



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea
in Ingegneria Energetica e Nucleare
A.a. 2020/2021
Luglio 2021

**Procedura di diagnostica
energetica di un parco edilizio
pubblico ad uso scolastico**

Relatore:
Prof. Marco Carlo Masoero

Candidato:
Chiara Virano

Correlatore:
Ing. Lorenzo Balsamelli

Ai miei nonni,

INDICE

ABSTRACT (italiano)	6
ABSTRACT (english)	7
1 Introduzione	8
2 Importanza e impatto del settore dell'edilizia nell'uso dell'energia	10
2.1 Inquadramento europeo.....	10
2.2 Italia.....	12
2.3 Piemonte	14
3 Inquadramento normativo	15
3.1 Norme in ambito di efficientamento energetico	15
3.1.1 Legge 373/76.....	15
3.1.2 Legge 10/1991.....	15
3.1.3 D.P.R. 412/1993	16
3.1.4 EPBD (Direttiva 2002/91/CE)	17
3.1.5 Decreto Legislativo n. 192/2005	17
3.1.6 D.M. 26/06/2015	18
4 La diagnosi energetica	19
4.1.1 Definizione	19
4.1.2 Requisiti di qualità della diagnosi energetica secondo la norma 16247-1	19
4.1.3 I tre diversi livelli di diagnosi energetica	20
4.1.4 Fasi della diagnosi secondo la norma UNI CEI EN 16247-1 e -2 e UNI/TR 11775 21	
5 Presentazione del progetto scolastico.....	24
5.1 Scuola primaria Vivaldi	26
5.2 Scuola primaria Giacosa.....	30
5.3 Succursale scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Gobetti).....	34
5.4 Scuola primaria Roncalli	37
5.5 Succursale scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli" (ex. Calvino)	41
5.6 Scuola primaria Martiri della Libertà	45
5.7 Scuola primaria Andersen.....	48
5.8 Scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli"	51
5.9 Succursale scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Matteotti)	54

5.10	Asilo nido Aldo Moro	57
6	Analisi di alcune termografie caratteristiche.....	61
6.1.1	Succursale scuola secondaria di primo grado A. Gramsci (ex. Gobetti).....	61
6.1.2	Succursale scuola secondaria di primo grado G. Nicoli (ex. Calvino).....	62
6.1.3	Scuola primaria Martiri della Libertà	63
6.1.4	Scuola primaria Andersen	64
6.1.5	Scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli”	65
7	Analisi consumi reali allo stato attuale	66
7.1.1	ANALISI CONSUMI TERMICI REALE	66
7.1.2	ANALISI CONSUMI ELETTRICI	77
8	Proposta degli interventi di efficientamento energetico.....	81
8.1	Tipologie interventi di riqualificazione energetica proposti	82
1.1.1	Intervento 1 - Installazione sistema di regolazione per singolo ambiente	82
1.1.2	Intervento 2 – Sostituzione dei serramenti	83
1.1.3	Intervento 3 – Isolamento del solaio verso il piano seminterrato	84
1.1.4	Intervento 4 – Coibentazione del solaio di copertura e verso sottotetto	85
1.1.5	Intervento 5 – Coibentazione estesa dell’involucro edilizio	87
1.1.6	Intervento 6 – Sostituzione delle lampade con elementi a LED	89
1.1.7	Intervento 7 – Installazione collettori solari termici.....	89
8.2	Il Conto Termico.....	90
8.3	Individuazione dei costi per ogni intervento	92
8.4	Risultati ottenuti per ogni edificio scolastico	93
8.4.1	Scuola primaria Vivaldi	94
8.4.2	Scuola primaria Giacosa	95
8.4.3	Succursale scuola secondaria di primo grado “A. Gramsci” (ex. Gobetti)	96
8.4.4	Scuola primaria Roncalli.....	97
8.4.5	Succursale scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli” (ex. Calvino)	98
8.4.6	Scuola primaria Martiri della Libertà	99
8.4.7	Scuola primaria Andersen	100
8.4.8	Scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli”	101
8.4.9	Succursale scuola secondaria di primo grado “A. Gramsci” (ex. Matteotti)	102
8.4.10	Asilo nido Aldo Moro	103

9	Conclusioni	104
10	Ringraziamenti.....	108
11	Indice delle figure	109
12	Bibliografia	112

ABSTRACT (italiano)

Come si evince dai più recenti studi pubblicati relativi al panorama energetico internazionale, il settore dell'edilizia è responsabile del 18% delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera e del 39% di consumi di energia. Ciò, in ambito comunitario, si traduce prevalentemente in processi di riqualificazione dell'esistente, in cui la figura del decisore pubblico ha un ruolo di prim'ordine. Questo infatti, da un lato dispone sistemi di incentivazione dedicati all'edilizia privata e, dall'altro intraprende azioni sul patrimonio immobiliare da lui gestito che devono essere esempio per il territorio in cui insistono. In questo scenario il presente elaborato si propone l'obiettivo di fornire uno strumento metodologico dedicato al patrimonio edilizio pubblico scolastico, applicandolo ad un caso studio reale. Lo strumento proposto ed applicato è sostanzialmente strutturato a due livelli:

- un'analisi a livello patrimoniale che, tramite un confronto dei dati di consumo reale degli edifici, evidenzia quali tra questi presentano le maggiori criticità e i più elevati margini di miglioramento;
- una diagnostica di dettaglio di ogni edificio compreso nell'analisi patrimoniale, che studi interventi e soluzioni finalizzati al contenimento dei consumi energetici, fornendone nel contempo una valutazione in termini di rapporto costi/benefici.

Dopo un doveroso inquadramento legislativo e normativo tecnico, lo studio di tesi ha applicato l'approccio metodologico sopra citato ad alcuni edifici scolastici siti all'interno del Comune di Settimo Torinese. Per strutturare un'analisi globale di priorità di tutti gli immobili considerati, sono stati messi a punto specifici indicatori di prestazione di facile lettura ed interpretazione: questi hanno consentito di porre a confronto le varie strutture, identificando quelle maggiormente critiche e con maggior margine di contenimento dei consumi.

Spostando poi l'attenzione sui singoli edifici, l'attività diagnostica ha avuto come punto cardine la combinazione coordinata dell'analisi dei consumi reali e della modellazione energetica calibrata (*tailored method*), ciò permette di descrivere al meglio l'utilizzo dei vari edifici che sono caratterizzati da profili di utilizzo non continui. Tale attività risulta di estrema importanza per poter effettuare valutazioni previsionali degli effetti di opere di retrofit energetico il più possibile calibrate e pertanto aderenti alla realtà in termini di effetti di contenimento dei consumi. Tali valutazioni forniscono le basi per la definizione di piani di investimento e di miglioramento della qualità dell'aria.

Il lavoro di tesi si propone in sostanza come un'applicazione concreta di strategie di *energy management* al parco edilizio scolastico tipologico del nostro paese (anni '60 – '80), finalizzate alla strutturazione di piani di efficientamento energetico.

ABSTRACT (english)

According to the recent studies published regarding the international energy scenario, the construction sector is responsible for the 18% of CO₂ emissions and 39% of energy consumption. This, in a European context, mostly consists in the requalification of already existing buildings, in which the Public Administration has a key role. Indeed, on one side, it has the means to promote private construction, while, on the other hand, it undertakes actions on the real estate assets that must be an example for the area in which they are located.

In this scenario this work provides a methodological approach developed for government school buildings by implementing it on a real case. This process is organized mainly in two different levels:

- an equity analysis that, thanks to the data of the real consumption of each building, is able to highlight which one presents the greatest criticalities and the highest margin of improvement;
- a detailed study on each building, analyzed in the previous step, that is able to specify the most suitable strategies and solutions necessary to achieve an energy usage reduction. This study is also able to evaluate the cost effectiveness.

After a suitable introduction of the legislative and regulatory background, this thesis applies the methodology approach, previously described, on the school buildings in Settimo Torinese. In order to develop an appropriate analysis for the building under investigation, suitable indicators, easy to read and understand, have been introduced. They allow to compare the buildings, in such a way that was possible to identify the more critical structures and the ones with the higher possibility of reduction of energy consumption.

Focusing on the individual buildings, one can claim that the diagnostic has been developed through the coordinated combination of the real consumption analysis and the calibrated energy modelling (tailored method), thanks to this it is possible to properly describe the particular usage profiles of each school. This activity is extremely important in order to properly evaluate the benefits of energy savings projects. The assessments made are at the basis of future investments plans for the improvement of air quality.

Finally, it is possible to say that the thesis has the aim of describing a real application of energy management strategies for a typical structure of school buildings (built between the '60 and the '80), having as final target the proposal of efficiency energy plans.

1 Introduzione

A causa del cambiamento climatico che ogni giorno diventa un problema sempre più urgente per il nostro pianeta, il tema della riduzione dei consumi e l'obiettivo di un mondo più pulito stanno diventando di giorno in giorno sempre più importanti nel contesto internazionale.

Infatti, la volontà di intervenire al fine di ridurre le emissioni fino ad ora prodotte, ha fatto sì che durante gli anni ci fossero numerosi incontri con lo scopo di individuare le strategie più adatte all'ottenimento di un mondo più pulito.

Il primo passo verso la lotta al cambiamento climatico è stato rappresentato dal *Protocollo di Kyoto (periodo 2008-2012)* il quale prevedeva una riduzione delle emissioni dei gas serra del 5% rispetto ai livelli presenti nel 1990. Ad esso però aderirono solamente i 15 paesi allora membri dell'Unione Europea che risultavano responsabili solo del 18% delle emissioni globali: un valore per nulla significativo rispetto al panorama mondiale.

Ovviamente esso ha rappresentato solamente l'inizio di un lungo percorso verso l'impegno, sempre più concreto, ad un utilizzo razionale ed efficiente dell'energia che permetta la riduzione delle emissioni di gas inquinanti prodotte ogni giorno.

Nel 2015 infatti si è tenuta a Parigi la Conferenza sul clima nella quale è stato redatto l'*Accordo di Parigi* ovvero il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sui cambiamenti climatici. Esso rappresenta un passo importante nella lotta verso il cambiamento climatico in quanto, affinché l'accordo entrasse in vigore, ben 55 paesi responsabili di almeno il 55% delle emissioni globali hanno dovuto firmare.

L'obiettivo del trattato era di mantenere ben al di sotto di 2 °C l'incremento della temperatura mondiale tramite l'attuazione, da parte di tutti i paesi membri, di opportuni piani nazionali.

In questo contesto mondiale, l'Unione Europea ha svolto un ruolo centrale nell'impegno verso la lotta al cambiamento climatico e nel dicembre 2020 ha presentato il Green Deal che consiste in un piano di investimenti con l'obiettivo di rendere i paesi dell'UE climaticamente neutri entro il 2050.

Al fine di raggiungere l'obiettivo ultimo si pongono però altri obiettivi intermedi: il primo è tra circa 10 anni (termine 2030). Esso prevede la riduzione dell'emissione di gas serra di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990.

In particolare, gli obiettivi chiave da raggiungere per il 2030 sono:

- Una riduzione del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990);
- Almeno una quota del 32% di energia rinnovabile;
- Un miglioramento di almeno il 32,5% dell'efficienza energetica.

Il raggiungimento di tale obiettivo si stima possa essere raggiunto tramite opportune proposte legislative che verranno formulate a partire da luglio 2021. I principali aspetti su cui si andrà ad intervenire sono comunque l'aumento dell'efficienza energetica degli edifici e l'incremento dell'utilizzo di fonti rinnovabili per la generazione di energia. [1]

L'Italia, come paese membro dell'UE, ha anch'essa adottato delle politiche adatte al raggiungimento degli obiettivi proposti dal *Green Deal* tramite il "*Piano Nazionale integrato per l'energia ed il clima (PNIEC)*" pubblicato a gennaio 2020. [2]

2 Importanza e impatto del settore dell'edilizia nell'uso dell'energia

Attualmente viviamo in un mondo in cui l'utilizzo dell'energia risulta fondamentale in quanto è utilizzata, sebbene con diversa incidenza, in tutti i settori di uso finale dall'agricoltura all'industria.

In questo capitolo verrà fornito un quadro d'insieme delle principali risorse utilizzate per la produzione di energia oltre ad essere individuati quali tra i diversi settori di uso finale competono maggiormente nell'utilizzo della stessa.

2.1 Inquadramento europeo

Nonostante l'impegno da parte dell'Unione Europea di attuare politiche di decarbonizzazione e promuovere l'utilizzo delle risorse rinnovabili, nel panorama energetico attuale le fonti fossili costituiscono ancora un elemento fondamentale per la produzione di energia.

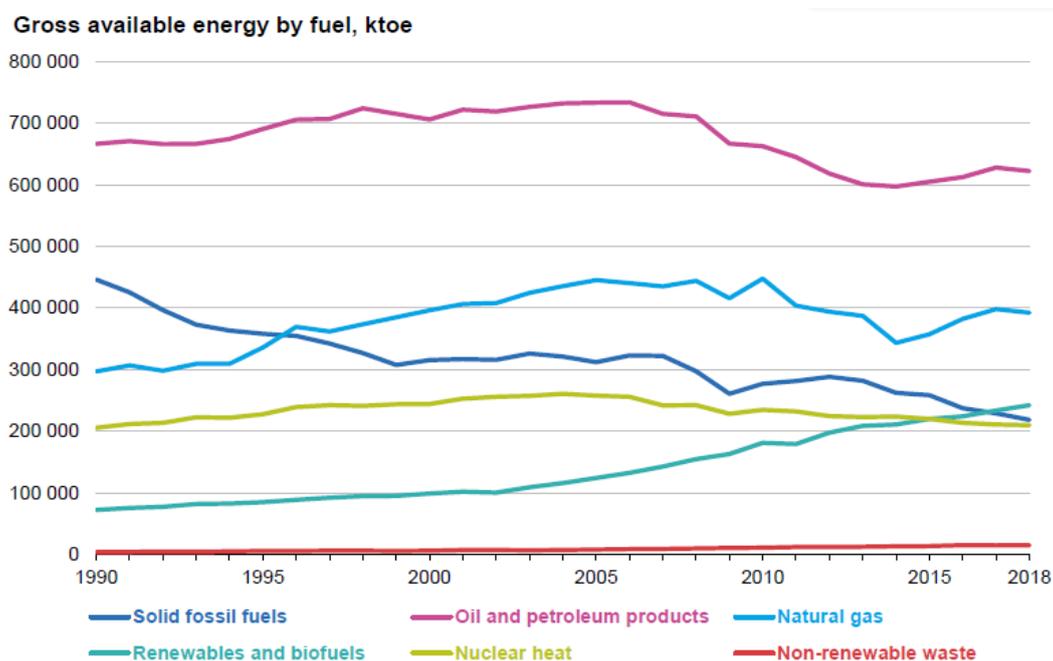


Figura 1 – Energia disponibile per fonte energetica nell'Unione Europea-28 [3]

Questo risulta chiaro analizzando la Figura 1, dove viene rappresentato l'andamento dal 1990 al 2018 della quantità di energia prodotta per tipologia di combustibile (kTep). In particolare, dal grafico si evince come, nonostante l'utilizzo delle fonti fossili abbia subito un decremento negli

anni esse risultino ancora responsabili della produzione della maggior parte dell'energia disponibile. Si nota infatti, come il petrolio rappresentato dalla linea rosa, compete tutt'oggi ad essere la fonte fossile responsabile della maggiore quantità di produzione di energia Europea. Oltre a ciò è possibile evidenziare come dagli anni 1990 ad oggi sia avvenuto un incremento di produzione di energia da fonti rinnovabili che però costituisce una piccola parte rispetto all'energia totale.

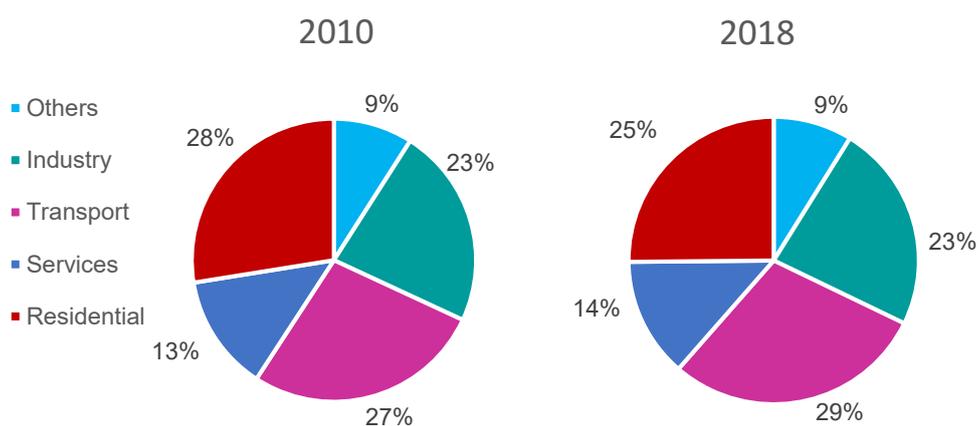


Figura 2 – Rielaborazione personale dei dati di percentuale di consumo di energia per uso finale nell'UE-28 anni 2010 e 2018 [3]

In Figura 2 vengono riportate le suddivisioni percentuali, relative ai diversi usi finali, del consumo di energia Europeo nell'anno 2010 e 2018. Risulta chiaro come i settori maggiormente responsabili dell'utilizzo dell'energia, ovvero il settore dei trasporti, dell'industria e del residenziale, risultano essere invariati negli anni. Si può notare come tra il 2010 e il 2018 si nota un leggero decremento dell'impatto del settore residenziale (da 28% a 25%) mentre vi è un andamento inverso per quanto riguarda il settore dei trasporti (da 27% a 29%) e per il settore dei servizi (da 13% al 14%). Continuando l'analisi dei grafici in Figura 2 risulta inoltre chiaro come il settore dei servizi ed il settore residenziale competono insieme ad un consumo di energia per uso finale pari al 41% nell'anno 2010 e ad un 39% nell'anno 2018. Essendo questi consumi principalmente riconducibili al settore dell'edilizia si sottolinea come sia importante un intervento in ambito di riduzione dei consumi al fine di ridurre la percentuale di energia finale imputabile a questi settori.

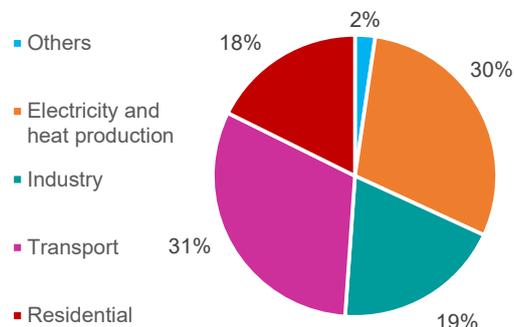


Figura 3 – Rielaborazione personale dei dati di percentuale di emissioni di CO₂ per uso finale [4]

Infine, grazie al grafico in Figura 2, è possibile affermare come non solo il settore civile compete ad un'alta percentuale di consumo in ambito energetico ma è anche responsabile del 18% delle emissioni globali di CO₂ in atmosfera.

2.2 Italia

Analizzando nel dettaglio il panorama energetico italiano è possibile affermare come esso rispecchi quello dell'Unione Europea, ovvero come l'Italia risulti ancora un paese con prevalenza di utilizzo di risorse fossili.

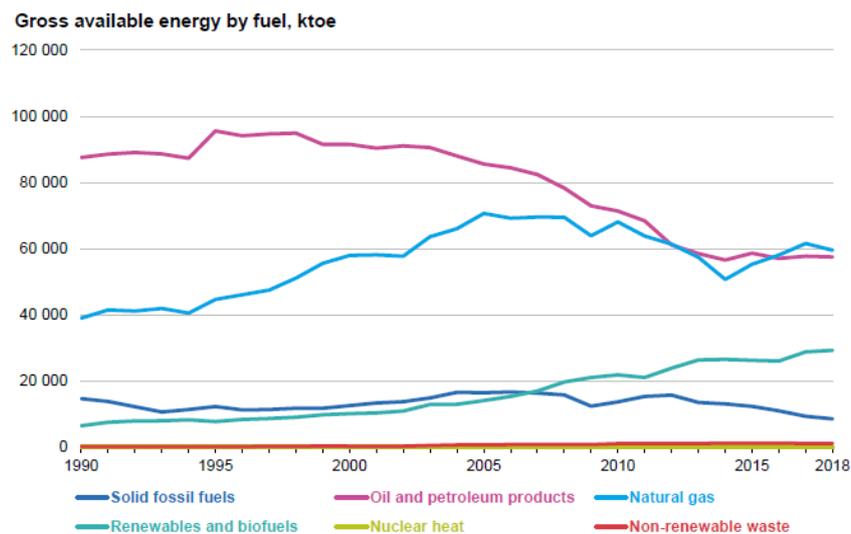


Figura 4 – Consumo finale di energia per abitante nei paesi dell'Unione Europea UE-28 [3]

Dal grafico in Figura 4, dove è rappresentata la disponibilità di energia per tipologia di combustibile fossile (kTep), si evince come la maggior parte della produzione di energia sia ancora imputabile al petrolio (linea rosa) ed al gas naturale (linea blu). Oltre a ciò, analogamente alla situazione europea, la produzione di energia da rinnovabili ha subito un incremento negli anni, ma essa risulta ancora responsabile di una produzione troppo piccola di energia.

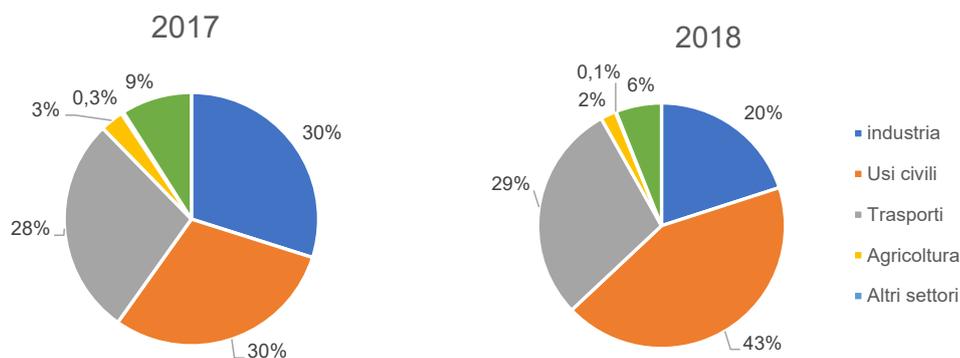


Figura 5 – Consumi energetici finali in Italia anno 2017 e 2018 [5]

Analizzando i diversi consumi finali è possibile affermare come il principale utilizzo di energia avviene da parte di tre usi finali che sono l'industria, il settore civile e i trasporti. Più in particolare le due figure mostrano come il settore che ha presentato più sviluppo in ambito di consumi sia proprio il settore civile con un aumento dei consumi dal 30% al 43% mentre contrapposizione a ciò il settore dell'industria e il settore dei trasporti hanno entrambi avuto un decremento percentuale.

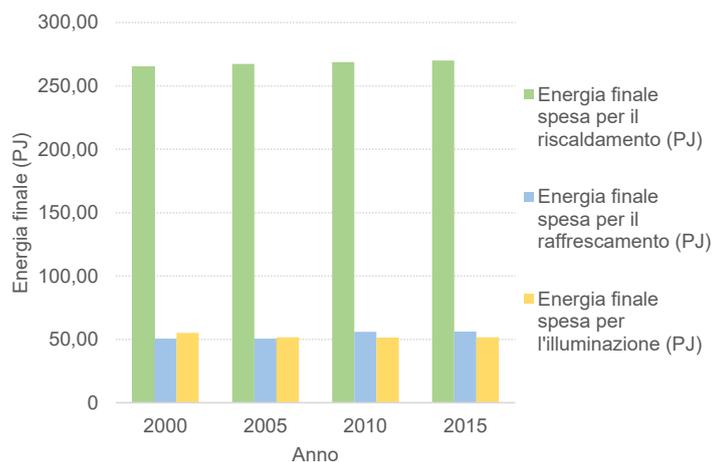


Figura 6 – Rielaborazione personale dei dati di consumo finale di energia (PJ) per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione negli anni [4]

Infine, analizzando il grafico in Figura 6 rappresentante i consumi di energia finale per il riscaldamento, il raffrescamento e l'illuminazione in Italia dal 2000 al 2015 risulta chiaro come il riscaldamento compete in scala molto maggiore rispetto ai due differenti utilizzi finali; ecco che quindi intervenire con il fine di un miglioramento edilizio può portare elevati benefici in termini di consumo.

2.3 Piemonte

Relativamente alla regione Piemonte, tramite la pubblicazione della “Proposta di Piano Energetico Ambientale Regionale” [6] risulta chiaro come, nonostante i dati siano aggiornati solamente al 2014, esso rispecchi la situazione generale italiana in quanto la maggioranza dei consumi di energia per uso finale sia imputabile al settore civile (si veda Figura 7). Si ribadisce quindi come l'intervento a livello edilizio risulti uno tra gli interventi fondamentali da intraprendere al fine di una politica atta al contenimento del consumo energetico.

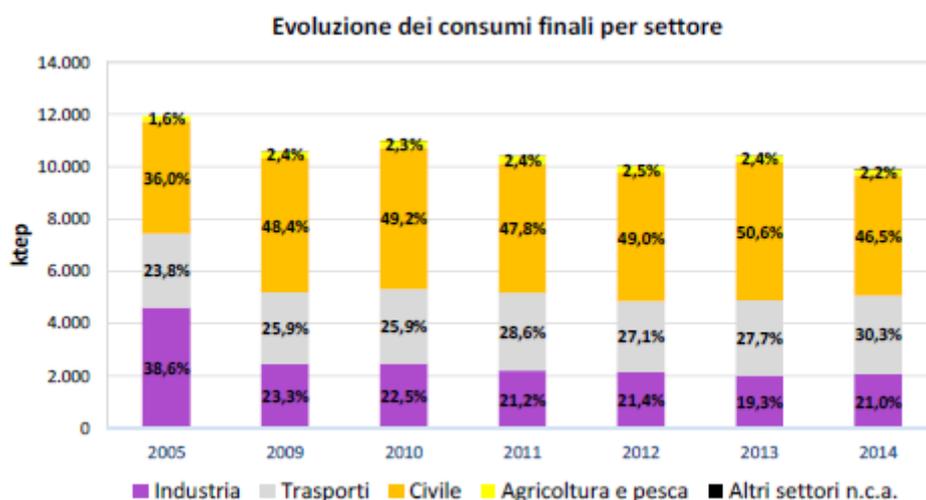


Figura 7 – Evoluzione dei consumi finali per settore finale (fonte: BER ENEA) [6]

3 Inquadramento normativo

3.1 Norme in ambito di efficientamento energetico

L'importanza di intervenire in ambito di efficienza edilizia non è un tema nuovo, infatti i primi decreti in ambito di efficienza energetica risalgono al 1973, anno in cui si è verificata la prima crisi petrolifera. Essa ha avuto come conseguenza l'incremento del prezzo del petrolio, aspetto che ha portato ad un interesse verso una politica di risparmio e quindi riduzione dei consumi. Questo ha portato alla pubblicazione delle prime normative in ambito di contenimento dei consumi energetici.

Viene di seguito fatto un breve elenco di quelli che sono i principali provvedimenti intrapresi negli anni con l'obiettivo del contenimento del consumo energetico.

3.1.1 Legge 373/76

Emanata il 30 marzo del 1976, la legge n. 373 rappresenta la prima legge che introduce obblighi per il contenimento del consumo energetico degli edifici. È costituita da tre parti:

- *la prima parte* è relativa agli impianti di produzione del calore e i sistemi di regolazione ad essi associati;
- *la seconda parte* riguarda l'isolamento termico degli edifici;
- *la terza parte* definisce le sanzioni possibili in caso di mancato adempimento ai requisiti della legge.

Negli anni essa è stata integrata con tre differenti documenti che definivano criteri più specifici per la redazione della Redazione Tecnica, definivano le diverse zone climatiche e introducevano il coefficiente di dispersione termica sulla base del rapporto S/V. [7]

3.1.2 Legge 10/1991

La legge 10 del 9 gennaio 1991 regola le: "*Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*" [8]

Questo documento ha tra gli obiettivi principali:

- Il contenimento dei consumi energetici;
- consapevolezza nell'uso dell'energia;
- salvaguardia dell'ambiente;
- benessere degli individui;
- incentivazione dell'uso di fonti rinnovabili di energia;
- incentivazione dell'uso di sistemi impiantistici alternativi;

3.1.3 D.P.R. 412/1993

Il D.P.R. 412/1993 [9] rappresenta il decreto di attuazione della legge 10/1991. In particolare, le novità introdotte da questo decreto sono le seguenti:

- suddivisione del territorio nazionale relativamente ai gradi giorno:

Si ricorda come i **gradi giorno** rappresentino la sommatoria, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera. In funzione di essi è stata stabilita la suddivisione dell'Italia in sei fasce climatiche riportate di seguito in Figura 8.

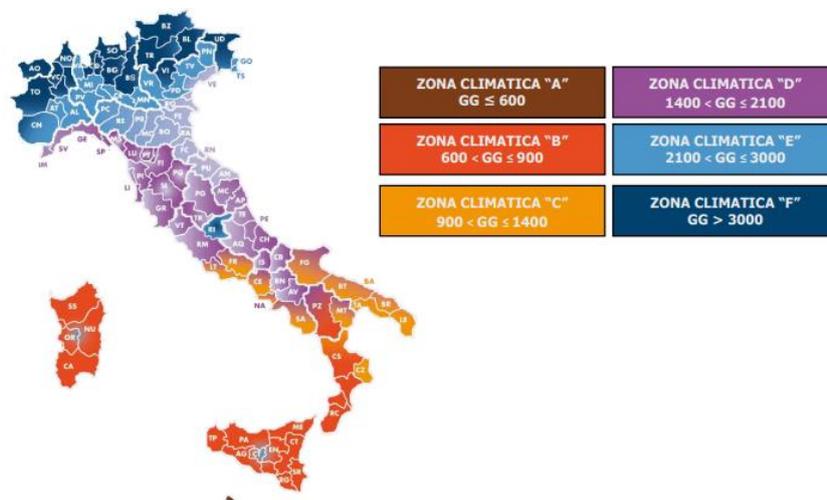


Figura 8 – Suddivisione del territorio italiano secondo i gradi giorno [10]

- classificazione della tipologia di edificio per categorie:
 - E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili;
 - E.2 Edifici adibiti a residenze collettive, a uffici o assimilabili;
 - E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili;
 - E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili;
 - E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili;
 - E.6 Edifici adibiti ad attività sportive;
 - E.7 Edifici ad attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili;
 - E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili. [11]

3.1.4 EPBD (Direttiva 2002/91/CE)

La direttiva 2002/91/CE (Energy Performance of Building Directive -EPBD) è stata emanata dal Parlamento Europeo e dal Consiglio dell'Unione Europea nel 2002 e promuove disposizioni atte al miglioramento del rendimento energetico degli edifici. Questo obiettivo vuole essere raggiunto tramite tre differenti elementi chiave:

- la definizione di una metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;
- definizione ed applicazione dei requisiti minimi, sia per gli edifici di nuova costruzione sia per quelli già esistenti;
- controllo periodico degli impianti. [12]

3.1.5 Decreto Legislativo n. 192/2005

Il decreto legislativo 192 del 2005 rappresenta l'attuazione Italiana della Direttiva Europea emanata precedentemente.

I principali obiettivi del decreto sono:

- la definizione della metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;
- l'applicazione di requisiti minimi al calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;
- la definizione di criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- la cadenza delle ispezioni degli impianti di climatizzazione;
- la regolazione dei criteri per la qualificazione e l'indipendenza dei professionisti;
- la promozione dell'uso razionale dell'energia verso gli utenti finali. [13]

3.1.6 D.M. 26/06/2015

Il Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015 definisce una serie di requisiti utili per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici. Esso si divide in tre differenti parti:

- *Decreto 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici* che definisce i nuovi requisiti minimi per gli edifici sia nuova generazione che per gli edifici esistenti in caso di ristrutturazioni importanti e riqualificazioni [14];
- *Decreto 26 giugno 2015. Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici* che definisce le modalità per la compilazione della relazione tecnica di progetto in caso di riqualificazioni, ristrutturazione e nuove costruzioni [15];
- *Decreto 26 giugno 2015. Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici* che definisce i nuovi parametri per la redazione dell'attestato di prestazione energetica (APE), valido ora su tutto il territorio nazionale. [16]

4 La diagnosi energetica

La diagnosi energetica è un documento che permette lo studio e l'analisi approfondita di un edificio con lo scopo di evidenziare eventuali criticità presenti. Al fine della redazione della stessa è fondamentale che l'Auditor energetico, ovvero colui che ha il compito di redarre il documento, abbia uno stretto contatto con l'ente interessato. Infatti, il primo passo al fine della redazione di una diagnosi energetica è lo studio del comportamento dell'edificio nel suo stato attuale tramite l'analisi dei consumi reali. Grazie a questo studio preliminare, oltre a ciò concordato con la committenza (su quali parametri si vuole intervenire), risulta possibile successivamente proporre interventi di miglioramento mirati e specifici per ogni edificio.

La redazione di tale documento è regolata dalle norme UNI CEI EN 16247:2 , UNI CEI EN 16247:5 e dalla UNI/TR 11775 che ne definiscono i passaggi fondamentali. [17]–[22]

4.1.1 Definizione

La diagnosi energetica viene definita come: "*ispezione sistematica ed analisi degli usi e consumi di energia di un sito, di un edificio, di un sistema o di una organizzazione finalizzata ad identificare i flussi energetici ed il potenziale per miglioramenti dell'efficienza energetica ed a riferire in merito ai risultati*". [17]

4.1.2 Requisiti di qualità della diagnosi energetica secondo la norma 16247-1

La diagnosi energetica al fine di possedere un determinato livello di qualità ha la necessità di possedere diverse caratteristiche, ovvero deve essere:

- appropriata: in linea con quanto concordato con la committenza;
- completa: al fine di valutare l'edificio in tutti gli aspetti più significativi;
- rappresentativa: l'analisi deve essere basata su un quantitativo di dati reali consistente ed affidabile;
- tracciabile: deve essere chiara l'origine dei dati reali di partenza e la modalità con cui vengono elaborati i dati all'interno del documento;
- utile: deve essere in grado di valutare in un'analisi costi benefici degli interventi di risparmio energetico adatte allo scopo della diagnosi;
- verificabile: deve essere possibile verificare il raggiungimento del miglioramento di efficienza energetico ottenuto tramite gli interventi proposti.

4.1.3 I tre diversi livelli di diagnosi energetica

La diagnosi energetica essendo specifica per ogni edificio può presentare diversi gradi di dettaglio. Infatti, relativamente a quelli che sono gli obiettivi che vengono concordati, l'analisi effettuata può essere più o meno approfondita: questo diversifica la diagnosi energetica in tre diverse macro-categorie di seguito analizzate.

In Figura 9 sono identificati i principali parametri che variano tra i differenti livelli di diagnosi che vengono analizzati più dettagliatamente nei paragrafi successivi. In termini generali, si può affermare come più il grado di dettaglio è elevato maggiore è l'affidabilità dei risultati ed il loro grado di accuratezza. Essi però non sono gli unici parametri che variano in quanto questa dettagliata tipologia di diagnosi richiede inoltre un'elevata complessità operativa, un'elevata durata del procedimento ed un'elevata spesa economica. [23]



Figura 9 – Schema delle diverse variabili in relazione al diverso livello di diagnosi

4.1.3.1 DIAGNOSI DI PRIMO LIVELLO (Walk-through Audit)

È il livello più superficiale e meno costoso di diagnosi. Essa, chiamata anche diagnosi ad ispezione visiva, utilizza una visita al sito in oggetto al fine di ispezionare tutti i sistemi che possono influire nell'utilizzo dell'energia. Nonostante sia una diagnosi che si basa su un metodo di ispezione superficiale essa può comunque portare alla definizione di interventi realmente vantaggiosi per l'edificio, ovvero che comportano un risparmio significativo.

4.1.3.2 SECONDO LIVELLO (Standard Audit)

Questa tipologia di diagnosi energetica, oltre a prevedere la visita del sito in oggetto, include l'utilizzo di strumenti di misura sul posto. Grazie a ciò, risulta possibile quantificare con più precisione i flussi di energia dell'edificio e l'efficienza energetica dei vari sistemi presenti. Questo permette di ottenere un grado di precisione del documento più elevato e di conseguenza comporta un costo maggiore.

4.1.3.3 TERZO LIVELLO (Detailed Audit)

Essa rappresenta la tipologia di diagnosi energetica più dettagliata includendo un'analisi approfondita degli impieghi e dei profili d'uso di energia. Il calcolo non viene più effettuato su parametri standard bensì viene simulato il comportamento dell'edificio in maniera quanto più possibile simile alla realtà, al fine di individuare delle quantità di consumo comparabili direttamente con le quantità reali.

Viene quindi tenuta in conto la variabilità del clima esterno e tutti i fattori che influiscono nelle varie modalità di utilizzo della struttura e che possono quindi determinare una variazione dei consumi (un esempio può essere il fattore di utilizzo della struttura, le temperature di set-point interne etc.).

4.1.4 Fasi della diagnosi secondo la norma UNI CEI EN 16247-1 e -2 e UNI/TR 11775

La redazione di una diagnosi energetica si suddivide in diverse fasi schematizzate nel diagramma di flusso rappresentato in Figura 10 e analizzate più nel dettaglio nei successivi paragrafi.



Figura 10 – Schema di flusso della diagnosi energetica [18]

4.1.4.1 Il contatto preliminare

Rappresenta la prima fase della diagnosi energetica ed è fondamentale in quanto permette di capire quale sarà il taglio dell'analisi che dovrà essere eseguita sull'edificio in questione. Infatti, in questa prima fase si discute di diversi aspetti come:

- i fini della diagnosi: ovvero qual è l'obiettivo che il committente vuole raggiungere. Esso può essere più di carattere economico (quindi una riduzione dei costi relativi ai consumi) oppure più di carattere ambientale (una riduzione nelle emissioni di inquinanti in atmosfera);
- quali servizi energetici saranno compresi nell'attività di diagnosi;
- il grado di accuratezza che si vuole avere sull'analisi dei dati.

Questi tre aspetti determinano la redazione del documento diagnostico che sarà quindi costruito al fine di ottenere una risposta o una soluzione a quanto richiesto dal committente.

4.1.4.2 *L'incontro di avvio*

Esso rappresenta il momento in cui il professionista incontra il committente. Durante questo incontro vengono concordate nel dettaglio le fasi operative che riguarderanno la redazione della diagnosi: viene per esempio redatto il cronoprogramma dei sopralluoghi, verificata la documentazione tecnica, definito il livello di coinvolgimento degli occupanti dell'edificio e accordate le condizioni di accesso alle aree oggetto di indagine. Oltre ciò, vengono inoltre identificati i possibili rischi per la salute a cui l'Audit può andare incontro.

4.1.4.3 *Raccolta dati*

Essa deve essere appropriata allo scopo della diagnosi energetica. In particolare alcuni dei documenti necessari alla redazione del documento possono essere:

- planimetrie, prospetti, schemi d'impianto e tutti i documenti tecnici esistenti in merito a geometria e dimensione dell'edificio;
- profili di occupazione dell'edificio;
- temperature di set point all'interno degli ambienti utilizzati;
- profilo di utilizzo dell'edificio;
- documentazione relativa a interventi di manutenzione/riqualificazione avvenuti precedentemente;
- relazione tecnica se disponibile;
- consumi energetici della struttura relativi ad almeno gli ultimi tre anni;
- elenco delle apparecchiature presenti;

4.1.4.4 *L'attività in campo*

Essa consiste in sopralluoghi in sito che permettono, ove siano presenti dati mancanti, di integrarli tramite colloqui con gli occupanti della struttura e/o rilievi.

Si specifica come durante questa attività possono essere utilizzati anche strumenti specifici come ad esempio la termocamera: strumento che permette di rilevare la temperatura superficiale delle strutture edilizie.

4.1.4.5 L'analisi

Una volta raccolti tutti i dati necessari si passa ad analizzarli. Il fine dell'analisi è quello di definire un consumo di riferimento che servirà come punto di partenza per la valutazione di tutti gli interventi che verranno in seguito proposti.

4.1.4.6 Il rapporto

Esso rappresenta il documento finale da consegnare al committente. Si compone solitamente di una parte iniziale dove viene analizzato lo stato di fatto dell'edificio e, di una parte successiva in cui vengono proposti interventi mirati valutati tramite un'analisi costi-benefici.

4.1.4.7 L'incontro finale

Esso costituisce la parte conclusiva della redazione della diagnosi energetica in cui viene presentato il progetto al committente. A seguito dell'esposizione del lavoro svolto, viene quindi valutato se i risultati conseguiti tramite l'elaborato siano esaustivi o meno. In particolare, se si ritiene che non lo siano, vengono presi accordi che prevedono future analisi più dettagliate.

5 Presentazione del progetto scolastico

Il progetto in questione si articola nello studio e nell'analisi di dieci differenti edifici con finalità scolastiche (categoria E.7 - edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili secondo il D.P.R. 412/1993) situate all'interno del Comune di Settimo Torinese. Gli edifici analizzati risalgono ad un'epoca di costruzione compresa tra fine degli anni '50 e gli anni '80 e sono quasi tutti edifici isolati (ad eccezione per la scuola primaria "Giacosa" che presenta un centro per anziani in un locale adiacente) situati in un contesto a medio/alta densità abitativa.

Lo scopo del progetto è la redazione di dieci differenti diagnosi che analizzino la situazione dello stato attuale di ciascun edificio scolastico e propongano tecnologie di intervento mirate all'ottenimento di un risparmio, energetico ed economico, rispetto allo stato attuale. In particolare si segnala come, in base a quanto concordato con la committenza, il lavoro di diagnosi è stato circoscritto all'analisi dei seguenti servizi energetici:

- Climatizzazione invernale;
- Produzione di acqua calda sanitaria;
- Illuminazione artificiale;
- Ventilazione (se presenti all'interno della struttura e responsabili di un consumo energetico rilevante nel bilancio complessivo).

Si specifica inoltre come il consumo legato alle apparecchiature elettriche quali per esempio terminali di ufficio, lavagne interattive multimediali L.I.M., elevatori, etc. sono stati ritenuti trascurabili nella definizione del bilancio totale dell'edificio e per tale ragione non sono stati oggetto di approfondimenti all'interno del presente elaborato.

In Figura 11 è possibile individuare la locazione di ognuno degli edifici componenti il parco edilizio oggetto di studio, in particolare essi sono:

1. Scuola primaria Vivaldi;
2. Scuola primaria Giacosa;
3. Succursale secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Gobetti);
4. Scuola primaria Roncalli;
5. Succursale scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli" (ex. Calvino);
6. Scuola primaria Martiri della Libertà;
7. Scuola primaria Andersen;
8. Scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli";
9. Succursale scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Matteotti);
10. Asilo nido Aldo Moro.



Figura 11 – Vista dall'alto del Comune di Settimo Torinese con indicata l'ubicazione delle dieci scuole

Di seguito sarà effettuata una panoramica generale di ogni edificio oggetto dello studio al fine di rendere noti gli aspetti fondamentali a livello edilizio, termico ed illuminotecnico che caratterizzano ognuno di essi. Si specifica come all'interno di ciascuna struttura, oltre alla presenza delle aule vere e proprie, sono presenti alcuni locali accessori allo svolgimento dell'attività scolastica, anch'essi climatizzati dagli impianti centralizzati, tra cui si segnalano:

- ambienti distributivi interni climatizzati (androni, corridoi, scale interne)
- uffici del personale e sale riunioni;
- zona refettorio e locale preparazione pasti;
- biblioteche scolastiche;
- palestra e locali servizio.

5.1 Scuola primaria Vivaldi

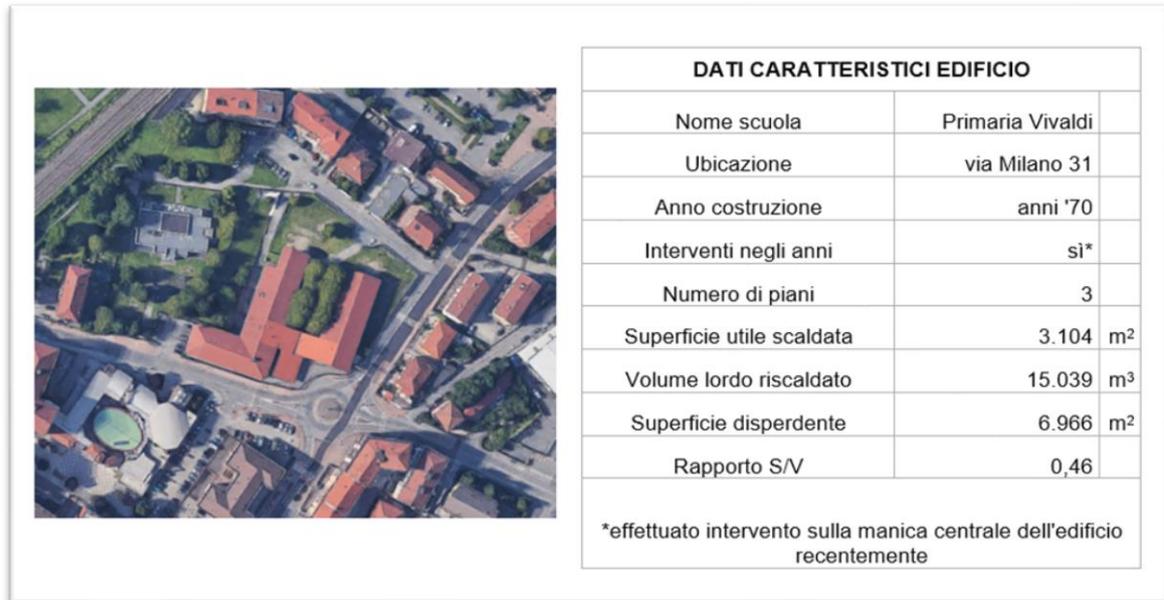


Figura 12 – Vista aerea dell'edificio e dati caratteristici – scuola primaria Vivaldi

INVOLUCRO EDILIZIO

Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:
- **involucro opaco verticale:** esso si compone di murature in laterizio con cassa vuota, con finitura interna in intonaco e esterna in mattone paramano o intonaco e murature perimetrali in blocchetti di calcestruzzo, con interposto pannello di materiale coibente;



Figura 13 –Dettaglio stratigrafia tamponamento opaco palestra

- **involucro opaco orizzontale:** solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento;
- **copertura:** solaio di copertura disperdente verso l'ambiente sottotetto in laterocemento. Copertura della porzione di collegamento tra le due maniche del tipo a falde, racchiuse superiormente da una copertura discontinua in tegole in terracotta, mentre all'intradosso è presente una controsoffittatura in lastre di cartongesso, oltre la quale si è ipotizzata la presenza di pannelli di materiale coibente;



Figura 14 –Dettaglio copertura a falde

- **involucro trasparente:** serramenti costituiti da telaio metallico privo di tecnologia a taglio termico e vetro camera.



Figura 15 – Dettaglio di un serramento all'interno di un'aula scolastica

**IMPIANTO
TERMICO**

L'impianto termico per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore di calore a piastre ispezionabili). **L'allaccio al TLR è avvenuto solo a valle della stagione 2017/2018.**



Figura 16 –Scambiatore presente in centrale termica

In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spengimento delle singole reti.

Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da dorsali localizzate a soffitto dell'ambiente interrato, da cui si distaccano colonne di collegamento con i collettori di zona. Da questi si diramano a pavimento le tubazioni a servizio dei singoli terminali d'impianto (radiatori).

La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita tramite bollitori elettrici presenti all'interno dei locali interessati.



Figura 17 – Collettore di zona presente all'interno degli spogliatoi

**IMPIANTO
ILLUMINAZIONE
ARTIFICIALE**

Il sistema di illuminazione artificiale è costituito sia da sorgenti di tipo a LED sia da sorgenti di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza. Ove sono presenti apparecchi luminosi di tipo a LED sono installati dei sensori automatici per l'accensione e lo spegnimento delle luci, mentre negli altri locali sono presenti solo controlli manuali (on/off). Sono presenti infine alcune sorgenti di tipo alogeno.



Figura 18 – Esempio di sorgente luminosa di tipo a LED (sinistra) e a plafoniera con tubi a fluorescenza (destra)

5.2 Scuola primaria Giacosa

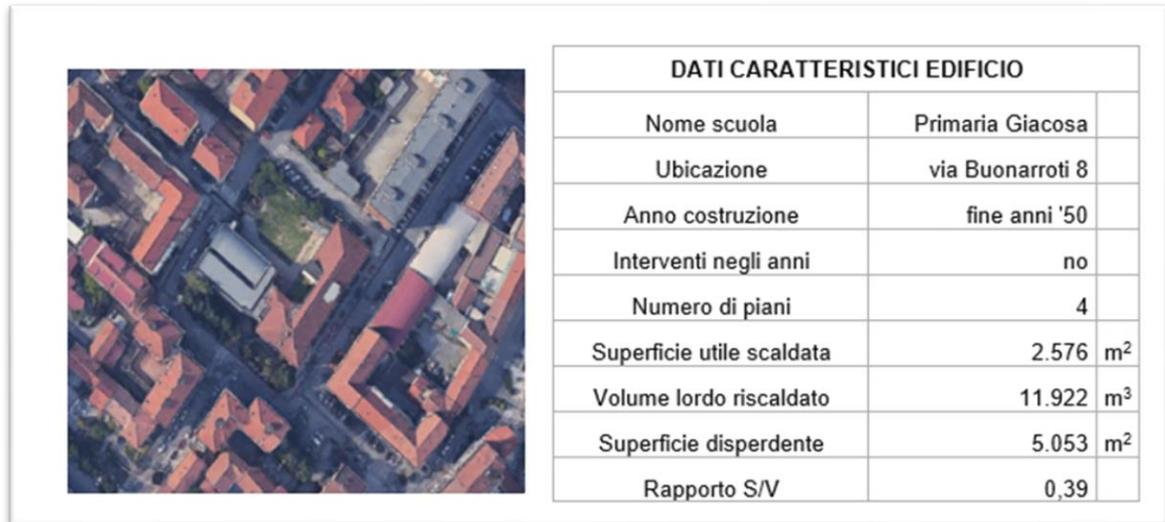


Figura 19 – Vista aerea dell'edificio e dati caratteristici – scuola primaria Giacosa

INVOLUCRO EDILIZIO

Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:

- **involucro opaco verticale:** esso si compone di tamponamenti opachi perimetrali in laterizio con una finitura interna in intonaco e finiture esterne in paramano o intonaco;



Figura 20 – Porzione di facciata esterna che presenta finitura in paramano (porzione più scura) e intonaco (porzione più chiara)

- **involucro opaco orizzontale:** solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento;
- **copertura:** sono presenti due tipologie di copertura:
 - solaio di copertura disperdente verso ambiente sottotetto in laterocemento;
 - copertura piana costituita da un solaio in laterocemento con strato di impermeabilizzazione bituminosa all'estradosso;
- **involucro trasparente:** serramenti in parte dotati di vetro camera ed in parte di vetro singolo, caratterizzati da un telaio metallico, privo di tecnologia a taglio termico.



Figura 21 – Dettaglio di un serramento all'interno dell'edificio scolastico

IMPIANTO TERMICO

L'impianto termico per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore di calore a piastre ispezionabili). **L'allaccio al TLR è avvenuto solo a valle della stagione 2017/2018.**



Figura 22 – Scambiatore di allaccio alla rete TLR

In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.

Il sottosistema di distribuzione de fluido termovettore è composto da dorsali localizzate a soffitto degli ambienti interrati da cui si distaccano le colonne e di collegamento ai singoli corpi scaldanti correnti a vista all'interno degli ambienti climatizzati.



Figura 23 – Rete di distribuzione a vista

I terminali di emissioni sono costituiti principalmente da radiatori ad eccezione del locale della palestra dove sono presenti ventilconvettori.

La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita tramite bollitori elettrici presenti all'interno dei locali interessati.

**IMPIANTO
ILLUMINAZIONE
ARTIFICIALE**

Il sistema di illuminazione artificiale è costituito principalmente da sorgenti di tipo a LED dotati , in alcuni locali, di sensori di accensione/spegnimento automatico. Si segnala inoltre la presenza, in numero più contenuto, di sorgenti luminose di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza.



Figura 24 – Apparecchio illuminante a LED (sinistra), a fluorescenza (destra)

5.3 Succursale scuola secondaria di primo grado “A. Gramsci” (ex. Gobetti)

DATI CARATTERISTICI EDIFICIO	
Nome scuola	Succursale scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Gobetti)
Ubicazione	via Milano 4
Anno costruzione	anni '70
Interventi negli anni	si*
Numero di piani	2
Superficie utile scaldata	2.921 m ²
Volume lordo riscaldato	13.123 m ³
Superficie disperdente	7.890 m ²
Rapporto S/V	0,6

*eseguita coibentazione della copertura

Figura 25 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – succursale scuola media A. Gramsci

<p>INVOLUCRO EDILIZIO</p>	<p>Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti: - involucro opaco verticale: tamponamenti perimetrali prevalentemente in blocchetti di calcestruzzo alleggerito o laterizio con cassa-vuota;</p>  <p>Figura 26 – Esempio di una porzione di facciata esterna priva di intonacatura</p>
----------------------------------	---

- **involucro opaco orizzontale**: solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento;



Figura 27 – Solaio di separazione verso gli ambienti seminterrati non riscaldati

- **copertura**: costituita da solaio in laterocemento e pannello sandwich di materiale coibente all'estradosso con interposta camera d'aria ventilata. Si segnala la presenza di un numero contenuto di lucernai costituiti verosimilmente da doppio strato in polimetilmetacrilato;

- **involucro trasparente**: serramenti prevalentemente dotati di vetro camera e di telaio metallico privo di tecnologia a taglio termico.

IMPIANTO TERMICO

L'impianto termico per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore di calore a piastre saldobrasate. **L'allaccio al TLR è avvenuto solo a valle della stagione 2018/2019.**



Figura 28 – Scambiatore di calore presente in centrale termica

In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.

	<p>Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da dorsali localizzate a soffitto dell'ambiente interrato, da cui si distaccano colonne di collegamento ai singoli corpi scaldanti (prevalentemente radiatori).</p> <p>La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita sia utilizzando come generatore lo scambiatore di calore (palestra) sia tramite bollitori elettrici presenti all'interno di specifici locali interessati.</p>
<p>IMPIANTO ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE</p>	<p>Il sistema di illuminazione artificiale è costituito principalmente da sorgenti di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza ed è provvisto unicamente di sistemi di accensione/spegnimento diretti (comandi on/off azionati dall'utenza).</p>

5.4 Scuola primaria Roncalli

	DATI CARATTERISTICI EDIFICIO	
	Nome scuola	Primaria Roncalli
	Ubicazione	via Cuneo 1
	Anno costruzione	anni '80
	Interventi negli anni	sì*
	Numero di piani	3
	Superficie utile scaldata	3.040 m ²
	Volume lordo riscaldato	14.224 m ³
	Superficie disperdente	6.320 m ²
	Rapporto S/V	0,44
*effettuato intervento sulla copertura della palestra		

Figura 29 – Vista aerea dell'edificio e dati caratteristici – scuola primaria Roncalli

INVOLUCRO EDILIZIO	<p>Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>involucro opaco verticale</u>: esso si compone in parte di murature in laterizio con cassa vuota, con finitura interna in intonaco ed in parte di murature in calcestruzzo armato; - <u>involucro opaco orizzontale</u>: solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento; - <u>copertura</u>: presenza di quattro tipi di copertura: <ol style="list-style-type: none"> 1 - copertura principale del complesso scolastico costituita da un solaio in laterocemento disperdente su locale sottotetto; 2 - copertura piana ipotizzata costituita da doppio solaio in laterocemento con interposta intercapedine d'aria. Essa presenta superiormente uno strato bituminoso con funzione impermeabilizzante;
---------------------------	--



Figura 30 - Dettaglio del solaio di copertura piana

3 - copertura del locale refettorio costituita da solaio in laterocemento con strato coibente all'estradosso;



Figura 31 - Dettaglio del coibente presente all'estradosso al solaio di copertura dell'ambiente refettorio

4 - copertura del locale della palestra costituita da solaio in laterocemento con strato coibente sia all'intradosso che all'estradosso.

- **involucro trasparente**: serramenti in ferro o alluminio costituiti da vetro singolo con telaio metallico privo di tecnologia a taglio termico.



Figura 32 –Esempi di serramenti in ferro presenti nell'edificio scolastico

IMPIANTO TERMICO

L'impianto termico per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore di calore dotato di guscio coibente.



Figura 33 –Fotografia dello scambiatore presente in centrale termica

In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.

Il sistema di distribuzione del fluido termovettore risulta costituito da dorsali localizzate a soffitto dell'ambiente interrato ed in parte nei locali riscaldati presenti al medesimo piano. Dalle dorsali di distribuzione si distaccano delle colonne montanti correnti all'interno dei tamponamenti della struttura che vanno a servire ogni terminale di emissione (radiatori).

	<p>La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita tramite bollitori elettrici presenti all'interno dei locali interessati.</p>
IMPIANTO ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	<p>Il sistema di illuminazione artificiale è costituito sia da sorgenti di tipo a LED sia da sorgenti di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza. Sono presenti esclusivamente sistemi di controllo manuale per l'accensione e lo spegnimento delle luci (on/off).</p>  <p>Figura 34 –Esempio luce a fluorescenza nell'edificio</p>

5.5 Succursale scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli” (ex. Calvino)

	DATI CARATTERISTICI EDIFICIO	
	Nome scuola	Succursale scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli” (ex. Calvino)
	Ubicazione	viale Piave 21
	Anno costruzione	anni '80
	Interventi negli anni	si*
	Numero di piani	3
	Superficie utile scaldata	4.045 m ²
	Volume lordo riscaldato	18.362 m ³
	Superficie disperdente	7.818 m ²
	Rapporto S/V	0,43
<p>*effettuato intervento sulla copertura Note: all'interno del volume riscaldato sono inclusi i locali polifunzionali presenti al piano interrato allacciati all'impianto termico centralizzato</p>		

Figura 35 – Vista aerea dell'edificio e dati caratteristici – succursale scuola media G. Nicoli

INVOLUCRO EDILIZIO	<p>Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - involucro opaco verticale: tamponamenti perimetrali costituiti prevalentemente da pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato rivestiti internamente da intonaco e dotati nella parte centrale di lastre di materiale coibente. Sono presenti porzioni contenute di muratura in laterizio a cassavuota;
---------------------------	---



Figura 36 – Esempio di muratura in elementi prefabbricati (porzione laterale della palestra)

- **involucro opaco orizzontale:** solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento;
- **copertura:** copertura piana con struttura portante in laterocemento rivestita esternamente da guaina bituminosa con funzione impermeabilizzante. Sono presenti dei lucernai per l'illuminazione naturale.
- **involucro trasparente:** serramenti in parte costituiti da telaio in alluminio con tecnologia a taglio termico e vetro camera e in parte dotati di telaio in alluminio senza taglio termico e con vetro camera.



Figura 37 – Dettaglio di un serramento presente nell'edificio scolastico

**IMPIANTO
TERMICO +
UNITA'
TRATTAMENTO
ARIA (UTA)**

L'impianto termico per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore di calore dotato di guscio coibente.



Figura 38 - Scambiatore di calore presente in centrale termica

In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.

Il sistema di distribuzione del fluido termovettore risulta costituito da dorsali localizzate a soffitto dell'ambiente interrato. Dalle dorsali si diramano colonne montanti di collegamento con i collettori di zona. Detti collettori alimentano i terminali di emissione (radiatori).

Presenza di un impianto per la climatizzazione invernale e la ventilazione meccanica del tipo ad aria alimentato da un'unità di trattamento aria (UTA) dedicato agli ambienti della palestra e degli spogliatoi.



Figura 39 – Unità di trattamento aria a servizio della palestra

La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita per quanto riguarda la palestra e gli spogliatoi usando come generatore lo scambiatore di calore. Per la restante porzione dell'edificio scolastico tramite bollitori elettrici presenti all'interno dei locali interessati.

**IMPIANTO
ILLUMINAZIONE
ARTIFICIALE**

L'impianto di illuminazione artificiale presenta principalmente sorgenti di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza ed è provvisto unicamente di sistemi di accensione/spegnimento diretti (comandi on/off azionati dall'utenza). All'interno della palestra sono presenti sorgenti luminose di tipo alogeno, anch'esse dotate di accensione/spegnimento manuale.

5.6 Scuola primaria Martiri della Libertà

DATI CARATTERISTICI EDIFICIO	
Nome scuola	Primaria Martiri della Libertà
Ubicazione	via Fiume 18
Anno costruzione	anni '60
Interventi negli anni	no
Numero di piani	3
Superficie utile scaldata	3.091 m ²
Volume lordo riscaldato	11.014 m ³
Superficie disperdente	6.376 m ²
Rapporto S/V	0,42



Figura 40 – Vista aerea dell'edificio e dati caratteristici – scuola primaria Martiri della Libertà

INVOLUCRO EDILIZIO

Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:

- **involucro opaco verticale**: tamponamenti perimetrali in laterizio forato con cassa vuota ed in minima parte in laterizio pieno con finitura interna ed esterna in intonaco. Presenza inoltre di murature interrata controterra disperdenti verso l'esterno (intercapedine aerata) in calcestruzzo armato;
- **involucro opaco orizzontale**: solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento;
- **copertura**: solaio di copertura disperdente verso ambiente sottotetto e copertura piana disperdente verso esterno in laterocemento;



Figura 41 - Dettaglio dell'ambiente sottotetto

	<p>- <u>involucro trasparente:</u> serramenti prevalentemente costituiti da vetro camera con telaio metallico privo di tecnologia a taglio termico.</p>
<p>IMPIANTO TERMICO</p>	<p>L'impianto termico per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore di calore a piastre ispezionabili dotato di guscio coibente.</p> <div data-bbox="742 600 1082 1106" data-label="Image"> </div> <p>Figura 42 –Fotografia dello scambiatore presente in centrale termica</p> <p>In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.</p> <p>Il sistema di distribuzione del fluido termovettore risulta costituito da una rete di distribuzione orizzontale a vista all'interno del piano seminterrato da cui si distaccano le colonne montanti correnti nell'intercapedine dei muri ai piani successivi. Queste vanno poi a servire ogni terminale d'emissione (radiatori).</p> <p>La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita tramite bollitori elettrici presenti all'interno dei locali interessati.</p>
<p>IMPIANTO ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE</p>	<p>Il sistema di illuminazione artificiale è costituito principalmente da sorgenti di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza. All'interno dei connettivi sono invece presenti sorgenti di illuminazione di tipo a LED. Non è presente alcun controllo automatico per l'accensione e lo spegnimento delle sorgenti luminose ad eccezione dei locali dei servizi igienici che presentano rilevatori di presenza.</p>

**IMPIANTO
VENTILAZIONE
MECCANICA**

All'interno dell'edificio scolastico è stato rilevato un sistema di estrazione meccanica responsabile della ventilazione degli ambienti al piano interrato ma, a seguito di un'opportuna simulazione energetica, la sua incidenza sul bilancio energetico totale dell'edificio è stata ritenuta irrilevante.



Figura 43 – Dettaglio condotto di ventilazione presente nel locale interrato

5.7 Scuola primaria Andersen

DATI CARATTERISTICI EDIFICIO		
Nome scuola	Primaria Andersen	
Ubicazione	via Consolata 27	
Anno costruzione	anni '70	
Interventi negli anni	no	
Numero di piani	2	
Superficie utile scaldata	2.680	m ²
Volume lordo riscaldato	12.636	m ³
Superficie disperdente	5.993	m ²
Rapporto S/V	0,47	

Figura 44 – Vista aerea dell'edificio e dati caratteristici – scuola primaria Andersen

INVOLUCRO EDILIZIO

Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:

- **involucro opaco verticale:** esso si compone di murature in laterizio con cassa vuota con finitura interna in intonaco;



Figura 45 – Esempio tamponamenti presenti nell'edificio scolastico (immagine a sinistra), dettaglio di un tamponamento danneggiato (immagine a destra)

- **involucro opaco orizzontale:** solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento;

- **copertura:** solaio di copertura disperdente verso ambiente sottotetto in laterocemento. Copertura disperdente verso l'esterno piana e copertura a falde aventi rispettivamente come rivestimento una guaina bituminosa ed una lamiera metallica anch'esse in laterocemento;



Figura 46 - Dettaglio della copertura piana presente sopra una porzione del locale spogliatoi

- **involucro trasparente:** serramenti prevalentemente in vetro camera con telaio metallico aventi tecnologia a taglio termico. È presente un numero contenuto di serramenti dotati di vetro singolo e privi di tecnologia a taglio termico;

IMPIANTO TERMICO

L'impianto termico per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore di calore a piastre ispezionabili dotato di guscio coibente.



Figura 47 –Fotografia dello scambiatore presente in centrale termica

In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.

Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da dorsali localizzate a soffitto dell'ambiente interrato, da cui si distaccano le colonne montanti correnti nelle strutture edilizie che servono i terminali di emissioni presenti nell'edificio (radiatori).

La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita per quanto riguarda la palestra e gli spogliatoi usando come generatore lo scambiatore di calore. Per la restante porzione dell'edificio scolastico tramite bollitori elettrici presenti all'interno dei locali interessati.



Figura 48 – Esempio di un bollitore elettrici presente nell'edificio scolastico

**IMPIANTO
ILLUMINAZIONE
ARTIFICIALE**

Il sistema di illuminazione artificiale è costituito principalmente da sorgenti di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza. Non sono presenti sistemi di controllo automatici per l'accensione e lo spegnimento delle luci, ma esclusivamente sistemi tradizionali di accensione manuale (on/off). All'interno della palestra, diversamente dagli altri locali, sono presenti alcune sorgenti luminose di tipo alogeno (n. 8 elementi).

5.8 Scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli”

DATI CARATTERISTICI EDIFICIO	
Nome scuola	Secondaria di primo grado G.Nicoli
Ubicazione	corso G. Agnelli 13
Anno costruzione	anni '70
Interventi negli anni	no
Numero di piani	3
Superficie utile scaldata	3.600 m ²
Volume lordo riscaldato	16.372 m ³
Superficie disperdente	7.180 m ²
Rapporto S/V	0,44



Figura 49 – Vista aerea dell'edificio e dati caratteristici – scuola media G. Nicoli

INVOLUCRO EDILIZIO

Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:

- **involucro opaco verticale**: esso si compone di murature in laterizio con cassa vuota, con finitura interna ed esterna in intonaco;
- **involucro opaco orizzontale**: solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento;



Figura 50 – Solaio di separazione verso gli ambienti seminterrati non riscaldati

- **copertura:**

-copertura della struttura scolastica verosimilmente costituita da doppio solaio in laterocemento con un'intercapedine d'aria non ventilata come strato di separazione tra di esse. Sulla sommità della soletta più in alto è presente una lamiera metallica per l'impermeabilizzazione e lo smaltimento delle acque meteoriche.

-copertura della palestra costituita da un solaio in laterocemento tradizionale, dotata della medesima finitura esterna delle altre coperture (lamiera metallica);

- **involucro trasparente:** serramenti prevalentemente dotati di vetro camera e di telaio in alluminio con tecnologia a taglio termico. Si segnala infine la presenza di un lucernaio costituito da vetro retinato presente sulla copertura.



Figura 51 – Lucernaio presente sulla copertura (vista esterna e interna)

IMPIANTO TERMICO

L'impianto per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore a piastre ispezionabili dotato di guscio coibente.



Figura 52 – Scambiatore di allaccio alla rete TLR

	<p>In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.</p> <p>Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da dorsali di distribuzione correnti a soffitto degli ambienti interrati che poi si distaccano e sono composte da:</p> <ul style="list-style-type: none"> -per quanto concerne la distribuzione del circuito aule e uffici, da colonne di distribuzione correnti nell'intercapedine dei muri esterni; -distribuzione orizzontale a collettori a servizio dell'ambiente del custode; -distribuzione a vista all'interno della palestra. <p>La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita tramite bollitori elettrici presenti all'interno dei locali interessati.</p>
<p>IMPIANTO ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE</p>	<p>Il sistema di illuminazione artificiale è composto principalmente da sorgenti led (Figura 20) installati nell'anno 2020 all'interno del complesso scolastico. Sono inoltre presenti sensori per il rilevamento di presenza che favoriscono l'accensione e lo spegnimento automatico dei terminali luminosi.</p> <div data-bbox="742 1048 1078 1500" data-label="Image"> <p>The image shows a perspective view of a school hallway. The ceiling is white with several square, recessed LED light fixtures. The walls are a mix of brick and light-colored panels. There are doors on both sides of the hallway, and the floor is a dark, speckled material. The lighting is bright and even, illustrating the use of LED technology in a school environment.</p> </div> <p>Figura 53 - Esempio di locale con illuminazione a led</p>

5.9 Succursale scuola secondaria di primo grado “A. Gramsci” (ex. Matteotti)

DATI CARATTERISTICI EDIFICIO	
Nome scuola	Succursale scuola secondaria di primo grado “A. Gramsci” (ex. Matteotti)
Ubicazione	via Cascina Nuova 32
Anno costruzione	anni '70
Interventi negli anni	no
Numero di piani	2
Superficie utile scaldata	3.780 m ²
Volume lordo riscaldato	14.516 m ³
Superficie disperdente	7.889 m ²
Rapporto S/V	0,4

Figura 54 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – succursale scuola media A. Gramsci

INVOLUCRO EDILIZIO

Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:
 - **involucro opaco verticale:** esso si compone di murature perimetrali in laterizio con cassa vuota, con finitura interna in intonaco e esterna in mattone paramano, pietra naturale e intonaco;



Figura 55 – Esempio delle diverse finiture delle superfici opache verticali della struttura (a sinistra: in basso finitura in pietra, in alto finitura in paramano; a destra finitura in intonaco)

- **involucro opaco orizzontale:** solai orizzontali interni e solaio disperdente verso l'ambiente interrato non riscaldato in laterocemento;

- **copertura:**

-copertura della struttura scolastica verosimilmente costituita da doppio solaio in laterocemento con un'intercapedine d'aria non ventilata come strato di separazione tra di esse. Sulla sommità della soletta più in alto è presente una lamiera metallica per l'impermeabilizzazione e lo smaltimento delle acque meteoriche;

-copertura della palestra costituita da un solaio in laterocemento disperdente verso un ambiente sottotetto;

- solaio copertura della porzione ampliata disperdente su ambiente sottotetto in laterocemento con strato coibente all'estradosso.



Figura 56 - Dettaglio del solaio su sottotetto della porzione aggiunta più di recente con strato coibente

- **involucro trasparente:** serramenti prevalentemente costituiti da vetro camera con telaio metallico privo di tecnologia a taglio termico, ad eccezione di pochi degli elementi i quali presentano la stessa tipologia di telaio e vetro singolo.

IMPIANTO TERMICO

L'impianto per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore a piastre ispezionabili dotato di guscio coibente.



Figura 57 – Fotografia scambiatore presente in centrale termica

In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.

Il sistema di distribuzione del fluido termovettore risulta costituito da dorsali localizzate a soffitto dell'ambiente interrato, da cui si distaccano colonne di collegamento con i collettori di zona. Da questi si diramano a pavimento le tubazioni a servizio dei singoli terminali d'impianto (radiatori e aerotermi).

La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) all'interno del complesso scolastico è eseguita per quanto riguarda la palestra usando come generatore lo scambiatore di calore mentre per la restante porzione dell'edificio tramite bollitori elettrici presenti nei locali interessati.

**IMPIANTO
ILLUMINAZIONE
ARTIFICIALE**

Il sistema di illuminazione artificiale è costituito principalmente da sorgenti di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza. Non sono presenti sistemi di controllo automatici per l'accensione e lo spegnimento delle luci, ma esclusivamente sistemi tradizionali di accensione manuale (on/off). All'interno della palestra, diversamente dagli altri locali, sono presenti alcune sorgenti luminose di tipo alogeno (n. 6 elementi).

5.10 Asilo nido Aldo Moro

DATI CARATTERISTICI EDIFICIO		
Nome scuola	Asilo nido Aldo Moro	
Ubicazione	via Raffaello Sanzio	
Anno costruzione	anni '70	
Interventi negli anni	si	
Numero di piani	2	
Superficie utile scaldata	1.135	m ²
Volume lordo riscaldato	5.490	m ³
Superficie disperdente	2.894	m ²
Rapporto S/V	0,53	
*intervento sulla copertura		

Figura 58 – Vista aerea dell'edificio e dati caratteristici – asilo nido Aldo Moro

INVOLUCRO EDILIZIO

Esso è costituito dagli elementi di involucro di seguito riassunti:
 - **involucro opaco verticale**: esso si compone di tamponamenti perimetrali prevalentemente dotati di cassavuota, con blocchetti di calcestruzzo alleggerito o laterizio rivestiti internamente in intonaco ed esternamente con blocchi a vista ;



Figura 59 – Porzione di facciata esterna con blocchetti a vista

- **involucro opaco orizzontale:** solai orizzontali interni e solaio di separazione tra le unità site al piano terreno e gli ambienti non riscaldati del piano interrato in laterocemento;
- **copertura:** copertura costituita (strati riportati dall'estradosso all'intradosso) da pannello sandwich di materiale coibente con rivestimento metallico, intercapedine con struttura di supporto per i pannelli coibenti, solaio in laterocemento; pannello di materiale di polistirene da 120 mm fissato meccanicamente mediante tassellatura alla struttura portante, controsoffittatura con lastre di cartongesso;

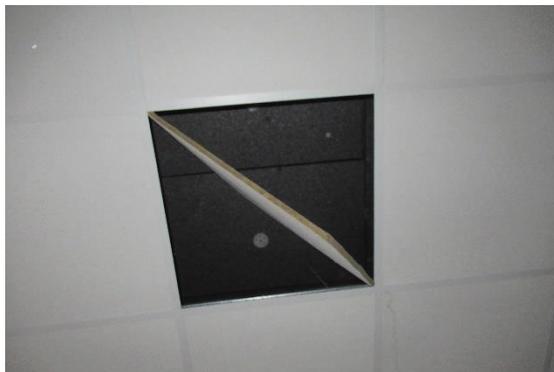


Figura 60 – Vista dall'interno della copertura con individuazione strato di coibente

- **involucro trasparente:** serramenti prevalentemente dotati di vetro camera e di telaio metallico privo di tecnologia a taglio termico, ad eccezione di pochi degli elementi i quali sono dotati di telaio in ferro e vetro singolo.

IMPIANTO TERMICO

L'impianto per la climatizzazione invernale è di tipo centralizzato, alimentato dalla rete di teleriscaldamento della città di Settimo Torinese mediante uno scambiatore a piastre ispezionabili.



Figura 61 – Scambiatore di allaccio alla rete TLR

In centrale termica sono presenti delle centraline climatiche collegate a ciascun circuito che permettono la regolazione della temperatura di funzionamento e gli orari di accensione/spegnimento delle singole reti.

Il sistema di distribuzione del fluido termovettore risulta costituito da dorsali e collegamenti orizzontali sprovvisti di coibentazione e localizzati in parte a soffitto degli ambienti interrati climatizzati ed in parte all'interno del solaio controterra per la porzione di piano terreno confinante direttamente con il terreno.



Figura 62 – Rete orizzontale di distribuzione sita all'interno del piano interrato

Da essi si distaccano colonne di collegamento ai singoli corpi scaldanti (radiator) correnti in parte a vista all'interno degli ambienti climatizzati ed in parte situata all'interno delle strutture edilizie.

La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) è svolta anch'essa dall'impianto termico centralizzato collegato alla rete di teleriscaldamento.



Figura 63 – Sistema di accumulo per la produzione di acs

**IMPIANTO
ILLUMINAZIONE
ARTIFICIALE**

Il sistema di illuminazione artificiale è costituito sia da sorgenti di tipo a plafoniera con tubi a fluorescenza sia da sorgenti di tipo LED. Non sono presenti sistemi di controllo automatici per l'accensione e lo spegnimento delle luci, ma esclusivamente sistemi tradizionali di accensione manuale (on/off).

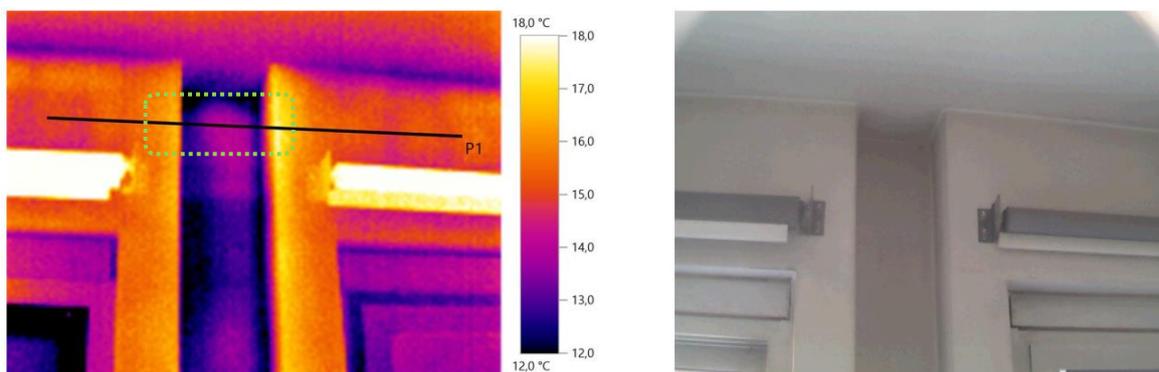
6 Analisi di alcune termografie caratteristiche

Durante i sopralluoghi effettuati, sono state eseguite delle termografie di dettaglio al fine di individuare con maggiore facilità le caratteristiche edilizie ed impiantistiche degli edifici esaminati.

In questo capitolo se ne riportano alcune tra le più interessanti, con lo scopo di fornire una maggior chiarezza sia del comportamento termico degli involucri opachi sia delle tipologie impiantistiche presenti.

6.1.1 Succursale scuola secondaria di primo grado A. Gramsci (ex. Gobetti)

All'interno della succursale della scuola di primo grado "A. Gramsci" sono presenti delle porzioni di muratura caratterizzate da spessori ridotti che rappresentano elementi di involucro poco performanti rispetto alla restante porzione di tamponamento opaco. Come si può infatti osservare dal termogramma sotto riportato in corrispondenza delle porzioni caratterizzate da spessori ridotti (Figura 64) la temperatura superficiale è inferiore di oltre 2 °C rispetto ad il resto della parete: questo è sintomatico di maggiori dispersioni di calore in tali punti dell'involucro edilizio.



Linea di profilo:

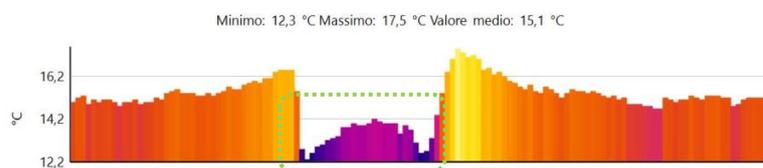
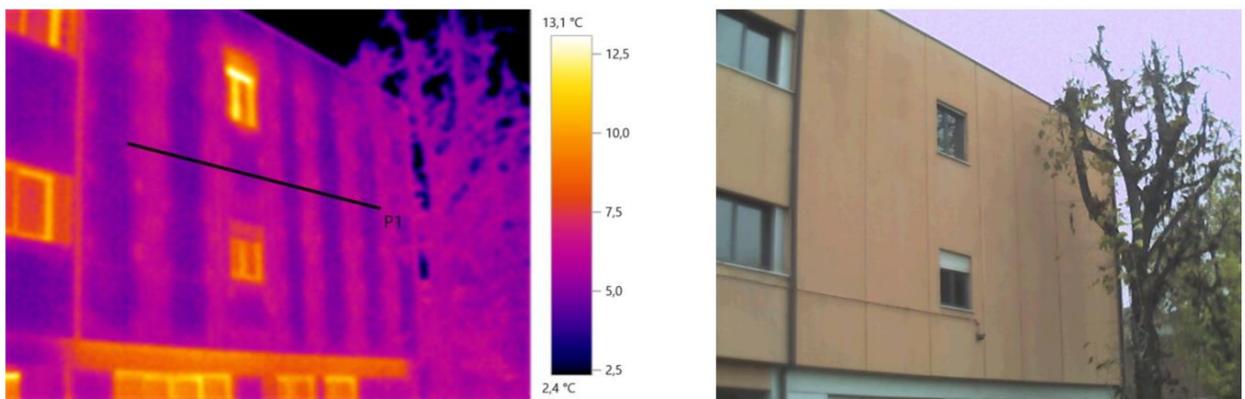


Figura 64 - Termogramma e analisi delle anomalie termiche in corrispondenza delle porzioni di muratura caratterizzate da spessori ridotti (aula - termografia dall'interno)

6.1.2 Succursale scuola secondaria di primo grado G. Nicoli (ex. Calvino)

In merito alle pareti perimetrali opache della succursale della scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli”, analizzando la Figura 65 è possibile osservare come la presenza del materiale coibente all’interno dei pannelli prefabbricati sia concentrata principalmente nella parte centrale di ciascun elemento (porzione caratterizzata da temperature più elevate – viola chiaro), mentre la cornice perimetrale risulta verosimilmente costituita unicamente da calcestruzzo armato (porzione avente minori temperature superficiali a causa di peggiori prestazioni termoisolanti– colore viola scuro). Questa caratteristica, unitamente al fatto che lo spessore delle murature perimetrali non risulta particolarmente elevato, comporta elevate dispersioni termiche imputabile a tale tecnologia edilizia.



Linea di profilo:

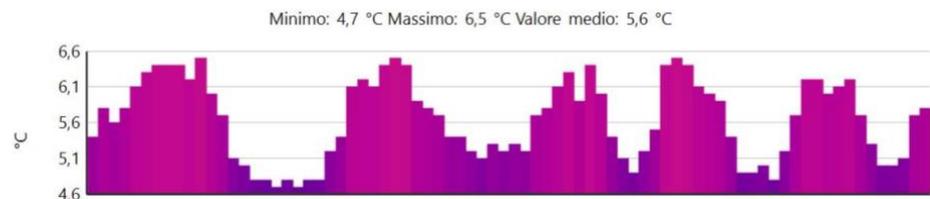


Figura 65 - Termogramma e analisi delle anomalie termiche in corrispondenza delle porzioni di muratura caratterizzate da spessori ridotti (termografia eseguita dall'esterno)

6.1.3 Scuola primaria Martiri della Libertà

Analizzando il termogramma presente in Figura 66 sono individuabili differenze di temperatura interna superficiale presenti in corrispondenza di una superficie finestrata del tipo vetro camera senza tecnologia a taglio termico. È possibile notare che i tamponamenti perimetrali opachi, più performanti rispetto ai serramenti, presentano una temperatura pari a circa 28°C (colore giallo), mentre le superfici finestate sono caratterizzate da una temperatura di circa 26°C (colore viola chiaro), elemento sintomatico di maggiori dispersioni termiche. Si specifica come la porzione di colore viola scuro che presenta una temperatura minore rispetto a tutti gli elementi prima analizzati (pari a circa 24 °C) identifica il ponte termico parete-telaio caratterizzato anch'esso da forti dispersioni termiche.

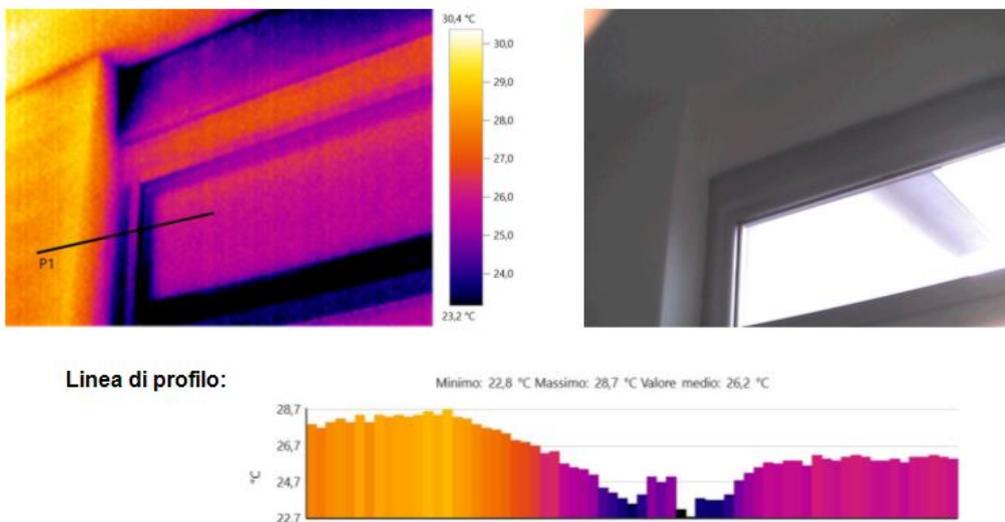


Figura 66 – Termogramma in corrispondenza di una superficie finestrata (termografia effettuata all'interno)

6.1.4 Scuola primaria Andersen

In Figura 67, è possibile osservare la termografia di uno tra i punti critici presenti all'interno dell'involucro edilizio dell'edificio in questione. Esso è rappresentato dal ponte termico strutturale che si crea nei punti di incontro tra le strutture portanti in calcestruzzo e i componenti d'involucro in laterizio. Analizzando il termogramma sono individuabili infatti le differenze di temperatura presenti in corrispondenza dell'incontro tra la parete e gli elementi portanti in calcestruzzo (travi e pilastri), i quali presentano una temperatura superficiale inferiore (pari circa a 10,9 °C) rispetto alla restante porzione del tamponamento opaco. Tale riduzione è sintomatica di un minore potere termoisolante e perciò di maggiori dispersioni termiche.

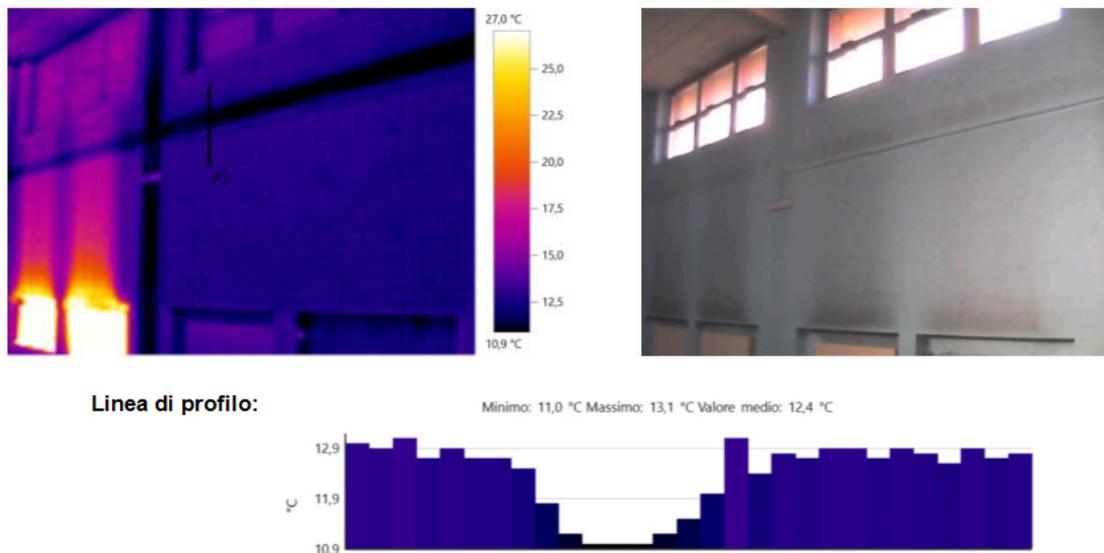
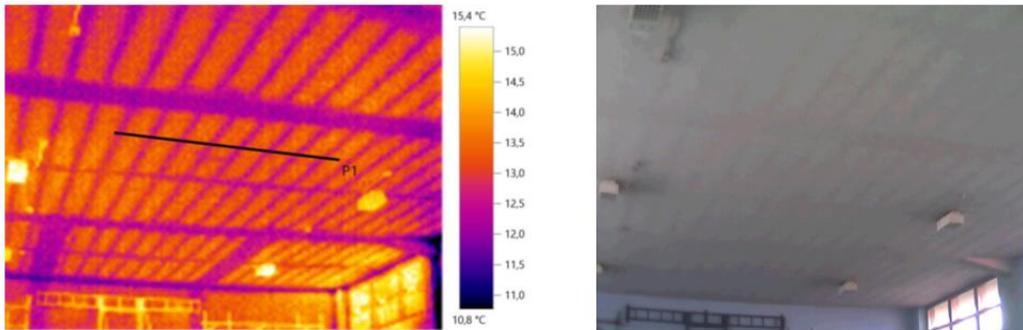


Figura 67 – Termogramma di un ponte parete-trave presente nel locale della palestra (termografia effettuata dall'interno)

Continuando con l'analisi delle termografie relative a questo edificio scolastico, si mostra un'altra termografia rappresentante il comportamento della copertura in laterocemento presente in palestra (Figura 68). Anche qui è possibile notare la marcata differenza di temperatura presente tra gli elementi costituenti la stessa, in particolare si nota come gli elementi portanti (travi e travetti in calcestruzzo) presentino un colore viola che corrisponde ad una temperatura superficiale di circa 12,5 °C mentre, la restante porzione del solaio che è caratterizzata da elementi in laterizio, presenta un colore giallo-aranciato corrispondente ad una temperatura di circa 13,5 °C. Questa differenza di temperatura presente tra i diversi elementi sopracitati è sintomo di una differente capacità termoisolante delle stesse e in questo caso particolare, di una maggiore dispersione di calore da parte degli elementi portanti in calcestruzzo.



Linea di profilo:

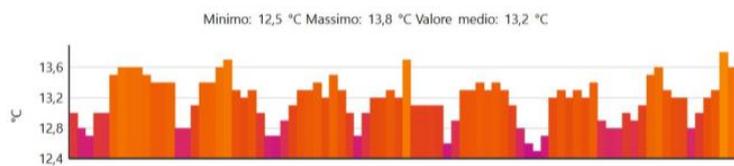
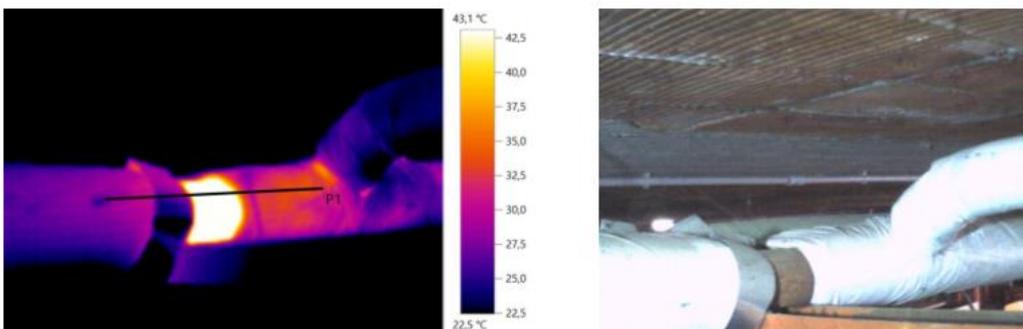


Figura 68 – Termogramma e analisi di un solaio disperdente verso ambiente sottotetto (palestra - termografia effettuata dall'interno)

6.1.5 Scuola secondaria di primo grado “G: Nicoli”

Relativamente alla scuola secondaria di primo grado “G.Nicoli”, viene rappresentato nella termografia qui di seguito (Figura 23) un tratto delle dorsali di distribuzione correnti a soffitto degli ambienti interrati, avente di una coibentazione discontinua e poco performante (si evidenzia l'elevata differenza di temperatura presente tra un tratto di tubatura coibentato - colore viola - e un tratto di tubatura privo di coibentazione caratterizzato da un'elevata temperatura superficiale -colore giallo chiaro).



Linea di profilo:

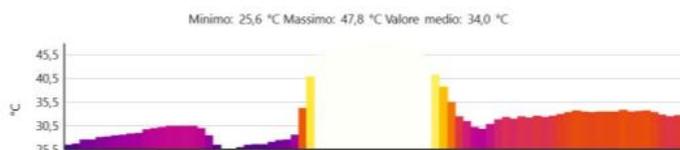


Figura 69 – Termogramma dettaglio dorsali di distribuzione site all'interno del vespaio interrato (termografia effettuata dall'interno).

7 Analisi consumi reali allo stato attuale

In questo capitolo vengono discussi i consumi reali da teleriscaldamento delle scuole in esame avuti dalla committenza.

7.1.1 ANALISI CONSUMI TERMICI REALE

Tale analisi è stata effettuata basandosi sui dati di consumo reale termici avuti dalla committenza, si specifica come nelle analisi seguenti sono presenti unicamente sette scuole invece delle dieci iniziali in quanto tre di esse sono stata allacciate al teleriscaldamento solamente da pochi anni. A causa quindi della mancanza di dati consistenti (ovvero di un database di dati di consumo reale basato almeno su tre anni) si è ritenuto necessario escluderle nelle analisi di seguito.

In Tabella 1 vengono riportati i dati di consumo reale da teleriscaldamento degli anni 2007-2014 relativi a sette delle dieci scuole. In seguito ne viene poi riportata la rappresentazione grafica (Figura 70).

Tabella 1 - Consumi reali da teleriscaldamento anni 2007-2014

SCUOLA	CONSUMO ENERGETICO REALE DA TLR (kWh _{TH})							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
SCUOLA PRIMARIA RONCALLI	309.820	371.009	420.210	386.350	347.610	354.430	356.420	356.600
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA NICOLI (EX CALVINO)	570.720	683.437	454.540	395.380	397.140	409.600	524.500	377.000
SCUOLA PRIMARIA MARTIRI DELLA LIB.	322.208	385.844	443.173	376.401	396.953	484.036	482.836	357.609
SCUOLA PRIMARIA ANDERSEN	285.270	341.611	367.340	384.620	359.060	349.570	339.570	241.980
SCUOLA MEDIA NICOLI	372.230	445.745	207.940	447.700	391.900	406.200	383.500	338.500
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA GRAMSCI (EX MATTEOTTI)	395.800	473.971	492.800	583.200	502.300	472.700	546.700	436.700
ASILO NIDO ALDO MORO	124.200	148.730	153.083	166.794	167.822	147.515	181.787	110.614

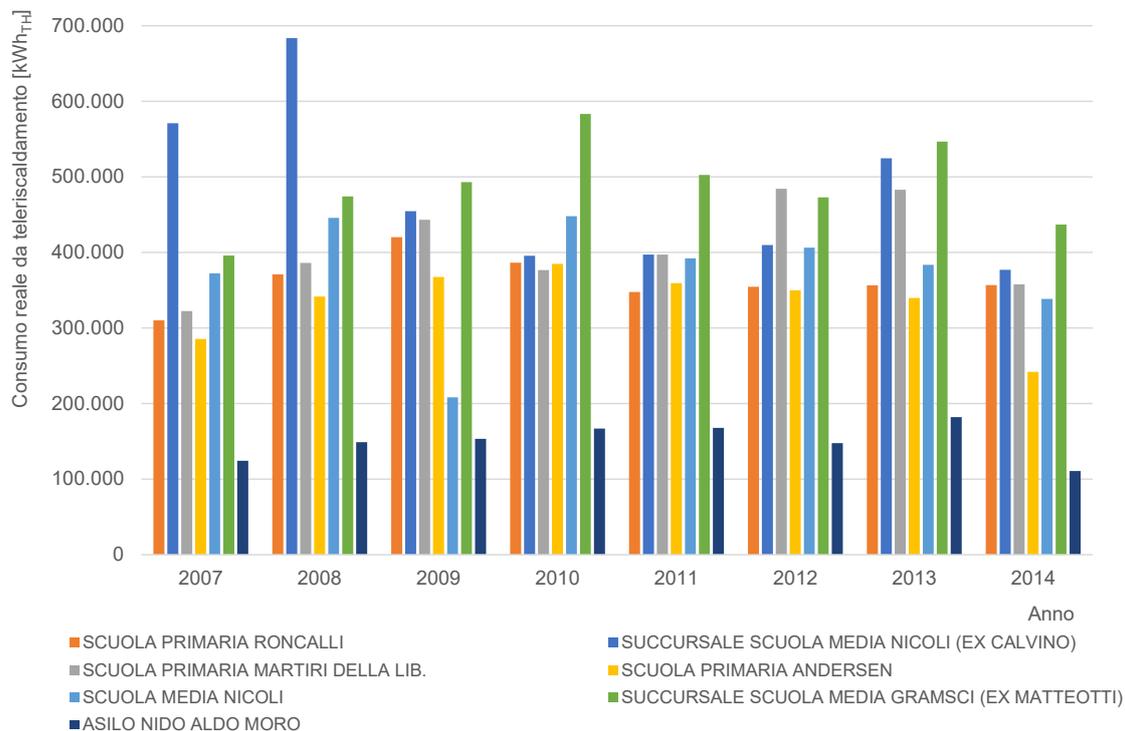


Figura 70 – Consumo reale da teleriscaldamento di sette edifici scolastici negli anni 2007-2014

Analizzando i dati appena riportati è possibile evidenziare come:

- sia presente una forte variazione tra i dati di consumo relativi al medesimo edificio scolastico negli anni monitorati: essa è diretta conseguenza della variazione delle temperature minime esterne annuali nelle diverse stagioni di riscaldamento analizzate;
- i dati di consumo da teleriscaldamento relativi ad ogni edificio scolastico, in ogni anno monitorato, risultano essere molto differenti tra loro. Questo è causato sia da fattori impiantistici, in quanto ogni scuola possiede il proprio impianto termico, sia da fattori edilizi come la dimensione della scuola in oggetto e le proprietà dell'involucro di ciascun edificio.

I dati di consumo reale così trattati non risultano quindi comparabili tra loro perciò, si è proceduto, tramite due differenti passaggi, a renderli tali.

Il primo passaggio è stato quello di normalizzare i dati di consumo relativi a diverse stagioni di riscaldamento rispetto ad un valore di gradi giorno¹ univoco rappresentativo del clima reale registrato nella località. In tal modo è stato possibile rendere i dati di consumo di ogni edificio scolastico comparabili negli anni ed inoltre, individuare la possibile presenza di dati non rappresentativi.

¹ vedere la definizione nel cap. 3 all'interno del paragrafo relativo al D.P.R. 412 del 26 agosto 1993 a pag. 14

Tale normalizzazione è stata possibile grazie alla dipendenza lineare presente tra il valore di consumo reale di una stagione di riscaldamento e la quantità dei gradi giorno misurati in quell'anno. Infatti, come è possibile osservare dal grafico in Figura 71, più i gradi giorno risultano elevati più l'energia consumata dall'edificio cresce. Si specifica come, in tale rappresentazione, vengono riportati i dati di consumo reale da teleriscaldamento evidenziati precedentemente in Tabella 1 e ne viene mostrata la linea di tendenza media globale.

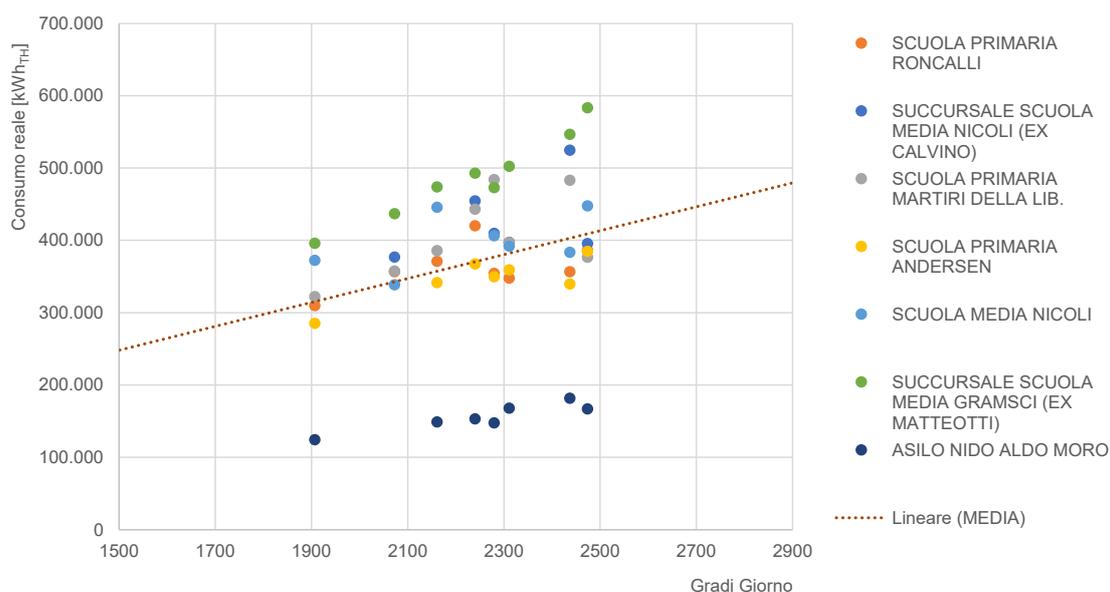


Figura 71 – Andamento consumi reali da TLR rispetto ai differenti gradi giorno

A causa del fatto che i gradi giorno relativi al Comune di Settimo Torinese non sono disponibili, al fine di effettuare la normalizzazione, è stato necessario prima di tutto ricavarli. Questo è stato effettuato tramite l'utilizzo dei dati climatici di tre differenti stazioni climatiche *Arpa* site all'interno del comune di Torino (*stazioni Torino Alenia, Torino Giardini Reali e Torino Reiss Romoli*), i quali dati sono stati elaborati in modo tale da tenere conto della differente quota altimetrica tra i punti di rilievo ed il comune interessato (pari rispettivamente a 276 m s.l.m. e 207 m s.l.m – quota relativa alla casa comunale). A partire da tali valori puntuali di temperatura sono stati poi calcolati i gradi giorno² necessari per la normalizzazione dei dati dei consumi reali (si veda Tabella 2).

Successivamente, tali valori sono stati pesati rispetto ad un valore di gradi giorno univoco ottenendo così grandezze comparabili tra di loro (in questo caso è stato scelto il valore 2.606 GG in quanto esso risulta essere il valore utilizzato dal software di calcolo relativo al Comune di interesse).

² vedere la definizione nel cap. 3 all'interno del paragrafo relativo al D.P.R. 412 del 26 agosto 1993 a pag. 14

Tabella 2 – GRADI GIORNO CALCOLATI RELATIVAMENTE AD OGNI STAGIONE TERMICA

Stagione termica	Gradi giorno reali calcolati
2006/2007	1.907
2007/2008	2.161
2008/2009	2.240
2009/2010	2.474
2010/2011	2.311
2011/2012	2.280
2012/2013	2.437
2013/2014	2.073

Normalizzando quindi i dati mostrati in precedenza in Tabella 1 si ottengono i seguenti risultati:

Tabella 3 - Consumi reali da teleriscaldamento normalizzati anni 2007-2014

DENOMINAZIONE	CONSUMO ENERGETICO DA TLR NORMALIZZATO (kWh _{TH})							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
SCUOLA PRIMARIA RONCALLI	423.383	447.409	488.869	406.964	391.983	405.107	381.137	448.287
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA NICOLI (EX CALVINO)	777.219	822.659	527.607	416.083	446.897	467.114	560.363	472.042
SCUOLA PRIMARIA MARTIRI DELLA LIB.	440.312	465.298	515.584	396.484	447.624	553.244	516.320	449.556
SCUOLA PRIMARIA ANDERSEN	387.243	410.501	426.206	404.764	403.992	398.542	362.628	302.379
SCUOLA MEDIA NICOLI	508.669	537.535	241.916	471.587	441.926	464.279	410.095	425.534
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA GRAMSCI (EX MATTEOTTI)	538.175	570.053	572.115	613.923	565.477	539.233	584.101	547.086
ASILO NIDO ALDO MORO	163.401	175.804	175.277	174.772	187.042	166.140	193.197	134.618

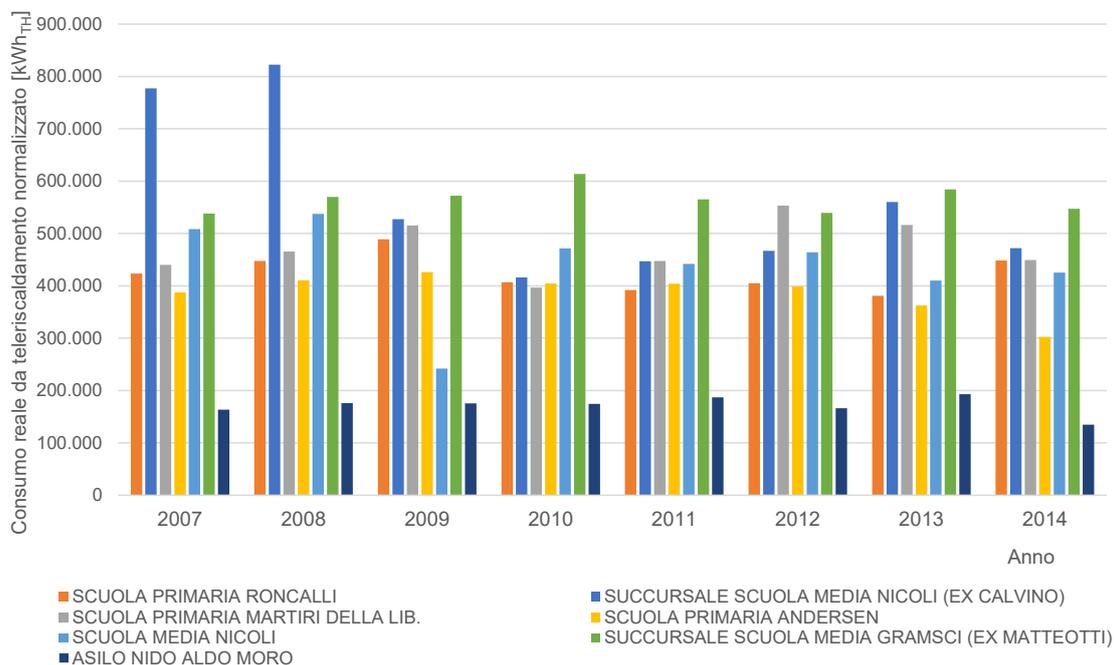


Figura 72 – Consumo reale normalizzato dei sette edifici scolastici negli anni

Analizzando i dati riportati in Tabella 3 e in Figura 72 (rappresentazione grafica) risulta chiaro come non tutte le scuole abbiano un consumo reale di energia termica da teleriscaldamento circa costante all'interno degli anni analizzati (periodo 2007-2014). Tra di esse possiamo evidenziare:

- succursale scuola secondaria di primo grado “G.Nicoli”;
- scuola secondaria di primo grado “G.Nicoli”;
- scuola primaria Andersen;
- asilo nido Aldo Moro.

Analizzando infatti i dati di consumo di questi edifici scolastici più nel dettaglio è possibile notare come:

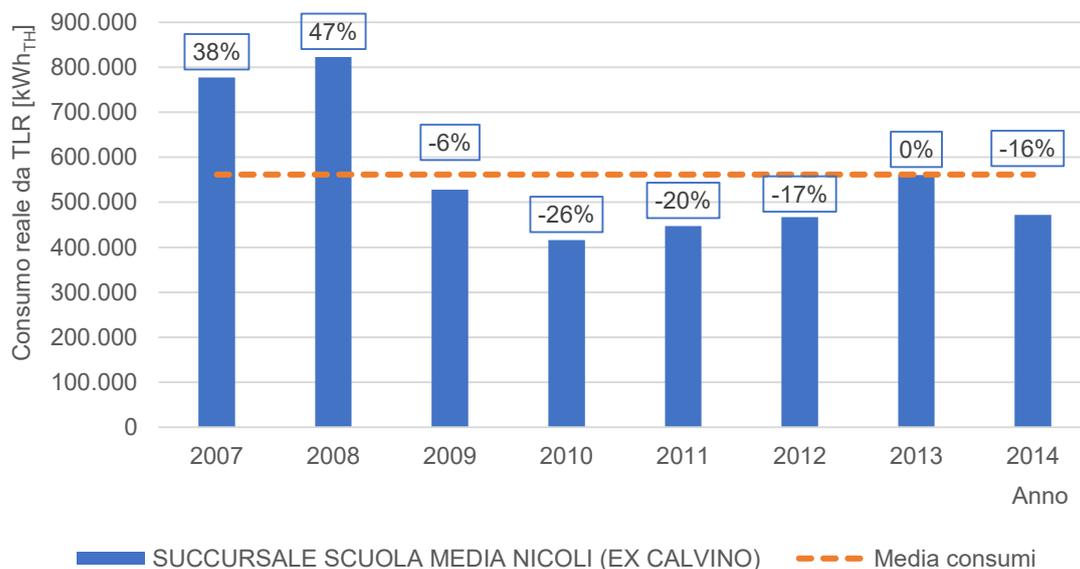


Figura 73 – Dettaglio analisi dei consumi succursale scuola media G. Nicoli (ex. Calvino)

- per quanto concerne la succursale della scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli” si nota in Figura 73 come i consumi negli anni 2007-2008 risultino più elevati (con una percentuale di scostamento rispettivamente pari al 38% e al 47%) rispetto alla media dei consumi. Questo perché a valle dell’anno 2008, grazie all’intervento di sostituzione dei serramenti, la scuola ha ridotto di molto l’entità dell’energia consumata. Al fine di dare un termine di paragone di quanto sia stata la riduzione dei consumi si evidenzia come la percentuale di decremento tra l’anno 2008 e l’anno 2009 sia pari al 36%.

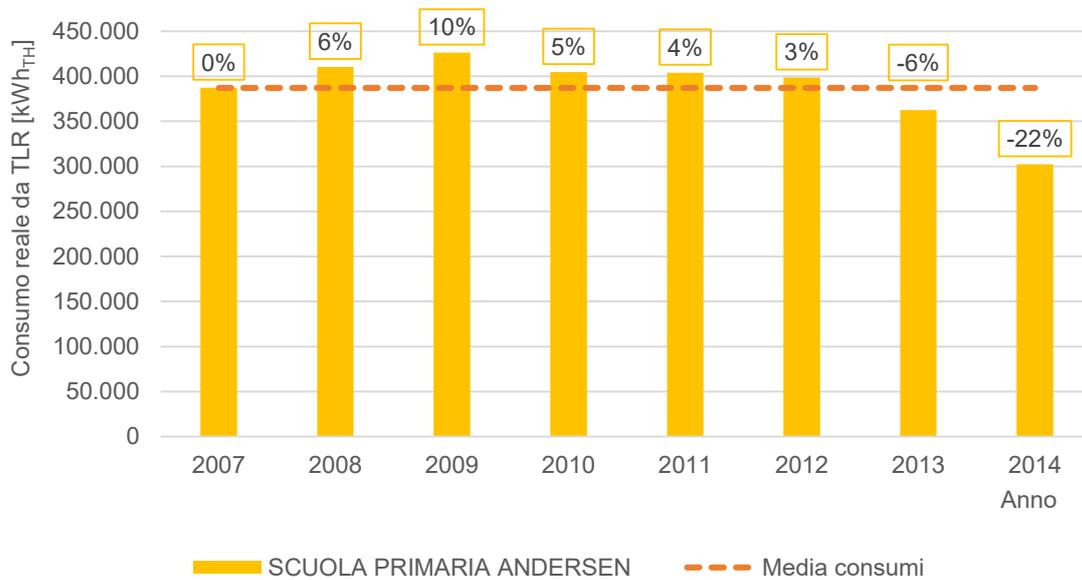


Figura 74 – Dettaglio analisi dei consumi reali scuola primaria Andersen

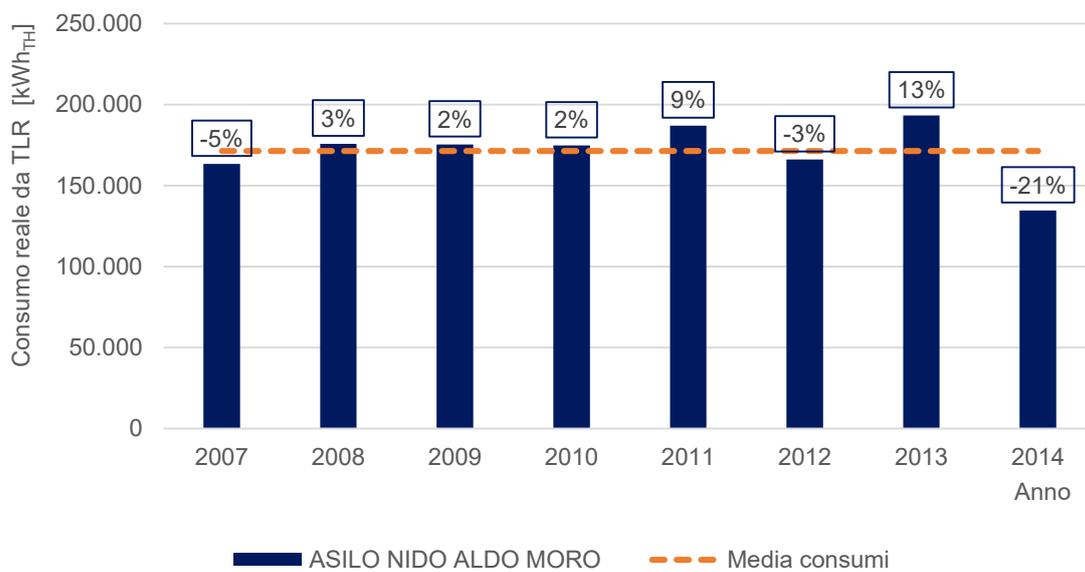


Figura 75 – Dettaglio analisi dei consumi reali asilo nido Aldo Moro

- per quanto riguarda la scuola primaria Andersen (si veda Figura 74) è possibile notare come nella stagione 2014 vi sia uno scostamento percentuale dei consumi rispetto alla media del -22%. Tali scostamenti si ipotizza possano essere imputabili a una serie di fattori, tra cui modifiche del comportamento dell'utenza e/o dei set-point e/o delle curve di regolazione e/o degli orari di funzionamento dell'impianto e/o ad una variazione della durata del periodo di riscaldamento, convenzionalmente compreso tra il 15 ottobre e il 15 aprile.

Per quanto concerne l'analisi dei dati relativo all'asilo nido Aldo Moro (si veda Figura 75) le motivazioni causa del ridotto consumo nell'anno 2014 (-21% rispetto alla media) sono state ritenute essere le medesime;

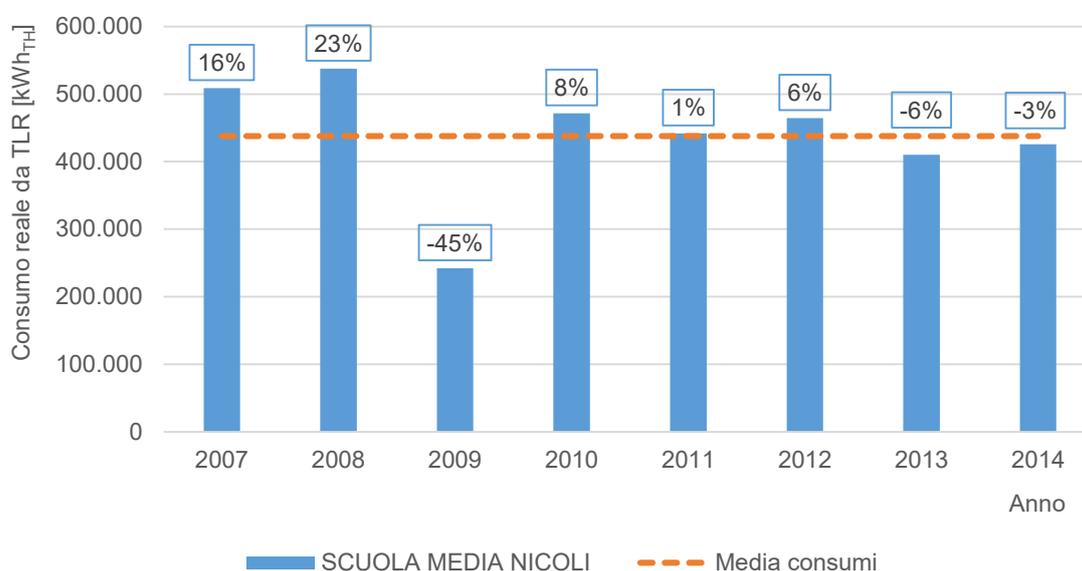


Figura 76 – Dettaglio analisi dei consumi reali della scuola media G. Nicoli

- relativamente infine alla scuola secondaria di primo grado G. Nicoli si può invece notare come i consumi nell'anno 2009 siano molto inferiori alla media, in particolare si discostano di una percentuale pari al -45%. A seguito di un colloquio con la società che ha in gestione l'impianto, si è ritenuto opportuno ipotizzare come tale dato sia correlabile ad una chiusura parziale dell'istituto scolastico o più probabilmente ad un malfunzionamento dei sistemi di misurazione.

A seguito di queste considerazioni, questi dati non sono stati inseriti all'interno dell'analisi dei consumi qui di seguito. Vengono quindi riportati in Tabella 4 i dati dei consumi reali non normalizzati effettivamente considerati nelle analisi delle differenti scuole con la media dei consumi calcolata relativamente a ciascun edificio scolastico.

Tabella 4 - Consumi reali da teleriscaldamento anni 2007-2014 esclusi i dati non significativi

DENOMINAZIONE	CONSUMO ENERGETICO DA TLR (kWh _{TH})								MEDIA
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
SCUOLA PRIMARIA RONCALLI	309.820	371.009	420.210	386.350	347.610	354.430	356.420	356.600	362.806
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA NICOLI (EX CALVINO)	-	-	454.540	395.380	397.140	409.600	524.500	377.000	426.360
SCUOLA PRIMARIA MARTIRI DELLA LIB.	322.208	385.844	443.173	376.401	396.953	484.036	482.836	357.609	406.133
SCUOLA PRIMARIA ANDERSEN	285.270	341.611	367.340	384.620	359.060	349.570	339.570	-	346.720
SCUOLA MEDIA NICOLI	372.230	445.745	-	447.700	391.900	406.200	383.500	338.500	397.968
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA GRAMSCI (EX MATTEOTTI)	395.800	473.971	492.800	583.200	502.300	472.700	546.700	436.700	488.021
ASILO NIDO ALDO MORO	124.200	148.730	153.083	166.794	167.822	147.515	181.787	-	155.704

Avendo ora dei dati di consumo da teleriscaldamento significativi per ogni scuola, al fine di poter effettuare un confronto tra di loro, è necessario trovare un metodo che permetta di eliminare la dipendenza dei vari dati rispetto alle diverse dimensioni di ogni edificio scolastico.

La strategia adottata è stata quella di trovare degli indicatori specifici su volume netto, in questo modo la totalità dei dati di consumo risulta indipendente dalle dimensioni dell'edificio considerato e quindi le differenze dei consumi da teleriscaldamento risultano un chiaro indicatore delle capacità performanti di ogni edificio.

Al fine di fornire una maggior facilità di comprensione vengono riportati i valori di volume netti sui quali sarà effettuata la costruzione degli indici (si veda Tabella 5).

Tabella 5 – Volumi netti e superfici utili delle sette scuole

SCUOLA	VOLUME netto
SCUOLA PRIMARIA RONCALLI	10.355,27
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA NICOLI (EX CALVINO)	13.913,70
SCUOLA PRIMARIA MARTIRI DELLA LIB.	11.014,00
SCUOLA PRIMARIA ANDERSEN	9.723,34
SCUOLA MEDIA NICOLI	12.061,56
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA GRAMSCI (EX MATTEOTTI)	14.516,00
ASILO NIDO ALDO MORO	3.516,59

Tabella 6 – Indici di consumo normalizzati su volume

SCUOLA	MEDIA	kWh_{TH}/m³
SCUOLA PRIMARIA RONCALLI	362.806	35
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA NICOLI (EX CALVINO)	426.360	31
SCUOLA PRIMARIA MARTIRI DELLA LIB.	406.133	37
SCUOLA PRIMARIA ANDERSEN	346.720	36
SCUOLA MEDIA NICOLI	397.968	33
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA GRAMSCI (EX MATTEOTTI)	488.021	34
ASILO NIDO ALDO MORO	155.704	44

In Tabella 6 sono indicati gli indici di consumo specifici trovati facendo il rapporto tra la media dei consumi dell'edificio scolastico in esame e il volume netto (a seconda dell'indice in questione) ad esso relativi.

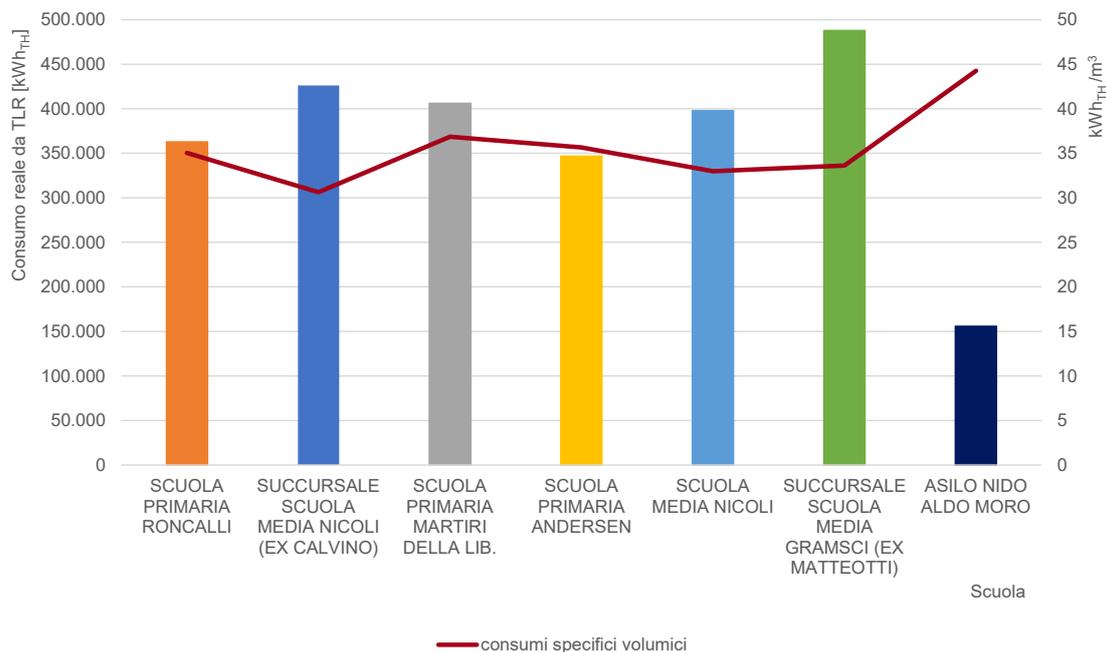


Figura 77 Media di consumo reale da TLR per ogni scuola e indice di consumo volumico (linea rossa)

Analizzando il grafico in Figura 77, in cui sono rappresentati i dati riportati in Tabella 6, si evince in primo luogo come i dati di consumo globale in esso rappresentati siano tra di loro eterogenei. Tale andamento è diretta conseguenza delle importanti differenze volumetriche esistenti (si veda tabella Tabella 5 per maggior dettaglio) e del diverso comportamento energetico delle strutture. Oltre a ciò è osservabile come il consumo della Asilo Nido Aldo Moro sia nettamente inferiore a quello medio relativo alle altre scuole.

Osservando invece i dati di consumo specifico è possibile notare come i valori riconducibili alle singole strutture scolastiche presentino un andamento più regolare e siano generalmente comprese tra i 35 kWh_{TH}/m³ ed i 40 kWh_{TH}/m³. Per quanto concerne l'Asilo Nido Aldo Moro, il relativo dato di consumo è nettamente superiore a quello degli altri istituti, ciò si ipotizza sia correlabile a due fattori concomitanti: l'elevate dispersioni termiche e il relativamente contenuto volume netto riscaldato.

7.1.2 ANALISI CONSUMI ELETTRICI

Relativamente ai consumi elettrici sono stati effettuate analisi sui dati relativi agli anni 2017,2018,2019; l'anno 2020 non è stato tenuto in considerazione in quanto, a causa dell'emergenza sanitaria da COVID-19, non è stato considerato una fonte affidabile di dati.

In Figura 78 vengono riportati i consumi medi totali di energia elettrica all'interno degli anni precedentemente citati di nove tra le dieci scuole oggetto dello studio, questo perché i dati relativi all'asilo nido Aldo Moro non sono stati forniti dalla committenza.

Come si può notare le scuole che presentano un maggior consumo reale di energia elettrica sono la scuola media Nicoli (consumo pari a 81.975 kWh_{EL}) e la scuola media Gramsci (ex Matteotti) (consumo pari a 81.510 kWh_{EL}).

Tabella 7 – Consumo totale medio reale di energia elettrica (kWh_{EL})

DENOMINAZIONE	consumo totale medio di energia elettrica (kWh _{EL})
SCUOLA PRIMARIA VIVALDI	73.515
SCUOLA PRIMARIA GIACOSA	56.143
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA GRAMSCI (EX GOBETTI)	42.850
SCUOLA PRIMARIA RONCALLI	39.884
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA NICOLI (EX CALVINO)	73.800
SCUOLA PRIMARIA MARTIRI DELLA LIB.	53.851
SCUOLA PRIMARIA ANDERSEN	43.861
SCUOLA MEDIA NICOLI	81.975
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA GRAMSCI (EX MATTEOTTI)	81.510

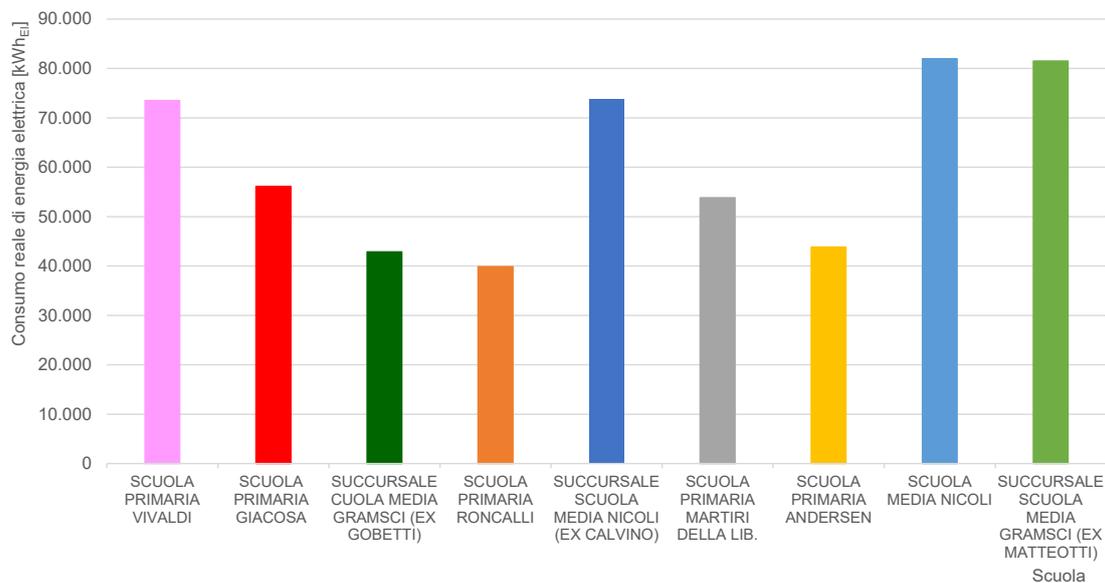


Figura 78 – Consumi reale medio di energia elettrica

Si specifica però come in molti edifici scolastici sia stata effettuata, insieme ad interventi di antisfondellamento, anche la sostituzione degli apparecchi di illuminazione. A causa di ciò, nonostante i dati di consumo siano relativamente recenti, molti edifici scolastici non presentano più la stessa configurazione delle lampade che avevano quando sono stati rilevati i dati di consumo reali. Al fine di eseguire un'analisi dello stato di fatto attuale di ogni edificio scolastico è stato quindi stimato tramite opportune simulazioni energetiche il decremento di consumo totale di energia elettrica a seguito della sostituzione degli apparecchi luminosi.

In particolare si sottolinea come, le scuole oggetto di detto intervento sono le seguenti:

- scuola primaria Vivaldi;
- scuola primaria Giacosa
- scuola primaria Roncalli;
- scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli";

Si riportano in Figura 79 i consumi reali medi totali di energia elettrica relativi allo stato di fatto di ogni edificio scolastico. In particolare, riguardo agli edifici che hanno sostituito gli apparecchi luminosi, il consumo attuale di energia elettrica è stato calcolato applicando un opportuno decremento individuato per mezzo del software di calcolo (Edilclima) a seguito di appropriate valutazioni.

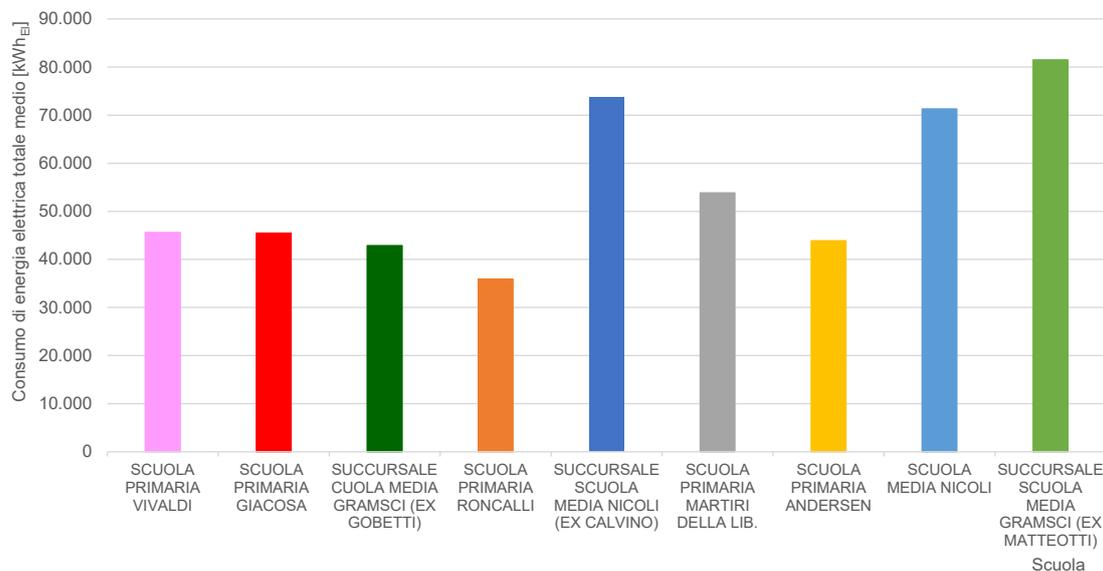


Figura 79 – Consumi reali totali di energia elettrica relativi allo stato attuale degli edifici scolastici

Analizzando i dati in Figura 79 risulta chiaro come le scuole presentino dati di consumo totale molto vari tra di loro: sicuramente questo può essere spiegato dai differenti terminali presenti all'interno di ciascun edificio scolastico ma, molto più importante, essi sono ancora dipendenti dalle effettive dimensioni della scuola in esame. Spiegando il concetto in parole più semplici è possibile affermare come, un edificio più grande presenterà un numero di apparecchi luminosi maggiore rispetto ad uno di dimensioni minori; fattore che influirà sul dato di consumo finale. Al fine di poter quindi ricavare dei dati comparabili tra di loro è necessario anche qui normalizzare i dati presentati in Tabella 7 rispetto alle dimensioni dell'edificio. I dati così ricavati vengono riportati in Tabella 8 e in Figura 80.

Tabella 8 – Consumo totale medio di energia elettrica normalizzato rispetto superficie netta

DENOMINAZIONE	indice superficiale (kWh _{EL} /m ²)
SCUOLA PRIMARIA VIVALDI	15
SCUOLA PRIMARIA GIACOSA	18
SUCCURSALE CUOLA MEDIA GRAMSCI (EX GOBETTI)	15
SCUOLA PRIMARIA RONCALLI	12
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA NICOLI (EX CALVINO)	18
SCUOLA PRIMARIA MARTIRI DELLA LIB.	17
SCUOLA PRIMARIA ANDERSEN	16
SCUOLA MEDIA NICOLI	20
SUCCURSALE SCUOLA MEDIA GRAMSCI (EX MATTEOTTI)	22

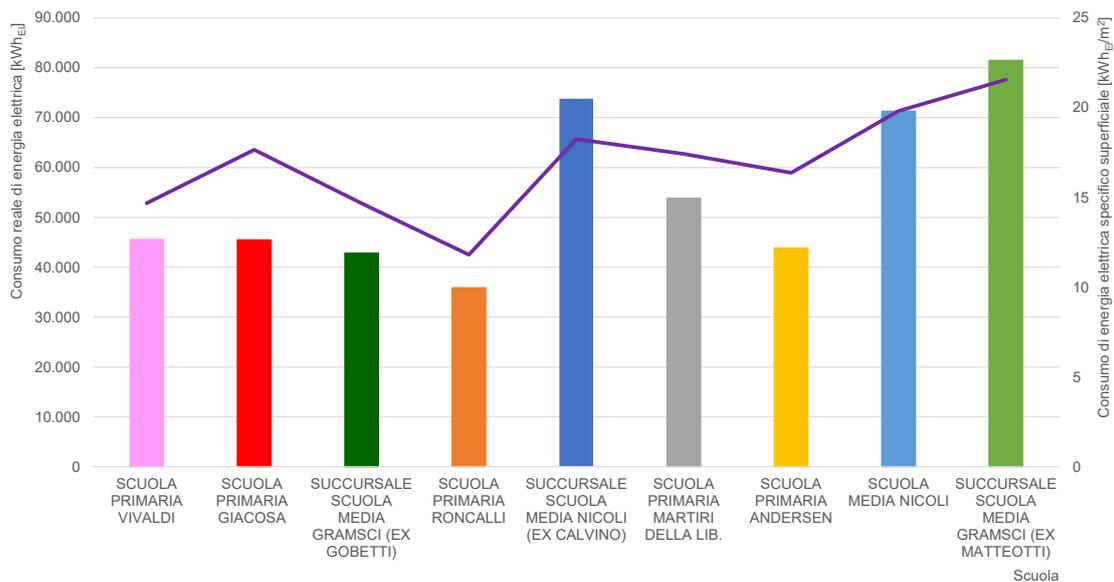


Figura 80 – Consumi reali totali di energia elettrica normalizzati rispetto alla superficie netta

A seguito della normalizzazione è possibile evidenziare come le scuole che presentano un indice di consumo più elevato sono:

- Scuola primaria Giacosa;
- Succursale scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli” (ex. Calvino);
- Scuola primaria Martiri della Libertà;
- Scuola primaria Andersen;
- Scuola secondaria di primo grado “G. Nicoli”;
- Succursale scuola secondaria di primo grado “A. Gramsci” (ex. Matteotti).

Al fine di mitigare il consumo di energia elettrica verrà quindi proposto nei capitoli successivi un intervento per la sostituzione degli apparecchi luminosi. Tale proposta non verrà effettuata per le scuole secondaria di primo grado “G. Nicoli” e primaria Giacosa in quanto recentemente è già stata effettuata la sostituzione parziale delle lampade al loro interno; risulterebbe quindi inverosimile la concretizzazione di un altro intervento con lo stesso scopo.

8 Proposta degli interventi di efficientamento energetico

Grazie all'analisi dei consumi reali appena effettuata è ora possibile proporre degli interventi di contenimento del consumo energetico mirati.

In questo capitolo si procede quindi con una panoramica generale di quelli che sono stati gli interventi di efficientamento energetico proposti per il parco edilizio, fornendone una descrizione di dettaglio al fine di evidenziare quali sono le tipologie di intervento sull'involucro e/o impiantistiche suggerite.

Al fine di stimare il risparmio conseguito a seguito della realizzazione di tali interventi, è stato utilizzato il software di calcolo "Edilclima". Tale operazione è stata possibile in quanto, grazie ai dati di consumo reale, è stato possibile validare per ogni edificio scolastico un modello che rispecchiasse il comportamento reale della struttura allo stato attuale. Si specifica come, con il termine "validare" si intenda l'ottenimento di un modello avente un fabbisogno energetico a calcolo sufficientemente vicino al dato di consumo reale in questione. L'ottenimento di tale risultato è stato possibile a seguito di opportune valutazioni circa l'utilizzo reale dell'edificio quali ad esempio: ore di utilizzo dell'impianto di riscaldamento, temperature interne di set-point, fattori di utilizzo dell'edificio, etc.

Oltre a ciò, risulta importante evidenziare come gli interventi proposti siano stati valutati su un valore di trasmittanza minimo inferiore a quello proposto dal *Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015*. Essi sono infatti stati valutati in base ai requisiti minimi evidenziati dal Conto Termico, incentivo promosso dal *Decreto M.I.S.E. del 16 febbraio del 2016* a cui possono accedere le Pubbliche Amministrazioni. Ciò permetterà, in caso di necessità di un approfondimento nell'utilizzo di tali incentivi, di poter già considerare idonei, dal punto di vista prestazionale, gli interventi analizzati.

All'interno di questo capitolo vengono inoltre evidenziate le metodologie tramite cui si sono valutati i costi di intervento ed il risparmio economico conseguito a seguito di ogni configurazione di efficientamento.

Infine, verranno mostrati per ogni edificio scolastico gli interventi proposti ed i relativi risultati conseguiti a livello energetico ed economico.

8.1 Tipologie interventi di riqualificazione energetica proposti

Viene di seguito presentata la panoramica degli interventi di efficientamento energetico proposti per gli edifici scolastici qui oggetto di studio.

Si segnala come tutti gli interventi agenti sui componenti d'involucro consentirebbero di aumentare ed uniformare le temperature medie radianti migliorando così la sensazione di benessere degli occupanti e consentendo di mantenere delle temperature dell'aria più contenute, a parità di sensazione di comfort.

Inoltre, in merito alla realizzazione degli interventi di seguito proposti, si specifica come il *D.M. 26 giugno 2015 al punto 5.2.2 dell'Allegato 1* preveda l'obbligo di installare sistemi di termoregolazione (es. valvole termostatiche a bordo dei terminali impiantistici) nel caso di interventi di *riqualificazione energetica dell'involucro edilizio* su edifici non costituiti da un'unica unità immobiliare. L'elemento discriminante è quindi la consistenza dell'edificio ed in particolare se questo risulti (da pratiche edilizie e stato catastale) identificato come un'unica unità o sia costituito da più corpi indipendenti.

Riguardo a tale aspetto è stato ritenuto più corretto, basandosi su quanto emerso in fase di sopralluogo, considerare l'edificio come un'unica unità a destinazione d'uso scolastica. In questo caso l'installazione di valvole termostatiche all'interno dei singoli interventi non costituisce un obbligo di legge e pertanto non è stata inclusa nelle valutazioni puntuali degli interventi sull'involucro presentati in seguito.

1.1.1 Intervento 1 - Installazione sistema di regolazione per singolo ambiente

L'intervento in esame consiste nella realizzazione di un sistema di regolazione dell'impianto termico, in grado di regolare sia le dotazioni installate in centrale termica (valvole miscelatrici, sistemi di pompaggio) sia dei singoli terminali d'emissione in ambiente.

La gestione del funzionamento di ogni terminale sarà eseguita a livello centralizzato dal personale scolastico, sulla base delle temperature rilevate da sonde ambiente installate in ogni locale.

Detto intervento oltre a innescare benefici dal punto di vista della riduzione dei consumi, permetterà di omogenizzare le temperature all'interno dei locali dell'edificio, incrementando il livello medio di comfort degli occupanti (sarà possibile regolare i dispositivi per il raggiungimento del livello termico desiderato).

1.1.2 Intervento 2 – Sostituzione dei serramenti

Tale intervento consiste nella sostituzione delle superfici finestrate presenti all'interno degli edifici con altre caratterizzate da un valore di trasmittanza termica inferiore o uguale a $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$, valore limite per i nuovi serramenti, con riferimento alla zona climatica E, ai sensi della legislazione nazionale in materia. [14].

Nel caso in esame si è ipotizzato di sostituire le superfici finestrate esistenti con serramenti caratterizzati da un valore di trasmittanza termica pari a $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ (valore più contenuto rispetto ai limiti di legge, richiesto per un eventuale accesso agli incentivi previsti dal *Conto Termico* come definito dal *Decreto M.I.S.E. 16/02/2016*). Tale valore può essere ottenuto mediante l'impiego di elementi trasparenti del tipo vetrocamera basso emissivi, con o senza gas nobili in intercapedine, e di telai in legno o in PVC o in alluminio a taglio termico o ottenuti da una combinazione di detti materiali. Si tratta di valutare la scelta dei materiali componenti anche in relazione alla necessità di replica di ogni singolo elemento finestrato (numero di ante, numero di vetri, tipologia di ancoraggio alla struttura opaca). [24]

Oltre alla configurazione sopra proposta inoltre, è stata ipotizzata la realizzazione combinata di questo intervento con l'installazione di un sistema di regolazione per singolo ambiente. Questo permetterebbe di accedere agli incentivi previsti dal *Conto Termico* come definito dal *Decreto M.I.S.E. 16/02/2016* (si veda capitolo 8.2 per maggior approfondimento). La combinazione degli stessi permetterebbe di avere una riduzione dei fabbisogni energetici dell'edificio al netto e al lordo dell'efficienza energetica dell'impianto termico per la climatizzazione invernale.

1.1.3 Intervento 3 – Isolamento del solaio verso il piano seminterrato

L'intervento consiste nella coibentazione all'intradosso del solaio di calpestio sito al piano terra disperdente verso i locali non climatizzati presenti al piano interrato da eseguirsi secondo lo schema proposto in Figura 81.

Si sottolinea inoltre come quasi la totalità delle scuole presenta delle dorsali di distribuzione all'intradosso del solaio verso gli ambienti climatizzati, perciò, al fine di effettuare l'intervento sarà necessario rimuovere temporaneamente una parte delle tubazioni e dei collegamenti elettrici presenti attualmente all'intradosso del solaio in esame.

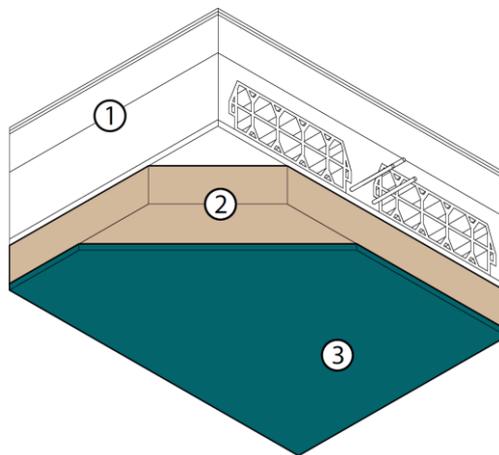


Figura 81 – Schema costruttivo dell'intervento proposto

A valle dell'intervento la stratigrafia del tamponamento esterno risulta la seguente:

- | *strato 1*: solaio in laterocemento esistente;
- | *strato 2*: pannello di materiale coibente tale da garantire una resistenza termica sufficiente ad ottenere un valore di trasmittanza termica della struttura inferiore al limite di legge;
- | *strato 3*: stato di finitura a protezione del coibente (pannello pre-accoppiato in cartongesso o intonacatura con rete).

L'intervento di coibentazione della superficie opaca orizzontale sarebbe tale da garantire una riduzione della trasmittanza termica media fino al raggiungimento di un valore inferiore o uguale a $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ e potenzialmente permetterebbe l'accesso agli incentivi previsti dal *Conto Termico* come definito dal *Decreto M.I.S.E. 16/02/2016* (si veda capitolo 8.2 per maggior approfondimento).

1.1.4 Intervento 4 – Coibentazione del solaio di copertura e verso sottotetto

L'intervento consta nella coibentazione dall'estradosso del solaio di copertura (rispettivamente a falde e piana) e del solaio disperdente verso ambiente sottotetto. In particolare, per quanto concerne l'intervento da eseguirsi sulla copertura a falde, questo sarà da eseguirsi secondo lo schema rappresentato in Figura 82.

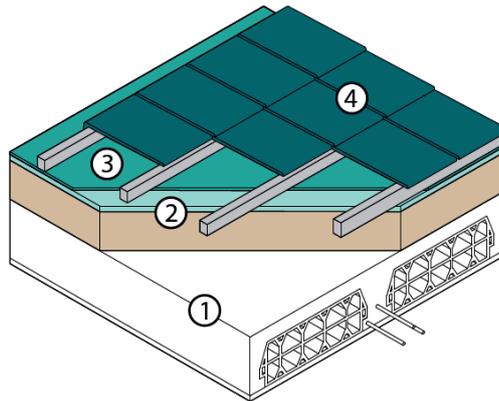


Figura 82 – Schema costruttivo dell'intervento proposto – copertura inclinata a falde

A valle dell'intervento la stratigrafia della copertura risulterà la seguente (strati dettagliati dall'intradosso verso l'estradosso):

- | **strato 1:** solaio in laterocemento esistente.
- | **strato 2:** materiale coibente tale da garantire una resistenza termica sufficiente ad ottenere un valore di trasmittanza termica della struttura inferiore al limite di legge;
- | **strato 3:** impermeabilizzazione tramite membrana bituminosa;
- | **strato 4:** lamiera metallica con un rivestimento ad elevata riflettività ed emissività che permetta di rispettare il parametro di minima riflettanza solare per le coperture inclinate (valore minimo richiesto pari al 76% - si veda *D.M. 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*) poggiate su travettatura lignea;

Per quanto concerne l'intervento da eseguirsi sulla copertura piana, questo sarà da eseguirsi secondo lo schema rappresentato in Figura 83.

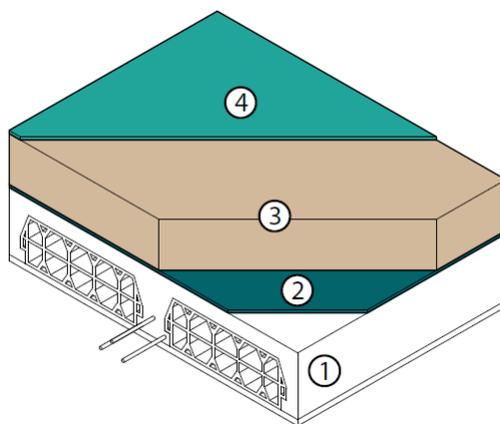


Figura 83 – Schema costruttivo dell'intervento proposto – copertura piana sull'esterno

A valle dell'intervento la stratigrafia della copertura risulterà la seguente (strati dettagliati dall'intradosso verso l'estradosso):

- | *strato 1*: solaio in laterocemento esistente;
- | *strato 2*: barriera al vapore (la necessità o meno di inserire tale strato sarà valutata in fase esecutiva in base alle caratteristiche termo-igrometriche del coibente scelto e dei nuovi materiali costituenti la stratigrafia);
- | *strato 3*: materiale coibente tale da garantire una resistenza termica sufficiente ad ottenere un valore di trasmittanza termica della struttura inferiore al limite di legge;
- | *strato 4*: impermeabilizzazione tramite membrana bituminosa.

Per quanto concerne invece le porzioni di solaio disperdenti verso sottotetto questo sarà da eseguirsi secondo la stratigrafia descritta all'interno dell'immagine riportata a seguire (Figura 84):

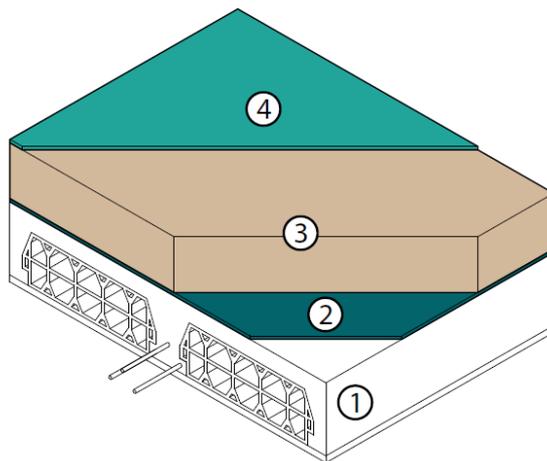


Figura 84 – Schema costruttivo dell'intervento proposto – solaio su sottotetto

La stratigrafia del solaio disperdente verso sottotetto risulterà la seguente (strati dettagliati dall'intradosso verso l'estradosso):

- | *strato 1*: solaio in laterocemento esistente;
- | *strato 2*: barriera al vapore (la necessità o meno di inserire tale strato sarà valutata in fase esecutiva in base alle caratteristiche termo-igrometriche del coibente scelto e dei nuovi materiali costituenti la stratigrafia);
- | *strato 3*: materiale coibente tale da garantire una resistenza termica sufficiente ad ottenere un valore di trasmittanza termica della struttura inferiore al limite di legge;
- | *strato 4*: eventuale strato a protezione del nuovo materiale coibente.

L'intervento di coibentazione della superficie opaca orizzontale sarebbe tale da garantire una riduzione della trasmittanza termica media fino al raggiungimento di un valore inferiore o uguale a $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (valore che potenzialmente permetterebbe l'accesso agli incentivi previsti dal *Conto Termico* come definito dal *Decreto M.I.S.E. 16/02/2016* – si veda capitolo si veda capitolo 8.2 per maggior approfondimento).

1.1.5 Intervento 5 – Coibentazione estesa dell'involucro edilizio

Esso consiste nell'esecuzione combinata degli interventi precedentemente proposti con la coibentazione, mediante "cappotto esterno", dei tamponamenti opachi verticali. Si specifica però come:

- è stato previsto di intervenire nella sostituzione delle superfici finestrate solamente nei casi in cui fosse necessario per le verifiche di legge, ovvero al fine di rispettare il valore minimo del *coefficiente globale di scambio termico per trasmissione* $-H't$ così come definito dal *Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*;
- l'intervento relativo alla regolazione per singolo ambiente non è qui previsto.

A valle dell'intervento la stratigrafia del tamponamento esterno risulterebbe la seguente (strati riportati dall'interno verso l'esterno):

- | **Strato 1:** muratura a cassa vuota in laterizio esistente;
- | **Strato 2:** Strato di livellamento: eventuale strato di livellamento e di consolidamento del paramento esterno esistente (da eseguirsi nel caso rilievi di dettaglio facciano emergere marcate irregolarità rispetto al piano facciata);
- | **Strato 3:** materiale coibente tale da garantire una resistenza termica sufficiente ad ottenere un valore di trasmittanza termica della struttura inferiore al limite di legge;
- | **Strato 4:** Strato protettivo: intonaco di base per cappotto supportato da idonea micro-rete di supporto per l'assorbimento di tensioni superficiali e sollecitazioni meccaniche;
- | **Strato 5:** Finitura in intonaco o in lastre di materiali diversi (es. calcio silicato, fibrocemento, piastrelle in gres, etc.), tali da formare un rivestimento impermeabile all'acqua ma permeabile al vapore proveniente dall'interno dell'edificio.

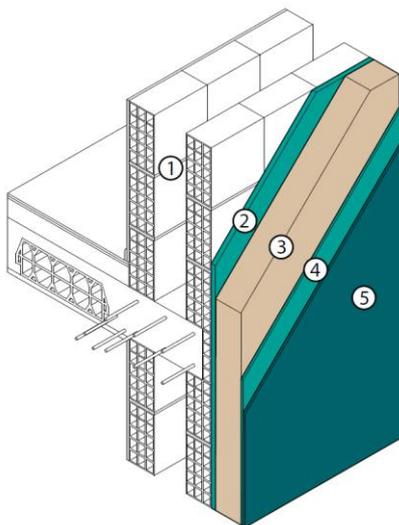


Figura 85 – Schema costruttivo dell'intervento proposto

L'intervento di coibentazione della superficie opaca verticale sarebbe tale da garantire una riduzione della trasmittanza termica media fino al raggiungimento di un valore medio inferiore o uguale a $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ (valore che permetterebbe l'accesso agli incentivi previsti dal *Conto Termico* come definito dal *Decreto M.I.S.E. 16/02/2016* – si veda capitolo 8.2 per maggior approfondimento).

1.1.6 Intervento 6 – Sostituzione delle lampade con elementi a LED

L'intervento prevede la sostituzione della totalità dei corpi illuminanti di tipo a fluorescenza o a plafoniera presenti all'interno dell'edificio scolastico con sorgenti a tecnologia LED. È inoltre previsto l'inserimento di sensori di rilevamento di presenza all'interno dei locali e quindi l'installazione di sistemi automatici di spegnimento dei corpi illuminanti (con accensione manuale).

1.1.7 Intervento 7 – Installazione collettori solari termici

L'intervento consta nella realizzazione di un impianto solare termico costituito da un sistema captante composto da pannelli solari a tubi sottovuoto. Tale intervento prevede altresì la sostituzione del gruppo di pompaggio esistente e l'installazione di un nuovo sistema di accumulo a doppio serpentino, il quale permette lo stoccaggio dell'acqua calda sanitaria prodotta dall'impianto solare.

A livello globale, l'intervento in esame permetterà di avere una riduzione del consumo di energia termica emunta dalla rete di TLR per la produzione di acqua calda sanitaria.

8.2 Il Conto Termico

Il Conto Termico è una tipologia di incentivo definita all'interno del *Decreto M.I.S.E.* del 16 febbraio del 2016 di cui possono usufruire sia i privati che le Pubbliche Amministrazioni. Esso in particolare è dedicato agli interventi di efficientamento energetico degli edifici e di produzione di energia termica da fonti rinnovabili.

Per accedere a tali incentivi è necessario presentare domanda al GSE (Gestione Servizi Energetici) sul Portaltermico. L'accesso a queste forme incentivanti può avvenire in due differenti modalità, che sono:

- l'accesso diretto: viene fatta domanda per gli incentivi entro 60 giorni della data di fine dei lavori;
- su prenotazione: viene effettuata la richiesta di tali forme incentivanti prima dell'inizio dei lavori. In questa modalità devono però essere fornite delle garanzie riguardo la reale successiva effettuazione dei lavori tramite opportuni documenti.

A seconda della tipologia di accesso effettuato l'erogazione degli incentivi può avvenire anch'essa tramite due differenti modalità:

- nel caso in cui sia stato effettuato l'accesso diretto, entro i 30 giorni successivi ai due mesi in cui ricade la data di stipula della scheda contratto. Nel caso particolare delle Pubbliche Amministrazione è previsto l'erogazione dell'incentivo in un'unica rata indipendentemente dall'importo dovuto;
- nel caso in cui sia stato effettuato l'accesso su prenotazione sono previste due differenti rate: una ad inizio lavori e l'altra a conclusione degli stessi.

Di seguito vengono evidenziate le stime di incentivo che possono essere ottenute riguardo agli interventi di efficientamento proposti per il parco edilizio oggetto di studio all'interno del capitolo 8.1:

- coibentazione dei tamponamenti opachi delimitanti il volume climatizzato: al fine di accedere agli incentivi sono previsti valori di trasmittanza minima da rispettare per i cui valori si rimanda alle pagine del decreto. È prevista una percentuale di incentivazione pari al 50% del costo dell'intervento (relativamente alle fasce climatiche E ed F) mentre il massimale erogabile per questo intervento risulta pari a 400.000 €;
- sostituzione delle superfici trasparenti: al fine dell'accesso agli incentivi è necessario installarle congiuntamente a sistemi di termoregolazione o a valvole termostatiche se non già presenti. I requisiti minimi previsti per tale intervento sono costituiti da un valore minimo di trasmittanza che per la zona climatica E risulta pari a 1,30 W/m²K. La percentuale di incentivazione prevista per questo intervento è pari al 40% ed il massimale dell'incentivo risulta pari a 100.000 € (per la fascia climatica E);
- installazione di sistemi per l'illuminazione interni efficienti: al fine dell'accesso agli incentivi: i requisiti richiesti sono:
 - certificazione degli apparecchi luminosi da parte di laboratori accreditati;

- specifici requisiti tecnici, in termini di resa cromatica e efficienza luminosa;
- a seguito dell'intervento la zona interessata non deve presentare una potenza installata delle nuove lampade superiore al 50%;
- devono rispettare i requisiti minimi ai sensi delle direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE;
- i sistemi di illuminazione esterna devono essere realizzati conformemente alla normativa sull'inquinamento luminoso e sicurezza.

Per tale intervento il massimale dell'incentivo risulta essere 30.000 € in caso di installazione di apparecchi luminosi ad alta efficienza e 70.000 € in caso di installazione di lampade a LED;

- installazione di collettori solari termici per la produzione di acqua e/o ad integrazione dell'impianto di climatizzazione invernale: al fine dell'accesso agli incentivi tali impianti devono essere installati su edifici esistenti e devono possedere una superficie solare lorda inferiore o uguale a 2.500 metri quadrati. Sono inoltre presenti ulteriori requisiti tecnici per cui si rimanda alle pagine del decreto. L'incentivo erogabile viene definito in base alla superficie del campo solare espressa in metri quadri.

Si specifica infine, come tale forma incentivante copra, in ogni caso, i costi necessari per la redazione della diagnosi energetica necessaria alla determinazione degli interventi di efficientamento energetico ed inoltre, come esso sia cumulabile con altri interventi statali.

8.3 Individuazione dei costi per ogni intervento

Al fine di stimare i costi necessari alla realizzazione di ciascun intervento, è stato preso come riferimento l'Allegato I presente all'interno del Decreto attuativo del 6 agosto 2020 dove sono riportati i massimali di costo per ciascuna tipologia di intervento. Si precisa come però, i costi individuati risultano essere indicativi e pertanto possono subire anche sensibili variazioni in funzione di diversi aspetti (ad esempio le fluttuazioni del prezzo dei diversi materiali, delle lavorazioni e della manodopera, le differenti tipologie delle finiture richieste, etc.). [25]

Per ciascun intervento proposto sono inoltre stati valutati i costi evitati di combustibile per riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e illuminazione quantificando così il risparmio sulla spesa totale annua dell'edificio conseguito. A tal fine sono stati utilizzati i seguenti costi specifici:

- | energia emunta dalla rete di teleriscaldamento pari a 0,0899 €/kWh_{TH} tasse incluse (fonte: *Conguaglio stagione termica 2018/2019* fornita da SAT);
- | energia elettrica pari a 0,2006 €/kWh_{EL} tasse incluse (fonte: *ARERA Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente – comunicato del 29 dicembre 2020*).

È stato inoltre stimato per ogni intervento un *tempo di ritorno semplice* dell'investimento: parametro che stima il numero di anni necessari affinché il capitale inizialmente investito venga completamente ripagato. Questa valutazione è possibile effettuando il rapporto tra il costo necessario ad effettuare l'intervento ed il risparmio di spesa dell'edificio conseguito nella nuova configurazione.

$$\text{Tempo di ritorno semplice [anni]} = \frac{\text{Costo intervento [€]}}{\text{Risparmio della spesa annua dell'edificio [€]}}$$

Si specifica come, per il calcolo di tale parametro, si è tenuto in conto unicamente il costo dell'opera (costo comprensivo di IVA e oneri professionali). Tali valutazioni non considerano gli incentivi attualmente previsti per gli interventi proposti in tema di contenimento dei consumi per la climatizzazione invernale (Conto Termico), nonostante, nella simulazione energetica degli interventi siano state considerate le prestazioni previste per l'accesso a tali forme di sostegno economico. Questo in quanto questo approfondimento non rientra nel lavoro diagnostico inizialmente concordato; nonostante ciò, avendo tenuto in conto dei requisiti necessari all'applicazione degli incentivi, in caso di necessità sarà possibile considerare già idonei a livello prestazionale gli interventi analizzati.

8.4 Risultati ottenuti per ogni edificio scolastico

Si riportano all'interno del presente paragrafo, per ciascun edificio scolastico, delle tabelle riassuntive al cui interno vengono individuati i risultati energetici ed economici relativi agli interventi di efficientamento descritti in precedenza.

Per ogni configurazione è stato inoltre riportato l'indice di prestazione globale non rinnovabile - EP_{gl,nren} e la relativa classe energetica individuata secondo quanto definito dal *Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015- Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*.

A partire dai consumi termici ed elettrici è stato calcolato il consumo di energia primaria non rinnovabile e totale. Tali grandezze tengono in conto dell'energia spesa in tutti i processi a monte della disponibilità di energia al cliente, come ad esempio le fasi di estrazione, processamento, stoccaggio e trasporto. Tale valutazione è stata effettuata mediante appositi fattori di conversione (riportati in Tabella 9) introdotti dal *Decreto Interministeriale 26 giugno 2015*.

Tabella 9 – FATTORI DI CONVERSIONE IN ENERGIA PRIMARIA

Vettore energetico	f_{P,nren}	f_{P,tot}
Energia elettrica da rete	1,95	2,42
Teleriscaldamento	1,5	1,5

A partire dai consumi di energia primaria non rinnovabile sopra descritti, sono stati definiti degli indicatori di prestazione energetica per ogni edificio scolastico, effettuato il rapporto tra l'energia primaria non rinnovabile ed il volume netto relativo alla struttura in esame. Come anticipato, tali indicatori, dipendono sia dai consumi di energia elettrica che da quelli di energia termica e permettono di confrontare tra loro i diversi edifici scolastici.

Come si può osservare all'interno delle tabelle riportate a seguire, il consumo di energia termica emunta dalla rete di teleriscaldamento è preponderante del bilancio energetico globale di ciascuna struttura scolastica. A causa di ciò, si è pertanto deciso di focalizzare le analisi conclusive ed il confronto tra le strategie di intervento proposte sulla sola componente termica caratterizzante ogni edificio.

8.4.1 Scuola primaria Vivaldi

Tabella 10 – Risultati finali scuola primaria Vivaldi

Scuola primaria Vivaldi	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespaio	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TH}]	383	375	318		367	367	154		
Riduzione rispetto stato attuale			-2%	-17%		-4%	-4%	-60%		
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{El}]	49.081	49.066	48.950		49.050	49.048	48.619		
Q _P - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,ner}]	670,4	658,8	571,8		646,7	646,2	326,4		
Q _P - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	693,5	681,8	594,8		669,7	669,2	349,3		
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,ner} /m ²]	379	372	325		366	366	207		
Classe energetica dell'edificio		E	E	E		E	E	C		
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	44.285	43.599	38.378		42.874	42.840	23.637		
Risparmio annuo	[€]	-	686,40	5.907,05		1.411	1.445,34	20.648,39		
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	31.100	704.800		201.400	192.100	2.529.900		
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35		20-25	25-30	20-25		
Tempo di ritorno	[anni]	-	45	119		143	133	123		
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
indicatori su en. primaria non rinnovabile	Riscaldamento	[kWh _{P,ner} /m ³]	51,9	50,9	43,1	49,8	49,8	20,9		
	Produzione ACS	[kWh _{P,ner} /m ³]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5		
	Illuminazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0		
	Ventilazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	TOTALE	[kWh _{P,ner} /m ³]	60,4	59,4	51,5	58,3	58,3	58,3	29,4	
indicatori su en. primaria totale	Riscaldamento	[kWh _{P,ner} /m ³]	52,0	50,9	43,1	49,8	49,8	20,9		
	Produzione ACS	[kWh _{P,ner} /m ³]	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4		
	Illuminazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2		
	Ventilazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	TOTALE	[kWh _{P,ner} /m ³]	62,5	61,5	53,6	60,4	60,3	60,3	31,5	

8.4.2 Scuola primaria Giacosa

Tabella 11 – Risultati finali scuola primaria Giacosa

Scuola primaria Giacosa	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespaio	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TH}]	438	396	357	326	426	360	141		
Riduzione rispetto stato attuale			-10%	-18%	-26%	-3%	-18%	-68%		
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	52.832	52.742	52.674	52.604	52.824	52.607	52.141		
Q _P - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,riren}]	759,2	696,6	638,4	591,0	742,1	642,5	312,5		
Q _P - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	784,1	721,4	663,2	615,7	767,0	667,3	337,1		
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,riren} /m ²]	419	393	367	347	412	371	232		
Classe energetica dell'edificio		F	E	E	E	E	E	C		
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	49.938	46.179	42.672	39.830	48.911	42.924	23.100		
Risparmio annuo	[€]	-	3.758,73	7.265,76	10.107,78	1.026,69	7.013,94	26.838,56		
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	59.900	464.700	524.500	106.000	215.300	1.880.100		
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35	15-20	20-25	20-25	20-25		
Tempo di ritorno	[anni]		16	64	52	103	31	70		
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
Indicatori su en. primaria non rinnovabile	Riscaldamento	[kWh _{P,riren} /m ³]	78,7	71,2	64,2	58,6	64,7	25,3		
	Produzione ACS	[kWh _{P,riren} /m ³]	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2		
	Illuminazione	[kWh _{P,riren} /m ³]	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9		
	Ventilazione	[kWh _{P,riren} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	TOTALE	[kWh _{P,riren} /m ³]	90,8	83,3	76,3	70,7	88,7	76,8	37,4	
Indicatori su en. primaria totale	Riscaldamento	[kWh _{P,riren} /m ³]	78,7	71,2	64,3	58,6	64,8	25,3		
	Produzione ACS	[kWh _{P,riren} /m ³]	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7		
	Illuminazione	[kWh _{P,riren} /m ³]	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3		
	Ventilazione	[kWh _{P,riren} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	TOTALE	[kWh _{P,riren} /m ³]	93,7	86,2	79,3	73,6	91,7	79,8	40,3	

8.4.3 Succursale scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Gobetti)

Tabella 12 – Risultati finali succursale scuola media "A. Gramsci"(ex. Gobetti)

Scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Gobetti)	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Colb. vespaio	Colb. copertura	Colb. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TLR}]	368	328	302	270	329		217	368	
Riduzione rispetto stato attuale			-11%	-18%	-26%	-11%		-41%	0%	
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	60.065	59.936	59.854	59.749	59.950		59.545	50.301	
Qp - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,ner}]	668,8	609,0	570,0	522,0	609,8		442,1	649,7	
Qp - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	697,0	637,1	598,1	550,1	637,8		470,1	673,4	
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,ner} /m ²]	452	425	396	375	418		330	440	
Classe energetica dell'edificio		E	D	D	D	D		C	E	
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	45.115	41.537	39.174	36.293	41.567		31.477	43.201,15	
Risparmio annuo	[€]	-	3.577,72	5.941,08	8.821,60	3.547,93		13.637,27	1.913,61	
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	48.900	600.700	649.700	380.700		1.537.700	96.100,00	
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35	15-20	20-25		20-25	25-30	
Tempo di ritorno	[anni]		14	101	74	107		113	50	
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
<i>Indicatori su en. primaria non rinnovabile</i>	Riscaldamento	[kWh _{P,ner} /m ³]	54,6	44,7	40,0	48,7		32,0	54,6	
	Produzione ACS	[kWh _{P,ner} /m ³]	4,0	4,0	4,0	4,0		4,0	4,0	
	Illuminazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	8,1	8,1	8,1	8,1		8,1	6,2	
	Ventilazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	
	TOTALE	[kWh _{P,ner} /m ³]	66,7	60,7	56,8	52,0	60,8		44,1	64,8
<i>Indicatori su en. primaria totale</i>	Riscaldamento	[kWh _{P,ner} /m ³]	54,6	48,7	44,8	40,0	48,8		32,0	54,6
	Produzione ACS	[kWh _{P,ner} /m ³]	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8		4,8	4,8
	Illuminazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0		10,0	7,7
	Ventilazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
	TOTALE	[kWh _{P,ner} /m ³]	69,5	63,5	59,6	54,8	63,6		46,9	67,1

8.4.4 Scuola primaria Roncalli

Tabella 13 – Risultati finali scuola primaria Roncalli

Scuola primaria Roncalli	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespajo	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TTL}]	503	462	396	362	492	482	233		
Riduzione rispetto stato attuale			-8%	-21%	-28%	-2%	-4%	-54%		
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	44.111	44.031	43.896	43.829	44.091	44.074	43.577		
Q _p - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,nerf}]	839,9	779,3	679,0	628,4	823,7	808,5	435,7		
Q _p - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	860,7	800,0	699,6	648,9	844,4	829,1	456,2		
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,nerf} /m ²]	393	371	332	315	387	381	245		
Classe energetica dell'edificio		F	E	E	E	E	E	D		
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	54.042	50.403	44.378	41.334	53.085	52.147	29.729		
Risparmio annuo	[€]	-	3.639,82	9.664,57	12.708,31	957	1.895,74	24.313,58		
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	53.900	401.100	455.000	83.700	241.300	1.489.300		
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35	15-20	20-25	20-25	20-25		
Tempo di ritorno	[anni]		15	42	36	87	127	61		
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
<i>indicatori su en. primaria non rinnovabile</i>	Riscaldamento	[kWh _{P,nerf} /m ³]	73,0	67,1	57,5	52,6	71,4	70,0	34,0	
	Produzione ACS	[kWh _{P,nerf} /m ³]	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	
	Illuminazione	[kWh _{P,nerf} /m ³]	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	
	Ventilazione	[kWh _{P,nerf} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	TOTALE	[kWh _{P,nerf} /m ³]	81,1	75,3	65,6	60,7	79,5	78,1	42,1	
<i>indicatori su en. primaria totale</i>	Riscaldamento	[kWh _{P,nerf} /m ³]	73,0	67,2	57,5	52,6	71,5	70,0	34,0	
	Produzione ACS	[kWh _{P,nerf} /m ³]	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	
	Illuminazione	[kWh _{P,nerf} /m ³]	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	
	Ventilazione	[kWh _{P,nerf} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	TOTALE	[kWh _{P,nerf} /m ³]	83,1	77,3	67,6	62,7	81,5	80,1	44,1	

8.4.5 Succursale scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli" (ex. Calvino)

Tabella 14 – Risultati finali succursale scuola media "G. Nicoli" (ex. Calvino)

Succursale scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli" (ex. Calvino)	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespaio	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{THR}]	607	537	538	484	577		259	608	
Riduzione rispetto stato attuale			-12%	-11%	-20%	-5%		-57%	0%	
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	75.535	75.405	75.412	75.314	75.462		74.829	62.998	
Q _p - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,ren}]	1.059,0	953,0	953,8	873,0	1.012,9		535,4	1.034,6	
Q _p - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	1.094,5	988,5	989,2	908,4	1.048,5		570,6	1.064,2	
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,ren} /m ²]	403	374	374	352	390		257	392	
Classe energetica dell'edificio		E	E	E	E	E		C	E	
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	67.468	61.147	61.194	56.345	64.738		36.034	64.989	
Risparmio annuo	[€]	-	6.320,48	6.274,11	11.122,48	2.730,23		31.433,78	2.478,79	
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	57.000	661.900	719.000	226.900		2.018.100	92.700	
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35	15-20	20-25		20-25	25-30	
Tempo di ritorno	[anni]		9	105	65	83		64	37	
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
Indicatori su en. primaria non rinnovabile	Riscaldamento	[kWh _{P,ren} /m ³]	64,8	57,2	57,3	51,5		27,2	64,8	
	Produzione ACS	[kWh _{P,ren} /m ³]	3,6	3,6	3,6	3,6		3,6	3,6	
	Illuminazione	[kWh _{P,ren} /m ³]	6,0	6,0	6,0	6,0		6,0	4,3	
	Ventilazione	[kWh _{P,ren} /m ³]	1,6	1,6	1,6	1,6		1,6	1,6	
	TOTALE	[kWh _{P,ren} /m ³]	76,1	68,4	68,5	62,7		38,5	74,3	
Indicatori su en. primaria totale	Riscaldamento	[kWh _{P,ren} /m ³]	64,9	57,3	57,3	51,5		27,3	64,9	
	Produzione ACS	[kWh _{P,ren} /m ³]	4,2	4,2	4,2	4,2		4,2	4,2	
	Illuminazione	[kWh _{P,ren} /m ³]	7,5	7,5	7,5	7,5		7,5	5,3	
	Ventilazione	[kWh _{P,ren} /m ³]	2,0	2,0	2,0	2,0		2,0	2,0	
	TOTALE	[kWh _{P,ren} /m ³]	78,6	71,0	71,0	65,2		41,0	76,4	

8.4.6 Scuola primaria Martiri della Libertà

Tabella 15 – Risultati finali scuola primaria Martiri della Libertà

Scuola primaria Martiri della Libertà	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespago	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TH}]	565	512	477	438		466	242	565	
Riduzione rispetto stato attuale			-9%	-16%	-22%		-18%	-57%	0%	
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	69.490	69.302	69.155	69.018		69.142	68.235	62.386	
Q _p - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,irren}]	983,0	902,9	851,0	791,5		833,2	495,3	969,1	
Q _p - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	1.015,7	935,5	883,5	824,0		865,7	527,4	998,5	
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,irren} /m ²]	478	448	422	400		416	284	469	
Classe energetica dell'edificio		F	F	E	E		E	D	F	
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	64.745	59.941	56.800	53.221		55.737	35.404	63.310	
Risparmio annuo	[€]	-	4.803,47	7.944,19	11.523,52		9.007,86	29.340,87	1.434,12	
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	50.300	673.200	723.400		213.500	1.662.100	68.500	
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35	15-20		20-25	20-25	25-30	
Tempo di ritorno	[anni]	-	10	85	63		24	57	48	
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
Indicatori su en. primaria non rinnovabile	Riscaldamento	[kWh _{P,irren} /m ³]	77,3	70,0	65,3	59,9	63,7	33,0	77,3	
	Produzione ACS	[kWh _{P,irren} /m ³]	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	
	Illuminazione	[kWh _{P,irren} /m ³]	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	4,1	
	Ventilazione	[kWh _{P,irren} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	TOTALE	[kWh _{P,irren} /m ³]	89,3	82,0	77,3	71,9		75,7	45,0	88,0
Indicatori su en. primaria totale	Riscaldamento	[kWh _{P,irren} /m ³]	77,4	70,1	65,4	60,0	63,8	33,1	77,4	
	Produzione ACS	[kWh _{P,irren} /m ³]	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	
	Illuminazione	[kWh _{P,irren} /m ³]	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	5,1	
	Ventilazione	[kWh _{P,irren} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	TOTALE	[kWh _{P,irren} /m ³]	92,2	85,0	80,2	74,8		78,6	47,9	90,7

8.4.7 Scuola primaria Andersen

Tabella 16 – Risultati finali scuola primaria Andersen

Scuola primaria Andersen	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespaio	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TH}]	435	394			376	369	191	435	
Riduzione rispetto stato attuale			-9%			-14%	-15%	-56%	0%	
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	47.500	47.421			47.375	47.388	47.036	37.649	
Q _P - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,riren}]	744,8	683,2			655,8	645,5	378,9	725,6	
Q _P - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	767,0	705,4			678,0	667,7	400,9	743,2	
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,riren} /m ²]	422	396			383	378	266	408	
Classe energetica dell'edificio		E	E			E	E	C	E	
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	48.623	44.920			43.275	42.657	26.616	46.638	
Risparmio annuo	[€]	-	3.702,57			5.348,34	5.966,18	22.006,58	1.984,98	
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	52.300			284.400	240.200	1.222.400	64.300	
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20			20-25	20-25	20-25	25-30	
Tempo di ritorno	[anni]		14			53	40	56	32	
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
<i>indicatori su en. primaria non rinnovabile</i>	Riscaldamento	[kWh _{P,riren} /m ³]	66,1	59,8		57,0	55,9	28,5	66,1	
	Produzione ACS	[kWh _{P,riren} /m ³]	4,3	4,3		4,3	4,3	4,3	4,3	
	Illuminazione	[kWh _{P,riren} /m ³]	6,2	6,2		6,2	6,2	6,2	4,2	
	Ventilazione	[kWh _{P,riren} /m ³]	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	
	TOTALE	[kWh _{P,riren} /m ³]	76,6	70,3		67,4	66,4	39,0	74,6	
<i>indicatori su en. primaria totale</i>	Riscaldamento	[kWh _{P,riren} /m ³]	66,2	59,8		57,0	56,0	28,5	66,179	
	Produzione ACS	[kWh _{P,riren} /m ³]	5,0	5,0		5,0	5,0	5,0	5,047265	
	Illuminazione	[kWh _{P,riren} /m ³]	7,7	7,7		7,7	7,7	7,7	5,214475	
	Ventilazione	[kWh _{P,riren} /m ³]	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0	
	TOTALE	[kWh _{P,riren} /m ³]	78,9	72,6		69,7	68,7	41,2	76,4	

8.4.8 Scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli"

Tabella 17 – Risultati finali scuola secondaria di primo grado "G: Nicoli"

Scuola secondaria di primo grado "G. Nicoli"	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespaio	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TH}]	499	445	461	419	490	418	198		
Riduzione rispetto stato attuale			-11%	-8%	-16%	-2%	-16%	-60%		
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	56.564	56.344	56.366	56.190	56.536	55.878	54.652		
Q _p - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,non}]	858,4	777,8	800,8	737,5	844,6	735,6	402,8		
Q _p - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	885,0	804,3	827,3	764,0	871,1	761,9	428,5		
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,ener} /m ²]	381	353	359	337	376	340	225		
Classe energetica dell'edificio		F	E	E	E	F	E	D		
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	56.190	51.344	52.715	48.912	55.357	48.769	28.722		
Risparmio annuo	[€]	-	4.845,86	3.474,66	7.277,62	832,88	7.421,13	27.467,45		
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	49.900	500.100	549.900	85.700	550.800	2.532.200		
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35	15-20	20-25	20-25	20-25		
Tempo di ritorno	[anni]		10	144	76	103	74	92		
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
indicatori su en. primaria non rinnovabile	Riscaldamento	[kWh _{P,ener} /m ³]	62,5	55,8	57,7	52,5	61,3	52,3	24,7	
	Produzione ACS	[kWh _{P,ener} /m ³]	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	
	Illuminazione	[kWh _{P,ener} /m ³]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	
	Ventilazione	[kWh _{P,ener} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
TOTALE	[kWh _{P,ener} /m ³]	71,2	64,5	66,4	61,1	70,0	61,0	33,4		
indicatori su en. primaria totale	Riscaldamento	[kWh _{P,ener} /m ³]	62,6	55,9	57,8	52,6	61,5	52,4	24,8	
	Produzione ACS	[kWh _{P,ener} /m ³]	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	
	Illuminazione	[kWh _{P,ener} /m ³]	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	
	Ventilazione	[kWh _{P,ener} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
TOTALE	[kWh _{P,ener} /m ³]	73,4	66,7	68,6	63,3	72,2	63,2	35,5		

8.4.9 Succursale scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Matteotti)

Tabella 18 – Risultati finali succursale scuola media "A. Gramsci"(ex. Matteotti)

Succursale scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Matteotti)	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespago	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TLR}]	612	555	476	433	575	519	176	613	
Riduzione rispetto stato attuale			-9%	-22%	-29%	-6%	-15%	-71%	0%	
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	61.055	60.834	60.634	60.467	60.890	60.655	59.280	48.220	
Q _p - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{P,ner}]	1.037,9	951,3	832,8	767,2	981,5	896,6	380,8	1.013,1	
Q _p - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{P,TOT}]	1.066,6	979,9	861,4	795,7	1.010,1	925,1	408,6	1.035,7	
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{P,ner} /m ²]	394	383	332	324	377	351	199	382	
Classe energetica dell'edificio		E	E	E	D	E	E	C	F	
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	67.312	62.116	54.999	51.054	63.925	58.820	27.751	64.768	
Risparmio annuo	[€]	-	5.196,75	12.313,57	16.258,59	3.387,11	8.492,26	39.561,19	2.544,24	
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	50.000	828.008	878.016	400.921	583.820	3.318.514	106.801	
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35	15-20	20-25	20-25	20-25	25-30	
Tempo di ritorno	[anni]		10	67	54	118	69	84	42	
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
<i>indicatori su en. primaria non rinnovabile</i>	Riscaldamento	[kWh _{P,ner} /m ³]	62,8	56,9	48,7	44,2	59,0	53,1	17,6	62,9
	Produzione ACS	[kWh _{P,ner} /m ³]	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
	Illuminazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	4,3
	Ventilazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	TOTALE	[kWh _{P,ner} /m ³]	71,5	65,5	57,4	52,8	67,6	61,8	26,2	69,8
<i>indicatori su en. primaria totale</i>	Riscaldamento	[kWh _{P,ner} /m ³]	62,9	56,9	48,8	44,3	59,0	53,2	17,6	62,9
	Produzione ACS	[kWh _{P,ner} /m ³]	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
	Illuminazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	5,3
	Ventilazione	[kWh _{P,ner} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	TOTALE	[kWh _{P,ner} /m ³]	73,5	67,5	59,3	54,8	69,6	63,7	28,1	71,3

8.4.10 Asilo nido Aldo Moro

Tabella 19 – Risultati finali asilo nido Aldo Moro

Asilo nido Aldo Moro	U.M.	Stato attuale	Regolaz.	Sost. serramenti	Sost. serramenti + regolazione	Coib. vespaio	Coib. copertura	Coib. estesa involucro	Sost. LED	Install. solare termico
Consumo en. termica da TLR	[MWh _{TH}]	187	177	141	132			180		179
Riduzione rispetto stato attuale			-5%	-24%	-29%			-4%		-5%
Fabbisogno di energia elettrica	[kWh _{EL}]	12.888	12.834	12.645	12.597			12.851		13.150
Q _p - Fabbisogno di en. primaria non rinnovabile	[MWh _{p,ner}]	306,0	290,8	236,9	223,2			295,6		293,6
Q _p - Fabbisogno di en. primaria totale	[MWh _{p,TOT}]	312,0	296,8	244,8	229,1			301,6		307,4
Indice di prestazione energetica globale (APE)	[kWh _{p,ner} /m ²]	434	416	343	328			422		422
Classe energetica dell'edificio		E	E	D	D			E		E
Spesa complessiva dell'edificio	[€]	19.237	18.336	15.121	14.311			18.616		18.539
Risparmio annuo	[€]	-	900,83	4.116,05	4.926,67			621,52		698,60
Costo stimato dell'intervento	[€]	-	22.000	322.800	353.500			125.500		29.000
Vita utile dell'intervento	[anni]	-	15-20	30-35	15-20			20-25		15-20
Tempo di ritorno	[anni]		24	78	72			202		42
Indicatori di prestazione energetica su en. primaria non rinnovabile										
Indicatori su en. primaria non rinnovabile	Riscaldamento	[kWh _{p,ner} /m ³]	73,0	68,7	53,4	49,5		70,0		73,1
	Produzione ACS	[kWh _{p,ner} /m ³]	7,6	7,6	7,6	7,6		7,6		4,0
	Illuminazione	[kWh _{p,ner} /m ³]	6,4	6,4	6,4	6,4		6,4		6,4
	Ventilazione	[kWh _{p,ner} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0		0,0
TOTALE	[kWh _{p,ner} /m ³]	87,0	82,7	67,4	63,5			84,0		83,5
Indicatori su en. primaria totale	Riscaldamento	[kWh _{p,ner} /m ³]	73,1	68,8	53,4	49,6		70,2		73,3
	Produzione ACS	[kWh _{p,ner} /m ³]	7,7	7,7	7,7	7,7		7,7		6,2
	Illuminazione	[kWh _{p,ner} /m ³]	7,9	7,9	7,9	7,9		7,9		7,9
	Ventilazione	[kWh _{p,ner} /m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0		0,0
TOTALE	[kWh _{p,ner} /m ³]	88,7	84,4	69,0	65,2			85,8		87,4

9 Conclusioni

Il lavoro di tesi svolto è stato dedicato alla messa in atto di strumento metodologico dedicato al patrimonio edilizio pubblico scolastico, applicandolo ad un caso studio reale. Tale strumento ha la finalità di supportare il decisore pubblico, nel caso studio rappresentato dall'Amministrazione Comunale di Settimo Torinese, mettendo a disposizione uno strumento di analisi e diagnosi energetica globale, finalizzato a supportarlo nel percorso di riqualificazione energetica del patrimonio pubblico da lui gestito.

In primis sono stati analizzati gli edifici oggetto di analisi in modo globale, utilizzando specifici indicatori di prestazione finalizzati all'individuazione delle priorità di intervento e delle migliori marginalità dal punto di vista energetico. Con tale scopo, vengono rappresentati in Figura 86 i dati di fabbisogno energetico, in termini assoluti e relativi, delle configurazioni relative allo stato attuale di ogni edificio scolastico.

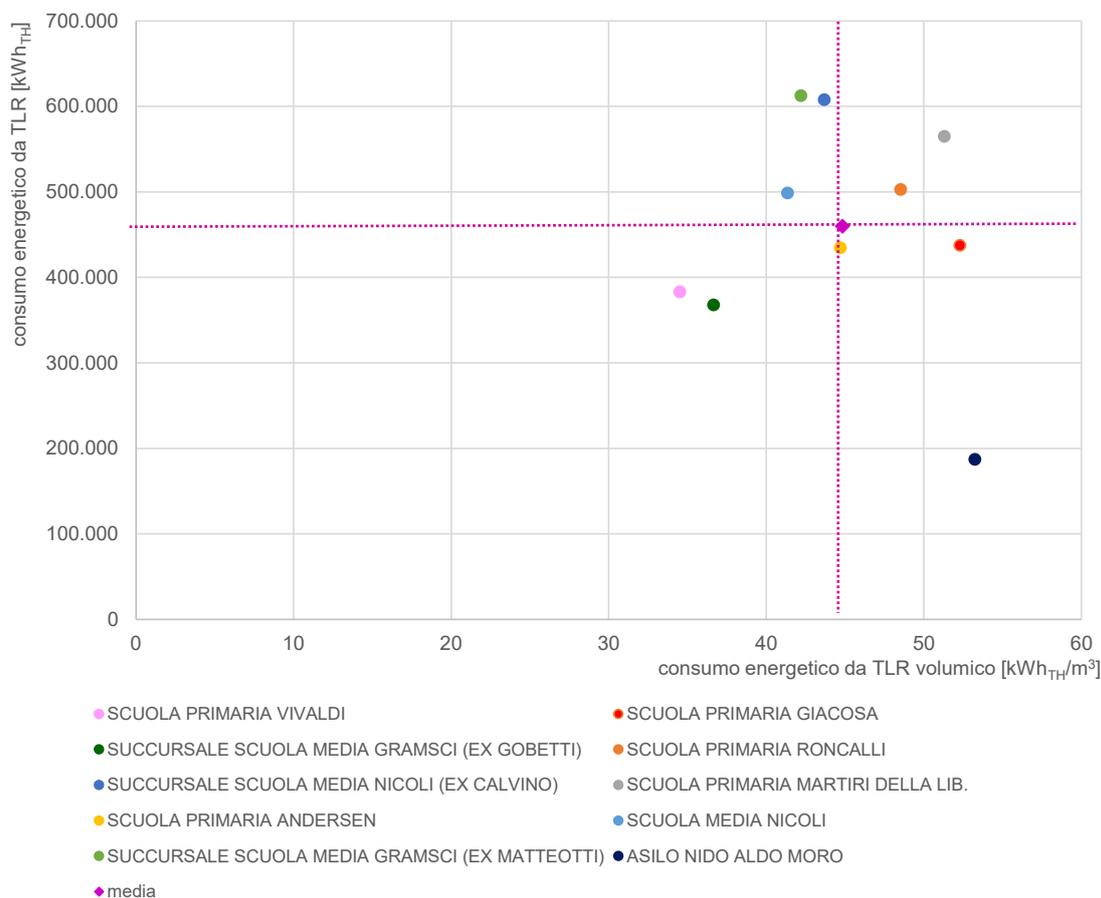


Figura 86 – Rappresentazione grafica dei consumi di energia termica relativi alle configurazioni pre-intervento di ciascun edificio scolastico

Si specifica come per la costruzione di tale grafico, volendo fornire una panoramica completa degli edifici scolastici, siano stati utilizzati i valori di fabbisogno trovati a calcolo e non quelli di consumo reale avuti dalla committenza. Questo è stato possibile in quanto, nonostante i risultati di fabbisogno si discostino, anche in modo non considerevole, dai dati di consumo reali a causa di un utilizzo variegato e non costante degli edifici considerati, essi sono stati ritenuti rispecchiare il comportamento reale della struttura con sufficiente precisione.

Procedendo quindi con l'analisi di quanto riportato in Figura 86, è possibile affermare come gli edifici scolastici che, a seguito di un intervento di contenimento energetico, risulterebbero avere un miglioramento delle prestazioni energetiche più significativo, sono quelli posizionati all'interno del terzo quadrante. Essi rappresentano gli edifici aventi un consumo specifico ed assoluto superiore a quella che risulta essere la media: aspetto che risulta essere sintomo di una bassa prestazione energetica.

Relativamente agli edifici posizionati all'interno degli altri quadranti si sottolinea come, presentando un minore consumo energetico in termini assoluti e/o specifici, l'incremento di prestazione energetica successivo alla realizzazione di un intervento di efficientamento energetico risulterebbe minore.

A seguito dell'analisi generale effettuata, il lavoro di tesi ha proceduto con l'effettuazione di diagnostiche energetiche dedicate per ogni singolo fabbricato. Tali diagnosi energetiche, sviluppate secondo la procedura definita dalla norma UNI CEI EN 16247:2, hanno messo in luce le criticità di ogni fabbricato dal punto di vista energetico e hanno permesso di valutare, in termini di rapporto costi benefici, gli interventi atti a mitigare tali criticità. Una volta poi valutate le opportunità di contenimento di consumi per ogni fabbricato, i risultati particolari sono stati riprocessati all'interno di una nuova valutazione generale su tutto il parco edilizio oggetto di analisi.

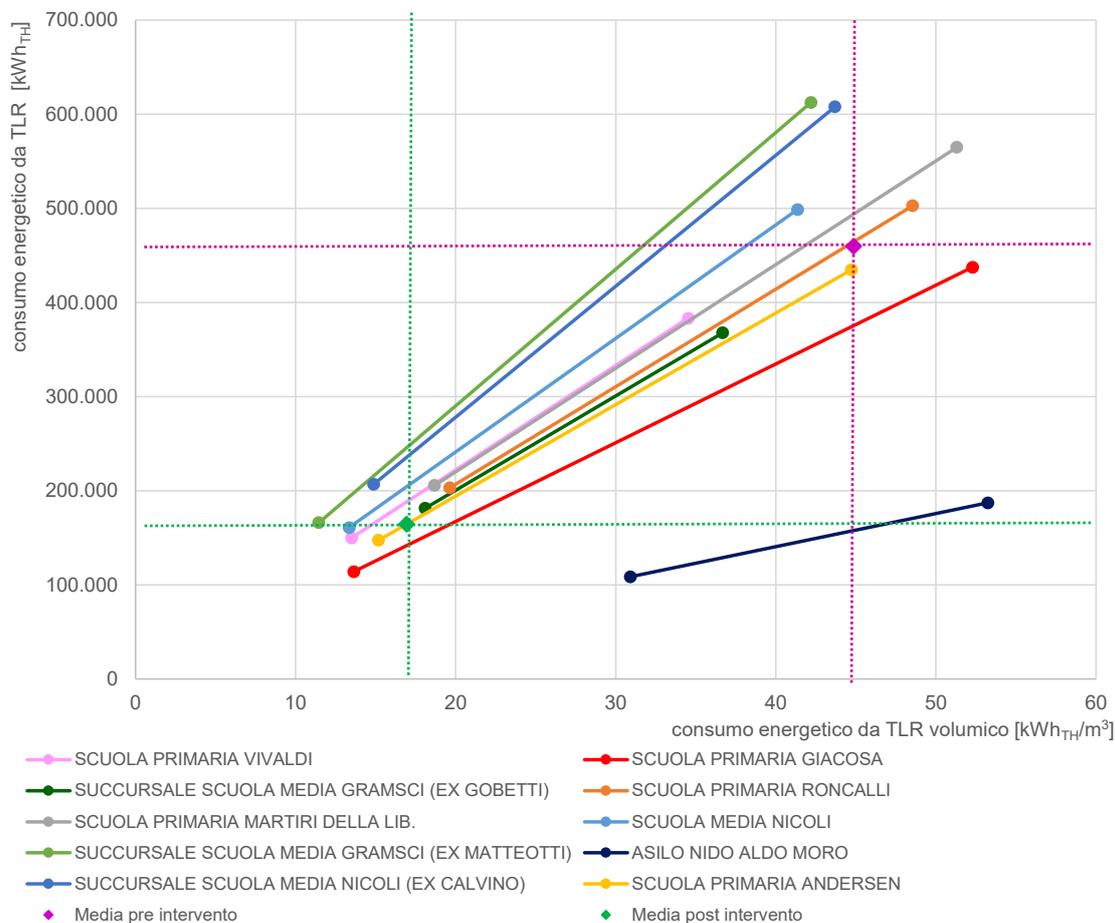


Figura 87 – Rappresentazione grafica dei consumi di energia termica relativi alle configurazioni pre e post-intervento di ciascun edificio scolastico

A tal fine è stata riproposta in Figura 85 la medesima metodologia di analisi globale precedentemente esposta, indicando però questa volta, oltre la condizione energetica attuale, anche la configurazione energetica potenziale a valle dell'esecuzione degli interventi studiati all'interno delle singole diagnosi energetiche. In tale rappresentazione, il segmento di congiunzione tra le due configurazioni rappresenta, per ogni edificio, il potenziale di riduzione di fabbisogno energetico. Da tale diagramma risulta chiaro come ogni edificio oggetto di studio presenti, a seguito della realizzazione degli interventi di efficientamento energetico, una forte riduzione dei consumi sia in termini assoluti che in termini specifici. Si sottolinea però, come gli edifici su cui risulta più redditizio in termini energetici intervenire sono quelli che presentano uno scostamento tra i due punti (pre e post-intervento) maggiore. Nel caos in oggetto si evidenzia che gli edifici su cui, dal punto di vista energetico, risulta prioritario operare sono la succursale della scuola secondaria di primo grado "A. Gramsci" (ex. Matteotti) e la scuola primaria Giacosa in quanto presentano un decremento percentuale dei consumi pari al 73% e al 74%.

A conclusione del lavoro svolto, si può affermare come lo strumento impiegato risulta di particolare interesse per l'amministrazione pubblica come supporto nell'ambito del percorso di riqualificazione energetica del parco edilizio gestito.

Ciò in quanto è caratterizzato dall'impiego di strumenti di esposizione e rappresentazione di facile lettura anche ai non addetti ai lavori. Il tutto però senza tralasciare l'applicazione di strumenti di valutazione specialistici che stanno alla base della garanzia di risultato in un contesto in cui gli investimenti hanno sia risvolti economici, sia ambientali e quindi sociali.

10 Ringraziamenti

Innanzitutto inizio ringraziando il professore Marco Carlo Masoero senza il quale non sarebbe stato possibile per me svolgere questa tesi .

Dopodiché vorrei ringraziare la Società Onleco grazie a cui ho avuto la possibilità di seguire questo progetto. Un ringraziamento particolare lo dedico all'Ingegnere Lorenzo Balsamelli, mio correlatore, per avere sempre cercato di trasmettermi la passione e la dedizione necessari in questo lavoro; a Mauri che come mio tutor ha sempre cercato di sostenermi ed aiutarmi con tanta pazienza; e a Mario, mio compagno di ufficio, che mi ha sopportata durante tutto il periodo di svolgimento della tesi (grazie).

Ringrazio Ste, mia compagna di avventure da due anni a questa parte, per avere condiviso con me i momenti belli e brutti che questa magistrale, e la vita in generale, ci hanno portato ad affrontare.

Vorrei ringraziare gli amici di sempre: Erika, Simona e Natti per esserci sempre state, Andrea per le camminate in esplorazione all'aria aperta, Marco per tutti gli aperitivi proposti e Giulia per quel suo modo incontrollato di parlare che ti mette il buonumore e ti fa dimenticare i tuoi problemi.

Ringrazio Rocio per essersi rivelata un'amica speciale su cui poter contare sempre.

Ringrazio l'EQUIPO e tutte le persone conosciute in Erasmus grazie alle quali ho trascorso un anno stupendo e con cui spero di condividere ancora molto altro. Un pensiero speciale va a Fra, dal cuore gentile e sempre disposto ad aiutare gli amici.

Ringrazio poi i miei compagni di studio: Alessandra e Simone per le passeggiate serali al grattacielo San Paolo e Judy che, bè, Judy è Judy.

Per concludere vorrei ringraziare la mia famiglia: i miei nonni che mi hanno sempre mostrato quanto la semplicità ed i sentimenti genuini siano importanti; mia sorella che come mia coinquilina mi ha sopportato in questi anni molte volte, tra l'altro, cucinando anche buonissime cene ed infine mamma e papà per sostenermi sempre e per essere, ogni giorno, l'esempio a cui aspiro diventare.

11 Indice delle figure

<i>Figura 1 – Energia disponibile per fonte energetica nell’Unione Europea-28 [3]</i>	10
<i>Figura 2 – Rielaborazione personale dei dati di percentuale di consumo di energia per uso finale nell’UE-28 anni 2010 e 2018 [3]</i>	11
<i>Figura 3 – Rielaborazione personale dei dati di percentuale di emissioni di CO₂ per uso finale [4]</i>	12
<i>Figura 4 – Consumo finale di energia per abitante nei paesi dell’Unione Europea UE-28 [3]</i>	12
<i>Figura 5 – Consumi energetici finali in Italia anno 2017 e 2018 [5]</i>	13
<i>Figura 6 – Rielaborazione personale dei dati di consumo finale di energia (PJ) per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione negli anni [4]</i>	13
<i>Figura 7 – Evoluzione dei consumi finali per settore finale (fonte: BER ENEA) [6]</i>	14
<i>Figura 8 – Suddivisione del territorio italiano secondo i gradi giorno [10]</i>	16
<i>Figura 9 – Schema delle diverse variabili in relazione al diverso livello di diagnosi</i>	20
<i>Figura 10 – Schema di flusso della diagnosi energetica [18]</i>	21
<i>Figura 11 – Vista dall’alto del Comune di Settimo Torinese con indicata l’ubicazione delle dieci scuole</i>	25
<i>Figura 12 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – scuola primaria Vivaldi</i>	26
<i>Figura 13 –Dettaglio stratigrafia tamponamento opaco palestra</i>	26
<i>Figura 14 –Dettaglio copertura a falde</i>	27
<i>Figura 15 – Dettaglio di un serramento all’interno di un’aula scolastica</i>	27
<i>Figura 16 –Scambiatore presente in centrale termica</i>	28
<i>Figura 17 – Collettore di zona presente all’interno degli spogliatoi</i>	28
<i>Figura 18 – Esempio di sorgente luminosa di tipo a LED (sinistra) e a plafoniera con tubi a fluorescenza (destra)</i>	29
<i>Figura 19 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – scuola primaria Giacosa</i>	30
<i>Figura 20 – Porzione di facciata esterna che presenta finitura in paramano (porzione più scura) e intonaco (porzione più chiara)</i>	30
<i>Figura 21 – Dettaglio di un serramento all’interno dell’edificio scolastico</i>	31
<i>Figura 22 – Scambiatore di allaccio alla rete TLR</i>	31
<i>Figura 23 – Rete di distribuzione a vista</i>	32
<i>Figura 24 – Apparecchio illuminante a LED (sinistra), a fluorescenza (destra)</i>	33
<i>Figura 25 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – succursale scuola media A. Gramsci</i>	34
<i>Figura 26 – Esempio di una porzione di facciata esterna priva di intonacatura</i>	34
<i>Figura 27 – Solaio di separazione verso gli ambienti seminterrati non riscaldati</i>	35
<i>Figura 28 – Scambiatore di calore presente in centrale termica</i>	35
<i>Figura 29 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – scuola primaria Roncalli</i>	37
<i>Figura 30 - Dettaglio del solaio di copertura piana</i>	38
<i>Figura 31 - Dettaglio del coibente presente all’estradosso al solaio di copertura dell’ambiente refettorio</i>	38
<i>Figura 32 –Esempi di serramenti in ferro presenti nell’edificio scolastico</i>	39
<i>Figura 33 –Fotografia dello scambiatore presente in centrale termica</i>	39
<i>Figura 34 –Esempio luce a fluorescenza nell’edificio</i>	40
<i>Figura 35 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – succursale scuola media G. Nicoli</i>	41
<i>Figura 36 – Esempio di muratura in elementi prefabbricati (porzione laterale della palestra)</i>	42

<i>Figura 37 – Dettaglio di un serramento presente nell’edificio scolastico</i>	42
<i>Figura 38 - Scambiatore di calore presente in centrale termica</i>	43
<i>Figura 39 – Unità di trattamento aria a servizio della palestra</i>	44
<i>Figura 40 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – scuola primaria Martiri della Libertà</i>	45
<i>Figura 41 - Dettaglio dell’ambiente sottotetto</i>	45
<i>Figura 42 –Fotografia dello scambiatore presente in centrale termica</i>	46
<i>Figura 43 – Dettaglio condotto di ventilazione presente nel locale interrato</i>	47
<i>Figura 44 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – scuola primaria Andersen</i>	48
<i>Figura 45 – Esempio tamponamenti presenti nell’edificio scolastico (immagine a sinistra), dettaglio di un tamponamento danneggiato (immagine a destra)</i>	48
<i>Figura 46 - Dettaglio della copertura piana presente sopra una porzione del locale spogliatoi</i>	49
<i>Figura 47 –Fotografia dello scambiatore presente in centrale termica</i>	49
<i>Figura 48 – Esempio di un bollitore elettrici presente nell’edificio scolastico</i>	50
<i>Figura 49 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – scuola media G. Nicoli</i>	51
<i>Figura 50 – Solaio di separazione verso gli ambienti seminterrati non riscaldati</i>	51
<i>Figura 51 – Lucernaio presente sulla copertura (vista esterna e interna)</i>	52
<i>Figura 52 – Scambiatore di allaccio alla rete TLR</i>	52
<i>Figura 53 - Esempio di locale con illuminazione a led</i>	53
<i>Figura 54 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – succursale scuola media A. Gramsci</i>	54
<i>Figura 55 – Esempio delle diverse finiture delle superfici opache verticali della struttura (a sinistra: in basso finitura in pietra, in alto finitura in paramano; a destra finitura in intonaco)</i>	54
<i>Figura 56 - Dettaglio del solaio su sottotetto della porzione aggiunta più di recente con strato coibente</i>	55
<i>Figura 57 – Fotografia scambiatore presente in centrale termica</i>	56
<i>Figura 58 – Vista aerea dell’edificio e dati caratteristici – asilo nido Aldo Moro</i>	57
<i>Figura 59 – Porzione di facciata esterna con blocchetti a vista</i>	57
<i>Figura 60 – Vista dall’interno della copertura con individuazione strato di coibente</i>	58
<i>Figura 61 – Scambiatore di allaccio alla rete TLR</i>	59
<i>Figura 62 – Rete orizzontale di distribuzione sita all’interno del piano interrato</i>	59
<i>Figura 63 – Sistema di accumulo per la produzione di acs</i>	60
<i>Figura 64 - Termogramma e analisi delle anomalie termiche in corrispondenza delle porzioni di muratura caratterizzate da spessori ridotti (aula - termografia dall’interno)</i>	61
<i>Figura 65 - Termogramma e analisi delle anomalie termiche in corrispondenza delle porzioni di muratura caratterizzate da spessori ridotti (termografia eseguita dall’esterno)</i>	62
<i>Figura 66 – Termogramma in corrispondenza di una superficie finestrata (termografia effettuata all’interno)</i>	63
<i>Figura 67 – Termogramma di un ponte parete-trave presente nel locale della palestra (termografia effettuata dall’interno)</i>	64
<i>Figura 68 – Termogramma e analisi di un solaio disperdente verso ambiente sottotetto (palestra - termografia effettuata dall’interno)</i>	65
<i>Figura 69 – Termogramma dettaglio dorsali di distribuzione site all’interno del vespaio interrato (termografia effettuata dall’interno).</i>	65
<i>Figura 70 – Consumo reale da teleriscaldamento di sette edifici scolastici negli anni 2007-2014</i>	67
<i>Figura 71 – Andamento consumi reali da TLR rispetto ai differenti gradi giorno</i>	68

<i>Figura 72 – Consumo reale normalizzato dei sette edifici scolastici negli anni</i>	70
<i>Figura 73 – Dettaglio analisi dei consumi succursale scuola media G. Nicoli (ex. Calvino)</i>	71
<i>Figura 74 – Dettaglio analisi dei consumi reali scuola primaria Andersen</i>	72
<i>Figura 75 – Dettaglio analisi dei consumi reali asilo nido Aldo Moro</i>	72
<i>Figura 76 – Dettaglio analisi dei consumi reali della scuola media G. Nicoli</i>	73
<i>Figura 77 Media di consumo reale da TLR per ogni scuola e indice di consumo volumico (linea rossa)</i>	76
<i>Figura 78 – Consumi reale medio di energia elettrica</i>	78
<i>Figura 79 – Consumi reali totali di energia elettrica relativi allo stato attuale degli edifici scolastici</i>	79
<i>Figura 80 – Consumi reali totali di energia elettrica normalizzati rispetto alla superficie netta</i>	80
<i>Figura 81 – Schema costruttivo dell'intervento proposto</i>	84
<i>Figura 82 – Schema costruttivo dell'intervento proposto – copertura inclinata a falde</i>	85
<i>Figura 83 – Schema costruttivo dell'intervento proposto – copertura piana sull'esterno</i>	86
<i>Figura 84 – Schema costruttivo dell'intervento proposto – solaio su sottotetto</i>	87
<i>Figura 85 – Schema costruttivo dell'intervento proposto</i>	88
<i>Figura 86 – Rappresentazione grafica dei consumi di energia termica relativi alle configurazioni pre-intervento di ciascun edificio scolastico</i>	104
<i>Figura 87 – Rappresentazione grafica dei consumi di energia termica relativi alle configurazioni pre e post-intervento di ciascun edificio scolastico</i>	106

12 Bibliografia

- [1] Unione Europea, "Sito ufficiale unione Europea." <https://ec.europa.eu>.
- [2] Ministero dello Sviluppo Economico, "Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima," p. 294, 2019.
- [3] Eurostat, *Energy data 2020 edition*. 2020.
- [4] International Energy Agency, "Data and Statistics," 2018. <https://www.iea.org/data-and-statistics>.
- [5] ENEA, "Rapporto annuale efficienza energetica," 2020.
- [6] Regione Piemonte, "Proposta di Piano Energetico Ambientale Regionale," 2019.
- [7] "LEGGE 30 marzo 1976, n. 373," *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1976/06/07/076U0373/sg>.
- [8] "LEGGE 9 gennaio 1991, n. 10," *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1991/01/16/091G0015/sg>.
- [9] "DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 26 agosto 1993, n. 412," *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1993/10/14/093G0451/sg>.
- [10] V. Corrado, I. Ballarini, S. P. Corgnati, and N. Talà, *Building Typology Brochure--Italy*. 2011.
- [11] "Legenda delle Categorie della destinazione dell'edificio Scheda 1 - Sezione 1.2," vol. 6, no. 1, p. 8.
- [12] European Parliament and European Council, "Directive 2002/91/EC of 16 December 2002 on the energy performance of buildings," *Off. J. Eur. Union*, no. 11, pp. 65–71, 2002, [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj>.
- [13] "DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 192," *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2005/09/23/005G0219/sg>.
- [14] Governo della Repubblica Italiana, "Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici," *Gazz. Ufficiale della Repubblica Italiana*, n°39, 15 Luglio 2015, pp. 1–8, 2015, [Online]. Available: https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/DM_requisiti_minimi.pdf.
- [15] M. dello sviluppo economico di concerto con i M. delle infrastrutture e dei trasporti e per la semplificazione e la pubblica Amministrazione, "Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici," 2010.
- [16] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del mare, Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, and Ministero per la semplificazione e la pubblica amministrazione, "Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici," *Gazz. Uff.*, 2015, [Online]. Available:

<http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/normativa/decreti-interministeriali/2032968-decreto-interministeriale-26-giugno-2015-adeguamento-linee-guida-nazionali-per-la-certificazione-energetica-degli-edifici>.

- [17] “UNI CEI EN 16247-1 2012.” .
- [18] “UNI CEI EN 16247-2 2014.” .
- [19] “UNI CEI EN 16247-3 2014.” .
- [20] “UNI CEI EN 16247-4 2014.” .
- [21] “UNI CEI EN 16247-5 2015.” .
- [22] “UNI/TR 11775:2020.” .
- [23] L. Mazzeola, “Diagnosi energetica (Energy Audit): aspetti generali - criteri e procedure di valutazione,” pp. 15–42, 2010.
- [24] Il Ministro dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministro dell ' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e con il Ministro delle politiche agricole, “Decreto interministeriale 16 febbraio 2016 - Aggiornamento Conto termico,” pp. 1–20, 2014.
- [25] “DECRETO 6 agosto 2020,” *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/10/05/20A05394/sg>.
- [26] UNI TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1 – Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- [27] UNI TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2 – Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
- [28] S. Corgnati, E. Fabrizio, F. Ariardo, and L. Rollino, “Report RSE/2010/190: Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici) applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani,” p. 177, 2010, [Online]. Available: http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/fabbisogni-consumi-energetici/7-polito.pdf.