



Ricerca di Sistema elettrico

Individuazione delle possibili quote di energia rinnovabile sui consumi di energia primaria da adottare per la trasformazione degli edifici esistenti ad uso ufficio in nZEB

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

INDIVIDUAZIONE DELLE POSSIBILI QUOTE DI ENERGIA RINNOVABILE SUI CONSUMI DI ENERGIA PRIMARIA DA ADOTTARE PER LA TRASFORMAZIONE DEGLI EDIFICI ESISTENTI AD USO UFFICIO IN nZEB

Ester Foppa Pedretti, Roberto Fioretti, Marco Sotte e Giovanni Riva (Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali)
Domenico Iatauro (ENEA)

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

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

Progetto: 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: 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 ENEA: Domenico Iatauro

Responsabile scientifico UNIVPM: Ester Foppa Pedretti

Individuazione delle possibili quote di energia rinnovabile sui consumi di energia primaria da adottare per la trasformazione degli edifici esistenti ad uso ufficio in NZEB

Riassunto

La ricerca ha definito due scenari alternativi sulla base dei quali potrebbe essere emendato l'attuale DM 26/6/15 al fine di individuare le eventuali prescrizioni per gli NZEB ottenuti dalla trasformazione di edifici esistenti. A tale fine sono stati individuati tre edifici ad uso ufficio rappresentativi della realtà nazionale, impostando quindi un confronto e ipotizzando di riqualificare gli stessi a tre livelli diversi tra loro: il primo conforme alla definizione vigente di NZEB ("NZEB di legge"); il secondo prevedendo il solo rispetto della prestazione energetica espressa in termini di energia non rinnovabile ("NZEB equivalente"); il terzo prevedendo unicamente interventi sull'impiantistica ("quasi NZEB"). I tre livelli sono caratterizzati da diverse quote di energia rinnovabile. I risultati hanno evidenziato la fattibilità tecnica della soluzione "NZEB equivalente". Tuttavia i vantaggi economici che ne derivano non sono elevati (riduzione media del 20% degli investimenti necessari) anche se significativi. La soluzione "quasi NZEB" è risultata più promettente e quindi più raccomandabile. Infatti risulterebbe possibile, a fronte della imposizione del raggiungimento di prestazioni energetiche pari a circa 1,5 volte di quelle dell'NZEB vigente, ridurre mediamente del 50% i consumi energetici (rispetto agli edifici esistenti) e gli investimenti, dando quindi maggiori opportunità all'iniziativa privata nel campo delle riqualificazioni.

Identification of the possible renewable energy rates of primary energy consumption to be adopted for the transformation of existing offices in NZEB

Abstract

The research work has defined two alternative scenarios on the basis of which could be amended the current Italian decree DM 26/06/15 in order to identify possible specific requirements for the NZEBs obtained from the conversion of existing buildings. To this end, three buildings representative of the national stock of offices have been identified, assuming a comparison between them at three different levels of refurbishment: the first in line with current national definition of NZEB ("NZEB of law"); the second respecting only the value of energy performance expressed in terms of non-renewable energy ("NZEB equivalent"), the third only providing for interventions on plants ("almost NZEB"). The three levels are characterized by different renewable energy shares. The results highlighted the technical feasibility of the "NZEB equivalent" solution. However, the relevant economic benefits are not high (average reduction of 20% of the required investments), although significant. The "almost NZEB" solution was more promising and therefore more recommendable. In fact, it would be possible, imposing the achievement of an energy performance of about 1.5 times that of the current NZEB, reduce the energy consumption by an average of 50% (compared to existing buildings) and the investments, thus giving more opportunities to the private initiative in the field of refurbishments.

(Questa pagina è stata lasciata intenzionalmente bianca)

Sommario

1	Introduzione.....	1
1.1	<i>Quadro di partenza.....</i>	<i>1</i>
1.1.1	Premessa	1
1.1.2	Descrizione delle attività	2
1.2	<i>Aspetti strategici.....</i>	<i>4</i>
1.2.1	Concetti ed assunzioni di fondo	4
1.2.2	Possibili concetti alternativi per la definizione di NZEB (limitatamente alle riqualificazioni) ...	5
1.3	<i>Prime conclusioni.....</i>	<i>7</i>
2	Sintesi, conclusioni e raccomandazioni	11
2.1	<i>Sintesi della ricerca e conclusioni</i>	<i>11</i>
2.2	<i>Raccomandazioni.....</i>	<i>16</i>
3	Selezione degli edifici e dati generali	17
3.1	<i>Criteri per l'identificazione degli edifici rappresentativi.....</i>	<i>17</i>
3.2	<i>Caratteristiche dell'involucro e di alcuni aspetti impiantistici degli edifici di riferimento.....</i>	<i>18</i>
3.3	EDIFICIO 1	19
3.3.1	PIANTE – PROSPETTI -SEZIONI	19
3.3.2	Informazioni generali.....	20
3.3.3	Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'edificio	21
3.4	EDIFICIO 2	22
3.4.1	PIANTE – PROSPETTI -SEZIONI	22
3.4.2	Informazioni generali.....	23
3.4.3	Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'edificio	24
3.5	EDIFICIO 3	25
3.5.1	PIANTE – PROSPETTI –SEZIONI	25
3.5.2	Informazioni generali.....	26
3.5.3	Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'edificio	27
3.6	<i>Identificazione dei servizi energetici e metodo di calcolo.....</i>	<i>28</i>
4	Identificazione degli scenari e possibili confronti	30
4.1	<i>Premesse.....</i>	<i>30</i>
4.2	<i>Scenario attuale.....</i>	<i>31</i>
4.3	<i>Scenario NZEB di legge</i>	<i>31</i>
4.4	<i>Scenario NZEB "equivalente".....</i>	<i>32</i>
4.5	<i>Scenario «Quasi NZEB».....</i>	<i>32</i>
4.6	<i>Interventi sull'involucro edilizio</i>	<i>32</i>
5	Valutazioni economiche.....	35
5.1	<i>Premessa.....</i>	<i>35</i>
5.2	<i>Stima dell'investimento iniziale</i>	<i>35</i>
5.2.1	Costi di investimento iniziale – Edificio 1	35
5.2.2	Costi di investimento iniziale – Edificio 2	36
5.2.3	Costi di investimento iniziale – Edificio 3	37
5.3	<i>Spese di gestione</i>	<i>38</i>
5.3.1	Costo di approvvigionamento energetico	38
5.3.2	Fattori di correzione spesa approvvigionamento energetico	39
5.3.3	Fattore di riduzione quota di autoconsumo energia elettrica da fotovoltaico	39

5.3.4	Costo annuale di manutenzione.....	40
6	Risultati dell'analisi.....	41
6.1	<i>Caso studio 1.....</i>	<i>41</i>
6.1.1	Caso studio 1 - Milano	41
6.1.2	Caso studio 1 – Roma	41
6.1.3	Caso studio 1 - Palermo	42
6.2	<i>Caso studio 2.....</i>	<i>42</i>
6.2.1	Caso studio 2 - Milano	42
6.2.2	Caso studio 2 - Roma	43
6.2.3	Caso studio 2 – Palermo	43
6.3	<i>Caso studio 3.....</i>	<i>44</i>
6.3.1	Caso studio 3 – Milano	44
6.3.2	Caso studio 3 – Roma	44
6.3.3	Caso studio 3 - Palermo	44
6.4	<i>Analisi dei risultati</i>	<i>45</i>
6.4.1	Indice NZEB.....	45
6.4.2	Tempo di ritorno semplice	46
6.4.3	VAN (Valore Attuale Netto)	47
6.4.4	Confronto tempo di ritorno / indice NZEB	48
7	Riferimenti bibliografici	50
8	Appendice 1 – Informazioni sugli edifici reali presi a riferimento per la definizione degli edifici tipo	51
8.1	<i>Caso studio 1 – Palazzina uffici.....</i>	<i>51</i>
8.2	<i>Caso studio 2 – Palazzina uffici.....</i>	<i>53</i>
8.3	<i>Caso studio 3 – Palazzina uffici.....</i>	<i>57</i>
8.4	<i>Appendice 2 - Dimensionamento degli impianti termici - potenze termiche massime necessarie per il riscaldamento e il raffrescamento.....</i>	<i>61</i>
9	Appendice 3 – Tabelle risultati	62
9.1	<i>Caso studio 1.....</i>	<i>62</i>
9.1.1	Caso studio 1 - Milano	62
9.1.2	Caso studio 1 – Roma	63
9.1.3	Caso studio 1 – Palermo	64
9.2	<i>Caso studio 2.....</i>	<i>65</i>
9.2.1	Caso studio 2 – Milano	65
9.2.2	Caso studio 2 - Roma	66
9.2.3	Caso studio 2 - Palermo	67
9.3	<i>Caso studio 3.....</i>	<i>68</i>
9.3.1	Caso studio 3 – Milano	68
9.3.2	Caso studio 3 – Roma	69
9.3.3	Caso studio 3 - Palermo	70

1 Introduzione

1.1 Quadro di partenza

1.1.1 Premessa

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 2016, 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'influenza della quota rinnovabile sulla prestazione energetica e sui costi degli edifici da trasformare in NZEB, prendendo come riferimento quelli destinati ad uso ufficio.

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 a circa il 55% nel caso degli edifici pubblici.

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 costituisce una prescrizione importante che oltretutto evidenzia il ruolo fondamentale dell'impianto a servizio del fabbricato.

Più in generale e limitando l'analisi alle sole ristrutturazioni, numerose ricerche condotte considerando casi studio reali e i carichi energetici effettivi (quindi non quelli standard utilizzati per la verifica delle prescrizioni di legge) hanno evidenziato come i tempi di ritorno delle riqualificazioni in NZEB realizzate sulla base del DM 16.6.2015 siano generalmente non economiche¹.

Le motivazioni sono riconducibili sostanzialmente a:

- livello di isolamento prescritto per il fabbricato che incide sui "costi fissi" di intervento, in quanto le prescrizioni impongono, indipendentemente da qualsiasi altro aspetto, di raggiungere determinate trasmittanze delle chiusure opache e trasparenti;
- quota di rinnovabile (QR) richiesta che restringe il campo di scelta a poche tecnologie.

La diretta conseguenza di questo tipo di situazione è il modesto tasso di riqualificazioni specialmente degli edifici di dimensione più elevata che costituiscono, sotto il profilo energetico e ambientale, il settore più interessante a livello nazionale.

¹ Ciò partendo dal presupposto che gli investimenti richiesti per la riqualificazione energetica dell'edificio debbano essere giustificati dai risparmi ottenibili sulla bolletta energetica, pur tenendo conto delle varie agevolazioni disponibili. Tale aspetto si rileva strategico per il consolidamento di una reale offerta di mercato (esempio, da parte di ESCo)

Il problema, comunque, non è solo italiano. Infatti va rilevato come a livello europeo la penetrazione dei NZEB sia nuova che da riqualificazioni sia probabilmente più lenta del previsto. Ciò ha portato la Commissione a pubblicare la Raccomandazione del 29 luglio 2016 [3] recante orientamenti e chiarimenti per la promozione degli edifici a energia quasi zero.

Il documento conferma che i NZEB devono essere caratterizzati da consumi energetici (non rinnovabili) sostanzialmente nulli o comunque molto limitati ma nello stesso tempo indica come possibili consumi di energia primaria totale (rinnovabile più non rinnovabile) possano variare entro limiti piuttosto ampi.

In particolare, e questo si ritiene che sia importante, vengono confermati i requisiti di economicità, ovvero che i NZEB non debbano risultare antieconomici ma nello stesso tempo caratterizzati da prestazioni energetiche migliore di quella ottimale. Quindi si chiarisce, se pur indirettamente, che i NZEB devono essere più performanti delle soluzioni “ottimali”² ma comunque giustificabili sotto il profilo economico.

Questo tipo di impostazione risulta particolarmente utile nel caso delle ristrutturazioni, dove il termine di confronto è l’edificio nelle condizioni originarie. È quindi possibile pensare a soluzioni NZEB che risultino, in termini di costi, intermedie tra situazione attuale (edificio non ristrutturato) e riqualificazione orientata al minimo costo totale (che dovrebbe essere caratterizzata dai “requisiti minimi”) ma che comunque risultano economiche, ovvero essere caratterizzate da valori del VAN positivi³.

In conclusione è possibile affermare che:

- i NZEB rimangono un obiettivo fondamentale per la CE;
- nella realtà italiana le ristrutturazioni in NZEB richiedono investimenti difficilmente giustificabili sotto il profilo economico tenendo conto del solo risparmio energetico;
- le simulazioni di calcolo effettuate sino ad oggi evidenziano come le soluzioni tecnologiche idonee per rispettare le prescrizioni di legge per le ristrutturazioni in NZEB siano abbastanza ripetitive e riassumibili in pochi “pacchetti di misure” (in particolare basate sull’uso di pompe di calore o caldaie a biomasse) che potrebbero, a questo punto, essere imposti come standard di intervento senza eseguire calcoli;
- al fine di rendere maggiormente compatibili le prescrizioni nazionali sui NZEB con gli indirizzi europei bisognerebbe valutare le ricadute della possibile revisione di alcune prescrizioni, al fine di rendere i NZEB nazionali economicamente più competitivi. Ciò con particolare riferimento alle riqualificazioni

1.1.2 Descrizione delle attività

Si è ritenuto interessante valutare, tenendo conto di quanto detto nelle premesse, la ricaduta di diversi valori del QR sulle prestazioni economiche dei NZEB nel caso della riqualificazione di edifici ad uso uffici e senza considerare le facilitazioni normative introdotte per il teleriscaldamento.

Nella pratica il valore del QR può essere variato adottando:

- diverse configurazioni impiantistiche a parità di interventi sull’involucro;
- diverse soluzioni impiantistiche e diversi interventi di riqualificazione dell’involucro.

La seconda ipotesi viene qui considerata come più realistica in quanto l’intensità dell’investimento per la riqualificazione energetica va di pari passo con l’intensità dei singoli interventi (sia sull’involucro che sull’impianto) dando la precedenza a quelli con un minore rapporto costo/benefici.

In questa ottica è stata quindi svolta una analisi tecnico-economica basata sui seguenti aspetti:

- definizione di tre edifici esistenti standard da analizzare in tre situazioni climatiche differenti, rappresentative della situazione nazionale (Milano, Roma e Palermo);

² In ambito nazionale le soluzioni ottimali sono quelle individuate dai “requisiti minimi” con il DM 16.6.2015.

³ Tuttavia un problema è costituito dal fatto che le indicazioni della Commissione fanno riferimento a periodi di calcolo delle prestazioni economiche di 30 anni. Di fatto il mercato nazionale non sembra essere compatibile con questo tipo di impostazione, come viene chiarito più in dettaglio nei paragrafi che seguono.

- tre diverse ipotesi di ristrutturazione dell'involucro:
 - o riqualificazione ai sensi di legge;
 - o riqualificazione intermedia;
 - o (realizzazione dei soli interventi sull'involucro che presentano un discreto rapporto costi/benefici, ovvero, nei casi considerati, sostituzione delle chiusure trasparenti e isolamento della sola copertura);
 - o assenza di interventi;
- tre diverse configurazioni impiantistiche tutte caratterizzate dalla presenza di ventilazione meccanica con recupero energetico e da impianti di illuminazione ad alta efficienza, ciascuna caratterizzata da:
 - o riqualificazione ai sensi di legge, consistente in installazione di pompe di calore (PdC) in centrale termica senza intervenire sui sistemi di distribuzione ed emissione; installazione di impianto PV;
 - o installazione di sistemi VRF con riqualificazione dei sistemi di distribuzione ed emissione; installazione di collettori solari PV;
 - o assenza di interventi;
- valutazione tecnico-economica delle singole soluzioni sulla base delle prestazioni energetiche conseguibili valutate, tenendo conto sia del riscaldamento invernale, sia raffrescamento estivo. Per le valutazioni economiche, i valori energetici ottenuti da calcolo eseguito secondo i termini di legge sono stati corretti allo scopo di avvicinarli alla bolletta energetica reale, tenendo conto anche dei costi di manutenzione. Le valutazioni economiche sono state condotte con un approccio semplificato.

La scelta di riqualificare gli impianti adottando ventilazione meccanica e sistemi di illuminazione ad alta efficienza per ogni caso e diverse tecnologie basate sull'impiego di PdC elettriche è giustificata dalle seguenti considerazioni:

- nel caso di edifici di una certa dimensione e nell'ottica di un miglioramento delle strutture, la ventilazione meccanica viene ormai quasi sempre presa in considerazione per conseguire un adeguato livello di comfort, indipendentemente dagli aspetti energetici. Analoghe considerazioni sono valide anche per l'impianto di illuminazione anche se quest'ultimo ha un peso notevole sulle prestazioni energetiche degli edifici non residenziali;
- tra le diverse soluzioni di generazione con apporto di energia rinnovabile, le PdC elettriche si distinguono per la facilità di inserimento nei diversi contesti e per la loro capacità di coprire sia le esigenze di riscaldamento che di raffrescamento, oltre che per la loro sinergia con gli impianti fotovoltaici soprattutto nel periodo estivo. Considerando tutti questi aspetti le PdC rimangono sostanzialmente senza alternative, a meno di considerare i generatori di calore a biomassa soprattutto laddove non sussistono vincoli ambientali e non è richiesto un impianto di raffrescamento.

Dal punto di vista applicativo questo assunto è stato tradotto considerando che tali sistemi (VMC + LED) fossero già presenti nell'edificio allo scenario attuale.

Con l'analisi è stato quindi possibile disporre di una griglia di situazioni idonea per capire se sia possibile:

- raggiungere livelli di contenimento dei fabbisogni di energia primaria interessanti anche con interventi di riqualificazione meno importanti di quelli oggi richiesti;
- conseguire dei rapporti costi/benefici più attraenti di quelli attuali;
- fornire delle fasce indicative di prestazioni energetiche rappresentative di edifici ad uso uffici trasformate in NZEB;
- formulare delle raccomandazioni utili per modificare l'attuale normativa di interesse delle ristrutturazioni di edifici esistenti.

1.2 Aspetti strategici

1.2.1 Concetti ed assunzioni di fondo

Gli NZEB sono edifici che consentono un risparmio di energia addizionale rispetto ai requisiti minimi imposti dalla legge (Figura 1). In termini generali tale risparmio viene conseguito riducendo il consumo energetico, sostanzialmente attraverso l'isolamento della struttura (anticipando i requisiti minimi previsti per il 2020) e comunque adottando misure di contenimento dei fabbisogni, e ricorrendo in maggiore misura alle fonti rinnovabili.

Nella situazione nazionale, come evidenziato nelle premesse, le trasformazioni di edifici esistenti in NZEB ai sensi del DM 26.6.2015 sono caratterizzate quasi sempre da costi totali superiori a quelli dell'edificio esistente. Questo tipo di situazione è illustrata nella Figura 1.

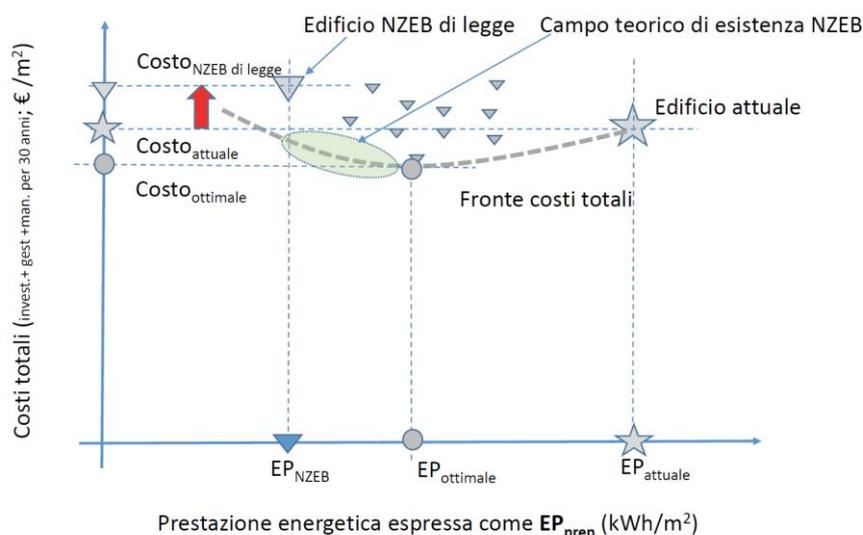


Figura 1 - Applicando diverse misure di contenimento dei consumi energetici e di utilizzo delle energie rinnovabili a un edificio esistente si osserva una diminuzione dei consumi di energia e uno scostamento dei costi totali rispetto a quelli dell'edificio esistente. Secondo lo spirito della Raccomandazione della CE del 29/7/2016 le trasformazioni a NZEB dovrebbero essere caratterizzate da prestazioni energetiche migliori di quelle ottimali e da costi intermedi tra quelli minimi e quelli dell'edificio attuale, comunque tali da consentire un risparmio economico (zona verde nel grafico). Nella figura si fa riferimento alla prestazione energetica espressa in termini di energia non rinnovabile.

Al riguardo è importante ricordare come la finalità dei NZEB sia quella di innescare un processo di continua riduzione dei consumi di energia non rinnovabile attraverso processi di innovazione tecnologica che consentano di migliorare la prestazione energetica e di abbassare i costi di riqualificazione (Figura 2).

Nel contesto nazionale si osserva inoltre che:

- i requisiti di legge richiesti per i NZEB comportano frequentemente un aumento dei consumi energetici estivi con le condizioni climatiche tipiche del Sud Italia⁴. Alla base di questo fenomeno, a parte le imprecisioni introdotte dalle semplificazioni delle metodologie di calcolo prescritte, va ricordato l'effetto negativo indotto dall'isolamento sui fabbisogni energetici estivi;
- i costi delle trasformazioni a NZEB generalmente non recuperabili in tempi ragionevoli oltre ad avere un effetto depressivo sul mercato contrastano con il principio presente in tutte le direttive

⁴ Il problema è comunque evidente già con il rispetto dei "requisiti minimi".

europee di interesse per il risparmio energetico e lo sviluppo delle rinnovabili che sancisce che qualsiasi misura è ammissibile solo se economicamente conveniente⁵.

Tutti questi aspetti rendono auspicabile un “allentamento” della definizione nazionale di NZEB, in particolare per la ristrutturazione degli edifici.

Di seguito si illustrano quindi delle linee di principio sulla base delle quali è stato impostato il presente studio.

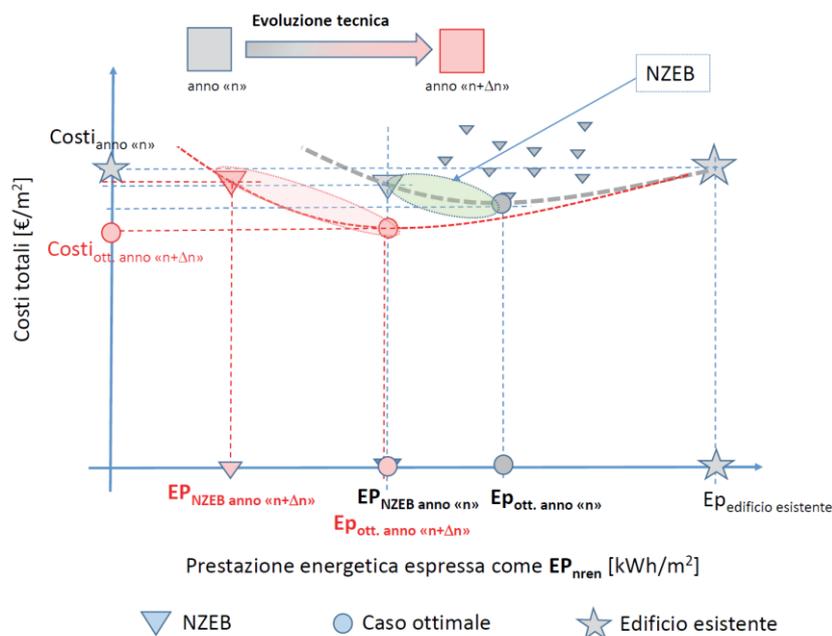


Figura 2 - Rappresentazione grafica della finalità alla base della promozione dei NZEB. L’idea è che l’evoluzione tecnologica sia in grado, nel tempo (nella figura viene ipotizzato un periodo di tempo “Δn” in anni), di rendere competitivi gli edifici considerati NZEB all’anno “n”. Conseguentemente questi 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 teoricamente 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. Nella figura che segue si fa riferimento alla prestazione energetica espressa in termini di energia non rinnovabile.

1.2.2 Possibili concetti alternativi per la definizione di NZEB (limitatamente alle riqualificazioni)

Da un punto di vista generale, le eventuali definizioni alternative di NZEB dovrebbero introdurre delle facilitazioni che permettano di limitare gli investimenti necessari senza incidere sensibilmente sugli obiettivi finali in termini di potenziale risparmio energetico conseguibile a livello nazionale.

In questo quadro i possibili approcci potrebbero basarsi sulla invarianza della prestazione energetica espressa in termini di energia non rinnovabile dell’edificio ristrutturato oppure su una sua riduzione (corrispondente a minori risparmi energetici anche in termini di sola energia non rinnovabile) a fronte di un

⁵ Il problema è tale da costituire una base legale per possibili “class action” da parte dei consumatori? Sarebbe utile approfondire questo aspetto?

potenziale aumento del numero di realizzazioni, in modo che l'obiettivo finale sia rispettato a livello nazionale.

I singoli casi vengono analizzati di seguito. Si sottolinea, in particolare, che le singole ipotesi portano, indirettamente, a diverse quote di energie rinnovabili.

Invarianza della prestazione energetica dell'edificio (espressa in termini di energia non rinnovabile). Un edificio caratterizzato, dopo la ristrutturazione effettuata senza rispettare le prescrizioni legislative vigenti, da un consumo di energia non rinnovabile identico a quello conseguibile con il rispetto della normativa nazionale sugli NZEB, raggiunge nella pratica gli stessi risultati in termini di risparmio di energia non rinnovabile e contenimento delle emissioni di CO₂.

Di fatto la prestazione energetica (espressa in termini di EP_{nren}) è la stessa nei due casi (Figura 3), quindi l'indirizzo europeo dalla EPBD sostanzialmente rispettato⁶.

Ricordando che gli elevati costi delle ristrutturazioni a NZEB di legge sono dovute quasi sempre agli interventi di adeguamento dell'involucro, questo risultato potrebbe per esempio essere conseguito allentando i requisiti minimi di isolamento delle pareti opache e trasparenti e adottando soluzioni impiantistiche particolarmente efficienti.

Questa soluzione potrebbe essere definita come "NZEB equivalente" e diventa interessante se è effettivamente in grado di contenere in modo significativo gli investimenti.

I vantaggi sono i seguenti:

- indifferenza sugli obiettivi 20-20-20 della politica nazionale;
- conseguente probabile facilitazione dell'inserimento di emendamenti alla legge vigente limitatamente alle ristrutturazioni edilizie;
- eliminazione del problema legato all'aumento dei consumi energetici indotto dalla legislazione vigente nei consumi degli edifici al Sud⁷.

In sostanza, per introdurre questa possibile variante si potrebbe dire, per esempio, che "nel caso di ristrutturazioni la qualifica di NZEB può essere conseguita, in deroga agli attuali requisiti minimi richiesti per l'involucro, raggiungendo la stessa prestazione energetica espressa in termini di energia non rinnovabile che lo stesso edificio conseguirebbe rispettando la legge".

In questa ottica, l'edificio NZEB di legge diventerebbe una sorta di "edificio di riferimento" nei confronti dell'NZEB "equivalente" ai fini della verifica del raggiungimento della prestazione energetica richiesta, sempre espressa in termini di EP_{nren} e senza imporre dei limiti sull'EP totale⁸.

Riduzione della prestazione energetica dell'edificio. Assumendo come obiettivo di fondo il contenimento degli investimenti necessari per qualificare un edificio "NZEB", la soluzione più immediata è quella di proporre, almeno per quello che riguarda le ristrutturazioni, prescrizioni che portino a livelli ridotti di prestazione energetica (ovvero caratterizzati da valori di EP_{nren} maggiori di quelli attualmente richiesti).

⁶ L'indirizzo politico di contenere le emissioni di CO₂ è all'origine di tutte le direttive europee mirate alla diffusione delle energie rinnovabili e del risparmio energetico, EPBD compresa. Questo aspetto costituisce quindi il vero perno della questione. A livello nazionale, tuttavia, gli obiettivi di riduzione delle emissioni sono stati "tradotti" in risparmio di combustibili non rinnovabili ma anche di energia derivante da fonti rinnovabili. Vengono infatti prescritti *dei limiti al consumo totale di energia* (ovvero del consumo di energia rinnovabile e non rinnovabile). In questa sede si propone invece di considerare il solo consumo di combustibili non rinnovabili. Da un punto di vista ancora più generale la problematica poteva essere affrontata anche considerando l'energia incorporata nei materiali utilizzati per la realizzazione (o ristrutturazione) degli edifici, quindi dando la possibilità di conseguire gli obiettivi di base (riduzione delle emissioni di CO₂) agendo su più fattori e non solo sul semplice risparmio energetico diretto.

⁷ Va sottolineato che il problema interessa anche gli edifici nuovi. In questa sede, tuttavia, non viene affrontata questa casistica.

⁸ Nel caso si volessero comunque imporre delle prescrizioni per l'isolamento dell'involucro occorrerebbe studiare in modo approfondito la problematica in modo da garantire comunque un potenziale di riduzione dei costi della riqualificazione.

Sarebbe quindi come dire che il mercato delle ristrutturazioni a NZEB richiede, per il suo decollo, un opportuno “sconto” sulle prestazioni energetiche (qui definito ΔPE) che nella pratica si tradurrebbe in una maggiore facilità nel conseguire la qualifica di NZEB.

Questa ipotesi di lavoro trova fondamento se si assume che tale qualifica di NZEB sia un valido argomento a livello comunicativo per stimolare la domanda e quindi l’interesse degli utenti.

Se questo è il punto di partenza il problema concettuale si traduce nella necessità di trovare degli opportuni riferimenti che permettano: da un lato, di quantificare l’opportuna entità del citato “sconto” ΔPE e, dall’altro, di tracciare delle ipotetiche linee-guida per modificare le prescrizioni di legge.

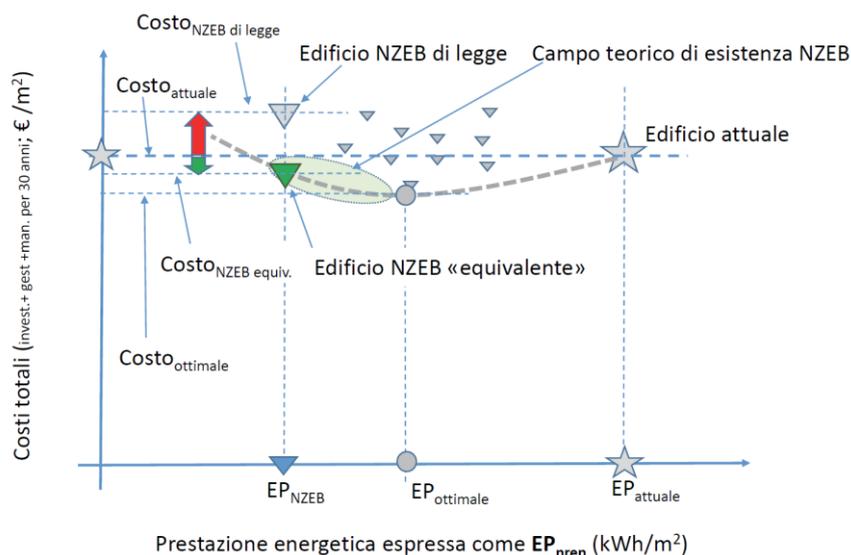


Figura 3 - Relazione tra NZEB di legge ed NZEB “equivalente” così come definito nel testo. Le prestazioni energetiche (esprese in termini di energia non rinnovabile) nei due casi sono identiche, mentre i costi totali risultano, rispettivamente, nel primo caso generalmente superiori a quelli dell’edificio esistente (caso attuale) e nel secondo caso inferiori (almeno nelle aspettative di questo studio). In termini concettuali, quindi, l’edificio NZEB equivalente potrebbe essere definito rispettando il solo vincolo di raggiungere la stessa EP_{nren} dell’edificio NZEB conforme alle prescrizioni di legge.

1.3 Prime conclusioni

Ragionando su questa linea, i dati raccolti evidenziano i seguenti aspetti, in parte già citati in precedenza in termini generali (Figura 4):

- oggi è sostanzialmente improbabile stimolare l’interesse industriale sul tema, in quanto gli investimenti richiesti non permettono di impostare nessuna strategia in merito. Quindi oggi la qualifica di NZEB, sempre in ambito di ristrutturazioni, non costituisce un vero stimolo per lo sviluppo dell’iniziativa privata organizzata, almeno facendo leva solo sui risparmi economici derivanti dal risparmio energetico;
- più in particolare, si osserva che già gli investimenti richiesti dalle ristrutturazioni per il rispetto degli attuali “requisiti minimi” sono già elevati e, sempre da un punto di vista probabilistico, non giustificabili sotto il profilo economico. Ne consegue che la problematica qui discussa per la trasformazione degli edifici esistenti in NZEB è più generale e che il tema è strettamente legato anche a quello della definizione del “caso ottimale” (che definisce i “requisiti minimi”);
- l’interesse alla qualifica di NZEB di taluni proprietari di edifici (sia pubblici che privati) rimane limitata a progetti pilota (tipicamente edifici pubblici dimostrativi nel caso siano disponibili i fondi necessari) o a situazioni dove la volontà di sviluppare dei progetti innovativi per motivazioni ambientali o legate a particolari scelte personali o manageriali prevale nettamente sul tornaconto economico. Si ritiene, tuttavia, che si tratti di una casistica limitata, peraltro discutibile anche sotto

il profilo dimostrativo, in quanto è difficile intravedere un reale potenziale di replica e quindi una domanda di tecnologie innovative tale da incidere sul relativo mercato e costi, così come schematizzato nella Figura 2.

La situazione è sintetizzata a livello qualitativo nella Figura 4 ove si evidenzia come:

- le attuali ristrutturazioni a NZEB di legge (con particolare riferimento al terziario) siano caratterizzate da tempi di ritorno dell'investimento superiori a 25 anni con medie che probabilmente si attestano indicativamente sui 50 anni;
- le aspettative del mercato nazionale siano incongruenti già con le indicazioni europee (orizzonti temporali di 30 anni per l'impostazione dei calcoli economici);
- sia probabilmente necessario ridurre gli investimenti richiesti dalla qualifica a NZEB di un fattore pari a 4-5 al fine di rendere la qualifica stessa un possibile target del mercato delle imprese energetiche. In questa ottica risulterebbe necessario anche rivedere la definizione dei "requisiti minimi" in quanto la versione NZEB di un edificio è per definizione meno performante sotto il profilo economico del "caso ottimale".

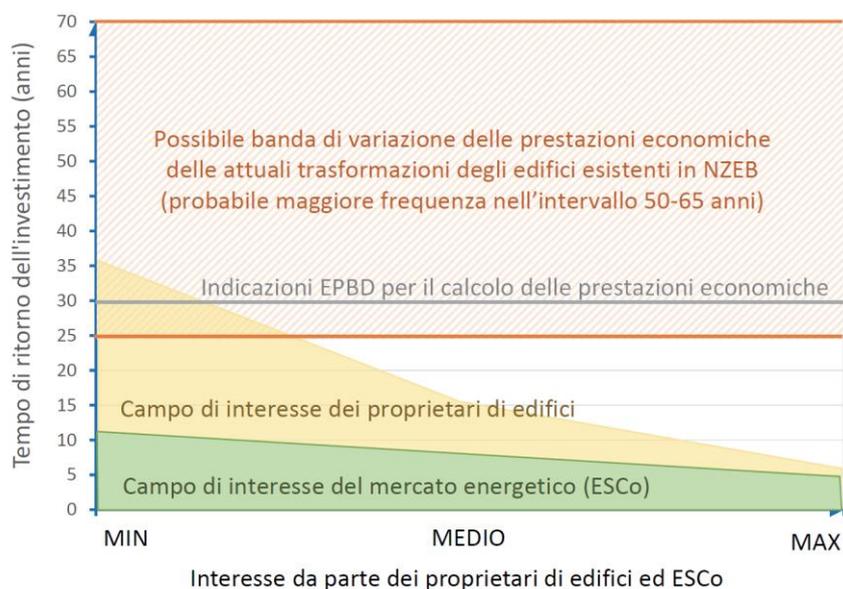


Figura 4 – Può la qualifica a NZEB costituire un driver di mercato per la ristrutturazione degli edifici esistenti? Una possibile sintesi di carattere qualitativo del problema la si ottiene mettendo in relazione l'interesse dei diversi soggetti con i tempi di ritorno degli investimenti necessari per la ristrutturazione a NZEB di legge. Come sottolineato nel testo, i tempi di ritorno sono calcolati sulla base dei soli benefici economici derivanti dal risparmio energetico. E' evidente una sostanziale incongruenza con le aspettative del mondo industriale (perlomeno quello che fa del risparmio energetico il proprio business) e un limitato interesse da parte dei proprietari degli edifici. La conclusione è che la risposta alla domanda iniziale è negativa. In aggiunta è importante osservare come il "caso ottimale" sia già problematico sotto questo punto di vista.

La Figura 5 entra ancora più nel dettaglio del problema ed evidenzia, sulla base delle indicazioni disponibili e che comunque andrebbero approfondite, un legame indicativo tra tempi di ritorno degli investimenti e prestazione energetica EP_{nren} . Nella figura la prestazione energetica è indicata come "indice NZEB" pari al rapporto (valori percentuali) tra prestazione energetica dell'edificio specifico nelle sue varie versioni (compresa quella di partenza) e la prestazione energetica della versione NZEB.

Si osserva in particolare che:

- il caso "ottimale" dovrebbe essere caratterizzato da una prestazione energetica indicativamente pari a circa 1,5 volte di quella del NZEB di legge;
- per stimolare l'interesse industriale occorrerebbe almeno dimezzare la prestazione energetica degli attuali NZEB;

- tutte le ipotesi qui formulate avrebbero senso solo se venisse adeguata anche la definizione di “caso ottimale”.

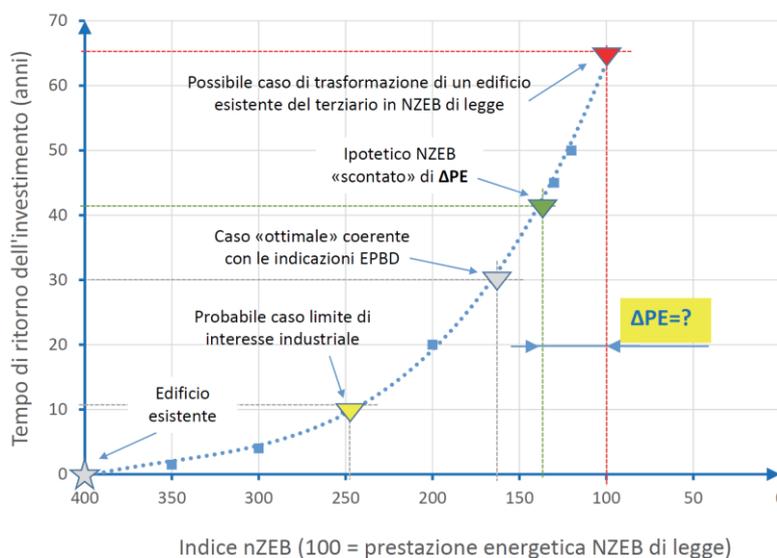


Figura 5 – Qual è la relazione generalizzata tra ristrutturazione a NZEB, edificio esistente e altri casi di riferimento? Che “sconto” ΔPE bisogna applicare alle prestazioni energetiche che derivano dalle attuali prescrizioni di legge per rendere attrattiva e spendibile sul mercato la qualifica di NZEB? Il grafico sotto riportato, che può trovare riscontro soprattutto per le ristrutturazioni di edifici ad uso non residenziale, cerca di dare una prima risposta. In ascissa è riportato “l’Indice NZEB” definito dal rapporto (valori percentuali) tra prestazione energetica – sempre espressa in termini di energia non rinnovabile - dell’edificio specifico nelle sue varie versioni (compresa quella di partenza) e la prestazione energetica della versione NZEB.

La curva rappresentata in Figura 5 è stata costruita con la logica di dare la precedenza alle misure di risparmio energetico caratterizzate da un rapporto costo/benefici minore.

In linea indicativa gli operatori prendono in esame i seguenti interventi (in successione di presunta efficacia in termini di costo e prestazioni):

- ottimizzazione degli impianti esistenti con limitate sostituzioni e miglioramento della regolazione del clima;
- interventi migliorativi sull’involucro di limitato impatto economico;
- sostituzione dei generatori con eventuali interventi secondari sulle sezioni di distribuzione ed emissione senza variare in modo significativo i livelli di temperatura;
- isolamento della copertura;
- riqualificazione o sostituzione delle chiusure trasparenti;
- sostituzione dei generatori con intervento sui livelli di temperatura e conseguente adeguamento delle sezioni di distribuzione ed emissione;
- interventi di isolamento dell’involucro più diffusi.

Gli interventi sulla illuminazione e sulla eventuale adozione di un impianto di ventilazione meccanica rientrano, sempre in via tendenziale e come già accennato nelle premesse, in un’ottica di confort generale e sono in genere ormai proposti e accettati nel caso degli edifici non residenziali come adeguamenti extra-energetici.

L’inserimento delle fonti alternative è in genere considerato in termini di prescrizioni nel caso dei collettori solari e termici, mentre nel caso della biomassa viene valutato nell’ambito delle possibili scelte impiantistiche.

Tutto il quadro sintetizzato nelle Figure 4 e 5 pone delle quindi problematiche di carattere concettuale non banali che andrebbero chiarite anche in relazione della definizione di “requisiti minimi” e agli obiettivi che si intendono adottare per avviare il mercato delle ristrutturazioni.

Infatti considerando che:

- un ipotetico nuovo livello NZEB di un dato edificio deve essere necessariamente caratterizzato da una prestazione energetica migliore del livello “ottimale” dello stesso;
- il livello NZEB deve risultare il più possibile competitivo al fine di rendere questa qualifica desiderabile dal mercato;
- essendo gli attuali “requisiti minimi” (legati ai casi ottimali che ha sviluppato il MiSE in collaborazione con ENEA e che ha inviato alla Commissione a suo tempo) già severi sul piano economico;

risulta evidente che oltre a definire un nuovo livello NZEB andrebbe definito anche un nuovo riferimento per i “requisiti minimi”. In termini di principio, i nuovi livelli NZEB ed “ottimale” non dovrebbero discostarsi molto tra loro (es: 5-10% in termini di EP_{nren}) ed entrambe dovrebbero definire tempi di ritorno degli investimenti più accettabili di quelli attuali (Figura 6).

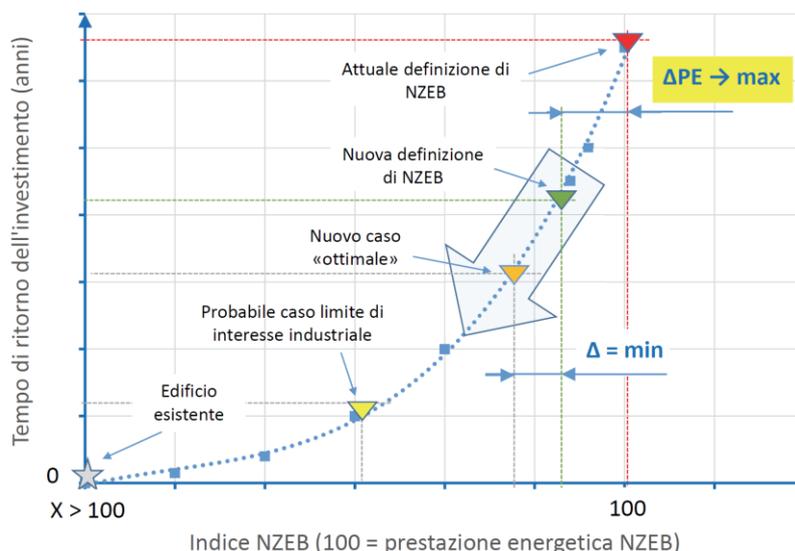


Figura 6 - Quali sono le conclusioni concettuali di tutte le considerazioni viste? In sintesi occorrerebbe che: lo sconto ΔPE sia consistente e pari a buona parte dell'intervallo definito, sull'asse delle ascisse, dalla nuova definizione di NZEB e dal “caso ottimale”; “mettere mano” – sempre facendo riferimento agli edifici non residenziali – anche alla definizione di “caso ottimale”; Cercare di avvicinare il più possibile i due punti (NZEB e caso ottimale) alle aspettative del mercato. Tutte queste considerazioni concettuali restano valide solo se si assume che il risparmio energetico di energia non rinnovabile debba essere giustificato su basi economiche. In ascissa è riportato “l'Indice NZEB” definito dal rapporto (valori percentuali) tra prestazione energetica – sempre espressa in termini di energia non rinnovabile - dell'edificio specifico nelle sue varie versioni (compresa quella di partenza) e la prestazione energetica della versione NZEB.

2 Sintesi, conclusioni e raccomandazioni

2.1 Sintesi della ricerca e conclusioni

Il principale obiettivo della ricerca è di evidenziare le possibili strade per formulare, limitatamente al caso delle ristrutturazioni di edifici, delle definizioni di NZEB alternative a quella attuale e che possono comportare delle riduzioni significative degli investimenti richiesti.

In questo quadro vengono quindi definiti i seguenti scenari alternativi:

- **scenario “NZEB equivalente”** così come definito nel Paragrafo 1.2, ovvero una soluzione tecnica che raggiunge, facendo riferimento a uno specifico edificio, la stessa prestazione energetica in termini di energia non rinnovabile ($E_{Pn,ren}$) dell’NZEB di legge senza tuttavia seguire le altre prescrizioni del DM “Requisiti Minimi” relative all’involucro. Nella pratica si ipotizza di lavorare parzialmente sull’involucro, prevedendo solo la coibentazione della copertura e la sostituzione degli infissi (entrambe conformi alle prescrizioni previste per gli NZEB di legge), mentre per l’impianto è stata adottata la soluzione più performante disponibile sul mercato (impianto VRF ad espansione diretta mentre per la produzione di ACS viene mantenuto l’impianto preesistente di tipo elettrico in considerazione dei limitati fabbisogni), mantenendo o incrementando la superficie di PV richiesta;
- **scenario “quasi NZEB”** che prevede solo l’intervento sull’impianto di climatizzazione (soluzione tecnica identica a quelle “dell’NZEB equivalente”) e l’installazione dell’impianto fotovoltaico.

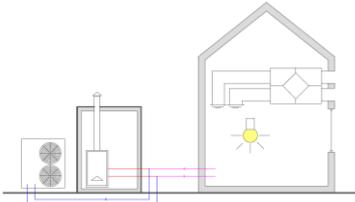
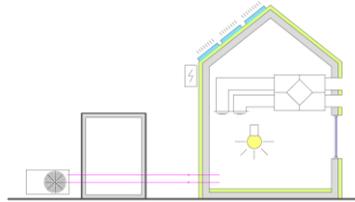
Questi scenari rispondono sostanzialmente a due esigenze:

- la prima (“NZEB equivalente”) è la soluzione che in termini di impatto sul contenimento delle emissioni di CO₂ e di risparmio di energia rinnovabile è formalmente identica all’attuale NZEB di legge, quindi indifferente in termini di impegni nazionali nei confronti della politica europea;
- la seconda (“quasi NZEB”) rappresenta una soluzione di possibile interesse per le ESCO o organizzazioni simili che possono lanciare sul mercato delle proposte di riqualificazione degli edifici esistenti a costi nulli o ridotti per l’utente.

Le soluzioni NZEB alternative vengono poste a confronto con:

- **“scenario attuale”**, ovvero lo status quo, che funge da principale riferimento. Nei casi analizzati le strutture opache hanno generalmente elevati valori di trasmittanza termica mentre l’impianto di climatizzazione (caldaia a gas naturale e *chiller* per il raffrescamento), non di ultima generazione, opera in condizioni normali. In ogni caso si considerano edifici muniti di ventilazione meccanica con recuperatore e di impianti di illuminazione ad elevata efficienza in quanto si ritiene che questi interventi siano oggi legati più a considerazioni di confort che energetiche e che siano già presenti in un numero significativo di casi;
- **“scenario NZEB di legge”** che rappresenta l’adeguamento dell’edificio specifico esistente al livello NZEB prescritto dalla legge. L’intervento di ristrutturazione energetica interessa quindi sia tutto l’involucro che l’impianto e viene rispettato il dimensionamento richiesto per il fotovoltaico. Per quanto riguarda l’impianto, si ipotizza di sostituire i generatori di calore ed il *chiller* con un’unica pompa di calore elettrica reversibile aria-acqua a media-alta temperatura, necessaria per raggiungere la percentuale minima richiesta di copertura da fonte rinnovabile.

Gli interventi ipotizzati nei singoli scenari sono riassunti nel prospetto che segue.

INTERVENTI	Isol. solaio superiore	Isol. solaio inferiore	Isol. pareti esterne	Sostit. infissi e vetri	PdC Aria-Acqua	PdC per ACS	Impianto VRF	FV
<p>Scenario attuale</p> 								
<p>Scenario NZEB di legge</p> 	●	●	●	●	●	●		●
<p>Scenario "NZEB "equivalente"</p> 	●			●			●	●
<p>Scenario "Quasi NZEB"</p> 							●	●

Per confrontare i diversi scenari sono stati definiti, sulla base di quanto evidenziato da studi del CRESME [4] e del RSE [5], tre edifici rappresentativi ad uso ufficio con le seguenti caratteristiche:

- superficie utile 340 m² – due piani in cemento armato;
- superficie utile 1.100 m² – tre piani con struttura mista (muratura portante e cemento armato);
- superficie utile 3.130 m² – due piani con struttura in cemento armato e tamponamento in elementi prefabbricati.

In particolare il secondo ed il terzo caso studio rappresentano le tipologie di edifici ad uso ufficio caratterizzate dall'evoluzione dei consumi più preoccupante. Infatti negli ultimi anni, in questo tipo di edifici è stato registrato un considerevole aumento dei consumi elettrici, con una tendenza che potrebbe portarne l'incidenza a superare il 50% dei consumi totali. La prima tipologia, invece, rappresenta un ufficio di piccole dimensioni, confinante con un volume riscaldato. Secondo le informazioni oggi disponibili ([4] e

[5]) più della metà di tutti gli edifici del parco immobiliare ad uso ufficio italiano (quasi 570.000 unità) è caratterizzata da una superficie inferiore ai 500 m².

I tre edifici di riferimento sono stati quindi localizzati in tre zone climatiche rappresentative della realtà nazionale (individuate nelle città di Milano, Roma e Palermo) generando, considerando anche i quattro scenari sopra descritti, 36 casi studio che hanno permesso di costruire una griglia di confronto sufficientemente estesa. I calcoli sono stati effettuati:

- approssimando la soluzione “NZEB equivalente” mediante l’applicazione del pacchetto tecnologico sopra descritto e quindi ottenendo prestazioni energetiche espresse in termini di energia non rinnovabile ($E_{pn,ren}$) vicini all’NZEB di legge, quindi non perfettamente identici;
- valutando i costi degli interventi sulla base dei prezzi regionali e dell’esperienza degli autori;
- utilizzando un software commerciale conforme alle prescrizioni del DM “Requisiti Minimi” per la determinazione delle prestazioni energetiche dei vari casi studio;
- utilizzando per le valutazioni economiche consumi e produzioni di energia realistici, determinati sulla base dei risultati standard simulati e di opportuni coefficienti correttivi fissati sulla base di una indagine bibliografica. In particolare, i consumi per il riscaldamento sono stati ridotti mediamente del 33%, quelli del raffrescamento aumentati del 20%, mentre i consumi della ventilazione, illuminazione e ACS diminuiti del 25%.

I risultati ottenuti possono essere sintetizzati, nel loro complesso, nei grafici seguenti (Figure 7, 8 e 9) che riportano, per i singoli casi, il tempo di ritorno semplice degli investimenti, la riduzione del consumi di energia non rinnovabile e la riduzione degli investimenti richiesti in funzione “dell’indice NZEB”, definito, come visto in precedenza, dal rapporto tra prestazione energetica (sempre espressa in termini di energia non rinnovabile) del caso specifico e prestazione energetica dell’NZEB di legge.

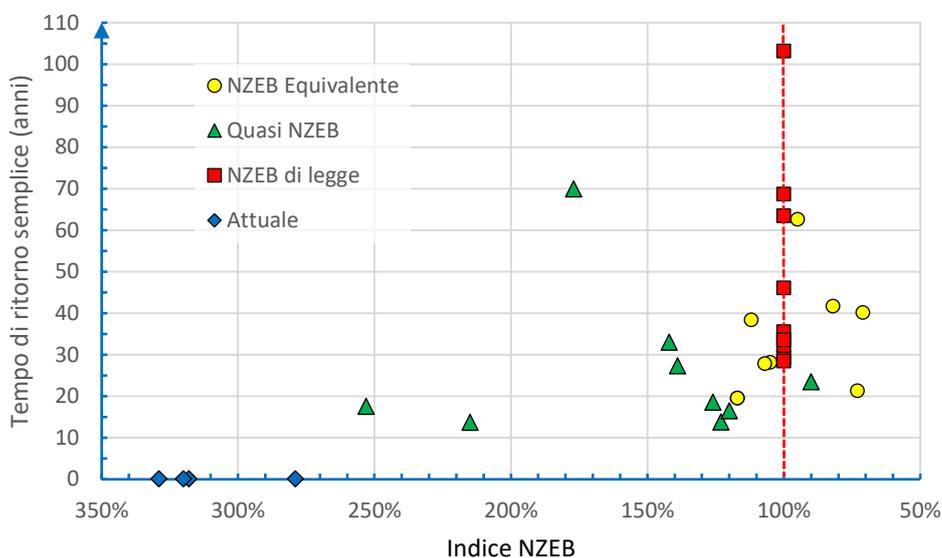


Figura 7 – Relazione tra “indice NZEB” per i diversi casi studiati e tempo di ritorno semplice degli investimenti. Sull’asse delle ascisse giacciono quindi i punti relativi agli edifici esistenti (attuali) per i quali l’investimento per la riqualificazione è nullo. Nella rappresentazione non sono visibili tutti i casi studiati in quanto, per favorire la lettura, è stato considerato un intervallo parziale di valori (l’indice NZEB supera infatti anche il 1.000%). I commenti sono riportati nel testo.

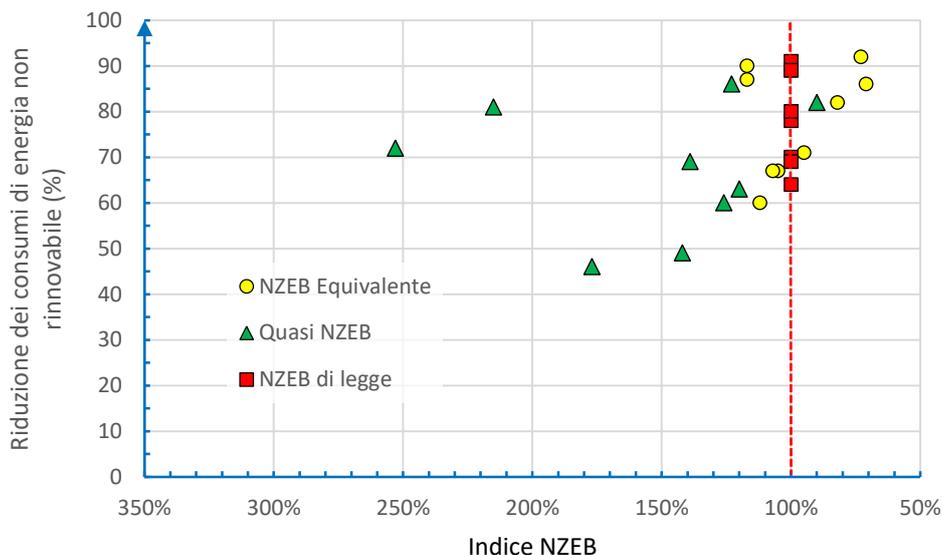


Figura 8 – Relazione tra “indice NZEB” per i diversi casi studiati e riduzione assoluta dei consumi di energia non rinnovabile rispetto agli a quella degli edifici esistenti. I commenti sono riportati nel testo.

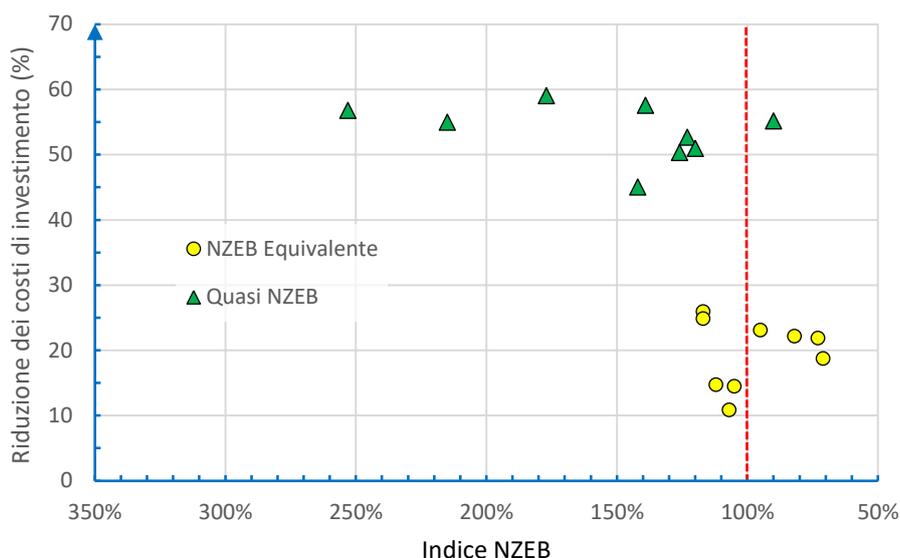


Figura 9 – Relazione tra “indice NZEB” per i diversi casi studiati e riduzione dei costi di investimento rispetto ai NZEB di legge. I commenti sono riportati nel testo.

Dall’analisi dei grafici riassuntivi risulta evidente che:

- nel complesso le proposte alternative (“NZEB equivalente” e “quasi NZEB”) non consentono di raggiungere tempi di ritorno sufficientemente interessanti per il mercato dell’energia anche se migliorano in modo significativo il quadro economico generale rispetto all’NZEB di legge. Nei due casi alternativi i valori minimi sono rispettivamente dell’ordine dei 20 e 10 anni; si sottolinea che nel grafico è stato riportato il tempo di ritorno semplice (che si ritiene sia di più facile comprensione) e che quindi le prestazioni economiche peggiorano con l’introduzione di tassi di interesse crescenti;
- i consumi di energia non rinnovabile degli edifici esistenti variano tra circa 3 e 11 volte i consumi degli edifici NZEB di legge. Infatti l’eventuale ristrutturazione degli stessi a NZEB comporta una riduzione dei consumi energetici variabile tra circa il 65 e il 90%. Tale riduzione rimane sostanzialmente inalterata nel caso del “NZEB equivalente”, mentre varia tra il 45 e l’85% nel caso

del “quasi NZEB”. Si tratta di riduzioni calcolate in condizioni standard ma che possono essere ritenute valide, trattandosi di confronti, anche per le condizioni d’uso degli edifici reali;

- sul piano degli investimenti, si osserva una riduzione media di circa il 20% nel caso dei “NZEB equivalenti” e una più sostanziale del 45-60% nel caso dei “quasi NZEB”;
- la soluzione “NZEB equivalente” che, come, visto è stata identificata con un pacchetto tecnologico che prevede il solo isolamento del solaio superiore, la sostituzione degli infissi completi e l’adozione di un sistema VRF, può raggiungere prestazioni energetiche anche migliori dell’NZEB di legge.

Infine, per quanto riguarda la quota di energia rinnovabile si osserva che (Figura 10):

- nella pratica, ovvero tenendo conto di tutte le prescrizioni di legge, nei casi studio analizzati si verifica una quota superiore al 50%;
- sia nello scenario “NZEB equivalente” che in quello “quasi NZEB” la quota sale mediamente a circa il 65%;
- nel valutare questi aspetti va tuttavia tenuto conto che le entità di energia totale in gioco (rinnovabile più non rinnovabile) variano di caso in caso.

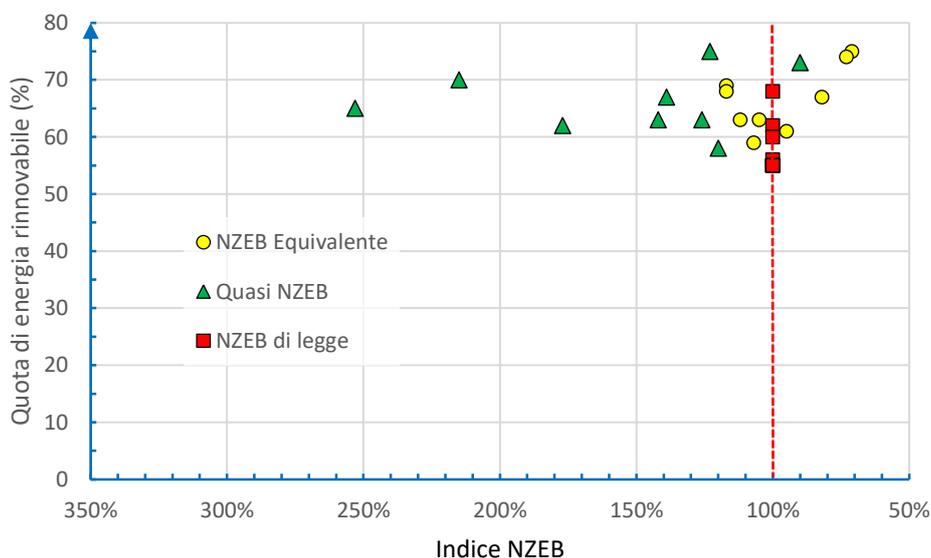


Figura 10 – Relazione tra “indice NZEB” per i diversi casi studiati e quota di energia rinnovabile. I commenti sono riportati nel testo.

In conclusione:

- lo scenario alternativo “NZEB equivalente” risulta tecnicamente fattibile e standardizzabile con le misure di riqualificazione qui previste. Le corrispondenti riduzioni degli investimenti necessari rispetto alla soluzione NZEB è mediamente del 20%; tale riduzione, tuttavia, non sembra risolvere le problematiche di fondo qui discusse nel Paragrafo 1.2;
- lo scenario alternativo “quasi NZEB” già consente una drastica riduzione dei consumi di energia non rinnovabile mediamente di oltre il 60% e ciò consente di ridurre gli investimenti mediamente del 50% portando in alcuni casi il tempo di ritorno (semplice) a valori dell’ordine dei 10 anni;
- conseguentemente lo scenario “quasi NZEB” potrebbe, in presenza di incentivi, innescare una reale offerta sul mercato di interventi di riqualificazione qualificati come NZEB a costi nulli o contenuti per l’utente;
- in tutto questo contesto, le quote medie di energia rinnovabile in gioco variano, per gli scenari alternativi, tra il 60 e il 70%.

2.2 Raccomandazioni

Partendo dal presupposto che l'attuale definizione legislativa di NZEB non appare adeguata per il mercato delle riqualificazioni energetiche soprattutto per motivazioni di carattere economico, risulta necessario introdurre nella normativa vigente delle opportune modifiche pensate per gli edifici esistenti.

La ricerca svolta ha evidenziato che tali modifiche possono essere concepite a due livelli:

- mantenendo gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ e/o di contenimento dei consumi di combustibili non rinnovabili agli stessi livelli attuali (scenario "dell'NZEB equivalente");
- introducendo una definizione di NZEB che porta a prestazioni energetiche inferiori a quelli attuali (scenario del "quasi NZEB"), quindi prevedendo uno "sconto" sulle prescrizioni attuali.

Le due soluzioni appaiono raccomandabili in contesti diversi e potrebbero essere introdotte prendendo l'attuale definizione NZEB di legge come un riferimento utile per definire le prescrizioni per le eventuali definizioni alternative. In particolare:

- con lo scenario "NZEB equivalente" si potrebbe, come ampiamente discusso nel Paragrafo 1.2, imporre le stesse prestazioni energetiche del vigente NZEB di legge allargando gli attuali vincoli sull'involucro;
- con lo scenario "quasi NZEB" si potrebbe, ad esempio, imporre una prestazione energetica minima superiore del 50% a quello dell'NZEB di legge, dando quindi l'opportunità di contenere gli investimenti necessari in modo sostanziale (almeno del 50%) e aprendo alla strada all'iniziativa privata almeno nei casi più favorevoli.

La prima soluzione appare di facile introduzione. Le riduzioni di investimento che ne conseguono sicuramente potrebbero portare a un maggiore ricorso della qualifica a NZEB.

La seconda soluzione appare sicuramente di maggiore attrattività e quindi si pone maggiormente raccomandabile.

3 Selezione degli edifici e dati generali

In questa sezione vengono descritti gli edifici ad uso ufficio individuati per effettuare una valutazione energetica ed economica. Vengono di seguito esposti i criteri che hanno portato alla scelta di tali strutture come campione rappresentativo di un'edilizia diffusa in tutto il territorio nazionale italiano.

Le valutazioni sono state condotte per tre casi, con caratteristiche tipologiche, geometriche ed edilizie differenti.

3.1 Criteri per l'identificazione degli edifici rappresentativi

Una prima valutazione metodologica deve essere fatta circa la scelta del campione rappresentativo del parco immobiliare ad uso ufficio italiano. Infatti, come risulta evidente, ogni edificio con le sue caratteristiche geometriche, costruttive, impiantistiche, possiede fabbisogni energetici e costi differenti, pertanto interventi volti all'incremento dell'efficienza energetica e lo sfruttamento delle fonti rinnovabili hanno un diverso impatto sotto il profilo energetico ed economico. Nella consapevolezza di tale limite, nel presente studio sono stati scelti 3 edifici nel tentativo di rappresentare le più diffuse tipologie di edifici ad uso ufficio presenti sul territorio nazionale.

Il maggior numero delle unità locali adibite ad uso ufficio occupa superfici in immobili ad uso promiscuo, in maggior parte edifici realizzati per un utilizzo residenziale.

Secondo l'Agenzia del Territorio (Catasto), le unità immobiliari di categoria A10 (ufficio) ammontano complessivamente a 568.577 unità. Di queste, secondo l'indagine campionaria effettuata dal CRESME [4], il 30,5% occupa spazi interni a 64.911 edifici interamente o prevalentemente adibiti ad uso ufficio.

Le informazioni pubblicate dal CRESME e da RSE [5] sulle caratteristiche del patrimonio edilizio italiano permettono inoltre di evidenziare che:

- il 63,2% degli edifici ad uso ufficio non supera i 500 m²;
- il 32,8% degli edifici ad uso ufficio ha una superficie compresa tra i 500 e i 3.000m²;
- il 59% degli edifici si sviluppa su uno o due piani.

In aggiunta:

- la grande maggioranza (85%) degli immobili è realizzato con struttura in cemento armato e tamponature in muratura;
- il 5,5% è realizzato con struttura in cemento armato e superfici vetrate.

Alla luce dei dati esposti sopra, è stata operata la scelta del campione rappresentativo di tutto il parco edifici ad uso ufficio, selezionando 3 casi studio:

- 1) superficie utile 340 m² – due piani in cemento armato;
- 2) superficie utile 1.100 m² – tre piani con struttura mista (muratura portante e cemento armato);
- 3) superficie utile 3.130 m² – due piani con struttura in cemento armato e tamponamento in elementi prefabbricati.

Il secondo ed il terzo caso studio rappresentano in pieno le tipologie di edifici ad uso ufficio del patrimonio edilizio esistente. Essi ricadono infatti nelle tipologie caratterizzate dall'evoluzione dei consumi più preoccupante. Negli ultimi anni, in questo tipo di edifici è stato registrato un considerevole aumento dei consumi elettrici, con una tendenza che potrebbe portarne l'incidenza a superare il 50% dei consumi totali. La prima tipologia, un ufficio di piccole dimensioni con una parte confinante con un volume riscaldato, è stata scelta in quanto presenta una superficie più contenuta e rappresentativa; vale la pena notare che più della metà di tutti gli edifici del parco immobiliare ad uso ufficio italiano possiede una superficie inferiore ai 500 m².

3.2 Caratteristiche dell'involucro e di alcuni aspetti impiantistici degli edifici di riferimento

Il concetto di "edifici a energia quasi zero" (dall'inglese NZEB) viene recepito dalla Legislazione Italiana con il "Decreto Requisiti Minimi" [1] pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015 e in vigore a partire dal primo di ottobre del 2015. Nell'Allegato 1 viene inserito un apposito paragrafo in cui vengono definiti i requisiti minimi da rispettare affinché un edificio possa essere classificato come NZEB. Il concetto di NZEB è stato inserito anche nell'ambito della disciplina che regola la certificazione energetica degli edifici. Infatti, con il decreto 26 giugno 2015, viene aggiornato il formato dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE) inserendo un'apposita sezione riguardante gli edifici NZEB, in modo da poter rendere visibile e chiaro all'utente finale e agli operatori se un edificio rientra in questa specifica categoria.

Come precedentemente accennato, il Decreto Requisiti Minimi introduce le condizioni necessarie affinché un edificio possa appartenere alla categoria NZEB:

- a) la prima condizione è relativa al rispetto dei valori prestazionali minimi per i parametri caratterizzanti l'involucro edilizio, l'impianto e i fabbisogni energetici;
- b) la seconda condizione è relativa al rispetto di un livello minimo di integrazione delle fonti rinnovabili.

In particolare, nel punto a) si 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). Nella fattispecie, viene richiesta la verifica dei seguenti parametri:

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

Per le strutture adibite ad uffici valutate nel presente lavoro è stato individuato un involucro i cui valori di trasmittanza delle strutture edilizie siano uguali o minori a quelli dell'edificio di riferimento al 2019/2021, comprensivi dell'effetto dei ponti termici. Utilizzando tali valori di trasmittanza termica dell'involucro sono state quindi effettuate le altre verifiche sull'edificio, in modo da rispettare le prescrizioni minime per gli edifici NZEB.

Nella lettera b), viene invece richiamato il D.lgs 28/2011 sull'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici. In particolare, viene richiesto che siano soddisfatti i requisiti minimi del paragrafo 1, lettera c) dell'Allegato 3 del D.lgs 28/2011 [7]. Per gli edifici NZEB, viene richiesto che gli impianti di produzione di energia termica siano progettati in modo che l'energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili copra il 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento. Sempre secondo l'Allegato 1 del D.lgs 28/2011, questa quota deve essere aumentata del 10% qualora l'edificio sia pubblico, pertanto in questo caso la quota di energia rinnovabile dovrebbe essere del 55%.

Il rispetto dei requisiti necessari per rientrare nella categoria NZEB implica anche il rispetto dei requisiti richiesti dal Decreto Requisiti Minimi e dal D.lgs 28/2011. Se l'edificio è nuovo o sottoposto a ristrutturazione rilevante, si ha l'obbligo di installazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, che nella normalità dei casi si traduce nell'installazione di un impianto fotovoltaico. Tale

richiesta risulta obbligatoria a meno che non sia tecnicamente possibile. Da notare che per ristrutturazione rilevante si può intendere o “edificio esistente avente superficie utile superiore a 1.000 m², soggetto a ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l’involucro” o “edificio esistente soggetto a demolizione e ricostruzione anche in manutenzione straordinaria”. Pertanto, anche in casi di ristrutturazione importante di 1° livello, ovvero interessante sia l’involucro che l’impianto, non sempre è richiesta l’installazione di un impianto fotovoltaico.

Il Decreto Requisiti Minimi introduce nei consumi anche l’energia impiegata dai ventilatori dell’impianto di ventilazione meccanica con un apposito indice (Ep,v). Tale indicatore tiene conto solamente del consumo dei ventilatori e non delle dispersioni dovute all’introduzione di aria di rinnovo all’interno degli ambienti. Tale parametro viene confrontato con i valori specifici riportati nella Tabella 9 dell’Appendice A del Decreto. Seppur non espressamente indicato nel Decreto, 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 necessaria non solo al fine della verifica energetica del consumo reale dell’edificio, ma anche del mantenimento di livelli adeguati di qualità dell’aria indoor e della prevenzione di possibili insorgenze di muffe o condense nei locali con livelli di concentrazione di vapore acqueo elevati.

3.3 EDIFICIO 1

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

3.3.1 PIANTE – PROSPETTI -SEZIONI

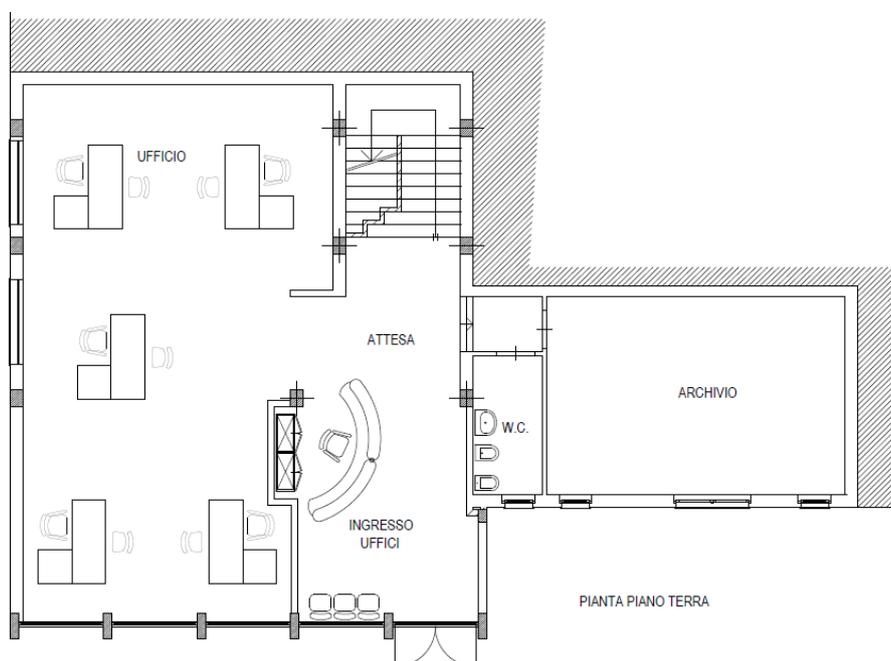


Figura 11 - Edificio 1 - pianta piano terra

3.3.2 Informazioni generali

Nella presente sezione vengono riportate le informazioni generali relative all'edificio denominato "1", suddivise in dati di contesto e generali, proprietà geometriche e dati relativi a utenza e parametri gestionali.

Tabella 1 - Edificio 1 – dati di contesto e generali

Descrizione della grandezza	Nord Italia	Centro Italia	Sud Italia
<i>Destinazione d'uso prevalente</i>	Ufficio		
<i>Tipologia</i>	Struttura portante in c.a.		
<i>Numero di piani riscaldati</i>	2		
<i>Numero di piani non riscaldati</i>	-		
Numero Uffici	7		
Numero occupanti	13		
<i>Comune</i>	Milano	Roma	Palermo
<i>Provincia</i>	MI	RM	PA
<i>Zona climatica</i>	E	D	B
<i>Gradi giorno</i>	2404	1415	751
<i>Temperatura esterna di progetto invernale</i>	- 5 °C	0 °C	+ 5 °C
<i>Inizio periodo convenzionale di riscaldamento</i>	15 ottobre	1 novembre	1 dicembre
<i>Fine periodo convenzionale di riscaldamento</i>	15 aprile	15 aprile	31 marzo
<i>Numero di giorni di attivazione</i>	181	166	121

Tabella 2 - Edificio 1- proprietà geometriche

Descrizione della grandezza	Unità di misura	Valore
<i>Superficie utile climatizzata di pavimento</i>	[m ²]	340
<i>Volume netto climatizzato</i>	[m ³]	957,29
<i>Volume lordo climatizzato</i>	[m ³]	1303,51
<i>Superficie disperdente interna</i>	[m ²]	537,03
<i>Superficie disperdente esterna</i>	[m ²]	612,60
<i>Rapporto S/V</i>	[m ⁻¹]	0,47

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

Descrizione della grandezza	Unità di misura	Valore
<i>Tipologia di ventilazione</i>	-	meccanica con recuperatore
<i>Coefficiente di ricambio dell'aria per aerazione per le zone climatizzate</i>	[l/s pers.]	11
<i>Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento</i>	[°C]	20
<i>Temperatura interna di regolazione per il raffrescamento</i>	[°C]	26

3.3.3 Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'edificio

In questa sezione si riportano i dati relativi alle strutture che compongono l'involucro dell'edificio 1. Vengono riportati i valori suddivisi in due tabelle: la Tabella 4 è relativa alle componenti opache (pareti, solai e pavimenti), mentre la 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 per l'edificio NZEB. Nella tabella delle strutture trasparenti, si riportano i valori di trasmittanza termica del telaio e del vetro, della trasmittanza termica lineica del ponte termico del bordo tra telaio e vetro, ed infine del fattore solare del vetro. In quest'ultima tabella, oltre ai valori relativi alla struttura utilizzata nell'edificio, vengono riportati i valori limite prescritti dal Decreto Requisiti Minimi per gli edifici NZEB.

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

Strutture disperdenti opache	<i>Unità di misura</i>	Nord	Centro	Sud
<i>parete verticale esterna</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	0,58	0,58	0,58
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,23	0,29	0,43
<i>pavimento verso terreno</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	1,92	1,92	1,92
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,44
<i>soffitto di copertura</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	0,69	0,69	0,69
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,22	0,26	0,35

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

Struttura disperdenti trasparenti	<i>Unità di misura</i>	Nord	Centro	Sud
<i>Trasmittanza termica telaio (U_t)</i>				
	[W/m ² K]	7,0	7,0	7,0
<i>Trasmittanza termica vetro (U_g)</i>				
	[W/m ² K]	3,3	3,3	3,3
<i>Trasmittanza termica lineica bordo</i>				
	[W/m ² K]	0,00	0,00	0,00
<i>Trasmittanza termica infisso + vetro</i>				
<i>U_w</i>	[W/m ² K]	4,5	4,5	4,5
<i>U_{w lim}</i>	[W/m ² K]	1,4	1,8	3,0
<i>Fattore solare tenda interna</i>				
	g_{gl,sh}	0,67	0,67	0,67
<i>g_{gl+sh lim}</i>		0,35	0,35	0,35

3.4 EDIFICIO 2

3.4.1 PIANTE – PROSPETTI -SEZIONI

In questa sezione viene riportata una planimetria tipo dell'edificio analizzato. Il resto degli elaborati è inserito nell'Appendice A.

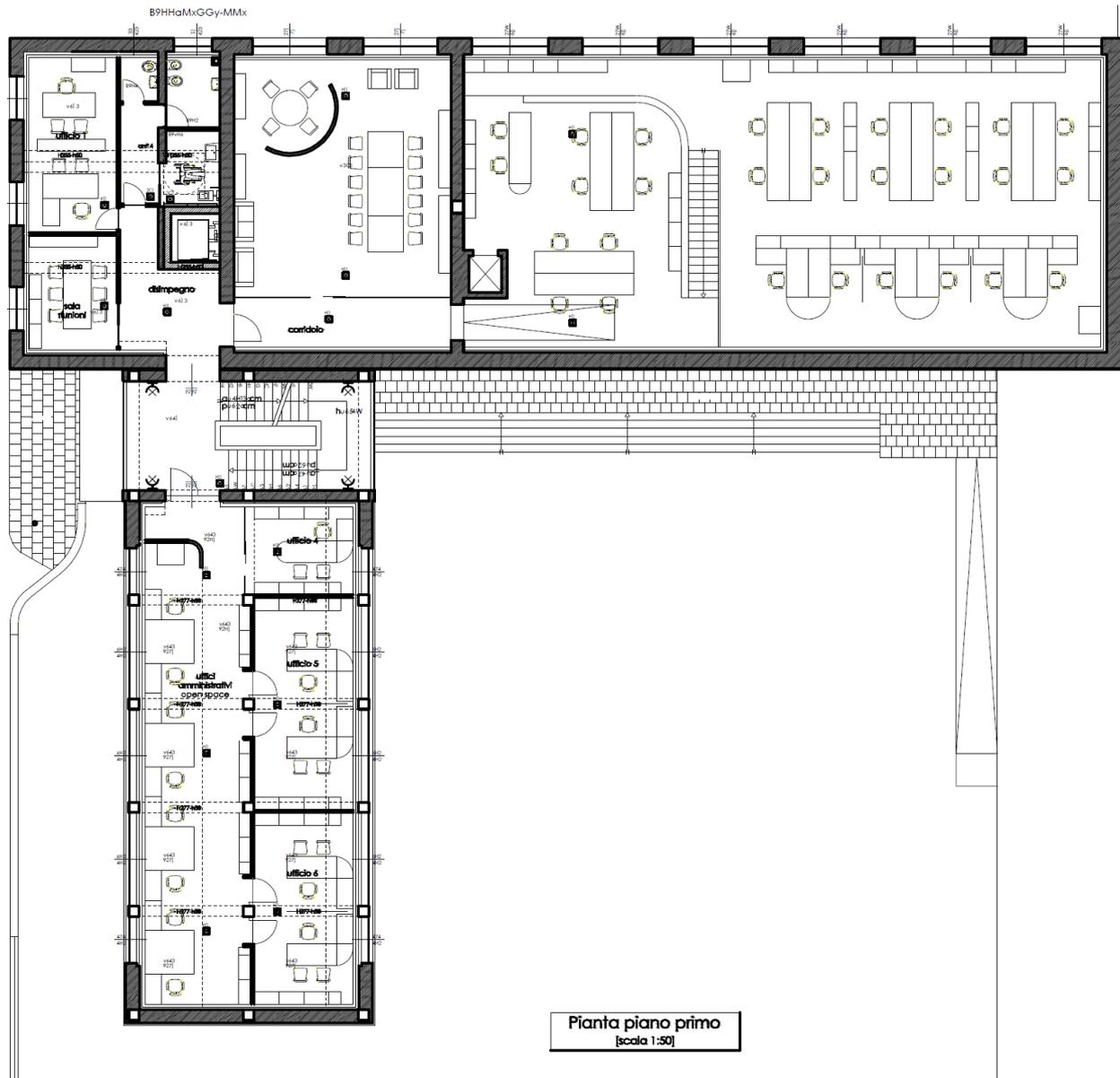


Figura 12 - Edificio 2 - pianta piano primo

3.4.2 Informazioni generali

Nella presente sezione vengono riportate le informazioni generali relative all'edificio denominato "2", suddivise in dati di contesto e generali, proprietà geometriche e dati relativi all'utenza e parametri gestionali.

Tabella 6 - Edificio 2 - dati di contesto dell'edificio

	Nord Italia	Centro Italia	Sud Italia
<i>Destinazione d'uso prevalente</i>	ufficio		
<i>Tipologia</i>	struttura mista in muratura portante e c.a		
<i>Numero di piani riscaldati</i>	3		
<i>Numero di piani non riscaldati</i>	1		
Uffici	12		
Sale riunioni	1		
Numero utenti	120		
<i>Comune</i>	Milano	Roma	Palermo
<i>Provincia</i>	MI	RM	PA
<i>Zona climatica</i>	E	D	B
<i>gradi giorno</i>	2404	1415	751
<i>Temperatura esterna di progetto invernale</i>	- 5 °C	0 °C	+ 5 °C
<i>Inizio periodo convenzionale di riscaldamento</i>	15 ottobre	1 novembre	1 dicembre
<i>Fine periodo convenzionale di riscaldamento</i>	15 aprile	15 aprile	31 marzo
<i>Numero di giorni di attivazione</i>	181	166	121

Tabella 7 - Edificio 2 - proprietà geometriche dell'edificio

Descrizione della grandezza	Unità di misura	Valore
<i>Superficie utile climatizzata di pavimento</i>	[m ²]	1.079,60
<i>Volume netto climatizzato</i>	[m ³]	4.190,51
<i>Volume lordo climatizzato</i>	[m ³]	5.669,10
<i>Superficie disperdente esterna</i>	[m ²]	3114,00
<i>Rapporto S/V</i>	[m ⁻¹]	0,55

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

Descrizione della grandezza	Unità di misura	Valore
<i>Tipologia di ventilazione</i>	-	meccanica con recuperatore
<i>Coefficiente di ricambio dell'aria per aerazione per le zone climatizzate</i>	[l/s pers]	11
<i>Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento</i>	[°C]	20
<i>Temperatura interna di regolazione per il raffrescamento</i>	[°C]	26

3.4.3 Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'edificio

In questa sezione si riportano i dati relativi alle strutture che compongono l'involucro dell'edificio 2. Vengono riportati i valori suddivisi in due tabelle: la prima è relativa alle componenti opache (pareti, solai e pavimenti), mentre la seconda 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 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, ed infine il fattore solare del vetro. In quest'ultima tabella, oltre ai valori relativi alla struttura utilizzata nell'edificio, vengono riportati i valori limite prescritti dal Decreto Minimi per gli edifici NZEB.

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

Strutture disperdenti opache	<i>Unità di misura</i>	Nord	Centro	Sud
<i>parete verticale esterna</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	0,8-1,6	0,8-1,6	0,8-1,6
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,43
<i>pavimento verso terreno</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	2,5	2,5	2,5
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,44
<i>soffitto di copertura</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	1,9	1,9	1,9
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,22	0,26	0,35

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

Struttura disperdenti trasparenti	<i>Unità di misura</i>	Nord	Centro	Sud
<i>Trasmittanza termica telaio (U_t)</i>	[W/m ² K]	7,0	7,0	7,0
<i>Trasmittanza termica vetro (U_v)</i>	[W/m ² K]	5,8	5,8	5,8
<i>Trasmittanza termica lineica bordo</i>	[W/m ² K]	0,00	0,00	0,00
<i>Trasmittanza termica infisso + vetro</i>				
<i>U_w</i>	[W/m ² K]	6,9	6,9	6,9
<i>U_{w lim}</i>	[W/m ² K]	1,4	1,8	3,0
<i>Fattore solare tenda interna</i>	<i>g_{gl,sh}</i>	0,75	0,75	0,75
<i>g_{gl+sh lim}</i>		0,35	0,35	0,35

3.5 EDIFICIO 3

3.5.1 PIANTE – PROSPETTI – SEZIONI

In questa sezione viene riportata una planimetria tipo dell'edificio analizzato. Il resto degli elaborati è inserito nell'Appendice A.

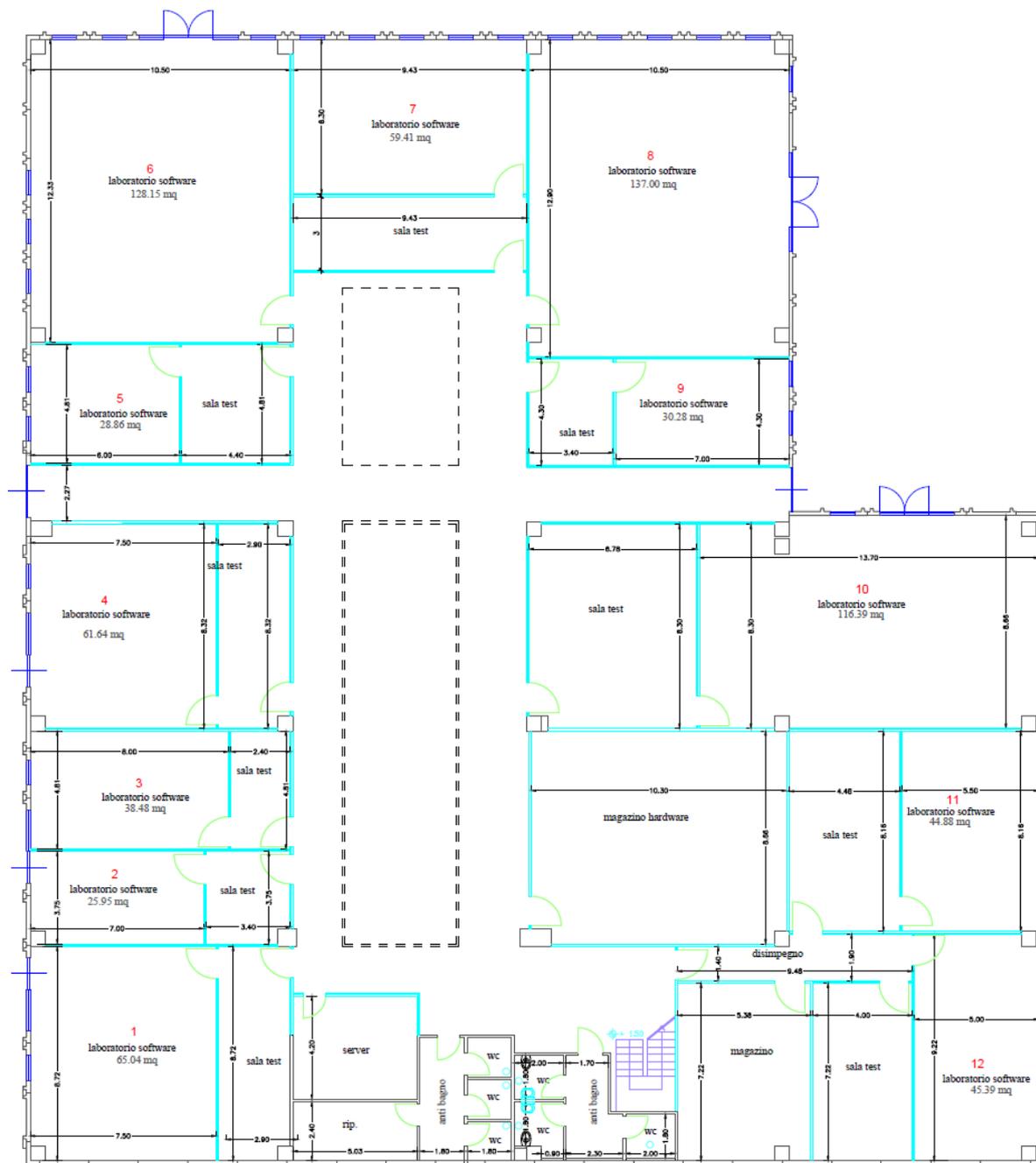


Figura 13 - Edificio 3 – pianta piano terra

3.5.2 Informazioni generali

Nella presente sezione vengono riportate le informazioni generali relative all'edificio denominato "3", suddivise in dati di contesto e generali, proprietà geometriche e dati relativi all'utenza e parametri gestionali.

Tabella 11 Edificio 3 - dati di contesto dell'edificio

	<i>Nord Italia</i>	<i>Centro Italia</i>	<i>Sud Italia</i>
<i>Destinazione d'uso prevalente</i>	ufficio		
<i>Tipologia</i>	struttura mista in muratura portante e c.a		
<i>Numero di piani riscaldati</i>	3		
<i>Numero di piani non riscaldati</i>	1		
Uffici	12		
Sale riunioni	1		
Numero utenti	120		
<i>Comune</i>	Milano	Milano	Milano
<i>Provincia</i>	MI	MI	MI
<i>Zona climatica</i>	E	E	E
<i>gradi giorno</i>	2404	2404	2404
<i>Temperatura esterna di progetto invernale</i>	- 5 °C	- 5 °C	- 5 °C
<i>Inizio periodo convenzionale di riscaldamento</i>	15 ottobre	15 ottobre	15 ottobre
<i>Fine periodo convenzionale di riscaldamento</i>	15 aprile	15 aprile	15 aprile
<i>Numero di giorni di attivazione</i>	181	181	181

Tabella 12 - Edificio 3 - proprietà geometriche dell'edificio

Descrizione della grandezza	Unità di misura	Valore
<i>Superficie utile climatizzata di pavimento</i>	$[m^2]$	3.130
<i>Volume netto climatizzata</i>	$[m^3]$	9.446
<i>Volume lordo climatizzata</i>	$[m^3]$	11.528
<i>Superficie disperdente interna</i>	$[m^2]$	4.356
<i>Superficie disperdente esterna</i>	$[m^2]$	4.677
<i>Rapporto S/V</i>	$[m^{-1}]$	0,35

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

Descrizione della grandezza	Unità di misura	Valore
<i>Tipologia di ventilazione</i>	-	meccanica con recuperatore
<i>Coefficiente di ricambio dell'aria per aerazione per le zone climatizzate</i>	[l/s pers]	11
<i>Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento</i>	[°C]	20
<i>Temperatura interna di regolazione per il raffrescamento</i>	[°C]	26

3.5.3 Descrizione dei componenti strutturali costituenti l'edificio

In questa sezione si riportano i dati relativi alle strutture che compongono l'involucro dell'edificio 3. Vengono riportati i valori suddivisi in due tabelle: la prima è relativa alle componenti opache (pareti, solai e pavimenti), mentre la seconda 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 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, ed infine il fattore solare del vetro. In quest'ultima tabella, oltre ai valori relativi alla struttura utilizzata nell'edificio, vengono riportati i valori limiti prescritti dal Decreto Minimi per gli edifici NZEB.

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

Strutture disperdenti opache	<i>Unità di misura</i>	Nord	Centro	Sud
<i>parete verticale esterna</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	0,58	0,58	0,58
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,23	0,29	0,43
<i>pavimento verso terreno</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	1,92	1,92	1,92
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,26	0,29	0,44
<i>soffitto di copertura</i>				
<i>U</i>	[W/m ² K]	0,69	0,69	0,69
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]	0,22	0,26	0,35

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

Struttura disperdenti trasparenti	<i>Unità di misura</i>	Nord	Centro	Sud
<i>Trasmittanza termica telaio (U_f)</i>	[W/m ² K]	7,0	7,0	7,0
<i>Trasmittanza termica vetro (U_g)</i>	[W/m ² K]	3,3	3,3	3,3
<i>Trasmittanza termica lineica bordo</i>	[W/m ² K]	0,00	0,00	0,00
<i>Trasmittanza termica infisso + vetro</i>				
<i>U_w</i>	[W/m ² K]	4,5	4,5	4,5
<i>U_{w lim}</i>	[W/m ² K]	1,4	1,8	3,0
<i>Fattore solare tenda interna</i>	g_{gl,sh}	0,67	0,67	0,67
<i>g_{gl+sh lim}</i>		0,35	0,35	0,35

3.6 Identificazione dei servizi energetici e metodo di calcolo

Nel calcolo dei fabbisogni energetici vengono considerati i consumi derivanti dai diversi servizi energetici presenti negli edifici e previsti dalla legislazione vigente e dalla normativa.

In particolare, il fabbisogno di energia primaria globale viene calcolato con la seguente relazione:

$$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$$

Dove:

- EP_H : indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;
- EP_W : indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria;
- EP_V : indice di prestazione energetica per gli ausiliari della ventilazione;
- EP_C : indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;
- EP_L : indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale;
- EP_T : indice di prestazione energetica per il trasporto (ascensori, scale mobili, ecc.).

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:

- fabbisogno energetico per il riscaldamento, raffrescamento e produzione di ACS (UNI TS 11300 1-2-4);
- ausiliari elettrici degli impianti termici secondo UNI TS 11300-2;
- ventilazione meccanica controllata secondo UNI TS 11300-2;
- illuminazione secondo UN EN 15193-1;
- trasporto secondo UNI/TS 11300-6.

I calcoli numerici sono stati svolti con il software MC4 suite, che implementa le suddette normative e certificato dal Comitato Termotecnico Italiano.

In merito al consumo per il trasporto di persone, nel caso di edifici adibiti a ufficio tale indicatore è notoriamente basso e di 1 o 2 ordini di grandezza inferiore al consumo globale. Dato che nei casi studio tali dispositivi non sono presenti e non si prevede di realizzarne di nuovi nel caso di intervento, si ritiene che questo indicatore possa essere trascurato.

Nei grafici seguenti vengono riportati per i tre edifici analizzati la distribuzione percentuale dei consumi energetici, suddivisi per ciascun servizio energetico.

I consumi di seguito riportati sono riportati in energia primaria, ottenuta dai metodi di calcolo sopra citati.

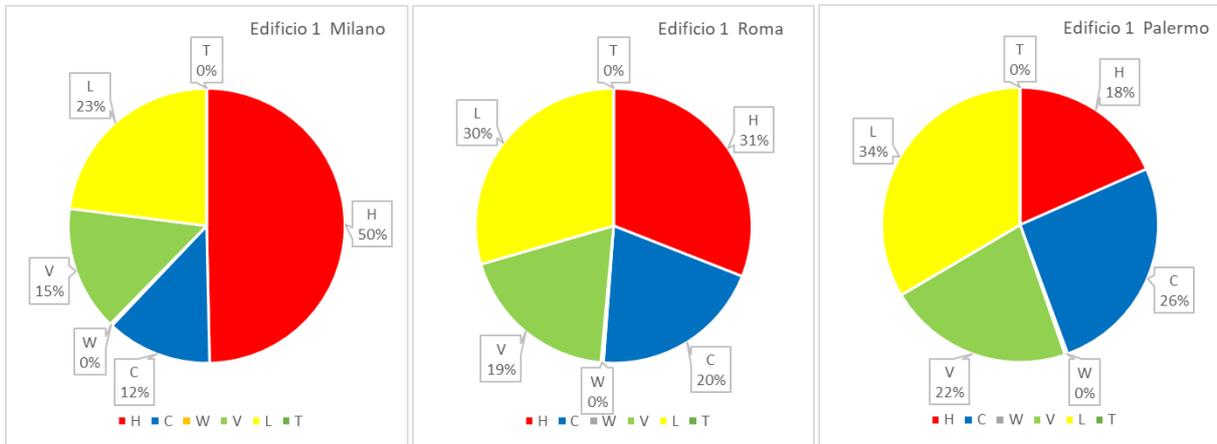


Figura 14 - Caso studio 1, diverse località, suddivisione del fabbisogno energetico teorico EP_{gi} rispetto ai diversi servizi

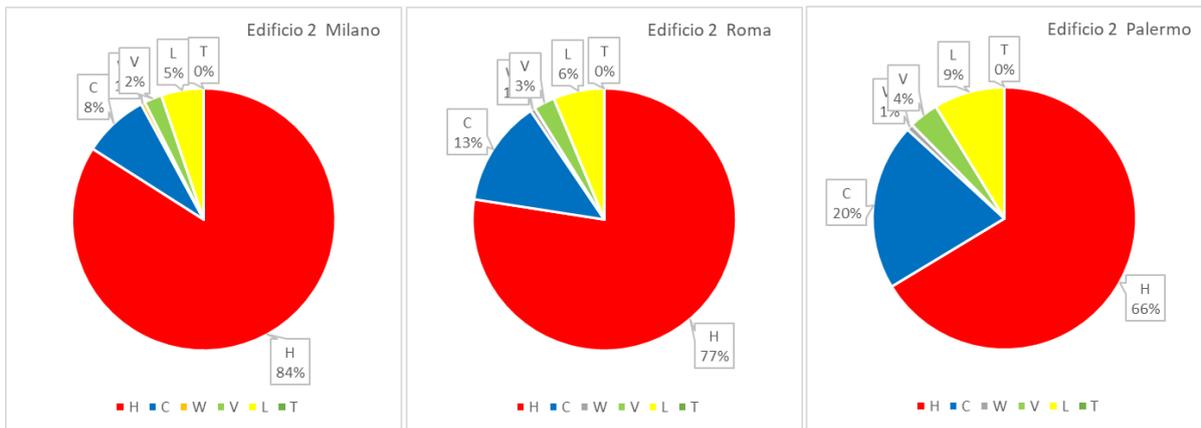


Figura 15 - Caso studio 2, diverse località, suddivisione del fabbisogno energetico teorico EP_{gi} rispetto ai diversi servizi

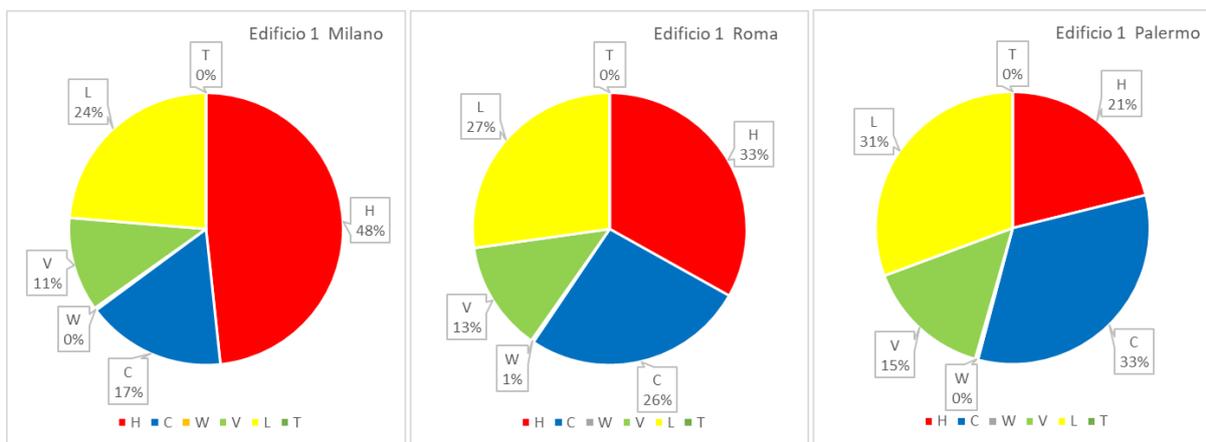


Figura 16 - Caso studio 3, diverse località, suddivisione del fabbisogno energetico teorico EP_{gi} rispetto ai diversi servizi

4 Identificazione degli scenari e possibili confronti

4.1 Premesse

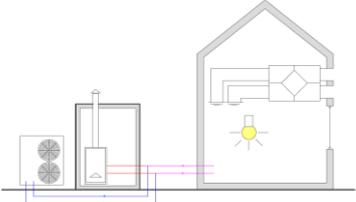
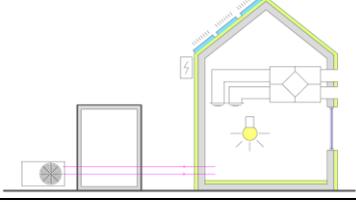
Di seguito vengono riportati i possibili scenari di efficientamento energetico, unitamente allo scenario attuale che viene utilizzato come riferimento per i confronti energetici ed economici. Lo stato attuale rappresenta l'edificio come si presenta in questo momento, cioè prima che vengano proposte ipotesi di incremento dell'efficienza energetica o adeguamento ai parametri NZEB.

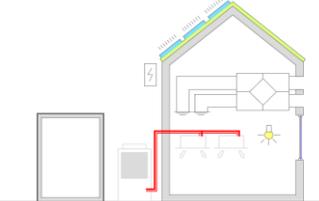
L'edificio è una struttura esistente costruita in epoca antecedente l'odierna legislazione, per la quale si ipotizza che la proprietà o più in generale il responsabile vogliano adeguarla ai parametri NZEB.

In base alla legislazione vigente, la conversione in edificio NZEB richiede l'attuazione di una serie di interventi sull'involucro, sull'impianto e sull'utilizzo di fonti rinnovabili. L'insieme dei diversi interventi consente di ridurre il consumo di energia non rinnovabile, fino al raggiungimento di un determinato valore $EP_{n,ren}$. Questo edificio viene denominato "NZEB di legge".

Lo scenario "NZEB equivalente" è uno dei possibili scenari di intervento che porta al raggiungimento dello stesso valore di energia primaria non rinnovabile $EP_{n,ren}$, senza necessariamente rispettare tutte le prescrizioni imposte dalla legge per l'ottenimento dell'edificio "NZEB di legge". L'intenzione di base è quella di effettuare investimenti più redditizi dal punto di vista economico, eliminando quelli non convenienti e investendo invece in quelli più convenienti.

Lo scenario "Quasi NZEB", invece, non raggiunge la stessa prestazione del caso precedente (intesa come consumo di fonti non rinnovabili), tuttavia si avvicina ad essa con soluzioni solo impiantistiche e con l'adozione di impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile.

INTERVENTI	ISOLAMENTO S.O.O.S	ISOLAMENTO S.O.O.I.	ISOLAMENTO S.O.V.I	ISOLAMENTO S.O.V.I	SOSTITUZIONE S.T.	PdC ARIA - ACQUA	PdC PER ACS	IMPIANTO VRF	FV
<p>Scenario attuale</p> 									
<p>Scenario NZEB di legge</p> 	●	●	●	●	●	●	●		●
<p>Scenario "NZEB "equivalente"</p>	●				●			●	●

									
<p>Scenario «Quasi NZEB»</p>									
							●	●	

4.2 Scenario attuale

Lo scenario attuale è utilizzato come riferimento. Le strutture opache hanno elevati valori di trasmittanza termica avendo isolamento termico ridotto o addirittura nullo. Gli infissi sono in alluminio senza taglio termico con vetro singolo o semidoppio.

L'impianto di climatizzazione funziona sia in fase di riscaldamento alimentato con un generatore tradizionale a gas naturale che in fase estiva con un chiller "solo freddo" non di ultima generazione. L'impianto è munito di ventilconvettori. La rete di distribuzione corre principalmente in ambiente riscaldato ma non ha isolamento termico. L'edificio è munito di ventilazione meccanica con recuperatore.

L'impianto di illuminazione è stato sostituito con uno ad elevata efficienza. Non è presente nessun impianto fotovoltaico o di produzione di energia termica da fonte rinnovabile.

4.3 Scenario NZEB di legge

Questo scenario rappresenta l'adeguamento dell'edificio esistente al livello NZEB prescritto dalla legge. L'intervento di ristrutturazione energetica interessa sia l'involucro che l'impianto, nonché la verifica della percentuale di copertura da fotovoltaico.

L'involucro viene integralmente coibentato: sulle strutture verticali opache viene applicato un cappotto termico esterno, il solaio di copertura viene isolato così come il solaio inferiore verso terra o verso locali non riscaldati. Le finestre vengono sostituite con nuovi infissi ad alte prestazioni, ovvero vetri camera doppi basso emissivi con gas argon e con fattore solare $g=0,35$.

Per quanto riguarda l'impianto, si ipotizza di sostituire i generatori di calore ed il chiller con un'unica pompa di calore elettrica reversibile aria-acqua a media-alta temperatura, necessaria per raggiungere la percentuale minima di copertura da fonte rinnovabile (aerotermica).

Non si prevede di realizzare interventi al di fuori del sistema di generazione, quindi non vengono introdotte modifiche ai sistemi di distribuzione, di regolazione (al di fuori della centrale termica) e di emissione, che rimane a ventilconvettori. E' anche necessario inserire la superficie minima di fotovoltaico, che contribuisce comunque al raggiungimento della quota minima di fonte rinnovabile se abbinata con la pompa di calore. Dovendo verificare, inoltre, la quota rinnovabile per la produzione di ACS, si prevede di inserire su ogni blocco di bagni uno scaldabagno a pompa di calore.

Da notare che, avendo investito molto sull'involucro, le scelte impiantistiche sono state pensate e scelte per limitare l'impegno economico e nel contempo soddisfare tutti i requisiti minimi di legge, specie la difficile verifica della quota minima di copertura da fonte rinnovabile.

4.4 Scenario NZEB “equivalente”

Lo scenario rappresenta una proposta tecnica mirata all’ottimizzazione economica dell’intervento. La base di partenza è il parametro $E_{p,n,ren}$ dell’NZEB del precedente scenario di legge. Aniché realizzare tutti gli interventi, si intende ottenere lo stesso consumo di fonte non rinnovabile e quindi le medesime emissioni di gas serra, concentrando gli investimenti su alcuni elementi che secondo le analisi e secondo le considerazioni tecnico-pratiche possano portare al raggiungimento del medesimo risultato nei termini citati.

Pertanto, si ipotizza di lavorare parzialmente sull’involucro, prevedendo solo la coibentazione della copertura e la sostituzione degli infissi, operazioni dal punto di vista tecnico semplici da attuare e dal punto di vista energetico molto efficaci per la riduzione delle dispersioni termiche e del contenimento dei carichi termici estivi.

Si investono, invece, più risorse sull’impianto, che viene integralmente sostituito con un nuovo impianto VRF a espansione diretta che consente di ottenere elevate efficienze energetiche e una miglior gestione. L’impianto fotovoltaico viene mantenuto e in alcuni casi leggermente incrementato per ottimizzare la spesa e raggiungere l’obiettivo di efficienza energetica. Gli scaldabagni per la produzione di ACS non vengono modificati, dato che questo intervento risulta economicamente svantaggioso in destinazioni d’uso quali uffici.

4.5 Scenario «Quasi NZEB»

Questo scenario interessa solo la sostituzione integrale dell’impianto di climatizzazione (come nel caso dell’NZEB equivalente) e l’installazione dell’impianto fotovoltaico. Rappresenta una possibilità alternativa di efficientamento degli edifici, di possibile interesse per le ESCO.

4.6 Interventi sull’involucro edilizio

Di seguito vengono riportati i valori di trasmittanza termica delle diverse strutture edilizie prima e dopo l’intervento di adeguamento ai limiti previsti dalla legislazione NZEB. Nel caso dello scenario NZEB di legge tutte le strutture sotto elencate vengono adeguate; nel caso invece dello scenario NZEB equivalente, solo gli infissi comprensivi di telaio e vetro e la copertura sono oggetto di intervento.

Tabella 16 - Edificio 1 - descrizione dei componenti strutturali costituenti l’involucro opaco

Struttura disperdenti opache	Unità di misura	Nord		Centro		Sud	
		attuale	post intervento	attuale	post intervento	attuale	post intervento
parete verticale esterna							
U	[W/m ² K]	0,58	0,23	0,58	0,27	0,58	0,41
U_{lim}	[W/m ² K]		0,23		0,29		0,43
pavimento verso terreno							
U	[W/m ² K]	1,92	0,25	1,92	0,29	1,92	0,43
U_{lim}	[W/m ² K]		0,26		0,29		0,44
soffitto di copertura							
U	[W/m ² K]	0,69	0,21	0,69	0,24	0,69	0,32
U_{lim}	[W/m ² K]		0,22		0,26		0,35

Tabella 17 - Edificio 1 - descrizione dei componenti strutturali costituenti l’involucro trasparente

Struttura disperdenti trasparenti	Unità di misura	Nord	Centro	Sud
-----------------------------------	-----------------	------	--------	-----

		<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>	<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>	<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>
<i>Trasmittanza termica telaio (U_f)</i>	[W/m ² K]	7,0	1,8	7,0	1,8	7,0	1,8
<i>Trasmittanza termica vetro (U_g)</i>	[W/m ² K]	3,3	1,0	3,3	1,4	3,3	2,7
<i>Trasmittanza termica lineica bordo</i>	[W/m ² K]	0,00	0,032	0,00	0,032	0,00	0,08
<i>Trasmittanza termica infisso + vetro</i>							
<i>U_w</i>	[W/m ² K]	4,5	1,3	4,5	1,6	4,5	2,7
<i>U_{w lim}</i>	[W/m ² K]		1,4		1,8		3,0
<i>Fattore solare tenda interna</i>	g_{gl,sh}	0,67	0,35	0,67	0,35	0,67	0,35
<i>g_{gl+sh lim}</i>			0,35		0,35		0,35

Tabella 18 - Edificio 2 - descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro opaco

Struttura disperdenti opache	Unità di misura	Nord		Centro		Sud	
		<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>	<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>	<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>
<i>parete verticale esterna</i>							
<i>U</i>	[W/m ² K]	0,8-1,6	0,25	0,8-1,6	0,28	0,8-1,6	0,40
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]		0,26		0,29		0,43
<i>pavimento verso terreno</i>							
<i>U</i>	[W/m ² K]	2,5	0,26	2,5	0,26	2,5	0,41
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]		0,26		0,29		0,44
<i>soffitto di copertura</i>							
<i>U</i>	[W/m ² K]	1,9	0,22	1,9	0,26	1,9	0,32
<i>U_{lim}</i>	[W/m ² K]		0,22		0,26		0,35

Tabella 19 - Edificio 2 - descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro trasparente

Struttura disperdenti trasparenti	Unità di misura	Nord		Centro		Sud	
		<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>	<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>	<i>attuale</i>	<i>post intervento</i>
<i>Trasmittanza termica telaio (U_f)</i>	[W/m ² K]	7,0	1,8	7,0	1,8	7,0	1,8
<i>Trasmittanza termica vetro (U_g)</i>	[W/m ² K]	5,8	1,0	5,8	1,4	5,8	2,7
<i>Trasmittanza termica lineica bordo</i>	[W/m ² K]	0,00	0,032	0,00	0,032	0,00	0,08
<i>Trasmittanza termica infisso + vetro</i>							
<i>U_w</i>	[W/m ² K]	6,9	1,3	6,9	1,6	6,9	2,7
<i>U_{w lim}</i>	[W/m ² K]		1,4		1,8		3,0
<i>Fattore solare tenda interna</i>	g_{gl,sh}	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35
<i>g_{gl+sh lim}</i>			0,35		0,35		0,35

Tabella 20 - Edificio 3 - descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro opaco

Struttura disperdenti opache	Unità di misura	Nord		Centro		Sud	
		attuale	post intervento	attuale	post intervento	attuale	post intervento
<i>parete verticale esterna</i>							
U	[W/m ² K]	0,58	0,23	0,58	0,27	0,58	0,41
U_{lim}	[W/m ² K]		0,23		0,29		0,43
<i>pavimento verso terreno</i>							
U	[W/m ² K]	1,92	0,25	1,92	0,29	1,92	0,43
U_{lim}	[W/m ² K]		0,26		0,29		0,44
<i>soffitto di copertura</i>							
U	[W/m ² K]	0,69	0,21	0,69	0,24	0,69	0,32
U_{lim}	[W/m ² K]		0,22		0,26		0,35

Tabella 21 - Edificio 3 - descrizione dei componenti strutturali costituenti l'involucro trasparente

Struttura disperdenti trasparenti	Unità di misura	Nord		Centro		Sud	
		attuale	post intervento	attuale	post intervento	attuale	post intervento
Trasmittanza termica telaio (U_f)	[W/m ² K]	7,0	1,8	7,0	1,8	7,0	1,8
Trasmittanza termica vetro (U_g)	[W/m ² K]	3,3	1,0	3,3	1,4	3,3	2,7
Trasmittanza termica lineica bordo	[W/m ² K]	0,00	0,032	0,00	0,032	0,00	0,08
<i>Trasmittanza termica infisso + vetro</i>							
U_w	[W/m ² K]	4,5	1,3	4,5	1,6	4,5	2,7
U_{wlim}	[W/m ² K]		1,4		1,8		3,0
<i>Fattore solare tenda interna</i>							
$g_{gl,sh}$		0,67	0,35	0,67	0,35	0,67	0,35
$g_{gl+sh lim}$			0,35		0,35		0,35

5 Valutazioni economiche

5.1 Premessa

I possibili scenari di incremento dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto comportano un investimento economico iniziale. Gli investimenti proposti interessano le opere di ristrutturazione dell'involucro edilizio, dell'impianto di climatizzazione e dell'installazione di impianti per la produzione di energia da fonte rinnovabile. I costi sono stati determinati attraverso un'analisi tecnico-economica di individuazione delle voci di costo delle lavorazioni necessarie alla realizzazione dell'intervento e delle voci di costo accessorie, quali ad esempio le spese tecniche. I prezzi sono stati ricavati dal mercato e dai prezzi regionali, opportunamente ribassati e/o incrementati per tenere conto del reale costo dell'intervento comprensivo di ogni onere.

A fronte di un investimento iniziale, che compare come voce negativa nel bilancio energetico, si ha una riduzione del costo annuale di gestione dell'edificio, dato che gli impianti consumeranno meno combustibile ed energia elettrica e l'edificio ammodernato avrà bisogno di minor manutenzione. Il risparmio nei costi di gestione annuale rappresenta una voce positiva che consente di ripagare negli anni l'investimento iniziale.

Per rappresentare la convenienza economica degli investimenti vengono utilizzati due semplici parametri: il tempo di ritorno ed il Valore Attuale Netto (VAN). Il primo parametro indica il numero di anni necessari a ripagare l'investimento iniziale. Il VAN, invece, è l'attualizzazione dei flussi di cassa nel periodo considerato: nel caso risultasse positivo, l'investimento può essere considerato economicamente sostenibile. Al contrario, se il VAN risultasse negativo, ciò significherebbe che l'investimento iniziale non si ripagherebbe con il risparmio annuale di gestione.

Per il calcolo dei suddetti indicatori economici, è stato considerato un tasso di interesse annuale del 4% e un periodo di calcolo di 30 anni.

5.2 Stima dell'investimento iniziale

L'investimento iniziale è la spesa sostenuta per l'intervento di ristrutturazione e di trasformazione dell'edificio per l'adeguamento alla normativa NZEB o per ottenere gli altri scenari. L'importo è determinato dall'insieme degli oneri e delle lavorazioni, materiali, spese tecniche e accessori necessari per la realizzazione dell'intervento. I costi sono, dunque, sempre comprensivi di 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 area di riferimento centro Italia), ovvero costruendo le voci economiche sulla base dell'esperienza degli autori negli altri casi.

Di seguito vengono riportate tutte le voci di spesa per macro area e componente edilizia.

5.2.1 Costi di investimento iniziale – Edificio 1

Tabella 22 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 1 - Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 9.941,91
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 30.358,26
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 18.290,98	€ 18.290,98
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 27.413,72	€ 27.413,72
INVOLUCRO			€ 45.704,70	€ 86.004,87
<i>impianto FV</i>		€ 7.073,10	€ 7.073,10	€ 7.073,10

<i>impianto climatizzazione</i>		€ 40.565,00	€ 36.670,00	€ 17.955,00
<i>impianto ACS</i>		€ 0,00	€ 0,00	€ 6.000,00
IMPIANTO		€ 47.638,10	€ 43.743,10	€ 31.028,10
TOTALE		€ 47.638,10	€ 89.447,80	€ 117.032,97

Tabella 23 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 1 - Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 9.397,41
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 29.057,80
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 17.172,76	€ 17.172,76
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 26.850,52	€ 26.850,52
INVOLUCRO			€ 44.023,28	€ 82.478,49
<i>impianto FV</i>	€ 7.073,10	€ 7.073,10	€ 7.073,10	€ 7.073,10
<i>impianto climatizzazione</i>	€ 40.565,00	€ 36.670,00	€ 36.670,00	€ 17.955,00
<i>impianto ACS</i>	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 6.000,00
IMPIANTO	€ 47.638,10	€ 43.743,10	€ 43.743,10	€ 31.028,10
TOTALE	€ 47.638,10	€ 47.638,10	€ 87.766,38	€ 113.506,59

Tabella 24 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 1 - Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 8.308,41
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 25.806,65
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 15.495,44	€ 15.495,44
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 26.287,32	€ 26.287,32
INVOLUCRO		€ 0,00	€ 41.782,76	€ 75.897,82
<i>impianto FV</i>	€ 7.073,10	€ 7.073,10	€ 7.073,10	€ 7.073,10
<i>impianto climatizzazione</i>	€ 40.565,00	€ 36.670,00	€ 36.670,00	€ 17.955,00
<i>impianto ACS</i>	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 6.000,00
IMPIANTO	€ 47.638,10	€ 43.743,10	€ 43.743,10	€ 31.028,10
TOTALE	€ 47.638,10	€ 47.638,10	€ 85.525,86	€ 106.925,92

5.2.2 Costi di investimento iniziale – Edificio 2

Tabella 25 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 2 - Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 125.467,00
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 102.877,78
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 85.895,50	€ 85.895,50
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 90.833,65	€ 90.833,65
INVOLUCRO			€ 176.729,15	€ 405.073,93
<i>impianto FV</i>	€ 42.458,00	€ 42.458,00	€ 42.458,00	€ 30.210,50
<i>impianto climatizzazione</i>	€ 176.263,00	€ 155.657,50	€ 155.657,50	€ 67.497,50

<i>impianto ACS</i>				€ 3.000,00
IMPIANTO		€ 218.721,00	€ 198.115,50	€ 100.708,00
TOTALE		€ 218.721,00	€ 374.844,65	€ 505.781,93

Tabella 26 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 2 - Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 118.912,84
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 102.243,73
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 79.069,40	€ 79.069,40
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 90.833,65	€ 90.833,65
INVOLUCRO			€ 169.903,05	€ 391.059,61
<i>impianto FV</i>		€ 40.650,00	€ 40.650,00	€ 30.210,50
<i>impianto climatizzazione</i>		€ 182.200,50	€ 161.215,00	€ 71.012,50
<i>impianto ACS</i>		€ 0,00	€ 0,00	€ 3.000,00
IMPIANTO		€ 222.850,50	€ 201.865,00	€ 104.223,00
TOTALE		222.850,50 €	371.768,05 €	€ 495.282,61 €

Tabella 27 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 2 -Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 105.804,51
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 90.671,83
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 72.243,29	€ 72.243,29
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 88.967,52	€ 88.967,52
INVOLUCRO			€ 161.210,82	€ 357.687,15
<i>impianto FV</i>		€ 40.650,00	€ 40.650,00	€ 30.210,50
<i>impianto climatizzazione</i>		€ 176.263,00	€ 155.657,50	€ 67.497,50
<i>impianto ACS</i>				€ 3.000,00
IMPIANTO		€ 216.913,00	€ 196.307,50	€ 100.708,00
TOTALE		€ 216.913,00	€ 357.518,32	€ 458.395,15

5.2.3 Costi di investimento iniziale – Edificio 3

Tabella 28 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 3 - Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 70.057,68
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 256.565,38
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 167.821,39 €	€ 167.821,39
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 128.501,82 €	€ 128.501,82
INVOLUCRO			€ 296.323,21 €	€ 622.946,26

<i>impianto FV</i>	€ 96.347,00	€ 78.384,00	€ 63.687,00
<i>impianto climatizzazione</i>	€ 326.800,00	€ 281.342,50	€ 76.617,50
<i>impianto ACS</i>			€ 6.000,00
IMPIANTO	€ 423.147,00	€ 359.726,50	€ 146.304,50
TOTALE	€ 423.147,00	€ 656.049,71	€ 769.250,76

Tabella 29 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 3 - Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 64.830,48
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 250.532,32
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 152.258,59	€ 152.258,59
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 125.861,82	€ 125.861,82
INVOLUCRO			€ 278.120,41	€ 593.483,20
<i>impianto FV</i>	€ 78.048,00	€ 78.048,00	€ 63.687,00	€ 63.687,00
<i>impianto climatizzazione</i>	€ 287.280,00	€ 272.222,50	€ 71.278,50	€ 71.278,50
<i>impianto ACS</i>			€ 6.000,00	€ 6.000,00
IMPIANTO	€ 365.328,00	€ 350.270,50	€ 140.965,50	€ 140.965,50
TOTALE	€ 365.328,00	€ 628.390,91	€ 734.448,70	€ 734.448,70

Tabella 30 - Costi di investimento dell'intervento di efficientamento - edificio 3 - Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Superfici opache verticali</i>				€ 57.860,88
<i>Superfici opache orizz. inferiori</i>				€ 232.433,14
<i>Superfici opache orizz. superiori</i>			€ 141.883,39	€ 141.883,39
<i>Superfici trasparenti</i>			€ 123.221,82	€ 123.221,82
INVOLUCRO			€ 265.105,21	€ 555.399,22
<i>impianto FV</i>	€ 63.414,00	€ 63.414,00	€ 63.687,00	€ 63.687,00
<i>impianto climatizzazione</i>	€ 280.183,50	€ 244.767,50	€ 60.600,50	€ 60.600,50
<i>impianto ACS</i>			€ 6.000,00	€ 6.000,00
IMPIANTO	€ 343.597,50	€ 308.181,50	€ 130.287,50	€ 130.287,50
TOTALE	€ 343.597,50	€ 573.286,71	€ 685.686,72	€ 685.686,72

5.3 Spese di gestione

5.3.1 Costo di approvvigionamento energetico

Ai costi di esercizio si devono contabilizzare i costi di approvvigionamento delle fonti energetiche consumate dagli impianti di climatizzazione e d'illuminazione. Risulta evidente come la modifica dell'impianto determini una variazione dei costi, dovuta sia a un diverso consumo energetico che a un differente costo del vettore energetico. La variazione dei costi sostenuti per l'acquisto dei combustibili o dell'energia elettrica determina gran parte del risparmio economico delle soluzioni impiantistiche che vengono proposte come migliorative rispetto all'impianto base.

Nella seguente tabella vengono riportati i costi specifici dei diversi vettori energetici utilizzati nel calcolo, ottenuti attraverso un'analisi di mercato.

Tabella 31 - Costi specifici dei vettori energetici

	grandezza di riferimento	UdM PCI	PCI	UdM costo specifico 1	costo specifico 1	UdM costo specifico 2	costo specifico 2
<i>gas naturale</i>	Sm ³	kWhgn/Sm ³	9,59	EUR/Sm ³	0,550	EUR/kWhgn	-0,057
<i>E.E. ex-situ</i>	kWhe	kWhpe/kWhe	2,42	EUR/kWhe	0,270	EUR/kWhpe	-0,112
<i>E.E. ceduta</i>	kWhe		1,00	EUR/kWh _{ec}	0,050	EUR/kWh _{ec}	0,050

Il calcolo dei costi di approvvigionamento è stato eseguito moltiplicando i valori dei costi specifici dei vettori energetici per i consumi di energia primaria ottenuti dalle simulazioni energetiche con le metodologie di calcolo "standardizzate" descritte nel successivo paragrafo.

5.3.2 Fattori di correzione spesa approvvigionamento energetico

Gli interventi di efficientamento energetico degli edifici hanno come effetto una riduzione dei consumi energetici e, conseguentemente, delle spese per l'approvvigionamento del combustibile e dell'energia elettrica. La riduzione annuale di spesa viene calcolata a partire dai risparmi energetici dei diversi vettori ottenuti dai metodi di calcolo standardizzati, moltiplicati per il costo unitario di ciascun vettore energetico (gas naturale, energia elettrica).

Come suggerito da diversi studi [16,17], i valori dei consumi energetici teorici ottenuti con il metodo standardizzato (UN TS 11300) differiscono da quelli reali a causa di diversi fattori quali: metodo di calcolo (stazionario/dinamico) e modalità di conduzione e occupazione dell'edificio. La differenza tra consumi reali e teorici produce un errore nel calcolo dei risparmi economici derivanti da una riduzione di consumo di combustibili o vettori energetici a seguito di interventi di efficientamento. Per tale motivo, al fine di evitare stime troppo ottimistiche e lontane dalla realtà, si è applicato un coefficiente di correzione dei consumi di energia primaria che tiene conto del reale utilizzo e gestione degli edifici. Considerando i dati estrapolati dai suddetti studi e ipotizzando un numero di ore di utilizzo dell'edificio compatibili con la sua destinazione e modalità reali di conduzione, sono stati utilizzati i seguenti fattori di correzione dei valori teorici ricavati con il metodo di calcolo standardizzato.

Tabella 32 - Fattori di correzione dei valori calcolati⁹

<i>Riscaldamento</i>	-33%
<i>Raffrescamento</i>	+20%
<i>Ventilazione + Illuminazione + ACS</i>	-25%

5.3.3 Fattore di riduzione quota di autoconsumo energia elettrica da fotovoltaico

L'utilizzo di un impianto di produzione di energia elettrica rinnovabile da fotovoltaico accumuna tutti gli scenari di efficientamento energetico dato che, nel caso dell'NZEB di legge, risulta già prescritto, mentre negli altri scenari risulta essere economicamente ed energeticamente vantaggioso in considerazione

⁹ Nota: I suddetti coefficienti di correzione sono stati utilizzati esclusivamente per il calcolo delle spese energetiche di approvvigionamento e non per la correzione dei parametri di energia primaria risultanti dal calcolo, che rimangono standardizzati.

dell'utilizzo di un sistema di climatizzazione alimentato ad energia elettrica e visto l'uso di questo vettore per l'illuminazione.

Dai calcoli risulta, però, che la quota di autoconsumo assume valori elevati e prossimi al 90-100%. Tale percentuale, nella realtà, è difficilmente raggiungibile dato che non si ha sempre contemporaneità tra produzione e consumo di energia elettrica (es. sabato e domenica o ore di pausa pranzo). Di norma, tale valore può essere stimato tra il 60-70% a seconda della proporzione tra impianto e servizi energetici e dagli orari di utilizzo dell'edificio. Pertanto, se l'autoconsumo è sovrastimato, si può ritenere che l'acquisto di energia dall'esterno sia ridotto, cosa che invece non avviene nella realtà.

Da queste considerazioni sono state apportate correzioni alla quota di autoconsumo che determina un incremento dei costi per l'acquisto dei vettori energetici. Il parametro è stato fissato al 65%.

5.3.4 Costo annuale di manutenzione

Si intendono come costi di manutenzione le spese per gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria. Tali spese vengono considerate nella valutazione economica, dato che esse variano in base alla tipologia impiantistica. I costi di esercizio considerati si ottengono dalla somma delle seguenti categorie:

- costo del contratto di manutenzione annua programmata (controllo fumi, pulizia filtri VMC e ventilconvettori);
- costo di intervento straordinario (rotture varie o sorgenti luminose da sostituire);
- costo del materiale sostituito (es. sorgenti luminose, raccordi, valvolame).

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

Tabella 33 - Costi di manutenzione annuale per i diversi edifici e scenari analizzati

	ATTUALE	Quasi NZEB (solo impianto+FER)	NZEB equivalente	NZEB di legge
<i>Edificio 1</i>	-1.500,00	-1.050,00	-1.050,00	-1.200,00
<i>Edificio 2</i>	-5.000,00	-3.500,00	-3.500,00	-4.000,00
<i>Edificio 3</i>	-15.000,00	-10.500,00	-10.500,00	-12.000,00

6 Risultati dell'analisi

6.1 Caso studio 1

6.1.1 Caso studio 1 - Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	32.044,09	17.242,06	9.256,72	9.730,21
$E_{P,REN}$ [kWh]	4.022,73	28.329,89	14.766,17	11.299,98
$E_{P,TOT}$ [kWh]	36.066,82	45.571,95	24.022,89	21.030,19
Quota fonte rinnovabile	11%	62%	61%	55%
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	80,90	119,20	0,00
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	98%	97%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-3.637,67	-2.955,43	-2.207,30	-2.502,74
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-45.704,70	-86.004,87
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-47.638,10	-43.743,10	-31.028,10
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-47.638,10	-89.447,80	-117.032,97
SPESA ANNUALE	-3.637,67	-2.955,43	-2.207,30	-2.502,74
VAN (30 anni) tasso 0,04	-62.902,68	-136.300,89	-124.176,20	-155.809,20
INDICE NZEB ($E_{Pn,ren}/E_{pn,ren,NZEB}$)	329%	177%	95%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	54%	29%	30%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		101,84	91,02	151,26
Tempo di ritorno semplice		-69,83	-62,53	-103,12
Tempo di ritorno semplice solo impianto		-69,83	-30,58	-27,34

6.1.2 Caso studio 1 – Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	23.835,47	7.292,65	4.292,49	5.243,75
$E_{P,REN}$ [kWh]	4.073,61	15.078,04	8.653,98	8.480,30
$E_{P,TOT}$ [kWh]	27.909,08	22.370,69	12.946,47	13.724,05
Quota fonte rinnovabile	15%	67%	67%	62%
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	342,10	470,30	0,00
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	94%	90%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-3.783,08	-2.033,98	-1.674,07	-2.128,84
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-44.023,28	-82.478,49
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-47.638,10	-43.743,10	-31.028,10
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-47.638,10	-87.766,38	-113.506,59
SPESA ANNUALE	-3.783,08	-2.033,98	-1.674,07	-2.128,84
VAN (30 anni) tasso 0,04	-65.417,11	-108.657,46	-113.338,84	-145.952,99
INDICE NZEB ($E_{Pn,ren}/E_{pn,ren,NZEB}$)	455%	139%	82%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	31%	18%	22%

Tempo di ritorno (tasso 4%)		38,62	59,96	100,05
Tempo di ritorno semplice	-	-27,24	-41,62	-68,62
Tempo di ritorno semplice solo impianto		-27,24	-20,74	-18,76

6.1.3 Caso studio 1 - Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	20.296,30	3.648,27	2.875,25	4.058,97
$E_{P,REN}$ [kWh]	4.100,74	9.940,46	8.413,60	8.615,79
$E_{P,TOT}$ [kWh]	24.397,04	13.588,73	11.288,85	12.674,76
Quota fonte rinnovabile	17%	73%	75%	68%
ELETTRICA ESPORTATA [kWhe]	0,00	593,50	695,00	95,50
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	90%	88%	98%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-3.698,27	-1.662,51	-1.564,79	-2.010,90
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-41.782,76	-75.897,82
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-47.638,10	-43.743,10	-31.028,10
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-47.638,10	-85.525,86	-106.925,92
SPESA ANNUALE	-3.698,27	-1.662,51	-1.564,79	-2.010,90
VAN (30 anni) tasso 0,04	-63.950,54	-97.513,30	-109.294,81	-137.585,98
INDICE NZEB ($E_{Pn,ren}/E_{pn,ren,NZEB}$)	500%	90%	71%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	18%	14%	20%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		32,93	57,70	92,56
Tempo di ritorno semplice		23,40	40,09	63,37
Tempo di ritorno semplice solo impianto		23,40	20,50	18,39

6.2 Caso studio t2

6.2.1 Caso studio 2 - Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	422.383,26	118.186,96	54.404,83	46.656,87
$E_{P,REN}$ [kWh]	20.252,49	222.089,99	122.392,70	47.926,27
$E_{P,TOT}$ [kWh]	442.635,75	340.276,95	176.797,53	94.583,14
Quota fonte rinnovabile	5%	65%	69%	55%
ELETTRICA ESPORTATA [kWhe]	0,00	4.228,50	7.330,40	257,60
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	85%	75%	99%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-27.986,56	-15.493,22	-8.729,95	-10.682,81
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-176.729,15	-405.073,93
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-218.721,00	-198.115,50	-100.708,00
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-218.721,00	-374.844,65	-505.781,93
SPESA ANNUALE	-27.986,56	-15.493,22	-8.729,95	-10.682,81
VAN (30 anni) tasso 0,04	-483.944,55	-683.517,61	-511.386,13	-671.056,33
INDICE NZEB ($E_{Pn,ren}/E_{pn,ren,NZEB}$)	905%	253%	117%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	28%	13%	11%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		24,18	27,08	41,58
Tempo di ritorno semplice		17,51	19,47	29,23
Tempo di ritorno semplice solo impianto		17,51	10,29	5,82

6.2.2 Caso studio 2 - Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	341.363,38	64.652,47	35.043,87	30.061,77
$E_{P,REN}$ [kWh]	25.656,07	148.506,76	75.799,15	38.920,82
$E_{P,TOT}$ [kWh]	367.019,45	213.159,23	110.843,02	68.982,59
Quota fonte rinnovabile	7%	70%	68%	56%
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	7.222,60	3.437,00	924,00
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	80%	86%	96%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-26.865,39	-10.495,72	-7.812,42	-9.441,68
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-169.903,05	-391.059,61
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-222.850,50	-201.865,00	-104.223,00
VALORE INVESTIMENTO **	0,00	-222.850,50	-371.768,05	-495.282,61
SPESA ANNUALE	-26.865,39	-10.495,72	-7.812,42	-9.441,68
VAN (30 anni) tasso 0,04	-464.557,29	-537.721,98	-492.561,84	-639.499,20
INDICE NZEB ($E_{Pn,ren}/E_{Pn,ren,NZEB}$)	1136%	215%	117%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	19%	10%	9%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		18,40	27,16	40,39
Tempo di ritorno semplice		13,61	19,51	28,43
Tempo di ritorno semplice solo impianto		13,61	10,59	5,98

6.2.3 Caso studio 2 – Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	238.025,37	32.254,24	18.979,46	26.146,35
$E_{P,REN}$ [kWh]	24.087,26	94.637,90	53.874,19	39.705,00
$E_{P,TOT}$ [kWh]	262.112,63	126.892,14	72.853,65	65.851,35
Quota fonte rinnovabile	9%	75%	74%	60%
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	9.447,00	4.618,00	2.791,90
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	76%	83%	90%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-22.951,18	-7.156,71	-6.151,42	-8.693,46
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-161.210,82	-357.687,15
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-216.913,00	-196.307,50	-100.708,00
VALORE INVESTIMENTO **	0,00	-216.913,00	-357.518,32	-458.395,15
SPESA ANNUALE	-22.951,18	-7.156,71	-6.151,42	-8.693,46
VAN (30 anni) tasso 0,04	-396.872,62	-431.614,39	-450.138,17	-591.092,11
INDICE NZEB ($E_{Pn,ren}/E_{Pn,ren,NZEB}$)	910%	123%	73%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	14%	8%	11%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		18,57	29,78	45,91
Tempo di ritorno semplice		13,73	21,28	32,15
Tempo di ritorno semplice solo impianto		13,73	11,69	7,06

6.3 Caso studio 3

6.3.1 Caso studio 3 – Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	415.885,50	212.452,38	167.064,28	149.175,00
$E_{P,REN}$ [kWh]	51.463,04	356.643,62	281.553,37	132.394,00
$E_{P,TOT}$ [kWh]	467.348,54	569.096,00	448.617,65	281.569,00
Quota fonte rinnovabile	11%	63%	63%	55%
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	1.842,30	1.788,80	0,01
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	97%	97%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-47.943,93	-35.107,23	-30.808,90	-31.215,92
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-296.323,21	-622.946,26
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-423.147,00	-359.726,50	-146.304,50
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-423.147,00	-656.049,71	-769.250,76
SPESA ANNUALE	-47.943,93	-35.107,23	-30.808,90	-31.215,92
VAN (30 anni) tasso 0,04	-829.048,11	-1.476.363,94	-1.163.565,63	-1.279.450,95
INDICE NZEB ($E_{Pn,ren}/E_{pn,ren,NZEB}$)	279%	142%	112%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	51%	40%	36%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		47,12	55,02	65,45
Tempo di ritorno semplice		32,96	38,29	45,99
Tempo di ritorno semplice solo impianto		32,96	20,99	8,75

6.3.2 Caso studio 3 – Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	348.670,78	138.723,38	114.720,38	109.740,00
$E_{P,REN}$ [kWh]	57.461,20	234.252,46	196.235,97	106.430,54
$E_{P,TOT}$ [kWh]	406.131,98	372.975,84	310.956,35	216.170,54
Quota fonte rinnovabile	14%	63%	63%	55%
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	0,01	867,80	0,01
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	100%	99%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-49.035,83	-29.269,42	-26.665,46	-28.312,73
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-278.120,41	-593.483,20
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-365.328,00	-350.270,50	-140.965,50
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-365.328,00	-628.390,91	-734.448,70
SPESA ANNUALE	-49.035,83	-29.269,42	-26.665,46	-28.312,73
VAN (30 anni) tasso 0,04	-847.929,19	-1.243.410,46	-1.065.322,00	-1.195.785,28
INDICE NZEB ($E_{Pn,ren}/E_{pn,ren,NZEB}$)	318%	126%	105%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	40%	33%	31%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		25,63	33,17	50,80
Tempo di ritorno semplice		18,48	28,09	35,44
Tempo di ritorno semplice solo impianto		18,48	15,66	6,80

6.3.3 Caso studio 3 - Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{P,NREN}$ [kWh]	298.228,94	111.749,04	99.274,14	93.113,98
$E_{P,REN}$ [kWh]	57.810,02	157.199,08	143.641,56	101.590,74
$E_{P,TOT}$ [kWh]	356.038,96	268.948,12	242.915,70	194.704,72
Quota fonte rinnovabile	16%	58%	59%	55%

ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	0,01	79,60	0,01
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	100%	100%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-47.843,59	-26.858,18	-25.373,49	-26.894,48
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-265.105,21	-555.399,22
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-343.597,50	-359.726,50	-146.304,50
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-343.597,50	-624.831,71	-701.703,72
SPESA ANNUALE	-47.843,59	-26.858,18	-25.373,49	-26.894,48
VAN (30 anni) tasso 0,04	-827.312,93	-1.149.342,88	-1.039.558,96	-1.139.775,38
INDICE NZEB (EP _{n,ren} /EP _{n,ren,NZEB})	320%	120%	107%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	37%	33%	31%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		22,49	39,47	47,91
Tempo di ritorno semplice	0,00	16,37	27,81	33,50
Tempo di ritorno semplice solo impianto		-16,37	-16,01	-6,98

6.4 Analisi dei risultati

6.4.1 Indice NZEB

La prima serie di confronti viene impostata sulla base del parametro definito come “Indice NZEB”, cioè il rapporto tra energia non rinnovabile consumata, in condizioni standard, dallo scenario specifico e l’energia non rinnovabile consumata dall’edificio nella configurazione NZEB di legge.

$$\text{indice NZEB} = \frac{EP_{NREN-\text{caso studio}}}{EP_{NREN-\text{Nzeb}}}$$

Il motivo della scelta di tale parametro è stata introdotta già nei capitoli precedenti ed giustificato dalle politiche energetiche europee, che mirano alla riduzione nell’utilizzo di fonti combustibili fossili non rinnovabili e la conseguente riduzione di emissione di gas serra.

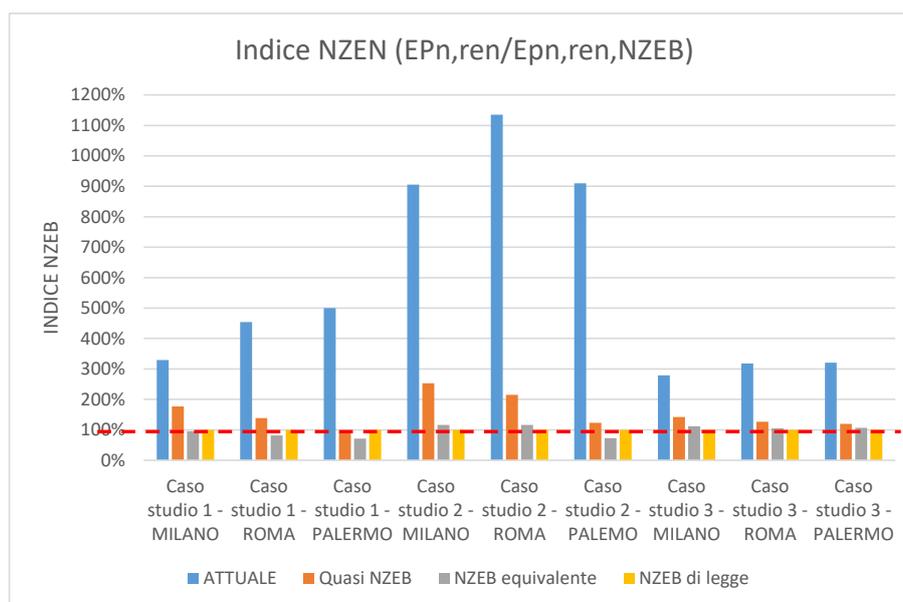


Figura 17 - Indice NZEB nei diversi casi analizzati

Nel grafico di Figura 13 e nel prospetto che segue risulta evidente come i consumi di energia non rinnovabile vengano ridotti in modo drastico in tutte le configurazioni qui proposte e studiate.

Tabella 34 – Indice NZEB

INDICE NZEB (EP _{n,ren} /E _{p,n,ren} ,NZEB)	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
Caso studio 1 - MILANO	329%	177%	95%	100%
Caso studio 1 - ROMA	455%	139%	82%	100%
Caso studio 1 - PALERMO	500%	90%	71%	100%
Caso studio 2 - MILANO	905%	253%	117%	100%
Caso studio 2 - ROMA	1136%	215%	117%	100%
Caso studio 2 - PALEMO	910%	123%	73%	100%
Caso studio 3 - MILANO	279%	142%	112%	100%
Caso studio 3 - ROMA	318%	126%	105%	100%
Caso studio 3 - PALERMO	320%	120%	107%	100%

6.4.2 Tempo di ritorno semplice

Un secondo confronto tra le diverse soluzioni tecnologiche prospettate e scenari di efficientamento energetico si basa sul tempo di ritorno semplice, cioè il tempo necessario per ripagare l’investimento economico con il risparmio annuale nell’approvvigionamento energetico e nelle spese di gestione senza tenere conto degli interessi. Tale parametro consente una semplice lettura della possibile convenienza economica a effettuare la riqualificazione energetica. Non sono state considerate le possibili detrazioni fiscali o incentivi (es. 65%, conto termico, certificati bianchi, ecc.).

Nel grafico che segue con la linea rossa tratteggiata viene evidenziato il tempo di ritorno limite di 30 anni, come da raccomandazioni della Commissione Europea.

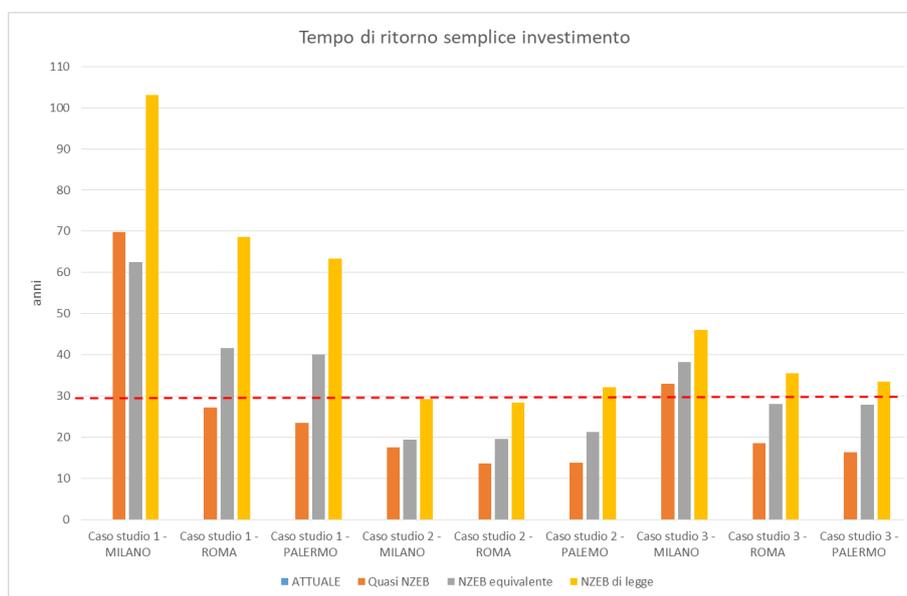


Figura 18 – Tempo di ritorno economico degli investimenti in efficientamento energetico per i diversi casi

Risulta evidente, a colpo d’occhio, come tutte le soluzioni qui proposte e studiate siano più competitive rispetto al NZEB di legge. Tuttavia, nella maggioranza dei casi, l’aumento di competitività non è tale da rendere queste soluzioni particolarmente attraenti per il mercato nazionale.

Questo tipo di situazione risulta ancora più marcato considerando i tempi di ritorno determinati considerando il tasso di interesse suggerito del 4%.

Tabella 35 - Tempo di ritorno economico degli investimenti in efficientamento energetico

Tempo di ritorno semplice	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
Caso studio 1 - MILANO	0	69,83	62,53	103,12
Caso studio 1 - ROMA	0	27,24	41,62	68,62
Caso studio 1 - PALERMO	0	23,40	40,09	63,37
Caso studio 2 - MILANO	0	17,51	19,47	29,23
Caso studio 2 - ROMA	0	13,61	19,51	28,43
Caso studio 2 - PALEMO	0	13,73	21,28	32,15
Caso studio 3 - MILANO	0	32,96	38,29	45,99
Caso studio 3 - ROMA	0	18,48	28,09	35,44
Caso studio 3 - PALERMO	0	16,37	27,81	33,50

6.4.3 VAN (Valore Attuale Netto)

Di seguito si riportano i confronti dei VAN, calcolati con un tasso di interesse del 4% in un periodo di 30 anni. Risultano, coerentemente a quanto già visto, valori sempre negativi in quanto in nessun caso i risparmi sui costi annuali di gestione (approvvigionamento energetico e spese di manutenzione) riescono a compensare gli investimenti richiesti dalla riqualificazione energetica negli scenari di miglioramento nei termini suggeriti dalla Commissione Europea.

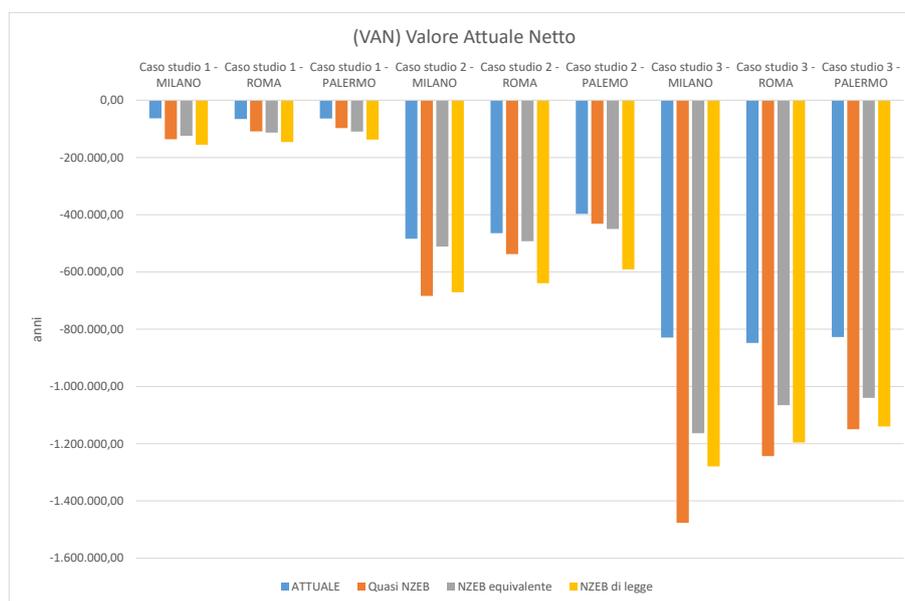


Figura 19 – VAN per i diversi casi (30 anni e 4% di interesse)

Tabella 36 - VAN per i diversi casi (30 anni e 4% di interesse)

VAN	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
Caso studio 1 - MILANO	-62.902,68	-136.300,89	-124.176,20	-155.809,20
Caso studio 1 - ROMA	-65.417,11	-108.657,46	-113.338,84	-145.952,99

Caso studio 1 - PALERMO	-63.950,54	-97.513,30	-109.294,81	-137.585,98
Caso studio 2 - MILANO	-483.944,55	-683.517,61	-511.386,13	-671.056,33
Caso studio 2 - ROMA	-464.557,29	-537.721,98	-492.561,84	-639.499,20
Caso studio 2 - PALERMO	-396.872,62	-431.614,39	-450.138,17	-591.092,11
Caso studio 3 - MILANO	-829.048,11	-1.476.363,94	-1.163.565,63	-1.279.450,95
Caso studio 3 - ROMA	-847.929,19	-1.243.410,46	-1.065.322,00	-1.195.785,28
Caso studio 3 - PALERMO	-827.312,93	-1.149.342,88	-1.039.558,96	-1.139.775,38

6.4.4 Confronto tempo di ritorno / indice NZEB

Si propone infine un confronto tra risultati energetici e quelli economici distinto per zona climatica, come visto e discusso nella parte introduttiva.

Risulta, come d'altronde già evidente dall'analisi delle figure precedenti, come gli scenari studiati comportino in ogni caso una drastica riduzione dei consumi di energia fossile ma nel contempo non siano caratterizzati da prestazioni economiche particolarmente attraenti (per esempio: inferiori ai 10 anni in termini di tempo di ritorno semplice), anche se i miglioramenti economici indotti sono significativi.

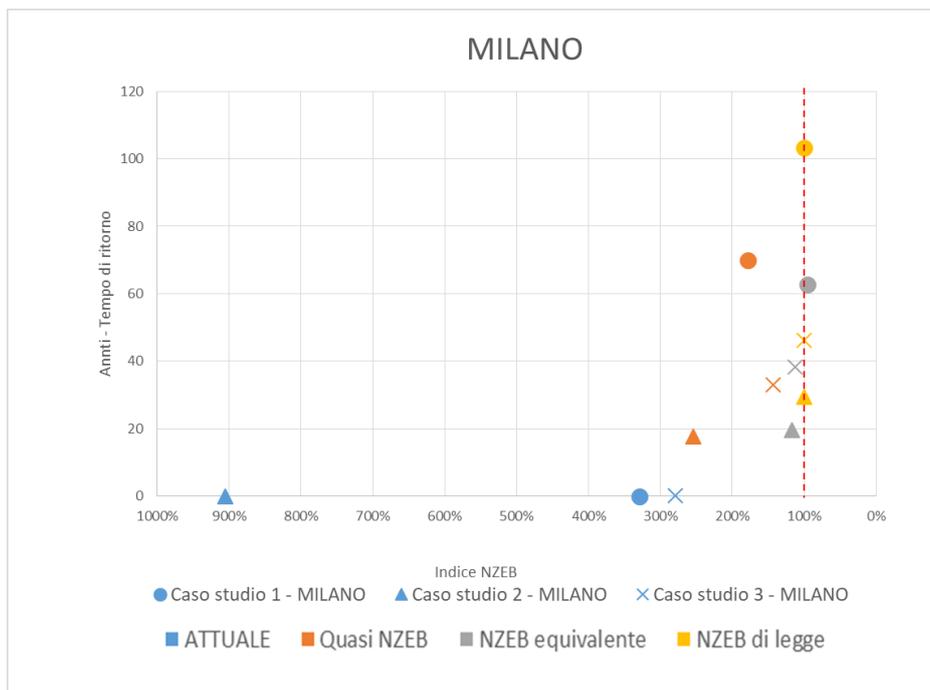


Figura 10 – Relazione tra indice NZEB e tempo di ritorno semplice per i casi studio posizionati al Nord Italia

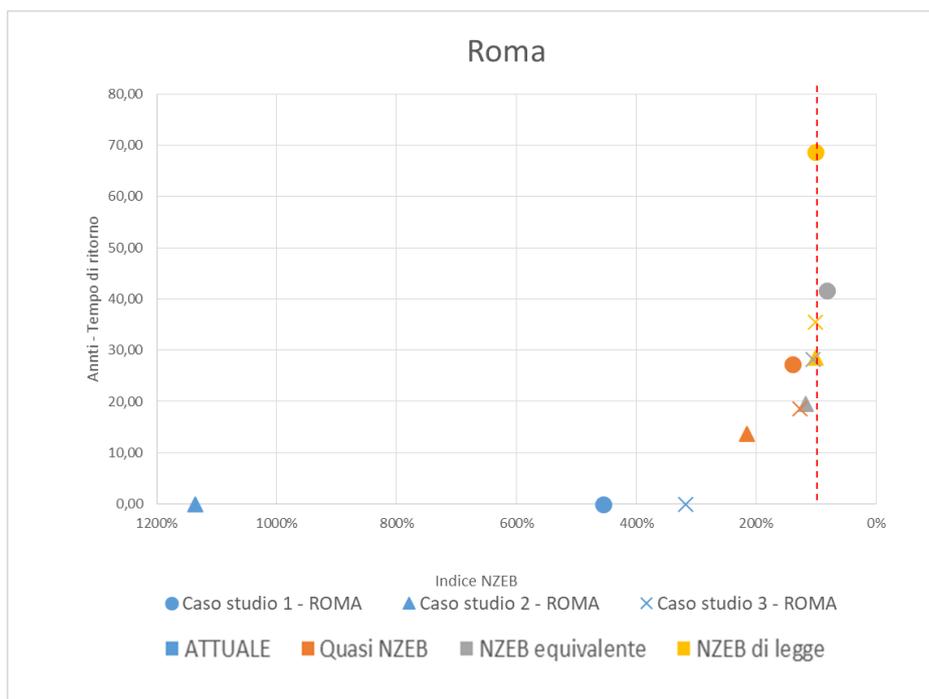


Figura 21 – Relazione tra indice NZEB e tempo di ritorno semplice per i casi studio posizionati al Centro Italia

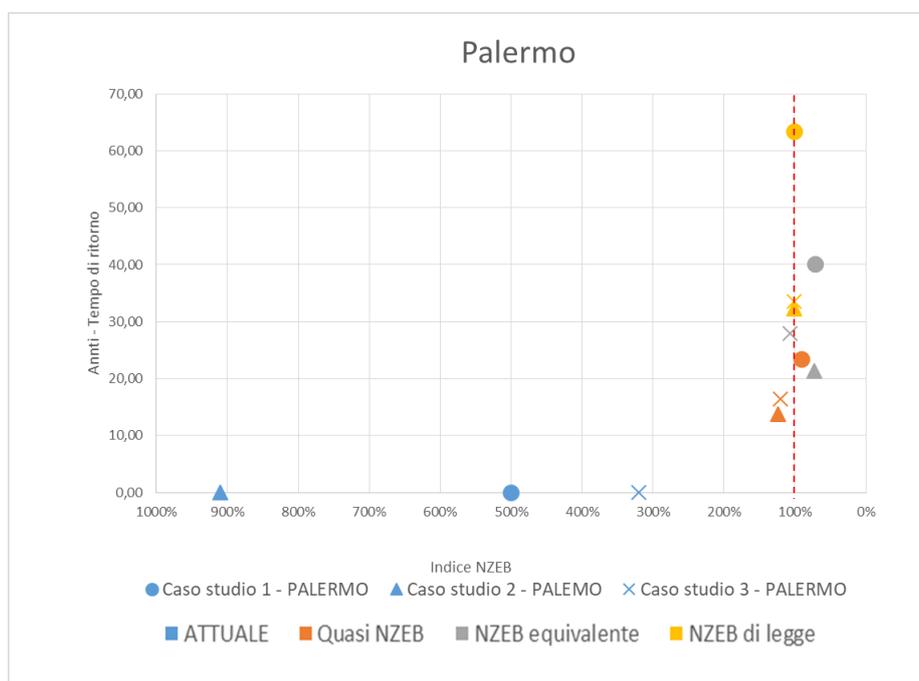


Figura 22 – Relazione tra indice NZEB e tempo di ritorno semplice per i casi studio posizionati al Sud Italia

In particolare e focalizzando l'attenzione sullo scenario "NZEB equivalente" si nota che la riduzione dei costi è sempre dell'ordine del 30%.

7 Riferimenti bibliografici

- [1] 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>
- [2] 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>
- [3] 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

- [4] Rapporto RIUS003 – Ristrutturazione edilizia – Riqualificazione energetica – rigenerazione urbana – Estratto della ricerca CRESME – 24 febbraio 2014
- [5] RICERCA SISTEMA ELETTRICO – Analisi statistica sul parco edilizio non residenziale e sviluppo di modelli di calcolo semplificati – Maggio 2009 - ENEA
- [6] 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>
- [7] 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>
- [8] UNI EN 12464-1 Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro Parte 1: Posti di lavoro in interni
- [9] UNI EN 15193 Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione
- [10] prUNI/TS 11300-6 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili
- [11] UNI EN 12831 - Impianti di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto
- [12] 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
- [13] 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.
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 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
- [17] Simone Ferrari, Valentina Zanutto, Office Buildings Cooling Need in the Italian Climatic Context: Assessing the Performances of Typical Envelopes, In Energy Procedia, Volume 30, 2012, Pages 1099-1109, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.123>
- [18] S. Ferrari, V. Zanutto, Building Energy Performance Assessment in Southern Europe, Springer Briefs in Applied Sciences and Technology (2016) <http://doi.org/10.1007/978-3-319-24136-4>

8 Appendice 1 – Informazioni sugli edifici reali presi a riferimento per la definizione degli edifici tipo

8.1 Caso studio 1 – Palazzina uffici

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

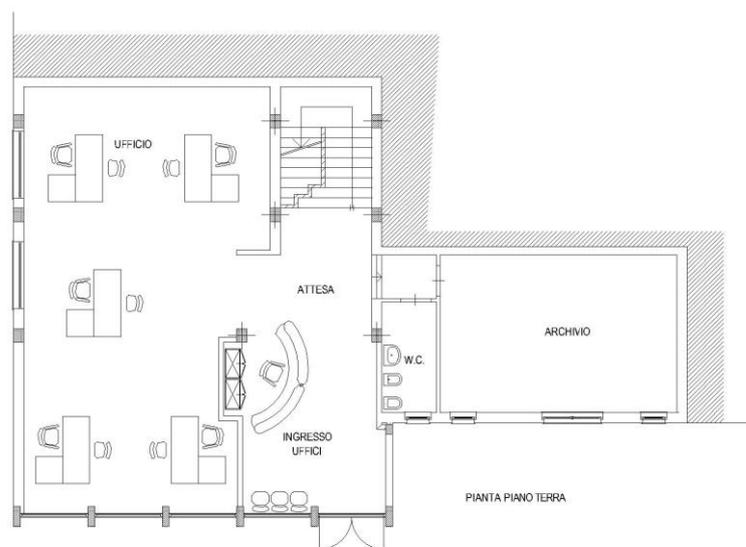


Figura 23 - Caso studio 1 - Planimetria piano terra

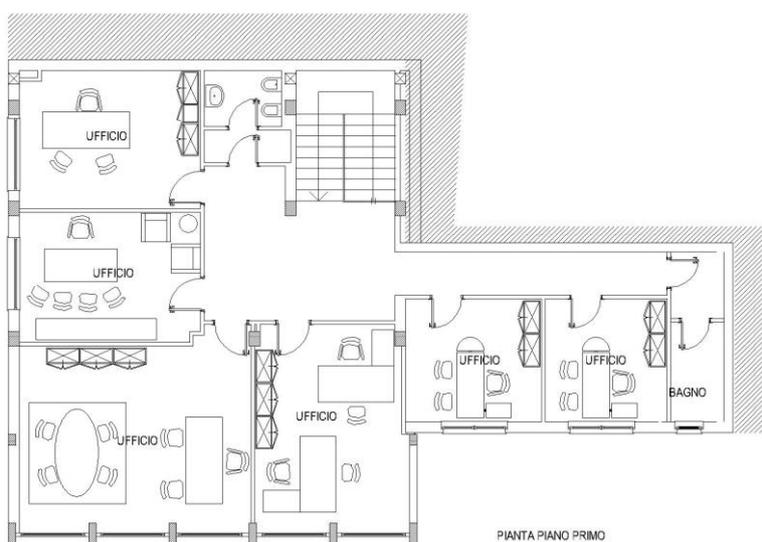


Figura 24 - Caso studio 1 - Planimetria piano primo

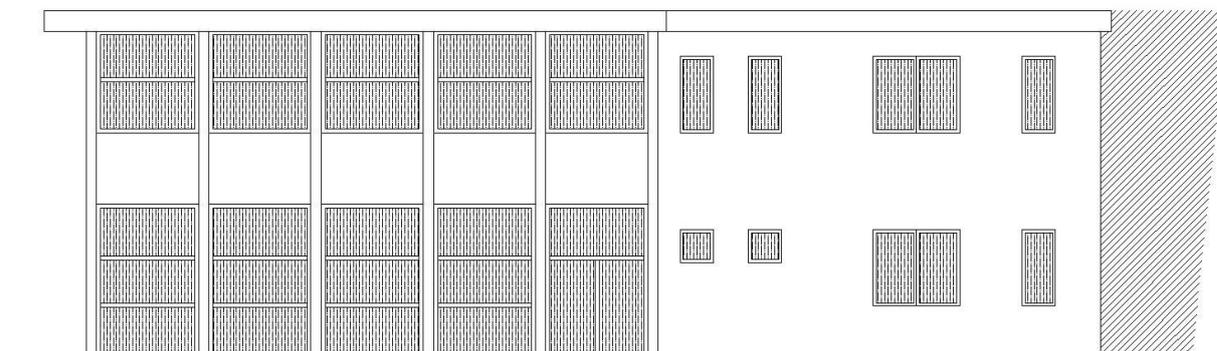


Figura 25 - Caso studio 1 - Prospetto lato sud.

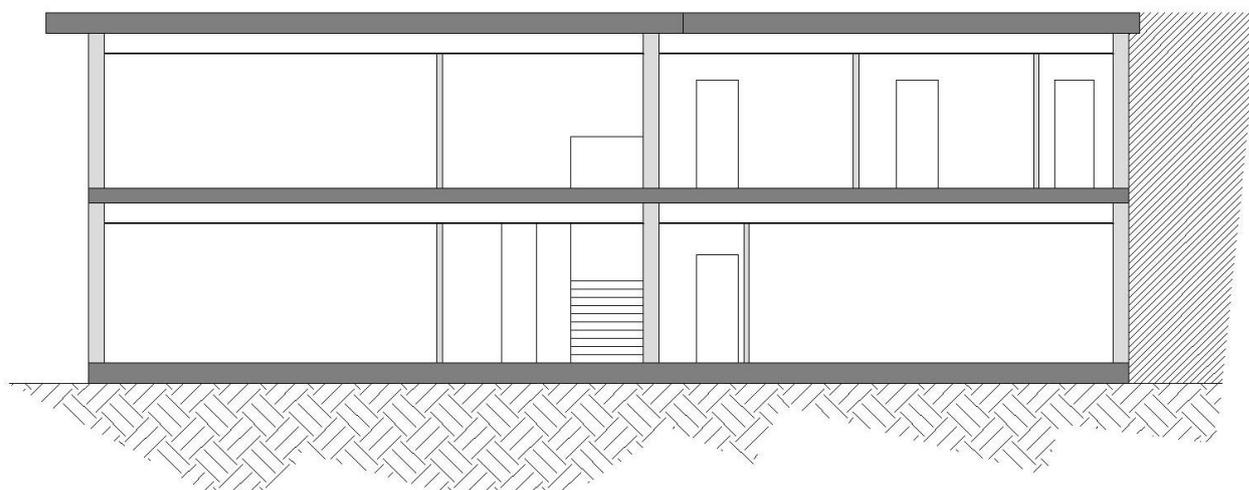


Figura 26 - Caso studio 1 - sezione longitudinale

8.2 Caso studio 2 – Palazzina uffici

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

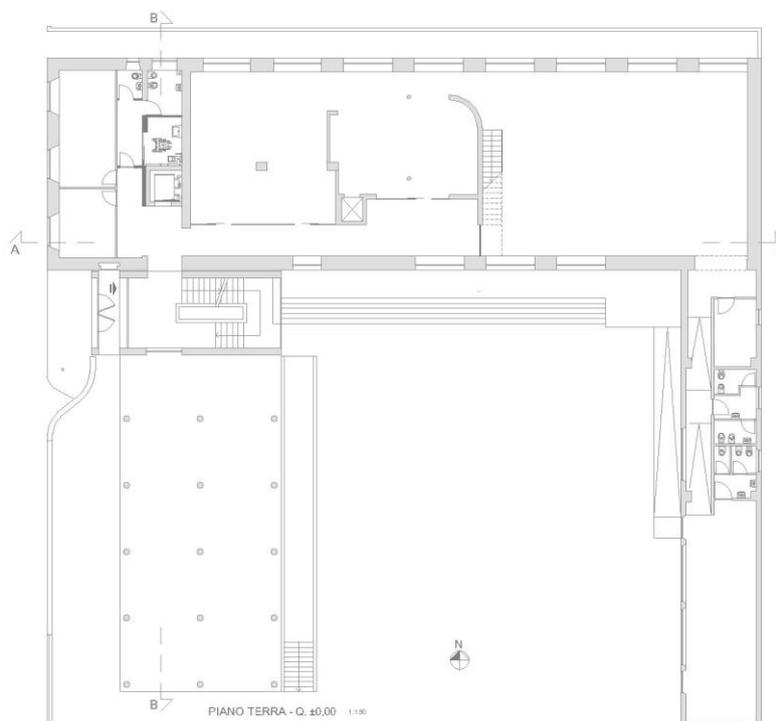


Figura 27 - Caso studio 2 - Planimetria piano terra

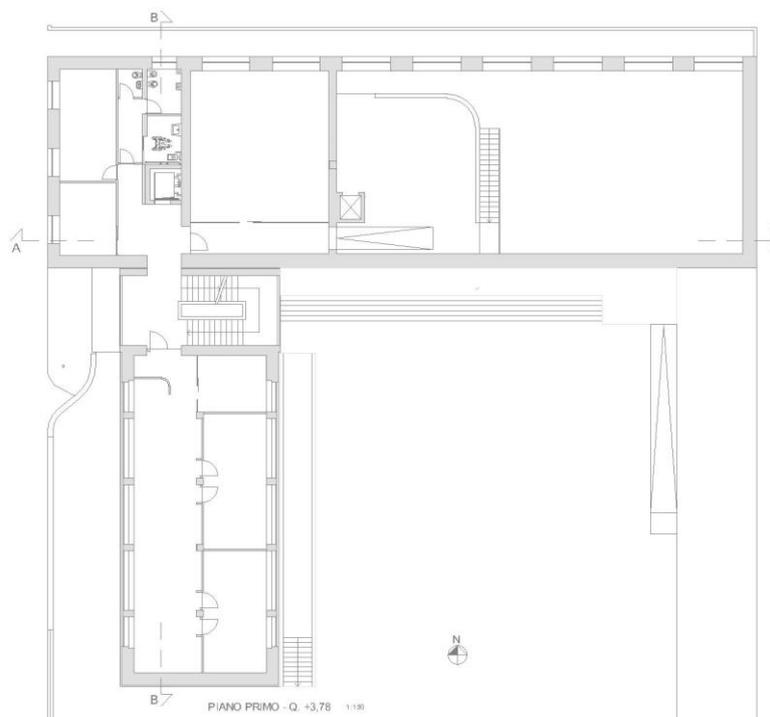


Figura 28 - Caso studio 2 - Planimetria piano primo

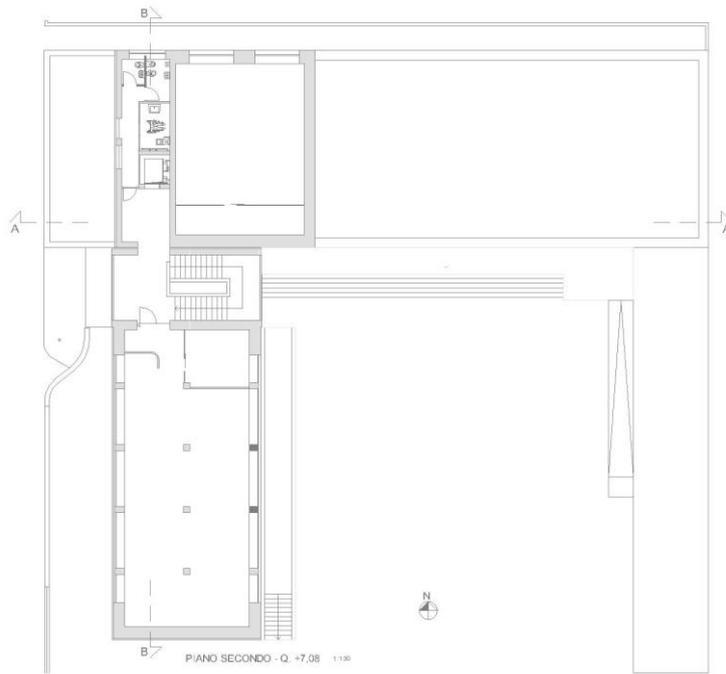


Figura 7 Caso studio 2 - Planimetria piano secondo

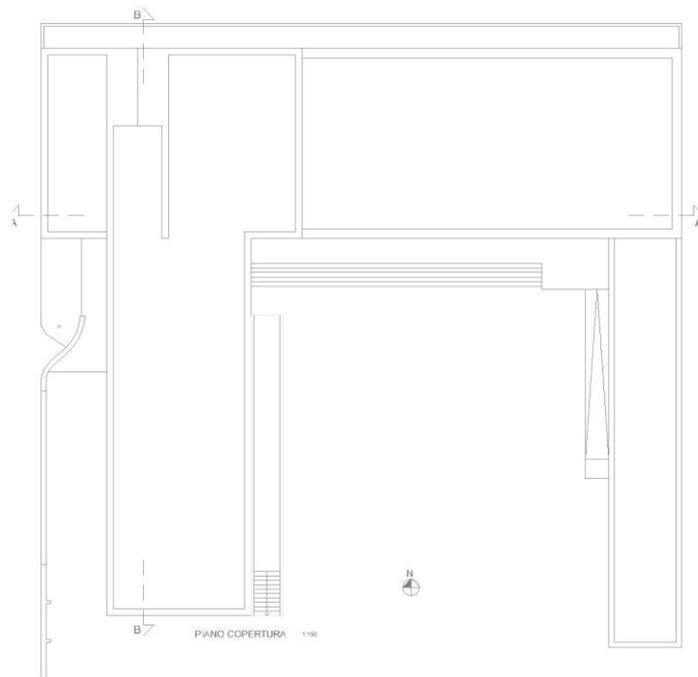
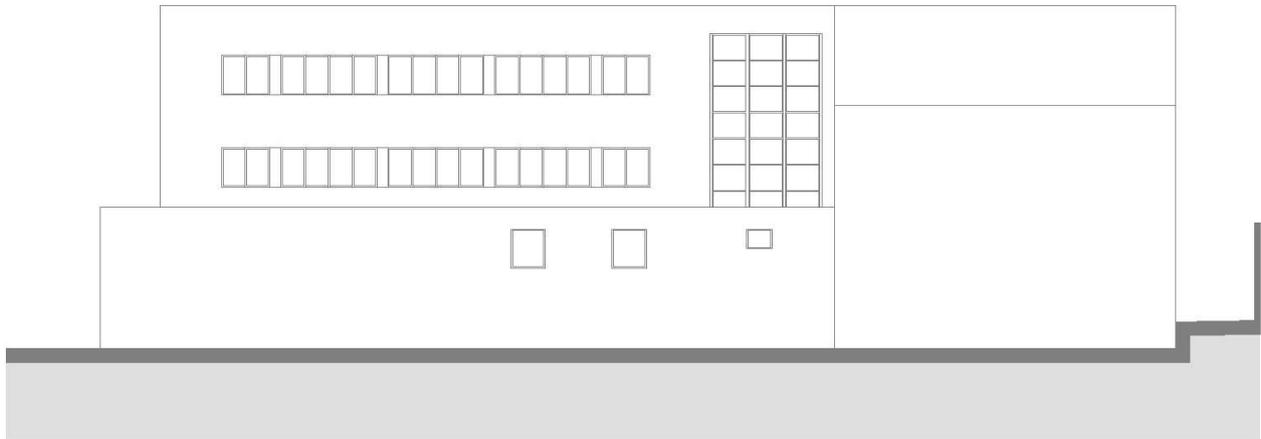
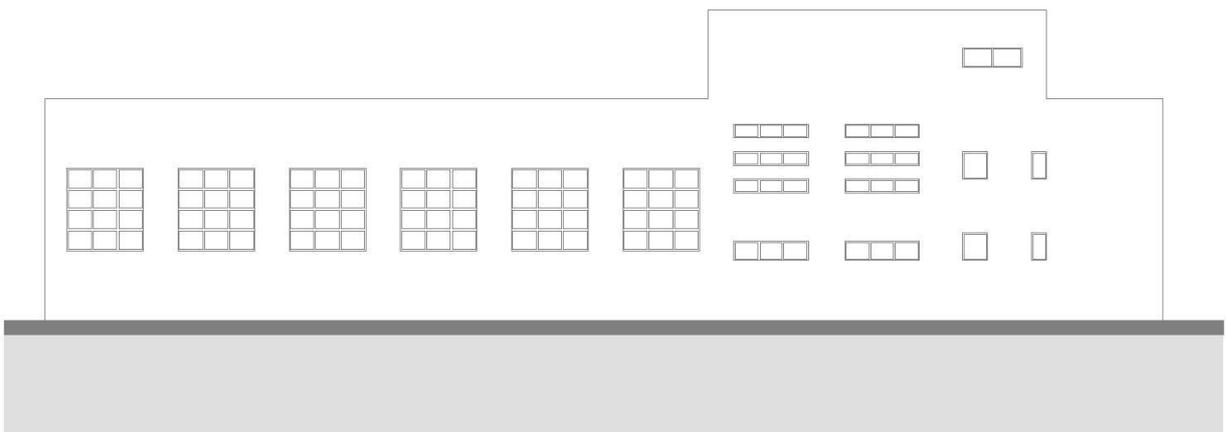


Figura 30 - Caso studio 1 - Planimetria copertura



PROSPETTO EST

Figura 31 - Caso studio 2 - Prospetto Est



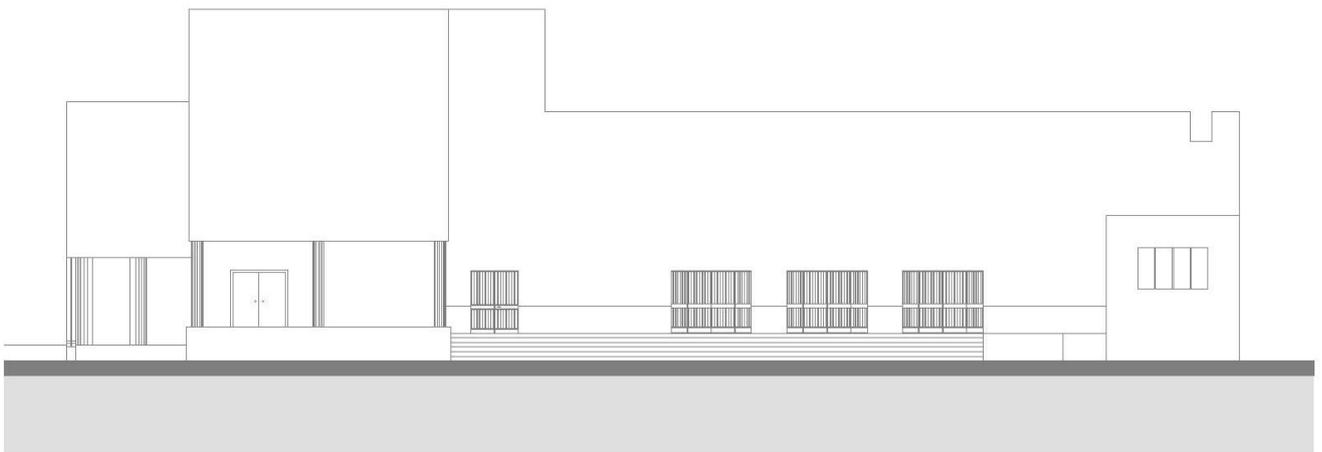
PROSPETTO NORD

Figura 32 - Caso studio 2 - Prospetto Nord



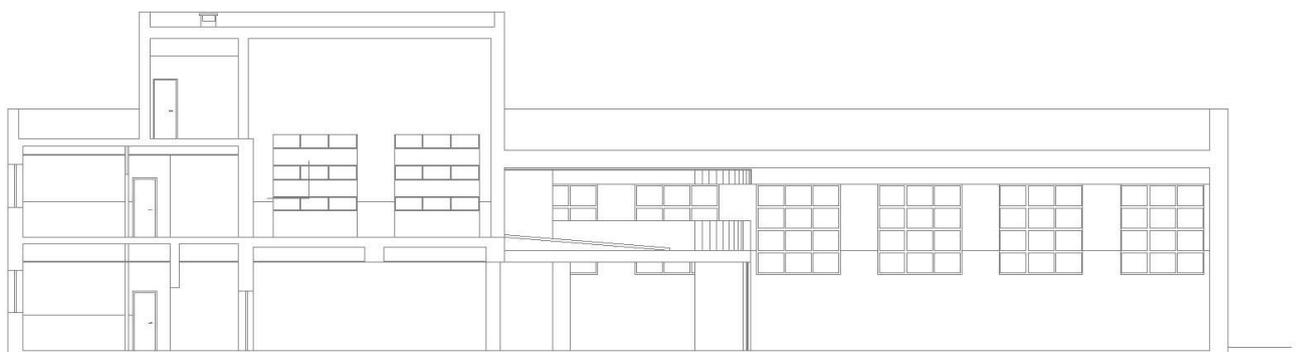
PROSPETTO OVEST

Figura 33 - Caso studio 2 - Prospetto Ovest



PROSPETTO SUD

Figura 34 - Caso studio 2 - Prospetto Sud



SEZIONE AA 1:150

Figura 35 - Caso studio 2 - Sezione

8.3 Caso studio 3 – Palazzina uffici

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



PIANO TERRA

Figura 36 - Caso studio 3 - Planimetria piano terra

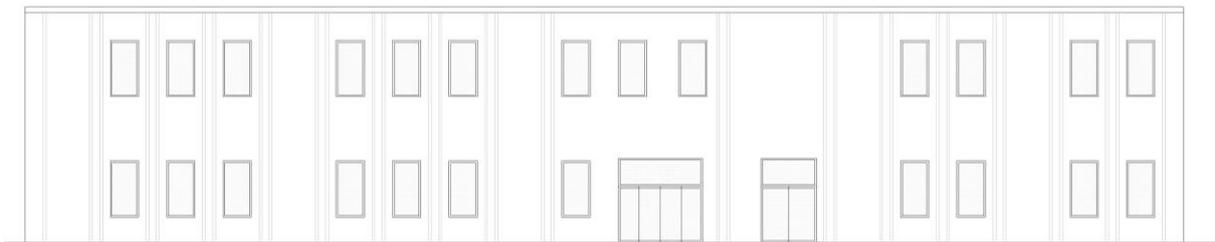


Figura 38 - Caso studio 3 – Prospetto

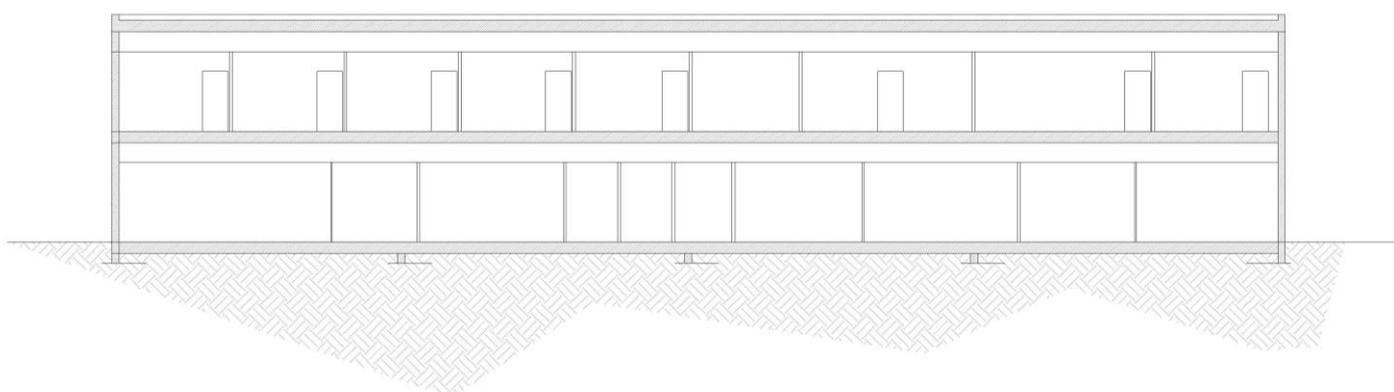


Figura 39 Caso studio 3 – Sezione

8.4 Appendice 2 - Dimensionamento degli impianti termici - potenze termiche massime necessarie per il riscaldamento e il raffrescamento

Tabella 37 - Potenza termica massima necessaria per il riscaldamento – edificio 1 nelle diverse località

		invernale [kW]	estivo [kW]
MI	BASE / QUASI NZEB	35,4	19
	NZEB EQUIVALENTE	28,8	17
	NZEB DI LEGGE	26,3	18
RM	BASE / QUASI NZEB	29	23
	NZEB EQUIVALENTE	24,1	20
	NZEB DI LEGGE	22,4	22
PA	BASE / QUASI NZEB	22,8	19
	NZEB EQUIVALENTE	20	16
	NZEB DI LEGGE	19,1	17

Tabella 38 - Potenza termica massima necessaria per il riscaldamento – edificio 2 nelle diverse località

		invernale [kW]	estivo [kW]
MI	BASE / QUASI NZEB	203	90
	NZEB EQUIVALENTE	137	60
	NZEB DI LEGGE	90	80
RM	BASE / QUASI NZEB	160	100
	NZEB EQUIVALENTE	110	70
	NZEB DI LEGGE	72	95
PA	BASE / QUASI NZEB	120	80
	NZEB EQUIVALENTE	85	60
	NZEB DI LEGGE	60	70

Tabella 39 - Potenza termica massima necessaria per il riscaldamento – edificio 2 nelle diverse località

		invernale [kW]	estivo [kW]
MI	BASE / QUASI NZEB	400	190
	NZEB EQUIVALENTE	350	185
	NZEB DI LEGGE	250	190
RM	BASE / QUASI NZEB	320	238
	NZEB EQUIVALENTE	290	225
	NZEB DI LEGGE	240	240
PA	BASE / QUASI NZEB	220	190
	NZEB EQUIVALENTE	210	170
	NZEB DI LEGGE	165	160

9 Appendice 3 – Tabelle risultati

9.1 Caso studio 1

9.1.1 Caso studio 1 - Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
$E_{p,NREN}$ [kWh]	32.044,09	17.242,06	9.256,72	9.730,21
GAS NATURALE	15.354,10	0,00	0,00	0,00
H	15.354,10	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	16.689,99	17.242,06	9.256,72	9.730,21
H	2.059,31	12.288,80	5.039,15	3.624,88
C	3.596,82	15,50	11,87	824,71
W	78,03	78,03	78,03	9,85
V	4.270,50	1.859,81	1.574,70	2.030,15
L	6.685,33	2.999,92	2.552,97	3.240,62
$E_{p,REN}$ [kWh]	4.022,73	28.329,89	14.766,17	11.299,98
AEROTERMICA	0,00	19.834,40	8.233,63	4.534,09
H	0,00	19.834,40	8.233,63	4.505,51
W	0,00			28,58
ELETTRICA IN-SITU	4.022,73	4.339,71	4.301,44	4.420,66
H	496,35	917,98	553,05	426,31
C	866,93	295,53	246,77	1.074,54
W	18,81			4,39
V	1.029,30	1.236,25	1.382,46	1.148,90
L	1.611,34	1.889,95	2.119,16	1.766,52
ELETTRICA EX-SITU	0,00	4.155,78	2.231,10	2.345,23
H	0,00	2.961,92	1.214,56	873,69
C	0,00	3,73	2,86	198,78
W	0,00	18,81	18,81	2,37
V	0,00	448,26	379,54	489,32
L	0,00	723,06	615,33	781,07
$E_{p,TOT}$ [kWh]	36.066,82	45.571,95	24.022,89	21.030,19
Quota fonte rinnovabile	11%	62%	61%	55%
GAS NATURALE	15.354,10	0,00	0,00	0,00
AEROTERMICA	0,00	19.834,40	8.233,63	4.534,09
ELETTRICA in-SITU	4.022,73	4.339,71	4.301,44	4.420,66
ELETTRICA EX-SITU	16.689,99	21.397,84	11.487,82	12.075,44
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	80,90	119,20	0,00
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	98%	97%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-3.637,67	-2.955,43	-2.207,30	-2.502,74
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-45.704,70	-86.004,87
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-47.638,10	-43.743,10	-31.028,10
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-47.638,10	-89.447,80	-117.032,97
SPESA ANNUALE	-3.637,67	-2.955,43	-2.207,30	-2.502,74
VAN (30 anni) tasso 0,04	-62.902,68	-136.300,89	-124.176,20	-155.809,20
INDICE NZEB ($E_{p,n,ren}/E_{p,n,ren,NZEB}$)	329%	177%	95%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	54%	29%	30%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		101,84	91,02	151,26
Tempo di ritorno semplice		69,83	62,53	103,12
Tempo di ritorno semplice solo impianto		69,83	30,58	27,34

9.1.2 Caso studio 1 – Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
Ep,NREN [kWh]	23.835,47	7.292,65	4.292,49	5.243,75
GAS NATURALE	6.934,28	0,00	0,00	0,00
H	6.934,28	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	16.901,19	7.292,65	4.292,49	5.243,75
H	1.384,84	4.008,82	1.573,46	1.038,18
C	4.537,75	1,81	2,72	647,89
W	70,13	70,13	70,13	5,42
V	4.270,50	1.232,87	1.014,06	1.374,28
L	6.637,97	1.979,02	1.632,12	2.177,98
Ep,REN [kWh]	4.073,61	15.078,04	8.653,98	8.480,30
AEROTERMICA	0,00	8.147,98	3.326,89	1.701,95
H	0,00	8.147,98	3.326,89	1.701,95
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA IN-SITU	0,00	5.172,34	4.292,49	5.514,46
H		836,12	1.573,46	362,06
C		389,26	2,72	1.375,01
W			70,13	4,97
V		1.557,76	1.014,06	1.485,24
L		2.389,20	1.632,12	2.287,18
ELETTRICA EX-SITU	4.073,61	1.757,72	1.034,60	1.263,89
H	333,78	966,23	379,25	250,23
C	1.093,71	0,44	0,66	156,16
W	16,90	16,90	16,90	1,31
V	1.029,30	297,15	244,41	331,24
L	1.599,92	477,00	393,38	524,95
Ep,TOT [kWh]	27.909,08	22.370,69	12.946,47	13.724,05
Quota fonte rinnovabile	15%	67%	67%	62%
GAS NATURALE	6.934,28	0,00	0,00	0,00
AEROTERMICA	0,00	8.147,98	3.326,89	1.701,95
ELETTRICA in-SITU	0,00	5.172,34	4.292,49	5.514,46
ELETTRICA EX-SITU	20.974,80	9.050,37	5.327,09	6.507,64
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	342,10	470,30	0,00
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	94%	90%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-3.783,08	-2.033,98	-1.674,07	-2.128,84
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-44.023,28	-82.478,49
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-47.638,10	-43.743,10	-31.028,10
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-47.638,10	-87.766,38	-113.506,59
SPESA ANNUALE	-3.783,08	-2.033,98	-1.674,07	-2.128,84
VAN (30 anni) tasso 0,04	-65.417,11	-108.657,46	-113.338,84	-145.952,99
INDICE NZEB (EPn,ren/Ep,n,NZEB)	455%	139%	82%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	31%	18%	22%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		38,62	59,96	100,05
Tempo di ritorno semplice	-	27,24	41,62	68,62
Tempo di ritorno semplice solo impianto		27,24	20,74	18,76

9.1.3 Caso studio 1 – Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
EP,NREN[kWh]	20.296,30	3.648,27	2.875,25	4.058,97
GAS NATURALE	3.282,64	0,00	0,00	0,00
H	3.282,64	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	17.013,66	3.648,27	2.875,25	4.058,97
H	960,96	1.391,67	865,04	780,71
C	5.122,68	4,96	2,34	504,90
W	65,30	65,30	65,30	3,67
V	4.270,50	844,92	750,17	1.076,96
L	6.594,22	1.341,42	1.192,40	1.692,73
EP,REN[kWh]	4.100,74	9.940,46	8.413,60	8.615,79
AEROTERMICA	0,00	3.626,76	2.387,68	1.705,06
H	0,00	3.626,76	2.387,68	1.680,04
W	0,00	0,00	0,00	25,02
ELETTRICA IN-SITU	0,00	5.434,36	5.332,91	5.932,41
H	0,00	561,16	446,17	414,44
C	0,00	422,75	311,28	1.361,77
W	0,00		0,00	4,91
V	0,00	1.756,71	1.805,30	1.637,71
L	0,00	2.693,74	2.770,16	2.513,58
ELETTRICA EX-SITU	4.100,74	879,34	693,01	978,32
H	231,62	335,43	208,50	188,17
C	1.234,70	1,20	0,56	121,70
W	15,74	15,74	15,74	0,89
V	1.029,30	203,65	180,81	259,57
L	1.589,38	323,32	287,40	407,99
EP,TOT [kWh]	24.397,04	13.588,73	11.288,85	12.674,76
Quota fonte rinnovabile	17%	73%	75%	68%
GAS NATURALE	3.282,64	0,00	0,00	0,00
AEROTERMICA	0,00	3.626,76	2.387,68	1.705,06
ELETTRICA in-SITU	0,00	5.434,36	5.332,91	5.932,41
ELETTRICA EX-SITU	21.114,40	4.527,61	3.568,26	5.037,29
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	593,50	695,00	95,50
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	90%	88%	98%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-3.698,27	-1.662,51	-1.564,79	-2.010,90
COSTI COMPLESSIVI DEI VETTORI ENERGETICI AUTOCONSUMO DA LEGGE	-2.198,27	-361,83	-287,95	-443,24
SOVRACCOSTI VETTORI ENERGETICI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	-356,17	-332,33	-473,15
RICAVI PER CESSIONE E.E. AUTOCONSUMO DA LEGGE	0,00	29,68	34,75	4,78
ULTERIORI RICAVI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	75,81	70,74	100,71
SPESE PER MANUTENZIONE	-1.500,00	-1.050,00	-1.050,00	-1.200,00
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-41.782,76	-75.897,82
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-47.638,10	-43.743,10	-31.028,10
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-47.638,10	-85.525,86	-106.925,92
SPESA ANNUALE	-3.698,27	-1.662,51	-1.564,79	-2.010,90
VAN (30 anni) tasso 0,04	-63.950,54	-97.513,30	-109.294,81	-137.585,98

INDICE NZEB (EPn,ren/Epn,ren,NZEB)	500%	90%	71%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	18%	14%	20%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		32,93	57,70	92,56
Tempo di ritorno semplice		23,40	40,09	63,37
Tempo di ritorno semplice solo impianto		23,40	20,50	18,39

9.2 Caso studio 2

9.2.1 Caso studio 2 – Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
EP,NREN [kWh]	422.383,26	118.186,96	54.404,83	46.656,87
GAS NATURALE	338.357,00	0,00	0,00	0,00
H	338.357,00	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	84.026,26	118.186,96	54.404,83	46.656,87
H	27.178,90	103.966,00	45.219,50	20.688,00
C	28.760,20	2.297,96	0,00	14.234,80
W	1.777,16	1.075,97	1.075,97	142,10
V	7.686,90	3.219,96	2.390,51	3.471,92
L	18.623,10	7.627,07	5.718,85	8.120,05
EP,REN [kWh]	20.252,49	222.089,99	122.392,70	47.926,27
AEROTERMICA	0,00	169.004,00	87.781,70	17.328,48
H	0,00	169.004,00	87.781,70	16.956,80
W	0,00	0,00	0,00	371,68
ELETTRICA IN-SITU	0,00	24.599,98	21.498,01	19.352,30
H	0,00	9.014,41	7.217,97	2.823,45
C	0,00	8.132,90	5.423,44	9.378,56
W	0,00			79,64
V	0,00	2.290,74	2.716,10	2.161,53
L	0,00	5.161,93	6.140,50	4.909,12
ELETTRICA EX-SITU	20.252,49	28.486,01	13.112,99	11.245,49
H	6.550,81	25.058,40	10.899,10	4.986,34
C	6.931,96	553,87		3.430,94
W	428,34	259,33	259,33	34,25
V	1.852,74	776,09	576,17	836,82
L	4.488,64	1.838,32	1.378,39	1.957,14
EP,TOT [kWh]	442.635,75	340.276,95	176.797,53	94.583,14
Quota fonte rinnovabile	5%	65%	69%	55%
GAS NATURALE	338.357,00	0,00	0,00	0,00
AEROTERMICA	0,00	169.004,00	87.781,70	17.328,48
ELETTRICA in-SITU	0,00	24.599,98	21.498,01	19.352,30
ELETTRICA EX-SITU	104.278,75	146.672,97	67.517,82	57.902,36
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	4.228,50	7.330,40	257,60
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	85%	75%	99%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-27.986,56	-15.493,22	-8.729,95	-10.682,81
COSTI COMPLESSIVI DEI VETTORI ENERGETICI AUTOCONSUMO DA LEGGE	-22.986,56	-11.120,86	-5.086,23	-5.474,27
SOVRACCOSTI VETTORI ENERGETICI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	-1.376,86	-648,22	-1.551,72
RICAVI PER CESSIONE E.E. AUTOCONSUMO DA LEGGE	0,00	211,43	366,52	12,88
ULTERIORI RICAVI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	293,07	137,98	330,29
SPESE PER MANUTENZIONE	-5.000,00	-3.500,00	-3.500,00	-4.000,00

CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-176.729,15	-405.073,93
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-218.721,00	-198.115,50	-100.708,00
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-218.721,00	-374.844,65	-505.781,93
SPESA ANNUALE	-27.986,56	-15.493,22	-8.729,95	-10.682,81
VAN (30 anni) tasso 0,04	-483.944,55	-683.517,61	-511.386,13	-671.056,33
INDICE NZEB (E _{p,ren} /E _{p,ren,NZEB})	905%	253%	117%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	28%	13%	11%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		24,18	27,08	41,58
Tempo di ritorno semplice		17,51	19,47	29,23
Tempo di ritorno semplice solo impianto		17,51	10,29	5,82

9.2.2 Caso studio 2 - Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
E_{p,NREN}[kWh]	341.363,38	64.652,47	35.043,87	30.061,77
GAS NATURALE	234.918,00	0,00	0,00	0,00
H	234.918,00	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	106.445,38	64.652,47	35.043,87	30.061,77
H	39.791,00	50.477,00	22.976,00	5.436,92
C	38.762,60	4.484,10	2.950,87	16.396,50
W	1.698,18	996,99	996,99	80,98
V	7.686,90	2.601,86	2.430,27	2.468,82
L	18.506,70	6.092,52	5.689,74	5.678,55
E_{p,REN}[kWh]	25.656,07	148.506,76	75.799,15	38.920,82
AEROTERMICA	0,00	104.173,00	46.327,80	8.137,18
H	0,00	104.173,00	46.327,80	7.782,82
W	0,00	0,00	0,00	354,36
ELETTRICA IN-SITU	0,00	28.750,91	21.024,89	23.537,98
H	0,00	9.335,69	5.279,23	2.623,72
C	0,00	10.918,30	6.954,19	12.047,00
W	0,00			89,82
V	0,00	2.607,71	2.695,71	2.675,94
L	0,00	5.889,21	6.095,76	6.101,50
ELETTRICA EX-SITU	25.656,07	15.582,85	8.446,46	7.245,66
H	9.590,66	12.166,20	5.537,79	1.310,44
C	9.342,78	1.080,78	711,24	3.951,97
W	409,30	240,30	240,30	19,52
V	1.852,74	627,12	585,76	595,05
L	4.460,59	1.468,45	1.371,37	1.368,68
E_{p,TOT}[kWh]	367.019,45	213.159,23	110.843,02	68.982,59
Quota fonte rinnovabile	7%	70%	68%	56%
GAS NATURALE	234.918,00	0,00	0,00	0,00
AEROTERMICA	0,00	104.173,00	46.327,80	8.137,18
ELETTRICA in-SITU	0,00	28.750,91	21.024,89	23.537,98
ELETTRICA EX-SITU	132.101,45	80.235,32	43.490,33	37.307,43
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	7.222,60	3.437,00	924,00
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	80%	86%	96%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-26.865,39	-10.495,72	-7.812,42	-9.441,68
COSTI COMPLESSIVI DEI VETTORI ENERGETICI AUTOCONSUMO DA LEGGE	-21.865,39	-6.364,28	-3.536,72	-4.075,67
SOVRACCOSTI VETTORI ENERGETICI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	-1.260,97	-1.203,78	-1.794,09
RICAVI PER CESSIONE E.E. AUTOCONSUMO DA LEGGE	0,00	361,13	171,85	46,20

ULTERIORI RICAVI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	268,41	256,23	381,88
SPESE PER MANUTENZIONE	-5.000,00	-3.500,00	-3.500,00	-4.000,00
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-169.903,05	-391.059,61
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-222.850,50	-201.865,00	-104.223,00
VALORE INVESTIMENTO **	0,00	-222.850,50	-371.768,05	-495.282,61
SPESA ANNUALE	-26.865,39	-10.495,72	-7.812,42	-9.441,68
VAN (30 anni) tasso 0,04	-	-537.721,98	-492.561,84	-639.499,20
INDICE NZEB (E _{p,ren} /E _{p,ren,NZEB})	1136%	215%	117%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	19%	10%	9%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		18,40	27,16	40,39
Tempo di ritorno semplice		13,61	19,51	28,43
Tempo di ritorno semplice solo impianto		13,61	10,59	5,98

9.2.3 Caso studio 2 - Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
E _{P,NREN} [kWh]	238.025,37	32.254,24	18.979,46	26.146,35
GAS NATURALE	138.089,00	0,00	0,00	0,00
H	138.089,00	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	99.936,37	32.254,24	18.979,46	26.146,35
H	28.787,30	21.622,70	10.156,60	4.646,99
C	43.413,10	4.028,58	2.590,05	14.673,10
W	1.649,87	948,68	948,68	60,58
V	7.686,90	1.705,11	1.593,73	2.060,90
L	18.399,20	3.949,17	3.690,40	4.704,78
E _{P,REN} [kWh]	24.087,26	94.637,90	53.874,19	39.705,00
AEROTERMICA	0,00	56.988,00	27.178,40	8.724,70
H	0,00	56.988,00	27.178,40	8.381,68
W	0,00	0,00	0,00	343,02
ELETTRICA IN-SITU	0,00	29.875,79	22.121,24	24.678,37
H	0,00	7.544,47	4.300,13	3.114,11
C	0,00	12.330,50	7.630,47	12.045,30
W	0,00	0,00	0,00	88,09
V	0,00	3.067,58	3.124,70	2.885,13
L	0,00	6.933,24	7.065,94	6.545,74
ELETTRICA EX-SITU	24.087,26	7.774,11	4.574,55	6.301,93
H	6.938,47	5.211,63	2.448,01	1.120,04
C	10.463,70	970,99	624,27	3.536,59
W	397,66	228,66	228,66	14,60
V	1.852,74	410,98	384,13	496,73
L	4.434,69	951,85	889,48	1.133,97
E _{P,TOT} [kWh]	262.112,63	126.892,14	72.853,65	65.851,35
Quota fonte rinnovabile	9%	75%	74%	60%
GAS NATURALE	138.089,00	0,00	0,00	0,00
AEROTERMICA	0,00	56.988,00	27.178,40	8.724,70
ELETTRICA in-SITU	0,00	29.875,79	22.121,24	24.678,37
ELETTRICA EX-SITU	124.023,63	40.028,35	23.554,01	32.448,28
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	9.447,00	4.618,00	2.791,90
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	76%	83%	90%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-22.951,18	-7.156,71	-6.151,42	-8.693,46

COSTI COMPLESSIVI DEI VETTORI ENERGETICI AUTOCONSUMO DA LEGGE	-17.951,18	-3.331,04	-2.005,76	-3.571,54
SOVRACCOSTI VETTORI ENERGETICI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	-1.013,82	-1.113,60	-1.602,65
RICAVI PER CESSIONE E.E. AUTOCONSUMO DA LEGGE	0,00	472,35	230,90	139,60
ULTERIORI RICAVI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	215,80	237,04	341,13
SPESE PER MANUTENZIONE	-5.000,00	-3.500,00	-3.500,00	-4.000,00
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-161.210,82	-357.687,15
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-216.913,00	-196.307,50	-100.708,00
VALORE INVESTIMENTO **		-216.913,00	-357.518,32	-458.395,15
SPESA ANNUALE	-22.951,18	-7.156,71	-6.151,42	-8.693,46
VAN (30 anni) tasso 0,04	-	-431.614,39	-450.138,17	-591.092,11
	396.872,62			
INDICE NZEB (E _{p,ren} /E _{p,ren,NZEB})	910%	123%	73%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	14%	8%	11%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		18,57	29,78	45,91
Tempo di ritorno semplice		13,73	21,28	32,15
Tempo di ritorno semplice solo impianto		13,73	11,69	7,06

9.3 Caso studio 3

9.3.1 Caso studio 3 – Milano

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
E_{p,NREN} [kWh]	415.885,50	212.452,38	167.064,28	149.175,00
GAS NATURALE	202.328,00	0,00	0,00	0,00
H	202.328,00	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	213.557,50	212.452,38	167.064,28	149.175,00
H	24.558,00	137.194,00	97.401,80	43.042,00
C	54.809,50	9.036,16	7.506,26	24.239,00
W	1.144,00	1.144,42	1.144,42	173,00
V	42.705,00	20.248,20	18.938,40	25.857,00
L	90.341,00	44.829,60	42.073,40	55.864,00
E_{p,REN} [kWh]	51.463,04	356.643,62	281.553,37	132.394,00
AEROTERMICA	0,00	243.550,00	179.316,00	53.933,00
H	0,00	243.550,00	179.316,00	53.514,00
W	0,00	0,00	0,00	419,00
ELETTRICA IN-SITU	0,00	61.887,20	61.970,60	42.506,00
H	0,00	13.718,20	11.992,20	4.221,00
C	0,00	13.313,30	13.037,50	11.914,00
W	0,00	0,00		50,00
V	0,00	11.516,30	12.188,00	8.640,00
L	0,00	23.339,40	24.752,90	17.681,00
ELETTRICA EX-SITU	51.463,04	51.206,42	40.266,77	35.955,00
H	5.909,11	33.067,20	23.476,30	10.374,00
C	13.210,50	2.177,95	1.809,20	5.842,00
W	275,83	275,83	275,83	42,00
V	10.293,00	4.880,34	4.564,64	6.232,00
L	21.774,60	10.805,10	10.140,80	13.465,00
E_{p,TOT} [kWh]	467.348,54	569.096,00	448.617,65	281.569,00
Quota fonte rinnovabile	11%	63%	63%	55%
GAS NATURALE	202.328,00	0,00	0,00	0,00
AEROTERMICA	0,00	243.550,00	179.316,00	53.933,00
ELETTRICA in-SITU	0,00	61.887,20	61.970,60	42.506,00

ELETTRICA EX-SITU	265.020,54	263.658,80	207.331,05	185.130,00
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	1.842,30	1.788,80	0,01
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	97%	97%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-47.943,93	-35.107,23	-30.808,90	-31.215,92
COSTI COMPLESSIVI DEI VETTORI ENERGETICI AUTOCONSUMO DA LEGGE	-32.943,93	-20.915,73	-16.602,90	-16.465,15
SOVRACCOSTI VETTORI ENERGETICI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	-4.806,76	-4.821,79	-3.494,63
RICAVI PER CESSIONE E.E. AUTOCONSUMO DA LEGGE	0,00	92,12	89,44	0,00
ULTERIORI RICAVI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	1.023,15	1.026,35	743,85
SPESE PER MANUTENZIONE	-15.000,00	-10.500,00	-10.500,00	-12.000,00
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-296.323,21	-622.946,26
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-423.147,00	-359.726,50	-146.304,50
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-423.147,00	-656.049,71	-769.250,76
SPESA ANNUALE	-47.943,93	-35.107,23	-30.808,90	-31.215,92
VAN (30 anni) tasso 0,04	-829.048,11	-1.476.363,94	-1.163.565,63	-1.279.450,95
INDICE NZEB (EPn,ren/EPn,ren,NZEB)	279%	142%	112%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	51%	40%	36%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		47,12	55,02	65,45
Tempo di ritorno semplice		32,96	38,29	45,99
Tempo di ritorno semplice solo impianto		32,96	20,99	8,75

9.3.2 Caso studio 3 – Roma

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
EP,NREN [kWh]	348.670,78	138.723,38	114.720,38	109.740,00
GAS NATURALE	110.268,00	0,00	0,00	0,00
H	110.268,00		0,00	0,00
W	0,00		0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	238.402,78	138.723,38	114.720,38	109.740,00
H	19.650,90	63.443,60	46.078,00	15.992,20
C	85.858,40	15.737,40	13.072,10	27.035,50
W	1.028,58	1.028,58	1.028,58	114,00
V	42.705,00	18.548,60	17.264,00	21.337,50
L	89.159,90	39.965,20	37.277,70	45.260,80
EP,REN [kWh]	57.461,20	234.252,46	196.235,97	106.430,54
AEROTERMICA	0,00	136.325,00	104.310,00	26.956,84
H	0,00	136.325,00	104.310,00	26.569,40
W	0,00		0,00	387,44
ELETTRICA IN-SITU	0,00	64.491,60	64.275,40	53.023,56
H	0,00	11.459,00	10.044,90	3.791,96
C	0,00	15.416,60	14.577,60	15.706,30
W	0,00		0,00	55,20
V	0,00	12.387,90	13.046,70	10.957,70
L	0,00	25.228,10	26.606,20	22.512,40
ELETTRICA EX-SITU	57.461,20	33.435,86	27.650,57	26.450,14
H	4.736,38	15.291,50	11.106,00	3.854,53
C	20.694,10	3.793,11	3.150,72	6.516,26
W	247,92	247,92	247,92	27,48
V	10.293,00	4.470,70	4.161,05	5.142,87
L	21.489,80	9.632,63	8.984,88	10.909,00
EP,TOT [kWh]	406.131,98	372.975,84	310.956,35	216.170,54
Quota fonte rinnovabile	14%	63%	63%	55%
GAS NATURALE	110.268,00	0,00	0,00	0,00

AEROTERMICA	0,00	136.325,00	104.310,00	26.956,84
ELETTRICA in-SITU	0,00	64.491,60	64.275,40	53.023,56
ELETTRICA EX-SITU	295.863,98	172.159,24	142.370,95	136.190,14
ELETTRICA ESPORTATA [kWh]	0,00	0,01	867,80	0,01
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	100%	99%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-49.035,83	-29.269,42	-26.665,46	-28.312,73
COSTI COMPLESSIVI DEI VETTORI ENERGETICI AUTOCONSUMO DA LEGGE	-34.035,83	-14.595,84	-12.153,56	-12.881,31
SOVRACCOSTI VETTORI ENERGETICI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	-5.302,18	-5.151,90	-4.359,33
RICAVI PER CESSIONE E.E. AUTOCONSUMO DA LEGGE	0,00	0,00	43,39	0,00
ULTERIORI RICAVI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	1.128,60	1.096,62	927,91
SPESE PER MANUTENZIONE	-15.000,00	-10.500,00	-10.500,00	-12.000,00
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-278.120,41	-593.483,20
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-365.328,00	-350.270,50	-140.965,50
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-365.328,00	-628.390,91	-734.448,70
SPESA ANNUALE	-49.035,83	-29.269,42	-26.665,46	-28.312,73
VAN (30 anni) tasso 0,04	-847.929,19	-	-1.065.322,00	-1.195.785,28
		1.243.410,46		
INDICE NZEB (E _{p,ren} /E _{p,ren,NZEB})	318%	126%	105%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	40%	33%	31%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		25,63	33,17	50,80
Tempo di ritorno semplice	-	18,48	28,09	35,44
Tempo di ritorno semplice solo impianto		18,48	15,66	6,80

9.3.3 Caso studio 3 - Palermo

	ATTUALE	Quasi NZEB	NZEB equivalente	NZEB di legge
E_{p,NREN}[kWh]	298.228,94	111.749,04	99.274,14	93.113,98
GAS NATURALE	58.378,80	0,00	0,00	0,00
H	58.378,80	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETTRICA EX-SITU	239.850,14	111.749,04	99.274,14	93.113,98
H	13.512,20	30.091,20	24.863,80	10.451,60
C	94.606,40	22.108,90	18.326,70	25.747,90
W	957,74	957,74	957,74	84,38
V	42.705,00	18.907,50	17.763,70	18.397,70
L	88.068,80	39.683,70	37.362,20	38.432,40
E_{p,REN}[kWh]	57.810,02	157.199,08	143.641,56	101.590,74
AEROTERMICA	0,00	72.304,40	61.833,30	21.187,52
H	0,00	72.304,40	61.833,30	20.820,60
W	0,00	0,00	0,00	366,92
ELETTRICA IN-SITU	0,00	57.960,29	57.880,63	57.960,35
H	0,00	6.663,89	6.147,63	3.665,85
C	0,00	14.279,70	12.939,30	16.318,20
W	0,00	0,00	0,00	56,40
V	0,00	12.203,90	12.790,40	12.465,30
L	0,00	24.812,80	26.003,30	25.454,60
ELETTRICA EX-SITU	57.810,02	26.934,39	23.927,63	22.442,87
H	3.256,78	7.252,75	5.992,81	2.519,11
C	22.802,60	5.328,82	4.417,21	6.205,90
W	230,84	230,84	230,84	20,34
V	10.293,00	4.557,18	4.281,51	4.434,33
L	21.226,80	9.564,80	9.005,26	9.263,19

$E_{P,TOT}$ [kWh]	356.038,96	268.948,12	242.915,70	194.704,72
Quota fonte rinnovabile	16%	58%	59%	55%
GAS NATURALE	58.378,80	0,00	0,00	0,00
AEROTERMICA	0,00	72.304,40	61.833,30	21.187,52
ELETTRICA in-SITU	0,00	57.960,29	57.880,63	57.960,35
ELETTRICA EX-SITU	297.660,16	138.683,43	123.201,77	115.556,85
ELETTRICA ESPORTATA [kWhe]	0,00	0,01	79,60	0,01
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] DA LEGGE	0%	100%	100%	100%
QUOTA AUTOCONSUMO FV [%] EFFETTIVA	0%	65%	65%	65%
SPESA ANNUALE	-47.843,59	-26.858,18	-25.373,49	-26.894,48
COSTI COMPLESSIVI DEI VETTORI ENERGETICI AUTOCONSUMO DA LEGGE	-32.843,59	-12.607,28	-11.141,29	-11.143,58
SOVRACOSTI VETTORI ENERGETICI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	-4.765,20	-4.746,50	-4.765,21
RICAVI PER CESSIONE E.E. AUTOCONSUMO DA LEGGE	0,00	0,00	3,98	0,00
ULTERIORI RICAVI PER RIDUZIONE QUOTA AUTOCONSUMO	0,00	1.014,30	1.010,32	1.014,31
SPESE PER MANUTENZIONE	-15.000,00	-10.500,00	-10.500,00	-12.000,00
CONFRONTO				
VALORE INVESTIMENTO INVULUCRO	0,00	0,00	-265.105,21	-555.399,22
VALORE INVESTIMENTO IMPIANTO + FER	0,00	-343.597,50	-359.726,50	-146.304,50
VALORE INVESTIMENTO TOTALE	0,00	-343.597,50	-624.831,71	-701.703,72
SPESA ANNUALE	-47.843,59	-26.858,18	-25.373,49	-26.894,48
VAN (30 anni) tasso 0,04	-827.312,93	-1.149.342,88	-1.039.558,96	-1.139.775,38
INDICE NZEB ($EP_{n,ren}/E_{p,n,ren,NZEB}$)	320%	120%	107%	100%
CONSUMO DI ENERGIA FOSSILE (caso/stato attuale)	100%	37%	33%	31%
Tempo di ritorno (tasso 4%)		22,49	39,47	47,91
Tempo di ritorno semplice	0,00	16,37	27,81	33,50
Tempo di ritorno semplice solo impianto		-16,37	-16,01	-6,98