “Modo Forzatura” dalla Segreteria Didattica, è installata in essa un'interfaccia di tipo generale che in caso di guasto su un dispositivo appartenente all'automazione permette accendere e spegnere tutti i corridoi tramite un pulsante. È creato l'indirizzo di gruppo 2/0/2 chiamato “Corridoi Primo Piano – On/Off”.
- L'accensione e lo spegnimento delle lampade del Area di Circolazione e Scale (A22), sono legati all'accensione e allo spegnimento delle lampade del Corridoio (A23).
- Lampade dei bagni, ad uso privato, è disposto un pulsante con relè temporizzato in cui l'accensione è in modo manuale e lo spegnimento in modo automatico dopo un tempo di ritardo programmato.

6.8 Planimetria



*Figura #6. 47: Planimetria Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Piano Terra.
Lampade a LED e dispositivi KNX*



*Figura #6. 48: Planimetria Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Primo Piano.
Lampade a LED e dispositivi KNX*

CAPITOLO VII

ANALISI ENERGETICA E FINANZIARIA DI UN INTERVENTO

7.1 Analisi Energetica

7.1.1 Valutazione della prestazione energetica

In particolare per quanto riguarda il fabbisogno energetico dovuto all'illuminazione artificiale degli ambienti interni di lavoro, occorre fare riferimento all'indice di efficienza energetica del sistema di illuminazione, LENI (*Lighting Energy Numeric Indicator*). La valutazione dell'indice LENI [4-5] può essere condotta, per edifici esistenti o di nuova costruzione.

Quello introdotto in precedenza, conferma la rilevanza del calcolo dell'indice LENI come metodo di verifica del dispendio energetico, ma anche e soprattutto come potente strumento di progettazione, sebbene con notevoli limiti e approssimazioni. La UNI EN 15193[4] ha infatti il merito di aver introdotto una procedura per la valutazione delle prestazioni energetiche dei sistemi di illuminazione, ma presenta ancora alcune incongruenze o vuoti normativi da colmare, soprattutto in merito alla definizione del contributo di luce naturale.

Di conseguenza, viene considerato un nuovo approccio che è stato suggerito di valutare FO, FD, FC abbandonando i dati statistici generali di EN15193 [4] e adottando parametri più dettagliati rispetto alle caratteristiche dell'impianto stesso. I fattori sono valutati anche in considerazione di:

- 1) Tipo di controllo attuale, come il numero di gruppi di controllo (Control Groups CGs);
- 2) Tecniche di controllo (Dimer o commutazione);

3) Ritardo di spegnimento.

Questi aspetti sono generalizzati nell'approccio standard.

Finalmente come si mostra nelle tabelle sottostanti, viene valutato l'indice LENI sia per lo stato attuale che per il sistema di illuminazione progettato, considerando anche l'intervento riguardante a solo la sostituzione delle lampade per quelle più efficienti con tecnologia a LED, tramite il metodo introdotto dalla norma UNI EN 15193 [4] e dall'approccio.

Tabella #7. 1: Valori dell'indice LENI ottenuti per lo stato attuale e per il sistema progettato, calcolati con il metodo introdotto dalla norma e con l'approccio

| LENI [kWh/m2.anno] | Stato di fatto | | Proposta progettuale | |
|------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| | Norma | Approccio | Norma | Approccio |
| Piano Terra | 35,53 | 35,19 | 11,12 | 10,43 |
| Primo Piano | 42,30 | 37,29 | 9,26 | 6,95 |
| Intero Edificio | 38,63 | 36,15 | 10,27 | 8,84 |

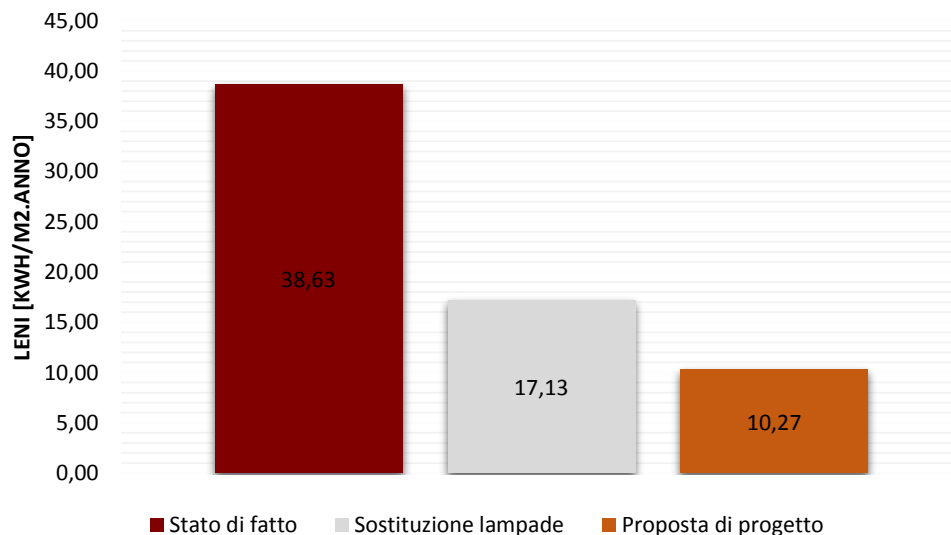


Grafico #7. 1: Influenza della sostituzione di lampade (per quelle a LED) e dei sistemi di automazione

Tabella #7. 2: Confronto dei valori dell'indice LENI calcolati con il metodo introdotto dalla norma per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato considerando solo la sostituzione delle lampade e l'automazione

| LENI [kWh/m2.anno] | Stato di fatto | Sostituzione lampade | Progetto |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Piano Terra | 35,53 | 15,72 | 11,12 |
| Primo Piano | 42,30 | 18,80 | 9,26 |
| Intero Edificio | 38,63 | 17,13 | 10,27 |
| Risparmio [%] | - | 55,66 | 73,41 |

- Confronto tra Stato attuale e Progetto del sistema di illuminazione

Spicca innanzitutto, la diminuzione dell'indice LENI, e quindi dei consumi. Considerando come primo intervento solo la sostituzione delle lampade per quelle ad alta efficienza con tecnologia a LED, si evidenzia un risparmio energetico di circa il 50%, riducendo il LENI da 38,63 fino a 17,13 $\frac{kWh}{m^2} \cdot anno$. Pensando in introdurre un controllo dell'illuminazione in funzione dall'occupazione e della disponibilità di luce naturale, è passato ad ottenere un risparmio di circa 73%, riducendo ancora il LENI fino a 10,27 $\frac{kWh}{m^2} \cdot anno$, il che vuol dire, passare da un sistema di gestione della luce di tipo manuale ad uno automatico.

È ottenuto un valore per il LENI nel piano terra superiore a quello per il primo piano, 11,12 contro 9,26 $\frac{kWh}{m^2} \cdot anno$, la conclusione a questo fatto è che, anche se sono presenti più stanze non operative nel Piano Terra e quindi, dove è suggerito più che una accensione/spegnimento automatico (in cui caso si deva spendere intorno a 260 euro), eseguire una accensione manuale e adottando un relè temporizzato avviene lo spegnimento in modo automatico dopo un tempo prudenziale a seconda della destinazione d'uso, cioè, se è deposito, magazzino oppure una stanza di stoccaggio, in

casi come questi è dimostrato da diversi studi in precedenza che il risparmio energetico è maggiore rispetto ai casi AUTO On/Off, il problema si presenta perché per trovarsi al Piano Terra sono meno adatte a percepire la luce naturale data la elevata altezza dell'ostacolo frontale e di conseguenza risulta più ridotto il fattore di luce diurna D_c che riduce a sua volta il valore dell'indice LENI dato che diminuisce F_d .

- ***Confronto tra Normativa e Approccio***

La procedura EN 15193 [4] sembra troppo generosa nella stima dell'energia spesa, essendo in tutti i casi il LENI superiore rispetto a quello ottenuto dalla procedura sposta nell'approccio, questa differenza è a causa della presa in considerazione di altri fattori dal calcolo suggerito nell'articolo che lo rende più preciso.

Nel calcolo del fattore d'illuminamento costante, si tiene conto di due fattori correttivi in caso di una regolazione del flusso luminoso con la finalità di mantenere costante l'illuminamento al valore richiesto, che tengono in conto il sovradimensionamento nella potenza installata e del tipo di lampada.

Nel caso del fattore dipendente dall'occupazione, si considera non solo la presenza di persone e il tipo di controllo nel locale ma anche la frequenza di uscita in un'ora per poi introdursi nel tempo di ritardo dello spegnimento (caso di Off automatico), fattore che non è considerato dalla normativa.

Per ultimo, nel calcolo del fattore dipendente dalla luce diurna, si considera sia la profondità che la l'altezza del locale determinando un calcolo dei fattori $F_{d,s}$ e $F_{d,c}$ differente ma più veloce.

7.1.2 Efficienza del sistema di illuminazione

Si intende in questo paragrafo, di trovare il legame tra i fattori di spesa introdotti dal rapporto tecnico [13] accenato nella sezione 2.5 del capitolo II e l'indice LENI, di conseguenza ugualmente con gli indici di prestazione energetica.

L'efficienza di un dato sistema di illuminazione può essere individuata dal fattore di spesa:

$$e_L = e_{L,C} \cdot e_{L,O} \cdot e_{L,D} \cdot e_{L,es} \quad (Eq. \#7.1)$$

Si è riscontrato che i fattori di spesa hanno stretta relazione con i fattori che influiscono sul LENI, cioè, la densità di potenza e i fattori di controllo, d'illuminamento costante, di dipendenza dall'occupazione e di dipendenza dalla luce diurna; ma divisi per gli stessi "ideali", ovverosia, quelli che corrispondono ad un controllo perfetto sotto ipotesi.

- **Fattore di spesa parziale per il controllo illuminamento costante** $e_{L,C}$

$$e_{L,C} = \frac{1 - \frac{1}{2} F_{CC}(1 - MF)}{1 - \frac{1}{2}(1 - MF)} = \frac{F_C}{F_{C,REF}} \quad (Eq. \#7.2)$$

$F_{C,REF}$: Fattore d'illuminamento costante di riferimento, corrispondente ad un fattore di efficienza del controllo illuminamento (F_{CC}) costante pari a 1.

- **Fattore di spesa parziale per il controllo dipendente dall'occupazione** $e_{L,O}$

$$e_{L,O} = \frac{F_O}{(1 - F_A)} = \frac{F_O}{F_{O,REF}} \quad (Eq. \#7.3)$$

$F_{O,REF}$: Fattore di dipendenza dall'occupazione di riferimento, correlato con un fattore di controllo (FOC) pari a 0.8 per qualsiasi valore del fattore di assenza (F_A), il cui valore corrisponde ad un controllo tipo "Manuale On / Auto Off", quello che permette il maggior risparmio conseguibile con il controllo presenza.

- **Fattore di spesa parziale per il controllo dipendente dalla luce diurna** $e_{L,D}$

$$e_{L,D} = \frac{A_D(t_{Day} \cdot (1 - F_{D,S} \cdot F_{D,C}) + t_{Night}) + A_{ND}(t_{Day} + t_{Night})}{A_D(t_{Day} \cdot (1 - F_{D,S}) + t_{Night}) + A_{ND}(t_{Day} + t_{Night})} \quad (Eq. \#7.4)$$

Si trova che sviluppando il fattore F_D^* dalla formula che permette di determinare l'indice di prestazione energetica LENI:

$$LENI = \delta \cdot F_k \cdot \frac{to}{1000} \quad \left[\frac{kWh}{m^2} \cdot anno \right]$$

Dove

$$F_k = F_C \cdot F_O \cdot F_D^* = EP_C$$

$$F_D^* = p \cdot \tau \cdot (F_D - 1) + 1$$

Il fattore di spesa per il controllo dipendente dalla luce diurna risulta:

$$e_{L,D} = \frac{F_D^*}{F_{D,REF}^*}$$

$F_{D,REF}^*$: Fattore di dipendenza dalla luce diurna di riferimento, correlato con un fattore di controllo ($F_{D,C}$) pari ad 1.

- **Fattore di spesa parziale per il controllo dell'illuminazione elettrica** $e_{L,es}$

$$e_{L,es} = \frac{P}{P_{Ref}} = \frac{\frac{\Phi}{F_{U,e} \cdot \eta_{LB,Ref} \cdot \eta_{L,Ref} \cdot \frac{1}{f_{B,Ref}}}}{\frac{\Phi}{F_U \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_L \cdot \frac{1}{f_{B,Ref}}}}$$

Riscrivendo e sostituendo con le sigle trattate precedentemente si è riscontrato:

$$e_{L,es} = \frac{CU_{Ref}}{CU} \cdot \frac{\eta_{O,Ref}}{\eta_O} \cdot \frac{\varepsilon_{L,Ref} \cdot (1 + p_A)}{\varepsilon_L \cdot (1 + p_{A,Ref})}$$

Richiamando la formula di densità di potenza teorica:

$$\delta_T = \frac{E \cdot (1 + p_A)}{\varepsilon_L \cdot CU \cdot MF}$$

Si è rilevato che:

$$e_{L,es} = \frac{\delta_T}{\delta_{T,Ref}}$$

Dove:

$$\delta_{T,Ref} = \frac{E \cdot (1 + p_{A,Ref})}{\varepsilon_{L,Ref} \cdot CU_{Ref} \cdot MF_{Ref}}$$

La tabella #7.3 riassume i valori di riferimento presi in considerazione per il calcolo dei fattori di riferimento.

Tabella #7. 3: Valori di riferimento per il calcolo del fattore di spesa $e_{L,es}$

| | δ_T | F_C | F_O | F_D |
|------------------------------|---|-----------|-------------|-------------|
| Valori di Riferimento | $\varepsilon_{L,Ref} = 140 \text{ lm/W}$ $p_{A,Ref} = 0 \text{ W}$ $MF_{Ref} = 1$ CU_{Ref} , dalla tabella #2.23 | $FCC = 1$ | $FOC = 0,8$ | $FD, C = 1$ |

Riscrivendo finalmente il fattore di spesa complessivo:

$$e_L = \frac{F_C}{F_{C,REF}} \cdot \frac{F_O}{F_{O,REF}} \cdot \frac{F_D^*}{F_{D,REF}^*} \cdot \frac{\delta_T}{\delta_{T,Ref}} = \frac{F_k \cdot \delta_T}{F_{k,Ref} \cdot \delta_{T,Ref}}$$

$$F_{k,Ref} = 1 - \frac{1}{2} (1 - MF) * (1 - F_A) * (A_D(t_{Day} \cdot (1 - F_{D,S}) + t_{Night}) + A_{ND}(t_{Day} + t_{Night}))$$

$$\delta_{T,Ref} = \frac{E \cdot (1 + p_{A,Ref})}{\varepsilon_{L,Ref} \cdot CU_{Ref} \cdot MF_{Ref}}$$

Per finire l'analisi, è possibile calcolare il LENI dal fattore di spesa come segue:

$$LENI = e_L * F_{k,Ref} * \frac{t_o}{1000} \left[\frac{kWh}{m^2} \cdot anno \right]$$

Sono ricavati i valori dei fattori di spesa parziali sia per lo stato attuale che per il sistema di illuminazione progettato, e inoltre tutti gli indicatori di prestazione energetica accennati nella sezione 2.3 del lavoro, mostrati nelle figure sottostanti.

Tabella #7. 4: Fattori di spesa parziali per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato (Piano Terra)

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | Progetto | | | | |
|---|---------------|------|------|-------|------|-------------|------|------|-------|------|
| | eL | eL,c | eL,o | eL,es | eL,d | eL | eL,c | eL,o | eL,es | eL,d |
| AREA 1 | | | | | | | | | | |
| <i>Area d'ingresso (SC)</i> | 5,61 | 1,11 | 1,25 | 2,32 | 1,74 | 2,42 | 1,00 | 1,19 | 1,65 | 1,23 |
| <i>Portineria (S1)</i> | 11,27 | 1,11 | 1,33 | 2,47 | 3,08 | 3,14 | 1,00 | 1,17 | 1,77 | 1,52 |
| <i>Lab. di Calcolo Didattico (S2)</i> | 15,40 | 1,11 | 1,27 | 2,47 | 4,42 | 3,58 | 1,00 | 1,13 | 1,77 | 1,79 |
| AREA 3 | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 3,96 | 1,11 | 1,50 | 2,38 | 1,00 | 2,76 | 1,00 | 1,00 | 2,76 | 1,00 |
| <i>Ufficio David (S3)</i> | 3,44 | 1,11 | 1,33 | 2,32 | 1,00 | 3,01 | 1,00 | 1,17 | 2,58 | 1,00 |
| <i>Lab. Macchine. Controllo Numerico (S2)</i> | 3,61 | 1,11 | 1,33 | 2,44 | 1,00 | 3,16 | 1,00 | 1,17 | 2,71 | 1,00 |
| <i>Macchinari (S1)</i> | 3,95 | 1,11 | 1,50 | 2,37 | 1,00 | 1,69 | 1,00 | 1,00 | 1,69 | 1,00 |
| AREA 4 | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 6,25 | 1,11 | 1,50 | 2,45 | 1,53 | 2,28 | 1,00 | 1,25 | 1,61 | 1,13 |
| <i>Stanza di Pulizia</i> | 20,50 | 1,11 | 1,50 | 12,31 | 1,00 | 2,48 | 1,00 | 1,00 | 2,48 | 1,00 |
| <i>Ufficio A. Ruvvio (S1)</i> | 10,02 | 1,11 | 1,33 | 2,20 | 3,08 | 2,80 | 1,00 | 1,17 | 1,58 | 1,52 |
| <i>Lab. Impianti Elettrici (S2)</i> | 10,61 | 1,11 | 1,27 | 2,45 | 3,08 | 3,01 | 1,00 | 1,13 | 1,75 | 1,52 |
| AREA 5 | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 3,66 | 1,11 | 1,50 | 2,20 | 1,00 | 2,21 | 1,00 | 1,38 | 1,60 | 1,00 |
| AREA 6/8 | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 4,42 | 1,11 | 1,50 | 2,55 | 1,04 | 2,60 | 1,00 | 1,38 | 1,88 | 1,01 |
| <i>Lab. di Mac. Elet. e Az. Elett. (S2)</i> | 3,70 | 1,11 | 1,27 | 2,63 | 1,00 | 2,12 | 1,00 | 1,13 | 1,87 | 1,00 |
| <i>Lab. Tecnologie Elettriche (S1)</i> | 33,38 | 1,11 | 1,27 | 13,81 | 1,72 | 2,35 | 1,00 | 1,13 | 1,76 | 1,18 |
| AREA 9 | | | | | | | | | | |
| <i>Laboratorio di alte tensioni</i> | 13,01 | 1,11 | 1,27 | 2,72 | 3,40 | 3,39 | 1,00 | 1,13 | 1,93 | 1,55 |
| AREA 10 | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio Biblioteca (SC)</i> | 4,40 | 1,11 | 1,50 | 2,64 | 1,00 | 1,77 | 1,00 | 1,00 | 1,77 | 1,00 |
| <i>Sala lettura Biblioteca (S1)</i> | 4,33 | 1,11 | 1,33 | 2,93 | 1,00 | 2,19 | 1,00 | 1,17 | 1,88 | 1,00 |
| <i>Ufficio Biblioteca (S2)</i> | 3,61 | 1,11 | 1,33 | 2,44 | 1,00 | 2,03 | 1,00 | 1,17 | 1,74 | 1,00 |

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | Progetto | | | | |
|--|---------------|------|------|-------|------|-------------|------|------|-------|------|
| | eL | eL,c | eL,o | eL,es | eL,d | eL | eL,c | eL,o | eL,es | eL,d |
| AREA 11 | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 3,67 | 1,11 | 1,50 | 2,21 | 1,00 | 2,25 | 1,00 | 1,38 | 1,63 | 1,00 |
| Magazzino Biblioteca (S1) | 7,33 | 1,11 | 3,00 | 2,20 | 1,00 | 2,50 | 1,00 | 1,00 | 2,50 | 1,00 |
| AREA 12 | | | | | | | | | | |
| Lab. Misure Elettroniche | 3,55 | 1,11 | 1,27 | 2,53 | 1,00 | 2,03 | 1,00 | 1,13 | 1,79 | 1,00 |
| Z. Circostante | 3,89 | | | 2,77 | | 3,15 | | | 2,78 | |
| Magazzino Lab. Mis. Elettroniche | 7,74 | 1,11 | 3,00 | 2,32 | 1,00 | 2,61 | 1,00 | 1,00 | 2,61 | 1,00 |
| AREA 13 | | | | | | | | | | |
| Bagni uomini | 5,32 | 1,11 | 1,50 | 3,19 | 1,00 | 3,94 | 1,00 | 1,38 | 2,86 | 1,00 |
| Bagni donne | 5,88 | 1,11 | 1,50 | 3,53 | 1,00 | 3,92 | 1,00 | 1,38 | 2,85 | 1,00 |
| AREA 14 | | | | | | | | | | |
| Sala Dottorandi (S1) | 21,51 | 1,11 | 1,27 | 2,63 | 5,81 | 3,65 | 1,00 | 1,13 | 1,87 | 1,72 |
| AREA 15 | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 4,29 | 1,11 | 1,50 | 2,32 | 1,11 | 2,34 | 1,00 | 1,38 | 1,68 | 1,02 |
| AREA 16 | | | | | | | | | | |
| Area di circolazione 1 (SC1) | 27,53 | 1,11 | 1,50 | 2,88 | 5,74 | 3,91 | 1,00 | 1,38 | 1,66 | 1,71 |
| Area di Circolazione. Pulizia (SC2) | 4,91 | 1,11 | 1,50 | 2,95 | 1,00 | 2,75 | 1,00 | 1,00 | 2,75 | 1,00 |
| Deposito, materiali di pulizia (S1) | 9,46 | 1,11 | 3,00 | 2,84 | 1,00 | 2,94 | 1,00 | 1,00 | 2,94 | 1,00 |
| AREA 17 | | | | | | | | | | |
| Aula 39 | 3,83 | 1,11 | 1,27 | 2,72 | 1,00 | 2,19 | 1,00 | 1,13 | 1,93 | 1,00 |
| AREA 18 | | | | | | | | | | |
| Sala riunioni (S1) | 4,00 | 1,11 | 1,40 | 2,58 | 1,00 | 2,19 | 1,00 | 1,20 | 1,83 | 1,00 |
| Centro di calcolo (S2) | 3,78 | 1,11 | 1,27 | 2,69 | 1,00 | 2,16 | 1,00 | 1,13 | 1,91 | 1,00 |
| AREA 19 | | | | | | | | | | |
| Stanza di Stoccaggio. Sala Calcolo | 45,33 | 1,11 | 3,00 | 13,61 | 1,00 | 2,73 | 1,00 | 1,00 | 2,73 | 1,00 |

Tabella #7. 5: Fattori di spesa parziali per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato (Primo Piano)

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | Progetto | | | | |
|---|------------------------------|------|------|---------------|------|----------------------------|------|------|--------------|------|
| | eL | eL,c | eL,o | eL,es | eL,d | eL | eL,c | eL,o | eL,es | eL,d |
| AREA 20 | | | | | | | | | | |
| <i>Area di circolazione della Direzione (SC)</i> | 4,46 | 1,11 | 1,50 | 2,68 | 1,00 | 2,06 | 1,00 | 1,25 | 1,65 | 1,00 |
| <i>Segreteria Didattica, M. Schipani (S1)</i> | 11,85 | 1,11 | 1,33 | 2,39 | 3,35 | 2,31 | 1,00 | 1,17 | 1,47 | 1,35 |
| <i>Ufficio Prof. L. Martirano (S2)</i> | 14,77 | 1,11 | 1,33 | 2,30 | 4,34 | 2,91 | 1,00 | 1,17 | 1,41 | 1,77 |
| <i>Ufficio Presidente del Consiglio d'Area, E. Santini (S3)</i> | 11,72 | 1,11 | 1,33 | 2,57 | 3,08 | 2,80 | 1,00 | 1,17 | 1,58 | 1,52 |
| AREA 21 - Aula 40 | | | | | | | | | | |
| <i>Parte Centrale Parte Posteriore Lavagna</i> | 84,75 20,05 | 1,11 | 1,27 | 10,37 2,45 | 5,81 | 4,00 4,22 | 1,00 | 1,13 | 2,05 2,16 | 1,72 |
| AREA 22 | | | | | | | | | | |
| <i>Scale ed area di circolazione</i> | 4,79 | 1,11 | 1,50 | 2,88 | 1,00 | 1,86 | 1,00 | 1,38 | 1,35 | 1,00 |
| <i>Ufficio prof. R. Araneo (S1)</i> | 7,40 | 1,11 | 1,33 | 2,32 | 2,15 | 2,10 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,26 |
| <i>Ufficio prof. G. Parise (S2)</i> | 4,75 | 1,11 | 1,33 | 2,60 | 1,23 | 1,72 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,04 |
| AREA 23 | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 3,67 | 1,11 | 1,50 | 2,21 | 1,00 | 1,86 | 1,00 | 1,38 | 1,35 | 1,00 |
| <i>Ufficio annesso alla Segreteria Didattica (S1)</i> | 8,68 | 1,11 | 1,33 | 2,20 | 2,67 | 2,83 | 1,00 | 1,17 | 1,94 | 1,25 |
| <i>Ufficio Prof. A. Tamburrano (S2)</i> | 6,75 | 1,11 | 1,33 | 2,39 | 1,91 | 1,94 | 1,00 | 1,17 | 1,47 | 1,14 |
| <i>Ufficio Prof. R. D'Alessio (S3)</i> | 31,75 | 1,11 | 3,00 | 2,55 | 3,75 | 7,32 | 1,00 | 2,00 | 2,24 | 1,63 |
| AREA 27 | | | | | | | | | | |
| <i>Ufficio Segreteria Amministrativo, V. Bifaretti (S1)</i> | 8,44 | 1,11 | 1,33 | 2,32 | 2,45 | 2,22 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,33 |
| <i>Ufficio Prof. F. Maradei (S2)</i> | 11,08 | 1,11 | 1,33 | 2,88 | 2,60 | 2,28 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,37 |
| <i>Ufficio Prof. F. Giulii Capponi (S3)</i> | 10,11 | 1,11 | 1,33 | 2,88 | 2,37 | 2,19 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,32 |

| <i>Locale Destinazione d'uso</i> | <i>Stato attuale</i> | | | | | <i>Progetto</i> | | | | |
|--|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| | <i>eL</i> | <i>eL,c</i> | <i>eL,o</i> | <i>eL,es</i> | <i>eL,d</i> | <i>eL</i> | <i>eL,c</i> | <i>eL,o</i> | <i>eL,es</i> | <i>eL,d</i> |
| AREA 28 | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 4,24 | 1,11 | 1,50 | 2,55 | 1,00 | 2,15 | 1,00 | 1,38 | 1,56 | 1,00 |
| <i>Ufficio Prof. U. Grasselli (S1)</i> | 5,74 | 1,11 | 1,33 | 2,23 | 1,74 | 1,85 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,11 |
| <i>Ufficio Prof. S. Sangiovanni (S2)</i> | 7,11 | 1,11 | 1,33 | 2,88 | 1,67 | 1,83 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,10 |
| AREA 29 | | | | | | | | | | |
| <i>Ufficio Prof. F. Gatta (S1)</i> | 3,63 | 1,11 | 1,33 | 2,45 | 1,00 | 1,76 | 1,00 | 1,17 | 1,51 | 1,00 |
| <i>Ufficio Prof. F. Crescimbeni e Prof. F. Caricchi (S2)</i> | 3,50 | 1,11 | 1,29 | 2,45 | 1,00 | 1,72 | 1,00 | 1,14 | 1,51 | 1,00 |
| <i>Ufficio Prof. M. Pompili (S3)</i> | 4,87 | 1,11 | 1,33 | 3,29 | 1,00 | 2,12 | 1,00 | 1,17 | 1,81 | 1,00 |
| AREA 30 | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 3,67 | 1,11 | 1,50 | 2,21 | 1,00 | 1,86 | 1,00 | 1,38 | 1,35 | 1,00 |
| AREA 31 | | | | | | | | | | |
| <i>Ufficio Prof. M. S. Sarto (S1)</i> | 6,02 | 1,11 | 1,33 | 2,87 | 1,42 | 2,02 | 1,00 | 1,17 | 1,58 | 1,10 |
| AREA 32 | | | | | | | | | | |
| <i>Ufficio Prof. S. Celozzi (S1)</i> | 11,73 | 1,11 | 1,33 | 2,58 | 3,08 | 2,80 | 1,00 | 1,17 | 1,58 | 1,52 |
| <i>Ufficio Prof. L. Podesta (S2)</i> | 11,17 | 1,11 | 1,33 | 2,45 | 3,08 | 2,67 | 1,00 | 1,17 | 1,51 | 1,52 |
| AREA 33 | | | | | | | | | | |
| <i>Ufficio prof. G. Lovat (S1)</i> | 4,26 | 1,11 | 1,33 | 2,88 | 1,00 | 1,66 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,00 |
| <i>Ufficio prof. M. D'Amore e prof. M. Feliziani (S2)</i> | 3,49 | 1,11 | 1,29 | 2,45 | 1,00 | 1,72 | 1,00 | 1,14 | 1,50 | 1,00 |
| AREA 34 | | | | | | | | | | |
| <i>Bagni Uomini (B1)</i> | 66,82 | 1,11 | 3,00 | 2,73 | 7,35 | 7,57 | 1,00 | 2,00 | 1,94 | 1,95 |
| <i>Bagni Donne (B2)</i> | 7,96 | 1,11 | 3,00 | 2,39 | 1,00 | 2,11 | 1,00 | 1,00 | 2,11 | 1,00 |
| <i>Ufficio Prof. C. Mazzetti di Pietralata (S1)</i> | 11,46 | 1,11 | 1,33 | 2,52 | 3,08 | 2,74 | 1,00 | 1,17 | 1,54 | 1,52 |

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | Progetto | | | | |
|---|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| | eL | eL,c | eL,o | eL,es | eL,d | eL | eL,c | eL,o | eL,es | eL,d |
| AREA 35 | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 3,98 | 1,11 | 1,50 | 2,39 | 1,00 | 2,02 | 1,00 | 1,38 | 1,47 | 1,00 |
| AREA 36 | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 3,66 | 1,11 | 1,50 | 2,20 | 1,00 | 1,86 | 1,00 | 1,38 | 1,35 | 1,00 |
| Ufficio Prof. M. C. Falvo (S1) | 7,84 | 1,11 | 1,33 | 2,96 | 1,79 | 1,91 | 1,00 | 1,17 | 1,47 | 1,12 |
| Ufficio Prof. S. Lauria (S2) | 7,25 | 1,11 | 1,33 | 2,75 | 1,78 | 1,91 | 1,00 | 1,17 | 1,47 | 1,12 |
| AREA 37 | | | | | | | | | | |
| Corridoio 1 (SC) | 3,66 | 1,11 | 1,50 | 2,20 | 1,00 | 1,86 | 1,00 | 1,38 | 1,35 | 1,00 |
| AREA 38 | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. A. Geri (S1) | 3,93 | 1,11 | 1,33 | 2,39 | 1,11 | 1,74 | 1,00 | 1,17 | 1,47 | 1,02 |
| Ufficio Prof. A. Capasso (S2) | 11,46 | 1,11 | 1,33 | 2,52 | 3,08 | 2,74 | 1,00 | 1,17 | 1,54 | 1,52 |
| AREA 39 | | | | | | | | | | |
| Scale ed area di circolazione | 16,44 | 1,11 | 1,50 | 2,96 | 3,33 | 2,72 | 1,00 | 1,38 | 1,47 | 1,35 |
| AREA 40 | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. A. G. D'Aldia e prof. G. Bellis (S1) | 16,32 | 1,11 | 1,29 | 2,59 | 4,42 | 2,91 | 1,00 | 1,14 | 1,43 | 1,79 |
| Ufficio Prof. C. Boccaletti (S2) | 15,21 | 1,11 | 1,33 | 2,32 | 4,42 | 2,97 | 1,00 | 1,17 | 1,43 | 1,79 |
| AREA 41 | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. R. Lamedica | 18,28 | 1,11 | 1,33 | 2,79 | 4,42 | 3,21 | 1,00 | 1,17 | 1,54 | 1,79 |

Tabella #7. 6: Indicatori dell'efficienza energetica per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato (Piano Terra)

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | | | | | Progetto | | | | | | | | |
|---|---------------|------------|---------------|--------|---------------|------------|---------------|------------|---------------------------|---------------|------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|------------|---------------------------|
| | EPL [W/lm] | Class e | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Class e | EPG [W/lm] | Class e | LENI [KWh/ m2.anno] | EPL [W/lm] | Class e | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Classe | EPG [W/lm] | Class e | LENI [KWh/ m2.anno] |
| AREA 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Area d'ingresso (SC) | 0,0262 | A | 0,03614 | A | 1,000 | G | 0,03614 | D | 33,60 | 0,020 | A+ | 0,021 | A+ | 0,640 | C | 0,0135 | A | 10,84 |
| Portineria (S1) | 0,03111 | A | 0,05427 | C | 0,800 | E | 0,04342 | E | 35,41 | 0,024 | A | 0,028 | A | 0,313 | A | 0,0087 | A | 10,48 |
| Lab. di Calcolo Didattico (S2) | 0,02818 | A | 0,06372 | E | 0,950 | F | 0,06054 | E | 53,05 | 0,022 | A+ | 0,023 | A+ | 0,257 | A | 0,0060 | A | 7,24 |
| AREA 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,04267 | B | 0,12283 | G | 0,600 | C | 0,0737 | F | 36,92 | 0,057 | B | 0,071 | E | 0,360 | A | 0,0255 | B | 10,22 |
| Ufficio Tec. Lab. David (S3) | 0,02818 | A | 0,04681 | B | 0,800 | E | 0,03745 | D | 48,95 | 0,031 | A+ | 0,024 | A+ | 0,630 | D | 0,0148 | A | 17,78 |
| Lab. Macchine. Controllo Numerico (S2) | 0,051 | D | 0,13564 | G | 0,800 | E | 0,10852 | G | 65,14 | 0,031 | A+ | 0,023 | A+ | 0,630 | D | 0,0148 | A | 17,74 |
| Macchinari (S1) | 0,02987 | B | 0,06958 | E | 0,600 | C | 0,04175 | E | 21,62 | 0,023 | A | 0,023 | A+ | 0,360 | A | 0,0082 | A | 6,54 |
| AREA 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,04748 | C | 0,12009 | G | 0,600 | C | 0,07205 | F | 36,04 | 0,033 | A | 0,047 | B | 0,337 | A | 0,0160 | B | 6,38 |
| Stanza di Pulizia | 0,15723 | G | 0,21322 | G | 0,600 | C | 0,12793 | G | 36,50 | 0,031 | A | 0,035 | A | 0,360 | A | 0,0126 | A | 10,10 |
| Ufficio A. Ruvvio (S1) | 0,02818 | A | 0,03813 | B | 0,800 | E | 0,03051 | C | 26,26 | 0,022 | A+ | 0,028 | A | 0,315 | A | 0,0087 | A | 10,41 |
| Lab. Impianti Elettrici (S2) | 0,0262 | A | 0,05384 | C | 0,950 | F | 0,05115 | E | 25,01 | 0,020 | A+ | 0,022 | A+ | 0,478 | B | 0,0106 | A | 12,68 |
| AREA 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,04267 | B | 0,05756 | D | 0,600 | C | 0,03453 | D | 21,31 | 0,033 | A | 0,045 | B | 0,495 | B | 0,0221 | B | 8,86 |
| AREA 6/8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,04267 | B | 0,10773 | G | 0,600 | C | 0,06464 | F | 18,35 | 0,033 | A | 0,058 | D | 0,438 | B | 0,0253 | B | 10,11 |
| Lab. di Macchine Elettriche e Azionamenti Elettrici | 0,02103 | A+ | 0,03132 | A | 0,950 | F | 0,02976 | C | 36,79 | 0,016 | A+ | 0,025 | A | 0,765 | E | 0,0195 | B | 12,57 |
| Lab. Tecnologie Elettriche (S1) | 0,13021 | G | 0,34616 | G | 0,950 | F | 0,32885 | G | 57,88 | 0,018 | A+ | 0,019 | A+ | 0,510 | B | 0,0098 | A | 11,74 |
| AREA 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Laboratorio di alte tensioni | 0,01659 | A+ | 0,02322 | A+ | 0,950 | F | 0,02206 | B | 30,06 | 0,013 | A+ | 0,017 | A+ | 0,493 | B | 0,0082 | A+ | 9,83 |
| AREA 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio Biblioteca (SC) | 0,04748 | C | 0,09634 | G | 0,600 | C | 0,05781 | E | 51,11 | 0,033 | A | 0,067 | E | 0,360 | A | 0,0241 | B | 9,66 |
| Sala lettura Biblioteca (S1) | 0,02915 | A | 0,04554 | B | 0,800 | E | 0,03643 | D | 44,48 | 0,020 | A+ | 0,023 | A+ | 0,630 | D | 0,0147 | A | 17,65 |
| Ufficio Biblioteca (S2) | 0,02448 | A | 0,04892 | B | 0,800 | E | 0,03914 | D | 28,02 | 0,019 | A+ | 0,022 | A+ | 0,630 | D | 0,0139 | A | 16,68 |

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | | | | | Progetto | | | | | | | | | |
|--|---------------|------------|---------------|--------|---------------|------------|---------------|------------|---------------------------------------|---------------|------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|------------|---------------------------------------|--|
| | EPL [W/lm] | Class e | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Class e | EPG [W/lm] | Class e | LENI [kWh/ m ² anno] | EPL [W/lm] | Class e | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Classe | EPG [W/lm] | Class e | LENI [kWh/ m ² anno] | |
| AREA 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 0,04267 | B | 0,05942 | E | 0,600 | C | 0,03565 | D | 14,55 | 0,033 | A | 0,061 | E | 0,495 | B | 0,0302 | C | 12,09 | |
| <i>Magazzino (S1)</i> | 0,04267 | B | 0,36923 | G | 0,300 | A | 0,11077 | G | 24,26 | 0,046 | C | 0,094 | G | 0,090 | A+ | 0,0085 | A | 6,80 | |
| AREA 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Lab. Misure Elettroniche</i> | 0,02745 | A | 0,05852 | E | 0,950 | F | 0,01972 | B | 62,98 | 0,024 | A | 0,017 | A+ | 0,765 | E | 0,0131 | A | 11,43 | |
| <i>Magazzino Lab. Mis. Elettr.</i> | 0,04267 | B | 0,03617 | A | 0,300 | A | 0,01085 | A | 6,00 | 0,047 | A | 0,035 | C | 0,090 | A+ | 0,0031 | A+ | 1,25 | |
| AREA 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Bagni uomini</i> | 0,02723 | A | 0,04278 | B | 0,600 | C | 0,02567 | B | 50,79 | 0,024 | A | 0,024 | A+ | 0,495 | B | 0,0121 | A | 9,66 | |
| <i>Bagni donne</i> | 0,03637 | B | 0,14671 | G | 0,600 | C | 0,08803 | G | 16,16 | 0,029 | A | 0,031 | A | 0,495 | B | 0,0154 | A | 12,30 | |
| AREA 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Sala Dottorandi (S1)</i> | 0,01697 | A+ | 0,02296 | A+ | 0,950 | F | 0,02182 | B | 42,92 | 0,013 | A+ | 0,018 | A+ | 0,632 | C | 0,0113 | A | 13,53 | |
| AREA 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | 0,04267 | B | 0,06305 | E | 0,600 | C | 0,03783 | D | 16,49 | 0,033 | A | 0,035 | A | 0,409 | A | 0,0142 | A | 5,66 | |
| AREA 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Area di circolazione 1 (SC1)</i> | 0,03858 | B | 0,04601 | B | 0,600 | C | 0,02761 | B | 12,70 | 0,024 | A | 0,027 | A | 0,150 | A+ | 0,0040 | A+ | 1,60 | |
| <i>Area di Circolazione. Pulizia (SC2)</i> | 0,05291 | D | 0,0917 | G | 0,600 | C | 0,05502 | E | 16,84 | 0,047 | C | 0,065 | E | 0,360 | A | 0,0233 | B | 9,32 | |
| <i>Deposito, materiali di pulizia (S1)</i> | 0,2381 | G | 0,98285 | G | 0,300 | A | 0,29485 | G | 16,84 | 0,047 | C | 0,065 | E | 0,090 | A+ | 0,0058 | A+ | 2,33 | |
| AREA 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Aula 39</i> | 0,02196 | A+ | 0,02132 | A+ | 0,950 | F | 0,02025 | B | 55,25 | 0,020 | A+ | 0,017 | A+ | 0,765 | E | 0,0133 | A | 16,00 | |
| AREA 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Sala riunioni (S1)</i> | 0,02018 | A+ | 0,0346 | A | 0,700 | E | 0,02422 | B | 26,27 | 0,015 | A+ | 0,016 | A+ | 0,540 | B | 0,0085 | A | 10,21 | |
| <i>Centro di calcolo (S2)</i> | 0,02018 | A+ | 0,0484 | B | 0,950 | F | 0,04598 | E | 58,56 | 0,015 | A+ | 0,018 | A+ | 0,765 | E | 0,0139 | A | 16,63 | |
| AREA 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Stanza di Stoccaggio</i> | 0,1462 | G | 0,05128 | C | 0,300 | A | 0,01539 | A | 6,06 | 0,029 | A | 0,031 | A | 0,090 | A+ | 0,0028 | A+ | 1,12 | |

Tabella #7. 7: Indicatori dell'efficienza energetica per lo stato attuale e per il sistema di illuminazione progettato (Primo Piano)

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | | | | Progetto | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------------------|
| | EPL [W/lm] | Classe | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Classe | EPG [W/lm] | Classe | LENI [kWh/ m2.anno] | EPL [W/lm] | Classe | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Classe | EPG [W/lm] | Classe | LENI [kWh/ m2.anno] |
| AREA 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Area di circolazione della Direzione (SC) | 0,035 | B | 0,057 | D | 0,600 | C | 0,0341 | D | 13,51 | 0,027 | A | 0,028 | A | 0,450 | B | 0,0128 | A | 5,10 |
| Segreteria Didattica, M. Schipani (S1) | 0,035 | B | 0,028 | A | 0,800 | E | 0,0227 | B | 25,70 | 0,027 | A | 0,040 | A | 0,191 | A+ | 0,0077 | A+ | 9,28 |
| Ufficio Prof. L. Martirano (S2) | 0,021 | A+ | 0,024 | A+ | 0,800 | E | 0,0190 | B | 27,92 | 0,019 | A+ | 0,029 | A+ | 0,259 | A+ | 0,0076 | A+ | 9,07 |
| Ufficio Presidente del Consiglio d'Area, E. Santini (S3) | 0,023 | A+ | 0,031 | A | 0,800 | E | 0,0251 | B | 17,37 | 0,018 | A+ | 0,023 | A+ | 0,315 | A | 0,0072 | A+ | 8,61 |
| AREA 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aula 40 | 0,038 | B | 0,046 | B | 0,950 | F | 0,0435 | E | 86,42 | 0,017 | A+ | 0,015 | A+ | 0,287 | A | 0,0044 | A+ | 5,23 |
| AREA 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scale ed area di circolazione | 0,056 | E | 0,112 | G | 0,600 | C | 0,0673 | F | 19,26 | 0,033 | A | 0,051 | C | 0,495 | B | 0,0254 | B | 15,24 |
| Ufficio prof. R. Araneo (S1) | 0,035 | B | 0,053 | C | 0,800 | E | 0,0424 | E | 35,83 | 0,027 | A | 0,028 | A | 0,506 | B | 0,0143 | A | 17,13 |
| Ufficio prof. G. Parise (S2) | 0,029 | A | 0,022 | A+ | 0,800 | E | 0,0175 | B | 27,43 | 0,020 | A+ | 0,021 | A+ | 0,411 | A | 0,0084 | A | 10,13 |
| AREA 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,035 | B | 0,221 | G | 0,600 | C | 0,1323 | G | 28,34 | 0,027 | A | 0,059 | A | 0,495 | B | 0,0294 | A | 11,78 |
| Ufficio annesso alla Segreteria Didattica (S1) | 0,026 | A | 0,052 | C | 0,800 | E | 0,0419 | E | 42,74 | 0,029 | A | 0,041 | A | 0,306 | A+ | 0,0126 | A+ | 15,09 |
| Ufficio Prof. A. Tamburrano (S2) | 0,043 | B | 0,055 | D | 0,800 | E | 0,0442 | E | 32,35 | 0,033 | A | 0,034 | A | 0,337 | A | 0,0115 | A | 13,74 |
| Ufficio Prof. R. D'Alessio (S3) | 0,024 | A | 0,046 | B | 0,300 | A | 0,0137 | A | 14,95 | 0,027 | A | 0,029 | A | 0,076 | A+ | 0,0022 | A+ | 2,61 |
| AREA 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ufficio Segreteria Amministrativa, V. Bifaretti (S1) | 0,031 | A | 0,075 | F | 0,800 | E | 0,0603 | E | 45,15 | 0,024 | A | 0,024 | A+ | 0,259 | A+ | 0,0061 | A+ | 7,35 |
| Ufficio Prof. F. Maradei (S2) | 0,039 | B | 0,049 | B | 0,800 | E | 0,0391 | D | 46,89 | 0,024 | A | 0,025 | A | 0,259 | A+ | 0,0064 | A+ | 7,63 |
| Ufficio Prof. F. Giullii Capponi (S3) | 0,039 | B | 0,071 | E | 0,800 | E | 0,0565 | E | 44,06 | 0,024 | A | 0,023 | A+ | 0,259 | A+ | 0,0060 | A+ | 7,17 |

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | | | | | Progetto | | | | | | | | |
|--|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------------------------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------------------------------|
| | EPL [W/lm] | Classe | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Classe | EPG [W/lm] | Classe | LENI [kWh/ m ² anno] | EPL [W/lm] | Classe | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Classe | EPG [W/lm] | Classe | LENI [kWh/ m ² anno] |
| AREA 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,043 | B | 0,078 | F | 0,600 | C | 0,0466 | E | 33,12 | 0,033 | A | 0,046 | B | 0,495 | B | 0,0229 | B | 9,18 |
| Ufficio Prof. U. Grasselli (S1) | 0,022 | A+ | 0,026 | A | 0,800 | E | 0,0206 | B | 56,85 | 0,018 | A+ | 0,019 | A+ | 0,411 | A | 0,0080 | A | 9,54 |
| Ufficio Prof. S. Sangiovanni (S2) | 0,029 | A | 0,049 | B | 0,678 | E | 0,0329 | C | 58,92 | 0,018 | A+ | 0,018 | A+ | 0,411 | A | 0,0075 | A | 8,99 |
| AREA 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. F. Gatta (S1) | 0,026 | A | 0,039 | B | 0,800 | E | 0,0312 | C | 26,60 | 0,020 | A+ | 0,021 | A+ | 0,630 | D | 0,0132 | A | 15,83 |
| Ufficio Prof. F. Crescimbeni e Prof. F. Silvani (S2) | 0,024 | A | 0,054 | C | 0,900 | F | 0,0483 | E | 57,31 | 0,019 | A+ | 0,020 | A+ | 0,720 | E | 0,0144 | A | 17,32 |
| Ufficio Prof. M. Pompili (S3) | 0,027 | A | 0,048 | B | 0,800 | E | 0,0387 | D | 88,56 | 0,019 | A+ | 0,022 | A+ | 0,630 | D | 0,0137 | A | 16,47 |
| AREA 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,043 | B | 0,048 | B | 0,600 | C | 0,0291 | C | 27,21 | 0,033 | A | 0,038 | B | 0,495 | B | 0,0188 | B | 7,54 |
| AREA 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. M. S. Sarto (S1) | 0,024 | A | 0,025 | A | 0,800 | E | 0,0201 | B | 39,40 | 0,017 | A+ | 0,017 | A+ | 0,444 | B | 0,0077 | A | 9,18 |
| AREA 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. S. Celozzi (S1) | 0,028 | A | 0,034 | A | 0,766 | E | 0,0264 | B | 29,88 | 0,022 | A+ | 0,022 | A+ | 0,315 | A | 0,0069 | A+ | 8,25 |
| Ufficio Prof. L. Podesta (S2) | 0,031 | A | 0,020 | A+ | 0,766 | E | 0,0155 | A | 21,94 | 0,024 | A | 0,018 | A+ | 0,210 | A | 0,0038 | A | 4,54 |
| AREA 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ufficio prof. G. Lovat (S1) | 0,025 | A | 0,021 | A+ | 0,800 | E | 0,0171 | B | 45,71 | 0,015 | A+ | 0,024 | A+ | 0,630 | D | 0,0151 | A | 18,14 |
| Ufficio prof. M. D'Amore e prof. M. Feliziani (S2) | 0,020 | A+ | 0,029 | A | 0,900 | F | 0,0258 | B | 35,19 | 0,015 | A+ | 0,022 | A+ | 0,720 | E | 0,0158 | A | 18,91 |
| AREA 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bagni Uomini (B1) | 0,043 | B | 0,045 | B | 0,300 | A | 0,0134 | A | 8,53 | 0,039 | B | 0,055 | B | 0,180 | A+ | 0,0098 | A | 7,87 |
| Bagni Donne (B2) | 0,043 | B | 0,165 | G | 0,300 | A | 0,0495 | E | 26,37 | 0,047 | C | 0,101 | C | 0,090 | A+ | 0,0091 | A+ | 7,30 |
| Ufficio Prof. C. Mazzetti di Pietralata (S1) | 0,026 | A | 0,027 | A | 0,800 | E | 0,0212 | B | 19,27 | 0,020 | A+ | 0,020 | A+ | 0,315 | A | 0,0064 | A+ | 7,64 |
| AREA 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,028 | A | 0,048 | B | 0,600 | C | 0,0289 | C | 21,51 | 0,022 | A+ | 0,023 | A+ | 0,495 | B | 0,0112 | A | 4,47 |
| AREA 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio (SC) | 0,035 | B | 0,083 | F | 0,600 | C | 0,0496 | E | 13,51 | 0,027 | A | 0,028 | A | 0,495 | B | 0,0140 | A | 5,62 |
| Ufficio Prof. M. C. Falvo (S1) | 0,039 | B | 0,048 | B | 0,800 | E | 0,0385 | D | 47,81 | 0,024 | A | 0,038 | A | 0,484 | A | 0,0182 | A | 21,84 |
| Ufficio Prof. S. Lauria (S2) | 0,036 | B | 0,061 | E | 0,800 | E | 0,0491 | E | 47,50 | 0,024 | A | 0,037 | A | 0,484 | A | 0,0181 | A | 21,70 |

| Locale Destinazione d'uso | Stato attuale | | | | | | | | | Progetto | | | | | | | | | |
|---|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------------------------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------------------------------|--|
| | EPL [W/lm] | Classe | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Classe | EPG [W/lm] | Classe | LENI [kWh/ m ² anno] | EPL [W/lm] | Classe | EPS [W/lm] | Classe | EPC [p.u.] | Classe | EPG [W/lm] | Classe | LENI [kWh/ m ² anno] | |
| AREA 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corridoio 1 (SC) | 0,035 | B | 0,048 | B | 0,600 | C | 0,0291 | C | 15,18 | 0,027 | A | 0,032 | A | 0,495 | B | 0,0158 | A | 6,31 | |
| AREA 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. A. Geri (S1) | 0,031 | A | 0,029 | A | 0,800 | E | 0,0228 | B | 24,98 | 0,024 | B | 0,026 | A | 0,190 | A+ | 0,0050 | A+ | 5,97 | |
| Ufficio Prof. A. Capasso (S2) | 0,028 | A | 0,020 | A+ | 0,800 | E | 0,0156 | A | 28,64 | 0,022 | A | 0,023 | A+ | 0,315 | A | 0,0071 | A | 8,52 | |
| AREA 39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scale ed area di circolazione | 0,024 | A | 0,025 | A | 0,600 | C | 0,0148 | A | 10,76 | 0,015 | A+ | 0,015 | A+ | 0,150 | A+ | 0,0023 | A+ | 1,36 | |
| AREA 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. A. G. D'Aldia e prof. G. Bellis (S1) | 0,029 | A | 0,038 | B | 0,900 | F | 0,0341 | D | 71,94 | 0,020 | A+ | 0,031 | A+ | 0,436 | A | 0,0137 | A+ | 16,46 | |
| Ufficio Prof. C. Boccaletti (S2) | 0,026 | A | 0,043 | B | 0,800 | E | 0,0342 | D | 41,93 | 0,020 | A+ | 0,033 | A+ | 0,382 | A+ | 0,0126 | A+ | 15,11 | |
| AREA 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ufficio Prof. R. Lamedica | 0,026 | A | 0,039 | B | 0,800 | E | 0,0312 | C | 41,94 | 0,018 | A+ | 0,018 | A+ | 0,257 | A+ | 0,0047 | A+ | 5,66 | |

Come mostrato dalle tabelle #7.4 e #7.5, i fattori di spesa risultano ridotti dopo gli interventi proposti, come descritto nella sezione 2.5 non è possibile ad oggi arrivare ad un valore pari all'unità, come il caso del fattore di spesa parziale per il sistema di illuminazione artificiale ($e_{L,es}$) dato che i fattori considerati come riferimento sono troppo ideali, per citare un esempio, l'efficienza di riferimento è 140lm/W che costituisce un valore troppo elevata per le lampade attualmente in commercio. In ogni modo si percepisce un vantaggio da parte degli interventi in quanto l'energia utilizzata si approssima a quella di cui si ha bisogno, che vuol dire, un minore spreco di energia, quindi diventa più efficiente il sistema.

Innanzitutto, è impiegata la formula che lega l'indicatore dell'efficienza energetica globale (EP_G) con l'indice di prestazione energetica ($LENI$), per la verifica dei valori calcolati ricorrendo alla procedura presentata nella normativa UNI EN 15193 [4].

Per ricavare la classe energetica del impianto d'illuminazione sia per lo stato attuale che per il sistema di illuminazione progettato, si effettua una media pesata sull'illuminamento dell' EP_G risultando i valori esposti nella tabella #7.8.

Tabella #7. 8: Valori di EPG e classe energetica

| <i>EPG [W/m]</i> | <i>Stato attuale</i> | <i>Progetto</i> |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| <i>Piano Terra</i> | 0,0422 | 0,0120 |
| <i>Primo Piano</i> | 0,0301 | 0,0097 |
| <i>Intero edificio</i> | <i>0,0367</i> | <i>0,0110</i> |
| <i>Classe</i> | <i>D</i> | <i>A</i> |

Con questo confronto, resta dimostrato come gli interventi mirano ad una ottimizzazione del sistema di illuminazione incrementando la sua classe energetica dalla Classe D verso A.

7.2 Calcoli di convenienza economica – finanziaria nella valutazione dell'investimento

Dall'analisi tecnica eseguita in questa fase preliminare si deducono le seguenti variabili di comparazione:

L'intervento proposto mira ad un abbattimento minimo del **56%** dell'energia utilizzata con un valore di **30096,31 kWh/anno** derivato da solo la sostituzione delle lampade attuali con altre a tecnologia LED equivalenti.

Inoltre con un controllo dell'illuminazione in funzione dall'occupazione e con una regolazione del flusso luminoso in funzione della disponibilità di luce diurna si attende un ulteriore risparmio dell'energia elettrica consumata che si ammonta al **73%** con **18047,49 MWh/anno** di energia prelevata dalla rete.

Di seguito si illustra lo scenario tecnico economico dello stato di progetto individuato nell'opera di ammodernamento ed efficientamento dell'impianto di illuminazione del Dipartimento di Ingegneria:

Tabella #7. 9: Analisi tecnico economico dello stato di progetto

| Variabili | Stato attuale | Progetto | % Rid. |
|---|----------------------|-----------------|---------------|
| <i>Potenza Totale Impianto di Illuminazione</i> | 20943,70 | 9901,83 | 53% |
| <i>Energia Totale (solo la sostituzione di lampade)</i> | 67882,81 | 30096,31 | 56% |
| <i>Energia Totale con controllo dell'illuminazione</i> | -- | 18047,49 | 73% |

La valutazione della prestazione energetica dell'impianto rende possibile determinare il risparmio energetico dovuto alla sostituzione delle lampade e all'implementazione di sistemi di controllo dell'illuminazione.

Tabella #7. 10: Analisi energetica dell'investimento

| Piano | LENI stato att. [kWh/m2.anno] | LENI progetto [kWh/m2.anno] | ΔLENI [kWh/m2.anno] | Area [m2] | KWh annui Risparmiati | Risparmio Energetico [%] |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------|--|---|
| P.T. | 35,53 | 11,12 | 24,41 | 952,20 | 23241,72 | 68,70 |
| P.P. | 42,30 | 9,26 | 33,04 | 804,90 | 26593,59 | 78,10 |
| Intero Edificio | 38,63 | 10,27 | 28,36 | 1757,10 | 49835,32 | 73,41 |

Le tabelle #7.11 e #7.12 mostrano sia il costo dell'investimento complessivo per stanza che per ogni componente presente in essa. Si è fatta in questa maniera per discriminare i costi e permettere di conseguenza diminuire l'investimento rigettando quelle stanze dove non sia del tutto necessario l'automazione.

Tabella #7. 11: Investimento – Piano Terra

| Stanza / Quadro | Componente (Tipo) | Costo [€] | Qtà. | Costo totale [€] | Costo complessivo [€] |
|---|-----------------------------------|-----------|------|------------------|-----------------------|
| AREA 1 | | | | | |
| <i>Area d'ingresso (SC)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 1123,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| <i>Portineria (S1)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 1012,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| <i>Lab. di Calcolo Didattico (S2)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 3 | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 1 | 68,00 | 68,00 |
| <i>Ufficio Tec. Lab. David (S3)</i> | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 2 | 136,00 | 525,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| <i>Lab. Macchine. Controllo Numerico (S2)</i> | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 3 | 204,00 | 593,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| <i>Macchinari (S1)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 88,00 | 2 | 176,00 | 176,00 |
| AREA 4 | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| <i>Stanza di Pulizia</i> | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 1 | 68,00 | 167,00 |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| <i>Ufficio A. Ruvvio (S1)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| <i>Lab. Impianti Elettrici (S2)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 5 | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 88,00 | 4 | 352,00 | 1031,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 6/8 | | | | | |
| <i>Corridoio (SC)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 6 | 666,00 | 1734,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 3 | 870,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 2 | 198,00 | |
| <i>Lab. di Mac. Elet. e Az. Elett. (S2)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 16 | 1776,00 | 3523,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 5 | 1450,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 3 | 297,00 | |
| <i>Lab. Tecnologie Elettriche (S1)</i> | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |

Componenti KNX stanza

| Stanza / Quadro | Componente (Tipo) | Costo [€] | Qtà. | Costo totale [€] | Costo complessivo [€] | |
|--|---|-------------------------------------|--------|------------------|-----------------------|---------|
| AREA 9 | | | | | | |
| Laboratorio di alte tensioni | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 10 | 1110,00 | 1888,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 2 | 198,00 | | |
| AREA 10 | | | | | | |
| Corridoio Biblioteca (SC) | Lampade (Pannello 40W) | 88,00 | 1 | 88,00 | 88,00 | |
| Sala lettura Biblioteca (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 8 | 888,00 | 1277,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| Ufficio Biblioteca (S2) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| AREA 11 | | | | | | |
| Corridoio (SC) | Lampade (Pannello 40W) | 88,00 | 2 | 176,00 | 466,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | | |
| Magazzino Biblioteca (S1) | Lampade (NLBAG1240 36W) | 117,00 | 12 | 1404,00 | 1503,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| AREA 12 | | | | | | |
| Lab. Misure Elettroniche | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 4 | 272,00 | 1215,00 | |
| | Lampade (Pannello 40W) | 88,00 | 3 | 264,00 | | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| Magazzino Lab. Mis. Elettroniche | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 3 | 204,00 | 303,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| AREA 13 | | | | | | |
| Bagni uomini | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 4 | 272,00 | 371,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| Bagni donne | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 2 | 136,00 | 235,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| AREA 14 | | | | | | |
| Sala Dottorandi (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| AREA 15 | | | | | | |
| Corridoio (SC) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 1123,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| AREA 16 | | | | | | |
| Area di circolazione 1 (SC1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 1 | 111,00 | 111,00 | |
| Area di Circolazione. Pulizia (SC2) | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 1 | 68,00 | 167,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| Deposito, materiali di pulizia (S1) | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 1 | 68,00 | 68,00 | |
| AREA 17 | | | | | | |
| Aula 39 | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 6 | 666,00 | 1388,00 | |
| | Lampade (NLBAG1240 36W) | 117,00 | 2 | 234,00 | | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 2 | 198,00 | | |
| AREA 18 | | | | | | |
| Sala riunioni (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| Centro di calcolo (S2) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 7 | 777,00 | 1166,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| AREA 19 | | | | | | |
| Stanza di Stoccaggio della sala Calcolo | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 4 | 272,00 | 371,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | | |
| COSTI INIZIALI (DISPOSITIVI STANZE) | | | | | 27468,00 | |
| Componenti KNX stanza | Q1 | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 965,00 |
| | | Attuatore, 8 canali (SA/S 8.10.2.1) | 421,00 | 1 | 421,00 | |
| | Q2 | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 544,00 |
| | | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 1060,00 |
| | Q3 | Attuatore, 12 canali (SA/S 12.10.1) | 516,00 | 1 | 516,00 | |
| | Q4 | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 965,00 |
| | | Attuatore, 8 canali (SA/S 8.10.2.1) | 421,00 | 1 | 421,00 | |
| COSTI INIZIALI (DISPOSITIVI QUADRI) | | | | | 3534,00 | |
| Comp KNX | Cavo per bus ABB I-bus® KNX, 4 fili - (YCY11 2x2x0,8) | 2,32 | 179,2 | 415,74 | 415,74 | |
| | Tubi e Ferramenta | 2,32*5% | - | 20,79 | 20,79 | |
| | Alimentatore di linea da 640mA (SV/S 30.640.5) | 374,00 | 2 | 748,00 | 748,00 | |
| | Accoppiatore di linea (LK/S 4.2) | 391,00 | 2 | 782,00 | 782,00 | |
| COSTI INIZIALI (ALTRI DISPOSITIVI) | | | | | 1966,53 | |
| COSTI DISPOSITIVI (Piano Terra) | | | | | 32968,53 | |

Tabella #7. 12: Investimento – Piano Terra

| Stanza / Quadro | Componente (Tipo) | Costo [€] | Qtà. | Costo totale [€] | Costo complessivo [€] |
|--|-----------------------------------|-----------|------|------------------|-----------------------|
| AREA 20 | | | | | |
| Area di circolazione della Direzione (SC) | Lampade (Pamelo 40W) | 88,00 | 1 | 88,00 | 477,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Segreteria Didattica, M. Schipani (S1) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. L. Martirano (S2) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Presidente del Consiglio d'Area, E. Santini (S3) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 5 | 555,00 | 944,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 21 | | | | | |
| Aula 40 (Parte Centrale e Posteriore) | Lampade (NLB AG1550 46W) | 182,00 | 12 | 2184,00 | 66762,00 |
| | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 2 | 198,00 | |
| AREA 22 | | | | | |
| Scale ed area di circolazione | Lampade (Pamelo 40W) | 88,00 | 2 | 176,00 | 176,00 |
| Ufficio prof. R. Araneo (S1) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio prof. G. Parise (S2) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 23 | | | | | |
| Corridoio (SC) | Lampade (Pamelo 40W) | 88,00 | 2 | 176,00 | 565,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio ammesso alla Segreteria Didattica (S1) | Lampade (NLB AG0620 18W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. A. Tamburrano (S2) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. R. D'Alessio (S3) | Lampade (NLB AG0620 18W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 623,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | | 1 | 0,00 | |
| AREA 27 | | | | | |
| Ufficio Segreteria Amministrativa, V. Bifaretti (S1) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. F. Maradei (S2) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. F. Giulii Capponi (S3) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 28 | | | | | |
| Corridoio (SC) | Lampade (Pamelo 40W) | 88,00 | 2 | 176,00 | 855,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. U. Grasselli (S1) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. S. Sangiovanni (S2) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 29 | | | | | |
| Ufficio Prof. F. Gatta (S1) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. F. Crescimbeni e Prof. F. Caricchi (S2) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. M. Pompili (S3) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 30 | | | | | |
| Corridoio (SC) | Lampade (Pamelo 40W) | 88,00 | 2 | 176,00 | 565,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 31 | | | | | |
| Ufficio Prof. M. S. Sarto (S1) | Lampade (Pamelo 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |

Componenti KNX sanza

| Stanza / Quadro | Componente (Tipo) | Costo [€] | Qtà. | Costo totale [€] | Costo complessivo [€] |
|---|-------------------------------------|-----------|------|------------------|-----------------------|
| AREA 32 | | | | | |
| Ufficio Prof. S. Celozzi (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. L. Podesta (S2) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 33 | | | | | |
| Ufficio prof. G. Lovat (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio prof. M. D'Amore e prof. M. Felziani (S2) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 34 | | | | | |
| Bagni Uomini (B1) | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 5 | 340,00 | 340,00 |
| Bagni Donne (B2) | Lampade (NLBAG0620 18W) | 68,00 | 2 | 136,00 | 235,00 |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. C. Mazzetti di Pietralata (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 35 | | | | | |
| Corridoio (SC) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 901,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 2 | 580,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 36 | | | | | |
| Corridoio (SC) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 1 | 111,00 | 500,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. M. C. Falvo (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. S. Lauria (S2) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 37 | | | | | |
| Corridoio (SC) | Lampade (Pannello 40W) | 88,00 | 2 | 176,00 | 466,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| AREA 38 | | | | | |
| Ufficio Prof. A. Geri (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 2 | 222,00 | 611,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. A. Capasso (S2) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 39 | | | | | |
| Scale ed area di circolazione | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 1 | 111,00 | 500,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 40 | | | | | |
| Ufficio Prof. A. G. D'Aldia e prof. G. Bellis (S1) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| Ufficio Prof. C. Boccaletti (S2) | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 3 | 333,00 | 722,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| AREA 41 | | | | | |
| Ufficio Prof. R. Lamedica | Lampade (Pannello 40W) | 111,00 | 4 | 444,00 | 833,00 |
| | Rilevatore Presenza (IR 6131/11) | 290,00 | 1 | 290,00 | |
| | Interfaccia Universale (US/S 4.2) | 99,00 | 1 | 99,00 | |
| COSTI INIZIALI (DISPOSITIVI STANZE) | | | | | |
| Q1 | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 544,00 |
| Q2 | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 544,00 |
| Q3 | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 544,00 |
| Q4 | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 965,00 |
| | Attuatore, 8 canali (SA/S 8.10.2.1) | 421,00 | 1 | 421,00 | |
| Q5 | Gateway DALI, 8 canali (DG/S 8.1) | 544,00 | 1 | 544,00 | 544,00 |
| COSTI INIZIALI (DISPOSITIVI QUADRI) | | | | | |
| Cavo per bus ABB i-bus® KNX, 4 fili - (YCY11 2x2x0,8) | | 2,32 | 112 | 259,84 | 259,84 |
| Tubi e Ferramenta | | 2,32*5% | - | 12,99 | 12,99 |
| Alimentatore di linea da 640mA (SV/S 30.640.5) | | 374,00 | 2 | 748,00 | 748,00 |
| Accoppiatore di linea (LK/S 4.2) | | 391,00 | 2 | 782,00 | 782,00 |
| COSTI INIZIALI (ALTRI DISPOSITIVI) | | | | | |
| 1802,83 | | | | | |
| COSTI DISPOSITIVI (Primo Piano) | | | | | 98457,83 |

Componenti KNX stanza

Componenti KNX quadro

Tramite il computo metrico dell'impianto domotico è possibile determinare il valore totale dell'investimento iniziale riportato nella tabella #7.13. Per costi di installazione è assunto un costo di 30€/h, considerando che una stanza si gestisce in un giorno, cioè, in 8 ore lavorative.

Tabella #7. 13: Investimento totale dell'impianto con prezzi di listino

| | <i>Costi Dispositivi</i> | | | <i>Costi d'installazione</i> | <i>Inv. Totale</i> |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|
| | <i>Dispositivi Stanze</i> | <i>Dispositivi Quadri</i> | <i>Altri Dispositivi</i> | | |
| <i>Pano Terra</i> | 27468,00 | 3534,00 | 1966,53 | 8400,00 | 32968,53 |
| <i>Primo Piano</i> | 93514,00 | 3141,00 | 1802,83 | 9840,00 | 98457,83 |
| <i>Intero Edificio</i> | 120982,00 | 6675,00 | 3769,36 | 18240,00 | 149666,36 |

Considerando lo sconto offerto dalla azienda F.C. Automazioni pari fino al 50% su ogni dispositivo, l'investimento viene ridotto come mostrato dalla tabella #7.14.

Tabella #7. 14: Investimento totale dell'impianto con lo sconto del 50% su ogni dispositivo

| | <i>Costi Dispositivi</i> | | | <i>Costi d'installazione</i> | <i>Inv. Totale</i> |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|
| | <i>Dispositivi Stanze</i> | <i>Dispositivi Quadri</i> | <i>Altri Dispositivi</i> | | |
| <i>Pano Terra</i> | 13734,00 | 1767,00 | 983,27 | 8400,00 | 16484,27 |
| <i>Primo Piano</i> | 46757,00 | 1570,50 | 901,42 | 9840,00 | 49228,92 |
| <i>Intero Edificio</i> | 60491,00 | 3337,50 | 1884,68 | 18240,00 | 83953,18 |

Pensando in solo la sostituzione delle lampade, l'investimento corrispondente si mostra dalla tabella #7.15.

Tabella #7. 15: Investimento totale dell'impianto con la sola sostituzione delle lampade

| | <i>Inv. Iniziale (sost. Lamp.)</i> | <i>Costi d'installazione</i> | <i>Inv. Totale</i> |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| <i>Pano Terra</i> | 14273,00 | 8400,00 | 22673,00 |
| <i>Primo Piano</i> | 14395,00 | 9840,00 | 24235,00 |
| <i>Intero Edificio</i> | 28668,00 | 18240,00 | 46908,00 |

A questo punto è possibile fare l'analisi economico finanziaria per capire se termine della vita dell'investimento, i flussi di cassa attualizzati prodotti avranno dato un guadagno superiore alla spesa dell'investimento iniziale e quindi la realizzazione dell'impianto è economicamente conveniente.

Si concretizza nel valutare la convenienza dell'investimento proposto attraverso il metodo del REA (Risultato Economico Attualizzato), detto anche VAN (Valore Attuale Netto).

Considerando come dati per il progetto (automazione inclusa):

- Un investimento iniziale di: *46908,00*
- Un tasso di inflazione (f) annuale pari a *0,00*
- Un tasso di interesse (i) annuale pari a *0,03*;
- Un costo di capitale CC (%) annuale pari a *0,3*;

L'indicatore utilizzato per valutare il tempo di ritorno dell'investimento è il Payback Time, un parametro che indica in quanti anni si ripaga una soluzione con un costo iniziale più alto ma più efficiente in termini di costi di gestione. Dalla tabella sottostante si vede come l'investimento sia effettivamente conveniente perché si ha un ammortamento del suo costo in sette anni e un guadagno al termine di vita di circa 94526,05 euro per il caso di automazione inclusa, mentre per la sola sostituzione delle lampade si ha un ammortamento in cinque anni e un guadagno di circa 123131,24 euro. Nel lungo termine l'impianto risulta decisamente più redditizio.

Essendo il TIR un indicatore molto usato in alcune circostanze a complemento del VAN, questo viene calcolato risultando superiore all'interesse di calcolo assunto per entrambi casi, vuol dire che, l'investimento proposto sarebbe conveniente rispetto all'attuale remunerazione del capitale, e quindi conviene eseguire l'intervento.

Si riportano i flussi di cassa e il VAN dell'investimento in una proiezione di 15 anni, corrispondente al periodo di calcolo, con un funzionamento previsionale delle lampade a LED e un sistema di controllo illuminazione in tabella #7.16 e grafico #7.2. Con un funzionamento previsionale delle lampade a LED in tabella #7.17 e grafico #7.3.

Tabella #7. 16: Analisi finanziaria di un investimento (Automazione inclusa)

| Anno | FC non attualizzato [€] | Fattore di sconto | FC attualizzato [€] | VAN [€] | TIR | Pay Back [anni] |
|------|----------------------------|----------------------|------------------------|------------|-----|--------------------|
| 0 | -83953,18 | 1,00 | -83953,18 | -83953,18 | 12% | 7 |
| 1 | 14950,59 | 0,97 | 14515,14 | -69438,04 | | |
| 2 | 14950,59 | 0,94 | 14092,37 | -55345,67 | | |
| 3 | 14950,59 | 0,92 | 13681,91 | -41663,76 | | |
| 4 | 14950,59 | 0,89 | 13283,41 | -28380,35 | | |
| 5 | 14950,59 | 0,86 | 12896,51 | -15483,84 | | |
| 6 | 14950,59 | 0,84 | 12520,89 | -2962,95 | | |
| 7 | 14950,59 | 0,81 | 12156,20 | 9193,25 | | |
| 8 | 14950,59 | 0,79 | 11802,14 | 20995,39 | | |
| 9 | 14950,59 | 0,77 | 11458,39 | 32453,78 | | |
| 10 | 14950,59 | 0,74 | 11124,65 | 43578,42 | | |
| 11 | 14950,59 | 0,72 | 10800,63 | 54379,05 | | |
| 12 | 14950,59 | 0,70 | 10486,05 | 64865,10 | | |
| 13 | 14950,59 | 0,68 | 10180,63 | 75045,72 | | |
| 14 | 14950,59 | 0,66 | 9884,10 | 84929,83 | | |
| 15 | 14950,59 | 0,64 | 9596,22 | 94526,05 | | |

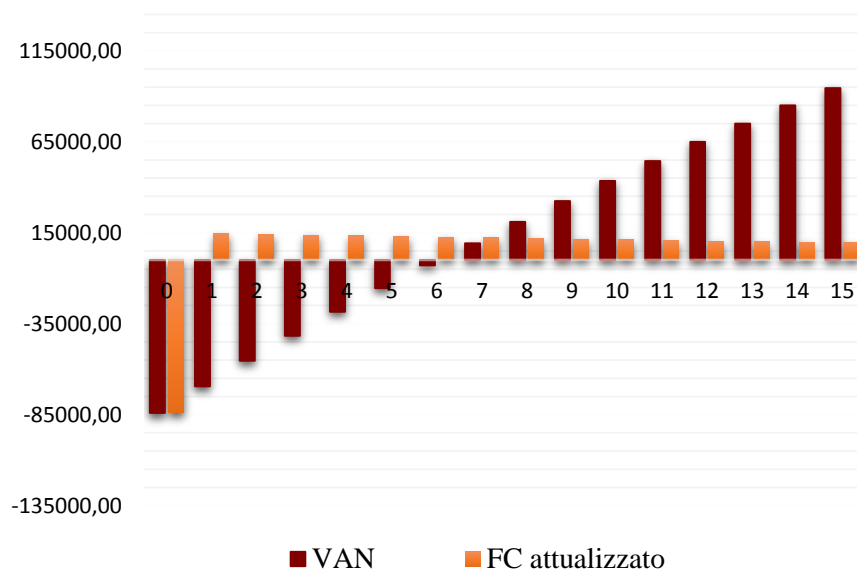


Grafico #7. 2: Crescita del Valore Attuale Netto (VAN) – (Automazione inclusa)

Tabella #7. 17: Analisi finanziaria di un investimento (Sola sostituzione di lampade)

| Anno | FC non attualizzato [€] | Fattore di sconto | FC attualizzato [€] | VAN [€] | TIR | Pay Back [anni] |
|------|----------------------------|----------------------|------------------------|------------|-----|--------------------|
| 0 | -46908,00 | 1,00 | -46908,00 | -46908,00 | 23% | 5 |
| 1 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | -35572,05 | | |
| 2 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | -24236,10 | | |
| 3 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | -12900,15 | | |
| 4 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | -1564,20 | | |
| 5 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 9771,75 | | |
| 6 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 21107,70 | | |
| 7 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 32443,65 | | |
| 8 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 43779,59 | | |
| 9 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 55115,54 | | |
| 10 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 66451,49 | | |
| 11 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 77787,44 | | |
| 12 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 89123,39 | | |
| 13 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 100459,34 | | |
| 14 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 111795,29 | | |
| 15 | 11335,95 | 1,00 | 11335,95 | 123131,24 | | |

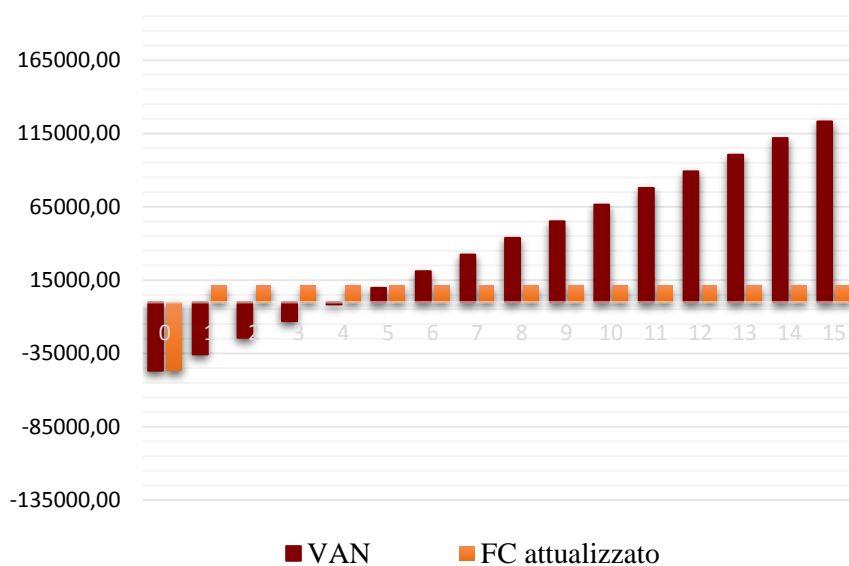


Grafico #7. 3: Crescita del Valore Attuale Netto (VAN) – (sola sostituzione di lampade)

Dall'analisi fatta, si deduce che l'implementazione dell'automazione solo per l'impianto di illuminazione risulta conveniente energeticamente ma non economicamente, dove alla fine di vita del progetto, all'anno 15, si ottiene un guadagno maggiore per l'investimento dedicato a solo la sostituzione delle lampade, vale a dire, **123131,24€** contro **94526,05€**.

La tabella #7.9 mostra un consumo attuale annuo per illuminazione pari a 67882,81 kWh, se si considera l'illuminazione come approssimativamente il 20% del totale dei consumi risulta un consumo di energia termica di 271531,232kWh. Pensando all'utilizzo dell'automazione, dalla tabella #2.22 (fondata sulla normativa UNI EN 15232 [3]) si evidenzia un risparmio di energia termica di circa 33% al passare da una classe D (Senza Automazione) ad una classe A (Alta efficienza), che si traduce in un risparmio economico di circa **26881,59197€/anno**. Considerando come risparmio economico totale la somma del corrispondente nell'ambito dell'illuminazione ed il corrispondente nell'ambito del riscaldamento/raffrescamento è possibile esporre la vera convenienza economica dell'investimento implementando un sistema automatizzato.

Tabella #7. 18: Analisi finanziaria di un investimento (Considerando il risparmio di energia termica)

| Anno | FC non attualizzato [€] | Fattore di sconto | FC attualizzato [€] | VAN [€] | TIR | Pay Back [anni] |
|------|----------------------------|----------------------|------------------------|------------|-----|--------------------|
| 0 | -83953,18 | 1,00 | -83953,18 | -83953,18 | 45% | 3 |
| 1 | 41832,19 | 0,97 | 40613,77 | -43339,41 | | |
| 2 | 41832,19 | 0,94 | 39430,85 | -3908,56 | | |
| 3 | 41832,19 | 0,92 | 38282,38 | 34373,82 | | |
| 4 | 41832,19 | 0,89 | 37167,36 | 71541,17 | | |
| 5 | 41832,19 | 0,86 | 36084,81 | 107625,98 | | |
| 6 | 41832,19 | 0,84 | 35033,80 | 142659,78 | | |
| 7 | 41832,19 | 0,81 | 34013,40 | 176673,18 | | |
| 8 | 41832,19 | 0,79 | 33022,71 | 209695,89 | | |
| 9 | 41832,19 | 0,77 | 32060,89 | 241756,78 | | |
| 10 | 41832,19 | 0,74 | 31127,08 | 272883,85 | | |
| 11 | 41832,19 | 0,72 | 30220,46 | 303104,32 | | |
| 12 | 41832,19 | 0,70 | 29340,25 | 332444,57 | | |
| 13 | 41832,19 | 0,68 | 28485,68 | 360930,25 | | |
| 14 | 41832,19 | 0,66 | 27656,00 | 388586,26 | | |
| 15 | 41832,19 | 0,64 | 26850,49 | 415436,75 | | |

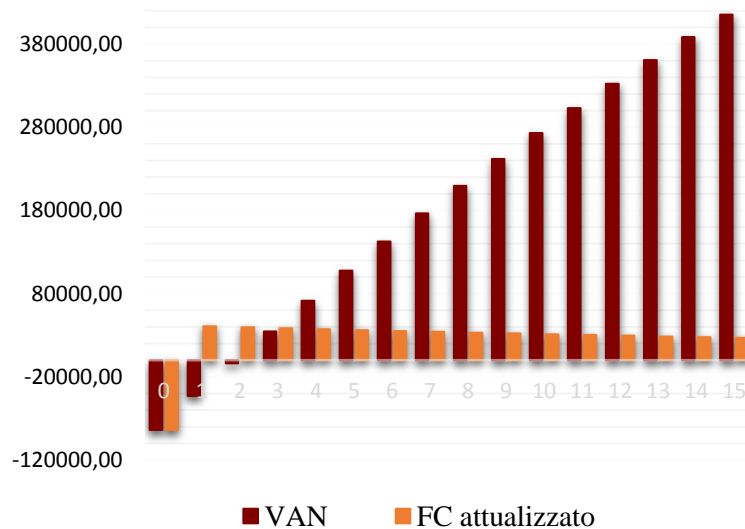


Grafico #7. 4: Crescita del Valore Attuale Netto (VAN) – (Considerando il risparmio di energia termica)

Di conseguenza è del tutto possibile effettuare un efficientamento dell'impianto di riscaldamento e/o climatizzazione, oltre all'impianto di illuminazione utilizzando la stessa componentistica sensoriale progettata per l'illuminazione, dove si ottiene un investimento che si ammortizza nel periodo di 2 a 3 anni. Con un guadagno al termine di vita del progetto di **415436,75€**.

CAPITOLO VIII

STIMA DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DI UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

Le analisi fatti all'attuale sistema di illuminazione del Dipartimento permettono di stabilire un possibile metodo per valutare la prestazione energetica di qualsiasi tipo di edificio in riguardo all'impianto di illuminazione.

8.1 Valutazione quantitativa

È realizzata a completamento del lavoro la tabella #8.1, costituita dai principali parametri su cui l'indicatore numerico di efficienza (LENI) viene influenzato. Rappresentando sia subparametri che parametri influenzatori e influenzati è attribuito un coefficiente che misura il peso che ognuno ha sul consumo di energia elettrica.

La tabella #8.2 evidenzia l'effetto che ha la riduzione o aumento del parametro sul LENI e la percentuale di variazione, se sottolinea che una riduzione del LENI indica un aumento dell'efficienza energetica (e di conseguenza una riduzione dei consumi).

Si conclude che tra i parametri più influenti che possono essere modificati con la finalità di migliorare la prestazione energetica, figurano l'efficienza luminosa della lampada e il tipo di controllo. Pertanto, è consigliabile l'utilizzo di lampade altamente efficienti e di elevata tecnologia (ad oggi il LED) e l'implementazione di sistemi di controllo automatizzati.

Per il caso di realizzazione di un nuovo impianto illuminotecnico si suggerisce l'adozione di colori chiari per le pareti e soffitto, riflettono più adeguatamente la luce. Questo consentirà di avere un'illuminazione artificiale meno intensa e di ridurre gli sprechi.

Tabella #8. 1: Parametri di influenza sull'indicatore numerico di efficienza (LENI)

N: Norma 15193 A: Articolo

$$LENI = \frac{F_K \cdot P_N \cdot t_D}{1000 \cdot A} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot anno} \right] \quad F_K = F_0 F_C \cdot [p \cdot \tau \cdot (F_D - 1) + 1] \quad \delta_T = \frac{E \cdot (1 + p_A)}{\varepsilon_L \cdot CU \cdot MF}$$

| Sub-parametro di influenza | Sigla | Sub-parametro Influenziato | Rif. | Parametro di influenza | Sigla | Parametro influenzato | Sigla | Peso (Norma) | Peso (Articolo) | | |
|--|--------------------------------------|--|-------|--|-------------------------------------|---|------------|--------------|-----------------|------|-------|
| Periodo di funzionamento notturno [h] | t_N | Rapporto del periodo di funzionamento diurno e totale τ | N / A | - | - | Periodo di funzionamento dell'edificio | t_0 | 0,1 | 0,09 | | |
| Periodo di funzionamento diurno [h] | t_D | | | | | | | | | | |
| Perdite percentuali nei reattori degli apparecchi utilizzati [W] | p_A | | N / A | Densità teorica di potenza [W/m ²] | δ_T | Potenza installata di tutti gli apparecchi illuminanti, compresi gli alimentatori | P_N | 0,01 | 0,007 | | |
| Valore di illuminamento richiesto per la zona [lux] | E | | N / A | Densità teorica di potenza [W/m ²] Fattori di disponibilità e controllo della luce diurna | δ_T $F_{d,s}$ e $F_{c,s}$ | Potenza installata di tutti gli apparecchi illuminanti, compresi gli alimentatori [W] Fattore di dipendenza dalla luce diurna | | F_d | 0,1 | 0,09 | |
| Efficienza luminosa delle lampade utilizzate [lm/W] | ε_L | | N / A | Densità teorica di potenza [W/m ²] | δ_T | Potenza installata di tutti gli apparecchi illuminanti, compresi gli alimentatori [W] | | | 0,1 | 0,09 | |
| Colori delle pareti | Chiaro | CU | N / A | Densità teorica di potenza [W/m ²] | δ_T | Potenza installata di tutti gli apparecchi illuminanti, compresi gli alimentatori [W] | | 0,055 | 0,05 | | |
| | Medio | | | | | | | | | | |
| | Scuro | | | | | | | | | | |
| Fattore di decadimento del flusso luminoso della lampada | LLMF | Fattore di manutenzione MF | N / A | Densità teorica di potenza [W/m ²] | δ_T | Potenza installata di tutti gli apparecchi illuminanti, compresi gli alimentatori [W] | F_C | 0,1 | 0,09 | | |
| Fattore di mortalità delle lampade | LSF | | | | | | | | | | |
| Fattore di manutenzione dell'apparecchio | LMF | | | | | | | | | | |
| Fattore di manutenzione delle superfici del locale | RSMF | | | | | | | | | | |
| Profondità del locale | a | | N / A | Indice del Locale Superficie totale della zona | i A | Densità teorica di potenza [W/m ²] Potenza installata di tutti gli apparecchi illuminanti, compresi gli alimentatori [W] | δ_T | 0,1 | 0,09 | | |
| Larghezza del locale | b | | N / A | | | | | P_N | 0,1 | 0,09 | |
| Fattore di assenza [adim] | F_A | | N / A | - | - | Fattore di dipendenza dell'occupazione | F_0 | 0,07 | 0,09 | | |
| Fattore di controllo [adim] | Manual On/Off | F_{Oc} | N / A | - | - | | | - | - | 0,03 | 0,007 |
| | Manual On / Auto Off | | | | | | | | | | |
| | Auto On / Off | | | | | | | | | | |
| Fattore di uscita [adim] | F_E | | A | - | - | - | - | - | 0,03 | | |
| Tempo di ritardo [min] | t_R | | A | Fattore di ritardo | F_R | - | - | - | 0,03 | | |
| Fattore di attenuazione | FCT | | A | - | - | Fattore d'illuminamento costante | F_c | - | 0,016 | | |
| Area lorda delle aperture nella facciata | A_c | Indice di trasparenza I_T | N / A | (Fattore di luce diurna) | Dc | Fattore di dipendenza dalla luce diurna | F_d | 0,055 | 0,05 | | |
| Altezza dell'ostruzione esterna frontale (h) | Fattore per ostruzioni lineari IO,OB | Indice di ostruzione I_O | N / A | | | | | 0,03 | 0,03 | | |
| Distanza con l'ostruzione esterna frontale (L) | | | N / A | 0,03 | 0,03 | | | | | | |
| Latitud del luogo | γ | | N / A | Fattore di disponibilità di luce diurna | $F_{d,s}$ | | | 0,02 | 0,03 | | |
| Tipo di controllo | Manuale | | N / A | Fattore di controllo della luce diurna | $F_{c,s}$ | | | 0,1 | 0,09 | | |
| | Automatico | | | | | | | | | | |
| LENI (Lighting energy numeric indicator) | | | | | | | | 1 | 1 | | |

Tabella #8. 2: Rilevazione del peso dei parametri di influenza

| Parametro di influenza | Modifica sul riferimento | Variazione sul LENI (%) (Norma) | Variazione sul LENI (%) (Articolo) | Nota | Peso sul LENI (Norma) | Peso sul LENI (Articolo) |
|--|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|--------------------------|
| Periodo di funzionamento dell'edificio (to) | to/2 | 50 | 50 | Riduzione | 0,1 | 0,09 |
| | to/4 | 75 | 75 | Riduzione | | |
| Perdite percentuali nei reattori degli apparecchi | Pa/2 | 2,4 | 2,4 | Riduzione | 0,01 | 0,007 |
| | Pa/4 | 2,8 | 2,8 | Riduzione | | |
| Valore di illuminamento richiesto per la zona (E) | E/2 | 50 | 50 | Riduzione | 0,1 | 0,09 |
| | E/4 | 75 | 75 | Riduzione | | |
| Efficienza luminosa delle lampade utilizzate (ϵ_L) | $\epsilon_L * 2$ | 50 | 50 | Riduzione | 0,1 | 0,09 |
| | $\epsilon_L * 4$ | 75 | 75 | Riduzione | | |
| Colori delle pareti | Chiaro | rif | rif | - | rif | rif |
| | Medio | 15 | 10 | Aumento | 0,055 | 0,05 |
| | Scuro | 32,5 | 30 | Aumento | | |
| Fattore di manutenzione (MF) | MF/2 | 61 | 55,5 | Aumento | 0,1 | 0,09 |
| | MF*1,1 | 28,6 | 11,11 | Riduzione | | |
| | MF*1,2 (ideale) | 35,45 | 20 | Riduzione | | |
| Dimensioni del locale, Profondità e Lunghezza (a) e (b) | a/2 | 50 | 50 | Aumento | 0,1 | 0,09 |
| | b/2 | 50 | 50 | Aumento | 0,1 | 0,09 |
| Fattore di assenza (Fa) | Fa*2 | 35 | 45 | Riduzione | 0,07 | 0,09 |
| Fattore di controllo (Foc) | Manual On/Off | 16,2 | 2,2 | Aumento | 0,03 | 0,007 |
| | Manual On / Auto Off | 12 | 1,95 | Riduzione | | |
| | Auto On / Off | rif | rif | - | | |
| Fattore di uscita (Fe) | Fe*2 | - | 10 | Aumento | - | 0,03 |
| Tempo di ritardo (tR) | tR/2 | - | 10 | Riduzione | - | 0,03 |
| Fattore di attenuazione (FCT) | FCT + 0,2 | - | 5 | Aumento | - | 0,016 |
| Area lorda delle aperture nella facciata (Ac) | Ac*2 | 25 | 25 | Riduzione | 0,055 | 0,05 |
| Grandezze rispetto all'ostruzione esterna frontale, Altezza e Distanza | h*2 | 12 | 10 | Aumento | 0,03 | 0,03 |
| | L*2 | 15 | 12 | Riduzione | 0,03 | 0,03 |
| Latitud del luogo (γ) | Athens (0,9* γ) | 5 | 10 | Riduzione | 0,02 | 0,03 |
| Tipo di controllo | Manuale | 40 | 50 | Aumento | 0,1 | 0,09 |
| | Automatico | rif | rif | - | rif | rif |
| LENI (Lighting energy numeric indicator) | | | | | 1 | 1 |

NORMA

| | | |
|------------------------------------|------------------|-----------|
| to,E,EL,MF,a, b, tipo contr. (50%) | Ac, colori (25%) | Ang (5%) |
| FA (35%) | h,L, Foc (15%) | Pa (2,5%) |

| | |
|-------|-------|
| 7*10 | 50% |
| 7 | 35% |
| 2*5,5 | 25% |
| 3*3 | 15% |
| 2 | 5% |
| 1 | 2,50% |

ARTICOLO

| | | |
|--------------------------------------|------------------|----------------|
| to,E,EL,MF,a,b,FA, tipo contr. (50%) | Colori, Ac (25%) | Pa, Foc (2,5%) |
| Fe,tR,FCT,h,L, γ (10%) | FCT (5%) | |

| | |
|-------|-------|
| 8*9 | 50% |
| 2*5 | 25% |
| 5*3 | 10% |
| 1,6 | 5% |
| 2*0,7 | 2,50% |

8.2 Valutazione qualitativa dell'impianto

Basandosi sulla valutazione quantitativa dei fattori che influenzano il LENI, si propone a continuazione un questionario mostrato in figura #7.1, per passare ad una valutazione di tipo qualitativa dell'impianto di illuminazione, con lo scopo di somministrare al progettista uno strumento di raccolta delle informazioni, tale per cui è possibile successivamente effettuare analisi per valutare la bontà energetica dell'impianto, che oltre a tutto, va pesata sul riferimento.

È ulteriormente definito come un insieme strutturato di domande “chiuse” formulate sulla base della prestazione energetica, dove all'intervistato viene richiesto di individuare tra le risposte presentate quella che più si avvicina alla propria posizione. Le domande sono con attribuzione di punteggio, viene assegnato un voto ad ogni risposta elencata, dove il maggior voto è destinato ad una inclinazione verso un uso razionale dell'energia.

Per la realizzazione di questo strumento di rilevazione sono considerati tre aspetti dell'impianto che permettono di fornire informazione e di verificare la ottimizzazione dell'efficienza energetica, i quali sono:

- Locale
- Apparecchio
- Controllo

Il peso assegnato ad ogni fattore di influenza è relazionato con il punteggio della risposta selezionata, con l'obiettivo di ottenere un voto unico che permette successivamente di valutare la bontà energetica dell'impianto, dove gli intervalli di valutazione sono:

$0 \leq Voto < 50$ – *Insufficiente*

$50 \leq Voto < 70$ – *Sufficiente*

$70 \leq Voto \leq 100$ – *Ottimo*

Figura #8. 1: Questionario sulla prestazione energetica

| Sigla / Peso | Domanda | Risposta | Considerazioni | |
|--------------|---|---|--|----------------------|
| Informazione | (to) Tipo di Edificio Le ore di funzionamento annuale dell'edificio sono molto maggiore di 2000 ? | Luoghi scolastici SI | to = 2000 È consigliabile l'utilizzo di lampade efficienti | |
| | (A) Qual è il tipo di locale? È grande il locale? Il locale è stretto o profondo? Le persone che accedono al locale sono sempre le stesse oppure è accessibile al pubblico? A quanto corrisponde il flusso di persone che accedono al locale normalmente? | Aula SI Profondo Accesso al pubblico Moderato | Cosumo di energia maggiore | |
| | (FE) Quante volte escono dal locale gli occupanti generalmente in un'ora? (FA) Porzione di tempo durante il quale l'ambiente risulta non occupato? (MF) Considera che le condizioni normali del locale sono... | Nessuna Corto, minore del 30% Pulito | Le lampade utilizzate hanno un funzionamento continuo nella giornata Cosumo di energia maggiore | |
| | (Ac) Ci sono finestre nel locale? SI | | | |
| | (Fd) Rispondere alle seguenti domande: Quante ci sono? È un piano alto? C'è un edificio di fronte? | Più di 2 SI NO | È un locale luminoso, si dovrebbe optare per un controllo in funzione della luce diurna | |
| | (CU) / 0,05 Come è il colore dei muri? A quanto corrisponde il rendimento ottico dell'apparecchio illuminante? | Chiaro Tra 40 e 70% | Buono | VOTO = 85,00 |
| | (E) / 0,1 UNI EN 12464-1? È previsto un intervallo di pulizia degli apparecchi pari a... | SI Una volta ogni 2 anni | Ottimo Ottimo | VOTO = 100,00 |
| Valutazione | (LMF) / 0,1 Invece quello del locale? (RSMF) / 0,1 Le lampade sono sostituite prima di esaurirsi? (LSF) | Una volta ogni 2 anni Una volta ogni 2 anni Sempre | Ottimo Ottimo Ottimo | VOTO = 100,00 |
| | (FOC) / 0,01 Come avviene l'accensione e lo spegnimento? | Manual On/Off | Migliorabile, anche se è un locale con accesso al pubblico il è flusso moderato, rimane occupato | VOTO = 40,00 |
| | (Fd,c) / 0,1 C'è un controllo in funzione della luce naturale? NO Non deve rispondere alle seguenti domande: Qual è la modalità di controllo? Qual è la tecnica di controllo? Ci sono gruppi di controllo indipendenti? SI Rispondere alle seguenti domande: I gruppi di controllo scelti sono in funzione della luce diurna? | Automatico Dimming NO | Scelta inammissibile, perché è un locale luminoso | VOTO = 0,00 |
| | Rispondere alla seguente domanda: Il layout del gruppo di controllo | S50% | | |
| | (tR) / 0,06 Non deve rispondere alla seguente domanda: Il tempo di ritardo del sensore per lo spegnimento è di? (in minuti) | 5 | Dato che non si esce mai, non c'è un limite nel tR per evitare lampade sempre accese. Possono essere utilizzate anche lampade fluorescenti | VOTO = - |
| | (EL) / 0,1 Che tipo di lampada è installata? | Incandescenza | Scelta inadeguata, consigliabile l'utilizzo di lampade più efficienti | VOTO = 0,00 |
| | (pA) / 0,007 Non deve rispondere alla seguente domanda: Tipo di reattore delle lampade fluorescenti? | Elektronici | Ottimo | VOTO = 100,00 |
| | Valutazione finale = | | | 66,98 |

Per la valutazione delle risposte è impostato nel questionario un campo di domande che servono a fornire informazione da prendere in considerazione prima di penalizzare o meno la risposta.

La logica implementata si basa sulle caratteristiche del locale, del controllo e dell'apparecchio, incrociate però tra di loro. Per il controllo in funzione dall'occupazione del locale è considerato l'utilizzatore, cioè, se accedono al locale sempre le stesse persone, se accesso al pubblico, di quanto è il flusso di persone e più importante la frequenza di uscita dal locale. Nel caso in cui il controllo risultasse automatico, il tempo di ritardo per lo spegnimento è relazionato con la assenza e frequenza di uscita del locale, tale da penalizzare se il tempo impostato è maggiore di quale limite per evitare una continua accensione delle lampade anche in assenza di persone.

Viene individuata la luminosità del locale come primo step per il caso di controllo in funzione della luce diurna, dato che, se la risposta al controllo è negativa non è corretto penalizzare se il locale non è luminoso. Una volta descritto il locale come luminoso o meno, si considera in caso di controllo presente, se il locale è stretto o profondo, se sono presenti gruppi di controllo indipendenti e se sono in funzione della luce diurna, così come la modalità di controllo, se automatico o manuale.

È indiscutibile che le lampade ad incandescenza sono caratterizzate da un'efficienza luminosa modesta e che conviene certamente l'utilizzo della tecnologia LED, ma prima di punire del tutto questa scelta è considerato il tipo e le dimensioni del locale, dato che per depositi dove non si entra mai salvo ad eccezioni, non rappresenta uno spreco di energia considerabile.

La rappresentazione degli indici di bilancio che si è scelto di monitorare attraverso un “indicatore” costituisce una soluzione grafica di impatto immediato, che permette di capire velocemente l’andamento della gestione.

Per citare un esempio, si è valutata la prestazione energetica del aula 40 del Dipartimento, come si può apprezzare dalla figura #7.1 e figura #7.2 per lo stato attuale e dalla figura #7.3 per il sistema di illuminazione progettato.

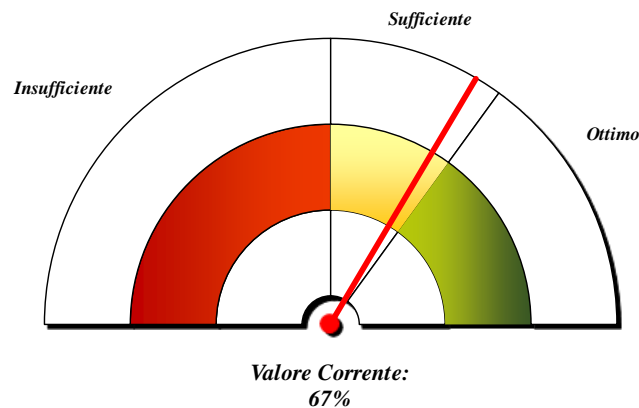


Figura #8. 2: Indicatore di prestazione energetica dell’Aula 40 per lo stato attuale

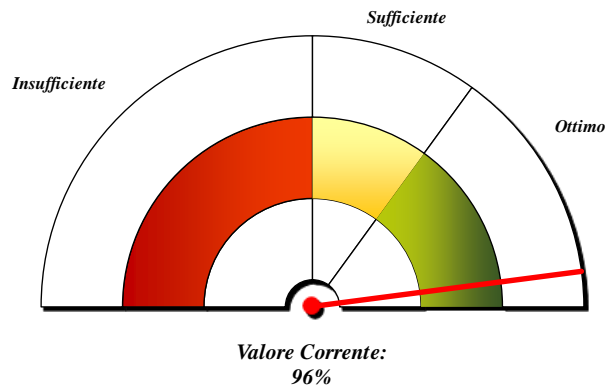


Figura #8. 3: Indicatore di prestazione energetica dell’Aula 40 per il sistema di illuminazione progettato

Si vede in confronto dalle figure anteriori come implementando un sistema di controllo funzione dell’occupazione e della luce diurna, e inoltre utilizzando la tecnologia LED per le lampade se riesce ad aumentare la prestazione energetica da un valore pari a 67% che corrisponde ad una valutazione “Sufficiente” fino 96% corrispondente a “Ottimo”.

RACCOMANDAZIONI

L'energia può essere facilmente sprecata se l'illuminazione è inefficiente e questo accade se l'illuminazione viene utilizzata più del necessario o quando la luce viene lasciata accesa nei locali vuoti. È per questo che si consiglia l'implementazione di un sistema di controllo che possa contribuire a risparmiare sui costi operativi, garantendo il giusto livello d'illuminazione per l'attività lavorativa in corso, senza che sia troppo alto.

Una volta adottata l'automazione, può essere interessante implementare come strategia di controllo, la remotizzazione, in maniera tale da applicare un sistema di supervisione e controllo per l'impianto di illuminazione tramite un pacchetto software/hardware che permetta ai system integrator e agli utenti di configurare e personalizzare l'impianto. Attraverso una applicazione scaricabile sullo smartphone o portatile, è possibile comandare l'intero sistema. La strategia consente di ottimizzare l'utilizzo degli impianti avendo a disposizione un sistema di supervisione dello stato di effettivo funzionamento dell'impianto e un sistema di comando remoto delle accensioni e delle regolazioni; consente, inoltre, di introdurre una notevole flessibilità di gestione, molto apprezzata a fronte di mutate esigenze di gestione dell'impianto.

Finalmente oltre all'automazione si accennano alcuni consigli per ridurre gli sprechi, diminuire il proprio impatto ambientale e risparmiare:

- Innanzitutto verificare l'efficienza dell'impianto di illuminazione della stanza e, se necessario, sostituire le vecchie lampadine incandescenti con apparecchi più efficienti oppure puntare sull'illuminazione a Led: tale da ottenere un notevole risparmio di energia elettrica;
- Ricordare di spegnere le luci quando non sono necessarie e privilegiare la luce naturale posizionando pc e scrivanie in corrispondenza delle finestre.

CONCLUSIONI

Durante lo sviluppo della logica di progettazione da implementare, è stata fatta un'analisi, oltre a tutto, in base alla destinazione d'uso della stanza, bisogna infatti considerare l'energia assorbita per il funzionamento dei sistemi di automazione, ammortizzata solo se il locale è utilizzato con continuità, ed è per questo che nelle stanze identificate come magazzino o deposito viene proposta una accensione di tipo manuale e uno spegnimento automatico temporizzato che evita lo spreco di energia in caso di dimentico.

Nelle stanze continuamente occupate, è previsto un controllo dell'occupazione automatico tramite un rilevatore di presenza dotato di un sensore per la ricezione di segnali infrarossi passivi, che è quello adatto per ambienti civili. È importante mettere in evidenza che il sensore scelto corrisponde ad un rilevatore di presenza e non di movimento, dove i sensori sono più sensibile e registrano anche le variazioni minime dell'immagine termica, come la digitazione su una tastiera.

Per i corridoi, lo spegnimento automatico è programmato mantenendo uno scenario a luce ridotta di cortesia pari al 10%, per ragioni di confort. Si evita alle persone di incontrarsi al buio quando tutte le lampade siano spente.

È considerata una funzione integrativa e non sostitutiva dell'automazione, che consiste in una forzatura dell'accensione e dello spegnimento delle lampade, anche se dal sistema progettato, non è necessario un comportamento proattivo della persona, è sempre necessario prevedere la possibilità di accensione/spegnimento manuale mediante pulsanti per sicurezza dell'impianto.

Con lo scopo di garantire una corretta gestione dell'impianto, è considerato un comando di automatico a tutto il dipartimento da un pulsante situato in Portineria tal

che, al termine delle attività didattiche sia garantito un assoluto spegnimento degli apparecchi.

Si sovradimensiona l'impianto circa 10%, in maniera tale da regolarne il flusso luminoso all'inizio dell'progetto per in futuro passare al 100%, questo approccio permette di allungare la vita utile delle lampade.

Si conclude finalmente che gli interventi proposti comportano una migliora nel sistema di illuminazione, dove il consumo viene ridotto del 56% dovuto ai nuovi apparecchi, arrivando ad un 73% con l'implementazione dell'automazione. Di conseguenza, è possibile passare da una classe energetica D verso una classe A, che vuol dire, rendere l'impianto di illuminazione più efficiente.

Per giudicare la convenienza di un investimento bisogna però verificare che l'esborso iniziale sia commisurato al risparmio che si riesce ad ottenere. La stima dei payback time ha stabilito che l'intervento più a breve termine è quello di adottare solo la sostituzione delle lampade per quelle più efficienti, che si ripaga in soli 5 anni. Qualche anno in più bisogna aspettare per tutta la progettazione (automazione inclusa) dove l'ammortamento dell'investimento viene in 7 anni visto l'elevato esborso iniziale.

L'investimento affrontato sembra elevato a prima vista, è da considerare però il necessario adeguamento alla normativa di quella stanza dove risulta un illuminamento inferiore a quello richiesto, compensato inoltre, dal fatto che i dispositivi segnalati per lo svolgimento del progetto hanno una doppia funzionalità, nel senso che, sono proposti per l'automazione del impianto di illuminazione ma possono essere utilizzabili anche per automazione dell'impianto di condizionamento.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Normativa, “UNI EN 12464 – Illuminazione dei posti di lavoro”.
- [2] A. Pieri, "Linee guida per sistemi di illuminazione ad alta efficienza".
- [3] Normativa, “UNI EN 15232 - Prestazione energetica degli edifici. Incidenza dell’automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici”.
- [4] Normativa, “UNI EN 15193 - Prestazione energetica degli edifici. Requisiti energetici per illuminazione”.
- [5] "Energy Performance of Buildings: An Useful Procedure to Estimate the Impact of the Lighting Control System," G.Parise, L.Martirano; IEEE Transactions on Industry Application, 2014.
- [6] Normativa, “UNI EN 15217:2007, Prestazione energetica degli edifici - Metodi per esprimere la prestazione energetica e per la certificazione energetica degli edifici”.
- [7] "Energy Performance of Interior Lighting System," *G.Parise, L.Martirano, S.Di Ponio; IEEE Transaction on Industry Application*, vol. 49, no. 6, pp. 2793-2801, 2013.
- [8] Regolamento Delegato (UE) N. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012. “Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell’edilizia, Integrativo la direttiva 2010/31/UE.
- [9] Guida all’analisi costi-benefici dei progetti di investimento, 2003.
- [10] Zumtobel. “Manuale illuminotecnico pratico”.
- [11] Normativa “UNI 10840 – Luci e illuminazione, Locali scolastici, criteri generali per l’illuminazione artificiale e naturale”.
- [12] CIE S015-E (2005), Lighting of work places - outdoor work places (requisiti di illuminamento – come la UNI 12664)
- [13] Normativa in preparazione, "UNI EN 15193_2 - Requisiti energetici per l'illuminazione".

ALLEGATI

[ALLEGATO NO. 1]
[Scheda tecnica del luxmetro]

[ALLEGATO NO. 2]
[Curve fotometriche delle lampade utilizzate]

Check that your lighting is in full compliance with standards

- Measures up to 200,000 lux
- I.E.C. spectral correction and incidence correction
- 2000-count display



PHYSICS *Line*

C.A 811
C.A 813

Lightmeters

Light

| | C.A 811 | C.A 813 |
|--|--------------------------------|--------------------------------|
| Measurement range | 20 to 20 000 Lux | 20 to 200 000 Lux |
| Accuracy (cell + instrument) Incandescent lamp 2856 K Other light sources | ± 3 % + 10 pt ± 18 % + 2 pt | ± 3 % + 10 pt ± 11 % + 2 pt |
| Resolution | 0.01 | |
| Function | Records maximum value | Displays peak value |

- ✓ Hold function
- ✓ Choice of measurement unit Lux / fc
- ✓ Protective shock-proof sheath

Operating conditions:

- Temperature: 0 to +50 °C
- Humidity: <75% RH

Storing conditions:

- Temperature: -20 to +60 °C
- Humidity: <75 % RH

Dimensions: 195 x 60,5 x 38 mm

Mass:

C.A 811 : 214 g,
C.A 813 : 223 g

| To order | |
|--------------------|----------------|
| C.A 811 Lightmeter | P01. 1724. 01Z |
| C.A 813 Lightmeter | P01. 1722. 01Z |

FRANCE
Chauvin Arnoux
190, rue Championnet
75876 PARIS Cedex 18
Tel: +33 1 44 85 44 86
Fax: +33 1 46 27 95 59
export@chauvin-arnoux.fr
www.chauvin-arnoux.fr

UNITED KINGDOM
Chauvin Arnoux Ltd
Waldeck House, Waldeck Road
MAIDENHEAD SL6 8BR
Tel: +44 1628 788 888
Fax: +44 1628 628 099
info@chauvin-arnoux.co.uk
www.chauvin-arnoux.co.uk

LEBANON
Chauvin Arnoux Middle East
P.O. BOX 60-154
1241 2020 JAL EL DIB (BEIRUT)
Tel: +961 1 890 425
Fax: +961 1 890 424
camie@chauvin-arnoux.com
www.chauvin-arnoux.com



Electrical,
Mechanical
Maintenance



Museums,
Libraries,
Archives



Distribution



Food Service
Industry