

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

Ingegneria Energetica e Nucleare – Uso razionale dell’energia e progettazione termotecnica

Tesi di Laurea Magistrale

Trasformazione di un edificio scolastico in nZEB



Relatori

Prof. Enrico Fabrizio

Prof. Marco Badami

Candidato

Giacomo Lanteri

Ottobre 2018

Sommario

Ringraziamenti	3
Introduzione	4
1. Qualità energetica dell'edilizia scolastica.....	6
2. Edifici a energia quasi zero.....	11
a. Decreto requisiti minimi.....	11
b. nZEB	12
3. Presentazione del caso studio.....	16
a. I consumi energetici del Comune.....	16
b. La scuola elementare.....	20
c. Definizione dei flussi energetici.....	26
4. La diagnosi energetica del caso di studio	32
a. Raccolta bollette e fattori di aggiustamento.....	35
Energia termica.....	35
Energia Elettrica.....	42
Confronto con altri edifici scolastici.....	50
b. Fabbisogno di energia primaria.....	51
c. Attività di rilievo in sito	54
Confronto dell'involucro con gli edifici scolastici della provincia di Torino	55
Misura della trasmittanza della parete esterna.....	57
d. Costruzione di un modello termoenergetico	61
Costruzione modello	62
Validazione modello.....	68
e. Ipotesi di riqualificazione energetica	73
5. Scenari nZEB	80
a. Benefici economici e ambientali.....	82

b. nZEB con diversi sistemi di generazione.....	87
6. Valutazione delle opportunità di finanziamento	90
a. Il finanziamento tramite terzi (FTT)	91
b. I contratti di prestazione energetica (EPC)	92
c. Conto Termico 2.0.....	95
d. Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR).....	98
Conclusioni.....	100
Bibliografia.....	102
Allegati.....	103
Allegato 1: piante della scuola.....	103
Allegato 2: Tabella della potenza degli apparecchi illuminanti divisi per locale e relativi sostituti a led proposti	107
Allegato 3: tabella dei serramenti.....	109
Allegato 4: Dettaglio dei costi.....	110
Indice delle figure:.....	117
Indice delle tabelle:.....	119

Ringraziamenti

Ai miei genitori, ai miei fratelli, ai miei nonni e ai miei amici: grazie per il supporto e la compagnia, tutti hanno contribuito a rendere questi cinque anni di università sereni e divertenti.

I miei sentiti ringraziamenti vanno anche alle persone che ho incontrato in Territorio ed Energia. In particolar modo, mi sento in dovere di esprimere un ringraziamento particolare all'Ing. Giuseppe Fracchia che mi ha dato la possibilità di svolgere una bella esperienza lavorativa e di redigere la presente tesi, al mio tutor aziendale Ing. Simone Odella e all'Ing. Elio Loredini, che mi hanno permesso di sentirmi a mio agio fin dal primo giorno e mi hanno sempre aiutato con consigli utili.

Ringrazio infine i miei relatori, il Prof. Enrico Fabrizio e il Prof. Marco Badami, senza i quali la stesura di questo elaborato non sarebbe stata possibile.

Introduzione

La presente tesi si inserisce all'interno dell'ampio tema dell'efficienza energetica per il patrimonio edilizio pubblico nazionale: in particolare si parlerà di edifici scolastici, di edifici ad energia quasi zero e del ruolo che le società di servizi energetici possono ricoprire in tale ambito.

I consumi energetici annuali degli edifici della Pubblica Amministrazione italiana (PA) ammontano a circa 135 TWh di energia primaria per usi elettrici e termici, circa il 9% dell'energia primaria totale per gli usi finali (fonte: rapporto annuale efficienza energetica 2017 [1]). Nello specifico, il consumo elettrico complessivo della Pubblica Amministrazione è mediamente di 20-30 TWh all'anno, pari a circa l'8% del consumo elettrico nazionale, mentre il consumo termico è complessivamente di circa 60-70 TWh, pari a circa il 10% del consumo termico nazionale (fonte: rapporto annuale efficienza energetica 2017 [1]).

I numeri sopra esposti sono sicuramente rilevanti nel quadro dettato dagli obiettivi europei di riduzione dei consumi e delle emissioni di gas serra, ma i fattori che più sono interessanti e peculiari di questo settore sono i seguenti:

- il potenziale di miglioramento, visto che il processo di efficientamento del patrimonio pubblico si può ritenere ancora alle fasi iniziali;
- il ruolo esemplare degli edifici degli enti pubblici introdotto dalla Direttiva Europea 2012/27/UE nella quale è richiesto che, dal 2014 al 2020, ciascuno Stato membro garantisca la riqualificazione energetica di almeno il 3 % della superficie coperta utile climatizzata.

Un concetto chiave per perseguire tali obiettivi è quello dell'nZEB, l'edificio a energia quasi zero, definito per la prima volta dalla direttiva europea EPBD recast del 2010 e poi introdotto nella legislazione italiana dal DM 26 giugno 2015.

Tuttavia l'effettiva trasformazione di edifici pubblici in nZEB, o anche solamente la riqualificazione di essi, non è affatto scontata: infatti, ostacoli di tipo economico e la scarsa conoscenza degli strumenti e delle opportunità di miglioramento da parte della PA frenano la diffusione dell'efficienza energetica in questo settore.

La spesa per gli investimenti, elemento necessario, trova dei limiti nei vincoli di bilancio pubblico molto stringenti. La strada per lo sviluppo di un reale mercato “pubblico” dell’efficienza energetica è quindi ancora lunga.

In questo contesto si inserisce il beneficio che può derivare dalla collaborazione di un ente pubblico con una società ESCo: come sottolineato dalla Direttiva Europea 2012/27/UE le ESCo e gli energy performance contract (EPC) hanno un ruolo di rilievo, in quanto strumenti utili per migliorare l’efficienza energetica anche presso soggetti che non hanno competenze o risorse.

Per mostrare quali possono essere questi benefici viene descritto un caso reale, frutto della mia esperienza di tirocinio maturata presso la società ESCo “Territorio ed Energia srl”. L’oggetto di analisi è una scuola elementare, sita a Carcare, un comune di circa 5500 abitanti in provincia di Savona, Liguria. Nelle prime pagine si fa una breve descrizione dello stato attuale delle scuole italiane in relazione alla loro performance energetica.

Il primo passo dello studio del caso reale consiste nell’analisi dei flussi energetici che coinvolgono il sistema edificio-impianto con riferimento alla norma UNI TS 11300 parti 1 e 5. Poi viene effettuata la diagnosi energetica (valutazione in modalità A3) che costituisce la base del lavoro: con essa si costruisce un modello, utilizzando il software EC700 di Edilclima, che rappresenta fedelmente la situazione attuale di prestazione energetica dell’edificio e verrà usato come base di confronto per valutare gli interventi migliorativi. La diagnosi è stata completata in seguito a un’accurata attività di rilievo e di raccolta e analisi delle bollette elettriche e termiche storiche. Come primo studio di riqualificazione vengono proposti diversi interventi, confrontati in base al loro tempo di ritorno semplice.

Vengono poi analizzati i vantaggi che derivano dalla trasformazione dell’edificio in nZEB. Il progetto dell’nZEB, valutato in modalità A1 (design rating), viene confrontato con l’edificio di riferimento al fine di soddisfare il DM 26 giugno 2015 sui requisiti minimi. Lo scenario nZEB viene inoltre valutato al variare di diversi sistemi di generazione di energia termica.

Vengono quindi analizzate le possibili forme di finanziamento a cui il Comune può accedere, grazie anche all’affiancamento della ESCo, per far sì che il progetto sia economicamente sostenibile. Lo scenario migliore a cui si può aspirare consiste nell’accesso a finanziamenti a fondo perduto che coprano fino al 100% delle spese necessarie.

1. Qualità energetica dell'edilizia scolastica

In questo primo capitolo si vuole dare una visione generale sullo stato attuale degli edifici scolastici Italiani. In particolare i dati a cui si fa riferimento emergono da una ricerca del 2010 pubblicata come Report RSE/2010/190 di Enea dal titolo: *“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.”* [2]. Questa ricerca, tra le altre cose, propone un'indagine su un campione di 103 edifici a destinazione d'uso scolastica superiore situati nella provincia di Torino, di cui il 93% in fascia E e il 7% in fascia F, con Gradi Giorno medi 2700. Questo campione, nonostante sia limitato a edifici scolastici di scuole medie superiori, può essere considerato, in prima analisi, rappresentativo della situazione energetica delle scuole italiane. Inoltre nell'anno 2010 si può dire che grandi interventi di riqualificazione energetica nel settore scolastico non erano sicuramente ancora partiti.

Il campione analizzato presenta scuole di varie dimensioni, a partire da una superficie utile di meno di 1.000 m² fino a più di 11.000 m².

Nei seguenti grafici e nelle seguenti tabelle vengono presentati i risultati di tale analisi in relazione ad alcune caratteristiche energetiche delle scuole, sia per quanto riguarda l'involucro che per quanto riguarda l'impianto:

Circa il 50% degli edifici analizzati ha una trasmittanza termica media degli elementi di involucro opachi verticali, ponderata sulla superficie di ciascun componente, superiore a 1 W/m²/K. Tali numeri sono specchio di pareti esterne certamente poco performanti energeticamente.

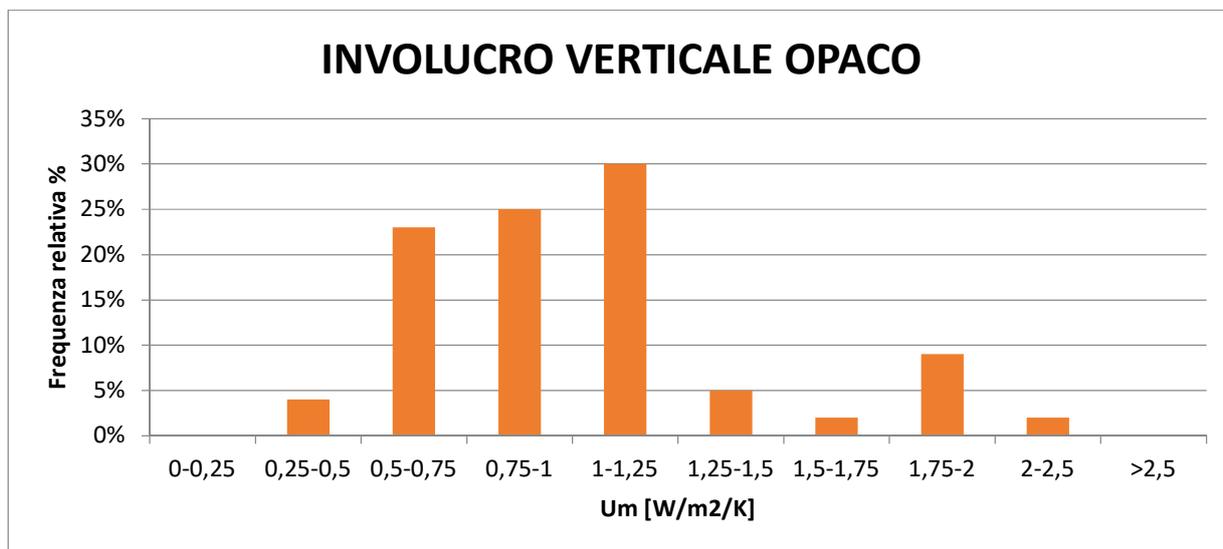


Figura 1 Trasmittanza termica media pareti verticali, analisi scuole provincia di Torino. (rielaborazione da [2])

Il trend è simile anche per le superfici opache orizzontali. In questo caso però, la presenza di più del 20% di edifici con trasmittanza inferiore a 0.5 W/m²/K denota come in alcuni casi interventi di isolamento delle coperture siano già stati effettuati.

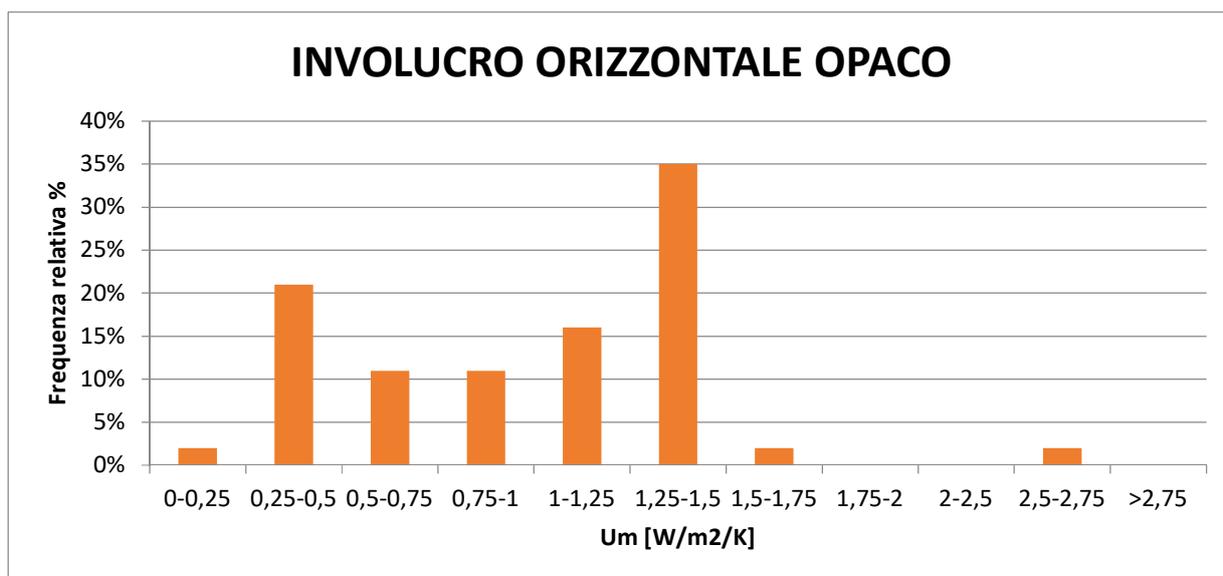


Figura 2 Trasmittanza termica media coperture opache, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2])

I valori di trasmittanza termica media degli elementi trasparenti verticali scambianti con l'esterno mostrano una situazione, al 2010, di prevalenza di vetro singolo oppure di vetro camera di bassa qualità, nonostante il campione analizzato si trovi interamente in fasce climatiche E ed F.

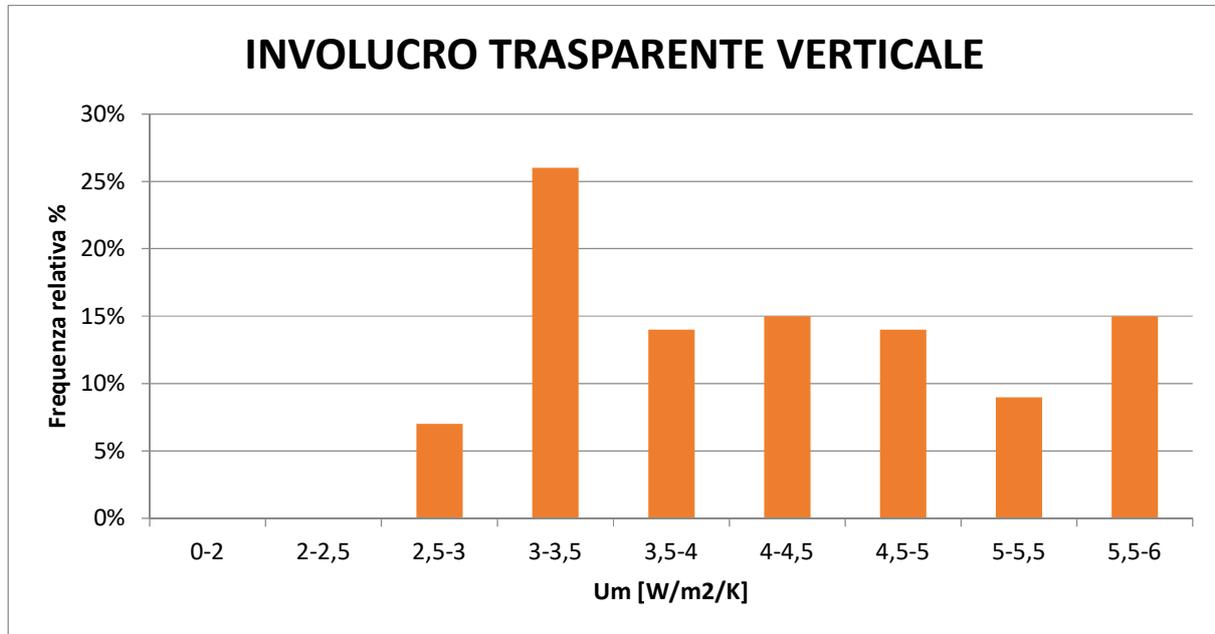


Figura 3 Trasmittanza termica media elementi trasparenti, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2])

Il sistema di generazione prevalente è la caldaia a gas tradizionale utilizzata nel 75% delle scuole analizzate.

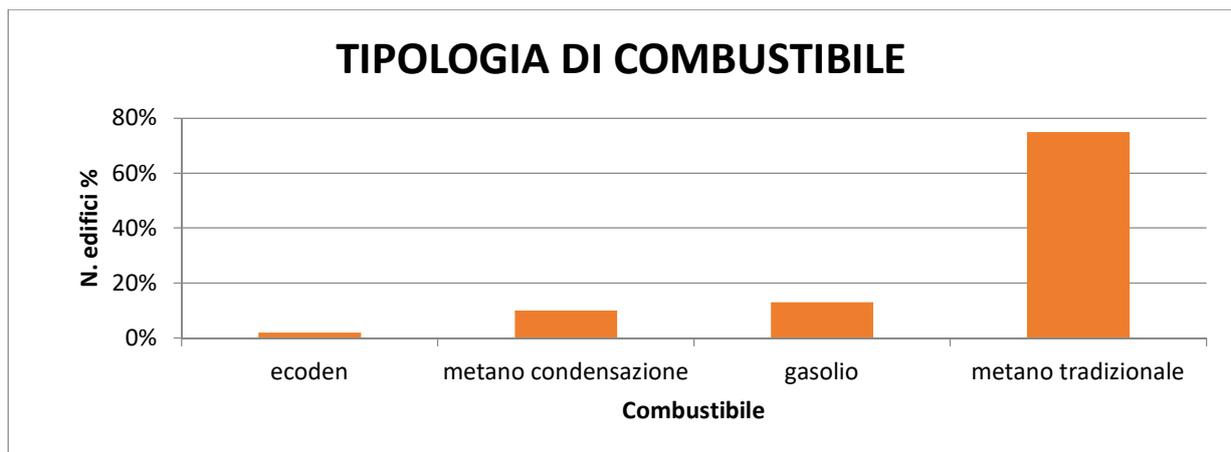


Figura 4 Tipologia di combustibile per l'alimentazione dell'impianto di riscaldamento, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2])

Il rendimento di produzione medio stagionale reale degli impianti di riscaldamento è calcolato come rapporto fra l'energia utile e l'energia associata al combustibile consumato per la climatizzazione invernale. La maggior parte degli impianti si attesta su rendimenti dell'85-90%, considerabili buoni. C'è però una percentuale non trascurabile di impianti che raggiunge valori di rendimento inferiori al 75 %.

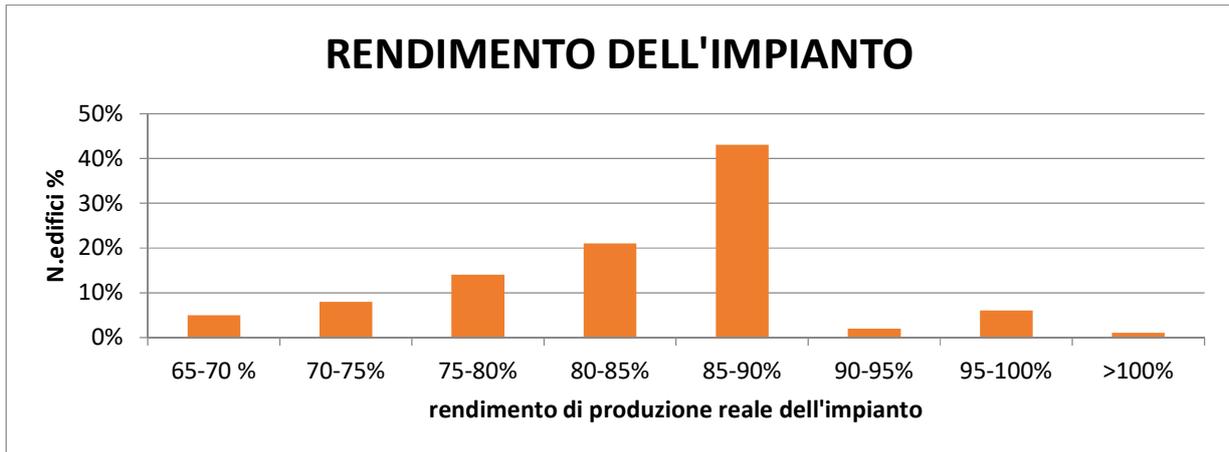


Figura 5 rendimento di produzione medio stagionale reale dell'impianto di riscaldamento, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2])

Il consumo di energia utile per unità di volume lordo climatizzato, normalizzato con i gradi giorno di Torino del D.P.R. 412/93 presenta una distribuzione quasi normale con valor medio di circa 25 kWh/m³ all'anno.

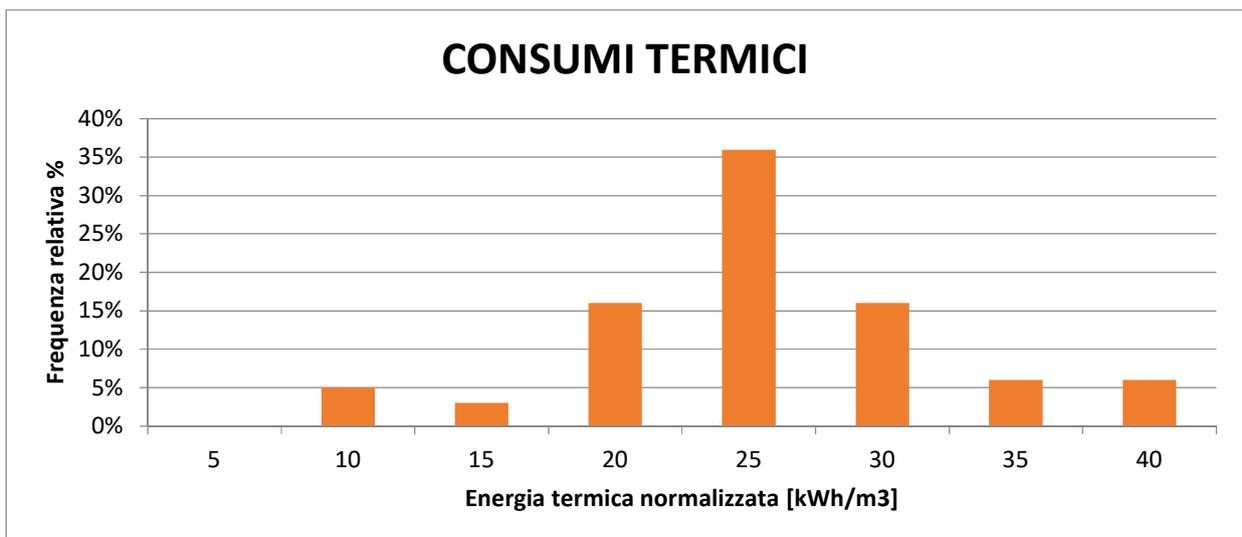


Figura 6 Consumo di energia termica per unità di volume normalizzata rispetto ai gradi giorno, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2])

Per quanto riguarda il consumo riferito all'unità di superficie utile i risultati dell'analisi delle 103 scuole sono i seguenti:

Energia utile per la climatizzazione invernale: 114 kWh/m².

Energia elettrica: 15 kWh/m².

2. Edifici a energia quasi zero

Dato il potenziale di miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici scolastici mostrato nel capitolo precedente e per garantire il ruolo di esempio nel percorso di efficientamento energetico nazionale da parte degli edifici pubblici, un ruolo chiave è quello giocato dal cosiddetto nZEB (nearly Zero Energy Building) , in italiano “Edificio a energia quasi zero”. Questa categoria è stata introdotta per la prima volta nell’articolo 2 della “ DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell’edilizia (rifusione)” con la seguente definizione: “edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l’energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze”.

Il concetto di nZEB viene poi ripreso dalla legislazione Italiana nel DM 26 giugno 2015.

a. Decreto requisiti minimi

Il Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 detta i requisiti minimi richiesti per diverse tipologie di intervento.

In particolare si distinguono:

Edifici di nuova costruzione: edificio il cui titolo abitativo sia stato richiesto dopo l’entrata in vigore del DM 26 giugno 2015 oppure edificio sottoposto a demolizione e ricostruzione oppure ampliamento di edifici esistenti sempre che la nuova porzione abbia un volume lordo climatizzato superiore al 15 % di quello esistente.

Ristrutturazione importante di primo livello: l’intervento, oltre a interessare l’involucro edilizio con un’incidenza superiore al 50 % della superficie disperdente lorda complessiva dell’edificio, comprende anche la ristrutturazione dell’impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all’intero edificio. In tali casi i requisiti di

prestazione energetica si applicano all'intero edificio e si riferiscono alla sua prestazione energetica relativa al servizio o servizi interessati.

ristrutturazioni importanti di secondo livello: l'intervento interessa l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 25 % della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e può interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva. In tali casi, i requisiti di prestazione energetica da verificare riguardano le caratteristiche termo-fisiche delle sole porzioni e delle quote di elementi e componenti dell'involucro dell'edificio interessati dai lavori di riqualificazione energetica e il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione determinato per l'intera parete, comprensiva di tutti i componenti su cui si è intervenuti.

Riqualificazione energetica: gli interventi non riconducibili ai punti precedenti costituiscono riqualificazioni energetiche. In tali casi i requisiti di prestazione energetica richiesti si applicano ai soli componenti edilizi e impianti oggetto di intervento, e si riferiscono alle loro relative caratteristiche termo-fisiche e di efficienza.

b. nZEB

Nel DM 26 giugno 2015 viene inoltre data la seguente definizione di edificio a energia quasi zero: gli "edifici a energia quasi zero" sono tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, che soddisfano tutti i requisiti previsti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3 dell'Allegato 1 e gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n.28 [3].

Perchè un edificio sia classificabile come nZEB i seguenti indici devono essere migliori di quelli calcolati per l'edificio di riferimento:

- **il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (H'T):**

$$H'T = H_{tr,adj} / \Sigma kA_k \quad [W/m^2K]$$

Htr,adj è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro calcolato con la UNI/TS 11300-1 (W/K);

Ak è la superficie delk-esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro (m²).

Il valore di H'T deve essere inferiore al valore massimo ammissibile riportato nella seguente tabella in funzione della zona climatica e del rapporto S/V.

Tabella 1 Valore limite di H'T, fonte DM requisiti minimi

Numero Riga	RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
1	$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
2	$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
3	$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70

- **l'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile (Asol,est/Asup utile):**

L'area equivalente estiva Asol,est dell'edificio come sommatoria delle aree equivalenti estive di ogni componente vetrato k:

$$Asol,est = \sum k F_{sh,ob} g_{gl+sh} \times (1-FF) \times A_{w,p} \times F_{sol,est} \quad [m^2]$$

con:

- Fsh,ob: fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima, riferito al mese di luglio;
- ggl+shut: trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;
- FF: frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;
- Aw,p: è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra);

- $F_{sol,est}$: è il fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza media nel mese di luglio, nella località e sull'esposizione considerata, e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale.

Il valore di $A_{sol,est}$ rapportato all'area della superficie utile deve essere inferiore al valore massimo ammissibile riportato nella seguente tabella:

Tabella 2 Valore limite di $A_{sol,est}$, fonte DM requisiti minimi

#	Categoria edificio	Tutte le zone climatiche
1	Categoria E.1 fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3)	$\leq 0,030$
2	Tutti gli altri edifici	$\leq 0,040$

- **l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPH,nd);**
L'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale dev'essere inferiore all'indice calcolato per l'edificio di riferimento.
- **l'indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva (EPC,nd);**
L'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva dev'essere inferiore all'indice calcolato per l'edificio di riferimento.
- **l'indice di prestazione energetica globale totale, espresso in energia primaria ($EPgl,tot$);**
L'indice di prestazione energetica globale totale dev'essere inferiore all'indice calcolato per l'edificio di riferimento.
- **i rendimenti dell'impianto di climatizzazione invernale, di climatizzazione estiva e di produzione dell'acqua calda sanitaria (η_H, η_C, η_W).**

I valori di rendimento degli impianti di climatizzazione e acqua calda sanitaria devono essere superiori a quelli calcolati per l'edificio di riferimento.

Inoltre è necessaria la copertura del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e del 50% cento della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili (Allegato 3,paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n.28.

Per gli edifici pubblici tale soglia è da incrementare del 10%. E' quindi necessaria la copertura del 55% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e del 55% cento della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento da fonti rinnovabili.

A partire dal capitolo seguente verrà illustrata un'esperienza concreta di trasformazione di un edificio scolastico in nZEB.

3. Presentazione del caso studio

La scuola oggetto della tesi è la scuola elementare Gianni Rodari, situata in Via del Collegio 6, Carcare (SV), in una zona che comprende nelle vicinanze la scuola materna, le scuole medie il palazzetto dello sport ed altri impianti sportivi. L'edificio ha una superficie utile di 2470 m² e un volume netto climatizzato di 9215 m³.

In questo capitolo si dà prima una visione del contesto in cui l'edificio in esame si trova, cioè del Comune di Carcare. Successivamente si descrive la scuola sia dal punto di vista strutturale che impiantistico. Infine si definiscono i flussi energetici che caratterizzano l'edificio.

a. I consumi energetici del Comune

Il comune di Carcare è situato nell'entroterra ligure, in Provincia di Savona, più precisamente in val Bormida.

Abitanti: 5.546

Superficie: 10,40 km²

Gradi Giorno: 2295

Zona climatica: zona E

Altitudine: 359-600 m s.l.m.

Secondo i dati ISTAT del 2001, il parco edilizio presente nel comune di Carcare è costituito quasi per il 40% da edifici monofamiliari; circa il 30% da edifici bifamiliari e la percentuale rimanente è costituita da edifici con 3 o più alloggi per edificio.

Il 20% degli edifici del comune di Carcare sono stati costruiti prima degli anni '20. Nei successivi 25 anni sono stati edificati il 12% degli edifici mentre il tasso di edificazione è aumentato ulteriormente nei successivi 15 anni (24% tra il 1946 e il 1961), e si è mantenuto circa

uguale tra il 1962 ed il 1971 (circa il 21%). A partire dagli anni '70 fino ad oggi si è assistito ad una diminuzione delle nuove edificazioni, tanto da arrivare a circa un 4% dopo gli anni '90.

Per quanto riguarda i materiali da costruzione principalmente impiegati per la struttura portante degli edifici, risulta che il 48% degli immobili è realizzato in muratura portante, il 25% in calcestruzzo armato e il restante 27% presenta strutture realizzate con altri materiali non meglio specificati.

Degli edifici esistenti al 2001, circa il 60% risultano avere due piani fuori terra, l'8% conta solamente un piano fuori terra, il 19% tre piani, e solamente il 13% degli edifici ha 4 o più piani fuori terra

Di seguito, in Tabella 6, si riporta l'elenco degli edifici di proprietà comunale, in gestione diretta al Comune di Carcare o a soggetti terzi, e i relativi fabbisogni energetici annui relativi all'anno 2005.

Tabella 3 Consumi degli edifici pubblici di Carcare al 2005 [3]

Edificio	Superficie lorda ridcaldata [m2]	Combustibile	Consumi di energia primaria per usi termici [MWh]	Consumi di energia elettrica [MWh]
Palazzo Comunale	1740	Metano	85,6	29,8
Scuola elementare e palestra	2769	Metano	417,1	55
Scuola materna e mensa	1758	Metano	277,9	23,8
Scuola media	1688	Metano	216,5	23,6
Biblioteca e Museo	593	Metano	134,6	13,9
Palazzetto dello sport	1513	Metano	257,4	47,5

I dati della tabella sono poi utilizzati nelle due figure seguenti:

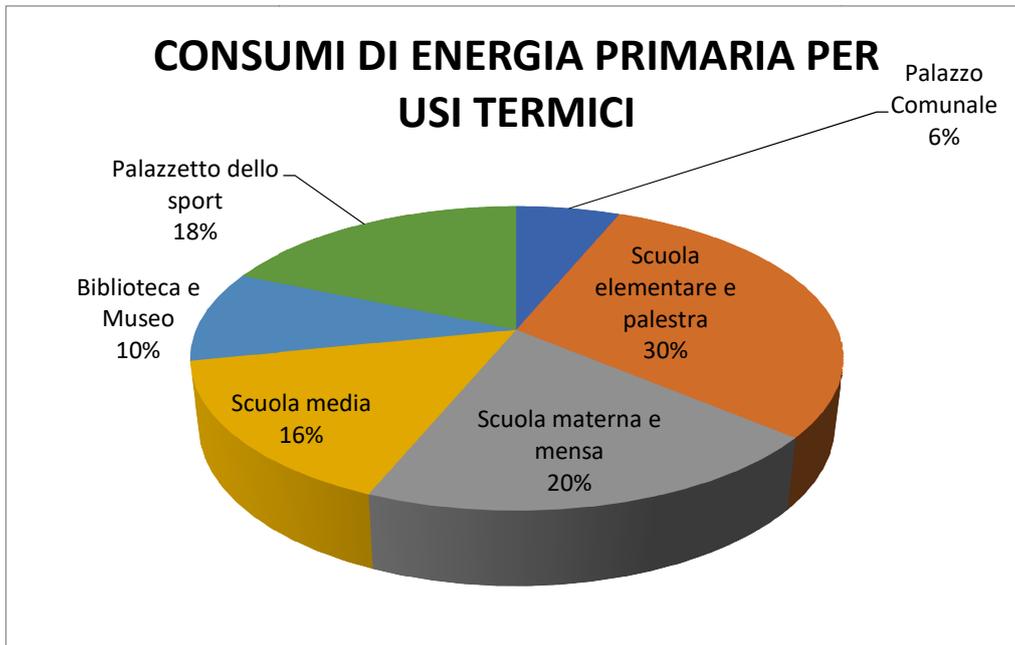


Figura 7 Consumi di energia primaria per usi termici degli edifici comunali [3]

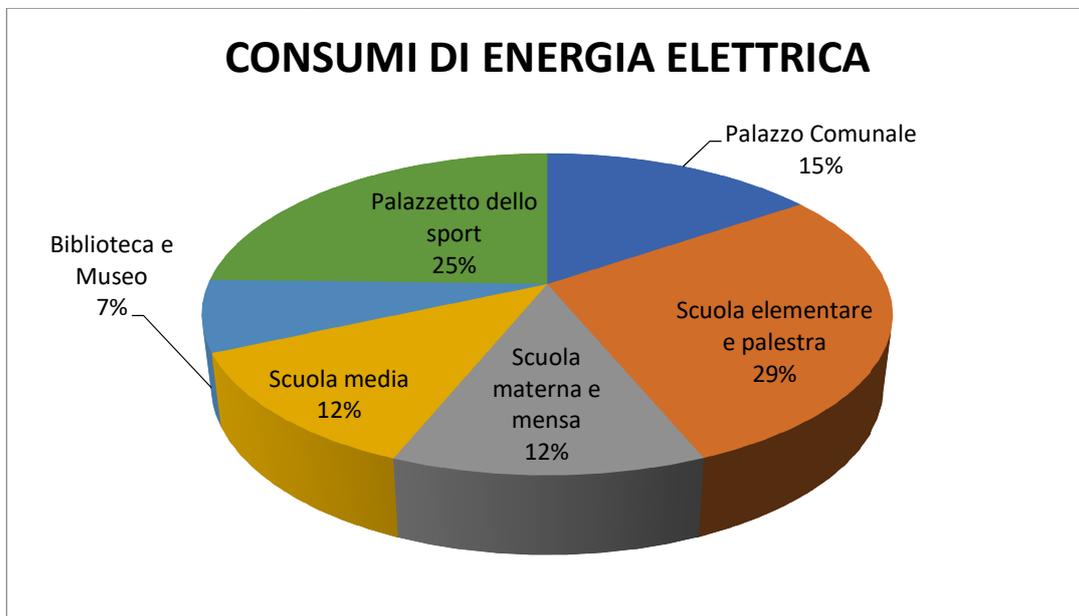


Figura 8 Consumi di energia elettrica degli edifici comunali [3]

Dalla tabella 3 e dalle figure 1 e 2 si nota quanto siano rilevanti i consumi degli edifici scolastici nel complesso degli edifici di proprietà comunale. In particolare la scuola elementare, al 2005, pesava per circa il 30 % sui consumi di energia primaria per usi termici e per il 28% sui consumi di energia elettrica.

Circa la produzione di energia da fonte rinnovabile, ad oggi risultano installate le seguenti tipologie di generatori FER di proprietà comunale:

- Impianti fotovoltaici: tre impianti di proprietà comunale, per una potenza complessiva pari a circa 30,4 kW, installati presso i seguenti edifici: Palazzo Comunale (10,12 kW), Scuola elementare di Via del Collegio (14,88 kW) e Scuola materna di Via Cornareto (5,4 kW). (Fonte: Comune di Carcare)
- Impianti solari termici.
- Impianto a biomassa: caldaia da circa 900 kW termici per la produzione di acqua calda che alimenta una rete di teleriscaldamento a servizio di edifici pubblici (scuole) e privati.

Il Comune di Carcare ha sostenuto e finanziato il Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile (SEAP) [3], redatto nel 2013, in collaborazione con la provincia di Savona, come strumento di programmazione dei territori comunali, perseguendo e condividendo attraverso l’iniziativa su base volontaria del Patto dei Sindaci, l’obiettivo della Comunità Europea del “20-20-20”, che prevede una riduzione delle emissioni di CO₂ del 20% (rispetto alle emissioni del 1990) entro il 2020, aumentando nel contempo del 20% il livello di efficienza energetica e portando al 20% la quota di rinnovabili nel soddisfacimento dei consumi energetici finali.

In particolare l’obiettivo prefissato dal SEAP è quello di ridurre le emissioni di anidride carbonica di 4450 tCo₂ all’anno, corrispondenti al 21,9% delle emissioni del 2005 (anno usato come baseline), agendo nel settore civile (sia pubblico che privato) e in quello dei trasporti.

Con il Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile (SEAP), il Comune intende verificare, attraverso degli audit, l’efficienza energetica del proprio parco edilizio per individuare le criticità ed intervenire con opere di risanamento, al fine di ridurre i consumi e le emissioni di anidride carbonica ad essi correlati. L’azione riveste inoltre la funzione di promuovere l’uso razionale

dell'energia ai cittadini, anche in sinergia con specifiche azioni di comunicazione ed informazione.

Tra i principali interventi di efficientamento energetico già realizzati si ricordano la sostituzione della caldaia e degli infissi presso il Palazzo Comunale, la sostituzione della caldaia della Biblioteca-Museo e l'allaccio al teleriscaldamento servito dalla centrale a biomassa delle Scuole Materna, Elementare e Media oltre al Palazzetto dello Sport. Per quanto riguarda ulteriori interventi al 2020, il Comune intende agire sull'involucro degli edifici scolastici e del Palazzetto dello Sport.

All'interno del piano SAEP è già ipotizzato in via preliminare un intervento sulla scuola materna-palestra che consiste nella sostituzione degli infissi e nella coibentazione tramite cappotto termico delle pareti verticali e delle coperture.

b. La scuola elementare

La scuola si sviluppa su tre piani:

- Il piano terra, parzialmente interrato, ospita il centro ragazzi composto da locali utilizzati principalmente per attività pomeridiane e una sede della protezione civile.
- Il primo piano, che comprende l'ingresso principale della scuola, ospita 6 aule delle tre sezioni della scuola elementare, 4 uffici, la presidenza, un'aula computer.
- Il secondo piano ospita 9 aule, 2 laboratori e un terrazzo.



Figura 10 La scuola vista dall'alto (fonte: google maps)



Figura 9 La scuola, vista ingresso

La scuola presenta una struttura in muratura portante ed è composta da due blocchi:

- la parte a Est dove sono situate le aule delle classi delle elementari, le aule adibite ad attività di laboratorio, le segreterie e il locale del dirigente scolastico, il centro ragazzi e la protezione civile.
- la parte a Ovest che comprende la palestra e gli spogliatoi.

Nella seguente foto si può vedere il blocco a Est:



Figura 11 La scuola, blocco Est

La muratura esterna presenta un'alternanza tra intonaco bianco e un rivestimento in piastrelle marroni (presente solo nei tratti verticali liberi da finestre) da cui deriva lo spessore non omogeneo della parete. Il tetto è a falde inclinate ricoperto da tegole in laterizio.

La palestra ha invece una copertura piana:



Figura 12 La scuola, blocco Ovest (palestra)

L'impianto di riscaldamento è collegato ad una rete di teleriscaldamento alla quale sono connesse anche le seguenti utenze: scuola dell'infanzia, scuola media, liceo, circolo tennis e bocciofila (con annesso centro anziani). La rete è alimentata da una caldaia a cippato da 860 kW della Schmid con letto a griglia mobile. Il cippato proviene da una filiera locale, in particolare da Calizzano in Val Bormida ed è quindi considerabile una fonte di energia totalmente rinnovabile. La caldaia è dotata di una prima sezione dedicata all'essiccamento della biomassa, caratterizzata da un valore di umidità di circa il 50%; l'alimentazione avviene con un sistema di rifornimento automatico.



Figura 13 Caldaia a cippato, centrale termica

E' presente un puffer da 18.000 litri che funziona in parallelo con la caldaia: durante le punte di richiesta scarica calore in contemporanea alla caldaia, mentre nelle ore di bassa richiesta viene progressivamente caricato.



Figura 14 Puffer, centrale termica

L'acqua nella rete di teleriscaldamento è messa in movimento da tre pompe, di cui due funzionano in contemporanea. L'acqua in uscita dalla centrale è a circa 82°C e nei punti più lontani della rete perde massimo 2°C. I fumi vengono trattati da un elettrofiltro ed espulsi, grazie ad un ventilatore da 15 kW azionato tramite inverter, grazie a due camini.



Figura 15 Camini, centrale termica

Ogni utenza ha mantenuto i propri vecchi generatori di calore, così che possano intervenire in caso di necessità. La sottostazione alimenta i circuiti di riscaldamento ed acqua calda sanitaria sia della scuola elementare che del palazzetto dello sport adiacente. L'acqua calda per il circuito di riscaldamento è prodotta da uno scambiatore da 400 kW. E' presente un impianto solare termico composto da 8 pannelli sottovuoto che aiuta a coprire la produzione di ACS. Questo è collegato a due serbatoi da 1000 l ciascuno.



Figura 16 Scambiatore, sottostazione

Nell'immagine sottostante è illustrato lo schema impiantistico, sia della centrale che della sottostazione.

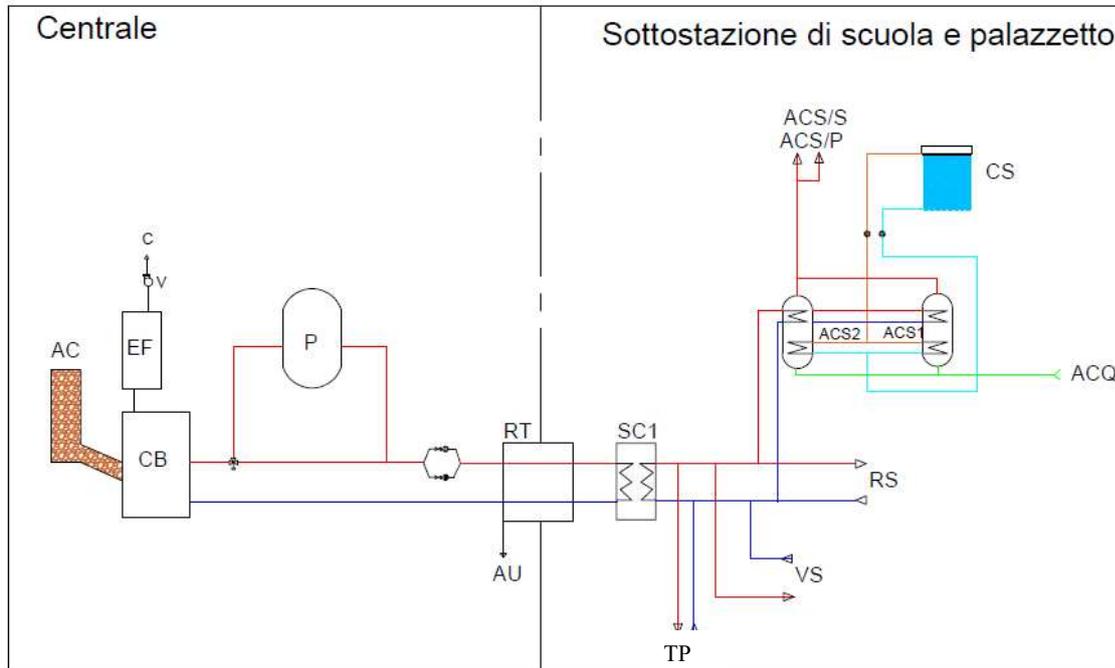


Figura 17 Schema impianto centrale e sottostazione

Legenda:

AC: accumulo cippato

C: camino

V: ventilatore fumi 15kW

EF: elettrofiltro

CB: centrale a biomassa (cippato) 860 kW

P: puffer 18000 l

RT: rete teleriscaldamento

AU: altre utenze del teleriscaldamento

SC1: scambiatore riscaldamento

ACS1 e ACS2: accumuli ACS

CS: collettori solari a tubi sottovuoto

ACS/S: ACS scuola

ACS/P: ACS palazzetto

RS: Radiatori scuola

VS: ventilconvettori scuola (palestra)

TP: Terminali palazzetto

c. Definizione dei flussi energetici

Per prima cosa si danno le definizioni di fabbricato e edificio prese dalla UNI TS 11300 parte 1:

fabbricato: Sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito e dalle strutture interne che ripartiscono detto volume. Sono esclusi gli impianti e i dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno.

edificio: Sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi ad un intero fabbricato e relativi impianti ovvero a parti di fabbricato e relativi impianti progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti.

Il comportamento energivoro del fabbricato è dovuto alla necessità di soddisfare i servizi di comfort richiesti, cioè il raggiungimento di una temperatura prefissata in inverno, il soddisfacimento di una certa portata di acqua calda sanitaria, il raggiungimento di un valore di illuminamento negli ambienti interni e esterni e l'alimentazione degli apparecchi elettrici. Il fabbisogno di energia utile nasce dalla necessità di bilanciare i flussi energetici entranti e uscenti dal fabbricato al fine di garantire i servizi sopra citati.

Un primo bilancio di massima dei flussi entranti/uscenti dal fabbricato è illustrato nella figura seguente:

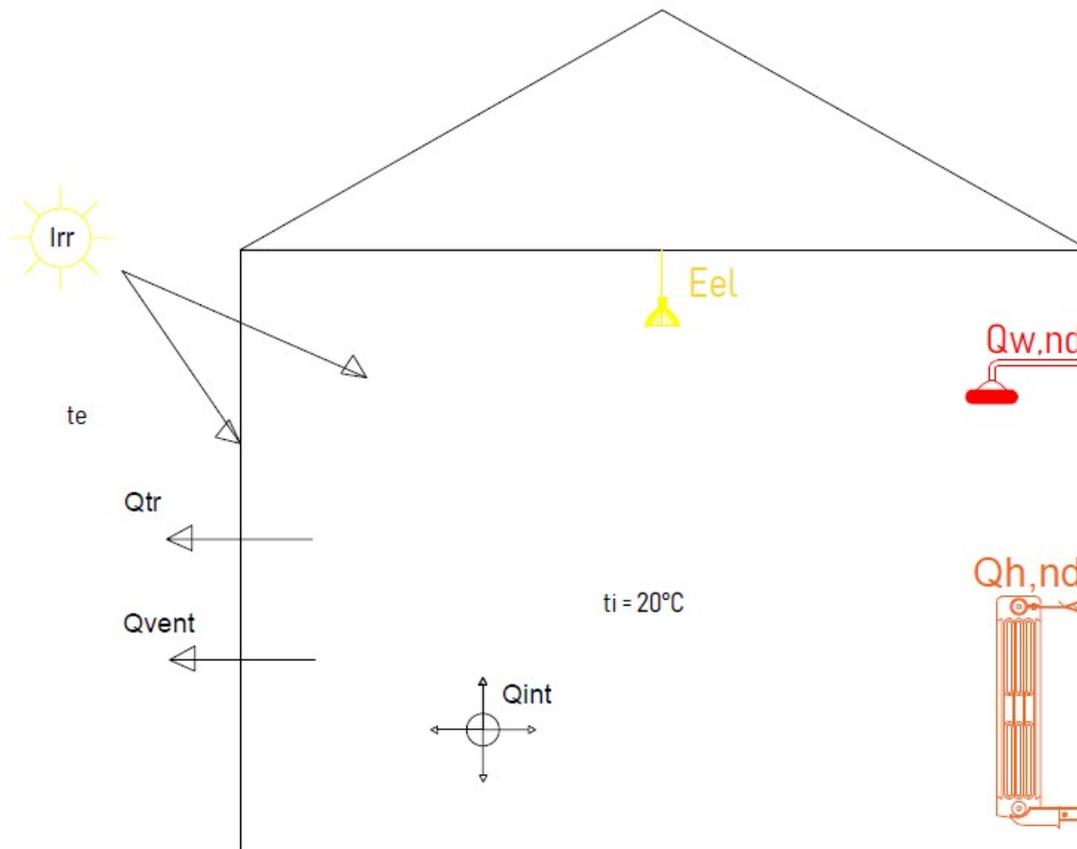


Figura 18 Bilancio energetico sul fabbricato

Il fabbisogno di energia relativo a un certo servizio è definito come la quantità di energia che deve essere fornita o sottratta per garantire determinate condizioni per un certo periodo di tempo.

$Q_{w,nd}$ è il fabbisogno di energia termica utile per l'ACS.

$Q_{h,nd}$ è il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento.

E_{el} è il fabbisogno di energia elettrica che soddisfa 3 servizi: illuminazione interna, illuminazione esterna e alimentazione altri apparecchi.

Bisogna ricordare che, per la categoria di edificio in esame, i servizi da considerare per certificazione e verifiche di legge sono i servizi di riscaldamento, ACS e illuminazione interna.

Per conoscere la prestazione energetica dell'edificio bisogna poi definire come si passa dai fabbisogni di energia utile ai vettori energetici consegnati e infine al fabbisogno di energia primaria.

Per valutare il fabbisogno di energia primaria si segue la UNI 11300-5 “Calcolo dell’energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili”. Si danno le seguenti definizioni:

Energia consegnata o fornita (delivered), E_{del} , definita come l’energia finale, espressa per vettore energetico, fornita attraverso il confine del sistema agli impianti tecnici per soddisfare i servizi presi in considerazione e per produrre eventualmente anche energia elettrica.

Energia esportata (exported), E_{exp} , definita come la quantità di energia, espressa per vettore energetico, prodotta dai sistemi tecnici dell’edificio e ceduta per l’utilizzo all’esterno del confine del sistema.

Si definisce fattore di conversione in energia primaria il rapporto adimensionale che indica la quantità di energia primaria impiegata per produrre un’unità di energia fornita, per un dato vettore energetico; tiene conto dell’energia necessaria per l’estrazione, la lavorazione, lo stoccaggio, il trasporto, la generazione, trasformazione, trasmissione, distribuzione e altre operazioni necessarie per la consegna all’edificio in cui verrà utilizzata. Questo fattore può riferirsi all’energia primaria non rinnovabile ($fp,nren$), all’energia primaria rinnovabile (fp,ren) o all’energia primaria totale come somma delle precedenti. ($fp,tot = fp,nren + fp,ren$). Il fabbisogno di energia primaria è indicato con E_p .

Tabella 4 fattori di energia primaria per diverse vettori energetici, dal decreto requisiti minimi, fonte DM requisiti minimi.

Vettore energetico	$f_{P,nren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$
Gas naturale ⁽¹⁾	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide ⁽²⁾	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose ⁽²⁾	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete ⁽³⁾	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento ⁽⁴⁾	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento ⁽⁴⁾	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00

⁽¹⁾ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.
⁽²⁾ Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
⁽³⁾ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.
⁽⁴⁾ Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza, conformemente al quanto previsto al paragrafo 3.2.
⁽⁵⁾ Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.

Il seguente diagramma riassume l'iter per passare dal fabbisogno di energia primaria all'energia consegnata al fabbisogno di energia utile e viceversa:



Figura 19 Legami tra energia utile, energia consegnata e energia primaria

Per l'energia elettrica si assume che l'energia consegnata coincida con il fabbisogno elettrico, cioè si assumono nulle le perdite dal contatore agli utilizzatori. Nel caso di presenza di produzione di energia elettrica da fotovoltaico in situ il fabbisogno elettrico è dato dalla somma di energia consegnata e energia autoconsumata da fotovoltaico.

Rapportando il fabbisogno di energia primaria alla superficie utile dell'edificio si trova l'indice di energia primaria, EP. L'indice di energia primaria totale e l'indice di energia primaria non rinnovabile sono indicatori della prestazione energetica dell'edificio. Seguendo lo schema proposto sopra si trovano quindi tre strade per aumentare la prestazione energetica dell'edificio:

- 1- Agire sul fabbricato, cioè sull'involucro edilizio al fine di diminuire il fabbisogno di energia utile.
- 2- Agire sull'impianto al fine di aumentare i rendimenti di generazione, distribuzione, regolazione ed emissione.
- 3- utilizzare vettori energetici con un basso fattore di conversione in energia primaria e con la massima percentuale di componente rinnovabile.

Si definiscono quindi due confini dell'edificio per valutare i flussi energetici entranti e uscenti, come da norma UNI TS 11300-5:

Il confine del sistema (system boundary) è il confine che include il fabbricato o la porzione di fabbricato oggetto di valutazione e i sistemi tecnici a servizio del fabbricato e installati al suo interno, su di esso e/o nelle sue pertinenze **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Il confine di valutazione dei vettori energetici (assessment boundary) è invece il confine sul quale viene effettuato il bilancio energetico cioè dove vengono valutate e computate le quantità di energia consegnate (delivered) ed esportate (exported) **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

In generale, confine del sistema e confine di valutazione coincidono solo in assenza di apparati per lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile in situ.

Nel caso in esame, cioè la scuola elementare del Comune di Carcare, i flussi energetici entranti e uscenti dall'edificio sono rappresentati nella seguente illustrazione:

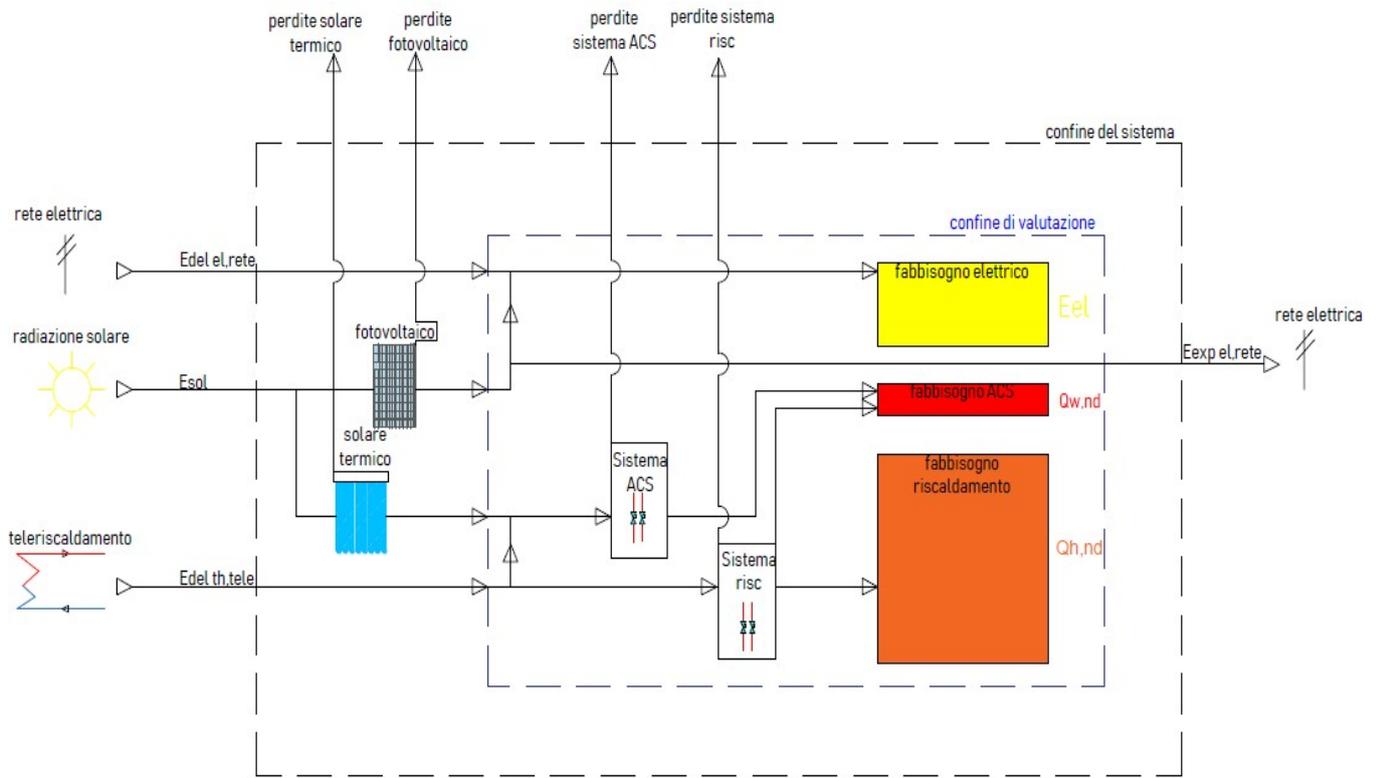


Figura 20 flussi energetici caratteristici della scuola che attraversano il confine del sistema e il confine di valutazione

4. La diagnosi energetica del caso di studio

Per “diagnosi energetica” di un edificio, in conformità al DLgs 192/05, si intende un elaborato tecnico, riguardante sia il fabbricato che gli impianti, volto ad individuare le possibili opportunità di risparmio energetico (quantificandone i risparmi conseguibili, energetici ed economici, ed i rispettivi tempi di ritorno), ad identificare la classe energetica raggiungibile a valle degli interventi ed a fornire, nel contempo, un’adeguata motivazione delle scelte impiantistiche prospettate [4].

Le modalità operative, gli scopi ed i passaggi essenziali di una diagnosi energetica sono definiti dalle norme UNI CEI/TR 11428 ed UNI CEI EN 16247. In particolare la prima costituisce una sorta di linea guida nazionale che disciplina i requisiti ed aspetti generali mentre la seconda, traduzione italiana della corrispondente norma europea, si sviluppa in quattro parti, riguardanti i principi di base, gli edifici, i processi ed i trasporti. Ad esse si aggiungono, per ciascun ambito di applicazione della diagnosi, i rispettivi progetti di linee guida CTI, ad oggi in fase di elaborazione [4]. Secondo queste norme, la diagnosi energetica di un edificio consiste in una procedura sistematica, articolata in passaggi ben definiti sintetizzati nel seguente elenco:

- Il rilievo delle bollette (consumi storici).
- L’analisi energetica dell’edificio (volta a fornirne un’adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico, tenuto conto di tutti i servizi energetici dei quali l’edificio è provvisto)
- Il confronto tra i consumi calcolati ed i consumi reali (validazione sul campo del modello di calcolo)
- L’individuazione delle opportunità di risparmio energetico (ottimizzandole sotto il profilo dei costi-benefici)
- Il resoconto finale in merito alle valutazioni svolte ed ai risultati conseguiti.

A ciò si aggiunge una verifica finale, a valle dell’esecuzione delle opere, basata sul confronto tra le prestazioni attese ed i consumi effettivamente raggiunti. I passaggi essenziali della diagnosi sono riassumibili in uno schema di flusso, raffigurato nella pagina seguente (figura 1).

Schema di flusso della diagnosi energetica:

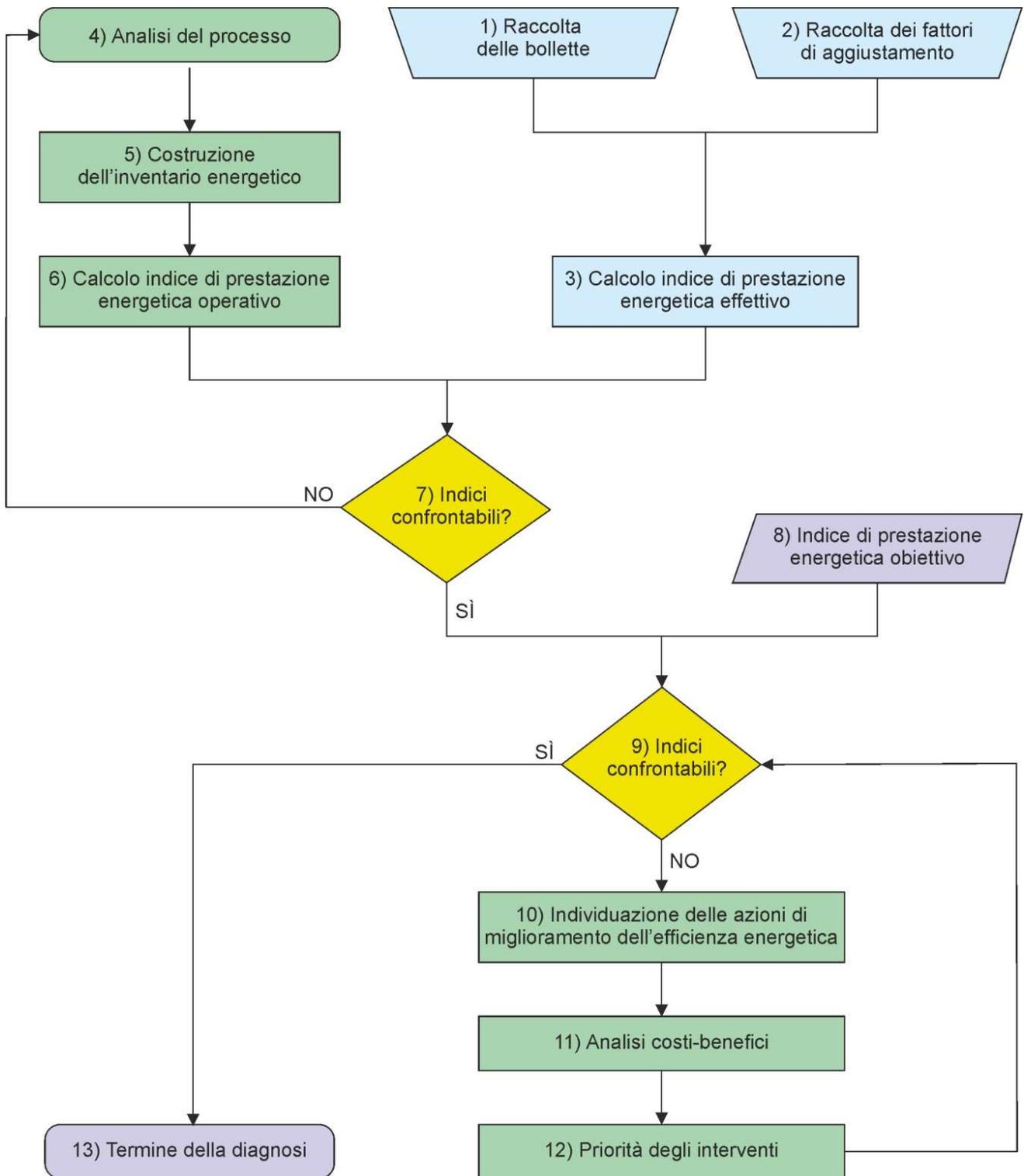


Figura 21 Diagramma operativo della diagnosi energetica, fonte Edilclima

L'analisi energetica dell'edificio consiste nell'individuazione dei flussi di energia relativi al fabbricato (involucro edilizio) ed agli impianti (sistemi tecnologici dedicati ai differenti servizi). Presupposto di tale analisi è l'esecuzione di un accurato rilievo. Occorre però sottolineare la differenza, dal punto di vista metodologico, tra i calcoli finalizzati alla certificazione energetica ed i calcoli finalizzati alla diagnosi. Se infatti lo scopo dei calcoli di certificazione è quello di definire indicatori di riferimento, volti a “contrassegnare” gli edifici ed a consentirne il confronto, l'obiettivo primario di una diagnosi è la costruzione di un modello di calcolo affidabile, finalizzato all'individuazione dei consumi effettivi ed alla modellazione delle possibili opere di efficientamento. Quindi, in caso di certificazione, occorre seguire metodologie ben definite e strettamente normate, in particolare dalle specifiche tecniche UNI/TS 11300. In caso invece di diagnosi, pur costituendo le UNI/TS 11300 il metodo di base ed un punto di riferimento, ci si avvale di un calcolo più “libero”, il quale si discosta, ove necessario, da esse in virtù dell'obiettivo primario perseguito, vale a dire la comprensione delle ragioni dei consumi effettivi. Il calcolo delle prestazioni energetiche può essere infatti condotto secondo tre differenti modalità di valutazione, come definite dalle specifiche tecniche UNI/TS 11300 (prospetto 2): A1 (di progetto), A2 (standard) ed A3 (adattata all'utenza). Le prime due modalità (A1 ed A2), le quali trovano applicazione, rispettivamente, ai calcoli di progetto ed alla formulazione dell'APE, si fondano sull'adozione di parametri convenzionali, rappresentativi delle condizioni di clima ed utenza standard. La terza modalità (A3), da utilizzarsi ai fini delle diagnosi energetiche, si fonda invece su parametri quanto più possibile effettivi, volti a rappresentare le reali condizioni dell'edificio.

Tabella 5 prospetto 2 UNI EN 15603: Classificazione tipologie di valutazione energetica per applicazioni omogenee all'intero edificio

Tipo di valutazione		Dati di ingresso		
		Uso	Clima	Edificio
A1	Sul progetto (<i>Design Rating</i>)	Standard	Standard	Progetto
A2	Standard (<i>Asset Rating</i>)	Standard	Standard	Reale
A3	Adattata all'utenza (<i>Tailored rating</i>)	In funzione dello scopo		Reale

a. Raccolta bollette e fattori di aggiustamento

L'analisi delle bollette storiche disponibili, oltre a dare indicazione sull'aggravio economico della spesa per l'energia, permette di ricavare i consumi dei vettori energetici consegnati, cioè l'energia consegnata (Edel). Da questi si ricava quindi il fabbisogno di energia primaria e si può definire la reale prestazione energetica dell'edificio.

I consumi a carico della Scuola Elementare sono due: consumi termici ed elettrici.

Energia termica

L'energia termica serve a soddisfare il fabbisogno di acqua calda per i servizi di riscaldamento e di acqua calda sanitaria. Il calore proviene da una piccola rete di teleriscaldamento alimentata a biomassa forestale che serve la scuola materna, elementare e media e il palazzetto dello sport. I dati raccolti fanno riferimento a due stagioni di riscaldamento, precisamente la 2014/2015 e 2015/2016. Inoltre è presente sulla copertura della palestra un impianto solare termico composto da 8 pannelli a tubi sottovuoto che aiutano a coprire il fabbisogno di acqua calda sanitaria.

La centrale termica serve anche il palazzetto dello sport adiacente alla scuola. Pertanto c'è un'unica misura dei consumi della scuola e del palazzetto. La ripartizione dei consumi è fatta tenendo conto della volumetria dei due fabbricati. In particolare alla scuola è assegnato il 58% del consumo totale.

Le bollette raccolte, tenendo conto dei soli consumi della scuola elementare, sono riassunte nelle due tabelle seguenti:

Tabella 6 Bollette termiche stagioni 2014/2015 e 2015/2016

2014/2015	consumo [kWh]	costo [€]	costo+ IVA [€]	agevolazione [€]	TOT [€]	TOT senza IVA [€]	€/kWh
dal 01/07/2014 al 31/10/2014	21.512	2.606,09	3.179,42	-472,13	2.707,30	2.133,96	0,10
dal 01/11/2014 al 30/11/2014	30.579	3.704,69	4.519,72	-671,12	3.848,59	3.033,56	0,10
dal 01/12/2014 al 31/12/2014	48.562	5.883,25	7.177,56	-1.065,78	6.111,78	4.817,46	0,10
dal 01/01/2015 al 31/01/2015	51.608	6.252,36	7.627,88	-1.132,65	6.495,23	5.119,71	0,10
dal 01/02/2015 al 28/02/2015	51.637	6.255,87	7.632,16	-1.133,29	6.498,87	5.122,58	0,10
dal 01/03/2015 al 31/03/2015	41.847	5.069,76	6.185,11	-918,42	5.266,69	4.151,34	0,10
dal 01/04/2015 al 30/04/2015	33.518	4.060,73	4.954,09	-735,72	4.218,37	3.325,01	0,10
dal 01/05/2015 al 31/05/2016	13.102	1.587,33	1.936,55	-287,59	1.648,95	1.299,74	0,10
dal 01/06/2015 al 31/06/2017	1.850	224,15	273,47	-40,61	232,85	183,54	0,10
TOT		294.217				29.186,91	

2015/2016	consumo [kWh]	costo [€]	costo+ IVA [€]	agevolazione [€]	TOT [€]	TOT senza IVA [€]	€/kWh
dal 18/06/2015 al 29/10/2015	20.265	2.690,61	3.282,54	-444,82	2.837,72	2.245,79	0,11
dal 30/10/2015 al 28/11/2015	35.067	4.655,82	5.680,10	-769,72	4.910,38	3.886,10	0,11
dal 29/11/2015 al 28/12/2015	47.525	6.309,92	7.698,10	-1.043,18	6.654,92	5.266,74	0,11
dal 29/12/2015 al 30/01/2016	58.267	7.736,08	9.438,02	-1.278,96	8.159,06	6.457,12	0,11
dal 31/01/2016 al 29/02/2016	52.774	7.006,83	8.548,33	-1.158,39	7.389,94	5.848,44	0,11
dal 01/03/2016 al 31/03/2016	41.777	5.546,78	6.767,08	-917,01	5.850,06	4.629,77	0,11
dal 01/04/2016 al 30/04/2016	23.722	3.149,57	3.842,47	-520,70	3.321,77	2.628,87	0,11
dal 01/05/2016 al 31/05/2016	17.678	2.347,16	2.863,54	-388,04	2.475,49	1.959,12	0,11
TOT		297.076				32.921,94	

I consumi di energia termica allo stato attuale contano quasi 300 MWh/anno, corrispondenti ad un costo di circa 30.000 €/anno.

Separando i consumi mese per mese si hanno i seguenti risultati:

Tabella 7 Consumi mensili di energia termica 2014/2015

mese	consumo [kWh]
Luglio 2014	0
Agosto 2014	0
Settembre 2014	3.227
Ottobre 2014	18.285
Novembre 2014	30.579
Dicembre 2014	48.562
Gennaio 2015	51.608
Febbraio 2015	51.637
Marzo 2015	41.847
Aprile 2015	33.518
Maggio 2015	13.102
Giugno 2015	1.850

Tabella 8 Consumi di energia termica 2015/2016

mese	consumo [kWh]
Luglio 2015	0
Agosto 2015	0
Settembre 2015	3.040
Ottobre 2015	17.225
Novembre 2015	35.067
Dicembre 2015	47.525
Gennaio 2016	58.267
Febbraio 2016	52.774
Marzo 2016	41.777
Aprile 2016	23.722
Maggio 2016	17.678

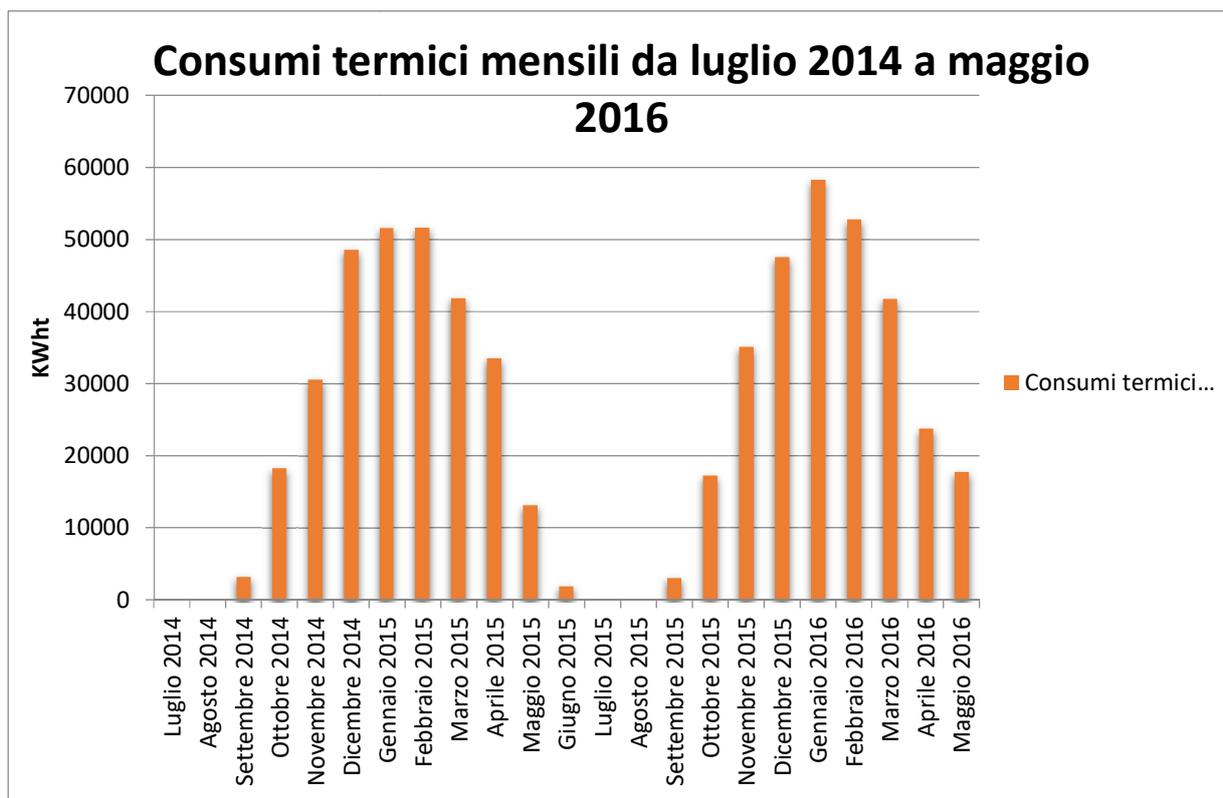


Figura 22 Consumi termici mensili da luglio 2014 a maggio 2016

I consumi bassi o nulli dei mesi estivi sono spiegati, oltre che dal minor utilizzo di calore, dalla presenza dei pannelli solari termici che coprono il fabbisogno di ACS.

I consumi termici coprono il fabbisogno di energia per i servizi di riscaldamento e acqua calda sanitaria. Bisogna quindi procedere allo scorporo della quota relativa all'ACS. Per fare ciò si considerano i seguenti dati di input: il numero e la tipologia di terminali, il profilo di occupazione dell'edificio e la destinazione d'uso dell'edificio. Si ipotizza anche una produzione di calore dai collettori solari avendo come dati di input: l'inclinazione, la superficie e la tipologia di pannelli. Come dato di irraggiamento è invece considerato un anno standard per la posizione geografica di interesse. Si hanno così i seguenti risultati per un anno standard:

Tabella 9 Consumi per ACS

Acqua calda sanitaria					
	Producibilità solare [kWh]	consumo telerisc per ACS [kWh]	consumo solare per ACS [kWh]	consumo totale per ACS [kWh]	Percentuale copertura [%]
gennaio	214	198	212	410	52%
febbraio	260	121	249	370	67%
marzo	354	64	346	410	84%
aprile	374	35	362	397	91%
maggio	394	23	387	410	94%
giugno	361	6	353	359	98%
luglio	213	0	213	213	100%
agosto	94	0	94	94	100%
settembre	361	0	359	359	100%
ottobre	381	41	369	410	90%
novembre	284	119	278	397	70%
dicembre	249	143	227	371	61%
TOT	3.539	750	3.449	4.200	84%

Il consumo di energia termica totale per ACS è:

$$E_{tot\ th,acs,tot} = 4.200 \text{ kWh/anno}$$

Il consumo di energia termica da teleriscaldamento per ACS è:

$$E_{del\ th,acs,tele} = 750 \text{ kWh/anno.}$$

L'indice di consumo per ACS dell'edificio è esprimibile in kWh/m²/anno. La superficie utile è di 2.470 m².

L'indice di consumo per ACS è:

$$IC_{th,acs,tot} = 4200/2470 = 1,7 \text{ kWh/m}^2\text{/anno.}$$

L'indice di consumo di energia termica da teleriscaldamento per ACS è:

$IC_{th,acs,tele} = 750/2470 = 0,3 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$ (quota che si rivelerà trascurabile confrontata con il consumo per il riscaldamento dei locali.)

La quota annuale relativa al riscaldamento è stimata quindi di $294.217 - 750 = 293.467$ kWh/anno per la stagione 2014/2015 e di $297.076 - 750 = 296.326$ kWh/anno. La media tra i due anni è di 294.897 kWh/anno.

Bisogna sottolineare che la quota relativa al riscaldamento è nettamente prevalente, infatti la quota relativa all'ACS è solamente l'1.4% del totale e considerando il solare termico la percentuale scende sotto l'1%.

Per avere un consumo standardizzato, che non dipenda dalle fluttuazioni climatiche annuali, si procede verificando la correlazione che si ha tra gradi giorno reali (GG) e consumi termici reali per riscaldamento.

La temperatura esterna media giornaliera relativa al Comune di Carcare delle due stagioni considerate è stata presa da Arpal (agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure). Con questo dato si sono poi ricavati i gradi giorno, definiti come la sommatoria estesa alla stagione di riscaldamento (15 ottobre – 15 settembre per la fascia climatica E) delle differenze giornaliere tra temperatura interna mantenuta (assunta 20°C) e temperatura esterna, contando solo i termini positivi.

I gradi giorno, mese per mese, sono riportati nelle tabelle seguenti:

Tabella 10 Gradi Giorno di Carcare reali 2014/2015 e 2015/2016

2014/2015	GG mensili	2015/2016	GG mensili
lug-14	0	lug-15	0
ago-14	0	ago-15	0
set-14	0	set-15	0
ott-14	129,1	ott-15	178,5
nov-14	331,2	nov-15	325,1
dic-14	453,3	dic-15	445,5
gen-15	504,3	gen-16	507,7
feb-15	488,8	feb-16	411,2
mar-15	390,8	mar-16	397,8
apr-15	142,7	apr-16	109,4
mag-15	0	mag-16	0
giu-15	0	giu-16	0
TOT	2440,2	TOT	2375,2

La correlazione mensile tra Consumi di calore e Gradi Giorno è esplicitata dal seguente grafico:

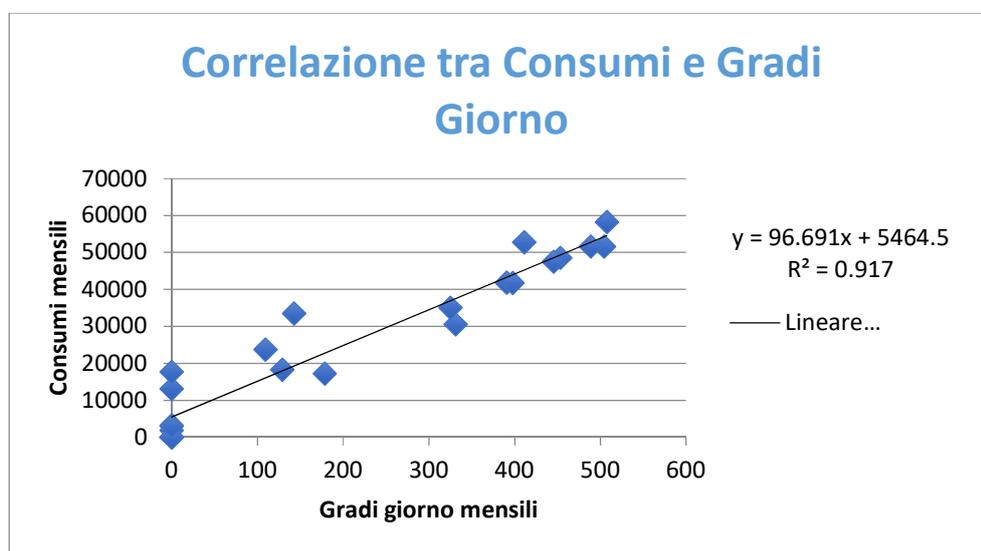


Figura 23 Correlazione tra consumi e GG

La correlazione mostrata nel precedente grafico conferma il legame tra consumi termici e gradi giorno. Infatti delinea chiaramente una relazione lineare, con un coefficiente di correlazione al

quadrato $R^2 = 0,92$. La relazione lineare che ne deriva è la seguente: $C = 96,7 * GG(\text{mensili}) + 5464,5$. Utilizzando questa relazione si può prevedere di monitorare di mese in mese i consumi termici futuri della scuola valutando la deviazione dalla retta descritta sopra. Bisogna però ricordare che la bolletta della scuola fattura una percentuale fissa della somma dei consumi di scuola e palazzetto, quindi un'eventuale deviazione dei consumi può essere causata da perturbazioni (comportamentali o strutturali) sia della scuola che del palazzetto. Per un monitoraggio accurato dei due fabbricati sarebbe bene poter disporre di due letture separate e trovare quindi la retta caratteristica per ciascun fabbricato.

Tabella 11 Consumo calore per riscaldamento normalizzato

stagione riscaldamento	Consumo per riscaldamento [kWh]	GG	Consumo per riscaldamento normalizzato [kWh]
2014/2015	293.467	2.440	276.027
2015/2016	296.326	2.375	286.334
media	294.897		281.180

Per eliminare l'effetto determinato dalle particolari condizioni climatiche delle due stagioni si fa la seguente correzione: il consumo reale viene moltiplicato per il rapporto tra i gradi giorno standard (2295) e i gradi giorno reali.

Il consumo di energia termica per riscaldamento normalizzato, medio tra i due anni è:

$Edel_{th,risc,tele} = 281.180 \text{ kWh/anno}$

L'indice di consumo per riscaldamento normalizzato è:

$IC_{risc,th,tele} = 113,8 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$.

A questo punto si dovrebbe aggiungere la quota fissa relativa all'ACS (che non dipende dai gradi giorno), ma come detto prima, è considerata trascurabile dato che pesa sul consumo di energia termica da teleriscaldamento per meno dell'1%. Si ha che:

$Edel_{th,gl,tele} = 281.180 \text{ kWh/anno}$

$IC_{th,gl,tele} = 113,8 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$

Energia Elettrica

L'energia elettrica soddisfa i fabbisogni di illuminazione dei locali, alimenta i vari apparecchi elettronici (televisori, PC, macchinetta del caffè, macchinetta degli snack) e un boiler elettrico per l'acqua calda dei bagni del centro ragazzi. Inoltre una quota importante di energia elettrica è consumata dai faretto esterni per illuminazione notturna.

Per facilitare la trattazione si è deciso di ripartire i consumi elettrici in due servizi:

- il primo è l'illuminazione interna (ill), di cui si conoscono le potenze installate ed è ipotizzabile un profilo orario di funzionamento piuttosto preciso, comprendente l'ipotesi di un consumo di 1 kWh/m²/anno per l'illuminazione di emergenza.
- la seconda è denominata altri usi elettrici (altri), comprendenti principalmente l'illuminazione esterna e l'alimentazione dell'apparecchiatura elettronica. Questo servizio comprende anche i consumi elettrici dell'impianto di riscaldamento e ACS: questi non sono inseriti nei servizi di riscaldamento e ACS perchè non è stato possibile effettuare una stima realistica, anche se si può dire con certezza che sono una piccola percentuale.

Sul tetto è presente un impianto fotovoltaico da 14,88 kWp che aiuta a coprire il fabbisogno e vende energia in rete, tramite il meccanismo dello scambio sul posto, regolato dal GSE.

Le bollette analizzate coprono gli anni 2014, 2015, 2016 e 2017.

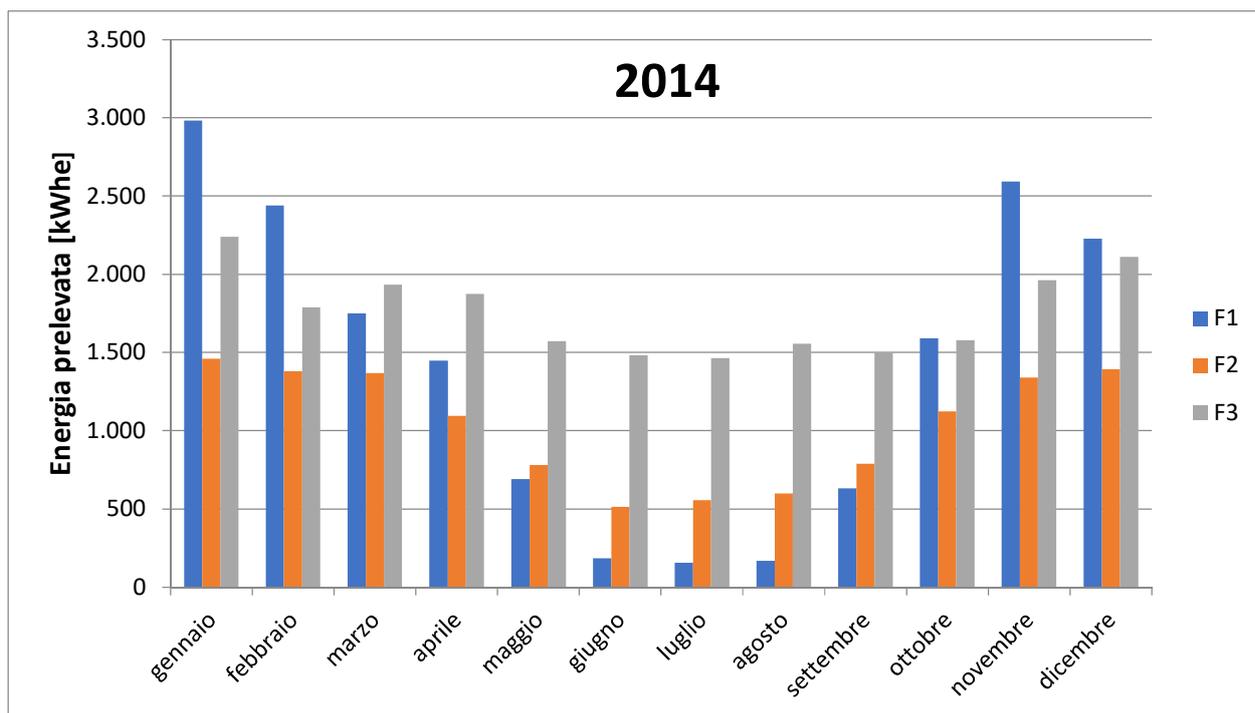


Figura 24 Energia elettrica prelevata 2014

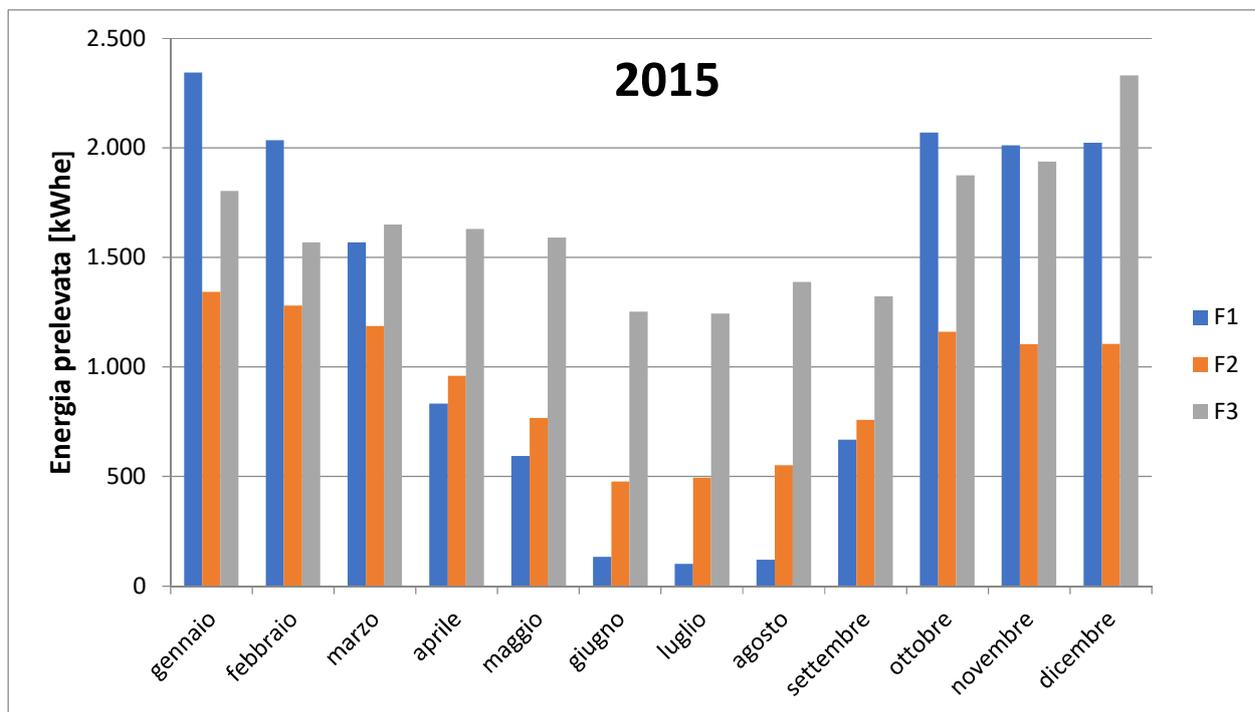


Figura 25 Energia elettrica prelevata 2015

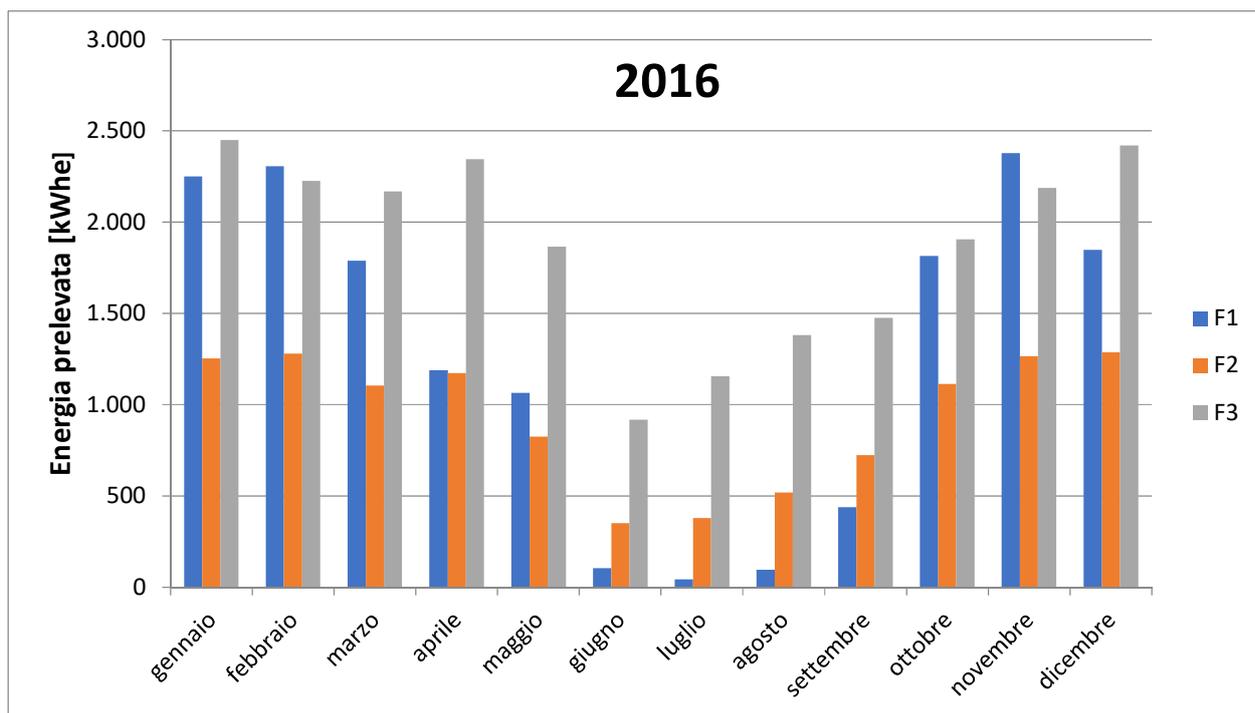


Figura 26 Energia elettrica prelevata 2016

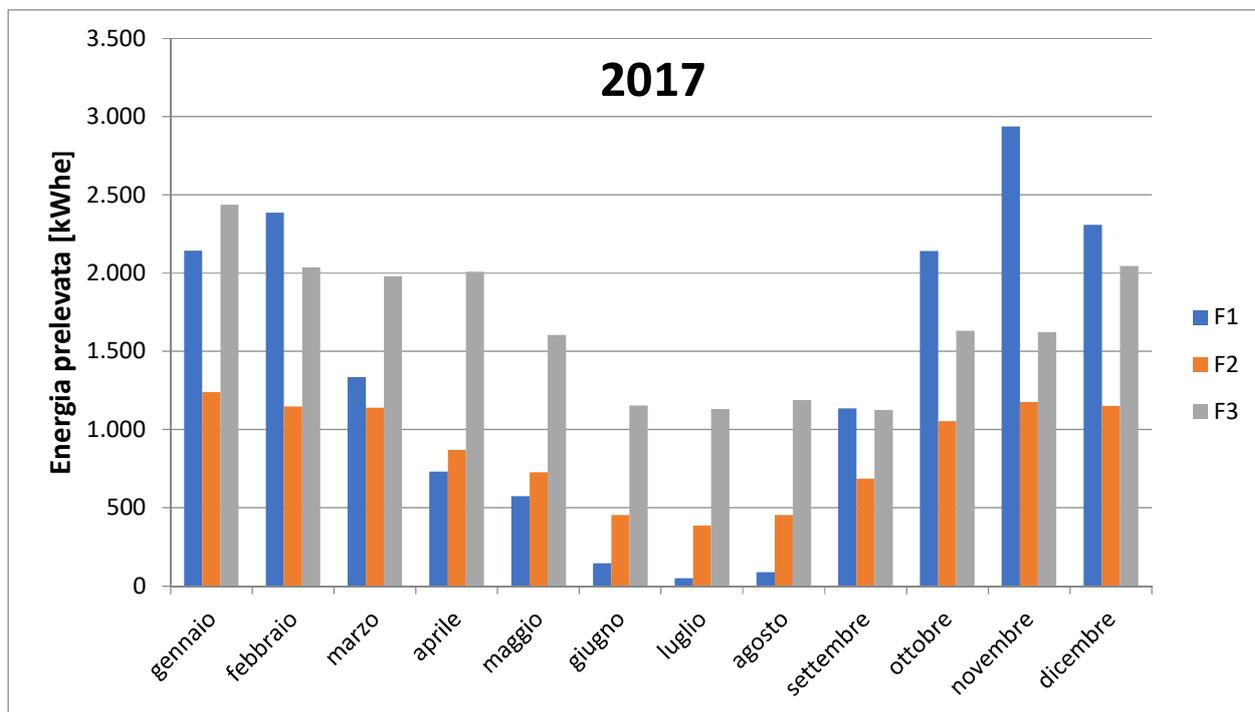


Figura 27 Energia elettrica prelevata 2017

Si può subito notare dalla ripartizione in fasce quanto sia alto il consumo durante gli orari di non attività (notte e festivi); da questa osservazione si è notato il peso che ha l'illuminazione notturna esterna sulla bolletta elettrica.

Riassumendo i consumi annuali, e i relativi costi sono i seguenti:

Tabella 12 Costi energia elettrica dal 2014 al 2017

anno	2014	2015	2016	2017
en. prelevata [kWh]	50.312	45.282	49.085	46.402
costo [€]	8.553	7.698	8.344	7.888

Il costo del kWh elettrico è stato di 0.17 € a dicembre del 2017.

L'energia prelevata da rete annuale va dai 45 ai 50 MWh con una spesa di circa 8000 €.

Per l'energia elettrica, non essendo usata per processi o per riscaldamento ambienti, non è definito nessun driver.

Per valutare il fabbisogno di energia elettrica dell'edificio bisogna sommare all'energia prelevata l'autoconsumo da fotovoltaico. Gli unici dati disponibili sulla produzione del fotovoltaico sono relativi all'anno 2014, mentre invece i dati di energia immessa in rete sono disponibili dal 2014 al 2017, ricavati dalla pagina personale sul sito del Gse relativa al contratto di scambio con posto. L'energia immessa in rete nelle 3 fasce dal 2014 al 2017 è riportata nei seguenti grafici:

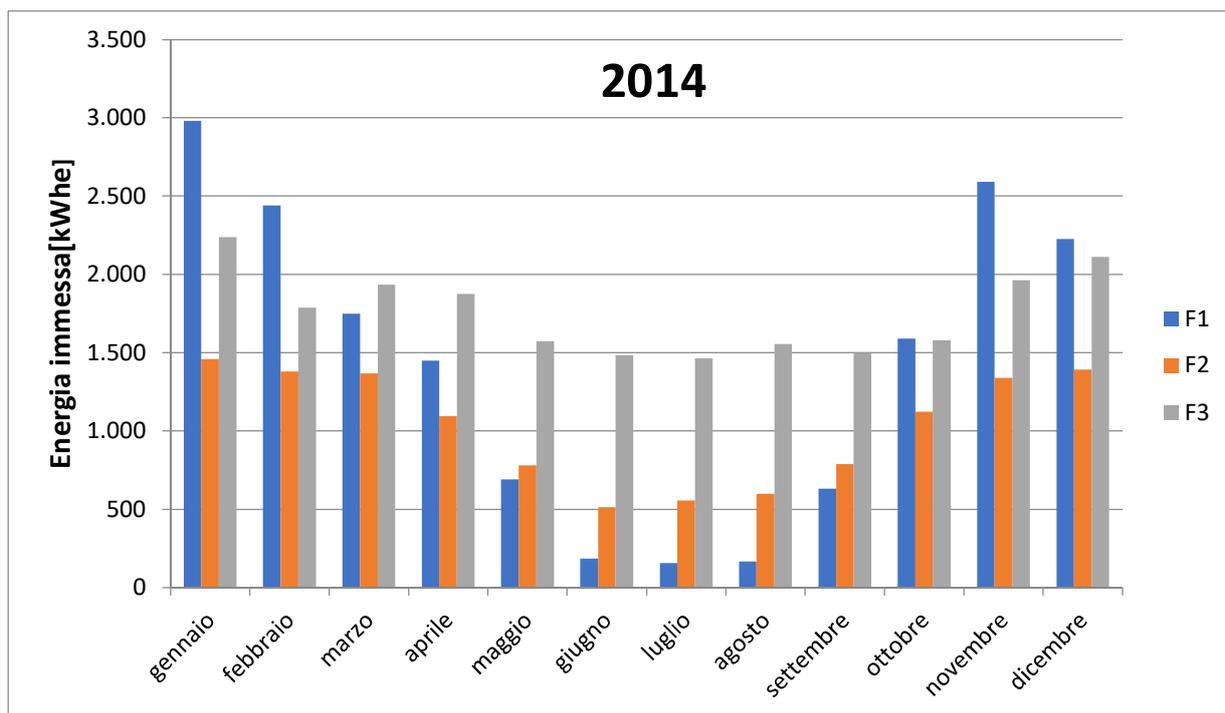


Figura 28 Energia elettrica immessa in rete 2014

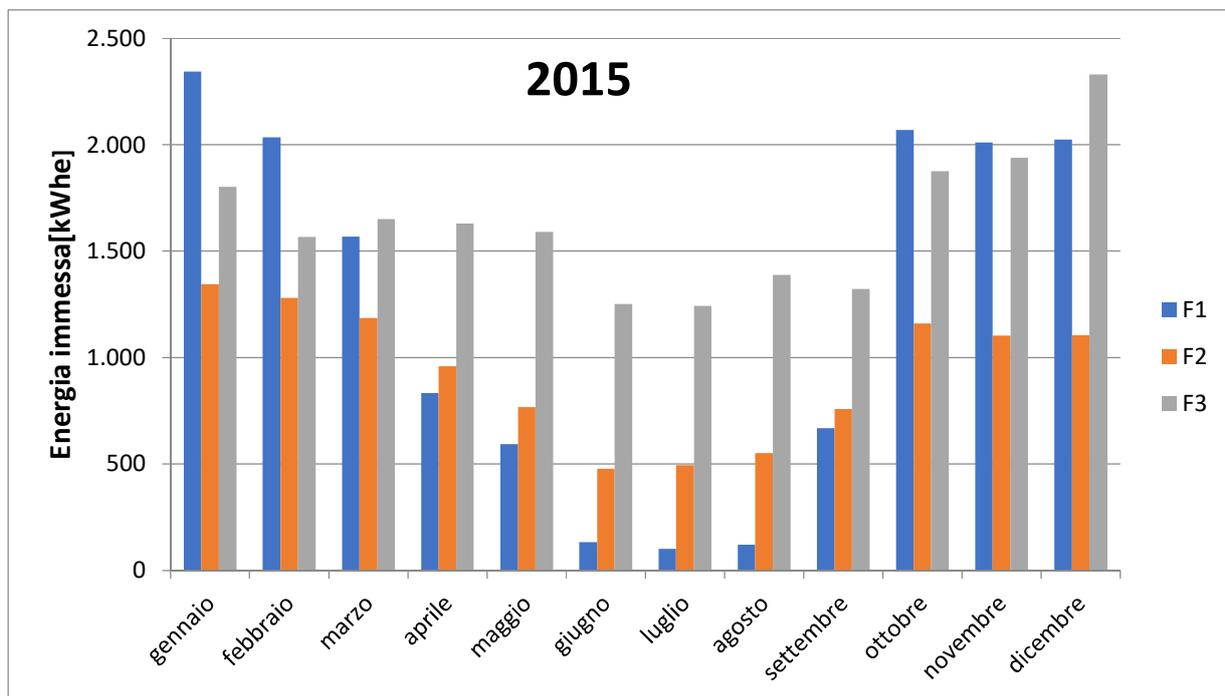


Figura 29 Energia elettrica immessa in rete 2015

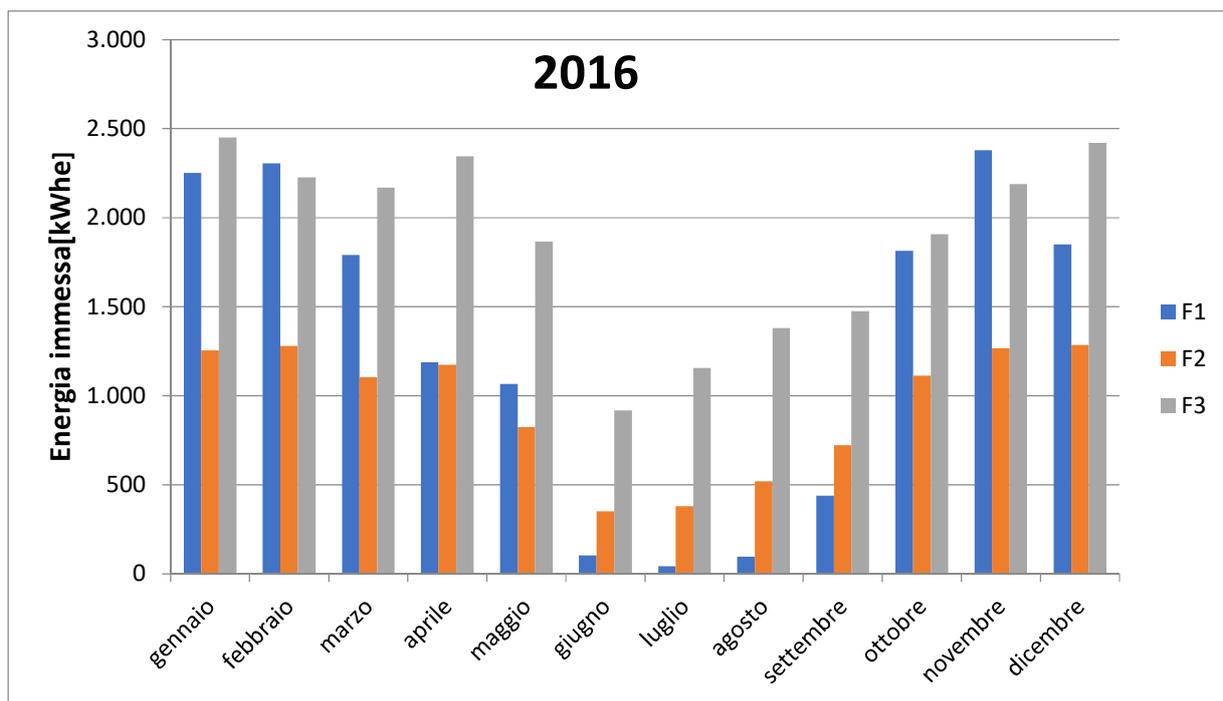


Figura 30 Energia elettrica immessa in rete 2016

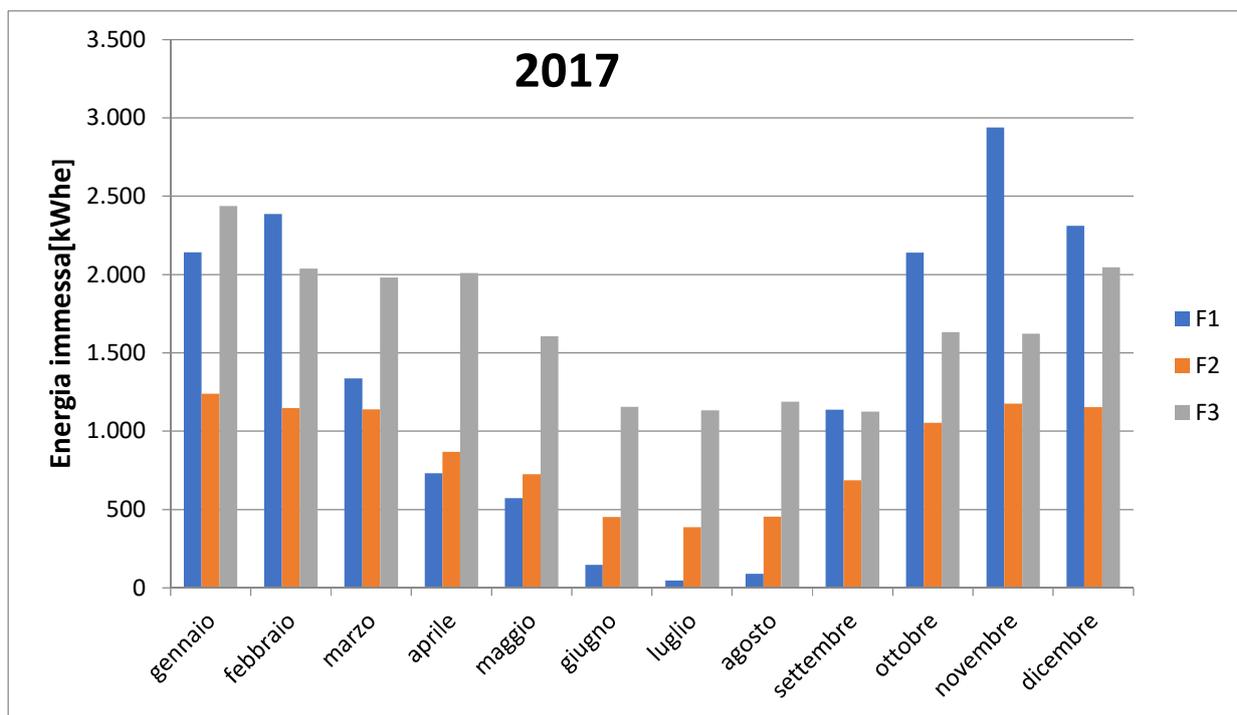


Figura 31 Energia elettrica immessa in rete 2017

Riassumendo:

Tabella 13 Energia elettrica immessa in rete dal 2014 al 2017

Anno	2014	2015	2016	2017
En. Immessa [kWhe]	4225	4617	5515	4896

La produzione da fotovoltaico nel 2014, ricavata da osservazioni sull'inverter, è stata di 18.625 kWhe. La quota di autoconsumo è data da:

$$18.625 - 4.225 = 14.400 \text{ kWh}$$

Dato che il valore di produttività dell'impianto fotovoltaico è disponibile solo per il 2014, mentre invece si conosce l'energia immessa in rete, si fa la seguente ipotesi per stimare il fabbisogno anche per gli anni seguenti: si assume che la percentuale di autoconsumo sia costante del $14.400/18.625 = 0.77$, cioè il 77 %.

Quindi si ha per i 4 anni:

Tabella 14 Fabbisogno di energia elettrica dal 2014 al 2017

	En prelevata	En immessa	En prodotta	En auto	Fabbisogno
Anno	[kWhe]				
2014	50.312	4.225	18.625	14.400	64.712
2015	45.282	4.617	20.074	15.457	60.739
2016	49.085	5.515	23.978	18.463	67.548
2017	46.402	4.896	21.287	16.391	62.793

Come anno di riferimento per valutare il fabbisogno dell'edificio viene scelto l'anno 2014 per due motivi: presenta un fabbisogno intermedio tra gli anni di cui si dispongono i dati ed è l'unico per cui si conosce il valore di produzione di fotovoltaico. In questo caso non è stato valutato un driver a cui riferire i consumi; infatti i consumi elettrici sono dipendenti dai giorni di apertura all'anno, ma essendo questi costanti di anno in anno, non è definibile una variabile.

Il fabbisogno di energia elettrica (Eel) è quindi di 64.712 kWhe/anno, cioè circa 65 MWhe/anno.

L'energia prelevata dalla rete (Edel, rete) media annua (sempre tra gli anni 2014, 2015 e 2016) è invece di 48.226 kWh/anno, circa 48 MWhe.

$$\text{Edel el,gl,rete} = 48.226 \text{ kWh/anno}$$

$$\text{Eexp el,rete} = 16.486 \text{ kWh/anno}$$

Considerando il costo di 0.17 €/kWh ricavato dalle bollette del 2017, si ha una spesa media annua di $0,17 * 48.226 = 8.198 \text{ €}$.

Si può stimare un consumo relativo all'illuminazione interna di 35.000 kWhel (54%), grazie al rilievo delle potenze degli apparecchi illuminanti interni installati e a un ipotesi sulle ore di funzionamento annuali (vedere allegato 2). Ne consegue che il consumo relativo agli altri usi elettrici è di $64.700 - 35.000 = 29.700 \text{ kWhel}$ (46%).

Gli indici di consumo di energia elettrica sono:

$$\text{IC el,ill,tot} = 35000/2470 = 14,2 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

$$\text{IC el,altri,tot} = 29700/2470 = 12,0 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

$$\text{IC el,gl,tot} = 14,2 + 12,0 = 26,2 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

Gli indici di consumo relativi all'energia elettrica prelevata da rete sono:

$$\text{IC el,gl,rete} = 48226/2470 = 19,5 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

$$\text{IC el,ill,rete} = 0,54 * 19,5 = 10,5 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

$$\text{IC el,altri,rete} = 0,46 * 19,5 = 9,0 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

Confrontando il valore di IC el,gl,rete della scuola elementare in questione con il dato medio degli edifici scolastici analizzati dallo studio descritto nel capitolo 1 di 15 kWh/m², si nota come il valore di 19,5 kWh/m² sia particolarmente elevato, soprattutto considerando la presenza dell'impianto fotovoltaico.

Confronto con altri edifici scolastici

Per permettere il confronto con i consumi degli edifici scolastici della provincia di Torino descritti nel capitolo 1, si definisce il consumo specifico di energia termica per riscaldamento, cioè il consumo per unità di volume lordo riscaldato.

Il volume lordo riscaldato è di 10.857 m³.

Il consumo specifico di energia termica per riscaldamento è: 25,9 kWh/m³.

Per poter fare un confronto più veritiero bisogna normalizzare il dato rispetto ai gradi giorno del comune di Torino, cioè 2617.

Il consumo specifico di energia termica normalizzato della scuola in questione è di 29,5 kWh/m³.

Confrontando tale valore con la Figura 6 del capitolo 1 si può dire che la scuola elementare analizzata presenta un comportamento energetico peggiore, anche se non di molto, rispetto alla media delle scuole della provincia di Torino.

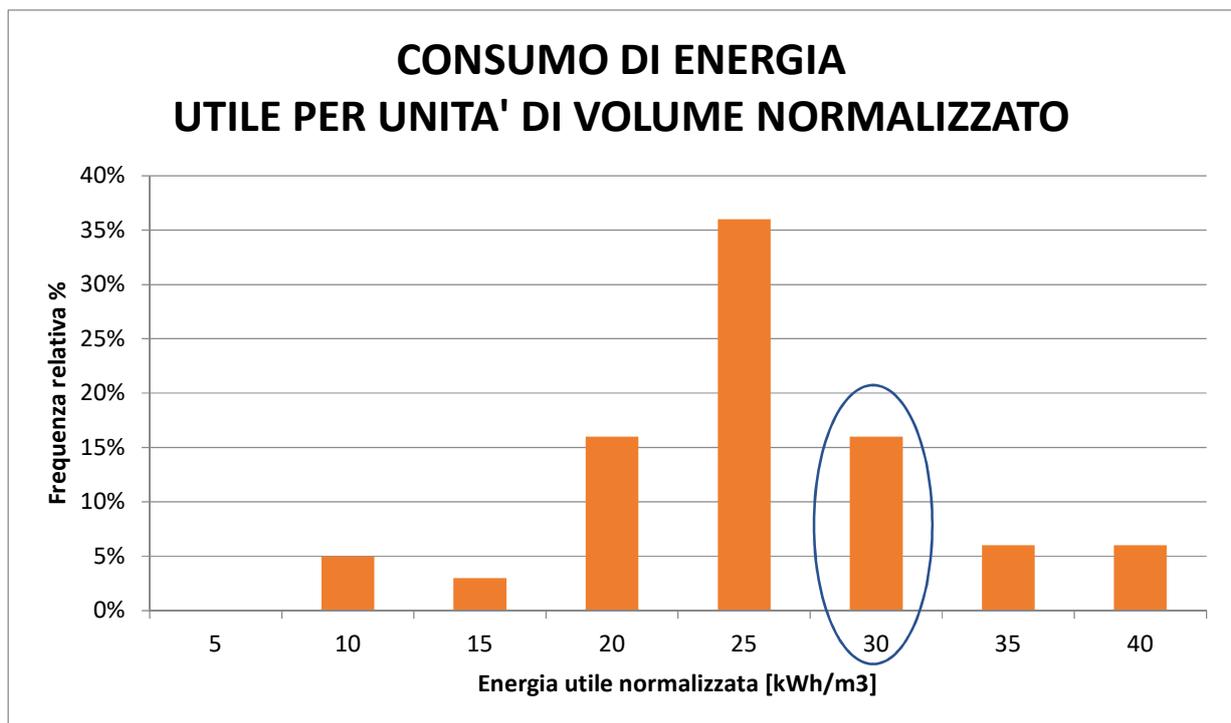


Figura 32 Consumo specifico di energia termica della scuola elementare di Carcare rispetto al set di scuole descritto nel capitolo 1

Confronto dei consumi elettrici: il valore di IC el,gl,rete della scuola elementare in questione con il dato medio degli edifici scolastici analizzati dallo studio descritto nel capitolo 1 di 15 kWh/m², si nota come il valore di 19,5 kWh/m² sia particolarmente elevato, soprattutto considerando la presenza dell'impianto fotovoltaico.

b. Fabbisogno di energia primaria

Il consumo di energia rappresenta l'energia consegnata o fornita (delivered), come definita nel capitolo 3.c. In questo paragrafo si utilizzano i consumi reali ricavati dalla lettura delle bollette storiche e, considerando gli opportuni fattori di conversione in energia primaria, si passa a definire il fabbisogno di energia primaria reale dell'edificio in questione.

I fattori di conversione in energia primaria sono presi dalla tabella 4 del capitolo 3c. Per il vettore teleriscaldamento (si ricorda che la rete è alimentata a biomasse), non avendo a disposizione dati dichiarati dal fornitore, si utilizza il valore standard di f_{tot} del teleriscaldamento di 1,5 composto dall'80% da quota rinnovabile e dal 20% da quota non rinnovabile, come da valore standard delle biomasse. Esplicitando si ha che:

$$f_{p,ren} = 1,5 * 0,8 = 1,2$$

$$f_{p,nren} = 1,5 * 0,2 = 0,3$$

Questi valori si possono ritenere cautelativi in quanto la filiera delle biomasse è a km zero e la rete di teleriscaldamento è piccola: la distanza tra la centrale e la scuola è di circa 200 m e si può stimare che si abbia una perdita di non più di 2°C.

Come indicato dalla UNI TS 11300-5 la ripartizione dei vettori energetici esportati $E_{exp,i}$ sui diversi servizi energetici si effettua proporzionalmente ai fabbisogni di energia del medesimo vettore energetico importato di ciascun servizio. Inoltre per l'energia prodotta da fotovoltaico si ha il medesimo f_p sia per l'energia consegnata che per l'energia esportata.

Tabella 15 Energia primaria rinnovabile e non rinnovabile

vettore energetico	servizio	Edel o Eprod [kWh]	Eexp [kWh]	fp,nren	fp,ren	fp,tot	Ep,nren [kWh]	Ep,ren [kWh]	Ep,tot [kWh]	
energia termica da collettori solari	ACS	3.500	0	0	1	1	0	3.500	3.500	
Teleriscaldamento	ACS	750	0	0,3	1,2	1,5	225	900	1.125	
Teleriscaldamento	riscaldamento	281.058	0	0,3	1,2	1,5	84.317	337.270	421.587	
energia elettrica prodotta da fotovoltaico	illuminazione interna	7.776	2.282	0	1	1	0	5.495	5.495	
energia elettrica prodotta da fotovoltaico	altri elettrici	6.624	1.944	0	1	1	0	4.681	4.681	
energia elettrica da rete	illuminazione interna	27.168	0	1,95	0,47	2,42	52.979	12.769	65.748	
energia elettrica da rete	altri elettrici	23.144	0	1,95	0,47	2,42	45.130	10.877	56.007	
							globale	182.651	375.502	558.153

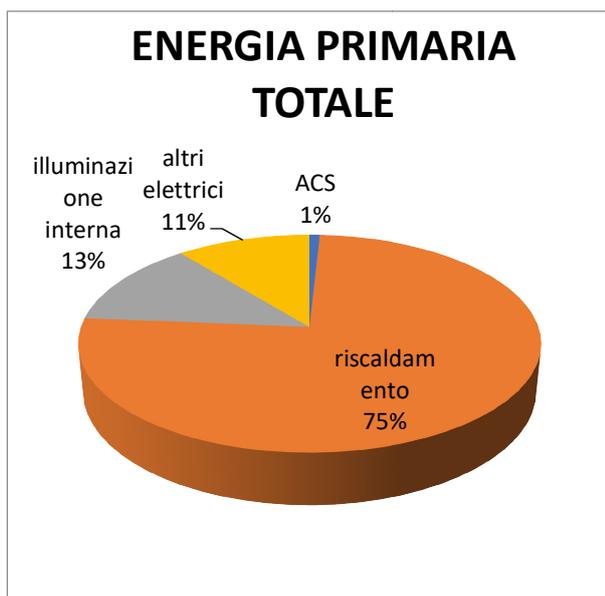


Figura 33 Fabbisogno di energia primaria totale per diversi servizi

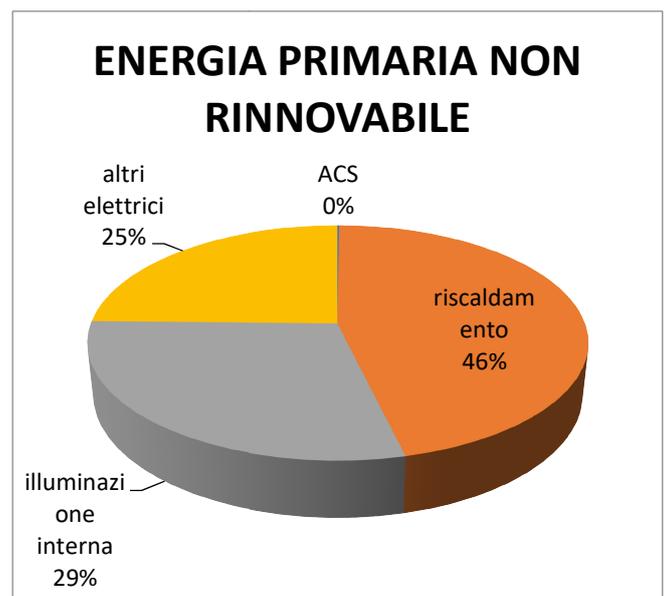


Figura 34 Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per diversi servizi

L'indice di energia primaria totale per il servizio di riscaldamento è:

$$E_{Prisc,tot} = 421587 / 2470 = 170,7 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

L'indice di energia primaria non rinnovabile per il servizio di riscaldamento è:

$$E_{Prisc,nren} = 84317 / 2470 = 34,1 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

L'indice di energia primaria totale per il servizio di ACS è:

$$E_{Pacs,tot} = 4625 / 2470 = 1,9 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

L'indice di energia primaria non rinnovabile per il servizio di ACS è:

$$E_{Pacs,nren} = 225 / 2470 = 0,1 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

L'indice di energia primaria totale per il servizio di Illuminazione interna è:

$$E_{Pill,tot} = (5495+65748) / 2470 = 28,8 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

L'indice di energia primaria non rinnovabile per il servizio di Illuminazione interna è:

$$E_{Pill,nren} = 52979 / 2470 = 21,4 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

L'indice di energia primaria totale per il servizio di Altri elettrici è:

$$E_{Paltri,tot} = 60688 / 2470 = 24,6 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

L'indice di energia primaria non rinnovabile per il servizio di Altri elettrici è:

$$E_{Paltri,nren} = 45130 / 2470 = 18,3 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

Il fabbisogno di energia primaria globale è definito come la somma dei fabbisogni dei singoli servizi:

$$E_{pgl} = E_{prisc} + E_{pacs} + E_{pill} + E_{paltri}$$

Gli indici di energia primaria globale totale ed energia primaria globale non rinnovabile sono:

$$E_{Pgl,tot} = 558153 / 2470 = 226,0 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

$$E_{Pgl,nren} = 182651/2470 = 73,9 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$$

In questo caso per la valutazione della prestazione energetica e quindi del fabbisogno di energia primaria globale, essendo la modalità di valutazione A3 (diagnosi energetica), bisogna tenere

conto di tutti i servizi energetici, compresi gli altri usi elettrici. Quando si farà la valutazione A1 e A2 il termine Epgl sarà composto solamente da Eprisc, Epacs ed Epill.

c. Attività di rilievo in sito

Le attività di rilievo sono finalizzate alla costruzione del modello matematico che dà come risultati gli indici di prestazione energetica relativi ai servizi erogati (riscaldamento, ACS e illuminazione) al variare delle caratteristiche climatiche e ambientali, della struttura e degli impianti che la servono.

Tutte le misurazioni e osservazioni sono state effettuate tra il 10 maggio 2018 e il 7 giugno 2018.

In particolare sono state effettuate le seguenti attività:

- Misura delle dimensioni dei componenti finestrati e della relativa frazione occupata dal telaio. (tabella allegata ...)
- Misura dell'altezza di ogni locale, utile per determinare il volume riscaldato. Le piante dei tre piani sono state fornite in formato CAD dal Comune di Carcare e sono allegate in fondo.
- Misura delle dimensioni dei radiatori e suddivisione per tipologia.
- Rilievo degli aerotermi presenti in palestra.
- Misura spessore dei solai, dei muri perimetrali e dei muri interni.
- Rilievo dei sistemi di illuminazione sia interna che esterna. (tabella allegata ...)
- Rilievo di altre apparecchiature elettriche quali televisori, pc, distributori automatici, boiler elettrici.
- Rilievo dei terminali che erogano ACS.
- Misura trasmittanza della parete opaca verticale.
- Controllo degli inverter dell'impianto fotovoltaico.

Quest'ultimo punto ha evidenziato il seguente problema. L'inverter dell'impianto fotovoltaico non era funzionante al momento della diagnosi. Dal controllo sui dati di energia immessa verificati sul portale dello scambio sul posto del GSE si è capito che era inattivo da agosto 2017,

non producendo quindi potenza. Si è quindi provveduto a far ripartire l'impianto che è anche stato dotato di un sistema di monitoraggio per controllare la produzione e segnalare eventuali ulteriori guasti futuri.

Confronto dell'involucro con gli edifici scolastici della provincia di Torino

Viene ora fatto un breve confronto delle caratteristiche dell'involucro individuate dai rilievi, con le caratteristiche dell'involucro degli edifici scolastici analizzati nello studio descritto nel capitolo 1.

La parete verticale opaca, di spessore 37 cm, in muratura portante, con intercapedine non isolata di 6 cm di spessore, si è calcolato un valore di trasmittanza di 1,1 W/m²/K. (vedi allegato). A confronto con la trasmittanza media dei componenti verticali opachi degli edifici scolastici del capitolo 1 la scuola in questione presenta un valore peggiore della media:

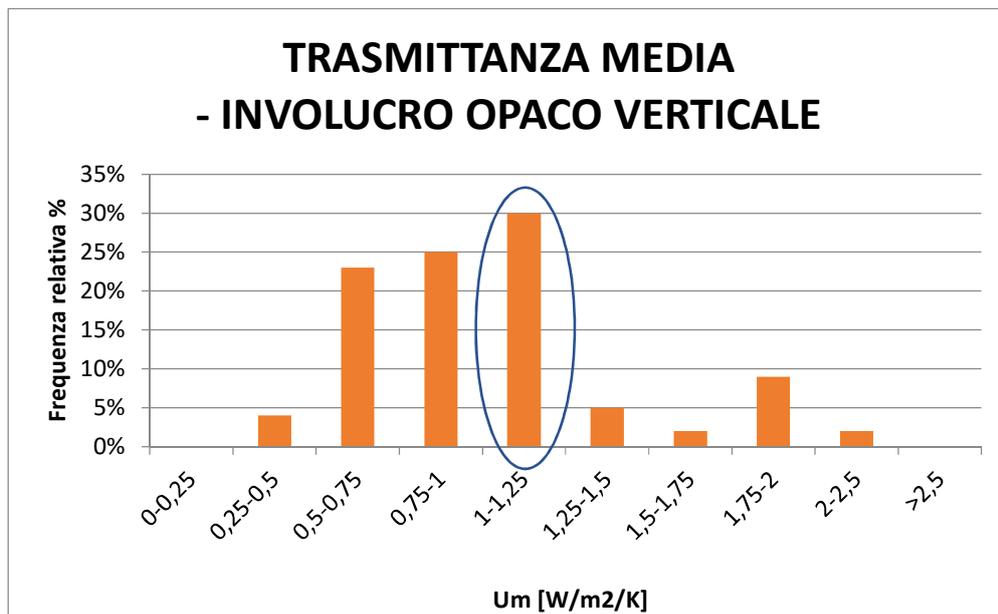


Figura 35 Valore di trasmittanza della parete opaca verticale rispetto a quelle degli edifici scolastici della provincia di Torino

Il solaio presenta uno spessore di 32 cm e una trasmittanza di 1,3 W/m²/K. Anche in questo caso il valore di trasmittanza della scuola in esame è peggiore della media.

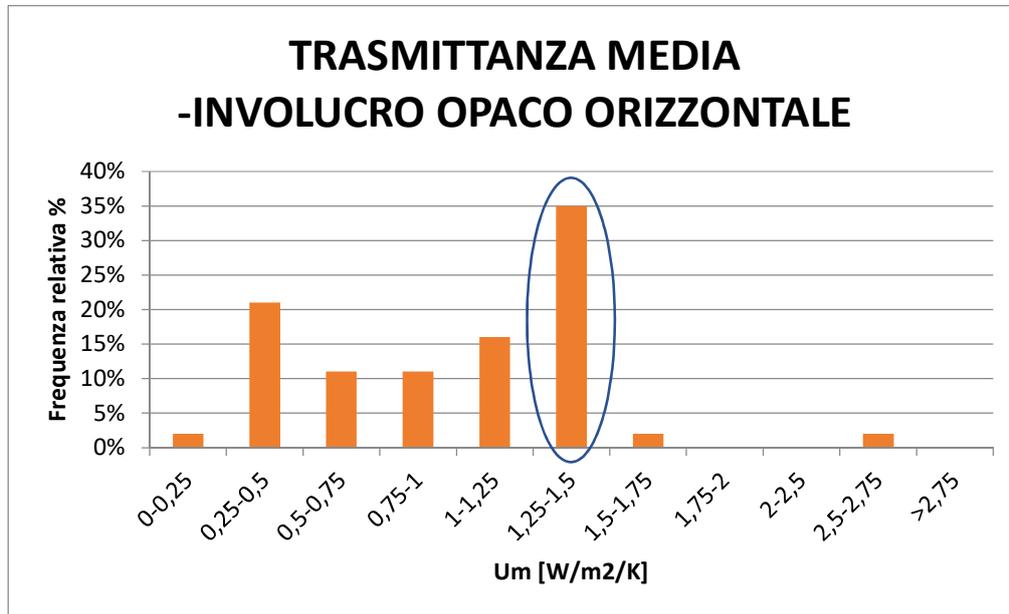


Figura 36 Valore di trasmittanza del solaio verso l'esterno rispetto a quelle degli edifici scolastici della provincia di Torino

I componenti finestrati della scuola in esame sono vetro camera ed hanno una trasmittanza globale media di 2,9 W/m²/K. In questo caso la trasmittanza della scuola elementare analizzata è migliore della media.

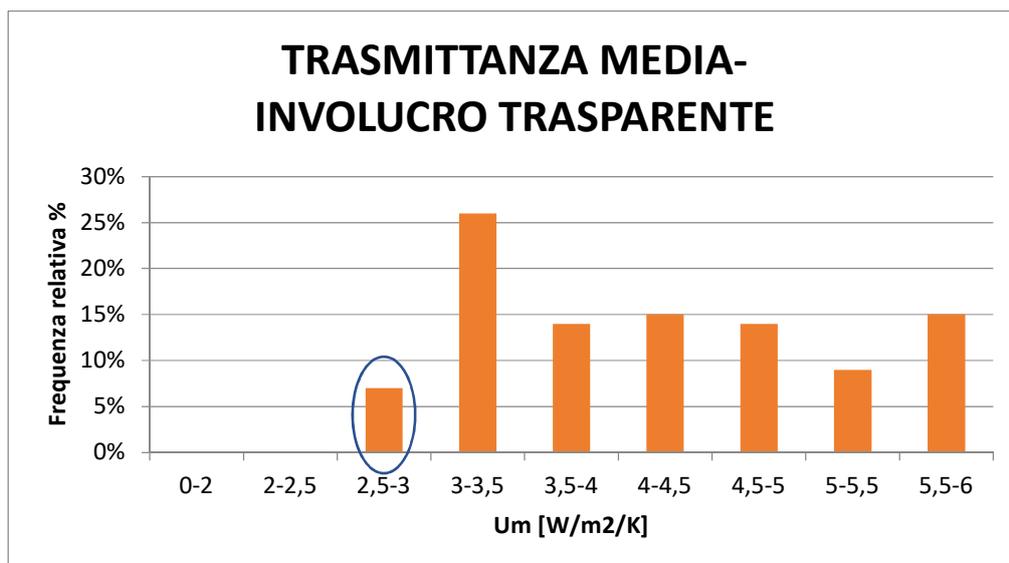


Figura 37 Valore di trasmittanza degli elementi trasparenti rispetto a quelle degli edifici scolastici della provincia di Torino

Misura della trasmittanza della parete esterna

Per verificare la trasmittanza della parete esterna si è provato a procedere con la misura.

Per la misura è utilizzato lo strumento multifunzione Testo 435-2, equipaggiato con la sonda termoflussimetrica (Termoflussimetro a piastra TESTO 0600 1635) e il sensore di temperatura collegato all'impugnatura radio TESTO 0554 0189.

Il termoflussimetro misura il valore della trasmittanza termica delle pareti in accordo con le metodologie indicate nella norma ISO 9869. Questo valore, è di fondamentale importanza per eseguire una certificazione energetica quantitativa, cioè misurare esattamente quanta energia viene dispersa in W/m^2K , soprattutto quando non si è a conoscenza della stratigrafia dell'edificio. Il kit consente di misurare con precisione il flusso termico, la temperatura dell'ambiente interno ed esterno calcolando il valore di trasmittanza e visualizzandolo sul display. Grazie alla memorizzazione dei dati in continuo è possibile eseguire la necessaria analisi a pc successiva alle registrazioni dei dati.



Figura 38 strumento multifunzione con sonda termoflussimetrica

Nella scelta del posizionamento della sonda bisogna evitare zone di ponti termici. La sonda termoflussimetrica deve aderire perfettamente alla parete, e può essere fissata con del nastro adesivo, che non vada a coprire il logo arancione centrale. Nel caso la parete sia rugosa e la sonda non faccia perfettamente aderenza è consigliabile applicare l'apposita pasta termica che favorisce il pieno contatto, ma non era questo il caso. La sonda di temperatura esterna, collegata al trasmettitore wireless, va posta in corrispondenza della sonda interna a una distanza di circa 50 cm dalla parete.

La parete scelta è la seguente, situata in un aula del secondo piano:



Figura 39 posizionamento sonda termoflussimetrica



*Figura 41*posizionamento sonda termoflussimetrica 2

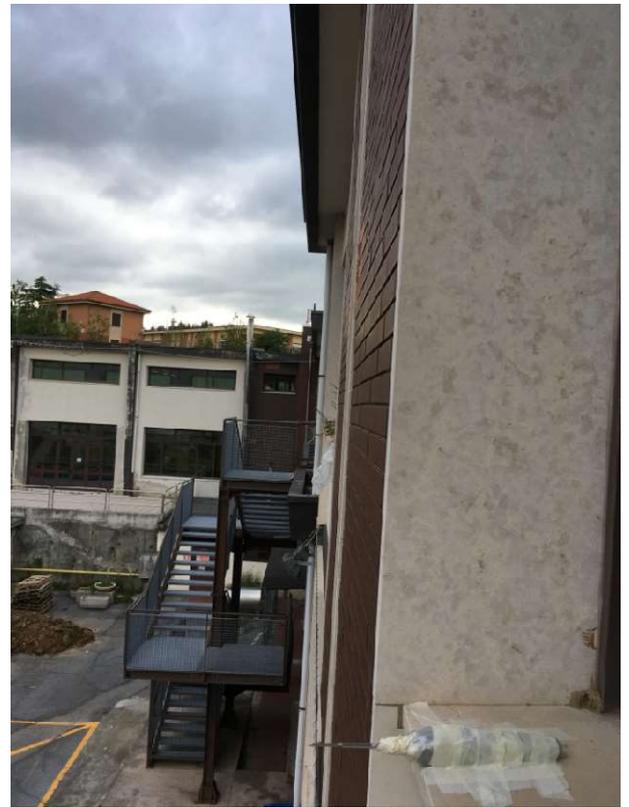


Figura 40 posizionamento sonda di temperatura

Il trasmettitore va acceso tenendo premuto per 3 secondi così che trasmetta il segnale di temperatura ogni 10 secondi. Attivando lo strumento multifunzione si possono leggere 3 valori: La temperatura interna, la temperatura esterna, e la trasmittanza calcolata (data da flusso [W/m²] diviso ΔT). E' consigliabile condurre il monitoraggio per alcuni giorni (periodo minimo 10 ore) e i valori più significativi si riscontreranno solitamente nel periodo notturno, poichè privo delle perturbazioni dovute a: funzionamento intermittente del riscaldamento, apporti solari e apertura finestre. Inoltre lo strumento è adatto a lavorare con ΔT minimo di 15 K; se ciò non è possibile non bisogna comunque scendere sotto i 10 K di ΔT . Per configurare la misura bisogna inserire l'intervallo di tempo scelto e il numero di salvataggi che si desiderano: in questo caso è stato scelto un intervallo di 15 minuti e son stati acquisiti 60 valori, corrispondenti quindi ad un periodo di 15 ore. Il periodo di monitoraggio va da martedì 22/05/2018 alle ore 17 a mercoledì 23/05/2018 alle ore 8.

Alla fine del monitoraggio, collegando lo strumento multifunzione al pc si scaricano i risultati della misurazione.

Tabella 16 Risultati termoflussimetro

Instrument	435-2	Serial	60710324
Reason for logging			
01 Prot. 24			
Date	24/05/2018 10.07.30		
Timezone			

Tabella 17 Risultati termoflussimetro 2

	Min:	Max:	Media:
C:1 W/m ² K	-0.174	0.742	0.070
C:2 [°C] Ti	20.4	21.8	21.0
C:3 °C	11.1	17.1	13.6

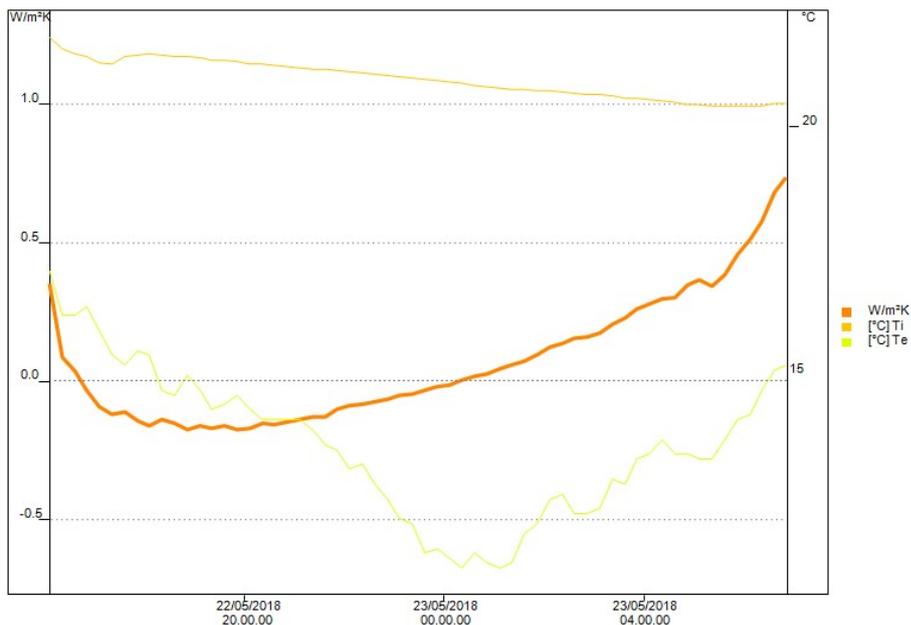


Figura 42 Risultati termoflussimetro

Neanche durante la notte la trasmittanza si stabilizza intorno a un valore costante: cresce in modo costante e poi impenna la mattina a causa di un ΔT troppo basso. Non si riesce quindi ad individuare un periodo significativo su cui fare una media che rappresenti in modo veritiero la trasmittanza della parete in esame. I cattivi risultati sono dovuti al clima troppo mite per la misura (ΔT troppo basso, non raggiunge mai i 10 °C) che non consente alla parete di smaltire il calore accumulato durante il giorno non permettendo quindi al flusso che attraversa la parete di raggiungere una condizione stazionaria (ottimale per la misura). Sarebbe preferibile effettuare questo tipo di misurazione in periodo invernale.

Inoltre la parete scelta, oltre ad avere un'esposizione svantaggiosa, presenta un colore scuro (marrone) che favorisce l'assorbimento della radiazione solare, come si può vedere dalla seguente foto a infrarossi (effettuata con la termocamera FLIR E50), raggiungendo alti picchi di temperatura durante il giorno che contribuiscono a rendere il flusso termico non stazionario, anche durante le ore notturne. Questa esposizione è stata scelta per necessità in quanto sulle altre pareti non risultava possibile posizionare la sonda esterna in un posto sicuro. (vedi manuale nel software flir).

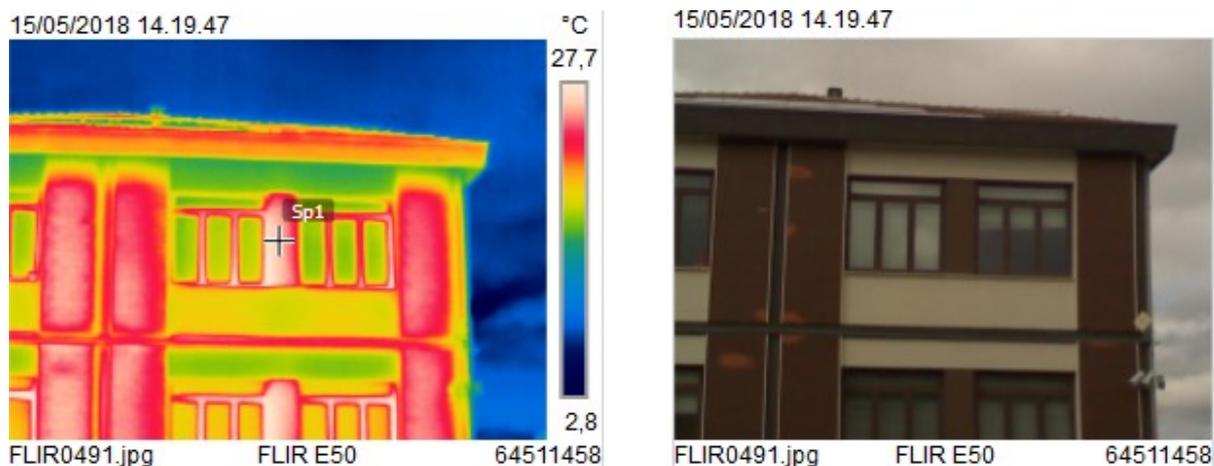


Figura 43 Analisi termografica

I risultati ottenuti da questa misura non sono quindi attendibili, ma è consigliabile rifare l'esperienza in condizioni climatiche più idonee. E' inoltre consigliabile eseguire anche un'analisi termografica in periodo invernale. Per la costruzione del modello viene quindi confermata la trasmittanza della parete verticale di $1,1 \text{ W/m}^2/\text{K}$.

d. Costruzione di un modello termoenergetico

Il modello termoenergetico è uno strumento di calcolo che serve per calcolare gli indici di prestazione energetica relativi ai servizi erogati (riscaldamento, ACS e illuminazione) al variare delle caratteristiche climatiche e ambientali, della struttura e degli impianti che la servono. Questo deve poi essere validato confrontando i risultati da esso proposti con i consumi reali disponibili, ricavate dall'analisi sulle bollette fatta in precedenza. Il modello validato servirà quindi per prevedere il comportamento energetico dell'edificio in seguito agli interventi migliorativi, per determinare quindi il rispetto o meno dei requisiti minimi e per prevedere i vantaggi economici che ne possono derivare. Per fare ciò si utilizza il **software EC700 di Edilclima**.

Costruzione modello

Per prima cosa si stabilisce la destinazione d'uso dell'edificio, scelta dall'elenco fornito all'art. 3. del DPR 412/93.

In questo caso sono individuabili due parti corrispondenti a categorie diverse e sono quindi da valutare separatamente, ciascuna nella categoria che le compete. L'edificio è valutato e classificato in base alla destinazione d'uso prevalente in termini di volume climatizzato.

Le categorie di interesse sono la categoria E.6(2) e la categoria E.7, cioè:

E.6 (2) palestre e assimilabili;

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

La destinazione d'uso prevalente in termini di volume climatizzato è la categoria E.7 con il 72% del volume climatizzato totale.

Il calcolo è impostato in modalità diagnosi energetica (A3) (vedi intro capitolo 4), cioè il calcolo che ha come obiettivo una stima realistica dei consumi energetici.

I dati climatici sono inseriti seguendo la UNI 10349:2016. Un dato climatico rilevante sono i Gradi giorno utilizzati dal software, presi dal DPR 412/93, che corrispondono a 2295 per il comune di Carcare.

Viene poi effettuata la divisione in zone termiche. Una zona termica è definita nella UNI /TS 11300-1 come una parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperatura (ed eventuale umidità) uniforme attraverso lo stesso impianto di climatizzazione. Sono quindi individuate 3 zone termiche: La scuola elementare, il centro ragazzi e la palestra. La temperatura interna è stata scelta di 20 °C per la scuola elementare e il centro ragazzi e di 18 °C per la palestra, mentre la portata di ventilazione è calcolata secondo la UNI 10339. Per ogni zona si definisce anche la potenza elettrica installata per illuminazione notturna esterna e le relative ore di funzionamento: in questo caso si hanno 4 faretti da 500 W (per semplicità tutta la potenza elettrica per illuminazione esterna è inserita nella zona "scuola elementare"), funzionanti per 4200 h/anno.

E' inoltre definita la zona non climatizzata costituita dal sottotetto, il cui coefficiente di correzione di temperatura ($b_{tr,u}$) viene stabilito con calcolo analitico dal software. Il valore calcolato è $b_{tr,u} = 0,65$.

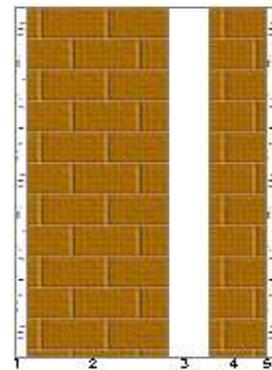
Si è poi proceduto con l'inserimento dei componenti costituenti l'involucro edilizio e la loro relativa stratigrafia, cioè: la parete esterna, il tetto a falde, il solaio sovrastante la palestra, i solai interni, le pareti interne, le finestre e la vetrata di ingresso.

Legenda simboli delle stratigrafie:

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Parete esterna

Trasmittanza termica	1,099	W/m ² K
Spessore	370	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-1,8	°C
Permeanza	88,106	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	440	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	392	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,293	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,267	-
Sfasamento onda termica	-10,4	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00	10
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	200,00	0,500	0,400	1400	0,84	7
3	Intercapedine non ventilata $A_v < 500$ mm ² /m	60,00	0,333	0,180	-	-	-
4	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	80,00	0,600	0,133	1400	0,84	7
5	Intonaco di calce e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,029	-	-	-

Pavimento su terreno

Trasmittanza termica **1,619** W/m²K

Trasmittanza controterra **0,313** W/m²K

Spessore **530** mm

Temperatura esterna
(calcolo potenza invernale) **-1,8** °C

Permeanza **9,709** 10⁻¹²kg/sm²Pa

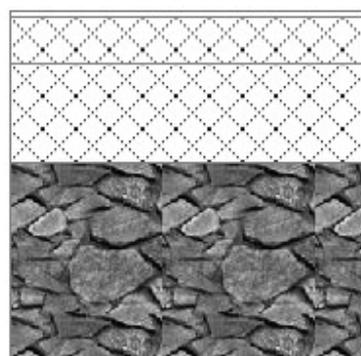
Massa superficiale
(con intonaci) **1019** kg/m²

Massa superficiale
(senza intonaci) **1019** kg/m²

Trasmittanza periodica **0,166** W/m²K

Fattore attenuazione **0,528** -

Sfasamento onda termica **-13,3** h

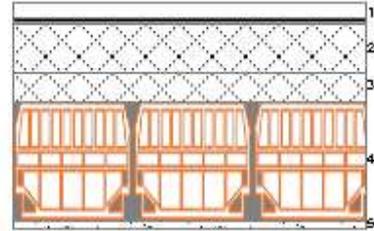


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica	10,00	1,000	0,010	2300	0,84	200
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,900	0,078	1800	0,88	30
3	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	150,00	2,150	0,070	2400	0,88	100
4	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	300,00	1,200	0,250	1700	0,84	5
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Soletta interpiano

Trasmittanza termica	1,670	W/m ² K
Spessore	320	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20,0	°C
Permeanza	14,937	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	494	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	478	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,499	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,299	-
Sfasamento onda termica	-9,0	h

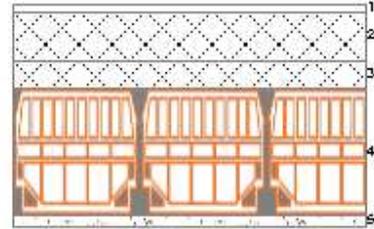


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica	30,00	1,000	0,030	2300	0,84	200
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,900	0,078	1800	0,88	30
3	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti interne (um. 2-5%)	40,00	1,910	0,021	2400	0,88	100
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	170,00	0,660	0,258	1100	0,84	7
5	Intonaco di gesso e sabbia	10,00	0,800	0,013	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Solaio esterno

Trasmittanza termica	1,322	W/m ² K
Spessore	315	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-1,8	°C
Permeanza	21,436	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	467	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	443	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,488	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,369	-
Sfasamento onda termica	-9,4	h

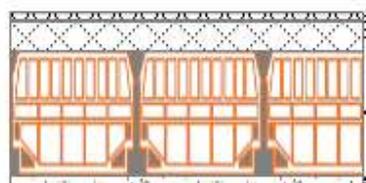


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,029	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica	10,00	1,000	0,010	2300	0,84	200
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,900	0,078	1800	0,88	30
3	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti interne (um. 2-5%)	40,00	1,910	0,021	2400	0,88	100
4	Soletta in laterizio	180,00	0,360	0,500	1100	0,84	6
5	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Copertura inclinata

Trasmittanza termica	2,115	W/m ² K
Spessore	249	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-1,8	°C
Permeanza	0,974	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	343	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	319	kg/m ²
Trasmittanza periodica	1,316	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,622	-
Sfasamento onda termica	-5,9	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,029	-	-	-
1	Copertura in tegole di argilla	10,00	0,990	0,010	2000	0,84	1
2	Impermeabilizzazione con bitume	4,00	0,170	0,024	1200	0,92	50000
3	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	40,00	2,150	0,019	2400	0,88	100
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	180,00	0,660	0,273	1100	0,84	7
5	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

I componenti finestrati sono indicati nella tabella allegata (allegato 3)

Per l'inserimento della vetrata di ingresso (vetro singolo) è stato necessario effettuare una semplificazione. Come si può notare nella foto sotto ci sono tre rientranze in corrispondenza delle aperture. Il programma EC 700 ammette solamente di posizionare le vetrate lungo il perimetro del fabbricato quindi si è calcolata una trasmittanza equivalente che tenesse conto della reale superficie vetrata nel seguente modo:

$$U_{reale} * A_{reale} = U' * A_{proiettata}$$

Si è quindi inserita nel modello una vetrata di trasmittanza U' e area A_{proiettata}.



Figura 44 Vetrata di ingresso

Le zone sono quindi suddivise nei locali (es. classi, segreterie, bagni ecc..). In ogni locale viene inserita la potenza elettrica installata e le ore di funzionamento. La dimensione di ogni locale è presa dalle planimetrie, mentre l'altezza è stata misurata locale per locale durante i rilievi.

Si inseriscono poi i dati relativi all'impianto termico e all'impianto fotovoltaico descritti precedentemente. La produzione di acqua calda sanitaria è a 55°C con ricircolo, mentre la temperatura di alimentazione dei corpi scaldanti è di 70°C.

Validazione modello

Per verificare la validità o meno del modello costruito e prevedere quindi eventuali correzioni, si attua il confronto con i dati reali da misure, cioè quelli del paragrafo 4.a. Il confronto avviene separatamente per il consumo di energia termica ed elettrica.

Energia termica:

Il modello costruito con EC700 calcola il fabbisogno termico con i gradi giorno presi dal DPR 412/93, corrispondenti a 2295 per il comune di Carcare.

L'indice di consumo di energia termica da teleriscaldamento dato dal modello è di 110 kWh/m².

Il rapporto tra l'indice del modello e quello reale è di $110/114 = 0,96$. L'errore del 4% è ritenuto accettabile e la bontà del modello è confermata.

Si è poi confrontato l'andamento del consumo di calore da teleriscaldamento mese per mese tra modello e anno medio reale:

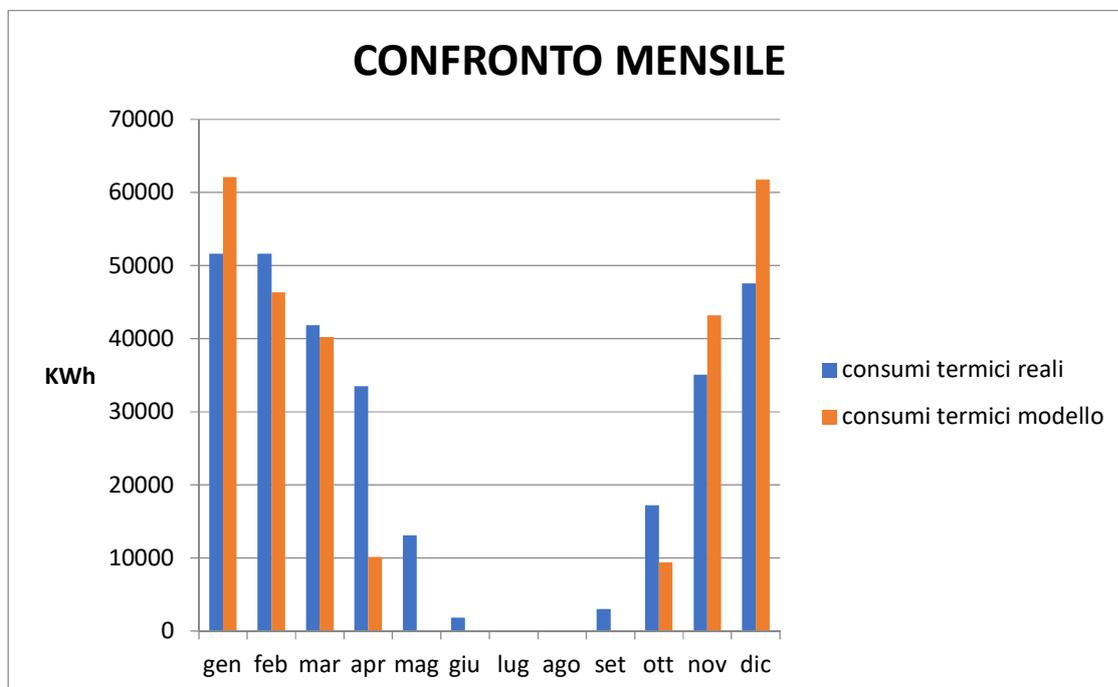


Figura 45 Confronto sui consumi di energia termica tra modello e dati reali

In alcuni mesi si nota una non trascurabile differenza tra consumi reali e consumi da modello. Bisogna ricordare però che la fattura termica è una percentuale fissa (58%) del consumo di calore totale di scuola elementare e palazzetto dello sport ad essa adiacente. Il comportamento termico del palazzetto dello sport sarà sicuramente differente in quanto è destinato ad uso diverso e ha differente profilo di occupazione. Per poter impostare un monitoraggio dei consumi della scuola elementare il primo passo sarebbe quindi quello di avere contatori separati per scuola e palazzetto.

Energia elettrica:

Per validare il modello creato con il software EC700 in relazione ai consumi elettrici bisogna fare una premessa: il software, seguendo la 11300, calcola separatamente la producibilità dell'impianto fotovoltaico e il fabbisogno elettrico dell'edificio per poi farne la differenza mese per mese, trovando la conseguente energia elettrica da prelevare dalla rete o da immettere in rete. Ovviamente, facendo ciò, non considera la non programmabilità del fotovoltaico e sovrastima l'autoconsumo.

Per valutare un veritiero accoppiamento tra fabbisogno e produzione fotovoltaica e rendere il modello paragonabile con i dati reali si è fatto riferimento ai dati dell'anno 2014 per estrapolare una percentuale di autoconsumo realistica per il caso in questione.

Tabella 18 Autoconsumo da fotovoltaico, anno 2014, da dati reali.

anno	produzione pv [kWh]	en. immessa [kWh]	en. autoconsumata [kWh]	autoconsumo /produzione	fabbisogno netto [kWh]	fabbisogno lordo [kWh]
2014						
gen	544	21	523	96%	6.680	7.203
feb	847	42	805	95%	5.607	6.412
mar	1.576	130	1.446	92%	5.050	6.496
apr	1.720	152	1.568	91%	4.417	5.985
mag	2.277	492	1.785	78%	3.043	4.828
giu	2.224	775	1.449	65%	2.181	3.630
lug	2.887	941	1.946	67%	2.178	4.124
ago	1.863	845	1.018	55%	2.323	3.341
set	1.720	601	1.119	65%	2.916	4.035
ott	1.576	158	1.418	90%	4.292	5.710
nov	847	36	811	96%	5.894	6.705
dic	544	32	512	94%	5.731	6.243
TOT	18.625	4.225	14.400	77%	50.312	64.712

Il fabbisogno lordo è il fabbisogno dell'edificio escludendo la produzione PV, il fabbisogno netto includendo la PV.

Ipotizzando la stessa percentuale di autoconsumo mensile per tutti gli anni si tiene conto del fatto che non tutta l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico è utilizzata in loco, ma in parte è immessa in rete. Il fabbisogno netto proposto dal modello EC 700 dovrà quindi essere corretto tenendo conto di ciò:

Tabella 19 Fabbisogno di energia elettrica da modello

anno di riferimento modello	kWh			%	kWh		
	fabbisogno lordo EC700	produzione PV EC700	fabbisogno netto EC700	autoconsumo/ produzione	autoc.	immessa	fabbisogno netto EC700 corretto
gen	6.308	739	5.569	96%	710	29	5.598
feb	5.507	965	4.542	95%	917	48	4.590
mar	5.856	1.430	4.426	92%	1.312	118	4.544
apr	5.339	1.600	3.739	91%	1.459	141	3.880
mag	5.384	1.733	3.651	78%	1.359	374	4.025
giu	4.725	1.833	2.892	65%	1.194	639	3.531
lug	3.439	2.111	1.328	67%	1.423	688	2.016
ago	3.116	1.956	1.160	55%	1.069	887	2.047
set	4.788	1.760	3.028	65%	1.145	615	3.643
ott	5.645	1.559	4.086	90%	1.403	156	4.242
nov	5.907	1.045	4.862	96%	1.001	44	4.906
dic	6.600	892	5.708	94%	840	52	5.760
TOT	62.614	17.623	44.991		13.831	3.792	48.783

L'indice di consumo per l'energia elettrica da rete derivante da modello è $48.783/2470 = 19.8$ kWh/m². Il rapporto tra indice di consumo da modello e indice di consumo reale è di: $19.8/19.5 = 1.02$. L'errore del 2% che ne consegue è considerato accettabile e la bontà del modello è confermata.

Nei seguenti istogrammi si può valutare la differenza tra il fabbisogno reale dell'anno 2014 (che è stato scelto come anno rappresentativo del comportamento medio, come spiegato nel capitolo sulla raccolta delle bollette) e il fabbisogno dato dal modello, sia lordo che netto:

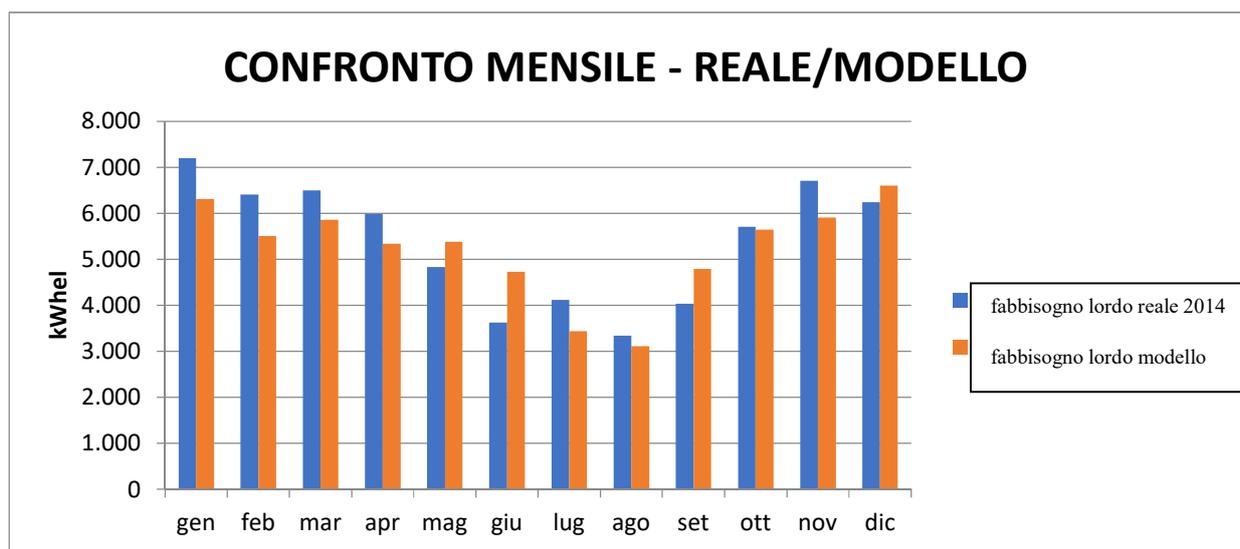


Figura 46 Confronto tra fabbisogno lordo di EE dati reali e modello

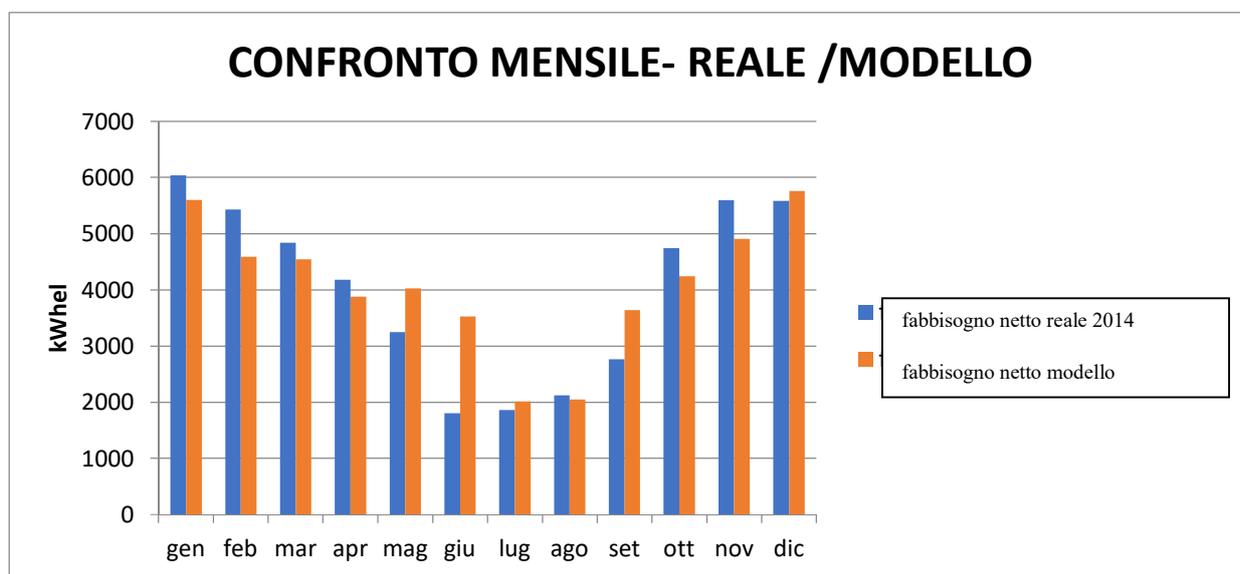


Figura 47 Confronto tra fabbisogno netto di EE dati reali e modello

Si può notare come il fabbisogno lordo calcolato dal software rappresenti molto fedelmente il fabbisogno lordo reale anche mese per mese. Il fabbisogno netto presenta invece uno scostamento leggermente maggiore in quanto si introduce l'effetto del fotovoltaico, con le diverse producibilità del caso reale (anno medio) e quella calcolata da software (valori standard).

e. Ipotesi di riqualificazione energetica

Gli interventi migliorativi hanno l'obiettivo di diminuire il fabbisogno di energia primaria dell'edificio in esame e al contempo generare risparmi economici quantificabili. Questo capitolo ha lo scopo di individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici, anche alla luce delle possibili forme di incentivazione (vedi capitolo.....).

In prima analisi si procede ordinando i possibili interventi in base al tempo di ritorno semplice, indicato con la sigla SPBT (standard pay back time). Lo SPBT individua il numero di anni necessari per recuperare il capitale inizialmente investito per realizzarlo ed è calcolato come rapporto tra l'importo per l'investimento (I in €) e il risparmio annuale previsto (R in €/anno).

$$SPBT = I/R;$$

Per valutare i prezzi degli interventi si fa riferimento, ove possibile, al prezzo regionale della Regione Liguria aggiornato al 2018.

Il risparmio annuale è valutato servendosi del modello di EC700 validato nel capitolo precedente.

Per individuare i punti più critici dell'involucro su cui dover intervenire, cioè quelli responsabili delle maggiori dispersioni di calore, si confronta il coefficiente di scambio termico per trasmissione H_{tr} [W/K] per ogni componente dell'involucro. Il coefficiente $b_{tr,u}$ è il coefficiente correttivo che tiene conto della temperatura dei locali non riscaldati, più alta della temperatura esterna.

Tabella 20 Dispersioni per componente

Descrizione		U		Sup. Tot	Htr	
		[W/m ² K]	btr,u	[m ²]	[W/K]	%
componenti opachi	Parete esterna	1,099	1	1586	1743	31%
	parete interna verso locale non riscaldato	1,496	0,6	128	115	2%
	parete esterna contro terra	0,423	1	50	21	0%
	Pavimento su terreno	0,313	1	741	232	4%
	Pavimento su terreno palestra	0,286	1	455	130	2%
	Soletta interpiano verso locale non riscaldato	1,354	0,32	89	39	1%
	Soletta esterno	1,322	1	614	811	14%
	pavimento lab scienze	1,670	0,53	13	22	0%
	Soletta sottotetto	1,276	0,65	633	808	14%
componenti trasparenti	finestre	2,891	1	307,96	890	16%
	vetrata di ingresso	6,197	1	56,48	350	6%
				TOT	5698	100%

Dalla tabella si nota quali sono i componenti dell'involucro che concorrono maggiormente alle dispersioni dell'edificio: verranno quindi analizzate in seguito opportunità di intervento sulla parete verticale esterna, sui solai che danno verso l'esterno o verso il sottotetto, sulle finestre e sull'ampia vetrata d'ingresso.

Inoltre sarà valutata la possibilità di sostituire le lampade e i corpi illuminanti, passando dalle lampade fluorescenti caratterizzanti lo stato attuale a lampade a tecnologia LED che permettono un risparmio di circa il 50% di energia a pari illuminamento.

Per quanto riguarda l'impianto, per prima cosa si valuta l'installazione di valvole termostatiche per ogni radiatore, così da garantire temperature più uniformi nei vari locali, eliminando il rischio di surriscaldamenti non richiesti. Non sono stati analizzati invece possibili interventi sull'impianto in quanto nel 2013 la scuola è stata collegata alla rete di teleriscaldamento. Anche riguardo la produzione di energia da fonte rinnovabile non presenta necessità di ulteriori investimenti dato

che il teleriscaldamento è alimentato a biomasse a filiera corta e sono presenti un impianto solare termico e un impianto solare fotovoltaico.

Gli interventi analizzati, che verranno poi descritti in dettaglio in seguito, sono i seguenti:

1. Installazione di valvole termostatiche su tutti i corpi radianti.
2. Sostituzione delle lampade interne con tubi LED.
3. Sostituzione della vetrata di ingresso.
4. Coibentazione tetto.
5. Coibentazione parete esterna.
6. Sostituzione delle finestre.

Per questa prima analisi si è scelto per i punti 3, 4, 5 e 6 di raggiungere valori di trasmittanza che soddisfino i requisiti minimi necessari ad accedere alle agevolazioni del conto termico. Per il calcolo del risparmio energetico conseguibile con ogni intervento ci si affida al modello EC700 validato in precedenza tranne per la sostituzione dei corpi illuminanti per la quale si usa un semplice foglio excel.

Per stabilire i prezzi dei vari interventi si fa riferimento al “Prezzario Opere Edili ed Impiantistiche - Regione Liguria – Anno 2018”: nel caso in cui un intervento sia composto da diverse voci del prezzario oppure non si trovi sul prezzario, si procede con l’analisi dei prezzi, facendo indagini di mercato e considerando prezzi di listino dei componenti.

Vengono in seguito riportati i risparmi in termini di consumi energetici raggiungibili con l'applicazione dei singoli interventi:

1) Installazione di valvole termostatiche su tutti i corpi radianti:

Si interviene su tutti i radiatori presenti nell'edificio, 87 in totale.

Tabella 21 intervento 1: valvole termostatiche

1. valvole termostatiche	Edel,pre [kWh]	Edel,post [kWh]	risparmio energetico [kWh]	prezzo vettore [€/kWh]	risparmio economico [€]
teleriscaldamento	272.531	234.927	37.604	0,11	4.136
energia elettrica da rete	44.991	44.447	544	0,17	92
TOT					4.229

2) Sostituzione delle lampade interne con tubi LED:

Le plafoniere al neon sostituite con plafoniere al led sono elencate nella tabella allegata:

Tabella 22 Intervento 2: sostituzione delle lampade interne con tubi LED

2. LED	Edel,pre [kWh]	Edel,post [kWh]	risparmio energetico [kWh]	prezzo vettore [€/kWh]	risparmio economico [€]
teleriscaldamento	272.531	272.531	0	0,11	0
energia elettrica da rete	44.991	30.372	14.619	0,17	2.485
TOT					2.485

Al vantaggio dato dal risparmio energetico si aggiunge anche quello dovuto alle ore di vita delle lampade a led, circa 50.000 ore , rispetto alle circa 10.000 delle lampade a fluorescenza.

3) Sostituzione della vetrata di ingresso:

Si prevede la sostituzione della vetrata d'ingresso con serramenti dotati di vetri camera tripli basso emissivi con trasmittanza complessiva del serramento non superiore a $U=1,3 \text{ W/mq/K}$.

Tabella 23 Intervento 3: sostituzione vetrata d'ingresso

3. vetrata ingresso	Edel,pre [kWh]	Edel,post [kWh]	risparmio energetico [kWh]	prezzo vettore [€/kWh]	risparmio economico [€]
teleriscaldamento	272.531	263.035	9.496	0,11	1.045
energia elettrica da rete	44.991	44.991	0	0,17	0
				TOT	1.045

4) Coibentazione tetto:

Questo intervento consiste nella coibentazione dall'interno, tramite un pannello di polistirene espanso di spessore 14 cm e $k = 0,033$ della copertura piana verso l'esterno della palestra e il solaio verso il sottotetto della scuola elementare. Permette di raggiungere valori di $0,226 \text{ W/m}^2/\text{K}$ per entrambi i casi.

Tabella 24 Intervento 4: Isolamento coperture

4. isolamento coperture	Edel,pre [kWh]	Edel,post [kWh]	risparmio energetico [kWh]	prezzo vettore [€/kWh]	risparmio economico [€]
teleriscaldamento	272.531	237.215	35.316	0,11	3.885
energia elettrica da rete	44.991	44.991	0	0,17	0
				TOT	3.885

5) Coibentazione parete esterna:

Per la coibentazione della parete esterna si è deciso per la realizzazione di un cappotto termico che, oltre a garantire un contenimento delle dispersioni per trasmissione, garantisce la riqualificazione della parete esterna, ormai vecchia e con tracce di umidità soprattutto sull'involucro della palestra.

L'isolante scelto è un pannello di polistirene espanso di $k = 0,033 \text{ W/m/K}$ e spessore 12 cm. La trasmittanza raggiunta è di $0,199 \text{ W/m}^2/\text{K}$.

Tabella 25 Intervento 5: Isolamento pareti esterne

5. Cappotto	Edel,pre [kWh]	Edel,post [kWh]	risparmio energetico [kWh]	prezzo vettore [€/kWh]	risparmio economico [€]
teleriscaldamento	272.531	222.635	49.896	0,11	5.489
energia elettrica da rete	44.991	44.991	0	0,17	0
				TOT	5.489

6) Sostituzione delle finestre:

Si prevede la sostituzione delle finestre con serramenti dotati di vetri camera tripli basso emissivi con trasmittanza complessiva del serramento non superiore a $U=1,3 \text{ W/mq/K}$.

Tabella 26 Intervento 6: sostituzione finestre

6. finestre	Edel,pre [kWh]	Edel,post [kWh]	risparmio energetico [kWh]	prezzo vettore [€/kWh]	risparmio economico [€]
teleriscaldamento	272.531	245.347	27.184	0,11	2.990
energia elettrica da rete	44.991	44.991	0	0,17	0
				TOT	2.990

Noti i prezzi dei singoli interventi, che sono analizzati in dettaglio successivamente, si calcola lo SPBT di ognuno di essi:

Tabella 27 SPBT

n°	descrizione	investimento [€]	risparmio annuo [€/anno]	SPBT [anni]
1	termoregolazione	9.744	4.229	2,3
2	illuminazione	35.559	2.485	14,3
3	vetrata	8.153	1.045	7,8
4	tetto	93.525	3.885	24,1
5	cappotto	129.151	5.489	23,5
6	finestre	111.188	2.990	37,2

Riordinando gli interventi per SPBT crescente:

Tabella 28 Interventi di riqualificazione, con SPBT

n°	descrizione	investimento [€]	risparmio annuo [€/anno]	SPBT [anni]
1	termoregolazione	9.744	4.229	2,3
2	vetrata	8.153	1.045	7,8
3	illuminazione	35.559	2.485	14,3
4	cappotto	129.151	5.489	23,5
5	tetto	93.525	3.885	24,1
6	finestre	111.188	2.990	37,2

5. Scenari nZEB

Come primo passo per puntare alla trasformazione dell'edificio in nZEB si applicano tutti gli interventi migliorativi proposti sopra e riportati di nuovo nella seguente tabella:

Tabella 29 Interventi per nZEB

n°	descrizione
1	termoregolazione
2	sostituzione vetrata di ingresso
3	sostituzione apparecchi illuminanti
4	coibentazione parete esterna
5	coibentazione tetto
6	sostituzione finestre

Si esegue quindi una valutazione di progetto (modalità A1), e si confrontano i risultati prima con la valutazione sullo stato attuale in modalità A2 per verificare i miglioramenti conseguiti e poi con i requisiti minimi richiesti dall'nZEB:

Tabella 30 confronto tra stato attuale, progetto nZEB e requisiti nZEB

	H'_T	$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	$EP_{H,nd}$	$EP_{C,nd}$	$EP_{gl,tot}$	η_h	η_w	η_c	% ren ACS	% ren h+w
	[W/m ² K]	/	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	%	%	%	%	%
valutazione attuale (A2)	1,14	0,047	110	3,15	270,3	65,3	75,7	/	92	79
progetto edificio nZEB (A1)	0,42	0,033	57,4	4,21	127,9	65,3	75,7	/	92	80
requisiti nZEB	0,55	0,04	83,9	2,1	180,2	64,8	55,3	/	55	55

Si può notare che applicando tutti gli interventi proposti si riesce a raggiungere la classificazione nZEB, tranne per l'indice di energia primaria per raffrescamento ($EP_{c,nd}$).

Per raggiungere l'obiettivo bisogna prevedere un ulteriore intervento, cioè il montaggio di tende sui componenti finestrati particolarmente esposti, cioè quelli della palestra e quelli delle facciate sud ed est del blocco edilizio ospitante le aule. Le finestre su cui si è deciso di intervenire sono evidenziate nella tabella dei serramenti allegata. La superficie dei serramenti interessati è di 170 m².

La nuova simulazione, con l'aggiunta delle schermature sopra citate, dà i seguenti risultati:

Tabella 31 Confronto tra stato attuale, progetto nZEB con schermature e requisiti nZEB

	H'_T	$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	$EP_{H,nd}$	$EP_{C,nd}$	$EP_{gl,tot}$	η_h	η_w	η_c	% ren ACS	% ren h+w
	[W/m ² K]	/	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	%	%	%	%	%
valutazione attuale (A2)	1,14	0,047	110	3,15	270,3	65,3	75,7	/	92	79
progetto edificio nZEB (A1)	0,42	0,019	61,1	2,08	133,84	65,3	75,7	/	92	80
requisiti nZEB	0,55	0,04	83,9	2,1	180,2	64,8	55,3	/	55	55

Tutti i requisiti dell' nZEB sono ora soddisfatti.

a. Benefici economici e ambientali

Per stimare realisticamente i benefici ambientali e economici della trasformazione dell'edificio in nZEB si avvia la simulazione con le nuove caratteristiche termofisiche e impiantistiche, ma mantenendo le condizioni d'uso dell'edificio attuali, cioè quelle studiate nella diagnosi.

Così facendo si trovano le seguenti diminuzioni di consumi:

Tabella 32 Risparmio in bolletta grazie a edificio nZEB

	stato attuale [kWh]	nZEB [kWh]	Delta [kWh]	Delta [tep]	%	€/kWh	risparmio economico annuo [€]
energia termica da teleriscaldamento	272.810	140.114	132.696	17,1	-49%	0,11	14.597
energia elettrica da rete	44.825	27.958	16.867	3,2	-38%	0,17	2.867
somma							17.464

In termini di energia primaria si hanno i seguenti miglioramenti:

Tabella 33 Fabbisogno di energia primaria edificio attuale

Servizio	Ep,nren [kWh]	Ep,ren [kWh]	Ep,tot [kWh]
Riscaldamento e ACS	85.996	328.010	414.006
Illuminazione interna e altri elettrici	82.833	37.066	119.899
Globale	169.252	369.593	538.845

Tabella 34 Fabbisogno di energia primaria stimato nZEB

Servizio	Ep,nren [kWh]	Ep,ren [kWh]	Ep,tot [kWh]
Riscaldamento e ACS	43.854	168.082	211.937
Illuminazione e altri elettrici	52.307	29.823	82.130
Globale	96.553	202.430	298.983

Tabella 35 Indici di energia primaria edificio attuale

Servizio	EP,nren [kWh/m ²]	EP,ren [kWh/m ²]	EP,tot [kWh/m ²]
Riscaldamento e ACS	34,8	132,8	167,6
Illuminazione e altri elettrici	33,5	15,0	48,5
Globale	68,5	149,6	218,2

Tabella 36 Indici di energia primaria stimati nZEB

Servizio	EP,nren [kWh/m ²]	EP,ren [kWh/m ²]	EP,tot [kWh/m ²]
Riscaldamento e ACS	17,8	68,0	85,8
Illuminazione e altri elettrici	21,2	12,1	33,3
Globale	39,1	82,0	121,0

Per avere un quadro più chiaro sui risultati potenzialmente raggiungibili dalla trasformazione di tale edificio in nZEB si fa un confronto con i dati dei consumi energetici comunali del 2005, oltre che con i dati della diagnosi del 2018. I dati del 2005 riguardanti gli usi termini sono dati in termini di energia primaria (vedi Tabella 3 Consumi degli edifici pubblici di Carcare al 2005).

Dato che al 2005 tutte le utenze comunali erano alimentate a metano è ragionevole che i consumi di energia primaria coincidano con i consumi di energia termica.

Tabella 37 Consumo di energia tra 2005, 2018 e progetto nZEB

	consumi di energia termica [MWh]	consumi di energia elettrica da rete[MWh]
dati comune 2005	417,1	55
diagnosi 2018	272,8	45
progetto nZEB	140,1	28

Bisogna ricordare che la differenza tra il 2005 e il 2018 è dovuta al rifacimento dell'impianto termico con l'allacciamento al teleriscaldamento, la sostituzione dei serramenti con doppi vetri e l'installazione dell'impianto fotovoltaico e solare termico.

Si può notare come la "scuola nZEB" avrebbe un peso decisamente inferiore nei consumi comunali, (vedi Tabella 3 Consumi degli edifici pubblici di Carcare al 2005).

Tabella 3 Consumi degli edifici pubblici di Carcare al 2005

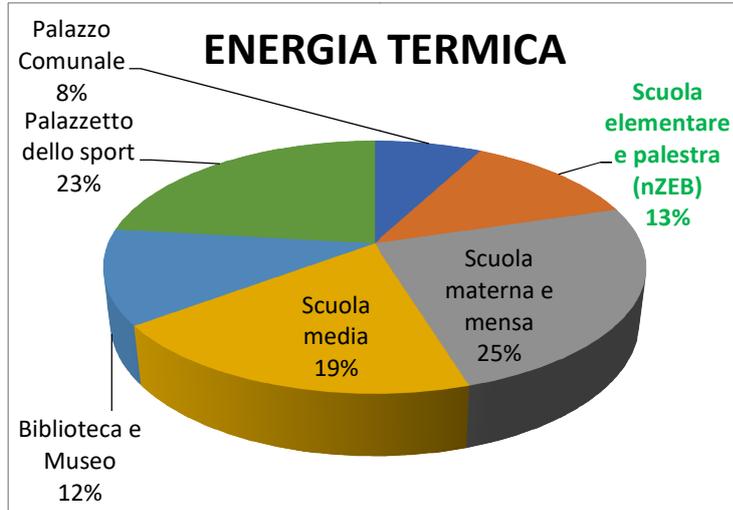


Figura 48 consumi di energia termica scuola nZEB nel contesto comunale

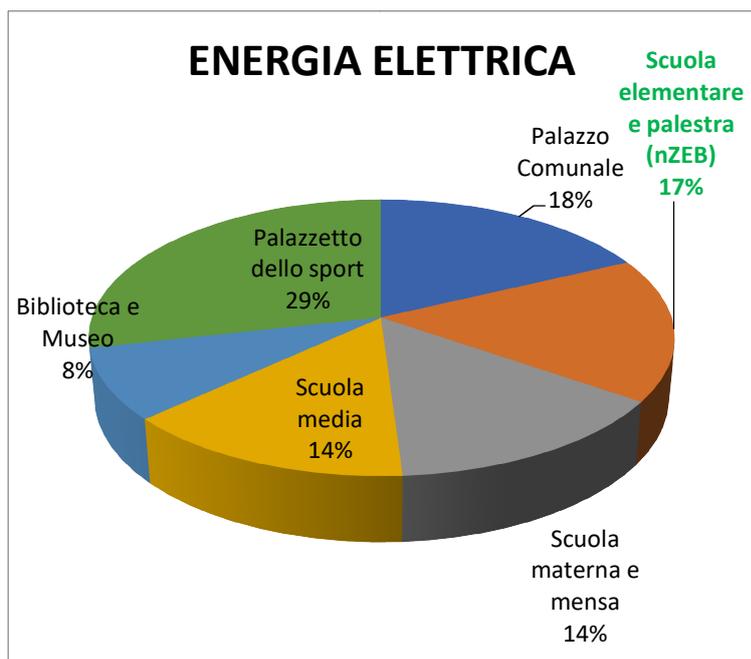


Figura 49 consumi di energia elettrica scuola nZEB nel contesto comunale

La trasformazione della scuola elementare, l'edificio di proprietà comunale più energivoro, in edificio nZEB può essere quindi il primo passo e successivamente anche gli altri edifici potranno seguire lo stesso percorso.

Per stabilire i costi dei vari interventi necessari per raggiungere la condizione di nZEB si fa riferimento al "Prezzario Opere Edili ed Impiantistiche - Regione Liguria – Anno 2018"[7]: nel caso in cui un intervento sia composto da diverse voci del prezzario oppure non si trovi sul prezzario, si procede con l'analisi dei prezzi, facendo indagini di mercato e considerando prezzi di listino dei componenti.

Nella seguente tabella sono indicati i costi di ogni intervento necessario per realizzare l'edificio nZEB, i dettagli delle singole voci sono riportati in tabelle allegate.

Tabella 38 Costi interventi

Art. n°	Descrizione dell'opera	U.M.	Prezzo unit. (€)	Quantità	Costo (€)	Costo per interv. (€)
1.1	Fornitura e posa in opera di valvola termostatica 1/2"	n°	112,00	87	9744	9.744
2.1	Rimozione di apparecchi di illuminazione.	n°	5,50	214	1177	35.559
2.2	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 60x60, 35W	n°	148,50	8	1188	
2.3	Fornitura e posa in opera di plafoniera tonda LED 20W.	n°	125,50	3	376,5	
2.4	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 120x30 cm, 35W	n°	163,50	118	19293	
2.5	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 150x30, 58W	n°	179,00	26	4654	
2.6	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 150x15, 30W	n°	179,00	2	358	
2.7	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 120x15 cm, 18W	n°	156,00	47	7332	
2.8	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 60x30, 18W	n°	118,00	10	1180	
3.1	Fornitura e posa di serramenti in PVC con $U_{max}=1,3 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$ compreso rimozione e smaltimento degli esistenti.	mq	310,00	26,3	8153	8.153
4.1	Coibentazione solaio piano da cm 14	mq	75,00	1247	93525	93.525
5.1	Sostituzione davanzale.	m	189,50	54	10233	129.151
5.2	Realizzazione di isolamento a cappotto sp. 12 cm, compreso ogni onere.	mq	74,50	1586	118157	
5.3	Rimozione dei pluviali	m	5,00	69	345	
5.4	Raccordo dei pluviali ai pozzetti	n°	52,00	8	416	
6.1	Fornitura e posa di serramenti in PVC con $U_{max}=1,3 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$ compreso rimozione e smaltimento degli esistenti.	mq	361,00	308	111188	111.188
7.1	Fornitura e posa di tende veneziane bianche	mq	55	170	9350	9.350
					TOT	396.670

Tabella 39 Interventi di riqualificazione necessari per nZEB

n°	descrizione	investimento [€]
1	termoregolazione	9.744
2	vetrata	8.153
3	illuminazione	35.559
4	cappotto	129.151
5	tetto	93.525
6	finestre	111.188
7	tende	9.350
	TOT	396.670

Il tempo di ritorno semplice comprensivo di tutti gli interventi necessari per il raggiungimento della condizione di nZEB è di 23,1 anni.

b. nZEB con diversi sistemi di generazione

Un vantaggio molto importante nella trasformazione in edificio a energia quasi zero della scuola in questione è dato sicuramente dalla, già presente, alimentazione dell'impianto termico a biomasse oltre che dagli impianti fotovoltaico e solare termico presenti. Ciò garantisce un sicuro rispetto del requisito di copertura del 55% da fonti rinnovabili per l'acqua calda sanitaria e del 55% per la somma di acqua calda sanitaria e riscaldamento. Questo fatto ha permesso di intervenire quasi solamente sull'involucro edilizio: infatti l'unico intervento impiantistico previsto è stato l'installazione di valvole termostatiche presso i terminali.

Il requisito di copertura da fonti rinnovabili è sicuramente raggiungibile con un impianto termico a biomasse e anche con l'allacciamento al teleriscaldamento. Infatti l'obbligo della quota rinnovabile non sussiste se l'edificio è collegato a una rete di teleriscaldamento.

Ovviamente non tutti gli edifici, pubblici e privati, hanno la possibilità di allaccio a una rete di teleriscaldamento e spesso la diffusione del riscaldamento a biomassa è limitata dagli ovvi problemi di qualità dell'aria, che ne impedisce l'utilizzo in molte parti di Italia. In questi casi l'unico modo per raggiungere le percentuali necessarie di copertura da fonti rinnovabili è la produzione di tutta o parte dell'energia richiesta tramite pompe di calore. La possibilità di sfruttare l'energia da solare termico è ritenuta marginale per una copertura significativa del fabbisogno termico di un edificio scolastico.

Detto ciò, si prova ora a valutare lo stesso fabbricato descritto prima, ovvero la scuola elementare del Comune di Carcare, completo delle modifiche sull'involucro necessarie per rispettare i requisiti nZEB, alimentato da una pompa di calore aria-acqua. In altre parole, si vuole stabilire se l'edificio con "involucro nZEB" descritto in precedenza, rispetterebbe i requisiti di copertura da fonte rinnovabile anche con l'utilizzo di una **pompa di calore aria-acqua**. Non viene presa in considerazione una pompa di calore acqua-acqua dato che tale soluzione è meno generalizzabile perchè non applicabile ovunque, anche se può garantire maggiori COP e quindi maggiore

sfruttamento di energia rinnovabile. La simulazione viene fatta sia considerando la presenza dell'impianto fotovoltaico sia con la assenza dello stesso. L'impianto solare termico non è considerato.

Tale simulazione è rappresentativa di un edificio scolastico di medie dimensioni in fascia climatica E.

Il sistema di distribuzione rimane invariato, l'alimentazione dei terminali rimane a 70°C e viene scelta una pompa di calore dalle seguenti caratteristiche:

con $T_f = 5^\circ\text{C}$ e $T_c = 70^\circ\text{C}$

$P_u = 356 \text{ kW}$

$\text{COP} = 3,92$

$P_{\text{ass}} = 90,8 \text{ kW}$

I risultati della simulazione sono visibili nella seguente tabella:

Tabella 40 Requisiti copertura rinnovabile con PdC

	risc			acs			risc+acs		
	Pdc, no FV	Pdc, 15 kW FV	Pdc, 26 kW FV	Pdc no FV	Pdc, 15 kW FV	Pdc, 26 kW FV	Pdc, no FV	Pdc, 15 kW FV	Pdc, 26 kW FV
Qnren [kWh]	146285	134254	124939	1384	985	791	147669	135239	125730
Qtot [kWh]	287522	278761	271978	5207	4916	4775	292729	283677	276753
%ren	49%	52%	54%	73%	80%	83%	50%	52%	55%

La copertura da fonte rinnovabile per ACS è facilmente soddisfatta da una PdC anche in assenza di impianto fotovoltaico. La quota rinnovabile per riscaldamento e ACS invece è soddisfatta solamente con un **impianto fotovoltaico da almeno 26 kW** (per un edificio privato invece, dato che la soglia si riduce al 50%, la quota sarebbe soddisfatta anche in assenza di impianto fotovoltaico). Questo risultato, con percentuali favorevoli per la produzione di ACS e sfavorevoli per il riscaldamento, è dovuto al fatto che la produzione di ACS è a 55°C, mentre il riscaldamento necessita di acqua calda a 70°C, dato che non si sono modificati i terminali. Un passaggio a terminali a medio-bassa temperatura sarebbe una soluzione per il raggiungimento

della quota rinnovabile anche senza l'ausilio del fotovoltaico. Non sempre è infatti disponibile un'ampia superficie per l'installazione dei pannelli.

Si può quindi concludere che la produzione di calore tramite pompa di calore può essere una soluzione impiantistica, con i dovuti accorgimenti esposti sopra, valida per scuole di medie dimensioni di fascia climatica E che puntano al raggiungimento della condizione di nZEB.

6. Valutazione delle opportunità di finanziamento

In questo capitolo vengono presentate le possibili forme di finanziamento a cui può accedere la PA, anche tramite una società ESCo. Per prima cosa vengono descritte le diverse tipologie di relazione che possono intercorrere tra PA e ESCo: verranno nello specifico descritti il meccanismo di finanziamento tramite terzi (FTT) e i contratti di prestazione energetica (EPC).

Vengono poi descritte alcune diverse forme di incentivazione di cui può godere la pubblica amministrazione relative alla realizzazione di interventi di efficientamento energetico. Queste si distinguono per tipologia di incentivo, modalità di presentazione di richiesta, tempistiche, dotazione finanziaria, obiettivi. In alcuni casi diversi incentivi sono cumulabili.

I finanziamenti si dividono in 3 tipologie:

Contributo a fondo perduto: è una percentuale dello speso che viene restituita all'ente beneficiario, come contributo che non dovrà essere rimborsato. Si calcola sul valore di un bene o di una attività che l'ente beneficiario ha pagato e sostenuto e rendicontato all'ente finanziatore.

Contributo in conto interessi: è un contributo a fondo perduto calcolato non come percentuale sul valore di una spesa, ma attualizzando la differenza tra tasso ordinario e tasso agevolato. Può essere erogato in corrispondenza delle varie scadenze, oppure, in un'unica soluzione (attualizzando la differenza tra tasso ordinario e tasso agevolato).

Finanziamento agevolato: finanziamento erogato con fondi pubblici ad un tasso inferiore rispetto a quello di mercato, tipicamente 0,5 %. La differenza tra il tasso di mercato e il tasso agevolato determina il guadagno dell'ente beneficiario.

Possibili finanziamenti accessibili per interventi di efficientamento energetico nella PA sono i seguenti:

- Fondo nazionale efficienza energetica
- Fondo Kyoto per l'efficientamento energetico degli edifici scolastici
- Conto Termico
- Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR)

a. Il finanziamento tramite terzi (FTT)

Dato che molto frequentemente le PA non hanno le risorse finanziarie necessarie a sostenere gli investimenti necessari si può ricorrere al cosiddetto Finanziamento Tramite Terzi (FTT), in inglese “Third Party Financing”.

La Direttiva 2006/32/CE, all’art. 3 lettera k) definisce il Finanziamento Tramite Terzi come “accordo contrattuale che comprende un terzo, oltre al fornitore di energia e al beneficiario della misura di miglioramento dell'efficienza energetica, che fornisce i capitali per tale misura e addebita al beneficiario un canone pari a una parte del risparmio energetico conseguito avvalendosi della misura stessa. Il terzo può essere o no una ESCo”.

Il finanziamento può arrivare da un istituto finanziario, dalla ESCo stessa oppure in parte da un istituto finanziario e in parte dalla ESCo. La ESCo diventa l’unico soggetto responsabile verso il Cliente finale occupandosi di:

- diagnosi energetica e fattibilità economica e finanziaria;
- progettazione degli interventi di riqualificazione energetica;
- copertura finanziaria;
- realizzazione degli interventi;
- conduzione e manutenzione degli edifici e degli impianti.

Il rischio a totale carico della ESCo riguarda sia l’aspetto finanziario relativo all’investimento che il mancato raggiungimento dei risparmi energetici previsti.

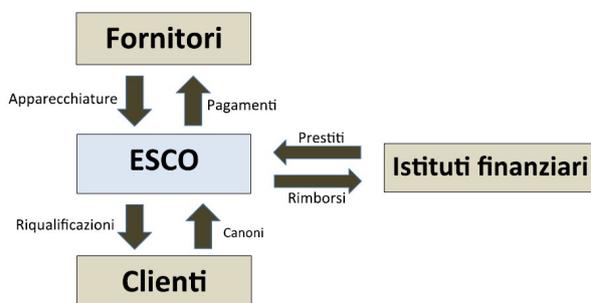


Figura 50 Meccanismo ESCo, [5]

b. I contratti di prestazione energetica (EPC)

La definizione dei contratti di prestazione energetica è data dalla Direttiva 2006/32/CE all'art. 3 lettera j): “Contratto di Rendimento Energetico: accordo contrattuale tra il beneficiario e il fornitore (di norma una ESCO) riguardante una misura di miglioramento dell'efficienza energetica, in cui i pagamenti a fronte degli investimenti in siffatta misura sono effettuati in funzione del livello di miglioramento dell'efficienza energetica stabilito contrattualmente”.

Nell'affidarsi a contratti di tipo EPC la PA ha il vantaggio che la ESCo riduce i costi energetici dei suoi immobili a suo completo rischio. La ESCo dà garanzia dei risparmi energetici, e quindi i costi della fornitura di energia che dovrà sostenere il cliente sono definiti a priori, salvo le variazioni dovute al prezzo dell'energia e alle variazioni climatiche e d'uso degli immobili.

Una prima distinzione all'interno dei contratti EPC va fatta tra:

- contratti orientati a singoli interventi: l'oggetto di riqualificazione è un singolo sistema dell'edificio (per esempio quello di illuminazione) e generalmente il tempo di ammortamento delle spese è breve. Questo tipo di contratto necessita di misure per valutare i risparmi conseguiti di anno in anno.
- contratti basati sul potenziale globale di risparmio: l'oggetto di riqualificazione sono interi edifici o gruppi di edifici. In questo caso la ESCo si assume la completa responsabilità della gestione dell'energia, realizzando il risparmio tramite una combinazione di interventi. Questo tipo di contratto ha generalmente durata più lunga, anche fino a 15 anni.

I contratti EPC si dividono in due categorie:

- Il contratto a Cessione Globale Limitata, detta anche “First Out”;
- Il contratto a Risparmio Condiviso, detta anche “Shared Saving”.

Il contratto a Cessione Globale Limitata (First Out):

Questa formula, tipica dei contratti orientati a singoli interventi, prevede che il Cliente riconosca alla ESCo la totalità dei risparmi per un numero di anni stabilito contrattualmente, generalmente non più di 5-7 anni. In caso di under performance la perdita è a carico della ESCo. In caso di over performance il surplus dei risparmi è condiviso tra ESCo e cliente in base a quote stabilite

contrattualmente. Alla fine della durata del contratto i risparmi sono tutti a beneficio del Cliente, anche nel caso in cui la ESCo non avesse raggiunto la remunerazione prevista.

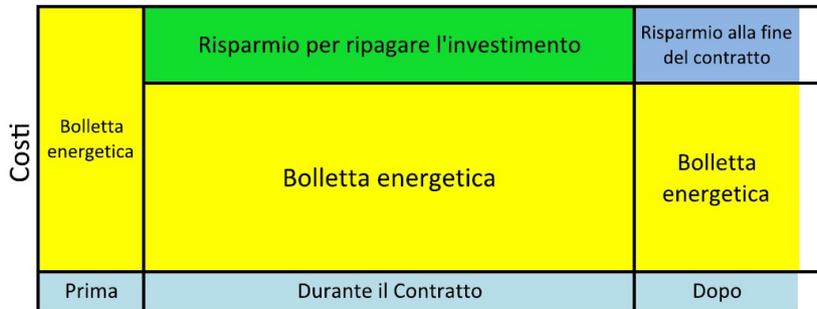


Figura 51 Contratto First Out [5]

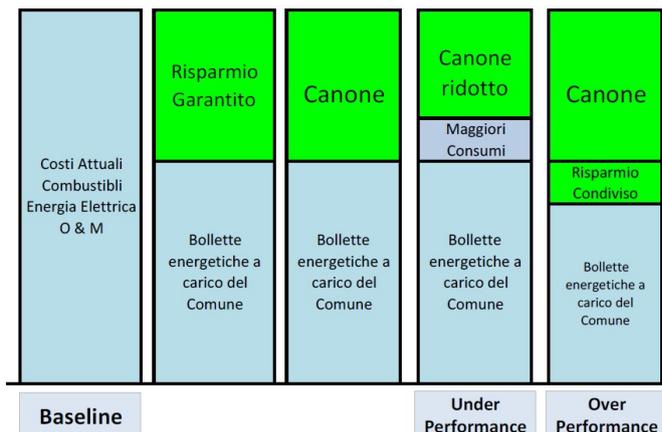


Figura 52 Contratto First Out 2 [5]

Il contratto a Risparmio Condiviso (Shared Saving):

Questo tipo di contratto, utilizzato tipicamente per contratti orientati al potenziale globale di risparmio, si distingue per il fatto che, durante il contratto, i risparmi sono condivisi tra ESCo e Cliente. Si stabilisce contrattualmente una frazione percentuale di risparmio per il cliente e una per la ESCo (per esempio 10% il cliente e 90% la ESCo). Questa frazione può essere fissa oppure variabile all'interno della durata del contratto. I contratti di tipo Shared Saving hanno una durata

superiore rispetto a quelli First Out. I principali vantaggi per il cliente di questa formula rispetto a quella precedente sono i seguenti:

- Il Cliente potrà beneficiare fin dal primo anno di uno sgravio economico rispetto a quanto pagava in precedenza, e comunque mantiene la garanzia di non spendere più di quanto spendeva in precedenza;
- il Cliente è incentivato fin da subito a concorrere alla riduzione degli sprechi, massimizzando i benefici economici.

Schema del modello a risparmio condiviso:



Figura 53 Contratto a risparmio condiviso [5]

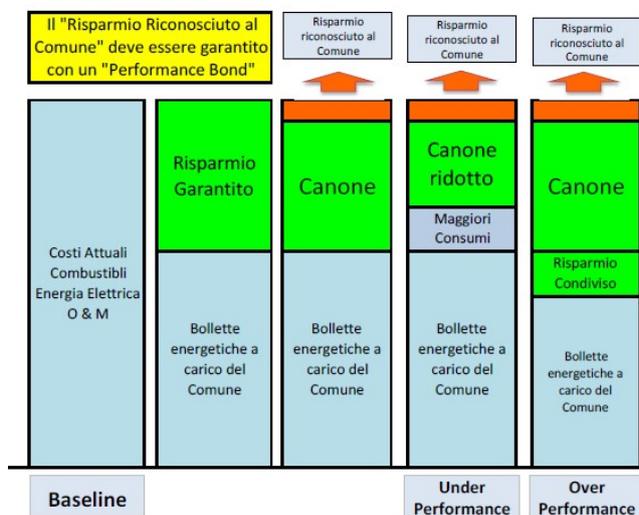


Figura 54 Contratto a risparmio condiviso 2 [5]

Con qualunque tipo di contratto EPC si ha comunque la necessità di verificare puntualmente e precisamente ogni anno i risparmi energetici conseguiti per poter definire l'ammontare del canone.

c. Conto Termico 2.0

Il cosiddetto Conto Termico 2.0 è entrato in vigore il 31/05/2016, disciplinato dal D.M. 16/02/2016, sostituendo il vecchio Conto Termico che era stato introdotto dal DM 18/12/12 e reso operativo dal mese di luglio 2013.

Il contributo previsto dal Conto Termico è un contributo a fondo perduto che copre una certa percentuale della spesa. E' inoltre possibile la cumulabilità con altri fondi governativi, a patto che non si ecceda il 100% di copertura delle spese.

Gli interventi incentivabili dal nuovo Conto Termico per le sole amministrazioni pubbliche sono i seguenti:

- a) isolamento termico di superfici opache delimitanti il volume climatizzato;
- b) sostituzione di chiusure trasparenti comprensive di infissi delimitanti il volume climatizzato;
- c) sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale utilizzando generatori di calore a condensazione;
- d) installazione di sistemi di schermatura e/o ombreggiamento di chiusure trasparenti con esposizione da Est-sud-est a Ovest, fissi o mobili, non trasportabili;
- e) trasformazione degli edifici esistenti in "edifici a energia quasi zero";
- f) sostituzione di sistemi per l'illuminazione d'interni e delle pertinenze esterne degli edifici esistenti con sistemi efficienti di illuminazione;
- g) installazione di tecnologie di gestione e controllo automatico (*building automation*) degli impianti termici ed elettrici degli edifici, ivi compresa l'installazione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore.

Gli interventi incentivabili dal nuovo Conto Termico per le amministrazioni pubbliche e i soggetti privati sono i seguenti:

- a) sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale, anche combinati per la produzione di acqua calda sanitaria, dotati di pompe di calore, elettriche o a gas, utilizzando energia aerotermica, geotermica o

idrotermica, unitamente all'installazione di sistemi per la contabilizzazione del calore nel caso di impianti con potenza termica utile superiore a 200 kW;

b) sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti o di riscaldamento delle serre e dei fabbricati rurali esistenti con impianti di climatizzazione invernale dotati di generatore di calore alimentato da biomassa, unitamente all'installazione di sistemi per la contabilizzazione del calore nel caso di impianti con potenza termica utile superiore a 200 kW;

c) installazione di impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria e/o ad integrazione dell'impianto di climatizzazione invernale, anche abbinati a sistemi di *solar cooling*, per la produzione di energia termica per processi produttivi o immissione in reti di teleriscaldamento e teleraffreddamento. Nel caso di superfici del campo solare superiori a 100 m² è richiesta l'installazione di sistemi di contabilizzazione del calore;

d) sostituzione di scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore;

e) sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con sistemi ibridi a pompa di calore.

A seconda del tipo di intervento, delle eventuali combinazioni con altri interventi e della fascia climatica, il contributo ha una percentuale del 40, 50,55 o 65%. Ogni intervento inoltre ha una soglia massima di finanziamento.

Il caso più favorevole, cioè un contributo del 65%, deriva dalla trasformazione di un'edificio esistente in nZEB, cioè un edificio ad energia quasi zero.

Si valuta ora la possibilità di accedere al conto termico per l'edificio scolastico trattato in precedenza: in particolare all'incentivazione del 65% delle spese totali per la trasformazione di edifici in nZEB:

Il Conto Termico dà la seguente definizione di "trasformazione di edifici in edifici a energia quasi zero": *intervento di ristrutturazione edilizia, compreso l'ampliamento fino ad un massimo del 25% della volumetria e nel rispetto degli strumenti urbanistici vigenti, finalizzato a trasformare gli edifici di proprietà della pubblica amministrazione in "edifici a energia quasi zero"*.

Le spese ammissibili comprese di IVA per tale intervento sono le seguenti:

- fornitura e messa in opera di materiali e tecnologie finalizzati al conseguimento della qualifica di “edifici a energia quasi zero”;
- demolizione, recupero o smaltimento e ricostruzione degli elementi costruttivi dell’involucro e degli impianti per i servizi di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda e illuminazione (ove considerata per il calcolo della prestazione energetica), ove coerente con gli strumenti urbanistici vigenti;
- demolizione e ricostruzione delle strutture dell’edificio;
- eventuali interventi per l’adeguamento sismico delle strutture dell’edificio, rafforzate o ricostruite, che contribuiscono anche all’isolamento termico;

Inoltre le amministrazioni pubbliche che optano, anche per tramite di una ESCo, per la procedura ad accesso diretto (presentazione scheda-domanda al GSE) possono richiedere l’erogazione dell’incentivo in un’unica rata, qualunque sia l’importo del beneficio riconosciuto.

L’edificio nZEB deve presentare l’attestato di prestazione energetica redatto successivamente alla realizzazione degli interventi, deve riportare la classificazione di “edificio a energia quasi zero”, ovvero l’edificio deve rispettare i requisiti indicati al paragrafo 3.4, del decreto del Ministro dello sviluppo economico 26 giugno 2015 (descritti nel capitolo...).

Per la trasformazione dell’edificio in edificio a energia quasi zero l’importo è calcolato nel seguente modo:

$$I_{tot} = \%spesa * C * S_{ed}$$

con $I_{tot} \leq I_{max}$

dove:

S_{ed} è la superficie utile calpestabile dell’edificio soggetta ad intervento, in metri quadrati;

C è il costo specifico effettivamente sostenuto per la tecnologia utilizzata nell’intervento definito dal rapporto tra spesa sostenuta in euro e superficie utile calpestabile dell’edificio in metri quadrati;

$\%spesa$ è la percentuale incentivata della spesa totale sostenuta per l’intervento;

I_{tot} è l’incentivo totale, cumulato per gli anni di godimento, connesso all’intervento in oggetto;

I_{max} è il valore massimo raggiungibile dall'incentivo totale.

Tabella 41 Incentivo Conto Termico, nZEB

Tipologia di intervento	Percentuale incentivata della spesa ammissibile (% spesa)	Costo massimo ammissibile (C _{max})	Valore massimo dell'incentivo (I _{max}) [€]
<i>i. Trasformazione degli edifici esistenti in "edifici a energia quasi zero NZEB" – zona climatica D, E, F</i>	65	575 €/m ²	1.750.000

Il costo sostenuto al m2 è: $396670/2470 = 160,60$ €/m2

$I_{tot} = 0,65 * 160,60 * 2470 = 257843,30$ €.

Questo prezzo corrisponde al 65% del totale delle spese dato che non vengono ecceduti né il C_{max} né l'I_{max}.

d. Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR)

L'Unione Europea, tramite il FESR, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, sta ultimamente puntando al finanziamento di interventi di efficienza energetica negli edifici pubblici. Nella regione Liguria il primo bando di questo tipo è stato approvato dalla Giunta regionale il 28/12/2017 con il seguente titolo:

“Promozione dell'eco-efficienza e riduzione dei consumi di energia primaria negli edifici e strutture pubbliche: interventi di ristrutturazione di singoli edifici o complessi di edifici, installazione di sistemi intelligenti di telecontrollo, regolazione, gestione, monitoraggio e ottimizzazione dei consumi energetici (smart buildings) e delle emissioni inquinanti anche attraverso l'utilizzo di mix tecnologici”

Questo bando era riservato ai comuni con popolazione inferiore ai 2000 abitanti, ma si prevede che bandi simili stiano per uscire anche per comuni di dimensioni maggiori.

Le spese ammissibili comprendono in sintesi:

- Interventi sull'involucro edilizio;
- interventi sull'impianto termico;
- acquisto e installazione di sistemi di generazione di energia alimentati a fonte rinnovabile, solo per autoconsumo;
- diagnosi energetica e attestato di prestazione energetica (APE);
- spese tecniche.

L'agevolazione consiste in un contributo a fondo perduto del 70% della spesa ammessa.

Prendendo ad esempio la riqualificazione di un edificio scolastico, la combinazione dei finanziamenti di un simile bando e di quelli del conto termico apre le porte alla possibilità di ricevere una copertura vicina se non uguale al 100% per tutte le spese necessarie.

Conclusioni

Nelle prime pagine di questo elaborato viene confermata la rilevanza dei consumi energetici degli edifici scolastici, quest'ultimi, nella gran parte dei casi, molto poco performanti energeticamente anche in zone climatiche particolarmente rigide. Dallo studio attuato sulla scuola elementare del comune di Carcare, situata in un contesto in cui i consumi di energia termica e elettrica degli edifici scolastici pesano per più del 50% sui consumi degli edifici di proprietà comunale, si conclude che una riqualificazione importante è possibile e, con i dovuti accorgimenti sulle specificità del caso, è possibile la trasformazione di tali edifici in "Edifici a energia quasi zero" (nZEB).

Un'accurata diagnosi energetica ha permesso di evidenziare le criticità del sistema edificio-impianto allo stato attuale e di quantificare le spese per l'energia termica ed elettrica. La diagnosi permette di creare un modello, validato grazie al confronto con le bollette raccolte, che simuli il comportamento energetico del sistema allo stato attuale prima e successivamente con gli interventi previsti. La scuola allo stato attuale, confrontata con altri edifici scolastici esistenti in simili condizioni climatiche, presenta una performance energetica sotto la media.

Nel caso in esame gli interventi previsti hanno interessato principalmente l'involucro: i requisiti nZEB sono raggiungibili grazie alla coibentazione dell'involucro e all'installazione di schermature sui componenti finestrati. L'unico intervento previsto sull'impianto è l'installazione di valvole termoregolatrici, investimento dal tempo di ritorno basso (circa 2 anni) che permette l'innalzamento dell'efficienza dell'impianto di riscaldamento. Viene prevista inoltre la sostituzione dei corpi illuminanti fluorescenti con elementi LED, che permette di abbattere il fabbisogno di energia elettrica del 32%. La trasformazione dell'edificio in questione in nZEB permette di diminuire il suo fabbisogno di energia primaria per i servizi di riscaldamento e ACS del 49 % il fabbisogno di energia primaria per i servizi di illuminazione e altri elettrici del 32 %. In termini di costi annuali di fornitura dell'energia il risparmio totale conseguibile è del 46 %.

Da un'analisi economica si trova il costo totale degli interventi descritti, circa 400.000 €. Il tempo di ritorno semplice è di 23 anni.

Per la scuola analizzata non si è dovuto intervenire sul sistema di generazione e distribuzione e sui terminali per via della favorevole condizione attuale caratteristica della scuola:

L'alimentazione a biomassa e l'impianto fotovoltaico esistenti permettono già di raggiungere e superare la quota di energia rinnovabile richiesta per edifici nZEB. Tuttavia, dato che la maggior parte delle scuole Italiane è alimentata da fonte fossile e non biomassa, si è cercata una soluzione impiantistica generalizzabile: si è concluso che una pompa di calore aria-acqua (soluzione impiantistica applicabile ovunque) può essere una valida soluzione, ma solo se supportata da un'adeguata potenza di fotovoltaico installata.

Valutando i prezzi degli interventi di riqualificazione necessari e il loro conseguente tempo di ritorno, si evince, com'era facilmente prevedibile, che i costi difficilmente possono essere sostenuti dal Comune. La collaborazione tra la società ESCo e il Comune, in particolare grazie a strumenti quali il finanziamento tramite terzi, i contratti di prestazione energetica e attraverso la ricerca di fondi nazionali ed europei può rendere la trasformazione di un edificio scolastico in nZEB un'opera effettivamente realizzabile. Nel caso della scuola elementare trattata la possibilità di accedere a una copertura delle spese per la trasformazione in nZEB del 65% da parte del Conto Termico è verificata.

Bibliografia

- [1] *Rapporto annuale efficienza energetica, Analisi e risultati delle policy di efficienza energetica del nostro paese*; Enea; 2017.
- [2] Ing. S. P. Corgnati, arch. E. Fabrizio, arch. F. Ariaudo, ing. arch. L. Rollino; *“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”*; 2010.
- [3] Piano d’azione per l’energia sostenibile, SEAP Carcare – Provincia di Savona; 2014.
- [4] *Relazione di diagnosi energetica (rapporto finale) secondo UNI CEI EN 16247-1-2, UNI CEI/TR 11428 ed il progetto di linee guida CTI per le diagnosi energetiche degli edifici*; Edilclima; 2016
- [5] Sergio Zobot, Dario Di Santo; *“Guida ai contratti di prestazione energetica negli edifici pubblici.”*; 2013
- [6] *“Individuazione delle soluzioni impiantistiche idonee per la trasformazione degli edifici scolastici esistenti in nZEB”*; E. Foppa Pedretti, R. Fioretti, M. Sotte, G. Riva, D. Iatauro, Enea, Report RdS/PAR2015/16.
- [7] *Prezzario Opere Edili ed Impiantistiche*; Regione Liguria; 2018.
- [8] Dario Di Santo, Giuseppe Tomassetti e Veronica Venturini; *“Guida all’uso delle risorse per incentivare rinnovabili ed efficienza energetica”*; FIRE; 2013.
- [9] G. Fasano, C. Romeo, M. Zinzi, P. Signoretti, D. Iatauro, G. Centi, B. Di Pietra, E. Costanzo *“Sviluppo di metodologie, strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici”*; Enea; Report RdS/2013/147.
- [10] UNI/TS 1300 parti 1 e 5.
- [11] DM 26 giugno 2015; requisiti minimi.
- [12] Decreto interministeriale 16 febbraio 2016; Conto Termico.

Allegati

Allegato 1: piante della scuola

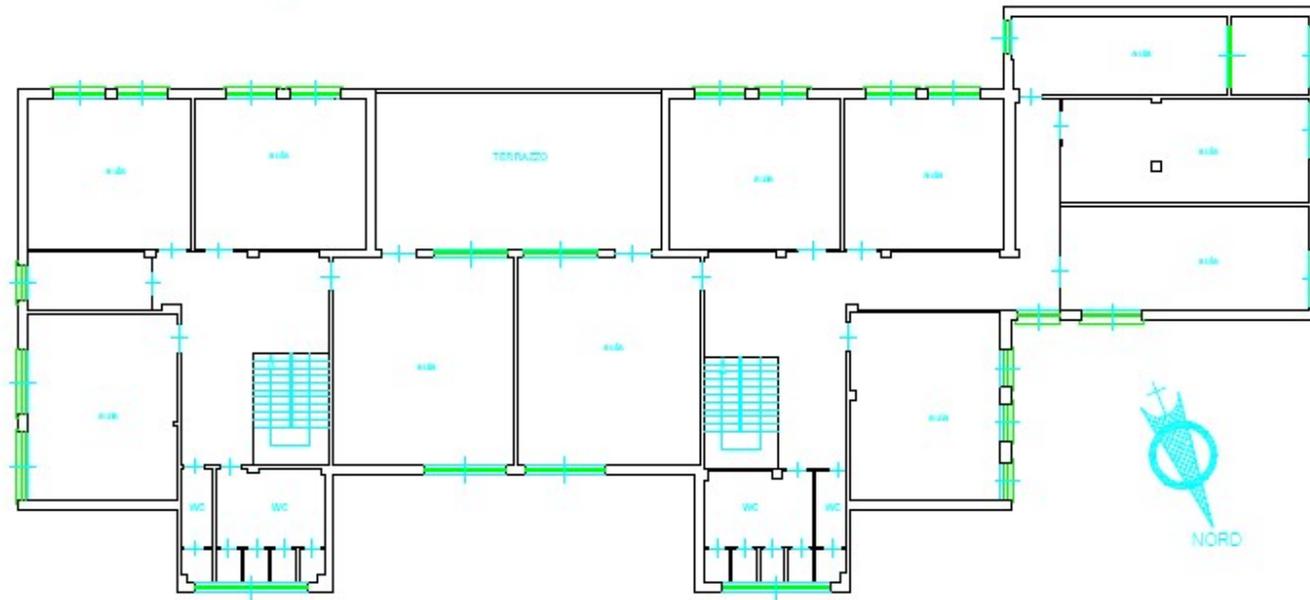
Pianta piano terra



Pianta piano primo



Pianta piano secondo



Allegato 2: Tabella della potenza degli apparecchi illuminanti divisi per locale e relativi sostituti a led proposti

	plafoniera 120x30	plafoniera 150x30	plafoniera 120x15	plafoniera 150x15	plafoniera 60x30	plafoniera 60x60	tonde grandi	tonde piccole					
P pre intervento [W]	72	116	36	58	36	72	50	25					
P,led post intervento [W]	36	58	18	29	18	36	25	10					
Numero Apparecchi per locale:	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	Plocale [W]	Plocale, led [W]	ore/anno	Eel,ill [kWh]	Eel,ill,led [kWh]
PALESTRA													
palestra		12							1392	696	2.400	3.341	1.670
ingresso e spogliatoi palestra	8			2					692	346	2.400	1.661	830
docce palestra									0	0	2.400	0	0
								6	150	60	2.400	360	144
tunnel verso asilo					10				360	180	2.400	864	432
SCUOLA ELEMENTARE													
2 C	6								432	216	2.310	998	499
2A	6								432	216	2.310	998	499
10 sottoterrazzo									0	0	2.310	0	0
3A									0	0	2.310	0	0
5A	6								432	216	2.310	998	499
4A	6								432	216	2.310	998	499
aula10	4								288	144	2.310	665	333
aula computer	4								288	144	2.310	665	333
ingresso e scale 2.2									0	0	2.310	0	0
scale est piano secondo			3						108	54	2.310	249	125
scale ovest piano 2			5						180	90	2.310	416	208
ingresso principale			6						216	108	2.310	499	249
5B	6								432	216	2.310	998	499
aula gruppi 3	6								432	216	2.310	998	499
4B	6		1						468	234	2.310	1.081	541
aula gruppi 2	6								432	216	2.310	998	499
aula gruppi 1			1						36	18	2.310	83	42
1B	6								432	216	2.310	998	499

3B									0	0	2.310	0	0
2B	6								432	216	2.310	998	499
1A	6								432	216	2.310	998	499
5C	6								432	216	2.310	998	499
aula 15	6								432	216	2.310	998	499
lab scienze	3								216	108	2.310	499	249
segreteria 2	3								216	108	1.800	389	194
segreteria 3	2								144	72	1.800	259	130
segreteria 1	2		1						180	90	1.800	324	162
aula dirigente scol.	6								432	216	1.800	778	389
segreteria 0	2								144	72	1.800	259	130
wcpiano1 est			6						216	108	2.310	499	249
wc piano1 ovest			6						216	108	2.310	499	249
wc piano2 est			6						216	108	2.310	499	249
wc piano 2 ovest			6						216	108	2.310	499	249
CENTRO RAGAZZI													
ingresso2	2								144	72	2.100	302	151
ingresso1	2								144	72	2.100	302	151
parte chiusa									0	0	2.100	0	0
ingresso e salone						8	3		726	363	2.100	1.525	762
centro ragazzi 3			3						348	174	2.100	731	365
centro ragazzi 2			2						232	116	2.100	487	244
centro ragazzi 1			3						348	174	2.100	731	365
magazzino 2			1						116	58	1.800	209	104
magazzino 1			5						580	290	1.800	1.044	522
magazzino 3	1								72	36	1.800	130	65
wc 1			3						108	54	1.800	194	97
wc 2			3						108	54	1.800	194	97
magazzino 4	1								72	36	1.800	130	65
sotto ingresso									0	0	2.100	0	0
									TOT	14.556	7.263	32.342	16.135

Allegato 3: tabella dei serramenti

			[m2]	sopraluce	numero				[m2]				
	l [cm]	h[cm]	Aw		palestra	scuola elementare	centro ragazzi	TOT	Aw,palestra	Aw,scuola	Aw,centro ragazzi	Aw,tot	
W1	300	77	2,31	no	3	6		9	6,93	13,86	0,00	20,79	
W2	298	155	4,62	sì		2		2	0,00	9,24	0,00	9,24	
W4	203	155	3,15	sì		14	6	20	0,00	44,05	18,88	62,93	
W5	147	155	2,28	sì		11		11	0,00	25,06	0,00	25,06	
W6	395	77	3,04	no		4	1	5	0,00	12,17	3,04	15,21	
W7	229	155	3,55	sì		3		3	0,00	10,65	0,00	10,65	
W8	160	155	2,48	sì		4		4	0,00	9,92	0,00	9,92	
W9	176	101	1,78	no		1		1	0,00	1,78	0,00	1,78	
W10/W11 portafinestra	246	144	3,54	no		2		2	0,00	7,08	0,00	7,08	
W12	444	100	4,44	no	3			3	13,32	0,00	0,00	13,32	
W13	149	293	4,37	no		2		2	0,00	8,73	0,00	8,73	
W14	444	150	6,66	no	3			3	19,98	0,00	0,00	19,98	
W15	444	180	7,99	sì	2			2	15,98	0,00	0,00	15,98	
W16 portafinestra	444	280	12,43	sì	1			1	12,43	0,00	0,00	12,43	
W17	225	78	1,76	no	1			1	1,76	0,00	0,00	1,76	
W18	183	155	2,84	sì		4		4	0,00	11,35	0,00	11,35	
W22 portafinestra	149	225	3,35	sì	1			1	3,35	0,00	0,00	3,35	
W23	225	78	1,76	no	1			1	1,76	0,00	0,00	1,76	
W24	180	135	2,43	no			2	2	0,00	0,00	4,86	4,86	
W25 portafinestra	144	210	3,02	si			1	1	0,00	0,00	3,02	3,02	
W26	123	53	0,65	no			2	2	0,00	0,00	1,30	1,30	
W27	136	34	0,46	no				0	0,00	0,00	0,00	0,00	
								TOT	80	75,51	153,89	31,11	260,50

W Sui serramenti evidenziati in giallo è prevista l'installazione di schermature interne per il raggiungimento della condizione di nZEB.

Allegato 4: Dettaglio dei costi

Termoregolazione:

Art. n°	1.1	Unità di misura:		n°	
Descrizione:	Fornitura e posa in opera di valvola termostatica 1/2"				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
Valvola termostatica	Fornitura di valvola termostatica da 1/2"	n°	55	1	55
detentore	Fornitura di detentore da 1/2"	n°	5	1	5
valvola sfiato aria	Fornitura di valvola di sfiato aria	n°	1,25	1	1,25
	TOTALE €				61,25
	SPESE GENERALI	%	15,00		9,19
	UTILI D'IMPRESA	%	10,00		7,04
	TOTALE PARZIALE €				77,48
RU.M01.A02.005	Manodopera op. V categ.	h	34,16	1,00	34,16
	TOTALE €				34,16
	TOTALE GENERALE €				111,64
	ARROTONDAMENTO €				112,00

Sostituzione corpi illuminanti:

Art. n°	2.1	Unità di misura:		n°	
Descrizione:	Rimozione di apparecchi di illuminazione.				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
RU.Mo1.E01.020	Manodopera op. spec. 4^cat.	h	31,88	0	5,42
	TOTALE €				5,42
	ARROTONDAMENTO €				5,50

Art. n°	2.2	Unità di misura:		n°	
Descrizione:	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 60x60, 35W				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
plaf rettang LED 35 W 60x60	Fornitura di plafoniera LED UGR < 19, flusso 3.500 lumen, 35 W, IP40	n°	150,00	40%	90,00
	TOTALE €				90,00
	SPESE GENERALI	%	15,00		13,50
	UTILI D'IMPRESA	%	10,00		10,35
	TOTALE PARZIALE €				113,85
30.E50.A05.005	Posa in opera di corpi illuminanti	n°	34,34	1,00	34,34
	TOTALE €				34,34
	TOTALE GENERALE €				148,19
	ARROTONDAMENTO €				148,50

Art. n°	2.3	Unità di misura:	n°		
Descrizione:	Fornitura e posa in opera di plafoniera tonda LED 20W.				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
plaf tonda LED 20 W	Fornitura di plafoniera tonda LED, flusso 2.200 lumen, 20 W, IP65	n°	120,00	40%	72,00
	TOTALE €				72,00
	SPESE GENERALI	%	15,00		10,80
	UTILI D'IMPRESA	%	10,00		8,28
	TOTALE PARZIALE €				91,08
30.E50.A05.005	Posa in opera di corpi illuminanti	n°	34,34	1,00	34,34
	TOTALE €				34,34
	TOTALE GENERALE €				125,42
	ARROTONDAMENTO €				125,50

Art. n°	2.4	Unità di misura:	n°		
Descrizione:	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 120x30 cm, 35W				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
plaf rettang LED 35 W	Fornitura di plafoniera LED UGR < 19, flusso 3.300 lumen, 35 W, IP40	n°	102,00	1,00	102,00
	TOTALE €				102,00
	SPESE GENERALI	%	15,00		15,30
	UTILI D'IMPRESA	%	10,00		11,73
	TOTALE PARZIALE €				129,03
30.E50.A05.005	Posa in opera di corpi illuminanti	n°	34,34	1,00	34,34
	TOTALE €				34,34
	TOTALE GENERALE €				163,37
	ARROTONDAMENTO €				163,50

Art. n°	2.5	Unità di misura:	n°		
Descrizione:	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 150x30, 58W				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
plaf rettang LED 58 W 150x30	plaf rettang LED 58 W 150x30	n°	190,00	40%	114,00
	TOTALE €				114,00
	SPESE GENERALI	%	15,00		17,10
	UTILI D'IMPRESA	%	10,00		13,11
	TOTALE PARZIALE €				144,21
30.E50.A05.005	Posa in opera di corpi illuminanti	n°	34,34	1,00	34,34
	TOTALE €				34,34
	TOTALE GENERALE €				178,55
	ARROTONDAMENTO €				179,00

Art. n°	2.6	Unità di misura:	n°		
Descrizione:	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 150x15, 30W				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
plaf rettang LED 30 W 150x15	plaf rettang LED 30 W 150x15	n°	160,00	40%	96,00
	TOTALE €				96,00
	SPESE GENERALI	%	15,00		14,40
	UTILI D'IMPRESA	%	10,00		11,04
	TOTALE PARZIALE €				121,44
30.E50.A05.005	Posa in opera di corpi illuminanti	n°	34,34	1,00	34,34
	TOTALE €				34,34
	TOTALE GENERALE €				155,78
	ARROTONDAMENTO €				156,00

Art. n°	2.7	Unità di misura:	n°		
Descrizione:	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 120x15 cm, 18W				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
plaf rettang LED 18 W 120x15	plaf rettang LED 18 W 120x15	n°	110,00	40%	66,00
	TOTALE €				66,00
	SPESE GENERALI	%	15,00		9,90
	UTILI D'IMPRESA	%	10,00		7,59
	TOTALE PARZIALE €				83,49
30.E50.A05.005	Posa in opera di corpi illuminanti	n°	34,34	1,00	34,34
	TOTALE €				34,34
	TOTALE GENERALE €				117,83
	ARROTONDAMENTO €				118,00

Art. n°	2.8	Unità di misura:	n°		
Descrizione:	Fornitura e posa in opera di plafoniera LED, dim. 60x30, 18W				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
plaf rettang LED 18 W 60x30	plaf rettang LED 18 W 60x30	n°	110,00	40%	66,00
	TOTALE €				66,00
	SPESE GENERALI	%	15,00		9,90
	UTILI D'IMPRESA	%	10,00		7,59
	TOTALE PARZIALE €				83,49
30.E50.A05.005	Posa in opera di corpi illuminanti	n°	34,34	1,00	34,34
	TOTALE €				34,34
	TOTALE GENERALE €				117,83
	ARROTONDAMENTO €				118,00

Sostituzione vetrata d'ingresso:

Art. n°	3.1	Unità di misura:	mq		
Descrizione:	Fornitura e posa di serramenti in PVC con U_{max}=1,3 W/mq°K compreso rimozione e smaltimento degli esistenti.				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
Indagine di mercato	Fornitura e posa di serramenti in PVC, profili da 76 mm a 6 camere dotati di vetri camera tripli di sicurezza basso emissivi con trasmittanza complessiva del serramento non superiore a U=1,3 W/mq/K compreso maniglia, ferramenta ed accessori di montaggio. Incluso la rimozione e lo smaltimento dei serramenti esistenti.	mq	361,00	1	361,00
	TOTALE €				361,00
	ARROTONDAMENTO €				361,00

Coibentazione solai:

Art. n°	4,1	Unità di misura:	mq		
Descrizione:	Coibentazione solaio piano da cm 14				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
PR.A17.U03.010	Pannello in polistirene espanso sintetizzato (EPS), esenti da CFC o HCFC, densità compresa tra 18-28 kg/m³ euroclasse E di resistenza al fuoco, marchiatura CE lambda pari a 0.033 W/mK, per isolamento termico di pareti e solai.	mq*cm	0,70	14,00	9,80
20.A44.A50.010	Solo posa di isolamento termico-acustico su superfici orizzontali mediante fissaggio con chiodi di materiale plastico	mq	4,54	1,00	4,54
25.A54.B40.010	Rasatura armata con malta preconfezionata a base minerale con interposta rete in fibra di vetro	mq	23,79	1,00	23,79
20.A90.B20.010	Tinteggiatura di superfici murarie interne con idropittura lavabile a base di polimero acrilico in emulsione acquosa (prime due mani)	mq	6,95	1,00	6,95
RU.M01.A01.040	Operaio comune	h	30,97	0,45	13,94
RU.M01.A01.030	Operaio qualificato	h	34,41	0,45	15,48
	TOTALE GENERALE €				74,50
	ARROTONDAMENTO €				75,00

Coibentazione pareti verticali:

Art. n°	5.1	Unità di misura:		m	
Descrizione:	Sostituzione davanzale.				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
PR.A21.A20.060	Lastre piane in pietra, levigate e/o lucidate sul piano in vista, lati rettificati, della larghezza fino a 40 cm e della lunghezza fino a 80 cm.	mq	127,51	0,49	62,48
PR.A21.A30.010	Gocciolatoio per lastre di spessore fino a 5 cm.	mq	3,88	1,00	3,88
PR.A21.A30.090	Lucidatura coste per spessori fino a 5 cm	mq	7,48	1,00	7,48
RU.M01.A01.030	Operaio qualificato per taglio e posa	h	34,41	2,00	68,82
RU.M01.A01.040	Operaio comune per taglio e posa	h	30,97	1,50	46,46
	TOTALE GENERALE €				189,11
	ARROTONDAMENTO €				189,50

Art. n°	5.2	Unità di misura:		mq	
Descrizione:	Realizzazione di isolamento a cappotto sp. 12 cm, compreso ogni onere.				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
PR.A17.U03.010	Pannello in polistirene espanso sintetizzato (EPS), esenti da CFC o HCFC, densità compresa tra 18-28 kg/m ³ euroclasse E di resistenza al fuoco, marchiatura CE lambda pari a 0.033 W/mK, per isolamento termico di pareti e solai.	mq*cm	0,70	12,00	8,40
25.A54.B40.010	Rasatura armata con malta preconfezionata a base minerale con interposta rete in fibra di vetro	mq	23,79	1,00	23,79
20.A90.A20.010	Tinteggiatura di superfici murarie esterne con idropittura a base di resine silossaniche (prime due mani)	mq	9,71	1,00	9,71
RU.M01.A01.040	Operaio comune	h	30,97	0,45	13,94
20.A90.A30.015	Rivestimento plastico da esterno	mq	18,25	1,00	18,25
	TOTALE GENERALE €				74,09
	ARROTONDAMENTO €				74,50

Art. n°	5.3	Unità di misura:		m	
Descrizione:	Rimozione dei pluviali				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
RU.M01.A01.040	Operaio comune	h	30,97	0,15	4,65
	TOTALE GENERALE €				4,65
	ARROTONDAMENTO €				5,00

Art. n°	5.4	Unità di misura:		n°	
Descrizione:	Raccordo dei pluviali ai pozzetti				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
RU.M01.A01.030	Operaio qualificato	h	34,41	1,50	51,62
	TOTALE GENERALE €				51,62
	ARROTONDAMENTO €				52,00

Sostituzione finestre:

Art. n°	6.1	Unità di misura:		mq	
Descrizione:	Fornitura e posa di serramenti in PVC con $U_{max}=1,3$ W/mq°K compreso rimozione e smaltimento degli esistenti.				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
Indagine di mercato	Fornitura e posa di serramenti in PVC, profili da 76 mm a 6 camere dotati di vetri camera tripli di sicurezza basso emissivi con trasmittanza complessiva del serramento non superiore a $U=1,3$ W/mq/K compreso maniglia, ferramenta ed accessori di montaggio. Incluso la rimozione e lo smaltimento dei serramenti esistenti.	mq	361,00	1	361,00
	TOTALE €				361,00
	ARROTONDAMENTO €				361,00

Tende oscuranti:

Art. n°	7.1	Unità di misura:	mq		
Descrizione:	Fornitura e posa di tende veneziane bianche				
TARIFFA / RIF.	DESCRIZIONE	U.M.	PREZZO UNIT.	Q.TA'	IMPORTO
Indagine di mercato	Fornitura e posa di tende veneziane bianche, fattore di trasmissione 0,1 e fattore di assorbimento 0,1 complete di guide in nylon e monocomando a fune	mq	49,60	1	49,60
	TOTALE €				49,60
	ARROTONDAMENTO €				50,00

Indice delle figure:

Figura 1	Trasmittanza termica media pareti verticali, analisi scuole provincia di Torino. (rielaborazione da [2]).....	7
Figura 2	Trasmittanza termica media coperture opache, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2]).....	7
Figura 3	Trasmittanza termica media elementi trasparenti, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2]).....	8
Figura 4	Tipologia di combustibile per l'alimentazione dell'impianto di riscaldamento, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2]).....	8
Figura 5	rendimento di produzione medio stagionale reale dell'impianto di riscaldamento, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2]).....	9
Figura 6	Consumo di energia termica per unità di volume normalizzata rispetto ai gradi giorno, analisi scuole provincia di Torino (rielaborazione da [2])	9
Figura 7	Consumi di energia primaria per usi termici degli edifici comunali [3].....	18
Figura 8	Consumi di energia elettrica degli edifici comunali [3]	18
Figura 10	La scuola vista dall'alto (fonte: google maps).....	21
Figura 11	La scuola, blocco Est	21
Figura 9	La scuola, vista ingresso	21
Figura 12	La scuola, blocco Ovest (palestra).....	22
Figura 13	Caldaia a cippato, centrale termica	23
Figura 14	Puffer, centrale termica.....	23
Figura 15	Camini, centrale termica	24
Figura 16	Scambiatore, sottostazione.....	24
Figura 17	Schema impianto centrale e sottostazione	25
Figura 18	Bilancio energetico sul fabbricato	27
Figura 19	Legami tra energia utile, energia consegnata e energia primaria	29
Figura 20	flussi energetici caratteristici della scuola che attraversano il confine del sistema e il confine di valutazione	31
Figura 21	Diagramma operativo della diagnosi energetica, fonte Edilclima	33
Figura 22	Consumi termici mensili da luglio 2014 a maggio 2016	37

Figura 23 Correlazione tra consumi e GG	40
Figura 24 Energia elettrica prelevata 2014	43
Figura 25 Energia elettrica prelevata 2015	43
Figura 26 Energia elettrica prelevata 2016	44
Figura 27 Energia elettrica prelevata 2017	44
Figura 28 Energia elettrica immessa in rete 2014.....	46
Figura 29 Energia elettrica immessa in rete 2015.....	46
Figura 30 Energia elettrica immessa in rete 2016.....	47
Figura 31 Energia elettrica immessa in rete 2017.....	47
Figura 32 Consumo specifico di energia termica della scuola elementare di Carcare rispetto al set di scuole descritto nel capitolo 1	50
Figura 33 Fabbisogno di energia primaria totale per diversi servizi.....	52
Figura 34 Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per diversi servizi	52
Figura 35 Valore di trasmittanza della parete opaca verticale rispetto a quelle degli edifici scolastici della provincia di Torino	55
Figura 36 Valore di trasmittanza del solaio verso l'esterno rispetto a quelle degli edifici scolastici della provincia di Torino	56
Figura 37 Valore di trasmittanza degli elementi trasparenti rispetto a quelle degli edifici scolastici della provincia di Torino	56
Figura 38 strumento multifunzione con sonda termoflussimetrica.....	57
Figura 39 posizionamento sonda termoflussimetrica.....	58
Figura 41posizionamento sonda termoflussimetrica 2.....	58
Figura 40 posizionamento sonda di temperatura.....	58
Figura 42 Risultati termoflussimetro.....	60
Figura 43 Analisi termografica	61
Figura 44 Vetrata di ingresso	68
Figura 45 Confronto sui consumi di energia termica tra modello e dati reali.....	69
Figura 46 Confronto tra fabbisogno lordo di EE dati reali e modello.....	72
Figura 47 Confronto tra fabbisogno netto di EE dati reali e modello	72
Figura 48 consumi di energia termica scuola nZEB nel contesto comunale	84
Figura 49 consumi di energia elettrica scuola nZEB nel contesto comunale.....	85

Figura 50 Meccanismo ESCo, [5]	91
Figura 51 Contratto First Out [5]	93
Figura 52 Contratto First Out 2 [5]	93
Figura 53 Contratto a risparmio condiviso [5]	94
Figura 54 Contratto a risparmio condiviso 2 [5]	94

Indice delle tabelle:

Tabella 1 Valore limite di H'T, fonte DM requisiti minimi	13
Tabella 2 Valore limite di Asol,est, fonte DM requisiti minimi	14
Tabella 3 Consumi degli edifici pubblici di Carcare al 2005 [3]	17
Tabella 4 fattori di energia primaria per diverse vettori energetici, dal decreto requisiti minimi, fonte DM requisiti minimi.....	29
Tabella 5 prospetto 2 UNI EN 15603: Classificazione tipologie di valutazione energetica per applicazioni omogenee all'intero edificio	34
Tabella 6 Bollette termiche stagioni 2014/2015 e 2015/2016.....	35
Tabella 7 Consumi mensili di energia termica 2014/2015	36
Tabella 8 Consumi di energia termica 2015/2016	
Tabella 9 Consumi per ACS.....	38
Tabella 10 Gradi Giorno di Carcare reali 2014/2015 e 2015/2016.....	40
Tabella 11 Consumo calore per riscaldamento normalizzato	41
Tabella 12 Costi energia elettrica dal 2014 al 2017	45
Tabella 13 Energia elettrica immessa in rete dal 2014 al 2017.....	48
Tabella 14 Fabbisogno di energia elettrica dal 2014 al 2017.....	48
Tabella 15 Energia primaria rinnovabile e non rinnovabile.....	52
Tabella 16 Risultati termoflussimetro	59
Tabella 17 Risultati termoflussimetro 2	59
Tabella 18 Autoconsumo da fotovoltaico, anno 2014, da dati reali.....	70
Tabella 19 Fabbisogno di energia elettrica da modello.....	71
Tabella 20 Dispersioni per componente.....	74
Tabella 21 intervento 1: valvole termostatiche	76
Tabella 22 Intervento 2: sostituzione delle lampade interne con tubi LED	76

Tabella 23 Intervento 3: sostituzione vetrata d'ingresso	77
Tabella 24 Intervento 4: Isolamento coperture	77
Tabella 25 Intervento 5: Isolamento pareti esterne	78
Tabella 26 Intervento 6: sostituzione finestre	78
Tabella 27 SPBT	78
Tabella 28 Interventi di riqualificazione, con SPBT.....	79
Tabella 29 Interventi per nZEB.....	80
Tabella 30 confronto tra stato attuale, progetto nZEB e requisiti nZEB.....	80
Tabella 31 Confronto tra stato attuale, progetto nZEB con schermature e requisiti nZEB	81
Tabella 32 Risparmio in bolletta grazie a edificio nZEB.....	82
Tabella 33 Fabbisogno di energia primaria edificio attuale	82
Tabella 34 Fabbisogno di energia primaria stimato nZEB	83
Tabella 35 Indici di energia primaria edificio attuale	83
Tabella 36 Indici di energia primaria stimati nZEB.....	83
Tabella 37 Consumo di energia tra 2005, 2018 e progetto nZEB.....	84
Tabella 38 Costi interventi	86
Tabella 39 Interventi di riqualificazione necessari per nZEB.....	86
Tabella 40 Requisiti copertura rinnovabile con PdC	88
Tabella 41 Incentivo Conto Termico, nZEB.....	98