

Analisi costi - benefici
di un intervento di riqualificazione
energetica sull'esempio della scuola
elementare "Josef Gasser" di
Novacella, Varna

IRE

Istituto di
ricerca economica



CAMERA DI COMMERCIO,
INDUSTRIA, ARTIGIANATO
E AGRICOLTURA DI BOLZANO



Editore

© 2016 Camera di commercio, industria, artigianato e agricoltura di Bolzano

Via Alto Adige 60, 39100 Bolzano

Direttore Responsabile

Alfred Aberer

Publicato in dicembre 2016

Autori

Ulrich Klammsteiner (Agenzia per l'Energia Alto Adige – CasaClima)

Egon Untertrifaller (Agenzia per l'Energia Alto Adige – CasaClima)

Redazione

IRE – Istituto di ricerca economica della Camera di commercio di Bolzano

Agenzia per l'Energia Alto Adige – CasaClima

Informazioni

IRE – Istituto di ricerca economica della Camera di commercio di Bolzano

Via Alto Adige 60, 39100 Bolzano

T +39 0471 945 708

ire@camcom.bz.it

Ulteriori pubblicazioni sul sito web

www.camcom.bz.it/ire

EXECUTIVE SUMMARY

I punti salienti in breve

Un'analisi di tutti gli edifici pubblici certificati dall'Agenzia CasaClima evidenzia un notevole potenziale di riqualificazione energetica: su cento edifici, 58% rientrano nella classe energetica G, ossia in quella peggiore; nel 57% degli edifici il riscaldamento è garantito da una caldaia tradizionale che, in un caso su cinque, è alimentata a gasolio.

Ogni riqualificazione energetica, tuttavia, costituisce un caso a sé stante con varie opzioni sia per quanto riguarda gli obiettivi, sia con riferimento all'esecuzione tecnica. Il presente studio mette al vaglio, anche in un'ottica di convenienza economica, diverse alternative di intervento con riferimento alla scuola elementare "Josef Gasser" di Novacella (Comune di Varna). Le varianti di intervento considerate non vanno peraltro intese quali proposte universalmente valide: si tratta piuttosto di illustrare, sulla base del caso concreto analizzato, un approccio metodologico per la valutazione di un intervento di risanamento.

Nella fattispecie, l'analisi si è limitata ai tre scenari che presentano un'effettiva probabilità di essere attuati. La prima variante, oltre ai costi inevitabili (sostituzione delle porte, ritocchi di tinteggiatura interna, sostituzione dei dispositivi mobili di schermatura solare, ecc.), prevede anche la sostituzione delle finestre. La seconda variante prevede, inoltre, la coibentazione (fibra minerale 16 cm). Trattandosi di un edificio scolastico, in una terza variante è stata presa in considerazione l'installazione aggiuntiva di un impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore.

Oltre che dell'opportunità dal punto di vista energetico ed economico, ai fini del raffronto delle varianti di intervento si è tenuto conto anche delle possibilità di ottenere degli incentivi (GSE - Conto Termico).

Sotto l'aspetto economico la seconda variante di risanamento risulta essere la più interessante, seguita dalle varianti 1 e 3. L'ultima delle tre, se si considerano, oltre all'investimento notevole, gli elevati costi di gestione, di manutenzione e di sostituzione relativi all'impianto di ventilazione meccanica, si presenta come la variante meno conveniente economicamente.

Ciò nonostante, al termine della relazione si tratteranno i vantaggi di un impianto di ventilazione meccanica, dato che soprattutto negli edifici scolastici va dato grandissimo rilievo alla qualità dell'ambiente interno. Un impianto di ventilazione meccanica garantisce il ricambio d'aria indipendentemente dagli utenti e consente di ottenere, in maniera energeticamente efficiente, un'elevata qualità dell'aria che si ripercuote sull'attenzione e sulla produttività tanto degli alunni quanto degli insegnanti. L'aria proveniente dall'esterno viene filtrata da pollini e polveri fini, le sostanze nocive (CO₂, COV, formaldeide, radon, ecc.), che limitano il rendimento o sono addirittura dannose per la salute, vengono espulse in modo controllato. Questo valore aggiunto, tuttavia, è difficilmente quantificabile in termini economici, per cui non viene approfondito ulteriormente nell'ambito del presente studio.

INDICE

1	OBIETTIVO DELLO STUDIO	5
2	PATRIMONIO EDILIZIO PUBBLICO.....	7
2.1	Analisi del patrimonio edilizio pubblico	7
2.2	Destinazione d'uso degli edifici	7
2.3	Fonti energetiche impiegate - energia primaria	9
2.4	Emissione di CO ₂ e strategia KlimaLand	9
2.5	Fonti energetiche impiegate	10
2.6	Produzione di energia mediante caldaia tradizionale	11
2.7	Produzione di energia mediante teleriscaldamento	11
2.8	Classe di efficienza energetica degli edifici	12
2.9	Conclusioni	13
3	DESCRIZIONE DELLA SCUOLA ELEMENTARE "JOSEF GASSER"	14
3.1	Oggetto dell'incarico	14
3.2	Ubicazione e descrizione dell'immobile	14
3.3	Rilevamento dello status quo	14
3.4	Pianta	17
3.5	Impianto di riscaldamento	19
4	ANALISI COSTI - BENEFICI.....	20
4.1	Metodologia	20
4.2	Calcolo di convenienza economica	20
4.3	Programma di calcolo	20
4.4	Scenari alla base dell'analisi costi - benefici	23
4.5	Variante "zero": costi inevitabili	25
4.6	Variante 1: sostituzione finestre e costi inevitabili	26
4.7	Variante 2: fibra minerale, sostituzione finestre e costi inevitabili	29
4.8	Variante 3: Ventilazione meccanica, fibra minerale, sostituzione finestre e costi inevitabili	32
4.9	Incidenza del contesto economico	35
5	RISULTATI.....	36
5.1	Calcolo dei costi complessivi della riqualificazione energetica	36
5.2	Incentivi	41
5.3	Valutazione	44
6	QUALITÀ DELL'AMBIENTE INTERNO	45
6.1	Formaldeide	45
6.2	Anidride carbonica	46
6.3	Radon	48
7	RIEPILOGO E CONCLUSIONI.....	49

1 OBIETTIVO DELLO STUDIO

Le direttive comunitarie sull'efficienza energetica 2010/31/UE e 2012/27/UE attribuiscono alla pubblica amministrazione un ruolo esemplare nel campo del raggiungimento degli obiettivi climatici ed energetici dell'Unione Europea per il 2020, il 2030 e il 2050. Gli Stati membri devono ad esempio garantire che ogni anno il 3% degli edifici pubblici riscaldati e/o raffrescati siano risanati in modo tale da rispettare almeno i requisiti minimi di prestazione energetica stabiliti.

Il Piano Clima della Provincia di Bolzano, che descrive l'attuazione a livello regionale delle direttive comunitarie, prevede di giungere entro il 2050 a una riduzione della produzione di gas serra a 1,5 tonnellate di CO₂ per persona e anno. Per raggiungere tale obiettivo è necessario collaborare e coinvolgere la popolazione. Oltre a consentire un risparmio energetico e ad avere effetti benefici sul clima, la riqualificazione energetica contribuisce anche alla sensibilizzazione della popolazione su tali tematiche nonché all'accettazione delle direttive.

In uno spirito di incentivazione, oltre a prevedere per legge requisiti minimi, è necessario rendere economicamente interessanti i tempi di ammortizzazione degli interventi di efficientamento energetico nelle nuove costruzioni e nelle ristrutturazioni tanto nel settore privato quanto in quello pubblico (Conto Termico, programmi FESR, detrazioni fiscali, contributi provinciali, bonus cubatura, ecc.).

Un ulteriore aspetto è quello dell'edilizia sostenibile, che va ben oltre la problematica dell'efficienza energetica ed è stato recepito anche nei "Criteri Ambientali Minimi" di cui al Decreto Ministeriale del 24 maggio 2016 in materia di appalti pubblici. Questi fanno riferimento sia al complesso degli effetti esercitati sull'ambiente per tutta la durata del ciclo di vita dell'edificio, all'intensità di sfruttamento delle risorse e alla durabilità degli interventi edilizi, sia agli aspetti della qualità della vita e al benessere: l'obiettivo è quello di creare spazi abitativi confortevoli e a ridotto impatto sull'ambiente.

Ad esempio, gli impianti di ventilazione meccanica a recupero di calore installati nelle aule scolastiche non solo contribuiscono alla riduzione del fabbisogno energetico, ma si prestano innanzitutto a garantire ambienti salubri e igienici. Varie analisi effettuate sia in Italia che all'estero mostrano che, specialmente nei mesi invernali, limitandosi ad arieggiare non si ottiene una qualità dell'aria sufficientemente buona in termini di concentrazione di anidride carbonica (CO₂) e di altre sostanze dannose quali la formaldeide, i composti organici volatili (COV), il radon, ecc. Le conseguenze spaziano dalla semplice mancanza di comfort alla riduzione delle prestazioni, alla stanchezza e alla difficoltà di concentrazione, per giungere anche a situazioni nocive per la salute degli alunni e degli insegnanti.

Date queste premesse, con il presente studio si intende esaminare, basandosi sul caso concreto della scuola elementare "Josef Gasser" di Novacella (Comune di Varna), gli aspetti economici di vari scenari di intervento. A tale scopo, oltre a verificare le opere comunque necessarie per riqualificare l'edificio, sono stati sviluppati anche diversi piani di intervento tesi al miglioramento dell'efficienza energetica, che sono poi stati sottoposti a un'analisi costi -

benefici. Per valutare le condizioni dell'immobile è stato effettuato un rilevamento dello status quo e, sulla base dei dati relativi ai consumi degli ultimi anni, mediante il software di calcolo "ProCasaClima 2015" è stato predisposto un modello con cui analizzare le varie opzioni di risanamento. Nell'ambito dell'analisi costi - benefici si descrivono esclusivamente gli aspetti economici del risanamento. Gli interventi comunque necessari e i dettagli delle soluzioni tecniche previste per ciascun intervento (scelta dei sistemi e dei materiali per la coibentazione, finestre, ecc.) erano già stabiliti a priori, per cui a tale riguardo non sono state svolte analisi né valutazioni di carattere ecologico.

Lo studio è stato commissionato dall'IRE - Istituto di ricerca economica della Camera di commercio di Bolzano.

2 PATRIMONIO EDILIZIO PUBBLICO

2.1 Analisi del patrimonio edilizio pubblico

Le analisi dei parametri di influenza, delle condizioni generali e dell'esempio concreto evidenziano che sono molti i fattori che incidono sulla fattibilità di un risanamento efficiente ed economicamente ottimale. Nello sviluppo di scenari di risanamento specifici è pertanto utile disporre di una visione d'insieme del patrimonio edilizio pubblico come tale, al fine di avere un termine di paragone per la valutazione delle caratteristiche dell'immobile in questione.

Per analizzare il potenziale di risparmio presentato dagli immobili pubblici si è fatto riferimento a tutti gli edifici certificati dall'Agenzia CasaClima a partire dal 2003 (certificati per edifici esistenti, nuove costruzioni, risanamenti). Allo scopo sono state analizzate 836 serie di dati relative ad altrettanti edifici. Questa notevole mole di dati consente quindi di procedere a un'analisi rappresentativa. In termini numerici, la maggior parte degli edifici pubblici in Alto Adige è di proprietà dei Comuni. Seguono la Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige e l'Istituto per l'edilizia sociale. Un numero esiguo di edifici è di proprietà dello Stato o delle comunità comprensoriali. Tra gli immobili presi in esame si riscontrano tutti i possibili tipi di utilizzo: essi comprendono immobili a uso ufficio, edifici abitativi, strutture sportive, ricoveri e abitazioni per anziani, rifugi, scuole, asili e altri immobili di interesse pubblico. La banca dati delle certificazioni non contiene indicazioni in merito alla classe di vetustà degli edifici.

2.2 Destinazione d'uso degli edifici

Per mezzo dei dati relativi agli 836 edifici è stato appurato che gli immobili a uso abitativo costituiscono il gruppo numericamente più consistente, il che può essere ricondotto all'elevato numero di edifici appartenenti all'Istituto per l'edilizia sociale. Nel 48% dei casi i dati riguardano "edifici plurifamiliari", il secondo posto è occupato dal gruppo (generico) degli "edifici pubblici", che incidono al 19%, al terzo posto si trovano le "scuole", con un peso dell'11%. L'incidenza degli edifici di altro tipo è marginale o, comunque, inferiore al 10%.

Il volume riscaldato lordo medio è pari a 7.659 m³. La superficie netta riscaldata per piano è pari a 1.232 m², il valore medio è pari a 740 m². La distribuzione presenta tuttavia una notevole dispersione, essendo la superficie netta per piano inferiore a 50 m² nell'edificio più piccolo e pari a 29.710 m² in quello più grande. L'edificio presenta un fabbisogno medio di energia per riscaldamento riferito all'ubicazione pari a 197 kW/m² annui, il che costituisce un primo indizio per quanto riguarda la presenza di un elevato potenziale di risparmio energetico.

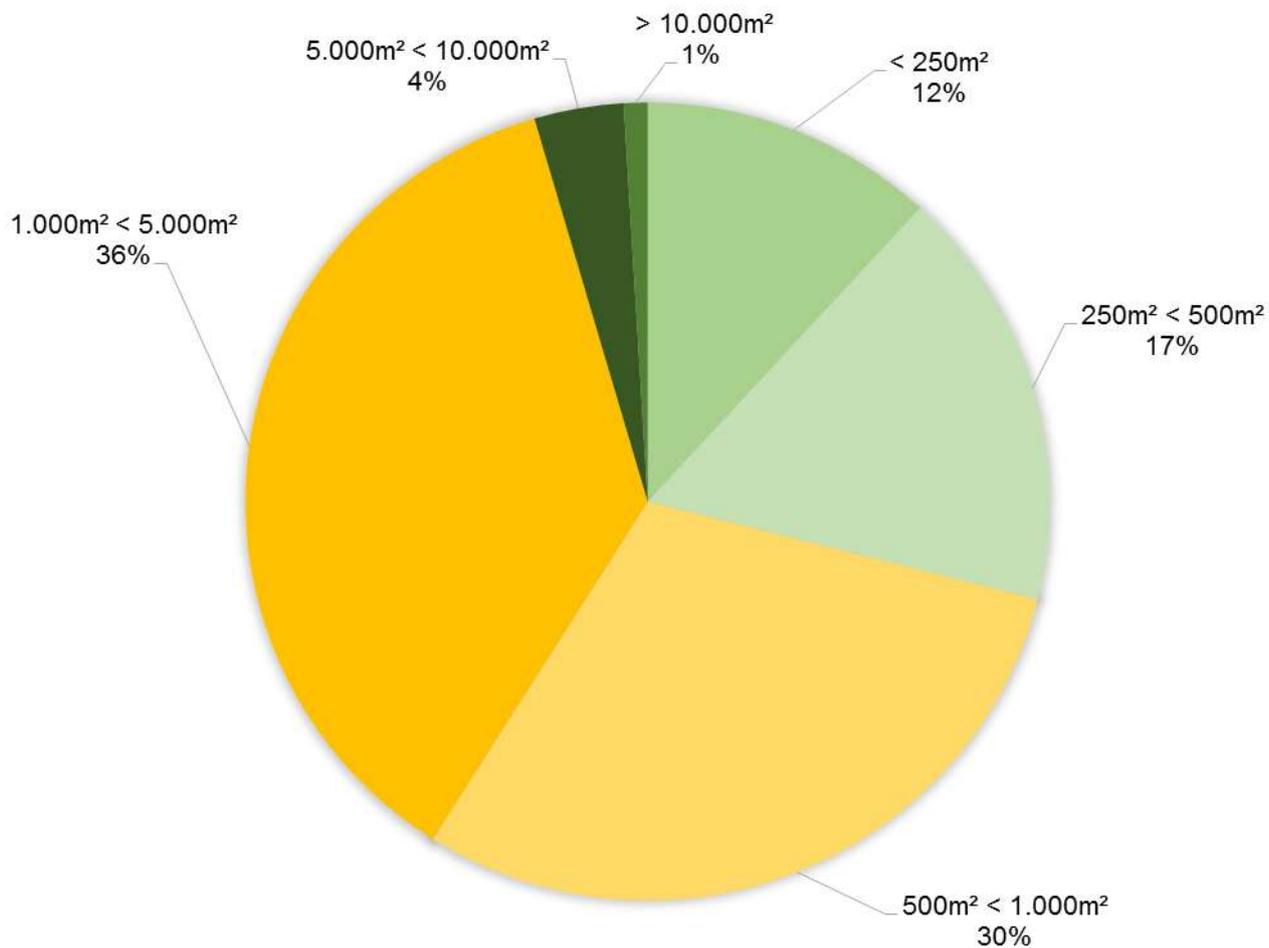


Diagramma A: Distribuzione degli edifici in base alla superficie netta riscaldata per piano

Va rilevato che, in base alle direttive comunitarie e alla delibera della Giunta Provinciale n. 362/2013, tutti gli edifici pubblici con una superficie utile superiore a 250 m² e con forte affluenza di pubblico devono essere dotati di certificato energetico, che deve essere esposto in un punto ben visibile. In tal modo ogni cittadino può conoscere l'efficienza complessiva dell'edificio in questione e, eventualmente, confrontarla con quella di qualsiasi altro immobile. La norma è finalizzata alla sensibilizzazione della popolazione alle misure di risparmio energetico e di tutela del clima.

2.3 Fonti energetiche impiegate - energia primaria

Il fabbisogno energetico medio calcolato non consente da solo di verificare l'attuabilità effettiva degli interventi sugli edifici di proprietà pubblica. Per questo motivo è stato dato particolare rilievo all'impiantistica nonché alla produzione di energia per riscaldamento e acqua calda sanitaria e alle relative fonti energetiche. Le serie di dati inserite nella banca dati prima del 2015 non comprendono tale informazione, per cui si riduce di 499 unità, passando da 836 a 337, il numero di serie di dati con riferimento alle quali è nota la fonte energetica. Si tratta tuttavia pur sempre di una quantità di dati rappresentativa.

2.4 Emissione di CO₂ e strategia KlimaLand

Un eccessivo consumo energetico si esprime innanzitutto in un aumento dei costi di gestione dell'edificio. Vengono consumate risorse che potrebbero essere impiegate più utilmente per altri scopi. La riqualificazione energetica degli edifici pubblici, peraltro, non è consigliabile solo per ragioni prettamente economiche, ma ha senso anche dal punto di vista ambientale, oltre che sotto l'aspetto dell'innalzamento del comfort.

Gli obiettivi dell'Unione Europea e della Provincia di Bolzano sono ambiziosi: una riduzione delle emissioni di CO₂ a 1,5 tonnellate per abitante e anno e una riduzione della potenza continua a 2.200 Watt pro capite entro il 2050. Per raggiungere questi obiettivi è necessario, in particolare, migliorare lo stato del patrimonio edilizio, considerato che le emissioni di CO₂ sono attribuibili per il 40% circa proprio all'edilizia. Un consumo modesto di combustibili fossili comporta anche una ridotta emissione del gas serra CO₂ in atmosfera. Lo studio mette in luce come attraverso interventi di riqualificazione energetica riguardanti l'involucro dell'edificio sia possibile, pur mantenendo l'attuale combustibile, ridurre sensibilmente le emissioni di CO₂ equivalente.

Questi interventi di risanamento sono agevolati anche dallo Stato e dalla Provincia: sono stati predisposti programmi e strumenti di varia natura, dalla detrazione fiscale alle sovvenzioni dirette (Conto Termico 2.0). È prevista anche la possibilità di ottenere un premio per ogni tonnellata equivalente di petrolio non consumata (TEE - "Titoli di Efficienza Energetica", noti anche come "Certificati Bianchi").

La Provincia di Bolzano ha inoltre messo a disposizione fondi FESR per dare una spinta agli interventi di riqualificazione energetica di edifici pubblici. Anche attraverso il progetto UE SINFONIA, al quale collaborano l'EURAC, l'Agenzia CasaClima, l'Istituto per l'edilizia sociale e il Comune di Bolzano, si può per la prima volta usufruire di contributi diretti per interventi di riqualificazione energetica. L'illustrazione dettagliata di tutti gli incentivi possibili e disponibili esulerebbe dal tema del presente documento. La pubblica amministrazione in veste di committente ha comunque interesse, prima di dare corso ai lavori di ristrutturazione, a informarsi dettagliatamente in merito alle possibilità di ottenere contributi al fine di ridurre i tempi di ammortizzazione.

2.5 Fonti energetiche impiegate

Stando ai dati analizzati, il combustibile maggiormente utilizzato per la produzione di energia destinata agli edifici pubblici è il gas. Il gas naturale viene utilizzato nel 59% degli edifici. Il più delle volte ci si affida alla caldaia tradizionale e solo in rari casi è del tipo a condensazione. La biomassa è utilizzata nel 26% dei casi, il 21% degli edifici è riscaldato a legna (cippato), il 4% con pellets e l'1% con legna in ciocchi. Il combustibile è rappresentato dal gasolio nel 12% degli impianti, per cui nel complesso il 71% degli impianti è alimentato da fonti energetiche di origine fossile.

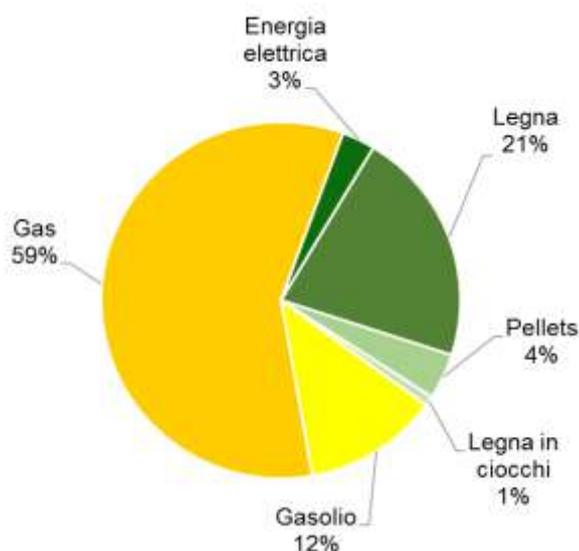


Diagramma B: Rappresentazione grafica dell'incidenza delle varie fonti energetiche utilizzate per gli edifici pubblici

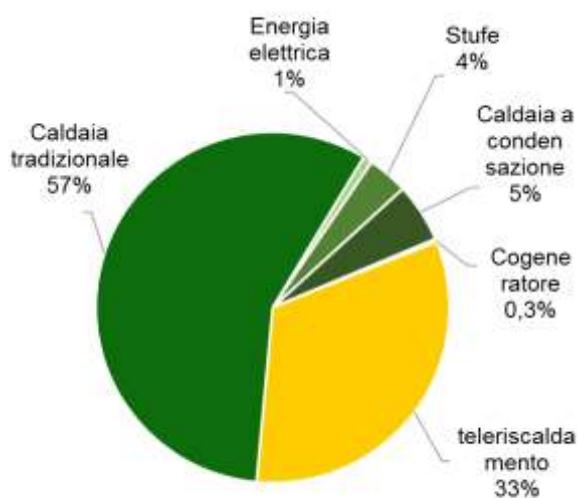


Diagramma C: Rappresentazione delle fonti energetiche utilizzate negli edifici pubblici.

2.6 Produzione di energia mediante caldaia tradizionale

Dei 338 edifici complessivamente analizzati, il 57% è riscaldato mediante caldaia tradizionale e solo nel 5% degli edifici si tratta di una caldaia a condensazione. Ne deriva che, in virtù di questa percentuale elevata, gli edifici pubblici presentano un potenziale di miglioramento notevole, a partire dall'equilibratura idraulica fino alla sostituzione dell'intero impianto di riscaldamento. Per quanto riguarda la potenza installata delle singole caldaie, non sono stati effettuati rilevamenti dettagliati.

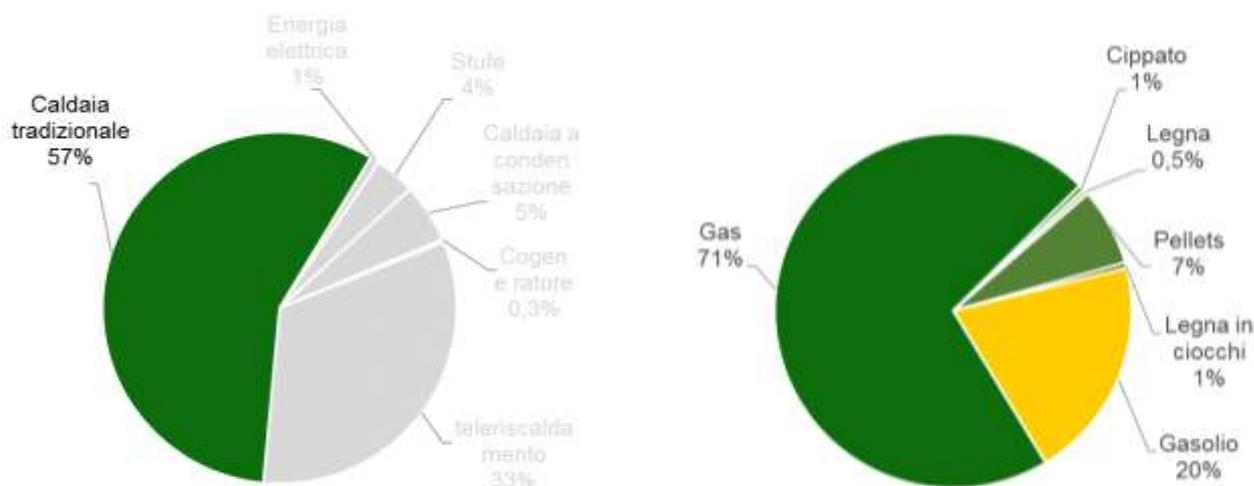


Diagramma D: La caldaia tradizionale è il generatore di calore più diffuso con un'incidenza del 57%.

Diagramma E: Rappresentazione grafica dell'incidenza dei vari combustibili ai fini della produzione di calore mediante caldaia tradizionale.

Queste caldaie sono in massima parte alimentate a gas (71%). Va tuttavia tenuto presente che il gasolio continua a giocare un ruolo di rilievo, essendo utilizzato come combustibile nel 20% di tutte le caldaie. La fonte energetica meno diffusa nei sistemi di riscaldamento a caldaia tradizionale è data dalla biomassa (9%), con una netta prevalenza dei pellets (7%).

2.7 Produzione di energia mediante teleriscaldamento

La fonte energetica al secondo posto per diffusione è rappresentata dal teleriscaldamento, al quale fa ricorso un terzo degli edifici considerati. In termini di quantità, il combustibile utilizzato per le reti di teleriscaldamento in Alto Adige è rappresentato al 90% circa da biomassa. Negli edifici in esame la biomassa incide per il 59%. In un terzo delle centrali di teleriscaldamento che approvvigionano gli edifici pubblici si utilizzano combustibili fossili per la generazione di energia termica, e il 31% degli impianti è alimentato a gas. Solo nell'1% degli impianti di teleriscaldamento si utilizza il gasolio come fonte energetica.

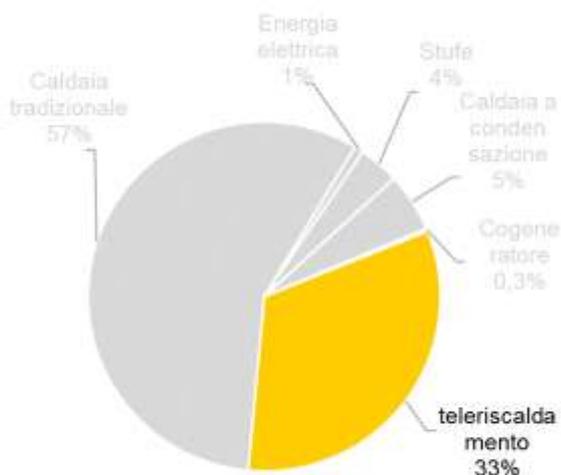


Diagramma F: Il teleriscaldamento è la seconda fonte di calore più diffusa con un'incidenza del 33%.

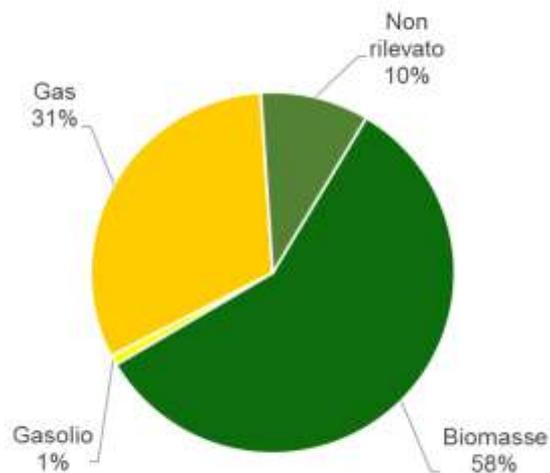


Diagramma G: Rappresentazione grafica dell'incidenza delle varie fonti energetiche nella produzione di calore nelle centrali di teleriscaldamento

2.8 Classe di efficienza energetica degli edifici

Considerando la classe di efficienza energetica degli 836 edifici, si osserva che oltre la metà (il 58%) degli stessi si posiziona in classe G (la peggiore). Le rimanenti serie di dati riguardano le classi da A a F. Va fatto presente che le classi A e B rappresentano le certificazioni di edifici di nuova costruzione. È verosimile che gli edifici pubblici costruiti prima dell'entrata in vigore delle direttive CasaClima (2005) siano classificati nella classe di efficienza energetica G, ossia la peggiore. In linea di principio il potenziale di risparmio economico è tanto più elevato, quanto più scarsa è l'efficienza energetica dell'edificio nella situazione di partenza.

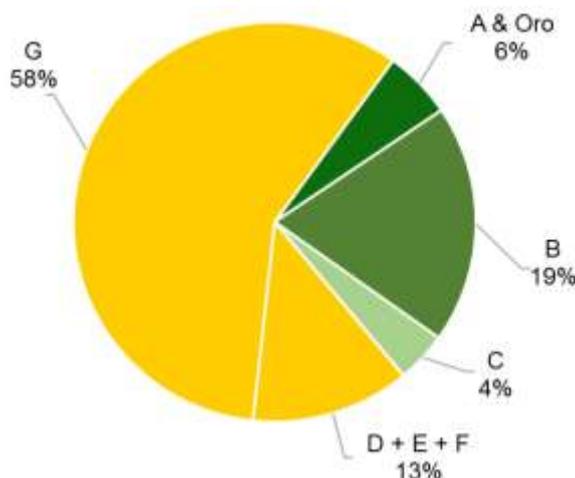


Diagramma H: Suddivisione degli edifici pubblici per classi di efficienza energetica

2.9 Conclusioni

Attingendo alla banca dati delle certificazioni CasaClima è stata stilata una statistica rappresentativa del fabbisogno energetico degli edifici pubblici e delle fonti energetiche utilizzate. Va rilevato che il 58% degli edifici fa parte della classe G e che, di conseguenza, in molti edifici pubblici un intervento di riqualificazione energetica potrebbe fare diminuire sensibilmente i costi di riscaldamento. I vari incentivi consentono di ridurre non solo i costi energetici, ma anche i tempi di ammortizzazione.

A questo proposito si deve tuttavia far notare espressamente che ogni progetto, a prescindere dall'esempio di seguito analizzato, deve essere attentamente valutato con riferimento ai seguenti aspetti:

- classe di vetustà
- necessità di interventi di manutenzione – condizioni del patrimonio edilizio e degli impianti
- determinazione dei costi inevitabili (impalcatura, intonaco, tinteggiatura, ecc.)
- analisi della destinazione attuale e futura
- definizione degli obiettivi (non soltanto energetici) degli interventi di risanamento
- condizioni generali da considerare (es. tutela monumentale)
- piano strategico dell'amministrazione (elenco delle priorità)
- disponibilità di risorse finanziarie
- sfruttamento degli incentivi

Soltanto dopo un attento rilevamento dello status quo e l'analisi dei punti di cui sopra si può passare alla pianificazione e alla successiva esecuzione dei lavori.

3 DESCRIZIONE DELLA SCUOLA ELEMENTARE “JOSEF GASSER”

3.1 Oggetto dell’incarico

L’Agenzia per l’Energia Alto Adige – CasaClima è stata incaricata dall’IRE – Istituto di ricerca economica di svolgere un’analisi costi - benefici con riferimento alla riqualificazione energetica della scuola elementare “Josef Gasser” di Novacella (Comune di Varna). L’incarico comprende il rilevamento dello status quo e la diagnosi energetica della situazione di partenza, la predisposizione di vari scenari di efficientamento energetico e il raffronto delle opzioni sotto l’aspetto sia energetico che economico.

3.2 Ubicazione e descrizione dell’immobile

La scuola elementare “Josef Gasser” è situata a un’altitudine di 600 m s.l.m. nella frazione di Novacella del Comune di Varna. L’edificio scolastico è progettato per circa 100 alunni ed è composto da una zona per le attività didattiche e per l’amministrazione, che si sviluppa su tre piani e complessivamente 6 aule, un’abitazione per il custode nonché una palestra multifunzionale con tetto in struttura di legno lamellare.

L’edificio scolastico è libero verso sud e verso ovest e sul lato sudovest, in posizione soleggiata, si trova il cortile della scuola. Verso nord e verso est l’edificio è stato in parte integrato nel terreno. La costruzione esistente risale agli anni ottanta del secolo scorso e presenta una facciata caratterizzata da numerosi aggetti e rientri nonché un tetto estremamente complesso. Le strutture portanti e gran parte della facciata esterna sono realizzate in laterizio e, in parte, in calcestruzzo armato. Il tetto è costituito da una struttura in legno.

3.3 Rilevamento dello status quo

Dopo un utilizzo trentennale l’immobile necessita di un intervento di manutenzione straordinaria: le finestre in legno presentano dei difetti che ne riducono il funzionamento. Anche alcuni sistemi di schermatura solare non sono più funzionanti. Non sono stati rilevati danni di particolare rilievo (es. infiltrazioni d’acqua). Sotto l’aspetto energetico l’edificio presenta un elevato rapporto tra superficie e volume disperdenti nonché vari ponti termici.

Di seguito è riportato un prospetto in cui sono descritti, per ciascun elemento costruttivo, i difetti riscontrati.

Elemento costruttivo	Descrizione	Valore U / valore Psi	Difetti
Parete	Laterizio 38cm	0,86 W/(m ² K)	Intonaco esterno
Tetto	Struttura in legno con 8 cm di coibentazione	0,39 W/(m ² K)	Nessun difetto evidente o comunicato dall'amministrazione competente
Finestre	Telaio in legno con doppio vetro	2,7 W/(m ² K)	Segni di usura
Pavimento	Calcestruzzo armato non coibentato	2,6 W/(m ² K)	Dal punto di vista tecnico e finanziario un risanamento non appare opportuno
Altri elementi costruttivi	Ponti termici balcone, aggetto, ecc.	0,8 – 1,0 W/(mK)	Nell'ambito del risanamento potrebbero essere eliminati dei ponti termici come, per esempio, quelli in corrispondenza della scala di accesso alla vecchia abitazione del custode.

Dal calcolo energetico CasaClima applicato all'edificio esistente è risultato, tenendo conto del fabbisogno di acqua calda sanitaria e della perdite di calore dell'impianto, un consumo di calore teorico (energia finale) pari a 216 kWh/m²a. In base ai dati relativi ai consumi rilevati nei periodi di riscaldamento 2013/2014 nonché 2014/2015 il consumo medio effettivo è pari a 92,5 kWh/m²a. Il notevole scostamento tra il fabbisogno determinato con metodi standardizzati e il consumo effettivo è dovuto alla specifica destinazione a uso non abitativo dell'edificio (scuola). Questo aspetto sarà approfondito in dettaglio nel capitolo 4.3.

Va qui annotato che, con riferimento agli edifici di abitazione (mono-, bi-, plurifamiliari), il software di calcolo CasaClima rileva il consumo effettivo di calore, in virtù delle condizioni limite previste, con estrema precisione, per cui non si presentano divergenze come quelle riscontrabili nel caso degli edifici adibiti a uso non abitativo.



Prospetto nord



Prospetto est



Prospetto sud



Prospetto ovest

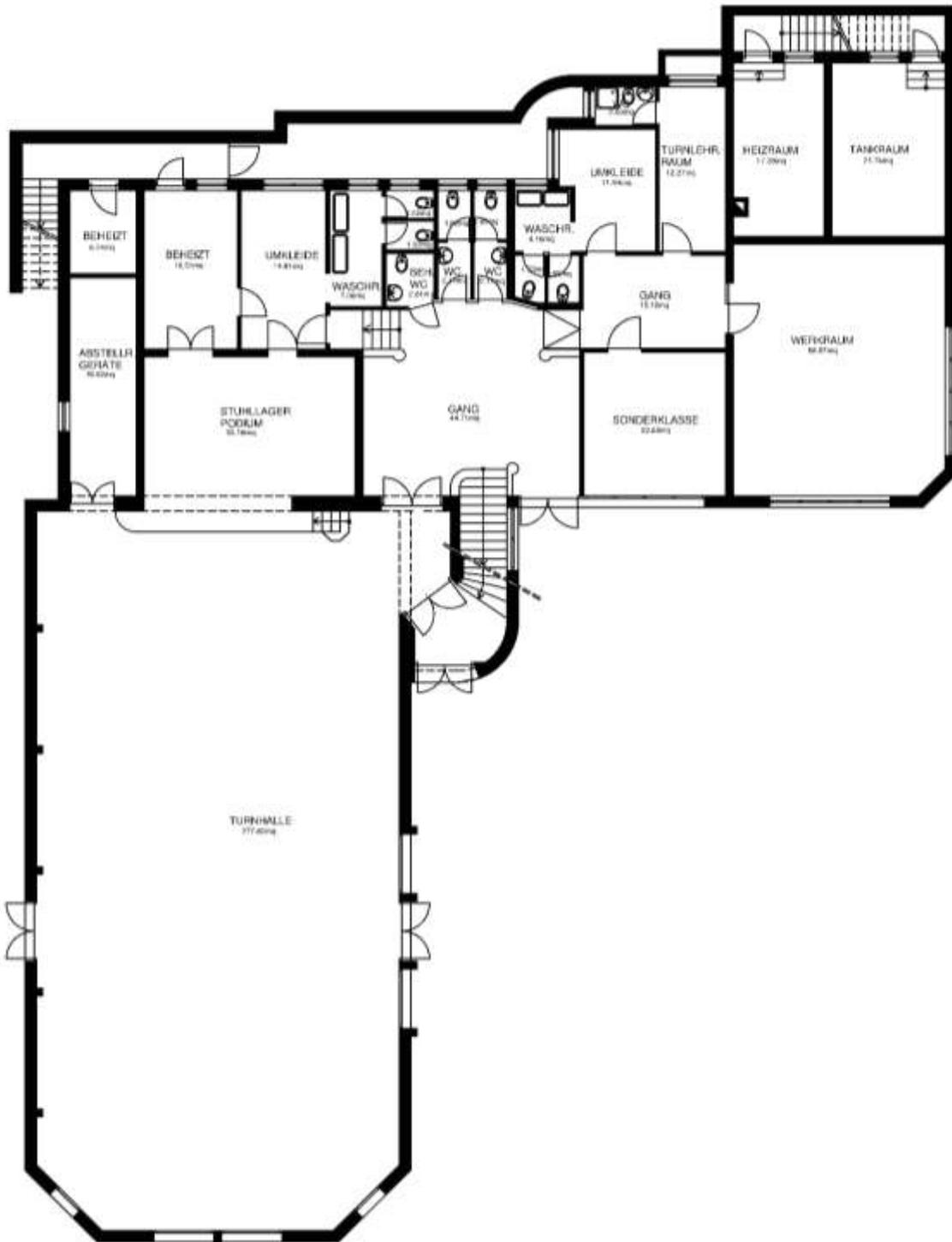


Prospetto sud



Prospetto ovest

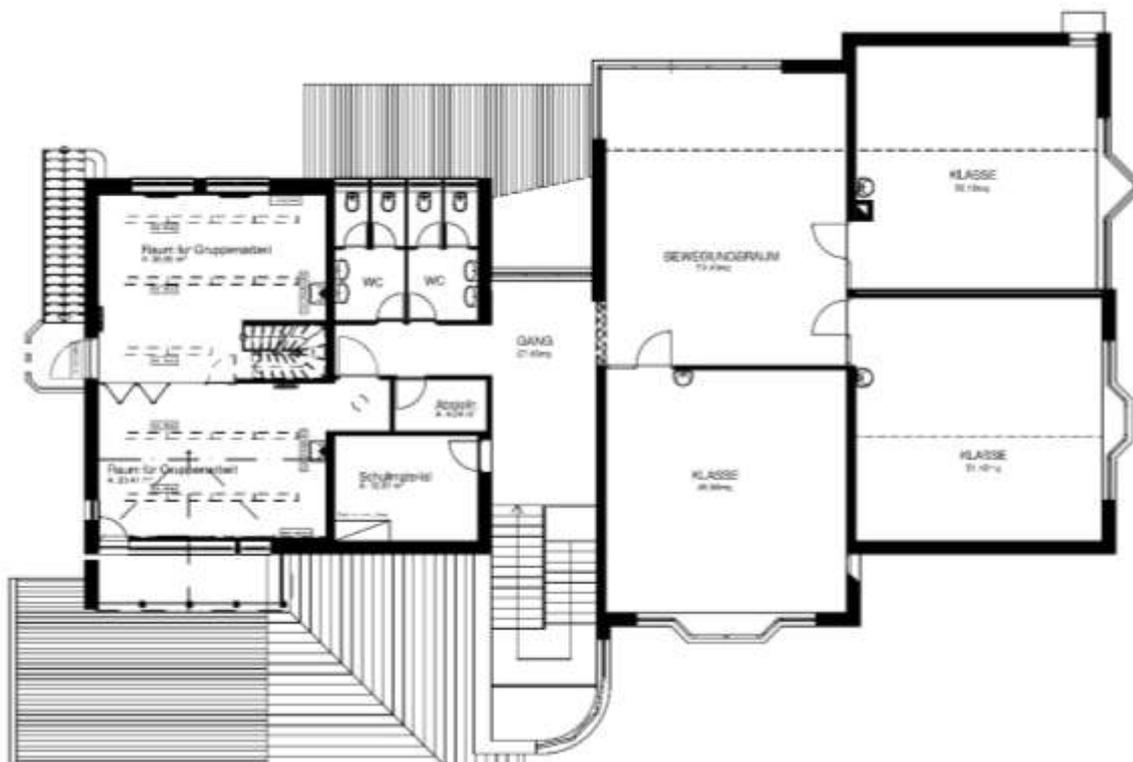
3.4 Pianta



Pianta A: Pianta piano interrato con palestra



Pianta B: Pianta piano terra



Pianta C: Pianta piano superiore

3.5 Impianto di riscaldamento

Fino a tutta la stagione invernale del 2007 - 2008 il calore veniva prodotto per mezzo di una caldaia tradizionali alimentata a gasolio. Nel 2008, quando l'edificio è stato allacciato alla rete di teleriscaldamento, questa è stata dismessa. La centrale di teleriscaldamento di Varna è situata nei pressi dell'edificio, è di proprietà del Comune e viene alimentata a biomassa. Da quando l'edificio scolastico è stato allacciato alla rete di teleriscaldamento, i consumi annui di calore oscillano tra 120.000 e 130.000 kWh. Si tratta di un valore nettamente inferiore a quello di una casa di abitazione di pari superficie netta riscaldata, visto che una scuola presenta un utilizzo diverso e, per esempio il pomeriggio, il fine settimana e durante le vacanze, non viene utilizzata o viene utilizzata con altre funzioni.

Durante l'inverno l'edificio scolastico rimane chiuso per tre settimane, per cui il fabbisogno di riscaldamento risulta inferiore a quello di un immobile a uso abitativo. Nel calcolo CasaClima si è tenuto conto delle ore effettive di riscaldamento. Gli attuali costi di manutenzione sono inferiori a quelli precedenti grazie al fatto che l'allacciamento alla rete di teleriscaldamento rende superfluo l'intervento annuale sul camino e sulla caldaia.

4 ANALISI COSTI - BENEFICI

4.1 Metodologia

L'analisi si è svolta secondo le seguenti fasi:

- rilevamento dello status quo, raccolta dati e verifica della situazione di partenza
- determinazione del consumo energetico attuale
- valutazione energetica dell'edificio attuale
- adeguamento dei risultati di calcolo al profilo degli edifici destinati a un uso non abitativo
- elaborazione degli scenari di intervento
- predisposizione del calcolo energetico per ciascuno scenario
- calcolo del costo dei singoli interventi di risanamento
- predisposizione dell'analisi costi - benefici

La valutazione energetica è stata effettuata con l'ausilio del software di calcolo ProCasaClima 2015 elaborato dall'Agenzia CasaClima. Oltre a consentire il calcolo energetico, il software comprende anche uno strumento per l'analisi costi - benefici. Per tutti i calcoli dei costi complessivi eseguiti per mezzo del software ci si è attenuti alla norma EN 15459 nonché alle disposizioni nazionali. I calcoli riguardanti i tempi di ammortamento, le variazioni del tasso di interesse, ecc. sono stati effettuati secondo quanto previsto dalla norma. Tutte le eventuali variazioni sono richiamate nella presente relazione (vedasi punti 4.2 e 4.3).

4.2 Calcolo di convenienza economica

Il calcolo della convenienza economica degli investimenti da effettuare si basa, oltre che sull'attuale situazione economica (settembre 2016) sulle seguenti ipotesi: tasso d'interesse nominale = 0,0%, tasso d'inflazione = 0,0% tasso di variazione dei prezzi dell'energia (energia elettrica, biomassa e fonti fossili) = 0,0%. Si è inoltre ipotizzato che il Comune disponga di mezzi propri sufficienti per i lavori in programma, in modo tale che non sia necessario fare ricorso al credito. Non si è tenuto conto, infine, di eventuali ribassi percentuali, che nelle gare possono essere anche a due cifre.

4.3 Programma di calcolo

Il software utilizzato a supporto del calcolo energetico è stato sviluppato dall'Agenzia per l'Energia Alto Adige – CasaClima ed è oramai molto sofisticato e affidabile. Il metodo di calcolo energetico si basa sulle norme nazionali UNI TS 11300, secondo le quali si applicano procedure standardizzate anche agli edifici non abitativi. Il calcolo in base alla norma prevede per l'intera stagione di riscaldamento un funzionamento di 24 ore al giorno a una temperatura ambiente di 20° C, senza abbassamento notturno e senza altre riduzioni

connesse al mancato utilizzo dell'edificio. Di conseguenza, i tempi di effettivo utilizzo dell'edificio (scuola) si discostano dal calcolo del fabbisogno in base alle norme. La scuola viene occupata prevalentemente durante la mattinata e solo in determinati giorni anche il pomeriggio. L'edificio rimane chiuso per tre settimane durante il periodo di riscaldamento, oltre che ogni sabato e ogni domenica, fatta eccezione per la palestra che al di fuori degli orari scolastici viene utilizzata anche da alcune associazioni nonché come sala multifunzione del Comune. La riduzione della temperatura nel periodo in questione riduce notevolmente il fabbisogno energetico. Non si è tenuto conto degli apporti interni di calore, che nel caso di una scuola tendono a essere maggiori per via del numero proporzionalmente elevato di persone in un locale. Questi, infatti, vengono compensati dalle perdite di calore dovute alla necessità di ricambiare l'aria con maggiore frequenza. Il fenomeno può essere illustrato efficacemente per mezzo del diagramma seguente, in cui sono evidenziati gli effetti prebound e rebound:

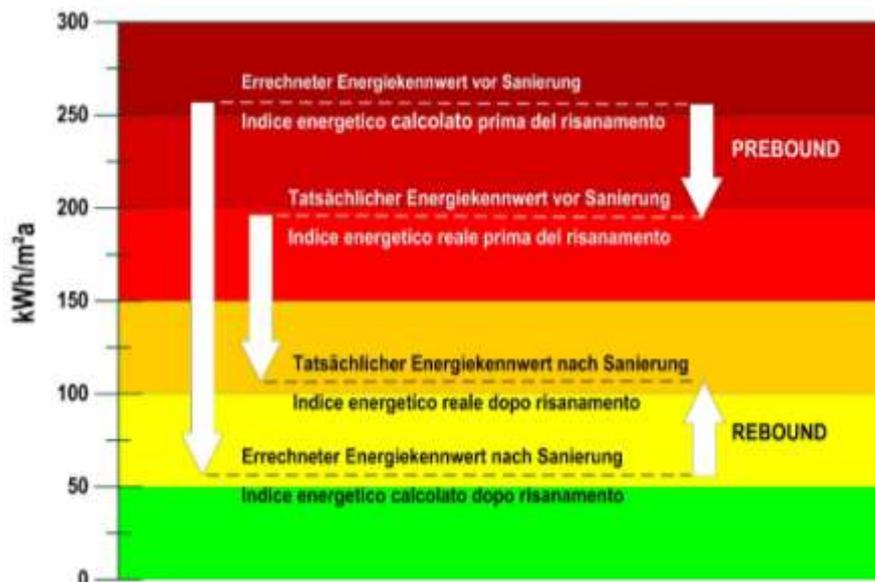


Immagine 1: Effetti prebound e rebound

A causa degli effetti prebound e rebound, in pratica molte volte il risparmio si rivela inferiore alle aspettative e i tempi di ammortizzazione di un intervento di riqualificazione energetica finiscono per essere molto più lunghi di quanto previsto in fase di progettazione. Il primo effetto rappresenta la situazione in cui i consumi effettivi spesso sono notevolmente inferiori a quelli teorici calcolati. Le cause sono molteplici. I metodi di calcolo standardizzati non tengono conto degli effetti socioeconomici e, non distinguendo tra edifici per uso abitativo e immobili con destinazione diversa, prescindono dalle differenze nelle modalità di utilizzo degli stessi. In una scuola non in tutti i locali viene mantenuta una temperatura standard di 20°C (palestre, archivi, locali non riscaldati, ecc.); non si tiene conto né dell'abbassamento notturno, né del ridotto o mancato utilizzo il pomeriggio, il fine settimana e nei giorni in cui non c'è scuola. Anche il fabbisogno di acqua calda non è paragonabile a quello di un edificio

adibito ad abitazione. Gli effetti rebound, invece, sono quelli che annullano in parte i vantaggi di un aumento dell'efficienza energetica. Un effetto rebound economico si presenta quando la riduzione del costo dell'energia conduce a un aumento dei consumi. Nella vita familiare, ad esempio, gli effetti riguardano il numero dei dispositivi azionati e l'intensità di utilizzo degli stessi. Anche l'innalzamento del comfort ne è un esempio: in seguito alla riduzione dei costi energetici specifici, d'inverno si aumenta di qualche grado la temperatura, mentre d'estate si aziona un impianto di climatizzazione per abbassarla. Ogni grado centigrado di aumento della temperatura ambiente determina un incremento del 6% dei costi energetici. Affinché si instauri questo effetto, risultante da una variazione dei consumi, è necessario che la riduzione dei costi venga percepita consapevolmente.

Un effetto rebound di tipo strutturale si verifica, ad esempio, quando nell'ambito di un intervento di riqualificazione energetica si aumenta il volume abitativo trasformando in abitazione il sottotetto. Dato che lo spazio abitativo aggiuntivo deve essere riscaldato o anche raffrescato, gli incrementi specifici di efficienza energetica vengono in parte o interamente compensati.

Si hanno effetti rebound di tipo tecnico nell'ambito di un intervento di riqualificazione energetica se, ad esempio, pur riducendo anche notevolmente il fabbisogno energetico, si mantiene il vecchio impianto di riscaldamento. Un impianto di riscaldamento non tarato correttamente in base ai consumi ridotti (sovradimensionamento) presenta una frequenza di accensione eccessiva e un funzionamento a carico parziale, da cui deriva un rendimento termico inferiore.

Di queste particolarità riguardanti l'utilizzo si è successivamente tenuto conto nell'analisi. Le ore di riscaldamento calcolate sono state raffrontate con i dati effettivi e il consumo ipotizzato in base al calcolo matematico si è così ridotto al 43%. Dello scostamento si è tenuto conto ai fini del calcolo mediante un fattore di adeguamento empirico. Per tenere conto delle circostanze di cui sopra è stata applicata la seguente formula:

$$\frac{CE}{CC} = \frac{125.000 \text{ kWh/a}}{292.372 \text{ kWh/a}} = 0,4275 \Rightarrow \sim 43\%$$

CE	CE = Consumo effettivo	125.000 kWh/a
CC	CC = Consumo ipotizzato in base a calcolo matematico	292.372 kWh/a

Fattore di adeguamento = 0,4275

4.4 Scenari alla base dell'analisi costi - benefici

Ai fini dell'analisi costi - benefici sono stati ipotizzati vari scenari di intervento e, per ciascuno di essi, sono stati valutati i costi e l'opportunità economica. In vista degli imminenti lavori di manutenzione straordinaria dell'edificio scolastico, la Dirigenza scolastica e l'Amministrazione comunale hanno deciso di sottoporre lo stesso a degli interventi di ammodernamento. Questi comprendono il risanamento degli elementi costruttivi esterni, la sostituzione delle finestre e dei dispositivi di schermatura solare nonché altri interventi di manutenzione necessari. Per tutti questi interventi è necessaria un'impalcatura. Vi sono inoltre i costi per l'allestimento del cantiere, il rilascio della concessione edilizia, l'utilizzo delle gru, l'incarico del responsabile della sicurezza e altre incombenze connesse.

Nell'analisi queste voci vengono considerate costi inevitabili, ossia costi che nell'ambito di un progetto di risanamento si presentano a prescindere da un'eventuale efficientamento energetico.

Nel seguente diagramma tratto dallo studio "Energetische Gebäudesanierung in Bayern" della Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (vbw) si nota che in tutte le classi di vetustà i costi inevitabili incidono per oltre 2/3 sui costi di risanamento complessivi, quindi molto più dei costi di efficientamento energetico.

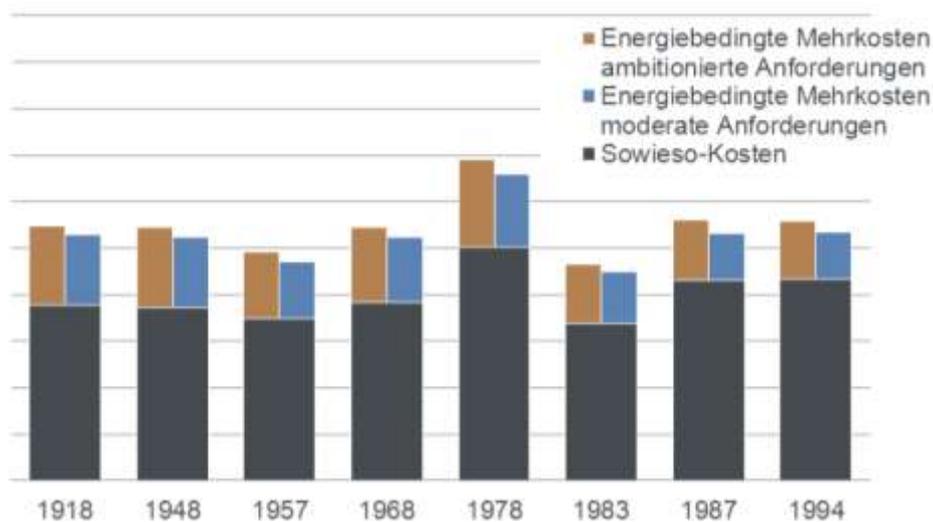


Immagine 2: Raffronto tra i costi inevitabili e i costi aggiuntivi per la riqualificazione energetica

Nella prima analisi sono stati osservati vari scenari che riguardano la coibentazione, la sostituzione delle finestre e l'eventuale installazione di un impianto di ventilazione meccanica. Nel corso dell'analisi, sulla base di valori empirici alcuni scenari sono stati poi ritenuti non interessanti dal punto di vista tecnico o economico; la manutenzione straordinaria (costi inevitabili) è stata considerata come scenario di riferimento minimo e assieme ai costi per l'allestimento costituisce la base dell'analisi costi-benefici e quindi la variante minima. Sono stati pertanto considerati i seguenti scenari:

1. sostituzione finestre e costi inevitabili (soluzione base)
2. fibra minerale 16cm; sostituzione finestre e costi inevitabili
3. ventilazione meccanica; fibra minerale 16cm; sostituzione finestre e costi inevitabili

Tutti i costi di investimento riportati di seguito sono tratti dalla stima del Comune di Varna relativa al risanamento dell'immobile, oltre che dall'elenco provinciale dei prezzi informativi per le opere edili. Tutti gli importi indicati per le voci in questione comprendono le spese tecniche per la direzione lavori nonché per il coordinamento della sicurezza, i contributi sociali e l'IVA.

4.5 Variante “zero”: costi inevitabili

Questa variante prevede solamente la manutenzione ordinaria, ossia lievi interventi sull'involucro dell'edificio (ritocchi della tinteggiatura esterna, sostituzione delle porte, sostituzione dei dispositivi mobili di schermatura solare). Come nella variante seguente (sostituzione delle finestre e costi inevitabili), anche in questo caso dovrebbe essere prevista la sostituzione delle finestre, dato che in base alle informazioni fornite dall'amministrazione competente queste devono in ogni caso essere cambiate. Questa variante è stata riportata comunque senza tenerne conto, per illustrare fino a che punto, in occasione dei lavori in ogni caso necessari, conviene pensare anche a un intervento di riqualificazione energetica. I costi per questa variante “zero”, in cui si rinuncia alla riqualificazione energetica, ammontano a 149.862,23 €.

La sostituzione delle porte consente di ridurre il fabbisogno energetico da 92,5 kWh/m² annui a 90,7 kWh/m² annui, il che corrisponde a un miglioramento del 2%.

Elenco interventi variante 0: costi inevitabili (variante “zero” senza riqualificazione energetica)	
Costi inevitabili: Sostituzione delle porte, ritocchi della tinteggiatura interna, sostituzione dei dispositivi mobili di schermatura solare	134.352,81 €
Interventi di manutenzione ordinaria sulle facciate:	15.509,42 €
Totale investimento:	149.862,23 €

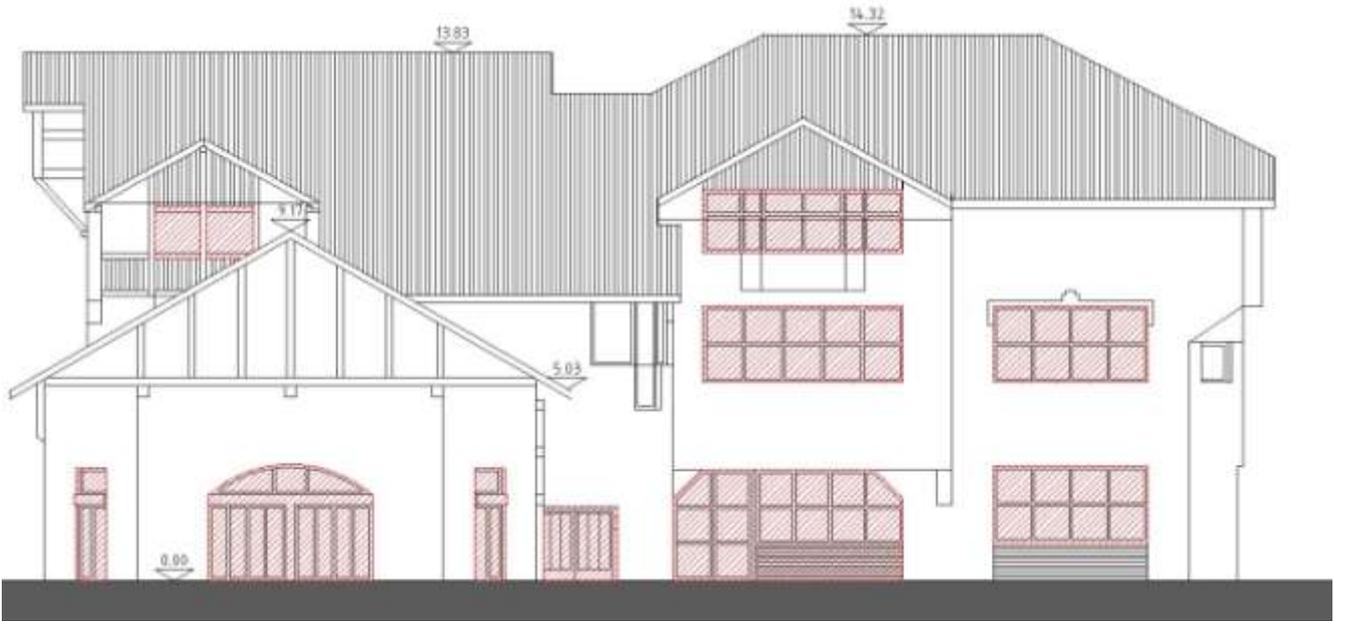
4.6 Variante 1: sostituzione finestre e costi inevitabili

Questa variante prevede solo la sostituzione delle finestre nonché alcuni interventi di manutenzione della facciata. La variante 1 è la variante minima per i confronti che seguiranno: le finestre, infatti, devono per forza essere sostituite, non essendo più garantite la tenuta e il funzionamento delle stesse. I sistemi di schermatura solare sono in parte danneggiati e non funzionanti, per cui devono essere sostituiti. Questi interventi di manutenzione richiedono l'installazione di un'impalcatura e l'allestimento di un cantiere. Le finestre previste per l'intervento di risanamento sono in legno e alluminio. I costi per questa variante ammontano a 311.381,54 €.

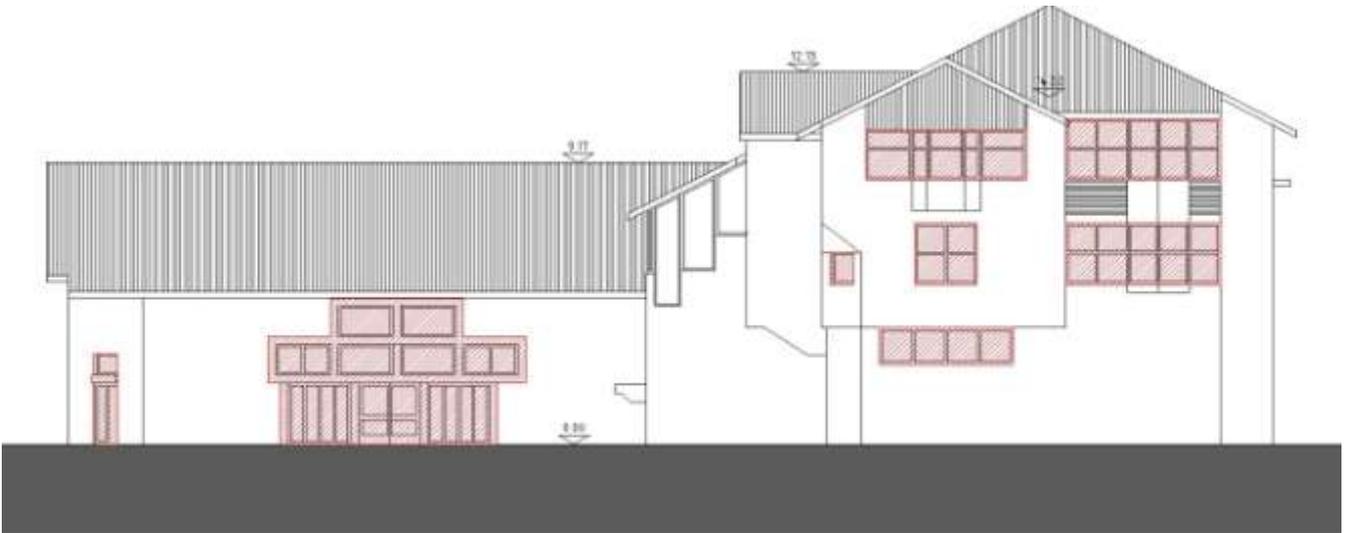
La sostituzione delle finestre consente di ridurre il fabbisogno energetico da 90,7 kWh/m² annui a 75,5 kWh/m² annui, il che corrisponde a un miglioramento del 17%.

Elenco interventi variante 1: sostituzione finestre e costi inevitabili	
Sostituzione finestre: Telaio in legno/alluminio. Elemento finestra in abete rosso rivestito esternamente in alluminio, composto da un'apertura ad anta/ribalta con rivestimento interno dell'imbotte. Vetratura termica a tre strati, davanzale esterno in alluminio verniciato a polvere, telaio interno in abete rosso, davanzale interno in rovere, Uf telaio max 0,8 W/m ² K, Ug vetro max. 0,5 W/m ² K, valore g vetro min. 0,48; trasmissione luce min.65%	161.519,31 €
Costi inevitabili: Sostituzione delle porte, ritocchi della tinteggiatura interna, sostituzione dei dispositivi mobili di schermatura solare	134.352,81 €
Interventi di manutenzione ordinaria sulle facciate:	15.509,42 €
Totale investimento:	311.381,54 €

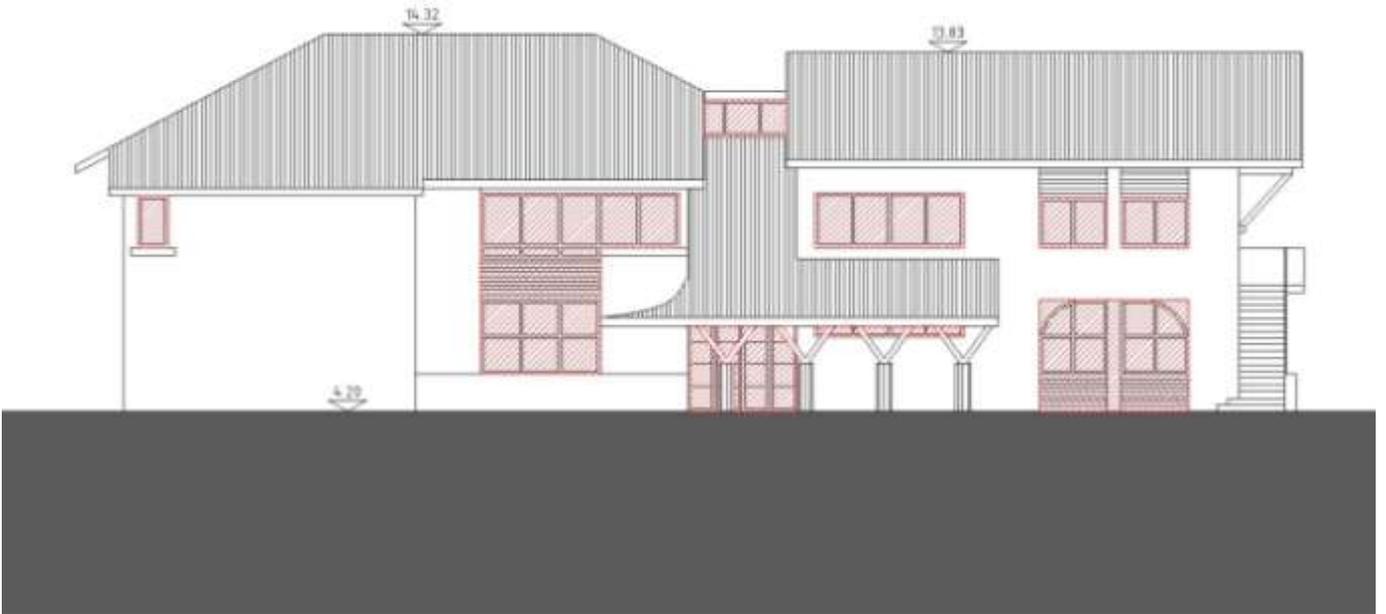
Incentivi GSE (Conto Termico) per la sostituzione delle finestre:	70.200,00 €
--	--------------------



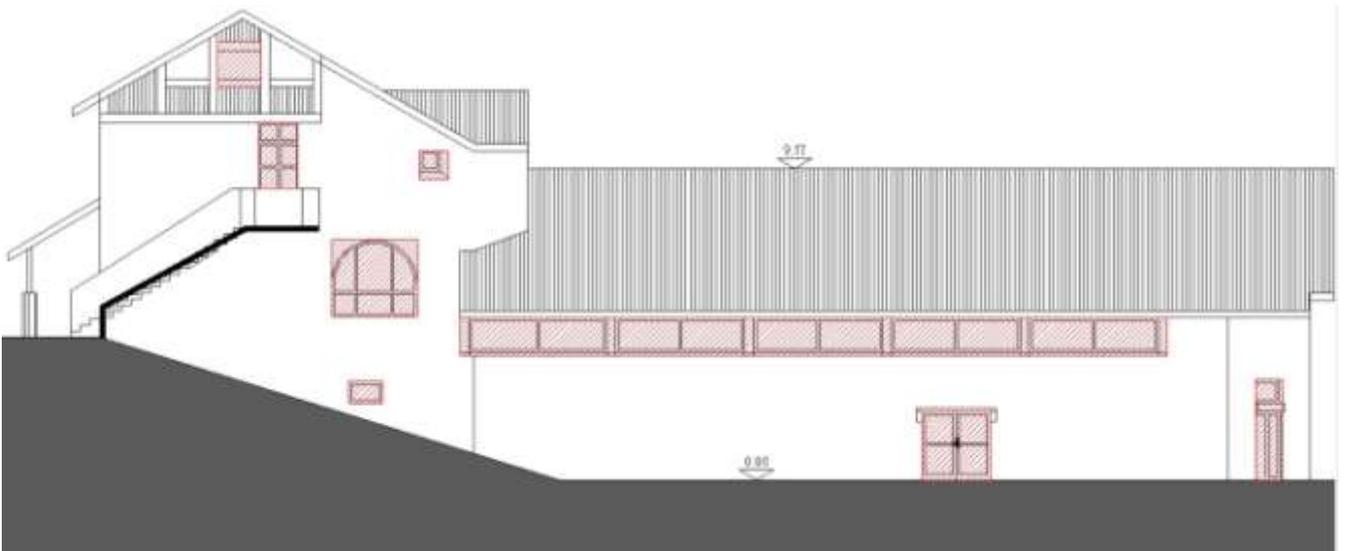
Bozza A: Prospetto ovest dell'edificio; tratteggio rosso – finestre da sostituire



Bozza B: Prospetto sud dell'edificio; tratteggio rosso – finestre da sostituire



Bozza C: Prospetto est dell'edificio; tratteggio rosso – finestre da sostituire

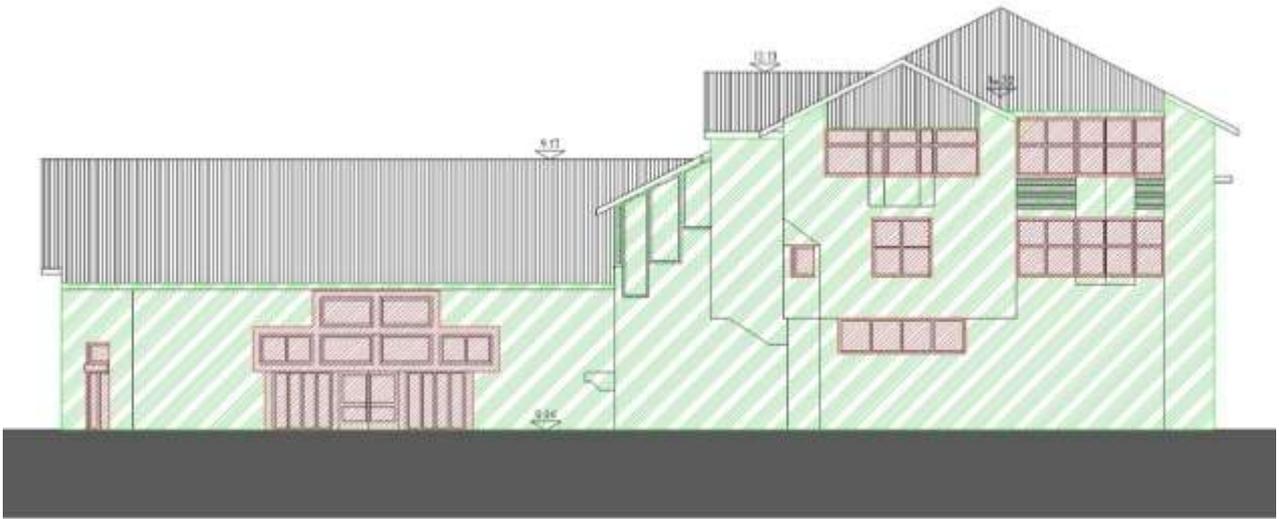


Bozza D: Prospetto nord dell'edificio; tratteggio rosso – finestre da sostituire

4.7 Variante 2: fibra minerale, sostituzione finestre e costi inevitabili

Questa variante comprende tutte le voci della variante precedente e, inoltre, l'ottimizzazione energetica dell'involucro dell'edificio mediante posa di uno strato di isolamento in fibra minerale dello spessore di 16 cm all'esterno delle pareti, da applicarsi a regola d'arte in forma di cappotto. Questo intervento consente di ridurre il fabbisogno energetico da 75,5 kWh/m² annui a 47,8 kWh/m² annui, il che corrisponde a un miglioramento del 37%. Il materiale isolante utilizzato è costituito da pannelli in fibra minerale aventi conducibilità termica (λ) pari a 0,036 W/mK.

Elenco interventi variante 2: Fibra minerale 16cm; sostituzione finestre e costi inevitabili	
Fibra minerale 16 cm: Cappotto rispondente alle direttive tecniche europee ETAG 004 per sistemi a cappotto con intonaco in: pannelli isolanti in fibra minerale fungenti da supporto per l'intonaco, rispondenti alla norma UNI EN 13162 con marcatura CE 1163-CPD-0147, aventi le seguenti caratteristiche: dimensioni dei pannelli 60x100 cm, densità variabile 90-150 kg/m ³ , conducibilità termica $\lambda = 0,036$ W/mK, a norma UNI EN 12667 e UNI EN 10351. Classe di reazione al fuoco A1 secondo UNI EN 13501-1, diffusione vapore ca. 1 secondo UNI EN 12086, resistenza alla compressione > 23 kPa, posati secondo le direttive della ditta fornitrice. Rasatura di fondo con materiale ritenuto idoneo dalla ditta fornitrice dei pannelli, rete, seconda rasatura, appretto, mano a finire in silicati. Fornitura e posa di isolamento degli zoccoli realizzato con pannelli in XPS da 16 cm, incollati con collante impermeabile all'acqua, privo di CFC, valore caratteristico di conducibilità termica 0,035 W/mK, difficilmente infiammabile. La coibentazione dello zoccolo deve essere realizzata a ca. 50 cm sopra il livello del terreno e sulla superficie da isolare nel suolo, almeno a ca. 20 cm sotto il successivo livello del terreno. Intonaco a base di silicato come componente del sistema a cappotto. Trattamento superficiale: Intonaco di resina silicica/silicati, granulometria 4 mm, con sabbie di marmo pregiate, bianco o chiaro, applicato con cazzuola in acciaio inox, spessore minimo corrispondente alla dimensione del granulo prevista, strutturazione (previa applicazione su tutta la superficie).	104.734,44 €
Sostituzione finestre: Telaio in legno/alluminio. Elemento finestra in abete rosso rivestito esternamente in alluminio, composto da un'apertura ad anta/ribalta con rivestimento interno dell'imbotte. Vetratura termica a tre strati, davanzale esterno in alluminio verniciato a polvere, telaio interno in abete rosso, davanzale interno in rovere, Uf telaio max 0,8 W/m ² K, Ug vetro max. 0,5 W/m ² K, valore g vetro min. 0,48; trasmissione luce min.65%	161.519,31 €
Costi inevitabili: Sostituzione delle porte, ritocchi di tinteggiatura interna, sostituzione dei dispositivi mobili di schermatura solare	134.352,81 €
Totale investimento:	400.606,56 €
Incentivi GSE (Conto Termico) per la sostituzione delle finestre e per la coibentazione:	122.200,00 €



Bozza E: Prospetto sud dell'edificio, tratteggio rosso: sostituzione finestre; tratteggio verde: coibentazione - cappotto



Bozza F: Prospetto est dell'edificio, tratteggio rosso: sostituzione finestre; tratteggio verde: coibentazione - cappotto



Bozza G: Prospetto nord dell'edificio, tratteggio rosso: sostituzione finestre; tratteggio verde: coibentazione - cappotto



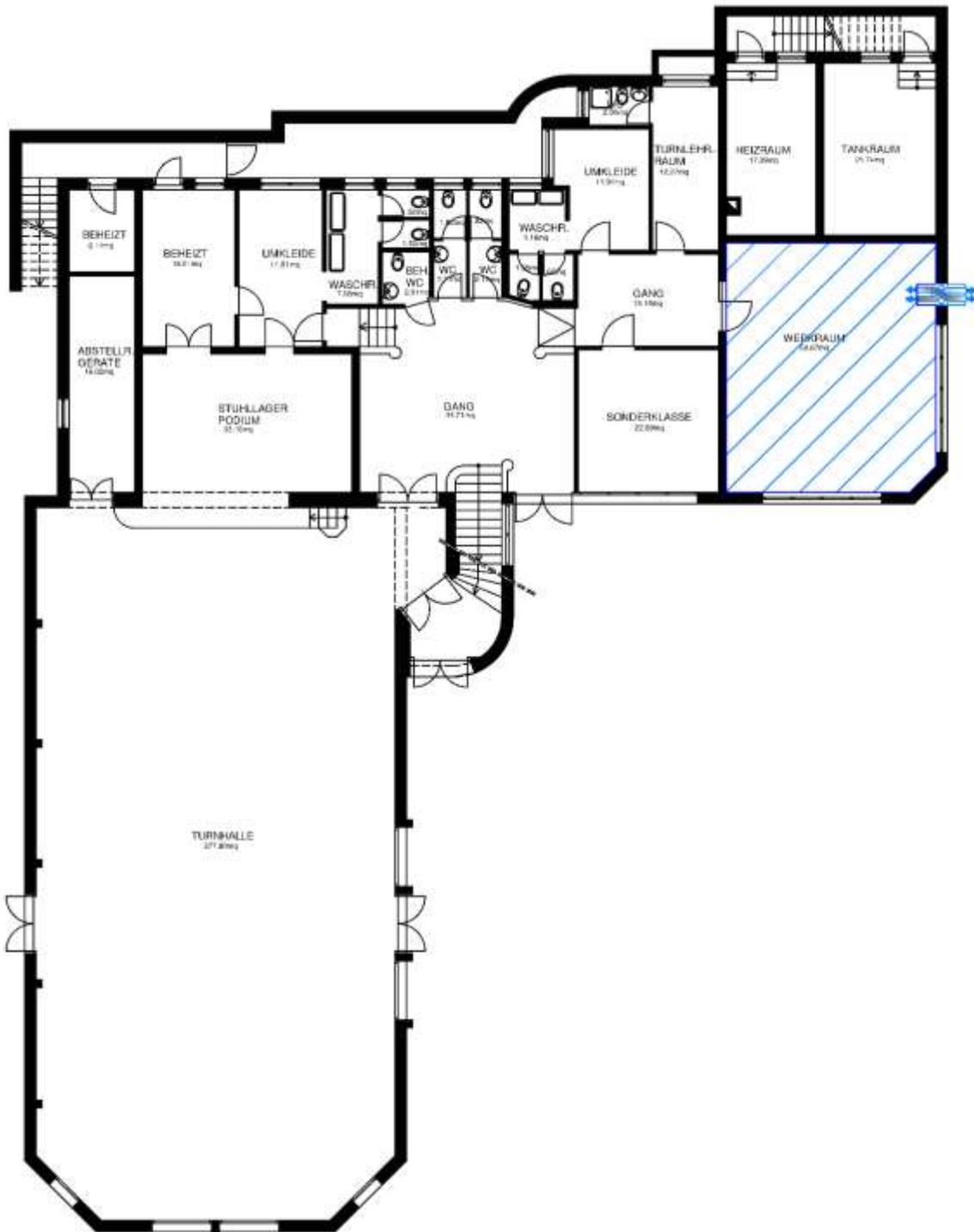
Bozza H: Prospetto ovest dell'edificio, tratteggio rosso: sostituzione finestre; tratteggio verde: coibentazione - cappotto

4.8 Variante 3: Ventilazione meccanica, fibra minerale, sostituzione finestre e costi inevitabili

Questa variante comprende, oltre ai lavori previsti in quella precedente, anche l'installazione di 7 apparecchi di ventilazione meccanica, 6 dei quali nelle aule e uno nel laboratorio. La sostituzione delle finestre consente di ridurre il fabbisogno di energia riferito all'ubicazione da 47,8 kWh/m² annui a 43,0 kWh/m² annui, il che corrisponde a un miglioramento del 10%.

Elenco interventi variante 3: ventilazione meccanica; fibra minerale 16cm; sostituzione finestre e costi inevitabili	
Ventilazione: Apparecchio di ventilazione decentrale da parete o da soffitto con recupero del calore, dotato di regolazione programmata, rendimento dello scambiatore di calore a flussi incrociate fino al 90%, sensore della temperatura nel condotto dell'aria fresca o dell'aria esausta, compresi accessori (elemento riscaldante ad acqua, sistema di chiusura, pompa per il deflusso della condensa, griglia paravento, unità di comando, sensore CO ₂ e rivelatore di presenza)	81.564,15 €
Fibra minerale 16 cm: Cappotto rispondente alle direttive tecniche europee ETAG 004 per sistemi a cappotto con intonaco in: pannelli isolanti in fibra minerale fungenti da supporto per l'intonaco, rispondenti alla norma UNI EN 13162 con marcatura CE 1163-CPD-0147, aventi le seguenti caratteristiche: dimensioni dei pannelli 60x100 cm, densità variabile 90-150 kg/m ³ , conducibilità termica lambda = 0,036 W/mK, a norma UNI EN 12667 e UNI EN 10351. Classe di reazione al fuoco A1 secondo UNI EN 13501-1, diffusione vapore ca. 1 secondo UNI EN 12086, resistenza alla compressione > 23 kPa, posati secondo le direttive della ditta fornitrice. Rasatura di fondo con materiale ritenuto idoneo dalla ditta fornitrice dei pannelli, rete, seconda rasatura, appretto, mano a finire in silicati. Fornitura e posa di isolamento degli zoccoli realizzato con pannelli in XPS da 16 cm, incollati con collante impermeabile all'acqua, privo di CFC, valore caratteristico di conducibilità termica 0,035 W/mK, difficilmente infiammabile. La coibentazione dello zoccolo deve essere realizzata a ca. 50 cm sopra il livello del terreno e sulla superficie da isolare nel suolo, almeno a ca. 20 cm sotto il successivo livello del terreno. Intonaco a base di silicato come componente del sistema a cappotto. Trattamento superficiale: Intonaco di resina siliconica/silicati, granulometria 4 mm, con sabbie di marmo pregiate, bianco o chiaro, applicato con cazzuola in acciaio inox, spessore minimo corrispondente alla dimensione del granulo prevista, strutturazione (previa applicazione su tutta la superficie).	104.734,44 €
Sostituzione finestre: Telaio in legno/alluminio. Elemento finestra in abete rosso rivestito esternamente in alluminio, composto da un'apertura ad anta/ribalta con rivestimento interno dell'imbotte. Vetratura termica a tre strati, davanzale esterno in alluminio verniciato a polvere, telaio interno in abete rosso, davanzale interno in rovere, Uf telaio max 0,8 W/m ² K, Ug vetro max. 0,5 W/m ² K, valore g vetro min. 0,48; trasmissione luce min.65%	161.519,31 €
Costi inevitabili: Sostituzione delle porte, ritocchi di tinteggiatura interna, sostituzione dei dispositivi mobili di schermatura solare	134.352,81 €
Totale investimento: (pari ai costi stimati dal Comune di Varna)	482.170,71 €

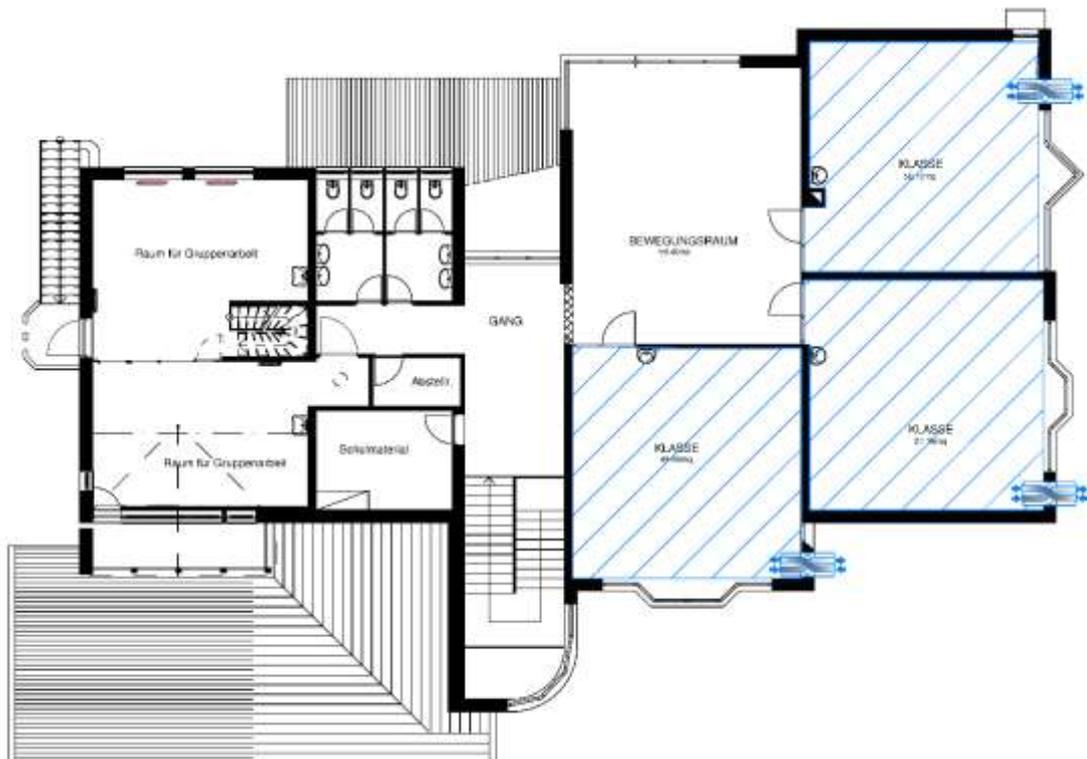
Incentivi GSE (Conto Termico) sost. finestre e coibentazione:	122.200,00 €
--	--------------



Bozza I: Piano interrato dell'edificio, colore blu: impianto di ventilazione nel laboratorio



Bozza J: Piano terra dell'edificio, colore blu: impianti di ventilazione nelle aule



Bozza K: Piano superiore dell'edificio, colore blu: impianti di ventilazione nelle aule

4.9 Incidenza del contesto economico

Le seguenti tavole illustrano l'analisi costi - benefici con differenti parametri per quanto riguarda il tasso di interesse di mercato e l'inflazione.

			Σ costi dopo 30 anni	Differenza
M1	Tasso d'interesse di mercato=0,0% Inflazione=0,0%	Variante 1	663.632 €	-
		Variante 2	623.673 €	-
		Variante 3	761.215 €	-
M2	Tasso d'interesse di mercato=1,0% Inflazione=0,5%	Variante 1	592.692 €	70.940 €
		Variante 2	578.750 €	44.924 €
		Variante 3	709.238 €	51.976 €
M3	Tasso d'interesse di mercato=2,0% Inflazione=1,0%	Variante 1	537.192 €	126.440 €
		Variante 2	543.604 €	80.070 €
		Variante 3	668.252 €	92.962 €
M4	Tasso d'interesse di mercato=3,0% Inflazione=2,0%	Variante 1	538.166 €	125.466 €
		Variante 2	544.220 €	79.453 €
		Variante 3	668.975 €	92.240 €

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
M1	663.632 €	623.673 €	761.215 €
M2	592.692 €	578.750 €	709.238 €
M3	537.192 €	543.604 €	668.252 €
M4	538.166 €	544.220 €	668.975 €

Tenendo conto degli incentivi GSE (Conto Termico), il costo complessivo dopo 30 anni è il seguente:

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
M1	593.432 €	501.473 €	639.015 €

5 RISULTATI

5.1 Calcolo dei costi complessivi della riqualificazione energetica

Il calcolo costi - benefici si basa su una durata di vita economica pari a 30 anni. In tale periodo si può ritenere che gli elementi oggetto di risanamento non richiederanno interventi di manutenzione straordinaria (fatta eccezione per la sostituzione dell'impianto di ventilazione meccanica dopo 20 anni), per cui gli unici costi saranno quelli relativi all'energia e alla manutenzione ordinaria. I costi complessivi (acquisto, sostituzione dell'impianto di ventilazione meccanica dopo 20 anni, costi totali per energia e manutenzione dopo 30 anni) sono riportati nella tabella seguente:

Varianti	Σ costi dopo 30 anni
1) Sostituzione finestre; costi inevitabili	663.632 €
2) Fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; costi inevitabili	623.673 €
3) Ventilazione meccanica; fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; costi inevitabili	761.215 €

Considerando le varianti 1, 2 e 3 si nota che la seconda rappresenta la soluzione ideale dal punto di vista economico. La variante "zero", a causa della necessità improcrastinabile di sostituire le finestre, non è attuabile e non è stata, quindi, riportata. Di seguito si raffrontano le diverse varianti di intervento (varianti 1, 2 e 3):

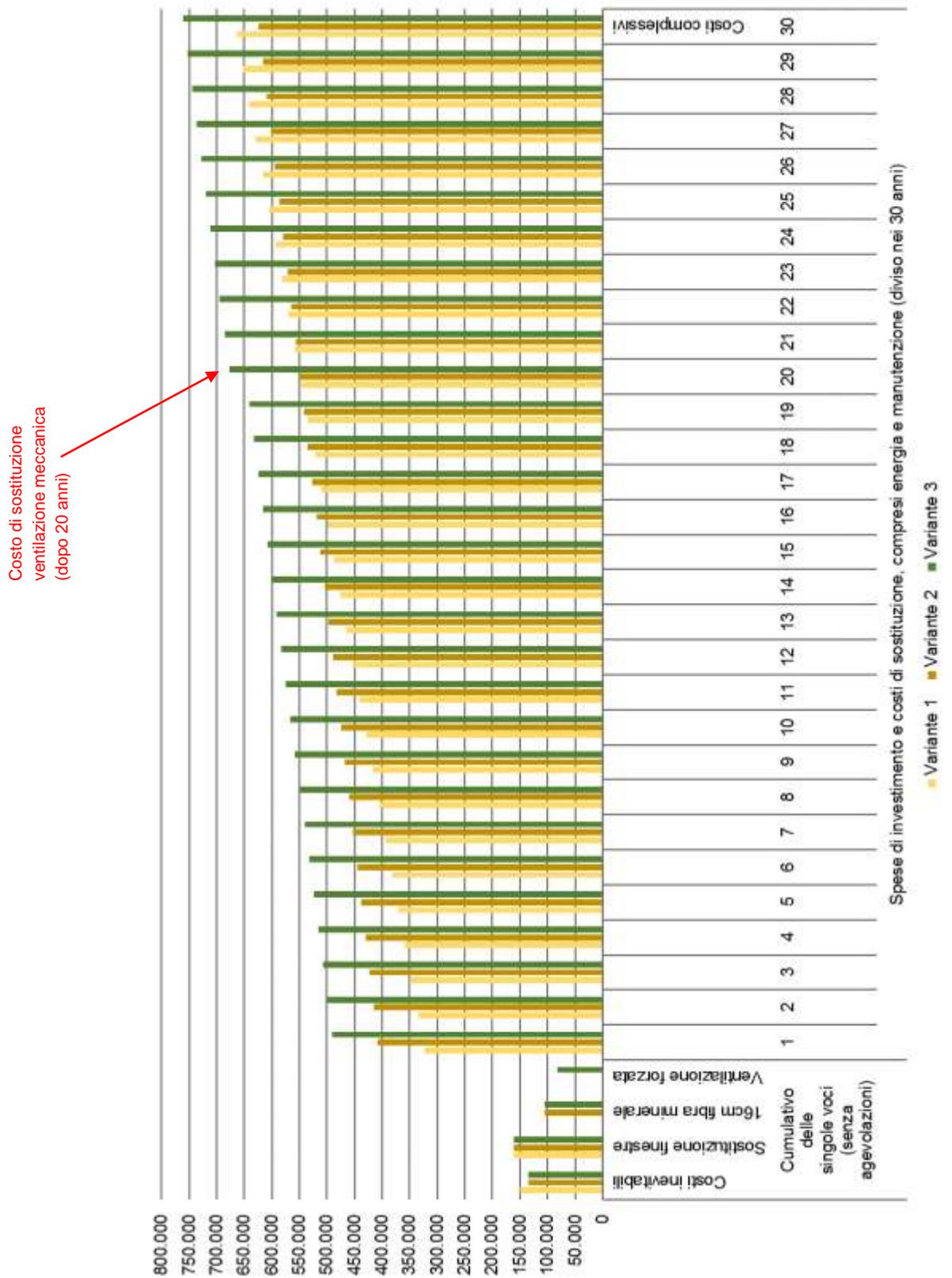


Diagramma I: Raffronto degli investimenti e rappresentazione grafica della distribuzione dei costi sui 30 anni

Confronto tra le varianti 1 e 2:

Varianti	Σ costi dopo 30 anni
1) Sostituzione finestre; costi inevitabili	663.632 €
2) Fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; costi inevitabili	- 623.673 €
Differenza tra varianti 2 e 3: risparmio	----- 39.959 €

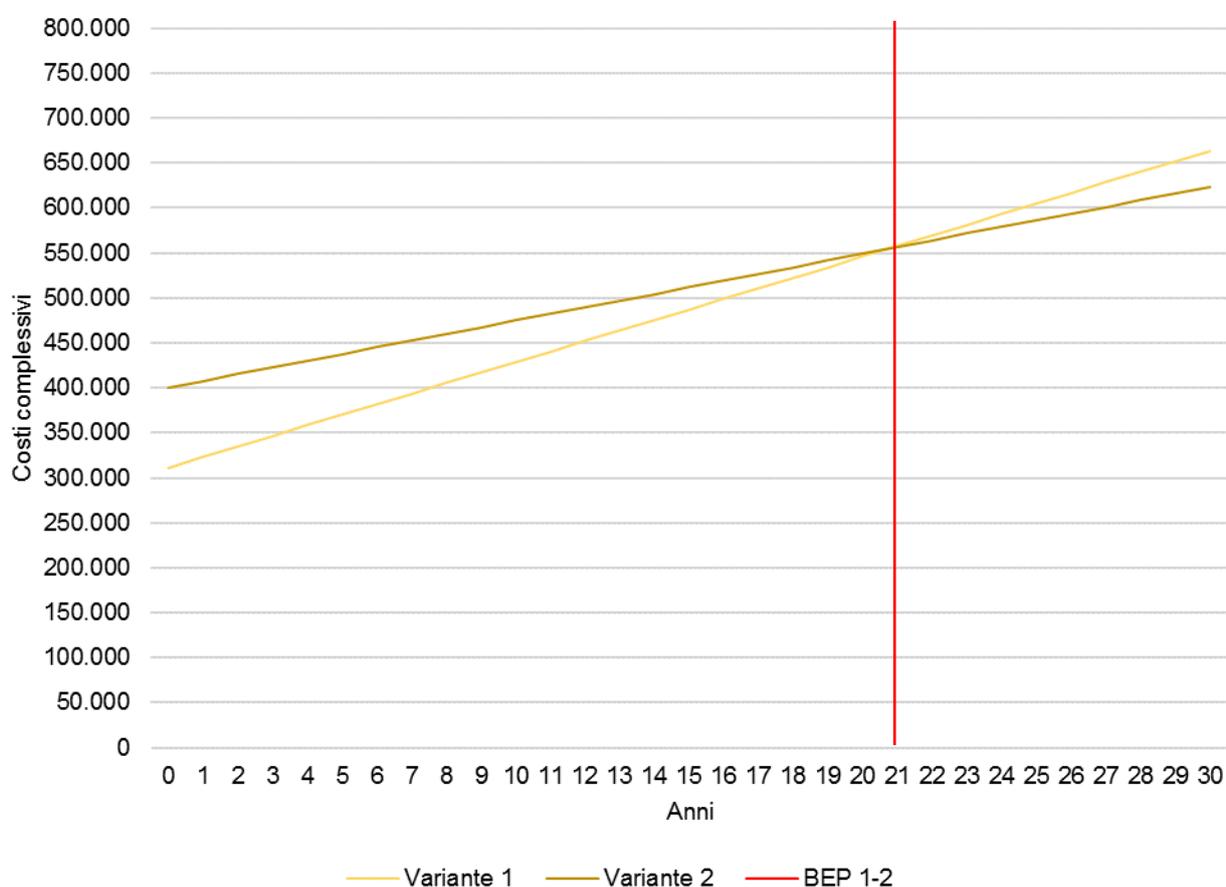


Diagramma J: Break even point delle varianti 1 e 2 (BEP 1-2) senza incentivi

In un periodo di osservazione di 30 anni, il risparmio conseguibile optando per la variante 2 anziché per la variante 1 ammonta a 39.959 €. Dopo 21 anni si recuperano i maggiori investimenti relativi alla variante 2 che, a differenza della variante 1, prevede l'applicazione di uno strato isolante di 16 cm in fibra minerale. Ipotizzando per l'isolamento in fibra minerale una vita economica utile di 30 anni, ne deriva un recupero anticipato delle maggiori spese iniziali.

Confronto tra le varianti 1 e 3:

Varianti	Σ costi dopo 30 anni
1) Sostituzione finestre; costi inevitabili	663.632 €
3) Fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; ventilazione meccanica, costi inevitabili	- 761.215 € -----
Differenza tra varianti 1 e 3: costi aggiuntivi	-97.583 €

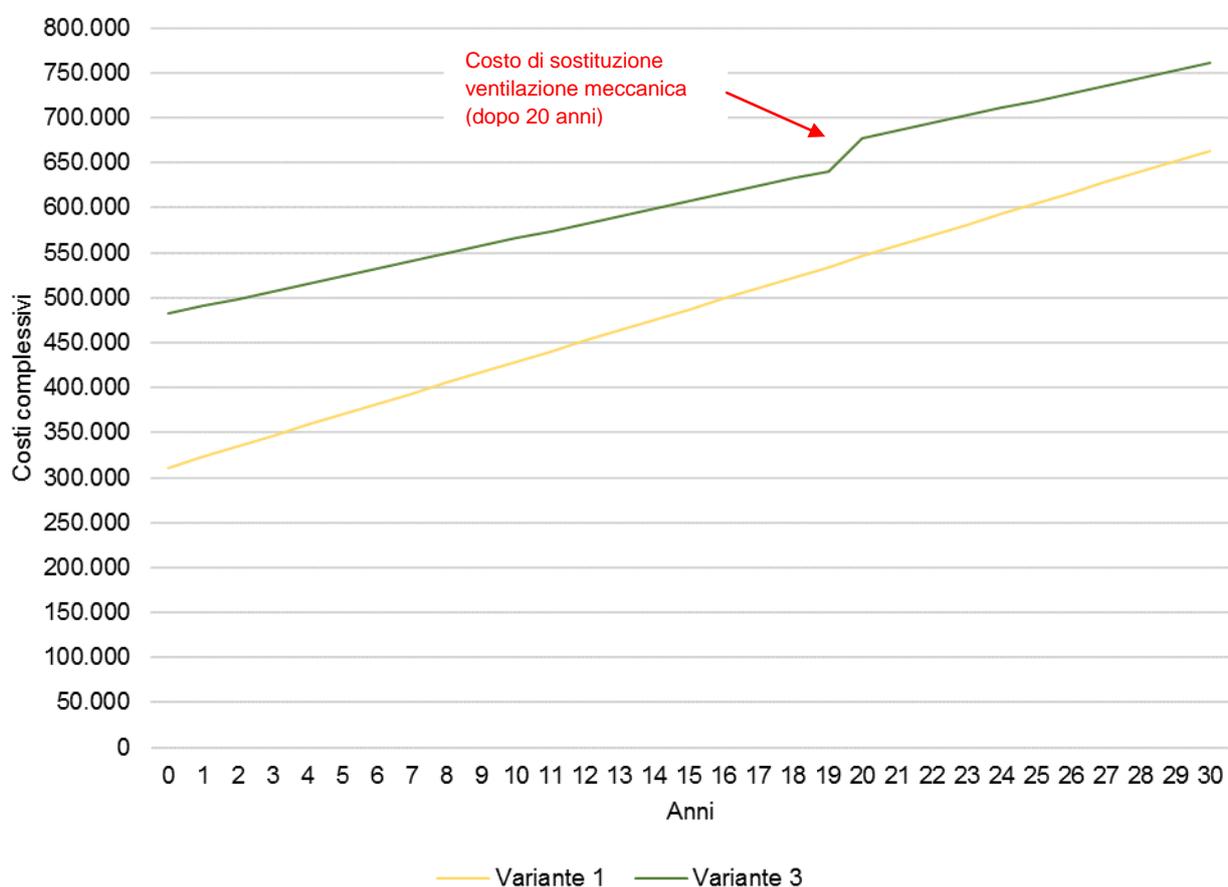


Diagramma K: Rappresentazione grafica dei costi aggiuntivi della variante 3 rispetto alla variante 1 senza incentivi

La tabella e il diagramma a linee evidenziano i costi aggiuntivi della variante 3 rispetto alla variante 1. In assenza di costi di sostituzione degli impianti di ventilazione meccanica (dopo 20 anni), prima o poi le linee relative alle due diverse varianti si intersecherebbero e la variante 3 raggiungerebbe il break even point (BEP). I costi della variante 3 superano di 97.583 € quelli previsti per la variante 1.

Confronto tra le varianti 2 e 3:

Varianti	Σ costi dopo 30 anni
2) Fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; costi inevitabili	623.673 €
3) Ventilazione meccanica; fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; costi inevitabili	- 761.215 € -----
Differenza tra varianti 2 e 3: costi aggiuntivi	-137.542 €

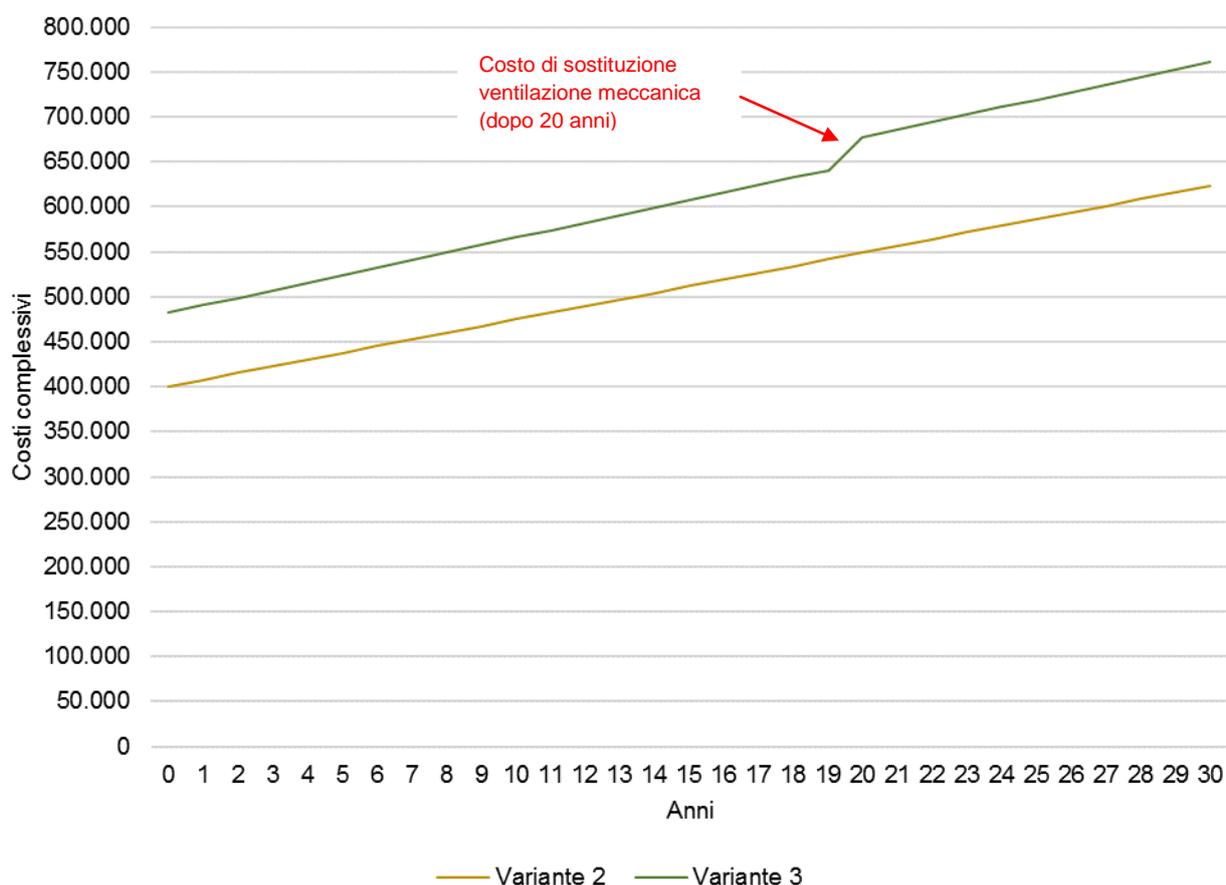


Diagramma L: Rappresentazione grafica dei costi aggiuntivi della variante 4 rispetto alla variante 3 senza incentivi

I costi aggiuntivi relativi all'impianto di ventilazione meccanica (7 apparecchi) previsto nella variante 3 non possono essere recuperati né in un periodo di 30 anni, né successivamente. Considerato che i costi di montaggio e di sostituzione ammontano a 81.564,15 €, le maggiori spese dopo un periodo di osservazione trentennale ammontano addirittura a 137.542 €. Questa differenza è dovuta al fatto che al costo di acquisto si aggiungono i costi di sostituzione (al più tardi dopo 20 anni gli apparecchi devono essere sostituiti), di manutenzione e di gestione (stimati in 1.680 €/anno per filtri, energia elettrica, ecc.).

5.2 Incentivi

Finora nei calcoli e nelle analisi non si era tenuto conto degli incentivi finanziarie. Queste, tuttavia, non vanno sottovalutate e incidono notevolmente sull'economicità. Un incentivo interessante per l'esempio analizzato è rappresentata dal Conto Termico 2.0 del GSE (Gestore Servizio Energetico).

Nel capitolo seguente si quantificano degli incentivi previste per i vari interventi:

Sostituzione di porte e finestre

La superficie delle finestre e delle porte esterne da sostituire è pari a 390 m².

Le spese previste ammontano a 220.406,38 € = 565,14 €/m².

La sostituzione di finestre e di porte esterne ("Sono ammessi anche interventi di miglioramento delle caratteristiche dei componenti vetrati esistenti, con integrazioni e sostituzioni") rientra tra gli interventi del tipo 1.B e, per quanto riguarda la zona climatica F, deve essere rispettato un valore U massimo pari a 1,00 W/m²K.

Per la sostituzione delle finestre, la spesa agevolabile è pari al 40% dell'importo massimo ammissibile di 450 €/m². In altre parole, gli incentivi ottenibile è pari a **70.200 €**:

$$450 \text{ €/m}^2 \times 40\% \times 390 \text{ m}^2 = \mathbf{70.200 \text{ €}}$$

Il tetto massimo degli incentivi ammonta a 100.000 €.

Coibentazione

La superficie delle pareti esterne da coibentare è pari a 1.040m²

La spesa prevista è pari a 104.734,44 € = 100,706 €/m²

Il coefficiente di trasmittanza termica (valore U) delle pareti esterne è pari a 0,86 W/m²K.

L'intervento per la coibentazione è classificato come intervento di tipo 1.A e, per quanto riguarda la zona climatica F, deve essere rispettato un valore U massimo pari a 0,22 W/m²K.

Per la coibentazione, la spesa agevolabile è pari al 50% dell'importo massimo ammissibile di 100 €/m². In altre parole, gli incentivi ottenibile è pari a **52.000 €**.

$$100 \text{ €/m}^2 \times 50 \% \times 1.040 \text{ m}^2 = \mathbf{52.000 \text{ €}}$$

Diversamente da quanto si è visto per le finestre, in questo caso non è previsto alcun tetto massimo.

Incentivi GSE (Conto Termico): sostituzione finestre e coibentazione	122.200,00 €
---	---------------------

TEE (Titoli di Efficienza Energetica = Certificati Bianchi):

Essendo l'edificio collegato a una centrale di teleriscaldamento alimentata a biomassa, non è possibile richiedere il rilascio di Titoli di Efficienza Energetica.

Confronto tra le varianti 1 e 2 tenendo conto degli incentivi:

Varianti	Σ costi dopo 30 anni, compresi gli incentivi
1) Sostituzione finestre; costi inevitabili 663.632 € - 70.200 € =	593.432 €
2) Fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; costi inevitabili 623.673 € - 122.200 € =	- 501.473 €
Differenza tra varianti 2 e 3: risparmio	----- 91.959 €

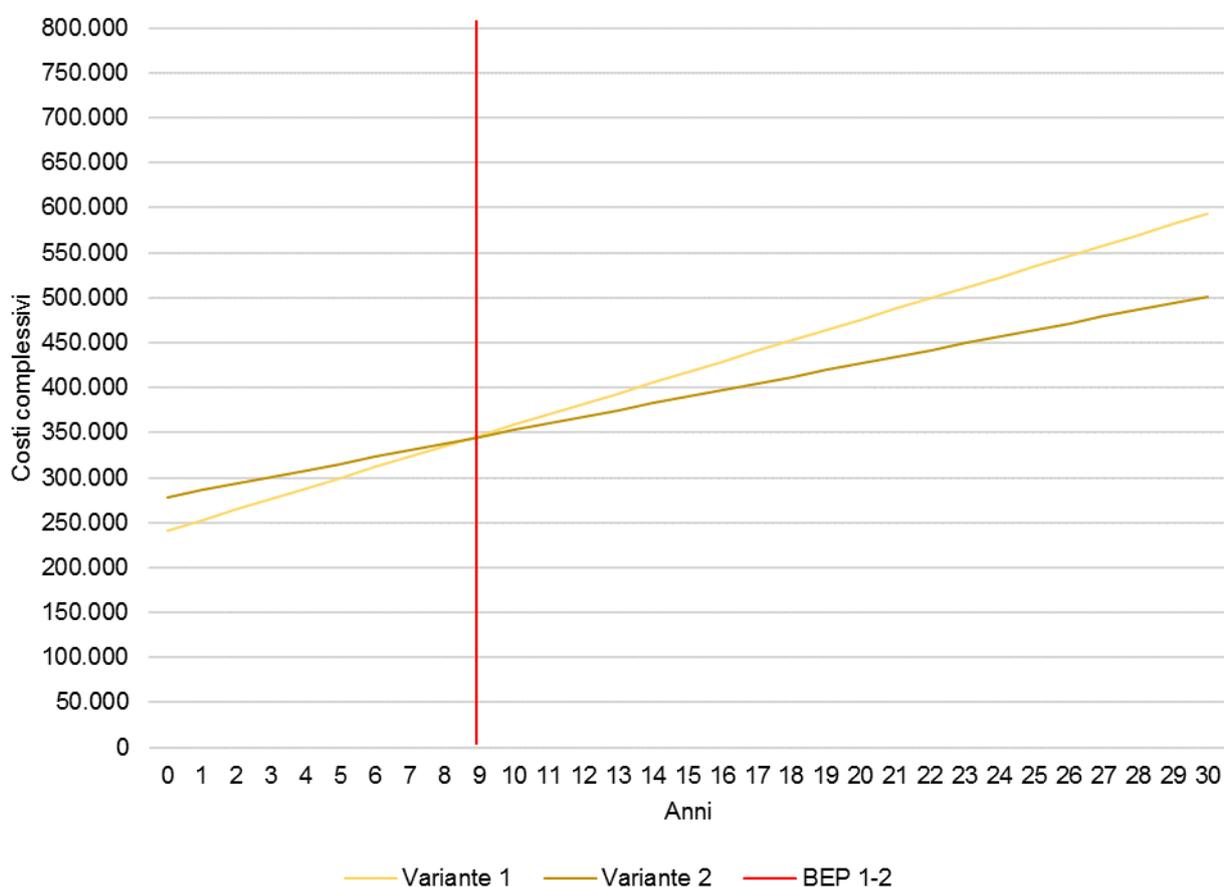


Diagramma M: Break even point delle varianti 1 e 2 (BEP 1-2) tenendo conto degli incentivi (Conto Termico)

In un periodo di osservazione di 30 anni, il risparmio conseguibile optando per la variante 2 anziché per la variante 1 ammonta a 91.959 €. Già dopo 9 anni si recuperano i maggiori investimenti relativi alla variante 2 che, a differenza della variante 1, prevede l'applicazione di uno strato isolante di 16 cm in fibra minerale. Ipotizzando per l'isolamento in fibra minerale una vita economica utile di 30 anni, ne deriva un recupero anticipato delle maggiori spese iniziali.

Confronto tra le varianti 1 e 3 tenendo conto degli incentivi:

Varianti	Σ costi dopo 30 anni, compresi gli incentivi
1) Sostituzione finestre; costi inevitabili 663.632 € - 70.200 € =	593.432 €
3) Fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; ventilazione meccanica; costi inevitabili 761.215 € - 122.200 € =	- 639.015 € -----
Differenza tra varianti 1 e 3: costi aggiuntivi	-45.583 €

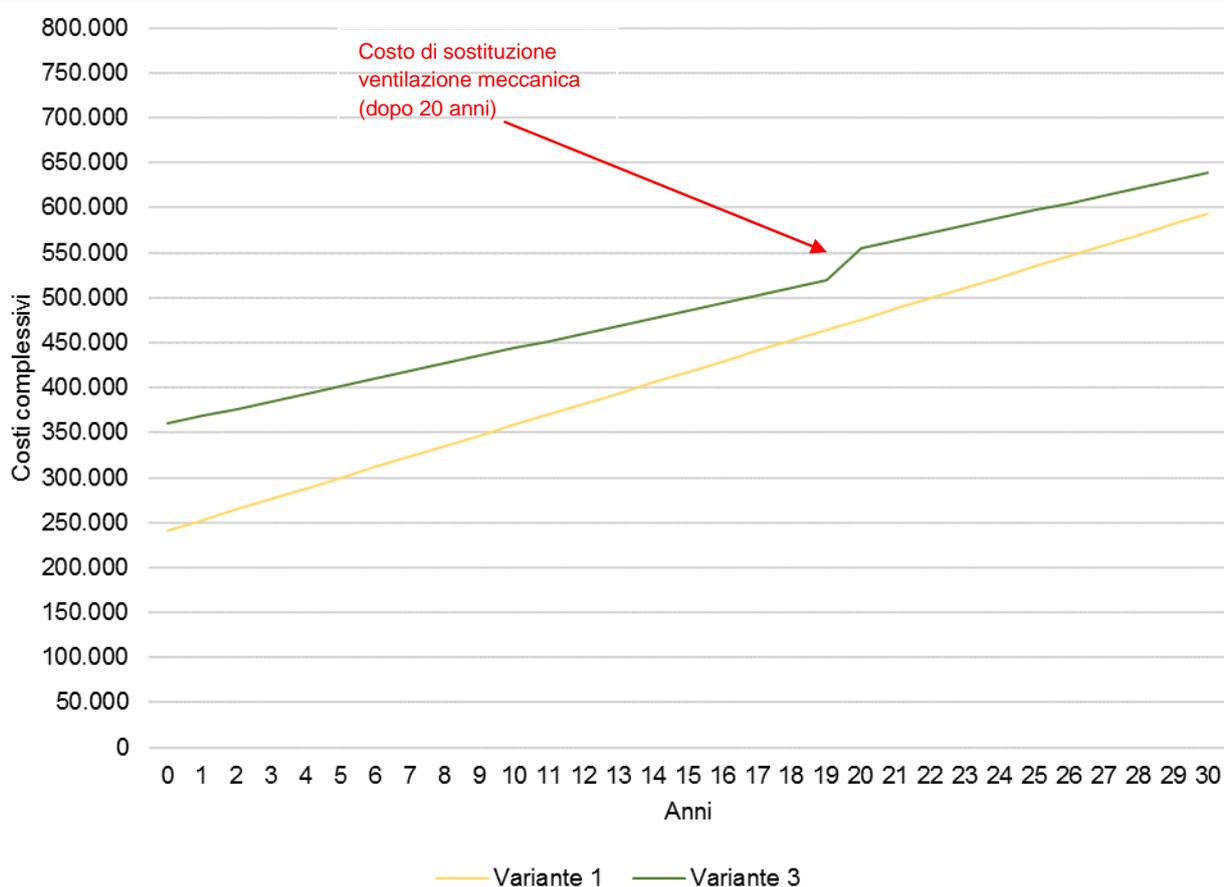


Diagramma N: Rappresentazione grafica dei costi aggiuntivi della variante 3 rispetto alla variante 1 tenendo conto degli incentivi (Conto Termico)

La tabella e il diagramma a linee evidenziano i costi aggiuntivi della variante 3 rispetto alla variante 1. In assenza di costi di sostituzione degli impianti di ventilazione meccanica (dopo 20 anni), le linee relative alle due diverse varianti si intersecherebbero e la variante 3 raggiungerebbe il cosiddetto break even point (BEP). I costi della variante 3 superano di 45.583 € quelli previsti per la variante 1.

5.3 Valutazione

Il raffronto delle varianti di risanamento mostra chiaramente che la variante 2 è la più interessante dal punto di vista economico, seguita dalla variante 1 e dalla variante 3. La variante 3 fa da fanalino di coda in virtù del notevole investimento iniziale e degli elevati costi di gestione, di manutenzione e di sostituzione relativi all'impianto di ventilazione meccanica. Partendo dall'energia finale riferita all'ubicazione, si calcolano i costi annui relativi al teleriscaldamento. Considerando le attuali spese per il riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria (edifici esistenti, senza attuazione di interventi di risanamento), si ottengono le seguenti economie:

Varianti	Energia finale riferita all'ubicazione	Costi annui per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Riduzione costi
1) Sostituzione finestre; costi inevitabili	75,5 kWh/m ² a	11.742 €	-18 %
2) Fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; costi inevitabili	47,8 kWh/m ² a	7.436 €	-48 %
3) Ventilazione meccanica; fibra minerale 16cm; sostituzione finestre; costi inevitabili	43,0 kWh/m ² a	6.688 €	-53 %

La variante 3 è quella che consente di minimizzare i costi annui per riscaldamento e acqua calda sanitaria. Va tuttavia tenuto presente che nella variante 3 devono essere ancora aggiunti i costi annui di manutenzione, pari complessivamente a 1.680 €/anno, nonché i costi di sostituzione che si presentano dopo una vita utile di 20 anni. Tutti questi interventi sono necessari per garantire il funzionamento corretto degli impianti di ventilazione e, ovviamente, comportano un notevole impegno finanziario.

Per comprendere in grandi linee in quale misura un eventuale ribasso si ripercuote sui tempi di ammortizzazione, per le varianti 1 e 2 sono state raffrontate le seguenti due ipotesi:

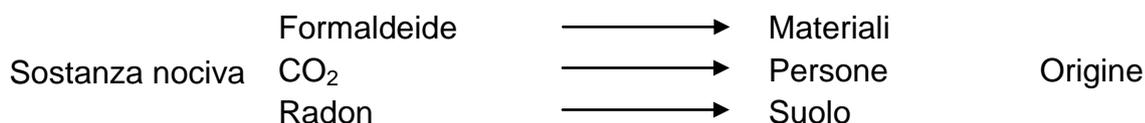
- 1) ribasso del 20% sul costo totale senza fruizione degli incentivi
- 2) ribasso del 20% sul costo totale con fruizione degli incentivi

Nel primo caso il periodo di ammortizzazione si riduce di 3 anni. Ciò significa che già dopo 18 anni (anziché 21 anni: vedasi diagramma J) la variante 2 raggiunge il break even point (BEP).

Tenuto conto degli incentivi (secondo caso), invece, il periodo di ammortizzazione si riduce di 1 anno, da 9 (vedasi diagramma M) a 8 anni.

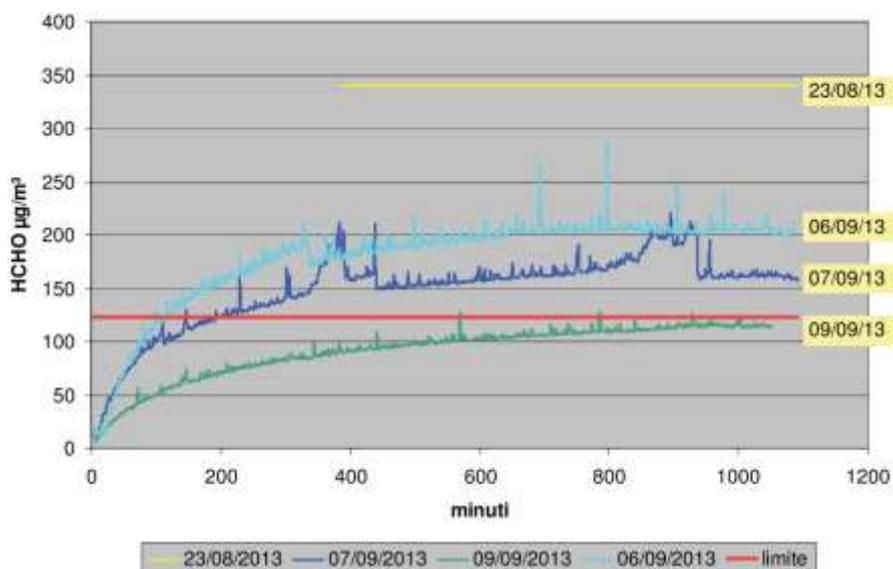
6 QUALITÀ DELL'AMBIENTE INTERNO

Oltre alle analisi economiche delle varianti sopra descritte, è necessario prendere in considerazione anche la qualità dell'ambiente interno. Dato che gli alunni passano moltissimo tempo nelle aule, è indispensabile che il clima ambientale sia buono. Oltre alla temperatura e all'umidità dell'aria, riveste un ruolo centrale anche la qualità dell'aria ambientale. Una persona ha bisogno di circa 20 m³ di aria fresca all'ora. Il benessere e l'efficienza risentono ben presto degli effetti dell'aria esausta e viziata, degli odori dovuti alla sudorazione e dell'accumulo di anidride carbonica nell'aria. Possono peraltro essere fonti di inquinamento anche i materiali da costruzione, i mobili (composti organici volatili, formaldeide, ecc.) o il suolo (radon). Le indagini dell'Ufficio provinciale 29.8. - Laboratorio di chimica fisica evidenziano che non basta arieggiare manualmente per ottenere una qualità dell'aria ambientale ineccepibile.



6.1 Formaldeide

La formaldeide, classificata tra le sostanze cancerogene, può accumularsi nei locali attraverso varie fonti (collanti, mobili in truciolato, disinfettanti, fumo di tabacco, ecc.). Come mostra il diagramma seguente, il livello di formaldeide nella maggior parte dei casi è eccessivo:

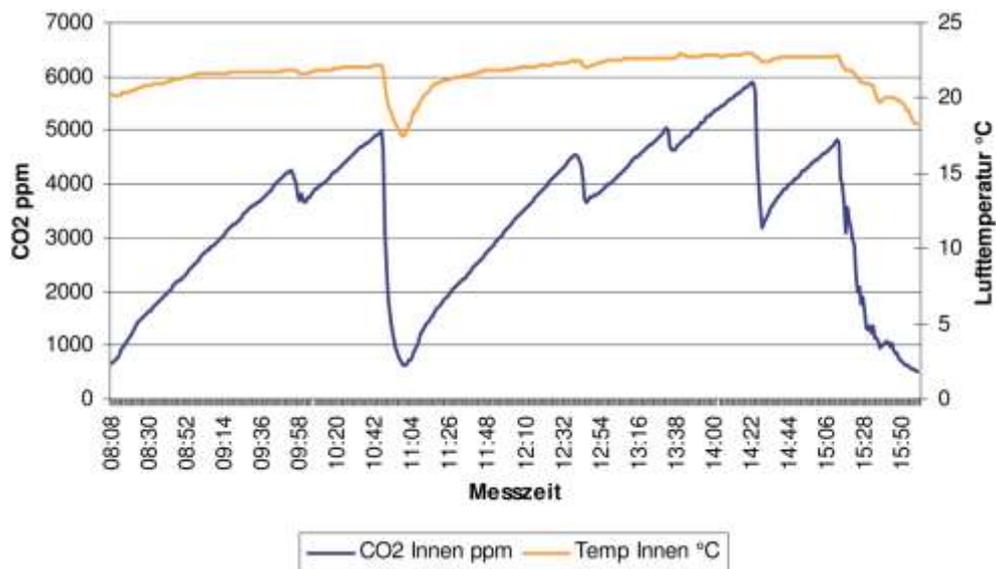


Fonte: Laboratorio di chimica fisica - Agenzia provinciale per l'ambiente

Diagramma O: Andamento della concentrazione di formaldeide misurata

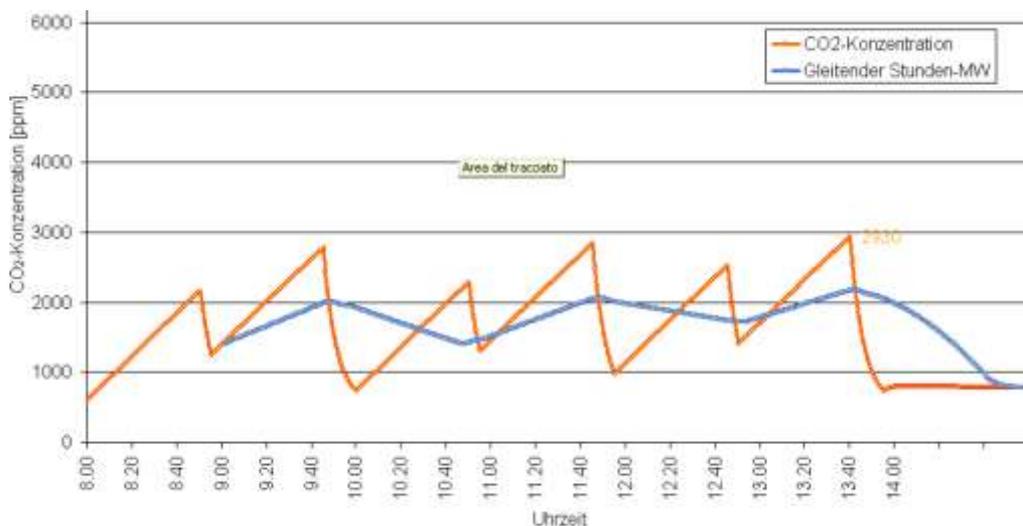
6.2 Anidride carbonica

Attraverso la respirazione l'uomo condiziona notevolmente l'aria interna. La concentrazione di anidride carbonica nell'aria interna è rapportata all'intensità di utilizzo di un locale e al numero di persone presenti nello stesso. Il gas incolore e inodore è presente naturalmente nell'aria con una concentrazione pari a 400 ppm. Nei locali destinati ad ospitare molte persone si supera presto la concentrazione di 1.000 ppm. A partire da una concentrazione di CO₂ pari a 1.500 ppm, aumenta vistosamente la presenza di sintomi quali mal di testa, stanchezza, giramento di testa e difficoltà di concentrazione.



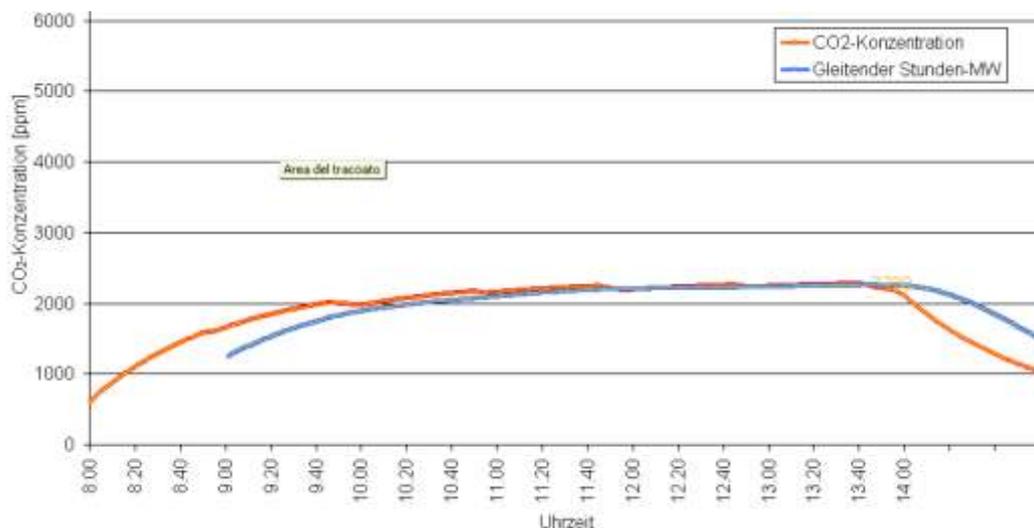
Fonte: Laboratorio di chimica fisica - Agenzia provinciale per l'ambiente

Diagramma P: Andamento della concentrazione di CO₂ misurata



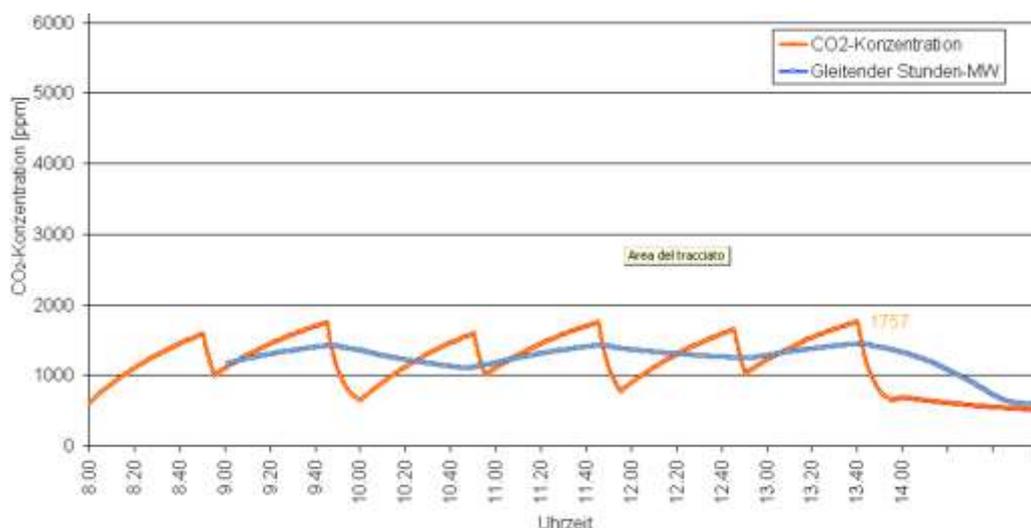
Fonte: Laboratorio di chimica fisica - Agenzia provinciale per l'ambiente

Diagramma Q: Andamento della concentrazione di CO₂ in caso di apertura delle finestre per 5 minuti tra ogni ora di lezione



Fonte: Laboratorio di chimica fisica - Agenzia provinciale per l'ambiente

Diagramma R: Andamento della concentrazione di CO₂ in caso di finestre aperte a ribalta



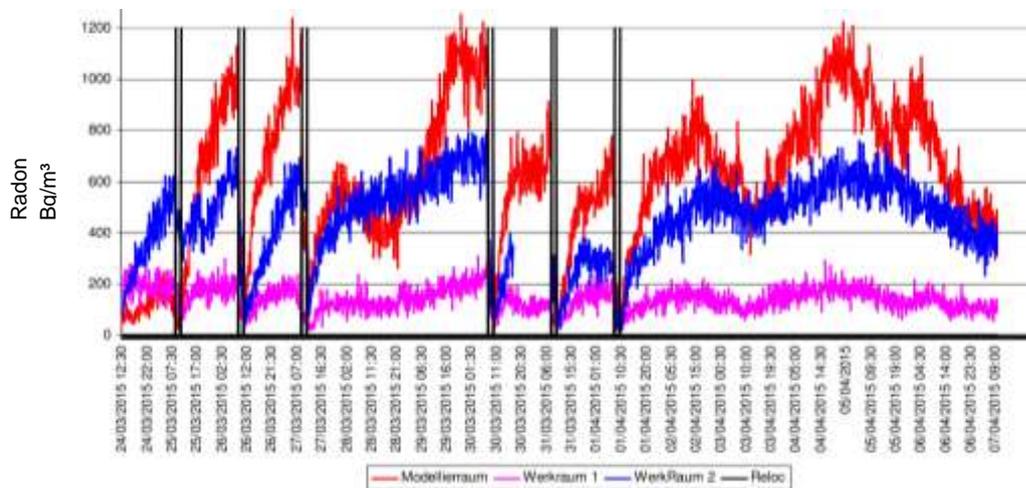
Fonte: Laboratorio di chimica fisica - Agenzia provinciale per l'ambiente

Diagramma S: Andamento della concentrazione di CO₂ in caso di finestre aperte a ribalta e apertura delle finestre per 5 minuti tra ogni ora di lezione

Solo la media oraria mobile dell'ultima variante che prevede l'areazione manuale (diagramma 5) non raggiunge il valore soglia di 1.500 ppm. Questo modo di arieggiare non è tuttavia facilmente attuabile in concreto, dato che la temperatura ambiente si innalza o diminuisce sensibilmente a seconda della stagione e che si possono presentare altri inconvenienti connessi a rumori, odori, corrente d'aria, ecc. Un impianto di ventilazione meccanica consente di innalzare la qualità dell'aria ambientale. Ovviamente, al fine di sfruttare appieno il potenziale dell'impianto è necessaria un'adeguata manutenzione dello stesso durante il periodo di utilizzo. Attraverso misurazioni in tempo reale lo studio "Aria viziata" del Laboratorio di chimica fisica giunge alla conclusione che un impianto di ventilazione meccanica senza adeguata manutenzione non può garantire un'elevata qualità dell'aria ambientale.

6.3 Radon

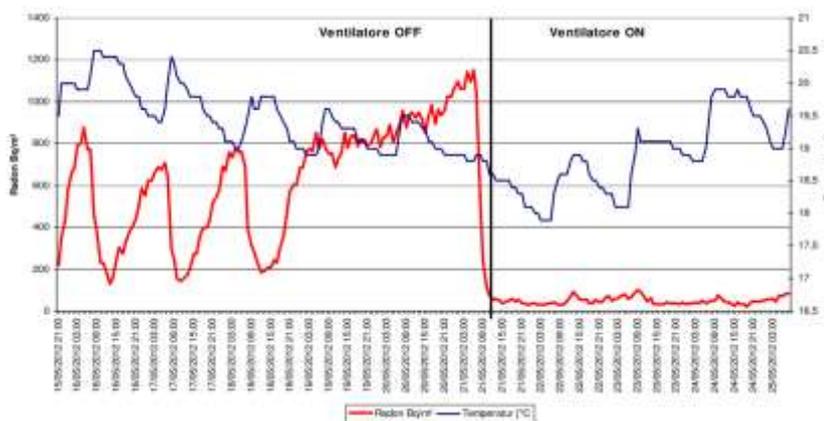
Esattamente come l’anidride carbonica, anche il gas nobile radon è incolore, inodore e insapore; in più è radioattivo. Dopo il fumo, il radon è al secondo posto tra le cause di tumore ai polmoni. In Alto Adige ci sono alcune zone (es. Val Pusteria e Alta Val Venosta) caratterizzate da valori di radon elevati: in tali aree è particolarmente indicato adottare misure tese a ridurre al minimo il rischio di una eccessiva concentrazione di radon nell’aria. Come evidenzia il diagramma seguente, la misurazione ha rilevato una concentrazione di radon ben superiore al valore di riferimento consigliato dall’OMS, pari a 100 Bq/m³, e anche al valore massimo ammissibile di 300 Bq/m³.



Fonte: Laboratorio di chimica fisica - Agenzia provinciale per l’ambiente

Diagramma T: Andamento della concentrazione di radon nel caso di apertura alle ore 8:00 e alle ore 10:00

È evidente che solo nei lassi di tempo in cui si arieggia manualmente il livello di radon all’interno del locale diminuisce temporaneamente, per poi tornare ad aumentare e a raggiungere nuovamente valori elevati non appena si chiudono le finestre. A questo si può ovviare, come anche nel caso delle sostanze nocive descritte in precedenza, mediante l’installazione di un impianto di ventilazione.



Fonte: Laboratorio di chimica fisica - Agenzia provinciale per l’ambiente

Diagramma U: Andamento della concentrazione con impianto di ventilazione spento e acceso

7 RIEPILOGO E CONCLUSIONI

La questione centrale è se e in quale misura la minimizzazione del consumo energetico negli edifici non abitativi, con particolare riferimento agli edifici pubblici, è attuabile. La risposta dipende essenzialmente dalla situazione di partenza, dall'utilizzo specifico e dalle condizioni microclimatiche del luogo in cui è ubicato l'immobile. Lo studio evidenzia che procedendo in modo sistematico è più facile identificare i potenziali di miglioramento e sfruttare le sinergie tra gli interventi energetici e gli interventi di altro tipo, che comportano costi inevitabili. Quanto detto è valido soprattutto con riferimento agli interventi di riqualificazione energetica riguardanti l'involucro dell'edificio. Una pubblica amministrazione che affronta la tematica dell'ottimizzazione energetica dovrebbe considerare i seguenti punti:

Misurare prima di intervenire: la rilevazione dei consumi energetici effettivi e il raffronto con i profili di utilizzo forniscono una prima base da cui partire per ottenere un risparmio energetico attraverso una taratura più accurata dell'impianto esistente.

Tenere conto dell'effettivo fabbisogno: non tutti i locali vengono utilizzati allo stesso modo, per cui bisogna innanzitutto impostare la temperatura ottimale in ciascun locale. La notte e in caso di inutilizzo protratto è opportuno abbassare la temperatura di qualche grado. Mediamente, infatti, ogni grado centigrado di temperatura in più comporta un incremento del consumo energetico nell'ordine del 6% circa.

Controllare il sistema di riscaldamento e minimizzare le perdite: le temperature di mandata e di ritorno dell'acqua calda sanitaria sono impostate in conformità al sistema involucro dell'edificio - impianto di riscaldamento - utente? È stata eseguita l'equilibratura idraulica al fine di garantire il flusso corretto per fornire a tutti i termosifoni la quantità di calore ottimale? Ciò consente di evitare una frequenza eccessiva di accensione dell'impianto, che è una delle cause di inefficienza. Per le caldaie a condensazione, inoltre, temperature di ritorno contenute costituiscono un presupposto per l'efficienza di impiego. La manutenzione costante del generatore di calore garantisce il funzionamento sicuro ed efficiente nonché il contenimento delle emissioni. Si dovrebbe tuttavia fare attenzione anche alla buona coibentazione dei tubi del riscaldamento e del boiler, affinché le perdite di calore possano essere ridotte al minimo.

Eseguire un check up energetico e provvedere a una diagnosi energetica con analisi costi - benefici per ciascuna opzione di intervento: un rilevamento dello status quo sul posto (check up energetico) e un'attenta valutazione energetica aiutano a determinare e quantificare il potenziale di miglioramento delle varie componenti.

Sfruttare la manutenzione straordinaria: se per un edificio o un impianto di riscaldamento si rendono necessari interventi di riparazione, è il momento opportuno per procedere alla riqualificazione energetica dell'edificio. Gli interventi spaziano dalla semplice sostituzione della pompa di circolazione dell'impianto di riscaldamento alla sostituzione delle finestre, per arrivare anche alla coibentazione completa dell'involucro dell'edificio. In caso di guasto

imprevisto all'impianto di riscaldamento o in presenza di danni all'edificio bisogna reagire con sollecitudine. Per questo è importante predisporre tempestivamente un piano strutturato per l'innalzamento dell'efficienza energetica, anche se l'attuazione può poi avvenire in varie tappe con singoli interventi parziali.

Non considerare soltanto il ritorno economico: il caso studio relativo alla scuola elementare di Novacella ha mostrato che la variante che prevede l'installazione dell'impianto di ventilazione meccanica, pur non essendo sempre quella economicamente più conveniente, comporta un notevole guadagno in termini di comfort grazie alla qualità dell'aria. Lo dimostra anche uno studio eseguito tra l'autunno 2015 e la primavera 2016 dall'Agenzia provinciale per l'ambiente nell'ambito del progetto "Aria viziata a scuola", che ha preso in esame 150 aule scolastiche. L'interpretazione dei dati di misurazione ha evidenziato che la qualità dell'aria nelle aule scolastiche dell'Alto Adige in due casi su tre è insufficiente.

Sfruttare gli incentivi: per una pubblica amministrazione è sempre difficile reperire i fondi per un intervento di riqualificazione energetica, anche se lo stesso è economicamente conveniente. Spesso possono essere realizzate soltanto le opere di manutenzione dell'edificio indispensabili. Per questo motivo rivestono grande importanza gli incentivi e la costante informazione in merito alle stesse.

Provvedere alla manutenzione degli edifici e non aspettare fino a quando si guasta qualcosa: la manutenzione a regola d'arte e la verifica costante dei costi energetici mediante un sistema di monitoraggio e una contabilità energetica (es. EBO - Energy Report Online, messo a disposizione nell'ambito del programma ComuneClima) garantiscono che gli interventi di risanamento sortiscano i risultati previsti e che i consumi e i tempi di ammortizzazione effettivi coincidano con quelli calcolati. Ciò non riguarda, del resto, soltanto gli edifici oggetto di risanamento, ma anche le nuove costruzioni, come risulta da una campagna di monitoraggio effettuata dall'Agenzia CasaClima in collaborazione con l'EURAC.

Coinvolgimento della popolazione: il presupposto affinché la popolazione accetti l'intervento di riqualificazione energetica degli edifici pubblici consiste nel coinvolgimento dei cittadini; è solo in questo modo che i vantaggi possono essere compresi e intesi come valore aggiunto per tutta la comunità.

Collaborazione tra l'ente pubblico e le istituzioni scientifiche: attraverso la collaborazione tra istituzioni di ricerca, amministrazioni e centri di competenza come l'Agenzia CasaClima e l'Istituto di ricerca economica della Camera di commercio è possibile sfruttare sinergie, innalzare in misura ottimale il potenziale ecologico e quello economico della riqualificazione energetica, sfruttare gli incentivi, stabilire correttamente le priorità e evitare errori negli interventi.

IRE

Istituto di
ricerca economica



CAMERA DI COMMERCIO,
INDUSTRIA, ARTIGIANATO
E AGRICOLTURA DI BOLZANO

