



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA MECCANICA**

---

Corso di Laurea triennale in ingegneria meccanica

**RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO SCOLASTICO**

**ENERGY REQUALIFICATION OF A SCHOOL BUILDING**

Relatore:

Prof. Costanzo Di Perna

Tesi di Laurea di:

Tommaso Gara

A.A. 2022 / 2023



## INDICE

1. Introduzione .....	4
2. Analisi energetica preliminare .....	5
2.1 Impianti meccanici.....	7
2.2 Impianti elettrici.....	8
2.3 Impianto antincendio .....	8
2.4 Infissi .....	9
2.5 Muratura.....	11
2.5.1 Muro esterno piano terra.....	12
2.5.2 Muro esterno piano primo e secondo.....	13
2.5.3 Solaio .....	14
2.5.4 Soffitto .....	15
2.6 Impianto di riscaldamento scuola .....	19
2.6.1 Caldaia.....	19
2.6.2 Pompe di circolazione .....	20
2.6.3 Vaso di espansione .....	21
2.6.4 Centrale termica.....	22
2.6.5 Radiatori .....	24
2.6.6 Sistemi a espansione diretta.....	26
2.6.7 Ventilconvettori.....	27
2.6.8 Regolazione dell'impianto di riscaldamento .....	28
2.7 Impianto palestra.....	29
2.8 Impianto produzione ACS .....	31
2.9 Impianto fotovoltaico.....	33
2.10 Consumi ante operam .....	35
3. Messa in pianta dello stato di fatto.....	39

4.	Certificato APE .....	43
4.1	Cosa deve contenere l'APE?.....	43
4.2	Come avviene la certificazione APE?.....	45
4.3	Realizzazione del certificato APE .....	46
5.	Legge 10.....	57
5.1	Verifiche tramite legge 10 .....	59
5.1.1	Verifica muro esterno piano primo.....	59
5.1.2	Verifica serramento .....	62
5.1.3	Verifica solaio.....	65
5.1.4	Verifica copertura sottotetto .....	65
6.	Interventi migliorativi .....	66
6.1	Caldia a condensazione .....	67
6.2	Sostituzione aerotermi.....	68
6.3	Isolamento pavimento sottotetto .....	69
6.4	Isolamento tetto .....	70
6.5	Sostituzione valvole termostatiche.....	71
6.6	Consumi post operam.....	73
6.7	Confronto consumi e costi .....	75
7.	Richiesta incentivi.....	78
7.1	Conto Termico .....	78
7.2	Requisiti per gli interventi da realizzare .....	83
7.2.1	Sostituzione impianti di riscaldamento .....	83
7.2.2	Installazione di pompe di calore.....	84
7.2.3	Isolamento termico di superfici opache.....	86
8.	Conclusioni.....	88
9.	Bibliografia e sitografia.....	89



## **1. Introduzione**

La tesi da me redatta è basata sull'esperienza svolta nel tirocinio universitario presso la società di ingegneria "Termostudi s.r.l.", un ufficio di ingegneria multidisciplinare che si occupa di riqualificazioni energetiche di edifici, realizzazione di impianti di riscaldamento e condizionamento, realizzazione di impianti elettrici e realizzazione di opere edili e strutturali.

L'ufficio designato è situato a Jesi (AN) in via Fontedamo, 16.

Il tutor aziendale che mi ha seguito per tutto il periodo è stato l'ing. Matteo Micera che mi ha inizialmente illustrato i settori di competenza della loro azienda, mi ha presentato i colleghi di lavoro e successivamente mi ha descritto dettagliatamente il progetto designato per questa esperienza lavorativa.

Il progetto si basa sulla riqualificazione della scuola secondaria di primo grado "Cantalamessa" situata ad Ascoli Piceno ed è un lavoro che nasce dall'adeguamento sismico ed energetico dell'edificio.

Il mio compito è stato quello di seguire tutta la progettazione, facendo parte del gruppo di lavoro, dallo stato iniziale fino alla scelta degli interventi di riqualificazione, i quali hanno portato un incremento dell'efficienza energetica dell'edificio e minori consumi.

La tesi si svolge su 4 capitoli, il primo mette in evidenza l'analisi energetica preliminare, ovvero descrive tutti gli impianti dal punto di vista energetico e strutturale che sono presenti prima dell'intervento, il secondo capitolo descrive la realizzazione del documento di analisi di prestazione energetica, APE, che definisce le dispersioni dell'intero edificio prima della riqualificazione, il terzo capitolo definisce quali sono gli interventi strutturali e energetici che saranno realizzati per diminuire i consumi energetici, mentre l'ultimo capitolo descrive tutta la procedura che l'ufficio tecnico dovrà effettuare per richiedere i contributi che saranno impiegati nella realizzazione degli interventi.

I lavori di riqualificazione energetica sono stati cofinanziati con fondi del Conto Termico gestiti dal GSE (Gestore dei servizi energetici) e con fondi dell'USR (ufficio scolastico regionale).

Infine sarà redatta la Legge 10, ovvero un documento obbligatorio che racchiude tutti i dati tecnici e costruttivi dell'edificio i quali devono essere a norma di legge.

## 2. Analisi energetica preliminare

Lo stato di fatto di un immobile rappresenta la realtà che si rileva al momento di un sopralluogo e può corrispondere oppure differire da quello che risulta dal progetto o dai progetti edilizi depositati presso il Comune.

In materia urbanistica-edilizia vi è la necessità che lo stato del progetto rappresenti in modo assolutamente fedele la reale consistenza dell'immobile.

### Caratteristiche edificio

Il primo passo da fare per la realizzazione di questo progetto è definire le caratteristiche dell'edificio in esame tramite il DPR 412/93 ovvero:

- Individuazione della zona climatica e dei gradi-giorno
- Classificazione generale dell'edificio per categorie

Località	Zona climatica	Gradi giorno	Altitudine s.l.m.
Ascoli Piceno	D	1698	154m

Figura 1: Zona climatica Ascoli Piceno secondo DPR 412/93

AP D 1988 224	ALTIDONA
AP E 2283 550	AMANDOLA
AP D 1635 194	APPIGNANO DEL TRONTO
AP E 2549 777	ARQUATA DEL TRONTO
AP D 1698 154	ASCOLI PICENO
AP D 2091 312	BELMONTE PICENO
AP D 1876 202	CAMPOFILONE
AP D 2067 365	CARASSAI
AP D 1875 201	CASTEL DI LAMA
AP E 2193 473	CASTIGNANO
AP D 1966 279	CASTORANO
AP D 1495 168	COLLI DEL TRONTO
AP E 2164 448	COMUNANZA

Figura 2: Classificazione generale dell'edificio per categorie secondo DPR 412/93

<p style="text-align: center;">Art. 3 (Classificazione generale degli edifici per categorie)</p> <p>1. Gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso nelle seguenti categorie:</p> <p>E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili:</p> <p>E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme;</p> <p>E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;</p> <p>E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;</p> <p>E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorparabili agli effetti dell'isolamento termico;</p> <p>E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;</p> <p>E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili:</p> <p>E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi;</p> <p>E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto;</p> <p>E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;</p> <p>E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;</p> <p>E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:</p> <p>E.6 (1) piscine, saune e assimilabili;</p> <p>E.6 (2) palestre e assimilabili;</p> <p>E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive;</p> <p>E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;</p> <p>E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.</p>
--

E.7 -> Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili

Successivamente il comune di Ascoli Piceno a me e al Tutor aziendale ci ha fornito le icnografie dell'edificio.

La scuola secondaria si estende su cinque piani:

- Piano interrato e centrale termica
- Piano sopraelevato
- Piano primo
- Piano secondo
- Sottotetto

In seguito, il collega Matteo si è recato presso la scuola a fare il sopralluogo e ha riportato sulla piantina dell'edificio i dati riguardanti:

- Impianti meccanici
- Impianti elettrici
- Impianto antincendio

## **2.1 Impianti meccanici**

Lo stato di fatto ha messo in luce i seguenti componenti riguardanti gli impianti **meccanici**:

- 1- Caldaia tradizionale con potenzialità  $P_u=291kW$  e  $P_n=322Kw$
- 2- Radiatori in ghisa e in alluminio
- 3- Ventilconvettori a Gas Metano
- 4- Split a espansione diretta
- 5- Aerotermi a Gas nella Palestra
- 6- Bollitori da 1.2kW per acqua calda sanitaria
- 7- Boiler da 200l per ACS destinata agli spogliatoi della palestra

## **2.2 Impianti elettrici**

Lo stato di fatto ha messo in luce i seguenti componenti riguardanti gli impianti **elettrici**:

- 1- Apparecchi di illuminazione a LED
- 2- Apparecchi di illuminazione tradizionali a tubi fluorescenti da 18/36 kW
- 3- Prese elettriche da 10/16°
- 4- Prese dati
- 5- Prese telefoniche
- 6- Interruttori unipolari
- 7- Campanelle
- 8- Ronzatori

## **2.3 Impianto antincendio**

Lo stato di fatto ha messo in luce i seguenti componenti riguardanti l'impianto **antincendio**:

- 1- Apparecchi di illuminazione d'emergenza
- 2- Rilevatori ottici di fumo
- 3- Sirene
- 4- Insegne acustico-luminose di emergenza
- 5- Pulsanti di allarme antincendio
- 6- Estintori
- 7- Cassette con naspo

## **Superfici opache e trasparenti**

Per la realizzazione di uno stato di fatto è fondamentale capire quali sono le caratteristiche delle superfici opache e trasparenti, ovvero della muratura e delle finestre, con il fine di definire le dispersioni energetiche tramite di esse.

L'ing. Micera quando ha effettuato il sopralluogo ha riportato in pianta anche le caratteristiche delle finestre di tutto l'edificio scolastico.

## 2.4 Infissi

Lo stato di fatto ha messo in luce i seguenti componenti riguardanti gli **infissi**:

- TIPO A 150x165cm
- TIPO B 225x165cm
- TIPO C 70x165cm
- TIPO D 225x235cm
- TIPO E 215x225cm

La cornice di tutte le finestre è in travertino con spessore di 8 cm e frame in pvc a doppio vetro, tranne alcune che sono quelle oggetto di sostituzione realizzate in singolo vetro, con frame in legno e spessore 4 cm come vediamo nella grafica sottostante:

Figura 3: Finestra Tipo A



Figura 4: Finestra Tipo B



Figura 5: Finestra Tipo C



Figura 6: Finestra Tipo D

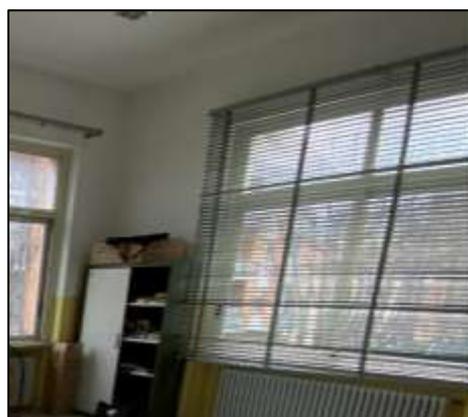


Figura 7: Finestra Tipo E



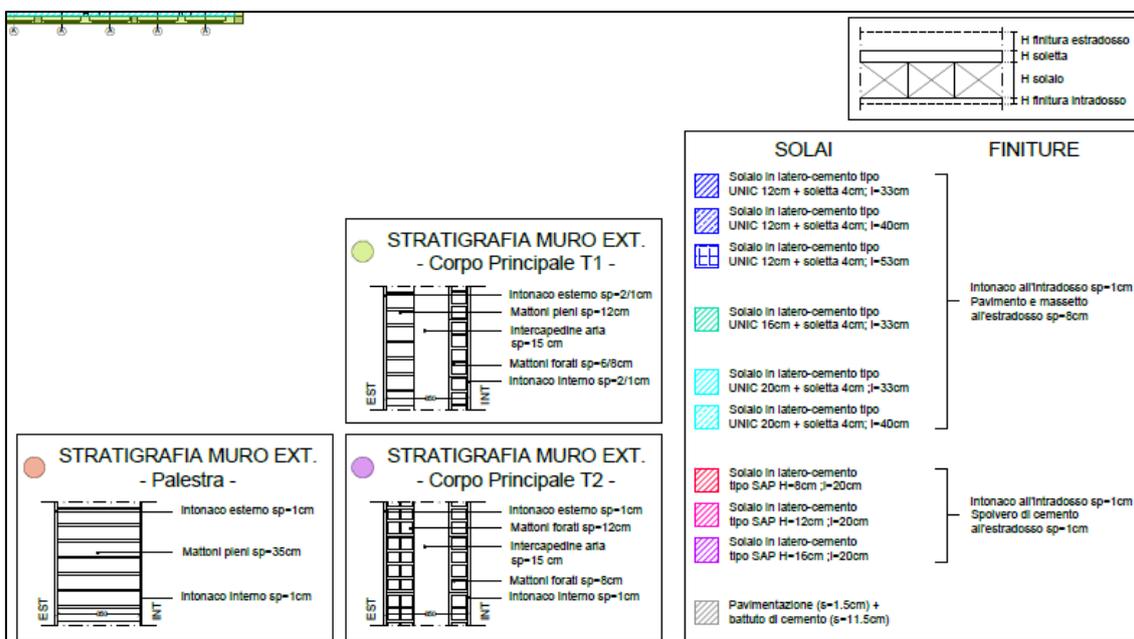
## 2.5 Muratura

La schermata sottostante è stata estratta dal file fornito dall'ufficio tecnico che coopera nella ristrutturazione della scuola.

L'ingegnere responsabile, nel sopralluogo, ha effettuato diversi carotaggi all'interno dei muri scolastici per verificare la stratigrafia della muratura.

La particolarità di questo edificio è che si hanno tre tipologie di muri per il piano sopraelevato, per il primo e secondo piano e per la palestra, mentre i solai sono realizzati con nove differenti tipologie.

Figura 8: Stratigrafia muratura e solai



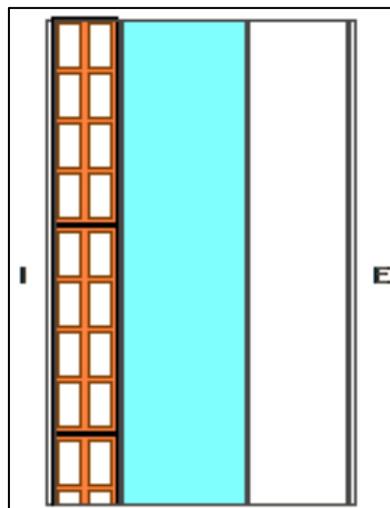
Nelle tabelle successive ho descritto due tipologie di muri, un solaio e un soffitto, mettendo in luce i componenti che li costituiscono con i parametri caratterizzanti.

Infine ho realizzato una legenda che spiega i parametri e le loro unità di misura.

### 2.5.1 Muro esterno piano terra

MATERIALE	S [cm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	CT [kJ/kgK]	$\mu$ [-]
<b>Intonaco interno</b>	1	0.7		0.014	1400	1	10
<b>Mattoni forati</b>	8		5	0.2	775	0.92	9
<b>Intercapedine d'aria</b>	15	0.026		5.769	1	1	1
<b>Mattoni pieni</b>	12	0.72		0.167	1800	1	9
<b>Intonaco esterno</b>	1	0.9		0.011	1800	1	20

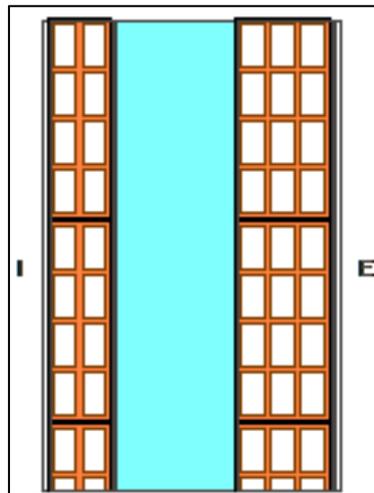
Figura 9: stratigrafia muro esterno piano terra



### 2.5.2 Muro esterno piano primo e secondo

MATERIALE	S [cm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	CT [kJ/kgK]	$\mu$ [-]
<b>Intonaco interno</b>	1	0.7		0.014	1400	1	10
<b>Mattoni forati</b>	8		5	0.2	775	0.92	9
<b>Intercapedine d'aria</b>	15	0.026		5.769	1	1	1
<b>Mattoni forati</b>	12		3.220	0.311	717	0.92	9
<b>Intonaco esterno</b>	1	0.9		0.011	1800	1	20

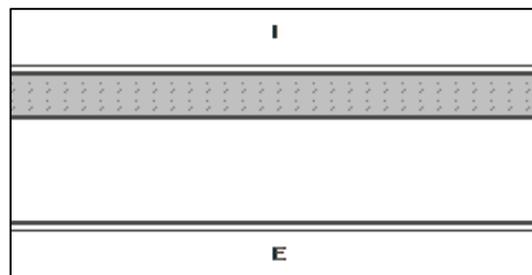
Figura 10: stratigrafia muro esterno piano primo e secondo



### 2.5.3 Solaio

MATERIALE	S	$\lambda$	C	R	D	CT	$\mu$
	[cm]	[W/mK]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m <sup>2</sup> K/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]	[-]
<b>Piastrelle in granito</b>	1	4.1		0.002	3000	0.84	10000
<b>Calcestruzzo armato</b>	7	1.910		0.037	2400	1	100
<b>Soletta: blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo</b>	16		3.392	0.295	900	1	9
<b>Intonaco esterno</b>	1	0.9		0.011	1800	1	20

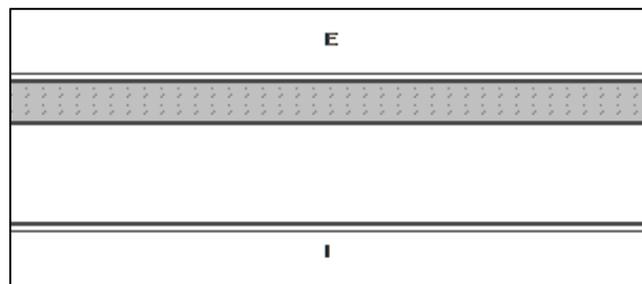
Figura 11: stratigrafia solaio



## 2.5.4 Soffitto

MATERIALE	S [cm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	CT [kJ/kgK]	$\mu$ [-]
<b>Intonaco esterno</b>	1	0.9		0.011	1800	1	20
<b>Soletta: blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo</b>	16		3.392	0.295	900	1	9
<b>Calcestruzzo armato</b>	7	1.910		0.037	2400	1	100
<b>Intonaco interno</b>	1	0.7		0.014	1400	1	10

Figura 12: stratigrafia soffitto



## Legenda

<b>S</b>	Spessore
$\lambda$	Conducibilità termica
<b>C</b>	Conduttanza
<b>R</b>	Resistenza Termica
<b>D</b>	Massa Volumica
<b>CT</b>	Capacità Termica Massica
$\mu$	Resistenza al passaggio del vapore

### Conducibilità termica $\lambda$

La conducibilità termica ( $\lambda$ , unità di misura:  $[\frac{W}{m \cdot K}]$ ) descrive il trasporto di energia, sotto forma di calore, attraverso un corpo come risultato di un gradiente di temperatura.

Stando al secondo principio della termodinamica, il flusso di calore è diretto sempre nella direzione della temperatura più bassa.

La conducibilità termica è quindi una proprietà specifica del materiale, usata per caratterizzare il trasporto di calore stazionario.

Maggiore è il valore di  $\lambda$ , più il materiale è un buon conduttore di calore, mentre più è basso il  $\lambda$  più il materiale è un isolante termico.

### Conduttanza C

Per un elemento non omogeneo, ovvero caratterizzato da proprietà termiche non uniformi si deve fare riferimento alla conduttanza, C, dello strato, espressa in  $[\frac{W}{m^2 K}]$ .

Tale grandezza rappresenta il flusso di calore scambiato unicamente per via conduttiva all'interno del solido in esame.

I valori di conduttanza sono riportati nelle apposite norme di riferimento [UNI 10355:1994] o ricavabili dai certificati di prova forniti direttamente dai produttori.

## **Resistenza termica R**

La resistenza termica R di un materiale rappresenta la capacità di un corpo ad opporsi al passaggio del calore e dipende dallo spessore s del materiale e dalla conducibilità termica  $\lambda$  secondo la seguente relazione:

$$R = \frac{S}{\lambda}$$

L'unità di misura della resistenza termica è  $[\frac{m^2K}{W}]$ .

Per ottenere la prestazione globale termica di un edificio, si sommano le resistenze termiche dei materiali che la compongono, compresi i rivestimenti interni ed esterni.

## **Massa volumica D**

Nota anche come densità, la massa volumica è una grandezza fisica data dal rapporto tra la massa di un corpo e il suo volume.

Spesso è indicata con i simboli  $\rho$  o D e pertanto, la massa volumica si calcola con la seguente formula:

$$D = \frac{M}{V}$$

L'unità di misura della massa volumica è  $[\frac{Kg}{m^3}]$ .

## **Capacità termica massica o calore specifico CT**

La capacità termica massica indica il valore della quantità calorica in Joule, che 1 kg di materia assorbe o emana, quando la sua temperatura viene alzata o abbassata di un grado K (Kelvin).

Questa grandezza viene definita come il rapporto tra la capacità termica e la massa del corpo e viene indicata come:

$$CT = \frac{C}{M}$$

L'unità di misura della capacità termica massica è  $[\frac{KJ}{Kg \cdot K}]$ .

Maggiore è la capacità termica massica, maggiore è la capacità di un materiale edile di accumulare calore.

### **Resistenza al passaggio del vapore acqueo $\mu$**

Il vapore acqueo si diffonde con maggiore facilità all'interno delle strutture quando tra i lati del materiale si stabilisce un gradiente di pressione e temperatura.

Esso modifica il comportamento dell'isolante, aumentando il valore di conduttività termica ed incrementando quindi le perdite energetiche ed il rischio di condensazioni.

Il fattore adimensionale  $\mu$  indica quante volte è maggiore la resistenza alla diffusione del vapore acqueo di un prodotto rispetto ad un volume di aria di uguale spessore (per l'aria  $\mu = 1$ ).

Questa grandezza viene definita come il rapporto tra la permeabilità al vapore acqueo dell'aria e la permeabilità al vapore acqueo del materiale e viene indicata come:

$$\mu = \frac{\delta \text{ aria}}{\delta \text{ materiale}}$$

L'efficienza dell'isolamento termico nell'evitare condensazioni e ridurre le perdite energetiche per un lungo periodo di tempo, dipende dalla bassa conduttività termica e dal suo comportamento con il vapore d'acqua.

Il principale pericolo si ha quando, a causa di uno sbalzo termico, il vapore acqueo si raffredda e condensa all'interno del materiale isolante, alterandone le proprietà specifiche ed in particolar modo le sue capacità di isolamento.

## 2.6 Impianto di riscaldamento scuola

Gli impianti di riscaldamento rappresentano un insieme di apparecchiature atto ad assicurare, in presenza di un carico termico ceduto dai locali all'ambiente circostante, il mantenimento in essi di una temperatura maggiore di quella dell'ambiente esterno.

Questo è possibile tramite cessione di calore sensibile da parte delle apparecchiature verso i locali in esame, tramite il potenziale temperatura e la potenza termica che l'impianto di riscaldamento deve fornire ai locali corrispondente al loro carico termico invernale.

Il complesso è provvisto di un impianto termico di tipo centralizzato per la scuola e di impianti di tipo autonomo per la palestra.

L'impianto di riscaldamento dell'edificio scuola è costituito da una caldaia tradizionale alimentata a Gas Metano situata nel piano interrato nella zona Centrale Termica.

Il sottosistema di generazione è costituito da un gruppo termico a basamento, in acciaio, di tipo pressurizzato, alimentato a metano con una potenza al focolare di 322 kW e con potenza utile di 291kW.

### 2.6.1 Caldaia

La **caldaia** è una "Unical" ed è stata installata nell'anno 1995 e fornisce il calore per il servizio di riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria tramite un boiler ad accumulo di capacità 200 l, installato nel 1998.

Il rendimento termico utile al 100% della Potenza nominale è pari a 0.90%

Il rendimento termico utile al 30% della Potenza nominale è pari a 0.27%.

Figura 13: Caldaia tradizionale



### 2.6.2 Pompe di circolazione

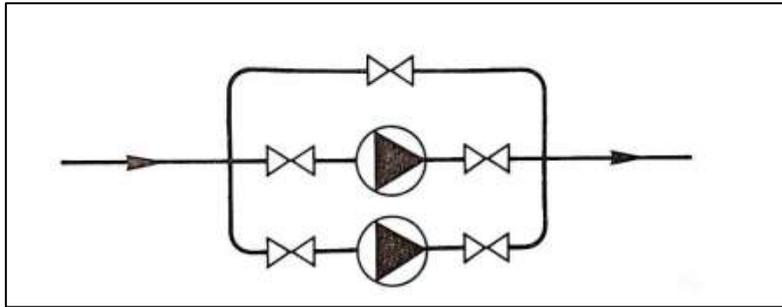
Le **pompe di circolazione** utilizzate nell'impianto sono due di tipo a motore ventilato della marca Marelli.

Negli impianti in cui sono richieste portate elevate si utilizzano due pompe in parallelo, utili anche per averne una di riserva.

Figura 14: Pompa di circolazione

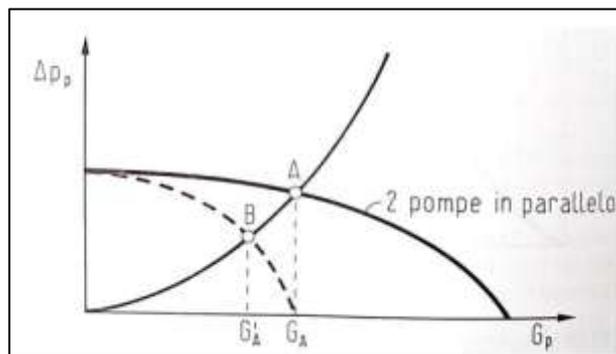


Figura 15: Schema pompe in parallelo



In questo caso la curva caratteristica complessiva si modifica come in figura: la prevalenza massima garantita non cambia, mentre aumenta la portata di fluido elaborabile.

Figura 16: Curva caratteristica pompe in parallelo



Il **fluido termovettore** è acqua e il volume dell'impianto è di 5500l.

### 2.6.3 Vaso di espansione

Il **vaso di espansione** è un dispositivo di sicurezza che permette di compensare le variazioni di pressione che si verificano all'interno dell'impianto.

L'acqua viene caricata nell'impianto di riscaldamento alla temperatura in cui si trova nella rete idrica (10-15 °C), riempiendo tutto il volume a disposizione nell'impianto.

Quando viene riscaldata dal generatore di calore, però, l'acqua subisce una dilatazione termica (valutata da un coefficiente di dilatazione cubica,  $e$ ) che deve essere

opportunamente compensata dall'impianto, altrimenti il corrispondente aumento di pressione potrebbe danneggiare l'impianto stesso.

Nell'impianto, dunque, occorre prevedere un idoneo volume che accolga la dilatazione dell'acqua: esso è chiamato vaso di espansione.

Il vaso d'espansione dell'impianto è di tipo aperto ed ha un volume di 300l di cui utili 210l ed è posizionato nell'area del sottotetto.

Per il calcolo del volume del vaso di espansione si utilizza la seguente formula:

$$V = Q \cdot e = 5500 \cdot 0.035 = 192.5l$$

Q = volume dell'impianto in litri

e = coefficiente di dilatazione cubica

Siccome  $V = 192.5l$  si è optato per un vaso di espansione aperto con volume utile pari a 210l.

#### 2.6.4 Centrale termica

Le **centrali termiche** (CT) sono i locali adibiti all'installazione della caldaia e degli altri componenti ed accessori dell'impianto di riscaldamento.

La superficie in pianta della CT dovrebbe tenere conto di un'agevole installazione, manutenzione e sicurezza dei componenti installati; valori di massima si possono dedurre dalla potenzialità termica del generatore di calore.

In base alla potenzialità ed al tipo di combustibile usato, le CT devono soddisfare una serie di requisiti relativi alla sicurezza del locale stesso e dell'edificio, tra cui norme di sicurezza antincendio e contro l'inquinamento atmosferico.

I generatori di calore, in particolare, devono avere i seguenti **dispositivi di sicurezza** automatici:

- tubazione di sicurezza, non intercettabile, di diametro interno di almeno 18 mm (nel caso di vaso di espansione aperto).
- valvola di sicurezza, non intercettabile, di diametro interno superiore a 15 mm (nel caso di vaso di espansione chiuso; il collegamento del vaso deve avere un

diametro di almeno 18 mm), per evitare il superamento della pressione di sicurezza.

- valvola di scarico termico, per evitare il superamento della temperatura di sicurezza.
- valvola di intercettazione del combustibile che intercetta il flusso di combustibile nel caso che la temperatura dell'acqua superi quella di sicurezza prefissata.

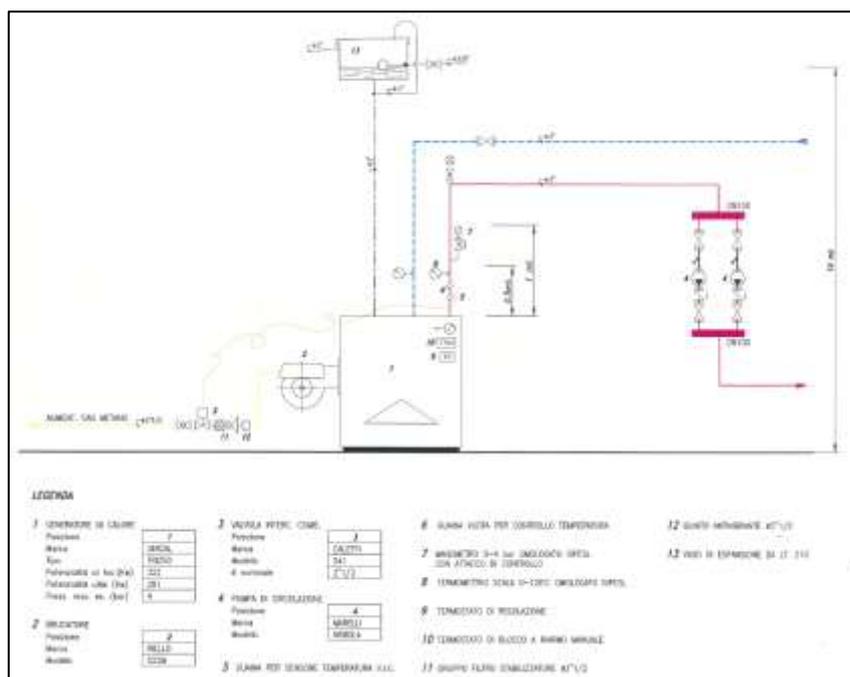
I generatori di calore devono inoltre avere i seguenti **dispositivi di protezione**:

- termostato di regolazione, che interrompe l'apporto di calore ad una temperatura pari a quella di ebollizione a pressione atmosferica, diminuita di 5 °C (95 °C)
- termostato di blocco a riarmo manuale, che interviene a 100 °C
- pressostato di blocco a riarmo manuale (per gli impianti a vaso chiuso, tarato ad una pressione inferiore a quella di taratura della valvola di sicurezza)
- dispositivo di protezione livello/pressione minima.

Vanno anche installati opportuni **dispositivi di controllo**:

- termometro dell'acqua in uscita dal generatore
- manometro, direttamente sul generatore o sulle tubazioni di mandata e ritorno dello stesso

Figura 17: Schema dell'impianto di riscaldamento



### 2.6.5 Radiatori

I **terminali di emissione** sono radiatori a colonne in ghisa posizionati prevalentemente lungo le pareti esterne.

Sono scambiatori di calore che permettono la cessione di calore dal fluido termovettore, acqua calda che scorre internamente, verso l'aria dell'ambiente.

Il flusso termico scambiato dal corpo scaldante è pari a:

$$\dot{Q}_r = U_r * A_r * (T_{ma} - T_i)$$

La temperatura media dell'acqua calda  $T_{ma}$ , è data da:

$$T_{ma} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$T_{in}$  e  $T_{out}$  = temperature di entrata e uscita dell'acqua nel corpo scaldante [°C]

$U_r$  = coefficiente globale di scambio termico [W/m<sup>2</sup>K]

$A_r$  = superficie esterna del corpo scaldante [m<sup>2</sup>]

In questo caso il corpo scaldante è un radiatore, perciò, il coefficiente globale di scambio termico può essere calcolato con la seguente relazione:

$$U_r = \frac{1}{\frac{Z}{\alpha_a} + R'_p + \frac{1}{\alpha}}$$

$Z$  = rapporto tra la superficie esterna e interna del corpo scaldante

$\alpha_a$  = coefficiente di scambio superficiale lato acqua [W/m<sup>2</sup>K]

$R'_p$  = resistenza specifica della parete del corpo scaldante [m<sup>2</sup>K/W]

$\alpha$  = coefficiente di scambio superficiale lato aria [W/m<sup>2</sup>K]

Nei radiatori, in genere, è determinante il valore di  $\alpha$ , che dipende da irraggiamento e convezione naturale.

Per la scelta del tipo di radiatore si possono consultare dei cataloghi che relazionano altezza, numero di colonne e numero di moduli per definire la potenza radiante scambiata.

Figura 18: Catalogo radiatori

SPECIFICHE TECNICHE											
Modello	Dimensioni (mm)						Volume acqua per elemento (litri)	Peso (kg elemento)	Potenza termica nominale		Coefficiente di scambio termico (kW/m <sup>2</sup> )
	Altezza H	Interasse moduli L	Profondità P	Lunghezza moduli L <sub>1</sub>	Profondità moduli L <sub>2</sub>	Profondità moduli L <sub>3</sub>			Watt	kcal/h	
<b>Modello a 2 colonne</b>											
LBT 2/800	800	800	70	80	35,0	0,57	10,7	70,8	67,8	1,324	
<b>Modello a 4 colonne</b>											
LBT 4/500	500	300	146	80	73,0	0,71	62,7	84,5	81,3	1,318	
LBT 4/600	600	300	146	80	73,0	0,83	71,7	108,8	92,9	1,325	
LBT 4/800	800	300	146	80	73,0	0,99	82,7	126,8	116,1	1,328	
<b>Modello a 6 colonne</b>											
LBT 6/420	420	330	225	80	112,0	0,81	74,7	105,8	90,3	1,372	
LBT 6/500	500	330	225	80	112,0	0,99	87,7	123,8	105,8	1,378	
LBT 6/600	600	330	225	80	112,0	1,16	100,7	138,8	119,1	1,382	
LBT 6/800	800	330	225	80	112,0	1,43	126,7	162,8	145,1	1,384	
<b>Modello a 8 colonne</b>											
LBT 8/300	300	220	340	80	170,0	0,85	88,7	111,8	85,3	1,502	

Le rese secondo UNI EN 442 hanno i seguenti valori:

$T_{in} = 75^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{out} = 65^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{media} = 70^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{ambiente} = 20^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t = 50^{\circ}\text{C}$

Figura 19: Radiatore in ghisa



Nella figura 19 è raffigurato un radiatore in ghisa posizionato nel sottofinestra, costituito da 4 colonne, 26 moduli e altezza 680 mm.

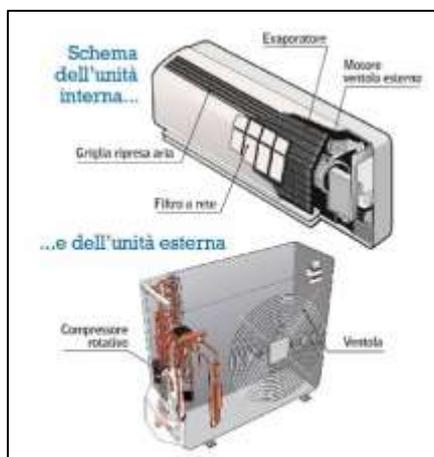
Perciò dal catalogo otteniamo una potenza pari a 108W per modulo, la quale viene moltiplicata per 26 e si ottengono 2.8kW.

## 2.6.6 Sistemi a espansione diretta

Un sistema a espansione diretta è un sistema di distribuzione dell'energia termica e/o frigorifera per il riscaldamento e/o condizionamento dei locali per mezzo di tubazioni idriche, nelle quali non circola acqua calda o fredda, come nei sistemi tradizionali definiti idronici, ma un particolare gas refrigerante, proveniente da una unità di produzione termo-frigorifera esterna (motocondensante), dotata di compressore.

Un climatizzatore si compone in genere di due parti, collegate da tubazioni e cavi elettrici: l'unità posizionata all'esterno (motocondensante) e l'unità posizionata all'interno del locale (ventilante, che fornisce la qualità dell'aria ideale nel locale climatizzato).

Figura 20: Schema di un sistema a espansione diretta



Il compito del climatizzatore è quello di trasferire calore da un'unità all'altra, sfruttando il fluido refrigerante che agisce da mezzo di trasporto.

Rispetto al resto delle aule della scuola, solamente nell'aula di musica, sono installati due split con sistemi a espansione diretta.

Figura 21: Split interno



Figura 22: Unità esterna

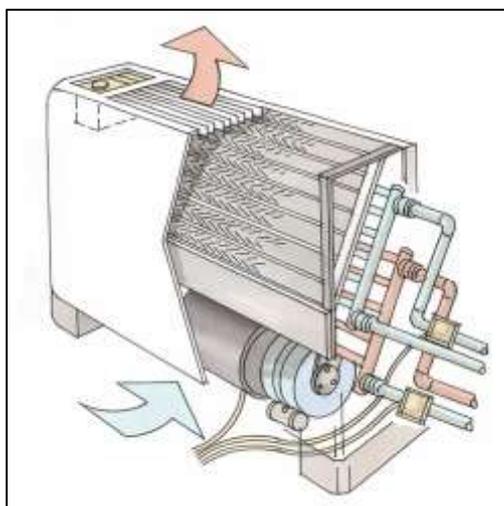


### 2.6.7 Ventilconvettori

Con il termine **ventilconvettore** si indicano i terminali, conosciuti anche con il nome di fan coil, adibiti al condizionamento domestico o di un ufficio, con la funzione sia di riscaldare che di raffrescare.

I ventilconvettori sono dunque una valida alternativa ai tradizionali termosifoni, ai radiatori e ai pannelli radianti elettrici per garantire il giusto comfort termico in tutti gli ambienti della propria abitazione o del proprio ufficio.

Figura 23: schema di un ventilconvettore



All'interno dell'involucro che costituisce l'esterno del ventilconvettore si trovano una o più batterie che permettono lo scambio termico tra l'acqua dell'impianto di riscaldamento e l'aria emessa dal terminale, un filtro dell'aria, un ventilatore e una vaschetta per raccogliere la condensa che si forma sulle batterie durante il processo di scambio termico:

- il ventilatore aspira l'aria presente nell'ambiente e la spinge prima verso il filtro per purificarla e poi verso le batterie per lo scambio termico;
- l'aria assorbe o cede calore all'acqua presente nei tubi dell'impianto di riscaldamento, a seconda che si voglia riscaldare o raffrescare la stanza;
- una volta riscaldata o raffreddata, l'aria viene distribuita nell'ambiente.

Il processo tramite il quale le batterie scambiano calore tra l'aria e l'acqua dell'impianto è detto a convezione forzata ed è senza dubbio molto più efficace a livello di prestazioni rispetto ai tradizionali termosifoni, dove il calore è trasmesso nella stanza tramite semplice irradiazione e non tramite ventilazione.

Grazie alla convezione forzata, i ventilconvettori sono in grado di lavorare in maniera efficiente anche con temperature più basse dell'acqua contenuta nell'impianto.

Anche in questo caso diversamente dal resto della scuola, in due aule del primo piano sono presenti 3 ventilconvettori alimentati a gas metano che riscaldano una superficie di 103m<sup>2</sup>.

Figura 24: ventilconvettore



### 2.6.8 Regolazione dell'impianto di riscaldamento

La **regolazione** dell'impianto di riscaldamento è realizzata mediante due parametri: la temperatura dell'aria esterna e la temperatura dell'aria interna.

La regolazione mediante temperatura dell'aria esterna è effettuata tramite una sonda posizionata all'esterno dell'edificio a nord che rileva le condizioni esterne, manda le informazioni alla centralina e di conseguenza si va a regolare la potenza del bruciatore in caldaia (come si vede nella figura 25).

La seconda regolazione è effettuata mediante l'analisi della temperatura dell'aria interna tramite un cronotermostato.

L'utente regola manualmente la temperatura ambiente, il termostato invia le informazioni alla centralina della caldaia che di conseguenza adegua la potenza del bruciatore.

Figura 25: Sonda esterna



## 2.7 Impianto palestra

L'impianto della palestra è autonomo dalla caldaia ed è costituito da due aerotermi alimentati a gas metano di potenza 35 kW l'uno che forniscono il calore per il servizio di riscaldamento del campo da gioco in cui sono installati.

Figura 26: Aeroterma a gas



Gli aerotermini sono sistemi caratterizzati da una batteria alettata aria-acqua equipaggiati da specifici ventilatori che forzano il passaggio dell'aria attraverso di esse per riscaldare o raffrescare l'aria con cui verrà climatizzato il locale.

Trovano particolare diffusione in ambito industriale per climatizzare ambienti lavorativi, in alcuni ambienti commerciali e in edifici sportivi in quanto sono terminali che permettono messe a regime rapide anche in ambienti di elevato volume.

Possono essere collocati sia a parete che a soffitto, solo che questi ultimi non sono utilizzati per il raffrescamento estivo.

Purtroppo, hanno un livello sonoro superiore ad altri sistemi.

Possono essere alimentati con acqua, ma esistono anche unità complete di bruciatore totalmente autonome che possono funzionare semplicemente con il collegamento alla rete di alimentazione del gas metano.

La marca degli aerotermini installati nella palestra è Italchero modello BigFox.

La regolazione è realizzata con un cronotermostato installato nel locale e permette di regolare la temperatura ambiente in modo manuale.

Figura 27: Catalogo Italchero

MODELLO	PORTATA TERMICA NOMINALE kW	PORTATA TERMICA RIDOTTA kW	POTENZA TERMICA NOMINALE kW	POTENZA TERMICA RIDOTTA kW	N° UGELLI BRUCIATORE
BIG FOX 20 mono p.	23,8	-	21,2	-	6
BIG FOX 20 doppia p.	23,8	16,8	21,2	14,4	6
BIG FOX 25 mono p.	28	-	24,7	-	7
BIG FOX 25 doppia p.	28	20,2	24,7	17,1	7
BIG FOX 30 mono p.	32	-	28,2	-	8
BIG FOX 30 doppia p.	32	23	28,2	19,1	8
BIG FOX 40 mono p.	48	-	42,3	-	6
BIG FOX 40 doppia p.	48	34,6	42,3	29,7	6
BIG FOX 50 mono p.	56	-	49,6	-	7
BIG FOX 50 doppia p.	56	40	49,6	34,4	7
BIG FOX 60 mono p.	63,9	-	56,3	-	8
BIG FOX 60 doppia p.	63,9	45	56,3	38,5	8

## 2.8 Impianto produzione ACS

Con ACS si fa riferimento all'acqua calda sanitaria ossia all'acqua utilizzata all'interno di un'abitazione o di un edificio destinata all'igiene personale, da non confondere con l'acqua presente all'interno degli impianti di riscaldamento.

In questa scuola è presente un sistema di accumulo, ovvero un serbatoio, in cui l'acqua viene mantenuta alla giusta temperatura grazie a due diversi sistemi di riscaldamento.

Il primo sistema è costituito da una serpentina elettrica che, grazie all'effetto Joule, si riscalda e automaticamente va a riscaldare l'acqua nel boiler.

Il secondo sistema è collegato alla caldaia grazie a una tubazione in cui scorre acqua come fluido termovettore e arriva all'interno del serbatoio, questo circuito è costituito da una serpentina che riscalda l'acqua all'interno del boiler.

Il boiler è posizionato in un locale deposito, ha un volume di 200l e alimenta i bagni degli spogliatoi, ovvero docce e lavandini.

Figura 28: Boiler da 200l



Riguardo i bagni dei vari piani della scuola posizionati in prossimità delle aule, sono presenti degli scaldacqua elettrici da 15l con potenza di 1.2kW che alimentano il sistema di acs.

Uno scaldacqua si compone di un serbatoio coibentato che mantiene la temperatura dell'acqua costante e sempre pronta all'utilizzo.

Lo scaldacqua inoltre deve essere collegato, tramite un flessibile, ad un rubinetto di acqua fredda che poi viene riscaldata e portata a temperatura, tramite una resistenza elettrica di rame. Tale resistenza, grazie al cosiddetto "effetto joule", rilascia calore nell'acqua.

Attraverso un flessibile in uscita, l'acqua calda raggiunge le tubature dell'impianto idrico dell'edificio.

Lo scaldacqua, inoltre, è dotato di un termostato, che lo spegne non appena raggiunge la temperatura ideale dell'acqua e lo riaccende, non appena questa scende al di sotto di una temperatura minima.

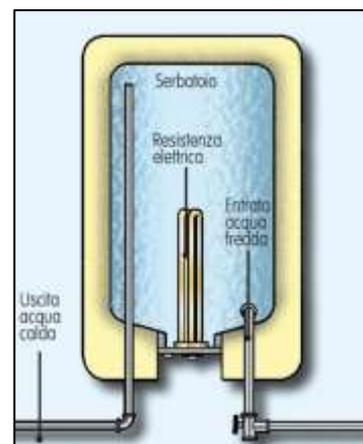
Per ottimizzare le prestazioni dello scaldabagno e mantenere i consumi, è consigliabile stabilire intorno ai 60° la temperatura massima.

Vi è sempre poi una valvola di sicurezza che interviene qualora la pressione dell'acqua aumentasse pericolosamente.

Figura 29: Scaldacqua elettrico



Figura 30: Schema scaldacqua

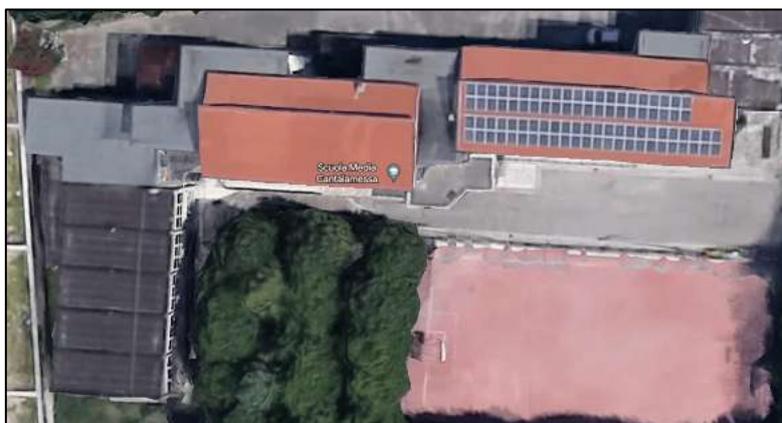


## 2.9 Impianto fotovoltaico

La scuola media “Cantalamessa” di Ascoli Piceno è provvista di un impianto a pannelli solari, posti sul tetto dell’edificio, installato nel 2005 a seguito di un rifacimento della copertura del tetto.

La potenza elettrica fornita dall’impianto è pari a 15kW.

Figura 31: Vista aerea impianto fotovoltaico



L’impianto si compone di 75 moduli fotovoltaici in silicio monocristallino per garantire alte prestazioni con alte temperature, situazione rilevabile nel periodo estivo nelle condizioni di posa di progetto, di potenza unitaria pari a 200 W (ciascuno di dimensioni 1570 mm x 798 mm, pari a 1,253 m<sup>2</sup>), per una superficie totale esposta di 93,965 m<sup>2</sup>.

Sulla base dei dati radiometrici forniti dalla norma UNI 10349, utilizzando il procedimento indicato dalla norma UNI 8477/1 per valutare la radiazione sul piano di posa (orientato a Sud - Sud-Ovest, azimut  $g = 3^\circ$ , e inclinato di un angolo  $b = 17,00^\circ$ ) e assumendo come efficienza operativa media annuale dell’impianto il 75% dell’efficienza nominale del generatore fotovoltaico, si calcola che l’energia elettrica prodotta ammonta a **17 851 kWh/anno**.

Il valore stimato dell’energia producibile, leggermente superiore al consumo medio annuale, permette di coprire integralmente i consumi della scuola.

A seguito della realizzazione dell’impianto fotovoltaico, all’ingresso della scuola è stato posizionato un display che permette di visualizzare le grandezze fisiche in gioco e i flussi di energia istantanei, giornalieri, settimanali, mensili, annuali e totali per permettere a

chiunque, ma in particolare agli studenti e ai docenti, di comprendere e approfondire la conoscenza della fonte energetica pulita solare.

Figura 32: Display informativo



Lo stato di fatto ha messo in luce anche una problematica riguardante l'impianto fotovoltaico: attualmente non è collegato alla rete elettrica, perciò l'energia rinnovabile prodotta allo stato attuale non può essere utilizzata.

Durante la riqualificazione energetica di questo edificio si dovrà risolvere anche questo problema così da rendere la scuola di nuovo autonoma dal punto di vista energetico facendo calare notevolmente i consumi e il costo dell'energia utilizzata.

## 2.10 Consumi ante operam

In questa sezione, ho estrapolato dalla diagnosi energetica preliminare, i consumi energetici dell'intero edificio allo stato attuale prima degli interventi migliorativi e ho descritto la suddivisione dell'energia in base al suo impiego.

Fabbisogno di energia in ingresso ai generatori [kWh]				
VETTORE ENERGETICO	H	W	L	GLOBALE
Gas Naturale (Metano)	269340,00	13202,00	-	282542,00
Energia elettrica	570,43	582,67	9600,10	10753,20

H = Heating

W = Water heating

L = Lighting

Dalla tabella sovrastante si nota un consumo globale di Gas naturale pari a 282542 kWh suddiviso in 269340 kWh da parte della caldaia per il riscaldamento dell'edificio, da parte degli aerotermini per il riscaldamento del campo da gioco e per i ventilconvettori posti in 2 aule del complesso scolastico, mentre 13202 Kwh sono impiegati per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria negli spogliatoi della palestra.

Riguardo la richiesta di energia elettrica, il consumo totale risulta pari a 10753,20 kWh, suddiviso in 570.43 kWh utilizzati dai sistemi a espansione diretta per il riscaldamento dell'aula di musica; 582.67 kWh sono impiegati dai boiler per il riscaldamento dell'ACS nei bagni della scuola, mentre 9600.10 kWh sono utilizzati per l'illuminazione dell'intero edificio.

Nella tabella sottostante ho messo in mostra quanta energia non rinnovabile viene impiegata:

<b>Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile [kWh]</b>				
<b>VETTORE ENERGETICO</b>	<b>H</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>GLOBALE</b>
<b>Gas Naturale (Metano)</b>	282807,00	13862,10	-	296669,10
<b>Energia elettrica</b>	1112,33	1136,20	18720,20	317637,70
<b>TOTALE</b>	<b>283919,33</b>	<b>14998,30</b>	<b>18720,20</b>	<b>317637,70</b>

La tabella sottostante definisce quanta energia elettrica impiegata è fornita da fonti rinnovabili:

<b>Fabbisogno di energia primaria rinnovabile [kWh]</b>				
<b>VETTORE ENERGETICO</b>	<b>H</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>GLOBALE</b>
<b>Energia elettrica</b>	268,10	273,85	4512,05	5054,00
<b>Energia elettrica da fonte rinnovabile in-situ</b>	189,23	429,37	13055,00	13673,60
<b>Energia esportata prodotta in-situ</b>	-	-291,25	-235,78	-527,04
<b>TOTALE</b>	<b>457,33</b>	<b>411,97</b>	<b>17331,27</b>	<b>18200,56</b>

La tabella posta sotto evidenzia l'energia totale necessaria per l'intero edificio scolastico:

<b>Fabbisogno di energia primaria globale [kWh]</b>				
<b>VETTORE ENERGETICO</b>	<b>H</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>GLOBALE</b>
<b>Gas Naturale (Metano)</b>	282807,00	13862,10	-	296669,10
<b>Energia elettrica</b>	1380,43	1410,06	23232,20	26022,70
<b>Energia elettrica da fonte rinnovabile in-situ</b>	189,23	429,37	13055,00	13673,60
<b>Energia esportata prodotta in-situ</b>	-	-291,25	-235,78	-527,04
<b>TOTALE</b>	<b>284376,66</b>	<b>15410,28</b>	<b>36051,42</b>	<b>335838,26</b>

Si evince una richiesta totale di 296669,10 kWh di Metano e di 26022,7 kWh di energia elettrica.

A fronte di questi consumi di energia, all'interno del software impiegato, ho inserito il costo unitario del metano in euro su standard metro cubo e dell'energia elettrica in euro su kWh e ho ottenuto la spesa annua totale versata dalla scuola per i servizi citati:

<b>Vettore energetico: Gas naturale (Metano)</b>					
<b>SERVIZI</b>	<b>Ca</b>	<b>U.M.</b>	<b>Sa</b>		
			<b>UNITARIA</b>	<b>U.M.</b>	<b>TOTALE[€]</b>
<b>Riscaldamento</b>	28501,60	Sm <sup>3</sup>	0.65	€/Sm <sup>3</sup>	18526,00
<b>Acqua calda sanitaria</b>	1397,03	Sm <sup>3</sup>	0.65	€/Sm <sup>3</sup>	908,07
<b>GLOBALE</b>	<b>29898,60</b>	<b>Sm<sup>3</sup></b>	<b>0.65</b>	<b>€/Sm<sup>3</sup></b>	<b>19434,10</b>

Vettore energetico: Energia elettrica					
SERVIZI	Ca	U.M.	Sa		
			UNITARIA	U.M.	TOTALE[€]
<b>Riscaldamento</b>	570,43	kWh	0.23	€/kWh	131,20
<b>Acqua calda sanitaria</b>	582,67	kWh	0.23	€/kWh	134,01
<b>Illuminazione</b>	9600,10	kWh	0.23	€/kWh	2208,02
<b>GLOBALE</b>	<b>10753,20</b>	<b>kWh</b>	0.23	<b>€/kWh</b>	<b>2473,24</b>

Ca = Consumo annuo

Sa = Spesa annua

Nel capitolo finale andrò a confrontare questi valori con i valori ottenuti dopo gli interventi migliorativi così da evidenziare il risparmio energetico ed economico apportato dai lavori di riqualificazione energetica.

### 3. Messa in pianta dello stato di fatto

In questo capitolo mi sono occupato della messa in pianta dello stato di fatto, ovvero sono andato a realizzare lo stato di fatto riportando tutti i dati riguardanti lo stato attuale dell'edificio su un software, AUTOCAD realizzando un file unico per i tre impianti sopra citati e tre file separati ognuno dei quali rappresentanti gli impianti meccanici, elettrici e antincendio.

I diversi file sono stati realizzati grazie alla piantina della scuola come base di lavoro, su cui erano stati riportati dall'ing. Micera tutti i vari impianti e componenti della scuola.

Successivamente ho realizzato la legenda divisa per impianto meccanico, impianto elettrico e impianto antincendio, tutti i simboli utilizzati sono stati presi dall'archivio della Termostudi.

Nelle figure sottostanti sono riportati i file cad riguardanti i tre diversi impianti dei vari piani dell'edificio scolastico.

Figura 33: Piano interrato

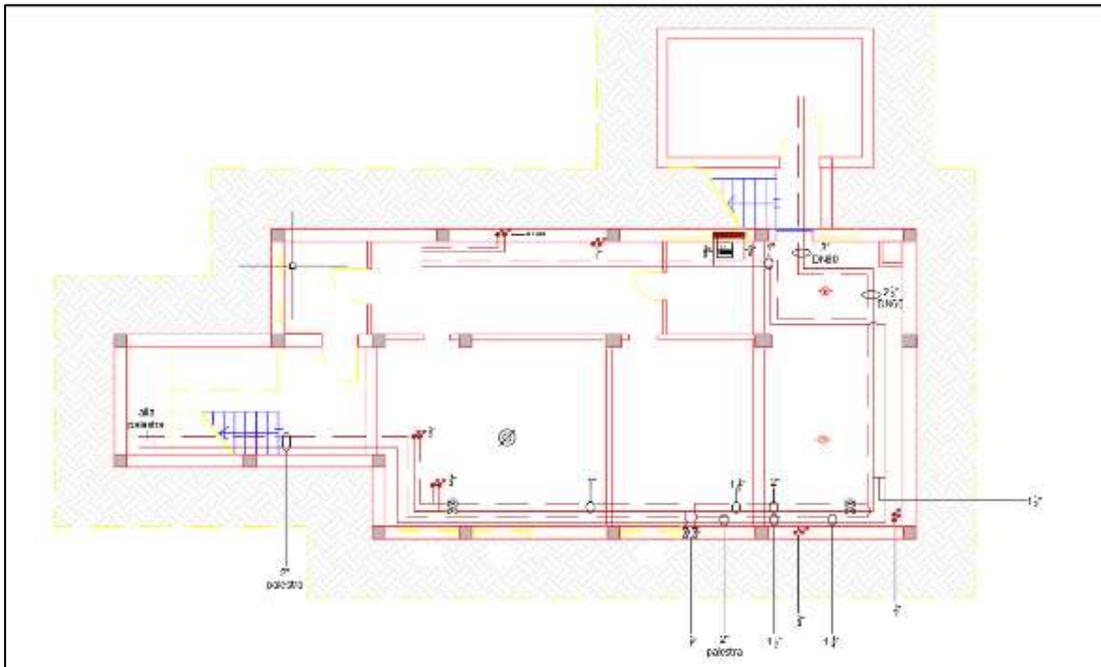


Figura 34: Piano sopraelevato



Figura 35: Piano primo

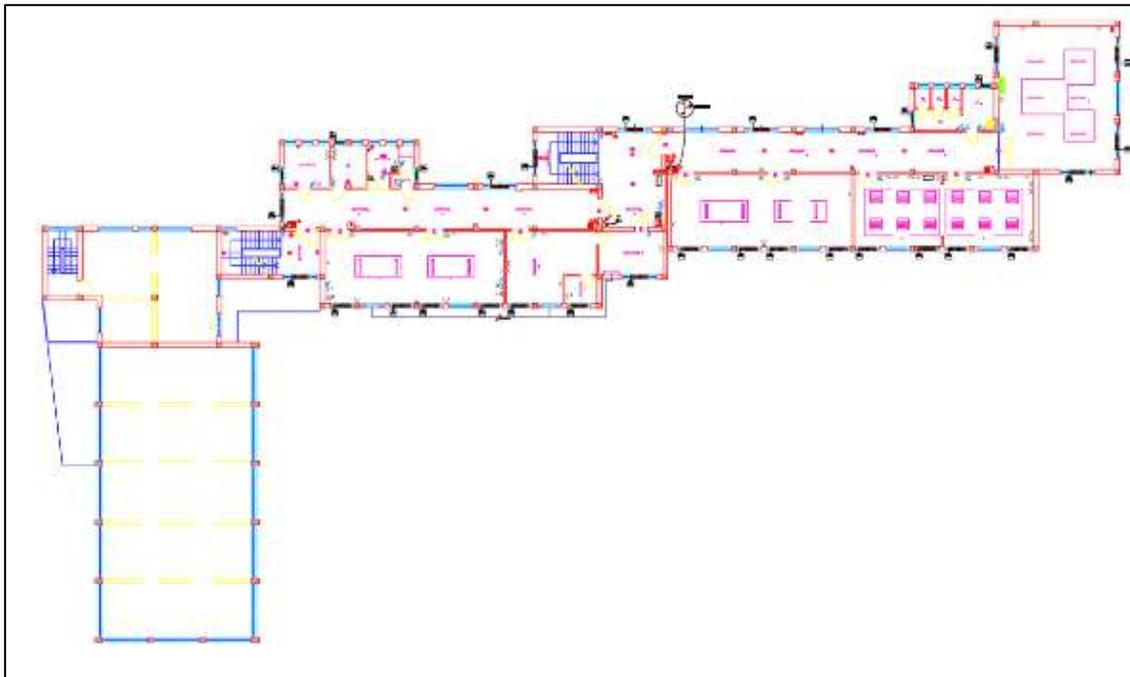


Figura 36: Piano secondo

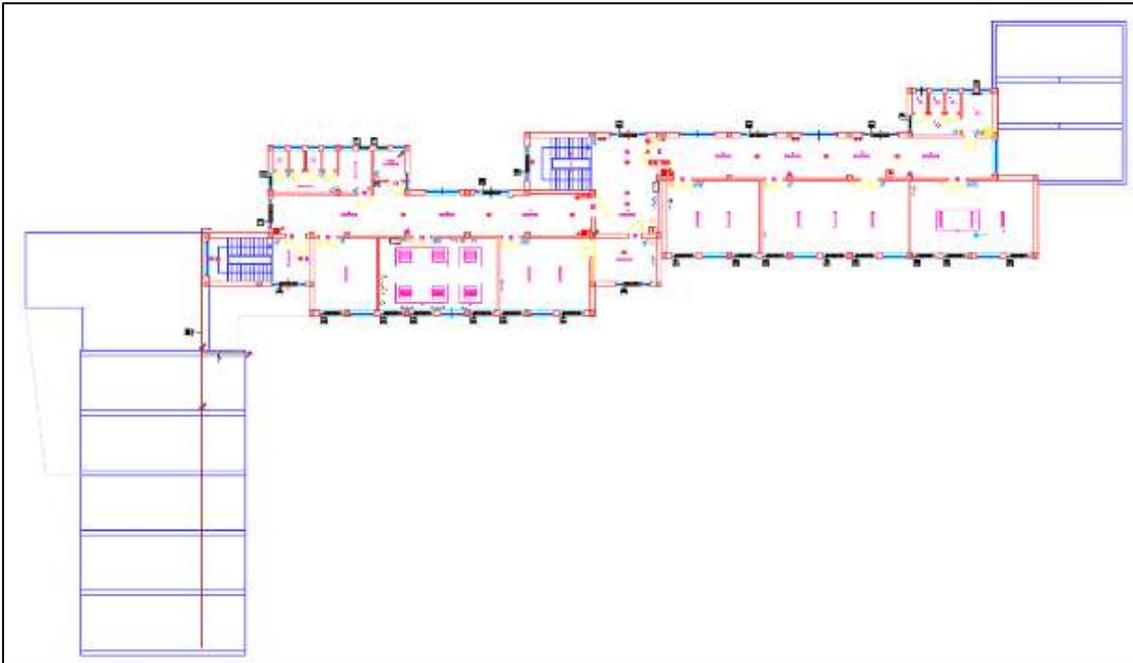
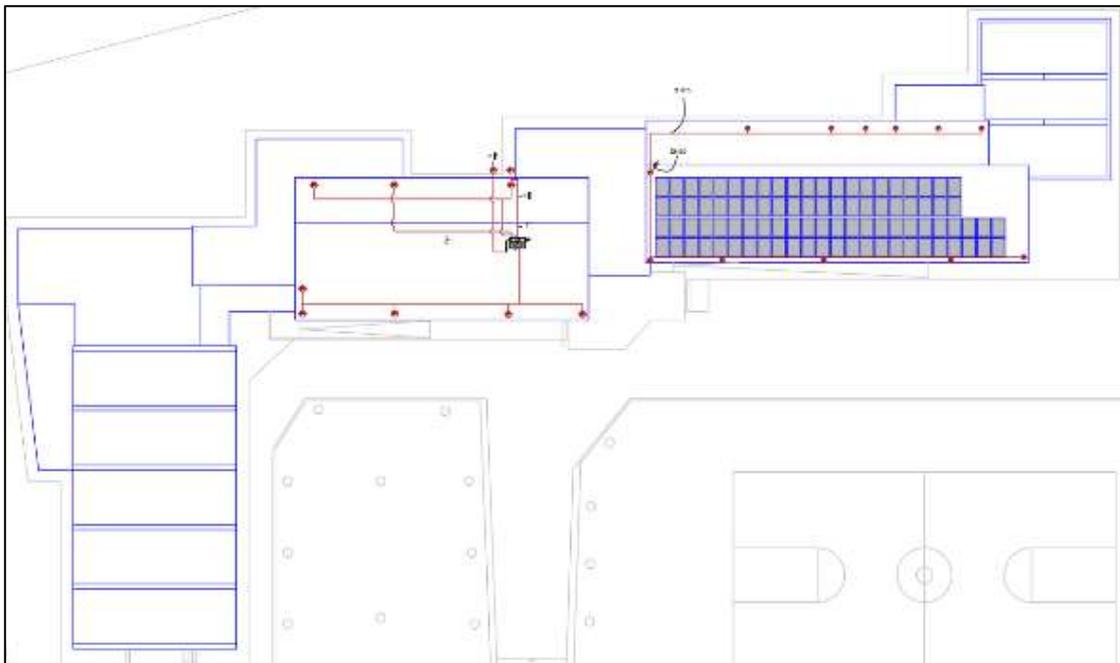


Figura 37: Sottotetto





## **4. Certificato APE**

### **Cos'è l'attestato di prestazione energetica**

L'attestato di prestazione energetica (APE) è un documento che contiene le caratteristiche energetiche di un edificio, un'abitazione o un appartamento.

Il certificato APE deve essere redatto dai proprietari di un immobile e ne definisce le prestazioni energetiche.

L'APE è stato introdotto dal Decreto-legge 63/2013 e convertito dalla Legge 90/2013 che ha introdotto novità sulle prestazioni energetiche degli edifici e sostituito il vecchio ACE (Attestato di Certificazione Energetica) con l'APE.

A seguire, il 26 giugno 2015, sono stati emanati tre decreti interministeriali riguardanti i requisiti minimi, le linee guida per la certificazione energetica degli edifici e gli schemi, e le modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica.

### **4.1 Cosa deve contenere l'APE?**

L'attestato di prestazione energetica deve contenere una serie di informazioni:

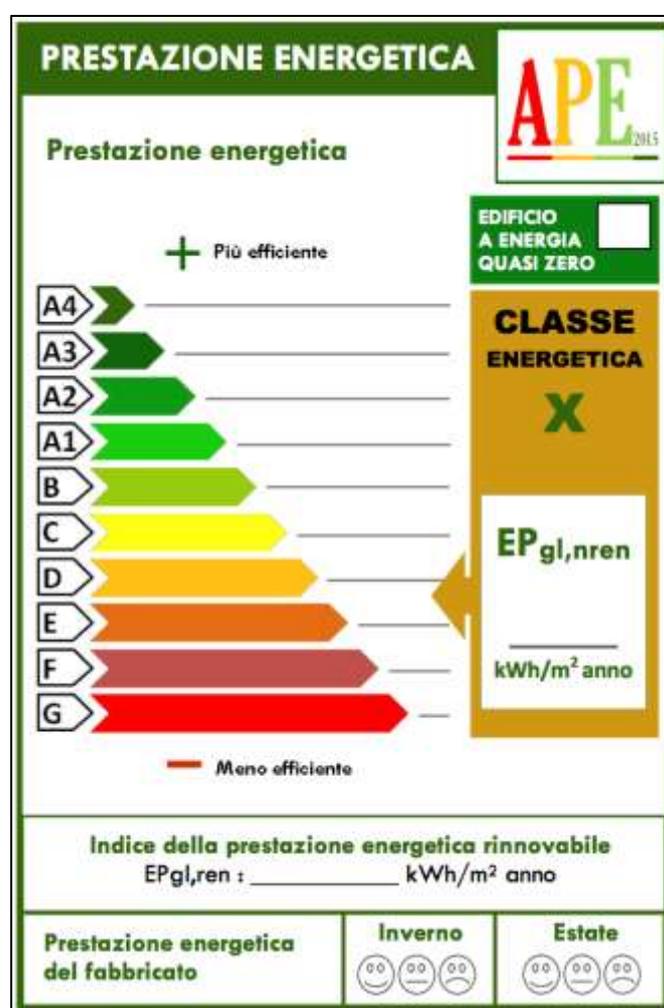
- Prestazione energetica globale, espressa in termini di energia primaria totale e primaria non rinnovabile;
- Qualità energetica del fabbricato, ossia gli indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale e l'area solare equivalente e la trasmittanza termica periodica;
- Classe energetica, determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale;
- Requisiti minimi di efficienza energetica;
- Caratteristiche termo igrometriche;
- Indici di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile ed energia elettrica esportata;
- Emissioni di anidride carbonica;
- Quantità annua di energia consumata;
- Elenco dei servizi energetici e delle relative efficienze;

- Indicazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica con proposte degli interventi significativi ed economicamente convenienti.

La classe energetica viene espressa con un valore da A4 a G ed è determinata in base all'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio.

Più la lettera è bassa, maggiore è il consumo energetico dell'immobile.

Figura 39: Etichetta classe energetica edificio



## **4.2 Come avviene la certificazione APE?**

Per redigere un attestato di prestazione energetica è necessario un sopralluogo da parte di un tecnico.

Il certificatore è chiamato a svolgere una serie di indagini volte ad accertare le caratteristiche strutturali dell'immobile in questione.

Sarà lui a prendere in considerazione tutti i parametri, dalla caldaia alla presenza di impianti in grado di produrre energia, alla qualità degli infissi.

Tramite appositi software, l'analisi energetica dell'immobile permette inoltre di valutare le caratteristiche delle murature e quelle geometriche dell'edificio, il sistema di raffreddamento e riscaldamento degli ambienti presenti, il tipo di impianto in uso e gli eventuali sistemi di produzione di energia rinnovabile.

Una volta eseguiti e completati i calcoli, il certificatore compila un documento rilasciando l'attestato di prestazione energetica e locazione in cui sono riassunte tutte le caratteristiche energetiche dell'immobile.

L'APE va conservato dal proprietario insieme al resto della documentazione relativa all'immobile, mentre una copia elettronica viene inviata dal certificatore al registro informatico regionale.

L'attestato di prestazione energetica da lui rilasciato ha una validità massima di dieci anni, per mantenerla bisogna però garantire i controlli periodici della caldaia previsti dalla legge.

Nel caso in cui, durante questo periodo, si provveda ad effettuare interventi di ristrutturazione dell'immobile volti a modificarne le prestazioni energetiche, l'APE va rinnovato.

### 4.3 Realizzazione del certificato APE

Per la realizzazione dell'attestato APE ho utilizzato il software MC4, un programma basato su AUTOCAD con approccio openBIM per la progettazione integrata termotecnica, energetica, acustica e antincendio.

Il BIM è l'acronimo di *Building Information Modeling*, cioè il sistema informativo digitale della costruzione composto dal modello digitale 3D integrato con i dati.

Nella descrizione sottostante andrò ad elencare tutti i passaggi effettuati per realizzare l'APE attraverso questo programma:

- 1- Il primo passo per l'utilizzo di questo software è inserire i dati generali e climatici riguardanti il luogo in cui è situato l'edificio:

Figura 40: Dati edificio

Dati generali edificio	
Nome	Edificio Pizzini
Indirizzo	10010
Provincia	Edificio Pizzini
Regione	Regione
Coordinate (lat)	42.81122
Coordinate (long)	13.87788
Altitudine (s.l.m.) [m]	149.0
Clima (tabella)	21002
Clima (tabella)	21002
Involucro	
Trasmissione del tetto [W/m²K]	13.8
Trasmissione termoisolante [W/m²K]	18.8
Esterno	
Temperatura all'esterno Estiva [°C]	28.8
Temperatura all'esterno Invernale [°C]	22.8
Velocità all'esterno Estiva [m/s]	16.7
Interno	
Temperatura all'interno Invernale [°C]	19.0
Temperatura all'interno Estiva [°C]	26.0
Velocità all'interno Invernale [m/s]	0.8
Velocità all'interno Estiva [m/s]	0.8
Dati climatici di legge	
Regime di clima	0 - TERA, AFRONTATI E PARI, INTERMEDIO
Stato di vento	0 - S, 1 - NE, 2 - SE, 3 - SW, 4 - N
Periodo di vento [m/s]	1.1
Temperatura del mese [m]	22.4
Stato precipitazioni	Non ventose e ventose
Classe di clima [°C]	4000
Stato climatico	Di clima abitato > 1000 o < 2000
Dati delle strutture di riferimento	
Materiali	Mixto
Trasmissione del tetto [W/m²K]	13.8
Trasmissione [W/m²K]	18.8
Altitudine (s.l.m.) [m]	149
Coordinate [m]	13.87788
Coordinate [m]	42.81122
Regime di clima	0 - TERA, AFRONTATI E PARI, INTERMEDIO
Stato di vento [m/s]	1.1

- 2- Il secondo passo è inserire i dati riguardanti le strutture, ovvero muri, solai e finestre.

Il software ci aiuta perché fornisce una libreria di materiali con cui si possono realizzare le varie superfici opache e superfici trasparenti.

Una volta realizzata la stratigrafia desiderata, il programma ci fornisce i valori di Trasmittanza Termica, Massa Superficiale e Condensa e li confronta con i valori limite di legge.

Figura 41: Stratigrafia muro

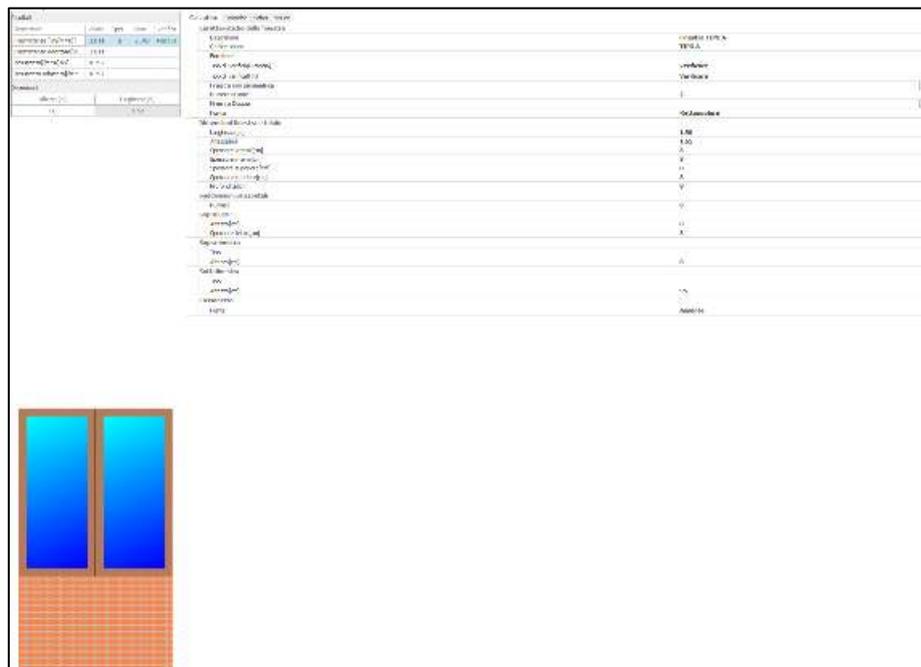


La stessa cosa deve essere fatta per le finestre, inserendo il tipo, lo spessore del telaio, il materiale, il numero di vetri ed eventuali tapparelle interne.

Una volta realizzato l'infisso, i dati che si ottengono sono: Trasmissanza e Resistenza Termica.

Questi valori sono confrontati con i valori limite di legge e il programma ci segnala se la verifica è stata Positiva o Negativa.

Figura 42: Realizzazione superfici trasparenti

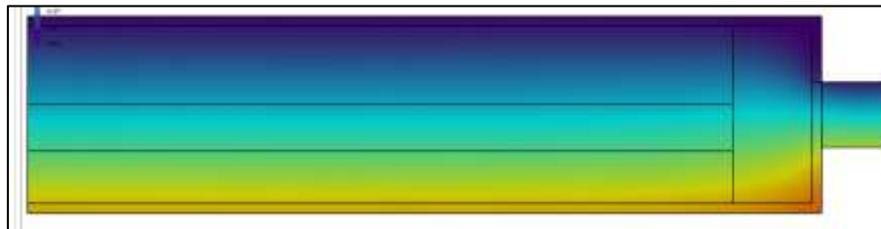


3- Il passo successivo è quello di inserire i ponti termici e le esposizioni delle superfici opache.

Il ponte termico non è altro che una zona locale dell'involucro termico in cui si manifesta una discontinuità tale che il flusso di calore tra l'interno e l'esterno sia differente, quasi sempre maggiore rispetto al resto delle strutture, causando di conseguenza dei Punti Freddi.

Le cause possono essere diverse, si va dalle discontinuità costruttive, quando si utilizzano materiali eterogenei, alla discontinuità di tipo geometrico, entrambe facilmente riscontrabili in corrispondenza degli spigoli, tra parete e solaio o tra parete ed infissi, ma non solo.

Figura 43: Grafica temperature attraverso parete



Spesso è evidente un ponte termico pilastro angolo nelle travi e molto più frequentemente in prossimità di balconi, finestre o davanzali, nota dolente è che col passare degli anni, questa anomalia, può intaccare sia le prestazioni che la durabilità dei materiali impiegati.

Il problema principale che ne deriva è naturalmente la dispersione termica dall'interno dell'abitato verso l'esterno, con conseguente formazione di muffa e condensa: l'umidità presente negli ambienti, incontrando una superficie con temperatura più bassa, cambia di stato, ovvero si trasforma in acqua, originando così la condensa.

Sulle superfici delle pareti si sviluppano non solo muffe, ma proliferano soprattutto i batteri che rappresentano non solo un danno estetico, ma sono dannosi principalmente per la salute e per l'igiene.

Il software calcola i ponti termici secondo la UNI/TS 11300-1:2014.

Figura 44: Analisi ponte termico

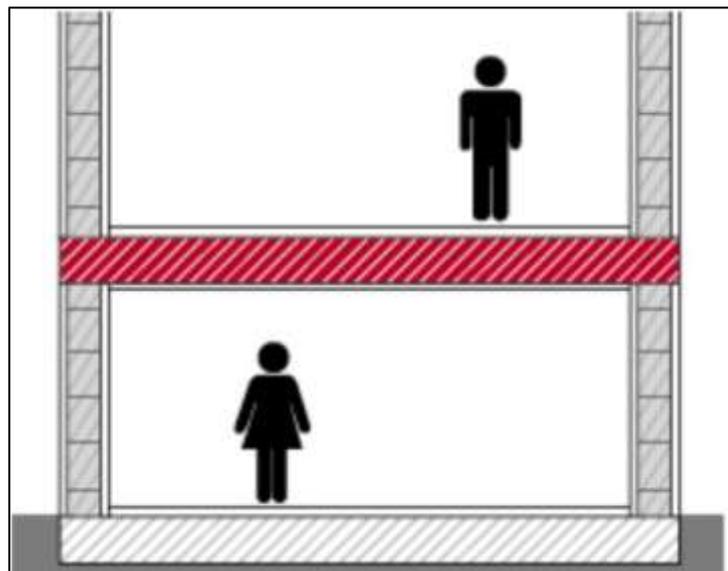
Risultati del calcolo	
Flusso [W]	24.630
L2D [W]	1.587
$\Psi$ Esterno [W/m <sup>2</sup> ]	-0.569
$\Psi$ Interno [W/m <sup>2</sup> ]	0.053
N° triangoli	724
Dati generali	
Comune	Ascoli Piceno
T esterna [°C]	4.48
T interna [°C]	20.00
$\theta_{min}$ [°C]	13.57
Verifica formazione muffe	
f <sub>max</sub>	0.646
Mese critico	Dicembre
f <sub>lim</sub>	0.586
U critica [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	2.723
f <sub>si</sub> > f <sub>si,max</sub>	 Muffa presente

Per quanto riguarda le esposizioni è importante definire se le pareti sono confinanti con un locale riscaldato/non riscaldato, sottotetto o una parete interrata ecc...

In questo modo il software è in grado di capire se le dispersioni di calore dall'interno del locale si trasmettono verso un locale riscaldato e a quel punto non c'è scambio termico.

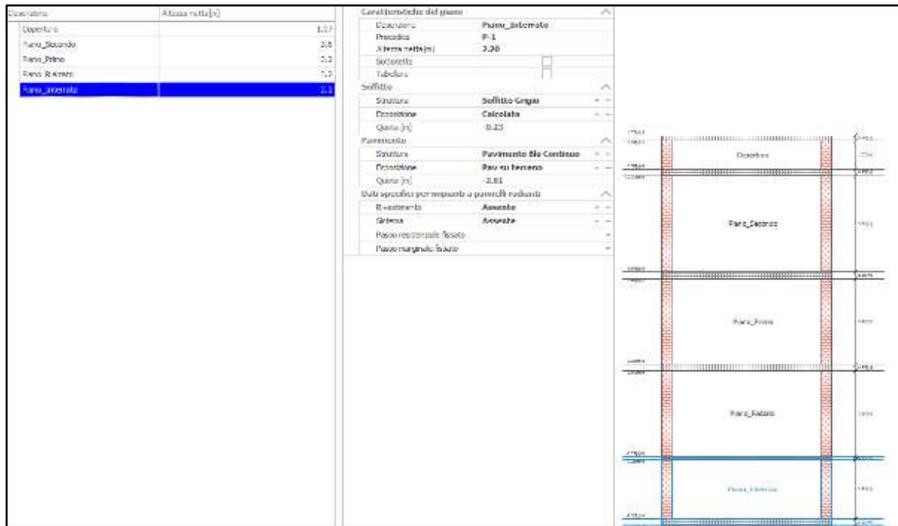
Al contrario, se il locale confinante si trova a una temperatura più bassa rispetto al locale in esame, ci sarà una dispersione di calore che dovrà essere compensata dall'impianto di riscaldamento.

Figura 45: Grafica dell'esposizione di due locali



- 4- Il quarto passo è impostare le altezze dei vari piani e associare i soffitti e i pavimenti dei vari livelli.

Figura 46: Impostazione piani



Inoltre, si devono definire i vari ambienti, ovvero impostare se essi sono riscaldati o no, definire l'affollamento delle stanze, impostare il carico termico sensibile, la potenza dell'illuminazione e ricambi d'aria.

Nel caso della scuola "Cantalamessa" ho realizzato cinque ambienti: Aule, Bagni, Palestra, Deposito e Sottotetto.

Figura 47: Definizione ambienti



5- Successivamente si importa un file cad xrif (di riferimento) che definisce la pianta dei locali da realizzare.

Si sceglie la struttura da disegnare per esempio un muro esterno e si disegna tutto il perimetro dell'edificio.

Poi si prende un muro interno e si realizzano i muri divisori delle varie aule.

Questo processo va fatto per ogni piano della struttura.

In seguito, si posizionano gli infissi sui muri perimetrali.

Figura 48: Pianta di riferimento

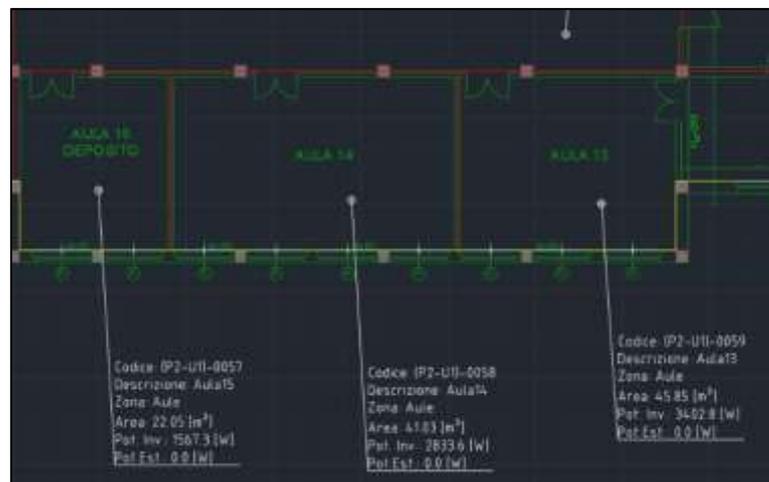


6- Realizzata l'intera scuola si devono realizzare le zone, ovvero si devono confinare le varie aule, corridoi, bagni e depositi.

Questo passo permette di definire il carico termico di ogni stanza e perciò capire quanta potenza termica necessitano i vari locali.

Questa scuola è costituita da molte tipologie di solai, perciò, mi sono ritrovato ad assegnare a notevoli zone, pavimenti e soffitti differenti.

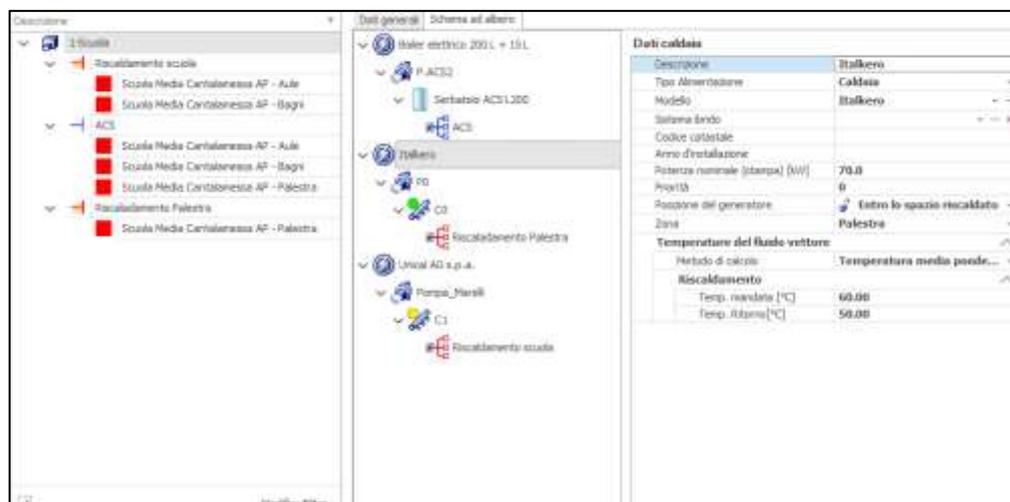
Figura 49: Assegnazione delle zone



7- Una volta realizzato l'intero edificio si passa alle centrali termiche e all'impianto di produzione ACS.

Nella scuola "Cantalamesa", come descritto in precedenza, è presente una caldaia con Potenza di 322kW che alimenta i radiatori dell'intero edificio e riscalda l'acqua del boiler di 200/ per l'acqua calda sanitaria degli spogliatoi della palestra. Si sceglie poi un secondo generatore di calore che nel nostro caso sono 2, ovvero i 2 aerotermi della palestra che provvedono a riscaldarla.

Figura 50: Inserimento impianti



Infine si sceglie il metodo di produzione di acqua calda sanitaria che è realizzato per i bagni dei vari piani da piccoli boiler da 1.5kW, mentre per i bagni della palestra il compito è affidato al boiler da 200/ elettrico e alimentato dalla caldaia. Successivamente si inserisce l'impianto fotovoltaico e si imposta il contatore elettrico.

8- Arrivati a questo punto il software calcola il carico termico dell'edificio e attraverso una tendina possiamo esportare l'analisi di prestazione energetica e visualizzare le dispersioni dell'intero edificio.

Figura 51: Analisi di Prestazione Energetica

**ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI**  
CODICE IDENTIFICATIVO      VALIDO FINO AL:

DATI GENERALI

<b>Dati identificativi</b> <input type="checkbox"/> Residenziale <input checked="" type="checkbox"/> Non residenziale Classificazione D.P.R. 412/93: E.7	<b>Oggetto dell'attestato</b> <input type="checkbox"/> Edificio <input checked="" type="checkbox"/> Unità immobiliare <input type="checkbox"/> Gruppo di unità immobiliari Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 2	<input type="checkbox"/> Nuova costruzione <input type="checkbox"/> Passaggio di proprietà <input type="checkbox"/> Locazione <input type="checkbox"/> Ristrutturazione importante <input checked="" type="checkbox"/> Riqualificazione energetica <input type="checkbox"/> Abbo
--	--	---

<b>Dati identificativi</b> <div style="border: 1px solid gray; width: 100px; height: 50px; margin-bottom: 5px;"></div> Carica immagine <a href="#">Apri browser</a>	Regione: Marche Comune: Ascoli Piceno Indirizzo: via Nazario Sauro,20 Piano: 0 Interno: Coordinate GCS 42° 51' 36.059" N    13° 34' 53.004" E	Zona climatica: D Anno di costruzione: 1962 Superficie utile riscaldata [m <sup>2</sup> ]: 1548,82 Superficie utile raffrescata [m <sup>2</sup> ]: Volume lordo riscaldato [m <sup>3</sup> ]: 6700,68 Volume lordo raffrescato [m <sup>3</sup> ]:
--	--	--

Comune catastale (Fabbricati)		Ascoli Piceno(A462)		Sezioni				Foglio				Particella				
Subaltemi	da	al	da	al	da	al	da	al	da	al	da	al	da	al	da	al
Altri subaltemi																

<b>Servizi energetici presenti</b>					
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input checked="" type="checkbox"/> Illuminazione			
<input type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/> Produzione acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporti di persone o cose			

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto dei rendimenti degli impianti presenti.

<b>Prestazione energetica del fabbricato</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 50%;">INVERNO</th> <th style="width: 50%;">ESTATE</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">   </td> <td style="text-align: center;">   </td> </tr> </table>	INVERNO	ESTATE	 	 	<b>Prestazione energetica globale</b> <div style="text-align: center;">   <p style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">CLASSE ENERGETICA</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: white; background-color: red; padding: 5px; display: inline-block;">F</p> <p style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">EP<sub>gl,nren</sub></p> <p style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">183,10 kWh/m<sup>2</sup>anno</p> </div>	<b>Il fabbricato</b> Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione: Se nuovi: Se esistenti:
INVERNO	ESTATE					

53

L'indice di prestazione energetica (EPgl, IPE, EPgl,nren), detto anche Indice di Consumo, è un parametro architettonico che esprime il consumo totale di energia primaria per la climatizzazione (in regime continuo degli impianti, 24h) riferito all'unità di superficie utile (espresso in kWh/m<sup>2</sup>anno).

In particolare, esso indica quanta energia viene consumata affinché raggiunga le condizioni di comfort e tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva (EPH,nren ed EPC,nren), per la produzione di acqua calda sanitaria (EPW,nren), per la ventilazione (EPV,nren) e, nel caso del settore non residenziale, per l'illuminazione artificiale (EPL,nren) e il trasporto di persone o cose (EPT,nren).

Il nuovo APE, come definito nel DM 26/06/2015, con entrata in vigore dal 1° Ottobre 2015, dovrà esprimere la prestazione energetica globale in termini di energia primaria non rinnovabile.

La classe energetica dovrà essere determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile (somma di tutti gli indici) (EPgl,nren):

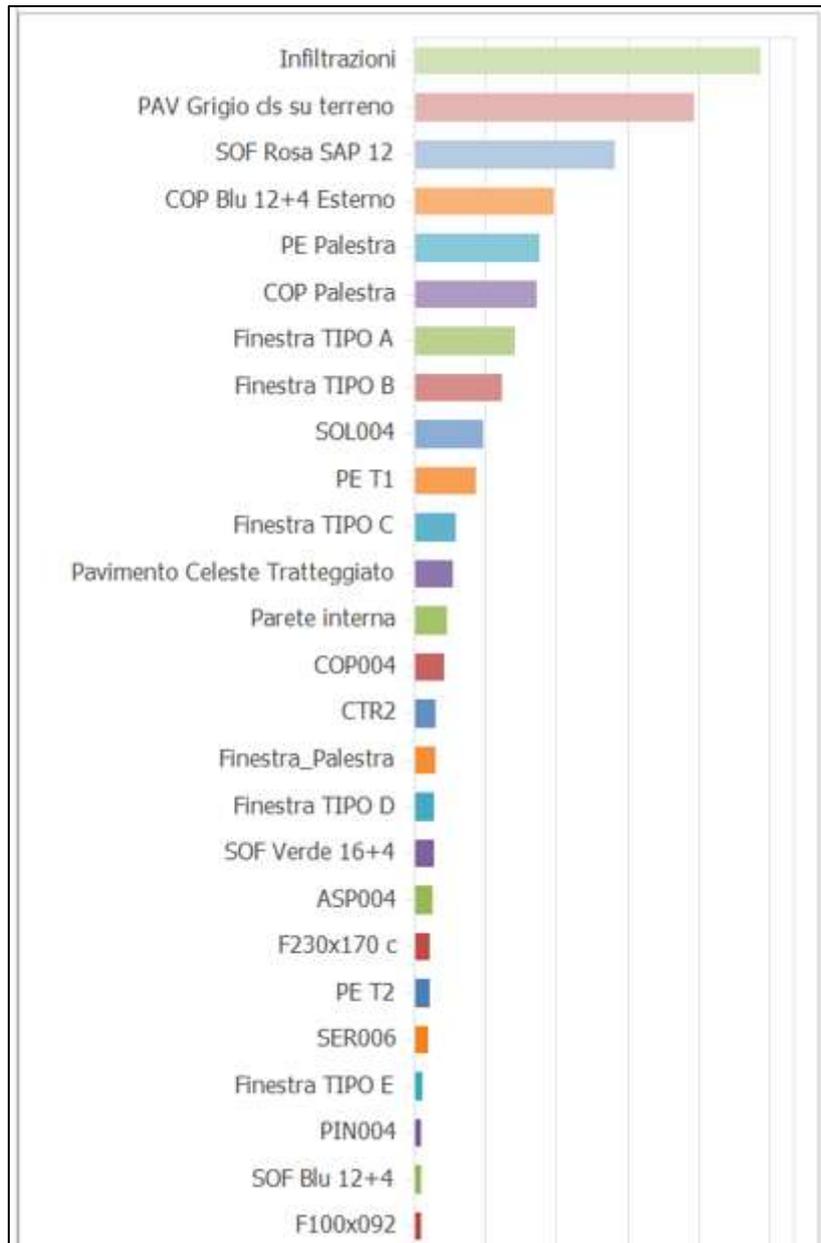
**EPgl,nren:** indice di prestazione energetica globale non rinnovabile.

**EPgl,nren** = EPH,nren + EPC,nren + EPW,nren + EPV,nren + EPL,nren + EPT,nren.

Esso si determina come somma dei singoli servizi energetici forniti nell'edificio in esame ed è espresso in kWh/m<sup>2</sup>anno in relazione alla superficie utile di riferimento.

Ad un Indice di Prestazione Energetica basso corrisponde un basso consumo di energia e dunque una migliore prestazione energetica.

Figura 52: Dispersioni energetiche



Come si deduce dal grafico delle dispersioni energetiche dell'intero edificio, la maggior parte dei consumi è dovuta alle infiltrazioni, intese come ricambi d'aria naturale.

Siccome si sta analizzando un luogo chiuso, i ricambi d'aria sono necessari per poter garantire la presenza d'aria fresca e specialmente per evitare di avere tassi d'umidità relativa dell'aria elevati (condensa sui vetri, muffa nei punti termicamente deboli) in genere l'utente deve svolgere un arieggiamento dei locali.

Il ricambio, breve ma completo, permette di evacuare l'aria viziata (ricca di vapore e di biossido di carbonio) senza disperdere, nello stesso tempo, quantitativi notevoli di calore.

I volumi di ricambio d'aria sono descritti nella norma UNI 10339:1995 la quale regola le portate di aria di rinnovo in base alla destinazione d'uso dei locali.

Figura 53: UNI 10339

<b>Edifici adibiti ad attività scolastiche e assimilabili</b>		
	Portata di aria immessa per persona - L/s (m <sup>3</sup> /h)	Portata estratta
Asili nido e scuole materne	4 (14,4)	-
Aule scuole elementari	5 (18)	-
Aule scuole medie inferiori	6 (21,6)	-
Aule scuole medie superiori	7 (25,2)	-
Aule universitarie	7 (25,2)	-
Transiti, corridoi	-	-
servizi		8 vol/h
Biblioteche, sale lettura	6 (21,6)	-
Aule musica e lingue	7 (25,2)	-
laboratori	7 (25,2)	-
Sale insegnanti	6 (21,6)	-

La seconda causa di elevate dispersioni energetiche è quella associata al pavimento in calcestruzzo dell'edificio scolastico, perché, essendo stata costruita nel 1962, i materiali e le normative vigenti non erano così all'avanguardia.

In questo intervento ristrutturale non si andrà a rifare il pavimento perché sarebbe un lavoro molto impegnativo e costoso, ma si andrà a risolvere la terza e la quarta causa di maggiori dispersioni ovvero il pavimento del sottotetto e la copertura del tetto.

## 5. Legge 10

La relazione energetica è un documento previsto dal D.Lgs 192/2005 e s.m.i., ed è comunemente conosciuta con il nome di “ex Legge 10”, in quanto già la Legge 10/91 la prevedeva.

Al suo interno vi sono definiti i fattori tipologici e i dati tecnici e costruttivi dell’edificio, delle strutture e degli impianti e le prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico da rispettare in fase di costruzione (isolamenti, ponti termici, rendimenti impianti, ecc.).

Il documento fornisce quindi informazioni relative alle prestazioni ed al rendimento energetico del sistema edificio–impianti, considerando anche eventuali contributi provenienti da fonti rinnovabili.

La relazione energetica non è sempre uguale ma prevede contenuti differenti a seconda del tipo di intervento cui è oggetto l’edificio in esame.

In particolare, la relazione tecnica è obbligatoria per tutti i lavori che prevedono nuova costruzione (intesa anche come demolizione e ricostruzione di edifici esistenti), o ristrutturazioni importanti di primo livello.

In questi casi le verifiche interessano tutti i componenti dell’involucro edilizio e degli impianti in esso contenuti e il progettista è tenuto a verificare che vengano rispettati tutti i “requisiti minimi” previsti dal D.M 26.06.2015.

Anche nel caso di interventi parziali sull’edificio è necessario redigere una relazione tecnica “ex legge 10”, che però in questi casi andrà ad interessare solo le porzioni del fabbricato oggetto dell’intervento.

Stiamo trattando interventi su porzioni di involucro (ristrutturazioni importanti di secondo livello) o su singoli elementi dell’edificio (interventi di riqualificazione energetica) che possono interessare l’involucro opaco o l’impianto termico.

Il Decreto Requisiti Minimi prevede che non sia necessario redigere questo documento nel caso di interventi ritenuti di bassa rilevanza dal punto di vista energetico.

Vediamo nel dettaglio i casi esclusi dall'obbligo:

1. a) interventi di ripristino dell'involucro edilizio che coinvolgono unicamente strati di finitura, interni o esterni, ininfluenti dal punto di vista termico, o rifacimento di porzioni di intonaco che interessino una superficie inferiore al 10 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio;
2. b) gli interventi di manutenzione ordinaria sugli impianti termici esistenti;
3. c) nel caso di sostituzione dei generatori di calore, di potenza nominale del focolare inferiore a 50 KW, gli obblighi di redigere la legge 10 sussistono solo nel caso di un eventuale cambio di combustibile o tipologia di generatore (diverso vettore energetico o tecnologia di combustione).
4. d) Nel caso di pompa di calore (climatizzatore o condizionatore) la relazione deve essere redatta in caso di potenza (o somme di potenza) superiore a 15Kw.

In questo caso la legge 10 dovrà essere compilata perché verranno effettuati importanti lavorazioni dal punto di vista energetico e strutturale.

## 5.1 Verifiche tramite legge 10

### 5.1.1 Verifica muro esterno piano primo

Verifica della condensa secondo UNI EN ISO 13788
<b>Muro esterno piano primo e secondo</b>

#### Condizioni al contorno

Temperature esterne	<b>Medie mensili</b>	[°C]
Umidità relativa esterna	<b>Medie mensili</b>	[%]
Temperatura interna invernale	<b>20</b>	[°C]
Umidità relativa interna	<b>54</b>	[%]
Tipo di edificio (Prospetto A.1 UNI EN ISO 13788)	<b>Alloggi senza ventilazione meccanica controllata</b>	
Classe di umidità interna	<b>0.006</b>	[kg/m³]

#### Verifica della condensa superficiale

SIMBOLO	DESCRIZIONE	U.M.	STRUTTURA	VALORE LIMITE	VERIFICA
		MESE CRITICO:	<b>DICEMBRE</b>		
<b>fRsi</b>	Fattore di temperatura	[-]	<b>0.9612</b>	≥	<b>0.6463</b> <b>Positiva</b>

#### Verifica della condensa interstiziale

SIMBOLO	DESCRIZIONE	U.M.	STRUTTURA	VALORE LIMITE	VERIFICA
		MESE CRITICO:	<b>DICEMBRE</b>		
<b>Ma</b>	Quantità di condensa	[g/m²]	<b>337.9</b>	≤	<b>500.0</b> <b>Positiva</b>

## Fattore di temperatura fRsi

In inverno, la temperatura media interna viene garantita dall'involucro termico e dall'impianto di riscaldamento; lo stesso accade in estate, se l'edificio è dotato di un impianto di raffrescamento.

Questo però non significa che la temperatura interna risulti omogenea in ogni punto delle superfici interne.

Proprio a causa delle discontinuità (ponti termici) presenti nell'involucro, la temperatura superficiale in alcuni punti risulta più bassa della media.

Alzare la temperatura media dell'edificio di qualche grado non risolve il problema, perché la temperatura nel punto debole rimane più bassa: questo fenomeno è causato dal fattore di temperatura **fRsi** del ponte termico.

Il fattore fRsi è dato dal rapporto tra la differenza di temperatura tra interno ed esterno nel punto “debole” e la differenza di temperatura “media” tra ambiente interno ed esterno:

$$fRsi = \frac{T_{min} - T_{ext}}{T_{int} - T_{ext}}$$

Tmin: temperatura superficiale nel ponte termico;

Tint: temperatura interna;

Text: temperatura esterna

La differenza tra temperatura media ed ambiente esterno è un dato relativamente semplice: la temperatura interna di progetto (Ti) è 20°C, mentre la temperatura esterna (Te) dipende dal clima locale nel quale si sta progettando.

La temperatura superficiale minima (Tmin) in corrispondenza del ponte termico, invece, richiede un calcolo agli elementi finiti secondo norma EN 13788, sulla base della geometria del nodo costruttivo e delle caratteristiche fisiche dei materiali utilizzati.

Il valore di fRsi è un numero puro, che va da 1 a 0:

$f_{Rsi} = 1$ : la temperatura superficiale nel ponte termico è identica a quella del resto dell'edificio, ed è il risultato migliore che si possa ottenere (ed è fisicamente impossibile da ottenere).

$f_{Rsi} = 0$ : la temperatura in corrispondenza del ponte termico è identica a quella esterna e il risultato in termini di comfort è disastroso (altrettanto impossibile da ottenere).

Se è fisicamente impossibile avere un valore  $f_{Rsi} = 1$  in un ponte termico, a causa della discontinuità data dal ponte stesso, è sempre meglio cercare di ottenere un valore il più alto possibile.

### 5.1.2 Verifica serramento

DESCRIZIONE	SIMBOLO	VALORE	U.M.
Trasmittanza termica totale	U <sub>w</sub>	2.864	[W/m <sup>2</sup> K]
Trasmittanza termica vetro	U <sub>g</sub>	3.300	[W/m <sup>2</sup> K]
Emissività	ε	0.890	[-]

Verifiche della struttura vetrata						
SIMBOLO	DESCRIZIONE	U.M.	STRUTTURA		VALORE LIMITE	VERIFICA
U	Trasmittanza	[W/m <sup>2</sup> K]	<b>2.864</b>	≤	<b>1.800</b>	<b>Negativa</b>
ggl+sh	Fattore di trasmissione solare totale	[-]	<b>0.18</b>	≤	<b>0.35</b>	<b>Positiva</b>

#### Trasmittanza U

La trasmittanza U misura la quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa un elemento della superficie di 1 m<sup>2</sup> in presenza di una differenza di temperatura di 1 K tra l'interno e l'esterno.

Il coefficiente U per una superficie vetrata si può calcolare con la seguente formula:

$$U = \frac{U_g * A_g + U_f * A_f + \psi_g * L_g}{A_g + A_f} \quad \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

- U<sub>g</sub> = Trasmittanza termica dell'elemento vetrato  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
- U<sub>f</sub> = Trasmittanza termica del telaio  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
- ψ<sub>g</sub> = Trasmittanza termica lineare dovuta alla presenza di un eventuale distanziatore posto tra 2 vetri  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$
- L<sub>g</sub> = Lunghezza perimetrale della superficie vetrata [m]

## **Fattore di trasmissione solare g**

Il fattore solare g di una superficie vetrata indica la percentuale di energia termica  $q_e$  che la attraversa, rispetto al totale dell'energia incidente sulla superficie stessa.

Il fattore solare è un parametro determinante nella progettazione di un edificio, soprattutto quando gli ambienti presentano ampie superfici trasparenti, poiché è in grado di quantificare il calore che entra negli ambienti interni, ricoprendo un'importanza assai rilevante nella determinazione del bilancio energetico complessivo dell'edificio.

Nei mesi invernali, infatti, gli apporti solari gratuiti contribuiscono a ridurre il fabbisogno energetico per il riscaldamento, ma, comportando un aumento della temperatura interna, possono essere problematici nella stagione estiva se non correttamente considerati durante la fase progettuale o durante la scelta del prodotto vetrario, in modo particolare per i paesi mediterranei.

La crescente attenzione all'isolamento dell'edificio, non solo riguardo al riscaldamento durante la stagione invernale, ma anche alla climatizzazione nei mesi estivi, ha portato più recentemente la normazione italiana ed europea a richiedere maggiori contributi a tutti i componenti della facciata, anche per le esigenze di raffrescamento estivo o, quantomeno, di contenimento della temperatura interna degli ambienti.

Già il D.P.R. 2 aprile 2009, n.59 imponeva limiti prestazionali al fattore solare g del vetro, prescrivendo l'utilizzo di vetrate con  $g \leq 50 \%$ , qualora fosse dimostrata la non convenienza tecnica e/o economica di sistemi schermanti esterni.

Tale dettame, mirato al miglioramento del comfort interno e alla riduzione del fabbisogno energetico estivo, ha rappresentato un pratico riferimento, perché il parametro g riguardava le sole superfici vetrate e perché largamente utilizzato in tutte le norme armonizzate dei prodotti vetrari, permettendo così un immediato riscontro.

Più recentemente il Decreto "Requisiti Minimi" del 2015 ha introdotto il fattore di trasmissione globale di energia solare  $g_{gl+sh}$ , in cui g è il fattore solare ed i pedici gl e sh indicano rispettivamente i contributi forniti dal vetro e quelli dalle schermature.

$g_{gl+sh}$  tiene conto quindi non solo del ruolo del vetro (glass), ma anche di eventuali schermature mobili (shading), purché, come precisato dalla specifica tecnica UNI/TS

11300-1 al Par. 14.3.3, siano applicate in modo solidale con l'involucro edilizio e non liberamente montabili e smontabili dall'utente.

Esso interessa, più in particolare, le sole chiusure trasparenti delimitanti un ambiente climatizzato verso l'esterno con orientamento da Est a Ovest, passando per Sud, e va determinato considerando il soleggiamento del mese di luglio e con l'utilizzo di eventuali schermature solari mobili.

Come scritto in precedenza riguardo la notevole età dell'edificio, la verifica tramite la legge 10 conferma l'elevata dispersione energetica del soffitto dell'ultimo piano, ovvero quello a contatto con il sottotetto.

Negli anni i valori limite di trasmittanza sono stati abbassati per evitare elevate dispersioni da parte degli edifici a favore di un risparmio energetico ed economico.

Nel caso della scuola in esame si è dimostrato che la terza causa di dispersione energetica era il soffitto dell'ultimo piano, ovvero il pavimento del sottotetto e come si vede dalla tabella 5.1.3 il valore limite di trasmittanza termica è stato notevolmente superato e perciò sarà oggetto di intervento.

### 5.1.3 Verifica solaio

Verifiche del solaio						
SIMBOLO	DESCRIZIONE	U.M.	STRUTTURA		VALORE LIMITE	VERIFICA
U	Trasmittanza termica	[W/m <sup>2</sup> K]	<b>1.460</b>	≤	<b>0.800</b>	<b>Negativa</b>

Anche dalla tabella 5.1.4 si nota come la copertura del tetto sia abbondantemente al di sopra del valore di trasmittanza limite, anche in questo caso esso sarà coibentato come si vedrà nel capitolo successivo.

### 5.1.4 Verifica copertura sottotetto

Verifica copertura sottotetto						
SIMBOLO	DESCRIZIONE	U.M.	STRUTTURA		VALORE LIMITE	VERIFICA
U	Trasmittanza termica	[W/m <sup>2</sup> K]	<b>1.796</b>	≤	<b>0.800</b>	<b>Negativa</b>

## **6. Interventi migliorativi**

In questo capitolo andrò a definire gli interventi che si andranno a realizzare nell'edificio scolastico per diminuire i consumi energetici e i costi di elettricità e di gas metano.

L'intervento di maggior rilevanza è quello del cambio della caldaia tradizionale con una di pari potenza ma a condensazione di nuova generazione, la scelta è stata fatta perché quella attuale risulta obsoleta avendo più di 30 anni.

Oltre alla caldaia si è optato per la sostituzione dei due aerotermi situati nella palestra, i quali essendo alimentati a gas metano non garantivano più le norme di sicurezza e in più essendo datati, il rendimento energetico risulta essere non elevato.

I due aerotermi saranno sostituiti da riscaldatori della stessa tipologia, solamente alimentati da una diversa tecnologia, ovvero idronici e alimentati da una pompa di calore.

La scelta degli interventi di coibentazione delle strutture opache è stata fatta in base al grafico delle dispersioni energetiche dell'edificio, come visto in precedenza le strutture maggiormente disperdenti sono risultate il pavimento del sottotetto e la copertura del tetto.

Infine per quanto riguarda tutti i radiatori dell'edificio, saranno equipaggiati da valvole termostatiche che permettono di scegliere la temperatura adeguata a ogni terminale di ogni aula.

## **6.1 Caldaia a condensazione**

Nel primo intervento si andrà a sostituire l'attuale caldaia a basamento a servizio della scuola con una nuova a condensazione di pari potenza.

In una caldaia a condensazione a camera stagna l'acqua viene scaldata tramite il calore della combustione come nelle caldaie tradizionali.

Ma esiste una netta differenza tra una caldaia a condensazione e una caldaia tradizionale: una caldaia tradizionale disperde gran parte dell'energia termica prodotta attraverso i gas combusti evacuati dalla canna fumaria.

La caldaia a condensazione si basa su una tecnologia che non consente dispersione di calore e sfrutta anche l'energia dei gas combusti che vengono convogliati all'interno dello scambiatore primario.

Il calore dei gas viene ceduto allo scambiatore primario, i gas si trasformano in condensa dopo essersi raffreddati e vengono evacuati.

Il calore recuperato lavora all'interno dello scambiatore primario, scaldando prima l'acqua e riducendo i costi del comfort.

I vantaggi di una caldaia a condensazione sono:

- Fino al 98% di efficienza energetica;
- Basse emissioni di sostanze inquinanti grazie alla tecnologia a condensazione;
- I consumi di gas scendono di circa il 30% rispetto ad una caldaia tradizionale.

## 6.2 Sostituzione aerotermi

Il secondo intervento riguarda la sostituzione degli attuali aerotermi a gas a servizio del locale palestra con nuovi terminali, sempre di tipo aerotermo, ma idronici ed alimentati da una nuova pompa di calore aria-acqua.

L'impianto idronico è una tipologia di impianto di climatizzazione caldo e freddo che utilizza l'acqua come fluido termoconvettore.

L'impianto di condizionamento idronico utilizza un generatore di calore unico, in grado di occuparsi quindi sia di riscaldamento che di raffreddamento, il quale distribuisce acqua calda o fredda in apposite tubazioni e che poi viene utilizzata da terminali aerotermi per riscaldare o rinfrescare l'ambiente.

Il generatore di calore per eccellenza di un impianto idronico è la pompa di calore, la quale ottiene ottimi rendimenti energetici a basse temperature, quella designata sarà da 70kW, ovvero l'equivalente della potenza dei due aerotermi attuali.

Una pompa di calore sfrutta il ciclo frigorifero invertito: estrae il calore da una fonte naturale (aria, acqua o terra) e lo trasporta dentro l'edificio alla temperatura idonea, in funzione del tipo di impianto di riscaldamento.

Nel ciclo frigorifero di una pompa di calore, un gas (spesso denominato "freon") ha la capacità di assorbire calore dalla fonte naturale poi, a seguito di una compressione che ne innalza la temperatura, di cederlo all'impianto di riscaldamento.

L'energia resa all'impianto è da 3 a 6 volte maggiore di quella spesa dal compressore.

Utilizzando l'energia gratuita, ecologica e rinnovabile di suolo, acqua e aria, le pompe di calore costituiscono la soluzione ideale per ridurre i consumi di energia e le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Il COP (*Coefficient of Performance*) indica il rapporto tra la potenza termica resa all'impianto e la potenza elettrica spesa dalla pompa di calore, ad esempio, se la pompa di calore sta fornendo 4 kW all'impianto di riscaldamento, a fronte di un assorbimento elettrico di 1 kW, il COP risulta essere pari a 4.

Il COP è un valore dichiarato dal costruttore in riferimento a precise condizioni di lavoro e temperature e serve per confrontare varie pompe di calore in termini di efficienza.

### 6.3 Isolamento pavimento sottotetto

Il terzo intervento migliorativo è quello di isolare il soffitto del secondo piano perché dai calcoli realizzati in precedenza risulta essere la struttura maggior disperdente dell'intero edificio, dato che essendo a contatto con il sottotetto, il quale è un locale non riscaldato, la maggior parte del calore fluisce verso di esso generando una dispersione termica notevole.

La coibentazione sarà realizzata isolando il pavimento dei locali del sottotetto con uno strato di polistirene estruso di spessore 9cm, in questo modo il freddo del locale sottotetto farà più difficoltà a penetrare nei locali dell'ultimo piano, mantenendo una temperatura più elevata all'interno delle aule.

Figura 54: Pavimento dopo intervento

Dati della sostituzione: Coibentazione pavimento sottotetto				
<i>Intervento di riqualificazione energetica: intervento complessivo</i>				
Struttura originaria		Struttura sostitutiva		Superficie
Descrizione	U [W/(m²K)]	Descrizione	U [W/(m²K)]	[m²]
SOF Rosa SAP 12	1,81	Soffitto Rosa - New	0,30	395,33

Stratigrafia									
Descrizione materiale	D	s	l	m	h <sub>m</sub>	r	CT	CTS	
Strato liminare interno						0,100			
Intonaco esterno	1800	1	0,9	0	0,9	0,011	1	17,30	
Soletta in laterizio (Densità 1100)	1100	12	0,36	0	0,36	0,333	0,84	101,10	
Calcestruzzo ordinario	2200	1	1,28	0	1,28	0,008	0,88	17,63	
Polistirene estruso	35	9	0,033	0	0,033	2,727	1,25	1,99	
Strato liminare esterno						0,100			
<b>TOTALI:</b>			<b>23,00</b>			<b>3,28</b>		<b>138,02</b>	

Il diagramma illustra la stratigrafia del pavimento. È composto da due strati principali: uno superiore, indicato con 'E', che rappresenta lo strato di polistirene estruso, e uno inferiore, indicato con 'I', che rappresenta l'intonaco. Tra i due strati è visibile un'interfaccia di contatto, probabilmente un strato liminare. L'immagine mostra una sezione trasversale con texture a griglia per i due materiali.

Come si evince dalla figura 54, la trasmittanza del pavimento attuale è di 1,81 W/m²K, mentre quella post operam sarà di 0,30 W/m²K, una notevole riduzione comporterà un aumento della resistenza al passaggio del freddo.

## 6.4 Isolamento tetto

Il quarto intervento di riqualificazione energetica consiste nell'inserimento di uno strato isolante in pannelli di schiuma polyiso sulle porzioni della copertura piana oggetto di intervento.

Come visto dal grafico delle dispersioni energetiche (Figura 52), la copertura del tetto è la quarta maggiore causa di consumo di energia, perciò l'inserimento di uno strato isolante comporterà un aumento della resistenza al passaggio del calore attraverso il tetto.

Come si vede dalla stratigrafia rappresentata nella Figura 55, all'interno della copertura del tetto sarà inserito uno strato di stiferite bh dello spessore di 12cm, ovvero un pannello costituito da un componente isolante in schiuma polyiso espansa che permette un notevole aumento della resistenza termica.

Figura 55: Coibentazione tetto

Dati della sostituzione: Coibentazione copertura piana				
<i>Intervento di riqualificazione energetica: intervento complessivo</i>				
Struttura originaria		Struttura sostitutiva		Superficie
Descrizione	U [W/(m²K)]	Descrizione	U [W/(m²K)]	[m²]
COP Blu 12+4 Esterno	2,06	COP nuova su <u>log</u> riscaldato	0,24	236,35

Stratigrafia								
Descrizione materiale	D	s	l	m	λ	r	CT	CTS
Strato liminare interno						0,100		
intonaco esterno	1800	1	0,9	0	0,9	0,011	1	17,46
Calcestruzzo armato	2400	20	1,91	0	1,91	0,105	1	459,81
STIFERITE BH 30-70	52	6	0,031	0	0,031	1,948	1,48	3,39
STIFERITE BH 30-70	52	6	0,031	0	0,031	1,948	1,48	2,36
Membrana impermeabilizzante bituminosa	1200	0,4	0,17	0	0,17	0,024	1	2,44
Membrana impermeabilizzante bituminosa	1200	0,4	0,17	0	0,17	0,024	1	2,42
Strato liminare esterno						0,040		
<b>TOTALE</b>		<b>33,80</b>				<b>4,20</b>		<b>487,87</b>

Il risultato di questo intervento è la riduzione della trasmittanza di questa struttura che come si vede passa dall'attuale 2,06 W/m<sup>2</sup>K a 0,24 W/m<sup>2</sup>K.

## **6.5 Sostituzione valvole termostatiche**

Il quarto intervento di riqualificazione energetica è l'installazione di valvole termostatiche su ogni radiatore posto all'interno dell'intero edificio scolastico.

La valvola termostatica è un regolatore di temperatura del corpo scaldante che agisce sulla portata d'acqua che lo attraversa.

L'otturatore della valvola è comandato dalla dilatazione del liquido contenuto nella testina/sensore.

L'aumento di temperatura ambiente provoca quindi l'avanzamento dell'otturatore finché questo non andrà in battuta e chiuderà completamente la valvola in corrispondenza alla temperatura impostata sulla ghiera di regolazione.

In questo modo, il corpo scaldante non verrà più alimentato e quando la temperatura ambiente corrisponderà a quella impostata si raffredderà completamente.

Quando la temperatura del locale scenderà nuovamente al di sotto di quella impostata, la valvola inizierà ad aprirsi e circolerà nuovamente acqua calda nel corpo scaldante, immettendo calore nel locale per contrastarne la diminuzione di temperatura.

Si può considerare che la valvola termostatica sia un regolatore di tipo P, cioè proporzionale.

Ciò significa che la potenza erogata dal corpo scaldante sarà all'incirca proporzionale alla differenza di temperatura fra il valore desiderato, impostato sulla manopola, ed il valore reale sentito dalla testina.

La valvola termostatica consente di:

- Controllare l'emanazione di calore dell'impianto per ogni singolo locale;
- Bilanciare automaticamente l'impianto;
- Valorizzare gli interventi di coibentazione termica dell'impianto;
- Controllare in maniera indiretta, la temperatura di ritorno di un impianto a radiatori;

- Non preoccuparsi dell'eventuale sovradimensionamento dei corpi scaldanti, anzi trasformarlo in un vantaggio automatico.

Figura 56: Valvola termostatica



## 6.6 Consumi post operam

In questa sezione metto in mostra i consumi energetici calcolati dal software MC4 dopo aver inserito gli interventi migliorativi.

Fabbisogno di energia in ingresso ai generatori [kWh]				
VETTORE ENERGETICO	H	W	L	GLOBALE
Gas Naturale (Metano)	74108,60	7398,29	-	81506,90
Energia elettrica	18949,80	576,58	11537,60	31064,00

La tabella sovrastante evidenzia il gas metano e l'energia elettrica richiesta dai generatori per H = Heating, W = Water heating, L = lighting.

Si ottiene una richiesta totale di 81506 kWh di gas metano e una richiesta totale di 31064 kWh di corrente elettrica.

La tabella sottostante definisce quanta energia impiegata sarà prodotta da fonti non rinnovabili.

Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile [kWh]				
VETTORE ENERGETICO	H	W	L	GLOBALE
Gas Naturale (Metano)	77814,00	7768,21	-	85582,20
Energia elettrica	36952,00	1124,33	22498,40	60574,80
<b>TOTALE</b>	<b>114766,00</b>	<b>8892,54</b>	<b>22498,40</b>	<b>146157,00</b>

La tabella sottostante definisce quanta energia elettrica è prodotta da fonti rinnovabili:

<b>Fabbisogno di energia primaria rinnovabile [kWh]</b>				
<b>VETTORE ENERGETICO</b>	<b>H</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>GLOBALE</b>
<b>Energia elettrica</b>	8906,39	270,99	5422,69	14600,10
<b>Energia elettrica da fonte rinnovabile in-situ</b>	2234,97	296,78	11141,90	13673,70
<b>Energia esportata prodotta in-situ</b>	-	-293,27	-260,19	-553,46
<b>TOTALE</b>	<b>11141,36</b>	<b>274,50</b>	<b>16304,41</b>	<b>27720,34</b>

La tabella posta sotto evidenzia l'energia totale necessaria per l'intero edificio scolastico:

<b>Fabbisogno di energia primaria globale [kWh]</b>				
<b>VETTORE ENERGETICO</b>	<b>H</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>GLOBALE</b>
<b>Gas Naturale (Metano)</b>	77814,00	7768,21	-	85582,20
<b>Energia elettrica</b>	45858,40	1395,32	27921,10	75174,80
<b>Energia elettrica da fonte rinnovabile in-situ</b>	2234,97	296,78	11141,90	13673,70
<b>Energia esportata prodotta in-situ</b>	-	-293,27	-260,19	-553,46
<b>TOTALE</b>	<b>125907,37</b>	<b>9167,04</b>	<b>38802,82</b>	<b>173877,24</b>

Si evince una richiesta totale di 85582,20 kWh di Metano e di 75174 kWh di energia elettrica.

## 6.7 Confronto consumi e costi

Nelle tabelle sottostanti ho confrontato i consumi prima e dopo gli interventi così da evidenziare il risparmio energetico che andrà a ricevere la scuola media in esame.

Vettore energetico: Gas Naturale (Metano)				
SERVIZI	U.M.	STATO DI FATTO	INTERVENTO	RISPARMIO
		Ca	Ca	[%]
<b>Riscaldamento</b>	Sm <sup>3</sup>	28501,60	7842,18	72,49
<b>Acqua calda sanitaria</b>	Sm <sup>3</sup>	1397,03	782,89	43,96
<b>GLOBALE</b>	<b>Sm<sup>3</sup></b>	<b>29898,60</b>	<b>8625,07</b>	<b>71,15</b>

Come si vede dai dati, il consumo di metano prima degli interventi risulta essere di 29898,60 Sm<sup>3</sup>, mentre dopo gli interventi si ottiene un valore di 8625,07 Sm<sup>3</sup>.

La voce maggior rilevante è il riscaldamento, con un risparmio del 72%, perché sostituendo la caldaia tradizionale con una a condensazione si va a risparmiare notevolmente l'energia impiegata e anche con la sostituzione degli aerotermini a gas con quelli a pompa di calore si ottiene un leggero aumento di consumo di energia elettrica come vedremo, ma un notevole risparmio di gas metano.

Un guadagno energetico è apportato anche dalle valvole termostatiche perché in questo modo le aule saranno sempre alla temperatura ottimale, evitando sprechi di gas metano.

Vettore energetico: Energia Elettrica				
SERVIZI	U.M.	STATO DI FATTO	INTERVENTO	RISPARMIO
		Ca	Ca	[%]
<b>Riscaldamento</b>	kWh	570,43	18949,80	-3222,07
<b>Acqua calda sanitaria</b>	kWh	582,67	576,58	1,05
<b>Illuminazione</b>	kWh	9600,10	11537,60	-20,18
<b>GLOBALE</b>	<b>kWh</b>	<b>10753,20</b>	<b>31064,00</b>	<b>-188,88</b>

Ca = Consumo annuo; Sa = Spesa annua

Riguardo l'energia elettrica, il valore che risalta maggiormente è l'aumento del consumo per il riscaldamento, come è normale che sia, visto l'impiego di una pompa di calore la quale non era presente.

Considerando però l'impiego di pannelli solari, i quali ante operam non erano funzionanti, buona parte dell'energia elettrica sarà prodotta da fonti rinnovabili andando ad ammortizzare i costi d'esercizio.

Ho appena descritto il risparmio dei consumi di energia, ora nelle tabelle sottostanti definirò il risparmio in termini di costi sia di metano che di energia elettrica.

Vettore energetico: Gas naturale (Metano)					
SERVIZI	U.M.	COSTO UNITARIO	STATO DI FATTO	INTERVENTO	RISPARMIO
			Sa [€/anno]	Sa [€/anno]	Sa [€/anno]
<b>Riscaldamento</b>	€/Sm <sup>3</sup>	0.65	18526,00	5097,42	13428,60
<b>Acqua calda sanitaria</b>	€/Sm <sup>3</sup>	0.65	908,07	508,88	399,20
<b>GLOBALE</b>	<b>€/Sm<sup>3</sup></b>	<b>0.65</b>	<b>19434,10</b>	<b>5606,29</b>	<b>13827,80</b>

Come si vede dai valori sovrastanti, la spesa annua totale di metano ante operam è di 19434€, mentre quella post operam è di 5606€ con un risparmio di 13827€.

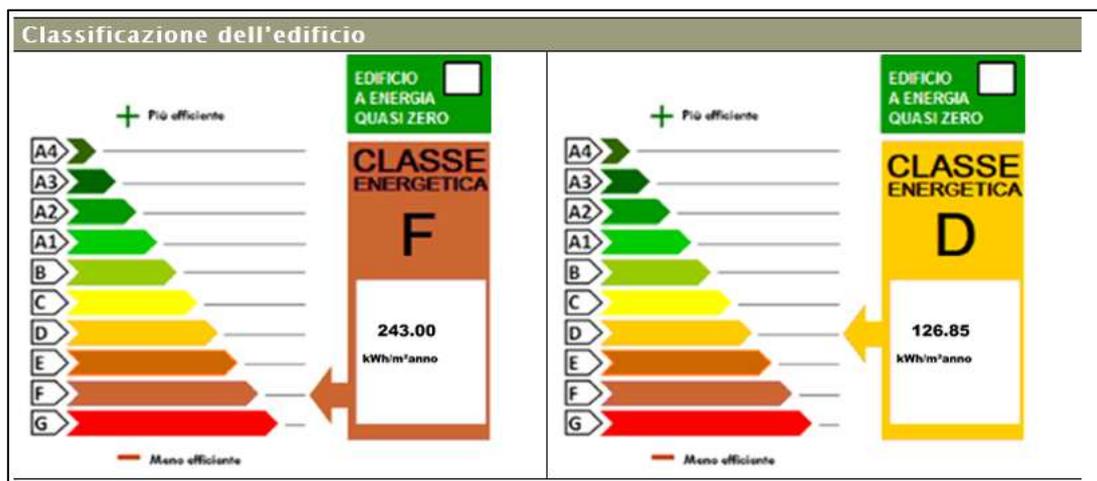
Si evince che questa scuola ha necessità di interventi energetici, perché con le tecnologie attuali in termini di dispositivi, ma anche di coibentazione delle superfici disperdenti, si riesce a risparmiare una cifra molto elevata.

Vettore energetico: Energia elettrica					
SERVIZI	U.M.	COSTO UNITARIO	STATO DI FATTO	INTERVENTO	RISPARMIO
			Sa [€/anno]	Sa [€/anno]	Sa [€/anno]
Riscaldamento	€/kWh	0.23	131,20	4358,45	13428,60
Acqua calda sanitaria	€/kWh	0.23	134,01	132,61	399,20
Illuminazione	€/kWh	0.23	2208,02	2653,66	-445,63
<b>GLOBALE</b>	<b>€/kWh</b>	<b>0.23</b>	<b>2473,24</b>	<b>7144,72</b>	<b>-4671,48</b>

Riguardo la spesa per l'energia elettrica si è visto che, con l'introduzione di una nuova pompa di calore, il consumo di energia elettrica è aumentato e quindi è normale che anche il costo totale annuo per il consumo della corrente sia lievitato.

Si ottiene una spesa di energia elettrica maggiore di 4671€ all'anno rispetto alla situazione prima degli interventi, però questo valore non è allarmante perché il risparmio di gas metano risulta di 13827€, perciò in totale la scuola secondaria di primo grado otterrà un risparmio di 9156€ all'anno.

Figura 57: Classificazione edificio post operam



La figura sovrastante definisce la nuova classe energetica dell'edificio, ottenuta dai consumi effettivi che passa dalla F alla D con una riduzione del 50% dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile.

## **7. Richiesta incentivi**

In questo capitolo descriverò tutta la procedura che l'ufficio tecnico dovrà effettuare per richiedere gli incentivi da utilizzare nella realizzazione della riqualificazione strutturale e energetica.

I fondi che possono essere utilizzati sono quelli del Conto Termico, gestiti dal GSE (Gestore dei Servizi Energetici) e possono essere sfruttati solamente se viene rispettata una serie di requisiti che andrò a spiegare nelle pagine seguenti.

### **7.1 Conto Termico**

Il conto termico incentiva interventi per l'incremento dell'efficienza energetica e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili negli edifici o in singole unità immobiliari accatastate e dotate di un impianto di riscaldamento.

Esso è uno strumento di finanziamento in conto capitale, ossia rimborsa fino al 65% delle spese rendicontabili sostenute per gli interventi, ove essi rispettino i requisiti tecnico-amministrativi previsti dal Decreto Conto Termico (DM 16 Febbraio 2016).

#### **Interventi e costi massimi ammissibili**

Le Pubbliche Amministrazioni e i soggetti a esse assimilati, incluse le Cooperative di Abitanti e le Cooperative Sociali, possono richiedere gli incentivi del Conto Termico per gli interventi riportati nella tabella seguente (Figura 62):

Figura 62: Tabella interventi incentivabili

TIPOLOGIA INTERVENTO	PERCENTUALE SPESA RICONOSCIBILE E INCENTIVO MASSIMO EROGABILE
<b>1.A Isolamento termico</b> di superfici opache	40% (*) (**) 400.000 €
<b>1.B Sostituzione di infissi</b>	40% (**) 75.000 € o 100.000 € in relazione alla zona climatica
<b>1.C Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con generatori di calore a condensazione</b>	40% (**) 3.000 € o 40.000 € in relazione alla potenza impianto
<b>1.D Installazione di sistemi di schermatura e/o ombreggiamento</b>	40% 5.000 € o 30.000 € a seconda della tipologia di intervento
<b>1.E Trasformazione degli edifici in nZEB</b>	65% 1.500.000 € o 1.750.000 € in relazione alla zona climatica
<b>1.F Sostituzione di sistemi per l'illuminazione di interni e delle pertinenze esterne con sistemi di illuminazione</b>	40% 30.000 € o 70.000 € in relazione al tipo di lampada
<b>1.G Installazione di tecnologie di building automation</b> degli impianti termici ed elettrici degli edifici	40% 50.000 €
<b>2.A Sostituzione di impianti di climatizzazione con impianti a pompa di calore</b> fino a 2.000 kW	Massimo 65% in funzione delle caratteristiche dell'impianto
<b>2.B Sostituzione di impianti di climatizzazione con generatori a biomassa</b> fino a 2.000 kW	Massimo 65% in funzione delle caratteristiche dell'impianto
<b>2.C Installazione di collettori solari termici</b> fino a 2.500 mq	Massimo 65% in funzione delle caratteristiche dell'impianto
<b>2.D Sostituzione di scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore</b>	Massimo 65% in funzione delle caratteristiche dell'impianto
<b>2.E Sostituzione di impianti di climatizzazione con nuovi sistemi ibridi</b> (caldaie a condensazione + pompa di calore)	Massimo 65% in funzione delle caratteristiche dell'impianto
<b>Diagnosi energetica + APE</b>	100% - ERP 5.000 € - Ospedali e Case di cura 18.000 € - Altri edifici 13.000 €
<p>* Per interventi realizzati nelle zone climatiche E e F, la percentuale incentivata della spesa ammissibile è pari al 50%.</p> <p>** Per interventi che prevedano, oltre a un intervento 1.A, anche un intervento a scelta tra le tipologie 1.C, 2.A, 2.B, 2.C o 2.E, la percentuale della spesa ammissibile è pari al 55% per ognuno degli interventi.</p>	

Negli asterischi posti a fondo della tabella precedente sono elencate due speciali categorie, la prima è quella per gli interventi realizzati in zone climatiche E ed F, ma, nel caso della scuola “Cantalamessa” situata in Ascoli Piceno la zona climatica è D perciò non rientra in questa categoria.

La seconda categoria definisce un incentivo pari al 55% per ognuno degli interventi solo se vengono realizzati interventi 1.A oltre a un intervento a scelta tra le tipologie: 1.C, 2.A, 2.B, 2.C, 2.E.

- 1.A Isolamento termico di superfici opache(obbligatorio);
- 1.C Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con generatori di calore a condensazione;
- Diagnosi energetica e APE.

Come definito dagli interventi migliorativi, si è optato per la realizzazione della categoria 1.A, ovvero la coibentazione del pavimento del sottotetto e la coibentazione della copertura del tetto, oltre alla categoria 1.C ovvero la sostituzione della caldaia tradizionale con una a condensazione.

### **Aggiornamento emendamento 48-Ter**

L'emendamento 48-Ter della conversione in legge del DL 104/2020 fa sì che gli incentivi del conto termico posso arrivare a ricoprire il 100% delle spese ammissibili per gli interventi con le seguenti caratteristiche:

- B/5 l'edificio è registrato al catasto edilizio urbano come Scuola e laboratorio scientifico;
- I lavori di realizzazione dell'intervento proposto sono stati conclusi dopo il 14 ottobre 2020.

Per poter rientrare in questo emendamento occorre inviare la documentazione catastale (visura) per attestare la categoria catastale dell'immobile.

## Incentivi per diagnosi energetica e APE

Le spese sostenute per la diagnosi energetica e l'APE redatte per gli edifici, rientrano tra le spese ammissibili degli interventi.

La scuola è nella categoria E.7 perciò il valore massimo erogabile è di 13.000€.

Figura 63: Tabella incentivi diagnosi energetica

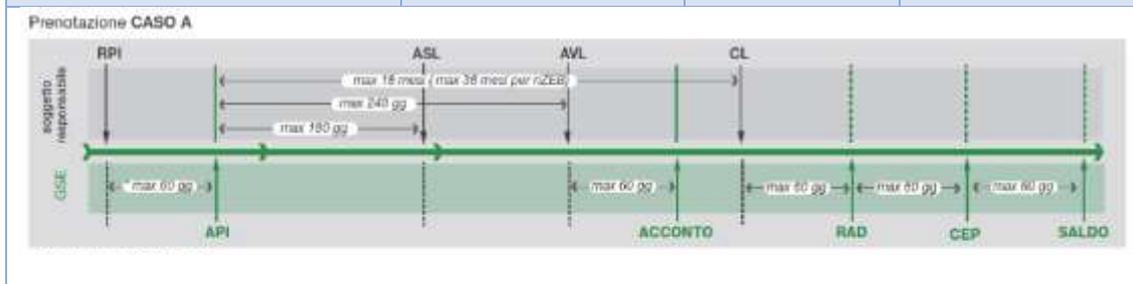
Destinazione d'uso	Superficie utile dell'immobile [m2]	Costo unitario massimo [€/m2]	Valore massimo erogabile [€]
Edifici residenziali della classe E1 del DPR 26 agosto 1993, n.412 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme	Fino a 1600 compresi	1,50	5.000,00
	Oltre 1600	1,00	
Edifici della classe E3 del DPR 26 agosto 1993, n.412 (ospedali e case di cura)	-	3,50	18.000,00
Tutti gli altri edifici	Fino a 2500 compresi	2,50	13.000,00
	Oltre 2500	2,50	

## Procedura richiesta incentivi GSE

Per presentare l'istanza di incentivo occorre:

1. Identificare i soggetti coinvolti nella richiesta di incentivo
2. Inserire i dati dell'edificio
3. Selezionare la procedura di accesso, in questo caso **A**.

PRENOTAZIONE	ASSEGNAZIONE E CONSEGNA LAVORI	AVVIO LAVORI	CONCLUSIONE LAVORI
<b>A: Prenotazione con diagnosi energetica e "atto formale d'impiego"</b>	Entro <b>180 giorni</b> (6 mesi)	Entro <b>240 giorni</b> (8 mesi)	Entro <b>18 mesi</b>



4. Selezionare gli interventi e inserire i dati tecnici

## 7.2 Requisiti per gli interventi da realizzare

- Impianto di riscaldamento
- Pompe di calore
- Isolamento termico superfici opache

### 7.2.1 Sostituzione impianti di riscaldamento

Di seguito sono riportati i requisiti minimi richiesti per l'accesso all'incentivo:

- l'installazione deve sostituire parzialmente o integralmente l'impianto di climatizzazione invernale già presente nell'edificio;
- il rendimento termico del nuovo generatore, certificato da ente terzo, al 100% del carico (misurato secondo le norme UNI EN 15502), deve rispettare la seguente:

$$\text{Rendimento termico} \geq 93 + 2\log P_n$$

$P_n$  = Potenza termica nominale  $P_n$  del generatore.

- L'installazione su tutti i corpi scaldanti di elementi di regolazione di tipo modulante agente sulla portata, tipo valvole termostatiche a bassa inerzia termica a esclusione:
  - a. dei locali in cui l'installazione di valvole termostatiche o altra regolazione di tipo modulante agente sulla portata sia dimostrata inequivocabilmente non fattibile tecnicamente nel caso specifico;
  - b. dei locali in cui è installata una centralina di termoregolazione con dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente caso di impianti al servizio di più locali, è possibile omettere l'installazione di elementi di regolazione di tipo modulante agenti sulla portata esclusivamente sui terminali di emissione situati all'interno dei locali in cui è presente una centralina di termoregolazione, anche se questa agisce, oltre che sui terminali di quel locale, anche sui terminali di emissione installati in altri locali;
  - c. degli impianti di climatizzazione invernale progettati e realizzati con temperature medie del fluido termovettore inferiori a 45°C;

- La messa a punto e l'equilibratura del sistema di distribuzione e del sistema di regolazione e controllo;
- L'installazione di efficaci sistemi di contabilizzazione individuale dell'energia termica utilizzata per la conseguente ripartizione delle spese, nel caso l'intervento riguardi un impianto centralizzato a servizio di molteplici unità immobiliari. Le spese relative all'installazione di un sistema di contabilizzazione individuale dell'energia termica utilizzata - legate al rispetto dell'obbligo di cui all'art. 9, comma 5, lettera d) del D.lgs. 102/2014 - sono ammissibili unicamente per interventi eseguiti entro il 31 dicembre 2016;
- Deve essere adottato un bruciatore di tipo modulare;
- La regolazione climatica deve agire direttamente sul bruciatore;
- Deve essere installata, nel sistema di distribuzione, una pompa elettronica a giri variabili.

Per gli interventi realizzati in interi edifici con impianto di riscaldamento di potenza nominale totale del focolare maggiore o uguali a 200 kW, ai fini della richiesta di incentivo la diagnosi energetica ante operam e l'attestato di prestazione energetica (APE) post operam sono obbligatorie, a pena di decadenza, per il riconoscimento degli incentivi.

### **7.2.2 Installazione di pompe di calore**

Di seguito sono riportati i requisiti minimi richiesti per l'accesso all'incentivo:

1. L'installazione deve sostituire parzialmente o integralmente l'impianto di climatizzazione invernale già presente nell'immobile di qualsiasi categoria catastale (tranne F/3).  
La sostituzione parziale è ammessa solo nel caso di un impianto preesistente dotato di più generatori di calore;
2. La messa a punto e l'equilibratura del sistema di distribuzione, regolazione e controllo;

3. L'installazione su tutti i corpi scaldanti di elementi di regolazione di tipo modulante agente sulla portata, tipo valvole termostatiche a bassa inerzia termica, a esclusione:
  - a. dei locali in cui l'installazione di valvole termostatiche o altra regolazione di tipo modulante agente sulla portata sia dimostrata inequivocabilmente non fattibile tecnicamente nel caso specifico (*cf.* Decreto 26 giugno 2015, concernente le metodologie di calcolo della prestazione energetica e la definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici);
  - b. dei locali in cui è installata una centralina di termoregolazione con dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente (*cf.* Decreto 26 giugno 2015, concernente le metodologie di calcolo della prestazione energetica e la definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici).

In caso di impianti al servizio di più locali, è possibile omettere l'installazione di elementi di regolazione di tipo modulante agenti sulla portata esclusivamente sui terminali di emissione situati all'interno dei locali in cui è presente una centralina di termoregolazione, anche se questa agisce, oltre che sui terminali di quel locale, anche sui terminali di emissione installati in altri locali;
  - c. degli impianti di climatizzazione invernale progettati e realizzati con temperature medie del fluido termovettore inferiori a 45°C;
4. L'installazione di efficaci sistemi di contabilizzazione individuale dell'energia termica utilizzata, nel caso di impianti centralizzati a servizio di molteplici unità immobiliari e/o edifici;
5. Per gli interventi con potenza termica utile superiore a 200 kW, è obbligatoria l'installazione di sistemi di contabilizzazione del calore e la comunicazione al GSE delle misure dell'energia termica annualmente prodotta dagli impianti e utilizzata per coprire i fabbisogni termici;
6. Le pompe di calore elettriche devono avere un coefficiente di prestazione COP almeno pari ai valori riportati nella successiva tabella 3 del Decreto; la misura del COP deve essere dichiarata e garantita dal costruttore della pompa di calore sulla base di prove effettuate in conformità alla UNI EN 14511.

Al momento della prova, la pompa di calore deve funzionare a pieno regime per le tipologie di pompa e condizioni di scambio termico (fluidi termovettori e temperature) e in tabella 3 del Decreto.

### 7.2.3 Isolamento termico di superfici opache

Per ogni tipologia di superficie opaca (copertura, pavimento o parete) è definito un valore limite massimo di trasmittanza, in funzione della zona climatica come specificato nella seguente tabella:

Tipologia di intervento	Requisiti tecnici di soglia per la tecnologia	
Strutture opache orizzontali: isolamento coperture	Zona climatica A	$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica B	$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica C	$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica D	$\leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica E	$\leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica F	$\leq 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
Strutture opache orizzontali: isolamento pavimenti	Zona climatica A	$\leq 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica B	$\leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica C	$\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica D	$\leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica E	$\leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica F	$\leq 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
Strutture opache verticali: isolamento pareti perimetrali	Zona climatica A	$\leq 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica B	$\leq 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica C	$\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica D	$\leq 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica E	$\leq 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica F	$\leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

Nei casi di isolamento termico dall'interno o nell'intercapedine, i valori di trasmittanza previsti nella Tabella 1 del Decreto sono incrementati del 15%, comunque nel rispetto delle prescrizioni del Decreto 26 giugno 2015 concernente le metodologie di calcolo della prestazione energetica e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

Ai fini della richiesta di incentivo è obbligatoria la redazione della diagnosi energetica precedente l'intervento e dell'attestato di prestazione energetica (APE) successiva, a pena di decadenza del riconoscimento degli incentivi.

Per gli interventi di isolamento delle superfici opache, nella diagnosi energetica è richiesta un'analisi dei ponti termici dell'edificio e la correzione degli stessi in fase di progettazione e realizzazione dell'intervento, ove possibile; qualora la correzione dei ponti termici non sia tecnicamente possibile, il tecnico che redige la diagnosi deve fornire adeguata motivazione.

Nel caso in cui per l'edificio oggetto dell'intervento sia stata dichiarata la fine lavori e sia stata presentata la richiesta di iscrizione al Catasto edilizio urbano prima del 29 ottobre 1993, in alternativa al rispetto delle trasmittanze previste nella tabella 1 del Decreto, si può scegliere di ridurre l'indice di prestazione energetica globale almeno del 50% rispetto al valore precedente alla realizzazione dell'intervento.

In questo caso l'intervento complessivo deve comprendere comunque un intervento di isolamento delle superfici opache che ne migliori le prestazioni energetiche e deve essere redatto l'attestato di certificazione energetica sia ante-operam sia post-operam, effettuato con lo stesso programma di calcolo, oltre alla diagnosi energetica precedente l'intervento.

## **8. Conclusioni**

Iniziare a comprendere il mondo del lavoro, questo è stato per me, l'obiettivo principale del tirocinio universitario.

È stata un'esperienza molto significativa in cui, con interesse e curiosità, ho fatto parte di un gruppo di progettazione e ho potuto mettere a disposizione le mie conoscenze per lo sviluppo di un interessante progetto come la riqualificazione energetica della scuola di Ascoli Piceno.

Le settimane passate in ufficio mi hanno fatto capire l'importanza del contributo di ogni tecnico nel raggiungimento dell'obiettivo finale comune e mi hanno responsabilizzato notevolmente dal punto di vista del rispettare la consegna dei progetti entro le date di scadenza.

Sono orgoglioso di aver avuto la possibilità di svolgere il tirocinio universitario nell'ufficio di progettazione "Termostudi s.r.l." perché, ancor prima dell'impegno lavorativo, i dipendenti di quest'azienda mettono al primo posto il rapporto umano, infatti mi hanno fatto sentire a mio agio fin dal primo giorno.

Ringrazio in particolare l'ing. Matteo Micera, mio tutor aziendale, che mi ha seguito con pazienza e dedizione per tutto il periodo del mio tirocinio.

Questa breve esperienza di lavoro, nel suo complesso, è stata davvero molto arricchente e mi sarà sicuramente utile nel futuro, per inserirmi nel mondo del lavoro e per realizzare nuovi progetti ingegneristici.

## 9. Bibliografia e sitografia

- <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1993/10/14/093G0451/sg>
- <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2013/06/05/13G00107/sg>
- <https://www.acea.it/guide/attestato-di-prestazione-energetica>
- <https://emuarchitetti.wordpress.com/2015/10/26/ponti-termici-conoscere-il-fattore-di-temperatura-frsi/>
- <https://www.predarivetri.com/media/archive/160114-0823-dossier-il-controllo-solare-delle-superfici-trasparenti-dell-involucro-edilizio.pdf>
- <https://academy.dakota.eu/isolamento-sottotetto-a-cosa-serve-e-come-realizzarlo>
- Dispense fornite dal professore Gianluca Coccia del corso impianti termotecnici
- <https://www.cosedicasa.com/ristrutturare/impianti/climatizzatori/climatizzatori-vivere-al-meglio-lestate-98234>
- <https://www.desivero.com/modod/ventilconvettori-cosa-sono-funzionamento/#:~:text=Con%20il%20termine%20ventilconvettore%20si,di%20riscaldare%20che%20di%20raffrescare>
- <https://analyzing-testing.netzsch.com/it/landingpages/definizione-di-conduttivita-termica>
- [https://www.la-certificazione-energetica.net/trasmittanza\\_termica/trasmittanza\\_termica\\_U.html](https://www.la-certificazione-energetica.net/trasmittanza_termica/trasmittanza_termica_U.html)
- <https://www.chimica-online.it/download/massa-volumica.htm>
- <https://italy.ediltec.com/it/note-tecniche/la-permeabilita-al-vapore-acqueo#:~:text=Il%20fattore%20adimensionale%20%C2%B5%20indica,permeabili%20al%20vapore%20di%20acqua.>
- <https://www.expoclima.net/terminali-di-erogazione-termoconvettori-ventilconvettori-e-aerotermini>
- <https://www.ariston.com/it-it/the-comfort-way/consigli-e-soluzioni/come-funziona-lo-scaldacqua-elettrico>

-<https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/attestato-prestazione-energetica-ape-certificazioni-energetiche-edifici-residenziali-commerciali-industriali/attestato-prestazione-energetica-ape-firenze/indice-di-prestazione-energetica>

-<http://www.surra.it/files/ventilazionenaturale.pdf>

-<https://www.ingenio-web.it/articoli/ventilazione-nelle-aule-scolastiche-calcolo-delle-portate-di-ricambio-dell-aria-e-analisi-della-normativa/>

-[https://www.vaillant.it/home/approfondimenti-e-consigli/come-funzionano-le-diverse-tecnologie/caldaie-a-condensazione-a-gas/#image\\_\\_\\_text\\_6](https://www.vaillant.it/home/approfondimenti-e-consigli/come-funzionano-le-diverse-tecnologie/caldaie-a-condensazione-a-gas/#image___text_6)

- <https://innovasol.it/impianto-idronico/>

-<https://www.ulteria.it/prodotti-risparmio-energetico/valvole-termostatiche/come-funziona-la-valvola-termostatica/>