



COMUNE DI NAPOLI

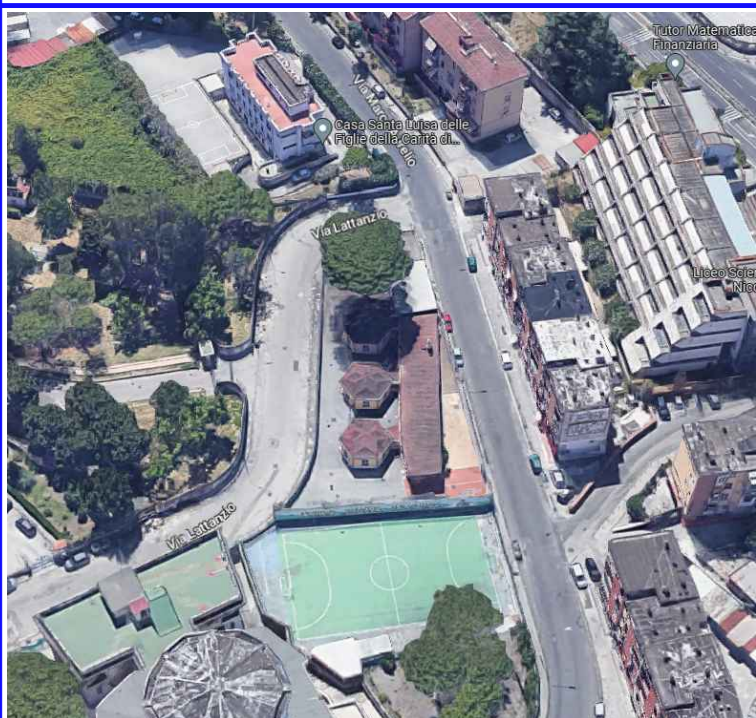


Unione Europea



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

Coesione  
Napoli



Riqualificazione funzionale e messa in sicurezza del 21° Circolo Didattico scuola dell'infanzia "Marco Aurelio"  
C.U.P. : **B68I22000170006**

## PROGETTO ESECUTIVO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Giulio Davini

### I PROGETTISTI

S.IN.T.E.C. s.r.l.



**S.IN.T.E.C. S.R.L.**  
SOCIETA' D'INGEGNERIA PER IL TERRITORIO EDILE E CIVILE  
Tel e Fax: 081.5263349

Via Oriani n.2, Pozzuoli (NA) 80078 - P.IVA.07789120636



Amm. Ing. Rodolfo Fisciano

Mandante

Ing. Luigi Passante



Mandante

Ing. Massimo Di Palma



Mandante

Geol. Loredana Cimmino



Mandante

Ing. Francesca Rosaria Fele



|              |                                  |           |
|--------------|----------------------------------|-----------|
| ELABORATO N. | TITOLO ELABORATO                 | SCALA     |
| EED_RDE      | Relazione<br>Diagnosi Energetica | REVISIONE |

## Sommario

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. PREMESSA .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.1 DESCRIZIONE GENERALE DELLA DIAGNOSI E DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO ANALIZZATO .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>1.2 DESCRIZIONE DEL METODO DI LAVORO E SERVIZI CONSIDERATI.....</b>                          | <b>6</b>  |
| <b>1.3 RIFERIMENTI DEL REDE.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.4 DICHIARAZIONE IN ORDINE A POSSIBILI CONFLITTI DI INTERESSE .....</b>                     | <b>6</b>  |
| <b>2. PRESENTAZIONE GENERALE DEI SITO – DATI DI BASE .....</b>                                  | <b>7</b>  |
| <b>2.1 INFORMAZIONI SUL SISTEMA EDIFICIO IMPIANTO .....</b>                                     | <b>8</b>  |
| <b>2.2 COLLEGAMENTI ALLA RETE.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>2.3 CONSUMO DI ENERGIA ED ALTRI VETTORI CONSIDERATI.....</b>                                 | <b>8</b>  |
| <b>2.4 TARIFFE UTILIZZATE PER CALCOLI ECONOMICI .....</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>2.5 MODALITÀ DI ESERCIZIO, MANUTENZIONE ED ASPETTI LEGATI AL FACILITY MANAGEMENT .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA EDIFICIO IMPIANTO E DIAGNOSI .....</b>                            | <b>10</b> |
| <b>3.1 INVOLUCRO.....</b>   | <b>10</b> |
| 3.1.1 Parete verticale esterna.....   | 10        |
| 3.1.2 Copertura.....  | 12        |
| 3.1.3 Solai inferiori.....  | 13        |
| 3.1.4 Serramenti.....   | 14        |
| <b>3.2 SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE INVERNALE/ESTIVA E DI PRODUZIONE DI ACS.....</b>              | <b>17</b> |
| 3.2.1 Impianto di riscaldamento .....   | 17        |
| 3.2.2 Impianto produzione di ACS .....  | 18        |
| 3.2.3 Impianto di ventilazione meccanica controllata.....                                       | 19        |
| 3.2.4 Impianto di climatizzazione estiva.....   | 19        |
| 3.2.5 Sistemi di termoregolazione.....  | 19        |
| <b>3.3 IMPIANTO ELETTRICO .....</b>   | <b>20</b> |
| 3.3.1 Illuminazione.....  | 20        |
| 3.3.2 Utenze elettriche .....   | 21        |
| <b>3.4 EVENTUALI ALTRI SISTEMI.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>4. ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>4.1 COMBUSTIBILI .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>4.2 ENERGIA ELETTRICA .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>4.3 PRINCIPALI INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA .....</b>                                | <b>26</b> |
| 4.3.1 Indicatore di prestazione per il gas naturale.....  | 26        |
| 4.3.2 Indicatore di prestazione per l'energia elettrica .....                                   | 26        |
| <b>4.4 EMISSIONI DI CO<sub>2</sub> .....</b>  | <b>27</b> |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>5.</b> | <b>SIMULAZIONE SISTEMA EDIFICIO IMPIANTO .....</b>   | <b>29</b> |
| 5.1       | DESCRIZIONE DEI PARAMETRI UTILIZZATI PER IL CALCOLO .....  | 29        |
| 5.1.1     | <i>Parametri per la realizzazione del modello elettrico .....</i>  | <i>30</i> |
| 5.1.2     | <i>Parametri per la realizzazione del modello termico .....</i>  | <i>30</i> |
| 5.2       | RISULTATI DELLA SIMULAZIONE SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO .....  | 30        |
| 5.2.1     | <i>Risultati di calcolo del modello elettrico .....</i>  | <i>30</i> |
| 5.2.2     | <i>Risultati di calcolo del modello termico .....</i>  | <i>33</i> |
| 5.3       | VALIDAZIONE DEI MODELLI .....  | 37        |
| 5.3.1     | <i>Validazione del modello elettrico .....</i>   | <i>37</i> |
| 5.3.2     | <i>Validazione del modello termico .....</i>   | <i>38</i> |
| <b>6.</b> | <b>INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI SECONDO LIVELLO .....</b>  | <b>39</b> |
| 6.1       | INDIVIDUAZIONI DELLE POTENZIALI AREE DI INTERVENTO .....   | 39        |
| 6.2       | INTERVENTI SULL'INVOLUCRO .....  | 40        |
| 6.2.1     | <i>Intervento migliorativo 1: coibentazione copertura .....</i>  | <i>40</i> |
| 6.2.2     | <i>Intervento migliorativo 2: coibentazione primo calpestio .....</i>  | <i>41</i> |
| 6.2.3     | <i>Intervento migliorativo 3: coibentazione della tamponatura .....</i>  | <i>42</i> |
| 6.2.4     | <i>Intervento migliorativo 4: sostituzione dei serramenti ed installazione di schermature solari 44</i>  |           |
| 6.3       | INTERVENTI SUGLI IMPIANTI MECCANICI .....  | 45        |
| 6.3.1     | <i>Intervento migliorativo 5: sostituzione della caldaia con modelli a condensazione .</i>   | <i>45</i> |
| 6.3.2     | <i>Intervento migliorativo 6: sostituzione dei terminali .....</i>   | <i>46</i> |
| 6.3.3     | <i>Intervento migliorativo 7: installazione di nuovo impianto di riscaldamento e raffrescamento per le aule, il refettorio e l'ufficio. ....</i> | <i>46</i> |
| 6.3.4     | <i>Intervento migliorativo 8: Sostituzione impianto ACS. ....</i>  | <i>46</i> |
| 6.3.5     | <i>Intervento migliorativo 9: Installazione impianto di ventilazione meccanica .....</i>   | <i>46</i> |
| 6.4       | INTERVENTI SUGLI IMPIANTI ELETTRICI .....  | 47        |
| 6.4.1     | <i>Intervento migliorativo 10: relamping a LED .....</i>   | <i>47</i> |
| 6.5       | UTILIZZO DELLE FONTI RINNOVABILI .....   | 47        |
| 6.5.1     | <i>Intervento migliorativo 11: impianto fotovoltaico .....</i>   | <i>47</i> |
| 6.5.2     | <i>Intervento migliorativo 12: impianto solare termico .....</i>   | <i>48</i> |
| 6.6       | SCENARI DI INTERVENTO E ANALISI DEI COSTI-BENEFICI .....   | 48        |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSIONI .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>8.</b> | <b>APPENDICE .....</b>   | <b>50</b> |
| 8.1       | ALLEGATO A – FASCICOLO SCHEDE STRUTTURE ANTE INTERVENTO (VEDI ELABORATO EED_RSE) .....   | 50        |
| 8.2       | ALLEGATO B – FASCICOLO SCHEDE STRUTTURE POST INTERVENTO (VEDI ELABORATO EED_RSE) .....   | 50        |
| 8.3       | ALLEGATO C – APE ANTE E POST INTERVENTO (VEDI ELABORATO EED_AA-AP) .....   | 50        |

## 1. PREMESSA

In Italia gran parte degli immobili è stata costruita ben prima del 1976, anno in cui è entrata in vigore la prima legge sul contenimento del consumo energetico degli edifici. Ciò si traduce nel fatto che la maggior parte dei nostri stabili presenta pareti e finestre che disperdono verso l'esterno una quota rilevante dell'energia utilizzata per climatizzare gli ambienti interni. Considerando, in aggiunta, le dispersioni energetiche dovute all'obsolescenza di impianti termici e sistemi di illuminazione, si conclude che una quantità elevata (a volte oltre il 50%) dell'energia prodotta per climatizzare gli edifici viene sprecata e, attraverso un puntuale piano di interventi, può essere risparmiata. Oltre a questa affermazione di carattere generale, è doveroso citare le più importanti direttive in materia di efficienza energetica, ripercorrendo i principali passi fatti a livello comunitario e nazionale nella direzione del contenimento dei consumi energetici.

In Italia, la prima legge che dà indicazioni in merito al contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici risale al 1976 (Legge 373/1976). Essa viene seguita 15 anni più tardi dalla Legge 10/1991, che ha come obiettivo la riduzione dei consumi di energia e il miglioramento delle condizioni di compatibilità ambientale.

A partire dagli anni '90 il mondo della politica ha iniziato a prendere maggiormente in considerazione la necessità di un cambiamento nei modi di gestire l'energia, il che si è tradotto con un incremento del numero di interventi legislativi in tema di efficientamento energetico e di tutela ambientale. In un contesto nel quale si collocano anche i grandi accordi internazionali (Protocollo di Kyoto - 1997, Accordo di Parigi - 2015), l'Unione Europea ha provveduto all'emanazione di numerose Direttive, poi recepite dagli Stati membri.

Tra esse vi è la 28 del 2009, recepita in Italia con il D.Lgs. 28/2011, per la promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili.

La Direttiva 2012/27/UE del 25 ottobre 2012, poi, ha imposto agli Stati membri di conseguire un obiettivo nazionale indicativo globale di risparmio energetico, mediante servizi energetici e altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica. Il 19 Luglio 2014 è entrato in vigore il D.lgs. 102/2014, con il quale l'Italia recepisce tale Direttiva, ed è stato istituito il fondo nazionale per l'efficienza energetica; sono state definite in modo rigoroso le competenze e gli schemi di certificazione per gli operatori professionali e le società coinvolte nel settore dell'efficienza energetica, civile ed industriale (Esperti in Gestione dell'Energia, Energy Auditor, Energy Service Company, ecc.); è stato introdotto l'obbligo di audit energetico periodico per le grandi imprese e per le imprese ad alti consumi energetici; sono stati richiamati precisi riferimenti alla normativa tecnica per l'esecuzione di tali audit; sono state introdotte alcune modifiche al meccanismo dei certificati bianchi ed al conto termico (D.M. 28/12/2012).

Infine, va citata la Direttiva Europea 31/2010, recepita in Italia con il Decreto Interministeriale 26 giugno 2015, che indica i requisiti minimi per l'edilizia in campo energetico.

Per efficientare un edificio, è necessario scegliere l'intervento che meglio risponde alle esigenze dello stesso ed individuare lo strumento più adatto a finanziare tale intervento. Queste operazioni vengono eseguite all'interno di una diagnosi energetica dell'edificio; essa va svolta in accordo alla norma UNI CEI EN 16247. L'esperto incaricato effettua uno o più sopralluoghi della struttura, nel corso dei quali potrà avvalersi di appositi rilievi sul campo, e analizzerà i dati sui consumi e sui costi energetici legati al normale utilizzo dell'edificio, esaminando fatture e bollette dei vettori energetici presenti. Dall'analisi dei dati emergerà in che modo l'energia



viene utilizzata e quali possono essere le cause degli eventuali sprechi. Sarà così possibile individuare i più idonei interventi migliorativi, sulla base di una prima valutazione di fattibilità tecnico-economica.

## 1.1 Descrizione generale della diagnosi e del sistema edificio-impianto analizzato

L'oggetto della diagnosi energetica descritta nel presente rapporto è la Scuola dell'Infanzia Marco Aurelio in via Marco Aurelio 93 in Soccavo (NA).

Come si è detto, la norma europea di riferimento per l'esecuzione delle diagnosi energetiche è la UNI CEI EN 16247:2012 e successive modifiche. Essa si compone di 5 parti e, nel caso in esame, vengono prese in considerazione la 1 e la 2. La Parte 1 - Requisiti generali fornisce la definizione, il metodo di sviluppo e la reportistica necessaria per il corretto svolgimento di una diagnosi energetica. La Parte 2 - Edifici fornisce i requisiti specifici di diagnosi energetica per gli edifici. Essa deve essere applicata in collegamento con ed è integrativa alla Parte 1.

In maniera complementare, la diagnosi energetica dell'Istituto è stata condotta seguendo la norma UNI/TR 11775:2020, che fornisce le linee guida per l'applicazione della UNI CEI EN 16247-2.

Le fasi nelle quali si sviluppa una diagnosi energetica sono sinteticamente racchiuse nel seguente schema:

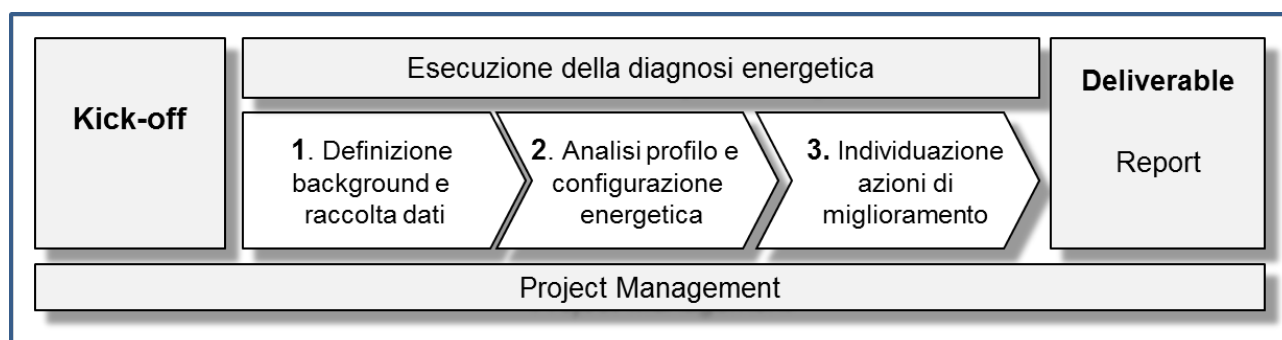


Figura 1 – Fasi che compongono una diagnosi energetica.

Durante la prima fase, viene eseguita un'analisi preliminare del sito oggetto di diagnosi, andando a individuare quali sono le informazioni necessarie; sulla scorta dell'analisi preliminare, viene effettuata la raccolta dati. Essa si compone sia di dati forniti dal committente e dai gestori del sito, sia di dati raccolti durante la fase di sopralluogo effettuata dal tecnico incaricato. Successivamente gli elementi ottenuti vengono elaborati in modelli energetici, che descrivono come viene utilizzata l'energia all'interno del sito. Essi devono tenere in considerazione le condizioni a contorno, come le caratteristiche geoclimatiche dell'area nella quale si trova l'edificio, e i profili di utilizzo di ogni elemento individuato durante i sopralluoghi, così come indicato dalla committenza o come stimato in fase di elaborazione. I modelli energetici vanno quindi validati attraverso il confronto con dati reali di consumo (quali quelli forniti da appositi strumenti di misurazione installati nel sito o le bollette energetiche). Successivamente vanno individuate le azioni di miglioramento dell'efficienza del sito, che possono essere sia di carattere comportamentale/processuale che veri e propri interventi (tipicamente edili o impiantistici). L'analisi del loro impatto tecnico-economico costituisce l'ultimo passaggio dell'analisi, valutandone efficacia e sostenibilità economica e tenendo presente le diverse opportunità di finanziamento. Infine, tutti gli elementi raccolti ed elaborati nella diagnosi vanno riassunti in un rapporto.

Si dettagliano maggiormente le azioni sopra elencate:

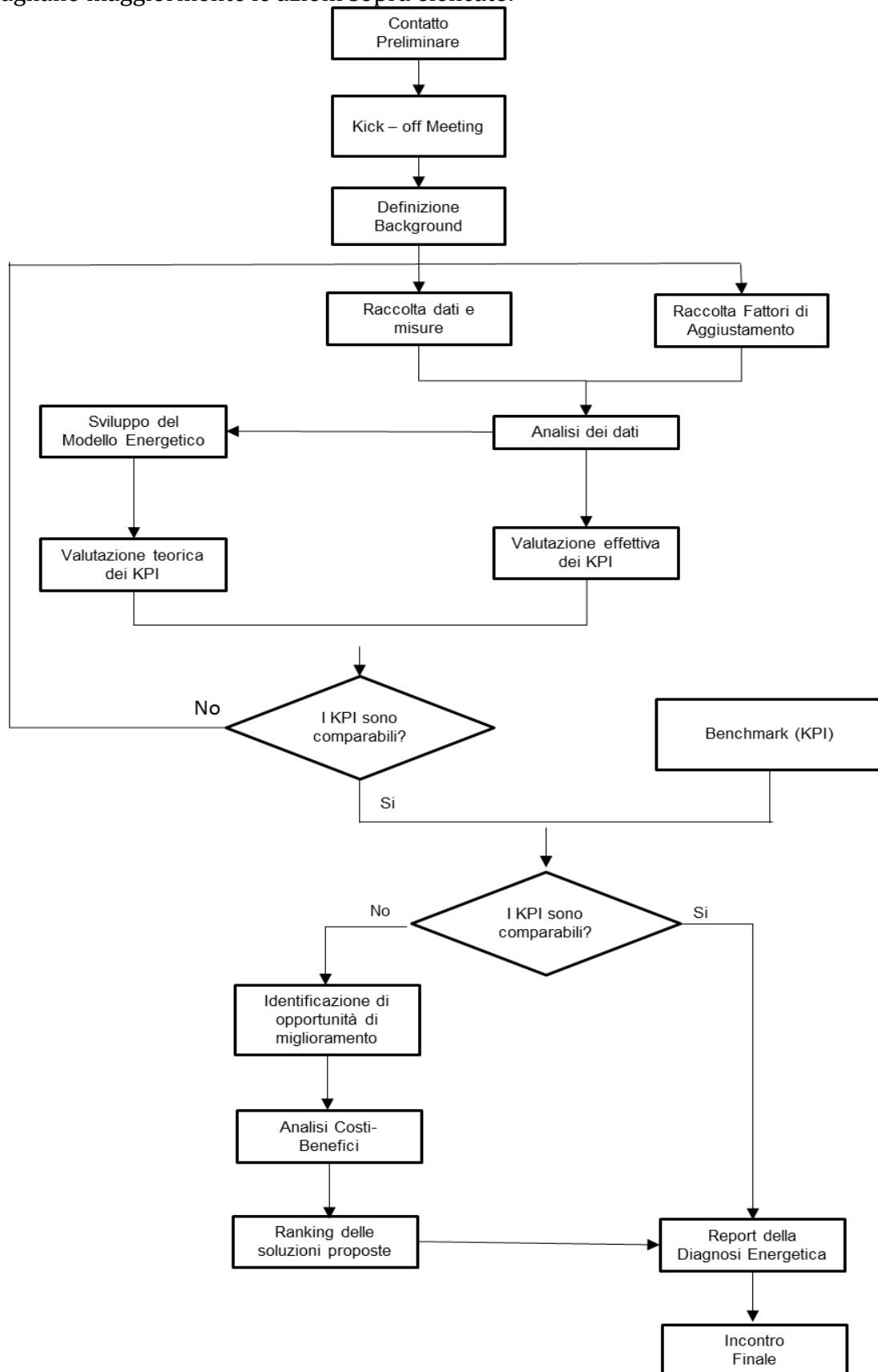


Figura 2 – Diagramma di flusso della diagnosi energetica.

## **1.2 Descrizione del metodo di lavoro e servizi considerati**

Nella diagnosi energetica come sito oggetto di analisi si è considerato l'intera struttura e quanto contiene in termini di impianti e apparecchiature elettriche, sia collocate all'interno che all'esterno, includendo anche gli ambienti non climatizzati.

I dati necessari alla valutazione degli assorbimenti energetici sono stati raccolti durante un sopralluogo, avvenuto in data 16 febbraio 2023. Durante la visita, supportati dalla committenza, gli auditor hanno rilevato i dati di targa di ogni dispositivo al quale sia possibile associare un consumo energetico. Nel momento in cui non fossero disponibili, i dati sono stati stimati sulla base del confronto con apparecchiature similari delle quali fossero note le caratteristiche tecniche.

In merito all'involucro edilizio, le stratigrafie dei vari componenti sono state individuate tramite indagini in situ (murature, solai e serramenti) invece, ove non osservabili direttamente, sono state ipotizzate sulla base della tipologia edilizia complessiva dell'edificio, nonché della sua collocazione storica.

I profili di utilizzo dei vari ambienti e degli impianti sono stati costruiti a partire dalle indicazioni fornite dalla committenza.

I dati di consumi reali, con i quali sono stati valutati i modelli energetici elaborati, sono quelli delle bollette di energia elettrica, mentre per quanto riguarda quelli relativi al metano sono stati supposti in mancanza di dati reali.

Per una corretta valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio, vanno considerate 6 tipologie di servizi: riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria (ACS), ventilazione meccanica, illuminazione e trasporti (ascensori, scale mobili, montacarichi, nastri trasportatori, ecc.). Nella diagnosi di cui al presente rapporto sono stati considerati i 4 servizi effettivamente presenti all'interno dell'istituto, ovvero riscaldamento, raffrescamento, produzione di ACS e illuminazione.

## **1.3 Riferimenti del REDE**

Figura centrale del processo di diagnosi energetica è il REDE (Responsabile della Diagnosi Energetica). Il presente rapporto è stato realizzato dall'Ing. Luigi Passante, Esperto in Gestione dell'Energia (EGE), ai sensi della UNI CEI 11339:2009, con certificazione rilasciata da AICQ SICEV, n°081.

## **1.4 Dichiarazione in ordine a possibili conflitti di interesse**

Le azioni di efficientamento suggerite vengono fornite tenendo presente la volontà del committente e indicandogli la migliore soluzione possibile sulla base esperienza maturata.

I prodotti eventualmente indicati all'interno del rapporto di diagnosi e utilizzati come riferimento tecnico ed economico non sono in alcun modo vincolanti, ma costituiscono solo una proposta tecnica, lasciando sempre al committente la piena libertà di decisione.

## 2. PRESENTAZIONE GENERALE DEI SITO – DATI DI BASE

Il sito oggetto della diagnosi energetica descritta in questo rapporto è la struttura che ospita Scuola dell'Infanzia Marco Aurelio. Nel seguito se ne elencheranno le principali caratteristiche, che poi, nei prossimi capitoli, verranno via via approfondite.



Figura 3 – Il prospetto principale dell'istituto.

L'edificio si presenta composto da più corpi, con un unico livello: una stecca di forma rettangolare e 3 corpi di forma esagonale, collegati alla stecca da corridoi. Si riportano la planimetria dell'edificio.

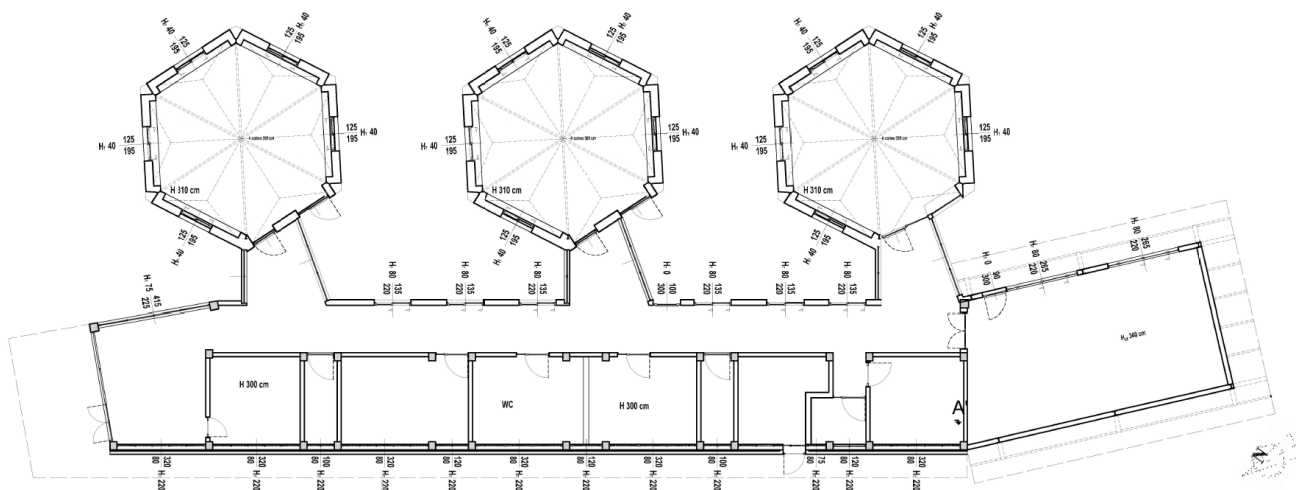


Figura 4 – Planimetria stato di fatto.

L'edificio scolastico in esame si colloca nel comune di Napoli in via Marco Aurelio 93 in Soccavo (NA) ed è inserito in un contesto ambientale privo di elementi di disturbo, è isolato dai manufatti contermini e circondato da ampia area pavimentata ed in parte a verde, tutto regolarmente recintato.

La presenza di fabbricati nelle prossimità del sito oggetto di analisi e la recinzione sono elementi che vanno considerati, poiché influiscono sull'eventuale riparazione dal vento e sul possibile ombreggiamento. Gli edifici limitrofi, per dimensioni e vicinanza, sono tali da fornire una schermatura rispetto al vento, ma non hanno un peso determinante nel riparare dal sole



l'istituto. Infatti, mentre vi è una distanza ridotta dai palazzi che si trovano di fronte al prospetto ovest, quelli che sono collocati sugli altri prospetti sono piuttosto distanti dall'edificio, a causa della presenza dei campetti, da un lato, e del giardino, dall'altro. Tale peso viene dato invece dalla presenza di alberi all'interno dell'area.

Dal punto di vista climatico, il comune di Napoli si trova in zona C ed è caratterizzato da 1034 gradi-giorno. In base alla zona climatica di appartenenza viene determinata la stagione di riscaldamento che, in questo caso, va dal 22 novembre al 23 marzo.

Si riassumono i principali dati geografici e climatici del sito oggetto di diagnosi:

| <b>Dati Geografici e Climatici</b>            |   |
|---|---|
| <b>Comune</b>                                 | Napoli                                      |
| <b>Provincia</b>                              | Napoli                                      |
| <b>Indirizzo</b>                              | Via Marco Aurelio 93, 80126                 |
| <b>Altezza s.l.m.</b>                         | 86 m  |
| <b>Latitudine e Longitudine</b>               | Lat.: 40° 50' 25" N   Long. : 14° 11' 20" E |
| <b>Gradi giorno (DPR 412/93)</b>              | 1034  |
| <b>Zona Climatica (Dpr. 412/93)</b>           | C   |
| <b>Stagione di riscaldamento</b>              | 22 novembre – 23 marzo                      |
| <b>N° h max di funzionamento (DPR 412/93)</b> | 9   |
| <b>Destinazione d'uso principale</b>          | Istruzione infantile                        |
| <b>Categoria Edificio (DPR 412/93)</b>        | E7 – attività scolastiche                   |

*Tabella 1 – Riepilogo dei dati geo-climatici del sito.*

## 2.1 Informazioni sul sistema edificio impianto

I servizi svolti all'interno dell'istituto, concordemente a quanto indicato nel §1.2, sono il riscaldamento, il raffrescamento, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione. Eccezion fatta per una stufetta elettrica, il riscaldamento avviene attraverso una caldaia tradizionale a metano, il fabbisogno di ACS è invece soddisfatto da quattro scaldini elettrici. L'illuminazione sfrutta l'energia elettrica.

## 2.2 Collegamenti alla rete

L'edificio risulta collegato sia alla rete elettrica (distributore E-Distribuzione spa), che a quella del gas naturale (distributore Italgas Reti spa), che alla rete idrica.

## 2.3 Consumo di energia ed altri vettori considerati

I vettori energetici che vengono considerati in questa analisi sono l'energia elettrica ed il gas naturale. L'energia elettrica utilizzata nel sito è solo quella prelevata dalla rete nazionale, non essendovi impianti di produzione installati in loco, quali impianti solari fotovoltaici o impianti mini-eolici. Allo stesso modo, non sono presenti impianti per la produzione di energia termica, quali impianti solari termici.

## **2.4 Tariffe utilizzate per calcoli economici**

Le valutazioni economiche degli interventi migliorativi che verranno proposti (capitolo 6) sono basate sui costi unitari dei vettori economici ricavati dalle bollette.

Nel caso dell'energia elettrica sono disponibili esclusivamente le bollette dell'anno 2022. Per il calcolo del costo unitario (€/kWh), si sono considerate le spese sostenute sottratte della quota fissa. Successivamente è stata applicata la media pesata a tutti i mesi dell'anno, ottenendo il costo medio di **0,4191 €/kWh**.

Per il gas naturale non sono pervenute le bollette pertanto non ci sono dati per poter fare valutazioni in merito.

## **2.5 Modalità di esercizio, manutenzione ed aspetti legati al facility management**

Nell'istituto non sono presenti sistemi di automazione o telegestione. Il controllo dei consumi e dei dispositivi avviene in modo manuale. Pertanto, gli unici dati reali di consumo disponibili sono quelli relativi alle bollette dei vettori energetici.

### 3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA EDIFICIO IMPIANTO E DIAGNOSI

#### 3.1 Involucro

In questo paragrafo vengono illustrati i principali elementi edilizi costituenti l'involucro dell'edificio. Per ognuno di essi si riportano le stratigrafie e le principali caratteristiche termiche, determinanti per l'analisi del comportamento energetico della struttura.

L'immobile è stato edificato nel 1970; esso è costituito, dal punto di vista strutturale, da telai in c.a.; le tamponature esterne sono costituite da pareti in laterizio e da pareti in tufo. Gli orizzontamenti sono costituiti da solai latero-cementizi.

##### 3.1.1 Parete verticale esterna

Al fine della valutazione della prestazione energetica di una struttura, rivestono interesse le pareti che delimitano i vani riscaldati da quelli non riscaldati o dall'esterno. All'interno dell'edificio sono presenti murature dai diversi spessori.

Sono disponibili alcuni dati da saggi, atti alla determinazione dell'effettiva stratigrafia degli elementi e la supposizione di altri. Si riporta la stratigrafia della tamponatura delle aule:

| Strato | Descrizione               | Spessore [mm] | Conduttività [W/mK] | Conduttanza [W/m²K] | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza al vapore [-] | Calore specifico [J/kgK] | Resistenza [m²K/W] |
|--------|---------------------------|---------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
|        | Adduttanza interna        | 0             |                     | 7.7000              |                            |                          |                          | 0.1299             |
| 1      | Intonaco di calce e gesso | 15            | 0.7000              | 46.6667             | 21.00                      | 10.7222                  | 1'000                    | 0.0214             |
| 2      | Blocchi di tufo           | 270           | 0.5500              | 2.0370              | 432.00                     | 100.0000                 | 1'000                    | 0.4909             |
| 3      | Intonaco di calce e gesso | 15            | 0.7000              | 46.6667             | 21.00                      | 10.7222                  | 1'000                    | 0.0214             |
|        | Adduttanza esterna        | 0             |                     | 25.0000             |                            |                          |                          | 0.0400             |

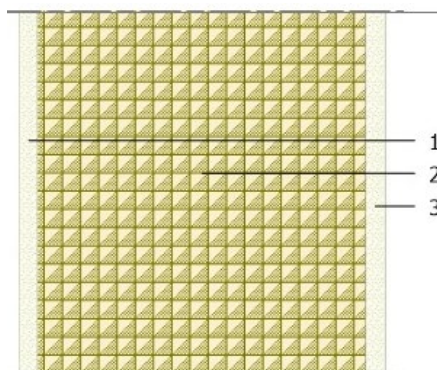


Figura 5 – Stratigrafia della tamponatura delle aule.

Si riporta la stratigrafia della tamponatura della restante parte del fabbricato:

| Strato | Descrizione                                   | Spessore [mm] | Conduttività [W/mK] | Conduttanza [W/m²K] | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza al vapore [-] | Calore specifico [J/kgK] | Resistenza [m²K/W] |
|--------|---|---------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
|        | Adduttanza interna                            | 0             |                     | 7.7000              |                            |                          |                          | 0.1299             |
| 1      | Intonaco di calce e gesso                     | 15            | 0.7000              | 46.6667             | 21.00                      | 10.7222                  | 1'000                    | 0.0214             |
| 2      | Mattoni pieni, forati, leggeri - densità 1400 | 170           | 0.5000              | 2.9412              | 238.00                     | 7.5068                   | 840                      | 0.3400             |
| 3      | Intonaco di calce e gesso                     | 15            | 0.7000              | 46.6667             | 21.00                      | 10.7222                  | 1'000                    | 0.0214             |
|        | Adduttanza esterna                            | 0             |                     | 25.0000             |                            |                          |                          | 0.0400             |

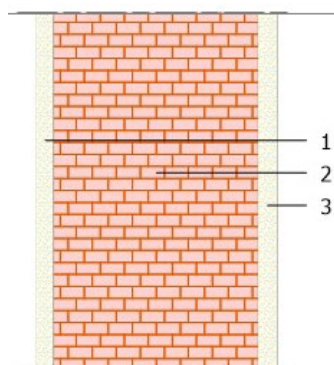


Figura 6 – Stratigrafia della tamponatura della restante parte del fabbricato.

Si riporta la stratigrafia delle partizioni interne:

| Strato | Descrizione                                  | Spessore [mm] | Conduttività [W/mK] | Conduttanza [W/m²K] | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza al vapore [-] | Calore specifico [J/kgK] | Resistenza [m²K/W] |
|--------|--|---------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
|        | Adduttanza interna                           | 0             |                     | 7.7000              |                            |                          |                          | 0.1299             |
| 1      | Intonaco interno                             | 15            | 0.7000              | 46.6667             | 21.00                      | 10.7222                  | 1'000                    | 0.0214             |
| 2      | Mattoni pieni, forati, leggeri - densità 600 | 120           | 0.2470              | 2.0583              | 72.00                      | 5.3611                   | 840                      | 0.4858             |
| 3      | Intonaco interno                             | 15            | 0.7000              | 46.6667             | 21.00                      | 10.7222                  | 1'000                    | 0.0214             |
|        | Adduttanza esterna                           | 0             |                     | 7.7000              |                            |                          |                          | 0.1299             |

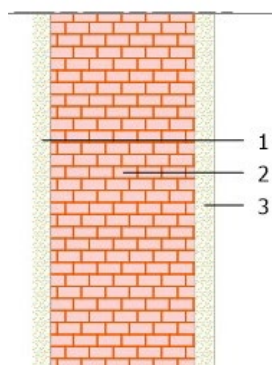


Figura 7 – Stratigrafia delle partizioni interne.

### 3.1.2 Copertura

In merito ai solai è possibile fare un discorso analogo a quello approntato per la muratura. Anche in questo caso, difatti, oltre ad analisi visive, sono stati effettuati dei rilievi.

Qui si riporta la stratigrafia del solaio di copertura. La tipologia adoperata è il legno per le aule, la lamiera coibentata per il refettorio ed il latero-cemento per la restante parte del fabbricato:

| Strato | Descrizione               | Spessore [mm] | Conducibilità [W/mK] | Conduttanza [W/m²K] | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza al vapore [-] | Calore specifico [J/kgK] | Resistenza [m²K/W] |
|--------|---------------------------|---------------|----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
|        | Adduttanza esterna        | 0             |                      | 25.0000             |                            |                          |                          | 0.0400             |
| 1      | Bitume                    | 4             | 0.1700               | 42.5000             | 4.80                       | barriera                 | 1 '000                   | 0.0235             |
| 2      | Assito in legno per tetto | 120           | 0.1500               | 1.2500              | 66.00                      | 42.8889                  | 1 '600                   | 0.8000             |
|        | Adduttanza interna        | 0             |                      | 10.0000             |                            |                          |                          | 0.1000             |

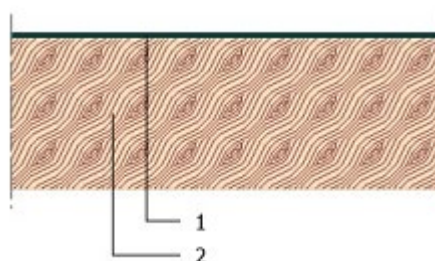


Figura 8 – Stratigrafia del solaio delle aule.

| Strato | Descrizione                 | Spessore [mm] | Conducibilità [W/mK] | Conduttanza [W/m²K] | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza al vapore [-] | Calore specifico [J/kgK] | Resistenza [m²K/W] |
|--------|-----------------------------|---------------|----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
|        | Adduttanza esterna          | 0             |                      | 25.0000             |                            |                          |                          | 0.0400             |
| 1      | Bitume                      | 4             | 0.1700               | 42.5000             | 4.80                       | barriera                 | 1 '000                   | 0.0235             |
| 2      | Massetto ordinario          | 40            | 1.0600               | 26.5000             | 80.00                      | 74.2308                  | 1 '000                   | 0.0377             |
| 3      | Soletta piana laterocemento | 250           |                      | 2.2321              | 400.00                     | 10.1579                  | 1 '000                   | 0.4480             |
| 4      | Intonaco interno            | 10            | 0.7000               | 70.0000             | 14.00                      | 10.7222                  | 1 '000                   | 0.0143             |
|        | Adduttanza interna          | 0             |                      | 10.0000             |                            |                          |                          | 0.1000             |

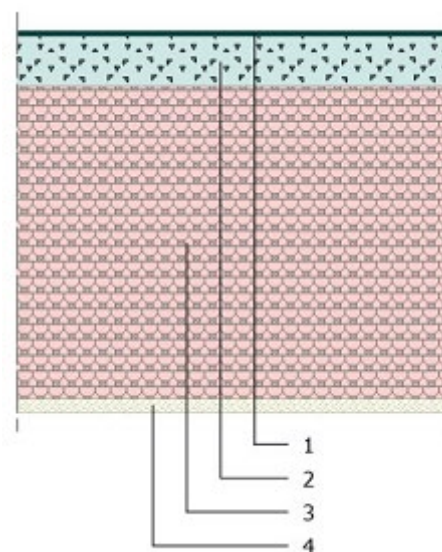


Figura 9 – Stratigrafia del solaio della restante parte del fabbricato.



| Strato | Descrizione   | Spessore [mm] | Conduttività [W/mK] | Conduttanza [W/m²K] | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza al vapore [-] | Calore specifico [J/kgK] | Resistenza [m²K/W] |
|--------|---|---------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
|        | Adduttanza esterna  | 0             |                     | 25.0000             |                            |                          |                          | 0.0400             |
| 1      | Alluminio   | 6             | 220.0000            | 36'666.6667         | 16.20                      | barriera                 | 900                      | 0.0000             |
| 2      | Pannello in poliuretano espanso rigido (PUR o PU), minore 80 mm | 60            | 0.0280              | 0.4667              | 2.40                       | 60.0000                  | 1'400                    | 2.1429             |
| 3      | Alluminio   | 6             | 220.0000            | 36'666.6667         | 16.20                      | barriera                 | 900                      | 0.0000             |
|        | Adduttanza interna  | 0             |                     | 10.0000             |                            |                          |                          | 0.1000             |

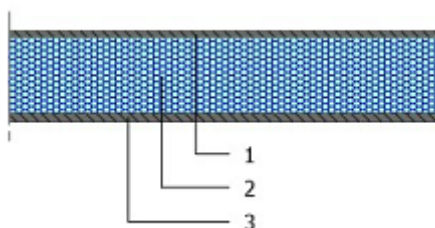


Figura 10 – Stratigrafia del solaio del refettorio.

### 3.1.3 Solai inferiori

Per il solaio di primo calpestio si è ipotizzata la seguente stratigrafia:

| Strato | Descrizione                 | Spessore [mm] | Conduttività [W/mK] | Conduttanza [W/m²K] | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza al vapore [-] | Calore specifico [J/kgK] | Resistenza [m²K/W] |
|--------|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
|        | Adduttanza interna          | 0             |                     | 5.9000              |                            |                          |                          | 0.1695             |
| 1      | Pavimentazione interna      | 15            | 1.4700              | 98.0000             | 25.50                      | 205.3191                 | 1'000                    | 0.0102             |
| 2      | Massetto ordinario          | 40            | 1.0600              | 26.5000             | 80.00                      | 74.2308                  | 1'000                    | 0.0377             |
| 3      | Calcestruzzo alleggerito    | 100           | 0.3300              | 3.3000              | 120.00                     | 86.5471                  | 1'000                    | 0.3030             |
| 4      | Ghiaia grossa senza argilla | 200           | 1.2000              | 6.0000              | 340.00                     | 5.1467                   | 840                      | 0.1667             |
|        | Adduttanza esterna          | 0             |                     | 5.9000              |                            |                          |                          | 0.1695             |

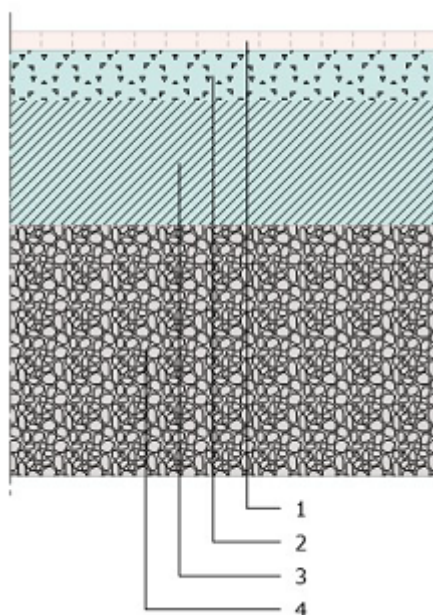
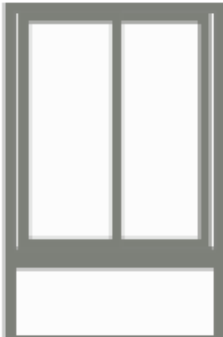


Figura 11 – Stratigrafia del solaio di primo calpestio.

### 3.1.4 Serramenti

I serramenti sono elementi molto importanti nella determinazione delle prestazioni energetiche di un edificio. Spesso si sottovaluta la loro influenza ma, sebbene occupino una superficie ben inferiore a quella della muratura, rappresentano l'anello termicamente debole dell'involucro. Ciò per due motivi: il primo è che i serramenti sono costituiti da elementi che, per materiali e spessori, risultano meno isolanti rispetto ad una muratura; il secondo è che essi determinano delle superfici di discontinuità, comportando la presenza di ponti termici. Essi sono dei "corridoi preferenziali" attraverso i quali viene disperso il calore e si generano ogni qualvolta vi sia una discontinuità sulla superficie dell'involucro. In fase di sopralluogo è stata riscontrata una certa varietà di serramenti, sia per materiale che per geometria.

Essendovi un numero molto elevato di serramenti differenti, non verranno elencati tutti qui di seguito, (per l'elenco completo si faccia riferimento all'Allegato A - Fascicolo Strutture Ante), ma se ne riportano alcuni dei più comuni. Il primo ha il telaio in PVC ed un doppio vetro (del tipo 4-12-4), con aria come gas di intercapedine; il secondo ha il telaio in PVC e vetro singolo, il terzo ha il telaio in metallo senza taglio termico e vetro singolo.

| INFISSO INTERNO   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Titolo  | Infisso Aula  |  |   |
| Descrizione   | Telaio PVC + Doppio vetro   |  |   |
|  | <b>VETRO</b><br>Tipo vetro = Doppio normale<br>Area - $A_g = 1.65 \text{ m}^2$<br>Perimetro - $L_g = 10.00 \text{ m}$<br>Trasmittanza - $U_g = 2.80 \text{ W/m}^2\text{K}$<br>Fattore solare normale - $f_g = 0.75$ |  | <b>TELAIO</b><br>Tipo telaio = PVC<br>Area - $A_t = 0.79 \text{ m}^2$<br>Trasmittanza - $U_t = 2.20 \text{ W/m}^2\text{K}$<br>Tipo distanziatori = PVC<br>Trasmittanza distanziatori = $0.06 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
|   | <b>Area totale infisso - <math>A_w = 2.44 \text{ m}^2</math></b>  |  |   |

|   |               |  |
|---|---------------|--|
| Cassonetto  | -             |  |
| Parapetto   | -             |  |
| Resistenza superficiale interna                       | 0.13          | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Resistenza superficiale esterna                       | 0.04          | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Resistenza intercapedine                              | -             | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Coefficiente riduzione area telaio                    | 0.32          |  |
| <b>Trasmittanza totale infisso - <math>U_w</math></b> | <b>2.8107</b> | <b><math>\text{W/m}^2\text{K}</math></b> |
| <b>Resistenza totale infisso - <math>R_w</math></b>   | <b>0.36</b>   | <b><math>\text{m}^2\text{K/W}</math></b> |

Figura 12 – Serramento in PVC e doppio vetro, tipico delle aule.

| INFISSO INTERNO   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Titolo</b>   | infisso corridoio  |  |
| <b>Descrizione</b>  | Telaio PVC + vetro singolo   |  |
|  | <b>VETRO</b><br>Tipo vetro = Singolo<br>Area - $A_g = 2.10 \text{ m}^2$<br>Perimetro - $L_g = 11.20 \text{ m}$<br>Trasmittanza - $U_g = 5.40 \text{ W/m}^2\text{K}$<br>Fattore solare normale - $f_g = 0.85$ | <b>TELAIO</b><br>Tipo telaio = PVC<br>Area - $A_t = 0.88 \text{ m}^2$<br>Trasmittanza - $U_t = 2.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
|   | <b>Area totale infisso - <math>A_w = 2.97 \text{ m}^2</math></b>   |  |

|   |               |  |
|---|---------------|--|
| Cassonetto  | -             |  |
| Parapetto   | -             |  |
| Resistenza superficiale interna                       | 0.13          | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Resistenza superficiale esterna                       | 0.04          | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Resistenza intercapedine                              | -             | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Coefficiente riduzione area telaio                    | 0.29          |  |
| <b>Trasmittanza totale infisso - <math>U_w</math></b> | <b>4.4572</b> | <b><math>\text{W/m}^2\text{K}</math></b> |
| <b>Resistenza totale infisso - <math>R_w</math></b>   | <b>0.22</b>   | <b><math>\text{m}^2\text{K/W}</math></b> |

Figura 13 – Serramento in PVC e vetro singolo, tipico del corridoio del corpo centrale e del refettorio.

| INFISSO INTERNO   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Titolo</b>   | Infisso Servizi 5 ante   |   |
| <b>Descrizione</b>  | Telaio metallo + vetro singolo   |   |
|  | <b>VETRO</b><br>Tipo vetro = Singolo<br>Area - $A_g = 2.03 \text{ m}^2$<br>Perimetro - $L_g = 12.80 \text{ m}$<br>Trasmittanza - $U_g = 5.40 \text{ W/m}^2\text{K}$<br>Fattore solare normale - $f_g = 0.85$ | <b>TELAIO</b><br>Tipo telaio = Metallo senza taglio termico<br>Area - $A_t = 0.53 \text{ m}^2$<br>Trasmittanza - $U_t = 7.00 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
|   | <b>Area totale infisso - <math>A_w = 2.56 \text{ m}^2</math></b>   |   |

|   |               |  |
|---|---------------|--|
| Cassonetto  | -             |  |
| Parapetto   | -             |  |
| Resistenza superficiale interna                       | 0.13          | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Resistenza superficiale esterna                       | 0.04          | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Resistenza intercapedine                              | -             | $\text{m}^2\text{K/W}$                   |
| Coefficiente riduzione area telaio                    | 0.21          |  |
| <b>Trasmittanza totale infisso - <math>U_w</math></b> | <b>5.7313</b> | <b><math>\text{W/m}^2\text{K}</math></b> |
| <b>Resistenza totale infisso - <math>R_w</math></b>   | <b>0.17</b>   | <b><math>\text{m}^2\text{K/W}</math></b> |

Figura 14 – Serramento in metallo senza taglio termico e vetro singolo, tipico del prospetto ovest e dei corridoi di collegamento alle aule.

Come considerazione generale è possibile affermare che nella struttura vi sono alcune zone nelle quali i serramenti, per quanto non sempre di recente installazione o delle tipologie più performanti, non rappresentano grandi criticità ed altre nelle quali essi sono caratterizzati da elevate dispersioni termiche verso l'esterno, incidendo notevolmente sulla coibentazione dell'edificio. Più nello specifico i serramenti in metallo senza taglio termico e a vetro singolo, risultano i più svantaggiati da questo punto di vista. L'evidenza di tale differenza è data dai valori di trasmittanza nei casi esemplificativi di cui sopra. Di seguito si riporta qualche foto relativa agli infissi.



Figura 15 – Foto serramenti.

### 3.2 Sistemi di climatizzazione invernale/estiva e di produzione di ACS

Nel seguito si analizzeranno i principali elementi costituenti gli impianti presenti nell'istituto.

#### 3.2.1 Impianto di riscaldamento

Nell'edificio oggetto di diagnosi, la maggior parte degli ambienti è riscaldato. L'impianto è unico e servito da un generatore collocato nella centrale termica ubicata nel corpo centrale. Tale generatore è una caldaia tradizionale alimentata a gas naturale, prelevato da rete. La data di installazione si colloca attorno al 2009. La caldaia è BIKLIM Modello TS1 con potenza 88.9 kW, la marca ed il modello sono stati rilevati durante il sopralluogo e ricavati facendo riferimento al libretto impianto fornito dalla committenza.

La collocazione degli ambienti della scuola rende necessarie due pompe gemellari di circolazione ausiliari per consentire al fluido termovettore (l'acqua riscaldata dalla caldaia, in questo caso) di raggiungere i terminali. Questi ultimi sono costituiti da termosifoni in



ghisa, di varie dimensioni e numero di elementi ad eccezione della zona refettorio in cui sono in alluminio.

Per completare la descrizione degli elementi costituenti l'impianto di riscaldamento, vanno inclusi anche uno split presente della zona uffici e di una stufetta a resistenza elettrica individuata nel sopralluogo che sebbene inclusa nelle valutazioni energetiche, questa ha naturalmente un'influenza limitata.



Figura 16 – Caldaia e terminale.

### 3.2.2 Impianto produzione di ACS

La produzione di acqua calda sanitaria è garantita da 4 bollitori elettrici posizionati in ogni bagno con capacità 80 l e potenza pari a 1200 W e nella zona scodellamento con capacità pari a 10 l e potenza pari a 1500 W.



Figura 17 – Boiler elettrico.

### 3.2.3 Impianto di ventilazione meccanica controllata

Non sono presenti impianti di ventilazione meccanica ed il ricambio d'aria è garantito attraverso la sola ventilazione naturale.

### 3.2.4 Impianto di climatizzazione estiva

Il servizio di raffrescamento viene svolto esclusivamente nella zona ufficio attraverso uno split.



Figura 18 – Split.

### 3.2.5 Sistemi di termoregolazione

La gestione degli impianti è di tipo manuale e non sono presenti sistemi di termoregolazione di zona o sui terminali, quali valvole termostatiche.

### 3.3 Impianto elettrico

L'impianto elettrico serve l'impianto di illuminazione e le utenze presenti nell'edificio. Si analizzeranno brevemente questi due tipi di classi di dispositivi.

#### 3.3.1 Illuminazione

L'impianto di illuminazione si concentra all'interno della struttura. Durante il sopralluogo sono stati raccolti i dati relativi a tutti i corpi illuminanti dell'istituto. Le tipologie riscontrate sono due e si differenziano dalla zona del refettorio ed il resto del fabbricato.

La tipologia più rappresentata è quella delle plafoniere con tubolari a fluorescenza da 18 W, 36 W per elemento, in funzione della dimensione 60 cm e 120 cm. Nella zona del refettorio sono invece presenti tubolari a controsoffitto da 13 W.



Figura 19 – Plafoniera a fluorescenza.



Figura 20 – Tubolari a controsoffitto.

### 3.3.2 Utenze elettriche

All'interno dell'Istituto, nel corso del sopralluogo, si è provveduto al rilievo di altri dispositivi elettrici come apparecchiature d'ufficio quali: Computer, server, stampante. Ed elettrodomestici quali frigo, microonde, macchinetta del caffè ed altri per valutarne gli effetti sui consumi elettrici.



Figura 21 – Frigorifero (sinistra) ed il server (destra).



### **3.4 Eventuali altri sistemi**

All'interno della struttura non sono presenti altri sistemi e i modelli energetici elaborati sono stati costruiti sulla base degli elementi evidenziati nei paragrafi precedenti.



## 4. ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI

Ora che si sono illustrati i principali elementi edilizi e impiantistici e che si sono indicati i servizi svolti all'interno dell'istituto, è opportuno analizzarne i consumi energetici. Come indicato nel §2.3, i vettori energetici presenti sono il gas naturale e l'energia elettrica e di essi verranno analizzati i profili di consumo, al fine di elaborare, mediante il confronto con l'anagrafica degli impianti e dei dispositivi presenti, i modelli energetici.

### 4.1 Combustibili

Il gas naturale, spesso anche indicato come metano (che ne costituisce il principale componente), è il principale combustibile impiegato nel sito. I consumi reali non sono disponibili in quanto non sono state rese disponibili le bollette.

### 4.2 Energia elettrica

Come illustrato nel capitolo 2, l'energia elettrica consumata nell'istituto è prelevata interamente da rete, non essendo installati impianti di produzione per l'autoconsumo nella struttura.

Vi è un unico POD (acronimo, dall'inglese, di "punto di fornitura") in bassa tensione, con codice IT001E81406085. Il distributore è E-Distribuzione spa, mentre il fornitore è Enel Energia srl prima e Gruppo HERA a partire dal ottobre 2022. La potenza disponibile e la potenza impiegata sono pari a 7 kW e 7,7 kW, rispettivamente.

I dati reali di consumo sono quelli delle bollette, calcolate su base bimestrale. Anche in questo caso le bollette sono disponibili per l'annualità relativa al periodo nov 2021 – nov 2022.

Si vanno ora a riportare le tabelle ed i grafici di riepilogo dei consumi di energia elettrica dell'istituto per l'unica annualità. Le prime 4 colonne sono espresse in kWh.

| Periodo       | Consumi     |             |             |             | Bolletta          | Imposte        | Costo unitario | Tep equivalenti |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Mese          | F1          | F2          | F3          | kWh         | €                 | €              | €/kWh          | Tep             |
| nov-21        | 596         | 103         | 104         | 803         |                   |                |                |                 |
| dic-21        | 650         | 108         | 110         | 868         |                   |                |                |                 |
| gen-22        | 548         | 123         | 120         | 791         | € 275,77          | € 9,89         | € 0,3361       | 0,1479          |
| feb-22        | 562         | 109         | 86          | 757         |                   |                |                |                 |
| mar-22        | 585         | 116         | 100         | 801         | € 342,14          | € 10,01        | € 0,4146       | 0,1498          |
| apr-22        | 371         | 92          | 120         | 583         | € 208,60          | € 7,29         | € 0,3453       | 0,1090          |
| mag-22        | 228         | 77          | 76          | 381         | € 136,13          | € 4,76         | € 0,3448       | 0,0712          |
| giu-22        | 182         | 65          | 98          | 345         | € 142,43          | € 4,31         | € 0,4003       | 0,0645          |
| lug-22        | 177         | 58          | 74          | 309         | € 193,07          | € 3,86         | € 0,6123       | 0,0578          |
| ago-22        | 137         | 47          | 76          | 260         | € 189,46          | € 3,25         | € 0,7162       | 0,0486          |
| set-22        | 200         | 61          | 75          | 336         | € 200,43          | € 4,20         | € 0,5840       | 0,0628          |
| ott-22        | 162         | 65          | 83          | 310         | € 114,01          | € 3,88         | € 0,3553       | 0,0580          |
| nov-22        | 282         | 95          | 92          | 469         | € 176,66          | € 5,86         | € 0,3642       | 0,0877          |
| <b>Totali</b> | <b>4680</b> | <b>1119</b> | <b>1214</b> | <b>7013</b> | <b>€ 1 978,70</b> | <b>€ 57,31</b> | <b>0,4191</b>  | <b>0,8574</b>   |

Tabella 2 - Consumi di energia elettrica dell'annualità tra novembre 2021 e novembre 2022.

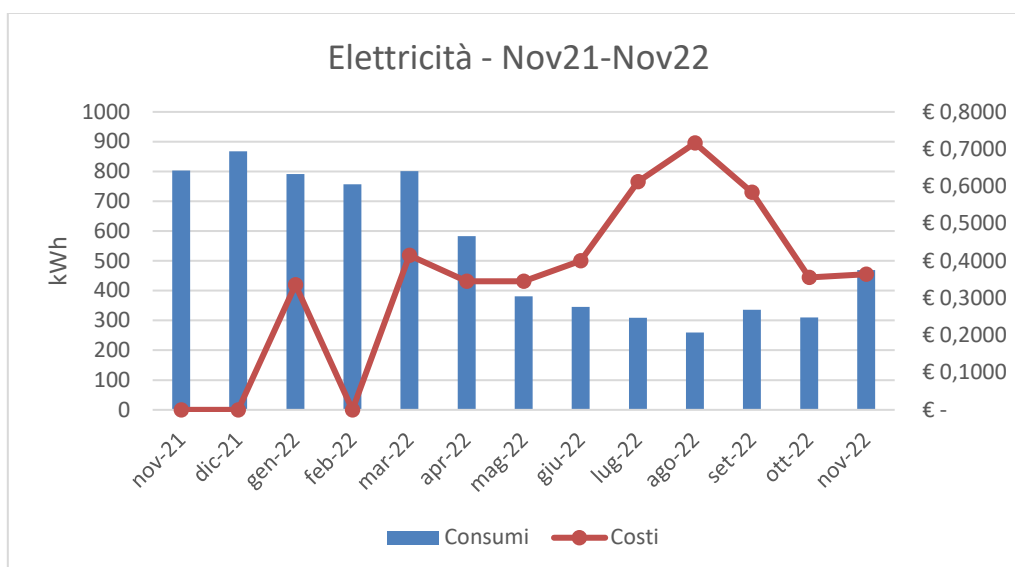


Figura 22 - Andamento di consumi e costi dell'energia elettrica dell'annualità tra novembre 2021 e novembre 2022.

Nella tabella sopra riportata è indicato il consumo in kWh suddiviso nelle fasce orarie e totali. Le fasce orarie di consumo, denominate F1, F2 ed F3, sono le fasce nelle quali vengono distinti i consumi. A meno di contratti a tariffa monoraria, esse prevedono tariffe differenti, per incentivare il consumo in orari della giornata nei quali lo sfruttamento della rete è minore (tipicamente quelli serali). C'è poi l'indicazione delle tonnellate equivalenti di petrolio. In questo caso, facendo riferimento ancora alla Circolare del MiSE del 18 ottobre 2014, il fattore di conversione risulta essere pari a  $0,187 \cdot 10^{-3}$  tep/kWh. I costi riportati, invece, sono sia riferiti all'intera bolletta che alla quota di imposte differenti dall'IVA. Il costo unitario è dato dal rapporto tra il valore economico della bolletta, decurtato dalle imposte, e i consumi.

Si porta all'attenzione che l'aumento del costo unitario nel periodo estivo è legato al peso maggiore delle spese per il trasporto dell'energia elettrica rispetto alla spesa della materia energia. Nonostante il consumo di energia d'estate sia minore, il costo specifico aumenta perché il costo dovuto al trasporto rimane immutato rispetto alla spesa energia che è proporzionale al consumo.

È interessante confrontare i mesi di novembre 2021 e novembre 2022. Si nota che i consumi del mese di novembre 2021 è decisamente più alto rispetto a quello di novembre 2022. Tale variazione va associata principalmente a cambiamenti dei profili di utilizzo che sono di difficile individuazione.

Finora sono stati illustrati i consumi sia totali che distribuiti nelle 3 fasce. Si analizza, ora, meglio quest'aspetto. Innanzitutto, vanno presentate le fasce orarie di consumo. Esse sono definite nel seguente modo:

- F1: attiva dal lunedì al venerdì, dalle ore 8:00 alle ore 19:00, escluse le festività nazionali;
- F2: attiva dal lunedì al venerdì, dalle ore 7:00 alle ore 8:00 e dalle ore 19:00 alle ore 23:00, e il sabato, dalle ore 7:00 alle ore 23:00, festività nazionali escluse;
- F3: attiva dal lunedì al sabato, dalle ore 00:00 alle ore 7:00 e dalle ore 23:00 alle ore 24:00, domenica e festivi, tutte le ore della giornata.

Prendendo in considerazione una settimana nella quale non ricadano festività nazionali, le fasce di consumo sono così distribuite:

|                    | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| lunedì             | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 |
| martedì            | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 |
| mercoledì          | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 |
| giovedì            | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 |
| venerdì            | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 |
| sabato             | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 |
| domenica e festivi | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 |

Tabella 3 – Le fasce orarie di consumo nella settimana.

Osservando la tabella, si nota come la fascia che prevalga, in termini di ore, sia la F3, che prevede 72 ore settimanali; la F1 è comprensiva di 55 ore a settimana, mentre la F2 di 41. Si deve però osservare dove si vanno a collocare le ore delle 3 fasce. La fascia F1 comprende le ore centrali dei giorni lavorativi, durante le quali si concentra la maggior parte delle attività dell'istituto. La fascia F2 comprende orari dal lunedì al venerdì nei quali una quota rilevante delle utenze elettriche dell'istituto non è attiva, ma include le ore di maggiore frequentazione del sabato. In fascia F3, invece, ricadono le ore notturne dal lunedì al sabato e le intere giornate di domenica e dei giorni festivi. Tenendo in considerazione che la struttura è anche abitata in modo permanente e che non tutte le attività si interrompono di domenica e nei giorni festivi, è plausibile associare anche a questa fascia una certa quota di consumi.

Per poter meglio individuare gli andamenti dei consumi di energia elettrica nelle 3 fasce orarie, si riportano i grafici e le tabelle relative a tale dato per l'annualità studiata:

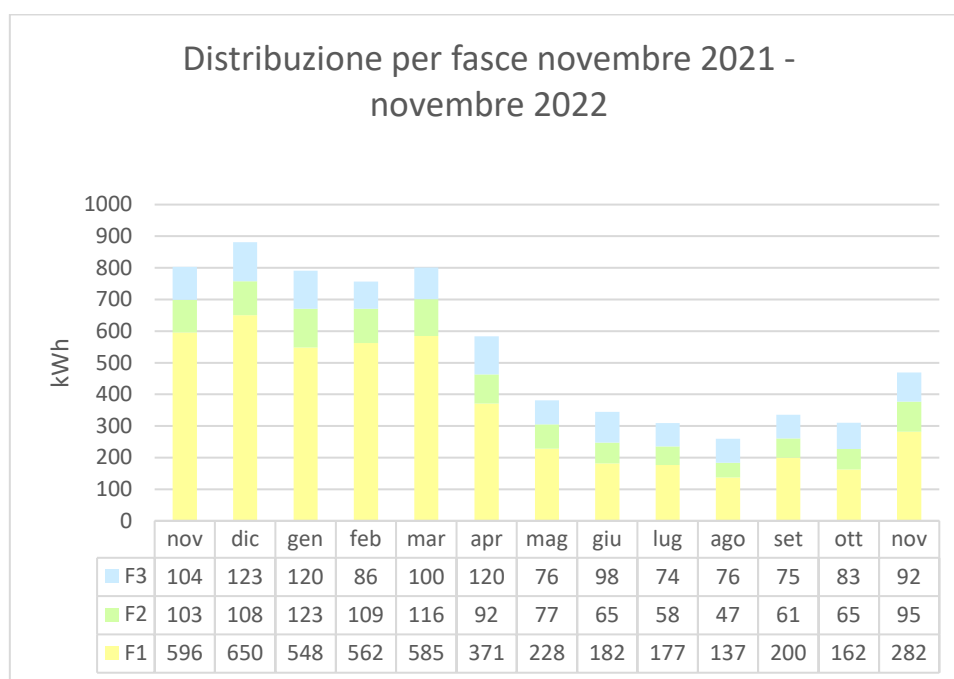


Figura 23 – Distribuzione dei consumi di energia elettrica nelle fasce orarie nel periodo che intercorre tra novembre 2021 e novembre 2022.

La fascia F1 risulta essere quella dai consumi maggiori, seguita dalle fasce F2 e F3 che hanno i medesimi consumi. Questo andamento può spiegarsi con il fatto che le attività della scuola sono concentrate nelle ore centrali dei giorni feriali. I consumi in fascia F2 ed F3 sono dovute alle utenze elettriche dal funzionamento continuo nelle 24 ore, come i server.

### 4.3 Principali indicatori di prestazione energetica

Per valutare l'efficienza energetica di un sistema è opportuno accompagnare alle valutazioni specifiche dello stesso quelle di confronto con sistemi simili. Per un edificio, si può procedere con il raffronto con edifici adibiti agli stessi utilizzi e che si trovino in zone climaticamente paragonabili.

Per eseguire un'operazione di questo tipo vanno innanzitutto individuati uno o più parametri di confronto. Essi sono gli "indicatori di prestazione energetica", fattori che tengono conto di consumi e dimensioni dei siti oggetto di diagnosi. Valutati gli indicatori di prestazione energetica, essi vanno comparati con quelli dei siti della stessa tipologia, i quali possono essere ricavati dai dati raccolti dal REDE nel corso della sua attività professionale o sono disponibili in letteratura. Quando gli indici di prestazione di una certa categoria di edificio o sistema vengono condensati in valori o equazioni, essi diventano parametri generali di confronto, anche detti "indici di benchmark".

L'edificio in esame è una scuola e per la valutazione degli indici di prestazione energetica si è fatto riferimento alle indicazioni riportate in "Guida per il contenimento della spesa energetica delle scuole", documento redatto dall'ENEA in collaborazione con la FIRE. Esso fornisce degli interessanti indici di benchmark per le scuole di ogni grado del territorio italiano.

#### 4.3.1 Indicatore di prestazione per il gas naturale

L'indicatore introdotto dalla Guida ENEA-FIRE si basa sui consumi di energia per gas naturale normalizzati in funzione dei seguenti fattori di aggiustamento:

- Fattore di forma dell'edificio, rapporto fra superficie disperdente e volume riscaldato  $S/V$  (fattore  $F_e$ );
- Ore di occupazione dell'edificio scolastico (fattore  $F_h$ );
- Gradi Giorno convenzionali della località (1034 GG) così come definiti D.P.R. 412/93 - allegato A
- Volume riscaldato ( $V_{risc}$ ).

La formula definita è sotto riportata:

$$IEN_R = \frac{\text{Consumo annuo riscaldamento} \times F_e \times F_h \times 1000}{GG \times V_r}$$

L'indicatore calcolato dalla formula riportata fa rientrare la scuola in una specifica categoria che va da insufficiente a buono. Dal momento che non si hanno a disposizione le bollette non è stato possibile calcolare l'indice  $IEN_R$ . Pertanto, non è stato possibile individuare la classe di appartenenza della scuola in esame.

#### 4.3.2 Indicatore di prestazione per l'energia elettrica

Il testo di riferimento per l'indice di prestazione energetica relativo all'energia elettrica è sempre la guida dell'ENEA e del FIRE.

L'equazione per il calcolo dell'indicatore energetico normalizzato per l'energia elettrica  $IEN_E$  prevede l'utilizzo dei seguenti fattori: consumi medi di energia elettrica, superficie lorda e fattore di normalizzazione rispetto all'orario di funzionamento dell'istituto  $F_h$ . Tale fattore tiene conto delle ore giornaliere di utilizzo degli impianti. Nel caso delle scuole materne tale termine risulta pari a 1 per qualunque tasso di utilizzo degli impianti.

La formula definita è sotto riportata:

$$IEN_E = \frac{\text{Consumo energia elettrica} \times F_h}{A_p}$$

|                                    |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| Consumo annuo di energia elettrica | 7 013 kWh/anno       |
| Superficie lorda                   | 1 349 m <sup>2</sup> |
| Fattore di normalizzazione orario  | 1                    |

Tabella 4 – Dati utilizzati per la valutazione dell'indicatore energetico normalizzato per l'energia elettrica  $IEN_E$ .

L'indicatore vale:

$$IEN_E = 5,20 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{anno}$$

La classe di merito della scuola viene individuata per confronto con i valori di riferimento:

|                                    | Buono  | Sufficiente | Insufficiente |
|------------------------------------|--------|-------------|---------------|
| Materne                            | < 11,0 | 11,0 ÷ 16,5 | > 16,5        |
| Elementari, medie e superiori      | < 9,0  | 9,0 ÷ 12,0  | > 12,0        |
| Istituti professionali industriali | < 12,5 | 12,5 ÷ 15,5 | > 15,5        |

Tabella 5 – Indici di benchmark per l' $IEN_E$ .

Considerando il riferimento della scuola materna, l'indicatore ricade, nella fascia "buono", dando conto di una gestione adeguata dei consumi di energia elettrica nell'istituto.

#### 4.4 Emissioni di CO<sub>2</sub>

Nel 4.2 si è riportato, per l'energia elettrica, il corrispondente valore di energia primaria in tonnellate equivalenti di petrolio, descrivendone il significato e indicandone l'utilità per valutare i consumi complessivi.

Un altro fattore di grande importanza da considerare nel valutare l'efficienza energetica di una struttura sono le emissioni di CO<sub>2</sub>. L'anidride carbonica è un gas innocuo (in basse concentrazioni), ma comporta noti problemi ambientali. La riduzione delle emissioni è un punto centrale dei grandi accordi internazionali per la mitigazione dei cambiamenti climatici. Similmente al discorso fatto per l'energia primaria, ogni vettore energetico comporta delle emissioni di anidride carbonica in ambiente differenti. Anche qui vanno tenuti in conto tutti gli aspetti che coinvolgono il passaggio da energia primaria a energia utilizzata, includendo le trasformazioni delle forme di energia e la distribuzione dalle reti nazionali ai POD e ai PDR. Si sono presi come riferimento i fattori indicati dall'Ispra e dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. In questo modo si ha che l'energia elettrica prelevata da rete produce emissioni di CO<sub>2</sub> nella misura di 312 g/kWh. Riassumendo il tutto in una tabella:



| Mese          | Energia elettrica |                |
|---------------|-------------------|----------------|
| nov-21        | 803 kWh           | 251 kg         |
| dic-21        | 868 kWh           | 271 kg         |
| gen-22        | 791 kWh           | 247 kg         |
| feb-22        | 757 kWh           | 236 kg         |
| mar-22        | 801 kWh           | 250 kg         |
| apr-22        | 583 kWh           | 182 kg         |
| mag-22        | 381 kWh           | 119 kg         |
| giu-22        | 345 kWh           | 108 kg         |
| lug-22        | 309 kWh           | 96 kg          |
| ago-22        | 260 kWh           | 81 kg          |
| set-22        | 336 kWh           | 105 kg         |
| ott-22        | 310 kWh           | 97 kg          |
| nov-22        | 469 kWh           | 146 kg         |
| <b>Totali</b> | <b>7013 kWh</b>   | <b>1667 kg</b> |

Tabella 6 – Emissioni di CO<sub>2</sub> (esprese in kg) derivanti dall'utilizzo delle fonti energetiche presenti.

Spesso non si riflette sulla grande quantità di emissioni delle quali le attività antropiche sono responsabili. L'edificio oggetto di diagnosi, per quanto si configuri in una fascia mediamente efficiente rispetto alle strutture simili del territorio italiano (come evidenziato dagli indicatori di prestazione energetica riportati al §4.3), è responsabile dell'emissione in atmosfera di oltre 1600 kg di anidride carbonica all'anno. Si consideri che tale dato sarebbe stato superiore qualche anno fa: il fattore di conversione dell'energia elettrica da rete risente fortemente delle modalità con le quali essa viene prodotta in Italia e, nel corso degli anni, le fonti rinnovabili stanno prendendo sempre maggior spazio a discapito delle fonti fossili.

## 5. SIMULAZIONE SISTEMA EDIFICIO IMPIANTO

In questo capitolo si illustreranno le assunzioni fatte per la realizzazione, a partire dalle caratteristiche termiche degli elementi edili (§3.1) e dall'anagrafica degli elementi impiantistici e delle utenze (§3.2 e 3.3), dei modelli energetici; si passerà, poi, all'analisi dei risultati forniti dagli stessi; infine, si valideranno i modelli, passando attraverso il confronto con i dati di consumo reali.

Si anticipa che si andranno a realizzare due modelli, uno elettrico e l'altro termico. Il primo si riferisce ai consumi di tutte le utenze che presentano un assorbimento elettrico, mentre il secondo riguarda i consumi legati a riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. La realizzazione di quest'ultimo è stata condotta mediante l'utilizzo del software di certificazione energetica e di calcolo Termus (versione 52.00e), di ACCA Software spa.

### 5.1 Descrizione dei parametri utilizzati per il calcolo

Il calcolo dei consumi comprende al suo interno un gran numero di fattori dei quali va tenuto conto. Sicuramente la potenza assorbita dalle utenze elettriche e il fabbisogno termico per riscaldamento e ACS sono i dati dai quali partire, ma hanno altrettanto rilievo anche il coefficiente di carico e il tempo di utilizzo.

Il coefficiente di carico esprime, in percentuale, la quantità di potenza sfruttata da un certo elemento nelle sue condizioni standard di funzionamento rispetto al carico massimo. Ad esempio, se un dispositivo assorbe una potenza massima di 500 W, ma la potenza della quale necessita mediamente è di 250 W, il suo fattore di carico sarà pari al 50%. Questo valore è estremamente importante per quasi tutti i dispositivi, per i quali difficilmente si ha un assorbimento pari a quello massimo o, al più, lo si ha per tempi limitati. Ciò non è vero, invece, per i corpi illuminanti, che prevedono un unico regime di funzionamento alla potenza di targa. Lo stesso ragionamento è vero anche per le caldaie, le quali lavorano solitamente al di sotto delle proprie prestazioni massime. La valutazione del coefficiente di carico è piuttosto complessa e la si può ricavare grazie a campagne di misurazione (il cui costo è giustificato solo nel caso di utenze dall'elevato assorbimento), mediante strumenti di misurazione dedicati installati in modo permanente, attraverso i dati di targa e le schede tecniche o attraverso stime. Gli strumenti di misurazione sono più frequentemente installati in contesti industriali, mentre i dati di targa e le schede tecniche riportano un tale livello di dettaglio solo in alcuni casi; la strada più semplice da percorrere, quindi, è quella della stima basata su dati di letteratura e sull'esperienza.

Il tempo di utilizzo può essere suddiviso in due parametri: l'orario standard e il fattore di utilizzo. Circa l'orario standard, esso indica quanto un ambiente o un servizio sono utilizzati, in termini di ore all'anno. Ciò può essere fatto riferendosi a profili reali di utilizzo (quali quelli forniti dai dati letti da misuratori dedicati), a tabelle giornaliere compilate da addetti o manutentori, alle indicazioni fornite dalla committenza e dai dipendenti della struttura o da stime basate sul confronto con siti simili. I primi due casi sono generalmente più comuni quando il sito oggetto di diagnosi è un'azienda, mentre le altre due fonti sono sempre disponibili, ma meno accurate. Il fattore di utilizzo, invece, è un parametro che dà una misura dell'effettivo impiego di un dispositivo o di un ambiente rispetto all'orario di utilizzo standard. Per esempio, in un ufficio open-space sono presenti 10 postazioni delle quali 5 sono impiegate a tempo pieno e 5 per la metà delle ore: il fattore di utilizzo delle prime è il 100%, mentre per le altre è il 50%.

Stabiliti coefficiente di carico, orario e fattore di utilizzo di ogni dispositivo/ambiente/servizio, è possibile ricostruire il modello energetico del sito.

### 5.1.1 Parametri per la realizzazione del modello elettrico

Per poter analizzare in modo più corretto i consumi di energia elettrica della scuola, si sono suddivisi i dispositivi nelle seguenti classi:

- Illuminazione;
- Utenze elettriche;
- Generatori di energia termica.

Questa ripartizione ha reso più semplice l'individuazione degli orari standard.

I consumi di energia elettrica dovuti all'illuminazione e ai generatori di energia termica sono stati valutati con l'ausilio del software Termus.

I consumi relativi alle utenze elettriche sono stati ricavati assumendo i coefficienti di carico e i tempi di utilizzo sulla scorta delle informazioni ricavate in sopralluogo per ciascun dispositivo elettrico.

### 5.1.2 Parametri per la realizzazione del modello termico

Circa la valutazione dei consumi di gas naturale, il procedimento adoperato è in parte differente da quanto sopra descritto. Come anticipato, il modello termico è stato elaborato mediante il software Termus.

Partendo dalle planimetrie fornite dalla committenza (includendo a completamento, quando necessario, i dati rilevati in fase di sopralluogo) e dalle stratigrafie indicate nel §3.1, è stato costruito il modello architettonico dell'edificio. Si sono assegnati, poi, a ciascun vano le principali caratteristiche necessarie per il calcolo dei fabbisogni, comprensive di destinazione d'uso prevalente, ventilazione naturale e fabbisogno di ACS. Infine, si sono modellati gli impianti presenti, ricostruendo i generatori di energia termica e i sistemi di distribuzione. Qualora non fossero disponibili dei dati, essi sono stati stimati in base alle indicazioni fornite dalla UNI/TS 11300 – Prestazioni energetiche degli edifici, la norma tecnica di riferimento per la valutazione standard dei fabbisogni energetici e la certificazione degli edifici.

A questo punto è stato possibile indicare, analogamente a quanto fatto per il modello elettrico, i profili di utilizzo. I coefficienti di carico sono stati inclusi nel calcolo e sono stati valutati automaticamente dal software sulla base delle caratteristiche di involucro e impianti.

## 5.2 Risultati della simulazione sistema edificio-impianto

Grazie ai parametri descritti nel §5.1, è stato possibile valutare la distribuzione dei consumi di energia elettrica e di gas naturale per ogni utenza ed ambiente. Conoscere questi dati è un passaggio importante nella comprensione dell'efficienza di una struttura e nell'individuazione delle più efficaci soluzioni migliorative.

### 5.2.1 Risultati di calcolo del modello elettrico

La ripartizione dei consumi è stata eseguita per ogni singola utenza elettrica rilevata. I risultati vengono riportati in termini di categorie (illuminazione, utenze elettriche e generatori di energia termica).

In contesti di tipo scolastico nei quali l'energia termica derivi da fonte fossile, i consumi di energia elettrica si mantengono contenuti. In questo caso si può affermare (sulla base del

valore dell'indicatore di prestazione per l'energia elettrica, considerate le dovute osservazioni riportate nel §4.3.2) che essi siano definiti "buoni" segno di un corretto utilizzo dell'energia.

Partendo da queste osservazioni, ci si attende che i consumi dovuti all'illuminazione costituiscano una quantità rilevante del totale.

Cominciando proprio dall'illuminazione, si riportano la tabella ed il grafico di riepilogo della potenza installata ai vari piani e all'esterno:

| Area                   | Potenza [kW] |
|------------------------|--------------|
| <b>Totale Istituto</b> | <b>1,806</b> |

Tabella 7 – Potenza installata ai vari piani e all'esterno – illuminazione.

Come si può notare dalla tabella vi è un unico piano costituente l'edificio, motivo per il quale quest'ultimo coincide con la totalità dell'edificio esclusi spazi esterni.

Il dato della potenza installata ha una rilevanza relativa, poiché diviene indice di consumo energetico solo quando combinato con orario e fattore di utilizzo. In questo modo si ottengono i consumi dovuti all'illuminazione:

| Area                   | Consumi [kWh/anno] |
|------------------------|--------------------|
| <b>Totale Istituto</b> | <b>2957,77</b>     |

Tabella 8 – Consumi ai vari piani e all'esterno – illuminazione.

Passando alla categoria delle utenze elettriche, si riportano la tabella ed il grafico di riepilogo della potenza installata ai vari piani:

| Area                   | Potenza [kW] |
|------------------------|--------------|
| <b>Totale Istituto</b> | <b>8,61</b>  |

Tabella 9 – Potenza installata ai vari piani – utenze elettriche.

Circa i consumi, le utenze elettriche forniscono i seguenti dati:

| Area                   | Consumi [kWh/anno] |
|------------------------|--------------------|
| <b>Totale Istituto</b> | <b>3616,1</b>      |

Tabella 10 – Consumi ai vari piani – utenze elettriche.

L'ultima categoria rimasta è quella dei generatori di energia termica. Come si è detto, nel caso del sito in esame, essi non presentano né direttamente né nei loro ausiliari grandi consumi. Gli impianti sono prevalentemente alimentati a gas naturale e la circolazione del fluido termovettore è garantita dai soli circolatori esterni alle caldaie.

Per quanto detto, le potenze installate sono così distribuite:

| Area                   | Potenza [kW] |
|------------------------|--------------|
| <b>Totale Istituto</b> | <b>0,360</b> |

Tabella 11 – Potenza installata ai vari piani – generatori di energia termica.

Passando, adesso, ai consumi, per i generatori di energia termica si ha:

| Area                   | Consumi [kWh/anno] |
|------------------------|--------------------|
| <b>Totale Istituto</b> | <b>508,69</b>      |

Tabella 12 – Consumi ai vari piani – generatori di energia termica.

In termini assoluti, dal confronto con l'illuminazione e le utenze elettriche risulta evidente la bassa incidenza dei consumi elettrici per la generazione di energia termica: si sottolinea che la grande maggioranza dei consumi per i servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria è di gas naturale e non di energia elettrica.

Suddividendo i consumi per servizio, si ottengono i seguenti dati:

| Totale consumi per servizio |               |                    |
|-----------------------------|---------------|--------------------|
| Servizio                    | Potenza [W]   | Consumi [kWh/anno] |
| Illuminazione               | 1,806         | 2957,77            |
| Utenze elettriche           | 8,61          | 3616,1             |
| Climatizzazione             | 0,36          | 508,688            |
| <b>Totale servizi</b>       | <b>10,776</b> | <b>7082,556</b>    |

Tabella 13 – Riepilogo dei consumi di energia elettrica secondo il modello – per servizio.

#### Distribuzione dei consumi elettrici per servizio

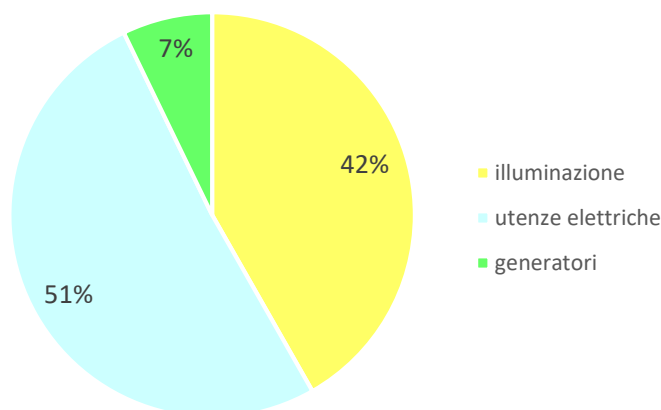


Figura 24 – Distribuzione dei consumi di energia elettrica – per servizio.

Le utenze elettriche sono la categoria che comporta il maggior consumo di energia elettrica. L'illuminazione riveste ugualmente un ruolo primario, attestandosi attorno al 40% dei consumi totali. La climatizzazione, come atteso, ha un peso decisamente inferiore. Queste valutazioni sono particolarmente utili per l'individuazione degli interventi migliorativi più adatti al caso in esame: è prioritario andare ad agire laddove ci sono i consumi maggiori o dove essi risultano anomali.

### 5.2.2 Risultati di calcolo del modello termico

L'energia termica all'interno dell'istituto è utilizzata per il solo riscaldamento. Escludendo i generatori elettrici (boiler per la produzione di ACS e una stufetta) inclusi nel modello elettrico, i consumi sono di solo gas naturale.

La costruzione del modello del sito oggetto di diagnosi all'interno dell'ambiente di calcolo del software Termus è stata descritta nel §5.1.2. Il modello costruito permette di ottenere due tipi di valutazioni: la certificazione energetica e il calcolo dei consumi. La differenza tra le due sta nei profili di utilizzo e nelle condizioni al contorno che si vanno ad assegnare.

La certificazione energetica viene effettuata considerando un utilizzo standard della struttura. Ciò implica che debbano essere seguite le indicazioni fornite dalla UNI/TS 11300 e dalle numerose norme tecniche associate, le quali descrivono le modalità di calcolo delle prestazioni energetiche per la certificazione degli edifici e dei processi. In particolare, l'utilizzo standard viene costruito tenendo conto delle condizioni geoclimatiche, dell'involucro edilizio, della destinazione d'uso dell'edificio (e dei suoi ambienti) e di alcuni parametri modificabili. Tenuto conto di ciò, le condizioni alle quali viene effettuato il calcolo includono il mantenimento dei valori di comfort nelle 24 ore, comprendendo le condizioni di temperatura standard (generalmente 20°C in inverno e 26°C in estate, ma possono variare in dipendenza della destinazione d'uso).

Il calcolo dei consumi, invece, consente di inserire nel modello condizioni ambientali di comfort e orari di utilizzo di ambienti ed impianti personalizzati. Esso rappresenta una situazione che approssima la realtà e fornisce risultati confrontabili con i consumi effettivi della struttura.

Sia certificazione energetica che calcolo dei consumi hanno una grande utilità. Difatti, la prima permette di confrontare tra loro strutture anche molto differenti e fornisce una scala di valutazione universale; il secondo fornisce il modello termico della struttura reale.

Si consideri, ora, l'utilizzo standard dell'edificio, in modo da ottenere i risultati della certificazione energetica. Essa viene fornita attraverso l'assegnazione di una classe di efficienza, la cui scala va da G, il valore peggiore, ad A4, il valore migliore. La scala di giudizi viene assegnata in base al valore dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile, indicato come  $EP_{gl,nren}$ . Questo indice è composto dalla somma dei corrispondenti indici di prestazione per i servizi di riscaldamento, raffrescamento, produzione di ACS, ventilazione, illuminazione e trasporto. Ognuno di tali indici rappresenta il fabbisogno della struttura analizzata per quel determinato servizio, in termini di kWh/m<sup>2</sup>·anno. Calcolati i valori per i 6 servizi e sommati tra loro a comporre l' $EP_{gl,nren}$ , la classe di prestazione viene assegnata per confronto con l'edificio standard. Esso, così come definito al capitolo 3 dell'Allegato 1 del "Decreto dei Requisiti Minimi", è un edificio con le stesse caratteristiche geometriche e la stessa tipologia di impianti presenti nell'edificio reale, ma con le caratteristiche termotecniche di elementi edilizi ed impiantistici tali da rispettare i limiti di legge. L'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio standard stabilisce il valore corrispondente alla classe A1. In base alla tabella 2 del capitolo 5 delle "Linee Guida Nazionali per l'Attestazione della Prestazione Energetica degli Edifici" sono definiti i valori relativi alle altre classi di prestazione.

Ciò premesso, si riporta la classe energetica dell'istituto:



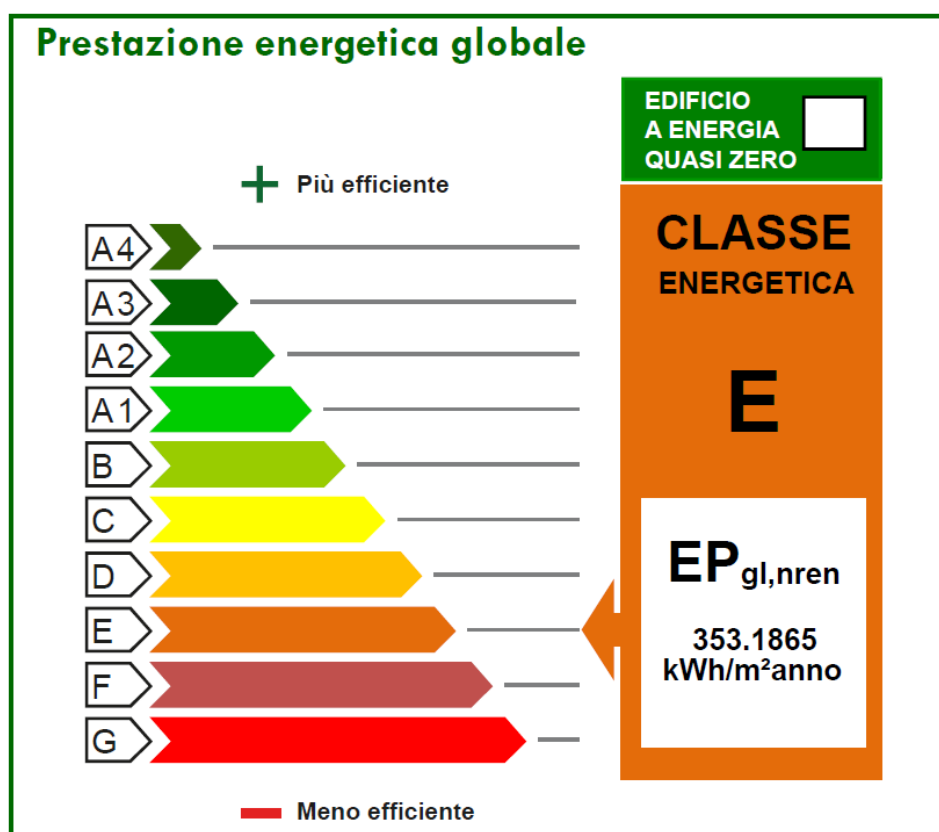


Figura 25 – Classe di prestazione energetica globale dell'istituto.

La classe di prestazione complessiva dell'edificio è bassa. Questo perché si tratta di una struttura datata e nella quale i servizi di riscaldamento e produzione di ACS sono svolti da sistemi impiantistici classici e non altamente performanti e anche l'involucro edilizio è del tipo tradizionale rispetto all'anno di costruzione. Ciò fa sì che la classe energetica sia tendenzialmente bassa. Va comunque sottolineato che la classe E è rappresentativa di un edificio tutt'altro che efficiente nonostante non sia l'ultima nella scala graduata.

Come detto, l'indice di prestazione  $EP_{gl,nren}$  tiene conto della sola parte non rinnovabile dell'energia utilizzata. Questo perché la quota rinnovabile non costituisce un elemento peggiorativo dell'efficienza energetica di una struttura e, pertanto, non ne determina la classe di prestazione. Il fabbisogno totale per un uso standard dell'edificio oggetto di diagnosi è, quindi, dato dalla somma della quota rinnovabile e di quella non rinnovabile. Quanto appena detto vale sia per l'indice di prestazione globale che per i 6 indici di servizio presi singolarmente.

Si riportano i grafici dai quali è possibile evincere la distribuzione di queste due quantità rispetto al totale, per i 4 servizi presenti (riscaldamento, raffrescamento, produzione di ACS e illuminazione):

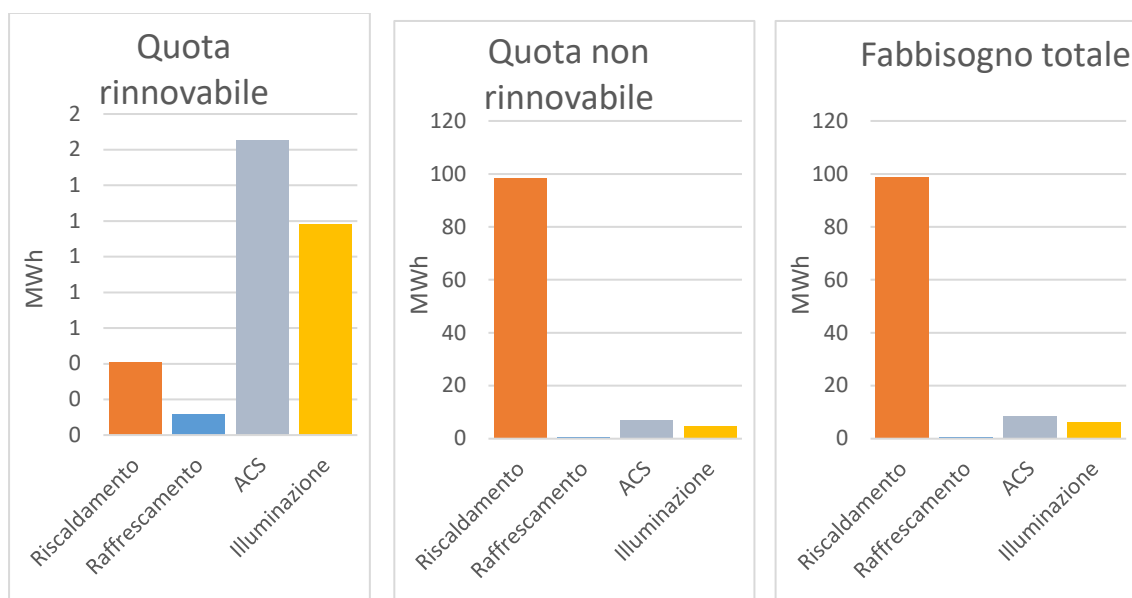


Figura 26 – Fabbisogno energetico rinnovabile, non rinnovabile e totale per le 4 classi di servizio presenti.

Come è possibile notare dalle differenti scale, la quota rinnovabile è decisamente ridotta rispetto a quella non rinnovabile. Nella struttura in esame non sono presenti impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, tuttavia l'energia elettrica prelevata dalla rete nazionale deriva per una certa percentuale (19,42% circa) da fonti rinnovabili. In questa aliquota rientrano sia i grandi impianti sia quelli domestici, che trasferiscono l'energia prodotta e non immediatamente utilizzata alla rete. Per tale motivo la quota rinnovabile ha un peso non irrilevante solo nel caso dell'illuminazione e dei trasporti, servizi svolti esclusivamente attraverso l'uso di energia elettrica. Il riscaldamento e la produzione di ACS risentono in minima parte di questo discorso, poiché solo una piccolissima percentuale dell'energia complessivamente spesa è energia elettrica, mentre la quasi totalità proviene dalla combustione del gas naturale, che è integralmente non rinnovabile. Ciò spiega perché per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria le quantità di fabbisogno soddisfatto da energia rinnovabile siano così ridotte.

Si vede ora la distribuzione relativa dei fabbisogni energetici totali (rinnovabile + non rinnovabile):

### Fabbisogni annuali di energia

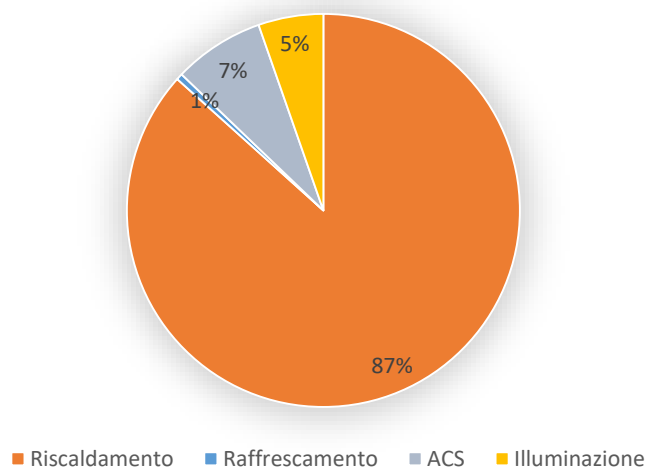


Figura 27 – Distribuzione dei fabbisogni energetici totali per i 4 servizi presenti.

Il fabbisogno maggiore è dovuto al riscaldamento, seguito, con percentuali nettamente più basse, da illuminazione e produzione di ACS; la fetta dei trasporti è quasi irrilevante.

Si va ora a considerare il calcolo personalizzato rispetto all'edificio. Un primo importante dato che da esso deriva è la distribuzione delle dispersioni termiche:

### Dispersioni termiche

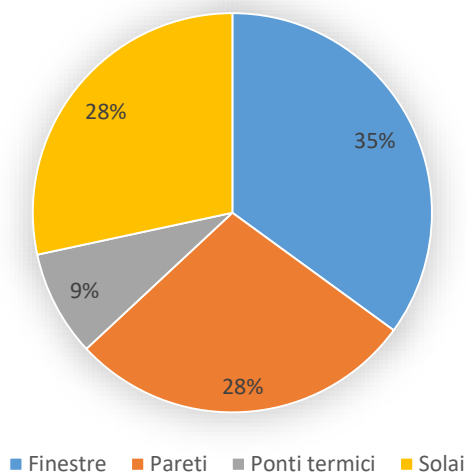


Figura 28 – Ripartizione delle dispersioni termiche attraverso i vari elementi dell'involucro.

Dal grafico in figura 28, è possibile osservare come i serramenti costituiscano l'elemento più disperdente dell'edificio, seguiti dai solai e dalle pareti che sono accreditate ad una quota minoritaria delle dispersioni verso l'esterno. Questa osservazione è conforme con la descrizione degli elementi che costituiscono l'involucro edilizio (si veda il §3.1) e fornisce importanti spunti per l'individuazione dei più efficaci interventi migliorativi.

Obiettivo del modello termico è il calcolo dell'energia consumata per le utenze che fanno uso di energia termica. Esse afferiscono ai servizi di riscaldamento, produzione di ACS e

all'alimentazione dei fuochi della cucina. L'energia elettrica utilizzata per lo svolgimento dei primi due servizi elencati è già stata considerata nell'ambito del modello elettrico; ora si procederà con la valutazione del dispendio di gas naturale.

I consumi di gas naturale dovuti al riscaldamento sono stati calcolati con il software Termus, imponendo condizioni di utilizzo il più possibile simili a quelle reali.

### 5.3 Validazione dei modelli

Una volta realizzati, i modelli di calcolo vanno validati attraverso il confronto con i dati reali. Questa operazione è indispensabile per verificare l'attendibilità del modello, tanto che esso verrà utilizzato anche per calcolare gli effetti degli interventi migliorativi proposti (capitolo 6). Affinché un modello si possa ritenere validato, i dati da esso desunti dovranno essere paragonabili a quelli reali. Il limite di accettabilità, espresso come scostamento massimo, in accordo alla UNI/TR 11775, è del 5%; esso può essere aumentato al 10% nel caso in cui il sistema edificio impianto si basi su dati incerti. Per la diagnosi energetica di cui al presente rapporto, molti dei parametri con i quali sono stati costruiti i modelli possiedono un'elevata incertezza, come evidenziato di volta in volta nel corso dell'esposizione. Si può perciò considerare come accettabile un margine di incertezza del 10%, fermo restando la volontà di ridurre il più possibile tale scostamento.

Si passa al processo di validazione dei modelli elettrico e termico, descritti distintamente nei sotto-paragrafi che seguono.

#### 5.3.1 Validazione del modello elettrico

Nel modello elettrico (risultati al §5.2.1) si è effettuata una valutazione dei consumi di energia elettrica rispetto ai diversi servizi (illuminazione, utenze elettriche e climatizzazione). I dati reali a disposizione non contemplano tali suddivisioni e sono forniti solo su base totale. Nel confrontare i due tipi di dato, modello e reale, non è possibile affinare la valutazione al livello dei servizi, ma potrà essere fatta solo rispetto ai consumi totali del sito.

Il modello elettrico fornisce il seguente dato di consumo totale:

Consumo di energia elettrica annuo secondo il modello: **7083 kWh**

I consumi reali di energia elettrica della struttura sono stati riportati nel §4.2 per l'ultima annualità (novembre 2021 – novembre 2022).

Si riportano, quindi, i due confronti:

| Confronto dati reali-modello |            |
|------------------------------|------------|
| Periodo di confronto         | Scarto [%] |
| 2021/22                      | 0,99%      |

Tabella 14 – Validazione del modello elettrico.

Dal confronto tra il dato reale e quello del modello restituisce uno scarto del 0,99% in aumento. Trattandosi di un valore inferiore al 10% (in questo caso è inferiore anche al 5%), per quanto indicato nel §5.3, il modello si può ritenere validato.

### 5.3.2 Validazione del modello termico

Il modello termico ha previsto una procedura di elaborazione più complessa, coinvolgendo l'utilizzo di un software ed essendo, in generale, più difficili da stimare i consumi di energia termica rispetto a quelli di energia elettrica.

La validazione del modello termico condotta con il confronto tra le bollette e i dati da modello non è possibile condurla a causa dell'assenza delle bollette del gas metano.

## **6. INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI SECONDO LIVELLO**

La modellazione della struttura oggetto di diagnosi, oltre a costituire uno strumento utile per la valutazione dei consumi energetici, è necessaria per poter verificare gli effetti degli interventi migliorativi. La loro efficacia può essere stimata, ma non misurata, perciò tale stima va fatta su un modello che abbia una certa fondatezza. La correttezza del modello adoperato (a sua volta suddiviso in elettrico e termico) è stata provata nel §5.3; si può quindi procedere con la proposta e la valutazione degli interventi migliorativi. Nello specifico gli interventi ricadono nella tipologia di ristrutturazione importante di secondo livello poiché riguardano più del 25% della superficie disperdente e modifiche non sostanziali sull'impianto.

### **6.1 Individuazioni delle potenziali aree di intervento**

Ogni sito presenta criticità e potenzialità diverse, che possono essere individuate dall'analisi del modello energetico. Le ipotesi effettuate vanno puntualmente verificate, analizzandone gli effetti energetici e i costi.

Considerando l'involucro e le dispersioni termiche che avvengono attraverso di esso, le maggiori dispersioni si concentrano tra finestre e solai. Una riqualificazione di questi elementi risulta perciò prioritaria.

Dal punto di vista impiantistico, gli interventi migliorativi operabili sono diversi. I generatori oggi in uso non sono molto performanti e sovradimensionati. Circa i consumi elettrici, un intervento che deve essere preso in considerazione è la sostituzione dei corpi illuminanti con tipologia a LED. Si tratta di un intervento semplice, ma dall'efficacia elevata.

In merito all'installazione di impianti alimentati da fonti rinnovabili, essi consentono di sopperire sia ai consumi elettrici che a quelli termici. Si tratta di un intervento da prendere sempre in considerazione e i cui benefici sono generalmente rilevanti.

Nello specifico le aree d'intervento, relative alle superfici disperdenti, sono ricadute principalmente sulle zone interessate dagli interventi strutturali per garantire il rispetto dei valori limite dei parametri caratteristici dagli elementi edilizi come previsto dal DM 26 giugno 2015. In seguito si è operato sulla totalità degli infissi, sulla sostituzione del generatore dell'impianto di riscaldamento e sull'inserimento di nuovi servizi a favore degli utenti.

Il progetto prevede i seguenti interventi:

- Coibentazione partizioni orizzontali e verticali
- Sostituzione dei serramenti
- Sostituzione generatore di energia termica e terminali
- Installazione nuovi componenti impiantistici per servizi di RSC e RFS
- Sostituzione impianto produzione di ACS coadiuvato da impianto solare termico
- Sostituzione corpi illuminanti
- Impianto solare fotovoltaico
- Impianto di ventilazione meccanica controllata
- Installazione di schermature solari



## 6.2 Interventi sull'involucro

L'involucro della struttura presenta caratteristiche edilizie di tipo classico, con solai, muratura e serramenti generalmente non coibentati o costituiti da materiali poco isolanti. Un buon isolamento termico è un fattore determinante per ridurre i fabbisogni energetici di un edificio, soprattutto per quanto riguarda il riscaldamento. Guardando il tutto da un'altra prospettiva, a parità di consumi, un edificio ben coibentato permette il raggiungimento di un maggior comfort termico.

I solai di primo calpestio e di copertura costituiscono il confine orizzontale dell'edificio con l'esterno, mentre la tamponatura e i serramenti formano quello verticale. In accordo con il modello termico elaborato, i serramenti sono il primo elemento per dispersione verso l'esterno (35%), seguiti dai solai (28%) e dalla tamponatura (28%) e dai ponti termici (9%). Su questi ultimi si interviene indirettamente nel momento in cui si vanno a migliorare le caratteristiche termiche degli altri componenti.

Si considereranno 4 interventi migliorativi, ognuno dei quali sarà incentrato sull'efficientamento di solai, tamponatura o serramenti. Per quanto riguarda i solai e la tamponatura si lavorerà su quegli elementi che sono interessati dagli interventi strutturali. Per quanto riguarda gli infissi l'intervento riguarderà tutti gli elementi.

### 6.2.1 Intervento migliorativo 1: coibentazione copertura

Il primo intervento migliorativo che si prende in considerazione è la coibentazione del solaio di copertura delle aule e dei corridoi che collegano le stesse al corpo centrale.

Essendo previsti degli interventi di consolidamento strutturale riguardanti la demolizione e ricostruzione degli stessi con una tecnologia costruttiva differente, risulta necessario di intervenire anche termicamente.

In questo caso si è ipotizzato di utilizzare dei pannelli in lana di roccia, caratterizzati da una conducibilità termica di  $0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Utilizzando elementi da 100 mm di spessore, la copertura avrebbe una trasmittanza complessiva di appena  $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ben inferiore al valore iniziale di  $1,0379 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



Figura 29 – Aspetto tipico di un pannello in lana di roccia.

Di seguito si riportano le stratigrafie:

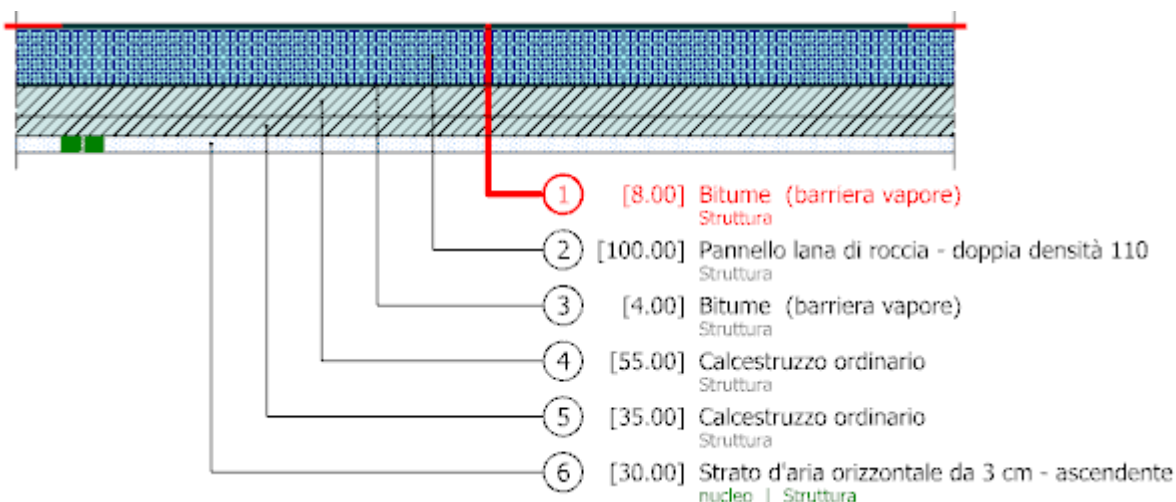


Figura 30 – Stratigrafia solaio aule.

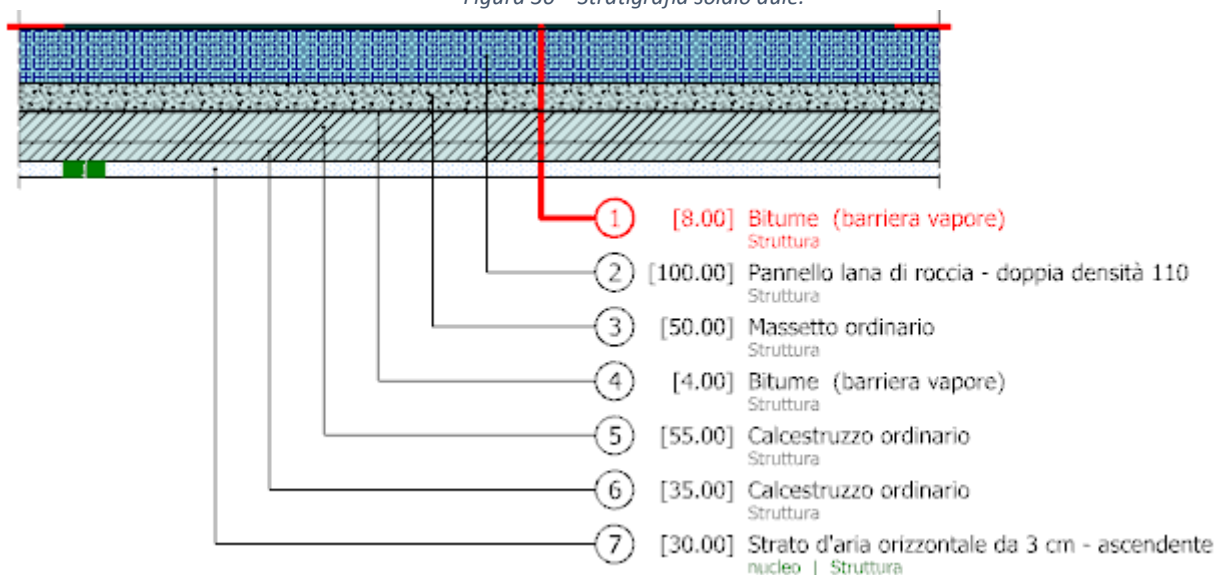


Figura 31 – Stratigrafia solaio connettivo.

### 6.2.2 Intervento migliorativo 2: coibentazione primo calpestio

Tale intervento migliorativo riguarda la coibentazione del solaio di primo calpestio delle zone di collegamento tra aule e corpo centrale.

Essendo previsti degli interventi di consolidamento strutturale riguardanti la demolizione e ricostruzione con ampliamento degli stessi, risulta necessario intervenire anche termicamente.

In questo caso si è ipotizzato di utilizzare dei pannelli in polistirene espanso estruso da collocare al di sopra del magrone, caratterizzati da una conducibilità termica di 0,036 W/m·K. Utilizzando elementi da 80 mm di spessore, il solaio avrebbe una trasmittanza complessiva di appena 0,3710 W/m²K.



Figura 32 – Aspetto tipico di un pannello in polistirene estruso.

Di seguito si riporta la stratigrafia:

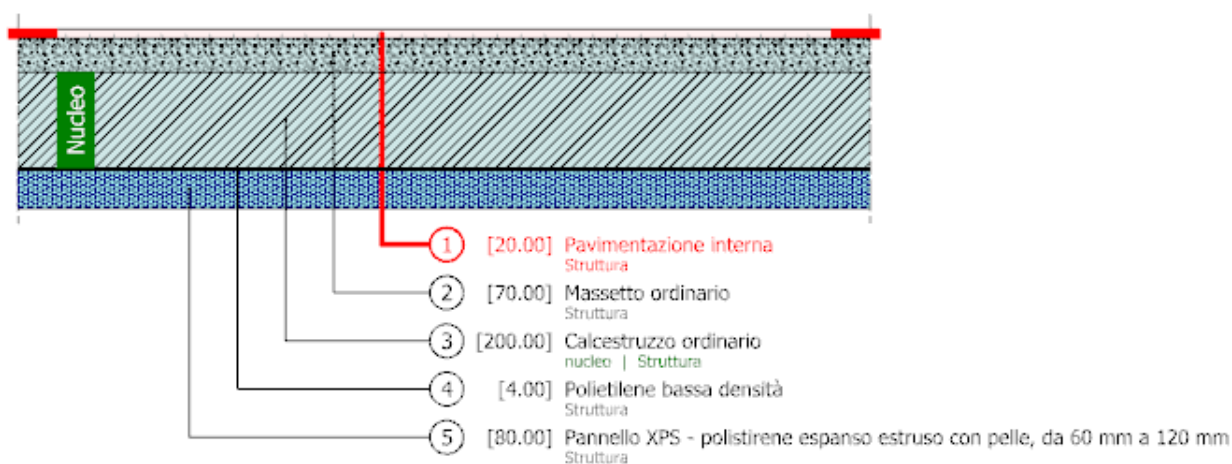


Figura 33 – Stratigrafia solaio primo calpestio connettivo.

### 6.2.3 Intervento migliorativo 3: coibentazione della tamponatura

L'intervento di coibentazione delle tamponature riguarderà le aule ed i corridoi di collegamento. Si è deciso di intervenire sulle prime poiché sono previsti dei consolidamenti in calcestruzzo in corrispondenza degli angoli e sulle zone di collegamento poiché le tamponature verranno completamente demolite e ricostruite con una nuova tipologia costruttiva ovvero laterizio porizzato.

Anche in questa circostanza si ipotizza l'utilizzo di pannelli in lana di roccia per garantire traspirabilità alle pareti con un sistema analogo a quello descritto nel §6.2.1. Come uniche differenze, vi sono quelle legate all'applicazione dell'elemento coibente, al quale è necessario abbinare anche altri componenti necessari alla corretta e completa posa in

opera del prodotto. La conducibilità termica del pannello isolante individuato è pari a 0,035 W/m·K. Con un pannello da 100 mm di spessore per le aule e da 60 mm per le zone di collegamento. Le superfici coinvolte raggiungono valori di trasmittanza rispettivamente pari a 0,2794 W/m²K e 0,2654 W/m²K.



Figura 34 – Aspetto tipico di un pannello in lana di roccia.

Di seguito si riportano le stratigrafie:

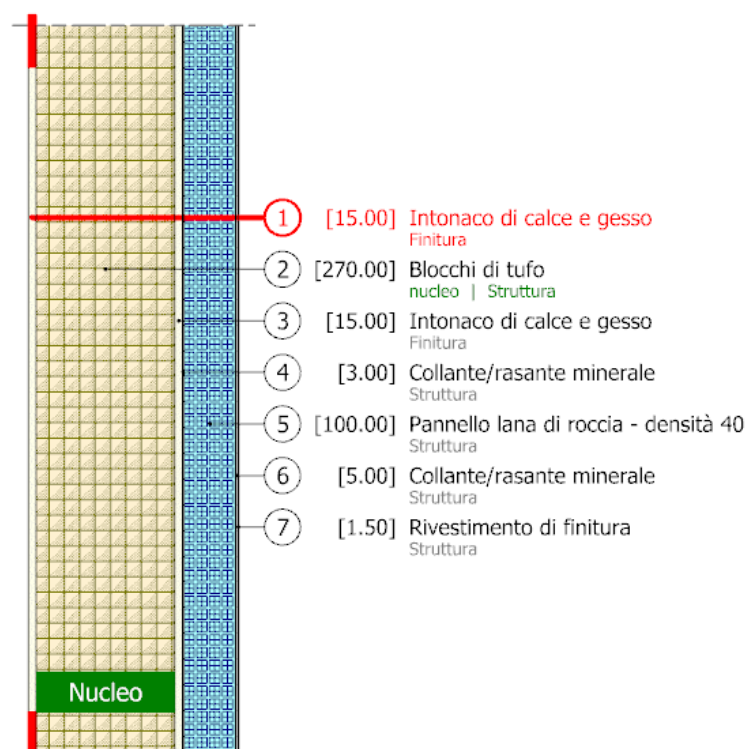


Figura 35 – Stratigrafia tamponatura aule.

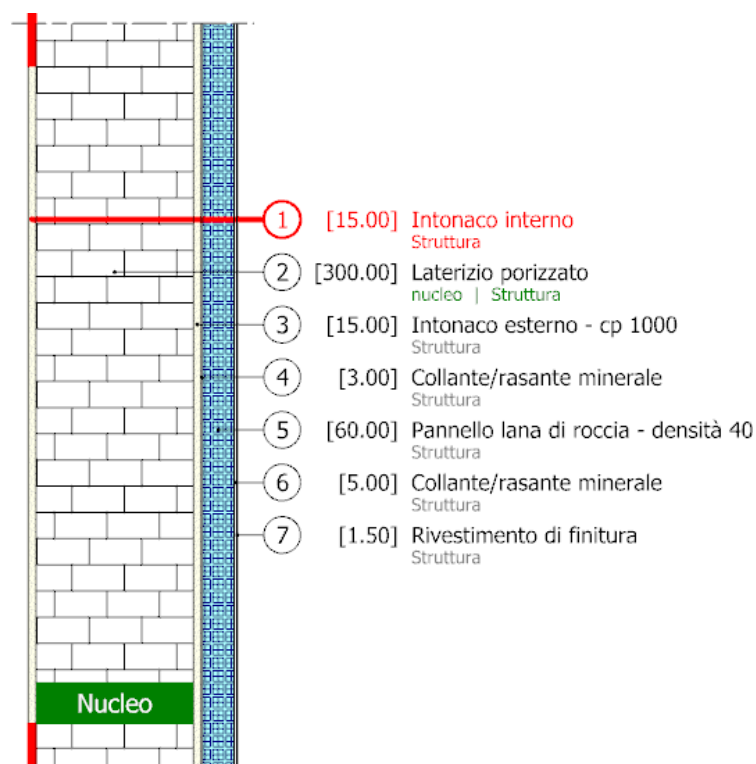


Figura 36 – Stratigrafia tamponatura connettiva.

#### 6.2.4 Intervento migliorativo 4: sostituzione dei serramenti ed installazione di schermature solari

I serramenti costituiscono solitamente la parte debole, dal punto di vista termico, degli involucri edilizi. Nel caso in esame, la struttura presenta una dispersione termica attraverso la superficie dei serramenti pari al 35% del totale, quindi un valore molto elevato. Ciò suggerisce come un intervento di sostituzione degli stessi vada preso in gran considerazione sul tutto il fabbricato.

Nel modello termico si sono sostituiti i serramenti presenti (§3.1.4), con tipologie ad alte prestazioni, con telai in alluminio a taglio termico e doppio vetro 33.1 BE-18-33.1, con rivestimento basso emissivo e valore di sicurezza di classe 2B2 come prescritto dalla direttiva UNI EN 12600 e di classe 1B1 per le superfici finestrate ad altezza parapetto fino a cm 90. Gli elementi finestrati avranno trasmittanza  $U_f = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  e vetrocamera avente trasmittanza  $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  con valore del fattore solare normale  $g_n = 0,67$ . Si prevede la posa di un nuovo controtelaio a taglio termico in legno dello spessore di 18 mm.

Al fine di garantire il rispetto dei requisiti previsti dal DM del 26/06/15 si prevede l'installazione di schermature solari sui prospetti che vanno da ovest ad est passando per sud (vedi tavole grafiche allegate). Tali schermature dovranno essere interne e con un fattore di riduzione degli apporti solari pari a 0,45.



*Figura 37 – Esempio di serramento in alluminio a taglio termico e doppio vetro.*

Al fine di attenuare il ponte termico e di allontanare i rischi di muffa e condensa in corrispondenza dell'attacco inferiore dell'infisso, si procede con la realizzazione della soglia termica costituita da uno strato di isolante in schiuma polyiso dello spessore di 3 cm al di sotto della soglia e di un listello dello stesso materiale dalle dimensioni di 3x4 cm tra soglia interna ed esterna.

In corrispondenza degli altri tre lati dell'infisso si procederà alla coibentazione degli stessi con pannello isolante in schiuma polyiso di differente spessore. Per gli infissi delle aule e dei corridoi di collegamento tra le stesse ed il corpo centrale lo spessore sarà pari a 3 cm, per gli infissi del corpo centrale presenti sul prospetto est lo spessore è pari a 4 cm. Per gli infissi posizionati sul prospetto ovest e le vetrate dell'ingresso si prevede un risvolto di 5 cm che interesserà anche la coibentazione dei pilastri in calcestruzzo.

### **6.3 Interventi sugli impianti meccanici**

Nei §3.2.1 e 3.2.2 sono stati descritti i generatori di energia termica per il riscaldamento e per l'ACS. Questi generatori hanno rendimenti non competitivi rispetto all'odierno panorama di impianti. Per quanto detto, va considerata l'ipotesi di una loro sostituzione.

#### *6.3.1 Intervento migliorativo 5: sostituzione della caldaia con modelli a condensazione*

Sostituire la caldaia attualmente presente nell'edificio con modello di più recente produzione e dotato di tecnologia a condensazione permette di conseguire un buon efficientamento dell'impianto senza stravolgerlo.

Le caldaie a condensazione offrono prestazioni superiori rispetto ai modelli tradizionali. Esse si basano su una tecnologia che permette di sfruttare anche l'energia dei gas combusti che vengono convogliati all'interno dello scambiatore primario. Essi cedono calore allo scambiatore primario, si trasformano in condensa dopo essersi raffreddati e vengono evacuati.



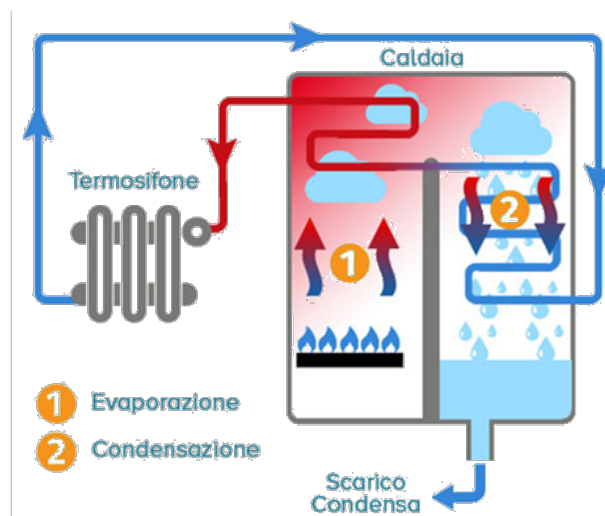


Figura 38 – Schema di funzionamento di una caldaia a condensazione.

### 6.3.2 Intervento migliorativo 6: sostituzione dei terminali

Si prevede la sostituzione dei terminali esistenti in ghisa con radiatori in alluminio e la rimozione degli stessi nelle aule a favore di un diverso impianto per il riscaldamento degli ambienti. I termosifoni in alluminio presentano una bassa inerzia termica, ovvero hanno la capacità di assorbire e cedere rapidamente il calore, rispondendo in tempi brevi dopo l'accensione del generatore e perdendo le proprie capacità scaldanti velocemente dopo lo spegnimento dello stesso. Pertanto essi sono particolarmente adatti per utilizzi limitati nel tempo o discontinui. Si prevede inoltre l'installazione di valvole termostatiche su ogni corpo scaldante.

### 6.3.3 Intervento migliorativo 7: installazione di nuovo impianto di riscaldamento e raffrescamento per le aule, il refettorio e l'ufficio.

Si prevede l'installazione di una nuova tipologia di impianto di riscaldamento e raffrescamento per le aule a sostituzione dei radiatori che verranno eliminati con l'installazione di uno split da 12000 BTU per ambiente. Nel refettorio e negli uffici verranno installati ad integrazione del sistema di riscaldamento e per il nuovo servizio di raffrescamento un totale di 3 split da 9000 BTU (due per il refettorio ed uno per l'ufficio).

### 6.3.4 Intervento migliorativo 8: Sostituzione impianto ACS.

Si prevede la sostituzione dei generatori esistenti per l'ACS (Boiler elettrici) con sistema di accumulo termico alimentato mediante n°2 collettori solari ed integrazione termica mediante la medesima caldaia a condensazione. L'integrazione avverrà mediante una serpentina avente una superficie di scambio termico in cui scorre il fluido termovettore riscaldato dalla caldaia.

### 6.3.5 Intervento migliorativo 9: Installazione impianto di ventilazione meccanica.

Realizzazione di impianto di ventilazione meccanica per il solo ricambio d'aria con l'installazione di recuperatore di calore, canalizzazioni per l'aria e diffusori/griglie per la mandata ed il ritorno dell'aria.

## **6.4 Interventi sugli impianti elettrici**

Nella struttura che si sta analizzando, non sono presenti particolari utenze elettriche. Il solo impianto sul quale è possibile intervenire è quello di illuminazione.

### *6.4.1 Intervento migliorativo 10: relamping a LED*

Al giorno d'oggi l'illuminazione rappresenta probabilmente il settore nel quale è possibile conseguire i più evidenti risparmi energetici. La tecnologia LED ha ricevuto un impulso notevole a partire dai primi anni 2000 e rappresenta un'opportunità di notevole riduzione dei consumi di energia elettrica.

Il cosiddetto "relamping" consiste nella sostituzione dei corpi illuminanti il cui funzionamento avviene mediante tecnologie tradizionali con corpi illuminanti a LED. I risparmi generati sono proporzionali all'utilizzo che si fa dell'illuminazione.

Si prevede di sostituire tutti i corpi illuminanti presenti nell'istituto con modelli a LED prevedendo una controsoffittatura di tutti gli ambienti.

## **6.5 Utilizzo delle fonti rinnovabili**

L'utilizzo di energia prodotta in loco attraverso impianti che sfruttano le fonti energetiche rinnovabili è una strada che oggi va senza dubbio presa in considerazione. A livello nazionale, europeo e mondiale sono molte le iniziative e le norme che vanno nella direzione dell'implementazione delle fonti rinnovabili per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici. Sono note le molte difficoltà che le organizzazioni internazionali stanno affrontando per favorire la diffusione di queste pratiche. Ad oggi, l'Unione Europea è l'unica area al mondo nella quale si sono presi dei concreti impegni per l'aumento regolato dell'utilizzo degli impianti a fonti rinnovabili, sebbene la loro diffusione stia incrementando ovunque. Per favorire i privati cittadini e le aziende a partecipare a questo processo, l'UE stanziava fondi che vengono tradotti in incentivi statali (sotto forma di detrazioni fiscali o contributi diretti). Ciò fa sì che le fonti rinnovabili, oltre a rappresentare una scelta etica, siano diventate un'opportunità economica, con tempi di ritorno dell'investimento molto ridotti rispetto al passato.

Il sito oggetto di diagnosi presenta una grande copertura piuttosto ampia e sgombra da impedimenti che potrebbe ospitare impianti di produzione di energia termica o elettrica da fonti rinnovabili. Su di essa si prevede l'installazione di un impianto fotovoltaico e di moduli solari termici.

### *6.5.1 Intervento migliorativo 11: impianto fotovoltaico*

Per valutare in via preliminare le dimensioni tecniche di un impianto fotovoltaico e il suo effetto sui consumi dell'istituto, vanno analizzati i dati reali di consumo da bolletta (capitolo 4) e i risultati ottenuti dal modello energetico (capitolo 5).

L'energia elettrica sfruttata annualmente nel sito è pari a circa 7000 kWh e si distribuisce in maniera preponderante nella fascia F1. Ciò suggerisce che la gran parte del consumo avvenga di giorno. Da ciò deriva che un impianto fotovoltaico, la cui produzione avviene esclusivamente di giorno, potrebbe contribuire al soddisfacimento dei consumi dell'istituto.

Si è stabilito di installare un impianto fotovoltaico da 9.6 kW di potenza nominale di picco con orientamento a sud ed inclinazione di 20°.

#### 6.5.2 Intervento migliorativo 12: impianto solare termico

Il solare termico è una tecnologia che sfrutta l'irraggiamento solare per produrre energia termica, anziché elettrica. Essa viene sfruttata per riscaldare l'ACS e viene integrata dal generatore principale (la caldaia in questo caso) qualora l'energia termica prodotta non sia sufficiente. Come già anticipato nel paragrafo 6.3.4 si prevede l'installazione di n.2 collettori solari di superficie captante netta di 2,3 mq ciascuna con un accumulo termico di 300 l. L'accumulo termico, inoltre, presenta l'integrazione termica all'occorrenza mediante la caldaia a condensazione prevista.

### 6.6 Scenari di intervento e analisi dei costi-benefici

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti gli interventi previsti sull'edificio suddivisi così come indicato nel paragrafo 6.1. La fattibilità di un intervento, passa anche per il suo costo, che deve essere tale da far sì che l'investimento sia sostenibile.

Una valutazione può essere fatta dal raffronto dei consumi tra il modello energetico dello stato di fatto e quello relativo agli interventi proposti.

|                         | CONSUMI<br>[kWh/anno] |          | RISPARMI<br>[kWh/anno] | COSTI<br>UNITARI      | STIMA<br>BOLLETTA<br>ANTE | STIMA BOLLETTA<br>POST | RISPARMI     |
|-------------------------|-----------------------|----------|------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------|
|                         | ANTE                  | POST     |                        |                       |                           |                        |              |
| <b>METANO</b>           | 22737,34              | 15004,66 | 7732,678               | 0,63€/Sm <sup>3</sup> | 1515,82 €                 | 1 000,31 €             | 515,51 €     |
| <b>ELETTRICIT<br/>A</b> | 3605,992              | 4612,032 | -1006,04               | 0,4191 €/kWh          | 1511,27 €                 | 1 932,90 €             | - 421,63 €   |
| <b>TOTALE</b>           |                       |          |                        |                       |                           | <b>€</b>               | <b>93,88</b> |

Tabella 15 – Consumi e risparmi tra ante e progetto.

Dall'analisi economica dell'investimento necessario per la realizzazione complessiva degli interventi proposti, emerge un risparmio dovuto ad una diminuzione globale delle spese da sostenere per il fabbisogno dell'edificio. In generale si avrà un risparmio annuo di 7732,678 kWh per quanto riguarda il metano a fronte di un aumento di consumi di energia elettrica di 1006,04 kWh come si evince dalla tabella 17. Ciò è dovuto ad un maggiore consumo di energia elettrica giustificato dall'introduzione di nuovi servizi per l'utenza come la ventilazione meccanica controllata di tutto l'edificio ed il raffrescamento di nuovi ambienti per un totale di ore di funzionamento pari a 9h, corrispondente alle ore di permanenza degli alunni nell'edificio. Si precisa che tali servizi aggiuntivi permettono un maggior benessere degli utenti della scuola e quindi una migliore salubrità di tutti gli ambienti. Infatti, gli interventi considerati sono nel rispetto dei requisiti minimi che i luoghi scolastici devono avere per essere conformi e garantire le condizioni di benessere termico adeguate.

Inoltre, ad avvalorare il miglioramento energetico previsto dagli interventi si riporta il confronto tra le classi di prestazione energetica dello stato di fatto e dello stato di progetto:

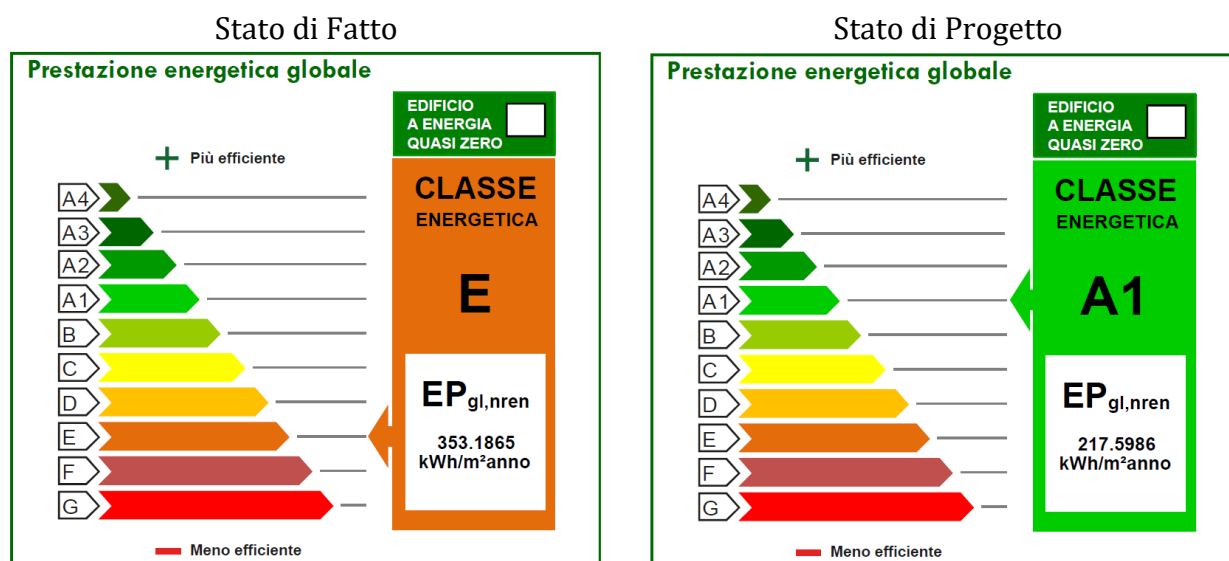


Figura 39 – Confronto tra le classi energetiche dello stato di fatto e dello stato di progetto.

## 7. CONCLUSIONI

In relazione al fabbricato oggetto di diagnosi è stato descritto il sistema edificio impianto sulla base dei sopralluoghi effettuati presso la Scuola. Dalla diagnosi dell'edificio in esame, risulta che l'edificio dal punto di vista dei consumi elettrici è in linea con le altre scuole prese a riferimento nel Rapporto "Guida per il contenimento della spesa energetica delle scuole", documento redatto dall'ENEA in collaborazione con la FIRE. Tuttavia, la mancanza di bollette di gas naturale non permette una valutazione circa i consumi di gas naturale. Questi ultimi sono stati stimati attraverso il modello energetico in cui sono stati inseriti i profili di utilizzo reale della struttura. Tale modello energetico è stato validato, dopo aver verificato che i consumi elettrici stimati sono confrontabili con quelli reali. Per quanto riguarda i consumi di gas naturale è stato assunto che il modello rispecchiasse la realtà. Validato il modello, sono stati implementati gli interventi migliorativi per valutare i risparmi in termini di consumi. In conclusione è emerso che dall'investimento necessario per la realizzazione degli interventi proposti emerge un risparmio globale positivo nonostante l'aumento dei consumi dell'energia elettrica dovuto ad i nuovi servizi aggiunti quali ventilazione meccanica e raffrescamento. Inoltre, si ritiene che tali interventi siano necessari al fine di garantire un efficientamento energetico dell'edificio ed il rispetto dei requisiti che i luoghi scolastici devono avere per essere conformi e garantire le condizioni di benessere termico adeguate.

## **8. APPENDICE**

**8.1 Allegato A – Fascicolo schede strutture Ante intervento (Vedi Elaborato EED\_RSE)**

**8.2 Allegato B – Fascicolo schede strutture Post intervento (Vedi Elaborato EED\_RSE)**

**8.3 Allegato C – APE ante e post intervento (Vedi Elaborato EED\_AA-AP)**

Napoli, 10/05/23

