



Ricerca di Sistema elettrico

# Caratterizzazione delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio del Comune di Carbonia e individuazione delle linee guida per l'efficientamento

Pier Francesco Orrù, Claudio Martis, Valeria Fois



*DIMCM*

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali

## CARATTERIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEL PATRIMONIO EDILIZIO DEL COMUNE DI CARBONIA E INDIVIDUAZIONE DELLE LINEE GUIDA PER L'EFFICIENTAMENTO

Pier Francesco Orrù, Claudio Martis, Valeria Fois (Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e Materiali)

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.34 - Sviluppo di un protocollo di audit per l'implementazione di soluzioni impiantistiche sostenibili: il caso studio di Carbonia*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Sistemi impiantistici sostenibili e FER per l'efficientamento energetico del patrimonio edilizio: approcci, strumenti e metodologie"*

Responsabile scientifico ENEA: Giovanni Puglisi

Responsabile scientifico DIMCM: Pier Francesco Orrù

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI .....	5
2.2 STATO DELL'ARTE .....	12
2.3 CASI STUDIO: EDIFICI CIVILI.....	15
2.3.1 <i>Introduzione</i> .....	15
2.3.2 <i>Casi studio analizzati</i> .....	15
2.3.3 <i>Caso studio n.1</i> .....	17
2.3.4 <i>Caso studio n.2</i> .....	20
2.3.5 <i>Caso studio n.3</i> .....	23
2.3.6 <i>Caso studio n.4</i> .....	26
2.3.7 <i>Caso studio n.5</i> .....	29
2.3.8 <i>Caso studio n.6</i> .....	32
2.3.9 <i>Caso studio n.7</i> .....	35
2.3.10 <i>Caso studio n.8</i> .....	38
2.3.11 <i>Caso studio n.9</i> .....	41
2.3.12 <i>Caso studio n.10</i> .....	44
2.3.13 <i>Caso studio n.11</i> .....	47
2.3.14 <i>Caso studio n.12</i> .....	50
2.3.15 <i>Caso studio n.13</i> .....	53
2.4 CASI STUDIO: EDIFICI PUBBLICI .....	56
2.4.1 <i>Introduzione</i> .....	56
2.4.2 <i>Casi studio analizzati</i> .....	56
2.4.3 <i>Caso studio n.1</i> .....	57
2.4.4 <i>Caso studio n.2</i> .....	59
2.4.5 <i>Caso studio n.3</i> .....	62
2.4.6 <i>Caso studio n.4</i> .....	65
2.4.7 <i>Caso studio n.5</i> .....	68
2.4.8 <i>Caso studio n.6</i> .....	70
2.4.9 <i>Caso studio n.7</i> .....	73
2.4.10 <i>Caso studio n.8</i> .....	76
2.4.11 <i>Caso studio n.9</i> .....	78
2.4.12 <i>Caso studio n.10</i> .....	81
3 CONCLUSIONI.....	86
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	88

## Sommario

Durante questa fase della ricerca sono stati presi in esame 23 casi studio, di cui 13 edifici civili e 10 edifici pubblici che risultano rappresentativi del patrimonio edilizio di Carbonia. Per ogni caso studio è stata eseguita un'attività di audit energetico attraverso il rilievo e la raccolta dati sullo stato di fatto del sistema edificio-impianto e sull'impostazione di un modello energetico.

Attraverso lo studio dei risultati ottenuti sullo stato di fatto degli edifici presi in esame, per ognuno di essi, sono stati valutati tre diversi scenari di efficientamento energetico prevedendo interventi impiantistici e/o edili. Gli scenari ipotizzati sono stati divisi in base all'entità degli interventi e identificati in intervento low, intervento medium e intervento high.

Dall'analisi dei risultati ottenuti per le diverse ipotesi di retrofit precedentemente descritte si partirà con la costruzione di un abaco decisionale sugli interventi di efficientamento energetico. L'abaco decisionale, che verrà sviluppato nella successiva fase della ricerca, dovrà tenere conto di un maggior numero di fattori nei quali entreranno a par parte anche gli aspetti economici dei singoli interventi e i loro tempi di ammortamento. L'obiettivo è quello di creare uno strumento decisionale che descriva gli interventi possibili per ogni situazione edificio-impianto esistente e ci consenta di effettuare delle ipotesi di intervento accurate, in modo tale che possa essere usato come primo input decisionale per l'efficientamento energetico delle tipologie edilizie presenti su tutto il patrimonio edilizio della città di Carbonia.

L'abaco decisionale che si andrà a creare verrà applicato al caso studio di un edificio pubblico di Carbonia specifico, che verrà scelto come modello per lo sviluppo di una metodologia per l'efficientamento energetico sostenibilità impiantistica nel patrimonio pubblico edilizio esistente.

## 1 Introduzione

Migliorare le prestazioni energetiche degli edifici costituisce una condizionalità di fondamentale importanza per il raggiungimento degli obiettivi fissati dall'Unione Europea, sia a breve sia a lungo termine, della strategia climatica comunitaria orientata verso un'economia a bassa intensità di carbonio entro il 2050.

L'Unione Europea ha promosso a questo proposito una serie di programmi, progetti e direttive, come la 2002/91/CE e la 2010/31/UE sul rendimento energetico degli edifici, la 2006/32/CE sui servizi energetici e la 2012/27/UE sull'efficienza energetica, con la finalità di mettere in campo strumenti, criteri e soluzioni armonizzate e condivise in materia di incremento dell'efficienza energetica degli edifici esistenti e nuovi.

Nel settore dell'edilizia, ad esempio, la direttiva 2010/31/UE rappresenta il principale strumento normativo a livello europeo per migliorare l'efficienza energetica dei fabbricati. Elemento fondamentale della direttiva è rappresentato dagli edifici a energia quasi zero (NZEB, Nearly Zero-Energy Building). Tutto ciò si inquadra nella Strategia Energetica Nazionale (SEN) che fa dell'efficienza energetica la principale priorità attraverso l'istituzione di un programma particolarmente ambizioso per l'Italia, teso al superamento degli obiettivi europei al 2020, che fissa l'obiettivo di 15,5 Mtep di risparmio di energia finale al 2020, pari ad un risparmio del 24% rispetto allo scenario di riferimento europeo. L'incremento dell'efficienza energetica degli edifici e la transizione verso edifici a energia quasi zero costituisce un obiettivo prioritario per il nostro Paese che viene perseguito grazie a una molteplice gamma di misure di regolazione e incentivazione.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Riferimenti normativi e legislativi

Dalla metà degli anni '70 si è iniziato a mostrare una maggiore sensibilità verso le tematiche di gestione delle fonti energetiche. Sia a livello europeo che a livello nazionale, viene raggiunta una consapevolezza sul limite di disponibilità delle risorse primarie e si inizia a mostrare una maggiore attenzione sui problemi di inquinamento ambientale.

Il continuo dibattito e la sempre maggiore attenzione a queste tematiche ci portano oggi ad avere un ampio riferimento normativo in linea con gli accordi e gli obiettivi stabiliti a livello mondiale. Su questa linea di pensiero nasce in Italia una nuova politica energetica che si pone come obiettivo principale il contenimento dei consumi energetici soprattutto attraverso l'efficientamento del patrimonio edilizio italiano. Di seguito viene illustrata l'evoluzione normativa italiana in materia di efficientamento energetico:

- Legge 30 Aprile 1976 n.373 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici"

È stata la prima norma redatta per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici. Fu emanata in risposta alla prima vera e propria crisi petrolifera che si avvertì in Europa nel 1973, che causò un aumento esorbitante del prezzo del petrolio. La legge 373/76 prevedeva i primi vincoli per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici e le prime prescrizioni per l'isolamento termico degli edifici. Con questa legge vennero introdotti:

- il concetto di fattore di forma con il rapporto S/V (superficie disperdente su volume riscaldato);
  - l'individuazione delle diverse zone climatiche,
  - il coefficiente di dispersione volumico;
  - il concetto di gradi-giorno
- Legge 9 Gennaio 1991 n.10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"

Questa legge viene considerata una tappa fondamentale nell'evoluzione della normativa energetica.

Viene introdotta per la prima volta il concetto di Certificazione energetica degli edifici. L'Italia viene divisa per aree geografiche in zone climatiche, classificandole con periodi precisi di esercizio (A, B, C, D, E, F), in cui ogni periodo prevede determinate temperature, queste zone climatiche sono ulteriormente classificate in base alla velocità dei venti, con dei coefficienti di esposizione. La legge proponeva il calcolo del bilancio energetico invernale come la somma algebrica degli apporti di calore e delle dispersioni di calore. La norma introduceva inoltre l'obbligo di redigere a cura di un professionista una relazione tecnica (in duplice copia) sul rispetto delle prescrizioni contenute nella legge, a cui sono soggette tutte le abitazioni; per quelle di nuova costruzione la relazione va redatta e consegnata prima dell'avvio dei lavori di costruzione.

- D.lgs. 192/2005 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia"

Questo decreto è stato emanato recependo la direttiva 2002/91/Ce, ponendo limiti al valore del fabbisogno di energia prima (espressa in kWh/m<sup>2</sup> anno). Il decreto del 19 agosto 2005, stabilisce i criteri e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo e l'integrazione delle fonti rinnovabili, di contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto e promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico.

Il decreto si applica ad edifici di nuova costruzione ed oggetto di ristrutturazione, ad eccezione di fabbricati industriali, artigianali ed agricoli non residenziali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo ed i fabbricati con una superficie totale inferiore a 50 mq. Tale decreto rende ancora più rigida la redazione delle relazione tecnica da depositare in comune prevista dalla legge n. 10/1991 poiché i calcoli si dovranno fare anche per il periodo estivo; con questa legge comincia a nascere l'idea di edificio certificato sotto il profilo energetico. Il testo di legge disciplina la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici, l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici, i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici, la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore, la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore. Tale decreto legislativo prevede che gli edifici di nuova costruzione e quelli da ristrutturare, siano dotati di un attestato di certificazione energetica. Tale attestato deve essere allegato all'atto di compravendita, ha una validità temporale massima di 10 anni a partire dal suo rilascio ed è aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione che modifica la prestazione energetica dell'edificio e dell'impianto. Ad esso devono essere allegati suggerimenti in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della prestazione energetica dell'edificio. Negli edifici di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico, l'attestato di certificazione energetica deve essere affisso nello stesso edificio a cui si riferisce in luogo facilmente visibile al pubblico.

- D.lgs. 311/2006 "Disposizioni correttive ed integrative al D.lgs. 192/2005, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia"

Modifica ed integra il decreto legislativo 192/2005, a sua volta attuativo della direttiva 2002/91/Ce, relativa al rendimento energetico ed al fabbisogno energetico nell'edilizia. Le novità introdotte sono:

- l'obbligo del "certificato energetico", attestante la capacità di risparmio energetico di un determinato edificio nel momento in cui viene immesso sul mercato immobiliare, inoltre il certificato energetico diventa indispensabile per ottenere le agevolazioni fiscali previste per la ristrutturazione di edifici in funzione di una maggiore efficienza energetica;
- l'obbligo di utilizzo di pannelli fotovoltaici, pannelli solari termici per la produzione di acqua calda e schermature solari esterne, per tutti gli edifici nuovi o ristrutturati che hanno una superficie superiore a 1000 m<sup>2</sup>;

- l'obbligo per tutti gli uffici pubblici all'esposizione della targa energetica.
- Impone inoltre nuovi limiti al fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale degli edifici e alle trasmittanze di tutte le componenti dell'involucro edilizio.
- D.lgs. 28/2011 "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE"

Definisce strumenti, meccanismi, incentivi e quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari per il raggiungimento degli obiettivi fino al 2020 in materia di energia da fonti rinnovabili. Le più importanti novità definite dal decreto per quanto concerne l'efficienza energetica degli edifici sono la definizione degli obblighi di utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e sottoposti a ristrutturazioni importanti e l'introduzione dell'obbligo, in sede di compravendita e locazione di un edificio, dell'introduzione di una clausola in cui l'acquirente o il locatore dichiara di aver ricevuto le informazioni e la documentazione in ordine alla certificazione energetica degli edifici.

- DL 63/2013 "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale"

Viene introdotto il nuovo Attestato di Prestazione Energetica (APE) a sostituzione dell'attestato di certificazione energetica e deve comprendere tutti i dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio. Introduce inoltre novità sulle detrazioni fiscali per risparmio energetico e sulla ristrutturazione edilizia, sugli edifici ad energia quasi zero.

- Legge 90/2013 "Conversione, con modificazioni, del decreto - legge 4 giugno 2013 n.63"

È la conversione in legge del decreto legge 63/2013 precedentemente descritto.

- DM 26/6/2015 Requisiti Minimi "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici"

Un testo di legge dedicato alle modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, tracciando dei criteri generali volti a regolamentare l'utilizzo delle fonti rinnovabili, ma anche le prescrizioni e i requisiti minimi da soddisfare, per quanto riguarda edifici pubblici e privati.

Contiene informazioni piuttosto importanti per quanto riguarda temi rilevanti nell'ambito della certificazione energetica degli edifici. Grande importanza la riveste il concetto di trasmittanza all'interno del Decreto, presente in diversi punti dello stesso, in particolar modo per quanto riguarda le cosiddette ristrutturazioni importanti di secondo livello. In questi, infatti, entrano in gioco fattori come requisiti di trasmittanza termica limite delle porzioni e delle quote di elementi e componenti l'involucro dell'edificio interessati dai lavori di riqualificazione energetica. Nello stesso decreto, inoltre, sono presenti schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici. Le novità riguardano, appunto, schemi che il Progettista è tenuto a presentare in relazione all'esecuzione di interventi edilizi, ai fini dell'attestazione del fatto che l'edificio in questione rispetti i requisiti imposti dalla normativa in materia di prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici.

- UNI/TS 11300

Rappresentano l'applicazione italiana delle norme tecniche europee e rappresentano il riferimento ufficiale per le metodologie di calcolo del fabbisogno energetico degli edifici. Consentono di valutare sia gli edifici nuovi che quelli esistenti, in relazione a condizioni standard convenzionali di



riferimento (design rating o asset rating) o in condizioni adattate all'utilizzo specifico (tailored rating). Si suddividono in sei parti:

- UNI/TS 11300 - 1:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale"

Definisce le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008, con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni dell'involucro per la climatizzazione estiva e invernale, comprensivi di umidificazione e deumidificazione. Essa è rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008, calcolo di progetto (design rating), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (asset rating), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (tailored rating).

- UNI/TS 11300 - 2:2019 "Prestazioni energetiche degli edifici Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali"

Fornisce dati e metodi di calcolo per la determinazione dei fabbisogni di acqua calda sanitaria e per la valutazione delle perdite e dei rendimenti degli impianti per la climatizzazione invernale (idraulica e aeraulica).

Essa fornisce inoltre il metodo di calcolo per la determinazione del fabbisogno di energia per il servizio di ventilazione meccanica e le indicazioni e i dati nazionali per la determinazione dei fabbisogni di energia legati al servizio di illuminazione artificiale, in accordo con la UNI EN 15193.

- UNI/TS 11300 - 3:2010 "Prestazioni energetiche degli edifici Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva"

Fornisce i metodi per la determinazione di rendimenti e fabbisogni di energia dei sistemi di climatizzazione estiva e fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione estiva. Si applica unicamente ad impianti fissi di climatizzazione estiva con macchine frigorifere azionate elettricamente o ad assorbimento.

- UNI/TS 11300 - 4:2016 "Prestazioni energetiche degli edifici Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria"

Calcola le perdite e i rendimenti di sottosistemi di generazione che forniscono energia termica utile da energie rinnovabili o con metodi di generazione diversi da quelli trattati nella UNI TS 11300-2. All'interno della norma sono considerate le seguenti tecnologie a fonti rinnovabili (solare termico, solare fotovoltaico, pompe di calore che sfruttano fonti aerauliche, idrauliche o geotermiche, biomasse e altri metodi di generazione quali cogenerazione e le sottostazioni di teleriscaldamento).

- UNI/TS 11300 - 5:2016 "Prestazioni energetiche degli edifici Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili"

Fornisce metodi di calcolo per determinare in modo univoco e riproducibile applicando la normativa tecnica citata nei riferimenti normativi, il fabbisogno di energia primaria degli edifici sulla base dell'energia consegnata ed esportata e la quota di energia da fonti rinnovabili. Inoltre, fornisce precisazioni e metodi di calcolo che riguardano, in particolare:



- 1) le modalità di valutazione dell'apporto di energia rinnovabile nel bilancio energetico;
  - 2) la valutazione dell'energia elettrica esportata;
  - 3) la definizione delle modalità di compensazione dei fabbisogni con energia elettrica attraverso energia elettrica prodotta da rinnovabili;
  - 4) la valutazione dell'energia elettrica prodotta da unità cogenerative.
- UNI/TS 11300 - 6:2016 "Prestazioni energetiche degli edifici Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili"

Fornisce dati e metodi per la determinazione del fabbisogno di energia elettrica per il funzionamento di impianti destinati al sollevamento e al trasporto di persone o persone accompagnate da cose in un edificio, sulla base delle caratteristiche dell'edificio e dell'impianto. I suddetti metodi di calcolo tengono in considerazione solo il fabbisogno di energia elettrica nei periodi di movimento e di sosta della fase operativa del ciclo di vita.

- UNI 10349 - 1:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo - energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata"

Fornisce, per il territorio italiano, i dati climatici convenzionali necessari per la verifica delle prestazioni energetiche e termoigrometriche degli edifici, inclusi gli impianti tecnici per la climatizzazione estiva e invernale ad essi asserviti. La norma fornisce inoltre metodi di calcolo per ripartire l'irradianza solare oraria nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'energia raggiante ricevuta da una superficie fissa comunque inclinata ed orientata. La nuova UNI 10349-1 sostituisce la UNI/TR 11328-1:2009.

- UNI 10349 - 2:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 2: Dati di progetto"

Il rapporto tecnico fornisce, per il territorio italiano, i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione delle prestazioni energetiche e termoigrometriche degli edifici, inclusi gli impianti tecnici per la climatizzazione estiva ed invernale ad essi asserviti. I dati di progetto contenuti nel rapporto tecnico sono rappresentativi delle condizioni climatiche limite, da utilizzare per il dimensionamento degli impianti tecnici per la climatizzazione estiva e invernale e per valutare il rischio di surriscaldamento estivo.

- UNI 10349 - 3:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici"

Il rapporto tecnico fornisce, per il territorio italiano, i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione delle prestazioni energetiche e termoigrometriche degli edifici, inclusi gli impianti tecnici per la climatizzazione estiva ed invernale ad essi asserviti. I dati di progetto contenuti nel rapporto tecnico sono rappresentativi delle condizioni climatiche limite, da utilizzare per il dimensionamento degli impianti tecnici per la climatizzazione estiva e invernale e per valutare il rischio di surriscaldamento estivo.

- UNI EN ISO 52016 - 1:2018 "Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo"

Parte di una serie di norme “EPB - Energy Performance of Buildings” nate con l’obiettivo di formare una metodologia per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici a livello internazionale. Definisce un nuovo metodo di calcolo dinamico, definendo le procedure di calcolo dei fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento sia su base oraria che mensile. Definisce inoltre il metodo di calcolo per le temperature interne e per i carichi termici sensibili e latenti su base oraria.

- UNI EN ISO 52016 - 2:2018 “Prestazioni energetiche degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 2: Spiegazione e giustificazione della ISO 52016 - 1 e della ISO 52017 - 1”

Il rapporto tecnico contiene informazioni per supportare la corretta comprensione e il corretto utilizzo della ISO 52016-1 e della ISO 52017-1 ma non contiene alcuna disposizione normativa.

Questi documenti forniscono metodi di calcolo per la valutazione:

- del carico e del fabbisogno termico (sensibile e latente) per riscaldamento e raffrescamento, basato su calcoli orari;
  - del fabbisogno energetico (sensibile e latente) per riscaldamento e raffrescamento, basato su calcoli mensili;
  - della temperatura interna, basata su calcoli orari;
  - del carico di progetto (sensibile e latente) per riscaldamento e raffrescamento, basato su calcoli orari.
- UNI EN 15459 “Prestazione energetica degli edifici - Sistemi di riscaldamento e sistemi di raffrescamento idronici negli edifici - Parte 1: Procedura di valutazione economica per i sistemi energetici negli edifici, Modulo M1 - 14”

Fornisce un metodo di calcolo degli aspetti economici dei sistemi di riscaldamento e di altri sistemi che determinano la domanda e il consumo di energia dell'edificio.

- D.lgs. 10/06/2020 n.48 Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31

Pubblicato in Gazzetta Ufficiale il giorno 11 giugno, il DLgs 48/2020 recepisce le direttive 2012/27 sull'efficienza energetica e Ue 2018/844 sulla prestazione energetica nell'edilizia apportando così delle modifiche al Dlgs 192 del 2005 (sul rendimento energetico degli edifici) e abrogando alcuni obblighi fissati dalla Legge 10/91 (Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso nazionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia). Il DLgs 10 giugno 2020 non modifica solo normative sull'efficienza energetica in edilizia, ma anche alcune disposizioni in materia edilizia.

Apporta novità sull'efficienza energetica, la prestazione energetica e sulla normativa che regola gli APE. L'obiettivo principale è intervenire sul patrimonio immobiliare italiano, con specifiche azioni volte al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici anche tramite l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione di edifici nuovi, nonché di edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione importante.

Di particolare rilievo, inoltre, sono le precisazioni sugli ambiti di esclusione del d.lgs. 192/2005 che, come in passato, continuano a ricomprendere:

- gli edifici vincolati, ossia soggetti al d.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 – cd. Codice dei beni culturali (basti pensare ad uno dei tanti palazzi storici delle nostre città);

- gli edifici non influenti energeticamente (quali box, cantine, autorimesse, parcheggi multipiano, depositi, ecc.).

Per i primi viene ribadito il ruolo dell'autorità (statale o regionale) preposta alla tutela di tali beni che dovrà pronunciarsi sull'eventuale (non) compatibilità degli interventi di miglioramento energetico rispetto ai valori tutelati (art. 3, comma 3-bis, d.lgs. 192/2005); per i secondi viene specificato che l'esonero dalla quasi totalità delle previsioni del d.lgs. 192/2005 non riguarda, però, la realizzazione delle infrastrutture di ricarica dei veicoli elettrici [cfr. nuovo art. 3, comma 3, lettera e), d.lgs. 192/2005].

Degne di segnalazione, infine, sono le modificazioni in materia di attestato di prestazione energetica (APE), da allegare come noto ai contratti di compravendita immobiliare, agli atti di trasferimento di immobili a titolo oneroso, ai nuovi contratti di locazione di edifici o di singole unità immobiliari soggetti a registrazione: le competenze sanzionatorie in materia di APE sono ora attribuite alle regioni e alle province autonome, peraltro competenti per l'accertamento e la contestazione della violazione (art.6, comma 3, nuovo d.lgs. 192/2005). Pur confermando la validità temporale massima dell'APE (dieci anni) la stessa è subordinata anche al rispetto delle prescrizioni inerenti all'integrazione negli edifici delle tecnologie di ricarica dei veicoli elettrici. Si deve, invece, mettere mano all'APE nei casi di sistema tecnico per l'edilizia installato, sostituito o migliorato, procedendo all'analisi della prestazione energetica globale della parte modificata e, se del caso, dell'intero sistema modificato (art. 16, comma 10-bis, nuovo d.lgs. 192/2005).

## 2.2 Stato dell'arte

Il risparmio energetico negli appartamenti è considerato una grande opportunità di risparmio energetico in quanto gli appartamenti occupano una percentuale enorme sugli edifici residenziali nel mondo; il consumo finale di energia negli edifici residenziali ha rappresentato oltre il 70% del totale mondiale nel 2018.[1] Nei paesi europei, il rapporto tra i condomini comprende quasi la metà dell'intero patrimonio abitativo.[2,3,13] (Park et al., 2021)

La maggior parte delle persone vive in appartamenti o edifici, dove anche i piccoli risparmi energetici, moltiplicati per il numero di famiglie nel mondo, sarebbero di indescrivibile vantaggio ambientale ed economico (Lewandowski e Lewandowska-Iwaniak, 2014). [11]

In particolare, gli appartamenti nei grattacieli devono spesso affrontare problemi cruciali sul rendimento energetico. Una delle cause più comuni è il disagio termico interno, causato dagli sbalzi termici giornalieri e dalla stratificazione verticale della temperatura. Il disagio termico si traduce in un elevato fabbisogno energetico per l'utilizzo dell'aria condizionata, inoltre implica una maggiore dipendenza dai sistemi meccanici di ventilazione per avere condizioni di vita accettabili. Inoltre, gli edifici multi livello sono molto influenzati dalle condizioni climatiche esterne per via della loro altezza e orientamento. In particolare, l'orientamento dell'edificio influenza il guadagno di calore dovuto alla radiazione solare che fluisce nell'edificio. Un guadagno di calore eccessivo può causare un consumo eccessivo di energia per il raffrescamento estivo poiché l'appartamento ha vari fattori di acquisizione del calore ricevuti dalle condizioni climatiche esterne a seconda dell'altezza e dell'orientamento dell'edificio, gli sforzi per ottenere il risparmio energetico in questi edifici risultano necessari per ridurre il consumo di energia per riscaldamento e raffreddamento (Park et al., 2021). [13]

Hassan & El-Rayes presentano lo sviluppo di un nuovo modello di ottimizzazione sull'uso di misure di retrofit energetico in edifici esistenti per soddisfare l'obiettivo di riduzione del consumo energetico specificato dal proprietario, riducendo al minimo i costi richiesti per l'efficientamento dell'edificio. Il modello di ottimizzazione è stato utilizzato per identificare una combinazione ottimale di tecnologie di retrofit energetico che riducono al minimo i costi di efficientamento che, per questo caso di studio soddisfano l'obiettivo di riduzione energetica dell'80%. Suddividono l'edificio in una serie di settori per consentire al modello di identificare tutte le misure retrofit energetico realizzabili e che possono essere integrate in ogni settore dell'edificio. Ogni settore può integrare diversi tipi di tecnologie di energia rinnovabile (Hassan & El-Rayes, 2020). [10]

Xu ha sviluppato una metodologia sistematica per ridurre al minimo i carichi di riscaldamento e raffreddamento dell'edificio utilizzando un design sperimentale e un algoritmo genetico di non-smistamento in modo da selezionare insiemi di fattori ottimali per la progettazione dell'edificio. L'algoritmo genetico di non ordinamento ha offerto linee frontali in cui il fattore di progettazione ottimale dell'edificio è impostato per i carichi minimi di riscaldamento e raffreddamento, mostrando che il rapporto tra le efficienze dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento è in grado di influenzare la progettazione di climatizzazione passiva dell'edificio. Quindi la parte di climatizzazione attiva e la parte passiva dovrebbero essere considerate simultaneamente e in modo accoppiato per portare ad una progettazione ottimale di edifici a energia netta zero (Xu et al., 2015). [16]

Il documento di ricerca si concentra su un unico modello per ridurre il consumo di energia.

Lewandowski tenta una classificazione dei materiali isolanti dal punto di vista della loro utilità nella costruzione passiva pro-ecologica. Il criterio principale è la conducibilità dell'energia termica e solare. Ci sono pareti divisorie tradizionali (pareti tipiche, materiali isolanti per pareti, finestre), materiali da costruzione a risparmio energetico (pareti Trombe, isolamento trasparente, finestre a risparmio energetico) e materiali del futuro. Questa classificazione faciliterà lo sviluppo consapevole e pianificato di quest'ultimo. I materiali da cui devono essere realizzati i muri, i tetti, le fondamenta, le finestre, le porte, ecc. di un edificio ad alta efficienza energetica sono l'aspetto più importante nella sua progettazione e costruzione. Per ridurre al minimo il consumo di energia, questi materiali devono soddisfare i seguenti requisiti energetici:

- in inverno, dovrebbero fornire all'edificio energia dall'esterno e trattenerla all'interno,
- in estate, dovrebbero impedire la trasmissione di energia nell'edificio ma consentirne il flusso nella direzione opposta,
- in inverno l'energia solare dovrebbe raggiungere l'edificio sia sotto forma di luce che di calore, ma in estate solo come luce (Lewandowski e Lewandowska-Iwaniak, 2014). [11]

Numerosi progetti di ricerca e innovazione hanno avviato lo sviluppo di soluzioni modulari di retrofit per facciate che integrano tecnologie di energia rinnovabile in loco. Du ha definito il termine di “Modular Facade Retrofit with Renewable energy technologies (MFRRn)”. Il MFRRn si riferisce al processo di retrofit energetico in base al quale le tecnologie di isolamento termico, solare ed eolico sono integrate con la finitura esterna dell'edificio utilizzando un approccio modulare (Du et al., 2019). [7]

In un edificio ad alta efficienza energetica i sistemi passivi di raffrescamento e riscaldamento sono impiegati per diminuire il consumo energetico degli edifici. Il raffrescamento passivo si basa sul controllo e la dissipazione del calore della radiazione solare e del guadagno termico durante le stagioni calde, mentre il riscaldamento passivo applica l'energia solare termica per riscaldare l'interno dell'edificio durante le stagioni fredde. Il tetto, le finestre, le pareti e l'orientamento dell'edificio sono i componenti chiave del raffrescamento/riscaldamento passivo di un edificio. Tuttavia, tra questi parametri, il tetto offre un grande potenziale per il raffrescamento passivo grazie alla sua ampia superficie esposta, che riceve la frazione maggiore della radiazione solare e allo stesso tempo fornisce un'ampia superficie per la dispersione di calore. Finora sono stati proposti diversi sistemi di raffrescamento passivo applicati ai tetti degli edifici come uno specchio d'acqua sul tetto, in cui viene applicato il calore latente di evaporazione per il raffrescamento [2], tecniche di dissipazione del calore, in cui viene diminuito il calore di radiazione guadagnato dal tetto attraverso la riduzione della radiazione incidente [3] e la “water jacket” sul tetto che utilizza il raffrescamento notturno e per convezione. I calcoli di Sabzi mostrano che mentre tutti i sistemi di raffrescamento passivo esaminati riducono il carico di raffrescamento richiesto per l'edificio durante l'estate, il massimo raffrescamento può essere ottenuto mediante l'applicazione di uno specchio d'acqua sul tetto seguito da una schermatura antiradiazioni e dalla “water jacket” sul tetto. I calcoli prevedono anche che le prestazioni di ciascuna tecnica dipendono dall'ora del giorno. Mentre al mattino lo specchio d'acqua e lo schermo antiradiazione sul tetto mostrano relativamente le stesse prestazioni, lo specchio d'acqua sul tetto si traduce in temperature più basse e carichi di raffrescamento richiesti all'interno dell'edificio nel pomeriggio (Sabzi et al., 2015). [14]

I sistemi di raffrescamento passivo sono già stati applicati con successo negli edifici urbani con conseguente risparmio energetico ma devono essere stabilite le condizioni in riferimento al clima. La direzione del vento, la temperatura media, l'intensità della radiazione solare e anche la morfologia del paesaggio dovrebbero orientare la scelta di una tecnica progettuale adeguata. L'orientamento deve essere scelto in modo da sfruttare al meglio le brezze estive locali e rendere l'edificio meno esposto alla radiazione solare. La forma dell'edificio, le aperture e l'inclinazione del tetto influenzano la ventilazione e l'effetto della radiazione solare. I materiali isolanti riducono lo scambio termico tra l'ambiente interno ed esterno e i materiali isolanti possono essere artificiali o naturali come i tetti verdi. In secondo luogo, il colore esterno di un edificio può ridurre al minimo la quantità di radiazione solare in entrata. Si dice che la ventilazione naturale sia il metodo di raffrescamento passivo più comune delle strutture (Firfiris et al., 2019). [9]

Evola indaga la redditività energetica ed economica della ristrutturazione di edifici residenziali a clima temperato attraverso l'integrazione di pannelli fotovoltaici sulle facciate. L'indagine riguarda un vero e proprio condominio multipiano, rappresentativo di un numero significativo di edifici costruiti in Italia nel 1950–1990, che spesso necessitano di ristrutturazione a causa dell'obsolescenza. Questo tipo di edificio è generalmente adatto a ricevere una nuova facciata a doppia pelle, che supporta sia il fotovoltaico che altri materiali di rivestimento comuni, rappresentando anche un buon compromesso in termini di qualità estetica, costo, peso, durata e facilità di manutenzione. Modificando virtualmente l'orientamento, il numero di piani e le condizioni climatiche, e considerando diverse tecnologie fotovoltaiche. I risultati mostrano che per un edificio di 8 piani con l'asse principale lungo EW, l'investimento iniziale può essere

rimborsato entro circa nove anni, se si considerano gli incentivi fiscali attuali e un tasso di autoconsumo del 50% per l'energia elettrica prodotta dai moduli fotovoltaici. La presenza di incentivi fiscali è essenziale per rendere appetibile l'investimento. (Evola e Margani, 2016). [8] Ma le valutazioni potenziali dei sistemi fotovoltaici e delle batterie possono essere integrate con turbine eoliche di micro generazione (10,5 kW) per coprire la domanda di elettricità degli utenti residenziali. (Camargo et al., 2019). [4] Minimizzare il costo dell'energia elettrica è un'approccio alla gestione della risorsa energetica a Sahlaoui che ha proposto tramite il monitoraggio di un impianto fotovoltaico realizzato per il progetto di cooperazione DE.DU.ENER.T, utilizzando energie rinnovabili e criteri economici. Hanno ridotto le bollette utilizzando fonti sostenibili, verdi e pulite. Il prezzo dell'energia generata dai sistemi fotovoltaici è inferiore al prezzo agevolato dell'energia generata dai combustibili fossili (Sahlaoui et al., 2019). [15]

Restrizioni politiche più severe, sussidi statali e la maggiore domanda da parte degli utenti di soluzioni rispettose dell'ambiente sono alcuni dei motivi per cui la generazione in loco da fonti di energia rinnovabile (FER) è diventata un'opzione ampiamente usata negli ultimi anni e la tendenza futura va verso sistemi di fornitura in loco esclusivamente basati su FER. Milano rispetto ai sistemi convenzionali e la variabilità delle fonti energetiche necessita una progettazione ottimizzata del sistema complessivo e lo sviluppo di un modello basato sulla programmazione lineare per il dimensionamento ottimale dei sistemi di alimentazione 100% rinnovabile in termini di costi complessivi del sistema. La configurazione ottimale è data da un modello fotovoltaico abbinato ad una pompa di calore per la fornitura di calore (Milan et al., 2012). [12]

L'approccio ibrido può migliorare il consumo energetico dell'edificio e il comfort termico con il consumo energetico dell'edificio ridotto del 10,6% e il comfort termico aumentato del 32,2% rispetto ai valori iniziali, rispettivamente. L'ubicazione dell'edificio e il tempo di simulazione del consumo energetico sono determinati per impostare i parametri ambientali esterni dell'edificio come la temperatura esterna, l'umidità esterna, la direzione e la velocità del vento esterno. In questo studio è stata condotta l'ottimizzazione multi-obiettivo del consumo energetico e del comfort termico dell'edificio sulla base dei parametri principali dell'involucro edilizio, che ha il maggiore impatto sul consumo energetico dell'edificio. In effetti, altri fattori nella progettazione degli edifici come il riscaldamento, la ventilazione e l'aria condizionata (HVAC) e il sistema di illuminazione hanno anche determinati impatti sul consumo energetico dell'edificio (Chen et al., 2021). [5]

Per mostrare uno studio comparativo per l'uso residenziale di tre delle tre principali tecnologie di illuminazione: alogena a incandescenza, CFL (Compact Fluorescent Lamp) e LED (Light Emitting Diode). Sono stati valutati i conseguenti costi e impatti ambientali. Questo studio ha scoperto che le lampade a LED sono chiaramente la migliore opzione di illuminazione. I prezzi dei LED hanno mostrato una tendenza al ribasso rispetto alle CFL, perché negli anni si è registrato un netto calo dei loro costi di produzione, con una corrispondente crescita dell'efficienza luminosa. Pertanto, i dati suggeriscono che la tecnologia LED sarà sempre più competitiva nei prossimi anni e diventerà accessibile a gran parte della popolazione (de Souza et al., 2019). [6]

## 2.3 Casi studio: edifici Civili

### 2.3.1 Introduzione

All'interno del territorio di Carbonia è stata individuata un'area all'interno della quale sono riconducibili la maggior parte delle tipologie edilizie ad uso civile presenti nella città. Queste tipologie sono state catalogate e raggruppate secondo tipi specifici della fondazione della città di Carbonia e secondo tipi più generici, quest'ultimi poi, si ritrovano in tutto il territorio regionale e nazionale.

Dalle tipologie catalogate sono stati presi in esame 13 casi studio. Su una delle tipologie edilizie più caratteristiche della fondazione della città, i Pistoni, è stata eseguita da parte di Sotacarbo, un'attività di audit energetico attraverso il rilievo e la raccolta di dati sullo stato del sistema (elementi costruttivi e materiali, impianti che garantiscono diversi servizi, consumi vettori energetici, costi operativi, profilo d'uso degli ambienti, ecc.) e sull'impostazione di un modello energetico per ogni caso studio. Per le altre tipologie edilizie esaminate durante questa fase, i modelli sono stati sviluppati sulla base della conoscenza del territorio.

I modelli energetici del sistema edificio-impianto sono stati eseguiti attraverso l'uso del software Termolog della casa produttrice Logicalsoft, il quale ci permette di proporre sia dettagliate simulazioni fisiche basate su motori dinamici orari che modelli stazionari come quelli proposti dagli standard delle normative UNI ISO 13790:2008 e UNI 11300.

In questa fase l'obiettivo è stato quello di individuare per ogni caso studio gli elementi deboli del sistema per poi definire delle ipotesi di intervento che, a seconda del livello di impatto sul sistema edificio-impianto vengono suddivise in intervento "Low", intervento "Medium" e intervento "High". I dati ottenuti sono da considerarsi come un risultato preliminare per la ricerca. Questi vengono raccolti e utilizzati per costruire un modello decisionale, che in base alla tipologia edilizia presa in esame e al tipo di impianto in essa presente, possa essere usato come input decisionale per l'efficientamento energetico delle tipologie edilizie presenti su tutto il patrimonio edilizio della città di Carbonia.

### 2.3.2 Casi studio analizzati

Sono stati analizzati 13 casi studio, includendo sia edifici multi-residenziali che monofamiliari ricoprendo così, tutte le principali tipologie edilizie presenti all'interno del territorio di Carbonia.

Più nello specifico, sono state prese in esame le seguenti tipologie:

1. Pistoni O/5, edificio multi- livello (4 piani) della fondazione della città che contiene 12 unità abitative a piano, costruito in muratura portante ed strutture orizzontali in latero – cemento palazzo della fondazione a carattere intensivo, 24 unità abitative.
  - PISTONI O/5 – UNITA' AL PIANO TERRA
2. Pistoni O/5, edificio multi- livello (4 piani) della fondazione della città che contiene 12 unità abitative a piano, costruito in muratura portante ed strutture orizzontali in latero – cemento palazzo della fondazione a carattere intensivo, 24 unità abitative.
  - PISTONI O/5 – UNITA' AL PIANO INTERMEDIO
3. Pistoni O/5, edificio multi- livello (4 piani) della fondazione della città che contiene 12 unità abitative a piano, costruito in muratura portante ed strutture orizzontali in latero – cemento palazzo della fondazione a carattere intensivo, 24 unità abitative.
  - PISTONI O/5 – UNITA' ALL'ULTIMO PIANO
4. Gra M, casa binata a due piani della fondazione della città che contiene 2 unità abitative per piano, costruito in muratura portante ed strutture orizzontali in latero – cemento, 4 unità abitative.
  - GRA M – UNITA' AL PIANO TERRA
5. Gra M, casa binata a due piani della fondazione della città che contiene 2 unità abitative per piano, costruito in muratura portante ed strutture orizzontali in latero – cemento, 4 unità abitative.



- GRA M – UNITA' ALL'ULTIMO PIANO
- 6. Generico \_B1, edificio isolato o in aderenza con altri corpi di fabbrica, da 1-3 livelli fuori terra, di forma semplice, con poche finestre, tendenzialmente privo di verande e portici, spesso riferibile agli anni 50-60 ma con esempi anche più recenti. Nelle versioni più datate può essere realizzato in materiale lapideo o altre muratura portante semplice in quanto spesso sono il risultato di modifiche e sopraelevazioni di corpi di fabbrica più antichi. Unità monofamiliare o pluri-familiare.
  - UNITA' MONOFAMILIARE (CASA UNICA)
- 7. Generico \_B2, edificio isolato o in aderenza con altri corpi di fabbrica, da 1-3 livelli fuori terra, provvisto di verande e/o porticati con finestre ampie e a volte di forma complessa, realizzati prevalentemente dagli anni 70 in poi con murature portanti o anche con strutture in cemento armato e tamponatura in laterizio forato. Gli edifici di dimensioni minori sono concepiti come monofamiliare a più livelli, in generale possono presentare due più immobiliari con articolazione interna (abbinata lateralmente, sovrapposte, o anche più complessa). Unità monofamiliare o pluri-familiare.
  - UNITA' MONOFAMILIARE (CASA UNICA)
- 8. Edificio a Schiera generico \_C1, case a schiera realizzate dopo gli anni 80, plurifamiliari a sviluppo verticale affiancate l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con o senza sottotetto, con o senza seminterrato; generalmente realizzate con muratura portante o strutture miste in cemento armato.
  - SCHIERA MULTIFAMILIARE (CAPOSCHIERA) – UNITA' AL PIANO TERRA
- 9. Edificio a Schiera generico \_C1, case a schiera realizzate dopo gli anni 80, plurifamiliari a sviluppo verticale affiancate l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con o senza sottotetto, con o senza seminterrato; generalmente realizzate con muratura portante o strutture miste in cemento armato.
  - SCHIERA MULTIFAMILIARE (CAPOSCHIERA) – UNITA' ALL'ULTIMO PIANO
- 10. Edificio a Schiera generico \_C1, case a schiera realizzate dopo gli anni 80, plurifamiliari a sviluppo verticale affiancate l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con o senza sottotetto, con o senza seminterrato; generalmente realizzate con muratura portante o strutture miste in cemento armato.
  - SCHIERA MULTIFAMILIARE (CENTRALE) – UNITA' AL PIANO TERRA
- 11. Edificio a Schiera generico \_C1, case a schiera realizzate dopo gli anni 80, plurifamiliari a sviluppo verticale affiancate l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con o senza sottotetto, con o senza seminterrato; generalmente realizzate con muratura portante o strutture miste in cemento armato.
  - SCHIERA MULTIFAMILIARE (CENTRALE) – UNITA' ALL'ULTIMO PIANO
- 12. Edificio a Schiera generico \_C1, case a schiera realizzate dopo gli anni 80, monofamiliari a sviluppo verticale affiancate l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con o senza sottotetto, con o senza seminterrato; generalmente realizzate con muratura portante o strutture miste in cemento armato.
  - SCHIERA MONOFAMILIARE (CENTRALE) – CASA UNICA
- 13. Edificio a Schiera generico \_C1, case a schiera realizzate dopo gli anni 80, monofamiliari a sviluppo verticale affiancate l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con o senza sottotetto, con o senza seminterrato; generalmente realizzate con muratura portante o strutture miste in cemento armato.
  - SCHIERA MONOFAMILIARE (CAPOSCHIERA) – CASA UNICA

### 2.3.3 Caso studio n.1

#### Descrizione

I Pistoni sono stati costruiti a Carbonia nel 1940, come alloggi per gli operai. La tipologia edilizia di presenta come un edificio a torre formato da una scala centrale che serve due volumi sfalsati, un corpo principale 9,5x18m che accoglie due appartamenti per piano ed un corpo secondario, chiamato "pistone" che ha una superficie lorda di 7.5x9m in cui è presente un appartamento per ogni livello. Geometricamente, l'edificio è composto da due edifici simmetrici a "T", comprendendo complessivamente 24 appartamenti. Ogni appartamento è formato da un soggiorno con cucina, un ambiente di servizio e due camere da letto. La struttura dell'edificio è in muratura portante con spessore che si riduce con la progressione dei piani verso l'alto presenta uno spessore dei muri perimetrali in trachite da 70cm fino alla quota del primo piano che si riduce a 50cm per il secondo e terzo piano e diventa di 45cm all'ultimo piano. I muri portanti di spina, sempre in trachite, invece hanno uno spessore di 70cm fino al primo piano, 55cm al secondo e terzo piano e 50cm all'ultimo piano. Internamente gli appartamenti sono divisi tra di loro con una doppia parete di mattoni forati con intercapedine d'aria di 15cm. Il solaio di terra del "pistone" poggia direttamente sul terreno ed è formato da un vespaio in pietrame ricoperto da un massetto in calcestruzzo su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento. Invece nel corpo sfalsato un'intercapedine d'aria separa il terreno dal solaio del piano rialzato, formato da una volta in mattoni pieni su cui è stato gettato un sottofondo in calcestruzzo con un letto di malta bastarda su cui è stata posata la pavimentazione in mattonelle di cemento. I solai intermedi sono in latero cemento con uno spessore di 20 cm, più un letto di malta comune su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento.



**Figura 1: Edificio Pistoni O/5 allo stato attuale**

Solaio di copertura è sempre in latero cemento ma con in aggiunta uno strato isolante di Eraclit dello spessore di 6cm. Gli infissi esterni originali sono in legno di abete con vetro singolo da 3cm di spessore, con persiane in legno. Le dimensioni variano a seconda dell'ambiente, ma sono riconducibili a tre dimensioni. Portafinestra 115x220 cm, finestra 85x170 cm e finestra 130x170 cm. Ogni appartamento era originariamente scaldato da una stufa a legna che generava anche l'acqua calda sanitaria.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame solamente una delle parti che comprendono il blocco, costituita da 12 unità abitative. Più precisamente si è scelto di esaminare un'unità abitativa al piano terra. Questa unità abitativa negli anni ha subito interventi di modifica rispetto allo stato originale e ad oggi presentano le seguenti varianti:

- infissi in alluminio con vetro singolo e tapparella in PVC e cassonetto non coibentato;
- scaldacqua elettrico da 1,2kW;
- impianto di riscaldamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,8kW con COP 4,06
- impianto di raffrescamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42

**Risultati**

Tenendo in considerazione le modifiche apportate agli infissi ed agli impianti, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA ESTERNA IN PIETRA</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,924 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>	
SPESSORE	320 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,886 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 85X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,063 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 130X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,067 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 115X220</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,063 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	50,93 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	50,93 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	290,53m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	290,53m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	196,72 m <sup>2</sup>



**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente, alcune delle quali portano modifiche all'interno edificio e non solo all'unità presa in esame, come ad esempio il cappotto esterno:

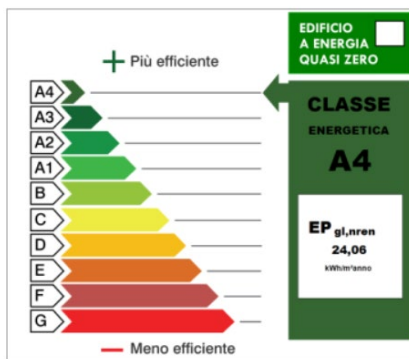
**INTERVENTO LOW**

Si ipotizza la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a pompa di calore da 1,2 kW e COP da 2,83 e la sostituzione delle pompe di calore con una macchina da 7kW con COP 5,9 e EER 2,7:



**INTERVENTO HIGH (INTERNO)**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K; la coibentazione interna delle unità abitative con pannelli di Silicato di Calcio Idrato da 4cm di spessore e un coefficiente di conducibilità termica di 0,045 W/mK; la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a pompa di calore da 1,2 kW e COP da 2,83, sostituzione delle pompe di calore con una macchina da 7kW con COP 5,9 e EER 2,7; l'installazione di un impianto fotovoltaico condominiale da 1,04 kW per unità:



### INTERVENTO HIGH (ESTERNO)

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanic polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di 0,026 W/mK; la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a pompa di calore da 1,2 kW e COP da 2,83, sostituzione delle pompe di calore con una macchina da 7kW con COP 5,9 e EER 2,7; l'installazione di un impianto fotovoltaico condominiale da 1,04 kW per unità:



### 2.3.4 Caso studio n.2

#### Descrizione

I Pistoni sono stati costruiti a Carbonia nel 1940, come alloggi per gli operai. La tipologia edilizia di presenta come un edificio a torre formato da una scala centrale che serve due volumi sfalsati, un corpo principale 9,5x18m che accoglie due appartamenti per piano ed un corpo secondario, chiamato “pistone” che ha una superficie lorda di 7.5x9m in cui è presente un appartamento per ogni livello. Geometricamente, l’edificio è composto da due edifici simmetrici a “T”, comprendendo complessivamente 24 appartamenti. Ogni appartamento è formato da un soggiorno con cucina, un ambiente di servizio e due camere da letto. La struttura dell’edificio è in muratura portante con spessore che si riduce con la progressione dei piani verso l’alto presenta uno spessore dei muri perimetrali in trachite da 70cm fino alla quota del primo piano che si riduce a 50cm per il secondo e terzo piano e diventa di 45cm all’ultimo piano. I muri portanti di spina, sempre in trachite, invece hanno uno spessore di 70cm fino al primo piano, 55cm al secondo e terzo piano e 50cm all’ultimo piano. Internamente gli appartamenti sono divisi tra di loro con una doppia parete di mattoni forati con intercapedine d’aria di 15cm. Il solaio di terra del “pistone” poggia direttamente sul terreno ed è formato da un vespaio in pietrame ricoperto da un massetto in calcestruzzo su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento. Invece nel corpo sfalsato un’intercapedine d’aria separa il terreno dal solaio del piano rialzato, formato da una volta in mattoni pieni su cui è stato gettato un sottofondo in calcestruzzo con un letto di malta bastarda su cui è stata posata la pavimentazione in mattonelle di cemento. I solai intermedi sono in latero cemento con uno spessore di 20 cm, più un letto di malta comune su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento.



Figura 2: Edificio Pistoni O/5 allo stato attuale

Solaio di copertura è sempre in latero cemento ma con in aggiunta uno strato isolante di Eraclit dello spessore di 6cm. Gli infissi esterni originali sono in legno di abete con vetro singolo da 3cm di spessore, con persiane in legno. Le dimensioni variano a seconda dell’ambiente, ma sono riconducibili a tre dimensioni. Portafinestra 115x220 cm , finestra 85x170 cm e finestra 130x170 cm. Ogni appartamento era originariamente scaldato da una stufa a legna che generava anche l’acqua calda sanitaria.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame solamente una delle parti che comprendono il blocco, costituita da 12 unità abitative. Più precisamente si è scelto di esaminare un’unità abitativa al piano intermedio. Questa unità abitativa negli anni ha subito interventi di modifica rispetto allo stato originale e ad oggi presentano le seguenti varianti:

- infissi in alluminio con vetro singolo e tapparella in PVC e cassonetto non coibentato;
- scaldacqua elettrico da 1,2kW;
- impianto di riscaldamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,8kW con COP 4,06
- impianto di raffrescamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42



## Risultati

Tenendo in considerazione le modifiche apportate agli infissi ed agli impianti, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA ESTERNA IN PIETRA</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,924 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>	
SPESSORE	320 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,886 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 85X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,063 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 130X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,067 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 115X220</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,063 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	58,90 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	58,90 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	284,82m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	284,82m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	114,75 m <sup>2</sup>

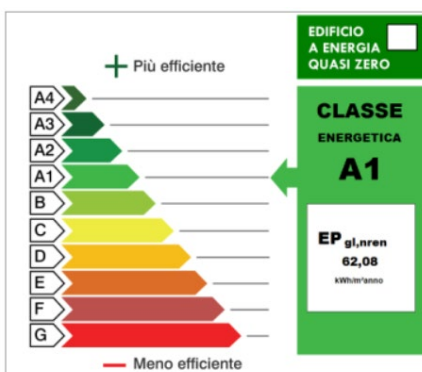


## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente, alcune delle quali portano modifiche all'interno edificio e non solo all'unità presa in esame, come ad esempio il cappotto esterno:

### INTERVENTO LOW

Si ipotizza la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a pompa di calore da 1,2 kW e COP da 2,83 e la sostituzione delle pompe di calore con una macchina da 7kW con COP 5,9 e EER 2,7:



### INTERVENTO HIGH (INTERNO)

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K; la coibentazione interna delle unità abitative con pannelli di Silicato di Calcio Idrato da 4cm di spessore e un coefficiente di conducibilità termica di 0,045 W/mK; la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a pompa di calore da 1,2 kW e COP da 2,83, sostituzione delle pompe di calore con una macchina da 7kW con COP 5,9 e EER 2,7; l'installazione di un impianto fotovoltaico condominiale da 1,04 kW per unità:



**INTERVENTO HIGH (ESTERNO)**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretana polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di 0,026 W/mK; la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a pompa di calore da 1,2 kW e COP da 2,83, sostituzione delle pompe di calore con una macchina da 7kW con COP 5,9 e EER 2,7; l'installazione di un impianto fotovoltaico condominiale da 1,04 kW per unità:





### 2.3.5 Caso studio n.3

#### Descrizione

I Pistoni sono stati costruiti a Carbonia nel 1940, come alloggi per gli operai. La tipologia edilizia di presenta come un edificio a torre formato da una scala centrale che serve due volumi sfalsati, un corpo principale 9,5x18m che accoglie due appartamenti per piano ed un corpo secondario, chiamato “pistone” che ha una superficie lorda di 7.5x9m in cui è presente un appartamento per ogni livello. Geometricamente, l’edificio è composto da due edifici simmetrici a “T”, comprendendo complessivamente 24 appartamenti. Ogni appartamento è formato da un soggiorno con cucina, un ambiente di servizio e due camere da letto. La struttura dell’edificio è in muratura portante con spessore che si riduce con la progressione dei piani verso l’alto presenta uno spessore dei muri perimetrali in trachite da 70cm fino alla quota del primo piano che si riduce a 50cm per il secondo e terzo piano e diventa di 45cm all’ultimo piano. I muri portanti di spina, sempre in trachite, invece hanno uno spessore di 70cm fino al primo piano, 55cm al secondo e terzo piano e 50cm all’ultimo piano. Internamente gli appartamenti sono divisi tra di loro con una doppia parete di mattoni forati con intercapedine d’aria di 15cm. Il solaio di terra del “pistone” poggia direttamente sul terreno ed è formato da un vespaio in pietrame ricoperto da un massetto in calcestruzzo su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento. Invece nel corpo sfalsato un’intercapedine d’aria separa il terreno dal solaio del piano rialzato, formato da una volta in mattoni pieni su cui è stato gettato un sottofondo in calcestruzzo con un letto di malta bastarda su cui è stata posata la pavimentazione in mattonelle di cemento. I solai intermedi sono in latero cemento con uno spessore di 20 cm, più un letto di malta comune su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento.



**Figura 3: Edificio Pistoni O/5 allo stato attuale**

Solaio di copertura è sempre in latero cemento ma con in aggiunta uno strato isolante di Eraclit dello spessore di 6cm. Gli infissi esterni originali sono in legno di abete con vetro singolo da 3cm di spessore, con persiane in legno. Le dimensioni variano a seconda dell’ambiente, ma sono riconducibili a tre dimensioni. Portafinestra 115x220 cm , finestra 85x170 cm e finestra 130x170 cm. Ogni appartamento era originariamente scaldato da una stufa a legna che generava anche l’acqua calda sanitaria.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame solamente una delle parti che comprendono il blocco, costituita da 12 unità abitative. Più precisamente si è scelto di esaminare un’unità abitativa all’ultimo piano. Questa unità abitativa negli anni ha subito interventi di modifica rispetto allo stato originale e ad oggi presentano le seguenti varianti:

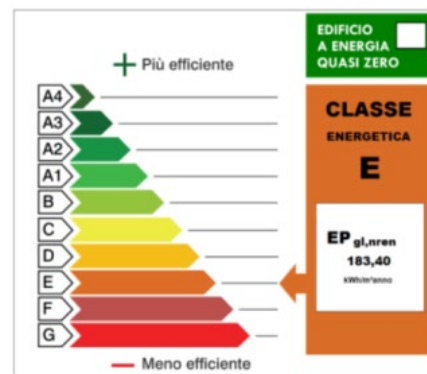
- infissi in alluminio con vetro singolo e tapparella in PVC e cassonetto non coibentato;
- scaldacqua elettrico da 1,2kW;
- impianto di riscaldamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,8kW con COP 4,06;
- impianto di raffrescamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42.

## Risultati

Tenendo in considerazione le modifiche apportate agli infissi ed agli impianti, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA ESTERNA IN PIETRA</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,924 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>	
SPESSORE	320 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,886 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 85X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,063 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 130X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,067 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 115X220</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,063 W/m <sup>2</sup> K

Superficie utile riscaldata	59,52 m <sup>2</sup>
Superficie utile raffrescata	59,52 m <sup>2</sup>
Volume lordo riscaldato	313,61m <sup>3</sup>
Volume lordo raffrescato	313,61m <sup>3</sup>
Superficie disperdente	202,96 m <sup>2</sup>

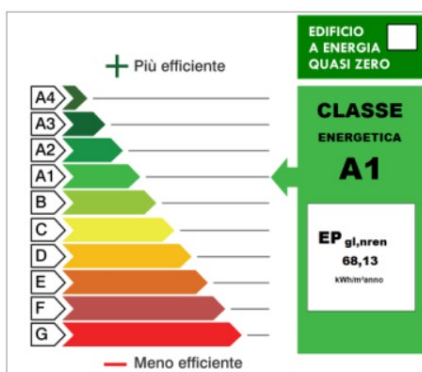


## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente, alcune delle quali portano modifiche all'interno edificio e non solo all'unità presa in esame, come ad esempio il cappotto esterno:

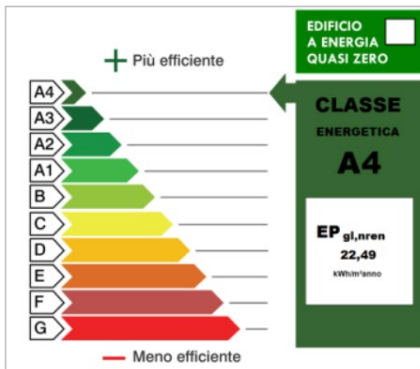
### INTERVENTO LOW

Si ipotizza la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a pompa di calore da 1,2 kW e COP da 2,83 e la sostituzione delle pompe di calore con una macchina da 7kW con COP 5,9 e EER 2,7:



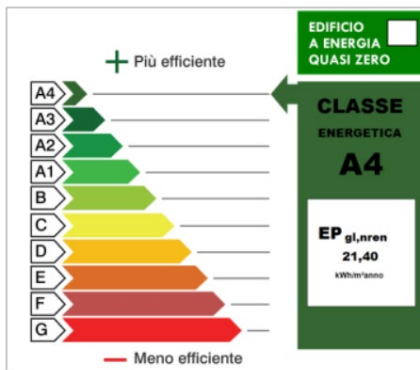
### INTERVENTO HIGH (INTERNO)

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K; la coibentazione interna delle unità abitative con pannelli di Silicato di Calcio Idrato da 4cm di spessore e un coefficiente di conducibilità termica di 0,045 W/mK; la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a pompa di calore da 1,2 kW e COP da 2,83, sostituzione delle pompe di calore con una macchina da 7kW con COP 5,9 e EER 2,7; l'installazione di un impianto fotovoltaico condominiale da 1,04 kW per unità:



### INTERVENTO HIGH (ESTERNO)

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretana polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di  $0,026 \text{ W/mK}$ ; la sostituzione dello scaldacqua elettrico da  $1,2 \text{ kW}$  con uno scaldacqua a pompa di calore da  $1,2 \text{ kW}$  e COP da  $2,83$ , sostituzione delle pompe di calore con una macchina da  $7\text{kW}$  con COP  $5,9$  e EER  $2,7$ ; l'installazione di un impianto fotovoltaico condominiale da  $1,04 \text{ kW}$  per unità:



### 2.3.6 Caso studio n.4

#### Descrizione

La tipologia di casa binata GRA M inizia a diffondersi nel territorio di Carbonia a partire dal 1940. La tipologia edilizia di presenta come un edificio a due piani formato da una scala centrale che serve i due appartamenti al primo piano, mentre i due appartamenti del piano terra hanno accessi indipendenti dai lati dell'edificio, che comprende complessivamente 4 appartamenti. La struttura dell'edificio è in muratura portante in trachite, con spessore di 45cm. Internamente gli appartamenti sono divisi tra di loro con una doppia parete di mattoni forati con intercapedine d'aria di 15cm. Il solaio di terra poggia direttamente sul terreno ed è formato da un vespaio in pietrame ricoperto da un massetto in calcestruzzo su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento, rialzandosi dalla quota della strada. I solai intermedi sono in latero cemento con uno spessore di 20 cm, più un letto di malta comune su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento. Solaio di copertura è sempre in latero cemento, con un sottotetto su cui poi sorge il tetto a falde con tegole. Gli infissi esterni originali sono in legno di abete con vetro singolo da 3cm di spessore, con persiane in legno. Per il calcolo delle prestazione energetiche di questa tipologia, di è scelto di prendere in esame l'unità abitativa al piano terra. Questa unità abitativa negli anni ha subito interventi di modifica rispetto allo stato originale e ad oggi presenta le seguenti varianti:

- infissi in alluminio con vetro singolo e persiane in alluminio;
- scaldacqua elettrico da 1,2kW;
- impianto di riscaldamento con stufa a pellet da 9kW.



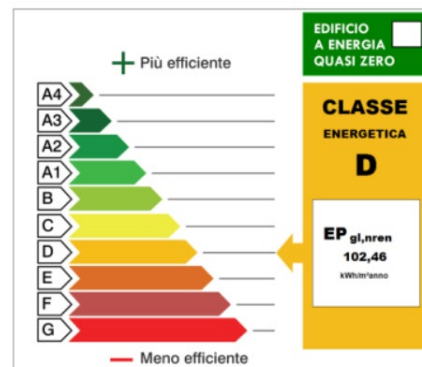
Figura 4: Edificio GRA-M allo stato attuale

## Risultati

Tenendo in considerazione le modifiche apportate agli infissi ed agli impianti, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA ESTERNA IN PIETRA	
SPESSORE	450 mm
TRASMITTANZA TERMICA	2,056 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA	
SPESSORE	200 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,743 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 105X165	
TRASMITTANZA TERMICA	6,103 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 130X165	
TRASMITTANZA TERMICA	6,052 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	62,38 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	62,38 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	267,92 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	267,92 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	194,60 m <sup>2</sup>



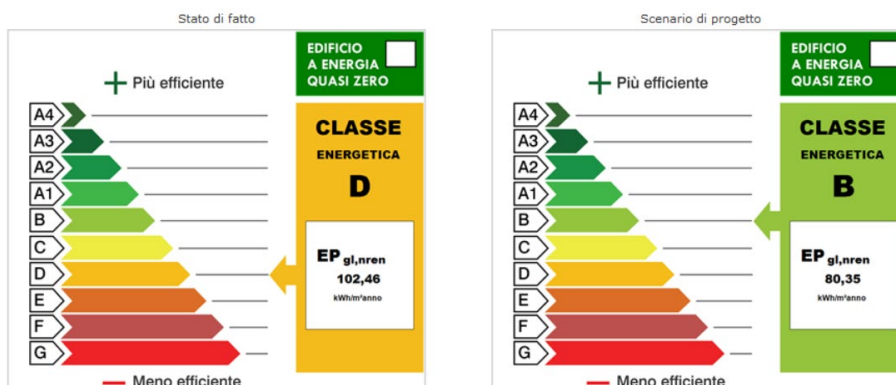
## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente, alcune delle quali portano modifiche all'interno edificio e non solo alle due unità prese in esame (come ad esempio il cappotto esterno):

### INTERVENTO LOW

Si ipotizza la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a GAS metano da 22kW con un rendimento  $\eta_{gn}=0,8$ ; l'installazione di pompa di calore aria-aria multisplit per il raffrescamento dell'abitazione, con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

Unità immobiliare 02: LOW

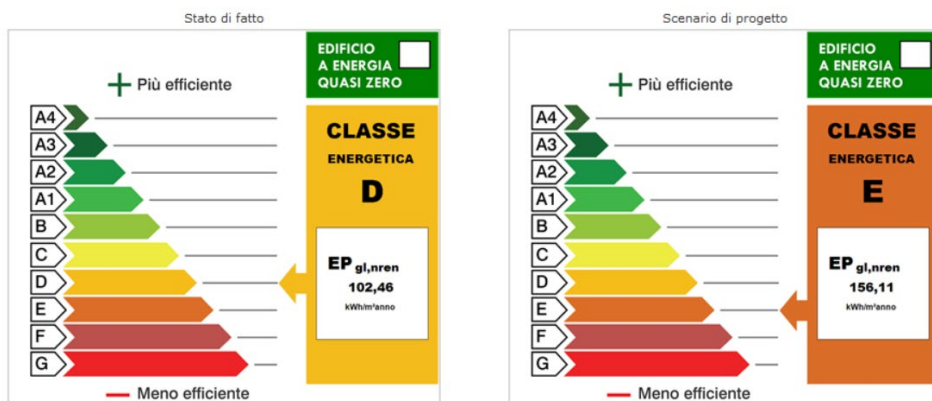




**INTERVENTO MEDIUM**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; l'installazione di una caldaia a condensazione a GAS metano da 30kW con rendimento  $\eta=1,065$  per la produzione di acqua calda sanitaria e il suo collegamento ad un nuovo impianto con radiatori per il riscaldamento; l'installazione di pompa di calore aria-aria multisplit per il raffrescamento dell'abitazione, con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

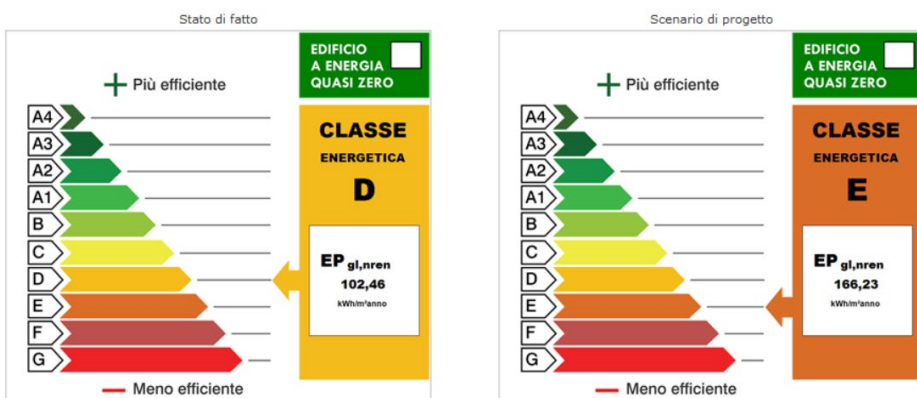
Unità immobiliare 02: MEDIUM



**INTERVENTO HIGH**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanic polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di  $0,026 \text{ W/mK}$ ; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di 6,5kW, COP=3,9, EER=2,75; l'installazione di un impianto fotovoltaico condominiale da da 6,4kW per unità e di un impianto solare termico con rendimento  $\eta=0,82$  serbatoio da 200l per unità.

Unità immobiliare 02: HIGH



### 2.3.7 Caso studio n.5

#### Descrizione

La tipologia di casa binata GRA M inizia a diffondersi nel territorio di Carbonia a partire dal 1940. La tipologia edilizia di presenta come un edificio a due piani formato da una scala centrale che serve i due appartamenti al primo piano, mentre i due appartamenti del piano terra hanno accessi indipendenti dai lati dell'edificio, che comprende complessivamente 4 appartamenti. La struttura dell'edificio è in muratura portante in trachite, con spessore di 45cm. Internamente gli appartamenti sono divisi tra di loro con una doppia parete di mattoni forati con intercapedine d'aria di 15cm. Il solaio di terra poggia direttamente sul terreno ed è formato da un vespaio in pietrame ricoperto da un massetto in calcestruzzo su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento, rialzandosi dalla quota della strada. I solai intermedi sono in latero cemento con uno spessore di 20 cm, più un letto di malta comune su cui è posata la pavimentazione in mattonelle di cemento. Solaio di copertura è sempre in latero cemento, con un sottotetto su cui poi sorge il tetto a falde con tegole. Gli infissi esterni originali sono in legno di abete con vetro singolo da 3cm di spessore, con persiane in legno. Per il calcolo delle prestazione energetiche di questa tipologia, di è scelto di prendere in esame l'unità abitativa all'ultimo piano. Questa unità abitativa negli anni ha subito interventi di modifica rispetto allo stato originale e ad oggi presenta le seguenti varianti:

- infissi in alluminio con vetro singolo e tapparella in PVC e cassonetto non coibentato;
- scaldacqua elettrico da 1,2kW;
- impianto di riscaldamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,8kW con COP 4,06
- impianto di raffrescamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42



**Figura 5: Edificio GRA-M allo stato attuale**

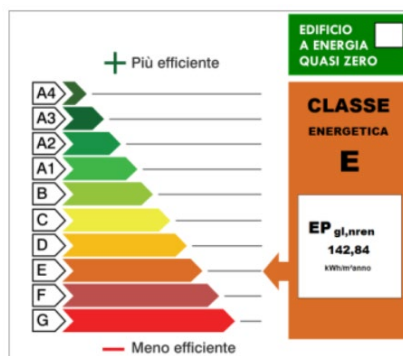


**Risultati**

Tenendo in considerazione le modifiche apportate agli infissi ed agli impianti, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA ESTERNA IN PIETRA</b>	
SPESSORE	450 mm
TRASMITTANZA TERMICA	2,056 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>	
SPESSORE	200 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,743 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 105X165</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,103 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 130X165</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,052 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	61,84 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	61,84 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	248,62 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	248,62 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	101,98 m <sup>2</sup>



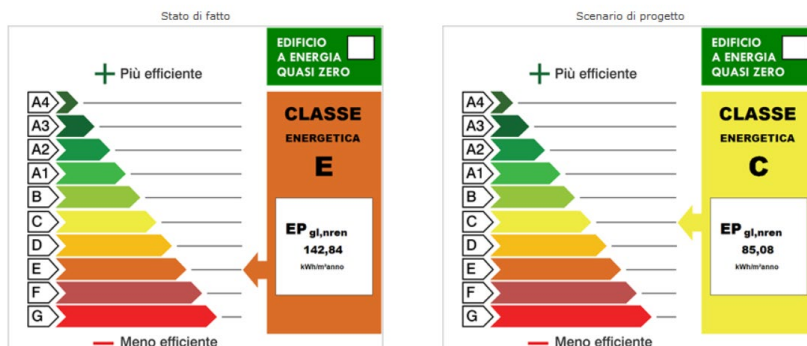
**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull’edificio esistente, alcune delle quali portano modifiche all’interno edificio e non solo alle due unità prese in esame (come ad esempio il cappotto esterno):

**INTERVENTO LOW**

Si ipotizza la sostituzione dello scaldacqua elettrico da 1,2 kW con uno scaldacqua a GAS metano da 22kW con un rendimento  $\eta_{gn}=0,8$ ; la sostituzione della pompa di calore con una macchina aria-aria multisplit con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

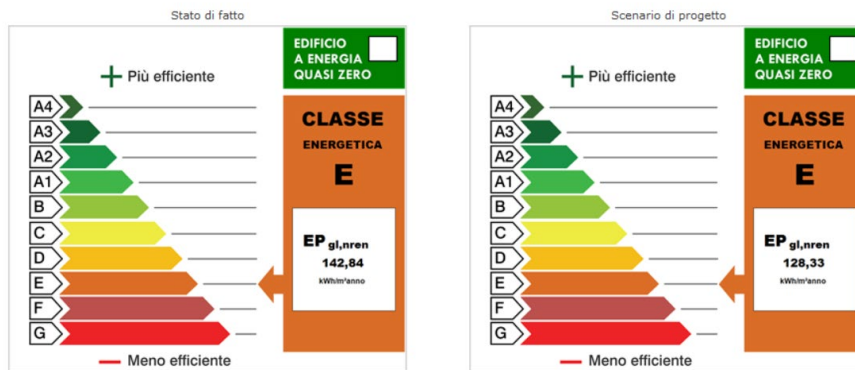
Unità immobiliare 04: LOW



## INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; l'installazione di una caldaia a condensazione a GAS metano da 30kW con rendimento  $\eta=1,065$  per la produzione di acqua calda sanitaria e il suo collegamento ad un nuovo impianto con radiatori per il riscaldamento; la sostituzione della pompa di calore con una macchina aria-aria multisplit con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

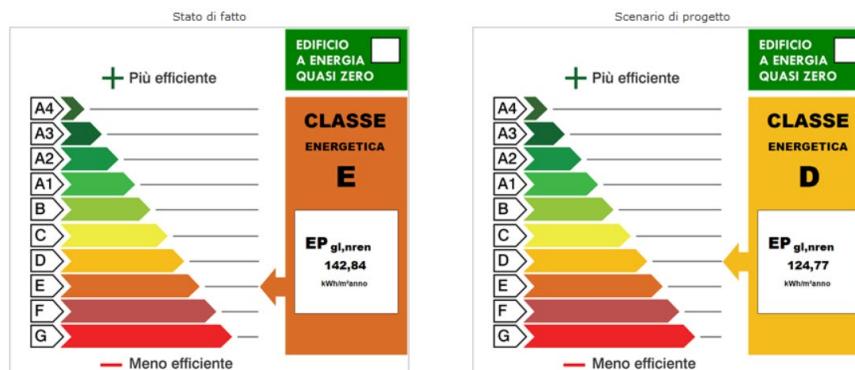
Unità immobiliare 04: MEDIUM



## INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanic polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di  $0,026 \text{ W/mK}$ ; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di 6,5kW, COP=3,9, EER=2,75; l'installazione di un impianto fotovoltaico condominiale da 6,4kW per unità e di un impianto solare termico con rendimento  $\eta=0,82$  serbatoio da 200l per unità.

Unità immobiliare 04: HIGH



2.3.8 Caso studio n.6

**Descrizione**

La tipologia edilizia presa in considerazione per l’edificio “Generico B1” è un edificio che nel nostro caso studio si presenta in aderenza con altri corpi di fabbrica, con 2 livelli fuori terra, di forma semplice, con poche finestre e un solo balcone al primo piano. È riferibile agli anni 60, realizzato in muratura portante semplice di blocchi cementizi, ed a carattere monofamiliare. Gli infissi sono con telaio in alluminio senza taglio termico, vetro singolo e persiane in alluminio.

L’edificio viene riscaldato con un impianto a radiatori generato tramite una caldaia a GAS metano da 24kW, usata anche per la produzione di acqua calda sanitaria. È inoltre presente un caminetto a legna nel piano terra. Allo stato attuale non dispone di un impianto di raffrescamento.



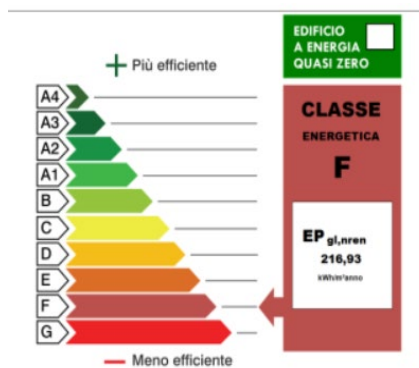
Figura 6: Esempio di edificio Generico-B1 allo stato attuale

**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA ESTERNA IN BLOCCHI DI CEMENTO</b>	
SPESSORE	240 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,627 W/m²K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	230 mm
TRASMITTANZA TERMICA	2,218 W/m²K
<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>	
SPESSORE	295 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,637 W/m²K
<b>FINESTRA 120X160</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,073 W/m²K
<b>PORTA FINESTRA 120X240</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,039 W/m²K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	140,74 m²
VOLUME LORDO RISCALDATO	556,52 m³
SUPERFICIE DISPEDENTE	425,17 m²



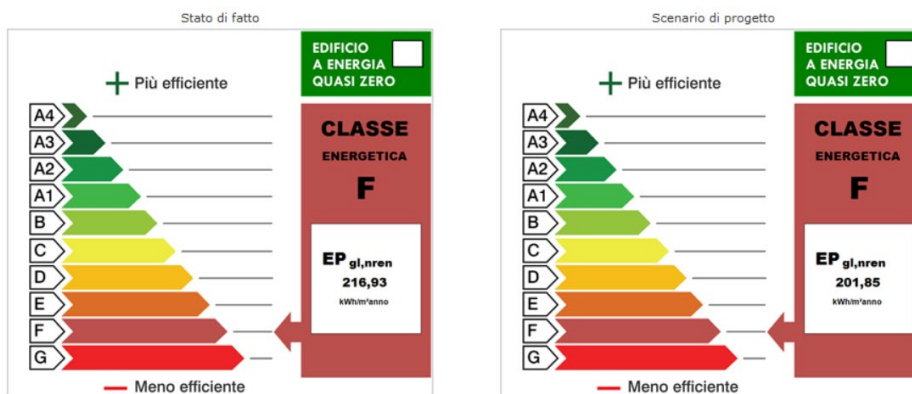
## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente:

### INTERVENTO LOW

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento  $\eta=0,97$ , l'installazione di una pompa di calore aria-aria per il raffrescamento estivo dell'edificio con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

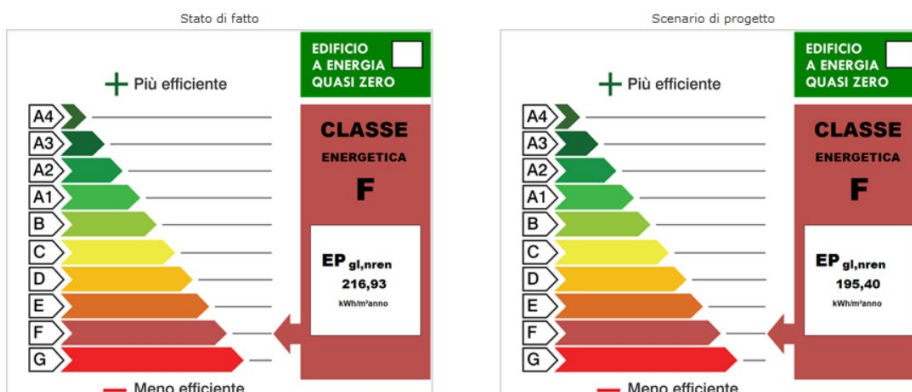
Unità immobiliare 01: LOW



### INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m²K. La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 32kW e un rendimento  $\eta=0,97$  con l'integrazione della produzione di acqua calda sanitaria attraverso l'installazione di un impianto solare termico con rendimento  $\eta=0,82$  serbatoio da 180l. Viene inoltre prevista l'installazione di una pompa di calore aria-aria per il raffrescamento estivo dell'edificio con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

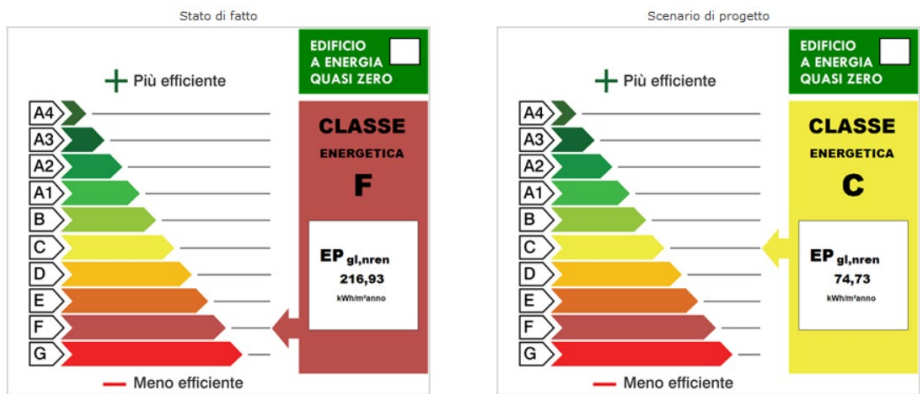
Unità immobiliare 01: MEDIUM



**INTERVENTO HIGH**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanica polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di 0,026 W/mK; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di 6,5kW, COP=3,9, EER=2,75; l'installazione di un impianto fotovoltaico da 6.4kW nella copertura piana dell'edificio.

Unità immobiliare 01: HIGH





### 2.3.9 Caso studio n.7

#### Descrizione

La tipologia edilizia presa in considerazione per l'edificio "Generico B2" è un edificio che nel nostro caso studio si presenta isolato da altri corpi di fabbrica, con 2 livelli fuori terra, provvisto di verande e con finestre ampie di forma complessa, realizzato nei primi anni 90. Realizzato con struttura in cemento armato e tamponatura a cassa vuota in laterizio forato da 8cm. Solaio in latero cemento, copertura a falda con tegole e infissi in legno con vetrocamera. È un edificio monofamiliare e viene riscaldato con un impianto a radiatori generato tramite una caldaia a GAS metano da 32kW, usata anche per la produzione di acqua calda sanitaria. È presente un impianto di raffrescamento con n.2 pompe di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42.



**Figura 7: Esempio di un complesso di edifici della tipologia Generico-B2**

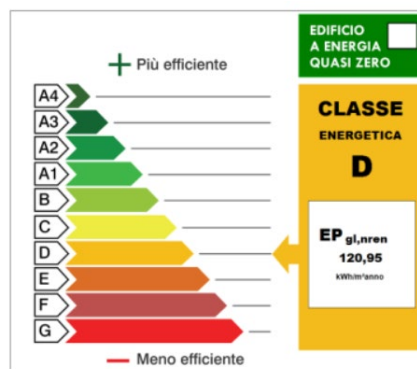


**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	551 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,184 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO POCO ISOLATO	
SPESSORE	380 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,285 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 140X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,675 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 90X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,680 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 240X210	
TRASMITTANZA TERMICA	2,681 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	148,41 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	148,41 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	643,04 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	643,04 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	451,93 m <sup>2</sup>



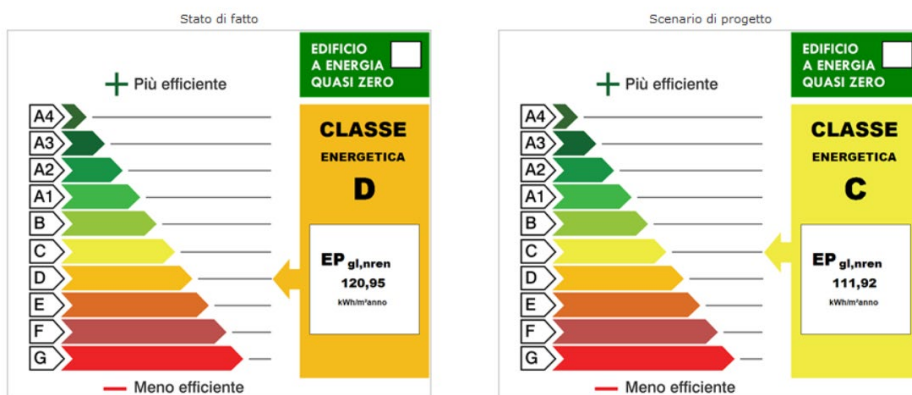
**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull’edificio esistente:

**INTERVENTO LOW**

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento η=0,97.

Unità immobiliare 01: LOW

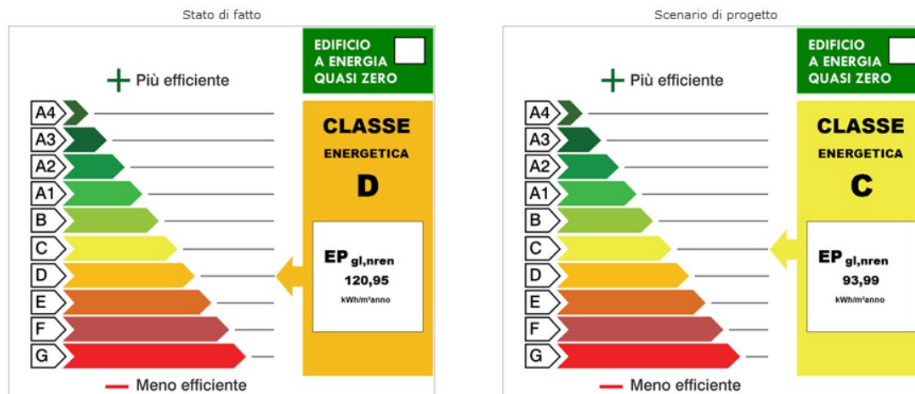


### INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da  $32\text{kW}$  e un rendimento  $\eta=0,97$  con l'integrazione della produzione di acqua calda sanitaria attraverso l'installazione di un impianto solare termico con rendimento  $\eta=0,82$  serbatoio da  $200\text{l}$ .

Viene inoltre prevista la sostituzione dell'impianto di raffrescamento con una pompa di calore aria-aria con potenza  $4,7\text{kW}$  ed un  $\text{EER}=3,8$ .

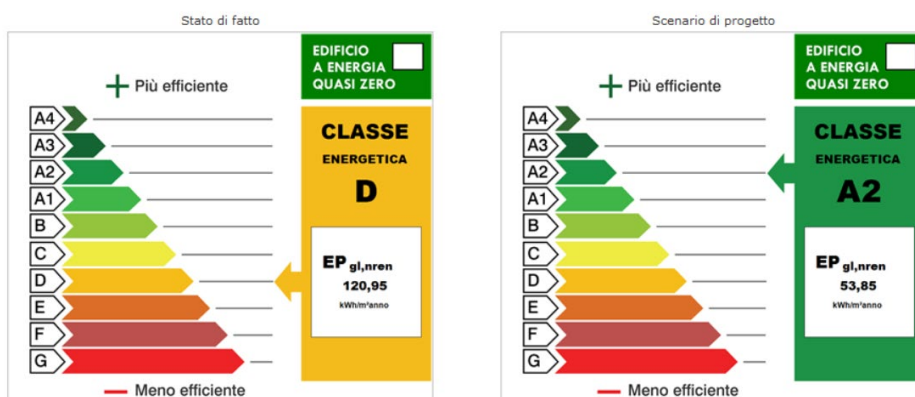
Unità immobiliare 01: MEDIUM



### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanic polyso-PIR da  $8\text{cm}$  e conducibilità termica di  $0,026 \text{ W/mK}$ ; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di  $6,5\text{kW}$ ,  $\text{COP}=3,9$ ,  $\text{EER}=2,75$ ; l'installazione di un impianto fotovoltaico da  $6.4\text{kW}$  nella copertura a falde dell'edificio.

Unità immobiliare 01: HIGH



### 2.3.10 Caso studio n.8

#### Descrizione

La tipologia edilizia presa in considerazione per l'edificio a schiera generico \_C1, è una casa a schiera realizzata dopo gli anni 80, a carattere plurifamiliare con sviluppo verticale affiancata l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con sottotetto. Realizzato con struttura in cemento armato e tamponatura a cassa vuota in laterizio forato da 8cm. Solaio in latero cemento, copertura a falda con tegole e infissi in legno con vetrocamera. Riscaldato con un impianto a radiatori generato tramite una caldaia a GAS metano da 32kW, usata anche per la produzione di acqua calda sanitaria. È presente un impianto di raffrescamento con una pompa di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame l'unità abitativa al piano terra all'interno dell'edificio caposchiera.



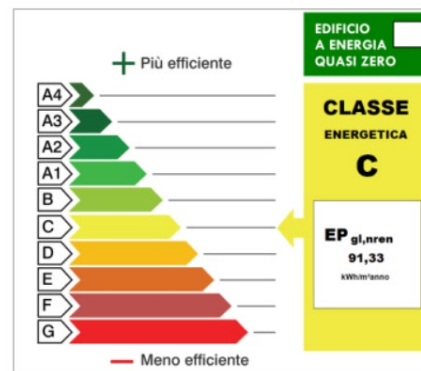
Figura 8: Esempio di edifici a Schiera generico C1- plurifamiliare

## Risultati

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell'edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	551 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,184 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO POCO ISOLATO	
SPESSORE	340 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,481 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 140X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,675 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 90X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,680 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 240X210	
TRASMITTANZA TERMICA	2,681 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	93,17 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	93,17 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	389,64 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	389,64 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	208,87 m <sup>2</sup>



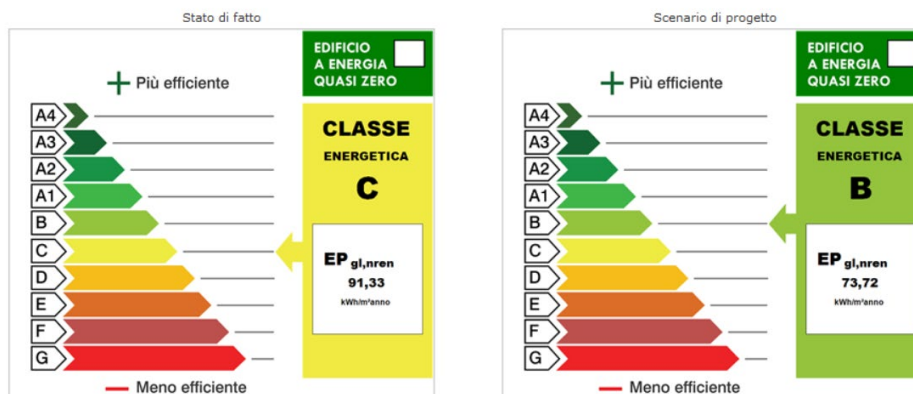
## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente:

### INTERVENTO LOW

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento  $\eta=0,97$ , l'installazione di una pompa di calore aria-aria per il raffrescamento estivo dell'edificio con potenza 4,7kW ed un EER=3,8

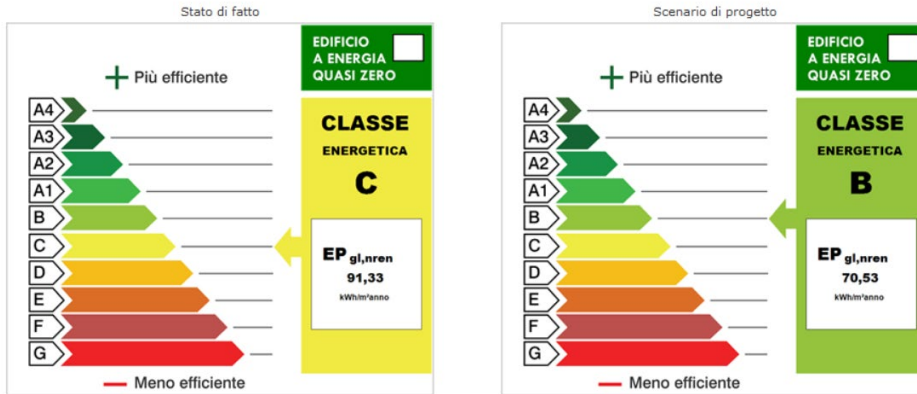
Unità immobiliare 01: LOW



**INTERVENTO MEDIUM**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K. La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento  $\eta=0,97$  e la sostituzione della pompa di calore con una macchina aria-aria con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

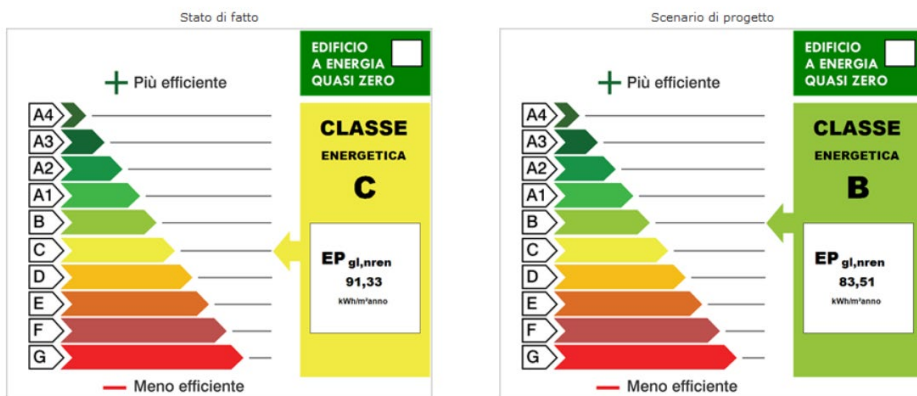
Unità immobiliare 01: MEDIUM



**INTERVENTO HIGH**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanicca polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di 0,026 W/mK; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di 6,5kW, COP=3,9, EER=2,75; l'installazione di un impianto fotovoltaico da 6.4kW per unità abitativa, installati nella copertura a falde dell'edificio.

Unità immobiliare 01: HIGH



### 2.3.11 Caso studio n.9

#### Descrizione

La tipologia edilizia presa in considerazione per l'edificio a schiera generico \_C1, è una casa a schiera realizzata dopo gli anni 80, a carattere plurifamiliare con sviluppo verticale affiancata l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con sottotetto. Realizzato con struttura in cemento armato e tamponatura a cassa vuota in laterizio forato da 8cm. Solaio in latero cemento, copertura a falda con tegole e infissi in legno con vetrocamera. Riscaldato con un impianto a radiatori generato tramite una caldaia a GAS metano da 32kW, usata anche per la produzione di acqua calda sanitaria. È presente un impianto di raffrescamento con una pompa di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame l'unità abitativa all'ultimo piano all'interno dell'edificio caposchiera.



**Figura 9: Esempio di edifici a Schiera generico C1 - plurifamiliare**



**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m²K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	551 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,184 W/m²K
SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO POCO ISOLATO	
SPESSORE	380 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,285 W/m²K
FINESTRA 140X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,675 W/m²K
FINESTRA 190X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,680 W/m²K
PORTA FINESTRA 240X210	
TRASMITTANZA TERMICA	2,681 W/m²K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	94,74 m²
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	94,74 m²
VOLUME LORDO RISCALDATO	457,76 m³
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	457,76 m³
SUPERFICIE DISPERDENTE	221,75 m²



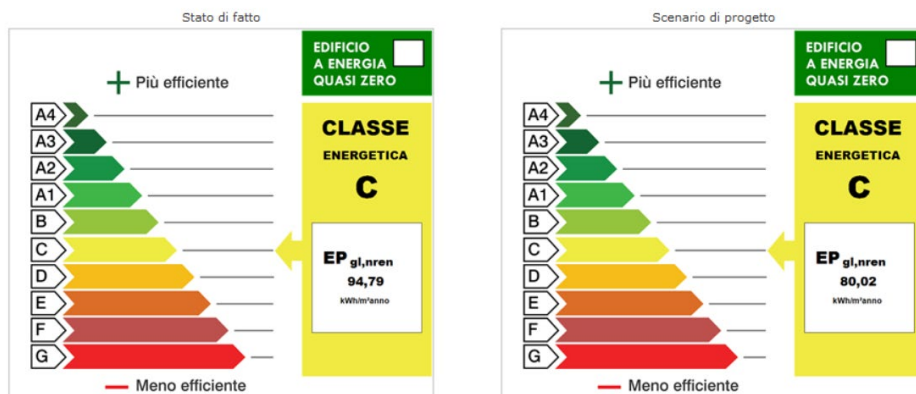
**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull’edificio esistente:

**INTERVENTO LOW**

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento  $\eta=0,97$ , l’installazione di una pompa di calore aria-aria per il raffrescamento estivo dell’edificio con potenza 4,7kW ed un EER=3,8

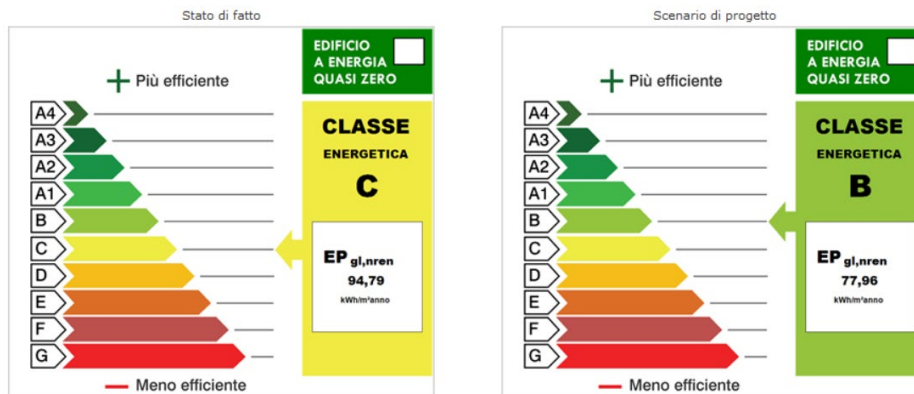
Unità immobiliare 02: LOW



### INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da  $30\text{kW}$  e un rendimento  $\eta=0,97$  e la sostituzione della pompa di calore con una macchina aria-aria con potenza  $4,7\text{kW}$  ed un  $\text{EER}=3,8$ .

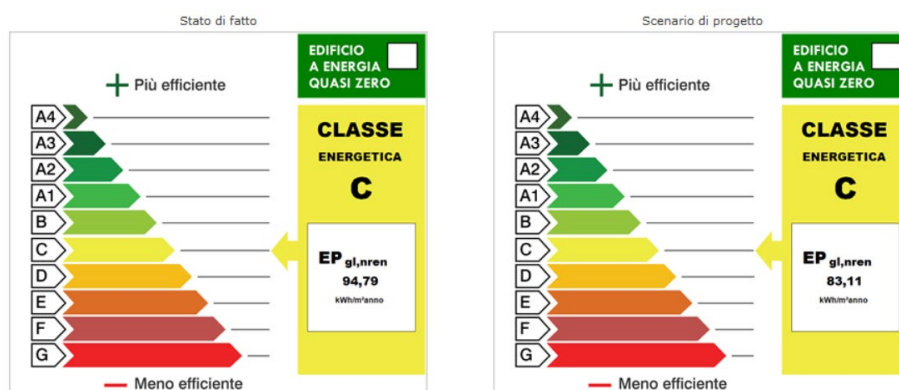
Unità immobiliare 02: MEDIUM



### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanicca polyso-PIR da  $8\text{cm}$  e conducibilità termica di  $0,026 \text{ W/mK}$ ; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di  $6,5\text{kW}$ ,  $\text{COP}=3,9$ ,  $\text{EER}=2,75$ ; l'installazione di un impianto fotovoltaico da  $6.4\text{kW}$  per unità abitativa, installati nella copertura a falde dell'edificio.

Unità immobiliare 02: HIGH



### 2.3.12 Caso studio n.10

#### Descrizione

La tipologia edilizia presa in considerazione per l'edificio a schiera generico \_C1, è una casa a schiera realizzata dopo gli anni 80, a carattere plurifamiliare con sviluppo verticale affiancata l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con sottotetto. Realizzato con struttura in cemento armato e tamponatura a cassa vuota in laterizio forato da 8cm. Solaio in latero cemento, copertura a falda con tegole e infissi in legno con vetrocamera. Riscaldato con un impianto a radiatori generato tramite una caldaia a GAS metano da 32kW, usata anche per la produzione di acqua calda sanitaria. È presente un impianto di raffrescamento con una pompa di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame l'unità abitativa al piano terra all'interno di un edificio a schiera centrale.



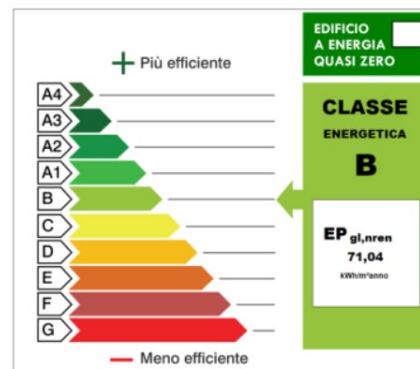
Figura 10: Esempio di edifici a Schiera generico C1 - plurifamiliare

## Risultati

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell'edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	551 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,184 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO POCO ISOLATO	
SPESSORE	380 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,285 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 140X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,675 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 190X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,680 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 240X210	
TRASMITTANZA TERMICA	2,681 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	95,12 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	95,12 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	396,92 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	396,92 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPEDENTE	156,64 m <sup>2</sup>



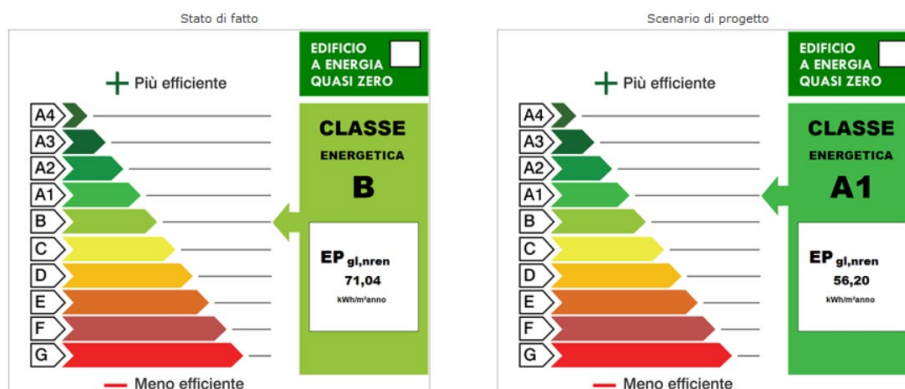
## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente:

### INTERVENTO LOW

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento  $\eta=0,97$ , l'installazione di una pompa di calore aria-aria per il raffrescamento estivo dell'edificio con potenza 4,7kW ed un EER=3,8

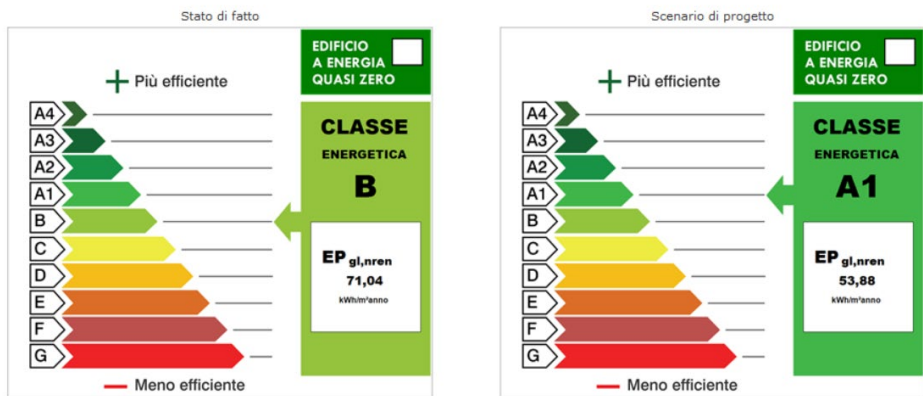
Unità immobiliare 01: LOW



**INTERVENTO MEDIUM**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K. La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento  $\eta=0,97$  e la sostituzione della pompa di calore con una macchina aria-aria con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

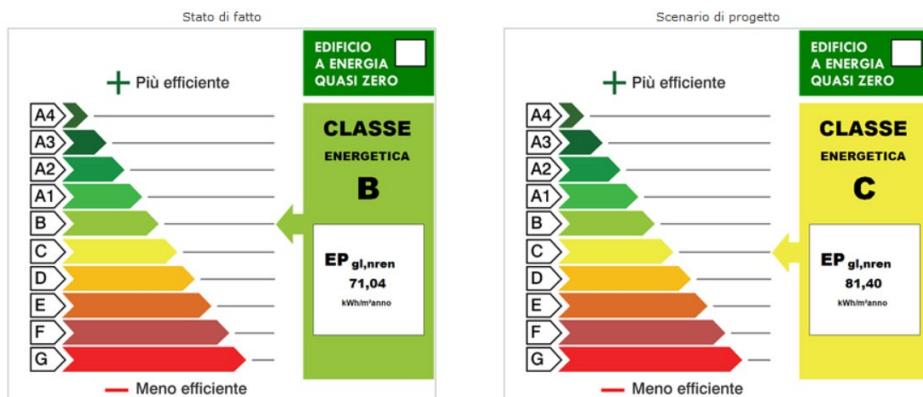
Unità immobiliare 01: MEDIUM



**INTERVENTO HIGH**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanic polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di 0,026 W/mK; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di 6,5kW, COP=3,9, EER=2,75; l'installazione di un impianto fotovoltaico da 6.4kW per unità abitativa, installati nella copertura a falde dell'edificio.

Unità immobiliare 01: HIGH



### 2.3.13 Caso studio n.11

#### Descrizione

La tipologia edilizia presa in considerazione per l'edificio a schiera generico \_C1, è una casa a schiera realizzata dopo gli anni 80, a carattere plurifamiliare con sviluppo verticale affiancata l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con sottotetto. Realizzato con struttura in cemento armato e tamponatura a cassa vuota in laterizio forato da 8cm. Solaio in latero cemento, copertura a falda con tegole e infissi in legno con vetrocamera. Riscaldato con un impianto a radiatori generato tramite una caldaia a GAS metano da 32kW, usata anche per la produzione di acqua calda sanitaria. È presente un impianto di raffrescamento con una pompa di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame l'unità abitativa all'ultimo piano all'interno di un edificio a schiera centrale.



Figura 11: Esempio di edifici a Schiera generico C1- plurifamiliare

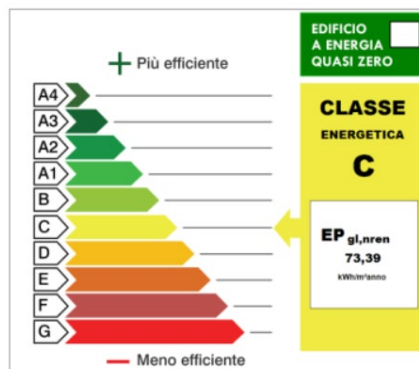


**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	551 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,184 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO POCO ISOLATO	
SPESSORE	380 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,285 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 140X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,675 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 190X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,680 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 240X210	
TRASMITTANZA TERMICA	2,681 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	96,36 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	96,36 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	457,76 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	457,76 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	170,97 m <sup>2</sup>



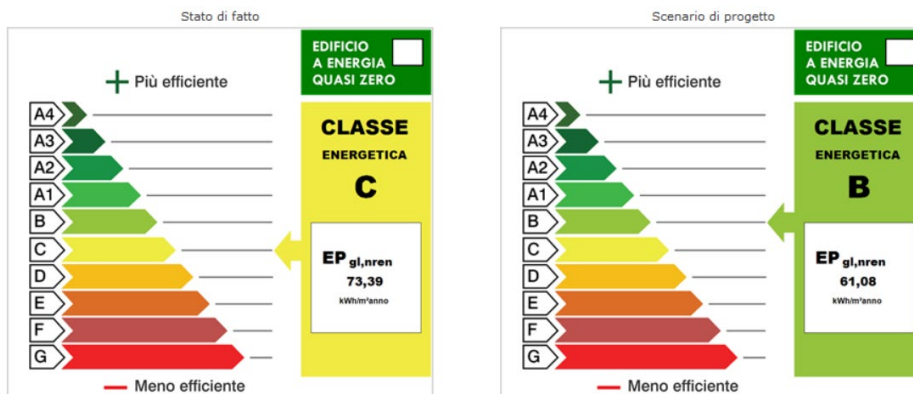
**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull’edificio esistente:

**INTERVENTO LOW**

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento η=0,97, l’installazione di una pompa di calore aria-aria per il raffrescamento estivo dell’edificio con potenza 4,7kW ed un EER=3,8

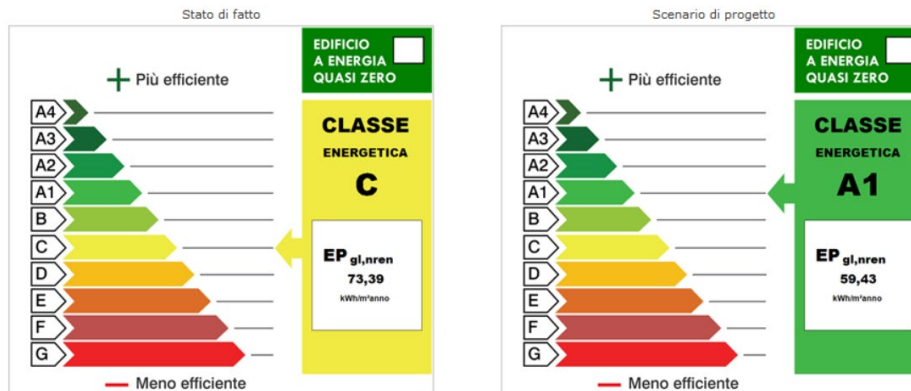
Unità immobiliare 02: LOW



### INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da  $30\text{kW}$  e un rendimento  $\eta=0,97$  e la sostituzione della pompa di calore con una macchina aria-aria con potenza  $4,7\text{kW}$  ed un  $\text{EER}=3,8$ .

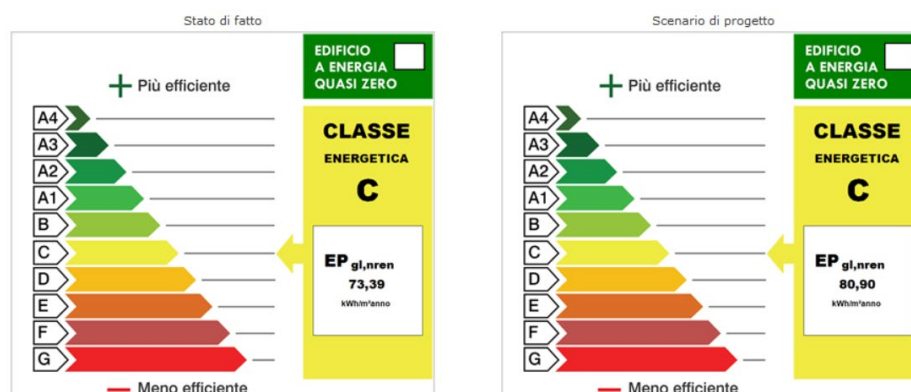
Unità immobiliare 02: MEDIUM



### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanicca polyso-PIR da  $8\text{cm}$  e conducibilità termica di  $0,026 \text{ W/mK}$ ; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di  $6,5\text{kW}$ ,  $\text{COP}=3,9$ ,  $\text{EER}=2,75$ ; l'installazione di un impianto fotovoltaico da  $6.4\text{kW}$  per unità abitativa, installati nella copertura a falde dell'edificio.

Unità immobiliare 02: HIGH



### 2.3.14 Caso studio n.12

#### Descrizione

La tipologia edilizia presa in considerazione per l'edificio a schiera generico \_C1, è una casa a schiera realizzata dopo gli anni 80, a carattere monofamiliare con sviluppo verticale affiancata l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con sottotetto. Realizzato con struttura in cemento armato e tamponatura a cassa vuota in laterizio forato da 8cm. Solaio in latero cemento, copertura a falda con tegole e infissi in legno con vetrocamera. Riscaldato con un impianto a radiatori generato tramite una caldaia a GAS metano da 32kW, usata anche per la produzione di acqua calda sanitaria. È presente un impianto di raffrescamento con una pompa di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame l'unità abitativa all'interno di una schiera centrale.



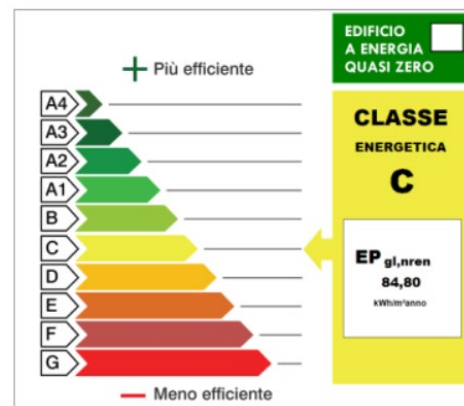
Figura 12: Esempio di edifici a Schiera generico C1 - monofamiliare

## Risultati

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell'edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	551 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,184 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO POCO ISOLATO	
SPESSORE	380 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,285 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 140X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,675 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 190X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,680 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 240X210	
TRASMITTANZA TERMICA	2,681 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	123,35 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	123,35 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	514,26 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	514,26 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	251,15 m <sup>2</sup>



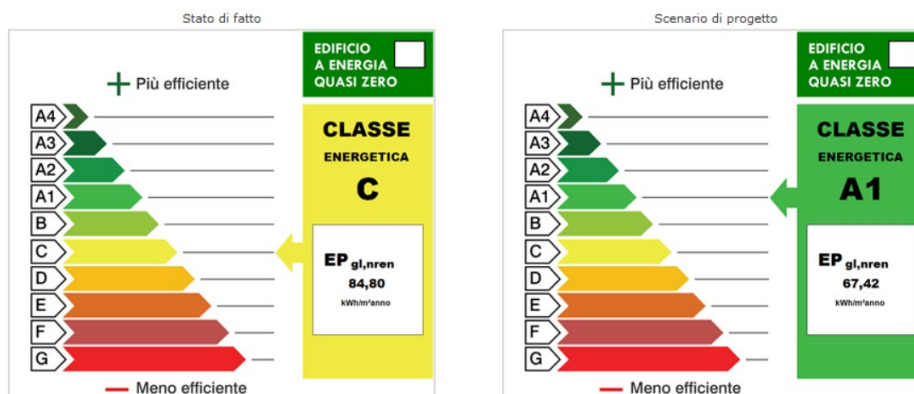
## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente:

### INTERVENTO LOW

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento  $\eta=0,97$ , l'installazione di una pompa di calore aria-aria per il raffreddamento estivo dell'edificio con potenza 4,7kW ed un EER=3,8 .

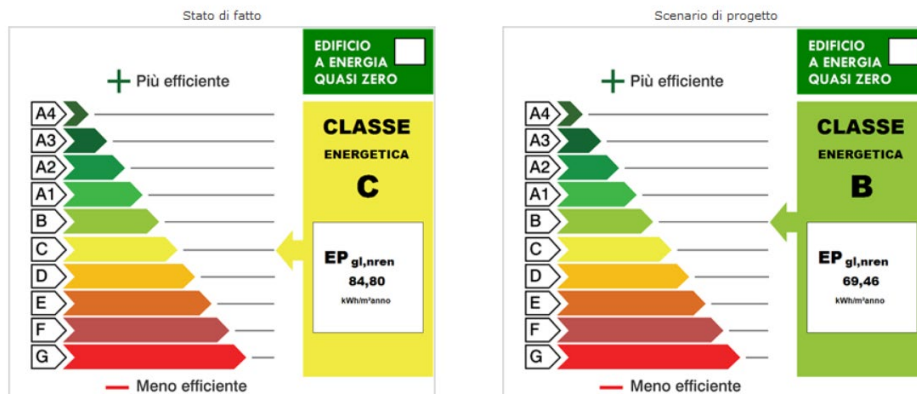
Unità immobiliare 01: LOW



**INTERVENTO MEDIUM**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K. La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento  $\eta=0,97$  e la sostituzione della pompa di calore con una macchina aria-aria con potenza 4,7kW ed un EER=3,8.

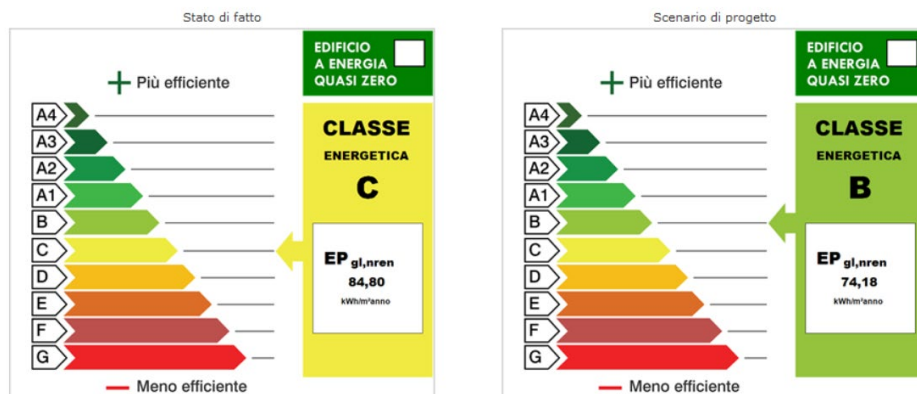
Unità immobiliare 01: MEDIUM



**INTERVENTO HIGH**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanic polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di 0,026 W/mK; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di 6,5kW, COP=3,9, EER=2,75; l'installazione di un impianto fotovoltaico da 6.4kW per unità abitativa, installati nella copertura a falde dell'edificio.

Unità immobiliare 01: HIGH



### 2.3.15 Caso studio n.13

#### Descrizione

La tipologia edilizia presa in considerazione per l'edificio a schiera generico \_C1, è una casa a schiera realizzata dopo gli anni 80, a carattere monofamiliare con sviluppo verticale affiancata l'uno all'altra, con 2 livelli fuori terra con sottotetto. Realizzato con struttura in cemento armato e tamponatura a cassa vuota in laterizio forato da 8cm. Solaio in latero cemento, copertura a falda con tegole e infissi in legno con vetrocamera. Riscaldato con un impianto a radiatori generato tramite una caldaia a GAS metano da 32kW, usata anche per la produzione di acqua calda sanitaria. È presente un impianto di raffrescamento con una pompa di calore mono split da 2,5kW con EER 3,42.

Per il calcolo delle prestazioni energetiche di questa tipologia, si è scelto di prendere in esame l'unità abitativa all'interno di una caposchiera.



**Figura 13: Esempio di edifici a Schiera generico C1 - monofamiliare**



**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	551 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,184 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO POCO ISOLATO	
SPESSORE	380 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,285 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 140X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,675 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 190X110	
TRASMITTANZA TERMICA	2,680 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 240X210	
TRASMITTANZA TERMICA	2,681 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	123,35 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	123,35 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	528,95 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	528,95 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	321,03 m <sup>2</sup>



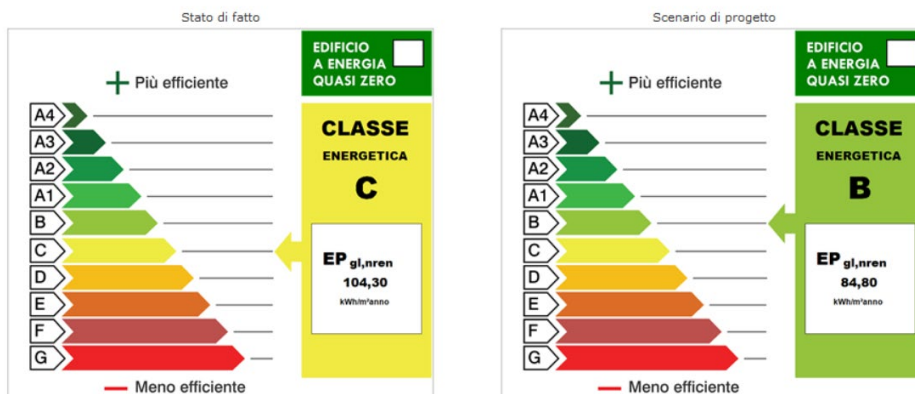
**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull’edificio esistente:

**INTERVENTO LOW**

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 30kW e un rendimento η=0,97, l’installazione di una pompa di calore aria-aria per il raffrescamento estivo dell’edificio con potenza 4,7kW ed un EER=3,8

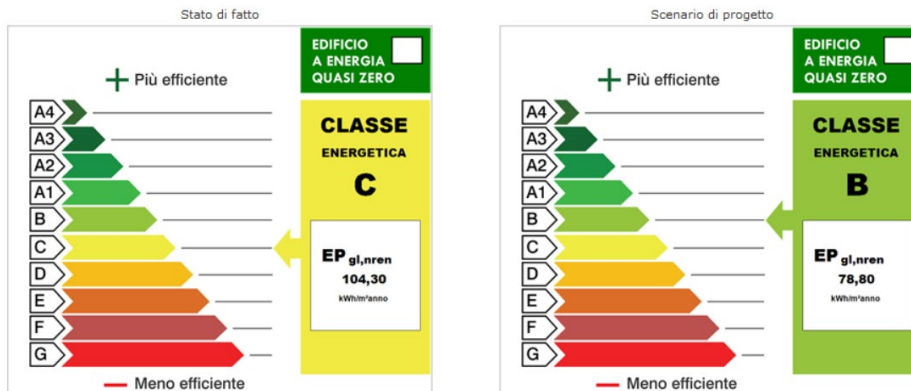
Unità immobiliare 01: LOW



### INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da  $30\text{kW}$  e un rendimento  $\eta=0,97$  e la sostituzione della pompa di calore con una macchina aria-aria con potenza  $4,7\text{kW}$  ed un  $\text{EER}=3,8$ .

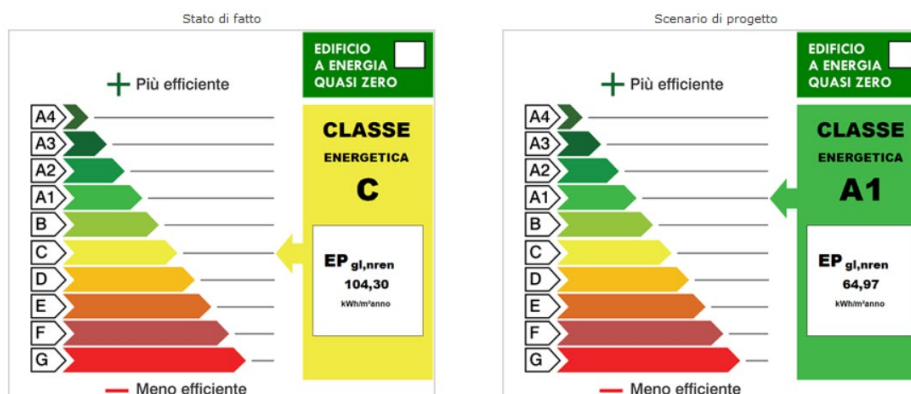
Unità immobiliare 01: MEDIUM



### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanic polyso-PIR da  $8\text{cm}$  e conducibilità termica di  $0,026 \text{ W/mK}$ ; l'installazione di una pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda sanitaria con potenza di  $6,5\text{kW}$ ,  $\text{COP}=3,9$ ,  $\text{EER}=2,75$ ; l'installazione di un impianto fotovoltaico da  $6.4\text{kW}$  per unità abitativa, installati nella copertura a falde dell'edificio.

Unità immobiliare 01: HIGH



## 2.4 Casi studio: edifici pubblici

### 2.4.1 Introduzione

All'interno del territorio di Carbonia sono stati individuati 10 edifici ad uso pubblico usati come casi studio. Per 7 di questi 10 casi studio è stato utilizzato il lavoro di audit energetico eseguito da Sotacarbo nelle precedenti attività, pertanto è stato possibile utilizzare la raccolta di dati sullo stato del sistema (elementi costruttivi e materiali, impianti che garantiscono diversi servizi, consumi vettori energetici, costi operativi, profilo d'uso degli ambienti, ecc.) e sull'impostazione di un modello energetico per ogni caso studio. Per gli altri 3 casi studio sono state ipotizzate delle tipologie edilizie generiche in cui il sistema impianto-edificio ed il profilo di utilizzo sono stati ipotizzati in base alla conoscenza del territorio.

I modelli energetici del sistema edificio-impianto sono stati eseguiti attraverso l'uso del software Termolog della casa produttrice Logicalsoft, il quale ci permette di proporre sia dettagliate simulazioni fisiche basate su motori dinamici orari che modelli stazionari come quelli proposti dagli standard delle normative UNI ISO 13790:2008 e UNI 11300.

In questa fase l'obiettivo è stato quello di individuare per ogni caso studio gli elementi deboli del sistema per poi definire delle ipotesi di intervento che, a seconda del livello di impatto sul sistema edificio-impianto vengono suddivise in intervento "Low", intervento "Medium" e intervento "High". I dati ottenuti dalla modellazione dei 10 casi studio e dalle ipotesi di retrofit considerate sono devonno essere considerate come un risultato preliminare di questa ricerca.

Questi dati pongono le basi per la successiva costruzione di un modello decisionale, che in base alla tipologia edilizia presa in esame e al tipo di impianto in essa presente, possa essere usato come input decisionale per l'efficientamento energetico delle tipologie edilizie presenti su tutto il patrimonio edilizio della città di Carbonia.

### 2.4.2 Casi studio analizzati

Sono stati analizzati 10 casi studio includendo sia gli edifici più rappresentativi della storia della fondazione città e del suo passato minerario, sia edifici più recenti ma al tempo stesso molto diffusi in tutto il territorio regionale e nazionale come i vari edifici scolastici.

Più nello specifico, sono state prese in esame i seguenti edifici:

1. SCUOLA SATTA, l'edificio è caratterizzato da una distribuzione planovolumetrica a "C", è composto da due piani fuori terra e un piano seminterrato. L'edificio è stato completamente efficientato (sia dal punto di vista impiantistico che edilizio) nel 2011.
2. SCUOLA IS MEIS, è un edificio di recente costruzione, fine anni '70; disposto su un unico livello composto da cinque aule, più due altri ambienti.
3. SCUOLA IS GANNAUS, è un edificio di recente costruzione, primi anni '90; disposto su un unico livello composto da cinque aule, più due altri ambienti.
4. MUSEO PALEONTOLOGICO, edificio in cui ha sede il museo è situato nei locali riconvertiti del padiglione delle ex officine meccaniche della Grande Miniera di Serbariu.
5. MUSEO GENERICO, si ipotizza un museo generico creato dalla riconversione di un edificio esistente.
6. MUNICIPIO, è uno degli edifici pubblici principali della città di Carbonia, si configura come un edificio assolutamente tradizionale in muratura portante. Attualmente si presenta esteriormente a forma di "L" ed occupa a una superficie coperta di circa 1000 mq. E' suddiviso in tre parti, di caratteristiche costruttive e formali molto simili.
7. EX UFFICI GIUDIZIARI, edificio degli anni '70 disposto su due livelli sopra un piano pilotis.
8. CAPANNONE GENERICO, edificio ad un livello con pianta regolare, costruito nei primi anni del 2000. Edificio diffuso nella periferia di Carbonia.

9. UFFICI GENERICI, edificio multi-livello con struttura in cemento armato e muratura di tamponamento in muratura a cassa vuota e strutture orizzontali in latero – cemento.
10. SCUOLA GENERICA, l'edificio è caratterizzato da una distribuzione planovolumetrica a "C", è composto da due piani fuori terra e un'ampia superficie vetrata.

### 2.4.3 Caso studio n.1

#### Descrizione

La tipologia L'edificio scolastico Sebastiano Satta è stato realizzato nel 1939, sorge nella zona meridionale dell'abitato di Carbonia, come prima espansione del nucleo originario di fondazione della città mineraria. L'edificio si sviluppa su un impianto planimetrico asimmetrico con un nucleo d'ingresso ed una distribuzione planovolumetrica a "C", è composto da due piani fuori terra e un piano seminterrato; la sua attuale conformazione è frutto di momenti edificatori tra loro successivi, che hanno determinato alcune modifiche rispetto all'originaria conformazione ad "L" risalente al 1939.

Il fabbricato realizzato nel 1939 è costituito da una struttura in muratura portante in pietra intonacata di spessore pari a 55 cm, mentre i successivi interventi, che hanno determinato l'ampliamento delle volumetrie del fabbricato, sono stati realizzati mediante tipologie costruttive più recenti e di spessore nettamente inferiore. La muratura perimetrale dei corpi aggiunti risulta realizzata mediante muratura a cassetta in laterizio con interposto strato isolante realizzato con poliuretano da 10,00 e 6,00 cm.

Nel 2011 nell'edificio sono stati eseguiti lavori di restauro ed efficientamento energetico, nello specifico, è stato realizzato un cappotto esterno su tutte le superfici verticali sia quelle in pietra che a cassetta; eseguita la posa della coibentazione su solai di copertura in laterocemento; la posa coibentazione su solaio piano seminterrato; l'installazione di infissi monoblocco in alluminio a taglio termico, vetrocamera selettivo a controllo solare e basso emissivo. Dopo i lavori di efficientamento, è presente un sistema di generazione di calore quale sistema idronico per la produzione di acqua calda e refrigerata del tipo a pompa di calore ad altissima efficienza; una separazione e termoregolazione dei circuiti per zone omogenee in termini climatici e di destinazione d'uso con l'installazione di adeguati dispositivi atti ad evitare il surriscaldamento dei singoli locali ai carichi parziali o in presenza di apporti gratuiti. Inoltre è presente un sistema centralizzato destinato alla produzione, accumulo e distribuzione di acqua calda ad uso igienico sanitario e contestuale ricorso a fonti rinnovabili mediante l'abbinamento di un impianto solare termico. L'impianto di illuminazione è costituito da corpi illuminanti con lampade fluorescenti lineari.



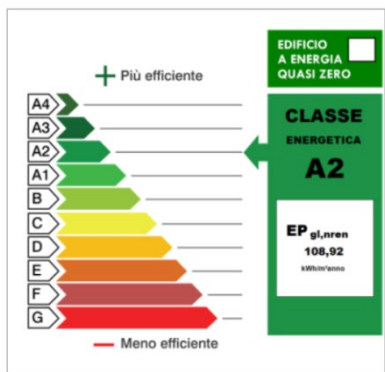
Figura 14: Edificio scolastico Sebastiano Satta allo stato attuale

**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA ESTERNA IN PIETRA CON CAPPOTTO</b>	
SPESSORE	650 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,273 W/m²K
<b>MURATURA ESTERNA IN PIETRA CON CAPPOTTO</b>	
SPESSORE	390 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,202 W/m²K
<b>SOLAI DI BASE</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m²K
<b>SOLAIO DI COPERTURA ISOLATO</b>	
SPESSORE	345 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,277 W/m²K
<b>FINESTRA 70X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	2,296 W/m²K
<b>FINESTRA 160X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	2,198 W/m²K
<b>PORTA FINESTRA 160X210</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	2,086 W/m²K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	4009,46 m²
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	4009,46 m²
VOLUME LORDO RISCALDATO	18301,06 m³
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	18301,06 m³
SUPERFICIE DISPEDENTE	7443,97 m²



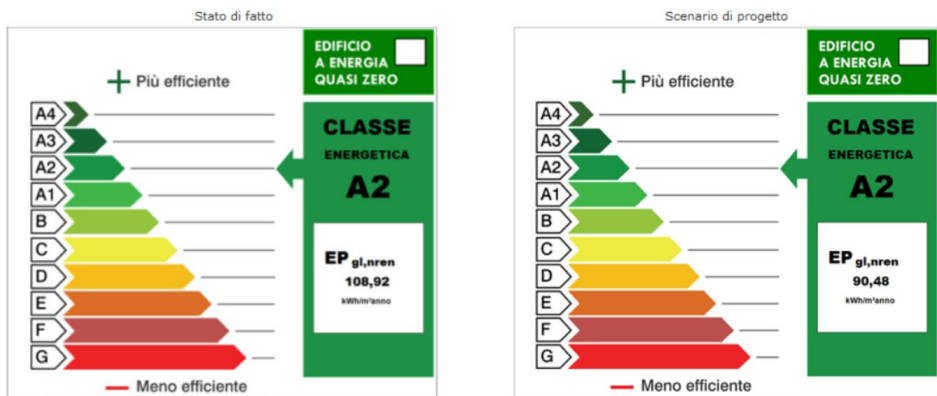
**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti visti anche i recenti lavori di efficientamento dell’edificio, si prende in esame la seguente ipotesi di efficientamento energetico:

**INTERVENTO LOW**

Per questo scenario si ipotizza solamente la sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED.

Unità immobiliare 01: Nuove lampade LED



#### 2.4.4 Caso studio n.2

##### Descrizione

La scuola primaria di Is Meis, è un edificio di recente costruzione (fine anni '70), ubicato alla periferia sud della città. La scuola, che occupa una superficie di 765 m<sup>2</sup>, è disposta su un unico piano ed è composta da cinque aule., con un vasto androne centrale, e due altri ambienti usati come aule speciali (informatica e insegnanti).

L'intelaiatura portante è realizzata in cemento armato e muratura di tamponamento a cassa vuota; la copertura è piana con un solatio in latero cemento non coibentato. Gli infissi sono in alluminio con vetro semplice, sono inoltre presenti avvolgibili in PVC.

L'impianto di riscaldamento è di tipo centralizzato con caldaia tradizionale a gasolio da 79 kW. È presente un sistema di raffrescamento con n. 2 pompe di calore mono split da 5kW con EER 2,25. L'acqua calda sanitaria è invece prodotta da n.2 scaldacqua elettrici da 1,5 kW. Il sistema di illuminazione presente è caratterizzato da lampade a fluorescenza.



Figura 15: Scuola primaria Is Meis allo stato attuale

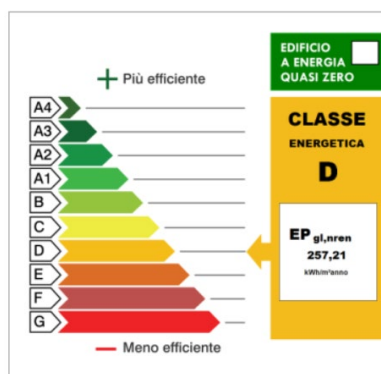


**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA PIANA	
SPESSORE	275 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,832 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 120X170	
TRASMITTANZA TERMICA	6,080 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 160X210	
TRASMITTANZA TERMICA	5,989 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 90X210	
TRASMITTANZA TERMICA	6,022 W/m <sup>2</sup> K

Superficie utile riscaldata	574,58 m <sup>2</sup>
Superficie utile raffrescata	574,58 m <sup>2</sup>
Volume lordo riscaldato	2666,01 m <sup>3</sup>
Volume lordo raffrescato	2666,01 m <sup>3</sup>
Superficie disperdente	1090,31 m <sup>2</sup>



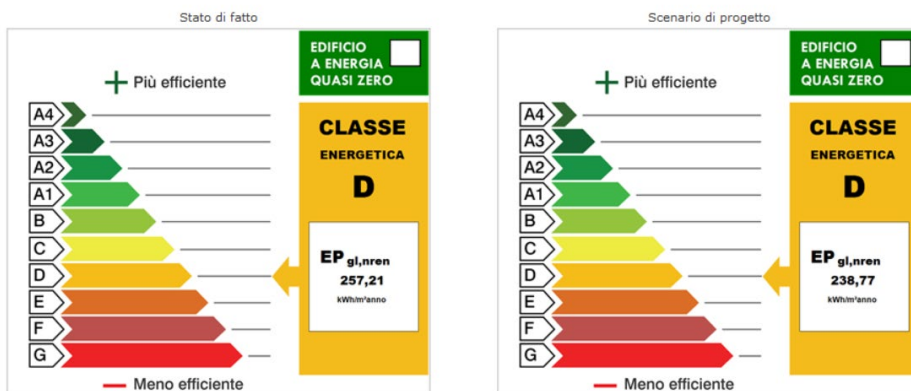
**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull’edificio esistente:

**INTERVENTO LOW**

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP da 2,83 e la sostituzione delle pompe di calore esistenti con macchine più performanti da 5kW e EER=6,5

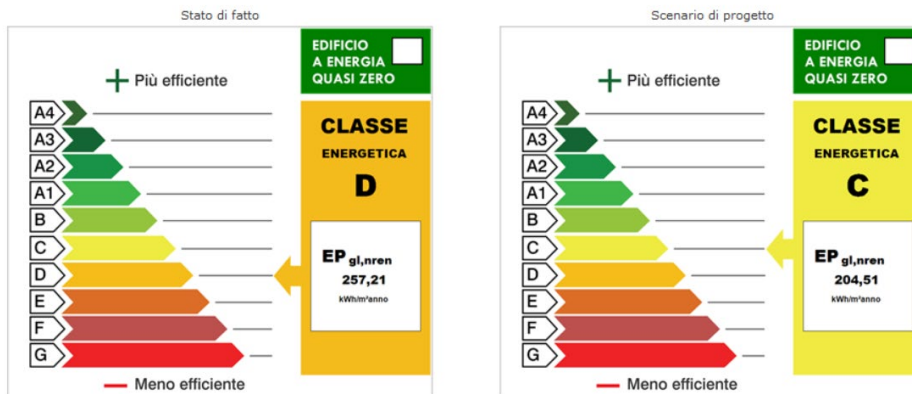
scuola: LOW



### INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da  $1,2\text{kW}$  e COP da  $2,83$  e la sostituzione delle pompe di calore esistenti con macchine più performanti da  $5\text{kW}$  e  $\text{EER}=6,5$

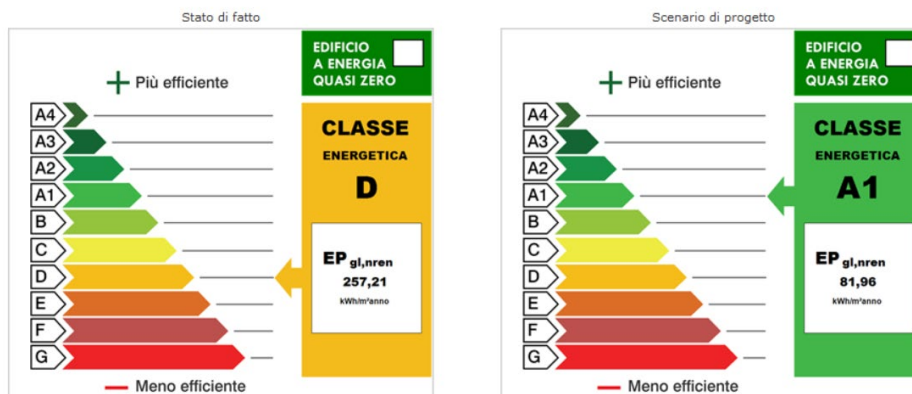
scuola: MEDIUM



### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  e l'insufflaggio della muratura a cassetta con poliuretano espanso e l'isolamento della copertura piana. La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da  $1,2\text{kW}$  e COP da  $2,83$  e la sostituzione delle pompe di calore esistenti con macchine più performanti da  $5\text{kW}$  e  $\text{EER}=6,5$ . L'installazione di un impianto fotovoltaico da  $14,7 \text{ kW}$ .

scuola: HIGH



### 2.4.5 Caso studio n.3

#### Descrizione

La scuola primaria di Is Gannaus, è un edificio di recente costruzione (primi anni '90), ubicato alla periferia sud della città. La scuola, che occupa una superficie di 625 m<sup>2</sup>, è disposta su un unico piano ed è composta da cinque aule, con un vasto androne centrale, e due altri ambienti usati come aule speciali (informatica e insegnanti).

L'intelaiatura portante è realizzata in cemento armato e muratura di tamponamento a cassa vuota; la copertura è piana con un solatio in latero cemento non coibentato. Gli infissi sono in alluminio con vetro semplice, sono inoltre presenti avvolgibili in PVC.

L'impianto di riscaldamento è di tipo centralizzato con caldaia tradizionale a gasolio da 79 kW. L'acqua calda sanitaria è invece prodotta da uno scaldacqua elettrico da 1,5 kW. Il sistema di illuminazione presente è caratterizzato da lampade a fluorescenza.



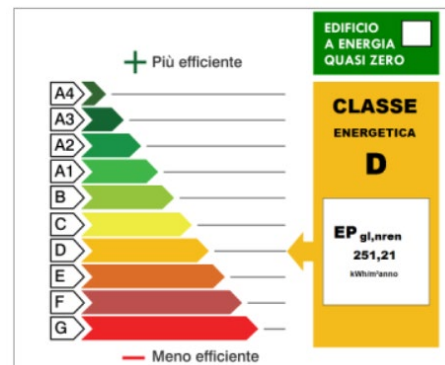
Figura 16: Scuola primaria Is Gannaus allo stato attuale

## Risultati

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell'edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA</b>	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA PIANA</b>	
SPESSORE	275 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,832 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 120X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,080 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 200X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	5,988 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 160X210</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	5,989 W/m <sup>2</sup> K
<b>PORTA FINESTRA 160X210</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	5,989 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	802,00 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	-
VOLUME LORDO RISCALDATO	3739,23 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	-
SUPERFICIE DISPERDENTE	1589,64 m <sup>2</sup>



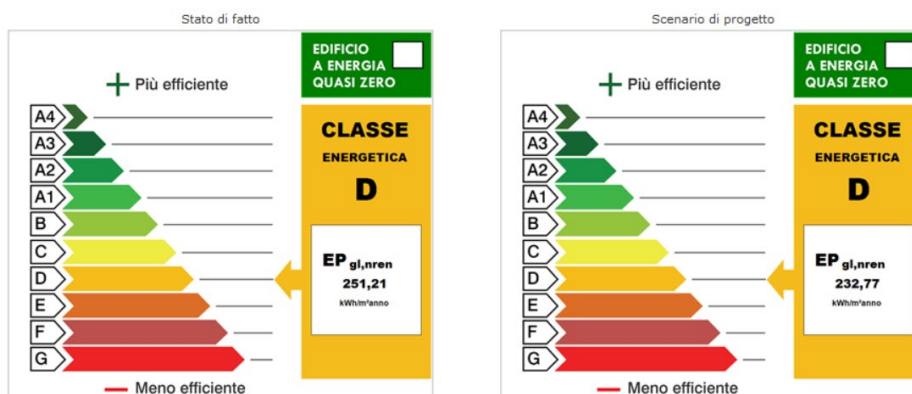
## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull'edificio esistente:

### INTERVENTO LOW

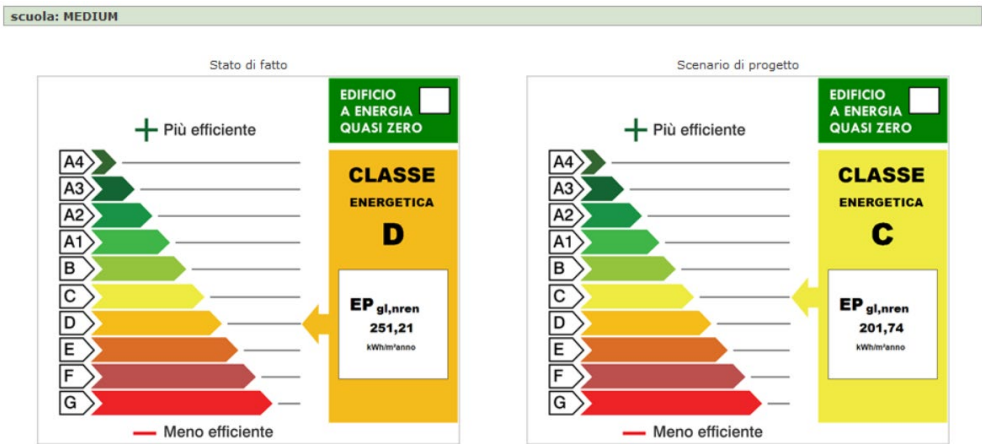
Per questo scenario si ipotizza la sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione dello scaldacqua elettrico con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP da 2,83.

scuola: LOW



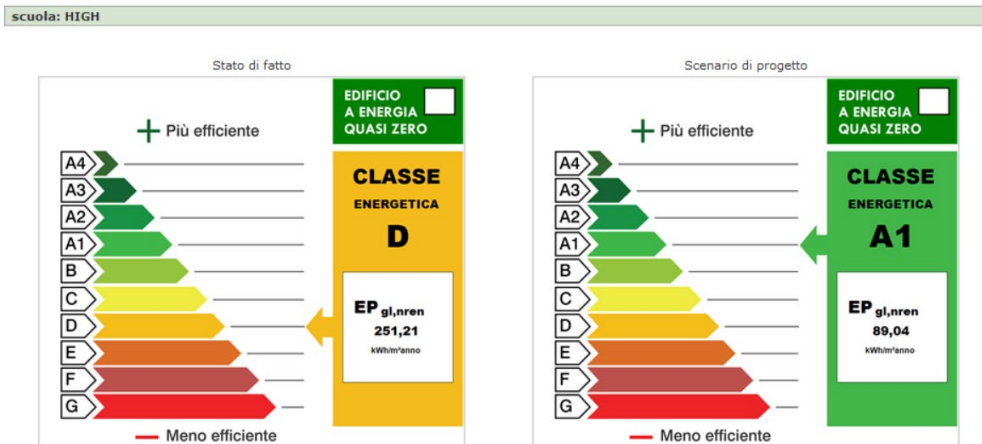
**INTERVENTO MEDIUM**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione dello scaldacqua elettrico con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP da 2,83.



**INTERVENTO HIGH**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K e l'insufflaggio della muratura a cassetta con poliuretano espanso e l'isolamento della copertura piana. La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione dello scaldacqua elettrico con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP da 2,83. L'installazione di un impianto fotovoltaico da 14,7 kW.



## 2.4.6 Caso studio n.4

### Descrizione

L'edificio in cui ha sede il Museo Paleontologico, è situato nei locali appositamente riconvertiti del padiglione delle ex Officine meccaniche della Grande Miniera di Serbariu. L'organismo edilizio si struttura come un corpo principale rettangolare a due livelli, con asse maggiore orientato a NE-SO e due ali laterali ad un solo livello disposti a formare una pianta quadrata che delimita una corte interna. Il corpo di fabbrica principale è caratterizzato da copertura a falde mentre gli ambienti laterali, ad un livello, hanno copertura piana distinta dalla presenza di due lucernai.

La superficie totale è di 1740 m<sup>2</sup>. Le pareti verticali sono realizzate in muratura lapidea. Le coperture orizzontali delle parti ad un livello sono gli originali solai latero cementizi mentre le coperture del corpo a due livelli e di alcuni nuovi locali realizzati nella corte interna sono in legno lamellare.

L'edificio, come tutti quelli del complesso della miniera, è sottoposto a tutela dei beni culturali e si inserisce in un ambito di tutela paesaggistica. La struttura è stata oggetto di un restauro completo nel 2007 che ne ha risanato e rinnovato l'involucro edilizio e ne ha adeguato la dotazione tecnologico impiantistica alle esigenze di un'area museale. Con l'intervento le coperture orizzontali originarie sono state conservate ma si è aggiunto dell'isolante ed un nuovo assetto delle pendenze in calcestruzzo alleggerito. Le pareti non sono state isolate ma è stata realizzata una contro parete interna con un foglio di laterizio forato (8 cm spessore) per l'alloggiamento degli impianti e la protezione dalla umidità di risalita. Sostituzione delle chiusure finestrate con altre lignee con vetrocamera di simile fattura. Nel museo è presente un impianto per il riscaldamento e raffrescamento costituito da n.3 pompe di calore (aria-acqua) collegati a n.30 ventilconvettori a servizio delle zone riscaldate, ma l'impianto non risulta più funzionante dal 2015. L'Acqua Calda Sanitaria è prodotta tramite 3 boiler ad accumulo elettrici al servizio dei gruppi di bagni, installati internamente in ambienti non riscaldati e tenuti accesi costantemente.

L'illuminazione è garantita da un mix di lampade a fluorescenza e faretto alogeni. Mentre nelle aree ufficio e nelle aule didattiche sono presenti principalmente le plafoniere con tubi alogeni.



Figura 17: Museo Paleontologico allo stato attuale

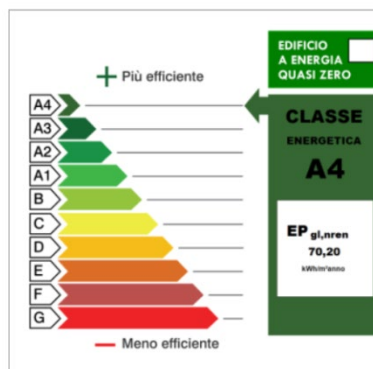


**Risultati**

Considerando che gli impianti non sono funzionati, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA</b>	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
<b>MURATURA IN PIETRA CON CONTROPARETE</b>	
SPESSORE	795 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,211 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	600 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,078 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO</b>	
SPESSORE	310 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,082 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA PIANA</b>	
SPESSORE	322 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,231 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 300X150</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	2,991 W/m <sup>2</sup> K

Superficie utile riscaldata	1576,42 m <sup>2</sup>
Superficie utile raffrescata	1576,42 m <sup>2</sup>
Volume lordo riscaldato	8688,10 m <sup>3</sup>
Volume lordo raffrescato	8688,10 m <sup>3</sup>
Superficie disperdente	4548,21 m <sup>2</sup>

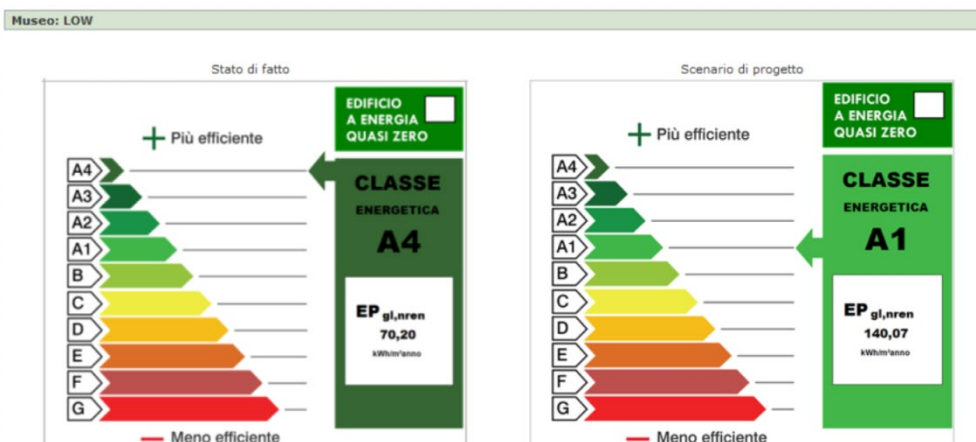


**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo tre livelli di impatto sull’edificio esistente:

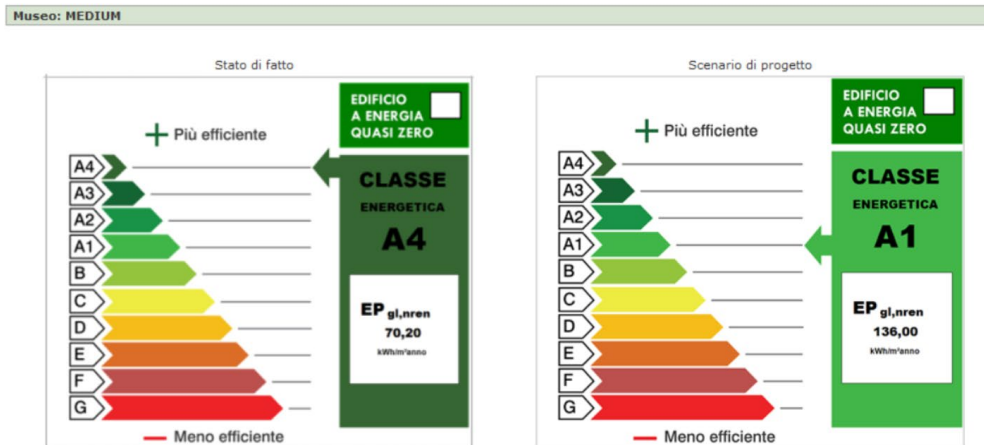
**INTERVENTO LOW**

Per questo scenario si ipotizza la sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. L’installazione di n.2 nuove pompe di calore aria-acqua da 62kW, COP=4,77 ed EER=2,86 sull’impianto esistente.



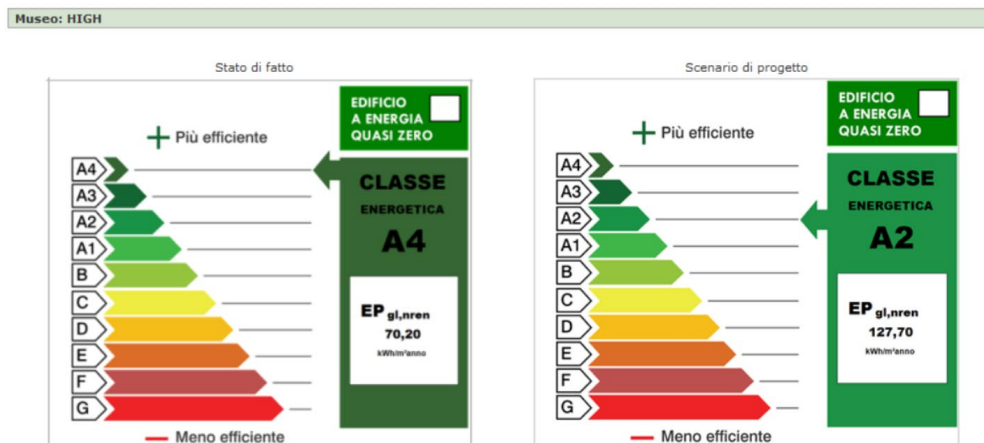
### INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in legno e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. L'installazione di n.2 nuove pompe di calore aria-acqua da 62kW, COP=4,77 ed EER=2,86 sull'impianto esistente.



### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  e l'isolamento della copertura piana. La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. L'installazione di n.2 nuove pompe di calore aria-acqua da 62kW, COP=4,77 ed EER=2,86 sull'impianto esistente.



2.4.7 Caso studio n.5

**Descrizione**

L’edificio ipotizzato è un museo a carattere generico, creato tramite il recupero e valorizzazione di un edificio appartenente al complesso di edifici minerari della città.

L’edificio è realizzato in muratura portante lapidea storica tipica della zona di Carbonia e le coperture sono costituite da strutture intelaiate in cemento armato e mantengono gli originali solai latero cementizi.

Nel museo è presente un impianto per il riscaldamento e raffrescamento costituito da una pompa di calore (aria-acqua) da 57kW con COP=3,85 ed EER=2,1, con collegamento a ventilconvettori. L’Acqua Calda Sanitaria è prodotta tramite n.2 boiler ad accumulo elettrici al servizio dei gruppi di bagni, installati internamente in ambienti non riscaldati e tenuti accesi costantemente.

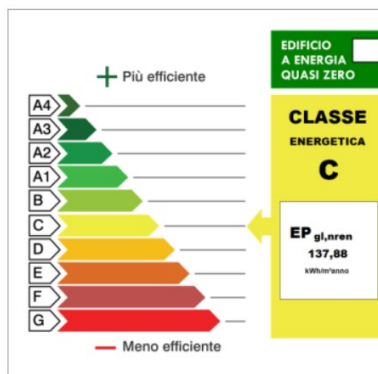
L’illuminazione è garantita da un mix di lampade a fluorescenza e faretto alogeni.

**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA IN PIETRA</b>	
SPESSORE	350 mm
TRASMITTANZA TERMICA	2,373 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	600 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,184 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>	
SPESSORE	310 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,082 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 120X120</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,108 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 70X70</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,234 W/m <sup>2</sup> K
<b>PORTA FINESTRA 160X210</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	5,989 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	1479,37 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	1479,37 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	8842,15 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	8842,15 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	4248,16 m <sup>2</sup>

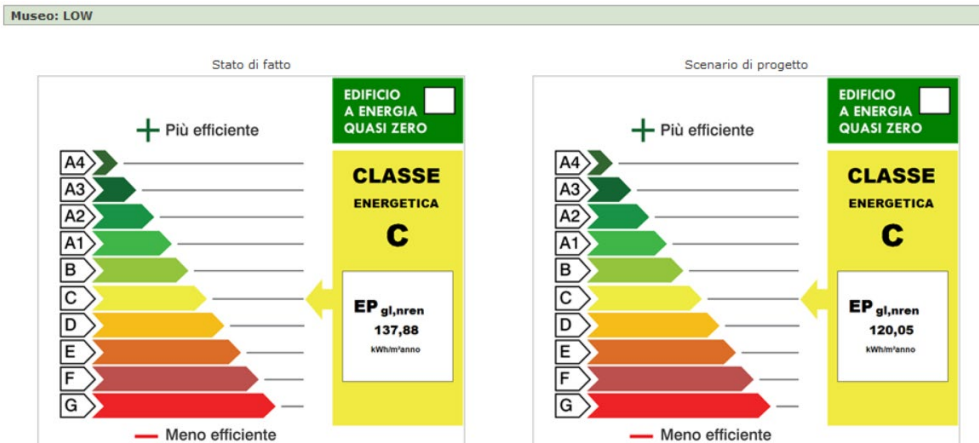


## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo due livelli di impatto sull'edificio esistente:

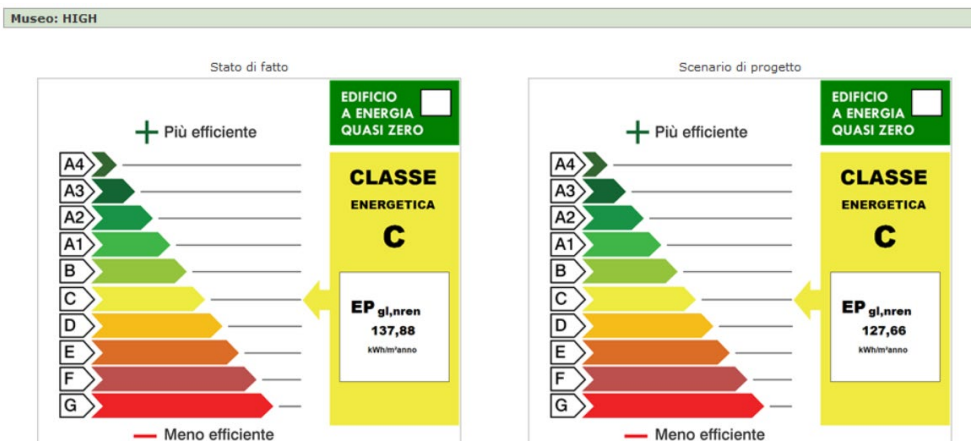
### INTERVENTO LOW

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED.



### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in legno e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione dello scaldacqua elettrico con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP da 2,83. L'installazione di n.2 nuove pompe di calore aria-acqua da 62kW, COP=4,77 ed EER=2,86 sull'impianto esistente.



#### 2.4.8 Caso studio n.6

##### **Descrizione**

L'attuale sede del Comune di Carbonia, rappresentativa dell'edificato di fondazione, è uno dei principali edifici pubblici che si affacciano su Piazza Roma. Il Municipio, si configura come un edificio assolutamente tradizionale in muratura portante. Attualmente si presenta esteriormente a forma di "L" ed occupa a una superficie coperta di circa 1000 metri quadrati. E' suddiviso in tre parti, di caratteristiche costruttive e formali molto simili. Le modalità costruttive sono riassumibili nell'uso di murature portanti in trachite e solai latero-cementizi, infissi prevalentemente in legno (sostituiti durante gli interventi di ristrutturazione) e coperture in coppi. La muratura in mattoni pieni è destinata alle parti più sollecitate dell'ossatura muraria mentre i forati sono utilizzati per le partizioni interne. Il Municipio è dotato di un impianto di riscaldamento a pompa di calore ad acqua; impianto di raffrescamento a pompa di calore ad aria e di bollitori elettrici ad accumulo per l'acqua calda sanitaria.



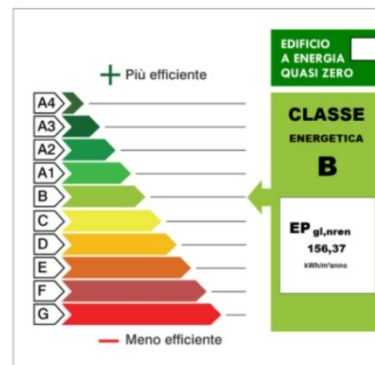
**Figura 18:**Municipio di Carbonia allo stato attuale

## Risultati

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell'edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA IN PIETRA</b>	
SPESSORE	450 mm
TRASMITTANZA TERMICA	2,033 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA INCLINATO POCO ISOLATO</b>	
SPESSORE	340 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,481 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 160X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	3,039 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 200X170</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	3,016 W/m <sup>2</sup> K
<b>PORTA FINESTRA 160X210</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	3,026 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	2810,26 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	2810,26 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	13215,79 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	13215,79 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	3340,11 m <sup>2</sup>



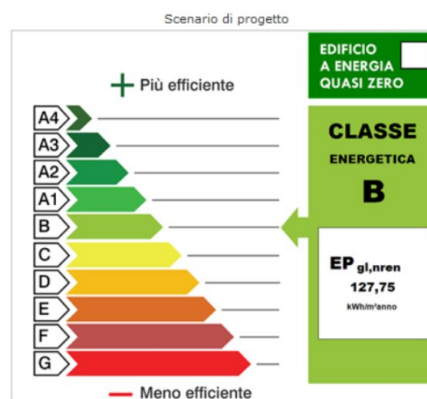
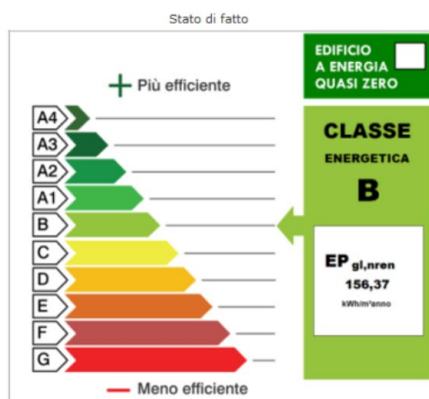
## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo due livelli di impatto sull'edificio esistente:

### INTERVENTO LOW

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in legno e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED e la sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP= 2,83.

Uffici: LOW

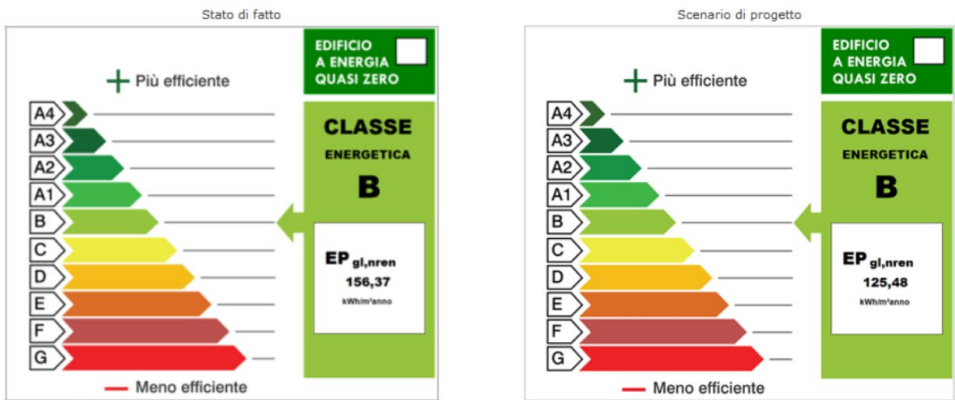




**INTERVENTO HIGH**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in legno e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K. L'isolamento della copertura a falde esistente. La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione dello scaldacqua elettrico con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP da 2,83. L'installazione di n.2 nuove pompe di calore aria-acqua da 62kW, COP=4,77 ed EER=2,86 su un impianto a ventilconvettori.

Uffici: HIGH



## 2.4.9 Caso studio n.7

### Descrizione

L'edificio degli Ex uffici giudiziari sorge ai limiti orientali dell'edificato della città, in Via XVIII Dicembre. La struttura è riconducibile agli anni '70, visti i particolari del cornicione svasato, l'uso di lucernai a nastro, la finitura esterna in pannelli di calcestruzzo.

L'intelaiatura portante è evidentemente in conglomerato cementizio armato. La muratura è stata ipotizzata costituita da un doppio strato di mattoni forati intercalati da un'intercapedine vuota e rifiniti esternamente con un pannello di calcestruzzo prefabbricato. I solai sono per certo in laterocemento, con uno spessore, stante la luce che coprono di 16+4 cm. Gli infissi sono metallici con vetro camera, il che fa presupporre un intervento di sostituzione successivo alla realizzazione. La copertura è piana rifinita con uno strato di impermeabilizzazione bituminoso. Le tramezzature interne sono realizzate con laterizi forati.

L'impianto di riscaldamento è di tipo centralizzato con caldaia tradizionale a gasolio, mentre per il raffrescamento è utilizzato un impianto con unità centrale a pompa di calore aria acqua. Per la generazione di acqua calda sanitaria l'edificio dispone di un bollitore elettrico ad accumulo a energia elettrica per ciascun piano utilizzato.



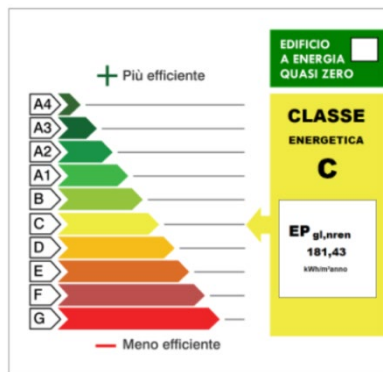
Figura 19: Ex Uffici Giudiziari allo stato attuale

### Risultati

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA E CLS PREFABBRICATO	
SPESSORE	300 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,762 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA	
SPESSORE	275 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,832 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 600X100	
TRASMITTANZA TERMICA	3,047 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 200X170	
TRASMITTANZA TERMICA	3,016 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 200X210	
TRASMITTANZA TERMICA	3,001 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	3602,20 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	3602,20 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	14408,75 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	14408,75 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	4614,78 m <sup>2</sup>

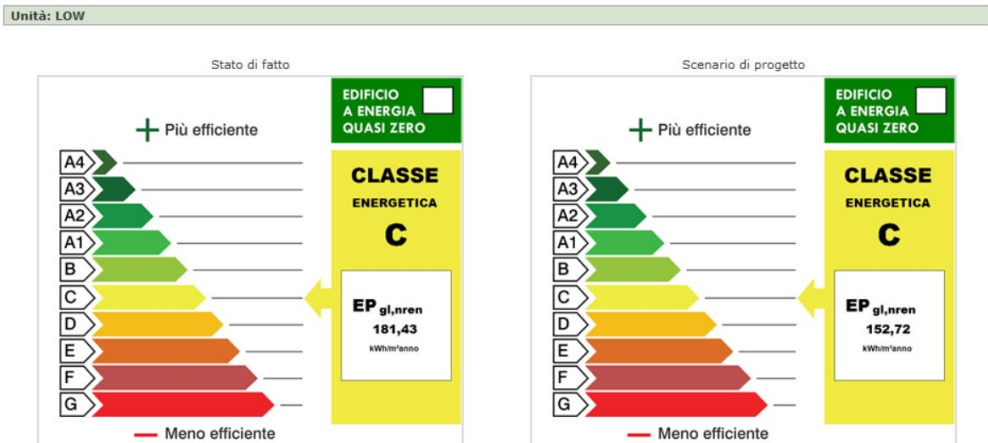


### Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame delle ipotesi di efficientamento energetico suddivise secondo due livelli di impatto sull’edificio esistente:

#### INTERVENTO LOW

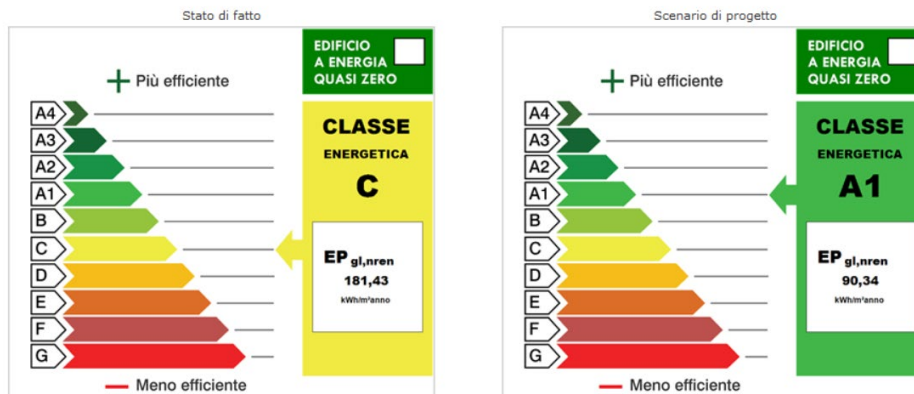
Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED.



## INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretana polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di  $0,026 \text{ W/mK}$ . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione GPL da 108 kW e un rendimento  $\eta=0,977$  per alimentare l'impianto di riscaldamento esistente. La sostituzione della pompa di calore per il raffrescamento, con una pompa di calore aria-acqua da 41,5kW ed EER=2,86 .

Unità: HIGH



### 2.4.10 Caso studio n.8

#### Descrizione

L'edificio ipotizzato è un capannone generico ad un livello e con pianta regolare. Costruito con elementi prefabbricati in calcestruzzo isolato e una struttura portante in cemento armato. Gli infissi hanno un telaio in metallo e vetrocamera.

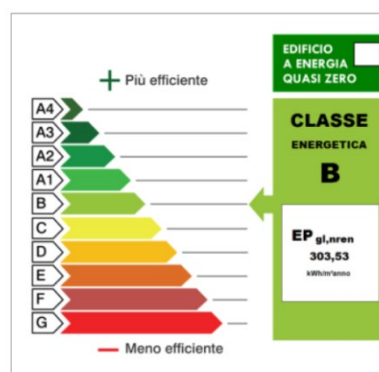
È presente un impianto di riscaldamento e raffrescamento che alimenta i ventilconvettori, costituito da n. 2 pompe di calore aria-acqua da 62kW, COP=4,05 ed EER=2,86

#### Risultati

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell'edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>PARETE PREFABBRICATA IN CLS</b>	
SPESSORE	270 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,053 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	600 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,052 W/m <sup>2</sup> K
<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>	
SPESSORE	275 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,832 W/m <sup>2</sup> K
<b>FINESTRA 1000X10</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	6,005 W/m <sup>2</sup> K
<b>PORTA FINESTRA 160X210</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	3,026 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	1212,75 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	1212,75 m <sup>2</sup>
VOLUME LORDO RISCALDATO	13013,28 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	13013,28 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPERDENTE	4136,42 m <sup>2</sup>



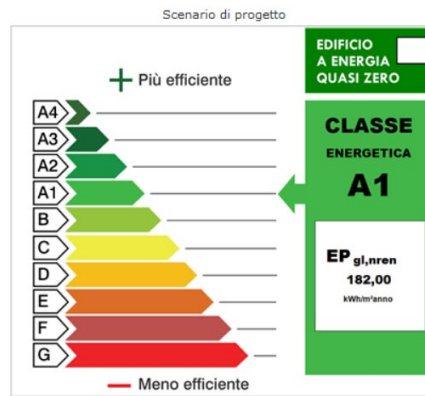
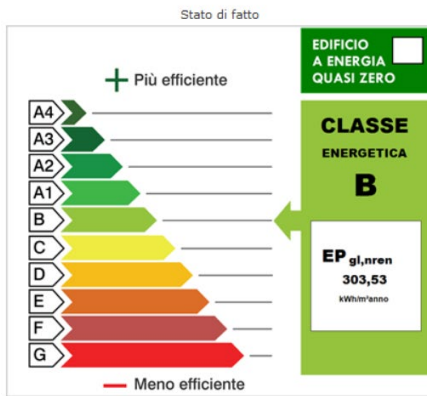
#### Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti viene presa in esame un'ipotesi di efficientamento energetico:

#### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K; la coibentazione esterna dell'intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretanic polyso-PIR da 8cm e conducibilità termica di 0,026 W/mK; l'isolamento della copertura piana. La sostituzione della pompa di calore per l'impianto di riscaldamento e raffrescamento, con una pompa di calore aria-acqua da 77kW, COP=4,35 ed EER=2,64 .

Capannone: HIGH





2.4.11 Caso studio n.9

**Descrizione**

L’edificio ipotizzato è un edificio per uffici generico che si sviluppa su 3 livelli fuori terra ed una pianta semicircolare con un corpo scala ad angolo. L’edificio ha una struttura portante in cemento armato con tamponatura in muratura a cassa vuota poco isolata e una grande quantità di superfici vetrate.

L’impianto di riscaldamento e raffrescamento avviene tramite n. 8 pompe di calore aria-aria monosplit con potenza 2,8kW, COP=4,06 ed EER=3,3

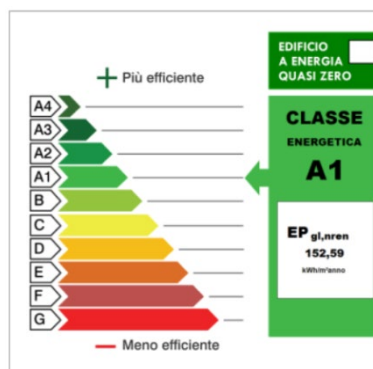
Mentre per la produzione di acqua calda sanitaria è installato un boiler elettrico ad accumulo da 1,5kW nella zona dei servizi igienici.

**Risultati**

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell’edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<b>MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA</b>	
SPESSORE	380 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,408 W/m²K
<b>SOLAIO DI BASE</b>	
SPESSORE	270 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,415 W/m²K
<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>	
SPESSORE	275 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,832 W/m²K
<b>FINESTRA 200X150</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	3,885 W/m²K
<b>FINESTRA 330X150</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	3,793 W/m²K
<b>PORTA FINESTRA 80X220</b>	
TRASMITTANZA TERMICA	4,073 W/m²K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	934,57 m²
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	934,57 m²
VOLUME LORDO RISCALDATO	3517,32 m³
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	3517,32 m³
SUPERFICIE DISPERDENTE	1230,11 m²



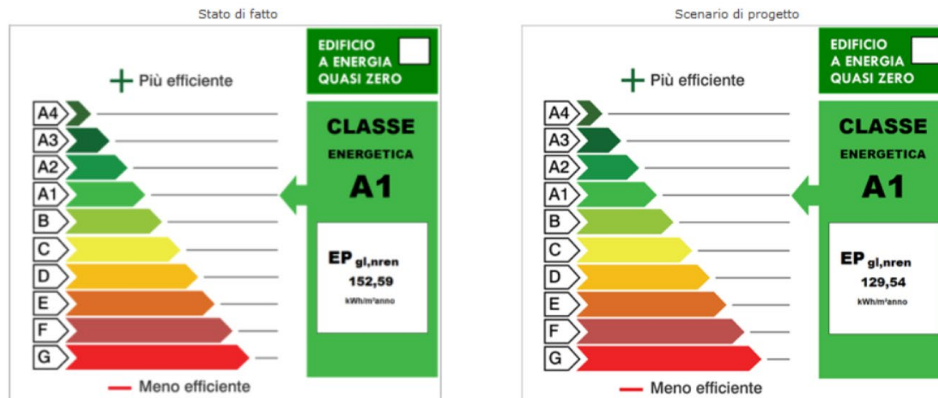
## Analisi risultati

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame tre ipotesi di efficientamento energetico:

### INTERVENTO LOW

La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED e la sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP= 2,83.

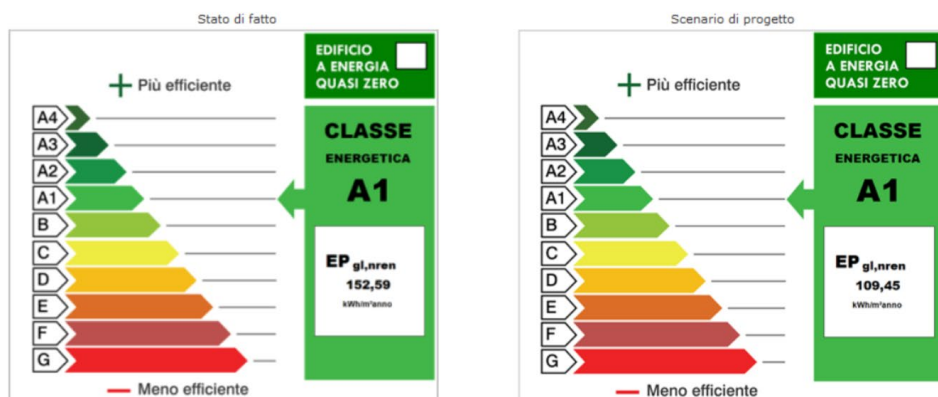
Ufficio 01: LOW



### INTERVENTO MEDIUM

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K. La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED e la sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP= 2,83. La sostituzione delle pompe di calore con delle macchine più performanti e con potenza 8kW, COP=5,03 ed EER=4,85

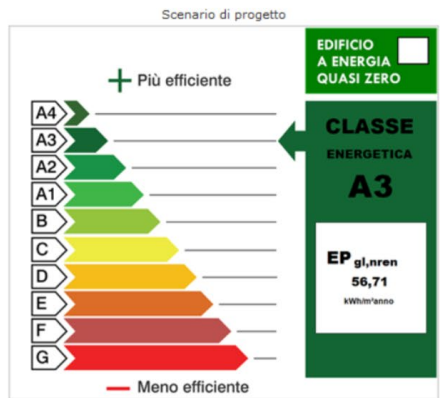
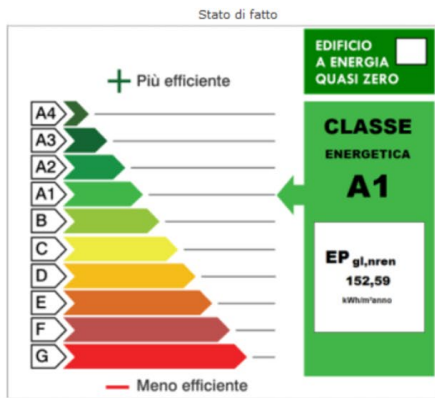
Ufficio 01: MEDIUM



### INTERVENTO HIGH

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m<sup>2</sup>K, insufflaggio della muratura a cassa vuota con poliuretano espanso e l'isolamento della copertura piana. La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED e la sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP= 2,83. La sostituzione delle pompe di calore con delle macchine più performanti e con potenza 8kW, COP=5,03 ed EER=4,85 e l'installazione di un impianto fotovoltaico da 18,4kW.

Ufficio 01: HIGH



## 2.4.12 Caso studio n.10

### Descrizione

L'edificio ipotizzato è un edificio scolastico realizzato negli anni '90. L'edificio si sviluppa su un impianto planimetrico simmetrico con un nucleo d'ingresso ed una distribuzione planovolumetrica a "C", è composto da due piani fuori terra.

L'edificio ha una struttura portante in cemento armato con una muratura perimetrale realizzata mediante muratura a cassetta in laterizio con interposto strato isolante realizzato con poliuretano da 6,00 cm e solai in laterocemento con copertura piana non isolata.

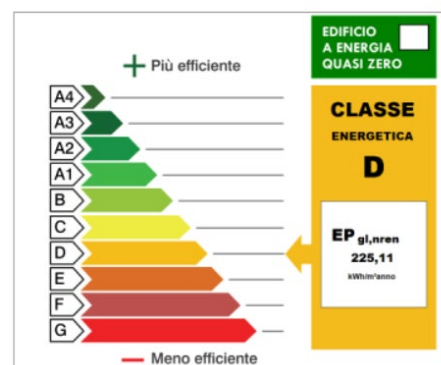
L'impianto di riscaldamento a radiatori è alimentato tramite caldaia a gasolio da 180kW con rendimento  $\eta=0,82$  e la produzione di acqua calda sanitaria avviene tramite n.4 boiler elettrici ad accumulo da 1,5kW. L'impianto di illuminazione è costituito da corpi illuminanti con lampade fluorescenti lineari.

### Risultati

Tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive ed impiantistiche dell'edificio, si sono ottenuti i seguenti risultati:

MURATURA CASSA VUOTA POCO ISOLATA	
SPESSORE	290 mm
TRASMITTANZA TERMICA	0,538 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI BASE	
SPESSORE	500 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,183 W/m <sup>2</sup> K
SOLAIO DI COPERTURA	
SPESSORE	275 mm
TRASMITTANZA TERMICA	1,832 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 160X170	
TRASMITTANZA TERMICA	3,039 W/m <sup>2</sup> K
FINESTRA 70x170	
TRASMITTANZA TERMICA	3,049 W/m <sup>2</sup> K
PORTA FINESTRA 160X210	
TRASMITTANZA TERMICA	3,026 W/m <sup>2</sup> K

SUPERFICIE UTILE RISCALDATA	2819,76 m <sup>2</sup>
SUPERFICIE UTILE RAFFRESCATA	-
VOLUME LORDO RISCALDATO	12272,99 m <sup>3</sup>
VOLUME LORDO RAFFRESCATO	-
SUPERFICIE DISPERDENTE	5581,99 m <sup>2</sup>



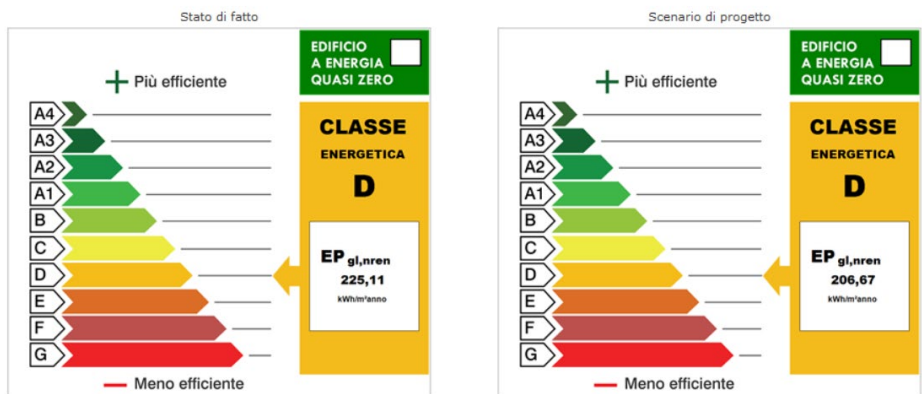
**Analisi risultati**

Analizzando i risultati ottenuti vengono prese in esame tre ipotesi di efficientamento energetico:

**INTERVENTO LOW**

La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED e la sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP= 2,83. L’installazione di pompe di calore per il raffrescamento estivo nell’area degli uffici con delle macchine con potenza 4,7kW ed EER=3,8

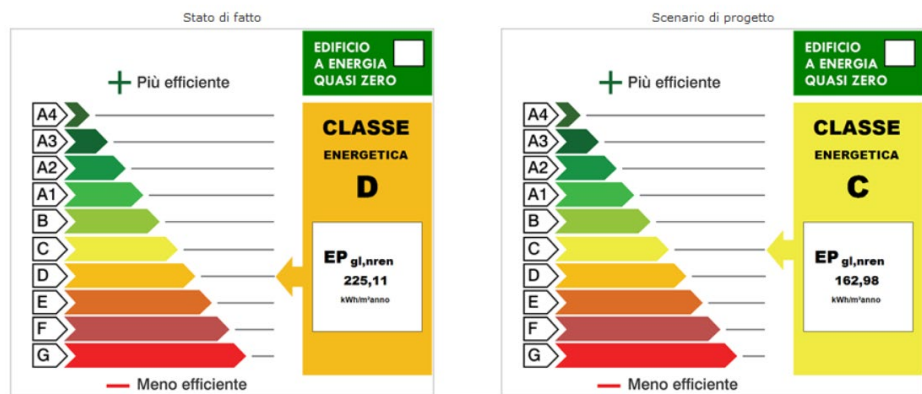
Scuola: LOW



**INTERVENTO MEDIUM**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m²K . La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP da 2,83 . L’installazione di pompe di calore per il raffrescamento estivo nell’area degli uffici con delle macchine con potenza 4,7kW ed EER=3,8 e la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 180kW e un rendimento  $\eta=0,977$ .

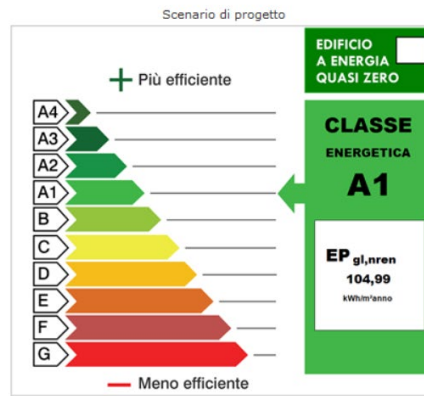
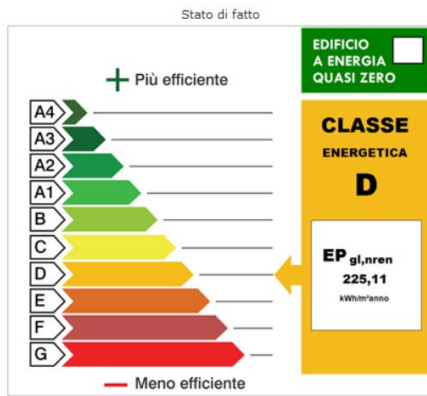
Scuola: MEDIUM



**INTERVENTO HIGH**

Si ipotizza la sostituzione degli infissi esistenti con degli infissi con telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo con una trasmittanza termica di 1,7 W/m²K; la coibentazione esterna dell’intero edificio con pannelli di isolante in schiuma poliuretana polyiso-PIR da 8cm e conducibilità termica di 0,026 W/mK; e l’isolamento della copertura piana. La sostituzione delle lampade fluorescenti con delle lampade a LED. La sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore da 1,2kW e COP da 2,83 . L’installazione di pompe di calore per il raffrescamento estivo nell’area degli uffici con delle macchine con potenza 4,7kW ed EER=3,8 e la sostituzione della caldaia con una caldaia a condensazione da 180kW e un rendimento  $\eta=0,977$ . L’installazione nella copertura piana di un impianto fotovoltaico in copertura da 22kW.

Scuola: HIGH





### 3 Framework

Dalle ipotesi di retrofit sviluppate per i casi studio sopra descritti è stata creata una tabella riepilogativa degli interventi sul sistema impiantistico degli edifici pubblici, ponendo le basi per lo sviluppo di un abaco decisionale sugli interventi.

Gli interventi descritti di seguito, nella redazione dell'abaco decisionale saranno influenzati da una serie di parametri quali costo dell'intervento, tempi di ammortamento, profili d'uso, ecc. oltre che dalle scelte di retrofit che coinvolgeranno le superfici opache e vetrate degli edifici oggetto di intervento.

#### INTERVENTI SUGLI IMPIANTI – EDIFICI PUBBLICI

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE		
STATO ATTUALE	INTERVENTO	NOTE
LAMPADE A INCANDESCENZA	SOSTITUZIONE CON LAMPADE A LED	
LAMPADE ALOGENE	SOSTITUZIONE CON LAMPADE A LED	
LAMPADE A FLUORESCENZA	SOSTITUZIONE CON LAMPADE A LED	
LAMPADE A LED	NO INTERVENTO	

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO		
STATO ATTUALE	INTERVENTO	NOTE
NON PRESENTE	NO INTERVENTO	
	INSTALLAZIONE NUOVO IMPIANTO CON CALDAIA A CONDENSAZIONE $\eta \geq 97\%$	descrizione nuovi terminali
	INSTALLAZIONE NUOVO IMPIANTO CON POMPA DI CALORE COP $\geq 3$	descrizione nuovi terminali
CALDAIA	SOSTITUZIONE CON CALDAIA A CONDENSAZIONE $\eta \geq 97\%$	stessi terminali
	RIMOZIONE IMPIANTO ESISTENTE E INSTALLAZIONE NUOVO IMPIANTO CON POMPA DI CALORE COP $\geq 3$	descrizione nuovi terminali
CALDAIA A CONDENSAZIONE $\eta < 97\%$	SOSTITUZIONE CON CALDAIA A CONDENSAZIONE $\eta \geq 97\%$	
CALDAIA A CONDENSAZIONE $\eta \geq 97\%$	NO INTERVENTO	
POMPA DI CALORE COP $< 3$	SOSTITUZIONE CON POMPA DI CALORE COP $\geq 3$	
POMPA DI CALORE COP $\geq 3$	NO INTERVENTO	

<b>IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO</b>		
<b>STATO ATTUALE</b>	<b>INTERVENTO</b>	<b>NOTE</b>
NON PRESENTE	NO INTERVENTO	
	INSTALLAZIONE NUOVO IMPIANTO CON POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA EER $\geq 3,2$	
IMPIANTO CON POMPA DI CALORE ARIA-ARIA	NO INTERVENTO	
	SOSTITUZIONE POMPA DI CALORE ARIA-ARIA CON MAGGIOR EER	
	INSTALLAZIONE NUOVO IMPIANTO CON POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA EER $\geq 3,2$	
IMPIANTO CON POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA	NO INTERVENTO	
	SOSTITUZIONE POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA CON MAGGIOR EER	

<b>IMPIANTO ACS</b>		
<b>STATO ATTUALE</b>	<b>INTERVENTO</b>	<b>NOTE</b>
NON PRESENTE	NO INTERVENTO	
	INSTALLAZIONE SCALDACQUA A POMPA DI CALORE COP $\geq 2,5$	
SCALDACQUA ELETTRICO AD ACCUMULO	SOSTITUZIONE CON SCALDACQUA A POMPA DI CALORE COP $\geq 2,5$	

## 4 Conclusioni

Tutte le ipotesi di retrofit sopra descritte, intervengo sui sistemi edificio-impianto esistenti secondo diversi livelli di intensità di intervento. Non sempre i risultati mostrano un aumento proporzionale nel miglioramento delle prestazioni energetiche all'aumentare dell'intensità dell'intervento. I criteri secondo i quali i diversi interventi sono suddivisi nelle tre categorie Low, Medium e High non si basano sulla qualità dei risultati attesi, bensì sul loro impatto nel sistema edificio-impianto esistente.

La scelta degli interventi da ipotizzare per ogni scenario è stata la seguente:

### Scenario Low

Si interviene esclusivamente sul sistema impianto:

- Sostituzione del sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria
- Sostituzione di pompe di calore con macchine più efficienti
- Sostituzione caldaia con caldaie a condensazione
- Sostituzione delle lampade con delle lampade a LED

### Scenario Medium

Si interviene principalmente sul sistema impianto, si effettuano interventi minimi sull'involucro e se si ritiene opportuno si introducono sistemi FER:

- Sostituzione del sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria
- Sostituzione di pompe di calore con macchine più efficienti
- Sostituzione caldaia con caldaie a condensazione
- Sostituzione delle lampade con delle lampade a LED
- Installazione del solare termico
- Sostituzione degli infissi

### Scenario High

Si interviene sia sull'intero sistema impianto-involucro utilizzando anche sistemi FER:

- Sostituzione del sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria
- Sostituzione di pompe di calore con macchine più efficienti
- Sostituzione caldaia con caldaie a condensazione
- Sostituzione delle lampade con delle lampade a LED
- Installazione del solare termico
- Installazione fotovoltaico
- Sostituzione degli infissi
- Cappotto esterno, insufflaggio, coibentazione interna

L'analisi dei risultati ottenuti dalle diverse ipotesi di retrofit precedentemente descritte risultano fondamentali per la costruzione di un abaco decisionale sugli interventi di efficientamento energetico sia per gli edifici civili che per gli edifici pubblici.

L'abaco decisionale, che verrà sviluppato nella successiva fase della ricerca, dovrà tenere conto di un maggior numero di fattori nei quali entreranno a par parte anche gli aspetti economici dei singoli interventi, i profili d'utilizzo di ogni edificio e i loro tempi di ammortamento.

Per la fase successiva si pone quindi l'obiettivo di creare uno strumento decisionale che descriva gli interventi possibili nelle varie situazioni edificio-impianto esistenti e ci consenta di effettuare delle ipotesi di intervento accurate, in modo tale che possa essere usato come un primo input decisionale per l'efficientamento energetico delle tipologie edilizie presenti su tutto il patrimonio edilizio della città di Carbonia.

Con la creazione dell'abaco decisionale, si potrà sviluppare la metodologia proposta per i casi analizzati come campioni della ricerca e applicarla al caso di studio di un edificio pubblico di Carbonia. Su quest'ultimo verrà condotta un'analisi approfondita, nell'ottica di proporre uno strumento di indagine innovativo finalizzato al miglioramento della prestazione energetica, integrato dal modello informativo creato in collaborazione con gli altri partner della ricerca.

L'implementazione di tale modello decisionale sarà in grado di valutare un piano di retrofit ottimale al caso studio, con l'obiettivo di supportare gli attori nel processo decisionale e valutando la migliore strategia applicativa per lo sviluppo di ipotesi d'intervento per l'efficientamento energetico e la sostenibilità impiantistica nel patrimonio pubblico edilizio esistente.

## 5 Riferimenti bibliografici

1. IEA, UNEP. 2019 global status report for buildings and construction. 2019.
2. Fina B, Auer H, Friedl W. Profitability of active retrofitting of multi-apartment buildings: building-attached/integrated photovoltaics with special consideration of different heating systems. *Energy Build* 2019;190:86e102. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.034>.
3. European commission. EU Buildings Factsheets 2019. [https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets\\_en](https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets_en). [Accessed 23 October 2020]
4. Camargo, L. R., Gruber, K., Nitsch, F., & Dorner, W. (2019). Hybrid renewable energy systems to supply electricity self-sufficient residential buildings in Central Europe. *Energy Procedia*, 158, 321–326. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.096>
5. Chen, B., Liu, Q., Chen, H., Wang, L., Deng, T., Zhang, L., & Wu, X. (2021). Multiobjective optimization of building energy consumption based on BIM-DB and LSSVM-NSGA-II. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126153>
6. de Souza, D. F., da Silva, P. P. F., Fontenele, L. F. A., Barbosa, G. D., & de Oliveira Jesus, M. (2019). Efficiency, quality, and environmental impacts: A comparative study of residential artificial lighting. *Energy Reports*, 5, 409–424. <https://doi.org/10.1016/j.egypr.2019.03.009>
7. Du, H., Huang, P., & Jones, P. (2019). Modular facade retrofit with renewable energy technologies: The definition and current status in Europe. *Energy and Buildings*, 205(2019). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109543>
8. Evola, G., & Margani, G. (2016). Renovation of apartment blocks with BIPV: Energy and economic evaluation in temperate climate. *Energy and Buildings*, 130, 794–810. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.085>
9. Firfiris, V. K., Martzopoulou, A. G., & Kotsopoulos, T. A. (2019). Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: A critical review. *Energy and Buildings*, 202, 109368. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109368>
10. Hassan, A., & El-Rayes, K. (2020). Optimizing the Integration of Renewable Energy in Existing Buildings. *Energy and Buildings Journal*, 238(under review), 110851. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110851>
11. Lewandowski, W. M., & Lewandowska-Iwaniak, W. (2014). The external walls of a passive building: A classification and description of their thermal and optical properties. *Energy and Buildings*, 69, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.021>
12. Milan, C., Bojesen, C., & Nielsen, M. P. (2012). A cost optimization model for 100% renewable residential energy supply systems. *Energy*, 48(1), 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.05.034>
13. Park, J. H., Berardi, U., Chang, S. J., Wi, S., Kang, Y., & Kim, S. (2021). Energy retrofit of PCM-applied apartment buildings considering building orientation and height. *Energy*, 222, 119877. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119877>
14. Sabzi, D., Haseli, P., Jafarian, M., Karimi, G., & Taheri, M. (2015). Investigation of cooling load reduction in buildings by passive cooling options applied on roof. *Energy and Buildings*, 109, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.042>
15. Sahlaoui, K., Ben Mabrouk, A., Oueslati, H., Ben Mabrouk, S., La Cascia, D., Zizzo, G., Favuzza, S., Massaro, F., & Dusonchet, L. (2019). Experimental study of the combined RES-based generators and electric storage systems for public buildings. *Energy Procedia*, 162, 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.04.029>

16. Xu, J., Kim, J. H., Hong, H., & Koo, J. (2015). A systematic approach for energy efficient building design factors optimization. *Energy and Buildings*, 89, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.022>
17. Alsaadani S, Roque M, Trinh K, Fung A, Straka V. An overview of research projects investigating energy consumption in Multi-Unit Residential Buildings in Toronto. *Asian Conf. Sustain. Energy Environ.* 2016:409e17.
18. Aboelata A. Vegetation in different street orientations of aspect ratio (H/W 1: 1) to mitigate UHI and reduce buildings' energy in arid climate. *Build Environ* 2020;172:106712. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106712>
19. H.R. Hay, J.I. Yellott, International aspects of air conditioning with movable insulation, *Sol. Energy* 12 (1969) 427–438.
20. T. Runsheng, Y. Etzion, E. Erell, Experimental studies on a novel roof pond configuration for the cooling of buildings, *Renew. Energy* 28 (2003) 1513–1522.
21. H. Suehrcke, E.L. Peterson, N. Selby, Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate, *Energy Build.* 40 (2008) 2224–2235.