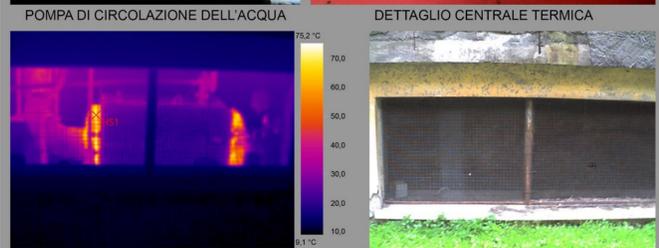
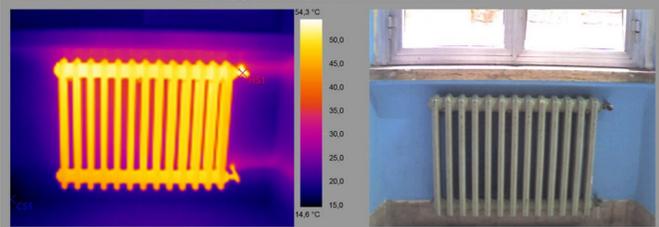


IMPIANTISTICA ESISTENTE

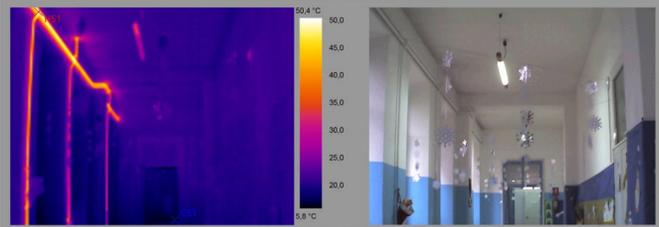
L'edificio scolastico è dotato di una **centrale termica parzialmente interrata**, posta nel cortile interno, che alimenta l'impianto di riscaldamento esistente e provvede alla produzione dell'acqua calda sanitaria. La **caldaia esistente** possiede una potenza pari a **circa 530 kW** ed è alimentata con **gas metano**, la cui centralina è collocata a ridosso del muro di recinzione posto a nord. Accanto alla centralina troviamo inoltre i serbatoi dell'acqua. La diffusione del calore negli ambienti interni avviene mediante dei **radiatori in ghisa**, mentre non è presente un impianto di climatizzazione estiva.



TERMOGRAFIA DELLA CENTRALE TERMICA



TERMOGRAFIA DI UN RADIATORE



TERMOGRAFIA DELLE CANALINE ESISTENTI

PROPOSTA PROGETTUALE - RELAMPING

Il 70% dei consumi di energia elettrica sono da attribuire all'impianto di illuminazione, costituito da **lampade fluorescenti** che implicano **notevoli potenze installate** nonostante la scarsa efficienza luminosa, discomfort visivo e notevoli oneri di manutenzione. Nell'edificio sono installate **12 lampade da 36 W** e **156 lampade da 72 W**, per una **potenza complessivamente installata di circa 12 kW**; si stima un **consumo annuo di 18000 kWh**. Rapportando la percentuale di consumi elettrici dovuti all'illuminazione con i consumi annui di energia elettrica, si stima che a fronte di una spesa complessiva di 3973 €, la **quota parte dovuta all'impianto di illuminazione sia di 2780 €**.

L'intervento proposto intende sostituire tutti i corpi illuminanti descritti con analoghi a **tecnologia LED**. In base all'attuale consistenza delle lampade del complesso, gli interventi di efficienza energetica proposti sull'impianto d'illuminazione sono mediamente **ripagabili in pochi anni grazie al risparmio sui costi dell'energia elettrica e sui costi di sostituzione delle lampade**.

Oltre al vantaggio di tipo economico, la **tecnologia LED presenta vantaggi** come una vita utile molto estesa e un decadimento del flusso luminoso molto lento. Sono inoltre assenti radiazioni UV o infrarossi, materiali pericolosi come piombo e mercurio (presenti invece nelle lampade fluorescenti).

Si è deciso di optare per un **apparecchio a sospensione LED ad alta efficienza per luce diretta/indiretta**, con ottica lenticolare segmentata, che permette il direzionamento della luce diretta attraverso 14 moduli di lenti ad emissione simmetrica o asimmetrica e la distribuzione indiretta omogenea, ottimizzata per altezza di sospensione di almeno 50 centimetri.

L'**apparecchio a sospensione LED ad alta efficienza scelto** presenta le seguenti caratteristiche:

- Flusso luminoso apparecchio: 9650 lm
- Efficienza apparecchio: 92 lm/W
- Indice di resa cromatica: maggiore di 80
- Temperatura di colore correlata: 4000 K (neutra) e 3000 K (calda)
- Durata media stimata: 50000 h
- Potenza impegnata apparecchio: 35 W
- Lunghezza base: 2100 mm
- Larghezza base: 100 mm
- Altezza: 60 mm
- Peso: 8 kg



PROPOSTA PROGETTUALE - PRODUZIONE DELL'ENERGIA

La proposta progettuale per la produzione dell'energia prevede la creazione di un **sistema composto da un impianto fotovoltaico di nuova progettazione**, che alimenti la **pompa di calore**, che sostituirà la caldaia esistente per produrre l'energia necessaria sia al riscaldamento ma anche al raffrescamento dell'edificio. Inoltre, i **serbatoi di accumulo** dell'acqua calda sanitaria immagazzineranno l'energia prodotta dalla pompa di calore, per poterla utilizzare successivamente.

L'energia prodotta dall'**impianto fotovoltaico non alimenterà solo la pompa di calore**, ma verrà impiegata anche per i consumi energetici delle lampade, dei ventilconvettori e dei recuperatori di calore, oltre che per le altre apparecchiature elettriche necessarie all'insegnamento.

POMPA DI CALORE

Le **pompe di calore** sono macchine in grado di **trasferire l'energia gratuita** presente nelle sorgenti esterne (aria, acqua, suolo) agli **impianti per il riscaldamento, per il raffrescamento e per l'acqua calda sanitaria**: il trasferimento di calore avviene per mezzo di un **circuito frigorifero ad alta efficienza** con un ridotto assorbimento di energia elettrica. In ognuna di queste applicazioni circa il **75% dell'energia richiesta** dalla pompa di calore proviene dall'**ambiente esterno** e l'apporto di **energia elettrica** è solo di circa il **25%**.

Il funzionamento della pompa di calore avviene con un **circuito in cui scorre un fluido refrigerante**. Il fluido, passando in un **primo scambiatore di calore, assorbe energia dalla sorgente esterna** e passa successivamente al **compressore**: questo mantiene il fluido in circolazione e **fornisce un apporto aggiuntivo di energia**.

Nel **secondo scambiatore l'energia viene ceduta dal fluido refrigerante al sistema di distribuzione**: a questo punto grazie ad un organo di laminazione il **ciclo può ricominciare**. Il funzionamento sia in riscaldamento che in raffrescamento è possibile **invertendo gli scambiatori ed il senso di funzionamento del ciclo frigorifero**.

Sulla base del modello realizzato mediante il programma **Stima10**, è stato individuato il **fabbisogno di energia primaria dell'edificio**, dopo gli interventi sull'involucro esterno. Nello specifico, si ha che:

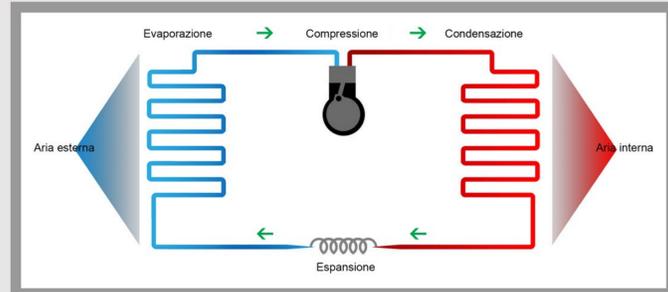
Carico totale estivo: 245 kW
Carico totale invernale: 89 kW

Pertanto, si è deciso di installare **due pompe di calore** avente le seguenti caratteristiche:

- Tipologia: Pompa di calore aria/acqua reversibile
- Lunghezza base: 1100 mm
- Larghezza base: 3200 mm
- Altezza: 1875 mm
- Potenza frigorifera: 128,8 kW
- Potenza assorbita: 48,4 kW
- EER: 2,66
- Portata di acqua: 22257 litri
- Perdite di carico: 61 kPa
- Potenza termica: 141,5 kW
- Potenza assorbita: 46,0 kW
- COP: 3,08
- Portata di acqua: 24433 litri
- Perdite di carico: 70 kPa
- Livello di potenza sonora: 89,4 dB
- Livello di pressione sonora: 57,6 dB



SCHEMATIZZAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DELLA POMPA DI CALORE



SERBATOI DI ACCUMULO

Nei serbatoi di accumulo viene **immagazzinata l'energia prodotta** dalla pompa di calore, che al momento della produzione non è necessaria, per poterne **usufruire successivamente**.

Sulla base del modello realizzato mediante il programma **Stima10**, è stato individuato il **fabbisogno annuo di energia primaria per il riscaldamento**, dopo gli interventi sull'involucro esterno; dopodiché è stato calcolato il **fabbisogno giornaliero di energia primaria per il riscaldamento** e quindi la **massa di acqua necessaria**; infine, sulla base dei litri di acqua, sono stati scelti i serbatoi di accumulo.

Si ha quindi che:

- Volume edificio: 10131,3 m³
- Fabbisogno annuo energia primaria per riscaldamento: 35575 kWh
- Giorni riscaldamento della zona climatica C: 136 giorni (15 novembre - 31 marzo)
- Fabbisogno giornaliero energia primaria per riscaldamento: 261 kWh
- Fabbisogno giornaliero energia primaria per riscaldamento: 941691 kJ
- Calore specifico: 4,186 J/kgK
- Differenza di temperatura: 10 K

Massa di acqua necessaria: 22497 kg
Numero serbatoi da 5000 litri: 5

La tipologia di serbatoio scelta possiede le seguenti caratteristiche:

- Capacità serbatoio: 5000 litri
- Diametro interno: 1600 mm
- Diametro esterno: 1800 mm
- Altezza: 2920 mm

Superficie netta sviluppata da un serbatoio: 2,01 m²
Superficie netta sviluppata da 5 serbatoi: 10,05 m²

Volume netto sviluppato da un serbatoio: 5,87 m³
Volume netto sviluppato da 5 serbatoi: 29,35 m³



PROPOSTA PROGETTUALE - EMISSIONE E CONTROLLO IAQ DELL'ARIA

La proposta progettuale prevede la **sostituzione dei terminali di emissione dell'aria**, eliminando i vecchi radiatori in ghisa e sostituendoli con i **ventilconvettori**, in modo tale da provvedere non solo al riscaldamento ma anche al raffrescamento degli ambienti.

Contemporaneamente ai ventilconvettori verranno installati dei **recuperatori di calore per ogni aula**, per migliorare la qualità dell'aria degli ambienti interni, poiché le misurazioni effettuate nelle aule campione hanno mostrato valori di Co2 oltre la norma.

VENTILCONVETTORI

Il **ventilconvettore** è costituito da un involucro metallico nel quale sono presenti una o due **batterie per lo scambio termico** tra acqua e aria, un **ventilatore**, un filtro dell'aria, una vaschetta per la raccolta della condensa; all'esterno presenta i collegamenti con le reti dell'acqua calda e/o refrigerata.

Il **ventilatore preleva principalmente l'aria dell'ambiente** (da scaldare o raffreddare) reimpedendola da un'apertura posta in basso al terminale; una volta entrata l'aria viene prima **filtrata** e poi **spinta** dal ventilatore **verso la batteria di scambio termico**; qui per convezione forzata questa scambia calore con l'acqua. In regime di **riscaldamento il calore viene prelevato**, mentre in regime di **raffreddamento il calore viene ceduto**.

Questa tipologia di terminali di emissione è stata scelta per **sostituire i radiatori in ghisa** presenti negli ambienti scolastici. Nello specifico, il ventilconvettore scelto ha le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza base: 1200 mm
- Larghezza base: 225 mm
- Altezza: 530 mm
- Peso: 25 kg
- Contenuto di acqua: 1,3 litri
- Numero tubi: 2
- Funzionamento estivo (raffrescamento): Temperatura aria: 27 °C bulbo secco, 19 °C bulbo umido
Temperatura acqua: 7 °C entrata, 12 °C uscita
- Funzionamento invernale (riscaldamento): Temperatura aria: 20 °C
Temperatura acqua: 50 °C entrata

Velocità	1	2	3
Portata aria (m³/h)	285	360	495
Raffreddamento resa totale (kW)	1,77	2,17	2,76
Raffreddamento resa sensibile (kW)	1,32	1,64	2,12
Riscaldamento (kW)	2,17	2,69	3,47
Riscaldamento - Acqua 70-60 °C (kW)	3,65	4,54	5,87
Dp raffreddamento (kPa)	4,6	6,5	9,9
Dp riscaldamento (kPa)	3,7	5,4	8,1
Assorbimento motore (W)	15	22	33
Potenza acustica (dB)	31	37	43
Pressione acustica (dB)	22	28	34



RECUPERATORE DI CALORE

Sulla base dei **dati raccolti**, è stata evidenziata una **insufficiente ventilazione** in tutte le aule e negli spazi comuni. Pertanto si decide di installare dei **recuperatori di calore** che permettono un **adeguato ricambio dell'aria**.

I vantaggi dell'uso di recuperatori di calore derivano dal fatto che pre-riscaldano o pre-raffreddano l'aria di rinnovo **recuperando energia termica a costo zero dall'aria estratta**, energia che andrebbe perduta in un impianto non dotato di recupero di calore, grazie al recupero energetico è possibile **dimensionare in maniera più contenuta gli apparecchi dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento**.

Si è scelto di inserire in ogni aula un **recuperatore di calore ad alta efficienza**, equipaggiato di **scambiatori statici**. Negli scambiatori di questa tipologia, lo **scambio termico avviene tra i due flussi di aria che lambiscono una parete che li separa e attraverso cui viene scambiato calore**. I due flussi non vengono a contatto fisicamente tra di loro.

La norma **UNI 10339** prescrive le **portate di aria esterna da adottare per le diverse tipologie edilizie**. La portata viene calcolata in base all'**indice di affollamento**, che identifica il numero di persone presenti per ogni metro quadro di superficie calpestabile, e in base alla **portata di aria per ogni persona presente**; la portata varia a seconda della destinazione d'uso degli ambienti.

Per le **aule delle scuole elementari** la norma UNI 10339 prescrive un indice di affollamento pari a **0,45 persone/metro quadro** e una portata di aria pari a **5 litri/secondo per ogni persona** presente nell'aula.

Assumendo come caso di studio quello di un'aula di **54,38 metri quadri**, che rappresenta la dimensione delle aule che si ripete con maggior frequenza, nonché la dimensione di una delle **aule oggetto di studio** della qualità dell'aria, si ha che:

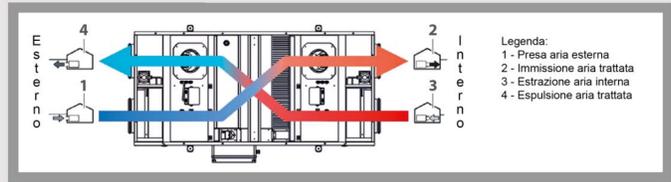
- Dimensione aula: 54,38 m²
- Indice di affollamento: 0,45 persone/m²
- Numero di persone previsto: 25
- Portata di aria necessaria per persona: 5 litri/secondo
- Portata di aria necessaria totale: 125 litri/secondo
- Portata di aria necessaria totale : 450 m³/h**

Calcolata la portata di aria necessaria, il **recuperatore di calore** scelto possiede le seguenti **caratteristiche**:

- Lunghezza base: 1700 mm
- Larghezza base: 780 mm
- Altezza: 330 mm
- Portata massima: 650 m³/h
- Potenza sonora irradiata Lw: 57 dB
- Potenza elettrica assorbita effettiva: 0,18 kW
- Potenza effettiva motore: 169 x 2 W
- Efficienza termica del recupero di calore: 79,7%
- Temperatura ambiente massima per funzionamento: 60 °C
- Peso: 120 kg



SCHEMATIZZAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DEL RECUPERATORE DI CALORE



ANALISI DEI COSTI E STIMA DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO

Una volta individuati gli **interventi da effettuarsi sia sull'involucro edilizio sia sul sistema impiantistico esistente**, è stato **stimato il costo necessario per ogni intervento**. Per il **calcolo del risparmio annuale** sono stati presi come riferimento i **dati in output del modello di Stima10**, relativamente ai consumi dello **stato di fatto e della proposta progettuale**, mentre i **costi dell'energia** sono stati estrapolati dalle bollette relative all'edificio. **Con quanto riguarda i consumi di energia elettrica**, al modello dello stato di fatto è stato **aggiunto il consumo relativo a un impianto di climatizzazione**, per permettere il **confronto** tra lo stato di fatto e la proposta progettuale.

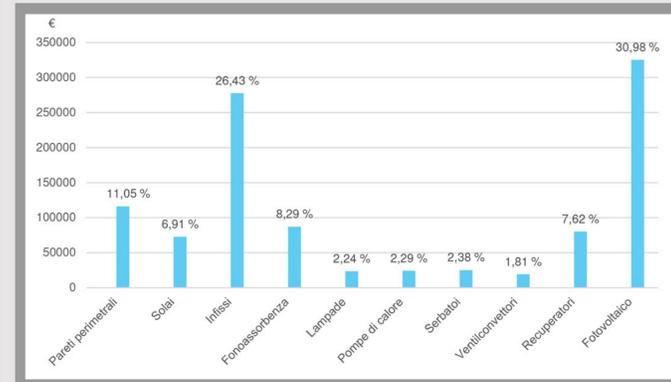
CALCOLO DEL COSTO DELL'INVESTIMENTO

Calcolo il costo dell'investimento, per trovare il tempo di recupero:

- | | |
|--|--|
| 1 - Isolamento delle pareti perimetrali esterne
Costo pannello in Aerogel: 50 €/m²
Area pareti: 2321 m²
Costo totale: 116 050 € | 6 - Inserimento delle pompe di calore
Costo singola pompa di calore: 12000 €
Numero pompe di calore: 2
Costo totale: 24000 € |
| 2 - Isolamento del solaio contro terra e di copertura
Costo pannello in XPS: 25 €/m²
Area solai: 2900 m²
Costo totale: 72500 € | 7 - Inserimento dei serbatoi di accumulo
Costo singolo serbatoio di accumulo: 5000 €
Numero serbatoi di accumulo: 5
Costo totale: 25000 € |
| 3 - Sostituzione degli infissi
Costo singolo infisso: 2500 €
Numero infissi: 111
Costo totale: 27750 € | 8 - Inserimento dei ventilconvettori
Costo singolo ventilconvettore: 250 €
Numero ventilconvettori: 76
Costo totale: 19000 € |
| 4 - Inserimento dei pannelli fonoassorbenti sul soffitto
Costo pannello: 100 €/m²
Area totale: 870 m²
Costo totale: 87000 € | 9 - Inserimento dei recuperatori di calore
Costo singolo recuperatore di calore: 4000 €
Numero recuperatori di calore: 20
Costo totale: 80000 € |
| 5 - Sostituzione delle lampade
Costo singola lampada: 140 €
Numero lampade: 168
Costo totale: 23520 € | 10 - Installazione del nuovo impianto fotovoltaico
Costo singolo modulo: 600 €
Numero pannelli: 542
Costo totale: 325200 € |

SPESA TOTALE: 1049770 €

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DEI COSTI DI INVESTIMENTO



CALCOLO DEL RISPARMIO NETTO ANNUO

STATO DI FATTO	
Fonti energetiche utilizzate	Quantità annua consumata in uso standard
Energia elettrica da rete	77794 kWh
Gas naturale	27577 m³
Solare fotovoltaico	0 kWh

SOLUZIONE PROGETTUALE	
Fonti energetiche utilizzate	Quantità annua consumata in uso standard
Energia elettrica da rete	35043 kWh
Gas naturale	0 m³
Solare fotovoltaico	120681 kWh

DIFFERENZA		
Fonti energetiche utilizzate	Quantità annua consumata in uso standard	Variazione percentuale
Energia elettrica da rete	-42751 kWh	-55 %
Gas naturale	-27577 m³	-100 %
Solare fotovoltaico	+120681 kWh	/

CALCOLO RISPARMIO ANNUALE			
Costo energia elettrica	0,23 €/kWh	Risparmio	9832,73 €
Costo gas naturale	0,84 €/m³	Risparmio	23164,88 €
		Risparmio totale	32997,41 €

A questo risparmio annuale si può sommare il **guadagno derivante dallo scambio sul posto dell'energia elettrica** prodotta dall'impianto fotovoltaico e non consumata istantaneamente dall'edificio. Per calcolare l'energia prodotta in eccesso, oltre al calcolo dell'energia necessaria al funzionamento degli impianti, è stata effettuata una **stima delle apparecchiature elettriche utilizzate nella scuola**: per ogni classe è stata **ipotizzata la presenza di un PC e di un proiettore**, necessario al funzionamento della lavagna interattiva multimediale. Inoltre, nelle aule adibite a segreteria è stata ipotizzata la presenza di due PC ognuna, e nella sala multimediale sono stati ipotizzati 32 PC. Nel caso dell'uso contemporaneo di tutte le attrezzature, si ha che:

- Numero totale PC: 55
- Consumo singolo PC: 0,2 kWh
- Consumo totale PC: 17600 kWh
- Numero totale proiettori: 18
- Consumo singolo proiettore: 0,35 kWh
- Consumo totale proiettori: 10080 kWh

Consumo totale attrezzature elettriche: 27680 kWh

Basandosi sul **Prezzo Unico Nazionale**, si può stimare che l'energia venga acquistata per un **prezzo medio pari a 50 €/MWh, pari a 0,05 €/kWh**. L'**impianto fotovoltaico** progettato permette la **produzione annuale di 227000 kWh**; andando a sottrarre la parte di energia impiegata dall'edificio sia per il funzionamento degli impianti sia per le apparecchiature elettriche, e stimando un prezzo di acquisto di 0,05 €/kWh, annualmente si ha che:

Costo di acquisto dell'energia elettrica: 0,05 €/kWh
Energia elettrica disponibile per la vendita: 78639 kWh
Totale ricavo annuale: 3931,95 €

Sommando quindi il ricavo annuale dovuto alla vendita dell'energia e il risparmio annuo dovuto al miglioramento delle prestazioni e del sistema impiantistico dell'edificio, si ha che:

Ricavo totale annuo: 3931,95 €
Risparmio annuo: 32997,41 €
Totale annuo: 36929,36 €

Si può quindi **ricavare il tempo di ritorno dell'investimento** dividendo la spesa totale, pari a 1049770 €, per il risparmio annuo, pari a 36929,36 €. Il **tempo di ritorno è quindi di 28 anni**.

