



**REGIONE
LAZIO**



Programma Operativo Regionale FESR 2014-2020

ASSE PRIORITARIO 4 - ENERGIA SOSTENIBILE E MOBILITÀ

DIREZIONE REGIONALE INFRASTRUTTURE, AMBIENTE E POLITICHE ABITATIVE

DI CONCERTO CON

DIREZIONE REGIONALE

PER LO SVILUPPO ECONOMICO E LE ATTIVITÀ PRODUTTIVE

**CALL FOR PROPOSAL
"ENERGIA SOSTENIBILE 2.0"**

INVESTIRE SUGLI EDIFICI PUBBLICI PER MIGLIORARE LA SOSTENIBILITÀ ECONOMICA ED AMBIENTALE ATTRAVERSO INTERVENTI PER L'EFFICIENZA ENERGETICA E L'INCREMENTO DELL'USO DELLE ENERGIE RINNOVABILI

DIAGNOSI ENERGETICA

DATI EDIFICIO

NOME :

MARCO RINALDI
Cert. N. XPERT-EGE/15/2567
EGE-UNI 11339 | DM 102/2011 Istituto Comprensorio "Concetti Fantappiè"
Settori Civile e Industriale

SITO IN:

COMUNE DI VITERBO

Via Vetulonia, 01100 VT

PROTOCOLLO DOSSIER:

LI-ES2-20160105-2570213



RELAZIONE N°

DE_213

SCALA

-

DATA DI
EMISSIONE

5/05/2017

FILE

213_VITERBO.pdf

AUDITOR : ING. MARCO RINALDI

Ingegnere Industriale A-729 (Ordine Ingegneri di Rieti)

Esperto Gestione Energia

Settore Civile e Industriale XPERT/15/2567 (Accredia)





Sommario

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | PREMESSA..... | 3 |
| 1.1 | Obiettivi e Finalità | 3 |
| 1.2 | Metodologia e Strumenti di Analisi..... | 3 |
| 1.3 | Responsabile della Diagnosi Energetica | 3 |
| 2 | METODOLOGIA DI ANALISI..... | 4 |
| 2.1 | Fasi della Diagnosi..... | 4 |
| 2.2 | FASE 1: Raccolta Dati del sistema Edificio-Impianto | 4 |
| 2.3 | FASE 2: Modellazione del sistema edificio impianto e validazione del modello | 7 |
| 2.4 | FASE 3: Valutazione energetica della struttura mediante confronto con indici di riferimento..... | 11 |
| 2.5 | FASE 4: Individuazione degli interventi di efficientamento..... | 14 |
| 3 | ANALISI DELLO STATO ATTUALE DEL SISTEMA EDIFICIO IMPIANTO | 15 |
| 3.1 | Dati generali..... | 15 |
| 3.2 | Descrizione della struttura | 16 |
| 3.3 | Caratteristiche impiantistiche | 18 |
| 4 | PROFILI DI UTILIZZO E VALUTAZIONE DEL COMFORT | 20 |
| 5 | ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI..... | 21 |
| 6 | INDICE DI CONGRUITA' | 23 |
| 7 | ANALISI DEGLI INDICI DI BENCHMARK | 23 |
| 8 | DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA..... | 25 |
| 8.1 | Interventi impianti | 25 |
| 8.1.1 | Sostituzione della caldaia esistente con caldaie modulari a condensazione..... | 25 |
| 8.1.2 | Installazione di teste termostatiche e adeguamento corpi radianti..... | 27 |
| 8.1.3 | Sostituzione dei corpi illuminanti esistenti con corpi illuminanti LED..... | 28 |
| 8.2 | Interventi involucro edilizio | 30 |
| 8.2.1 | Isolamento termico a cappotto..... | 30 |
| 8.2.2 | Sostituzione infissi..... | 31 |
| 8.3 | Interventi per la produzione di energia da fonti rinnovabili..... | 32 |
| 8.3.1 | Installazione di impianto fotovoltaico | 32 |
| 8.4 | Interventi minori e/o gestionali | 34 |





| | | |
|-------|--|----|
| 8.4.1 | Sistema di monitoraggio dei consumi termici ed elettrici | 34 |
| 8.4.2 | Display da esterno e monitoraggio remoto impianto fotovoltaico | 36 |
| 9 | SINTESI STATO ATTUALE | 37 |
| 9.1 | Caratteristiche Involucro e impianti stato attuale..... | 38 |
| 9.2 | Indici e consumi stato attuale | 39 |
| 10 | SINTESI STATO FUTURO | 40 |
| 10.1 | Interventi di efficientamento principali | 42 |
| 10.2 | Interventi di efficientamento minori..... | 43 |
| 10.3 | Confronto ANTE e POST intervento | 44 |
| 10.4 | Quadro economico di spesa..... | 45 |
| 11 | REVISIONE DIAGNOSI | 47 |
| 11.1 | Interventi eliminati..... | 47 |
| 11.2 | Nuovo confronto ANTE e POST intervento | 47 |
| 11.3 | Nuovo quadro economico di spesa..... | 48 |



1 PREMESSA

1.1 Obiettivi e Finalità

La Regione Lazio attraverso la Call for proposal “Energia Sostenibile 2.0” (POR FESR 2014-2020) intende, da un lato, ridurre la spesa corrente delle Pubbliche Amministrazioni, con tutti i conseguenti benefici per le finanze pubbliche e, dall’altro lato, incrementare la sostenibilità energetica ed ambientale degli edifici presenti nel territorio.

La selezione degli interventi di efficientamento verrà effettuata sulla base della potenziale efficacia degli stessi in termini di risparmi energetici conseguibili rispetto agli investimenti necessari, di incremento delle quote di autoproduzione e di miglioramento della classe energetica della struttura.

La presente diagnosi energetica ha lo scopo di analizzare i consumi della struttura, individuare gli interventi di efficientamento energetico realizzabili, il potenziale risparmio energetico e gli investimenti necessari.

1.2 Metodologia e Strumenti di Analisi

Il presente documento di Diagnosi energetica utilizza la metodologia di calcolo “tailored rating” secondo le indicazioni della UNI CEI EN 16247-2 (Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici).

La valutazione tailored rating, come descritto nelle norme UNI/TS 11300, è una valutazione energetica sullo stato di fatto che descrive, con un errore accettabile, la reale conduzione del sistema edificio-impianto, e che modifica la modellazione standard (“design” e “asset” rating), adattandola all’effettivo profilo di utilizzo in modo da essere confrontabile con i consumi effettivi ricavabili dalle bollette energetiche.

Il modello validato (coerente con i consumi effettivi della struttura) viene poi utilizzato per simulare gli effettivi risparmi derivanti dalle soluzioni di risparmio energetiche individuate.

La modellazione architettonica dell’edificio è stata effettuata mediante software di modellazione BIM (Building Information Modeling) e successivamente importata nel software per la diagnosi energetica conforme alle norme UNI/TS 11300:2014, UNI CEI EN 16247:2015 ed alle norme EN richiamate dalle UNI/TS 11300 e dal D.lgs. 192/05 art. 11 comma 1.

1.3 Responsabile della Diagnosi Energetica

Il documento di Diagnosi Energetica è redatto da EGE (Esperto in Gestione dell’Energia) abilitato ai sensi del D.lgs. 102/2014, artt. 8 e 12 e certificato ACCREDIA secondo le norme UNI 11339 - D.lgs. 102/2014 - Decreto Direttoriale MiSE-MATTM del 12/05/2015.

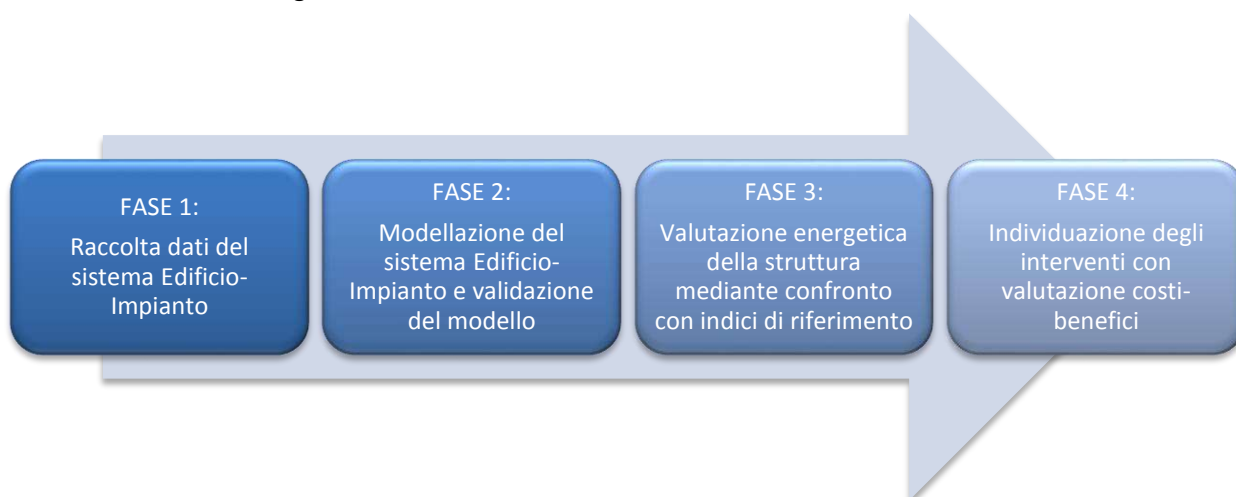
2 METODOLOGIA DI ANALISI

2.1 Fasi della Diagnosi

Per diagnosi energetica del sistema fabbricato-impianto si intende una procedura sistematica finalizzata alla conoscenza degli usi finali di energia e all'individuazione e all'analisi di eventuali inefficienze e criticità energetiche dell'edificio e degli impianti presenti.

Le fasi principali dello svolgimento di una diagnosi energetica possono essere riassunte in:

- raccolta dati del sistema Edificio-Impianto
- modellazione del sistema Edificio-Impianto e validazione del modello mediante indicatori di congruità tra consumi effettivi e consumi calcolati
- valutazione energetica della struttura mediante confronto degli indici di prestazione effettivi con gli indici di prestazione di riferimento
- individuazione degli interventi di efficientamento con valutazione costi-benefici



2.2 FASE 1: Raccolta Dati del sistema Edificio-Impianto

La fase di raccolta dei dati è una fase di fondamentale importanza nella diagnosi energetica poiché quanto più dettagliate e numerose sono le informazioni raccolte tanto maggiore è l'affidabilità dei risultati a valle dello studio.

E' tuttavia noto soprattutto per gli edifici d'epoca, che spesso le informazioni disponibili sono incomplete se non addirittura assenti, e d'altro canto escludere dalla diagnosi tutti gli edifici per cui non si dispone di un set



di informazioni complete significa rinunciare alla possibilità di riqualificare energeticamente un parco edifici importante sia numericamente sia per il potenziale risparmio energetico ottenibile.

Per tale motivo nel caso le informazioni siano risultate incomplete si è proceduto alla formulazione di ipotesi basate sull'esperienza del professionista diagnosticatore.

Ferme restando le considerazioni sopra riportate, nella fase di raccolta dati, eseguita da tecnici della Regione Lazio, si è proceduto alla raccolta di tutta la documentazione utile alla redazione della diagnosi energetica quale:

- planimetrie, prospetti ed eventuale sezione della struttura; nel caso non sia stato possibile reperire i prospetti della struttura questi sono stati sostituiti da documentazione fotografica rilevata in sede di sopralluogo ed integrata dalla rilevazione delle dimensioni delle diverse tipologie di serramenti
- documentazione progettuale relativa agli impianti elettrici, termici ed idrico sanitari
- documentazione tecnica relativa ai componenti dell'involucro edilizio (stratigrafie o trasmittanze dei componenti opachi, schede tecniche o trasmittanze dei componenti finestrati)
- documentazione relativa ad interventi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria eseguiti negli ultimi anni
- documentazione tecnica del sistema di produzione dell'energia termica (libretto di impianto, documentazione pratica Inail, rapporti di manutenzione, ecc.)
- documentazione progettuale relativa ad impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili
- dati mensili di consumo divisi per vettore energetico (elettricità, metano, gasolio, ecc..) con relativo costo; in mancanza dei consumi mensili si è fatto riferimento al massimo livello di disaggregazione disponibile
- dati mensili di consumo di acqua per uso sanitario
- dati di contabilizzazione del calore (se disponibili)

I dati documentali sono stati successivamente integrati con ulteriori informazioni reperite tramite intervista ad utenti, gestori e manutentori della struttura ed in particolare:

- destinazione d'uso dell'immobile
- dati tipologici della costruzione: anno di costruzione e modalità costruttiva (muratura portante, telaio in calcestruzzo armato e tamponamenti a cassa vuota, ecc.)
- periodo di funzionamento della struttura (giorni di funzionamento per ogni mese)
- numero di persone presenti nelle diverse fasce orarie
- ore di chiusura degli oscuranti finestre
- comfort percepito dagli utenti
- periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento
- ore giornaliere di accensione dell'impianto di riscaldamento
- regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento (continuo, intermittente o attenuato) e relativi intervalli temporali



La raccolta di informazioni è continuata con il sopralluogo eseguito da tecnici della Regione Lazio finalizzato ad acquisire direttamente informazioni sul fabbricato, sugli impianti e sul loro stato di conservazione. Le azioni eseguite nell'ambito del sopralluogo sono state le seguenti:

- verifica di conformità dei dati geometrici e piano altimetrici acquisiti
- rilievo fotografico della struttura edilizia interna ed esterna
- rilievo fotografico e delle caratteristiche di targa dei componenti dell'impianto termico, elettrico e di acqua calda sanitaria
- rilievo delle caratteristiche dei serramenti e del relativo stato di conservazione
- rilievo fotografico e delle caratteristiche di targa delle utenze elettriche principali (es. ascensori)
- rilievo della tipologia e posizione dei sistemi di emissione (radiatori, fancoil, ecc.), del tipo di regolazione, della eventuale presenza di valvole termostatiche
- rilievo fotografico e delle caratteristiche di targa di eventuali impianti a fonti rinnovabili

Tutte le attività di raccolta dati, sia documentali che di rilievo diretto, sono state svolte con l'ausilio di apposite checklist finalizzate ad ottenere una documentazione il più possibile completa ed uniforme.

Sia la compilazione delle checklist che il caricamento della documentazione tecnica e fotografica è stata effettuata su sistemi informatici cloud che hanno permesso di ottimizzare i tempi di raccolta ed elaborazione dei dati.

Figura 1-Checklist di raccolta dati online

2.3 FASE 2: Modellazione del sistema edificio impianto e validazione del modello

Nella prima fase di modellazione è stato realizzato il modello architettonico della struttura attraverso software di progettazione BIM (Building Information Modeling). Sono stati quindi inseriti tutti i dati geometrico-dimensionali dell'edificio, la divisione interna degli ambienti, gli spessori delle pareti e le caratteristiche geometriche degli infissi.

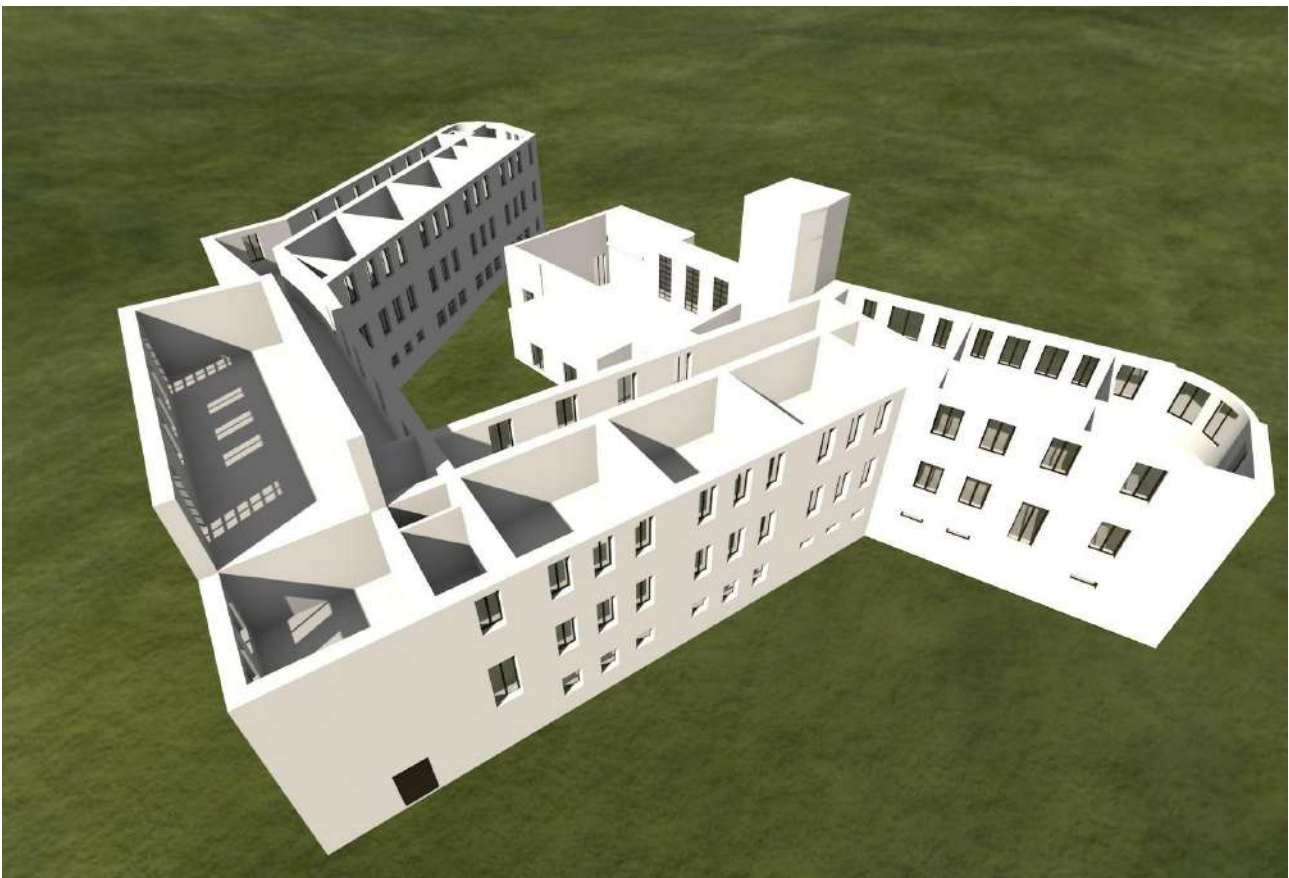


Figura 2 - Modellazione BIM della struttura architettonica (interno)



Figura 3- Modellazione BIM della struttura architettonica (esterno)



Figura 4 - Modellazione BIM della struttura architettonica (particolare interno)

Nella seconda fase di modellazione è stata effettuata con apposito software certificato la simulazione del comportamento energetico della struttura in condizioni standard (senza cioè tenere conto dei profili di utilizzo). Tale simulazione è stata eseguita utilizzando la metodologia indicata nella UNI TS 11300 parti 1, 2, 3 e nelle norme ad essa correlate. Sulla base delle caratteristiche dell'edificio, delle stratigrafie dei componenti opachi, delle caratteristiche dei componenti finestrati e delle caratteristiche degli impianti, utilizzando un modello matematico, si è determinato il consumo "teorico" di energia della struttura.

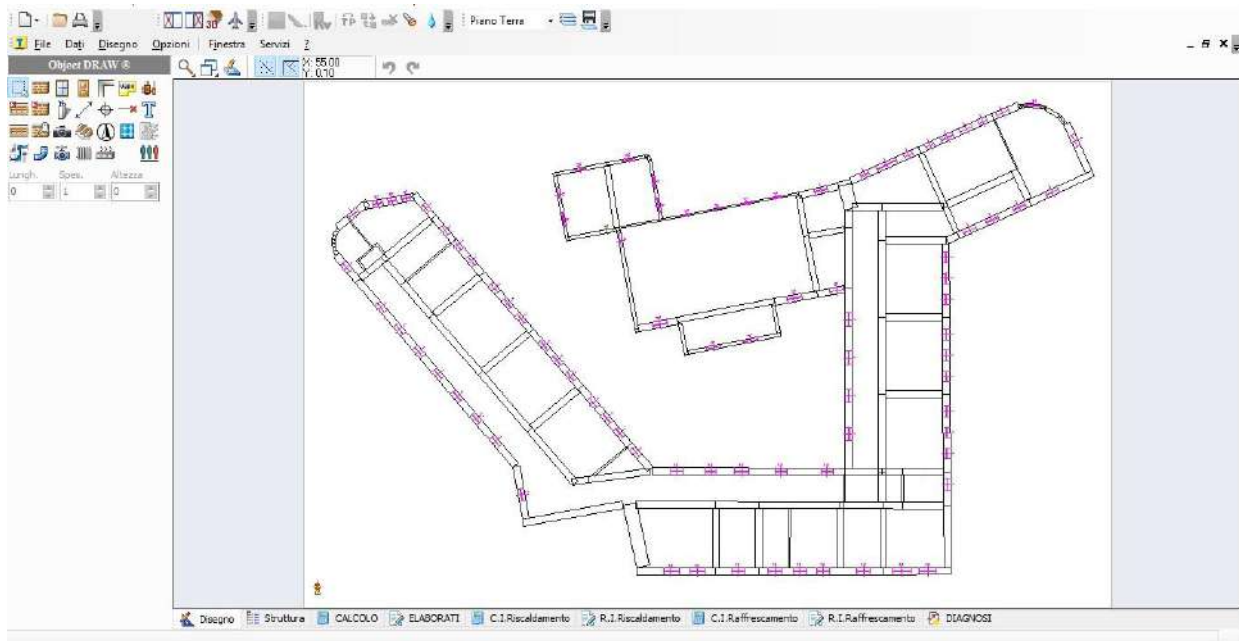


Figura 5 - Analisi energetica

| SERRAMENTO SINGOLO | | | | | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|-----------|
| DESCRIZIONE | Ag [m ²] | Af [m ²] | Lg [m] | Ug [W/m ² K] | Uf [W/m ² K] | kl [W/mK] | Uw [W/m ² K] | Fg [-] |
| INFISSO | 2.057 | 1.168 | 10.860 | 5.751 | 5.887 | 0.000 | 5.800 | 0.85 |
| Ponte Termico Infisso-Parete: = 0 [W/mK] | | | | | | | | |
| Fonte - Uf: da Normativa; Ug: da Normativa | | | | | | | | |
| Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; Fg = Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale. | | | | | | | | |



| | |
|---|---------------------------|
| COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO | 0.3623 |
| RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA | 0.130 m ² K/W |
| RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA | 0.040 m ² K/W |
| CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA | 7.700 W/m ² K |
| CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA | 25.000 W/m ² K |
| RESISTENZA TERMICA TOTALE | 0.172 m ² K/W |
| TRASMITTANZA TOTALE | 5.800 W/m ² K |
| TRASMITTANZA VETRO TOTALE | 5.751 W/m ² K |

Figura 6 - Esempio caratterizzazione componente finestrato

Il passaggio successivo è stato quello di implementare nel modello i profili di utilizzo della struttura e confrontare i consumi energetici calcolati mediante il modello con i consumi energetici effettivi desunti dalle bollette. La verifica di congruità è stata effettuata sulla base della seguente equazione:

$$\text{Indice di congruità } (X) = \left| \frac{Q_{p,X, \text{reale}} - Q_{p,X, \text{teorico}}}{Q_{p,X, \text{reale}}} \right|$$

| | | |
|---------------------------|---------------------|--|
| Indice di congruità ≤ 5% | => ALTA CONGRUITA' | |
| Indice di congruità ≤ 10% | => MEDIA CONGRUITA' | |
| Indice di congruità ≤ 15% | => BASSA CONGRUITA' | |
| Indice di congruità > 15% | => NON CONFORME | |

dove:

X = vettore energetico oggetto di verifica

$Q_{p,X, \text{teorico}}$ = fabbisogno teorico annuo equivalente di energia primaria riferito al vettore energetico X

$Q_{p,X, \text{reale}}$ = fabbisogno reale annuo equivalente di energia primaria riferito al vettore energetico X

Una volta ottenuto uno scostamento inferiore al 15% si è concluso che il modello simula correttamente il comportamento dell'edificio ed è quindi da ritenere valido ai fini delle analisi successive. Nel caso la congruità non fosse stata verificata si sarebbe proceduto al riesame dei dati di input e delle ipotesi adottate nella simulazione (es. periodi di accensione impianti, stratigrafie dei componenti opachi, profili di utilizzo, eventuali anomalie nell'uso dell'immobile, ecc..).

2.4 FASE 3: Valutazione energetica della struttura mediante confronto con indici di riferimento

Sulla base dei risultati dei calcoli energetici sono stati calcolati gli indicatori energetici normalizzati IEN_R (indicatore energetico normalizzato per riscaldamento) e IEN_E (indicatore energetico normalizzato per il consumo di energia elettrica). Il valore di questi due indici è stato poi confrontato con valori di riferimento di strutture analoghe (in questo caso sono stati utilizzati i dati dello studio ENEA "Guida per il contenimento della spesa energetica nelle scuole").

Il valore dell'indicatore IEN_R (indicatore energetico normalizzato per riscaldamento) è dato da:

$$IEN_R = \frac{Q_{p,X} \cdot F_e \cdot F_h}{V_{riscaldato} \cdot GG} \cdot 1000$$

dove:

$Q_{p,x}$ [kWh] = fabbisogno annuo di energia termica riferito al combustibile X

F_e = fattore di normalizzazione del consumo dovuto alla forma dell'edificio

F_h = fattore di normalizzazione del consumo rispetto all'orario di funzionamento

$V_{riscaldato}$ [m³] = volume riscaldato della struttura

GG = gradi giorno convenzionali della località in cui è situata la struttura

IEN_R [Wh / m³ x GG x anno] = Indicatore Energetico Normalizzato per il riscaldamento

Il valore dell'indicatore IEN_E (indicatore energetico normalizzato per il consumo di energia elettrica) è dato da:

$$IEN_E = \frac{Q_{p,e} \cdot F_h}{S}$$

dove:

$Q_{p,e}$ [kWh_e] = fabbisogno annuo di energia elettrica

F_h = fattore di normalizzazione del consumo rispetto all'orario di funzionamento

S [m²] = superficie lorda della struttura

IEN_e [Wh / m² x anno] = Indicatore Energetico Normalizzato per il consumo di energia elettrica

I fattori di normalizzazione del consumo dovuti alla forma dell'edificio sono dati dalle seguenti tabelle:

| Scuole Materne | |
|----------------|-------|
| Rapporto S/V | F_e |
| sino a 0,40 | 1,2 |
| da 0,41 a 0,50 | 1,1 |
| da 0,51 a 0,60 | 1,0 |
| oltre 0,60 | 0,9 |

| Scuole Elementari | |
|-------------------|-------|
| Rapporto S/V | F_e |
| sino a 0,30 | 1,2 |
| da 0,31 a 0,35 | 1,1 |
| da 0,36 a 0,40 | 1,0 |
| da 0,41 a 0,45 | 0,9 |
| oltre 0,45 | 0,8 |

| Scuole Medie e Superiori | |
|--------------------------|----------------|
| Rapporto S/V | F _e |
| sino a 0,25 | 1,1 |
| da 0,26 a 0,30 | 1,0 |
| da 0,31 a 0,40 | 0,9 |
| oltre 0,40 | 0,8 |

I fattori di normalizzazione del consumo rispetto all'orario di funzionamento sono dati dalla seguente tabella:

| Scuole Elementari, Medie e Superiori | |
|--------------------------------------|----------------|
| h/giorno | F _h |
| sino a 6 | 1,2 |
| 7 | 1,1 |
| 8 - 9 | 1,0 |
| 10 - 11 | 0,9 |
| oltre 11 | 0,8 |

La valutazione dei consumi energetici specifici (IEN) calcolati per la struttura in esame è avvenuta confrontando tali indici con i consumi specifici di riferimento relativi ad un campione significativo di strutture analoghe in ambito nazionale.

Nelle tabelle che seguono sono riportati i consumi specifici di riferimento organizzati per tipologia scolastica e per classe di merito rispetto alla qualità energetica.

| Classi di merito dei consumi specifici di riferimento per riscaldamento [$Wh_t / m^3 \times GG \times anno$] | | | |
|--|----------------|----------------|------------------|
| | Buono | Sufficiente | Insufficiente |
| Materne | minore di 18,5 | da 18,5 a 23,5 | maggiore di 23,5 |
| Elementari | minore di 11,0 | da 11,0 a 17,5 | maggiore di 17,5 |
| Medie, Superiori | minore di 11,5 | da 11,5 a 15,5 | maggiore di 15,5 |

| Classi di merito dei consumi specifici di riferimento per energia elettrica [$\text{kWh}_e / \text{m}^2 \times \text{anno}$] | | | |
|--|----------------|----------------|------------------|
| | Buono | Sufficiente | Insufficiente |
| Materne | minore di 11,0 | da 11,0 a 16,5 | maggiore di 16,5 |
| Elementari, Medie, Secondarie Superiori tranne Istituti Tecnici Industriali e Istituti Professionali Industriali | minore di 9,0 | da 9,0 a 12,0 | maggiore di 12,0 |
| Istituti Tecnici Industriali e Istituti Professionali Industriali | minore di 12,5 | da 12,5 a 15,5 | maggiore di 15,5 |

Se gli IEN sono collocabili nella classe “insufficiente” sono decisamente necessari interventi di riduzione dei consumi energetici. Se i valori di IEN sono compresi nelle classi di merito considerate “sufficiente” o “buono”, la struttura in esame rientra nella media e non dovrebbe presentare “sprechi energetici” considerevoli. Questo non esclude, soprattutto se gli IEN sono situati in prossimità dei valori più alti degli intervalli, che sia possibile e conveniente migliorare comunque l’efficienza energetica della struttura.

2.5 FASE 4: Individuazione degli interventi di efficientamento

Sulla base dei dati raccolti e della valutazione energetica della struttura sono stati individuati una serie di interventi finalizzati a ridurre i consumi energetici e quindi i costi di gestione della struttura.

Si è quindi passati alla fase di simulazione degli interventi di riqualificazione energetica, modificando i dati di input del modello ed introducendo le modifiche all’involucro, agli impianti, ai sistemi di gestione e controllo ed eseguendo per ciascuna modifica o sue combinazioni una specifica simulazione. I fabbisogni calcolati per ciascun intervento sono stati quindi messi a confronto con i consumi attuali. Da tale confronto si è ottenuto il risparmio energetico come differenza.

In funzione dell’attuale costo di combustibile ed energia elettrica è stata infine effettuata una quantificazione economica del risparmio conseguente agli interventi ed una valutazione del costo di investimento.

3 ANALISI DELLO STATO ATTUALE DEL SISTEMA EDIFICIO IMPIANTO

3.1 Dati generali

Secondo l'Art.3 comma 1 del D.P.R. 412/93 la struttura in oggetto è classificata in base alla sua destinazione d'uso come E.7 "edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili".

In tabella sono elencati i principali dati climatici di riferimento conformemente a quanto previsto dalle vigenti normative:

| | |
|---|---|
| Denominazione della struttura | Istituto Comprensivo Concetti Fantappiè |
| Dati catastali | Foglio: 174, Particella: 255 |
| Protocollo Dossier | LI-ES2-20160105-2570213 |
| Vincoli sulla struttura | No |
| Agibilità della struttura | No |
| Indirizzo | Via Vetulonia |
| Provincia | Viterbo |
| Comune | Viterbo |
| CAP | 01100 |
| Latitudine | 42° 25' 5'' |
| Longitudine | 12° 6' 24'' |
| Altitudine | 326 m |
| Zona Climatica | D |
| Gradi Giorno | 1989 |
| Temperatura invernale esterna di progetto | -2 °C |
| Velocità del vento | 1,9 m/s |
| Periodo riscaldamento | 30 ott -30 mar |

Tabella 1 - Dati generali

3.2 Descrizione della struttura

L'Istituto Comprensivo "Fantappié" nasce nell'anno scolastico 2010-2011 a seguito della razionalizzazione degli Istituti scolastici della provincia di Viterbo.

La sede di via Vetulonia della scuola secondaria di primo grado "Fantappié" si è unita alla scuola primaria "L. Concetti" e alla scuola dell'infanzia San Sisto (precedentemente appartenenti al 1° Circolo Didattico di Viterbo) costituendo così l'attuale Istituto Comprensivo.



Figura 7 - Inquadramento dell'edificio oggetto di analisi

La sede dell'Istituto si trova presso l'edificio che ospita la scuola secondaria, in via Vetulonia, 44.

L'Istituto Comprensivo è composto da quattro scuole:

- Scuola dell'infanzia San Sisto
- Scuola dell'infanzia Pilastro
- Scuola primaria L. Concetti
- Scuola secondaria L. Fantappié

La scuola Primaria "Luigi Concetti" e la scuola Secondaria "Fantappiè" sono situate all'interno delle mura cittadine, nei pressi di Porta della Verità.

E' il primo edificio a Viterbo progettato e costruito come scuola elementare nel 1936.



Figura 8 – Esterno della struttura

La struttura è in muratura portante, tamponamenti in muratura piena, copertura a terrazzo; non è presente isolamento nelle pareti esterne, nel solaio di copertura e nel solaio interpiano. Le caratteristiche termofisiche dei componenti opachi, impiegate per le valutazioni energetiche, sono state ricavate con riferimento a strutture simili risalenti alla stessa epoca di costruzione e da quanto messo a disposizione dal Comune. Per quanto riguarda i componenti finestrati la struttura è caratterizzata da infissi in alluminio, a vetro singolo, di dimensioni variabili. Anche in questo caso la mancanza di schede tecniche o altre informazioni non ha permesso l'individuazione certa del componente ma solo la sua tipizzazione.

| | |
|--|-----------------------|
| Superficie complessiva componenti finestrati | 604 m ² |
| Volume lordo riscaldato | 22.455 m ³ |
| Superficie lorda disperdente del volume riscaldato | 8.735 m ² |
| Rapporto S/V (fattore di forma) | 0,38 m ⁻¹ |
| Superficie utile riscaldata dell'edificio | 3.744 m ² |

Tabella 2 – Caratteristiche geometriche della struttura

3.3 Caratteristiche impiantistiche

La generazione di calore avviene mediante una caldaia tradizionale installata nel locale centrale termica, ed alimentata a gas metano.

L'accensione e spegnimento dell'impianto di riscaldamento avviene tramite programmatore orario. I terminali di emissione sono costituiti da radiatori in ghisa dimensionati per funzionamento ad alta temperatura, sprovvisti di teste termostatiche.

Le caratteristiche principali dell'impianto termico sono riassunte nella seguente tabella:

| | |
|----------------------------|--------------------------------|
| Combustibile riscaldamento | Metano |
| Potenza termica caldaia | 291 kW |
| Rendimento generazione | 87 % |
| Rendimento distribuzione | 98 % |
| Rendimento regolazione | 90 % |
| Rendimento emissione | 95 % |
| Terminali emissione | Radiatori in alluminio e ghisa |
| Combustibile ACS | Energia elettrica |

L'impianto di illuminazione è costituito da corpi illuminanti a scarica di diversa potenza senza sistema di regolazione. Non sono presenti impianti di produzione da fonti rinnovabili.



Figura 9 - Centrale Termica



Figura 10 - Particolare corpi radianti



Figura 11 - Particolare corpi illuminanti

4 PROFILI DI UTILIZZO E VALUTAZIONE DEL COMFORT

L'edificio ha un utilizzo continuativo durante l'anno dalle ore 8.00 alle ore 18.00.

Periodo di funzionamento della struttura

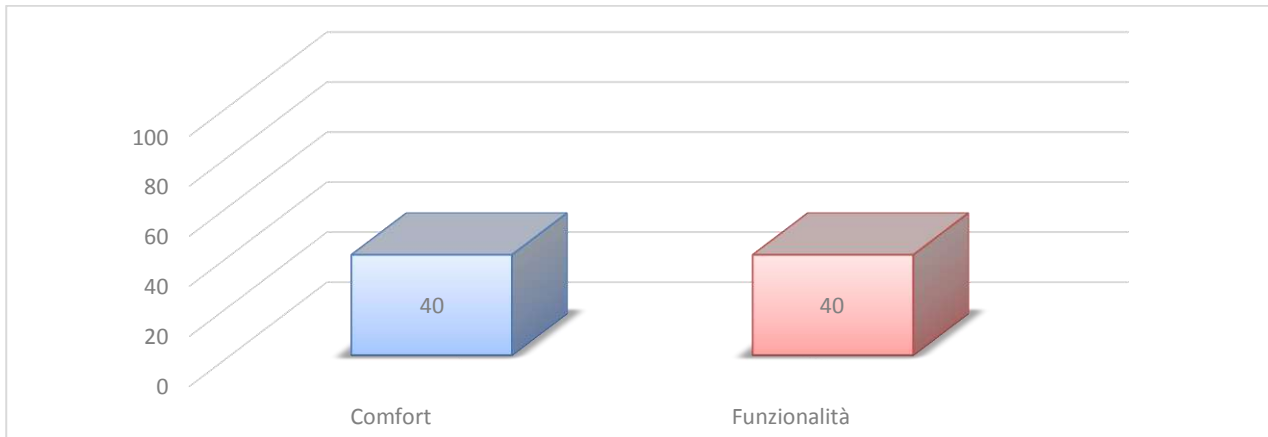
| | |
|-----------|-------------------|
| Gennaio | 25-30 giorni/mese |
| Febbraio | 25-30 giorni/mese |
| Marzo | 25-30 giorni/mese |
| Aprile | 25-30 giorni/mese |
| Maggio | 25-30 giorni/mese |
| Giugno | 25-30 giorni/mese |
| Luglio | 25-30 giorni/mese |
| Agosto | 25-30 giorni/mese |
| Settembre | 25-30 giorni/mese |
| Ottobre | 25-30 giorni/mese |
| Novembre | 25-30 giorni/mese |
| Dicembre | 25-30 giorni/mese |

Numero di persone presenti nelle diverse fasce orarie

| | |
|-------------|-----|
| 00.00-02.00 | 0 |
| 02.00-04.00 | 0 |
| 04.00-06.00 | 0 |
| 06.00-08.00 | 0 |
| 08.00-10.00 | 568 |
| 10.00-12.00 | 568 |
| 12.00-14.00 | 568 |
| 14.00-16.00 | 568 |
| 16.00-18.00 | 568 |
| 18.00-20.00 | 0 |
| 20.00-22.00 | 0 |
| 22.00-24.00 | 0 |

Al fine di individuare eventuali problematiche funzionali dell'impianto di riscaldamento è stato chiesto agli utenti una valutazione del comfort percepito all'interno della struttura ed una valutazione generale del funzionamento dell'impianto (sulla base di numero di guasti, interruzioni di funzionamento ed interventi di

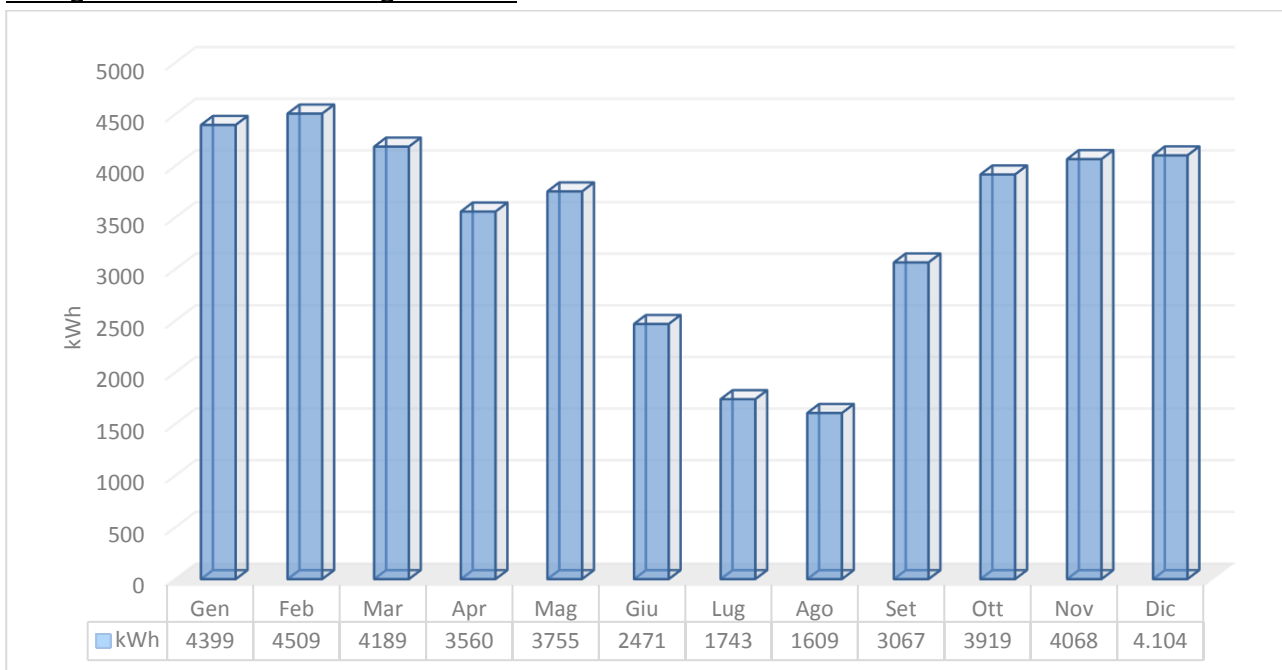
riparazione dei componenti). Da tale intervista è emerso un livello di comfort percepito pari a 40 su 100 ed un livello di funzionamento percepito pari a 40 su 100.



5 ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI

I consumi di energia elettrica e di combustibile sono stati desunti dai dati forniti dal Comune e sono sintetizzati nei seguenti grafici:

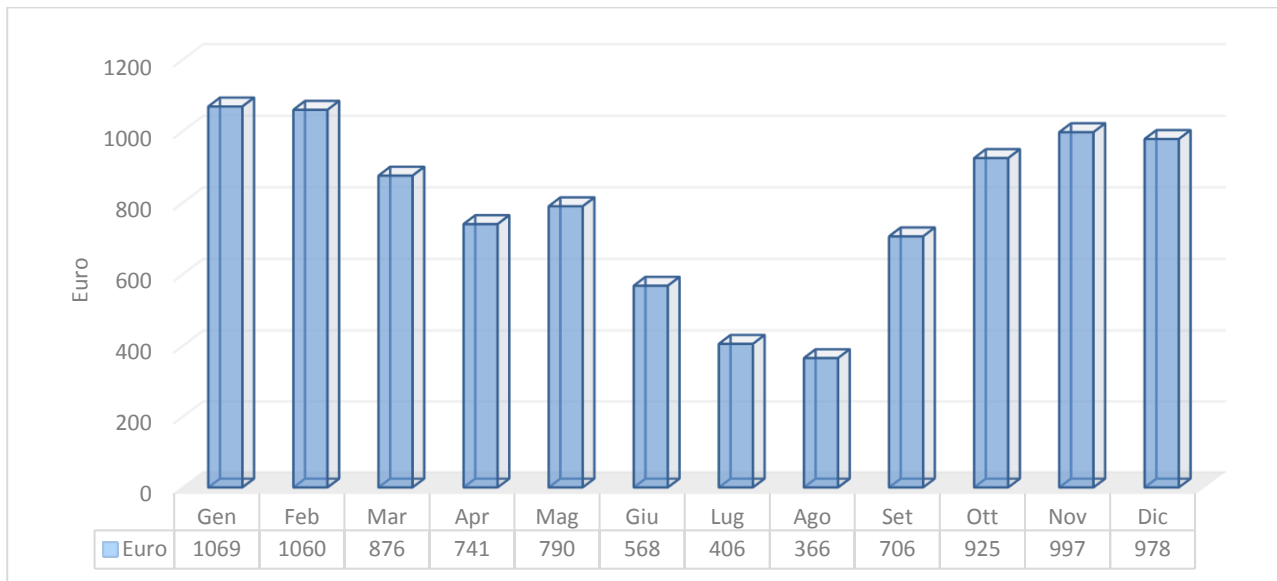
Dettaglio consumo mensile energia elettrica



AUDITOR: Ing. Marco Rinaldi
Ingegnere Industriale A-729 (Ordine Ingegneri di Rieti)
Esperto Gestione Energia Settore Civile e Industriale XPRT/15/2567 (Accredia)



Dettaglio costo mensile energia elettrica

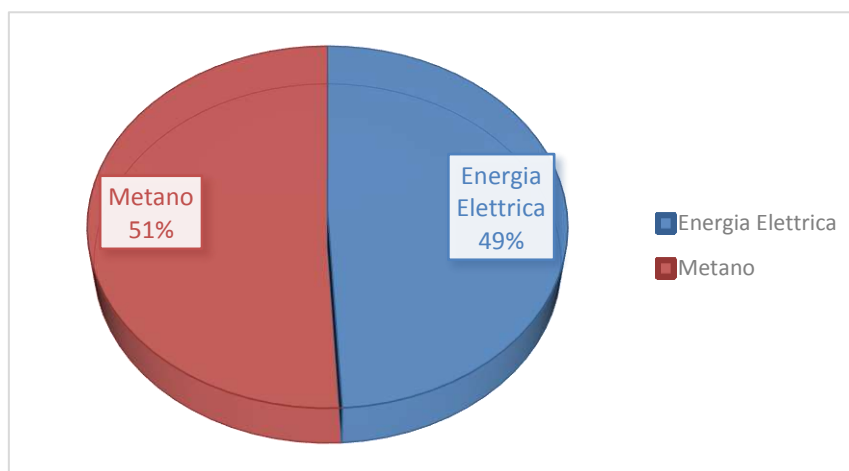


I dettagli mensili dei consumi e dei costi del gas metano non sono stati forniti, dunque si è utilizzato il dato annuale ai fini della diagnosi.

Dai dati sopra riportati risulta un **consumo annuo di energia elettrica** pari a 41.393 kWh per un costo di **€ 9.520 euro/anno** ed un **consumo di gas metano** pari a 15.661 m³ per un costo di **€ 9.866 euro/anno**.

Il costo medio dell'energia elettrica è pari a **0,23 euro/kWh** mentre il costo medio di acquisto del gas metano è pari a **0,63 euro/m³**; i valori risultano in linea con i costi medi di strutture analoghe. Dalla raccolta dati effettuata si evidenzia che i consumi di gas metano sono derivanti totalmente dal fabbisogno di riscaldamento della struttura mentre i consumi elettrici sono dovuti ai corpi illuminanti ed alle utenze FM.

Sintesi Costi Energetici



6 INDICE DI CONGRUITA'

Come descritto in precedenza i consumi di combustibile derivanti dal modello di simulazione sono stati confrontati con i consumi reali della struttura al fine di verificare la validità del modello per le successive simulazioni.

E' stato quindi calcolato l'indice di congruità relativo al fabbisogno di energia termica espresso in termini di kWh di energia primaria. Nello specifico il consumo calcolato tramite modello matematico è stato pari a 14.869 m³ (pari a 140.512 kWh di energia primaria) mentre il consumo effettivo della struttura è stato di 15.661 m³ (pari a 147.996 kWh di energia primaria).

$$\text{Indice di congruità} = \left| \frac{Q_{p,met, reale} - Q_{p,met, teorico}}{Q_{p,met, reale}} \right| = \left| \frac{147996 - 140512}{147996} \right| < 10 \%$$

MEDIA CONGRUITA'



dove:

$Q_{p,metano,teorico}$ = fabbisogno teorico annuo equivalente di energia primaria riferito al consumo di metano

$Q_{p,metano,reale}$ = fabbisogno reale annuo equivalente di energia primaria riferito al consumo di metano

7 ANALISI DEGLI INDICI DI BENCHMARK

Prima di definire i possibili interventi di miglioramento energetico della struttura è stata effettuata una valutazione degli indici di efficienza dell'edificio rispetto a strutture analoghe.

Gli indici di riferimento utilizzati sono stati tratti studio ENEA "Guida per il contenimento della spesa energetica nelle scuole".

Il valore dell'indice energetico normalizzato per il riscaldamento (IEN_R) è stato calcolato secondo la seguente formula:

$$IEN_R = \frac{Q_{p,X} \cdot F_e \cdot F_h}{V_{riscaldato} \cdot GG} \cdot 1000$$

dove:

$Q_{p,X}$ [kWh] = fabbisogno annuo di energia termica riferito al combustibile X

F_e = fattore di normalizzazione del consumo dovuto alla forma dell'edificio

F_h = fattore di normalizzazione del consumo rispetto all'orario di funzionamento

$V_{\text{riscaldato}} [m^3]$ = volume riscaldato della struttura

GG = gradi giorno convenzionali della località in cui è situata la struttura

$IEN_R [Wh / m^3 \times GG \times \text{anno}]$ = Indicatore Energetico Normalizzato per il riscaldamento

Per quanto riguarda i consumi di gas metano si quindi ottenuto un indice di efficienza pari a 2,98 che corrisponde a una classe di efficienza “Buono”.

| Consumo medio annuo (kWh di energia primaria) | Volume (mc) | S/V | Fe | Fh | GG | IEN_R | Classe di efficienza riscaldamento |
|---|----------------|------|----|-----|------|---------|--|
| 147.996 | 22.455 | 0,38 | 1 | 0,9 | 1989 | 2,98 | Buono |

Il valore dell'indice energetico normalizzato per il consumo di energia elettrica (IEN_E) è stato calcolato secondo la seguente formula:

$$IEN_E = \frac{Q_{p,e} \cdot F_h}{S}$$

dove:

$Q_{p,e} [kWh_e]$ = fabbisogno annuo di energia elettrica

F_h = fattore di normalizzazione del consumo rispetto all'orario di funzionamento

$S [m^2]$ = superficie lorda della struttura

$IEN_e [Wh / m^2 \times \text{anno}]$ = Indicatore Energetico Normalizzato per il consumo di energia elettrica

Per quanto riguarda i consumi elettrici si è quindi ottenuto un indice di efficienza pari a 9,95 che corrisponde a una classe di efficienza “Sufficiente”.

| Consumo medio annuo (kwh elettrici) | Superficie | Fh | IEN_E | Classe di efficienza energia elettrica |
|--|------------|-----|---------|---|
| 41.393 | 3.744 | 0,9 | 9,95 | Sufficiente |

8 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

A seguito dei sopralluoghi effettuati presso la struttura si è potuta acquisire la conoscenza dello stato di fatto, con particolare riferimento a:

- consumi energetici reali dell'immobile e caratteristiche della fornitura
- tipologia ed efficienza degli impianti termici, valutati sulla base della documentazione fornita, delle emergenze ricavate in sede di sopralluogo e delle informazioni relative alle condizioni di benessere segnalate dagli utenti
- caratteristiche costruttive dell'involucro edilizio e stato di conservazione, rilevati in sede di sopralluogo e dalla documentazione fornita

Tra i differenti interventi possibili in grado di ridurre i consumi energetici sono stati selezionati gli interventi con il miglior rapporto costi/benefici.

I criteri di selezione prioritaria utilizzati sono stati:

- Riduzione del costo energetico annuo della struttura;
- Aumento di comfort per gli utenti;
- Minore invasività ed interferenza degli interventi con le attività della struttura.

8.1 Interventi impianti

8.1.1 Sostituzione della caldaia esistente con caldaie modulari a condensazione

Il presente intervento prevede la sostituzione della caldaia esistente con una caldaia modulare a condensazione ed alto rendimento, regolazione climatica, modulazione della potenza e basse emissioni inquinanti. La potenza del nuovo generatore nonché le specifiche tecniche verranno definiti in fase di progettazione esecutiva. Il nuovo gruppo termico sarà posizionato nell'attuale locale adibito a centrale termica e connesso ai relativi stacchi delle colonne di mandata/ritorno impianto.

Dovrà inoltre essere adeguato e messo a norma l'impianto elettrico della centrale ed il relativo quadro di comando di pompe e caldaie. E' prevista, se non presente, la fornitura e posa in opera di sezionatore di emergenza, manovrabile sotto carico ed atto a porre fuori tensione l'intera centrale termica, che verrà alloggiato all'esterno in apposito contenitore stagno.

Al fine di proteggere le nuove caldaie dalle eventuali impurità residue presenti all'interno del circuito esistente, l'impianto dovrà essere diviso in due porzioni, un circuito primario sul lato caldaia di nuova realizzazione ed un circuito secondario sul lato collettore, attraverso l'inserimento di uno scambiatore di calore di calore a piastre acqua - acqua. I due circuiti saranno pertanto fisicamente separati dallo scambiatore e non si misceleranno.

Dovranno inoltre essere installati vasi di espansione sia per il circuito primario che per il circuito secondario della dimensione che verrà individuata in fase di progettazione esecutiva.

Per quanto concerne le eventuali modifiche che si dovessero rendere necessarie alle tubazioni di andata e ritorno impianto, esse dovranno essere realizzate in acciaio con curve, flange, giunzioni a vite e/o saldate.

Tutte le tubazioni all'interno della centrale dovranno inoltre essere isolate con tubi in elastomero espanso e successivamente rivestite in lamierino di alluminio.



Figura 12 – Caldaie modulari a condensazione

Dovranno inoltre essere installati tutti i dispositivi di sicurezza INAIL previsti dalla Raccolta R 2009 quali valvola di sicurezza, valvola di intercettazione combustibile, pressostati di minima e massima pressione, bitermostato, termometro e manometro.

Riguardo le eventuali modifiche alla tubazione del gas, queste dovranno essere effettuate utilizzando tubazioni in acciaio conformi alla norma EN 10255 (EX UNI 8863) e dovranno essere previsti tutti gli organi di intercettazione e sicurezza previsti dalle norme (valvola a sfera di intercettazione, giunto antivibrante, manometri per la lettura della pressione, ecc.).

I condotti di espulsione dei fumi dovranno essere di tipo omologato, provvisti di identificazione secondo UNI EN 1443, in acciaio inox resistente alle condense. Dovrà infine essere installato sul reintegro dell'impianto un addolcitore d'acqua come previsto dal DPR 59/09 e 46/90 art. 7, in modo da prevenire formazioni di calcio e di conseguenza migliorare l'efficienza dell'impianto.

Contestualmente alla sostituzione delle caldaie esistenti verrà sostituito il gruppo pompe con nuove pompe con convertitore di frequenza integrato. Questa tecnologia garantirà prestazioni adeguate alle richieste

dell'impianto, ma consumi elettrici notevolmente ridotti grazie alla regolazione della portata in funzione dell'effettiva richiesta dell'utenza.

L'intervento permetterà una riduzione di consumo di combustibile pari a 2.203 m³ di metano con un risparmio di 1.388 euro/anno.

Costo Intervento: € 46.400

8.1.2 Installazione di teste termostatiche e adeguamento corpi radianti

Il presente intervento prevede per tutti i radiatori esistenti la sostituzione di valvola e detentore e l'installazione di teste termostatiche con sistema antimanomissione.

Le teste termostatiche permetteranno di mantenere la temperatura ambiente ad un valore fissato, evitando indesiderati incrementi di temperatura.



Figura 13 – Testa termostatica con kit antimanomissione

Tali dispositivi agiscono regolando la portata in funzione della temperatura ambiente e della temperatura impostata mediante una scala di regolazione manuale. Se la temperatura ambiente ha un valore uguale o superiore alla temperatura impostata la valvola ostruisce completamente il passaggio del fluido termovettore.

Si prevede inoltre la sostituzione degli attuali radiatori in ghisa con radiatori in alluminio di dimensioni idonee per il funzionamento a bassa temperatura.

L'intervento permetterà una riduzione di consumo di combustibile pari a 1.812 m³ di metano con un risparmio di 1.142 euro/anno.

Costo Intervento: € 25.300

8.1.3 Sostituzione dei corpi illuminanti esistenti con corpi illuminanti LED

L'utilizzo di corpi illuminanti LED è senz'altro uno dei sistemi attualmente adottabili per ottenere una consistente riduzione dei consumi elettrici. Confrontando la tecnologia a LED con le altre fonti di illuminazione tradizionali presenti ad oggi sul mercato (incandescenza, alogena, fluorescenti, a scarica), il LED è la fonte che consente il maggior risparmio energetico. Il LED ha infatti, la più elevata efficienza luminosa, da 100 a 150 lm/W, mantenendo un'ottima resa cromatica ed una elevatissima vita utile (intorno alle 50.000-60.000 h). I vantaggi che le lampade LED offrono rispetto alle tradizionali fonti di illuminazione sono quindi legati al risparmio di energia elettrica a parità di flusso luminoso emesso (pari al 30-40% rispetto a lampade a scarica con alto indice di resa cromatica) e alla durata ampiamente superiore rispetto alle altre tecnologie che permette di ridurre notevolmente i costi di manutenzione.



Figura 14 – Corpo illuminante LED

Per tale motivo nella struttura è stata prevista la sostituzione dei corpi illuminanti esistenti con corpi illuminanti LED dotati di reattore elettronico del tipo dimmerabile.

Per aumentare ulteriormente il risparmio energetico è prevista l'installazione di sensori di luminosità e di presenza per controllare il flusso luminoso in funzione della presenza di persone e dell'illuminazione naturale.

La regolazione dell'illuminazione negli ambienti dovrà avvenire in modo automatico in funzione della quantità di luce naturale mentre nei bagni sarà invece gestito automaticamente solo lo spegnimento e accensione delle luci tramite sensori di presenza.



Figura 15 – Illuminazione aula tipo

Per quanto possibile il numero di corpi illuminanti dovrà rimanere invariato rispetto alla situazione attuale garantendo i livelli di illuminamento previsti dalla norma UNI 12464.

I nuovi corpi illuminanti dovranno avere indice UGR (indice per la valutazione dell'abbagliamento diretto) minore o uguale di 19 che rappresenta il valore massimo previsto dalla norma UNI 12464-1 per uffici e scuole.

Il risparmio energetico derivante dall'installazione dei corpi illuminanti LED è stato calcolato secondo la seguente formula:

$$\text{Risparmio [kWh/anno]} = (P_{\text{Ante}} - P_{\text{Post}}) \cdot N_{\text{ore}} \cdot K_{\text{contemporaneità}}$$

dove:

Risparmio [kWh/anno] = risparmio annuo derivante dalla sostituzione dei corpi illuminanti esistenti con corpi illuminanti LED

P_{Ante} [kW] = potenza complessiva dei corpi illuminanti ante intervento

P_{Post} [kW] = potenza complessiva dei corpi illuminanti post intervento

N_{ore} [h] = ore complessive di funzionamento annuo dell'impianto di illuminazione

$K_{\text{contemporaneità}}$ = coefficiente che tiene conto della contemporaneità di utilizzo dei corpi illuminanti (per la struttura in esame considerato pari a 0,9)

Per la struttura in esame il risparmio stimato derivante dall'installazione di corpi illuminati LED è pari a 9.720 kWh/anno con un beneficio economico per la pubblica amministrazione pari a 2.236 euro/anno.

Costo Intervento: € 57.700

8.2 Interventi involucro edilizio

8.2.1 Isolamento termico a cappotto

La misura più efficace per ridurre la quantità di energia necessaria per il riscaldamento invernale di un edificio, considerati i ridotti costi di investimento e la lunga vita dei materiali utilizzabili, è la realizzazione di un isolamento termico dell'involucro. Esiste di fatto un limite ragionevole oltre il quale non è opportuno incrementare ulteriormente lo spessore dell'isolante termico perché, a fronte di spessori sempre più elevati, subentrano necessità di modifiche delle soluzioni costruttive a fronte di miglioramenti prestazionali limitati. Per valori di trasmittanza particolarmente ridotti, assume particolare rilievo il controllo dei ponti termici, i quali, oltre a incidere negativamente sulle dispersioni energetiche, provocano abbassamenti localizzati della temperatura superficiale, favorendo la formazione di condensa che può progressivamente portare al degrado delle finiture interne.

Al fine di ridurre la trasmittanza termica delle pareti e quindi le dispersioni termiche dell'involucro edilizio è stato deciso di prevedere l'isolamento a cappotto delle pareti perimetrali dell'edificio. L'isolamento sarà costituito da lastre in polistirene espanso sinterizzato a lambda migliorato di spessore pari a 100 mm, a NORMA UNI EN 13163, Euroclasse E.

L'utilizzo di questo sistema permetterà di ridurre i valori di trasmittanza di circa il 80 % da $U = 1,521 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $U = 0,307 \text{ W/m}^2\text{K}$, infatti le pareti ben isolate si riscaldano più rapidamente e trattengono più a lungo il calore. In questo modo si utilizzerà meno energia per riscaldare gli ambienti, che peraltro in estate risulteranno più protette dall'irraggiamento solare e rimarranno più fresche e confortevoli.

Inoltre per la sua semplicità esecutiva, la coibentazione tramite cappotto termico consente l'esecuzione dei lavori senza che si renda necessario il rilascio dell'edificio da parte degli occupanti.



Figura 16 – Isolamento termico a cappotto

I vantaggi principali che si avranno dall'isolamento a "cappotto" sono:

- risoluzione dei ponti termici di trave e pilastro di facciata (con benefici energetici sia invernali che estivi);
- eliminazione del rischio condensa in corrispondenza dei ponti termici dovuti a travi e pilastri;
- maggiore efficienza impiantistica legata alla maggiore inerzia termica dell'edificio;
- maggiore sfruttamento degli apporti solari gratuiti derivante dalla maggiore inerzia termica dell'edificio;
- maggiore "pulizia" della facciata derivante dall'eliminazione dei ponti termici (in corrispondenza dei quali si ha solitamente un asciugamento differenziale con conseguente "tracciatura" dell'intonaco).

L'intervento permetterà una riduzione di consumo di combustibile pari a 2.781 m³ di metano con un risparmio di 1.752 euro/anno.

Costo Intervento: € 190.900

8.2.2 Sostituzione infissi

Con il presente intervento si è previsto di sostituire i serramenti esistenti con nuovi serramenti a taglio termico con profilati estrusi in alluminio, verniciati, di aspetto estetico idoneo alla struttura, con spessore 65-75 mm. Tali serramenti saranno completi di vetrocamera 4-16-4, controtelaio metallico e guarnizioni in EPDM o neoprene, maniglie e cerniere, e tutti gli accessori necessari ad un corretto funzionamento. I nuovi infissi, in parte di tipo fisso ed in parte di tipo apribile, avranno inoltre le seguenti caratteristiche:

- trasmittanza termica del serramento $U_w < 1,8 \text{ W/mK}$
- isolamento acustico del serramento $R_w > 40 \text{ dB}$



Figura 17 – Infisso alluminio doppio vetro a taglio termico

Nel complesso, si prevede l'intervento su di una superficie di 604 mq. L'intervento si manifesta sostanzialmente semplice e senza alcuna criticità in quanto i nuovi infissi verranno realizzati a misura senza quindi richiedere modifiche architettoniche o strutturali o interventi invasivi sulle murature di



tamponamento. Inoltre dovranno essere impiegati vetri di sicurezza e/o stratificati secondo quanto previsto dalla normativa UNI 7697.

L'intervento permetterà una riduzione di consumo di combustibile pari a 2.195 m³ di metano con un risparmio di 1.383 euro/anno.

Costo Intervento: € 321.100

8.3 Interventi per la produzione di energia da fonti rinnovabili

8.3.1 Installazione di impianto fotovoltaico

Uno degli interventi di primaria importanza per il miglioramento della sostenibilità ambientale nonché per la drastica riduzione degli oneri economici inerenti i consumi di energia elettrica, è rappresentato dall'installazione di un impianto fotovoltaico "grid connected" a servizio della struttura.

L'impianto avrà una **potenza di picco pari a 20 kWp** quale somma delle potenze nominali dei singoli moduli fotovoltaici costituenti il generatore.

La tipologia delle lavorazioni e la struttura architettonica dell'edificio, permettono che tali lavori vengano realizzati in breve tempo, senza incorrere a particolari problematiche tecnico-realizzative.

Conformemente alle prescrizioni della norma CEI 0-21 dovrà essere previsto idoneo dispositivo di interfaccia che operi la disinserzione automatica dell'impianto fotovoltaico quando non dovessero sussistere le condizioni per operare in parallelo alla rete. Dovrà infine essere prevista una linea vita per le operazioni di installazione e manutenzione dell'impianto fotovoltaico.

La produzione annuale attesa di energia è stata calcolata mediante l'utilizzo del Sistema PVGIS messo a disposizione dal Centro Comune di Ricerca della Comunità Europea (Joint Research Center, JRC) utilizzando il database di radiazione Climate-SAF PVGIS. Vengono di seguito riportati i valori stimati di produzione dell'impianto per la località sede dell'intervento.



| Fixed system: inclination=15 deg., orientation=0 deg. | | | | |
|--|--------|-------|------|------|
| Month | Ed | Em | Hd | Hm |
| Jan | 36.70 | 1140 | 2.35 | 73.0 |
| Feb | 53.80 | 1510 | 3.49 | 97.7 |
| Mar | 70.70 | 2190 | 4.73 | 147 |
| Apr | 79.50 | 2390 | 5.50 | 165 |
| May | 92.10 | 2850 | 6.53 | 202 |
| Jun | 98.80 | 2960 | 7.19 | 216 |
| Jul | 104.00 | 3230 | 7.67 | 238 |
| Aug | 95.20 | 2950 | 6.97 | 216 |
| Sep | 76.90 | 2310 | 5.44 | 163 |
| Oct | 59.60 | 1850 | 4.06 | 126 |
| Nov | 41.20 | 1240 | 2.71 | 81.2 |
| Dec | 34.60 | 1070 | 2.23 | 69.2 |
| Year | 70.40 | 2140 | 4.91 | 149 |
| Total for year | | 25700 | | 1790 |

dove:

Ed = produzione elettrica media giornaliera (kWh)

Em = produzione elettrica media mensile (kWh)

Hd = media dell'irraggiamento giornaliero al metro quadro (kWh/m²)

Hm = media dell'irraggiamento mensile al metro quadro (kWh/m²)

Da tali dati è stata stimata una produzione totale annua di energia pari a **25.700 kWh**.

Considerando i profili di utilizzo della struttura ovvero un utilizzo nei mesi da Gennaio a Dicembre dalle ore 8.00 alle ore 18.00 si stima che l'impianto permetterà di ridurre del 57 % il fabbisogno complessivo di energia elettrica. Il risparmio derivante dal mancato prelievo dalla rete sarà quindi dato dall'energia autoconsumata (17.990 kWh) per il costo attualmente pagato per l'acquisto di energia elettrica. L'energia elettrica prodotta e non direttamente consumata (es. giorni festivi) verrà invece immessa in rete e valorizzata mediante la convenzione di Scambio sul Posto con il GSE (Gestore Servizi Energetici).



Figura 18 – Modalità di installazione (tetto a falda)

Considerando il prezzo di acquisto dell'energia elettrica pari a **0,23 euro/kWh** come da bollette elettriche si avrà un **risparmio per mancato acquisto di energia pari** $17.990 \text{ kWh} * 0,23 \text{ euro/kWh} = 4.138 \text{ euro/anno}$

Costo Intervento: € 46.000

8.4 Interventi minori e/o gestionali

8.4.1 Sistema di monitoraggio dei consumi termici ed elettrici

Al fine di sensibilizzare e rendere consapevoli gli utenti dei consumi energetici della struttura è prevista l'installazione di un sistema di misurazione e di visualizzazione dei consumi che permetterà di monitorare attraverso l'impiego di dispositivi con tecnologia Touch, i consumi elettrici e termici della struttura.

Il sistema dovrà permettere di scegliere il tipo di consumo da verificare, il tipo di visualizzazione (istantanea o tramite grafici) e il periodo (giorno, mese, anno). Il sistema sarà composto dai seguenti componenti:

- contabilizzatore di calore con uscita impulsiva da installare nel locale Centrale termica a valle dello scambiatore a piastre per la misurazione dei kWh di energia termica forniti all'utenza
- interfaccia conta-impulsi per l'acquisizione del segnale impulsivo del contabilizzatore di calore
- misuratore di energia elettrica a toroidi da installare nel quadro generale della struttura;
- dispositivi di visualizzazione Touch Screen



Figura 19 - Contabilizzatore di calore diretto

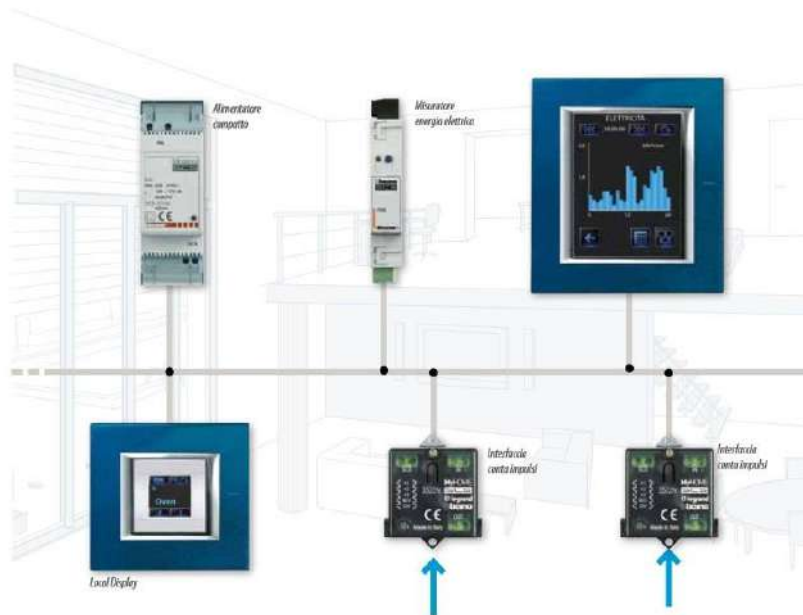


Figura 20 – Sistema di monitoraggio consumi

Tutti i dispositivi saranno connessi tramite cablaggio BUS a due fili e saranno integrati in un unico sistema di gestione. Il controllo dei consumi potrà essere effettuato anche in remoto tramite browser ed app per Smartphone e Tablet.

Costo Intervento: € 6.000

8.4.2 Display da esterno e monitoraggio remoto impianto fotovoltaico

L'intervento prevede l'installazione di un sistema di visualizzazione locale (display da esterno) della produzione di energia dell'impianto fotovoltaico al fine di permettere un controllo diretto ed immediato della funzionalità dell'impianto. Il sistema consentirà inoltre di accedere a tutti i dati di produzione da postazione remota e quindi di sorvegliare in tempo reale l'impianto evitando eventuali cali di rendimento per malfunzionamenti rilevati in ritardo.



Figura 21 – Monitoraggio remoto impianto fotovoltaico



Figura 22 – Display da esterno

Il display da esterno oltre a rendere evidente la politica green dell'Ente migliorando l'immagine della stessa, svolgerà una funzione didattica per gli alunni che vedranno direttamente i benefici derivanti dalla produzione di energia da fonte rinnovabile.

Costo Intervento: € 4.000

9 SINTESI STATO ATTUALE

L'audit energetico ha messo in evidenza i consumi energetici più importanti della struttura tra cui emergono quelli per il riscaldamento invernale e per il fabbisogno di energia elettrica.

Dall'analisi delle bollette energetiche emerge infatti un **fabbisogno elettrico di 41.393 kWh/anno** corrispondenti ad una **spesa annua di circa 9.520 €** ed un **fabbisogno di energia termica pari a 147.996 kWh/anno** corrispondenti a una **spesa annua di metano pari a 9.866 € (15.661 m³)**; tali numeri mostrano efficacemente il peso che il mantenimento delle condizioni di benessere termico all'interno dei locali ha sul bilancio economico dell'intera struttura.

Tra le principali cause dell'elevata richiesta energetica dell'edificio vi sono:

- il basso rendimento dei sistemi di generazione del calore esistenti
- l'assenza di un sistema di regolazione della temperatura negli ambienti
- l'elevata trasmittanza termica dell'involucro edilizio

Dall'analisi delle caratteristiche delle pareti, degli infissi e delle coperture dell'edificio e dal calcolo dei rendimenti dei sistemi di generazione, di regolazione, di distribuzione e di emissione degli impianti di riscaldamento si è determinato che **attualmente la classe energetica dell'edificio è pari a F**.

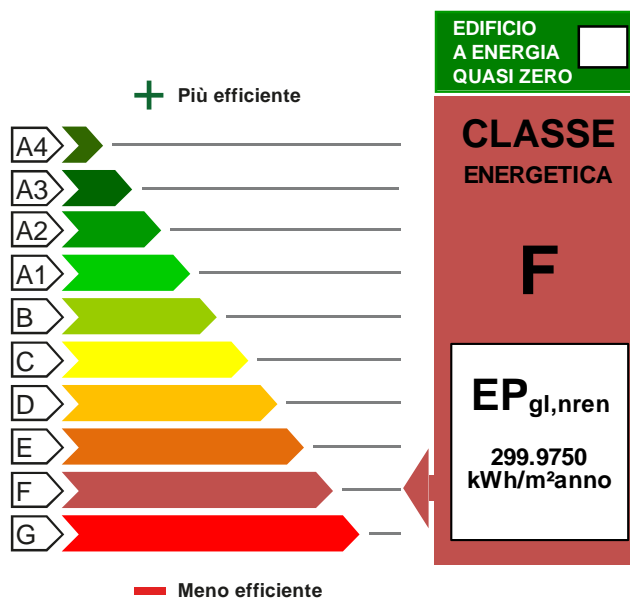


Figura 23 – Classe Energetica della struttura ante interventi

9.1 Caratteristiche Involucro e impianti stato attuale



COMPONENTI OPACHI:

Struttura portante in muratura di mattoni pieni
Trasmittanza media: 1,521 W/m²K



COMPONENTI FINESTRATI:

Infissi in alluminio a vetro singolo normale
Trasmittanza media: 5,8 W/m²K



GENERATORE DI CALORE:

Caldaia in ghisa a gas metano 291 kW
Rendimento di generazione: 87%



SISTEMA DI DISTRIBUZIONE:

Coibentazione non conforme DPR 412/93
Rendimento di distribuzione: 98 %



SISTEMA DI REGOLAZIONE:

Regolazione di zona mediante programmatore orario
con regolazione climatica
Rendimento di regolazione: 90 %



SISTEMA DI EMISSIONE:

Radiatori in alluminio e ghisa dimensionati per funzionamento ad alta temperatura (70-80 °C).

Rendimento di emissione: 95%

9.2 Indici e consumi stato attuale

| Descrizione | Unità di misura | Situazione attuale |
|--|--|--------------------|
| Indice di prestazione energetica globale | kWh/(m ² x anno) | 299,97 |
| Classe Energetica | | F |
| Consumo Riscaldamento | m ³ /anno | 15.661 |
| Consumo Illuminazione e UtENZE Elettriche | kWh elettrici/anno | 41.393 |
| Energia Elettrica Immessa in Rete | kWh elettrici/anno | - |
| Consumo Equivalente di Energia Primaria per Riscaldamento | kWh (P.C.I Metano = 9,45 kWh/m ³) | 147.996 |
| Consumo Equivalente di Energia Primaria per Illuminazione e UtENZE Elettriche | kWh (Fattore conversione = 2,17) | 89.823 |
| Indice energetico normalizzato per il riscaldamento (IEN _R) | Wh / (m ³ x GG x anno) | 2,98 |
| Indice energetico normalizzato per il consumo di energia elettrica (IEN _E) | Wh / m ² x anno | 9,95 |
| Classe di efficienza riscaldamento (Classe ENEA) | | Buono |
| Classe di efficienza di energia elettrica (Classe ENEA) | | Sufficiente |
| Costo Annuo per riscaldamento | Euro/anno | 9.866 |
| Costo Annuo per energia elettrica | Euro/anno | 9.520 |
| Costo Energetico Annuo Complessivo | Euro/anno | 19.386 |

10 SINTESI STATO FUTURO

Attraverso la realizzazione degli interventi sopra descritti, sarà possibile ottenere una elevazione della **classe dell'edificio fino alla categoria C** ed ottenere risparmi sia in termini di energia primaria che in termini di riduzione dei costi di gestione della struttura.

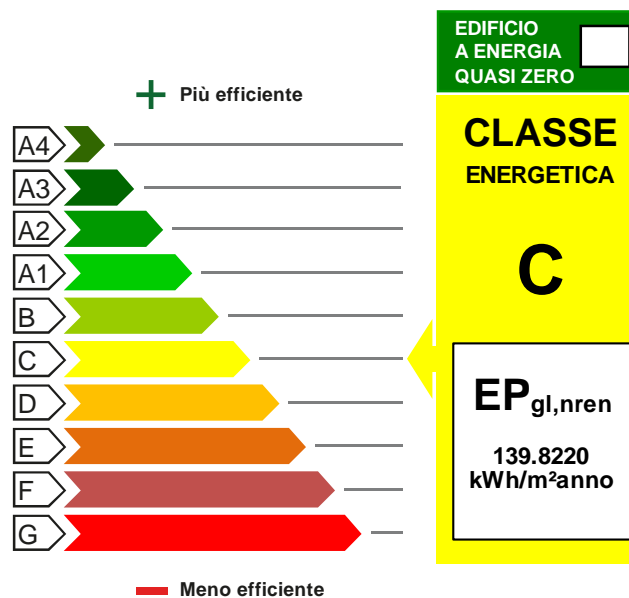


Figura 24 – Classe Energetica della struttura post interventi

Nello specifico gli interventi individuati permetteranno di ridurre gli attuali costi energetici della struttura del 62% con un risparmio energetico pari a 10.774 euro/anno di cui:

- 1.388 euro/anno (7%) derivanti dall'efficientamento del sistema di produzione del calore
- 1.142 euro/anno (6%) derivanti dalla regolazione della temperatura per singolo ambiente mediante teste termostatiche
- 1.752 euro/anno (9%) derivante dalla realizzazione del cappotto termico esterno da 10 cm
- 2.236 euro/anno (12%) derivante dalla sostituzione dei corpi illuminanti esistenti con corpi illuminanti LED
- 3.873 euro/anno (22%) derivanti dall'installazione di impianto fotovoltaico (20 kW) per la produzione di energia elettrica
- 1.183 euro/anno (7%) derivanti dalla sostituzione degli attuali infissi con infissi a doppio vetro e taglio termico

Risparmio economico percentuale rispetto a spesa energetica ante interventi

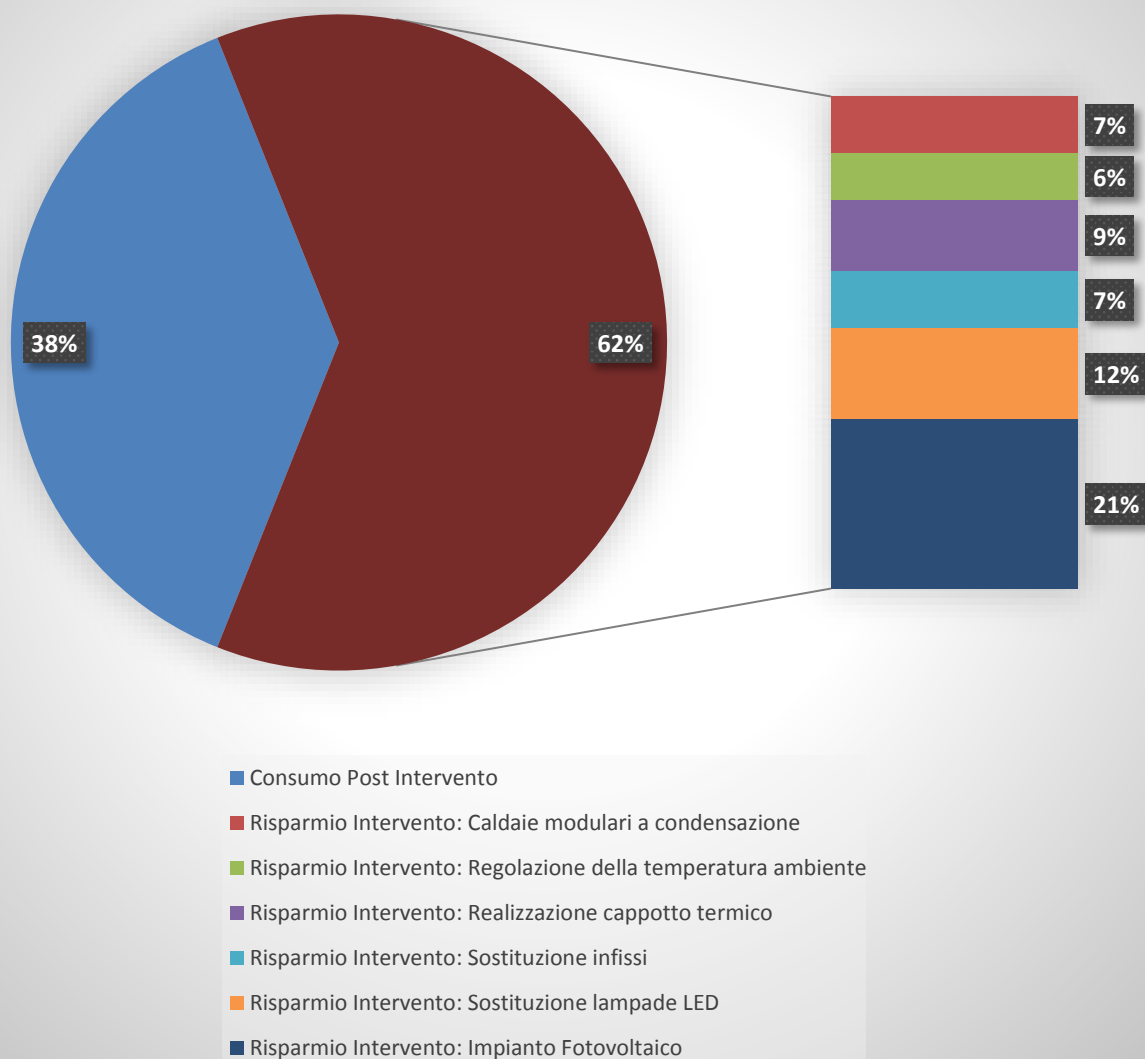


Figura 25 – Risparmio economico interventi di efficientamento

Sulla base dei consumi energetici stimati post interventi di efficientamento è possibile calcolare i futuri indicatori di efficienza energetica e le conseguenti classi di efficienza come riportato nelle seguenti tabelle:

| Consumo medio annuo (kWh di energia primaria) | Volume (mc) | S/V | Fe | Fh | GG | IEN _R | Classe di efficienza riscaldamento |
|---|-------------|------|----|-----|------|------------------|------------------------------------|
| 63.032 | 22.455 | 0,38 | 1 | 0,9 | 1989 | 1,27 | Buono |

| Consumo medio annuo (kWh elettrici) | Superficie | Fh | IEN _E | Classe di efficienza energia elettrica |
|-------------------------------------|------------|-----|------------------|--|
| 13.683 | 3.744 | 0,9 | 3,29 | Buono |

10.1 Interventi di efficientamento principali



CALDAIE MODULARI A CONDENSAZIONE:

Sostituzione della caldaia esistente con caldaie modulari a condensazione con regolazione climatica

Risparmio Energia Primaria: 17.820 kWh/anno

Risparmio economico: 1.188 euro/anno



TESTE TERMOSTATICHE E ADEGUAMENTO CORPI RADIANTI:

Installazione di teste termostatiche e adeguamento corpi radianti per funzionamento a bassa temperatura

Risparmio Energia Primaria: 15.630 kWh/anno

Risparmio economico: 1.042 euro/anno



CORPI ILLUMINANTI LED:

Sostituzione dei corpi illuminanti esistenti con corpi illuminanti LED

Risparmio Energia Primaria: 19.209 kWh/anno

Risparmio economico: 2.036 euro/anno



ISOLAMENTO TERMICO A CAPPOTTO:

Realizzazione termico a cappotto con
pannelli di polistirene spessore 100 mm
Risparmio Energia Primaria: 21.780 kWh/anno
Risparmio economico: 1.452 euro/anno



INFISSI DOPPIO VETRO A TAGLIO TERMICO:

Sostituzione infissi con nuovi serramenti doppio
vetro a taglio termico con trasmittanza $<1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Risparmio Energia Primaria: 17.745 kWh/anno
Risparmio economico: 1.183 euro/anno



IMPIANTO FOTOVOLTAICO:

Installazione di impianto fotovoltaico di potenza pari a
20 kW e produzione attesa pari a 24.100 kWh elettrici
Risparmio Energia Primaria: 36.541 kWh/anno
Risparmio economico: 3.873 euro/anno

10.2 Interventi di efficientamento minori



SISTEMA DI MONITORAGGIO CONSUMI :

Sistema di monitoraggio consumi
elettrici e termici della struttura



DISPLAY FOTOVOLTAICO:

Sistema di visualizzazione locale (display da esterno)
e remoto della produzione di energia
dell'impianto fotovoltaico

10.3 Confronto ANTE e POST intervento

Si riporta di seguito il riepilogo dei risultati ottenibili a seguito degli interventi di efficientamento:

| Descrizione | Unità di misura | Situazione attuale | Situazione futura |
|--|--|--------------------|-------------------|
| Indice di prestazione energetica globale | kWh/(m ² x anno) | 299,975 | 139,822 |
| Classe Energetica | | F | C |
| Consumo Riscaldamento | m ³ /anno | 15.661 | 8.675 |
| Consumo Illuminazione e UtENZE Elettriche | kWh elettrici/anno | 41.393 | 13.683 |
| Energia Elettrica Immessa in Rete | kWh/anno | - | 7.710 |
| Consumo Equivalente di Energia Primaria per Riscaldamento | kWh (P.C.I Metano = 9,45 kWh/m ³) | 147.996 | 81.975 |
| Consumo Equivalente di Energia Primaria per Illuminazione e UtENZE Elettriche | kWh (Fattore conversione = 2,17) | 89.823 | 29.692 |
| Indice energetico normalizzato per il riscaldamento (IEN _R) | Wh / (m ³ x GG x anno) | 2,98 | 1,27 |
| Indice energetico normalizzato per il consumo di energia elettrica (IEN _E) | Wh / m ² x anno | 9,95 | 3,29 |
| Classe di efficienza riscaldamento | | Buono | Buono |
| Classe di efficienza di energia elettrica (Classe ENEA) | | Sufficiente | Buono |
| Costo Annuo per riscaldamento | Euro/anno | 9.866 | 5.465 |
| Costo Annuo per energia elettrica | Euro/anno | 9.520 | 3.147 |
| Costo Energetico Annuo Complessivo | Euro/anno | 19.386 | 8.612 |

10.4 Quadro economico di spesa

| | |
|---|---------------------------------|
| A.1 Importo dei lavori a base d'asta | € 697.400 |
| A.1.1 IMPIANTI FOTOVOLTAICI | € 50.000 |
| Realizzazione, acquisto ed installazione di impianti, apparecchiature e strumenti necessari alla realizzazione dell'intervento, compresi quelli per il telecontrollo | € 46.000 € 4.000 |
| A.1.2 IMPIANTI SOLARI TERMICI | - |
| Realizzazione, acquisto ed installazione di impianti, apparecchiature e strumenti necessari alla realizzazione dell'intervento, comprese le opere impiantistiche ed edili per l'allacciamento alle utenze | |
| A.1.3 ALTRI IMPIANTI - CO-TRIGENERAZIONE | - |
| Realizzazione, acquisto ed installazione di impianti, apparecchiature e strumenti necessari alla realizzazione dell'intervento, comprese le opere di adduzione e distribuzione del vettore termico | |
| A.1.4 INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO IMPIANTISTICO | € 135.400 |
| - Acquisto ed installazione di caldaie ad alta efficienza comprese le opere impiantistiche ed edili per l'allacciamento alle utenze e l'adeguamento energetico dei terminali di erogazione del calore (installazione boiler di accumulo ed inerziali, valvole termostatiche, ecc.) | € 46.400 € 6.000 € 25.300 |
| - Acquisto ed installazione di pompe di calore ad alta efficienza comprese le opere impiantistiche ed edili per l'allacciamento alle utenze e la sostituzione dei terminali di erogazione del calore (installazione boiler di accumulo ed inerziali, installazione di circuiti di riscaldamento a pavimento/soffitto/canalizzazioni aerauliche, aerotermi/ventilconvettori, ecc.) | - |
| - Opere di adeguamento degli apparati e della rete di distribuzione di energia elettrica nell'edificio | - |
| - Acquisto ed installazione di apparecchiature di illuminazione interna/esterna ad alta efficienza | € 57.700 |
| - Acquisto ed installazione di dispositivi a rete per il controllo e coordinamento autonomo del funzionamento delle utenze energetiche (elettriche e termiche) compresa la sensoristica locale e l'unità di controllo centrale | |
| A.1.5 INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO DELL'INVOLUCRO EDILIZIO | € 512.000 |
| - Lavori di rifacimento della coibentazione della copertura | |



| | |
|--|------------------|
| - Lavori di posa in opera di sistemi a cappotto esterno per l'isolamento delle pareti verticali con correzione dei ponti termici | € 190.900 |
| - Lavori di sostituzione e posa in opera degli infissi esistenti per i componenti vetrati | € 321.100 |
| A.2 Importo dei servizi a base d'asta | € 32.500 |
| Spese tecniche di progettazione definitiva/esecutiva | € 32.500 |
| A.3 Oneri per la sicurezza non soggetti a ribasso | € 67.000 |
| Totale importo a base d'asta (A.1+A.2+A.3) | € 796.900 |



11 REVISIONE DIAGNOSI

11.1 Interventi eliminati

Sulla base di quanto riportato nel bando della Call for Proposal Energia Sostenibile 2.0 l'importo massimo dei lavori oggetto di finanziamento dovrà essere inferiore al limite di € 700.000,00. Sulla base dell'analisi costi benefici si è pertanto decisa l'eliminazione parziale dei seguenti interventi:

- Sostituzione infissi (la quantità complessiva di infissi sostituiti passa da 600 mq a 280 mq)

Si riporta di seguito il nuovo confronto ANTE POST interventi ed il nuovo quadro economico di spesa complessivo del Dossier.

11.2 Nuovo confronto ANTE e POST intervento (aggiornato a seguito della revisione della diagnosi)

| Descrizione | Unità di misura | Situazione attuale | Situazione futura |
|---|--|--------------------|-------------------|
| Indice di prestazione energetica globale | kWh/(m ² x anno) | 299,975 | 139,822 |
| Classe Energetica | | F | C |
| Consumo Riscaldamento | m ³ /anno | 15.661 | 9.700 |
| Consumo Illuminazione e UtENZE Elettriche | kWh elettrici/anno | 41.393 | 13.683 |
| Energia Elettrica Immessa in Rete | kWh/anno | - | 7.710 |
| Consumo Equivalente di Energia Primaria per Riscaldamento | kWh (P.C.I Metano = 9,45 kWh/m ³) | 147.996 | 91.665 |
| Consumo Equivalente di Energia Primaria per Illuminazione e UtENZE Elettriche | kWh (Fattore conversione = 2,17) | 89.823 | 29.692 |
| Costo Annuo per riscaldamento | Euro/anno | 9.866 | 6.111 |
| Costo Annuo per energia elettrica | Euro/anno | 9.520 | 3.147 |
| Costo Energetico Annuo Complessivo | Euro/anno | 19.386 | 9.258 |

11.3 Nuovo quadro economico di spesa (aggiornato a seguito della revisione della diagnosi)

| | |
|---|---------------------------------|
| A.1 Importo dei lavori a base d'asta | € 520.000 |
| A.1.1 IMPIANTI FOTOVOLTAICI | € 50.000 |
| Realizzazione, acquisto ed installazione di impianti, apparecchiature e strumenti necessari alla realizzazione dell'intervento, compresi quelli per il telecontrollo | € 46.000 € 4.000 |
| A.1.2 IMPIANTI SOLARI TERMICI | - |
| Realizzazione, acquisto ed installazione di impianti, apparecchiature e strumenti necessari alla realizzazione dell'intervento, comprese le opere impiantistiche ed edili per l'allacciamento alle utenze | |
| A.1.3 ALTRI IMPIANTI - CO-TRIGENERAZIONE | - |
| Realizzazione, acquisto ed installazione di impianti, apparecchiature e strumenti necessari alla realizzazione dell'intervento, comprese le opere di adduzione e distribuzione del vettore termico | |
| A.1.4 INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO IMPIANTISTICO | € 135.400 |
| - Acquisto ed installazione di caldaie ad alta efficienza comprese le opere impiantistiche ed edili per l'allacciamento alle utenze e l'adeguamento energetico dei terminali di erogazione del calore (installazione boiler di accumulo ed inerziali, valvole termostatiche, ecc.) | € 46.400 € 6.000 € 25.300 |
| - Acquisto ed installazione di pompe di calore ad alta efficienza comprese le opere impiantistiche ed edili per l'allacciamento alle utenze e la sostituzione dei terminali di erogazione del calore (installazione boiler di accumulo ed inerziali, installazione di circuiti di riscaldamento a pavimento/soffitto/canalizzazioni aerauliche, aerotermi/ventilconvettori, ecc.) | - |
| - Opere di adeguamento degli apparati e della rete di distribuzione di energia elettrica nell'edificio | - |
| - Acquisto ed installazione di apparecchiature di illuminazione interna/esterna ad alta efficienza | € 57.700 |
| - Acquisto ed installazione di dispositivi a rete per il controllo e coordinamento autonomo del funzionamento delle utenze energetiche (elettriche e termiche) compresa la sensoristica locale e l'unità di controllo centrale | |
| A.1.5 INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO DELL'INVOLUCRO EDILIZIO | € 334.600 |
| - Lavori di rifacimento della coibentazione della copertura | |



| | |
|--|------------------|
| - Lavori di posa in opera di sistemi a cappotto esterno per l'isolamento delle pareti verticali con correzione dei ponti termici | € 190.900 |
| - Lavori di sostituzione e posa in opera degli infissi esistenti per i componenti vetrati | € 143.700 |
| A.2 Importo dei servizi a base d'asta | € 32.500 |
| Spese tecniche di progettazione definitiva/esecutiva | € 32.500 |
| A.3 Oneri per la sicurezza non soggetti a ribasso | € 67.000 |
| Totale importo a base d'asta (A.1+A.2+A.3) | € 619.500 |

