



Ricerca di Sistema elettrico

Individuazione delle soluzioni impiantistiche idonee per la trasformazione degli edifici scolastici esistenti in nZEB

E. Foppa Pedretti, R. Fioretti, M. Sotte, G. Riva, D. Iatauro

INDIVIDUAZIONE DELLE SOLUZIONI IMPIANTISTICHE IDONEE PER LA TRASFORMAZIONE DEGLI EDIFICI SCOLASTICI ESISTENTI IN nZEB

Ester Foppa Pedretti, Roberto Fioretti, Marco Sotte, Giovanni Riva - Università Politecnica delle Marche
Domenico Iatauro - ENEA

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Edifici a energia quasi zero (nZEB), Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici

Obiettivo: *“L'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB”*

Responsabile del Progetto: Luciano Terrinoni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione

“Le criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative.-

L'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB”

Responsabile scientifico: Domenico Iatauro, ENEA

Responsabile scientifico: Ester Foppa Pedretti, UNIVPM

Individuazione delle soluzioni impiantistiche idonee per la trasformazione degli edifici scolastici esistenti in nZEB

Riassunto

La ricerca affronta due aspetti: il quadro normativo degli edifici nZEB in Europa e la ricerca delle soluzioni impiantistiche che si pongono più idonee per trasformare gli edifici scolastici esistenti in Italia in nZEB.

Per il primo aspetto è emerso che in Europa il recepimento della EPBD ha generato un ampio ventaglio di situazioni. In particolare: un certo numero di paesi membri non dispongono ancora di definizioni operative; non tutti i paesi hanno definito gli nZEB con modalità analitiche; in diversi casi la definizione di nZEB è in qualche modo legata alla classificazione energetica degli edifici e ricorrendo a schemi normativi piuttosto semplici. In questo contesto, la definizione nazionale di nZEB appare restrittiva e poco flessibile.

Per quanto riguarda il secondo aspetto (soluzioni impiantistiche) sono state considerate soluzioni basate sull'impiego di fotovoltaico, caldaie a biomasse e pompe di calore. I risultati delle elaborazioni evidenziano che le varie soluzioni sono sostanzialmente non economiche (ad eccezione dell'uso della biomassa in certi casi). La situazione migliora se nelle valutazioni non vengono considerati gli investimenti richiesti per la ventilazione e l'illuminazione, interventi che vengono sempre effettuati a prescindere dal risparmio energetico. Ad ogni modo, i risultati indicano come sia necessaria una revisione della definizione nazionale di nZEB che nel caso delle ristrutturazioni porta a bilanci economici sfavorevoli.

Identification of plant solutions suitable for the refurbishment of existing school buildings to nZEB

Abstract

The research addresses two aspects: the legal framework of nZEB buildings in Europe and the identification of the plant solutions that are most suitable to transform the existing school buildings in Italy in nZEB.

In this regard the first point showed that the transposition of the EPBD in Europe has generated a wide range of situations. In particular: a number of member states do not yet have operational definitions; not all countries have defined nZEB with analytical methods; in several cases the definition of nZEB is somehow linked to the energy classification of buildings and considers rather simple regulatory schemes. In this context, the nZEB national definition seems restrictive and inflexible.

Regarding the second aspect (plant solutions) solutions based on the use of photovoltaic, biomass boilers and heat pumps have been considered. The results of the calculations show that the various solutions are essentially not economic (with the exception of the use of biomass in certain cases). The situation improves if the valuations do not consider the investments required for mechanical ventilation and lighting, interventions that are always carried out regardless of the energy savings. In any case, the results indicate that it is necessary to revise the national definition of nZEB that in the case of refurbishments leads to unfavourable economic results.

Sommario

1	Il quadro di partenza	1
1.1	<i>Premesse.....</i>	1
1.2	<i>Un aspetto importante</i>	2
2	Sintesi dei risultati, conclusioni e raccomandazioni.....	5
2.1	<i>Sintesi dei risultati e conclusioni.....</i>	5
2.1.1	<i>Legislazione Europea sui nZEB.....</i>	5
2.1.2	<i>Le soluzioni impiantistiche ottimali per la trasformazione di un edificio scolastico in nZEB</i>	5
2.2	<i>Raccomandazioni.....</i>	8
2.2.1	<i>Concetto di nZEB e sua interpretazione normativa.....</i>	8
2.2.2	<i>L'aspetto impiantistico dei nZEB</i>	9
3	Quadro di sintesi sull'applicazione del concetto di nZEB nella EU.....	11
3.1	<i>Premesse.....</i>	11
3.2	<i>Situazione europea</i>	11
3.3	<i>Osservazioni.....</i>	12
4	Individuazione delle soluzioni impiantistiche idonee per la trasformazione degli edifici scolastici esistenti	17
4.1	<i>Metodologia di lavoro</i>	17
4.2	<i>Selezione delle località climatiche rappresentative.....</i>	17
4.3	<i>Selezione degli edifici rappresentativi</i>	17
4.4	<i>Edificio scolastico 1 (dimensioni "piccole").....</i>	20
4.4.1	<i>Piante – Prospetti -Sezioni.....</i>	20
4.4.2	<i>Informazioni generali.....</i>	20
4.4.3	<i>Componenti strutturali</i>	21
4.5	<i>Edificio scolastico 2 (dimensioni "medie").....</i>	22
4.5.1	<i>Piante – Prospetti -Sezioni.....</i>	22
4.5.2	<i>Informazioni generali.....</i>	23
4.5.3	<i>Componenti strutturali</i>	24
4.6	<i>Edificio scolastico 3 (dimensioni "grandi")</i>	25
4.6.1	<i>Piante – Prospetti –Sezioni.....</i>	25
4.6.2	<i>Informazioni generali.....</i>	26
4.6.3	<i>Descrizione dei componenti strutturali.....</i>	27
4.7	<i>Dimensionamento degli impianti termici</i>	27
4.8	<i>Valori mensili ed annuali dei fabbisogni di energia utile degli edifici.....</i>	29
4.9	<i>Consumi elettrici degli ausiliari di impianto e dei servizi di ventilazione meccanica controllata, illuminazione e trasporti.....</i>	30
5	Identificazione delle soluzioni impiantistiche e criteri di confronto.....	31
5.1	<i>Impostazione di base</i>	31
5.2	<i>Caso "BASE" – Dotazioni impiantistiche considerate</i>	33
5.3	<i>Caso "BASE+" – Dotazioni impiantistiche considerate</i>	33
5.4	<i>A – Caldaia a cippato di legno (con e senza impianto fotovoltaico).....</i>	34
5.5	<i>B – Caldaia a pellet di legno (con e senza impianto fotovoltaico).....</i>	34
5.6	<i>C – Pompa di calore ad alta temperatura (e impianto fotovoltaico)</i>	35
5.7	<i>D – Pompa di calore a media temperatura (e impianto fotovoltaico)</i>	36
5.8	<i>E – impianto VRF (e impianto fotovoltaico).....</i>	37

5.9	<i>Caratteristiche degli impianti fotovoltaici</i>	38
6	Valutazione economica	39
6.1	<i>Premesse</i>	39
6.2	<i>Costi di investimento</i>	39
6.3	<i>Costi di esercizio</i>	42
6.3.1	<i>Premesse</i>	42
6.3.2	<i>Costi di manutenzione</i>	42
6.3.3	<i>Costi dei vettori energetici</i>	43
7	Risultati	44
7.1	<i>Premesse</i>	44
7.2	<i>Risultati di dettaglio sui consumi energetici per alcuni casi</i>	44
7.2.1	<i>Introduzione</i>	44
7.2.2	<i>Caso BASE</i>	45
7.2.3	<i>BASE+</i>	45
7.2.4	<i>Soluzione A (4a) - Caldaia a biomassa e impianto fotovoltaico</i>	46
7.2.5	<i>Soluzione E – Pompa di calore VRV e impianto fotovoltaico</i>	47
7.3	<i>Valutazioni economiche</i>	48
8	Considerazioni finali	54
9	Riferimenti bibliografici	55
10	ALLEGATO A – Sintesi sulle caratteristiche degli edifici ad uso scolastico	56
11	ALLEGATO B – Informazioni sugli edifici reali scelti per la definizione degli edifici “tipo”	59
11.1	<i>Edificio 1 – Scuola elementare del Comune di Urbisaglia (MC)</i>	59
11.2	<i>Edificio 2 - Scuola Media del Comune di Potenza Picena (MC)</i>	62
11.3	<i>Edificio 3 – Complesso scolastico a Torino (TO)</i>	66
12	ALLEGATO C – Risultati per ciascun edificio e località climatica	71
13	ALLEGATO D – Consumi elettrici dei servizi di ventilazione meccanica controllata, illuminazione e trasporti di persone e cose	80
13.1	<i>Illuminazione</i>	80
13.2	<i>Ascensori</i>	80
13.3	<i>Sintesi dei fabbisogni elettrici complessivi per i servizi di illuminazione, trasporto di persone e ventilazione meccanica</i>	81

1 Il quadro di partenza

1.1 Premesse

Il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA hanno stipulato nel corso del 2016 un Accordo di Programma finalizzato all'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale.

La ricerca oggetto della presente ricerca si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2015, per quanto attiene all'Area D *"Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici"*, tema di ricerca *"D.2 Edifici a energia quasi zero (nZEB)"*, progetto D.2.1 *"Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale) mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB)"*, obiettivo *"c.1 L'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB"*.

In particolare, il tema affrontato riguarda l'ottimizzazione degli impianti negli edifici scolastici esistenti da trasformare in nZEB, soprattutto con riferimento all'integrazione con le fonti rinnovabili.

I presupposti base della ricerca fanno quindi riferimento ai disposti del DM 26/6/2015 (di seguito indicato come DM "Requisiti minimi") che costituisce il riferimento nazionale di dettaglio per la definizione degli edifici a energia quasi zero (NZEB), così come fissato dalla direttiva 2010/31/UE. Il DM stabilisce che i nZEB sono tutti gli edifici, di nuova costruzione o esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati:

- tutti i requisiti previsti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3, determinati con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici;
- gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

Ciò comporta, in termini pratici, che i nZEB devono essere caratterizzati dal 50% di copertura di fonti rinnovabili. La quota sale al 55% nel caso degli edifici pubblici.

A seguito di chiarimenti forniti dal MSE, l'obbligo della quota rinnovabile non sussiste se l'edificio è collegato a una rete di teleriscaldamento. Ne consegue che, salvo quest'ultimo caso che tuttavia non è generalizzabile sul territorio nazionale, il vincolo della quota rinnovabile è stringente ed evidenzia il ruolo fondamentale dell'impianto a servizio del fabbricato ai fini del rispetto delle prescrizioni definite per i NZEB. In aggiunta va rilevato come gli edifici scolastici siano tra le strutture pubbliche più interessanti per l'avvio di progetti-guida. Questo, sia per l'evidente funzione dimostrativa che possono svolgere (data la loro visibilità), sia per la necessità di rinnovare il relativo stock.

In questo quadro si è ritenuto importante indagare sulle possibili soluzioni impiantistiche - senza considerare le facilitazioni normative riservate al teleriscaldamento - che possono essere proposte per gli edifici scolastici attraverso l'approfondimento dei seguenti aspetti:

- quadro di sintesi sull'applicazione del concetto di nZEB nella EU;
- definizione di alcune configurazioni impiantistiche (definite da diversi pacchetti di misure);
- applicazione delle stesse soluzioni a tre edifici scolastici rappresentativi dell'attuale *status quo* del settore in tre situazioni climatiche differenti (nord, centro e sud Italia);
- valutazione tecnico-economica delle singole soluzioni sulla base delle prestazioni energetiche conseguibili e soprattutto del raggiungimento della quota rinnovabile richiesta;
- indicazioni pratiche per la scelta degli impianti.

1.2 Un aspetto importante

La parte centrale dello studio si basa sul confronto tecnico (in termini di energia) – economico (in termini di costi e della loro sostenibilità) di edifici scolastici dotati di impianti “normali”, ovvero rappresentativi dello status quo del settore, con gli stessi edifici dotati di impianti riqualificati.

Lo scopo di questi ultimi è soprattutto quello di “reperire” l’energia rinnovabile necessaria per il rispetto delle prescrizioni di legge.

Quindi, si tratta di un confronto costi/benefici di tipo classico e, metodologicamente, del tutto simile a quello svolto nel 2014 dal MiSE per il calcolo dei “costi ottimali” voluto dalla CE sulla base dell’applicazione della EPBD e che ha poi generato molte delle prescrizioni contenute nel DM “Requisiti minimi”.

Per l’impostazione della valutazione tecnico-economica sono state considerate, con la supervisione di ENEA, una serie di ipotesi che vengono presentate in dettaglio nel testo (in particolare nel Capitolo 5).

Tra queste, la più importante è stata quella di assumere, come base di riferimento, degli edifici scolastici esistenti caratterizzati dai sopra citati impianti “normali” e da involucri rispettosi delle prescrizioni di legge previste per i NZEB.

Ciò al fine di mettere meglio in evidenza il “peso” della parte impiantistica sul risultato finale, ovvero l’edificio nZEB nel suo complesso.

Nella rappresentazione grafica classica utilizzata per il calcolo dei costi ottimali (piano cartesiano: costi totali/energia totale non rinnovabile) l’edificio esistente si pone in una certa posizione (**Figura 1**), definita dall’attuale consumo energetico (non rinnovabile) e dai costi totali (somma dei costi di investimento, gestione e manutenzione normalmente estesa, come da indicazione della CE per gli edifici pubblici, per 30 anni).

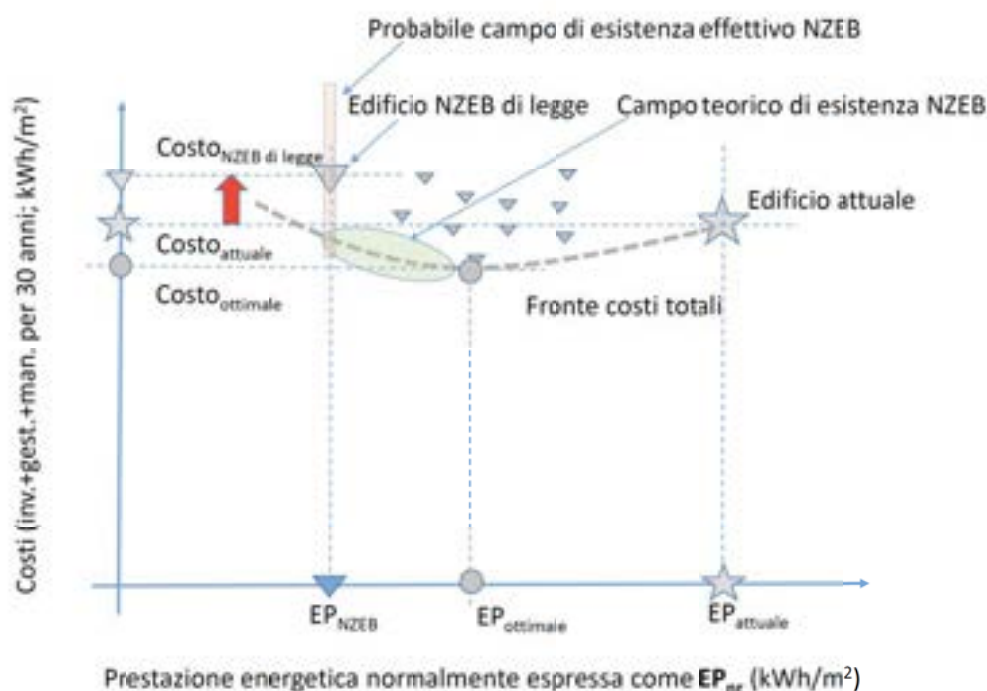


Figura 1 – Rappresentazione dell’edificio attuale (status quo) e delle sue possibili trasformazioni in nZEB (vedere testo per dettagli) nel piano Costi/Prestazioni energetiche. Il possibile campo di esistenza del nZEB di legge è molto stretto (in realtà dovrebbe essere una linea) in quanto l’applicazione del DM “requisiti minimi” porta al calcolo di un valore preciso di prestazione energetica.

Riqualificando l'edificio, il punto rappresentativo si sposta in una zona caratterizzata da consumi energetici inferiori (come logico) e da costi totali che possono risultare superiori o inferiori ai costi attuali (dispersione di situazioni definite dai triangoli; ad ogni punto corrisponde una soluzione di riqualificazione).

La riqualificazione ottimale è quella caratterizzata dai minimi costi (e dovrebbe essere raggiunta con l'applicazione del DM "requisiti minimi").

Da un punto di vista teorico, ma anche profondamente logico, la trasformazione a nZEB dovrebbe essere caratterizzata da prestazioni energetiche migliori di quelle del caso ottimale e da costi compresi tra l'ottimale e l'attuale (zona verde nel grafico)¹. Il fatto, poi, che la versione NZEB costi comunque di più di quella ottimale dovrebbe essere alla base della necessità di disporre di incentivi per la loro realizzazione.

Seguendo le impostazioni di legge, tuttavia, essendo queste state definite con regole generalizzate e non sulla base di una valutazione specifica, le stesse portano a un risultato finale con costi sostanzialmente incogniti. Per esempio potrebbero risultare sensibilmente superiori (come rappresentato in figura) a quelli attuali.

L'introduzione dell'ipotesi di fondo, cioè, come detto sopra, effettuare delle valutazioni sul solo impianto con un involucro conforme alle prescrizioni nZEB porta alla situazione illustrata in **Figura 2**.

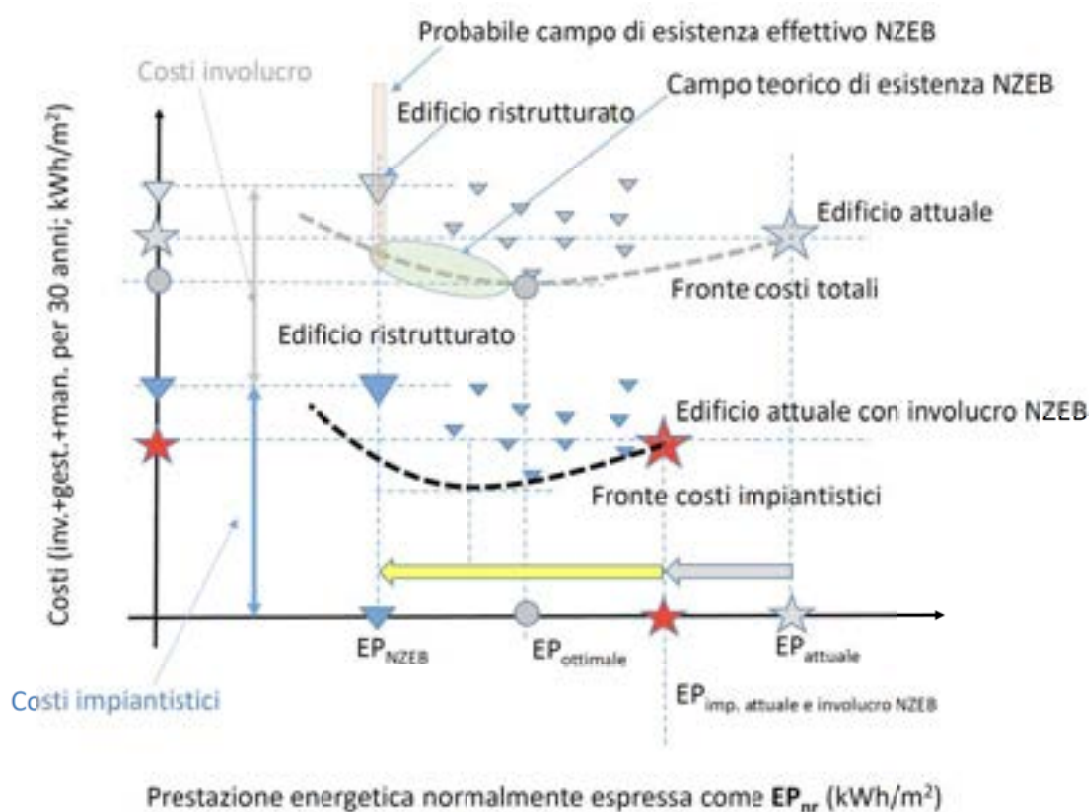


Figura 2 – Rappresentazione dell'edificio attuale (status quo), dell'edificio con impianto "normale" e involucro nZEB (stessa di colore rosso) e delle sue possibili trasformazioni in nZEB (vedere testo per dettagli). Il possibile campo di esistenza del NZEB di legge è molto stretto (in realtà dovrebbe essere una linea) in quanto l'applicazione del DM "requisiti minimi" porta al calcolo di un valore preciso di prestazione energetica.

¹ Questo tipo di considerazione è stata sviluppata in dettaglio dal progetto comunitario IEE RePublic_ZEB (www.republiczeb.org).

In sostanza, con l'introduzione dell'ipotesi di partenza, l'edificio di riferimento è caratterizzato da una prestazione energetica migliore (stella colorata in rosso nella figura) di quella dell'edificio attuale (indicativamente il 50% in meno). Le varie ipotesi analizzate si pongono sulla parte inferiore del grafico.

In altri termini: tutta l'analisi tecnico-economica viene svolta sulla base di consumi energetici ridotti, il che va a limitare notevolmente il valore economico dei potenziali risparmi conseguibili con impianti efficienti.

Questo tipo di situazione, a ben vedere, contrasta notevolmente con quanto messo in pratica, per esempio, dalle ESCO e dagli amministratori del patrimonio edilizio che, per ridurre i consumi, agiscono primariamente sugli impianti e secondariamente sull'involucro, in quanto i primi sono in genere caratterizzati dai migliori rapporti costi/benefici. Per l'involucro, poi, esiste una netta demarcazione tra interventi che vanno a migliorare le prestazioni degli infissi e delle superfici trasparenti dal resto (interventi generalizzati di isolamento).

Tuttavia, non si tratta di riqualificazioni a nZEB e per questa ricerca si è ritenuta corretta l'impostazione sopra esposta.

2 Sintesi dei risultati, conclusioni e raccomandazioni

2.1 Sintesi dei risultati e conclusioni

2.1.1 Legislazione Europea sui nZEB

La legislazione europea sul consumo energetico degli edifici probabilmente ha sempre risentito e risente della mancanza di un reale interesse comune per una reale unificazione di settore (sia a livello legislativo che di normazione tecnica), situazione che si verifica frequentemente per tutti i beni e i servizi di interesse locale e non soggetti a una libera circolazione.

Questo tipo di situazione si riflette oggi in prescrizioni generiche da parte della EPBD (che tuttavia è in fase di revisione) e in una normativa EN per certi versi dettagliata ma comunque non cogente.

Da questa logica non è sfuggita **la definizione di nZEB, il cui recepimento ha generato un ampio ventaglio di situazioni**. In particolare:

- un certo numero di paesi membri non dispongono ancora di definizioni operative;
- non tutti i paesi hanno definito gli nZEB con modalità analitiche;
- in diversi casi la definizione di nZEB è in qualche modo legata alla classificazione energetica degli edifici (per esempio, coincidenza con le classi A/A+) e imponendo un certo target di rinnovabili, anche se con valori modesti (esempio: 20%);
- **in diversi casi le prescrizioni distinguono gli edifici nuovi**, per i quali è meno difficoltoso raggiungere prestazioni energetiche elevate, **da quella degli edifici esistenti**, dove notoriamente gli interventi sono spesso problematici, come per esempio nel caso dell'isolamento delle pareti per gli edifici storici. **Questa differenziazione consente di definire standard diversi e più calibrati per le due situazioni**, il che potrebbe costituire un approccio vincente per lanciare una più diffusa ed efficace cultura dei nZEB;
- sempre in diversi casi, la definizione di nZEB viene legata non a calcoli ma a prescrizioni più concrete almeno dal punto di vista della riconoscibilità visiva, quali la presenza di "pacchetti tecnologici" definiti a priori (esempio: collettori solari e caldaie a biomassa, comunque in combinazioni "minime" definite per legge) anche per la qualificazione dell'involucro (esempio: spessori di isolanti definiti e date qualità degli infissi/chiusure trasparenti), lasciando al rispetto della buona pratica costruttiva tutto il resto (esempio: riduzione al minimo dei ponti termici). Questo approccio, se pur criticabile sotto il profilo teorico, è degno del massimo rispetto ed interesse, in quanto ben comprensibile da parte di utenti e costruttori, aspetto chiave per il reale raggiungimento degli obiettivi.

In questo quadro, **la definizione nazionale di nZEB sembrerebbe:**

- **restrittiva**, soprattutto per la quota di energia rinnovabile richiesta;
- **poco flessibile**, in quanto non prevede una differenziazione tra prescrizioni imposte per gli edifici nuovi ed esistenti se riqualificati in modo sostanziale;

Di fatto, l'approccio generale comunitario appare tendenzialmente più cauto.

2.1.2 Le soluzioni impiantistiche ottimali per la trasformazione di un edificio scolastico in nZEB

Le soluzioni impiantistiche sono state studiate sulla base di una valutazione costi/benefici, definendo tre edifici scolastici di riferimento rappresentativi della situazione nazionale e imponendo le seguenti principali assunzioni:

- rispetto dei disposti del DM 16/6/2015;
- assenza di reti di teleriscaldamento e del servizio di raffrescamento estivo;
- condizioni climatiche corrispondenti a tre località "tipo" del nord (MI), centro (AN) e sud Italia (RC);

- impiantistica di riferimento basata sull'impiego di caldaie a gas, di distribuzioni di tipo tradizionale e di radiatori;
- tempo di analisi di 30 anni, tasso nullo di attualizzazione e metodologia di calcolo identica a quella utilizzata dal MiSE per l'individuazione dei "costi ottimali";
- inclusione o meno nella valutazione economica di impianti di ventilazione meccanica controllata e di illuminazione avanzato, perché vengono quasi sempre presi in considerazione nelle ristrutturazioni, indipendentemente dalle finalità di contenimento dei consumi energetici;
- edifici di riferimento già riqualificati a nZEB per quanto riguarda l'involucro, al fine di mettere meglio in evidenza le prestazioni degli impianti nelle condizioni finali di esercizio.

I tre edifici di riferimento scelti presentano le seguenti principali caratteristiche:

- edificio 1 - Superficie utile 826 m²; due piani in muratura portante. Viene ritenuto rappresentativo della fascia inferiore della maggioranza degli edifici (secondo il CRESME, il 39% del patrimonio scolastico è compreso tra 1.000 e 3.000 m²);
- edificio 2 - Superficie utile 1.826 m²; due piani fuori terra e uno seminterrato; telaio in c.a. e tamponamenti in laterizio. Viene ritenuto rappresentativo della "media" di tutto lo stock;
- edificio 3 - Superficie utile 9.391 m²; tre piani fuori terra e uno seminterrato; telaio in c.a. e tamponamenti in laterizio. Viene ritenuto rappresentativo dei grandi plessi scolastici.

Per la configurazione degli impianti vengono ipotizzati, sulla base delle risultanze di studi precedenti, sette varianti che, nella pratica e per la generalità dei casi, sono le sole a rendere possibile il raggiungimento della quota del 55% di rinnovabili:

- A. sostituzione della caldaia esistente con una caldaia a combustibile solido (cippato di legno) per i servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria; ammodernamento generale della sola centrale termica e installazione o meno dell'impianto fotovoltaico imposto dall'Allegato 3 del D.lgs. 28/11 (al fine di evidenziare l'utilità o meno della prescrizione in presenza di una soluzione già in grado di assicurare il raggiungimento della quota richiesta di rinnovabili). Con questa configurazione vengono mantenuti terminali e distribuzione esistente;
- B. come il caso "A" ma con l'utilizzo di una caldaia a pellet di legno;
- C. sostituzione della caldaia esistente con pompa di calore ad alta temperatura aria-acqua per il servizio di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria; ammodernamento della centrale termica; installazione di un impianto fotovoltaico. Questa soluzione è stata considerata in quanto consente di non sostituire l'impianto di distribuzione e i terminali;
- D. sostituzione della caldaia esistente con pompa di calore a media temperatura aria-acqua; ammodernamento della centrale termica; installazione di una pompa di calore aggiuntiva ad accumulo per la produzione di acqua calda sanitaria e sostituzione dei soli terminali; installazione di un impianto fotovoltaico;
- E. sostituzione dell'intero impianto di climatizzazione invernale (quindi anche della distribuzione) con un sistema a pompa di calore VRF; installazione di una pompa di calore aggiuntiva ad accumulo per la produzione di acqua calda sanitaria e di un impianto fotovoltaico.

Per le pompe di calore viene scelta la sola soluzione che prevede l'utilizzo di aria ambiente in quanto altre ipotesi non sono generalizzabili (es.: pompe di calore geotermiche).

In tutti i casi viene prevista l'installazione di un impianto di ventilazione meccanica controllata e la riqualificazione dell'impianto di illuminazione.

Per quanto riguarda i casi C, E ed F, viene considerata l'installazione dell'impianto fotovoltaico (in misura tale da rispettare sempre il D.lgs. 28/11), in quanto la variante che lo esclude ha sempre evidenziato, in fase di pre-analisi, la difficoltà di raggiungere la quota di rinnovabile richiesta.

Per tutte le varianti vengono stimati, per le diverse taglie, gli investimenti richiesti dai vari interventi e i relativi costi di manutenzione (Capitolo 6).

I risultati delle elaborazioni evidenziano i seguenti dati di fatto:

- considerando gli investimenti necessari per la ventilazione meccanica controllata e l'illuminazione, tutte le soluzioni impiantistiche analizzate non risultano economicamente vantaggiose rispetto alla configurazione attuale e, al più, risultano quasi indifferenti;
- escludendo gli investimenti per ventilazione e illuminazione (ma includendo i relativi consumi energetici) alcuni interventi risultano convenienti, soprattutto per gli edifici di superficie maggiore;
- il fotovoltaico imposto dal D.lgs.28/11 produce un impatto positivo anche nel caso degli impianti a biomassa in quanto l'energia elettrica in eccesso venduta alla rete va a migliorare il flusso di cassa;
- tendenzialmente, le soluzioni meno costose risultano quelle che si basano sull'uso di biomassa.

Il prospetto che segue vuole dare una interpretazione grafica dei risultati conferendo ai diversi colori i seguenti significati:

- **verde**: soluzioni che presentano un risultato economico sostanzialmente indifferente in rapporto all'impianto attuale considerando gli investimenti richiesti per gli impianti di ventilazione e illuminazione; conseguentemente tutte le altre soluzioni risulterebbero non convenienti;
- **grigio**: soluzioni che diventano economicamente di interesse o quasi indifferenti se non venissero considerati gli investimenti richiesti per gli impianti di ventilazione e illuminazione (e, a maggiore ragione, le soluzioni individuate dal colore verde, che restano le più competitive);
- **ocra**: soluzioni che in ogni caso non risultano convenienti.

Rappresentazione grafica dei risultati ottenuti. Il significato dei colori è illustrato nel testo. FV: fotovoltaico; PdC: pompa di calore; HT: alta temperatura; MT: media temperatura; VRF: sistemi a flusso variabile del fluido refrigerante.

Edificio	Località climatica	A ₁ (cippato) con FV	A ₂ (cippato) senza FV	B ₁ (pellet) con FV	B ₂ (pellet) senza FV	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF+FV)
Ed. 1 (827 m ²)	Nord (MI)							
	Centro (AN)							
	Sud (RC)							
Ed. 2 (1826 m ²)	Nord (MI)							
	Centro (AN)							
	Sud (RC)							
Ed. 3 (9392 m ²)	Nord (MI)							
	Centro (AN)							
	Sud (RC)							

Nel considerare questi risultati si rammenta che la valutazione costi/benefici viene svolta imponendo un periodo di analisi di 30 anni e un tasso di interesse nullo.

Ne consegue, in termini di conclusivi, che:

- con le ipotesi assunte è arduo trovare delle giustificazioni economiche convenzionali alla trasformazione degli edifici scolastici in NZEB ai sensi del DM "requisiti minimi";
- il quadro migliora significativamente se nella valutazione non venissero considerati gli investimenti relativi agli impianti di illuminazione e ventilazione meccanica controllata. In effetti, come è stato già evidenziato, è possibile constatare come questi interventi vengano spesso proposti per il miglioramento del benessere, al di là dei potenziali vantaggi energetici che possono offrire;

- nel valutare i risultati, occorre comunque considerare che gli edifici NZEB risultano più costosi delle soluzioni definite come “ottimali”.

Volendo infine dare delle **indicazioni ai progettisti e amministratori** che intendano trasformare, dal punto di vista impiantistico, gli attuali edifici scolastici in nZEB, la **“scala di convenienza” è la seguente** (in ordine decrescente):

1. **conversione degli attuali impianti di riscaldamento a combustibile fossile a impianti a biomassa**, ove le normative sulla qualità dell’aria lo consentano. La preferenza va data ad impianti assistiti dal fotovoltaico, come peraltro imposto dal D.lgs. 28/11;
2. **se la soluzione 1 viene esclusa, conversione degli attuali impianti di riscaldamento a combustibile fossile a impianti a pompa di calore** utilizzanti, come pozzo freddo, aria ambiente. Nel caso che i lavori edili di interesse dell’impianto di distribuzione e dei terminali riscaldanti debbano essere eseguiti appositamente, la preferenza va data ad impianti con pompa di calore ad alta temperatura. Viceversa, a quelle a media temperatura o del tipo VRF. In ogni caso gli impianti vanno assistiti dal fotovoltaico.

Va da sé che in caso di **presenza di rete di teleriscaldamento** (indifferentemente dalla fonte energetica utilizzata dal produttore di calore) **la scelta deve considerare il relativo allaccio**, per via dei costi ridotti di investimento e per la possibilità, offerta dalla legge, di trascurare il vincolo del 55% di rinnovabile.

2.2 Raccomandazioni

2.2.1 Concetto di nZEB e sua interpretazione normativa

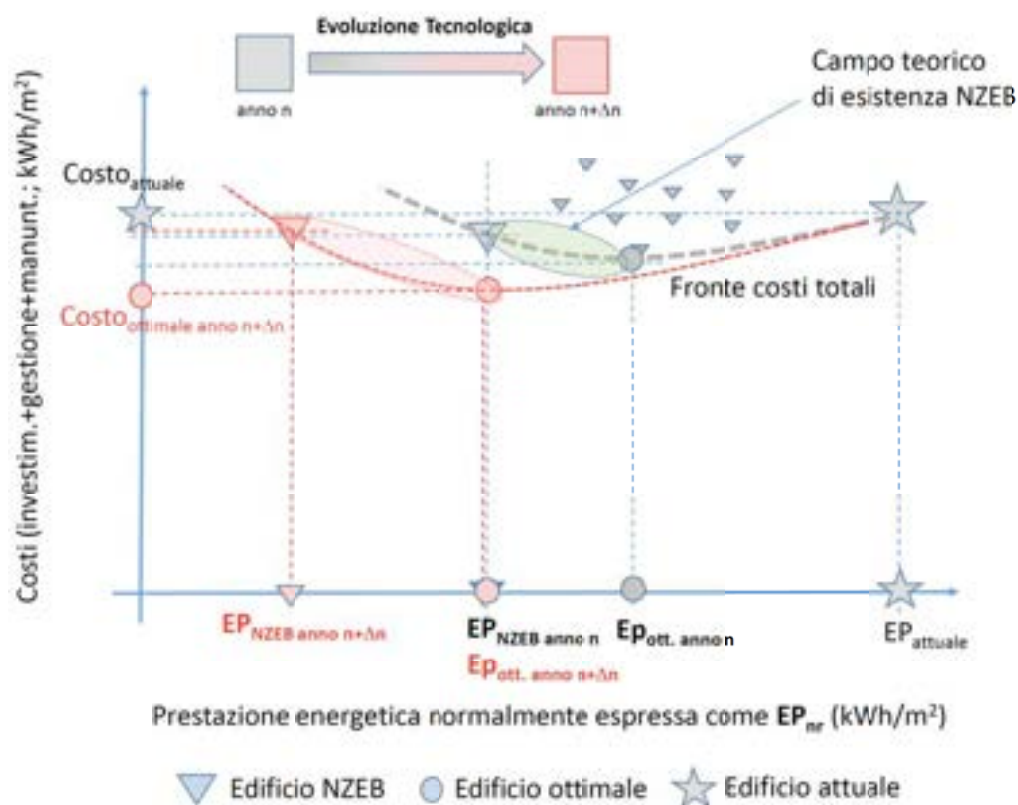
L’esperienza raccolta a seguito del recepimento della definizione di nZEB e della discussione che si sta sviluppando a livello comunitario evidenzia i seguenti aspetti²:

- la **“versione nZEB” di un dato edificio è per definizione più costosa “dell’edificio ottimale”** (ovvero quello caratterizzato dai costi energetici totali minimi). Ne consegue che l’edificio ottimale è, almeno teoricamente e in linea di principio, bancabile, mentre gli edifici ad energia quasi zero no;
- la **“versione nZEB” è quella che si presuppone diventi “ottimale”** (ovvero conveniente in assoluto) **ad una certa data target** (secondo l’attuale aggiornamento della EPBD, il 2019/21 a seconda dei casi). Ciò può essere possibile, nella pratica, solo contando sul contenimento dei costi delle nuove tecnologie di costruzione/ristrutturazione degli edifici;
- **le attuali direttive** (in particolare EPBD e EED) **pongono sempre il vincolo economico**, ovvero le varie prescrizioni miranti al risparmio energetico devono risultare giustificate sotto il profilo dei costi, viceversa sussistono i presupposti per non applicarle;
- con questa visione **il concetto di nZEB dovrebbe essere “scorrevole”**, nel senso che se il mercato fosse in grado, nel tempo, di rendere competitivi gli edifici nZEB, questi diventerebbero “ottimali” (quindi adatti a diventare un nuovo riferimento per i “requisiti minimi”) e andrebbero definiti dei nuovi target, più avanzati, di nZEB. Viceversa, occorrerebbe fermarsi e probabilmente rivedere i target esistenti (si veda figura seguente);
- conseguentemente il **legislatore dovrebbe individuare delle prescrizioni per i nZEB ben calibrate, soprattutto sulla base delle prospettive di innovazione del settore delle costruzioni e dei relativi impianti.**

² Quanto segue è sostanzialmente in linea con recente *Raccomandazione (UE) 2016/1318 della Commissione del 29 luglio 2016 recante orientamenti per la promozione degli edifici a energia quasi zero e delle migliori pratiche per assicurare che, entro il 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione siano a energia quasi zero.*

Partendo da questo quadro risulta evidente come sia strategico ripensare alle prescrizioni per gli edifici nZEB, con particolare riferimento a quelli esistenti.

Formulando queste considerazioni, comunque, si è consci del fatto che, con particolare riferimento agli edifici esistenti e all'attuale congiuntura, il problema reale sia quello di promuovere le ristrutturazioni nel loro complesso.



Rappresentazione del concetto di definizione "scorrevole" di nZEB. L'idea è che l'evoluzione tecnologica sia in grado, nel tempo (nella figura viene ipotizzato un periodo di tempo Δn in anni), di rendere competitivi gli edifici considerati nZEB all'anno "n". Conseguentemente questi diventerebbero "ottimali" all'anno "n+Δn" (quindi adatti a diventare un nuovo riferimento per i "requisiti minimi") e andrebbero definiti dei nuovi target, più avanzati, di nZEB. Questa evoluzione porterebbe ad un continuo miglioramento della prestazione energetica che tenderebbe quindi ad avvicinarsi all'origine degli assi. Viceversa, occorrerebbe fermarsi e probabilmente rivedere i target esistenti. Si noti che il tutto si basa, sostanzialmente, su una ipotetica riduzione dei costi di investimento. Nella figura si ipotizza che l'edificio NZEB sia leggermente competitivo rispetto all'edificio attuale. Viene inoltre ipotizzato che non ci sia un incremento dei costi di natura inflattiva.

2.2.2 L'aspetto impiantistico dei nZEB

Si pongono all'attenzione le seguenti considerazioni:

- le attuali proposte impiantistiche idonee per edifici nZEB si basano, a causa della quota di rinnovabili richiesta, su un numero ridotto di soluzioni, salvo il caso dell'allaccio alle reti di teleriscaldamento che in questo contesto è notevolmente agevolante;
- di fatto, l'unica soluzione generalizzabile è relativa all'applicazione di pompe di calore elettriche, poiché i generatori di calore a biomassa possono trovare delle limitazioni normative (per esempio: divieto di installazione in zone particolarmente urbanizzate) o anche di natura tecnica (spazi realmente disponibili per l'eventuale accumulo del combustibile, ecc.);

- per quanto riguarda ventilazione e illuminazione, la loro adozione probabilmente fa parte di criteri più ampi di quello puramente energetico.

Conseguentemente, anche **nell'eventuale ottica di rivedere le prescrizioni nZEB almeno per le ristrutturazioni** (il che comporterebbe, con probabilità, un aumento dei consumi energetici rispetto ai target attuali), **occorre individuare delle soluzioni alternative che permettano, da un lato, di non rinunciare agli obiettivi nazionali, dall'altro di poter utilizzare un maggiore ventaglio di tecnologie e quindi interessare più operatori economici.**

In questa ottica si potrebbe lavorare, per esempio, nelle seguenti direzioni:

- limitazione della quota rinnovabile per la trasformazione degli edifici esistenti;
- introduzione di modifiche nel sistema di calcolo della quota rinnovabile, per tenere conto, tra i diversi potenziali aspetti, dei consumi effettivi (attraverso l'introduzione di curve di occupazione degli ambienti) che per gli edifici non residenziali sono sensibilmente inferiori a quelli calcolati in condizioni standard (ovvero con temperature interne costanti);
- definizione, come fatto in alcuni paesi membri, dell'impiantistica NZEB sulla base di "pacchetti tecnologici" definiti per legge (d'altronde l'attuale possibilità di ricorrere al teleriscaldamento è sostanzialmente una soluzione di questo genere). Ciò permetterebbe di allargare notevolmente le possibilità applicative e quindi, molto probabilmente, l'accettabilità da parte degli utenti finali.

3 Quadro di sintesi sull'applicazione del concetto di nZEB nella EU

3.1 Premesse

Il concetto di nZEB è utilizzato da tempo nella comunità tecnico-scientifica³ mentre a livello di legislazione di interesse nazionale ha assunto un ruolo normativo con l'emanazione della direttiva 2010/31/UE (seconda versione della EPBD) dove all'art. 9, è stato introdotto il concetto di edificio ad "energia quasi zero" per gli *edifici di nuova costruzione* sia pubblici o di uso pubblico che privato⁴.

Con NZEB si intendono edifici ad altissima prestazione energetica (ovvero a *con consumi di energia non rinnovabile molto ridotti*) che minimizzano i consumi legati al riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione (nel caso del non residenziale) e produzione di acqua calda sanitaria. Ciò utilizzando tecniche di risparmio energetico, fonti di energia rinnovabile, garantendo un'adeguata qualità dell'aria interna e la necessaria illuminazione in accordo con la destinazione d'uso dell'edificio.

Tuttavia, la direttiva 2010/31/UE non fornisce una definizione analitica di edificio nZEB e ha lasciato ai singoli paesi membri tale compito in fase di recepimento. A livello italiano gli nZEB sono stati definiti nel dettaglio con il DM 26/6/2015 e la definizione è applicabile anche agli *edifici esistenti*⁵.

Scopo del presente capitolo, quindi, è quello di tracciare un quadro della situazione europea al fine di meglio capire gli orientamenti dei singoli stati.

3.2 Situazione europea

Tracciare un quadro preciso e nello stesso tempo sintetico della legislazione vigente nell'Unione non è una operazione agevole in quanto:

- la regolamentazione di interesse del bilancio energetico dell'edificio ha, in tutti i paesi, radici non recenti; la diretta conseguenza è che una normativa specifica rimanda spesso a molte altre, rendendo, quasi sempre, complicata l'analisi;
- spesso la normativa nazionale viene recepita e sviluppata da normative locali (es.: dalle regioni nel caso italiano) e ciò non aiuta a tracciare un quadro di facile lettura.

La legislazione energetica sugli edifici, in sostanza, ha sempre risentito e risente ancora della mancanza di un reale interesse comune per una unificazione europea di settore (sia a livello legislativo che di normazione tecnica), situazione che si verifica frequentemente per tutti i beni e i servizi di interesse locale e non soggetti a una libera circolazione⁶.

Questo è probabilmente il problema che alla radice pone non poche difficoltà al raggiungimento dei target delle varie direttive che si occupano di edifici. Si rifletta, per esempio, sui seguenti aspetti:

³ Si veda in particolare: Mazzarella, L., 2013. NZEB nella lingua (e mente) della UE, AICARR Journal, 21, 26-34.

⁴ Al comma 1 dell'art 9 si legge che: "Gli Stati membri provvedono affinché: a) entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero; e b) a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero".

⁵ L'allegato 1 del DM 16/6/2015 recita: sono "edifici a energia quasi zero" tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati: a) tutti i requisiti previsti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3, determinati con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici; b) gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

⁶ Gli edifici sono statici, normalmente realizzati in situ, spesso rispettosi di tradizioni e metodi di costruzione locali. Sebbene alcuni componenti (es.: le caldaie o i prodotti isolanti) siano oramai altamente standardizzati a livello globale, tutto ciò ha creato un tessuto di norme e prassi amministrative locali che si contrappongono alle attuali (deboli) spinte per l'unificazione sui temi riguardanti il complesso "fabbricato-impianti". In altri termini: se storicamente tutti gli edifici fossero stati totalmente prefabbricati e con caratteristiche tali da rendere poco costosi i trasporti, probabilmente avremmo visto nascere un interesse degli operatori verso la convergenza di tutte le norme e leggi locali ed europee di settore.

- storica assenza di standard sui vettori energetici utilizzati per il riscaldamento. Ad esclusione di quelli disponibili in rete (gas naturale ed energia elettrica) gli altri sono normalmente standardizzati a livello nazionale o solo locale;
- incapacità politica della CE di armonizzare (ovvero rendere cogenti a livello europeo) tutte le norme tecniche per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici. Le attuali norme rimangono, di fatto, un riferimento volontario⁷.

La CE probabilmente tenterà di superare queste difficoltà con la prossima revisione della EPBD (attesa per l'inverno 2016-17), avendovi già rinunciato nella fase di approvazione della versione vigente.

Ai fini della presente ricerca, tuttavia, si è potuto fare riferimento ai numerosi progetti finanziati dalla CE soprattutto nell'ambito dei programmi IEE (*Intelligent Energy*) e H2020 (*Horizon*), molti dei quali hanno affrontato e stanno affrontando nello specifico il tema dei NZEB⁸. Inoltre sono reperibili in bibliografia diversi report⁹ e lavori universitari¹⁰.

Attraverso l'analisi di queste fonti si è potuto sintetizzare i risultati riportati nella **Tabella 1**.

3.3 Osservazioni

La vista di insieme sulle varie scelte operate o in via di definizione da parte dei diversi paesi membri sembrerebbe mettere in luce che:

- l'indicazione generica di nZEB della direttiva EPBD non ha fatto altro che, come si poteva ben immaginare, generare un ampio ventaglio di situazioni;
- non tutti i paesi hanno ancora definito gli nZEB con modalità strettamente analitiche (come per esempio fatto in Italia con il DM "requisiti minimi");
- in diversi casi la definizione di NZEB è legata alla migliore classificazione vigente sugli edifici (per esempio, classe A/A+), quindi si è cercato di semplificare l'approccio;
- la quota di rinnovabile richiesta è in pratica sempre presente, anche se con valori modesti (esempio: 20%);
- in diversi casi è stata distinta la casistica degli edifici nuovi, per i quali è meno difficoltoso raggiungere prestazioni energetiche elevate, da quella degli edifici esistenti, dove notoriamente gli interventi sono spesso problematici, come per esempio nel caso dell'isolamento delle pareti nelle zone/edifici storici. Questa differenziazione consente, peraltro, di definire standard diversi e più calibrati per le due situazioni, il che potrebbe costituire un approccio vincente per lanciare una più diffusa ed efficace cultura dei nZEB;
- sempre in diversi casi, la definizione di nZEB viene legata non a calcoli ma a prescrizioni più concrete almeno dal punto di vista della riconoscibilità visiva, quali la presenza di date tecnologie impiantistiche (esempio: collettori solari e caldaie a biomassa, comunque in combinazioni "minime" definite a priori) e per la riqualificazione dell'involucro (esempio: spessori di isolanti e qualità degli infissi/chiusure trasparenti), lasciando al rispetto della buona pratica costruttiva tutto il resto (esempio: riduzione al minimo dei ponti termici). Anche questo approccio, se pur criticabile sotto il

⁷ I singoli paesi, per esempio, potrebbero nella pratica sviluppare metodi propri o fare riferimento solo ad alcune parti di singole norme EN (attuando il cosiddetto "cherry picking").

⁸ Tra questi, in particolare, si è fatto riferimento ai risultati dei progetti EPISCOPE (IEE/12/695/SI2.644739) - www.episcopes.eu - e RePublic_ZEB (IEE/13/886/SI2.674899) - www.republiczeb.org - .

⁹ Per questo studio, in particolare, si è fatto riferimento al factsheet "Nearly zero energy buildings definitions across Europe" pubblicato nel 2015 dal BPIE (Buildings Performance Institute Europe).

¹⁰ Si segnala in particolare la tesi di laurea: "Nearly Zero-Energy Buildings (nZEBs): stato dell'arte e prospettive di sviluppo" di Filippo Bazzoli, Politecnico di Milano (<https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/109230/1/nearly%20Zero-Energy%20Buildings%20%28nZEBs%29.pdf>).

profilo teorico¹¹, è degno del massimo rispetto, in quanto ben comprensibile da parte degli utenti¹², altro aspetto chiave per il reale raggiungimento degli obiettivi.

Da un punto di vista generale e confrontando la situazione media con quella nazionale caratterizzata da una definizione di nZEB che:

- è piuttosto restrittiva soprattutto per la quota di energia rinnovabile richiesta¹³;
- non prevede, nella pratica, una differenziazione tra prescrizioni imposte per gli edifici nuovi ed esistenti se riqualificati in modo sostanziale;

risulta evidente che l'approccio generale risulta tendenzialmente più cauto.

Ciò con particolare riferimento agli edifici esistenti, che costituiscono il punto centrale per il contenimento dei consumi energetici di tutto lo stock edilizio attuale e futuro.

¹¹ A ben vedere il capofila dell'approccio teorico è stata probabilmente l'Italia con il varo della storica Legge 10 nell'ormai lontano 1991. Questa legge, infatti, lasciava (relativamente) mano libera al progettista che poteva scegliere diverse soluzioni a patto di conseguire certi risultati finali in termini di consumo energetico. Se da un lato si tratta di un approccio nobile, occorrerebbe oggi sviluppare una riflessione in merito. Convenendo che l'obiettivo finale è la riduzione dei costi per l'utente e un interesse generale di contenimento dei consumi energetici (ovvero favorire al massimo le riqualificazioni energetiche), occorrerebbe rispondere alle seguenti domande: è meglio l'approccio teorico che ha dato spazio e potere alla "relazione tecnica"? Oppure sarebbe meglio un approccio basato su prescrizioni oggettive più semplici?

¹² Probabilmente non solo, potrebbe essere di grande beneficio anche per le imprese (che sono soprattutto piccole).

¹³ Va osservato che ciò è da ascrivere all'Allegato 3 del D.lgs. 28/11; infatti il DM "Requisiti minimi" non ha fatto altro che raccordarsi a questo.

Tabella 1 - Applicazione del concetto di nZEB nei diversi paesi europei¹⁴

Paese	Riferimenti nazionali	Applicazione del concetto di “altissima prestazione energetica”	A che cosa viene applicato il concetto di “altissima prestazione energetica”	Applicazione del concetto di copertura “in misura significativa da energia da fonti rinnovabili”	Prescrizioni per gli edifici nuovi diverse da quelle degli edifici ristrutturati	Prescrizioni diverse per edifici residenziali e non
Austria	OIB 6 del 03/2015. Piano Nazionale del 03/2014	Le prescrizioni mirano a ridurre la domanda di calore dell'edificio di almeno il 50% rispetto a quanto richiesto nel 2012	Domanda di energia per riscaldamento, efficienza totale, energia finale, energia primaria, emissioni di CO ₂	Soglia minima in dipendenza della fonte energetica (es.: 50% nel caso di riscaldamento a biomassa) e comunque indotta dalle prescrizioni	Si	Si
Belgio	Brussels Capitale	Decreto del 21/12/2007, modificato il 26/3/2013	Prescrizioni sul consumo di energia primaria	Domanda di calore, energia primaria	Soglia minima in dipendenza della fonte energetica e comunque indotta dalle prescrizioni	Si
	Fiandre	Regolamento del 29/11/2013	Rapporto tra energia primaria ed energia di riferimento inferiori a valori target	Trasmittanze delle pareti, valore medio delle trasmittanze, rapporto tra energia primaria utilizzata e valori di riferimento	Rapporto minimo da rispettare o in alternativa requisiti quantitativi (es: 0,02 m ² /per m ² di superficie di collettori solari termici o 10 kWh/m ² anno di energia rinnovabile)	Si
	Vallonia	In via di definizione	-	-	-	-
Bulgaria	Piano nazionale nZEB	Classe A	Energia primaria	Frazione variabile tra il 20 e il 50% dell'energia primaria in funzione dell'edificio	No	Si
Croatia	Per le case monofamiliari si fa riferimento al Piano Nazionale. Per gli altri edifici al regolamento OG 130/14	Valori annui di energia primaria da rispettare. Ad es.: 40,9 kWh/m ² (zona interna); 33,4 kWh/m ² (zona costiera)	Energia primaria	Requisito minimo del 30% sul consumo annuale di energia primaria	No specificato	Si
Cipro	Decreto N. 366/2014 del 1 agosto	Classe A	Trasmittanze, domanda di energia (solo residenziale), potenza installata per illuminazione, energia primaria utilizzata	Requisito minimo del 25% sul consumo annuale di energia primaria	No	Si

¹⁴ Il lessico dell'intestazione fa riferimento alle definizioni della Legge 3 agosto 2013, n. 90 (Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 - 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)

Repubblica Ceca	Regolamento N. 78/2013	Indicazione tecnologie di riferimento, trasmittanze inferiori del 30% e consumi di energia primaria inferiori del 10-25% rispetto ai requisiti minimi in vigore	Trasmittanza media dell'involucro, energia consegnata, energia primaria	Non specificata (tuttavia i requisiti stringenti impongono il ricorso alle RES)	No	Si
Danimarca	Linee-guida BR10 (2010), tuttavia volontarie e da revisionare	Riferimento (building class) fissato al 2020, inferiore del 75% di quello fissato per il 2006	Requisiti minimi per l'energia primaria: 20 kWh/m ² per le abitazioni; 25 kWh/m ² per gli altri edifici	Non specificata (tuttavia i requisiti stringenti impongono il ricorso alle RES)	No	Si
Estonia	Regolamento N. 68/2012	Classe A	Requisiti minimi per l'energia primaria (esempi): 50 kWh/m ² per le abitazioni singole; 270 kWh/m ² per ospedali	Non specificata (tuttavia i requisiti stringenti impongono il ricorso alle RES)	Non specificato	Si
Finland	In discussione	-	-	-	-	-
Francia	Regolamento RT 2012. In via di definizione	E' in discussione la definizione di edificio ad energia positiva	Energia primaria	Requisito minimo sul consumo annuale di energia primaria. Esempio: 5-12 kWh/m ² per abitazioni. Aumenteranno con la RT 2020	Si	Si
Germania	Piano nazionale nZEB. In via di definizione	Requisiti minimi sul consumo di energia primaria: 40% di quello dell'edificio di riferimento	Energia primaria	Esistono dei requisiti minimi	In via di definizione	Si
Grecia	In via di definizione	-	-	-	-	-
Ungheria	Definizione provvisoria contenuta nel decreto 7/2006 (V.24)	Più efficiente della soluzione ottimale	Energia primaria, Cd dell'involucro	Esistono dei requisiti minimi nella legislazione vigente	In via di definizione	-
Irlanda	Definizione provvisoria contenuta nel piano nazionale nZEB	Classe A2 o migliore	Energia primaria, emissioni di CO ₂	Esistono dei requisiti minimi nella legislazione vigente (10 kWh/m ² anno termici o 4 kWh/m ² elettrici)	In via di definizione	-
Italia	Legge 90/2013 e decreti attuativi	Vengono richiesti i requisiti minimi previsti per il 2020	Energia primaria per il riscaldamento, raffreddamento e totale	Esistono dei requisiti minimi (50% per i privati e 55% per il pubblico)	No	No
Macedonia	In via di definizione	-	-	-	-	-
Lettonia	Regolamento N. 383/2013	Classe A	Requisiti minimi per l'energia primaria annua: ≤ 30 kWh/m ² per il riscaldamento ≤ 95 kWh/m ² (totale)	Esistono dei requisiti minimi (> 0%)	No	No
Lituania	Regolamento STR 2.01.09:2012	Classe A+++	Cd involucro, efficienza Sistema, energia primaria	Esistono dei requisiti minimi (> 50%)	No	Si
Lussemburgo	Piano nazionale nZEB	-	-	-	-	-
Malta	In via di definizione	-	-	-	-	-

ACCORDO DI PROGRAMMA MSE-ENEA

Olanda	Piano nazionale nZEB	Requisito minimo sull'energia primaria	Trasmittanza media, trasmittanza delle finestre, energia primaria	Non specificata (tuttavia i requisiti stringenti impongono il ricorso alle RES)	Non specificato	-
Norvegia	In via di definizione	-	-	-	-	-
Polonia	In via di definizione	-	-	-	-	-
Portogallo	In via di definizione	-	-	-	-	-
Romania	Piano nazionale nZEB	Requisito minimo sull'energia primaria ($\leq 15-58\%$ dei valori vigenti)	Energia primaria, emissioni CO ₂	Esistono dei requisiti minimi ($\geq 10\%$)	Non specificato	-
Repubblica Slovacca	Legge 555/2012, regolamento MDVRR SR 364/2012	Classe A0; energia primaria inferiore al 50% dei valori vigenti	Trasmittanza dei componenti dell'involucro, energia consegnata per i vari servizi, energia primaria	Esistono dei requisiti minimi ($\geq 50\%$)	Non specificato	-
Slovenia	Legge marzo 2014, dettagli nel piano nazionale nZEB (22 aprile 2015)	Requisiti minimi rispetto ai valori vigenti (50% di riduzione della domanda di energia per il riscaldamento; 25% di riduzione dell'energia primaria; 10% di incremento per gli edifici pubblici)	Trasmittanza media e dei singoli componenti, domanda di energia per il riscaldamento	Esistono dei requisiti minimi ($\geq 50\%$)	In discussione	Si
Spagna	In via di definizione	-	-	-	-	-
Svezia	Dettagli ancora non disponibili	-	-	-	-	-
Regno Unito	Dettagli ancora non disponibili (tuttavia definito un target "zero carbon" per i nuovi edifici)	Target "zero carbon" per il 2016 per le abitazioni e 2019 per gli altri edifici	Domanda di energia, emissioni di CO ₂	-	-	-

4 Individuazione delle soluzioni impiantistiche idonee per la trasformazione degli edifici scolastici esistenti

4.1 Metodologia di lavoro

Il metodo di lavoro applicato per l'individuazione delle soluzioni impiantistiche di interesse si basa sulle seguenti fasi:

- selezione di tre località caratterizzate da contesti climatici rappresentativi per l'intero territorio nazionale;
- selezione di tre tipologie di edifici rappresentative dell'attuale stock edilizio scolastico;
- individuazione delle soluzioni impiantistiche più interessanti da sottoporre ad analisi e dei relativi costi di acquisto, installazione e manutenzione;
- valutazione dei consumi energetici dei diversi edifici nelle diverse condizioni climatiche;
- valutazione dei costi (globali) degli interventi proposti e individuazione delle soluzioni più convenienti;
- generalizzazione dei risultati ottenuti in raccomandazioni che potrebbero risultare utili sia per gli operatori che intendono proporre iniziative concrete, sia per migliorare l'attuale regolamentazione.

Le principali assunzioni considerate sono le seguenti:

- rispetto dei disposti del DM 16/6/2015;
- assenza di reti di teleriscaldamento;
- assenza del servizio di raffrescamento estivo¹⁵.

Altre assunzioni e particolari, che risultano comunque importanti, sono introdotte nei paragrafi che seguono.

4.2 Selezione delle località climatiche rappresentative

Le valutazioni sono state condotte sulla base delle caratteristiche di tre edifici, supponendo che siano posizionati in tre località "tipo" del nord, centro e sud Italia. Sulla falsariga di quanto sviluppato in altri studi sviluppati nell'ambito della RdS, per rappresentare i tre contesti climatici sono state scelte le seguenti città e i relativi dati climatici (UNI 10349 e TRY¹⁶ calcolati e messi a disposizione dal CTI):

- a) Milano (Nord);
- b) Ancona (Centro);
- c) Reggio Calabria (Sud).

4.3 Selezione degli edifici rappresentativi

Ogni edificio, in virtù delle sue caratteristiche geometriche, costruttive, impiantistiche e di esposizione è caratterizzato da fabbisogni energetici e costi differenti. Ne consegue che gli stessi potenziali interventi volti all'incremento dell'efficienza energetica e lo sfruttamento delle fonti rinnovabili hanno in genere un diverso impatto sotto il profilo energetico ed economico.

Nella consapevolezza di tale limite, sono stati scelti tre edifici che possono rappresentare le più diffuse tipologie di edifici scolastici presenti sul territorio nazionale. In particolare, la scelta del campione è stata

¹⁵ L'assunzione è giustificata dalla particolare occupazione, nell'anno, degli edifici scolastici e trascurando il fatto che il servizio di raffrescamento possa essere applicato a una frazione dell'area dell'edificio (normalmente uno o pochi uffici).

¹⁶ Anni climatici "tipo".

condotta soprattutto sulla base delle elaborazioni statistiche sviluppate dal CRESME [2] a riguardo delle caratteristiche del patrimonio edilizio scolastico italiano. In particolare, tra le informazioni più significative, il CRESME ha evidenziato che:

- il 39% del patrimonio scolastico italiano (in termini di numero di edifici) ha dimensione compresa tra 1.000 e 3.000 m², con una superficie media di circa 1.800 m²;
- Il 16% tra 751 e 1.000 m², con una superficie media di 900 m²;
- oltre il 50% delle scuole si sviluppi su due piani fuori terra.

Inoltre:

- il 67% degli edifici sono realizzati con struttura in c.a. e tamponatura in laterizio;
- il 29% sono in muratura portante in mattoni o pietra.

Altre informazioni di dettaglio che sono state vagliate sono riportate nell'**ALLEGATO A**.

Tenendo in considerazione tali aspetti, sono stati scelti tre casi "tipo" facendo riferimento ad edifici realmente esistenti e dei quali si dispone di informazioni di dettaglio:

- Edificio 1 - Superficie utile 826 m²; due piani in muratura portante
- Edificio 2 - Superficie utile 1826 m²; due piani fuori terra e uno seminterrato; telaio in c.a. e tamponatura in laterizio;
- Edificio 3 - Superficie utile 9.391 m²; tre piani fuori terra e uno seminterrato; telaio in c.a. e tamponatura in laterizio.

I dettagli dei singoli edifici "tipo" sono riportati nei paragrafi che seguono.

Come evidente, l'Edificio 2 è rappresentativo di quelli "medi", l'edificio 1 di quelli di dimensioni "ridotte", mentre il 3 di quelle "particolarmente grandi" e, quindi, particolarmente energivori, dove normalmente gli interventi di riqualificazione hanno un migliore rapporto costi/benefici, avendo una più bassa incidenza le spese fisse, generali e indirette rispetto al totale.

Si evidenzia, in particolare, che la scelta è stata operata anche per ottenere un intervallo significativo per la valutazione dei costi di installazione, manutenzione e gestione dei costi impiantistici.

Come precedentemente accennato, il DM "Requisiti minimi", introduce le condizioni necessarie affinché un edificio possa essere definito NZEB. Il DM richiama il rispetto dei requisiti minimi previsti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3 dello stesso decreto, determinati con i valori vigenti dal 2019/2021 (1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e 1 gennaio 2021 per tutti gli altri edifici). In particolare (dando per conosciuta terminologia e simbologia):

- $H'T < \text{valore limite riportato nella Tabella 10, dell'Appendice A;}$
- $Asol,est/Asup \text{ utile} < \text{valore limite riportato nella Tabella 11 della Appendice A;}$
- $EP_{H,nd} < EP_{H,nd,limite}$ (determinate per l'edificio di riferimento);
- $EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite}$ (determinate per l'edificio di riferimento);
- $EP_{gl,tot} < EP_{gl,tot,limite}$ (determinate per l'edificio di riferimento);
- $\eta_H > \text{dei valori calcolati per l'edificio di riferimento a partire dai dati riportati nelle Tabelle 7 e 8 dell'Appendice A;}$
- $\eta_C > \text{dei valori calcolati per l'edificio di riferimento a partire dai dati riportati nelle Tabelle 7 e 8 dell'Appendice A;}$
- $\eta_W > \text{dei valori calcolati per l'edificio di riferimento a partire dai dati riportati nelle Tabelle 7 e 8 dell'Appendice A.}$

Al fine di condurre le varie valutazioni, per ogni edificio "tipo" è stato quindi considerato un involucro i cui valori di trasmittanza delle strutture edilizie siano almeno uguali oppure leggermente inferiori a quelli

dell'edificio di riferimento al 2019/2021 definito dalla legge, comprensivi dell'effetto dei ponti termici. Utilizzando tali valori di trasmittanza termica, sono state poi effettuate le altre verifiche sull'edificio, in modo da rispettare le prescrizioni minime per gli edifici NZEB.

In aggiunta, nel DM "requisiti minimi" viene richiamato il D.lgs 28/2011 sull'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici. In particolare viene richiesto che siano soddisfatti i requisiti specificati al paragrafo 1, lettera c) [5], ovvero viene richiesto che gli impianti di produzione di energia termica debbano essere progettati in modo che l'energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili copra il 50%¹⁷ dei consumi previsti per *acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento*. Sempre secondo l'Allegato 1, questa quota deve essere aumentata del 10% qualora l'edificio sia pubblico (il 50% sale quindi al 55%).

In aggiunta, se l'edificio è nuovo o sottoposto a *ristrutturazione rilevante*, scatta l'obbligo di installazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, che nella normalità dei casi si traduce nella installazione di un impianto fotovoltaico. Tale richiesta risulta obbligatoria a meno che non sia tecnicamente non possibile.

Da notare che per *ristrutturazione rilevante* si intende: o "*edificio esistente avente superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati, soggetto a ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro*" o "*edificio esistente soggetto a demolizione e ricostruzione anche in manutenzione straordinaria*" per cui non sempre, anche in casi di ristrutturazione importante di 1° livello (ai sensi del DM "requisiti minimi"), è richiesta l'installazione di fotovoltaico.

In aggiunta il DM "requisiti minimi" considera l'energia impiegata dall'impianto di ventilazione meccanica con un apposito indice ($E_{p,v}$). Questo indicatore tiene conto solamente del consumo dei ventilatori e non delle dispersioni dovute all'introduzione di aria di rinnovo all'interno degli ambienti e viene confrontato con i valori specifici riportati nella Tabella 9 dell'Appendice A.

In questo studio si ipotizza che, nell'ipotesi del rispetto dei requisiti NZEB, l'utilizzo di ventilazione meccanica con recuperatore di calore ad alta efficienza (>70%) sia una condizione più che raccomandabile, ai fini non solo della verifica energetica, ma anche del contenimento dei consumi reali, del mantenimento di adeguati livelli di qualità dell'aria indoor e con lo scopo di prevenire possibili insorgenze di muffe o condense nei locali con livelli di concentrazione di vapore acqueo elevati (come nel caso delle aule scolastiche).

¹⁷ Si noti come non siano ancora chiare le modalità del calcolo della frazione che potrebbe essere condotta con le energie "consegnate" all'utenza, oppure con le energie primarie. Le seconde sono calcolate dalle prime attraverso i fattori di conversione dell'energia in energia primaria. In questo studio è stata scelta la seconda opzione che segue anche le indicazioni emerse nell'ambito dei Gruppi di Lavoro del CTI.

4.4 Edificio scolastico 1 (dimensioni “piccole”)

4.4.1 Piante – Prospetti -Sezioni

Di seguito viene riportata una planimetria dell'edificio analizzato. Maggiori dettagli sono disponibili nell'**ALLEGATO B**.

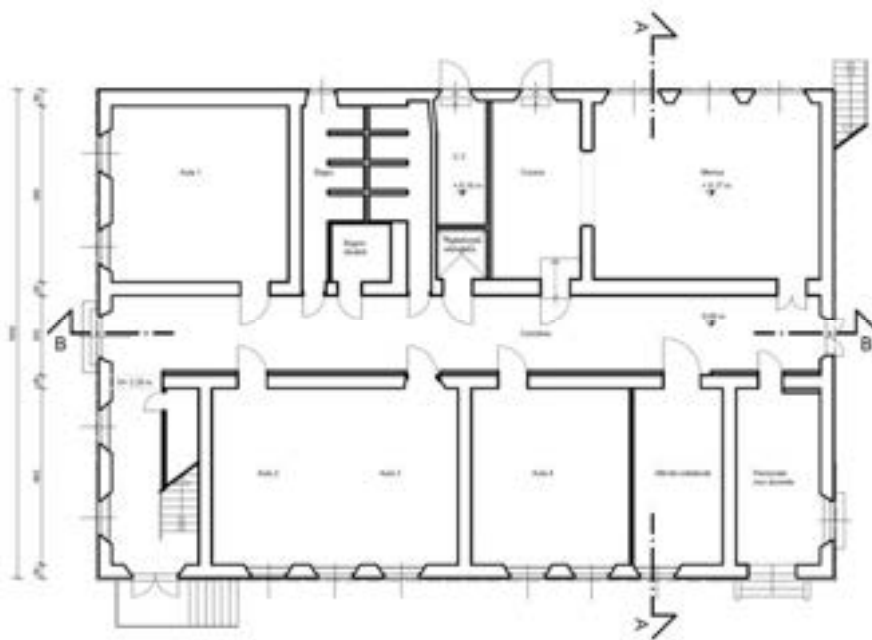


Figura 3 - Edificio 1 - Pianta Piano Terra.

4.4.2 Informazioni generali

Nella **Tabelle 1-3** vengono riportate le informazioni generali relative all'edificio, suddivise in dati di contesto e generali, proprietà geometriche e infine i dati relativi all'utenza e parametri gestionali.

Tabella 1 - Edificio 1 – Dati di contesto e generali.

	Nord Italia	Centro Italia	Sud Italia
Destinazione d'uso prevalente	scuola		
Tipologia	struttura in muratura portante		
Numero di piani riscaldati	2		
Numero di piani non riscaldati	1		
Numero aule/didattica	8		
Uffici	2		
Mensa	1		
Palestra	-1		
Numero alunni	120		
Comune	Milano	Ancona	Reggio Calabria
Provincia	MI	AN	RC
Zona climatica	E	D	B
Gradi giorno	2404	1688	772
Temperatura esterna di progetto invernale	-5	-2	3
Inizio periodo convenzionale di riscaldamento	15 ottobre	1° novembre	1° dicembre
Fine periodo convenzionale di riscaldamento	15 aprile	15 aprile	31 marzo
Numero di giorni di attivazione	183	167	121

Tabella 2 - Edificio 1 - Proprietà geometriche.

Descrizione della grandezza	Unità di misura	Valore
Superficie utile climatizzata di pavimento	[m ²]	826,66
Volume netto climatizzata	[m ³]	3.141,31
Volume lordo climatizzata	[m ³]	4.596,94
Superficie disperdente interna	[m ²]	1.457,46
Superficie disperdente esterna	[m ²]	1.847,13
Rapporto S/V	[m ⁻¹]	0,40

Tabella 3 - Edificio 1 - Dati relativi all'utenza e parametri gestionali.

Descrizione della grandezza	Unità di misura	Valore
Tipologia di ventilazione	-	meccanica con recuperatore
Coefficiente di ricambio dell'aria per aerazione per le zone climatizzate	[l/s pers.]	6
Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento	[°C]	20

4.4.3 Componenti strutturali

Di seguito si riportano i dati relativi alle strutture che compongono l'involucro suddivisi in due tabelle: la prima (**Tabella 4**) è relativa alle componenti opache (pareti, solai e pavimenti) mentre la seconda (**Tabella 5**) è relativa alle strutture trasparenti (finestre comprensive di vetri).

Per le strutture opache si riportano i valori di trasmittanza termica, massa superficiale e trasmittanza termica periodica, nonché il valore limite della trasmittanza richiesta per l'edificio NZEB. Nella tabella delle strutture trasparenti si riportano i valori di trasmittanza termica del telaio e del vetro, oltre alla trasmittanza termica lineica del ponte termico del bordo tra telaio e vetro e infine il fattore solare del vetro. In questa ultima tabella oltre ai valori relativi alla struttura utilizzata nell'edificio, vengono riportati i valori limite prescritti per gli edifici NZEB.

Tabella 4 - Edificio 1 -Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro opaco.

Strutture disperdenti opache	Unità di misura	Nord	Centro	Sud
Parete verticale esterna				
U	[W/m ² K]	0,25	0,27	0,40
U _{lim}	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,43
Massa superficiale	[kg/m ²]	768	768	767
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,006	0,007	0,011
Pavimento verso terreno				
U	[W/m ² K]	0,25	0,29	0,44
U _{lim}	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,44
Massa superficiale	[kg/m ²]	797	796	795
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,017	0,021	0,034
Soffitto verso sottotetto				
U	[W/m ² K]	0,21	0,24	0,34
U _{lim}	[W/m ² K]	0,22	0,26	0,35
Massa superficiale	[kg/m ²]	416	416	414
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,032	0,037	0,055

Tabella 5 - Edificio 1 -Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro trasparente.

Strutture disperdenti trasparenti	Unità di misura	Nord	Centro	Sud
Trasmittanza termica telaio (U_f)	[W/m ² K]	1,5	1,75	2,0
Trasmittanza termica vetro (U_g)	[W/m ² K]	1,0	1,4	2,7
Trasmittanza termica lineica bordo	[W/m ² K]	0,032	0,032	0,06
Trasmittanza termica infisso + vetro				
U_w	[W/m ² K]	1,3-1,4	1,6-1,7	2,6-2,7
$U_{w\ lim}$	[W/m ² K]	1,4	1,8	3,0
Fattore solare g vetro	$g_{gl,n}$	0,35	0,35	0,35
Fattore solare tenda interna	$g_{gl,sh}$	0,5	0,5	0,5
$g_{gl+sh\ lim}$		0,35	0,35	0,35

4.5 Edificio scolastico 2 (dimensioni “medie”)

4.5.1 Pianta – Prospetti -Sezioni

In questa sezione viene riportata una planimetria tipo dell’edificio analizzato. Il resto degli elaborati è inserito nell’Allegato B.



Figura 4 - Edificio 2 - Pianta piano terra.

4.5.2 Informazioni generali

Di seguito vengono riportate le informazioni generali relative all'edificio, suddivise in dati di contesto e generali, proprietà geometriche e infine i dati relativi all'utenza e parametri gestionali.

Tabella 6 - Edificio 2 - Dati di contesto.

	<i>Nord Italia</i>	<i>Centro Italia</i>	<i>Sud Italia</i>
Destinazione d'uso prevalente	scuola		
Tipologia	telaio in c.a. tamponatura con muro in laterizi forati e cappotto		
Numero di piani riscaldati	3		
Numero di piani non riscaldati	0		
Numero aule/didattica	15		
Uffici	5		
Mensa	0		
Palestra	1		
Numero alunni	280		
Comune	Milano	Ancona	Reggio Calabria
Provincia	MI	AN	RC
Zona climatica	E	D	B
Gradi giorno	2404	1688	772
Temperatura esterna di progetto invernale	-5	-2	3
Inizio periodo convenzionale di riscaldamento	15 ottobre	1° novembre	1° dicembre
Fine periodo convenzionale di riscaldamento	15 aprile	15 aprile	31 marzo
Numero di giorni di attivazione	183	167	121

Tabella 7 - Edificio 2 - Proprietà geometriche.

<i>Descrizione della grandezza</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Superficie utile climatizzata di pavimento	[m ²]	1.826,28
Volume netto climatizzata	[m ³]	6.027,18
Volume lordo climatizzata	[m ³]	8.177,11
Superficie disperdente interna	[m ²]	2.729,69
Superficie disperdente esterna	[m ²]	3.235,15
Rapporto S/V	[m ⁻¹]	0,40

Tabella 8 - Edificio 2 - Dati relativi all'utenza e parametri gestionali.

<i>Descrizione della grandezza</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Tipologia di ventilazione	-	meccanica con recuperatore
Coefficiente di ricambio dell'aria per aerazione per le zone climatizzate	[l/s per.s]	6
Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento	[°C]	20

4.5.3 Componenti strutturali

Come nei casi precedenti le **Tabelle 9 e 10** riportano tutte le informazioni essenziali.

Tabella 9 - Edificio 2 -Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro opaco.

Strutture disperdenti opache	Unità di misura	Nord	Centro	Sud
Parete verticale esterna				
U	[W/m ² K]	0,24	0,29	0,42
U _{lim}	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,43
Massa superficiale	[kg/m ²]	151	151	150
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,023	0,03	0,073
Pavimento verso terreno				
U	[W/m ² K]	0,25	0,29	0,44
U _{lim}	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,44
Massa superficiale	[kg/m ²]	797	796	795
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,017	0,021	0,034
Soffitto esterno				
U	[W/m ² K]	0,21	0,24	0,34
U _{lim}	[W/m ² K]	0,22	0,26	0,35
Massa superficiale	[kg/m ²]	453	453	451
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,028	0,033	0,049

Tabella 10 - Edificio 2 -Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro trasparente.

Strutture disperdenti trasparenti	Unità di misura	Nord	Centro	Sud
Trasmittanza termica telaio (Uf)	[W/m ² K]	1,5	1,75	2,0
Trasmittanza termica vetro (Ug)	[W/m ² K]	1,0	1,4	2,7
Trasmittanza termica lineica bordo	[W/m ² K]	0,032	0,032	0,06
Trasmittanza termica infisso + vetro				
Uw	[W/m ² K]	1,3-1,4	1,6-1,7	2,6-2,7
Uw lim	[W/m ² K]	1,4	1,8	3,0
Fattore solare g vetro	g _{gl,n}	0,35	0,35	0,35
Fattore solare tenda interna	g _{gl,sh}	0,5	0,5	0,5
g _{gl+sh} lim		0,35	0,35	0,35

4.6 Edificio scolastico 3 (dimensioni “grandi”)

4.6.1 Piante – Prospetti –Sezioni

In questa sezione viene riportata una planimetria tipo dell’edificio analizzato. Il resto degli elaborati è inserito nell’Allegato B.

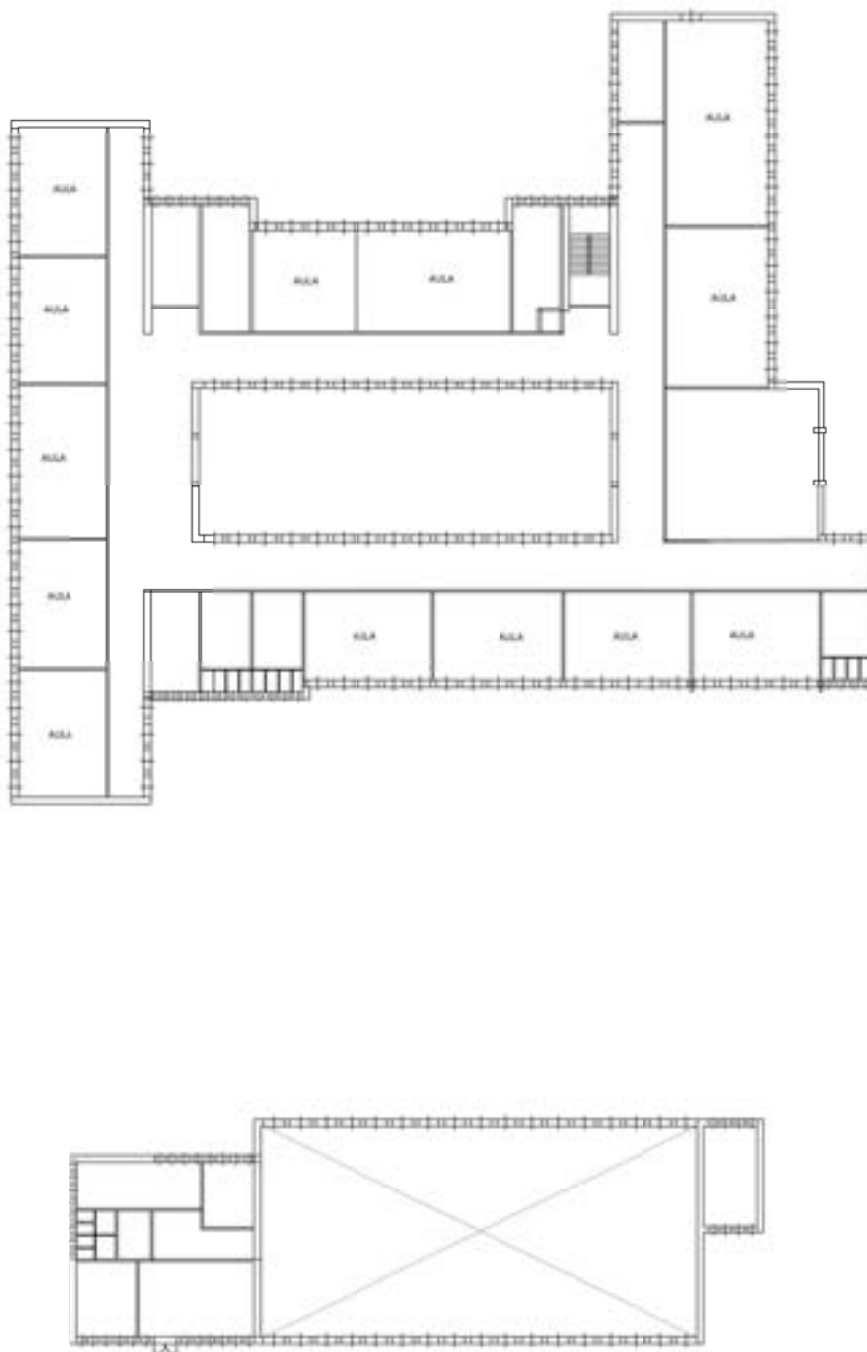


Figura 5 - Edificio 3 – Pianta piano secondo.

4.6.2 Informazioni generali

Di seguito (**Tabelle 11-13**) vengono riportate le informazioni generali relative all'edificio, suddivise in dati di contesto e generali, proprietà geometriche e infine i dati relativi all'utenza e parametri gestionali.

Tabella 11 - Edificio 3 - Dati di contesto.

	<i>Nord Italia</i>	<i>Centro Italia</i>	<i>Sud Italia</i>
Destinazione d'uso prevalente	scuola		
Tipologia	telaio in c.a. tamponatura con muro in laterizi forati e cappotto		
Numero di piani riscaldati	4		
Numero di piani non riscaldati	0		
Numero aule/didattica	29+4		
Uffici	12		
Mensa	1		
Palestra	1		
Numero alunni	280		
Comune	Milano	Ancona	Reggio Calabria
Provincia	MI	AN	RC
Zona climatica	E	D	B
Gradi giorno	2404	1688	772
Temperatura esterna di progetto invernale	-5	-2	3
Inizio periodo convenzionale di riscaldamento	15 ottobre	1° novembre	1° dicembre
Fine periodo convenzionale di riscaldamento	15 aprile	15 aprile	31 marzo
Numero di giorni di attivazione			
	Nord Italia	Centro Italia	Sud Italia
Destinazione d'uso prevalente			

Tabella 12 - Edificio 3 - Proprietà geometriche.

<i>Descrizione della grandezza</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Superficie utile climatizzata di pavimento	[m ²]	9.391,87
Superficie lorda climatizzata di pavimento	[m ²]	10.055,83
Volume netto climatizzata	[m ³]	34.488,83
Volume lordo climatizzata	[m ³]	42.881,76
Superficie disperdente interna	[m ²]	11.648,90
Superficie disperdente esterna	[m ²]	14.041,68
Rapporto S/V	[m ⁻¹]	0,33

Tabella 13 - Edificio 3 - Dati relativi all'utenza e parametri gestionali.

<i>Descrizione della grandezza</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Tipologia di ventilazione	-	meccanica con recuperatore
Coefficiente di ricambio dell'aria per aerazione per le zone climatizzate	[l/s pers] [h ⁻¹]	6 1
Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento	[°C]	20

4.6.3 Descrizione dei componenti strutturali

Come nei casi precedenti, le **Tabelle 14** e **15** riportano i dati relativi alle strutture che compongono l'involucro.

Tabella 14 - Edificio 3 -Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro opaco.

Strutture disperdenti opache	Unità di misura	Nord	Centro	Sud
Parete verticale esterna				
U	[W/m ² K]	0,24	0,29	0,42
U _{lim}	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,43
Massa superficiale	[kg/m ²]	151	151	150
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,023	0,03	0,073
Pavimento verso terreno				
U	[W/m ² K]	0,25	0,29	0,44
U _{lim}	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,44
Massa superficiale	[kg/m ²]	797	796	795
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,017	0,021	0,034
soffitto esterno				
U	[W/m ² K]	0,21	0,24	0,34
U _{lim}	[W/m ² K]	0,22	0,26	0,35
Massa superficiale	[kg/m ²]	453	453	451
Y _{ie}	[W/m ² K]	0,028	0,033	0,049

Tabella 15 - Edificio 3 -Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro trasparente.

Strutture disperdenti trasparenti	Unità di misura	Nord	Centro	Sud
Trasmittanza termica telaio (U _f)	[W/m ² K]	1,5	1,75	2,0
Trasmittanza termica vetro (U _g)	[W/m ² K]	1,0	1,4	2,7
Trasmittanza termica lineica bordo	[W/m ² K]	0,032	0,032	0,06
Trasmittanza termica infisso + vetro				
U _w	[W/m ² K]	1,3-1,4	1,6-1,7	2,6-2,7
U _{w lim}	[W/m ² K]	1,4	1,8	3,0
Fattore solare g vetro	g _{gl,n}	0,35	0,35	0,35
Fattore solare tenda interna	g _{gl,sh}	0,5	0,5	0,5
g _{gl+sh lim}		0,35	0,35	0,35

4.7 Dimensionamento degli impianti termici

Il calcolo dei carichi termici invernali di progetto è stato eseguito conformemente con la UNI EN 12831 [9]. L'obiettivo è stato quello di determinare la potenza termica degli impianti, in particolare dei generatori di calore e delle pompe di calore, così da poter scegliere quella adatta a soddisfare la richiesta termica dell'edificio.

Il carico termico totale è dato dalla somma delle dispersioni per trasmissione e quelle per ventilazione (dovute al rinnovo d'aria degli ambienti). A queste due componenti è stato aggiunto il fattore di ripresa, necessario a soddisfare la richiesta energetica per ripristinare la temperatura di comfort dopo i periodi di attenuazione (notturna o fine settimana).

La dispersione termica di progetto per trasmissione per uno spazio riscaldato, è stata calcolata usando la seguente relazione:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{t,iue} + H_{t,ig} + H_{t,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

Dove:

- $H_{T,ie}$ è il coefficiente di dispersione termica per trasmissione dallo spazio riscaldato verso l'esterno attraverso l'involucro dell'edificio [W/K];
- $H_{T,iue}$ è il coefficiente di dispersione termica per trasmissione dallo spazio riscaldato verso l'esterno attraverso lo spazio non riscaldato [W/K];
- $H_{T,ig}$ è il coefficiente di dispersione termica per trasmissione verso il terreno, in condizioni di regime permanente, dallo spazio riscaldato (i) verso il terreno (g) [W/K];
- $H_{T,ij}$ è il coefficiente di dispersione termica per trasmissione dallo spazio riscaldato a uno spazio adiacente riscaldato ad una temperatura diversa [W/K];
- $\theta_{int,i}$ è la temperatura interna di progetto dello spazio riscaldato (20° C);
- θ_e è la temperatura esterna di progetto in gradi centigradi (variabili in funzione della località climatica).

La dispersione termica di progetto per ventilazione, per uno spazio riscaldato è stata invece calcolata con la seguente relazione:

$$\Phi_{v,i} = (\dot{V}_l \cdot \rho \cdot c_p) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

Dove:

- $\dot{V}_l$ è la portata d'aria dello spazio riscaldato [m³/s] calcolata secondo la UNI 10339 [10];
- ρ è densità dell'aria [kg/m³];
- c_p è capacità termica specifica dell'aria [KJ/(KgK)].

La potenza necessaria per compensare gli effetti del funzionamento intermittente dell'impianto è stata calcolata con il metodo semplificato, ovvero come prodotto tra l'area del pavimento dello spazio riscaldato per il fattore di correzione. Il fattore di correzione espresso in W/m² è stato ricavato dal prospetto D.10a della UNI 12831 ed è pari a 16 W/m² corrispondente a edificio di massa media, 2 ore di ripresa per 2°C di attenuazione della temperatura.

I risultanti valori per i diversi edifici e le diverse località sono riportati nelle Tabelle che seguono.

Tabella 16: potenza termica massima necessaria per il riscaldamento – edificio 1 nelle diverse località.

	U.M.	Milano	Ancona	Reggio Calabria
Trasmissione	[kW]	12,50	12,70	14,40
Ventilazione	[kW]	21,30	19,00	14,70
Fattore di ripresa	[kW]	13,20	13,20	13,20
Totale	[kW]	47,00	44,90	42,30

Tabella 17: potenza termica massima necessaria per il riscaldamento – edificio 2 nelle diverse località.

	U.M.	Milano	Ancona	Reggio Calabria
Trasmissione	[kW]	25,20	26,60	29,90
Ventilazione	[kW]	54,70	48,80	37,70
Fattore di ripresa	[kW]	29,20	29,20	29,20
Totale	[kW]	109,10	104,50	96,80

Tabella 18: potenza termica massima necessaria per il riscaldamento – edificio 3 nelle diverse località.

	<i>U.M.</i>	<i>Milano</i>	<i>Ancona</i>	<i>Reggio Calabria</i>
Trasmissione	[kW]	113,20	122,60	145,60
Ventilazione	[kW]	98,20	92,40	67,60
Fattore di ripresa	[kW]	150,10	150,10	150,10
Totale	[kW]	361,50	365,10	363,30

4.8 Valori mensili ed annuali dei fabbisogni di energia utile degli edifici

Di seguito vengono riportati i fabbisogni mensili di energia termica utile ottenuti dal calcolo energetico effettuato sui tre edifici. In conformità con quanto prescritto dal decreto “Requisiti minimi”, il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento ($Q_{h,nd}$) e il raffrescamento ($Q_{c,nd}$) è minore del valore dell’edificio di riferimento (2019/2021). Vengono inoltre riportati in tabella il fabbisogno mensile di energia utile per la produzione di acqua calda sanitaria.

Tabella 19 - Fabbisogni di energia utile.

	<i>U.M.</i>	<i>Milano</i>			<i>Ancona</i>		<i>Reggio Calabria</i>	
		Q_w	$Q_{h,nd}$	$Q_{c,nd}$	$Q_{h,nd}$	$Q_{c,nd}$	$Q_{h,nd}$	$Q_{c,nd}$
Gennaio	[kWh]	805,10	9136,29		6.766,81		4659,93	
Febbraio	[kWh]	900,00	6499,56		5.292,08		3586,82	
Marzo	[kWh]	996,40	3551,85		3.613,34		2869,87	
Aprile	[kWh]	964,20	558,44		751,81			
Maggio	[kWh]	996,40		57,94				
Giugno	[kWh]	462,90		1736,11		1.073,99		1580,91
Luglio	[kWh]			3499,95		3.083,99		3864,57
Agosto	[kWh]			2616,79		2.650,98		4085,92
Settembre	[kWh]	501,40		331,8		531,72		1887,4
Ottobre	[kWh]	996,40	943,93					34,45
Novembre	[kWh]	964,20	4808,65		2.461,21			
Dicembre	[kWh]	805,10	8283,19		5.752,91		3382,59	
Totale	[kWh]	8.392,10	33.781,91	8.242,59	24.638,16	7.340,68	14.499,21	11.453,25
Totale	[kWh/m ²]	10,15	40,87	9,97	29,80	8,88	17,54	13,85
Limite NZEB	[kWh/m ²]	-	57,90	10,837	42,36	10,17	24,86	15,72

Tabella 20 Edificio scolastico 2 - Fabbisogni di energia utile.

	<i>U.M.</i>	<i>Milano</i>			<i>Ancona</i>		<i>Reggio Calabria</i>	
		Q_w	$Q_{h,nd}$	$Q_{c,nd}$	$Q_{h,nd}$	$Q_{c,nd}$	$Q_{h,nd}$	$Q_{c,nd}$
Gennaio	[kWh]	1.614,09	16457,45	0	10.990,57	0,00	8926,72	0
Febbraio	[kWh]	1.822,36	11301,93	0	8.371,87	0,00	6501,11	0
Marzo	[kWh]	2.017,62	5210,2	0	5.140,94	0,00	4626,95	0
Aprile	[kWh]	1.952,53	514,4	262,03	776,63	0,00	0	19,89
Maggio	[kWh]	2.017,62	0	1645,28	0,00	461,30	0	1092,97
Giugno	[kWh]	976,27	0	6636,47	0,00	4.367,37	0	7219,2
Luglio	[kWh]	0,00	0	10270,39	0,00	7.857,68	0	11853,59
Agosto	[kWh]	0,00	0	8071,52	0,00	6.767,35	0	11856,95
Settembre	[kWh]	976,27	0	2175,39	0,00	2.033,58	0	6313,4

Ottobre	[kWh]	2.017,62	1308,83	54,91	0,00	0,00	0	434,07
Novembre	[kWh]	1.952,53	8208,76	0	3.782,41	0,00	0	0
Dicembre	[kWh]	1.614,09	14859,95	0	9.300,58	0,00	6457,6	0
Totale	[kWh]	16.961,00	57.861,52	29.115,99	38.363,00	21.487,28	26.512,38	38.790,07
Totale	[kWh/m ²]	9,29	31,68	15,94	21,01	11,77	14,52	21,24
Limite NZEB	[kWh/m ²]	-	34,09	19,618	24,84	21,33	16,29	25,42

Tabella 21 Edificio scolastico 3 - Fabbisogni di energia utile.

	U.M.	Milano			Ancona		Reggio Calabria	
		Qw	Qh,nd	Qc,nd	Qh,nd	Qc,nd	Qh,nd	Qc,nd
Gennaio	[kWh]	3.343,48	77.104,18		57.857,25		39419,5	
Febbraio	[kWh]	3.774,90	51.655,52		42.145,76		27786,8	
Marzo	[kWh]	4.179,35	22.152,78		23.869,95		20260,4	
Aprile	[kWh]	4.044,53	1.186,03		2.907,65		0	
Maggio	[kWh]	4.179,35		7.378,98		5.193,90		3966,72
Giugno	[kWh]	2.022,27		32.395,16		29.943,75		32766,09
Luglio	[kWh]			49.749,72		50.037,87		55021,65
Agosto	[kWh]			39.438,50		43.763,54		55926,59
Settembre	[kWh]	2.022,27		11.187,20		19.619,53		31546,94
Ottobre	[kWh]	4.179,35	5.018,10			391,00		2665,67
Novembre	[kWh]	4.044,53	37.268,92		16.544,87			0
Dicembre	[kWh]	3.343,48	69.669,20		48.425,88		27987,35	
Totale	[kWh]	35.133,51	264.054,73	140.149,56	191.751,36	148.949,59	115.454,05	181.893,66
Totale	[kWh/m ²]	3,74	28,12	14,92	20,42	15,86	12,29	19,37
limite NZEB	[kWh/m ²]	-	28,66	20,41	20,89	21,78	12,61	23,00

4.9 Consumi elettrici degli ausiliari di impianto e dei servizi di ventilazione meccanica controllata, illuminazione e trasporti

Per quanto concerne il calcolo dei fabbisogni energetici di cui al titolo del presente paragrafo il calcolo dei suddetti è stato svolto secondo i seguenti riferimenti normativi:

- ausiliari elettrici degli impianti termici: secondo UNI TS 11300-2;
- ventilazione meccanica controllata: UNI TS 11300-2;
- illuminazione: UN EN 15193-1 [7];
- trasporto: UNI/TS 11300-6 [8].

Per l'esposizione dei calcoli eseguiti e dei risultati specifici ottenuti si rimanda all'**ALLEGATO D**.

5 Identificazione delle soluzioni impiantistiche e criteri di confronto

5.1 Impostazione di base

A partire dallo stato di fatto degli edifici, assunta la modifica del loro involucro al fine di rispettare i requisiti nZEB, per ogni edificio sono state definite le seguenti situazioni (**Figura 6**):

- Edificio “BASE”, ovvero l’edificio caratterizzato da un fabbricato conforme ai requisiti NZEB e da impianti identici a quelli dell’edificio esistente (indicato con “2” nella figura citata);
- Edificio base migliorato (definito nel seguito come “BASE+”), ovvero il caso “2” con inserimento di un impianto di ventilazione e di un impianto di illuminazione entrambe efficienti (“3”);
- Edifici conformi alle prescrizioni nZEB per fabbricato e impianti, tenendo conto delle prescrizioni dell’Allegato 3 del D.lgs. 28/11 (“4a”) e senza tenere conto delle stesse (“4b”).

Per quanto concerne lo studio degli impianti termici a servizio dei tre edifici oggetto di esame, quindi, è stato preso in considerazione un impianto rappresentativo dello status quo e che può essere considerato il tipico impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria a servizio degli edifici scolastici italiani.

L’ipotesi “BASE” necessaria per effettuare il confronto economico ed energetico è l’edificio prima della sostituzione impiantistica (considerata al livello 4).

Con la configurazione “BASE+” si considera un intervento di miglioramento della qualità ambientale indoor e dell’efficienza dell’impianto di illuminazione. Ovvero: installazione di un impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore e sostituzione delle apparecchiature illuminanti con sistema ad alta efficienza (LED) con sensori di illuminamento e presenza.

L’edificio “BASE” e l’edificio “BASE+” costituiscono due situazioni di riferimento (sostanzialmente due *benchmark* da confrontare poi con gli nZEB) che si differenziano dal fatto o meno di considerare gravanti sull’economia della gestione energetica dell’edificio gli investimenti relativi all’adeguamento (o installazione) dell’impianto di ventilazione e all’impianto di illuminazione.

Di fatto, questi interventi sono oggi sempre ritenuti prioritari in quasi tutti i progetti di riqualificazione degli edifici scolastici, indipendentemente dalla questione energetica.

Per la configurazione degli impianti degli edifici nZEB sono stati ipotizzati, anche sulla base delle risultanze di studi precedenti¹⁸), degli interventi migliorativi che possono essere riassunti in cinque varianti:

- A. Sostituzione della caldaia esistente con una caldaia a combustibile solido alimentata a scaglie di legno (cippato) per i servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria; ammodernamento generale della sola centrale termica (ovvero sostituzione dei generatori mantenendo l’impianto di distribuzione e i terminali esistenti) nelle due varianti 4a e 4b (con e senza realizzazione di un impianto fotovoltaico);
- B. Come il caso “A” ma ricorrendo a una caldaia a combustibile solido alimentata a pellet di legno;
- C. Sostituzione della caldaia esistente con pompa di calore ad alta temperatura aria-acqua; ammodernamento impianto centrale termica e produzione acqua calda sanitaria. Questa soluzione è stata considerata in quanto consente di non intervenire sull’impianto di distribuzione e sui terminali, con evidente vantaggio sui costi di adeguamento;
- D. Sostituzione della caldaia esistente con pompa di calore a media temperatura aria-acqua; ammodernamento impianto centrale termica; installazione di una pompa di calore aggiuntiva ad accumulo per la produzione di acqua calda sanitaria e sostituzione dei soli terminali (mantenendo quindi la distribuzione esistente);

¹⁸ Di fatto, è stato messo in evidenza come, nella generalità dei casi, ovvero non disponendo di una rete di TLR o di altre situazioni particolari, una elevata quota di rinnovabili è conseguibile solo ricorrendo a pompe di calore e/o a generatori di calore alimentati a biomassa.

- E. Sostituzione dell'intero impianto di climatizzazione invernale (quindi anche della distribuzione) con sistema VRF e installando una pompa di calore aggiuntiva ad accumulo per la produzione di acqua calda sanitaria.

Per quanto riguarda i casi C, E ed F, è sempre stata considerata l'installazione dell'impianto fotovoltaico (in misura tale da rispettare sempre il D.lgs. 28/11), in quanto la variante che lo escludeva ha sempre evidenziato, in fase di pre-analisi, la difficoltà di raggiungere la quota di rinnovabile richiesta. Quindi, in pratica, sono state considerate 7 varianti impiantistiche

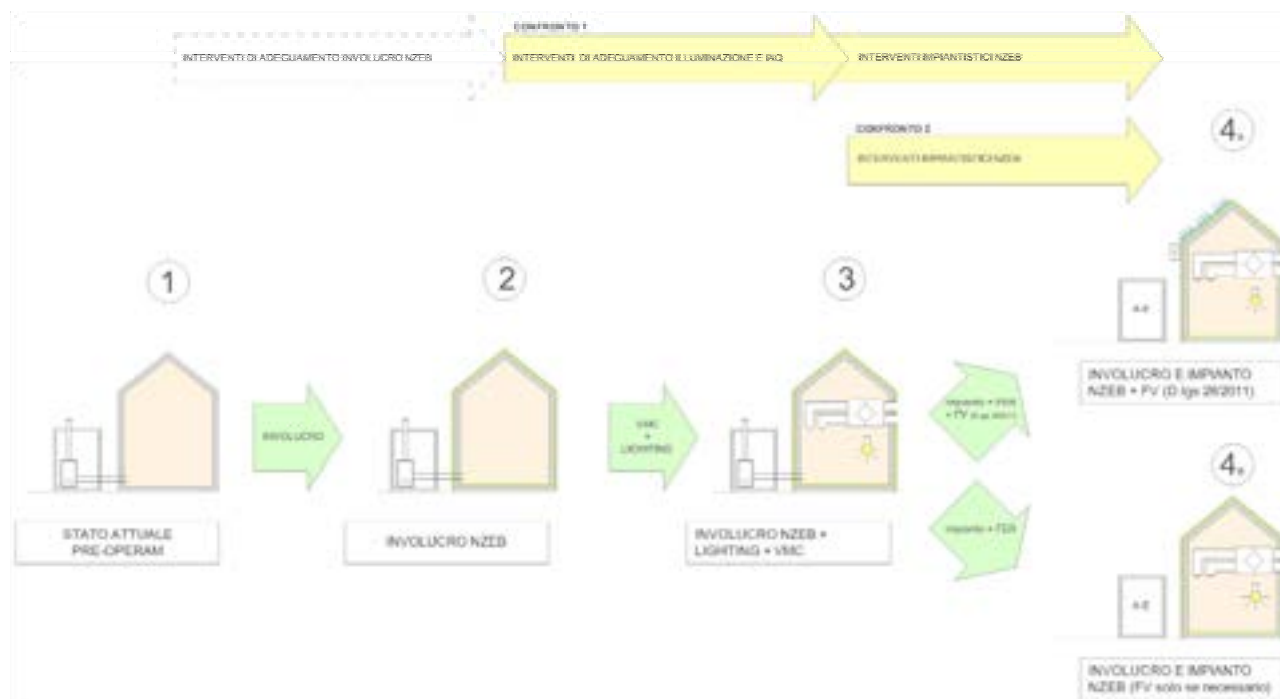


Figura 6 - Schema delle diverse fasi dell'intervento di riqualificazione.

Tabella 22 Sintesi dei scenari ipotizzati.

SCENARIO	INVOLUCRO NZEB	VMC	Illuminazione a LED con controllo	Fotovoltaico	Alimentatore	Note
BASE (1)	•				Caldaia a gas	Impianto termico esistente
BASE+ (2)	•	•	•		Caldaia a gas	Impianto termico esistente
A _a (4a)	•	•	•	•	Caldaia a cippato	Nuova centrale
A _b (4b)	•	•	•		Caldaia a cippato	Nuova centrale
B _a (4a)	•	•	•	•	Caldaia a pellet	Nuova centrale
B _b (4b)	•	•	•		Caldaia a pellet	Nuova centrale
C _(a-b) (4a)	•	•	•	•	Pompa di calore HT	Nuova centrale
D _(a-b) (4a)	•	•	•	•	Pompa di calore MT	Nuova centrale e terminali
E _(a-b) (4a)	•	•	•	•	Pompa di calore (VRF)	Nuovo impianto termico

In termini riassuntivi, di seguito si ricorda il complesso delle principali assunzioni dello studio:

- assenza di impianti di teleriscaldamento che, in base ai disposti legislativi, sono alternativi all'installazione di impianti ad energia rinnovabile;
- assenza del servizio di raffrescamento estivo per via della particolare occupazione stagionale degli edifici scolastici;

- scelta di un numero ridotto di configurazioni impiantistiche basate sull'impiego di pompe di calore o generatori di calore a biomassa. Infatti, in altri progetti di ricerca è emerso che l'elevata aliquota di energia rinnovabile richiesta (55%) è ottenibile, nella pratica, solo con queste soluzioni. In particolare, la differenziazione tra i casi 4a e 4b (presenza o assenza di fotovoltaico) ha significato solo in presenza degli impianti alimentati a biomassa (in grado di erogare, da soli, una quota di energia rinnovabile molto elevata), mentre per i casi basati su pompe di calore, il FV risulta sempre necessario;
- scelta di ridurre al minimo gli interventi sul fabbricato. Di fatto, la soluzione (E) prevede la sostituzione dei terminali e della distribuzione, la soluzione (D) prevede solo quella dei terminali;
- scelta di escludere soluzioni basate su applicazioni delle pompe di calore più costose e comunque poco generalizzabili nell'applicazione, quali le versioni geotermiche, acqua-acqua ed endotermiche.

5.2 Caso "BASE" – Dotazioni impiantistiche considerate

L'impianto preso come riferimento è costituito da:

- caldaia con bruciatore ad aria soffiata alimentato a gas metano;
- pompa di circolazione e organi di sicurezza e controllo come richiesto dalle normative INAIL;
- collettore impianto riscaldamento con pompe di circolazione per l'alimentazione dei vari circuiti;
- bollitore mono serpentino per la produzione di acqua calda sanitaria completo degli organi di sicurezza.

Il circuito sanitario inoltre è dotato di pompa di ricircolo e valvola miscelatrice a punto fisso.

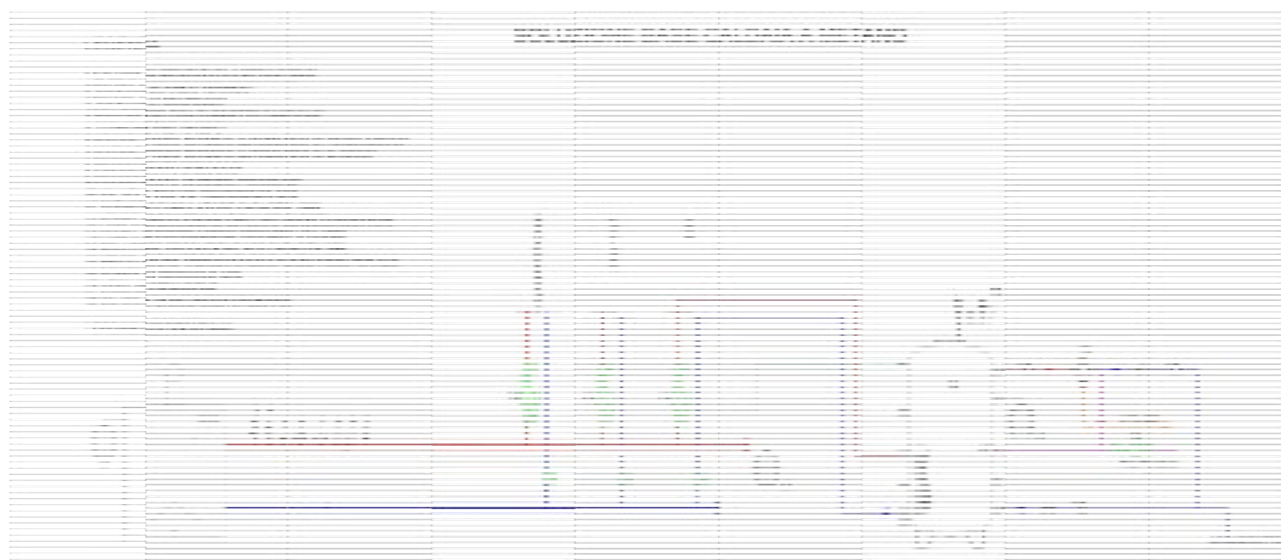


Figura 7 - Schema funzionale impianto di riscaldamento e produzione di ACS ipotizzato per l'edificio "BASE".

5.3 Caso "BASE+" – Dotazioni impiantistiche considerate

Il caso "BASE+" rappresenta una variazione al caso "base" con la quale si considera un intervento di miglioramento della qualità ambientale indoor e dell'efficienza dell'impianto di illuminazione. Gli interventi previsti per questo ulteriore edificio di confronto sono:

- installazione di un impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore;
- sostituzione delle apparecchiature illuminanti con sistema ad alta efficienza (LED) con sensori di illuminamento e presenza.

Tutta l'impiantistica inerente i servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria è considerata invariata rispetto al caso base.

5.4 A – Caldaia a cippato di legno (con e senza impianto fotovoltaico)

Con la soluzione impiantistica A si considera di sostituire la caldaia esistente con una caldaia alimentata a cippato e la sostituzione delle componentistiche non più adatte al nuovo tipo d'impianto.

L'impianto modificato risulta costituito da:

- nuova caldaia a cippato ad alta efficienza e basse emissioni, con sistema automatico di carico prodotto e regolazione;
- serbatoio del cippato, comprensivo di sistema di estrazione e trasporto e relative regolazioni;
- pompa di circolazione e organi di sicurezza e controllo come richiesto dalle normative INAIL;
- collettore del circuito di riscaldamento con pompe e regolazioni per l'invio ai sistemi di distribuzione;
- serbatoio inerziale asservito al servizio di riscaldamento completo di organi di sicurezza;
- bollitore mono serpentino per la produzione di acqua calda sanitaria completo degli organi di sicurezza;
- sistema di ricircolo dell'acqua calda sanitaria.



Figura 8 - Schema funzionale impianto di riscaldamento e produzione di ACS ipotizzato per lo scenario con caldaia a cippato.

Lo scenario A è stato valutato con due diverse configurazioni: la prima (4a) ipotizzando l'installazione del fotovoltaico necessario a rispettare il D.lgs. 28/11, mentre la seconda coprendo la quota rinnovabile senza l'ausilio del contributo apportato dall'impianto fotovoltaico (4b). Le caratteristiche dell'impianto considerato per ciascuno degli edifici sono esposte nel paragrafo 5.9. Caratteristiche degli impianti fotovoltaici

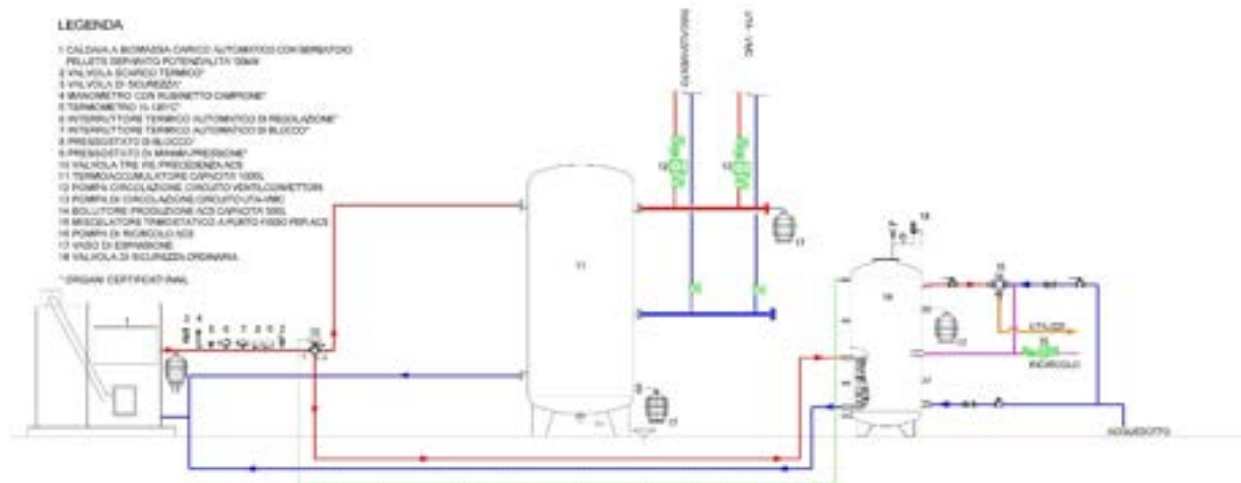
5.5 B – Caldaia a pellet di legno (con e senza impianto fotovoltaico)

Con la soluzione B si considera di sostituire la caldaia esistente con una caldaia alimentata a pellet e le componentistiche non più adatte al nuovo tipo d'impianto.

L'impianto modificato risulta così costituito:

- nuova caldaia a pellet ad alta efficienza e basse emissioni, con sistema automatico di carico e regolazione;
- serbatoio del pellet comprensivo di sistema di estrazione e trasporto e relative regolazioni;
- pompa di circolazione e organi di sicurezza e controllo come richiesto dalle normative INAIL;
- collettore principale con pompe di circolazione per l'alimentazione dei vari circuiti;

- #### SOLUZIONE "B" CALDAIA A BIOMASSA PELLETS



Come nel caso precedente, lo scenario B è stato valutato con due diverse configurazioni: la prima (4a) ipotizzando l'installazione del fotovoltaico necessario per rispettare il D.lgs. 28/11, mentre la seconda coprendo la quota rinnovabile senza l'ausilio del FV (4b).

- nuova pompa di calore HT in esecuzione monoblocco o con evaporatore remoto (a seconda del caso) ad aria ambiente e con multi-compressore scroll gestito da inverter;
- opere elettriche per l'adeguamento dell'impianto all'alimentazione della pompa di calore e dei nuovi ausiliari;
- modulo idronico per la pompa di calore;
- serbatoio inerziale asservito al servizio di riscaldamento completo di organi di sicurezza;
- collettore del circuito di riscaldamento con pompe e regolazioni per l'invio ai sistemi di distribuzione;
- bollitore mono serpentino per la produzione di acqua calda sanitaria completo degli organi di sicurezza;
- sistema di ricircolo dell'acqua calda sanitaria.

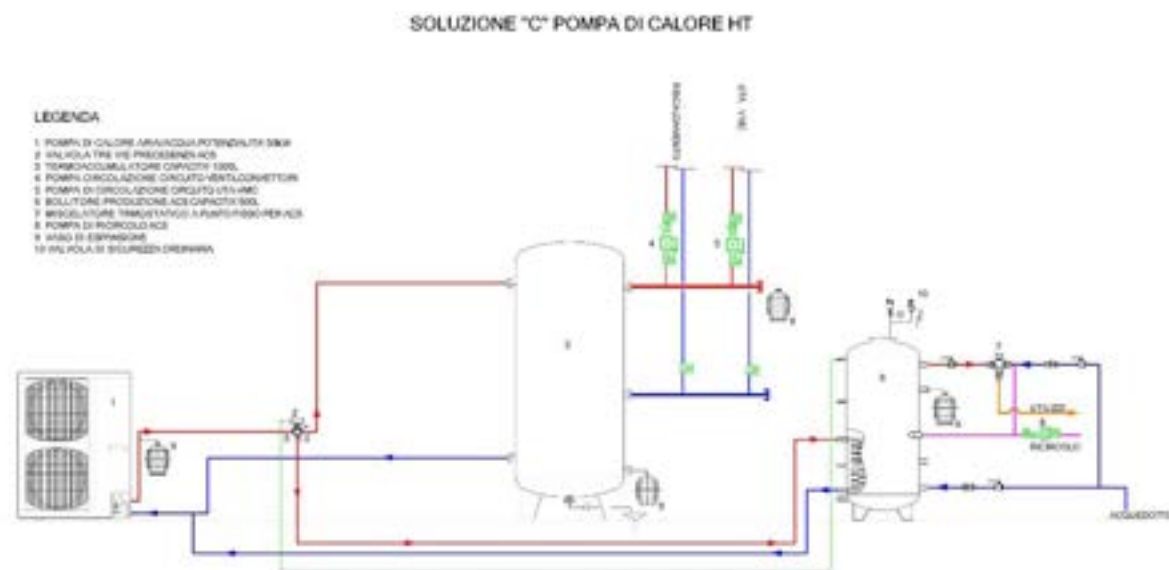


Figura 10 - Schema funzionale impianto di riscaldamento e produzione di ACS ipotizzato per lo scenario con pompa di calore ad alta temperatura.

La soluzione descritta non prevede interventi significativi sulla rete di distribuzione che, pertanto, resta sostanzialmente invariata; tuttavia viene considerata la sostituzione delle pompe di circolazione per aumentare la portata, compatibilmente con l'utilizzo delle linee esistenti.

Viene considerata l'installazione di un impianto fotovoltaico (caratteristiche esposte nel paragrafo 5.9).

5.7 D – Pompa di calore a media temperatura (e impianto fotovoltaico)

La soluzione prevede la sostituzione della caldaia esistente e delle componentistiche di centrale termica, con una pompa di calore aria-acqua con temperatura di mandata dell'acqua di riscaldamento pari a circa 55° C. Dato il modesto utilizzo, si considera il circuito dell'acqua calda sanitaria indipendente tramite l'installazione di un apposito generatore.

L'impianto risulta quindi così costituito:

- nuova pompa di calore a media temperatura (MT) in esecuzione monoblocco o con evaporatore remoto (a seconda del caso) ad aria ambiente con multi-compressore scroll gestito da inverter;
- opere elettriche per l'adeguamento dell'impianto all'alimentazione della pompa di calore e dei nuovi ausiliari;
- modulo idronico per pompa di calore;
- serbatoio inerziale asservito al servizio di riscaldamento completo di organi di sicurezza;
- collettore del circuito di riscaldamento con pompe e regolazioni per l'invio ai sistemi di distribuzione;
- sistema indipendente a pompa di calore ed accumulo per la produzione di acqua calda sanitaria.

Nel caso specifico, inoltre, vengono considerate le seguenti opere sulla distribuzione e sul sistema di erogazione:

- sostituzione di tutti i terminali, con loro conversione da radiatori a ventilconvettori;
- opere di adeguamento della rete (senza sostituzione integrale delle linee, ma con soli interventi locali, ove necessari);
- opere di adeguamento dell'impianto elettrico per l'alimentazione di tutti i ventilconvettori.

SOLUZIONE "D" POMPA DI CALORE MT

LEGENDA

1. POMPA DI CALORE ARIA/ACQUA POTENZIALITÀ BSW
2. VALVOLA TRE VIE PRESSIONE ACS
3. TERMOACCUMLATORE CAPACITÀ 100L
4. POMPA CIRCOLAZIONE CIRCUITO VENTILCONVETTORI
5. POMPA DI CIRCOLAZIONE CIRCUITO UTILE/AC
6. POMPA DI CALORE AUTONOMA PER PRODUZIONE ACS
7. MISCIATORE TRIMISTATICO A PUNTO FISSO PER ACS
8. POMPA DI RICIRCOLO ACS
9. VASO DI ESPANSIONE
10. VALVOLA DI SICUREZZA ORDINARIA

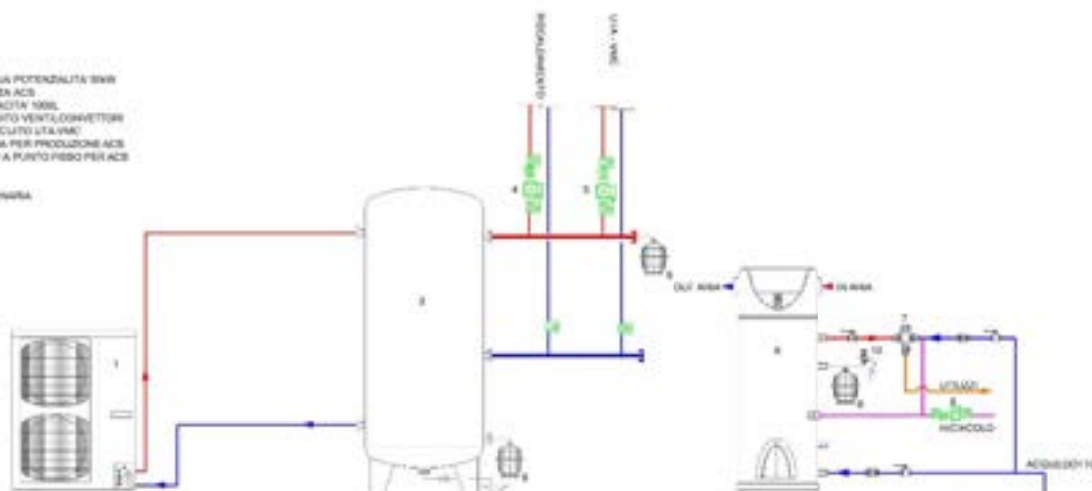


Figura 11 - Schema funzionale impianto di riscaldamento ipotizzato per lo scenario con pompa di calore a media temperatura e produzione di ACS con pompa di calore dedicata.

Viene considerata l'installazione di un impianto fotovoltaico (caratteristiche esposte nel paragrafo 5.9).

5.8 E – impianto VRF (e impianto fotovoltaico)

L'ultima soluzione prevede il rifacimento totale dell'impianto di riscaldamento e la sua sostituzione con un nuovo impianto integrato VRF.

Nel caso specifico, quindi, l'impianto risulta costituito da:

- una o più unità esterne (*master-slave*) da collocare in copertura o all'esterno dell'edificio, con multi-compressore scroll gestito da inverter;
- sistema di distribuzione del refrigerante dalle unità esterne alle unità interne ed eventuali distributori/accessori intermedi (caratteristiche linee e accessori dipendenti dal costruttore) con linee in rame lavato isolato;
- sistema di regolazione e controllo unitario (con relativi sistemi BUS);
- unità interne costituite da cassette a quattro vie a soffitto, unità da parete e/o unità a terra, a seconda delle caratteristiche e/o disponibilità di spazio nei locali;
- sistema indipendente a pompa di calore per la produzione di acqua calda sanitaria, costituito da unità monoblocco a pompa di calore con accumulo.

Anche in questo caso viene previsto un impianto fotovoltaico (caratteristiche esposte nel paragrafo 5.9).

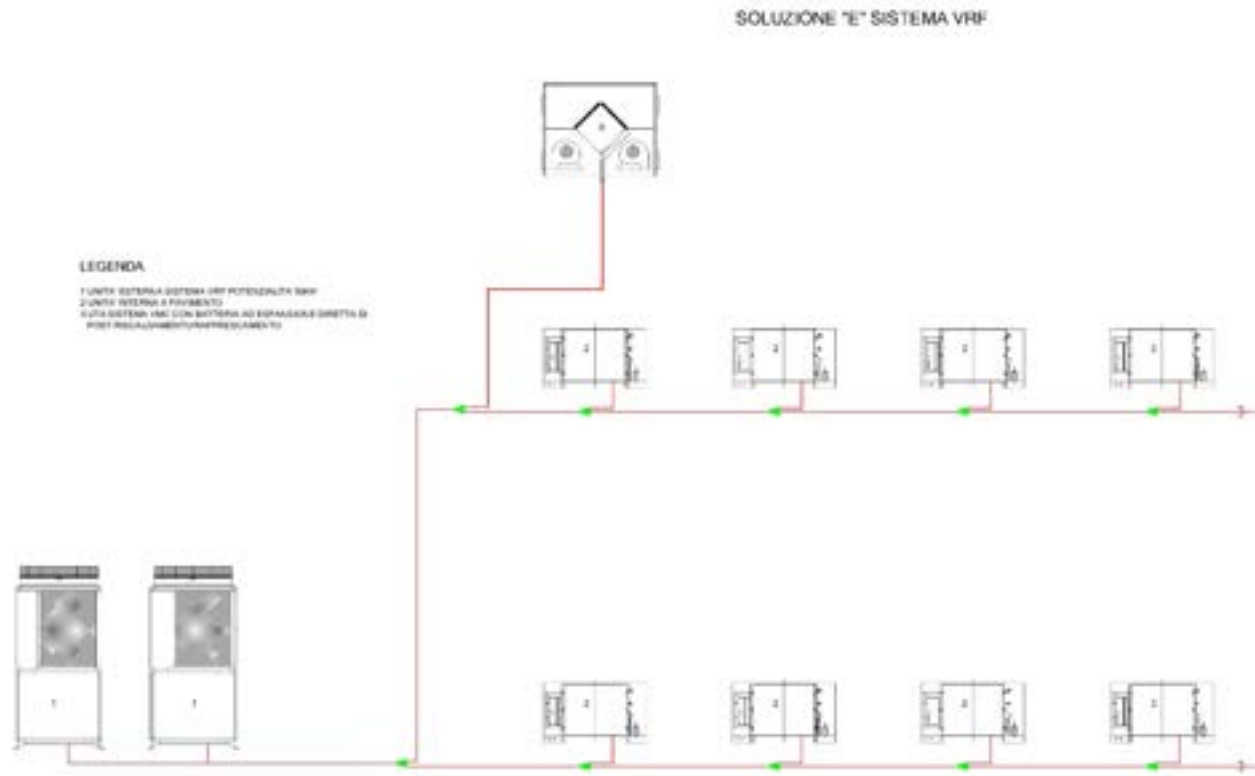


Figura 12 - Schema funzionale impianto di riscaldamento ipotizzato per lo scenario sistema di riscaldamento VRF.

5.9 Caratteristiche degli impianti fotovoltaici

In tutti i casi viene ipotizzato l'utilizzo di moduli in silicio monocristallino della potenza di circa 250 W_p; il sistema di conversione è un inverter multi-stringa e multi MPPT.

Le caratteristiche di posa sono state mantenute uguali in tutti i casi, previa verifica della compatibilità delle stesse con la realizzazione sulle coperture degli edifici selezionati.

In considerazione delle modeste potenze di picco rispetto alle dimensioni degli edifici non si sono riscontrati problemi di spazio per il collocamento degli stessi.

Tabella 23 – Principali caratteristiche degli impianti fotovoltaici.

Caratteristica	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3
Angolo di inclinazione della superficie del campo	30°	30°	30°
Orientamento della superficie del campo collettori (0° = Sud)	0°	0°	0°
Fattore di esposizione al sole (0: tutta ombra, 1: massima esposizione)	1	1	1
Tipo di integrazione dei moduli fotovoltaici	Moduli moderatamente ventilati	Moduli moderatamente ventilati	Moduli moderatamente ventilati
Pannello fotovoltaico	monocristallino	monocristallino	monocristallino
Potenza di picco totale del generatore parziale [kWp]	11,74	17,60	65,04
Potenza di picco totale richiesta dal D.lgs. 28/11 [kWp]	11,14	17,33	64,92

6 Valutazione economica

6.1 Premesse

La valutazione economica delle diverse soluzioni è stata condotta con una metodologia identica a quella adottata dal MiSE per la determinazione dei “Requisiti minimi”, ovvero applicando l’analisi costi-benefici relativamente agli investimenti richiesti per la riqualificazione energetica e ai risparmi derivanti dal minore impegno di vettori energetici reperiti sul mercato.

A tale fine vengono considerati:

- 30 anni come orizzonte temporale. Infatti, il Regolamento Delegato n. 244/2012 della Commissione cita che *“per gli edifici residenziali e pubblici si utilizza un periodo di calcolo di 30 anni; per gli edifici commerciali non residenziali si utilizza un periodo di non meno di 20 anni”*;
- un tasso di interesse nullo, sebbene il tasso di indicato dalla Commissione sia pari al 3%. Si è ritenuto di adottare questa assunzione per rendere più “leggibili” i risultati che, come si vedrà nel seguito (Capitolo 7), sono caratterizzati da tempi di ritorno degli investimenti normalmente più lunghi dell’orizzonte temporale di 30 anni;
- i parametri economici illustrati in questo Capitolo.

6.2 Costi di investimento

La valutazione dei costi di investimento per ogni impianto viene condotta considerando sei “macro-voci”:

1. *VMC*: impianto di ventilazione meccanica controllata;
2. *Illuminazione*: impianto di illuminazione dei locali;
3. *FV*: impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica in situ;
4. *Centrale Termica*: da intendersi come l’insieme delle macchine principali e degli organi più importanti dell’impianto (pompe di circolazione, collettori, vasi di espansione, controlli e regolazioni generali -ove presenti -, ecc.);
5. *Distribuzione e regolazione*: impianto di distribuzione del vettore termico e regolazione della temperatura ambiente;
6. *Terminali*: terminali di erogazione dell’energia termica.

In particolare la stima dei costi è stata svolta considerando che:

- le voci 1 e 2 relativamente ai costi di investimento sono sempre incluse in tutte le proposte di miglioramento dell’impianto base (soluzioni A-E);
- la voce 3 è presente in tutti i casi, eccetto il caso base migliorato (“BASE+”) e le varianti senza FTV dei casi con caldaia a biomassa (A e B);
- la voce 4 indica i prezzi relativi alla realizzazione dei nuovi impianti di centrale termica e la relativa accessoristica, compresi lo smontaggio con smaltimento in discarica dell’impianto esistente, le assistenze murarie e l’impianto elettrico dedicato;
- la voce 5 riguarda l’impianto di distribuzione del fluido vettore (gas refrigerante) a servizio della soluzione con VRF (E);
- la voce 6 indica i costi per la fornitura e l’installazione dei terminali per l’erogazione dell’energia termica.

In tutti i costi sono sempre comprese tutte le spese, come se si stesse definendo un vero e proprio “quadro economico” per la stazione appaltante.

Per quanto concerne, invece, la definizione effettiva degli importi, questi sono desunti per quanto possibile da prezzi regionali (con riferimento al centro Italia), ovvero costruendo le voci economiche sulla base dell’esperienza degli autori per quelle non presenti nei prezzi.

Le voci identificate sono state poi ridotte di una percentuale indicativamente pari al 30% per tenere conto del valore medio dei ribassi di aggiudicazione di lavori negli ultimi anni.

Tutti i dati stimati sono inclusi nelle Tabelle che seguono.

Tabella 24 - Costi di investimento iniziale per le diverse dotazioni impiantistiche (Edificio 1).

Sezione	Oggetto	Categoria lavori
1 VMC	UTA	Impianto
1 VMC	Canali	Impianto
1 VMC	Terminali	Impianto
1 VMC	Accessori	Impianto
1 VMC	Elettrico	Impianto
1 VMC	Assistenze edili	Edile
1 VMC	Spese tecniche	Tecnico
2 Illuminazione	Corpi illuminanti	Impianto
2 Illuminazione	Regolazione e gestione	Impianto
2 Illuminazione	Adeguamenti impianto elettrico	Impianto
2 Illuminazione	Spese tecniche	Tecnico
3 FV	Impianto	Impianto
3 FV	Adeguamenti impianto elettrico	Impianto
3 FV	Spese tecniche	Tecnico
4 Centrale termica	Demolizione e smaltimento impianto esistente centrale termica	Edile
4 Centrale termica	Generatore/caldaia e accessori macchine	Impianto
4 Centrale termica	Accessori e linee interne alla centrale termica	Impianto
4 Centrale termica	Adeguamento impianto elettrico	Impianto
4 Centrale termica	Assistenze edili	Edile
4 Centrale termica	Spese tecniche	Tecnico
5 Distribuzione e regolazione	Nuove linee	Impianto
5 Distribuzione e regolazione	Assistenze edili per nuove linee	Edile
5 Distribuzione e regolazione	Nuova regolazione	Impianto
5 Distribuzione e regolazione	Spese tecniche	Tecnico
6 Terminali	Demolizione e smaltimento terminali	Impianto
6 Terminali	Adeguamento impianto elettrico	Impianto
6 Terminali	Fornitura ed installazione	Impianto
6 Terminali	Assistenze edili	Edile
6 Terminali	Spese tecniche	Tecnico

Tabella 25 - Costi di investimento iniziale per le diverse dotazioni impiantistiche distinte secondo le sezioni che compongono l'impianto (Edificio 1).

Sezione	Base +	A (caldaia a cippato + FV)	A (caldaia a cippato)	B (caldaia a pellet + FV)	B (caldaia a pellet)	C (pompa di calore HT)	D (pompa di calore MT + ventil.)	E (VRF)
1 VMC	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400
2 Illuminazione	28500	28500	28500	28500	28500	28500	28500	28500
3 FV	0	25000	0	25000	0	25000	25000	25000
4 Centrale termica	0	43050	43050	39900	39900	54350	52350	31300
5 Distribuzione e regolazione	0	0	0	0	0	0	0	22450
6 Terminali	0	0	0	0	0	3	29350	55000
Totale complessivo	55900	123950	98950	120800	95800	135253	162600	189650

Tabella 26 - Costi di investimento iniziale per le diverse dotazioni impiantistiche distinte secondo le categorie di lavori/prestazioni (Edificio 1).

Sezione	Base +	A (caldaia a cippato + FV)	A (caldaia a cippato)	B (caldaia a pellet + FV)	B (caldaia a pellet)	C (pompa di calore HT)	D (pompa di calore MT + ventil.)	E (VRF)
Edile	1000	6300	6300	6300	6300	6500	9000	12750
Impianto	50100	104350	82850	101200	79700	114950	138300	159100
Tecnico	4800	13300	9800	13300	9800	13803	15300	17800
Totale complessivo	55900	123950	98950	120800	95800	135253	162600	189650

Tabella 27 - Costi di investimento iniziale per le diverse dotazioni impiantistiche distinte secondo le sezioni che compongono l'impianto (Edificio 2).

Sezione	Base +	A (caldaia a cippato + FV)	A (caldaia a cippato)	B (caldaia a pellet + FV)	B (caldaia a pellet)	C (pompa di calore HT)	D (pompa di calore MT + ventil.)	E (VRF)
1 VMC	55950	55950	55950	55950	55950	55950	55950	55950
2 Illuminazione	59100	59100	59100	59100	59100	59100	59100	59100
3 FV	0	34000	0	34000	0	34000	34000	34000
4 Centrale termica	0	64600	64600	59300	59300	67850	65450	56200
5 Distribuzione e regolazione	0	0	0	0	0	0	0	34350
6 Terminali	0	0	0	0	0	0	46800	85200
Totale complessivo	115050	213650	179650	208350	174350	216900	261300	324800

Tabella 28 - Costi di investimento iniziale per le diverse dotazioni impiantistiche valutate distinte secondo le categorie di lavori/prestazioni (Edificio 2).

Sezione	Base +	A (caldaia a cippato + FV)	A (caldaia a cippato)	B (caldaia a pellet + FV)	B (caldaia a pellet)	C (pompa di calore HT)	D (pompa di calore MT + ventil.)	E (VRF)
Edile	1500	10200	10200	10200	10200	10200	14700	20700
Impianto	106550	185950	155450	180650	150150	189200	226600	277500
Tecnico	7000	17500	14000	17500	14000	17500	20000	26600
Totale complessivo	115050	213650	179650	208350	174350	216900	261300	324800

Tabella 29 - Costi di investimento iniziale per le diverse dotazioni impiantistiche valutate distinte secondo le sezioni che compongono l'impianto (Edificio 3).

Sezione	Base +	A (caldaia a cippato + FV)	A (caldaia a cippato)	B (caldaia a pellet + FV)	B (caldaia a pellet)	C (pompa di calore HT)	D (pompa di calore MT + ventil.)	E (VRF)
1 VMC	179750	179750	179750	179750	179750	179750	179750	179750
2 Illuminazione	252100	252100	252100	252100	252100	252100	252100	252100
3 FV	0	115250	0	115250	0	115250	115250	115250
4 Centrale termica	0	120300	120300	110200	110200	135400	130386	188000
5 Distribuzione e regolazione	0	0	0	0	0	0	0	50500
6 Terminali	0	0	0	0	0	3	92184	167000
Totale complessivo	431850	667400	552150	657300	542050	682503	769670	952600

Tabella 30 - Costi di investimento iniziale per le diverse dotazioni impiantistiche valutate distinte secondo le categorie di lavori/prestazioni (Edificio 3).

Sezione	Base +	A (caldaia a cippato + FV)	A (caldaia a cippato)	B (caldaia a pellet + FV)	B (caldaia a pellet)	C (pompa di calore HT)	D (pompa di calore MT + ventil.)	E (VRF)
Edile	4000	14200	14200	14200	14200	14200	24200	31700
Impianto	414850	623700	514950	613600	504850	638800	711170	875900
Tecnico	13000	29500	23000	29500	23000	29503	34300	45000
Totale complessivo	431850	667400	552150	657300	542050	682503	769670	952600

6.3 Costi di esercizio

6.3.1 Premesse

Per il funzionamento degli impianti di climatizzazione ed illuminazione l'amministrazione ogni anno deve sostenere dei costi di esercizio. Questi si compongono principalmente dei costi di/per:

- gestione;
- manutenzione;
- vettori energetici.

I costi di gestione (amministrazione interna) non sono qui considerati in quanto sostanzialmente invariati nei diversi casi. Vengono invece considerati i costi di manutenzione e per i vettori energetici.

6.3.2 Costi di manutenzione

Si tratta delle spese per gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria. Vengono quindi inclusi i costi relativi a:

- contratto manutenzione annua programmata (controllo fumi, pulizia filtri VMC e ventilconvettori);
- interventi straordinari (rotture varie o sorgenti luminose da sostituire);
- materiale sostituito (esempio: sorgenti luminose, raccordi e valvole).

Nelle seguenti Tabelle si riportano i valori relativi ai diversi edifici con i vari scenari analizzati.

Tabella 31 - Stima delle spese annuali di manutenzione (Edificio 1).

	BASE	BASE +	A (con FV)	A	B (con FV)	B	C	D	E
Controlli e verifiche	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Centrale termica	750,00	750,00	500,00	500,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Distribuzione e term.	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	250,00	0,00
VMC	0,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
Illuminazione	300,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fotovoltaico	0,00	0,00	500,00	0,00	500,00	0,00	500,00	500,00	500,00
Totale	1.950,00	2.000,00	2.250,00	1.750,00	2.100,00	1.600,00	2.100,00	1.950,00	1.700,00

Tabella 31 - Stima delle spese annuali di manutenzione (Edificio 2).

	BASE	BASE +	A (con FV)	A	B (con FV)	B	C	D	E
Controlli e verifiche	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Centrale termica	1.000,00	1.000,00	650,00	650,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Distribuzione e term.	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	300,00	0,00
VMC	0,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Illuminazione	600,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Fotovoltaico	0,00	0,00	650,00	0,00	650,00	0,00	650,00	650,00	650,00
Totale	2.700,00	2.800,00	3.100,00	2.450,00	2.850,00	2.200,00	2.850,00	2.550,00	2.250,00

Tabella 32 - Stima delle spese annuali di manutenzione (Edificio 3).

	BASE	BASE +	A (con FV)	A	B (con FV)	B	C	D	E
Controlli e verifiche	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Centrale termica	3.000,00	3.000,00	1.500,00	1.500,00	1.250,00	1.250,00	1.250,00	1.250,00	1.250,00
Distribuzione e term.	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.000,00	500,00
VMC	0,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00
Illuminazione	1.800,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Fotovoltaico	0,00	0,00	1.050,00	0,00	1.050,00	0,00	1.050,00	1.050,00	1.050,00
Totale	7.000,00	7.300,00	6.850,00	5.800,00	6.600,00	5.550,00	6.600,00	6.400,00	5.900,00

6.3.3 Costi dei vettori energetici

Si tratta dei costi di approvvigionamento dei vettori energetici impiegati dagli impianti di climatizzazione e illuminazione. Nella seguente Tabella vengono riportati i costi specifici assunti per le valutazioni.

Tabella 33 – Costo o valore dei diversi vettori energetici.

	Grandezza di riferim.	UdM	PCI	UdM	Costo spec. 1	UdM	Costo spec. 2
Gas naturale	Sm ³	kWh/Sm ³	9,59	EUR/Sm ³	0,550	EUR/kWh	0,057
Biomassa - cippato	kg	kWh/kg	3,50	EUR/kg	0,080	EUR/kWh	0,023
Biomassa – pellet	kg	kWh/kg	4,70	EUR/kg	0,280	EUR/kWh	0,060
Energia elettrica di rete	kWh	-	2,42*	EUR/kWh	0,270	EUR/kWh	0,112
Energia elettrica ceduta alla rete	kWh	-	1,00	EUR/kWh	0,050	EUR/kWh	0,050

(*) non si tratta di PCI ma bensì dei kWh primari necessari per cedere all'utenza un kWh di elettricità.

Nel seguito, il calcolo dei costi di approvvigionamento viene eseguito sulla base dei costi specifici dei vettori energetici e dei consumi di energia primaria dei singoli edifici ottenuti con le metodologie di calcolo standardizzate e richiamate dal DM "Requisiti minimi".

Tali metodologie, pensate per la classificazione energetica degli edifici, sono di tipo semi-stazionario e, notoriamente, soprattutto per le strutture del terziario, portano a una sovrastima dei consumi teorici rispetto a quelli reali, a causa della non continua occupazione degli ambienti.

La sovrastima spesso si riflette in una parallela sovrastima dei risparmi economici a seguito di interventi di risparmio energetico.

Per tale motivo, al fine di evitare valutazioni troppo ottimistiche e sulla base dell'esperienza degli autori, si è ritenuto ragionevole, ai fini delle sole valutazioni economiche, applicare una riduzione dei consumi teorici del 25%.

Tale riduzione è sostanzialmente giustificata dalla normale gestione degli impianti di riscaldamento che, nel periodo invernale, funzionano in regime ridotto nei periodi festivi.

7 Risultati

7.1 Premesse

Il calcolo dei parametri energetici, nonché le verifiche del raggiungimento dei requisiti minimi di legge per gli edifici nZEB è stato effettuato con l'ausilio di un software commerciale certificato dal CTI e basato sulla metodologia di calcolo descritta nelle UNI TS 11300, parti 1, 2 e 4 (**ALLEGATO C**).

Inoltre, si è tenuto conto dei contenuti delle nuove parti 5 e 6, unitamente ai disposti del DM "requisiti minimi" per il calcolo dell'energia primaria e dei consumi relativi all'illuminazione (**ALLEGATO D**).

Infine, si sottolinea come i consumi relativi ai trasporti di persone e cose siano stati trascurati per l'incidenza non significativa sui risultati finali, e per il fatto che coesistono sia nella situazione attuale che in quella riqualificata con minime variazioni (maggiori dettagli sono riportati nell'appendice citata).

7.2 Risultati di dettaglio sui consumi energetici per alcuni casi

7.2.1 Introduzione

Il quadro dei tutti i risultati ottenuti è riportato nel citato **ALLEGATO C**.

Di seguito, a fini puramente esemplificativi, si riportano invece i risultati di dettaglio riferiti all'Edificio 1 posizionato al centro Italia (AN) e per seguenti casi:

- BASE (riferimento con involucro conforme alle prescrizioni NZEB e impianti conformi allo *status quo*);
- BASE+ (come in caso BASE ma con illuminazione migliorata e ventilazione meccanica);
- A, caso BASE+ con caldaia a cippato nella variante con impianto fotovoltaico;
- E, caso BASE+ con impianto VRF e impianto fotovoltaico;

e riportati nelle Tabelle contenute nei paragrafi che seguono i diversi parametri energetici suddivisi per ciascun servizio, ovvero:

- riscaldamento (H);
- raffrescamento (C; comunque non considerato come ipotesi di base);
- produzione di acqua calda sanitaria (W);
- ventilazione (V);
- illuminazione (L);
- trasporto di persone o cose (T; comunque non riportato per l'esiguità dei consumi).

Osservando i risultati si nota, come atteso, quanto segue:

- Elevata incidenza sui consumi totali del servizio di riscaldamento;
- Elevata incidenza del servizio di illuminazione, una volta espressi i consumi in energia primaria;
- Incidenza del servizio di produzione di acqua calda sanitaria, probabilmente superiore ai consumi effettivi;
- Significativo contenimento dei consumi totali di energia primaria con il passaggio dal caso BASE al caso BASE+; in particolare diminuiscono i consumi per il riscaldamento, mentre i risparmi per il servizio illuminazione compensano ampiamente quelli relativi alla ventilazione.

Come anticipato, la valutazione energetica viene svolta applicando il metodo semi-stazionario proprio delle UNI 11300 e conformemente al DM "Requisiti minimi" e che la riduzione dei relativi risultati per avvicinarsi ai consumi effettivi viene applicata solo per la parte economica.

L'analisi di dettaglio estesa agli altri edifici porta, nella sostanza, alle stesse conclusioni.

7.2.2 Caso BASE

Tabella 34 – Edificio 1: Soluzione BASE, centro Italia (AN) - Energia primaria non rinnovabile annua impiegata $E_{P,NREN}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Gas naturale	28.573,60		10.150,90				38.724,50
Energia elettrica in-situ							
Energia elettrica ex-situ	6.578,20		160,07		21.481,50		28.219,80
TOTALE	35.151,80		10.310,97		21.481,50		66.944,30

Tabella 35 - Edificio 1: Soluzione BASE, centro Italia (AN) - Energia primaria rinnovabile annua impiegata $E_{P,REN}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Gas naturale							
Energia elettrica in-situ							
Energia elettrica ex-situ	1.585,51		38,58		5.177,59		6.801,69
TOTALE	1.585,51		38,58		5.177,59		6.801,69

Tabella 36 - Edificio 1: Soluzione BASE, centro Italia (AN) - Energia primaria totale annua impiegata $E_{P,TOT}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Gas naturale	28.573,60		10.150,90				38.724,50
Energia elettrica ex-situ	8.163,71		198,65		26.659,10		35.021,50
TOTALE	36.737,31		10.349,55		26.659,10		73.746,00

Tabella 37 – Edificio 1: Soluzione BASE, centro Italia (AN) - Vettori energetici impiegati.

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Gas naturale [m ³]	2.879,67		1.023,02				3.902,69
E.E. da rete [kWh]	3.373,44		82,09		11.016,20		14.471,70
E.E. prodotta in-situ [kWh]							

7.2.3 BASE+

Tabella 38 - Edificio 1: Soluzione BASE+, centro Italia (AN) - Energia primaria non rinnovabile annua impiegata $E_{P,NREN}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Gas naturale	17.710,80		10.374,60				28.085,30
Energia elettrica in-situ							
Energia elettrica ex-situ	6.371,65		160,77	3.587,22	12.619,90		22.739,50
TOTALE	24.082,45		10.535,37	3.587,22	12.619,90		50.824,80

Tabella 39 - Edificio 1: Soluzione BASE+, centro Italia (AN) - Energia primaria rinnovabile annua impiegata $E_{P,REN}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Gas naturale							
Energia elettrica in-situ							
Energia elettrica ex-situ	1.535,73		38,75	864,61	3.041,71		5.480,81
TOTALE	1.535,73		38,75	864,61	3.041,71		5.480,81

Tabella 40 - Edificio 1: Soluzione BASE+, centro Italia (AN) - Energia primaria totale annua impiegata $E_{P,TOT}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Gas naturale	17.710,80		10.374,60				28.085,30
Energia elettrica ex-situ	7.907,38		199,52	4.451,83	15.661,60		28.220,30
TOTALE	25.618,18		10.574,12	4.451,83	15.661,60		56.305,60

Tabella 41 - Edificio 1: Soluzione BASE+, centro Italia (AN) - Vettore energetico impiegati.

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Gas naturale [m³]	1.784,91		1.045,56				2.830,47
Energia elettrica da rete [kWh]	3.267,51		82,45	1.839,60	6.471,73		11.661,30

7.2.4 Soluzione A (4a) - Caldaia a biomassa e impianto fotovoltaico

Tabella 42 - Edificio 1: Soluzione A, centro Italia (AN) - Energia primaria non rinnovabile annua impiegata $E_{P,NREN}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Biomasse solide	3.624,55		1.739,53				5.364,08
Energia elettrica in-situ							
Energia elettrica ex-situ	874,46		25,77	471,29	1.774,05		3.145,57
TOTALE	4.499,01		1.765,30	471,29	1.774,05		8.509,65

Tabella 43 - Edificio 1: Soluzione A, centro (AN) Italia - Energia primaria rinnovabile annua impiegata $E_{P,REN}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Biomasse solide	14.498,20		6.958,13				21.456,30
Energia elettrica in-situ	778,83		124,48	1.597,91	5.561,96		8.063,19
Energia elettrica ex-situ	210,77		6,21	113,59	427,59		758,16
TOTALE	15.487,80		7.088,82	1.711,50	5.989,55		30.277,65

Tabella 44 - Edificio 1: Soluzione A, centro Italia (AN) - Energia primaria totale annua impiegata $E_{P,TOT}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Biomasse solide	18.122,70		8.697,66				26.820,40
Energia elettrica in-situ	778,83		124,48	1.597,91	5.561,96		8.063,19
Energia elettrica ex-situ	1.085,22		31,98	584,88	2.201,64		3.903,73
TOTALE	19.986,75		8.854,12	2.182,79	7.763,60		38.787,32

Tabella 45 - Edificio 1: Soluzione A, centro Italia (AN) - Vettori energetici impiegati.

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Biomasse solide [kg]	5.177,93		2.485,05				7.662,97
E.E. da rete [kWh]	448,44		13,22	241,69	909,77		1.613,11
E.E. prodotta in-situ [kWh]	778,83		124,48	1.597,91	5.561,96		8.063,19

Tabella 46 - Edificio 1: Soluzione A, centro Italia (AN) - Bilancio energetico impianto fotovoltaico [KWh].

E.E. da FV	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Totale	492	720	1.120	1.448	1.712	1.652	1.878	1.734	1.388	1.099	610	501	14.353
Utilizzata	492	719	870	704	699	676	686	688	688	728	610	501	8.063
Esportata			250	744	1.012	976	1.192	1.046	700	371			6.290

7.2.5 Soluzione E – Pompa di calore VRF e impianto fotovoltaico

Tabella 47 - Edificio 1: Soluzione E, centro Italia (AN) - Energia primaria non rinnovabile annua impiegata $E_{P,NREN}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Energia elettrica in-situ							
Energia elettrica ex-situ	5.234,38		2.005,32	904,34	3.357,94		11.502,00
TOTALE	5.234,38		2.005,32	904,34	3.357,94		11.502,00

Tabella 48 - Edificio 1: Soluzione E, centro Italia (AN) - Energia primaria rinnovabile annua impiegata $E_{P,REN}$ [kWh].

Vettore energetico	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Sorgente aerotermica	12.605,50		5.141,14				17.746,70
Energia elettrica in-situ	1.458,70		1.898,04	1.375,84	4.749,71		9.482,29
Energia elettrica ex-situ	1.261,62		483,33	217,97	809,35		2.772,27
TOTALE	15.325,82		7.522,51	1.593,81	5.559,06		30.001,26

Tabella 49 - Edificio 1: Soluzione E – centro Italia (AN) - Energia primaria totale annua impiegata $E_{P,TOT}$ [kWh].

Fonte energetica	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Energia aerotermica	12.605,50		5.141,14				17.746,70
Energia elettrica in-situ	1.458,70		1.898,04	1.375,84	4.749,71		9.482,29
Energia elettrica ex-situ	6.495,99		2.488,65	1.122,30	4.167,29		14.274,20
TOTALE	20.560,19		9.527,83	2.498,14	8.917,00		41.503,19

Tabella 50 - Edificio 1: Soluzione E, centro Italia (AN) - Vettori energetici impiegati [kWh].

Fonte energetica	H	C	W	V	L	T	TOTALE
Energia elettrica da rete	2.684,30		1.028,37	463,76	1.722,02		5.898,45
Energia elettrica prodotta in-situ	1.458,70		1.898,04	1.375,84	4.749,71		9.482,29

Tabella 51 - Edificio 1: Soluzione E, centro Italia – Bilancio energetico impianto fotovoltaico [kWh].

E.E. da FV	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Totale	492	720	1.120	1.448	1.712	1.652	1.878	1.734	1.388	1.099	610	501	14.353
Utilizzata	492	720	1.120	1.086	1.022	666	686	688	834	1.057	610	501	9.482
Esportata				362	690	986	1192	1.046	554	42			4.871

7.3 Valutazioni economiche

L'analisi economica viene condotta, come anticipato, attraverso l'analisi costi/benefici con le seguenti principali impostazioni:

- metodo identico a quello applicato dal MiSE per l'analisi dei costi ottimali ai fini della determinazione dei requisiti minimi;
- orizzonte temporale di 30 anni;
- tasso di attualizzazione nullo;
- consumi energetici ridotti del 25% rispetto a quelli valutati con l'applicazione delle specifiche tecniche UNI TS 11300;
- parametri economici esposti nel Capitolo 6 e particolarmente in linea con quanto rilevabile nel settore degli appalti pubblici.

L'analisi ha portato ai risultati riassunti nelle Tabelle incluse nel già citato ALLEGATO C.

Per renderli più leggibili, confrontabili tra loro e soprattutto per disporre di chiare indicazioni, sia per i progettisti che intendono sviluppare delle progettualità nel campo specifico degli edifici scolastici, sia per individuare possibili aspetti migliorativi delle attuali prescrizioni, si è ritenuto indispensabile definire degli indicatori sintetici di valutazione.

In particolare, si è posta l'attenzione sul:

- *costo del kWh speso*, ovvero il costo specifico dell'energia in termini assoluti;
- *valore del kWh risparmiato*¹⁹ (€/kWh) calcolato come rapporto da VAN di una determinata soluzione ed energia risparmiata;
- *costo specifico dell'approvvigionamento energetico*, ovvero costo dell'energia per unità di superficie servita (€/m²).

Nel secondo caso è stato preso come confronto sia l'edificio BASE che quello BASE+ come illustrato a livello grafico nella **Figura 13**.

Il valore del kWh risparmiato presenta, nella presente applicazione, le seguenti particolarità:

- il kWh di riferimento è espresso in termini di energia primaria; ciò si rende necessario per la commistione, nei consumi totali, di energia da combustibili fossili e/o rinnovabili ed energia elettrica;
- conseguentemente, il calcolo risente dell'influenza dei fattori di conversione in energia primaria (in questa sede sono stati utilizzati quelli fissati dal DM "Requisiti minimi"²⁰) il che rende un eventuale confronto con il costo specifico dei vettori energetici convenzionali meno immediato anche se sempre significativo soprattutto in questa sede (come si vede più avanti).

¹⁹ Da non confondere con il *costo del kWh risparmiato*, parametro utilizzato frequentemente nel passato recente nel campo del risparmio energetico. La differenza è che il parametro proposto viene calcolato come rapporto tra VAN del flusso di cassa (che considera investimenti, costi ed eventuali entrate come quelle generate dalla vendita di energia elettrica prodotte dal campo fotovoltaico, se presente, in eccesso alla rete) ed energia risparmiata, mentre il secondo dal rapporto tra i soli costi ed energia risparmiata.

²⁰ Come noto i coefficienti di conversione in energia primaria imposti dal DM sono di più natura "programmatica" (ovvero politica) e non di natura "fisica" (come potrebbe derivare da analisi del tipo LCA) e quindi tengono conto della volontà del decisore pubblico di spingere alcune fonti energetiche rispetto ad altre.

Gli indici calcolati sono riportati nelle **Tabelle 51-54**. Il segno negativo indica che si tratta di “costi”. L’eventuale segno positivo indica bilanci economici positivi. Nel seguito vengono discusse alcune risultanze.

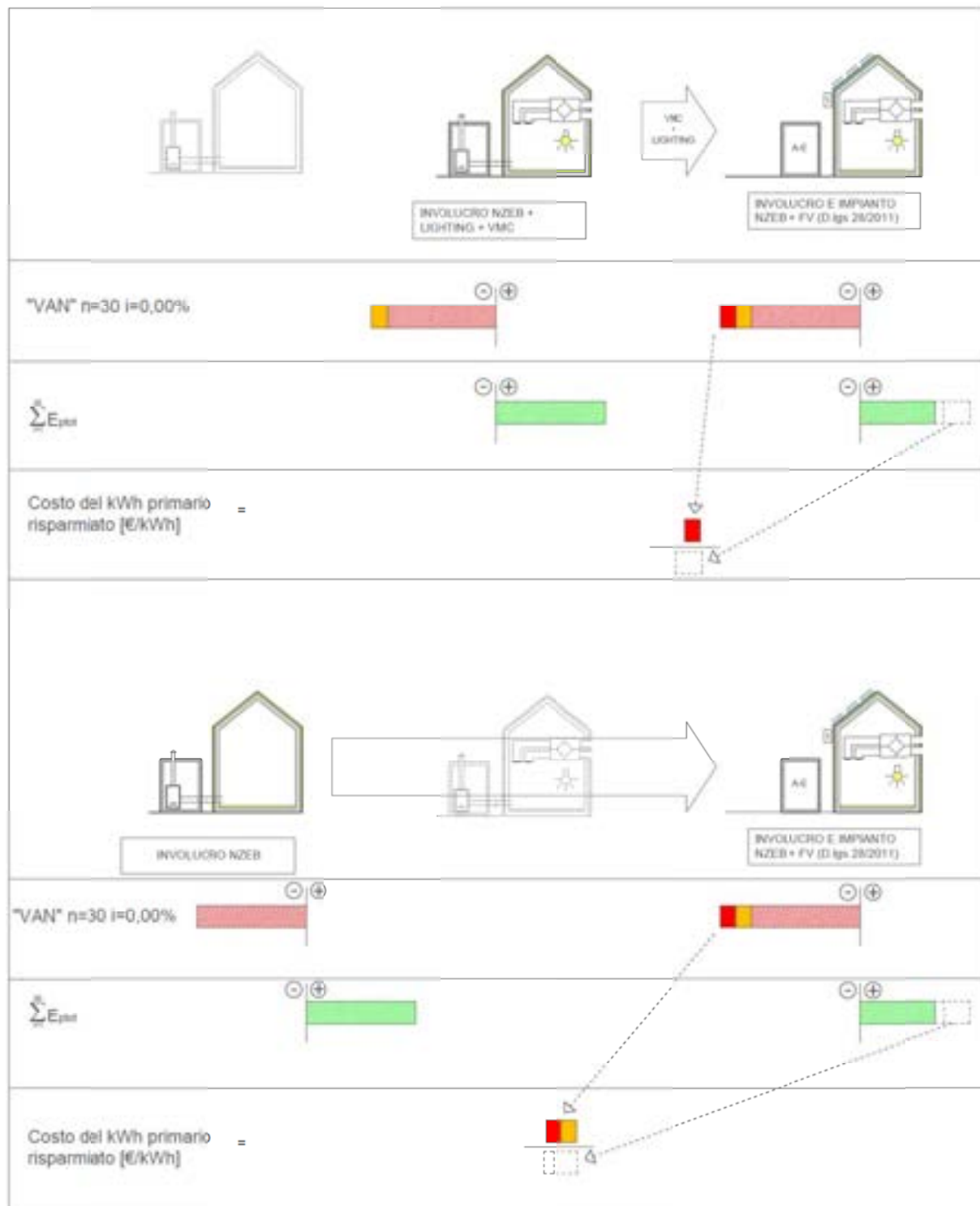


Figura 13 – Rappresentazione grafica del calcolo del valore dell’energia primaria risparmiata rispetto al caso BASE (sotto) e al caso BASE+ (sopra). Le porzioni di colore rosso e giallo rappresentano rispettivamente il risparmio derivante dall’applicazione della specifica soluzione impiantistica (casi A, B, C, D e E) e quello derivante dall’applicazione della illuminazione efficiente

(lighting) e della ventilazione meccanica controllata (VMC). Si rammenta che sia il caso BASE che il caso BASE+ sono caratterizzati da un impianto termico “medio” rappresentativo dello status quo e da un involucro conforme alla normativa NZEB.

Con riferimento alla **Tabella 51** (*costo specifico assoluto dell'energia totale*) si osserva che:

- il costo specifico assoluto è di per sé stesso significativo ma potrebbe essere fuorviante in quanto non è rappresentativo del costo totale dell'approvvigionamento energetico (di interesse primario per il progettista e/o l'amministratore). Di fatto, quest'ultimo dipende anche dal consumo energetico assoluto dell'edificio che varia notevolmente per le diverse soluzioni prese in esame;
- nel caso BASE il costo specifico dell'energia primaria varia tra 7 e 9 c€/kWh;
- nel caso BASE+ lo stesso parametro varia tra 11 e 15 c€/kWh, quindi sensibilmente di più rispetto al caso precedente. Nel valutare questo aspetto si deve tuttavia considerare che per il caso BASE+ i consumi energetici già diminuiscono (di circa il 30%) a fronte di investimenti importanti. Ciò porta ad aumentare il peso dei costi sul kWh;
- tutte le soluzioni impiantistiche analizzate (soluzioni da A ad E) sono caratterizzate da costi specifici o sostanzialmente identici al caso BASE+ o superiori. Tuttavia questi aspetti sono meglio evidenziati nelle tabelle seguenti.

La Tabella in esame, quindi, è soprattutto utile per fissare i costi specifici dell'energia nei casi BASE e BASE+.

Con riferimento alla **Tabella 52** (*valore specifico dell'energia risparmiata rispetto al caso BASE*) si osserva che:

- in generale, *questo tipo di rappresentazione, anche se probabilmente di non immediata lettura, evidenzia chiaramente quali siano le soluzioni convenienti sotto il profilo economico*;
- infatti, *introducendo degli interventi migliorativi ci si aspetterebbe dei valori positivi, ovvero generati da VAN positivi del flusso di cassa*;
- viceversa, *valori negativi dell'energia risparmiata stanno ad indicare un aumento dei costi*. In altri termini: un valore negativo dell'energia risparmiata è indice di maggiore spesa rispetto a caso di riferimento, ovvero sono generati da VAN negativi a fronte di un certo risparmio energetico (sempre positivo);
- valori nulli o quasi nulli dell'energia risparmiata evidenziano una situazione di indifferenza economica rispetto al caso di riferimento;
- in generale, *i casi più desiderabili dovrebbero essere caratterizzati da valori dell'energia risparmiata positivi e più elevati possibile*. Valori che tendono a zero stanno ad indicare tempi di ritorno degli investimenti lunghi (ovvero tendenti ai 30 anni), viceversa, ritorni relativamente rapidi;
- *l'introduzione della illuminazione efficiente e della VMC (caso BASE+) già porta a dei valori negativi, il che sta ad indicare che i due interventi non generano un risparmio economico se gli investimenti richiesti vengono “scaricati” sul solo risparmio energetico*;
- le varie soluzioni impiantistiche (da A ad E) sono tutte caratterizzate da valori dell'energia risparmiata negativi, al più nulli;
- le soluzioni “meno costose” risultano quelle che si basano sull'uso di biomassa.

La Tabella, quindi, indica chiaramente come tutte le soluzioni, se confrontate con la situazione iniziale (caso BASE) portino a un aggravio dei costi di gestione con l'eccezione della soluzione A (caldaia a cippato) applicata all'edificio 3 (scuola di grandi dimensioni).

A tale risultato contribuisce (come già visto) anche il fatto che la valutazione economica viene condotta su fabbisogni energetici ridotti (circa il 50%) rispetto allo *status quo*, per via dell'adozione dell'involucro NZEB.

Con riferimento alla **Tabella 53** (*valore specifico dell'energia risparmiata rispetto al caso BASE+*) si osserva, oltre agli aspetti generali evidenziati per la Tabella 52, che:

- l'esclusione degli investimenti relativi all'*illuminazione efficiente e della VMC (caso BASE+)* porta a un miglioramento generalizzato dei valori dell'energia risparmiata;
- alcuni interventi risultano convenienti; infatti si verificano dei valori positivi, in linea indicativa per gli edifici di superficie maggiore (2 e 3) e per quelli situati al nord, caratterizzati da consumi energetici maggiori.

La Tabella, quindi, mette in luce il significativo miglioramento delle prestazioni economiche delle varie soluzioni se si considerano i soli investimenti delle tecnologie basate sull'impiego delle biomasse e della pompa di calore.

Tabella 51 - Rapporto tra VAN ed energia primaria $E_{p,gl}$, nelle diverse configurazioni impiantistiche (30 anni; $i=0\%$) [€/kWh].

Edificio	Località climatica	BASE	BASE+	A (cippato) con FV	A (cippato)	B (pellet) con FV	B (pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF+FV)
Ed. 1 (827 m ²)	MI	-0,08	-0,12	-0,15	-0,13	-0,17	-0,14	-0,15	-0,17	-0,18
	AN	-0,09	-0,13	-0,18	-0,15	-0,19	-0,16	-0,17	-0,19	-0,22
	RC	-0,10	-0,15	-0,22	-0,18	-0,23	-0,18	-0,22	-0,25	-0,28
Ed. 2 (1826 m ²)	MI	-0,08	-0,11	-0,12	-0,11	-0,13	-0,12	-0,12	-0,13	-0,15
	AN	-0,08	-0,12	-0,14	-0,13	-0,15	-0,14	-0,14	-0,15	-0,17
	RC	-0,09	-0,13	-0,17	-0,14	-0,18	-0,15	-0,16	-0,18	-0,20
Ed. 3 (9392 m ²)	MI	-0,07	-0,11	-0,10	-0,09	-0,12	-0,11	-0,11	-0,12	-0,13
	AN	-0,07	-0,12	-0,12	-0,11	-0,13	-0,12	-0,12	-0,13	-0,14
	RC	-0,08	-0,13	-0,17	-0,15	-0,18	-0,15	-0,14	-0,15	-0,17

Tabella 52 - Rapporto tra VAN e risparmio energia primaria totale (VAN/ ΔE) nelle diverse configurazioni impiantistiche (30 anni; $i=0\%$) [c€/kWh]. RIFERIMENTO: caso BASE.

Edificio	Località climatica	BASE	BASE+	A (cippato) con FV	A (cippato)	B (pellet) con FV	B (pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF+FV)
Ed. 1 (827 m ²)	MI	0,0	-3,2	-0,2	-2,1	-2,0	-4,5	-7,7	-8,8	-7,0
	AN	0,0	-5,1	-0,9	-3,9	-2,3	-6,0	-6,4	-8,1	-7,5
	RC	0,0	-9,2	-1,8	-8,1	-2,7	-9,6	-5,3	-7,6	-8,0
Ed. 2 (1826 m ²)	MI	0,0	-10,4	-1,5	-9,1	-5,0	-15,8	-15,3	-16,3	-12,9
	AN	0,0	-14,2	-1,8	-10,3	-4,0	-14,5	-10,6	-13,1	-12,9
	RC	0,0	-22,5	-2,3	-17,7	-3,8	-21,3	-7,3	-10,2	-11,9
Ed. 3 (9392 m ²)	MI	0,0	-12,7	1,0	-2,5	-1,7	-7,4	-9,7	-10,4	-10,2
	AN	0,0	-19,6	0,3	-10,8	-1,8	-15,4	-6,4	-7,9	-9,2
	RC	0,0	-93,0	0,0	-13,8	-0,7	-15,4	-5,8	-7,8	-10,0

Con riferimento alla **Tabella 54** (costo dell'energia assoluto per unità di superficie) si osserva che:

- il parametro scelto è probabilmente più immediato in quanto rappresenta la spesa energetica assoluta per m² di superficie nell'intero periodo considerato. *Tuttavia, una diminuzione dei costi non comporta necessariamente un ammortamento dei costi sostenuti; queste situazioni, quindi, non indicano se una determinata soluzione sia conveniente o meno.* Si rammenta che il calcolo è stato effettuato con un tasso di attualizzazione nullo, viceversa gli importi sarebbero inferiori. Inoltre il segno negativo indicata che di tratta di una "spesa";
- sono desiderabili quelle situazioni che portano a una diminuzione del modulo dei valori;
- salvo in tre casi relativi alla soluzione A con fotovoltaico applicata all'edificio 3, i costi assoluti diminuiscono.

La Tabella viene presentata anche in valori percentuali, riferiti sia al caso BASE (**Tabella 55**) che al caso BASE+ (**Tabella 56**) e dove vengono evidenziate le soluzioni apparentemente più interessanti.

Tabella 53 - Rapporto tra VAN e risparmio energia primaria totale (VAN/ ΔE) nelle diverse configurazioni impiantistiche (30 anni; i=0%) [c€/kWh]. RIFERIMENTO: caso BASE+. Valori elevati del modulo del rapporto VAN/ ΔE non sono da ritenere significativi (pur rimanendo utili a livello di tendenza) in quanto vengono generati da ΔE piccoli se confrontati con il consumo energetico assoluto.

Edificio	Località climatica	BASE	BASE+	A (cippato) con FV	A (cippato)	B (pellet) con FV	B (pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF+FV)
Ed. 1 (827 m ²)	MI	-	0,0	3,6	2,2	-0,4	-9,1	-31,4	-26,0	-13,3
	AN	-	0,0	3,3	-0,6	0,5	-8,5	-8,9	-12,9	-10,4
	RC	-	0,0	3,2	-5,7	1,7	-10,6	-1,8	-6,2	-7,2
Ed. 2 (1826 m ²)	MI	-	0,0	7,9	30,9	0,7	-177,7	-76,0	-41,0	-16,5
	AN	-	0,0	6,0	0,2	2,4	-15,2	-4,5	-11,6	-11,7
	RC	-	0,0	6,0	-7,0	3,8	-18,7	2,6	-2,7	-6,6
Ed. 3 (9392 m ²)	MI	-	0,0	11,3	32,6	6,6	11,0	3,4	-3,5	-6,0
	AN	-	0,0	10,6	13,7	7,3	-3,7	7,9	3,8	-0,9
	RC	-	0,0	8,0	4,0	7,3	2,0	9,1	6,3	2,2

Tabella 54 - Rapporto tra VAN e superficie utile calpestabile nelle diverse configurazioni impiantistiche (30 anni - i=0%) [€/m²]. Valori assoluti.

Edificio	Località climatica	BASE	BASE+	A (cippato) con FV	A (cippato)	B (pellet) con FV	B (pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF+FV)
Ed. 1 (827 m ²)	MI	-258,17	-283,61	-261,24	-278,81	-285,85	-303,42	-330,47	-349,23	-345,62
	AN	-237,57	-269,74	-248,72	-271,00	-266,27	-288,55	-298,18	-320,18	-325,62
	RC	-210,36	-251,02	-230,42	-262,15	-240,08	-271,81	-259,89	-284,54	-296,43
Ed. 2 (1826 m ²)	MI	-201,08	-243,14	-212,77	-239,03	-240,52	-266,78	-267,88	-282,14	-288,65
	AN	-183,58	-229,36	-198,68	-229,15	-216,96	-247,43	-237,87	-254,95	-269,31
	RC	-164,83	-215,08	-182,32	-222,12	-194,00	-233,80	-206,14	-224,68	-244,16
Ed. 3	MI	-131,30	-169,03	-124,73	-140,98	-143,29	-159,54	-166,67	-172,44	-179,60

(9392 m ²)	AN	-120,44	-161,85	-118,50	-151,39	-131,76	-164,65	-146,54	-153,80	-164,23
	RC	-103,71	-152,26	-103,49	-143,01	-108,13	-147,65	-124,33	-132,42	-144,45

Tabella 55 - Rapporto tra VAN e superficie utile calpestabile nelle diverse configurazioni impiantistiche (30 anni - i=0%). Valori percentuali relativi al caso BASE.

Edificio	Località climatica	BASE	BASE+	A (cippato) con FV	A (cippato)	B (pellet) con FV	B (pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF+FV)
Ed. 1 (827 m ²)	MI	100%	+10%	+1%	+8%	+11%	+18%	+28%	+35%	+34%
	AN	100%	+14%	+5%	+14%	+12%	+21%	+26%	+35%	+37%
	RC	0%	+19%	+10%	+25%	+14%	+29%	+24%	+35%	+41%
Ed. 2 (1826 m ²)	MI	100%	+21%	+6%	+19%	+20%	+33%	+33%	+40%	+44%
	AN	100%	+25%	+8%	+25%	+18%	+35%	+30%	+39%	+47%
	RC	100%	+30%	+11%	+35%	+18%	+42%	+25%	+36%	+48%
Ed. 3 (9392 m ²)	MI	100%	+29%	-5%	7%	9%	+22%	+27%	+31%	+37%
	AN	100%	+34%	-2%	26%	9%	+37%	+22%	+28%	+36%
	RC	100%	+47%	0%	38%	4%	+42%	+20%	+28%	+39%

Tabella 56 - Rapporto tra VAN e superficie utile calpestabile nelle diverse configurazioni impiantistiche (30 anni - i=0%). Valori percentuali riferiti al caso BASE+.

Edificio	Località climatica	BASE	BASE+	A (cippato) con FV	A (cippato)	B (pellet) con FV	B (pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF+FV)
Ed. 1 (827 m ²)	MI	-	100%	-8%	-2%	1%	+7%	+17%	+23%	+22%
	AN	-	100%	-8%	0%	-1%	+7%	+11%	+19%	+21%
	RC	-	100%	-8%	+4%	-4%	+8%	+4%	+13%	+18%
Ed. 2 (1826 m ²)	MI	-	100%	-12%	-2%	-1%	+10%	+10%	+16%	+19%
	AN	-	100%	-13%	0%	-5%	+8%	+4%	+11%	+17%
	RC	-	100%	-15%	+3%	-10%	+9%	-4%	+4%	+14%
Ed. 3 (9392 m ²)	MI	-	100%	-26%	-17%	-15%	-6%	-1%	+2%	+6%
	AN	-	100%	-27%	-6%	-19%	+2%	-9%	-5%	+1%
	RC	-	100%	-32%	-6%	-29%	-3%	-18%	-13%	-5%

8 Considerazioni finali

Le principali conclusioni e deduzioni sono raccolte nel Capitolo 2.

Di seguito ci si limita ad osservare che:

- Con le ipotesi introdotte (la principale è quella di basare i vari confronti sugli edifici esistenti ma con involucro conforme ai requisiti nZEB nel tentativo di mettere in luce il ruolo degli impianti) è arduo trovare delle giustificazioni economiche di carattere tradizionale alla trasformazione degli edifici scolastici in NZEB ai sensi del DM “requisiti minimi”;
- Il quadro migliora significativamente se dal conto economico vengono tolti gli investimenti relativi alla riqualificazione della illuminazione e alla ventilazione meccanica controllata. In effetti, osservando quanto succede nella pratica è possibile constatare come questi interventi vengano spesso proposti per il miglioramento del benessere, indipendentemente dai potenziali vantaggi energetici che possono offrire;
- I tempi di ritorno qui considerati (30 anni), al di là dell’influenza del tasso di attualizzazione sui risultati, sono considerati dal mercato nazionali molto lunghi e inaccettabili se utilizzati nell’ambito di progetti . In altri termini: il risparmio energetico non può essere percepito, in un quadro razionale, come una ragione sufficiente per promuovere gli interventi di riqualificazione.

Volendo dare delle indicazioni ai progettisti e amministratori che intendano trasformare gli attuali edifici scolastici dal punto di vista impiantistico in nZEB, la scala di “convenienza” è la seguente (in ordine decrescente):

3. Conversione degli attuali impianti di riscaldamento a combustibile fossile a impianti a biomassa, ove le normative sulla qualità dell’aria lo consentono. La preferenza va data ad impianti assistiti dal fotovoltaico, come peraltro imposto dal D.lgs. 28/11;
4. Conversione degli attuali impianti di riscaldamento a combustibile fossile a impianti a pompa di calore utilizzanti, come pozzo freddo, aria ambiente. Nel caso che i lavori edili di interesse dell’impianto di distribuzione e dei terminali riscaldanti debbano essere seguiti appositamente, la preferenza va data ad impianti con pompa di calore ad alta temperatura. Viceversa, a quelle a media temperatura o del tipo VRF. In ogni caso gli impianti vanno assistiti dal fotovoltaico.

Va da sé che in caso di presenza di rete di teleriscaldamento (non importa la fonte energetica utilizzata dal produttore di calore) la scelta deve considerare chiaramente, sempre sulla base di considerazioni economiche razionali, il relativo allaccio per via dei costi ridotti di investimento e per la possibilità, offerta dalla legge, di trascurare il vincolo del 55% di rinnovabile.

9 Riferimenti bibliografici

- [1] DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=IT>
- [2] Rapporto RIUS003 – Ristrutturazione edilizia – Riqualificazione energetica – rigenerazione urbana – Estratto della ricerca CRESME – 24 febbraio 2014
- [3] DECRETO 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. (15A05198) (GU Serie Generale n.162 del 15-7-2015 - Suppl. Ordinario n. 39) – <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2015/07/15/15A05198/sg>
- [4] DECRETO 26 giugno 2015 - Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. (15A05200) (GU Serie Generale n.162 del 15-7-2015 - Suppl. Ordinario n. 39) - <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2015/07/15/15A05200/sg>
- [5] Decreto Legislativo 3 marzo 2011 n. 28 - 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. <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2011/03/28/011G0067/sg>
- [6] UNI EN 12464-1 Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro Parte 1: Posti di lavoro in interni
- [7] UNI EN 15193 Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione
- [8] prUNI/TS 11300-6 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili
- [9] UNI EN 12831 - Impianti di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto
- [10] UNI 10339 - Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura
- [11] REGOLAMENTO DELEGATO (UE) N. 244/2012 DELLA COMMISSIONE del 16 gennaio 2012 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi.
- [12] 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
- [13] UNI/TS 11300-2:2014 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
- [14] UNI/TS 11300-4:2012 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

10 ALLEGATO A – Sintesi sulle caratteristiche degli edifici ad uso scolastico²¹

Sul territorio nazionale sono presenti circa 52.000 edifici a esclusivo o prevalente uso scolastico. Il 30% di tali edifici è concentrato nelle 10 province più grandi (le prime tre sono Roma, Milano e Napoli). Oltre la metà (51%) è distribuita in 24 province. Circa il 29% si trova in comuni di piccola dimensione demografica (fino a 5 mila abitanti) e altrettanti nei comuni di dimensione medio - piccola.

La superficie coperta è pari a 73,2 milioni di m² pari ad una volumetria di 256,4 milioni di m³.

Il patrimonio immobiliare scolastico è vetusto; infatti, più del 60% degli edifici risale a prima del 1974 mentre il 7,97% è stato costruito negli ultimi venti anni (**Tabella A1**).

Gli edifici non sempre sono fabbricati concepiti sin dalla loro progettazione per l'attuale destinazione d'uso. In **Tabella A2** è fornita una suddivisione per nord, centro, sud e isole in relazione alle caratteristiche di classificazione generale del fabbricato così come concepito sin dalla progettazione architettonica. Tale aspetto non è trascurabile poiché, tipologie, tecnologie costruttive e materiali sono spesso collegati a destinazioni d'uso specifiche.

Tabella A1 - Anno di realizzazione degli edifici ad uso scolastico. Situazione nazionale (Fonte: Legambiente).

Edifici realizzati prima del 1900	4,97%
Edifici realizzati tra il 1900 e il 1940	17,01%
Edifici realizzati tra il 1940 e il 1974	40,10%
Edifici realizzati tra il 1974 e il 1990	29,95%
Edifici realizzati tra il 1990 e il 2009	7,97%

Tabella A2 - Collocazione, sul territorio nazionale, degli edifici ad uso scolastico (Fonte: Legambiente).

	<i>Nord</i>	<i>Centro</i>	<i>Sud</i>	<i>Isole</i>
Edifici ad uso scolastico	2.586	862	1.245	898
Edifici realizzati prima del 1900	6,58%	2,93%	1,11%	1,46%
Edifici realizzati tra il 1900 ed il 1940	21,97%	9,27%	6,47%	10,40%
Edifici realizzati tra il 1940 ed il 1974	37,25%	39,93%	49,38%	32,69%
Edifici realizzati tra il 1974 ed il 1990	26,47%	37,54%	32,23%	41,88%
Edifici realizzati tra il 1990 ed il 2009	7,73%	8,67%	10,81%	13,57%

Tabella A3 - Edifici scolastici. Caratteristiche generali degli edifici che ospitano le funzioni.

	<i>Nord</i>	<i>Centro</i>	<i>Sud</i>	<i>Isole</i>
Edifici scolastici nate come abitazioni	1,75%	2,41%	2,15%	10,26%
Edifici scolastici nate come caserme	0,41%	0,00%	0,00%	0,00%
Edifici scolastici nate come scuole	89,64%	94,16%	95,49%	82,70%
Edifici scolastici in edifici storici	7,42%	2,27%	2,09%	5,32%
Edifici scolastici nate come altra destinazione d'uso	0,79%	1,17%	0,27%	1,75%

Dal rapporto sul riuso del CRESME (2014) è possibile rilevare le diverse caratteristiche costruttive.

Aspetti strutturali

- **Dimensioni:** il 39% degli edifici ha una dimensione compresa tra i 1.000 e 3.000 m², con una superficie media di 1.819 m². Il 43% circa degli edifici si divide tra 3 classi di superfici: il 16% ha una superficie compresa tra 751 a 1.000 m² (media 899 m²), il 14% tra 501 e 750 m² (media 631 m²) e il

²¹ Con la collaborazione di Giovanni Murano

13% tra 351 e 500 m² (media 435 m²).

- **Numero dei fabbricati:** Le scuole collocate all'interno di un unico edificio sono l'83% e il restante 17% sono complessi di più edifici.
- **Continuità dei fabbricati:** il 77% dei fabbricati è completamente isolato, il 13% è contiguo su due o più lati con altri fabbricati e il 10% è contiguo su un unico lato. La grande maggioranza degli edifici è totalmente utilizzato (l'87%) e l'11% lo è soltanto parzialmente.
- **Tecnologie costruttive:** si ha una netta prevalenza di strutture miste in cemento armato e muratura che rappresentano il 67% del totale, a cui seguono la muratura portante in pietra e mattoni (15%) e la muratura portante in laterizio (14%). Soltanto il 2% degli edifici ha una struttura portante in cemento armato e pannelli prefabbricati.
- **Sviluppo sui piani f.t.:** oltre il 51% degli edifici si sviluppa per 2 piani fuori terra e quasi il 55% delle strutture non ha elevatori meccanici. In media si hanno 1,6 scale interne ogni edificio, 1,2 scale esterne e 1,4 scale di sicurezza.

Aspetti tecnologici

- **Presenza di aperture:** Il 12% degli edifici ha locali con una sola finestra mentre il 88% ha 2 o più finestre (rispettivamente 50% e 38%).
- **Tipologia dei serramenti esterni (telaio):** il telaio è prevalentemente in alluminio (63,8%) seguito dal legno (22,7%), dall'acciaio (5,2%) e dal PVC (6,3%).
- **Tipologia dei serramenti esterni (vetri):** il 68% delle finestre montano il doppio vetro, il 30% il vetro semplice, il 2,4% il triplo vetro.
- **Dimensioni delle aperture:** il 22% delle finestre ha una superficie compresa fra 2,5 e 3,5 m² e il 19% fra 3,5 e 5m²; il 38% delle finestre ha dimensione compresa tra 1 e 2,5 m².
- **Rapporto aero-illuminante:** nel 55% degli edifici il rapporto tra superficie vetrata e superficie dell'aula supera il 20%, nel 36,8% degli edifici è compreso tra 12% e 20% e nell'8,1% è inferiore al 12%.
- **Presenza di aggetti esterni e schermi:** Soltanto il 6% degli edifici possiede aggetti esterni fissi e/o mobili mentre il 51% è dotato di schermi esterni (persiane, avvolgibili) e il 53% di schermi interni (tende, veneziane).

Aspetti impiantistici

- **Combustibile utilizzato per il riscaldamento:** Il 97% degli edifici ha un impianto di riscaldamento di tipo tradizionale. Il combustibile maggiormente impiegato è il gas (73%) seguito dal gasolio e olio combustibile (24%).
- **Sistema di distribuzione:** i tubi del circuito di distribuzione sono prevalentemente in traccia (87%).
- **Sistema di emissione dell'aria (terminali):** è costituito essenzialmente da radiatori (93%) con una minima percentuale di fan-coil (4,4%) e di pannelli radianti (3,2%).
- **Sistema di regolazione:** Il 61% degli edifici possiede un unico sistema di regolazione della temperatura per l'intero edificio e soltanto il 12% ne ha uno in ogni stanza, mentre l'8% ne dispone uno in ogni piano.
- **Impianto di climatizzazione estiva:** nel 79% degli edifici non è presente l'impianto di climatizzazione, nel 19% degli edifici è presente ma separato dal generatore principale e nel 2% è integrato nel generatore principale. Gran parte degli impianti di condizionamento sono fissi – split – (85%) e soltanto il 2% sono mobili, l'11% degli edifici utilizza pompe di calore.

La qualità energetica degli edifici

La regione che ha certificato più edifici ad uso scolastico (categoria E.7 come da D.P.R. 412/1993) è la Lombardia. Essa mette a disposizione tramite "*archivio OpenData*" i dati riferiti agli attestati di prestazione energetica degli edifici depositati presso il CEER. È possibile quindi ricavare informazioni inerenti la qualità energetica dei fabbricati censiti.

Tabella A3 - Regione Lombardia. Caratteristiche termoenergetiche medie di un campione di edifici pubblici ad uso scolastico"
Fonte: elaborazione di dati CEER)

	UM	prima del 1930	1930- 1945	1946- 1960	1961- 1976	1977- 1992	1993- 2006	dopo il 2006
Numero casi	[-]	76	51	69	283	212	87	132
Superficie lorda media	[m ²]	2733	2267	2774	3041	2834	2661	1581
Superficie netta media	[m ²]	2086	1869	2318	2610	2465	2296	1315
Volume lordo medio	[m ³]	11146	9723	11466	11714	11164	10948	6490
Volume netto medio	[m ³]	7949	7389	8767	9060	8776	8490	4662
Superficie disperdente media	[m ²]	4120	3777	4445	4974	4991	4465	2933
Rapporto medio sup. vetrata / sup. opaca	[m ² /m ²]	0,094199	0,25427	0,11144	0,13172	0,10712	0,10507	0,100203
U _{media} dell'involucro	[W/m ² K]	1,38	1,25	1,22	1,25	1,13	0,80	0,48
U _{media} della copertura	[W/m ² K]	1,25	1,36	1,10	1,24	1,11	0,78	0,42
U _{media} del basamento	[W/m ² K]	1,44	1,40	1,19	1,35	1,23	0,96	0,46
U _{media} dei serramenti	[W/m ² K]	3,57	3,59	3,36	3,91	3,83	3,15	2,13
EP _H medio	[kWh/m ³]	84,29	73,79	75,33	80,81	74,72	59,06	28,98
ET _H medio	[kWh/m ³]	60,48	53,85	48,95	58,29	57,34	46,01	29,82
ET _C medio	[kWh/m ³]	44,52	6,71	4,78	6,91	5,90	5,76	6,12
E _{FER} medio	[kWh/m ³]	0,27	0,30	0,77	0,95	1,15	1,98	3,55
Emissioni medie di CO ₂	[Kg CO _{2eq} / m ³]	16,91	14,70	15,35	16,12	14,76	11,66	5,75
EPW medio	[kWh/m ³]	132,04	17,67	14,55	17,81	15,74	20,09	8,42
EPT medio	[kWh/m ³]	216,33	91,46	89,88	98,62	90,46	79,15	37,40
Efficienza globale riscaldamento	per [-]	0,74	0,77	0,77	0,77	0,80	0,87	1,35
Efficienza globale acs	per [-]	0,28	0,29	5,45	0,35	0,36	0,47	1,36
EGHw medio	[kWh/m ³]	0,66	0,68	0,72	0,69	0,73	0,73	1,13

11 ALLEGATO B – Informazioni sugli edifici reali scelti per la definizione degli edifici “tipo”

11.1 Edificio 1 – Scuola elementare del Comune di Urbisaglia (MC)

Di seguito vengono riportate piante, prospetti e sezioni dell’edificio analizzato.

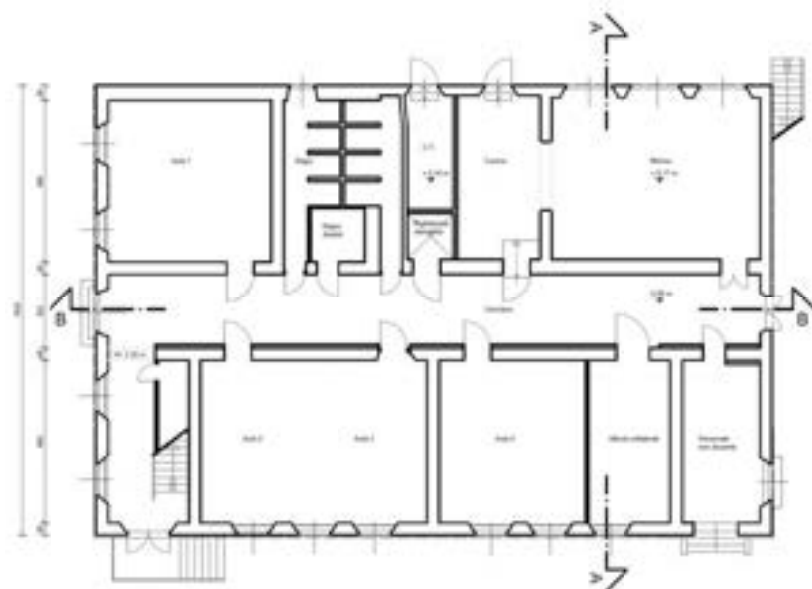


Figura B1 - Edificio 1 - Pianta piano terra.

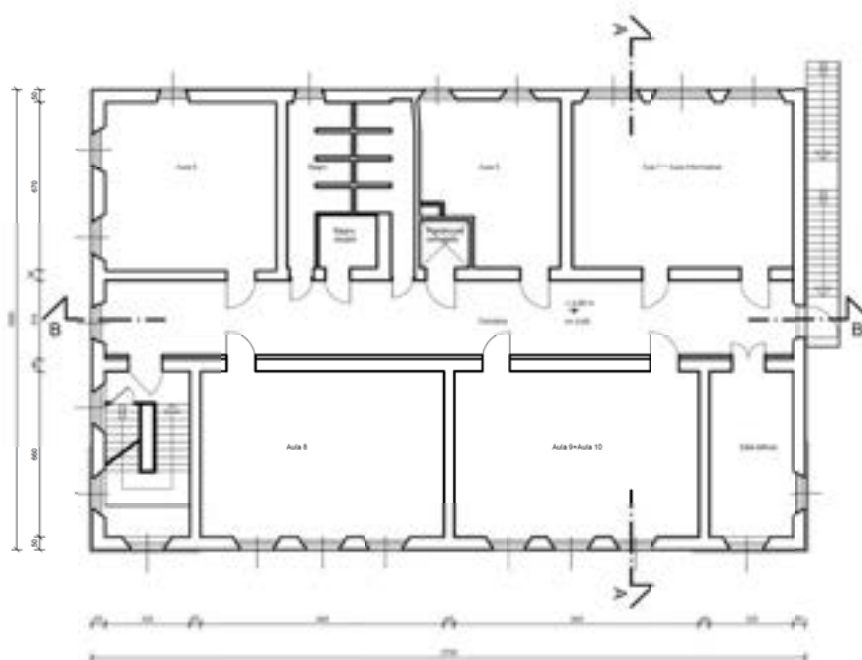


Figura B2 - Edificio 1 - Pianta piano primo.



Figura B3 - Edificio 1 - Prospetto est.



Figura B4 - Edificio 1 - Prospetto ovest.



Figura B5 - Edificio 1 - Prospetto nord.



Figura B6 - Edificio 1 - Prospetto sud.

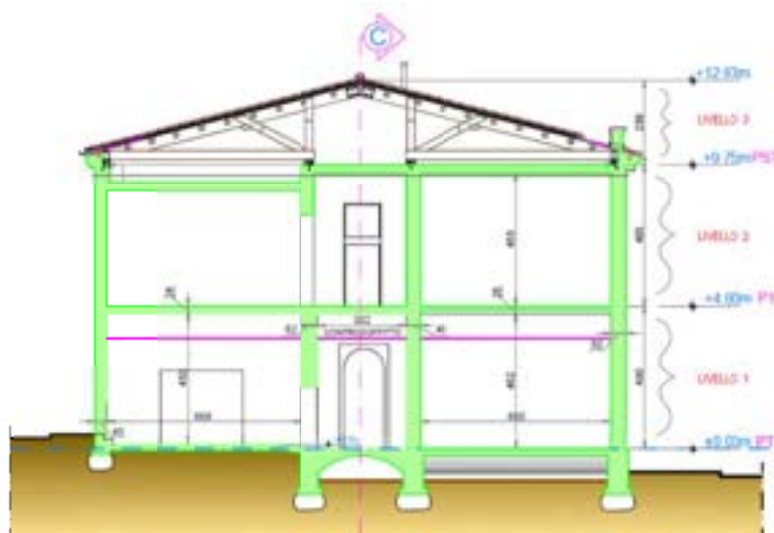


Figura B7 - Edificio 1 - Sezione A-A'.

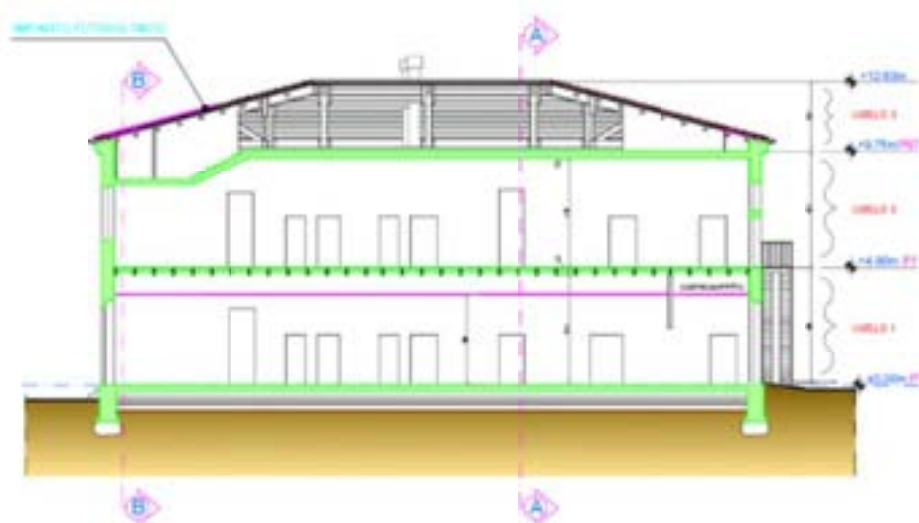


Figura B8 - Edificio 1 - Sezione B-B'.

11.2 Edificio 2 - Scuola Media del Comune di Potenza Picena (MC)

Di seguito vengono riportate piante, prospetti e sezioni dell'edificio analizzato.



Figura B9 - Edificio 2 - Pianta piano sottostrada.



Figura B10 - Edificio 2 - Pianta piano terra.



Figura B11 - Edificio 2 - Pianta piano primo.



Figura B12 - Figura 14 Edificio 2 - Prospetto est.



Figura B13 - Edificio 2 - Prospetto ovest.



Figura B14 - Edificio 2 - Prospetto nord.



Figura B15 - Edificio 2 - Prospetto sud.

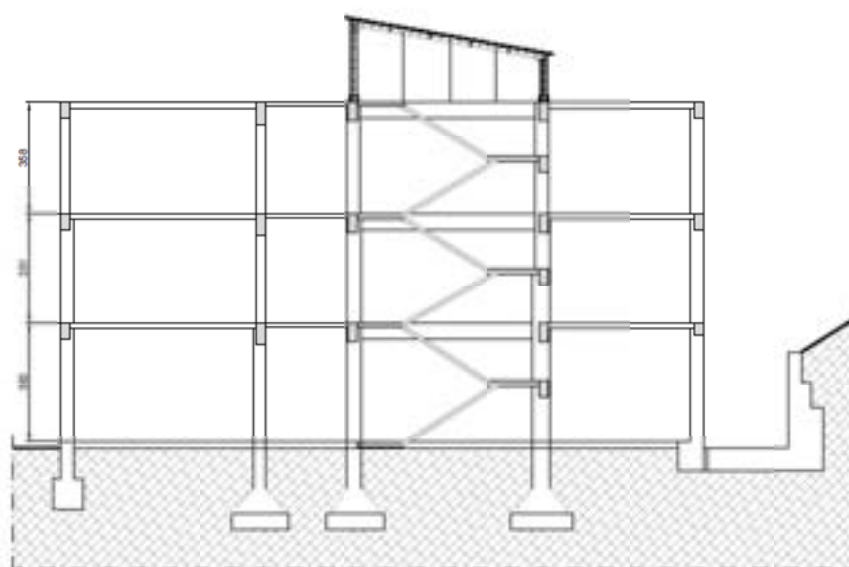


Figura B16 - Edificio 2 - Sezione A-A'.

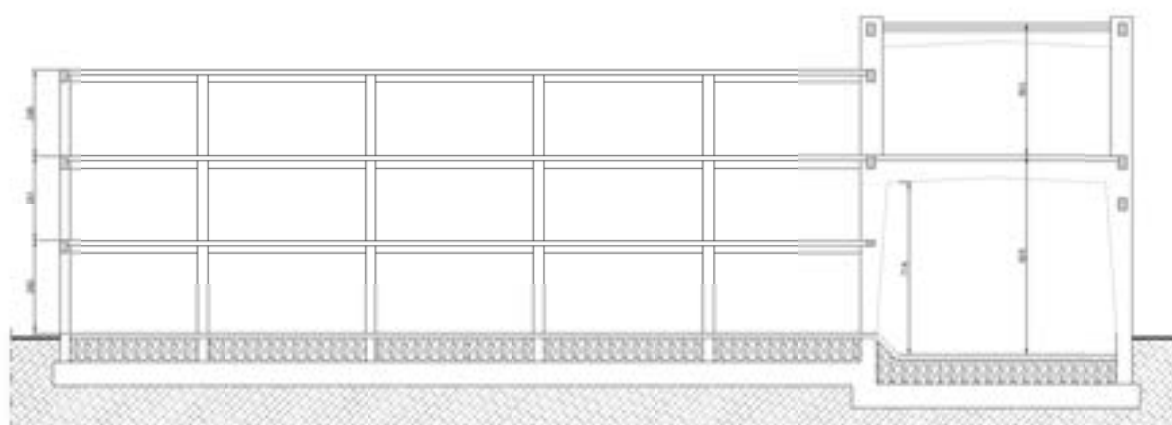


Figura B17 - Edificio 2 - Sezione B-B'.

11.3 Edificio 3 – Complesso scolastico a Torino (TO)

Di seguito vengono riportate piante, prospetti e sezioni dell'edificio analizzato.

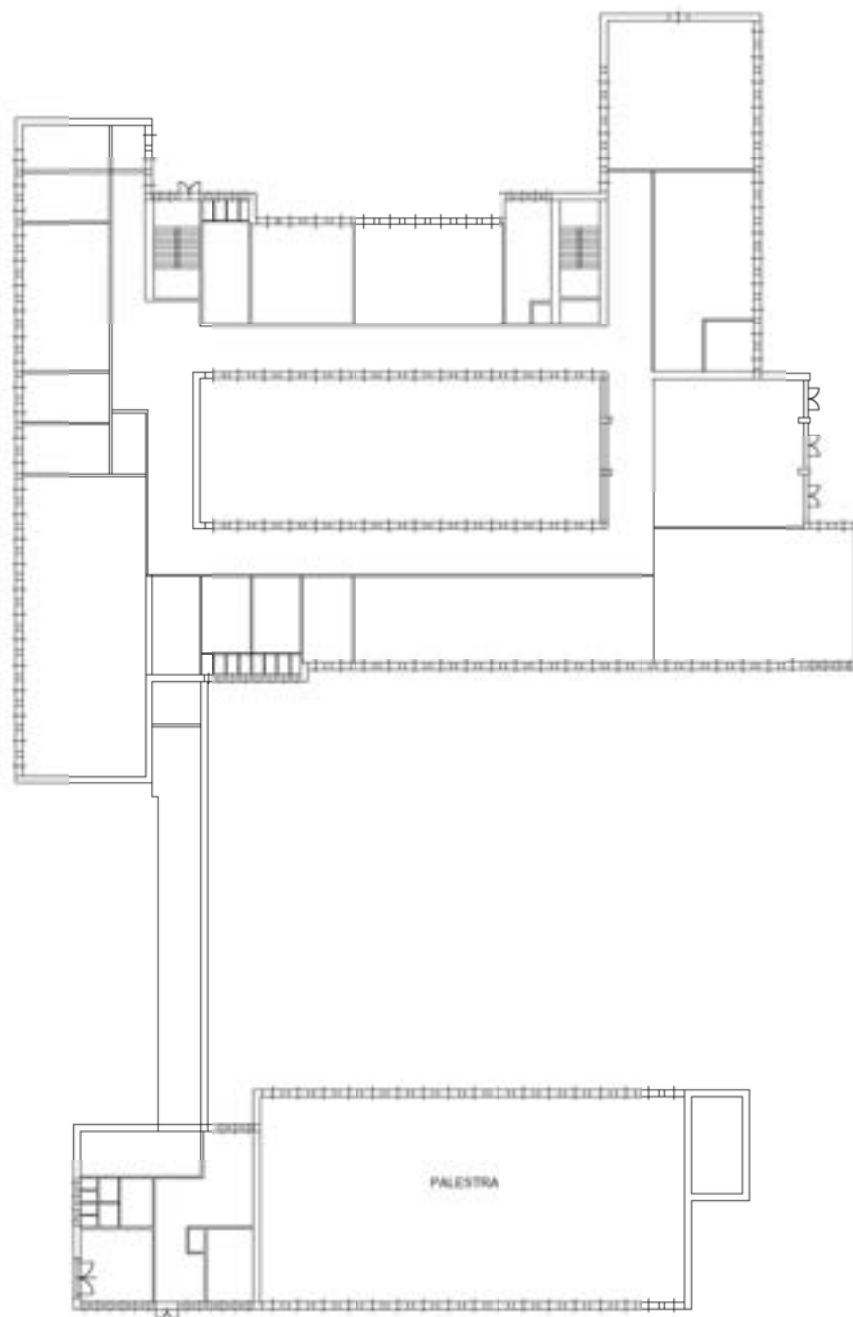


Figura B18 - Edificio 3 – Pianta piano interrato.

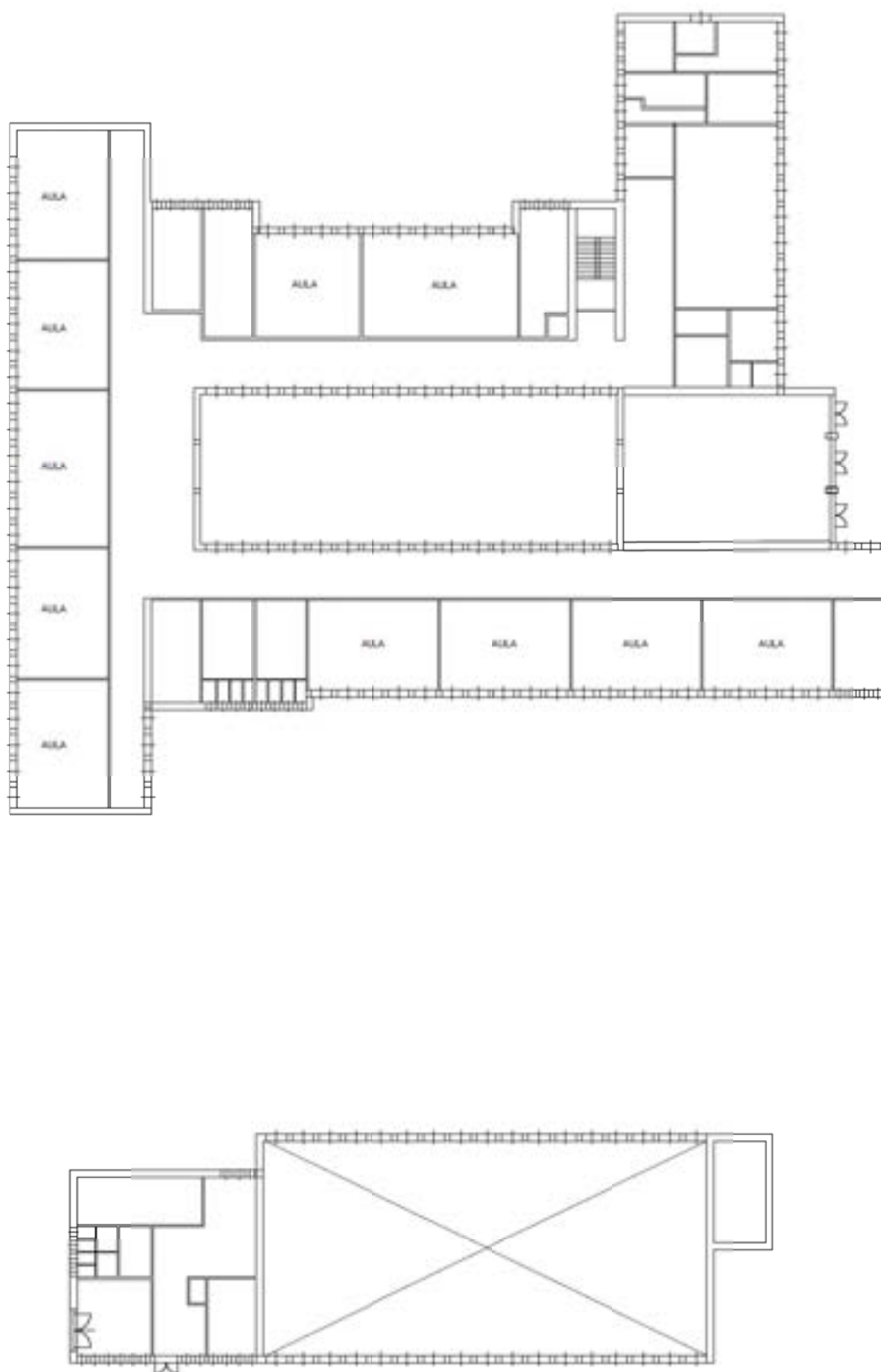


Figura B19 - Edificio 3 – Pianta piano terra.

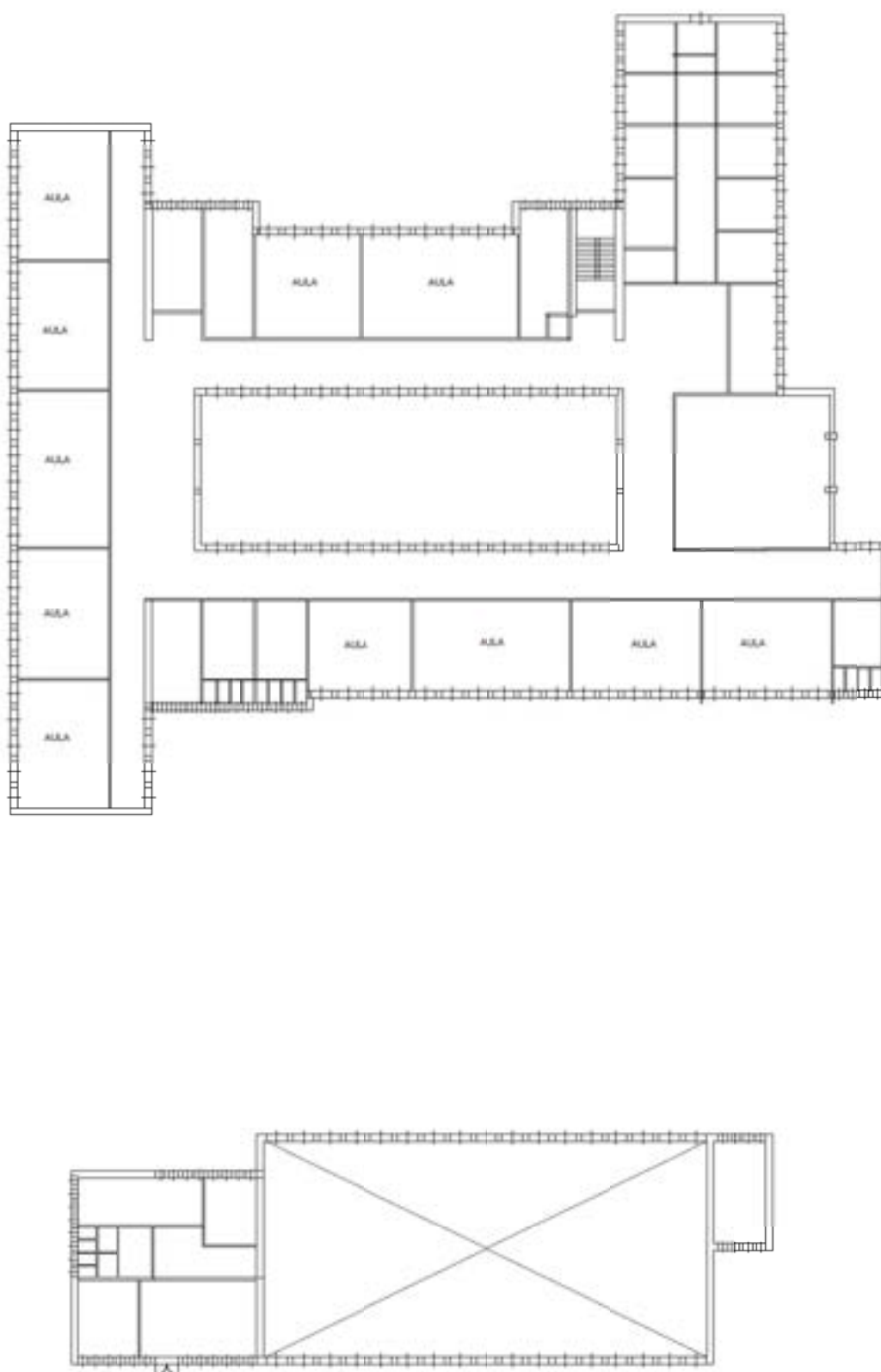


Figura B20 - Edificio 3 – Pianta piano primo.

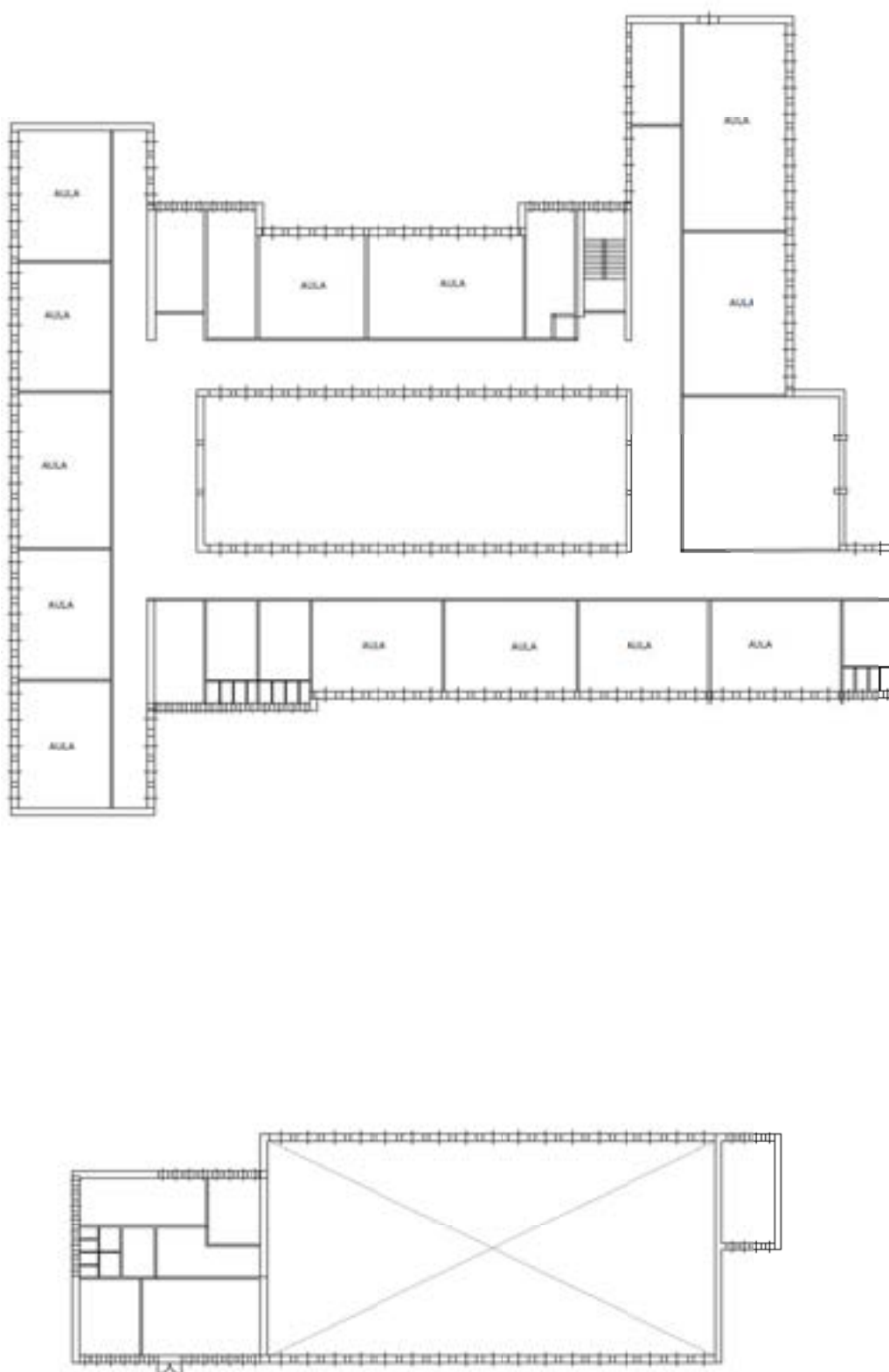


Figura B21 - Edificio 3 – Pianta piano secondo.



Figura B22 Edificio 3 – Prospetto Nord.



Figura B23 Edificio 3 – Prospetto Ovest.



Figura B24 - Edificio 3 – Prospetto Est.

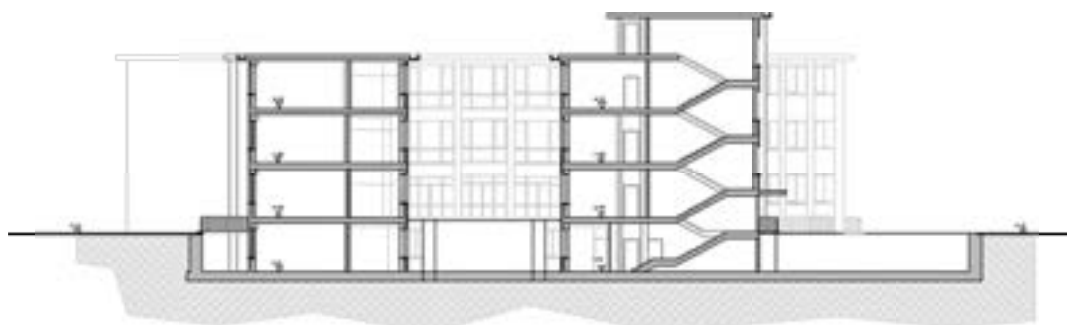


Figura B25 - Edificio 3 – Sezione A-A'.

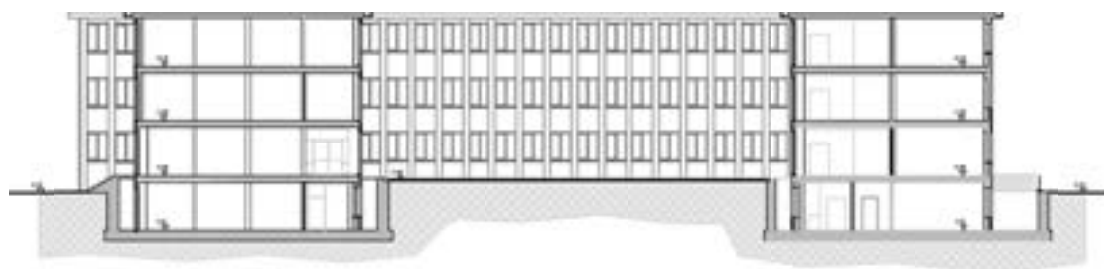


Figura B26 - Edificio 3 – Sezione B-B'.

12 ALLEGATO C – Risultati per ciascun edificio e località climatica

Tabella C1 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 1, nord Italia (MI).

Parametro/caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	79.042,80	58.751,20	11.476,64	26.550,89	11.476,64	26.550,89	25.902,80	23.529,10	16.318,30
Gas naturale	50.045,30	35.332,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	6.776,39	6.776,39	6.776,39	6.776,39	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	28.997,50	23.418,30	4.700,25	19.774,50	4.700,25	19.774,50	25.902,80	23.529,10	16.318,30
E_{P,REN} [kWh]	6.989,13	5.644,42	35.968,78	31.871,67	35.968,78	31.871,67	34.378,24	33.922,10	35.208,00
Biomassa	0,00	0,00	27.105,50	27.105,50	27.105,50	27.105,50	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19.201,40	19.284,20	22.357,80
E.E. in-situ	0,00	0,00	7.730,40	0,00	7.730,40	0,00	8.933,59	8.966,79	8.917,01
E.E. ex-situ	6.989,13	5.644,42	1.132,88	4.766,17	1.132,88	4.766,17	6.243,25	5.671,11	3.933,19
E_{P,TOT} [kWh]	86.031,93	64.395,62	47.445,42	58.422,56	47.445,42	58.422,56	60.281,04	57.451,20	51.526,30
Gas naturale	50.045,30	35.332,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	33.881,89	33.881,89	33.881,89	33.881,89	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19.201,40	19.284,20	22.357,80
E.E. in-situ	0,00	0,00	7.730,40	0,00	7.730,40	0,00	8.933,59	8.966,79	8.917,01
E.E. ex-situ	35.986,63	29.062,72	5.833,13	24.540,67	5.833,13	24.540,67	32.146,05	29.200,21	20.251,49
E.E. esportata	0,00	0,00	5.041,10	0,00	5.041,10	0,00	3.837,90	3.804,70	3.854,50
Spesa annuale [€]	-7.113,90	-5.951,69	-3.066,88	-4.384,34	-3.849,92	-5.167,38	-4.598,01	-4.203,17	-3.201,87
Costi complessivi dei vettori	-5.163,90	-3.951,69	-1.068,94	-2.634,34	-2.001,97	-3.567,38	-2.689,91	-2.443,41	-1.694,60
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	252,06	0,00	252,06	0,00	191,90	190,24	192,73
Spese per manutenzione	-1.950,00	-2.000,00	-2.250,00	-1.750,00	-2.100,00	-1.600,00	-2.100,00	-1.950,00	-1.700,00
CONFRONTO									
Investimento [€]	-55.900,00	-123.950,00	-98.950,00	-120.800,00	-95.800,00	-135.250,00	-162.600,00	-189.650,00	
Spesa annuale	-7.113,90	-5.951,69	-3.066,88	-4.384,34	-3.849,92	-5.167,38	-4.598,01	-4.203,17	-3.201,87
VAN (30 a, 0%)	-213.417,13	-234.450,84	-215.956,41	-230.480,17	-236.297,59	-250.821,34	-273.190,36	-288.695,13	-285.706,18
Costo energia €/[kWh]	-0,08	-0,12	-0,15	-0,13	-0,17	-0,14	-0,15	-0,17	-0,18
Energia risparmi. rispetto caso BASE [kWh]	0,00	21.636,31	38.586,51	27.609,37	38.586,51	27.609,37	25.750,89	28.580,73	34.505,63
Energia risparmi. rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	16.950,20	5.973,06	16.950,20	5.973,06	4.114,58	6.944,42	12.869,32

Tabella C2 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 1, centro Italia (AN).

Parametro/caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	66.944,30	50.824,80	8.509,65	24.232,88	8.509,65	24.232,88	17.817,90	16.299,90	11.502,00
Gas naturale	38.724,50	28.085,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	5.364,08	5.364,08	5.364,08	5.364,08	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	28.219,80	22.739,50	3.145,57	18.868,80	3.145,57	18.868,80	17.817,90	16.299,90	11.502,00
E_{P,REN} [kWh]	6.801,69	5.480,81	30.277,65	26.004,16	30.277,65	26.004,16	29.633,81	29.246,61	30.001,26
Biomassa	0,00	0,00	21.456,30	21.456,30	21.456,30	21.456,30	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15.827,80	15.764,40	17.746,70
E.E. in-situ	0,00	0,00	8.063,19	0,00	8.063,19	0,00	9.511,45	9.553,50	9.482,29
E.E. ex-situ	6.801,69	5.480,81	758,16	4.547,86	758,16	4.547,86	4.294,56	3.928,71	2.772,27
E_{P,TOT} [kWh]	73.745,99	56.305,61	38.787,30	50.237,04	38.787,30	50.237,04	47.451,71	45.546,51	41.503,26
Gas naturale	38.724,50	28.085,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	26.820,38	26.820,38	26.820,38	26.820,38	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15.827,80	15.764,40	17.746,70
E.E. in-situ	0,00	0,00	8.063,19	0,00	8.063,19	0,00	9.511,45	9.553,50	9.482,29
E.E. ex-situ	35.021,49	28.220,31	3.903,73	23.416,66	3.903,73	23.416,66	22.112,46	20.228,61	14.274,27
E.E. esportata	0,00	0,00	6.290,20	0,00	6.290,20	0,00	4.841,90	4.799,90	4.871,10
Spesa annuale [€]	-6.546,20	-5.569,46	-2.721,92	-4.169,23	-3.310,50	-4.757,81	-3.708,22	-3.402,69	-2.650,88
Costi complessivi dei vettori	-4.596,20	-3.569,46	-786,43	-2.419,23	-1.525,01	-3.157,81	-1.850,32	-1.692,68	-1.194,44
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	314,51	0,00	314,51	0,00	242,10	240,00	243,56
Spese per manutenzione	-1.950,00	-2.000,00	-2.250,00	-1.750,00	-2.100,00	-1.600,00	-2.100,00	-1.950,00	-1.700,00
CONFRONTO									
Investimento [€]		-55.900,0	-123.950,0	-98.950,00	-120.800,0	-95.800,0	-135.250,0	-162.600,0	-189.650,0
Spesa annuale	-6.546,20	-5.569,46	-2.721,92	-4.169,23	-3.310,50	-4.757,81	-3.708,22	-3.402,69	-2.650,88
VAN (30 a, 0%)	-196.385,9	-222.983,8	-205.607,7	-224.026,9	-220.115,1	-238.534,3	-246.496,7	-264.680,6	-269.176,5
Costo energia €/kWh	-0,09	-0,13	-0,18	-0,15	-0,19	-0,16	-0,17	-0,19	-0,22
Energia risparmiato rispetto caso BASE [kWh]	0,00	17.440,38	34.958,69	23.508,95	34.958,69	23.508,95	26.294,28	28.199,48	32.242,73
Energia risparmiato rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	17.518,31	6.068,57	17.518,31	6.068,57	8.853,90	10.759,10	14.802,35

Tabella C3 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 1, sud Italia (RC).

Parametro/caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	52.320,00	41.380,10	4.255,16	21.608,17	4.255,16	21.608,17	8.323,12	7.509,49	4.389,10
Gas naturale	26.085,10	20.441,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00		3.785,77	3.785,77	3.785,77	3.785,77	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	26.234,90	20.939,00	469,39	17.822,40	469,39	17.822,40	8.323,12	7.509,49	4.389,10
E_{P,REN} [kWh]	6.323,29	5.046,84	24.155,21	19.438,75	24.155,21	19.438,75	24.372,08	24.096,68	24.574,99
Biomassa	0,00	0,00	15.143,10	15.143,10	15.143,10	15.143,10	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11.580,80	11.457,10	12.687,50
E.E. in-situ	0,00	0,00	8.898,97	0,00	8.898,97	0,00	10.785,20	10.829,60	10.829,60
E.E. ex-situ	6.323,29	5.046,84	113,14	4.295,65	113,14	4.295,65	2.006,08	1.809,98	1.057,89
E_{P,TOT} [kWh]	58.643,29	46.426,94	28.410,37	41.046,92	28.410,37	41.046,92	32.695,20	31.606,17	28.964,09
Gas naturale	26.085,10	20.441,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	18.928,87	18.928,87	18.928,87	18.928,87	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11.580,80	11.457,10	12.687,50
E.E. in-situ	0,00	0,00	8.898,97	0,00	8.898,97	0,00	10.785,20	10.829,60	10.829,60
E.E. ex-situ	32.558,19	25.985,84	582,53	22.118,05	582,53	22.118,05	10.329,20	9.319,47	5.446,99
E.E. esportata	0,00	0,00	8.114,80	0,00	8.114,80	0,00	6.228,60	6.184,20	6.184,20
Spesa annuale [€]	-5.796,41	-5.053,68	-2.217,50	-3.925,28	-2.588,76	-4.296,55	-2.652,89	-2.420,62	-1.846,58
Costi complessivi dei vettori	-3.846,41	-3.053,68	-373,24	-2.175,28	-894,50	-2.696,55	-864,32	-779,83	-455,79
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	405,74	0,00	405,74	0,00	311,43	309,21	309,21
Spese per manutenzione	-1.950,00	-2.000,00	-2.250,00	-1.750,00	-2.100,00	-1.600,00	-2.100,00	-1.950,00	-1.700,00
CONFRONTO									
Investimento [€]		-55.900,0	-123.950,0	-98.950,0	-120.800,0	-95.800,0	-135.250,0	-162.600,0	-189.650,0
Spesa annuale	-5.796,41	-5.053,68	-2.217,50	-3.925,28	-2.588,76	-4.296,55	-2.652,89	-2.420,62	-1.846,58
VAN (30 a, 0%)	-173.892,2	-207.510,4	-190.475,0	-216.708,5	-198.462,9	-224.696,4	-214.836,8	-235.218,6	-245.047,4
Costo energia €/kWh	-0,10	-0,15	-0,22	-0,18	-0,23	-0,18	-0,22	-0,25	-0,28
Energia risparmi. rispetto caso BASE [kWh]	0,00	12.216,35	30.232,92	17.596,37	30.232,92	17.596,37	25.948,09	27.037,12	29.679,20
Energia risparmi. rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	18.016,57	5.380,02	18.016,57	5.380,02	13.731,74	14.820,77	17.462,85

Tabella C4 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 2, nord Italia (MI).

Parametro/caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	146.729,50	123.688,20	30.548,50	61.546,50	30.548,50	61.546,50	60.870,20	57.869,00	44.189,10
Gas naturale	93.635,90	76.905,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00		15.369,50	15.369,50	15.369,50	15.369,50	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	53.093,60	46.782,30	15.179,00	46.177,00	15.179,00	46.177,00	60.870,20	57.869,00	44.189,10
E_{P,REN} [kWh]	12.796,90	11.275,70	81.033,12	72.607,20	81.033,12	72.607,20	72.111,20	71.296,80	74.029,10
Biomassa	0,00	0,00	61.478,20	61.478,20	61.478,20	61.478,20	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40.155,40	40.068,70	46.098,20
E.E. in-situ	0,00	0,00	15.896,40	0,00	15.896,40	0,00	17.284,50	17.280,20	17.280,20
E.E. ex-situ	12.796,90	11.275,70	3.658,52	11.129,00	3.658,52	11.129,00	14.671,30	13.947,90	10.650,70
E_{P,TOT} [kWh]	159.526,40	134.963,90	111.581,62	134.153,70	111.581,62	134.153,70	132.981,40	129.165,80	118.218,20
Gas naturale	93.635,90	76.905,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	76.847,70	76.847,70	76.847,70	76.847,70	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40.155,40	40.068,70	46.098,20
E.E. in-situ	0,00	0,00	15.896,40	0,00	15.896,40	0,00	17.284,50	17.280,20	17.280,20
E.E. ex-situ	65.890,50	58.058,00	18.837,52	57.306,00	18.837,52	57.306,00	75.541,50	71.816,90	54.839,80
E.E. esportata	0,00	0,00	3.260,80	0,00	3.260,80	0,00	1.872,70	1.877,10	1.877,10
Spesa annuale [€]	-12.241,18	-10.966,16	-5.830,63	-8.562,62	-7.696,86	-10.428,85	-9.077,50	-8.465,62	-6.745,01
Costi complessivi dei vettori	-9.541,18	-8.166,16	-2.893,67	-6.112,62	-5.009,90	-8.228,85	-6.321,14	-6.009,47	-4.588,87
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	163,04	0,00	163,04	0,00	93,64	93,86	93,86
Spese per manutenzione	-2.700,00	-2.800,00	-3.100,00	-2.450,00	-2.850,00	-2.200,00	-2.850,00	-2.550,00	-2.250,00
CONFRONTO									
Investimento [€]		-115.050,0	-213.650,0	-179.650,0	-208.350,0	-174.350,0	-216.900,0	-261.300,0	-324.800,0
Spesa annuale	-12.241,18	-10.966,16	-5.830,63	-8.562,62	-7.696,86	-10.428,85	-9.077,50	-8.465,62	-6.745,01
VAN (30 a, 0%)	-367.235,3	-444.034,7	-388.568,9	-436.528,7	-439.255,8	-487.215,6	-489.225,1	-515.268,5	-527.150,4
Costo energia €/[kWh]	-0,08	-0,11	-0,12	-0,11	-0,13	-0,12	-0,12	-0,13	-0,15
Energia risparmi. rispetto caso BASE [kWh]	0,00	24.562,50	47.944,78	25.372,70	47.944,78	25.372,70	26.545,00	30.360,60	41.308,20
Energia risparmi. rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	23.382,28	810,20	23.382,28	810,20	1.982,50	5.798,10	16.745,70

Tabella C5 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 2, centro Italia (AN).

Parametro/caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	124.825,80	106.706,50	22.269,40	55.024,40	22.269,40	55.024,40	43.716,00	42.351,00	33.276,20
Gas naturale	73.756,30	61.706,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	11.182,00	11.182,00	11.182,00	11.182,00	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	51.069,50	44.999,60	11.087,40	43.842,40	11.087,40	43.842,40	43.716,00	42.351,00	33.276,20
E_{P,REN} [kWh]	12.309,00	10.846,10	64.198,75	55.295,10	64.198,75	55.295,10	62.368,20	61.728,90	63.403,12
Biomassa	0,00	0,00	44.728,00	44.728,00	44.728,00	44.728,00	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33.089,70	32.740,50	36.602,00
E.E. in-situ	0,00	-	16.797,40	0,00	16.797,40	0,00	18.741,80	18.780,70	18.780,70
E.E. ex-situ	12.309,00	10.846,10	2.673,35	10.567,10	2.673,35	10.567,10	10.536,70	10.207,70	8.020,42
E_{P,TOT} [kWh]	137.134,80	117.552,60	86.468,15	110.319,50	86.468,15	110.319,50	106.084,20	104.079,90	96.679,32
Gas naturale	73.756,30	61.706,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	55.910,00	55.910,00	55.910,00	55.910,00	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33.089,70	32.740,50	36.602,00
E.E. in-situ	0,00	-	16.797,40	0,00	16.797,40	0,00	18.741,80	18.780,70	18.780,70
E.E. ex-situ	63.378,50	55.845,70	13.760,75	54.409,50	13.760,75	54.409,50	54.252,70	52.558,70	41.296,62
E.E. esportata	0,00	0,00	4.732,70	0,00	4.732,70	0,00	2.788,30	2.749,40	2.749,40
Spesa annuale [€]	-11.175,89	-10.127,27	-4.973,29	-7.961,32	-6.262,94	-9.250,97	-7.250,33	-6.810,52	-5.568,14
Costi complessivi dei vettori	-8.475,89	-7.327,27	-2.109,92	-5.511,32	-3.649,57	-7.050,97	-4.539,74	-4.397,99	-3.455,61
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	236,64	0,00	236,64	0,00	139,42	137,47	137,47
Spese per manutenzione	-2.700,00	-2.800,00	-3.100,00	-2.450,00	-2.850,00	-2.200,00	-2.850,00	-2.550,00	-2.250,00
CONFRONTO									
Investimento [€]	-	-115.050,0	-213.650,0	-179.650,0	-208.350,0	-174.350,0	-216.900,0	-261.300,0	-324.800,0
Spesa annuale	-11.175,89	-10.127,27	-4.973,29	-7.961,32	-6.262,94	-9.250,97	-7.250,33	-6.810,52	-5.568,14
VAN (30 a, 0%)	-335.276,6	-418.868,2	-362.848,7	-418.489,6	-396.238,2	-451.879,0	-434.409,8	-465.615,6	-491.844,1
Costo energia €/kWh	-0,08	-0,12	-0,14	-0,13	-0,15	-0,14	-0,14	-0,15	-0,17
Energia risparmi. rispetto caso BASE [kWh]	0,00	19.582,20	50.666,65	26.815,30	50.666,65	26.815,30	31.050,60	33.054,90	40.455,48
Energia risparmi. rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	31.084,45	7.233,10	31.084,45	7.233,10	11.468,40	13.472,70	20.873,28

Tabella C6 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 2, sud Italia (RC).

Parametro/caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	101.554,10	89.352,70	12.924,38	50.394,43	12.924,38	50.394,43	25.787,20	25.275,50	19.199,50
Gas naturale	52.793,80	46.365,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	8.264,63	8.264,63	8.264,63	8.264,63	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	48.760,30	42.987,50	4.659,75	42.129,80	4.659,75	42.129,80	25.787,20	25.275,50	19.199,50
E_{P,REN} [kWh]	11.752,50	10.361,10	53.397,02	43.212,90	53.397,02	43.212,90	52.877,38	52.394,26	53.493,46
Biomassa	0,00	0,00	33.058,50	33.058,50	33.058,50	33.058,50	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25.319,10	24.919,30	27.483,00
E.E. in-situ	0,00	0,00	19.215,40	0,00	19.215,40	0,00	21.342,90	21.382,90	21.382,90
E.E. ex-situ	11.752,50	10.361,10	1.123,12	10.154,40	1.123,12	10.154,40	6.215,38	6.092,06	4.627,56
E_{P,TOT} [kWh]	113.306,60	99.713,80	66.321,40	93.607,33	66.321,40	93.607,33	78.664,58	77.669,76	72.692,96
Gas naturale	52.793,80	46.365,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	41.323,13	41.323,13	41.323,13	41.323,13	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25.319,10	24.919,30	27.483,00
E.E. in-situ	0,00	0,00	19.215,40	0,00	19.215,40	0,00	21.342,90	21.382,90	21.382,90
E.E. ex-situ	60.512,80	53.348,60	5.782,87	52.284,20	5.782,87	52.284,20	32.002,58	31.367,56	23.827,06
E.E. esportata	0,00	0,00	6.305,30	0,00	6.305,30	0,00	4.177,70	4.137,80	4.137,80
Spesa annuale [€]	-10.034,42	-9.258,42	-3.977,03	-7.533,42	-4.864,98	-8.421,37	-5.319,02	-4.967,87	-4.036,90
Costi complessivi dei vettori	-7.334,42	-6.458,42	-1.192,29	-5.083,42	-2.330,25	-6.221,37	-2.677,90	-2.624,76	-1.993,79
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	315,27	0,00	315,27	0,00	208,89	206,89	206,89
Spese per manutenzione	-2.700,00	-2.800,00	-3.100,00	-2.450,00	-2.850,00	-2.200,00	-2.850,00	-2.550,00	-2.250,00
CONFRONTO									
Investimento [€]	-115.050,0	-115.050,0	-213.650,0	-179.650,0	-208.350,0	-174.350,0	-216.900,0	-261.300,0	-324.800,0
Spesa annuale	-10.034,42	-9.258,42	-3.977,03	-7.533,42	-4.864,98	-8.421,37	-5.319,02	-4.967,87	-4.036,90
VAN (30 a, 0%)	-301.032,6	-392.802,6	-332.960,9	-405.652,5	-354.299,5	-426.991,2	-376.470,5	-410.336,2	-445.907,1
Costo energia €/[kWh]	-0,09	-0,13	-0,17	-0,14	-0,18	-0,15	-0,16	-0,18	-0,20
Energia risparmi. rispetto caso BASE [kWh]	0,00	13.592,80	46.985,20	19.699,27	46.985,20	19.699,27	34.642,02	35.636,84	40.613,64
Energia risparmi. rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	33.392,40	6.106,47	33.392,40	6.106,47	21.049,22	22.044,04	27.020,84

Tabella C7 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 3, nord Italia (MI).

Parametro/caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	546.633,00	448.459,00	105.546,80	237.067,50	105.546,80	237.067,50	221.285,00	212.631,00	180.320,00
Gas naturale	372.521,00	252.296,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	46.446,50	46.446,50	46.446,50	46.446,50	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	174.112,00	196.163,00	59.100,30	190.621,00	59.100,30	190.621,00	221.285,00	212.631,00	180.320,00
E_{P,REN} [kWh]	41.965,40	47.280,30	267.477,10	231.730,50	267.477,10	231.730,50	252.843,40	252.476,00	260.187,20
Biomassa	0,00	0,00	185.786,00	185.786,00	185.786,00	185.786,00	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	131.776,00	133.492,00	148.991,00
E.E. in-situ	0,00	0,00	67.446,40	45.944,50	67.446,40	45.944,50	67.732,20	67.734,40	67.734,40
E.E. ex-situ	41.965,40	47.280,30	14.244,70	0,00	14.244,70	0,00	53.335,20	51.249,60	43.461,80
E_{P,TOT} [kWh]	588.598,40	495.739,30	373.023,90	468.798,00	373.023,90	468.798,00	474.128,40	465.107,00	440.507,20
Gas naturale	372.521,00	252.296,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	232.232,50	232.232,50	232.232,50	232.232,50	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	131.776,00	133.492,00	148.991,00
E.E. in-situ	0,00	0,00	67.446,40	45.944,50	67.446,40	45.944,50	67.732,20	67.734,40	67.734,40
E.E. ex-situ	216.077,40	243.443,30	73.345,00	190.621,00	73.345,00	190.621,00	274.620,20	263.880,60	223.781,80
E.E. esportata	0,00	0,00	3.328,80	0,00	3.328,80	0,00	3.043,00	3.040,80	3.040,80
Spesa annuale [€]	-41.104,31	-38.522,92	-16.802,03	-25.731,85	-22.947,25	-31.877,07	-29.427,43	-28.328,88	-24.473,50
Costi complessivi dei vettori	-34.104,31	-31.222,92	-10.118,47	-19.931,85	-16.513,69	-26.327,07	-22.979,58	-22.080,92	-18.725,54
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	166,44	0,00	166,44	0,00	152,15	152,04	152,04
Spese per manutenzione	-7.000,00	-7.300,00	-6.850,00	-5.800,00	-6.600,00	-5.550,00	-6.600,00	-6.400,00	-5.900,00
CONFRONTO									
Investimento [€]		-431.850,0	-667.400,0	-552.150,0	-657.300,0	-542.050,0	-682.503,0	-769.670,0	-952.600,0
Spesa annuale	-41.104,31	-38.522,92	-16.802,03	-25.731,85	-22.947,25	-31.877,07	-29.427,43	-28.328,88	-24.473,50
VAN (30 a, 0%)	-1.233.129	-1.587.538	-1.171.461	-1.324.106	-1.345.718	-1.498.362	-1.565.326	-1.619.536	-1.686.805
Costo energia €/kWh	-0,07	-0,11	-0,10	-0,09	-0,12	-0,11	-0,11	-0,12	-0,13
Energia risparmi. rispetto caso BASE [kWh]	0,00	92.859,10	215.574,50	119.800,40	215.574,50	119.800,40	114.470,00	123.491,40	148.091,20
Energia risparmi. rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	122.715,40	26.941,30	122.715,40	26.941,30	21.610,90	30.632,30	55.232,10

Tabella C8 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 3, centro Italia (AN).

Parametro/caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	460.892,00	389.326,00	85.951,90	229.319,20	85.951,90	229.319,20	161.407,00	157.259,00	134.786,00
Gas naturale	282.008,00	188.320,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa		0,00	34.408,20	34.408,20	34.408,20	34.408,20	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	178.884,00	201.006,00	51.543,70	194.911,00	51.543,70	194.911,00	161.407,00	157.259,00	134.786,00
E_{P,REN} [kWh]	43.115,50	48.447,60	223.577,80	184.611,40	223.577,80	184.611,40	215.738,50	214.993,50	220.192,00
Biomassa	0,00	0,00	137.633,00	137.633,00	137.633,00	137.633,00	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102.026,00	102.279,00	112.894,00
E.E. in-situ	0,00	0,00	73.521,40	0,00	73.521,40	0,00	74.809,20	74.811,10	74.811,10
E.E. ex-situ	43.115,50	48.447,60	12.423,40	46.978,40	12.423,40	46.978,40	38.903,30	37.903,40	32.486,90
E_{P,TOT} [kWh]	504.007,50	437.773,60	309.529,70	413.930,60	309.529,70	413.930,60	377.145,50	372.252,50	354.978,00
Gas naturale	282.008,00	188.320,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	172.041,20	172.041,20	172.041,20	172.041,20	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102.026,00	102.279,00	112.894,00
E.E. in-situ	0,00	0,00	73.521,40	0,00	73.521,40	0,00	74.809,20	74.811,10	74.811,10
E.E. ex-situ	221.999,50	249.453,60	63.967,10	241.889,40	63.967,10	241.889,40	200.310,30	195.162,40	167.272,90
E.E. esportata	0,00	0,00	6.020,30	0,00	6.020,30	0,00	4.732,60	4.730,60	4.730,60
Spesa annuale [€]	-37.706,57	-36.274,01	-14.850,88	-28.990,02	-19.338,55	-33.477,69	-23.124,87	-22.494,21	-19.660,48
Costi complessivi dei vettori	-30.706,57	-28.974,01	-8.301,90	-23.190,02	-13.039,57	-27.927,69	-16.761,50	-16.330,74	-13.997,01
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	301,02	0,00	301,02	0,00	236,63	236,53	236,53
Spese per manutenzione	-7.000,00	-7.300,00	-6.850,00	-5.800,00	-6.600,00	-5.550,00	-6.600,00	-6.400,00	-5.900,00
CONFRONTO									
Investimento [€]		-431.850,00	-667.400,00	-552.150,00	-657.300,00	-542.050,00	-682.503,00	-769.670,00	-952.600,00
Spesa annuale	-37.706,57	-36.274,01	-14.850,88	-28.990,02	-19.338,55	-33.477,69	-23.124,87	-22.494,21	-19.660,48
VAN (30 a, 0%)	-1.131.197	-1.520.071	-1.112.926	-1.421.851	-1.237.457	-1.546.381	-1.376.249	-1.444.496	-1.542.414
Costo energia €/[kWh]	-0,07	-0,12	-0,12	-0,11	-0,13	-0,12	-0,12	-0,13	-0,14
Energia risparmi. rispetto caso BASE [kWh]	0,00	66.233,90	194.477,80	90.076,90	194.477,80	90.076,90	126.862,00	131.755,00	149.029,50
Energia risparmi. rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	128.243,90	23.843,00	128.243,90	23.843,00	60.628,10	65.521,10	82.795,60

Tabella C9 - Risultati della valutazione energetica ed economica - Edificio: 3, sud Italia (RC).

Param./caso	BASE	BASE+	A (Cippato+FV)	A (Cippato)	B (Pellet+FV)	B (Pellet)	C (PdC HT+FV)	D (PdC MT+FV)	E (PdC VRF +FV)
E_{P,NREN} [kWh]	353.255,00	331.137,00	40.171,10	200.627,90	40.171,10	200.627,90	96.530,50	94.841,70	77.201,40
Gas naturale	184.396	138.331	0	0	0	0	0	0	0
Biomassa	0,00	0,00	14.804,90	14.804,90	14.804,90	14.804,90	0,00	0,00	0,00
E. E. ex-situ	168.859,00	192.806,00	25.366,20	185.823,00	25.366,20	185.823,00	96.530,50	94.841,70	77.201,40
E_{P,REN} [kWh]	40.699,40	46.471,30	147.619,21	104.007,90	147.619,21	104.007,90	185.363,30	184.559,10	188.652,90
Biomassa	0,00	0,00	59.219,80	59.219,80	59.219,80	59.219,80	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76.821,20	76.389,90	84.735,50
E.E. in-situ	0,00	0,00	82.285,50	0,00	82.285,50	0,00	85.275,80	85.309,90	85.309,90
E.E. ex-situ	40.699,40	46.471,30	6.113,91	44.788,10	6.113,91	44.788,10	23.266,30	22.859,30	18.607,50
E_{P,TOT} [kWh]	393.954,40	377.608,30	187.790,31	304.635,80	187.790,31	304.635,80	281.893,80	279.400,80	265.854,30
Gas naturale	184.396,00	138.331,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,00	74.024,70	74.024,70	74.024,70	74.024,70	0,00	0,00	0,00
E.T. da PdC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76.821,20	76.389,90	84.735,50
E.E. in-situ	0,00	0,00	82.285,50	0,00	82.285,50	0,00	85.275,80	85.309,90	85.309,90
E.E. ex-situ	209.558,40	239.277,30	31.480,11	230.611,10	31.480,11	230.611,10	119.796,80	117.701,00	95.808,90
E.E. esportata	0,00	0,00	11.999,30	0,00	11.999,30	0,00	9.008,90	8.974,90	8.974,90
Spesa annuale [€]	-32.466,89	-33.272,28	-10.153,21	-26.366,00	-11.941,70	-28.154,49	-16.173,87	-15.800,20	-13.468,32
Costi complessivi dei vettori	-25.466,89	-25.972,28	-3.903,18	-20.566,00	-5.941,67	-22.604,49	-10.024,32	-9.848,95	-8.017,07
Ricavi per cessione E.E.	0,00	0,00	599,97	0,00	599,97	0,00	450,45	448,75	448,75
Spese per manutenzione	-7.000,00	-7.300,00	-6.850,00	-5.800,00	-6.600,00	-5.550,00	-6.600,00	-6.400,00	-5.900,00
CONFRONTO									
Investimento [€]	-431.850,0	-667.400,0	-552.150,0	-657.300,0	-542.050,0	-682.503,0	-769.670,0	-952.600,0	
Spesa annuale	-32.466,89	-33.272,28	-10.153,21	-26.366,00	-11.941,70	-28.154,49	-16.173,87	-15.800,20	-13.468,32
VAN (30 a, 0%)	-974.007	-1.430.018	-971.996	-1.343.130	-1.015.551	-1.386.685	-1.167.719	-1.243.676	-1.356.650
Costo energia €/kWh	-0,08	-0,13	-0,17	-0,15	-0,18	-0,15	-0,14	-0,15	-0,17
Energia risparmi. rispetto caso BASE [kWh]	0,00	16.346,10	206.164,09	89.318,60	206.164,09	89.318,60	112.060,60	114.553,60	128.100,10
Energia risparmi. rispetto caso BASE+ [kWh]		0,00	189.817,99	72.972,50	189.817,99	72.972,50	95.714,50	98.207,50	111.754,00

13 ALLEGATO D – Consumi elettrici dei servizi di ventilazione meccanica controllata, illuminazione e trasporti di persone e cose

13.1 Illuminazione

Nel calcolo dell'indicatore di prestazione globale dell'edificio occorre considerare il consumo di energia elettrica per l'illuminazione. A tali fini si utilizza il metodo descritto nella UN EN 15193-1 [7].

Per il calcolo della potenza installata, i requisiti minimi di illuminamento sono riportati nel prospetto 5.6 della UNI EN 12464-1 [6].

Tabella D1 - Requisiti di illuminazione per interni (zone), compiti e attività [6].

N. Riferimento norma	Tipo di interno, compito e attività	Illuminamento medio E_m [lx]
6.2.1	Aule scolastiche	300
6.2.16	Ingressi	200
6.2.17	Zone di circolazione, corridoi	100
6.2.18	Scale	150
6.2.19	Sale comuni per gli studenti e aula magna	200
6.2.20	Sale professori	300
6.2.23	Magazzini materiale didattico	100
6.2.25	Mensa	200
6.2.24	Palazzetti, palestre, piscine	300

Per gli edifici in esame gli ambienti sono stati suddivisi in due tipologie:

- aule, uffici e sale attività con un illuminamento medio mantenuto di 300 lx;
- disimpegni, corridoi, magazzini, scale con un illuminamento medio mantenuto di 150 lx;

e introdotte due ipotesi: che allo stato attuale l'illuminazione sia costituita da corpi illuminanti tradizionali con sorgente luminosa a fluorescenza lineare con reattore tradizionale e che la riqualificazione energetica (caso "BASE+") preveda la sostituzione con apparecchi a LED dimmerabili.

Tabella D2 - Caratteristiche dell'impianto di illuminazione prima e dopo gli interventi.

	Ante-operam	Post-operam
Corpi illuminanti	Fluorescenti T8, reattore tradizionale	LED dimmerabile
Efficienza luminosa	40 lm/W	80 lm/W
Potenza specifica installata aule	7,50 W/m ²	3,75 W/m ²
Potenza installata altri ambienti	3,75 W/m ²	1,87 W/m ²
Modalità di attivazione	Locale	Locale
Controllo sistema illuminazione artificiale	Manuale	Automatica, dipendente dalla luce diurna
Fattore di illuminamento costante	Senza controllo	Con controllo di illuminazione costante
Sistema di controllo illuminazione	Accensione e spegnimento manuale	Accensione/regolazione automatica

13.2 Ascensori

Il calcolo del fabbisogno energetico per il trasporto di persone e cose è stato inizialmente impostato sulla base della specifica tecnica UNI/TS 11300-6 [8]. Tuttavia, dato che da un primo calcolo l'indicatore di prestazione energetica del servizio incide per circa l'1-2% sul totale (esempio: Edificio 1 posto al centro Italia: $E_{pT}/E_{pG} = 1,4\%$ ante operam; $E_{pT}/E_{pG} = 1,8\%$ post operam -soluzione E-) e che comunque il servizio è presente già prima della riqualificazione, si è ritenuto di non considerarlo nello studio.

Tale approssimazione risulta del tutto ragionevole, considerando anche il limitato numero di piani in elevazione degli edifici (rispettivamente per i tre edifici: 2, 2 e 3) e le modalità d'uso, prevalentemente destinato al superamento delle barriere architettoniche.

13.3 Sintesi dei fabbisogni elettrici complessivi per i servizi di illuminazione, trasporto di persone e ventilazione meccanica

Di seguito vengono riportati i fabbisogni necessari per al funzionamento degli impianti di illuminazione, ascensori e ventilazione meccanica, espressi in energia primaria specifica per unità di superficie calpestabile (m^2). Nelle Tabelle sono riportati, per ciascuno dei tre edifici, i valori relativi al caso "BASE" e degli altri scenari migliorativi ("BASE+"; soluzioni A, B, C, D ed E).

Tabella D3 - Fabbisogni elettrici degli ausiliari di impianto per l'Edificio 1.

	U.M.	Base			Altri scenari		
		Nord (MI)	Centro (AN)	Sud (RC)	Nord (MI)	Centro (AN)	Sud (RC)
Illuminazione	[kWh/m ²]	32,35	32,25	31,98	19,04	18,95	18,68
Ventilazione	[kWh/m ²]	0	0	0	5,39	5,39	5,39
Ascensori	[kWh/m ²]	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27

Tabella D4 - Fabbisogni elettrici degli ausiliari di impianto per l'Edificio 2.

	U.M.	Base			Altri scenari		
		Nord (MI)	Centro (AN)	Sud (RC)	Nord (MI)	Centro (AN)	Sud (RC)
Illuminazione	[kWh/m ²]	30,47	30,39	30,15	18,88	18,79	18,56
Ventilazione	[kWh/m ²]	0,00	0,00	0,00	7,89	7,89	7,89
Ascensori	[kWh/m ²]	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58

Tabella D5 - Fabbisogni elettrici degli ausiliari di impianto per l'Edificio 3.

	U.M.	Base			Altri scenari		
		Nord (MI)	Centro (AN)	Sud (RC)	Nord (MI)	Centro (AN)	Sud (RC)
Illuminazione	[kWh/m ²]	22,44	22,32	22,25	16,50	16,38	16,32
Ventilazione	[kWh/m ²]	0,00	0,00	0,00	9,29	9,29	9,29
Ascensori	[kWh/m ²]	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31