Strategic Project

alterenergy

Energy Sustainability for Adriatic Small Communities

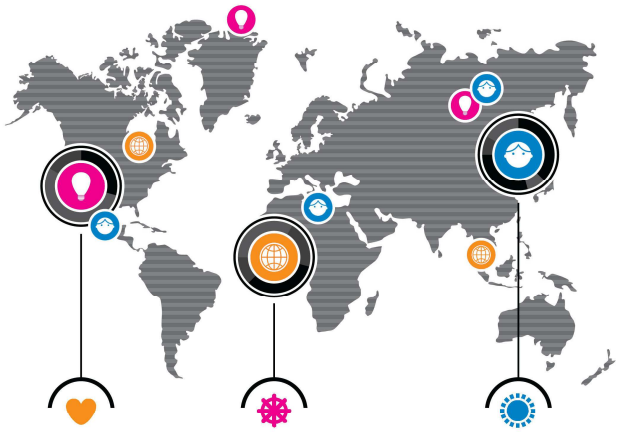
www.alter-energy.eu

Let's grow up together Adriatic IPA Cross Border Cooperation 2007-2013

VENETO AGRICOLTURA

Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

GLORIA | NG. NATALI



WP4 Sustainable Energy Action plans

D4.5_ DIAGNOSI ENERGETICA DELLA SCUOLA ELEMENTARE GIOVANNI XXIII DI POLVERARA (PD)

Date: Giugno 30 – 2014

Authors: VA 17, Veneto Agricoltura and Ing. Gloria Natali

The project is co-funded by the European Union, Instrument for Pre-Accession Assistance

Sommario

1 CERTIFICAZIONE O DIAGNOSI ENERGETICA? 3
2 LO STATO DI FATTO 4
2.1 L'edificio 4
2.2 L'impianto di riscaldamento 7
2.3 Certificazione Energetica allo stato di fatto 8
3 ANALISI ED ALLINEAMENTO CONSUMI 9
3.1 Consumo annuo di energia termica 9
3.2 Modello di calcolo e allineamento ai consumi 10
4 INTERVENTI PROPOSTI – ANALISI ENERGETICA 12
4.1 Isolamento delle pareti con cappotto esterno 13
4.1.1 Descrizione dell'intervento 13
4.1.2 Valutazione costi - benefici 15
4.1.3 Certificazione energetica post intervento 17
4.2 Isolamento copertura 18
4.2.1 Descrizione dell'intervento 18
4.2.2 Valutazione costi - benefici 18
4.2.3 Certificazione energetica post intervento 20
4.3 Installazione valvole termostatiche 21
4.3.1 Descrizione dell'intervento 21
4.3.2 Valutazione costi - benefici 22
4.3.3 Certificazione energetica post intervento 23
4.4 Interventi sui serramenti 24
4.4.1 Descrizione dell'intervento 24
4.4.2 Valutazione costi – benefici 25
4.4.3 Certificazione energetica post intervento 27
4.5 Intervento complessivo 28
4.5.1 Descrizione dell'intervento 28
4.5.2 Valutazione costi – benefici 28
4.5.3 Certificazione energetica post intervento 30
5 CONCLUSIONI 31
6 ALLEGATI 32

1 CERTIFICAZIONE O DIAGNOSI ENERGETICA?

Nella valutazione dei fabbisogni energetici di un immobile, agiscono molteplici variabili che devono essere congiuntamente valutate per determinare le specifiche incidenti nel consumo energetico. Ci riferiamo, ad esempio, alle caratteristiche costruttive dell'edificio, al comportamento termodinamico dei materiali impiegati, alla tipologia impiantistica adottata, all'efficienza degli elementi elettromeccanici installati, all'eventuale sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili nonché al tempo di utilizzo dell'edificio (cioè l'arco temporale nel quale si considera che all'interno dell'edificio vengano mantenuti 20°C nella stagione invernale e 26°C nella stagione estiva, mediante l'eventuale funzionamento di generatori di calore o di raffrescamento).

Per ciascuna variabile considerata, le normative che guidano e disciplinano le metodologie di calcolo, permettono di definire i diversi parametri di riferimento, che in ogni caso riconducono la quantificazione finale dei fabbisogni al concreto "tempo di utilizzo"dell'immobile.

Il legislatore, in accordo con la UNI TS 11300-1, stabilisce che la **certificazione energetica** debba essere redatta eseguendo una Valutazione Standard, ovvero considerando le caratteristiche reali dell'edificio e degli impianti, ma impartisce dei valori standard relativi ai parametri specifici del clima e l'uso dell'edificio. Nello specifico:

- si utilizza il profilo delle temperature esterne medie mensili
- si considera che l'edificio sia riscaldato per 24 ore al giorno, per un periodo di riscaldamento che ha durata convenzionale e che dipende dalla zona climatica in cui è collocato l'edificio. In particolare, per la zona climatica E, la durata della stagione di riscaldamento convenzionale va dal 15 ottobre al 15 aprile.

Sotto l'aspetto progettuale, nel momento in cui si intende valutare con precisione i benefici di un intervento di risparmio o di efficientamento energetico, è necessario ricondursi il più possibile ad un modello di calcolo il più reale possibile, supportato anche dal confronto con i consumi effettivi sostenuti negli anni precedenti. A partire da questo modello saranno poi effettuate le considerazioni del caso. Questo significa per l'appunto eseguire una **diagnosi energetica**, e la norma richiamata prevede infatti che sia effettuata con una Valutazione Adattata all'Utenza, considerando oltre alle caratteristiche reali dell'edificio e dell'impianto, anche gli orari di utilizzo e valori di temperature interna ed esterna effettivamente previsti.

Il presente lavoro, dopo una breve descrizione dello stato dell'arte della struttura, riporta nella prima parte i dati di riferimento per la classificazione energetica dell'edificio mediante la certificazione energetica e nella seconda parte, invece, valuta l'efficacia di alcuni interventi di efficientamento e risparmio energetico concretamente realizzabili.

2 LO STATO DI FATTO

2.1 L'edificio

Il presente progetto si riferisce alla scuola elementare Giovanni XXIII del comune di Polverara (PD).

Si tratta di un edificio sviluppato su due piani, il cui ingombro a terra è di 1'041 mq, composto da:

- un grande atrio centrale a tutta altezza su cui si affacciano, analogamente sui due piani, gli spazi didattici e di servizio (vedi porzione evidenziata in colore azzurro in Figura 2);
- la palestra adiacente (vedi porzione evidenziata in colore rosa in Figura 2).

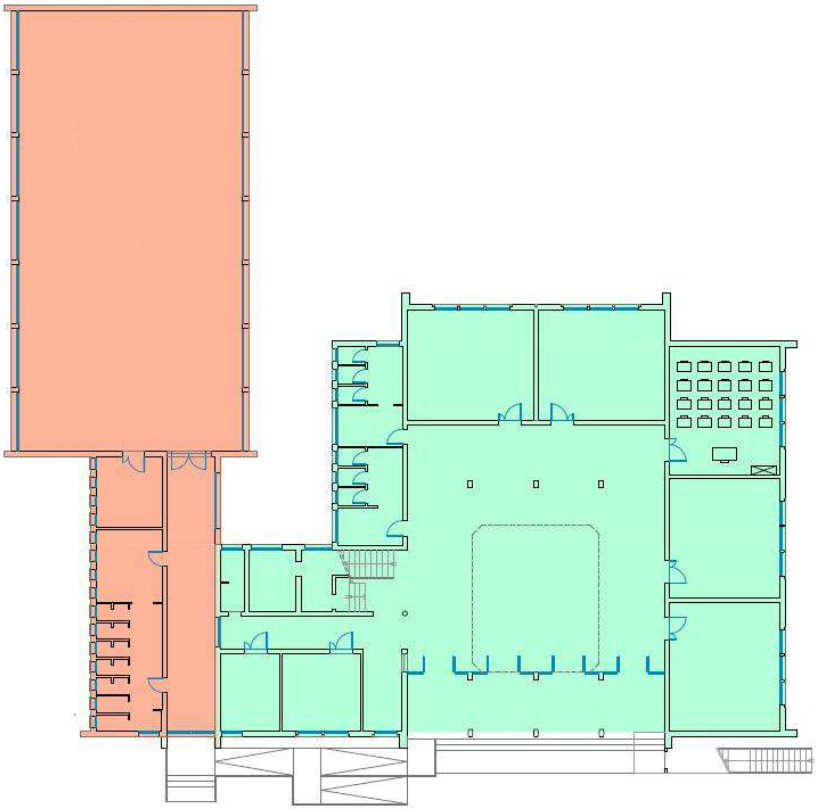
Figura 1. Vista aerea scuola elementare di Polverara

L'edificio è stato costruito nel 1960.

La struttura portante è costituita da pilastri in cemento armato nell'atrio centrale e blocchi in laterizio per i muri di spina. I solai sono in laterocemento, quello di terra è sopraelevato di 30 cm a realizzare un vespaio areato.

I serramenti sono di varie tipologie:

- quelli delle aule presentano telaio in legno senza taglio termico e vetrate singole;
- i serramenti dei bagni, delle zone di servizio e della palestra hanno telai metallici senza taglio termico e vetro singolo;
- gli ampi serramenti vetrati dell'atrio centrale sono caratterizzati da telaio metallico e doppio vetro con intercapedine di spessore 16 mm.



-

Figura 2: Pianta edificio scolastico: spazi didattici e palestra

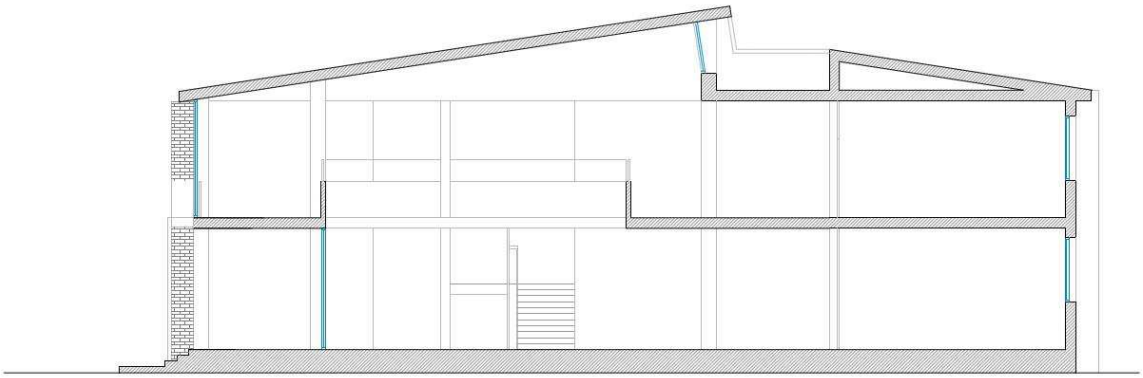


Figura 3: Sezione su atrio centrale a tutta altezza

Di seguito si riportano alcuni dati utili per l'analisi.

SCUOLA ELEMENTARE	
SUPERFICIE CALPESTABILE [m^2]	1'447.649
VOLUME LORDO RISC. (V) [m^3]	7'799,846
SUPERFICIE DISPERDENTE (S) [m^2]	3'613,310
Rapporto S/V	0,463
N° PIANI	2

Tabella 1: Caratteristiche generali edificio scolastico

Figura 4. Prospetto laterale sud-ovest

Figura 5. Ballatoio di piano primo - atrio centrale

2.2 L'impianto di riscaldamento

Il complesso scolastico e è una delle 5 utenze pubbliche del Comune di Polverara allacciate ad una rete di teleriscaldamento.

L'impianto di teleriscaldamento presenta un'unica centrale termica a biomassa dalla quale viene generata l'energia termica necessaria ai vari fabbricati connessi.

Nella sottostazione del teleriscaldamento a servizio della scuola, si trova lo scambiatore di calore, attraverso il quale viene ceduta l'energia dalla rete di teleriscaldamento al circuito del municipio, corredato dai relativi dispositivi di sicurezza, protezione e controllo; vi sono inoltre le pompe di circolazione ed i contabilizzatori dell'energia ceduta.

In un locale situato nel giardino della scuola, si trova la centrale termica con caldaia a metano a servizio della rete di teleriscaldamento, che viene utilizzata nei momenti in cui la caldaia principale a biomassa non è in funzione al fine di garantire la continuità del servizio.

Figura 6. Particolari della centrale a metano a servizio della rete di teleriscaldamento

2.3 Certificazione Energetica allo stato di fatto

Sono stati eseguiti i calcoli per la certificazione energetica dello stato di fatto dell'edificio secondo gli standard previsti dalle normative vigenti: nella tabella seguente vengono riportati i risultati ottenuti secondo quanto previsto dal Decreto del 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".

Indirizzo	**Via Roma, 17, 35020 Polverara (PD)**				
Riferimenti catastali	**Mp. 209, Fg. 5**				
Volume lordo riscaldato	**7'799,8**	**m^3**	**Rapporto S/V**	**0,463**	**1/m**
Superficie disperdente	**3'613,3**	**m^2**	**Superficie utile**	**1'447,6**	**m^2**
Indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i)	**35,4**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria (Ep,acs)	**0**	**kWh/m^3**			
Valore limite dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i,lim)	**16,1**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica globale (Ep,gl)	**35,4**	**kWh/m^3**			
Rendimento globale medio stagionale (η_{gn})	**103,3**	**%**			

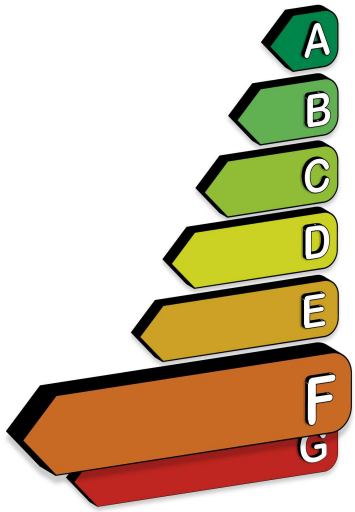


Tabella 2: Risultati di calcolo per classificazione energetica edificio allo stato di fatto

3 ANALISI ED ALLINEAMENTO CONSUMI

3.1 Consumo annuo di energia termica

L'edificio dal 2012 è allacciato alla rete di teleriscaldamento.

Secondo quanto rilevato dalle bollette, si può stimare che **il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento sia di circa 40.000 kWh.**

STIMA FABBISOGNO COMBUSTIBILE				
Periodo di fatturazione Da	a	Fabbisogno		Fatturato
03/09/2012	12/11/2012	0	€	11,97
12/11/2012	04/02/2013	58.320	€	5.619,36
04/02/2013	01/04/2013	45.620	€	4.421,19
01/04/2013	03/06/2013	7.710	€	716,01
03/06/2013	02/09/2013	0	€	17,95
		111.650	**€**	**10.786,48**

Tabella 3: Fabbisogno annuo energia termica

Analizzando le bollette, è risultato inoltre una spesa annua di circa **0,097 €/kWh,** comprensivo di costo energia, servizi di rete, accise e iva.

Questo permette di determinare i parametri specifici con i quali, da qui in poi, saranno effettuate le stime sui risparmi.

3.2 Modello di calcolo e allineamento ai consumi

Nel valutare i fabbisogni effettivi pre intervento, rispetto ai valori ricavati dalla certificazione energetica, sono stati considerati i consumi riportati nella Tabella 4, ricavati secondo il profilo di utilizzo dell'immobile.

I risultati ottenuti dalla certificazione sono dunque stati modificati secondo i seguenti criteri:

- si considera una temperatura interna di 20°C
- si considera il tempo reale di funzionamento dell'impianto, stimato in 9 ore/giorno, dal 15 Ottobre al 15 Aprile
- si effettua il calcolo su base mensile, considerando le temperature esterne medie
- i coefficienti globali di scambio termico rimangono gli stessi di quelli determinati nel calcolo per la certificazione energetica, a partire dai quali
- viene determinato il fabbisogno richiesto (indicato come fabbisogno utile nella normativa giuda) dall'edificio, dovuto alle dispersioni dell'edificio per ventilazione e trasmissione, tenendo conto degli apporti per irraggiamento solare e del calore generato internamente ai locali per la presenza di persone e di apparecchiature elettriche
- si considerano costanti i rendimenti termici dei sottosistemi di emissione, regolazione e distribuzione secondaria
- rimangono costanti le perdite allo scambiatore della rete di teleriscaldamento in quanto dipendenti unicamente dalla potenza nominale dello scambiatre, in accordo alla UNI TS 11300/4

Seguendo i criteri citati, è stato costruito il modello di calcolo finalizzato all'individuazione dei fabbisogni:

- richiesti dall'edificio per essere mantenuto alla temperatura interna prefissata di 20°C
- necessari per far fronte alle perdite nell'impianto

Nella tabella seguente sono riportati i risultati che si ottengono eseguendo calcolo come descritto.

Fabbisogno richiesto	***kWh/anno***	**77.082**	
Perdite di emissione	*kWh/anno*	10.511	(η_e= 88,0%)
Perdite di regolazione	*kWh/anno*	24.188	($\eta_{d,s}$= 78,0 %)
Perdite di distribuzione	*kWh/anno*	3.576	($\eta_{d,p-s}$= 96,9 %)
Perdite di generazione	*kWh/anno*	2.189	(η_e= 96,5 %)
Rendimento medio stagionale		65,6 %	
Fabbisogno annuo energia termica	**Sm^3**	**117.546**	
Spesa annua	€	11.356	

Tabella 4: - Fabbisogni energetici effettivi stato di fatto

Il grafico riportato evidenzia l'andamento mensile fabbisogni energetici secondo cui si ricavano i valori complessivi sopra riportati.

Si nota che il modello di calcolo adottato è allineato con i consumi di gas effettivamente sostenuti dal condominio. Infatti è stato stimato un fabbisogno di 117.546 kWh, a fronte di un consumo effettivo sostenuto nella stagione 2012-2013 di 111.650 kWh.

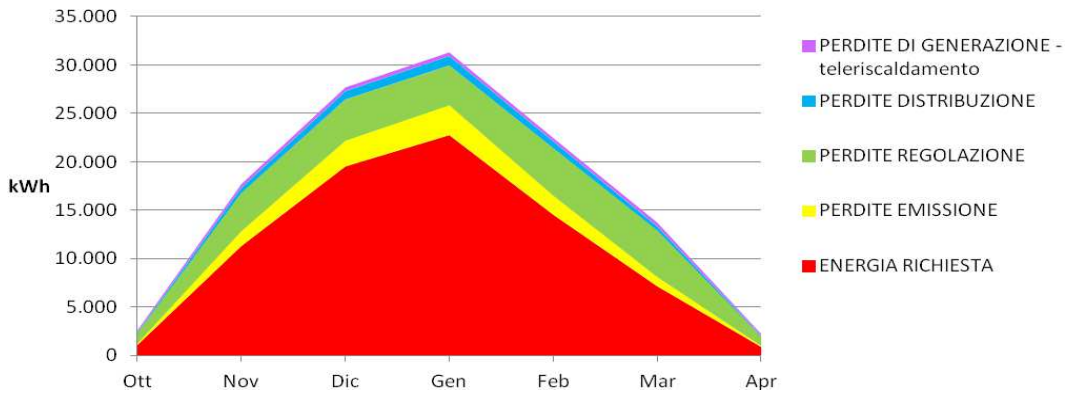


Grafico 1:Modello di simulazione energetico dello stato di fatto

4 INTERVENTI PROPOSTI – ANALISI ENERGETICA

Per ridurre i consumi, con conseguente risparmio economico ed energetico, si propone di intervenire nell'edificio con una serie di modifiche sull'involucro edilizio e sugli impianti.

Gli interventi che riguardano l'involucro edilizio sono:

- Isolamento delle pareti con cappotto esterno;
- Isolamento copertura;
- Sostituzione dei serramenti.

Questi interventi sono stati proposti sulla base di un'analisi delle criticità del fabbricato dal punto di vista delle dispersioni termiche. Gli interventi elencati, ove possibile, devono essere realizzati rispettando i requisiti minimi di trasmittanza termica definiti dal decreto D.M. 28 Dicembre 2012 per accedere agli incentivi previsti dal ContoTermico.

In merito all'impianto di riscaldamento, è in corso uno studio di fattibilità per l'ottimizzazione del funzionamento della caldaia a biomassa e della rete in generale: per questo motivo non verranno trattati aspetti che riguardano la parte relativa alla rete di teleriscaldamento.

Analizzando il Grafico 1, si nota che le perdite d'impianto sono tutte trascurabili rispetto al fabbisogno richiesto, tranne le perdite di regolazione.

Per questo motivo l' intervento proposto che riguarda l'impianto termico è:

- Installazione di valvole termostatiche.

4.1 Isolamento delle pareti con cappotto esterno

4.1.1 Descrizione dell'intervento

L'edificio scolastico è soggetto a ponti termici, zone che rappresentano una densità di flusso termico maggiore rispetto agli elementi costruttivi adiacenti. In particolare tali punti critici di dispersione si trovano in corrispondenza dei collegamenti tra parete e parete, tra pareti e solai e tra pareti e serramenti per disomogeneità geometrica (differenza tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella del lato esterno), e per disomogeneità materica in corrispondenza della compenetrazione di materiali con conduttività termica diversa nell'involucro edilizio (cordoli, cassonetti, sporti).

Per attenuare tale fenomeno si propone di isolare le pareti esterne degli edifici con un sistema "a cappotto". Con questo sistema costruttivo le problematiche riguardanti i ponti termici e le deformazioni dovute alle sollecitazioni termiche quali crepe, distacchi, infiltrazioni, vengono annullate o comunque fortemente attenuate: tutta l'apparecchiatura muraria viene posta in condizioni termiche e igrometriche stazionarie, nonostante grandi differenze di temperatura e/o umidità tra l'esterno e l'interno abitativo.

Le stesse murature, non dissipando più il calore all'esterno, svolgono l'importante funzione di volano termico. Ciò corrisponde a disporre di una massa calda, che attraverso le sue superfici interne, scambia calore con i locali, negli intervalli e interruzioni di riscaldamento. Anche in pieno inverno il sano ricambio d'aria può essere svolto senza poi dover intensificare il riscaldamento: il calore accumulato dalla massa muraria rigenera rapidamente e omogeneamente le condizioni più confortevoli. Gli involucri e le strutture sottostanti il "cappotto", non ricevendo più sollecitazioni termomeccaniche intense, si conservano inalterati.

Nella Figura 7 si può vedere come le facciate siano di fatto caratterizzate da ponti termici. Tali immagini sono state realizzate con una termocamera, una particolare telecamera che permette di rilevare le radiazioni infrarossi ed ottenere delle mappe di temperatura delle superfici esposte. L'immagine fotografata con la termocamera è costruita su una matrice di pixel. L'elettronica dello strumento "legge" il valore di energia immagazzinata da ogni singolo pixel e genera un'immagine in falsi colori dell'oggetto osservato: si può misurare il valore di temperatura assoluto di ogni punto dell'immagine. La mappa di temperatura ottenuta non è affidabile per quanto riguarda una precisa misurazione delle temperature nei vari punti dell'involucro, in quanto è stata realizzata nella stagione estiva, con una temperatura esterna elevata, tanto che le murature risultavano totalmente surriscaldate. Nonostante il fatto che le elevate temperature registrate non siano significative, dalle immagini si evince comunque che vi sono aree a temperatura differente in corrispondenza dei ponti termici.

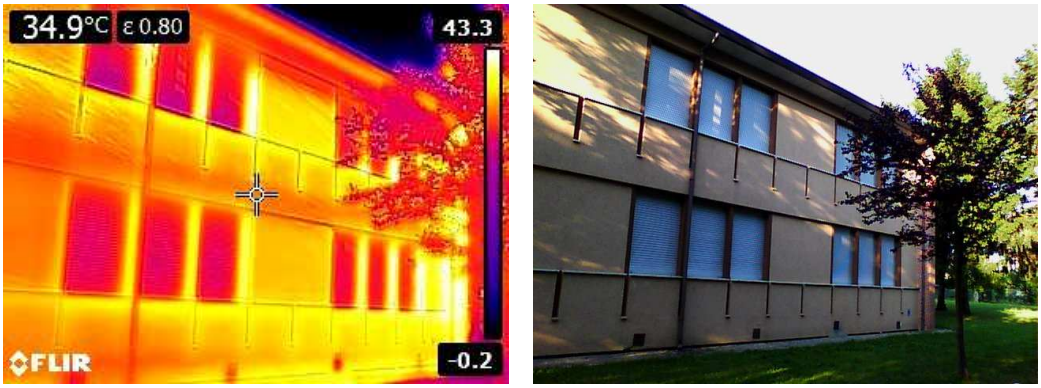


Figura 7. Immagini realizzate con termocamera ad infrarossi: prospetto laterale sud-ovest

Per la posa del cappotto esterno si è calcolato un costo pari a 100 €/m^2 (IVA compresa), corrispondente al valore massimo incentivabile.

Il costo stimato tiene conto di tutte le fasi d'intervento, non solo dell'acquisto del materiale isolante; ad esempio la spesa dipende anche dai ponteggi che devono essere posizionati in modo tale da poter lavorare agevolmente in tutti i lati degli edifici e a tutta altezza.

Altra voce che si considera nell'installazione del sistema a cappotto, è il costo della preparazione della base di ancoraggio. E' necessario monitorare lo stato d'usura dell'intocaco, se esso è in cattivo stato si deve spazzolare e lavare la superficie della parete con idropulitrice a pressione e acqua calda fino alla totale asportazione della tinta esistente; se la pittura è in buono stato di conservazione si può trattare la superficie con un apposito fissante ed effettuare una prova di aderenza.

A seguito della preparazione della struttura di base, si procede all'incollaggio con apposite malte adesive dei pannelli isolanti.

In aggiunta all'incollaggio, sarà necessario un fissaggio meccanico dei pannelli con appositi tasselli costituiti da un disco e da un gambo. Il disco ha la funzione di pressare l'isolante contro il supporto senza danneggiarlo per punzonamento mentre il gambo è l'elemento che deve garantire la presa al supporto. Subito dopo la posa dei pannelli, e prima della realizzazione dello strato di rasatura, si devono applicare gli elementi metallici di rinforzo in corrispondenza degli spigoli utilizzando malta adesiva, premendoli contro lo spigolo e facendo defluire l'adesivo in eccesso all'esterno, attraverso i fori già predisposti nel profilo.

Prima della finitura, l'intervento prevede la realizzazione di uno strato di rasatura: la rete di armatura viene annegata nella malta rasante di circa 2 mm di spessore.

A seguito dell'applicazione di una vernice di fondo (primer), si può terminare la lavorazione con il rivestimento ad intonaco.

Si è ipotizzato di isolare le pareti con pannelli di poliuterano espanso di spessore 10 cm, nel rispetto dei valori di trasmittanza accettati dalla normativa per poter accedere agli

incentivi previsti dal Conto Termico (trasmittanza parete esterna con cappotto ≤0.23 W/m^{2}K).

4.1.2 Valutazione costi - benefici

L'analisi ha previsto il calcolo delle dispersioni termiche (analisi dei coefficienti di scambio termico per trasmissione) attraverso le varie parti dell'involucro edilizio: 26% attraverso gli orizzontamenti esterni, il 25% riguarda le pareti estrene, il 30% le finestre ed il 19% il solaio controterra.

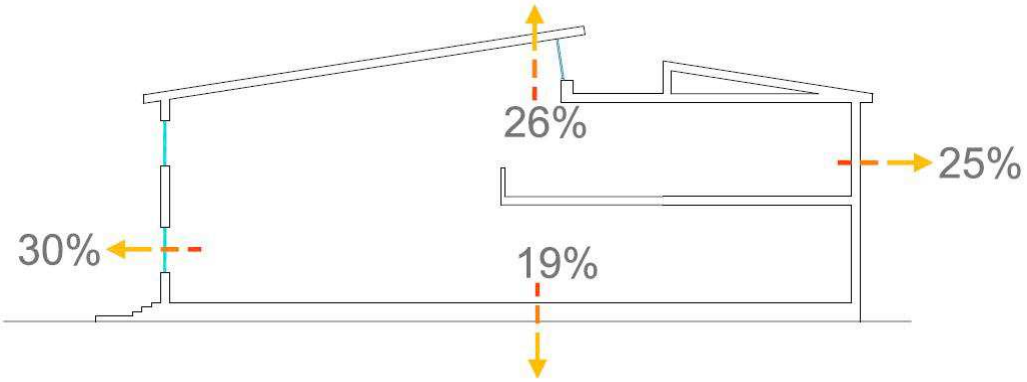


Figura 8. Dispersioni termiche attraverso le diverse componenti dell'involucro edilizio

Simulando l'installazione delle lastre isolanti all'esterno dell'edificio, si ottiene una riduzione della dispersione termica post intervento attraverso le pareti del 75%.

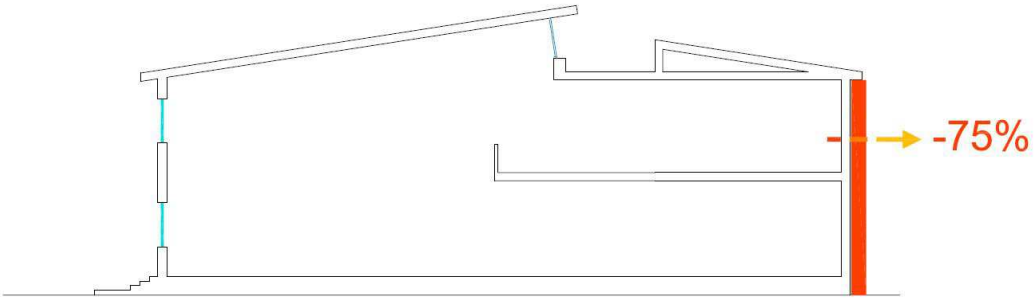


Figura 9. Riduzione della dispersione termica attraverso le pareti post installazione cappotto esterno

I dati ricavati dall'analisi energetico-economica dell'intervento sono riportati in dettaglio nella tabella n. 1 allegata al paragrafo 6.

Dalla sintesi di seguito riportata si evince che **l'intervento non è sostenibile dal punto di vista costi-benefici.** Questo accade in quanto l'intervento è molto costoso rispetto al vantaggio energetico "apprezzabile" che comporta. Gli **interventi sull'involucro edilizio in questo contesto sono infatti significativi solo se supportati dalla modifica del sistema di regolazione** dell'impianto (ad esempio con l'introduzione di valvole termostatiche). Allo stato attuale infatti, ridurre le dispersioni termiche attraverso l'involucro senza dare la possibilità di regolare l'apporto energetico fornito da ogni radiatore, non comporterebbe alcuna riduzione dei consumi, in quanto l'emissione di calore dai corpi scaldanti rimarrebbe inalterata.

ISOLAMENTO PARETI CON CAPPOTTO ESTERNO		
Risparmio energetico	23'038	kWh
Risparmio economico	2'226	€/anno
Costo intervento	130'000	€
Incentivo conto termico	52'000	€
Pay back	35	anni

Tabella 5: Risultati di calcolo dell'analisi energetica post installazione cappotto esterno

Dal confronto tra l'andamento mensile dei fabbisogni energetici post intervento (Grafico 2) e quello pre intervento (Grafico 1) se ne evidenzia graficamente la riduzione.

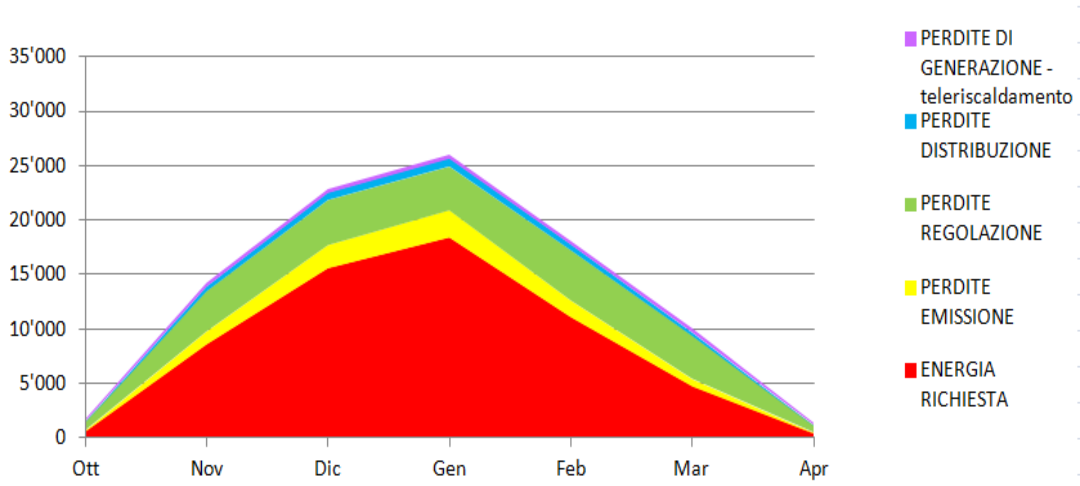


Grafico 2: Andamento mensile dei fabbisogni energetici (kWh) post installazione cappotto esterno

4.1.3 Certificazione energetica post intervento

Si riportano di seguito i dati relativi alla classificazione energetica dell'edificio a seguito dell'intervento ipotizzato di isolamento con cappotto esterno.

Indirizzo	**Via Roma, 17, 35020 Polverara (PD)**				
Riferimenti catastali	**Mp. 209, Fg. 5**				
Volume lordo riscaldato	**7'799,8**	**m^3**	**Rapporto S/V**	**0,463**	**1/m**
Superficie disperdente	**3'613,3**	**m^2**	**Superficie utile**	**1'447,6**	**m^2**
Indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i)	**29,7**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria (Ep,acs)	**0**	**kWh/m^3**			
Valore limite dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i,lim)	**16,1**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica globale (Ep,gl)	**29,7**	**kWh/m^3**			
Rendimento globale medio stagionale (η_{gn})	**101,5**	**%**			

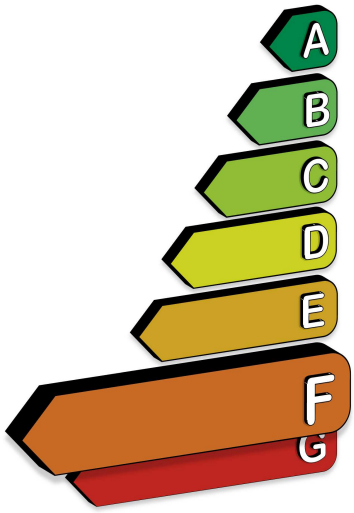


Tabella 6: Risultati di calcolo per classificazione energetica edificio post intervento cappotto esterno

4.2 Isolamento copertura

4.2.1 Descrizione dell'intervento

L'analisi energetica dell'edificio evidenzia che una percentuale rilevante delle dispersioni, circa il 25%, avviene attraverso la copertura.

Per l'intervento di posa dell'isolante si è considerato di andare ad interventire con:

- Isolante morbido sull'estradosso del solaio sottotetto con un costo pari a circa 36 €/m^2 (IVA compresa);
- Isolante interno con pannelli in polistirene nell'intradosso del solaio di copertura dell'atrio centrale a tutta altezza per un costo di circa 100 €/m^2 (IVA compresa); in alternativa si ipotizza di intervenire in questa porzione di copertura con isolamento esterno e ripristino del manto di copertura, per un costo di circa 200 €/m^2 .

L'intervento prevede dei valori di trasmittanza delle coperture ≤0.20 W/m^{2}K per poter accedere agli incentivi previsti dal Conto Termico.

4.2.2 Valutazione costi - benefici

Analizzando un intervento di questo tipo, si ottiene una riduzione della dispersione termica attraverso la copertura dell'82%.

Figura 10. Riduzione della dispersione termica attraverso la copertura post isolamento

I dati ricavati dall'analisi energetico-economica dell'intervento sono riportati in dettaglio nelle tabelle n. 2 e 3 allegate al paragrafo 6: di seguito ne viene riportato un estratto.

Si evince che l' intervento in copertura **non è sostenibile dal punto di vista costi-benefici. Questo accade in quanto l'intervento è molto costoso rispetto al vantaggio energetico "apprezzabile" che comporta.** Come nel caso precedente si

nota che **intervenire sull'involucro senza modificare il sistema di regolazione non comporta un sostanziale risparmio energetico**.

ISOLAMENTO COPERTURA soluzione con isolante esterno nell'atrio centrale		
Risparmio energetico	14'609	kWh
Risparmio economico	1'411	€/anno
Costo intervento	68'000	€
Incentivo conto termico	27'000	€
Pay back	29	anni
ISOLAMENTO COPERTURA soluzione con isolante interno nell'atrio centrale		
Risparmio energetico	14'609	kWh
Risparmio economico	1'411	€/anno
Costo intervento	52'250	€
Incentivo conto termico	20'900	€
Pay back	22	anni

Tabella 7: Risultati di calcolo dell'analisi energetica post isolamento copertura

Dal confronto tra l'andamento mensile dei fabbisogni energetici post intervento (Grafico 3) e quello pre intervento (Grafico 1) se ne evidenzia graficamente la riduzione.

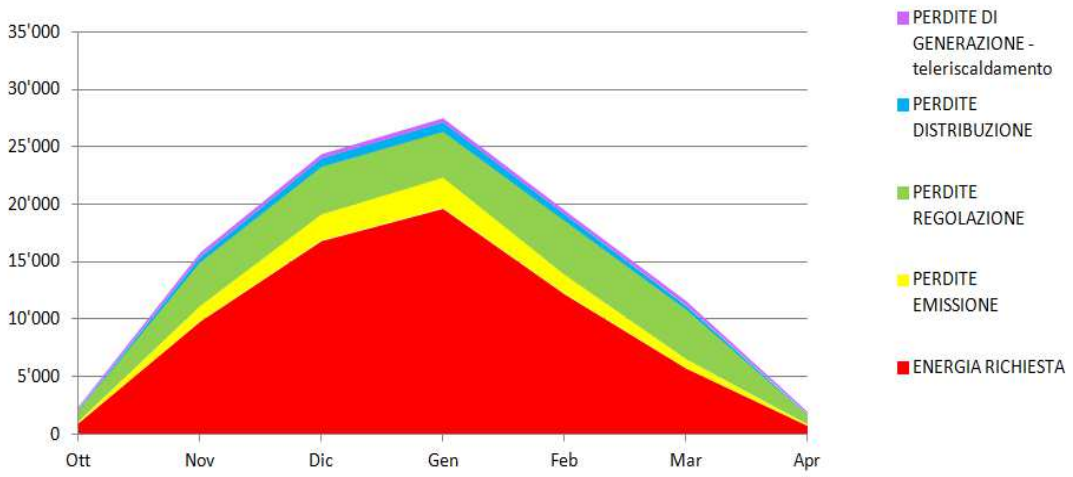


Grafico 3: Andamento mensile dei fabbisogni energetici (kWh) post isolamento copertura

4.2.3 Certificazione energetica post intervento

Si riportano di seguito i dati relativi alla classificazione energetica dell'edificio a seguito dell'intervento ipotizzato di isolamento copertura.

Indirizzo	**Via Roma, 17, 35020 Polverara (PD)**				
Riferimenti catastali	**Mp. 209, Fg. 5**				
Volume lordo riscaldato	**7'799,8**	**m^3**	**Rapporto S/V**	**0,463**	**1/m**
Superficie disperdente	**3'613,3**	**m^2**	**Superficie utile**	**1'447,6**	**m^2**
Indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i)	**29,6**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria (Ep,acs)	**0**	**kWh/m^3**			
Valore limite dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i,lim)	**16,1**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica globale (Ep,gl)	**29,6**	**kWh/m^3**			
Rendimento globale medio stagionale (η_{gn})	**100,9**	**%**			

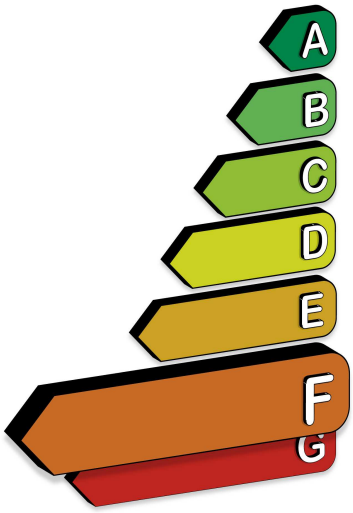


Tabella 8: Risultati di calcolo per classificazione energetica edificio post isolamento copertura

4.3 Installazione valvole termostatiche

4.3.1 Descrizione dell'intervento

Dai sopralluoghi effettuati si è potuta constatare che allo stato attuale non vi è alcun sistema per la regolazione del calore, per questo andremo a proporre l'installazione di valvole termostatiche.

Esse sono sistemi di regolazione che variano la portata di alimento al corpo scaldante in funzione della potenza richiesta dall'ambiente, permettendo quindi di beneficiare di eventuali apporti gratuiti di calore.

I sistemi più comuni sono totalmente meccanici: una valvola viene comandata da una testina nella quale è presente un fluido che al variare della temperatura ambiente si dilata o si restringe, andando a comandare l'apertura e la chiusura della valvola.

Con queste applicazioni è pertanto necessario assicurarsi del corretto funzionamento delle testine a seguito di eventuali urti o manomissioni. Inoltre va verificato che esse siano installate in modo da poter percepire in modo corretto la temperatura dell'ambiente e non di microclimi che si verificano qualora il radiatore sia sistemato ad esempio dietro una tenda, una porta o qualsiasi altro oggetto che impedisca la normale immissione di calore a tutto l'ambiente. In alternativa è consigliato installare una testina dotata di sonda climatica a distanza in modo che questa possa rilevare la temperatura effettiva della stanza.

Esistono inoltre dei sistemi di regolazione ambiente con comando elettronico: sui radiatori vanno montate delle valvole che vengono azionate da un attuatore elettrico il quale viene comandato da un cronotermostato in grado di dialogare con più valvole. Il cronotermostato rileva la temperatura ambiente ed impone il grado di apertura della valvola.

La potenzialità di tale sistema sta nel fatto che essendo comandato elettronicamente, si possono impostare valori di temperatura e orari di funzionamento per diverse zone termiche in base all'uso. Questa soluzione può risultare molto interessante qualora siano presenti ambienti che vengono utilizzati con orari diversi in giorni diversi della settimana (esempio aule di laboratorio): in tal caso, oltre agli orari di "accensione" dei singoli radiatori, si possono regolare le temperatura in funzione ad esempio dell'affollamento o degli apporti gratuiti di altro tipo (solare, apparecchiature elettriche...).

4.3.2 Valutazione costi - benefici

I dati ricavati dall'analisi energetico-economica dell'intervento sono riportati in dettaglio nella tabella n. 4 allegata al paragrafo 6: di seguito ne viene riportato un estratto.

Si evince che l' intervento **è consigliabile sia dal punto di vista del risparmio energetico che economico**.

VALVOLE TERMOSTATICHE		
Risparmio energetico	23'117	kWh
Risparmio economico	2'233	€/anno
Costo intervento	10'000	€
Pay back	5	anni

Tabella 9: Risultati di calcolo dell'analisi energetica post installazione valvole termostatiche

Dal confronto tra l'andamento mensile dei fabbisogni energetici post intervento (Grafico 4) e quello pre intervento (Grafico 1) si evidenzia la sostanziale riduzione delle perdite di regolazione.

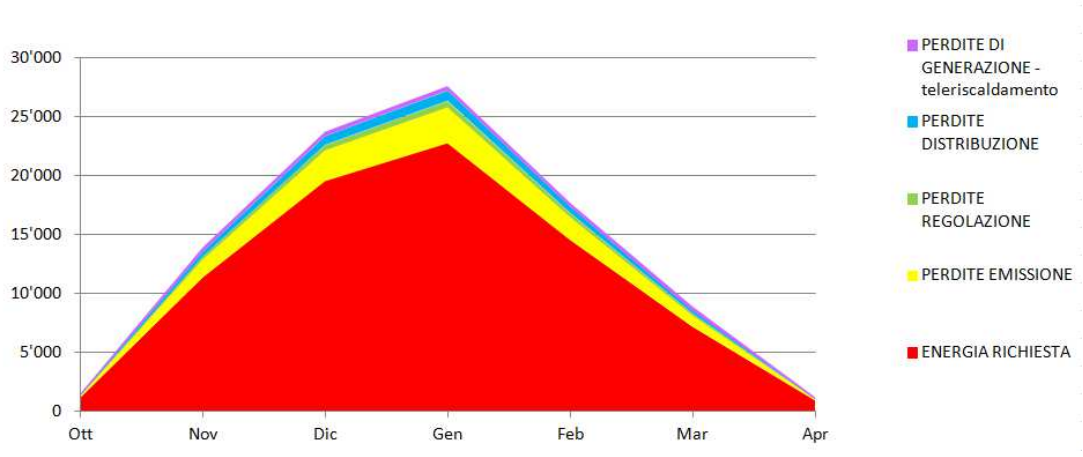


Grafico 4: Andamento mensile dei fabbisogni energetici (kWh) post installazione valvole termostatiche

4.3.3 Certificazione energetica post intervento

Si riportano di seguito i dati relativi alla classificazione energetica dell'edificio a seguito dell'intervento di installazione delle valvole termostatiche.

Indirizzo	**Via Roma, 17, 35020 Polverara (PD)**				
Riferimenti catastali	**Mp. 209, Fg. 5**				
Volume lordo riscaldato	**7'799,8**	**m^3**	**Rapporto S/V**	**0,463**	**1/m**
Superficie disperdente	**3'613,3**	**m^2**	**Superficie utile**	**1'447,6**	**m^2**
Indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i)	**31,8**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria (Ep,acs)	**0**	**kWh/m^3**			
Valore limite dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i,lim)	**16,1**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica globale (Ep,gl)	**31,8**	**kWh/m^3**			
Rendimento globale medio stagionale (η_{gn})	**114,8**	**%**			

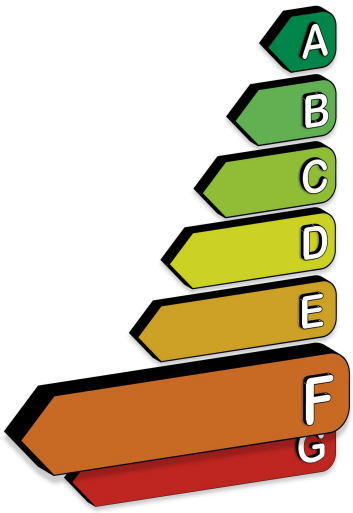


Tabella 10: Risultati di calcolo per classificazione energetica edificio post installazione valvole termostatiche

4.4 Interventi sui serramenti

4.4.1 Descrizione dell'intervento

I serramenti del complesso rappresentano una parte rilevante delle dispersioni termiche attraverso l'involucro, pari al 30%.

Figura 11: Foto di un serramento tipo dell'edificio scolastico

Per accedere agli incentivi previsti dal Conto Termico si è ipotizzato di sostituire le finestre con infissi ad alte prestazioni energetiche con valori di trasmittanza ≤1.5 W/m^{2}K. Per accedere agli incentivi è necessario inoltre procedere congiuntamente all'installazione di valvole termostatiche.

Per l'intervento di sostituzione dei serramenti, degli avvolgibili e l'installazione di cassonetti isolati si è calcolato un costo indicativo a metro quadro pari a 420 €/m^2 (IVA compresa).

4.4.2 Valutazione costi – benefici

Analizzando un intervento di questo tipo, si ottiene una riduzione della dispersione termica attraverso i serramenti del 63%.

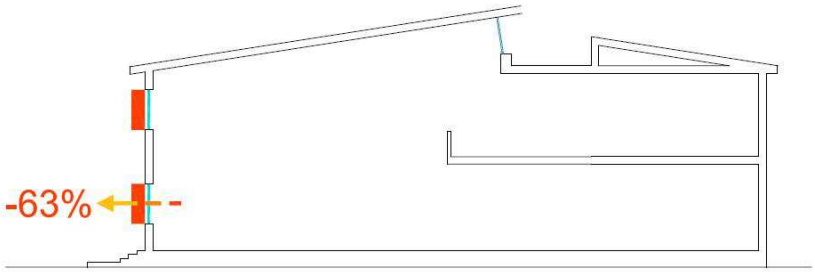


Figura 12. Riduzione della dispersione termica attraverso le finestre post sostituzione infissi

I dati ricavati dall'analisi energetico-economica dell'intervento, sono riportati in dettaglio nella tabella n. 5 allegata al paragrafo 6.

Dalla sintesi di seguito riportata si evince che **l'intervento è consigliabile dal punto di vista del risparmio energetico ma il tempo di rientro dell'investimento è piuttosto lungo** (circa 14 anni).

Un risultato di questo tipo era prevedibile in quanto l'intervento di sostituzione dei serramenti è il più costoso tra quelli analizzati ed incide in una porzione di involucro limitata (se lo relazioniamo alla spesa che comporta). L'installazione delle valvole permette di rendere apprezzabile l'intervento ma, l'incentivo previsto dal conto termico, non è sufficiente per ottenere un breve tempo di rientro dell'investimento.

SOSTITUZIONE INFISSI		
Risparmio energetico	45'872	kWh
Risparmio economico	4'432	€/anno
Costo intervento	101'140	€
Incentivo conto termico	40'456	€
Pay back	14	anni

Tabella 11: Risultati di calcolo dell'analisi energetica a seguito di sostituzione degli infissi

Dal confronto tra l'andamento mensile dei fabbisogni energetici post intervento (Grafico 5) e quello pre intervento (Grafico 1) se ne evidenzia graficamente la riduzione, inoltre si nota la diminuzione delle perdite di regolazione.

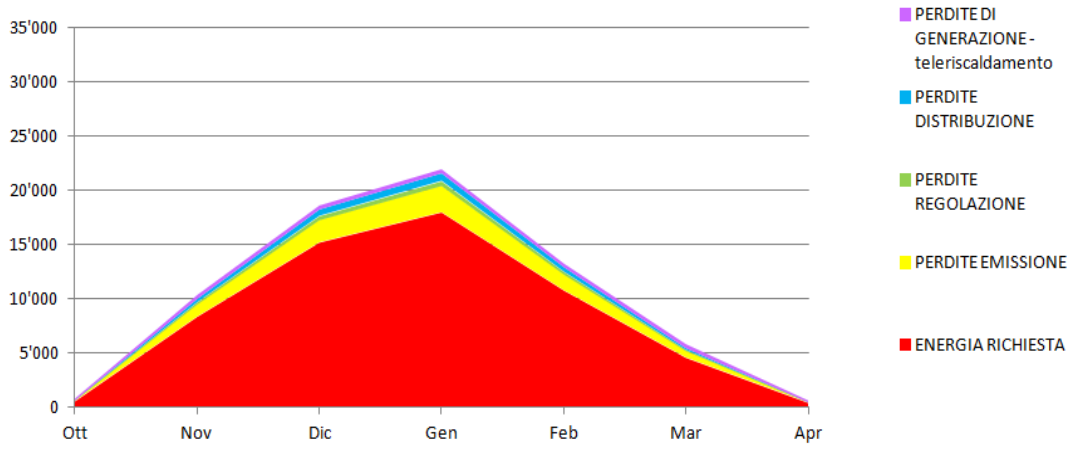


Grafico 5: Andamento mensile dei fabbisogni energetici (kWh) post sostituzione infissi e installazione valvole termostatiche

4.4.3 Certificazione energetica post intervento

Si riportano di seguito i dati relativi alla classificazione energetica dell'edificio a seguito dell'intervento ipotizzato di sostituzione infissi ed installazione di valvole termostatiche.

Indirizzo	**Via Roma, 17, 35020 Polverara (PD)**				
Riferimenti catastali	**Mp. 209, Fg. 5**				
Volume lordo riscaldato	**7'799,8**	**m^3**	**Rapporto S/V**	**0,463**	**1/m**
Superficie disperdente	**3'613,3**	**m^2**	**Superficie utile**	**1'447,6**	**m^2**
Indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i)	**29,0**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria (Ep,acs)	**0**	**kWh/m^3**			
Valore limite dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i,lim)	**16,1**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica globale (Ep,gl)	**29,0**	**kWh/m^3**			
Rendimento globale medio stagionale (η_{gn})	**100,5**	**%**			

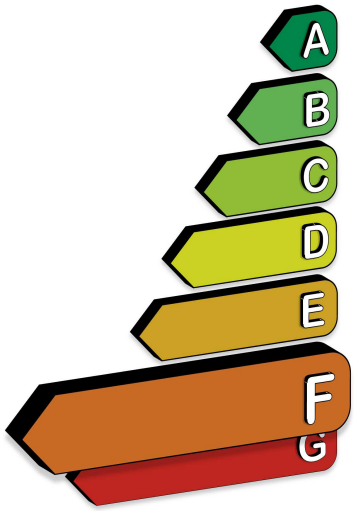


Tabella 12: Risultati di calcolo per classificazione energetica edificio post sostituzione infissi e installazione valvole termostatiche

4.5 Intervento complessivo

4.5.1 Descrizione dell'intervento

Si ipotizza di intervenire nell'edificio con una riqualificazione globale:

- Cappotto esterno;
- Isolamento copertura;
- Sostituzione serramenti;
- Valvole termostatiche.

4.5.2 Valutazione costi – benefici

Analizzando un intervento di questo tipo, si ottiene una riduzione della dispersione termica attraverso le varie componenti dell'involucro edilizio schematizzata in Figura 13. *Riduzione della dispersione termica*

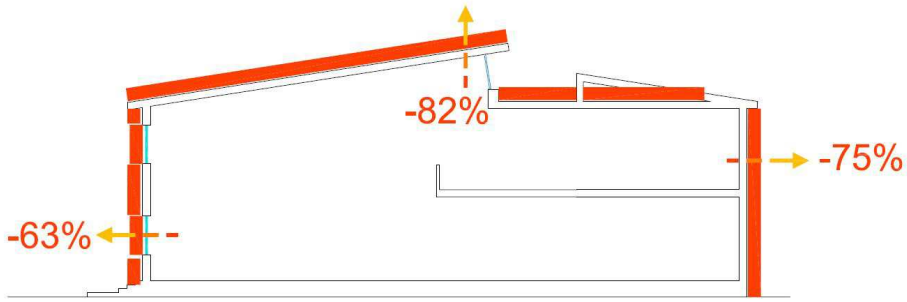


Figura 13. Riduzione della dispersione termica attraverso copertura, infissi e pareti esterne post intervento di riqualificazione globale

I dati ricavati dall'analisi energetico-economica dell'intervento, sono riportati in dettaglio nella tabella n. 6 allegata al paragrafo 6.

RIQUALIFICAZIONE GLOBALE		
Risparmio energetico	87’778	kWh
Risparmio economico	8’480	€/anno
Costo intervento	283’400	€
Incentivo conto termico	113’400	€
Pay back	20	anni

Tabella 13: Risultati di calcolo dell’analisi energetica a seguito di riqualificazione globale

Dalla sintesi riportata in Tabella 13 si evince che **l’intervento è consigliabile dal punto di vista del risparmio energetico. Dal punto di vista economico, ad un elevato risparmio (8'500 € all’anno), corrisponde un altrettanto elevato investimento (285'000 €), recuperabile in 20 anni.**

Essendo l’edificio un punto di riferimento per la comunità e per le nuove generazioni, si potrebbe comunque pensare di intervenire per promuovere un impegno di sostenibilità ambientale, che dovrebbe accompagnare ogni scelta edilizia a prescindere dal guadagno economico.

Dal confronto tra l’andamento mensile dei fabbisogni energetici post intervento (Grafico 6) e quello pre intervento (Grafico 1) se ne evidenzia graficamente la riduzione.

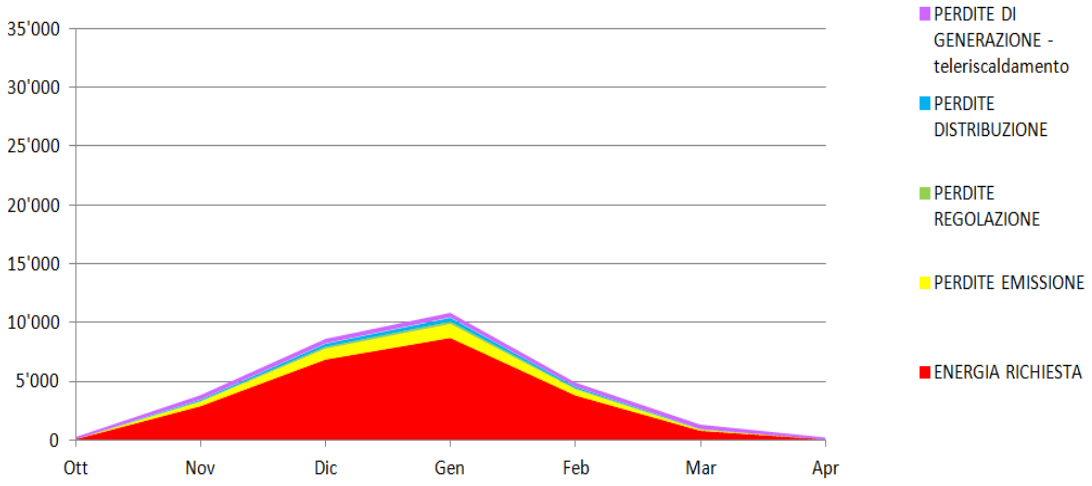


Grafico 6: Andamento mensile dei fabbisogni energetici (kWh) post riqualificazione globale

4.5.3 Certificazione energetica post intervento

Si riportano di seguito i dati relativi alla classificazione energetica dell'edificio a seguito dell'intervento ipotizzato di riqualificazione complessiva dell'edificio.

Indirizzo	**Via Roma, 17, 35020 Polverara (PD)**				
Riferimenti catastali	**Mp. 209, Fg. 5**				
Volume lordo riscaldato	**7'799,8**	**m^3**	**Rapporto S/V**	**0,463**	**1/m**
Superficie disperdente	**3'613,3**	**m^2**	**Superficie utile**	**1'447,6**	**m^2**
Indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i)	**13,7**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria (Ep,acs)	**0**	**kWh/m^3**			
Valore limite dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento (Ep,i,lim)	**16,1**	**kWh/m^3**			
Indice di prestazione energetica globale (Ep,gl)	**13,7**	**kWh/m^3**			
Rendimento globale medio stagionale (η_{gn})	**112,0**	**%**			

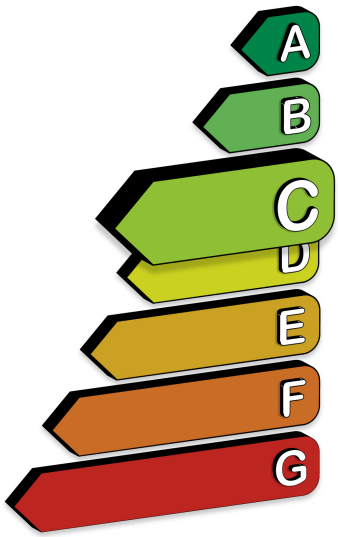


Tabella 14: *Risultati di calcolo per classificazione energetica edificio post riqualificazione globale*

5 CONCLUSIONI

Dall'analisi svolta risulta che:

- L'intervento di **installazione di valvole termostatiche risulta il più vantaggioso** in termini energetico-economici (stima del tempo di rientro dell'investimento di 5 anni);
- L'intervento di sostituzione **infissi congiuntamente all'installazione di valvole termostatiche è un intervento costoso** ma che può offrire ottimi **vantaggi in termini di risparmio energetico** (stima del tempo di rientro dell'investimento con Conto Termico di 14 anni);
- L'intervento **di riqualificazione globale è costoso** ma può offrire ottimi **vantaggi in termini di risparmio energetico**. A fronte di un lungo tempo di rientro dell'investimento (con Conto Termico circa 20 anni), si avrebbe una sostanziale riduzione dei consumi (risparmio di 8'500 € all'anno sugli 11'000 € spesi all'anno allo stato attuale);
- Gli interventi di **isolamento dell'involucro (copertura e cappottoo esterno)**, **senza alcuna modifica all'attuale sistema di regolazione sono svantaggiosi**, in quanto il contributo che potrebbero conferire all'edificio in termini di risparmio energetico non verrebbe rilevato dall'impianto termico: i radiatori continuerebbero ad emettere calore negli ambienti senza significative variazioni rispetto allo stato attuale, con il solo risultato dell'aumento della temperatura interna;
- I risultati ottenuti sono in linea con le previsioni: il tempo di rientro dell'investimento degli interventi proposti non è breve in nessun caso, tranne che per il solo intervento sulla regolazione del calore. Questo risultato è prevedibile in quanto l'amministrazione pubblica, non potendo accedere agli incentivi fiscali previsti per i privati (che arrivano a coprire il 65% delle spese), può ricevere incentivi solo accedendo al Conto Termico (che arriva a coprire il 40% delle spese sostenute richiedendo una prestazione energetica superiore a quanto previsto dalle detrazioni fiscali per i soggetti privati).

6 ALLEGATI

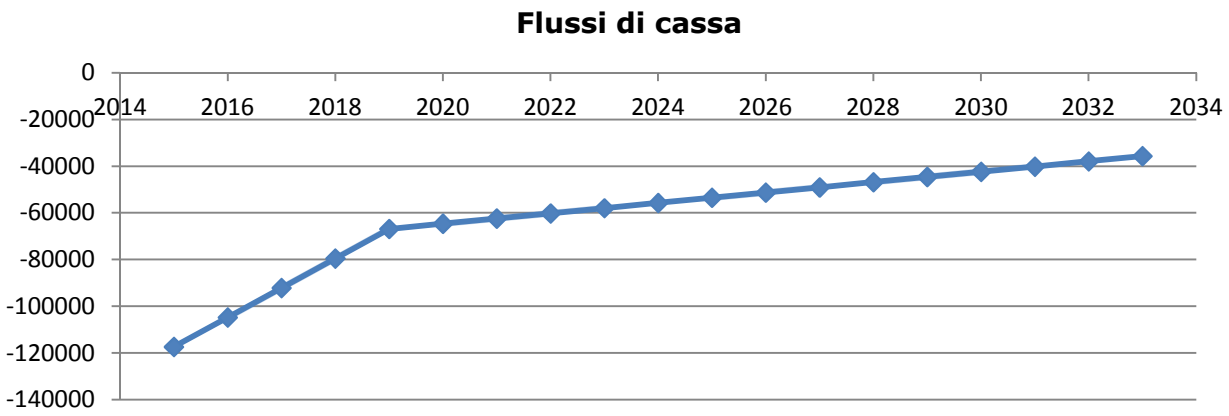
Nelle pagine seguenti vengono riportati in dettaglio i dati significativi dell'analisi svolta per ogni intervento ipotizzato.

1. ISOLAMENTO PARETI: CAPPOTTO ESTERNO

Descrizione intervento:

L'intervento prevede la posa di pannelli isolanti in poliuretano espanso di spessore 10 cm sulle pareti esterne dell'edificio e permette di accedere agli incentivi previsti dal Conto Termico.

Trasmittanza parete esterna principale	0,91	W/m^2K
Trasmittanza parete post intervento	0,23	W/m^2K
Fabbisogno energetico necessario	77'082	kWh
Rendimento impianto	63%	
Risparmio energetico	**23'038**	**kWh**
Costo specifico energia richiesta	0,097	€/kWh
Risparmio economico	**2'226**	**€/anno**
Costo intervento a m^2	100	$€/m^2$
Costo totale intervento	**130'000**	**€**
Incentivo totale Conto Termico	52'000	€
Tempo di pay back	**35**	**anni**

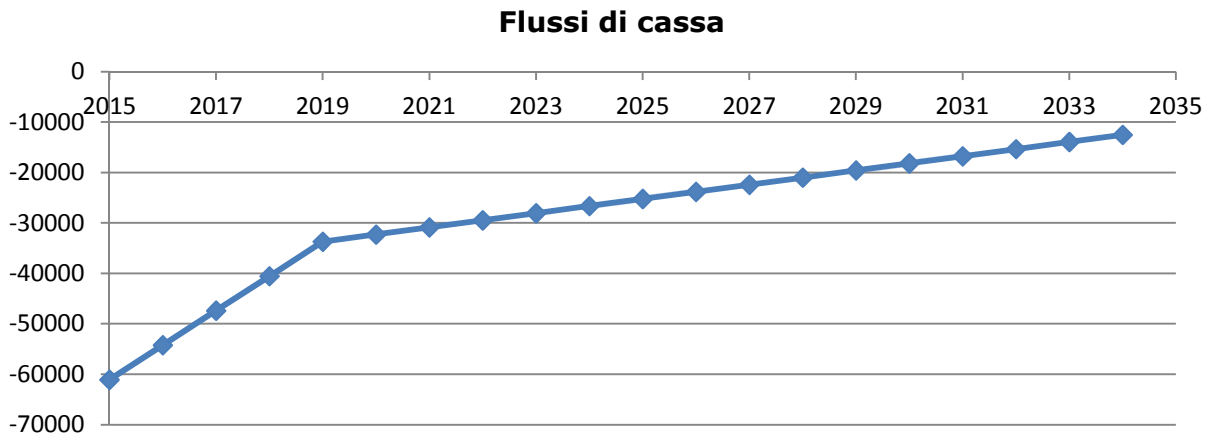


2. ISOLAMENTO COPERTURE (sol. con isolamento esterno atrio centrale)

Descrizione intervento:

L'intervento prevede la posa di isolante morbido sull'estradosso del solaio sottotetto e di isolante esterno per la copertura dell'atrio centrale; permette di accedere agli incentivi del Conto Termico.

Trasmittanza media copertura	1,10	W/m^2K
Trasmittanza copertura post intervento	0,2	W/m^2K
Fabbisogno energetico necessario	77'082	kWh
Rendimento impianto	64%	
Risparmio energetico	**14'609**	**kWh**
Costo specifico energia richiesta	0,097	€/kWh
Risparmio economico	**1'411**	**€/anno**
Costo intervento a m^2	65	$€/m^2$
Costo totale intervento	**67'925**	**€**
Incentivo totale Conto Termico	27'170	€
Tempo di pay back	**29**	**anni**

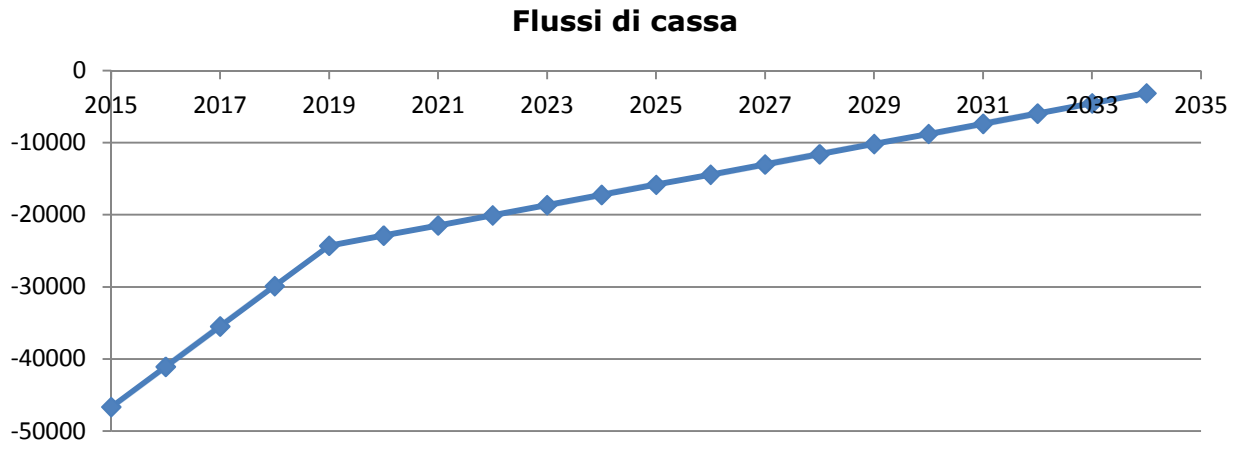


3. ISOLAMENTO COPERTURE (sol. con isolamento interno atrio centrale)

Descrizione intervento:

L'intervento prevede la posa di isolante morbido sull'estradosso del solaio sottotetto e di isolante interno per la copertura dell'atrio centrale; permette di accedere agli incentivi del Conto Termico.

Trasmittanza media copertura	1,10	W/m^2K
Trasmittanza copertura post intervento	0,20	W/m^2K
Fabbisogno energetico necessario	77'081,62	kWh
Rendimento impianto	64%	
Risparmio energetico	**14'609**	**kWh**
Costo specifico energia richiesta	0,10	€/kWh
Risparmio economico	**1'411**	**€/anno**
Costo intervento a m^2	50	$€/m^2$
Costo totale intervento	**52'250**	**€**
Incentivo totale Conto Termico	20'900	€
Tempo di pay back	**22**	**anni**

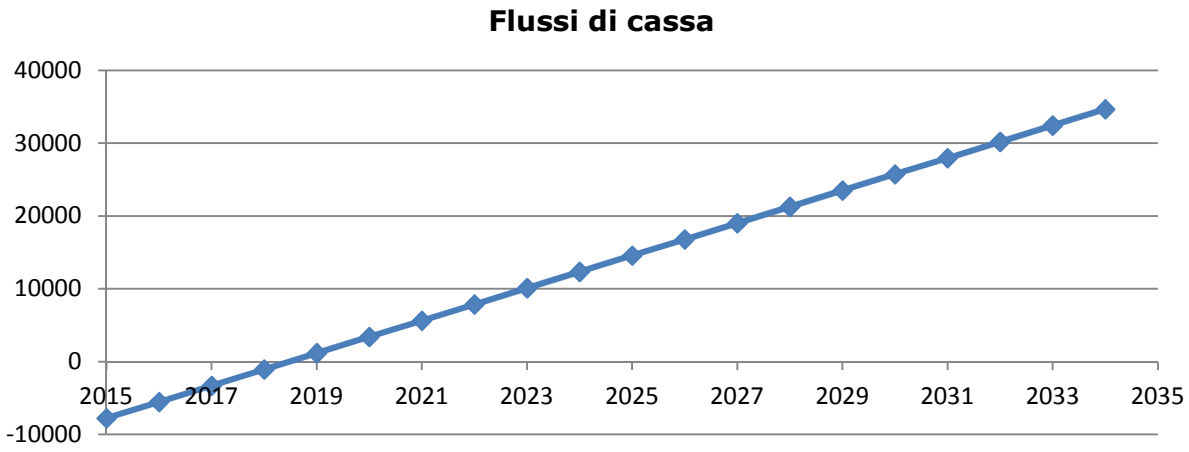


4. INSTALLAZIONE VALVOLE TERMOSTATICHE

Descrizione intervento:

L'intervento prevede l'installazione di valvole termostatiche nei radiatori per poter migliorare il sistema di regolazione dell'impianto termico.

Fabbisogno energetico necessario	77'082 kWh
Rendimento impianto	82%
Risparmio energetico	**23'117 kWh**
Costo specifico energia richiesta	0,097 €/kWh
Risparmio economico	**2'233 €/anno**
Costo totale intervento	**10'000 €**
Tempo di pay back	**5 anni**

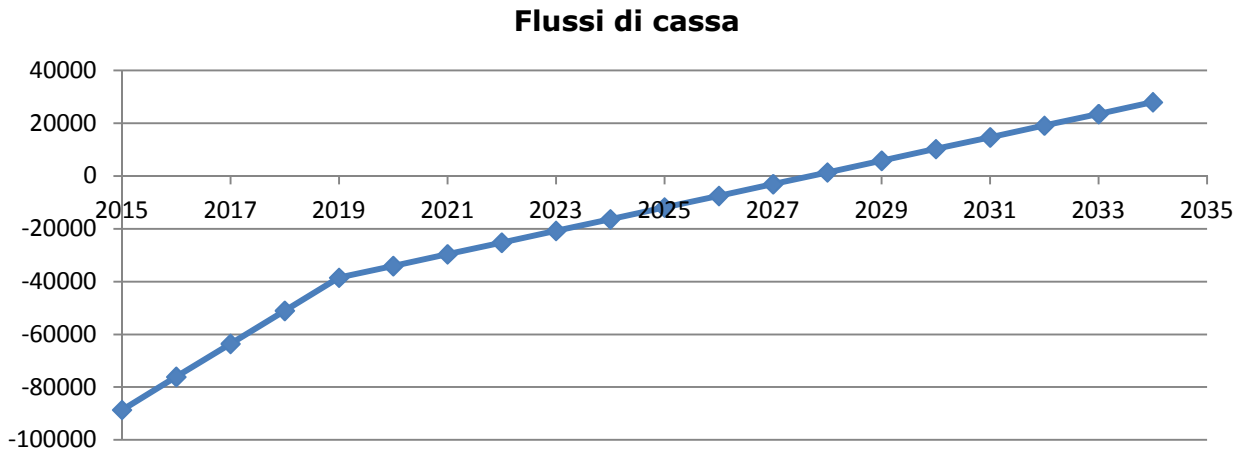


5. SOSTITUZIONE INFISSI

Descrizione intervento:

L'intervento prevede la sostituzione degli infissi originali con nuovi serramenti ad alte prestazioni energetiche e installazione di valvole termostatiche; permette di accedere agli incentivi del Conto Termico.

Trasmittanza serramento tipo	4,00	W/m^2K
Trasmittanza parete post intervento	1,5	W/m^2K
Fabbisogno energetico necessario	77'082	kWh
Rendimento impianto	81%	
Risparmio energetico	**45'872**	**kWh**
Costo specifico energia richiesta	0,097	€/kWh
Risparmio economico	**4'432**	**€/anno**
Costo intervento a m^2 per sostituzione infissi	420	$€/m^2$
Costo totale intervento: serramenti e valvole	**101'140**	**€**
Incentivo totale Conto Termico	40'456	€
Tempo di pay back	**14**	**anni**

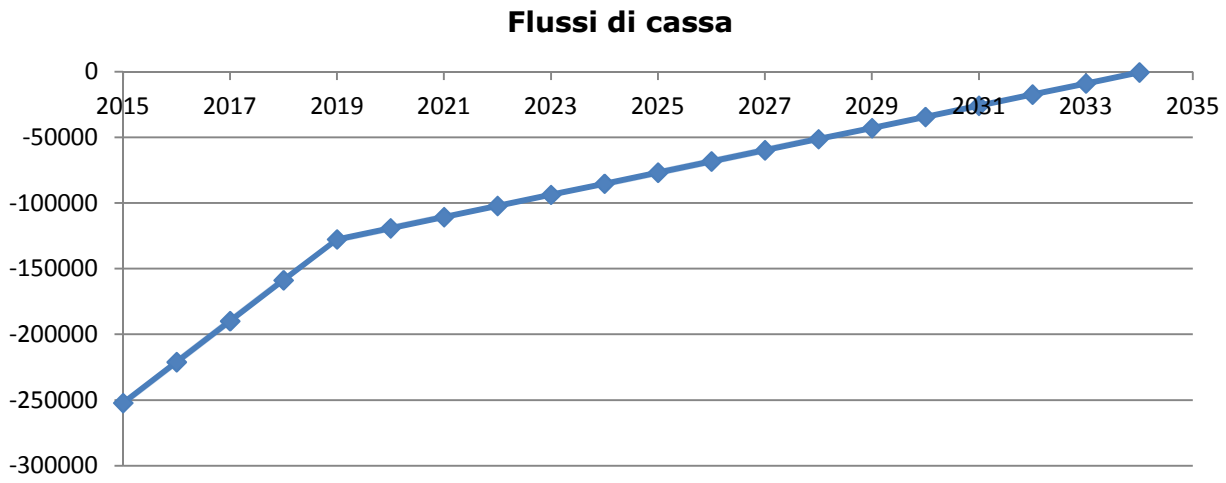


6. RIQUALIFICAZIONE GLOBALE

Descrizione intervento:

L'intervento prevede interventi di:
- isolamento copertura,
- cappotto esterno,
- sostituzione infissi,
- valvole termostatiche,

e permette di accedere agli incentivi previsti dal Conto Termico.

Fabbisogno energetico necessario	77'082	kWh
Rendimento impianto	77%	
Risparmio energetico	**87'778**	**kWh**
Costo specifico energia richiesta	0,097	€/kWh
Risparmio economico	**8'480**	**€/anno**

Costo totale intervento: serramenti e valvole	**283'390**	**€**
Incentivo totale Conto Termico	113'356	€
Tempo di pay back	**20**	**anni**