



Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica
A.A. 2017/2018

**Diagnosi energetica e proposte di intervento in un
edificio scolastico: la Scuola di Via dei Narcisi a Milano**

Relatore:

Professore Cesare Maria Joppolo

Correlatore:

Dott.Ing. Carlo Pennati

Tesi di laurea di:

Giorgio Di Egidio Mat. 850415

Filippo Di Giulio Mat. 851029

*Alle nostre famiglie,
e tutti quelli che si impegnano quotidianamente per rendere il pianeta un posto
migliore.*

*Si ringraziano coloro che ci hanno supportato in tutto il nostro percorso,
il professore Cesare Maria Joppolo,
ed il Team di Metropolitana Milanese per la loro collaborazione in questi mesi.*

Indice

0.1	Indice delle figure	Pag. 5
0.2	Indice delle tabelle	Pag. 6
0.3	Indice delle foto	Pag. 8
0.4	Lista dei simboli	Pag. 9
0.5	Abstract	Pag. 12
0.6	Parole chiave	Pag. 12
0.7	Introduzione	Pag. 13

Parte I

I.1	Inquadramento normativo	Pag. 15
I.1.1	Inquadramento normativo mondiale	Pag. 15
I.1.2	Inquadramento normativo europeo	Pag. 16
I.1.3	Inquadramento normativo nazionale	Pag. 21
I.1.4	Inquadramento normativo regionale	Pag. 23
I.2	Piano energetico nazionale	Pag. 24
I.2.1	Introduzione	Pag. 24
I.2.2	Misure di attuazione della direttiva europea sull'efficienza energetica	Pag. 25
I.2.3	Il parco immobiliare nazionale	Pag. 26
I.2.4	Edifici non residenziali focus scuole	Pag. 27
I.2.5	Conto Termico	Pag. 30
I.3	Introduzione al caso studio	Pag. 33
I.3.1	Scuole dell'infanzia di Via Narcisi	Pag. 33
I.3.2	UNI CEI 16247 Prima parte Requisiti generali	Pag. 33
I.3.3	UNI CEI 16247 Seconda parte Edifici	Pag. 35
I.3.4	Software utilizzati	Pag. 38

Parte II

II.1	Scuola di Via dei Narcisi: rilievi sull'edificio e sugli impianti esistenti	Pag. 40
II.1.1	Rilievo Fabbricato	Pag. 41
II.1.2	Rilievo degli impianti di riscaldamento	Pag. 46
II.1.2.1	Schema Funzionale e componenti dell'impianto	Pag. 49
II.1.3	Consumi / Bollette energetiche	Pag. 53
II.1.4	Realizzazione del modello energetico	Pag. 53
II.1.5	Modello Tailored	Pag. 63
II.2	Scenari risparmio energetico	Pag. 67
II.2.1	Sostituzione serramenti	Pag. 69
II.2.2	Isolamento copertura	Pag. 73
II.2.3	Isolamenti pareti con sostituzione infissi	Pag. 76
II.2.4	Intervento di sostituzione delle caldaie con pompe di calore	Pag. 79
II.2.4.1	Combinazione di interventi: sostituzione serramenti e inserimento PDC	Pag. 82
II.2.4.2	Combinazione di interventi: isolamento copertura e inserimento PDC	Pag. 85
II.2.4.3	Combinazione di interventi: isolamento pareti perimetrali, sostituzione serramenti e inserimento PDC	Pag. 88
II.2.5	Combinazione di interventi: isolamento copertura, isolamento pareti perimetrali, sostituzione serramenti, isolamento componenti controterra, inserimento di PDC e installazione di pannelli fotovoltaici (NZE)	Pag. 91
II.3	Scenari di risparmio energetico con VMC	Pag. 96
II.3.1	Determinazione portata minima di immissione	Pag. 96
II.3.2	Metodologia calcolo fabbisogno UTA con PDC	Pag. 99
II.3.3	Fabbisogni elettrici ventilazione	Pag.102
II.3.4	Scenario Nzeb con VMC	Pag.103

Parte III

III .1	Conclusioni e spunti	Pag.108
Bibliografia		Pag.110

Indice delle figure

I.2.3	Figura 1 Distribuzione della popolazione per zona climatica. Fonte Censimento ISTAT 2011	Pag. 27
I.3.3	Figura 2 Schema di flusso Diagnosi Energetica. Fonte 16247-2	Pag. 37
II.1.1	Figura 3 Modello 3D Scuola dell'infanzia di Via Narcisi	Pag. 41
II.1.1	Figura 4 Planimetria Piano rialzato	Pag. 41
II.1.1	Figura 5 Muro perimetrale Piano interrato	Pag. 43
II.1.1	Figura 6 Muro perimetrale Piano terreno	Pag. 43
II.1.1	Figura 7 Muro perimetrale Piano Primo	Pag. 43
II.1.1	Figura 8 Controterra corpo nord	Pag. 44
II.1.1	Figura 9 Controterra corpo sud	Pag. 44
II.1.1	Figura 10 Solaio Piano interrato nord	Pag. 44
II.1.1	Figura 11 Solaio Piano interrato nord	Pag. 44
II.1.1	Figura 12 Solaio Piano interrato sud	Pag. 44
II.1.1	Figura 13 Solaio Piano interrato sud	Pag. 44
II.1.1	Figura 14 Copertura	Pag. 45
II.1.2	Figura 15 Planimetria Piano interrato	Pag. 46
II.1.2	Figura 16 Planimetria Piano rialzato con corpi scaldanti	Pag. 47
II.1.2	Figura 17 Planimetria Piano primo con corpi scaldanti	Pag. 47
II.1.2.1	Figura 18 Schema Funzionale con diametri tubazioni e componenti	Pag. 49
II.1.3	Figura 19 Consumi / Bollette energetiche	Pag. 53
II.1.4	Figura 20 Modello 3D Termolog	Pag. 54
II.1.4	Figura 21 Bilancio termico di involucro Zona autonoma	Pag. 58
II.1.4	Figura 22 Bilancio termico di involucro Zona principale	Pag. 58
II.1.4	Figura 23 Fabbisogni termici e fabbisogni primari	Pag. 61
II.1.4	Figura 24 Indici di prestazione	Pag. 62
II.1.5	Figura 25 Condizioni di utilizzo reale Zona autonoma e principale	Pag. 63- 64
II.1.5	Figura 26 Confronto Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 66
II.2	Figura 27 Schema Analisi economica	Pag. 69
II.2.1	Figura 28 Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag. 71

II.2.2	Figura 29 Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag. 74
II.2.3	Figura 30 Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag. 77
II.2.4.	Figura 31 Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag. 80
II.2.4.1	Figura 32 Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag. 83
II.2.4.2	Figura 33 Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag. 86
II.2.4.3	Figura 34 Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag. 89
II.2.5	Figura 35 Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag. 94
II.3.2	Figura 36 Grafico f_{cop}/CR	Pag.101
II.3.2	Figura 37 Grafico COP/CR	Pag.102
II.3.4	Figura 38 Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored	Pag.106
III .1	Figura 39 Confronto finale	Pag.108

Indice delle tabelle

I.2.1	Tabella 1.1 Risparmi previsti. Fonte PAEE 2014	Pag. 24
I.2.1	Tabella 1.2 Traguardi previsti 2011-2020. Fonte: Elaborazione ENEA su dati Ministero dello Sviluppo economico, ISTAT, Gestore dei Servizi Energetici S.p.A., ENEA, FIAIP, GFK	Pag. 24
I.2.2	Tabella 1.3 Richieste detrazioni per tipologia di intervento, 2015. Fonte: ENEA	Pag. 26
I.2.2	Tabella 1.4 Richieste detrazioni per tipologia di intervento, 2016. Fonte: ENEA	Pag. 26
I.2.3	Tabella 1.5 Numero di comuni italiani per zona climatica e “gradi giorno”. Fonte Censimento ISTAT 2011	Pag. 27
I.2.4	Tabella 1.6 Edifici campione e relativo consumo. Fonte rapporto CRESME	Pag. 28
I.2.4	Tabella 1.7 Distribuzione per zona climatica degli edifici residenziali e non residenziali. Fonte rapporto CRESME	Pag. 28
I.2.4	Tabella 1.8 Potenziali di riduzione ai consumi al 2020. Fonte GSE	Pag. 29
I.2.5	Tabella 1.9 C_i coefficiente di valorizzazione dell’energia termica prodotta. Fonte Conto Termico 2.0	Pag. 32
I.2.5	Tabella 2 Q_{uf}	Pag. 32

Fonte Conto Termico 2.0

I.2.5	Tabella 2.1 Conto Termico: richiesta per tipologia di intervento e risparmio energetico conseguito, 2016.	Pag. 32
-------	---	---------

Fonte GSE

II.1.2.1	Tabella 2.2 Caratteristiche componenti centrale termica	Pag. 46-47
II.1.4	Tabella 2.3 Elementi di involucro	Pag. 54-55
II.1.4	Tabella 2.4 Principali risultati ottenuti	Pag. 57
II.1.4	Tabella 2.5 Emissione/regolazione/distribuzione	Pag. 59
II.1.4	Tabella 2.6 Generazione	Pag. 60
II.1.4	Tabella 2.7 Fabbisogni di energia di uscita dai generatori. Fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari. Fabbisogni di energia in ingresso ai generatori	Pag. 61
II.1.5	Tabella 2.8 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 64-65
II.2.1	Tabella 2.9 Intervento sostituzione serramenti	Pag. 69
II.2.1	Tabella 3 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 70
II.2.1	Tabella 3.1 Valutazione economica	Pag. 72
II.2.2	Tabella 3.2 Intervento isolamento copertura	Pag. 73
II.2.2	Tabella 3.3 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 73-74
II.2.2	Tabella 3.4 Valutazione economica	Pag. 75
II.2.3	Tabella 3.5 Intervento isolamento pareti con sostituzione infissi	Pag. 76
II.2.3	Tabella 3.6 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 76-77
II.2.3	Tabella 3.7 Valutazione economica	Pag. 78
II.2.4	Tabella 3.8 Intervento sostituzione impianti	Pag. 79
II.2.4	Tabella 3.9 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 79-80
II.2.4.	Tabella 4 Valutazione economica	Pag. 81
II.2.4.1	Tabella 4.1 Intervento sostituzione impianti e serramenti	Pag. 82
II.2.4.1	Tabella 4.2 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 82-83
II.2.4.1	Tabella 4.3 Valutazione economica	Pag. 84

II.2.4.2	Tabella 4.4 Intervento sostituzione impianti copertura	Pag. 85
II.2.4.2	Tabella 4.5 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 85-86
II.2.4.2	Tabella 4.6 Valutazione economica	Pag. 87
II.2.4.3	Tabella 4.7 Intervento sostituzione impianti-isolamento pareti perimetrali-serramenti	Pag. 88
II.2.4.3	Tabella 4.8 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 88-89
II.2.4.3	Tabella 4.9 Valutazione economica	Pag. 90
II.2.5	Tabella 5 Intervento Ristrutturazione primo livello involucro-impianti (NZEB)	Pag. 91-92
II.2.5	Tabella 5.1 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag. 92-93
II.2.5	Tabella 5.2 Valutazione economica	Pag. 95
II.3.1	Tabella 5.3 Indici di affollamento Edifici adibiti ad attività scolastiche ed assimilabili 10339	Pag. 97
II.3.1	Tabella 5.4 Determinazione $q_{v,o,p}$, $q_{v,o,s}$ Edifici adibiti ad attività scolastiche ed assimilabili 10339	Pag. 97
II.3.1	Tabella 5.5 Determinazione portata effettiva	Pag. 98
II.3.4	Tabella 5.6 Intervento Scenario NZEB con VMC	Pag.103-104
II.3.4	Tabella 5.7 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored	Pag.104-105
II.3.4	Tabella 5.8 Valutazione economica	Pag.107

Indice delle foto

II.1.1	Foto 1 Vetro singolo con telaio in metallo	Pag. 42
II.1.1	Foto 2 Vetro singolo con telaio in legno	Pag. 42
II.1.2	Foto 3 Dettagli centrale termica	Pag. 48
II.1.2	Foto 4 Dettagli centrale termica	Pag. 48
II.1.2	Foto 5 Dettagli centrale termica	Pag. 48
II.1.2.1	Foto 6 Prova Fumi	Pag. 48

Lista dei simboli

I	incentivo annuo in euro
C_i	coefficiente valorizzazione dell'energia termica prodotta;
E_t	energia termica incentivata prodotta in un anno;
Q_u	calore totale prodotto dalla pompa di calore;
P_n	potenza termica nominale della pompa istallata;
Q_{uf}	coefficiente di utilizzo della pompa di calore;
ϕ_t	potenza termica dispersa per trasmissione;
ϕ_v	potenza termica dispersa per ventilazione;
ϕ_{rh}	potenza termica di ripresa;
ϕ_{hl}	carico termico totale;
nn	numero di giorni di riscaldamento;
Q_{int}	apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne;
$Q_{sol,w}$	apporti dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati;
$Q_{sol,op}$	apporti dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi;
Q_{gn}	apporti totali di energia termica;
Q_d	scambio di energia termica verso l'esterno;
Q_g	scambio di energia termica verso il terreno;
Q_u	scambio di energia termica verso ambienti non climatizzati;
Q_r	extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste;
$QH_{,ve}$	scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento;
$QH_{,ht}$	scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento;
$gamma H$	rapporto apporti-dispersioni;
$etaH,gn$	fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica;
$QH_{,nd}$	fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti;
$Q'H$	fabbisogno ideale netto di riscaldamento;
η_e	rendimento del sottosistema di emissione;
Ql_e	perdite del sottosistema di emissione;
$Ql_{rh,aux,e}$	recuperi degli ausiliari elettrici del sottosistema di emissione;
$Ql_{,rg}$	perdite del sottosistema di regolazione;
$\eta_{,rg}$	rendimento del sottosistema di regolazione;
$Q_{rg,in}$	fabbisogno in ingresso al sottosistema di regolazione;

FC	fattore di carico del sottosistema di emissione;
$Q_{aux,e}$	fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di emissione;
$Q_{d,out}$	fabbisogno in uscita al sottosistema di regolazione;
Ql_d	perdite del sottosistema di distribuzione;
$Qd_{,in}$	fabbisogno in ingresso al sottosistema di distribuzione;
$Q_{aux,d}$	fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione;
$Q_{gn,out}$	fabbisogno in uscita al sottosistema di generazione;
$FC_{,gn}$	fattore di carico del generatore;
$Ql_{,gn}$	perdite del sottosistema di generazione;
$Q_{gn,in}$	fabbisogno in ingresso al sottosistema di generazione;
$Q_{aux,gn}$	fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di generazione;
$\eta_{,gn}$	efficienza del sottosistema di generazione;
VAN	Valore attuale netto;
k	scadenze temporali;
C_k	flussi finanziari (positivi o negativi) al tempo k ;
T_{ir}	tasso di interesse reale;
f_{pv}	tasso di attualizzazione;
y	anno considerato;
T_{im}	tasso di interesse del mercato;
T_{in}	tasso di inflazione;
i	indice di profittabilità;
C_i	costo di investimento;
$Q_{v,o,n}$	portata volumica di aria esterna nominale;
n	affollamento di riferimento;
$q_{v,o,p}$	portata volumica di aria esterna minima per persona;
A	area della superficie del locale in pianta;
$q_{v,o,s}$	portata volumica di aria esterna minima per unità di superficie;
$Q_{h,ris,nd}$	fabbisogno di energia termica;
$\rho_a \cdot c_a$	capacità termica volumica dell'aria;
$q_{ve,k}$	portata nominale del flusso d'aria;
β_k	frazione dell'intervallo temporale di calcolo con la ventilazione meccanica funzionante per il flusso d'aria k-esimo;
$FC_{ve,k}$	fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica;

θ_{in} temperatura dell'aria all'entrata della batteria;
 θ_{out} temperatura in uscita della batteria;
 q_{ve} portata nominale dell'impianto;
 ρ_a densità dell'aria;
 h_{int} entalpia dell'aria nelle condizioni di immissione;
 h_{prec} entalpia dell'aria nelle condizioni all'uscita del recuperatore;
 cp_a calore specifico dell'aria;
 θ_{int} temperatura dell'aria di immissione;
 θ_{prec} temperatura dell'aria all'uscita del recuperatore;
 f_{cop} fattore correttivo del coefficiente di prestazione della pompa di calore;
 CC coefficiente per determinare f_{cop} ;
 CR capacity ratio;
 t numero di ore in cui è attivo l'impianto;
 ΔP perdita di carico complessiva;
 η_v prodotto dei rendimenti meccanico, elettrico, aeraulico.

Abstract

La tesi ha come obiettivo l'analisi dei consumi energetici degli impianti di climatizzazione a servizio di una Scuola D'Infanzia, nel comune di Milano, la formulazione e il confronto di scenari di risparmio energetico attuabili nel contesto normativo vigente.

L'attività svolta per l'elaborazione della tesi è stata: studio del contesto normativo regionale, nazionale ed internazionale, sopralluoghi e rilievi in campo riguardanti impianti ed elementi di involucro, acquisizione bollette energetiche, utilizzo di software di modellazione grafica ed energetica, calcolo dei livelli prestazionali dell'edificio, formulazione e calcolo degli scenari di risparmio energetico, quantificazioni costi di realizzazione e analisi economica dei vari scenari proposti, seguendo la procedura di una diagnosi energetica.

I risultati ottenuti ci hanno portato a concludere che l'innalzamento della prestazione energetica dell'edificio nel rispetto dei limiti normativi vigenti permette di ottenere un notevole contenimento dei consumi energetici. Tuttavia il raggiungimento di tale scopo senza l'ausilio di strumenti di incentivazione, difficilmente risulta un investimento conveniente dal punto di vista economico. Gli obiettivi prefissati dagli organi istituzionali sono molto sfidanti dato che riguardano una problematica di primo rilievo come quella del risparmio energetico. La strategia e gli strumenti messi in campo per il raggiungimento degli obiettivi allo stesso tempo risultano essere adeguati.

Parole chiave

Diagnosi energetica; risparmio energetico; fabbisogno termico; impianto di riscaldamento; energia primaria non rinnovabile; pompa di calore; incentivi; analisi economica.

Introduzione

Negli ultimi anni tematiche interconnesse come il riscaldamento globale, lo scioglimento dei ghiacciai, la maggior frequenza di episodi di siccità e alluvioni, sono diventate sempre più rilevanti e quotidiane. La società umana non può prescindere dall'affrontare il tema del cambiamento climatico e l'unica domanda da porsi è quale tipologia di sviluppo scegliere. Il continuo utilizzo di risorse non rinnovabili non può che comportare il loro esaurimento, di conseguenza l'adozione di uno sviluppo sostenibile, sia a livello globale che da parte di ogni singolo individuo, è l'unica alternativa possibile. Cosa si intende per sviluppo sostenibile? Possiamo trovare un'interessante definizione nel rapporto "Our Common Future" pubblicato nel 1987 dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo (Commissione Brundtland) del Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente.

Per sviluppo sostenibile si intende uno sviluppo in grado di assicurare «il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri».

Di conseguenza il concetto di sostenibilità è strettamente correlato alla convergenza delle attività economiche e della salvaguardia ambientale. Assicurare la soddisfazione dei bisogni essenziali attraverso la realizzazione di uno sviluppo economico che abbia come finalità principale il rispetto dell'ambiente è la sfida del nostro secolo e ognuno di noi può e deve contribuire.

L'azione sinergica da parte di tutte le nazioni è necessaria. I paesi più ricchi possono adottare processi produttivi compatibili con la capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane e i paesi in via di sviluppo possono crescere in termini demografici ed economici a ritmi compatibili con l'ecosistema.

La Conferenza delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development), tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992, ha formalizzato il principio dello sviluppo sostenibile negli atti adottati a conclusione del Vertice: la Dichiarazione di Rio su ambiente e sviluppo, l'Agenda 21, e la Dichiarazione sulla gestione, la conservazione e lo sviluppo sostenibile delle foreste.

L'articolo 2 della Convenzione sulla biodiversità definisce 'sostenibile' l'uso delle risorse biologiche secondo modalità e a un ritmo che non ne comportino una riduzione a lungo termine e che preservino le capacità di soddisfare le esigenze delle generazioni presenti e future.

Per riassumere il principio dello sviluppo sostenibile si declina in tre fattori interdipendenti: tutela dell'ambiente, crescita economica e sviluppo sociale.

Le politiche economiche intraprese per limitare i cambiamenti climatici hanno tra gli obiettivi principali quello di diminuire la domanda di energia e di conseguenza le emissioni di anidride carbonica provenienti dalle costruzioni. Ad una progettazione appropriata degli edifici e del loro

funzionamento può conseguire un notevole risparmio energetico. Ogni singolo aspetto della progettazione deve essere preso in considerazione.

Avere un quadro generale della vita dell'edificio, tenendo bene a mente tutte le possibili interazioni tra le fonti di consumo energetico, risulta fondamentale. Per esempio permettere alti livelli di illuminazione naturale senza tener conto dei guadagni solari eccessivi nella stagione estiva, oppure l'eccessivo isolamento dell'involucro che limita le dispersioni nel raffrescamento, sono scelte fondamentali che deve compiere il progettista. Esso deve essere capace di comprendere l'intero ciclo vita della struttura e garantire i livelli di comfort desiderati.

Ogni misura adottata deve essere orientata verso il conseguimento dell'efficienza energetica.

Numerose strutture realizzate dimostrano che è possibile avere un bilancio energetico annuale pari a zero attraverso la sintesi tra progetto architettonico, efficienza energetica e uso di risorse locali.

Negli ultimi decenni le innovazioni tecnologiche riferite all'involucro degli edifici per aumentarne le performance energetiche hanno acquisito sempre maggior rilevanza, esse sono determinanti per ridurre e controllare l'ammontare di energia richiesta per il riscaldamento e il raffrescamento.

Inoltre individuare la migliore configurazione possibile impiantistica è frutto soltanto di una totale dedizione da parte dei progettisti.

Parte I

I.1 Inquadramento normativo

I.1.1 Inquadramento normativo mondiale

Le due conferenze internazionali che hanno posto al centro il tema del cambiamento climatico sono la sopracitata Conferenza delle Nazioni Unite nel 1992, dalla quale ha preso forma un piano per la realizzazione di uno sviluppo sostenibile denominato Agenda XXI, e la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC). Essa è un trattato che non poneva limiti obbligatori per le emissioni di gas serra che le nazioni firmatarie dovevano rispettare ma concepiva la possibilità che le nazioni stesse potessero adottare atti ovvero ‘protocolli’ che rendono obbligatori i limiti (il più conosciuto è sicuramente quello adottato nel 1997, il cosiddetto protocollo di Kyoto). L’intento del trattato, che è entrato in vigore il 21 marzo 1994, è stato quello di stabilizzare le emissioni di gas serra ai valori del 1990 entro il 2000. Ogni anno si sono tenute delle ‘Conferenze delle Parti ’ (COP) per analizzare i vari progressi.

L’11 dicembre del 1997 più di 160 paesi in occasione della COP3 tenutasi a Kyoto hanno sottoscritto il trattato che comporta l’obbligo di una riduzione delle emissioni dei seguenti elementi inquinanti biossido di carbonio, metano, ossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo. Le attività umane immettono ogni anno 6000 megatonnellate di CO₂ e il protocollo pone ai Paesi industrializzati l’obbligo di ridurre del 5% le proprie emissioni nel periodo dal 2008 al 2012. Affinché il trattato potesse entrare in vigore, si richiedeva che fosse ratificato da non meno di 55 nazioni firmatarie e che le nazioni che lo avessero ratificato producessero almeno il 55% delle emissioni inquinanti; condizione che è stata raggiunta solo nel novembre del 2004, quando anche la Russia ha perfezionato la sua adesione.

Attualmente 175 Paesi e un’organizzazione di integrazione economica regionale (EEC) hanno ratificato il protocollo o hanno avviato le procedure per la ratifica. Questi Paesi contribuiscono per il 61,6% alle emissioni globali di gas serra. Tra i paesi non firmatari figurano gli USA responsabile del 36,2% delle emissioni.

I.1.2 Inquadramento normativo europeo

L'Unione Europea è stata la principale sostenitrice di questo protocollo. Essa ha cercato di creare una base legislativa comune per i vari Stati membri avente come fine quello di ridurre i consumi energetici. Sin dal 1996 aveva previsto l'adozione di una serie di misure per contenere l'innalzamento della temperatura globale di 2°C rispetto ai livelli preindustriali. Nel 2000 ha lanciato European Climate Change Programme (ECCP) il cui obiettivo era quello di identificare tutte le misure necessarie per una strategia europea in grado di implementare il protocollo di Kyoto. Tutto ciò ha portato al recepimento del protocollo il 16 dicembre del 2002 tramite l'adozione della direttiva 2002/91/CE il cui scopo era quello di promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici presenti nella Comunità dato che l'energia impiegata nel settore residenziale e terziario rappresenta oltre il 40 % del consumo finale di energia.

‘Le disposizioni in essa contenute riguardano:

- Il quadro generale di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;
- L'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione;
- L'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici esistenti di grande metratura sottoposti a importanti ristrutturazioni;
- La certificazione energetica degli edifici, e
- L'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni. ’ [1]

Gli Stati membri dovevano rispettare le condizioni espresse nella direttiva entro il 4 gennaio 2006, sviluppando e adottando, anche a livello regionale, una metodologia per il calcolo dei consumi energetici.

Annoveriamo inoltre la direttiva 2003/87/CE del 13 ottobre 2003 che ha istituito un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità.

Un ulteriore fondamentale passo è avvenuto nel 2006 con l'emanazione della direttiva 2006/32/CE del 5 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici, ponendo l'accento sull'analisi costi/benefici proponendo strumenti di incentivazione.

[1] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo. Articolo 1

Decisiva è stata inoltre l'adozione da parte della Commissione Europea di un 'Piano di azione per l'efficienza energetica: Concretizzare le potenzialità' che aveva come fine la riduzione della domanda di energia. Esso illustrava una serie di misure da adottare per conseguire una riduzione del 20% del consumo annuo di energia primaria entro il 2020 (rispetto alle proiezioni sul consumo energetico del 2020). L'efficienza energetica nel settore edilizio è stata indicata come una delle priorità assolute.

“Il piano d'azione intende mobilitare la società civile e i responsabili politici a tutti i livelli, oltre agli operatori di mercato, e trasformare il mercato interno dell'energia in modo da fornire ai cittadini della UE edifici, elettrodomestici, processi, veicoli e sistemi energetici che siano globalmente i più efficienti sul piano energetico. Data l'importanza del fattore umano per la riduzione dei consumi di energia, il presente piano d'azione mira inoltre a incoraggiare i cittadini a utilizzare l'energia nel modo più razionale possibile, perché l'efficienza energetica non è solo legislazione bensì scelta consapevole dei singoli.” [2]

Il 10 gennaio del 2007 l'Unione Europea ha adottato un pacchetto su energia e cambiamenti climatici ponendo così le basi per una politica energetica comune tra i vari Stati membri. Il punto di partenza per una strategia energetica europea è triplice: combattere i cambiamenti climatici, promuovere l'occupazione e la crescita e limitare la vulnerabilità esterna della UE sotto il profilo delle importazioni di gas e di petrolio.

“Il perno della nuova politica è un obiettivo fondamentale per l'Europa: la UE deve ridurre le emissioni di gas serra, derivanti dal suo consumo di energia, del 20% (entro il 2020, rispetto al 1990). Questo obiettivo consentirebbe alla UE di valutare i progressi nel riorientare l'odierna economia energetica verso un'economia che risponda pienamente alle sfide della sostenibilità, della competitività e della sicurezza delle forniture.

L'obiettivo della UE va inserito nel quadro della necessità di un'azione internazionale da parte delle nazioni industriali per combattere i cambiamenti climatici. Quando verranno presi impegni in tal senso, la UE dovrà fare di più. L'obiettivo dovrebbe essere pertanto innalzato ad una riduzione del 30% entro il 2030 e del 60-80% entro il 2050. [...]

[2] Bruxelles, 19.10.2006 COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità.

Per raggiungere questo obiettivo, la Commissione propone inoltre di concentrarsi su una serie di misure nel settore energetico intese a: migliorare l'efficienza energetica; innalzare la quota di energia rinnovabile nel mix energetico e garantire che tutti beneficino del mercato interno dell'energia; rafforzare la solidarietà tra gli Stati membri, con una visione più a lungo termine per lo sviluppo di tecnologie energetiche, maggiore attenzione alla sicurezza nucleare e un impegno convinto affinché la UE parli con una sola voce con i suoi partner internazionali, compresi i produttori di energia, gli importatori di energia e i paesi in via di sviluppo.” [3]

Tutto ciò si è andato a concretizzare nell'emanazione di due direttive che hanno ben marcato la strategia energetica europea: la direttiva 2009/29/CE, che modifica la direttiva 2003/87/CE al fine di perfezionare ed estendere il sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione di gas a effetto serra, per raggiungere una riduzione delle emissioni di gas serra pari al 20%, e la direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili affinché coprano il 20% della quota complessiva di energia.

Soltanto nel 2010 si ha un fondamentale sviluppo nel settore dell'efficienza energetica degli edifici tramite l'entrata in vigore della direttiva 2010/31/CE. Essa aggiorna e sostituisce la direttiva 2002/91/CE, promuovendo il miglioramento della prestazione energetica degli edifici attraverso un comune quadro metodologico per il calcolo delle prestazioni. Essa riafferma l'importanza del settore edilizio e le disposizioni presenti riguardano:

- Il quadro comune generale di una metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari;
- L'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di edifici e unità immobiliari di nuova costruzione;
- L'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di:
 1. Edifici esistenti, unità immobiliari ed elementi edilizi sottoposti a ristrutturazioni importanti;
 2. Elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio quando sono rinnovati o sostituiti; nonché
 3. Sistemi tecnici per l'edilizia quando sono installati, sostituiti o sono oggetto di un intervento di miglioramento;

[3] Comunicato di stampa della Commissione Europea MEMO/07/7 Bruxelles, 10 gennaio 2007

- I piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero;
- La certificazione energetica degli edifici o delle unità immobiliari;
- L'ispezione periodica degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria negli edifici;
- I sistemi di controllo indipendenti per gli attestati di prestazione energetica e i rapporti di ispezione.

I requisiti stabiliti dalla Direttiva Comunitaria EPBD sono requisiti minimi e non impediscono ai singoli Stati membri di mantenere o prendere provvedimenti più rigorosi.” Nel fissare i requisiti quindi gli Stati possono distinguere tra gli edifici già esistenti e quelli di nuova costruzione, nonché tra le diverse tipologie edilizie. I requisiti devono essere fissati per gli elementi che hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro.

La direttiva 2010/31/CE introduce un concetto fondamentale: «edificio a energia quasi zero»: edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze. Citando l'articolo 9 “Gli Stati membri provvedono affinché:

- Entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero; e
- a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero.

Gli Stati membri elaborano piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero. Tali piani nazionali possono includere obiettivi differenziati per tipologia edilizia.

Gli Stati membri procedono inoltre, sulla scorta dell'esempio del settore pubblico, alla definizione di politiche e all'adozione di misure, quali la fissazione di obiettivi, finalizzate a incentivare la trasformazione degli edifici ristrutturati in edifici a energia quasi zero. “

Gli Stati per la definizione di edifici a energia quasi zero, tenendo conto delle rispettive condizioni nazionali, regionali o locali devono avvalersi di un indicatore numerico del consumo di energia primaria espresso in kWh/m^2 anno e i fattori di energia primaria usati per la determinazione del consumo di energia primaria possono basarsi sui valori medi nazionali o regionali, e tener conto delle pertinenti norme europee.

Per concludere un ulteriore sviluppo lo abbiamo avuto nel 2012 con la direttiva 2012/27/UE del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica. Essa consolidava la necessità di ampliare il tasso di ristrutturazioni degli immobili, tendendo in particolar modo conto che gli edifici di proprietà degli enti pubblici rappresentano una quota consistente del parco immobiliare.

Inoltre la direttiva ha affermato quanto sia necessaria la presenza di programmi elaborati dagli Stati membri per incoraggiare le imprese a sottoporsi a audit energetici. Essi a loro volta dovrebbero tener conto delle pertinenti norme europee o internazionali, quali EN ISO 50001 o EN 16247.

“Ruolo esemplare degli edifici degli enti pubblici

Fatto salvo l'articolo 7 della direttiva 2010/31/UE, ciascuno Stato membro garantisce che dal 10 gennaio 2014 il 3 % della superficie coperta utile totale degli edifici riscaldati e/o raffreddati di proprietà del proprio governo centrale e da esso occupati sia ristrutturata ogni anno per rispettare almeno i requisiti minimi di prestazione energetica che esso ha stabilito in applicazione dell'articolo 4 della direttiva 2010/31/UE.

La quota del 3 % è calcolata sulla superficie coperta totale degli edifici con una superficie coperta utile totale superiore a 500 m² di proprietà del governo centrale dello Stato membro interessato e da esso occupati che, al 10 gennaio di ogni anno, non soddisfano i requisiti minimi di prestazione energetica stabiliti in applicazione dell'articolo 4 della direttiva 2010/31/UE. Tale soglia è portata a 250 m² a partire dal 9 luglio 2015.” [4]

[4] Direttiva 2012/27/UE 25 ottobre 2012 Articolo 5

I.1.3 Inquadramento normativo nazionale

Il panorama legislativo nazionale in materia di efficienza energetica e utilizzo di fonti rinnovabili negli edifici civili si apre nel 1976 e ha subito in questi 40 anni numerose modifiche e migliorie mantenendo allo stesso tempo inalterate le finalità e gran parte delle strategie proposte per raggiungere gli scopi. Scopi e finalità che derivano anche dal contesto internazionale e soprattutto nell'ultimo ventennio dall'ulteriore spinta che ha dato l'unione europea.

Già nel D.lgs. 373 del 1976 infatti si introducono le classificazioni per destinazione d'uso, le temperature massime interne da non eccedere per contenere i consumi ($T=20$), caratteristiche e prestazioni da rispettare sia per l'involucro e degli impianti in funzione della zona climatica di ubicazione, si prescrivono sistemi di regolazione automatica (solo per utenze grandi). Si obbliga di corredare il progetto con una relazione tecnica con un calcolo di previsione di consumo energetico.

Tutte prescrizioni che vengono mantenute e implementate dalla legge 10 del 9 gennaio

1991 dove si introducono insieme ai requisiti minimi del sistema edificio-impianto gli incentivi in conto capitale per interventi che determinino un risparmio energetico (isolamento, generatori alto rendimento) o l'utilizzo di fonti rinnovabili (pompe di calore, fotovoltaico). Si introduce l'attestato di certificazione energetica.

Con il D.L 192 del 19 agosto 2005 si iniziano ad attuare le direttive europee in materia (EPBD), delinea i criteri generali per la certificazione di prestazione energetica ma non impone specificatamente una norma tecnica per il calcolo del fabbisogno energetico.

Sarà il D. Lgs 115 del 3 marzo 2008 ad imporre l'adozione della 11300 (parte 1 e 2), e ad specificare che gli obblighi della amministrazione pubblica comprendono:

- "a) il ricorso agli strumenti finanziari disponibili al conseguimento del risparmio energetico;
- b) le diagnosi energetiche degli edifici pubblici o ad uso pubblico, in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici, compresa la sostituzione dei generatori, o di ristrutturazioni edilizie che riguardino almeno il 15 per cento della superficie esterna dell'involucro edilizio che racchiude il volume lordo riscaldato." [5]

Il D.lgs. 3 marzo 2011 attuazione direttiva 2009/28/CE in ambito di energia rinnovabile che coerentemente a quanto espresso dal Piano d'azione nazionale stabilisce che la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale di energia debba corrispondere almeno al 17 % indicandone la modalità di calcolo.

[5] D.lgs. 115 del 3 marzo 2008 art. 13

Nel 2013 con il D.lgs. n 63 del 4 giugno che ha come obbiettivo il recepimento della direttiva 2010/31/UE, vengono introdotte nuove disposizioni in merito alla attestazione di prestazione energetica vi è la sostituzione dell'ACE con APE, documento che è obbligatorio allegare al contratto di vendita dell'immobile. Il decreto inoltre getta le basi e fissa i nuovi criteri per l'aggiornamento e la programmazione di standard prestazionali degli edifici (involucro, impianti e fonti rinnovabili) al fine di raggiungere gli obiettivi fissati a livello europeo in materia di edifici a energia quasi zero.

Il 26 giugno 2015 con l'emanazione di tre Decreti ministeriali, si attuano i recepimenti della Direttiva 2010/31/UE. Nello specifico, il primo Decreto interministeriale, "Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", approva le Linee Guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (APE 2015).

Il secondo D.M. 26/06/2015, "Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici" contiene le modalità da seguire per la compilazione tecnica di progetto, che attesta la rispondenza del progetto edilizio ai requisiti sul contenimento dei consumi energetici dell'edificio e che va allegata alla dichiarazione di inizio lavori.

Il terzo D.M. 26/06/2015, "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici" definisce le varie tipologie di intervento sugli edifici, con l'individuazione delle categorie:

- (1) nuova costruzione
- (2) demolizione e ricostruzione
- (3) ampliamento e sopraelevazione
- (4) ristrutturazione importante di primo livello
- (5) ristrutturazione importante di secondo livello
- (6) riqualificazione energetica

I.1.4 Inquadramento normativo regionale

In regione Lombardia nel 2015 si è raggiunto l'obiettivo di definire un testo unico per la disciplina regionale che definisce i requisiti minimi di efficienza energetica degli edifici e le modalità per calcolare il fabbisogno energetico con l'approvazione del decreto regionale 6480/2015.

Esso è strutturato dalle seguenti parti:

- A) Definizioni
- B) Caratteristiche dell'edificio di riferimento, requisiti di prestazione e classificazione energetica
- C) Relazione tecnica
- D) APE
- E) Targa energetica
- F) Titoli di studio del soggetto certificatore
- G) Annunci commerciali
- H) Metodo di calcolo

E' da evidenziare la scelta di anticipare al 1 gennaio 2016 l'obbligo di rispondenza degli edifici di nuova costruzione o sottoposti a ristrutturazione importate di primo livello ai requisiti prescritti per gli edifici a energia quasi zero. Il testo unico attualmente in vigore è il decreto regionale 2456 approvato l'8 Marzo 2017.

I.2 Piano energetico nazionale

I.2.1 Introduzione

In questo capitolo tratteremo quanto espresso nel Piano d'Azione Italiano per l'Efficienza Energetica 2017, elaborato su proposta dell'Enea col fine di presentare sia i risultati raggiunti al 31 dicembre 2016 sia le misure adottate e da adottare per il conseguimento degli obiettivi dell'efficienza energetica del 2020, focalizzandoci principalmente su quanto espresso in merito al risparmio energetico del parco immobiliare nazionale, pubblico e privato, compresi gli strumenti finanziari a esso connessi.

I propositi di efficientamento energetico nazionali prevedono un risparmio di 20 Mtep/anno di energia primaria pari a 15 Mtep/anno di energia finale rispetto ai consumi dell'anno 2010.

Nella tabella 1.1 sottostante sono illustrati i risparmi previsti suddivisi per settore e misure di intervento.

Settore	Misure previste nel periodo 2011-2020					Risparmio atteso al 2020	
	Certificati Bianchi	Detrazioni fiscali	Conto Termico	Standard Normativi	Investimenti mobilità	Energia Finale	Energia Primaria
Residenziale	0,15	1,38	0,54	1,60		3,67	5,14
Terziario	0,10		0,93	0,20		1,23	1,72
PA	0,04		0,43	0,10		0,57	0,80
Privato	0,06		0,50	0,10		0,66	0,92
Industria	5,10					5,10	7,14
Trasporti	0,10			3,43	1,97	5,50	6,05
Totale	5,45	1,38	1,47	5,23	1,97	15,50	20,05

Fonte: PAEE 2014

Come indicato si attende un risparmio in termini di energia finale di 5,5Mtep/anno tramite il meccanismo dei Certificati Bianchi, 1,38Mtep/anno attraverso le detrazioni fiscali, 1,47Mtep/anno per mezzo del cosiddetto Conto Termico che approfondiremo in seguito, 5,23Mtep/anno grazie agli Standard Normativi e 1,97Mtep/anno per gli investimenti riguardanti la mobilità fino a raggiungere un complessivo di 15,5Mtep/anno. Esaminando invece i traguardi previsti per il periodo 2011-2020 previsti nel PAEE 2014 i risparmi di energia primaria ottenuti sono stati 7,4Mtep/anno, equivalenti al 36.9% dell'obiettivo al 2020, come dimostrato nella tabella 1.2 seguente.

Settore	Certificati Bianchi	Detrazioni fiscali*	Conto Termico	Decreto Legislativo 192/05*	Ecoincentivi e Regolamenti Comunitari*	Altre misure**	Risparmio energetico		Obiettivo raggiunto
							Conseguito 2016	Atteso al 2020	
Residenziale	0,69	1,56	-	0,91	-	0,02	3,19	5,14	62,1%
Terziario	0,15	0,02	0,003	0,05	-	-	0,21	1,72	12,3%
Industria	2,16	0,03	-	0,09	-	-	2,28	7,14	31,9%
Trasporti	-	-	-	-	1,61	0,10	1,71	6,05	28,3%
Totale	3,01	1,60	0,003	1,05	1,61	0,12	7,40	20,05	36,9%

* Stima per l'anno 2016.

** Il settore residenziale conteggia i risparmi derivanti dalla sostituzione di grandi elettrodomestici. Il settore trasporti conteggia i risparmi derivanti dall'Alta Velocità

Fonte: Elaborazione ENEA su dati Ministero dello Sviluppo economico, ISTAT, Gestore dei Servizi Energetici S.p.A., ENEA, FIAIP, GFK

I.2.2 Misure di attuazione della direttiva sull'efficienza energetica

Per raggiungere gli obiettivi prefissati per il 2020 l'Italia ha deciso di adottare vari importanti strumenti di sostegno agli interventi di riqualificazione energetica.

Le misure adottate per il raggiungimento degli obiettivi della Direttiva 2010/31/CE sono state:

- Certificati Bianchi
- Detrazioni fiscali 65%
- Conto Termico
- Riduzione degli oneri di costruzione a livello regionale e nazionale per edifici NZEB
- Fondi Strutturali (finanziamento per progetti rivolti ad edifici pubblici)
- Programma PREPAC per edifici del governo centrale
- Campagne informative
- Fondo Kyoto
- Fondo nazionale per l'efficienza energetica
- Strumenti finanziari per edilizia scolastica, sociale ed alberghi
- Plafond casa
- Modelli di contratto di prestazione energetica
- Misure promosse dalle regioni

In questa sezione forniamo una descrizione generale dei primi due strumenti citati e il Fondo Kyoto per l'efficientamento energetico degli edifici scolastici, analizzeremo dettagliatamente il Conto Termico data la sua inerenza al nostro progetto nell'ultima parte del capitolo.

I Certificati Bianchi sono dei "Titoli di Efficienza Energetica", ovvero dei titoli negoziabili che certificano il risparmio conseguito tramite interventi di miglioramento. Il Gestore Servizi Energetici comunica a ogni distributore di energia elettrica o di gas naturale la rispettiva quota d'obbligo che andrà ad alimentare il mercato corrispondente.

La maggioranza dei TEE è stata raggiunta nel 2016 attraverso progetti realizzati nel settore industriale, relativi all'ottimizzazione energetica nei settori più energivori per l'esattezza il 56% di quelli complessivi.

Anche le detrazioni fiscali per interventi di riqualificazione energetica risultano essere un efficace strumento. Esse sono state introdotte dalla legge finanziaria del 2007 e sono tutt'ora attive. Dal loro avvio circa tre milioni di richieste di detrazione del 55/65% sono state trasmesse all'Enea. Interessante è notare la suddivisione delle richieste di detrazione per tipologia di intervento.

Prendiamo per esempio l'anno 2015, circa 336000 interventi realizzati, tabella 1.3

	Pratiche (n°)	Spesa (€)	Risparmio (Mtep)
Comma 344 – Riqualificazione globale	3.551	185.486.874	0,0058
Comma 345a – Interventi sull'involucro edilizio	22.591	701.760.542	0,0248
Comma 345b – Sostituzione infissi	181.414	1.297.548.416	0,0368
Comma 345c – Schermature solari	47.673	97.944.267	0,0011
Comma 346 – Pannelli solari per acqua calda	10.611	69.006.588	0,0038
Comma 347 – Impianti di climatizzazione invernale	70.120	487.685.104	0,0119
Totale	335.960	2.839.431.790	0,0842

Fonte: ENEA

Nel 2016 abbiamo avuto un ulteriore incremento di richieste fino a sfiorare, comprendendo quelle del 2015, i 3 milioni, tabella 1.4

Tipologia intervento	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016*	Totale
Comma 344	3.180	5.700	5.600	1.917	1.450	3.579	3.566	5.843	3.551	4.839	39.225
Comma 345a e 345b	39.220	112.600	127.800	226.720	170.400	135.283	244.421	214.963	204.005	231.502	1.706.914
Comma 345c									47.673	76.448	124.121
Comma 346	20.140	37.100	35.300	47.106	29.350	33.801	26.851	15.347	10.611	9.978	265.584
Comma 347	27.560	57.700	68.000	129.883	79.500	72.571	81.123	63.500	70.120	84.509	734.466
Building automation										756	756
Selezione multipla	15.900	34.700	-	-	-	-	-				50.600
Totale	106.000	247.800	236.700	405.626	280.700	245.234	355.961	299.653	335.960	408.032	2.921.666

* Provvisorio

Fonte: ENEA

Il Fondo Kyoto per le scuole eroga finanziamenti a tasso agevolato 0,25%. Esso, disciplinato dal decreto interministeriale 14 aprile 2015, concede la possibilità di richiedere prestiti per un importo massimo pari a 2 milioni di euro, per interventi di sostituzione degli impianti o sull'involucro ma deve risultare un miglioramento che comporti l'avanzamento minimo di due classi energetiche.

Fino ad aprile 2017 sono stati ammessi per il finanziamento 92 progetti, valore complessivo 38 milioni di euro.

I.2.3 Il parco immobiliare nazionale

L'estensione in latitudine dell'Italia fa sì che ci sia una grande varianza tra le varie località dal punto di vista climatico, ovvero clima subtropicale mediterraneo al Sud e clima temperato continentale delle regioni settentrionali. Ciò si traduce in una grande variabilità dei “gradi giorno”, 568 Lampedusa, 5165 Sestriere (Torino). Anche la radiazione solare globale incidente sulle superficie orizzontale differisce particolarmente 1214 kWh/m^2 di Ahmtal (Bolzano), 1679 kWh/m^2 di Pachino (Siracusa).

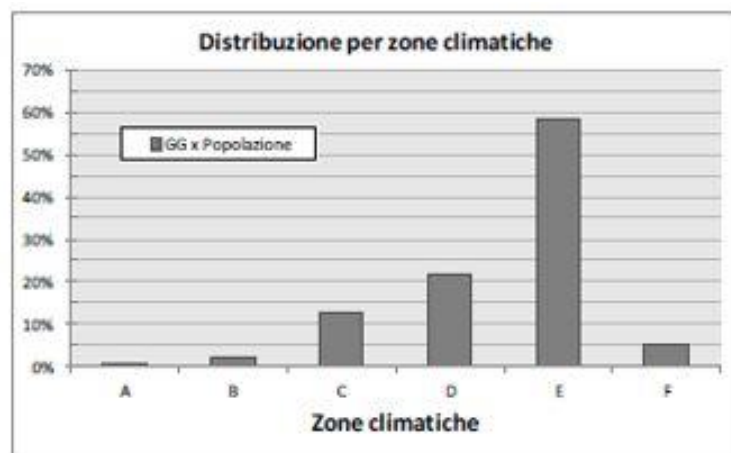
Di conseguenza è evidentemente complesso definire degli standard univoci e configurazioni impiantistiche adattabili alle varie condizioni esterne.

Tabella 1.5 Numero di comuni italiani per zona climatica e ‘gradi giorno’

ZONA CLIMATICA	GRADI GIORNO (GG)	NUMERO DI COMUNI	POPOLAZIONE RESIDENTE	% POPOLAZIONE RESIDENTE
A	$GG \leq 600$	2	22.989	0,04%
B	$600 < GG \leq 900$	157	5.176.382	5,33%
C	$900 < GG \leq 1.400$	989	12.657.407	21,25%
D	$1.400 < GG \leq 2.100$	1.611	14.970.952	25,13%
E	$2.100 < GG \leq 3.000$	4.271	27.123.848	45,53%
F	$GG > 3.000$	1.071	1.619.003	2,72%

I consumi energetici nazionali sono ovviamente proporzionali al prodotto tra i gradi giorno e la distribuzione della popolazione. Come mostrato nella tabella antecedente la zona climatica E ha una rilevanza maggiore.

Figura 1: Distribuzione della popolazione per zona climatica



Il patrimonio edilizio esistente rappresenta il settore con le maggiori potenzialità di risparmio energetico tuttavia l'eccessività dei costi rappresenta una criticità sia per la Pubblica Amministrazione che per il settore privato.

I.2.4 Edifici non residenziali focus scuole

Sul territorio italiano sono presenti 51000 edifici ad uso esclusivo o prevalente scolastico. Il 30% degli edifici scolastici risiede in 10 province, oltre la metà 51% in 24 province. La superficie complessiva è pari a 73,2 milioni di m^2 , una volumetria di circa 256,4 milioni di m^3 .

Il 39% ha dimensione compresa tra 1000 e 3000 m^2 , il 43% si divide invece nel seguente modo 16% superficie compresa tra 751 e 1000 m^2 , 14% tra 501 e 750 m^2 e 13% tra 351 e 500 m^2 .

Le valutazioni per la determinazione dei consumi medi per le diverse destinazione d'uso sono state effettuate per mezzo di uno studio che ha definito degli edifici campione rappresentativi delle singole tipologie. Come indicatore di riferimento è stato assunto $E_{phgl} \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$.

Tabella 1.6 Edifici campione e relativo consumo

Destinazione d'uso	Consumo elettrico [kWh/m ² anno]	Consumo termico [kWh/m ² anno]
Residenziale monofamiliare	38	142
Residenziale plurifamiliare	35	125
Scuole	20	130
Uffici	95	170
Alberghi	110	150

Nel Piano Energetico nazionale si evidenziano i potenziali di risparmio a fronte di interventi realizzabili con rapporto costi/benefici favorevoli, tenendo conto della popolazione di edifici in relazione alla distribuzione per zona climatica e per destinazione d'uso. I dati a cui si fa riferimento sono quelli del censimento ISTAT 2011 per il settore residenziale, invece per quello non residenziale si fa riferimento ai rapporti CRESME-ENEA.

Tabella 1.7 Distribuzione per zona climatica degli edifici residenziali e non residenziali

Tipologia edifici	zona climatica	Numero edifici	Valori %
residenziali	abc	3.412.000	28
	d	2.803.000	23
	ef	5.972.000	49
	Totale	12.187.000	100
Non Residenziali			
uffici	abc	18.525	28
	d	18.265	28
	ef	28.210	44
	Totale	65.000	100
scuole	abc	14.014	27
	d	12.976	25
	ef	24.914	48
	Totale	51.904	100

Si è preso in considerazione la popolazione di edifici che registrano un consumo medio unitario maggioritario del 50% rispetto alla media.

Gli interventi previsti sono stati:

- Isolamento termico del solaio di copertura
- Isolamento termico dei solai su pilotis o su ambienti non riscaldati e di pareti opache perimetrali disperdenti
- Sostituzione di infissi
- Adeguamento del sistema di regolazione dell'impianto di climatizzazione

- Sostituzione del generatore di calore
- Utilizzo di recuperatori di calore ad alta efficienza
- Installazione di un sistema di domotica o BEMS (Building Energy Management System)
- Sostituzione dell'impianto di illuminazione
- Schermature solari esterne

Hanno preso in considerazione anche le diverse combinazioni dei singoli interventi a seconda della zona climatica in cui è presente l'edificio. La superficie complessiva degli edifici scolastici che si ritiene possibile riqualificare annualmente è pari ad 6 milioni di m^2 , 3800 edifici.

I risparmi complessivi che si verrebbero ad ottenere per il 2020 corrispondono ad 1,48Mtep/anno, in relazione alle scuole 0,55Mtep/anno

Tabella 1.8 Potenziali di riduzione dei consumi al 2020, per interventi eseguiti a partire dal 2014

Edifici	Superficie annuale soggetta ad intervento	Risparmio Energetico totale al 2020	Risparmio Energetico totale al 2020
Tipologia	m^2	GWh/anno	Mtep/anno
Uffici Privati	2.880.000	2.858	0,25
Uffici Pubblica Amministrazione	2.640.000	3.881	0,33
Alberghi	1.425.000	1.167	0,10
Scuole Private	1.000.000	617	0,05
Scuole Pubblica Amministrazione	4.950.000	5.821	0,50
Banche	782811	726	0,06
Centri commerciali	2.289.163	2.159	0,19
Totale	15.966.974	17.229	1,49

Diverse sono le barriere che ostacolano il processo di efficientamento, dal punto di vista tecnico, dal punto di vista amministrativo e dal punto economico finanziario. Innanzitutto come abbiamo già detto risulta difficile individuare una metodologia univoca, si riscontra una disomogeneità delle modalità di applicazione di procedure e prescrizioni previste dagli strumenti urbanistici che disciplinano gli interventi di riqualificazione, oltre ciò la gestione delle procedure autorizzative dovrebbe essere consentita tramite portali on-line, la documentazione di supporto dovrebbe essere semplificata e snellita e i costi amministrativi non dovrebbero scoraggiare l'adozione di tecnologie efficienti.

Da un punto di vista economico si riscontra una limitata esperienza e un'alta diffidenza nel finanziare progetti di efficienza energetica, la difficoltà nell'accedere al credito, i tassi di interesse eccessivi applicati e la mancanza di finanziamenti a tasso agevolato. Per concludere le forme di finanziamento hanno caratteristiche per così dire "tradizionali", ovvero poco affini ad interventi di efficienza energetica: per il prestito bancario si utilizza come criterio decisionale non tanto la bontà tecnico-economica del progetto, quanto il merito creditizio del richiedente.

I.2.5 Conto Termico

Per raggiungere gli obiettivi occorre implementare le varie misure già citate, in particolar modo per le scuole dobbiamo fare riferimento al cosiddetto Conto Termico, introdotto dal decreto ministeriale del 28 dicembre 2012. Esso è un contributo a fondo perduto che incentiva la maggior parte delle tipologie di interventi, calcolato in funzione del miglioramento delle prestazioni energetiche che genera o nel caso si vada ad incidere sugli impianti, sulla base dell'energia producibile.

Il D.M. 16 febbraio 2016, Conto Termico 2.0, ha aggiornato il decreto precedente.

L'incentivo corrisponde orientativamente al 40% delle spese ammissibili e può arrivare al 65% nel caso di trasformazione ad edificio NZEB. Gli enti pubblici possono richiedere un anticipo sull'incentivo prima o durante la realizzazione dei lavori, oppure fare domanda per l'intero ammontare a fine lavori. Il contributo viene erogato direttamente sul conto corrente dell'Ente che ne fa richiesta, entro due mesi dalla sottoscrizione del contratto con il GSE.

Il CT può essere cumulato con altri incentivi di natura comunale, regionale, statale ed europea fino al 100% delle coperture. Per esempio il già citato Fondo Kyoto, oppure parte dei fondi Piani Operativi Regionali FESR, I Mutui BEI e CDP, mutui agevolati della Banca Centrale Europea degli Investimenti e di Cassa Depositi e Prestiti e inoltre il MIUR nell'ambito del Piano Operativo Nazionale stanzia per il periodo 2014-2020, 800 milioni per laboratori, attrezzature e edilizia scolastica. Continua anche l'operazione Sbloccascuole che libera 480 milioni dai vincoli di bilancio per Comuni, Province e Città metropolitane per interventi di edilizia scolastica.

Per le modalità di accesso all'incentivo sono 2:

- tramite Accesso Diretto: la richiesta deve essere presentata entro 60 giorni dalla fine dei lavori;
- tramite Prenotazione: per gli interventi ancora da realizzare, esclusivamente nella titolarità delle PA o delle ESCO che operano per loro conto, è possibile prenotare l'incentivo prima ancora che l'intervento sia realizzato e ricevere un acconto delle spettanze all'avvio dei lavori, mentre il saldo degli importi dovuti sarà riconosciuto alla conclusione dei lavori, in analogia a quanto viene attuato per la modalità in Accesso Diretto.

Per la prenotazione dell'incentivo le PA possono presentare una domanda a preventivo, trasmettendo però al GSE uno dei seguenti documenti:

- una Diagnosi Energetica e un atto amministrativo attestante l'impegno alla realizzazione di almeno un intervento tra quelli indicati nella Diagnosi Energetica stessa;
- un contratto di prestazione energetica stipulato tra la PA e una ESCO oppure copia del contratto stipulato per l'affidamento, a seguito di gara, del servizio energia pertinente all'intervento proposto;

- un provvedimento o un atto amministrativo attestante l'avvenuta assegnazione dei lavori con il verbale di consegna dei lavori stessi.

L'incentivo nello specifico è:

- fino al 65% per la demolizione e ricostruzione di edifici a energia quasi zero;
- fino al 40% per gli interventi di isolamento delle pareti e coperture, per la sostituzione di chiusure finestrate con altre più efficienti, per l'installazione di schermature solari, per la sostituzione dei corpi illuminanti, per l'installazione di tecnologie di building automation e per la sostituzione di caldaie tradizionali con caldaie a condensazione;
- La quota incentivabile in caso di sostituzione con impianti a pompe di calore è pari ad

$$I = E_i * C_i$$

Dove:

- 1) I è l'incentivo annuo in euro
- 2) C_i è il coefficiente di valorizzazione dell'energia termica prodotta (vedasi tabella 2)
- 3) E_i è l'energia termica incentivata prodotta in un anno, espressa in kWh_t e calcolata con la seguente relazione:

$$E_i = Q_u \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right)$$

Dove:

- 1) COP è il coefficiente di prestazione della pompa di calore installata (solo per $COP > 3,8$);
- 2) Q_u è il calore totale prodotto dall'impianto, pari ad

$$Q_u = P_n \cdot Q_{uf}$$

Dove:

- 1) P_n è la potenza termica nominale della pompa installata
- 2) Q_{uf} è il coefficiente di utilizzo della pompa di calore dipendente dalla zona climatica (vedasi tabella 2.1)

Tabella 1.9 C_i coefficiente di valorizzazione dell'energia termica prodotta

Tipo di pompa di calore Ambiente esterno/interno	COP minimo	Denominazione commerciale	Potenza termica utile Pn	Coefficiente Ci (€/kWh _t)
aria/acqua	4,1	aria/acqua	≤ 35 kW _t	0,110
	3,8		> 35 kW _t	0,045

Tabella 2 Q_{uf}

ZONA CLIMATICA	Q_{uf}
A	600
B	850
C	1100
D	1400
E	1700
F	1800

Finanzia inoltre il 100% delle spese per la Diagnosi Energetica e per l'Attestato di Prestazione Energetica. L'erogazione del contributo può essere effettuata in 1,2 o 5 rate annuali. Si segnala che a fine 2016 abbiamo riscontrato 9,04 milioni di euro ad accesso diretto per interventi sul patrimonio dell'edilizia scolastica. Significativo è stato inoltre l'incremento delle richieste a partire dal 2016 grazie alle novità introdotte con il Conto Termico 2.0, ovvero la possibilità di implementare l'incentivo anche alla fase di diagnosi energetica, ciò ha consentito alle Pubbliche Amministrazioni di realizzare interventi più importanti. Riportiamo un dato esemplare: nel 2016 gli interventi hanno portato ad un risparmio di energia primaria pari a circa 1.800tep/anno a fronte di oltre 32,5 milioni di euro predisposti.

Tabella 2.1 Conto Termico: richiesta per tipologia di intervento e risparmio energetico conseguito, anno 2016

Tipologia di intervento	N. interventi	Incentivi richiesti per intervento [mil€]	Energia primaria fossile risparmiata [tep/anno]
1.A - Involucro opaco	173	9,09	633
1.B - Chiusure trasparenti	71	9,89	295
1.C - Generatori a condensazione	548	2,21	781
1.D - Schermature	23	0,17	
1.E - NZEB	21	9,66	45
1.F - Sistemi di illuminazione	67	1,13	
1.G - Building Automation	40	0,43	
Totale	945	32,6	1.774

Fonte: GSE

Tutto ciò mostra un andamento crescenti dei risparmi ottenuti e il raggiungimento possibile degli obiettivi previsti per il 2020.

I.3 Introduzione al caso studio

I.3.1 Scuola dell'infanzia di via dei Narcisi

L'edificio preso in esame è la Scuola dell'Infanzia comunale situata in via dei Narcisi 1. Esso è un edificio realizzato nel 1965, approssimativamente ad un 1 km in linea d'aria dalla fermata della metropolitana Inganni. La destinazione d'uso è come già detto scuola Materna. Il fabbricato che si sviluppa su vari livelli, ha una struttura in laterizio portante e tamponamenti con intonaco tinteggiato chiaro. Per la diagnosi non abbiamo considerato ombreggiamenti rilevanti. La struttura dispone di un'orientazione favorevole per gli apporti solari tuttavia gli elementi costruttivi non consentono il contenimento delle dispersioni. L'impianto dell'edificio presente è un impianto di riscaldamento centralizzato ed utilizza l'acqua come vettore energetico. Una diagnosi energetica sia dell'involucro edilizio, sia dal punto di vista impiantistico e di ogni singolo componente sarà trattata nel successivo capitolo 'Rilievo stato di fatto'.

Per ottenere un'adequata conoscenza del profilo di consumo energetico dell'edificio e per individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici abbiamo deciso di procedere all'effettuazione di una diagnosi energetica ovvero di una valutazione sistematica, documentata delle opportunità di risparmio energetico. Abbiamo condotto un'analisi approfondita attraverso sopralluoghi presso la scuola materna ed attraverso i documenti fornitoci per definire delle strategie di intervento volte al raggiungimento di elevati standard di efficientamento. Le modalità operative di una diagnosi energetica sono definiti dalla norma tecnica UNI CEI EN 16247. Essa si articola in quattro parti riguardanti rispettivamente i principi generali, gli edifici, i processi ed i trasporti. Cerchiamo di descrivere tale norma con accuratezza data l'estrema contigenza al nostro elaborato di tesi.

Modalità di svolgimento di una diagnosi energetica 16247

La norma CEI UNI EN 16247 ha validità dal 06/09/2012, ovvero alla norma europea omonima è stato attribuito lo status di norma nazionale. Essa consta di quattro parti:

- 16247-1 "Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali"
- 16247-2 "Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici"
- 16247-3 "Diagnosi energetiche - Parte 3: Processi"
- 16247-4 "Diagnosi energetiche - Parte 4: Trasporto"

I.3.2 UNI CEI 16247 Prima parte Requisiti generali

La prima parte della norma definisce i requisiti generali, la metodologia comune e i prodotti delle diagnosi energetiche, descrivendo dettagliatamente le fasi che si susseguono, da chi devono essere

effettuate e a chi devono essere applicate. Di seguito riportiamo la definizione di diagnosi energetica: “Ispezione sistematica ed analisi degli usi e consumi di energia di un sito, di un edificio, di un sistema o di una organizzazione finalizzata ad identificare i flussi energetici ed il potenziale per miglioramenti dell’efficienza energetica ed a riferire in merito ai risultati”.

Esse devono essere rivolte a qualsiasi forma aziendale od organizzazione, a tutte le forme di usi energetici ad esclusione delle unità abitative private unifamiliari e possono essere condotte soltanto da individui o gruppi di individui altamente qualificati ovvero gli Auditor energetici. Quest’ultimi non solo devono trattare come confidenziali tutte le informazioni emerse dalla diagnosi svolte ma devono essere assolutamente obiettivi e palesare qualsiasi tipo di coinvolgimento che possa interferire con lo svolgimento della diagnosi, affinché esso sia il più possibile adatto allo scopo prefissato con l’ipotetica azienda, rappresentativo (dati affidabili), esaustivo, tracciabile, utile ed verificabile.

Prima di tutto è necessario un contatto preliminare tra l’auditor e l’organizzazione richiedente al fine di definire esattamente l’obiettivo, le aspettative, i confini, l’accuratezza e l’arco temporale della diagnosi. Le due parti devono concordare quali debbano essere i criteri della valutazione, le misure da realizzare e i vari dati, ivi compresa la validità degli stessi, relativi agli usi energetici. L’auditor inoltre deve informarsi riguardo il contesto normativo entro il quale l’organizzazione si muove, il suo programma strategico e i sistemi di gestione; devono essere stabiliti la documentazione attesa, il formato del rapporto, e se presentare o meno una bozza di tale rapporto. Da parte del committente ci deve essere la nomina di un responsabile che dovrà rapportarsi con l’auditor per concordare un programma temporale per le visite necessarie, i dati oppure l’esigenza di misurazioni speciali. Infatti sono indispensabili le caratteristiche dettagliate dei componenti impiantistici, i vari fattori che possono influenzare i consumi (condizioni climatiche, orari di lavoro, ecc.), se sono presenti diagnosi precedenti e ovviamente i documenti di progetto, di funzionamento e di gestione. Durante l’attività in campo l’auditor oltre ad ispezionare i vari oggetti e comprendere il comportamento degli utenti può formulare delle idee preliminari volte al miglioramento energetico e deve redigere un elenco di aree per le quali necessitano ulteriori dati. La parte centrale della diagnosi è senza ombra di dubbio l’Analisi per determinare il livello di prestazione corrente, comprendente la scomposizione dei consumi a seconda dell’uso o della fonte utilizzata, i flussi energetici ed anche il diagramma temporale della domanda. Soltanto grazie a tutto ciò l’Auditor può compilare una serie di interventi completi degli investimenti necessari, dei risparmi ottenibili e del tempo di ritorno di ognuno di essi, considerando la validità dei dati forniti e documentando con esattezza i metodi di calcolo, tecnicamente appropriati (indicare se i risultati dell’analisi sono basati su calcoli, simulazioni o stime). Quanto detto formerà il rapporto di diagnosi energetica, comprendente un documento di sintesi con le relative opportunità di risparmio energetico poste in graduatoria, la descrizione

dell'oggetto preso in esame, la diagnosi completa di scopo, livello di dettaglio, arco temporale, dispositivi di misura, analisi dei consumi, criteri di valutazione, le opportunità, le ipotesi assunte, l'analisi economica, metodi di misura per le verifiche post-attuazione e per finire le conclusioni. La prima parte della norma tratta il tema da un punto di vista generale, le successive parti si focalizzano come già detto su determinati ambiti della diagnosi, per l'inerenza alla nostra adesso approfondiremo la seconda parte.

I.3.3 UNI CEI 16247 Seconda parte Edifici

Quanto riferito nella prima parte della norma è semplicemente applicato agli edifici. Le fasi della diagnosi si susseguono al fine di individuare le opportunità di risparmio migliori. La procedura sistematica si articola in passaggi ben definiti già citati. Nel contatto preliminare l'auditor e l'organizzazione richiedente la diagnosi concordano i fini della valutazione tra cui la riduzione dei costi, il contesto legislativo di riferimento, quali sistemi tecnici dell'edificio, gli indicatori di prestazione energetica a cui fare riferimento, l'accuratezza desiderata, ivi compresi, il livello di modellazione, di contabilizzazione, e i requisiti delle misure. Durante l'incontro di avvio le due parti definiscono un crono programma delle visite sul sito, inoltre l'auditor deve ottenere i valori di impostazione, limiti operativi delle condizioni ambientali interne, se sono presenti certificati energetici per l'edificio e soprattutto gli schemi di occupazione per le varie attività che si svolgono all'interno. Necessari risultano essere i dati connessi all'energia, fornita prodotta ed esportata suddivisa a seconda dei vettori energetici, e i dati di consumo di ogni contatore presente. Le informazioni raccolte, inclusi il volume dell'edificio, la superficie in pianta, l'involucro, i sistemi tecnici, gli accordi con gli inquilini, documenti esistenti in merito a progetto conduzione e manutenzione, modello BIM se presente, sono raccolte e analizzate dall'auditor che valuta di conseguenza se lo scopo e i confini della diagnosi sono appropriati. Dopo l'ispezione del sito in esame per controllare il livello di servizio, le prestazioni dei sistemi, e un'attenta analisi dell'intero edificio tenendo conto delle interazioni tra sistemi tecnici e involucro, viene redatto l'inventario energetico, quanto più possibile rappresentativo dell'energia in ingresso e dell'utilizzo, la lista delle opportunità di miglioramento, che dovrebbero essere presentate secondo le seguenti categorie:

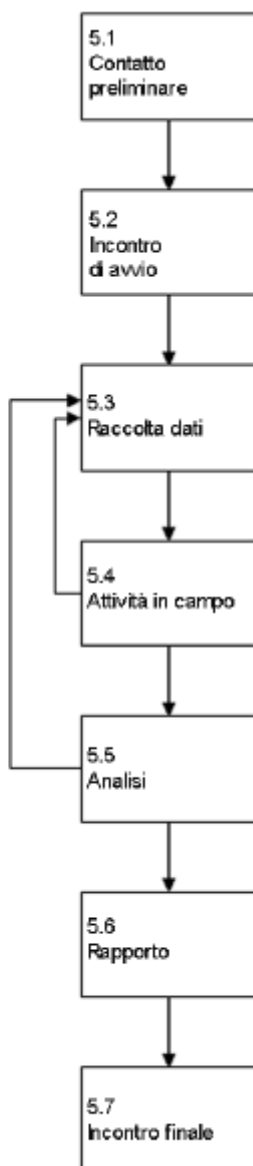
- misure ad alto costo (involucro, apparecchiature tecniche);
- misure a basso costo (adattamenti delle modalità operative);
- sensibilizzazione degli utenti finali;
- verifica dei requisiti in termini di comfort;

Tutto ciò è parte del rapporto che l'auditor consegna nell'incontro finale.

Sussiste una profonda differenza, dal punto di vista metodologico, tra i calcoli finalizzati alla certificazione energetica ed i calcoli finalizzati alla diagnosi. Se infatti lo scopo dei calcoli di certificazione è quello di definire indicatori di riferimento, volti a “contrassegnare” gli edifici ed a consentirne il confronto in condizioni standard, l'obiettivo primario di una diagnosi è la costruzione di un modello di calcolo affidabile, finalizzato all'individuazione dei consumi effettivi ed alla modellazione delle possibili opere di efficientamento. Ne consegue che, in caso di certificazione, occorre attenersi a metodologie ben circoscritte nonché strettamente normate. In particolare, le metodologie di calcolo per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici sono ad oggi definite dai decreti attuativi della Legge 90/13, vale a dire i DM 26.06.15, secondo i quali il pacchetto normativo di riferimento è costituito dalle specifiche tecniche UNI/TS 11300 ed altre norme EN ad esse correlate. In caso invece di diagnosi, pur costituendo le UNI/TS 11300 il metodo di base ed un punto di riferimento, ci si avvale di un calcolo più “libero”, il quale si discosta, ove necessario, da esse in virtù dell'obiettivo primario perseguito, vale a dire la comprensione delle ragioni dei consumi effettivi. I differenti scopi ed approcci dei calcoli finalizzati alla certificazione ed alla diagnosi sono inoltre espressi ed enfatizzati dall'adozione di differenti opzioni ed impostazioni. Il calcolo delle prestazioni energetiche può essere infatti condotto secondo tre differenti modalità di valutazione, come definite dalle specifiche tecniche UNI/TS 11300: A1 (di progetto), A2 (standard) ed A3 (adattata all'utenza). Le prime due modalità (A1 ed A2), le quali trovano applicazione, rispettivamente, ai calcoli di progetto ed alla formulazione dell'APE, si fondano sull'adozione di parametri convenzionali, rappresentativi delle condizioni di clima ed utenza standard. La terza modalità (A3), da utilizzarsi ai fini delle diagnosi energetiche, si fonda invece su parametri quanto più possibile effettivi, volti a rappresentare le reali condizioni dell'edificio.

Di seguito riportiamo lo schema di flusso riportato nella 16247-2 volto a rappresentare le fasi della diagnosi energetica.

Figura 2: Schema flusso diagnosi



I.3.4 Software utilizzati

Per lo sviluppo di questa tesi abbiamo usufruito di due software:

- Revit
- Termolog

REVIT

Autodesk Revit è un software per la modellazione BIM (Building Information Modelling) sviluppato dalla Revit Technologies Inc. nel 2000 ma successivamente acquistato nel 2002 dall'azienda Autodesk. Esso è un programma altamente funzionale che offre una serie di possibilità al progettista. Revit supporta l'interdisciplinarietà verso la collaborazione e la progettazione da parte di più utenti e di più ruoli. Negli ultimi anni il programma è stato oggetto di sempre maggiori e rilevanti cambiamenti, oggi può essere utilizzato anche per una serie di formati che prima non erano utilizzabili come DWG, DXF e DWF. Questo software rende attuabili le varie fasi che si susseguono per tutto il percorso, la costruzione e la conseguente gestione dell'edificio, inoltre è possibile avere un fedele esempio della realtà attraverso elementi tridimensionali, assonometrici e prospettici. Revit permette la “modellazione parametrica” che consente di eseguire operazioni di coordinamento e gestione delle modifiche, ovvero le variazioni eseguite in un punto vengono estese all'intero progetto. Per esempio una porta corrisponde ad una quota fissa rispetto ad un muro di partizione adiacente, se si sposta il muro, la porta mantiene la stessa relazione con il muro. Inoltre consente la condivisione del lavoro, più membri del team possono partecipare allo stesso modello di progetto centrale contemporaneamente, lavorando su aree funzionali specifiche. I progetti possono essere suddivisi in workset, raccolte di elementi, sulla base di aree funzionali, quali le seguenti:

- Per l'architettura e l'ingegneria strutturale: interni, esterni e cantiere
- Per i sistemi impiantistici di riscaldamento, ventilazione e aria condizionata (HVAC), impianto elettrico o impianto idraulico

Revit facilita quindi sia la progettazione architettonica e strutturale, sia la progettazione MEP; sono molteplici le funzionalità di questo programma, tra cui annoveriamo Energy Optimization for Revit che consente la creazione automatica del modello energetico in base al modello architettonico utilizzando motori di simulazione come DOE 2.2 ed EnergyPlus, ma approfondire ognuna di loro non rientra nei nostri fini dato l'approccio che abbiamo deciso di adoperare. Il software si inserisce perfettamente nell'ottica della modellazione BIM in quanto consente di importare ed esportare file in formato IFC. Riportando le parole del Professore emerito del Lawrence Berkeley National Laboratory Vladimir Bazjanac “il processo di progettazione e realizzazione delle strutture è cambiato

rapidamente. Il cambiamento è dovuto soprattutto all'emergere del metodo BIM e alla sua intrinseca capacità di garantire la validità dei dati inseriti nel manufatto in ogni momento del suo ciclo di vita, permettendo una realizzazione integrata della commessa impossibile fino ad ora".

Per questa tesi l'uso di Revit è stato limitato alla creazione del modello geometrico mentre si è preferito utilizzare Termolog per una modellazione dell'asilo dal punto di vista termico.

TERMOLOG

Termolog è un programma della famiglia Logical Soft, per il calcolo delle dispersioni termiche, dei fabbisogni e dei consumi energetici degli edifici, certificato CTI per l'APE in tutta Italia, autorizzato da Regione Lombardia per l'uso di CENED+2.0 Motore. Produce gli Attestati di Prestazione Energetica per tutte le regioni e le province autonome d'Italia, esporta verso i catasti regionali attivi, esegue le verifiche di legge previste dal Decreto Requisiti Minimi e consente di progettare edifici NZEB.

Termolog è composto da svariati moduli, tra cui il Modulo CERTIFICATORE (APE), Modulo PROGETTISTA (Legge 10, verifiche di progetto, carico termico invernale) e il Modulo DIAGNOSI, di cui abbiamo fatto un ampio utilizzo per l'analisi dei consumi e degli interventi di riqualificazione. Il programma consente l'inserimento dei dati con metodo sia tabellare sia grafico infatti l'input importa mappe catastali, piante CAD, file in formato IFC da tutti i software BIM, calcola automaticamente gli ombreggiamenti e ricava tutti i ponti termici dell'edificio. Inoltre dispone di un ricco archivio ampliabile con materiali UNI oltre a materiali e generatori dei produttori principali e dello strumento CONFRONTA che offre la possibilità di verificare l'ammissibilità della richiesta degli incentivi, a fronte di un intervento di riqualificazione, secondo il Conto Termico.

Parte II

II.1 Scuola di Via dei Narcisi: rilievi sull'edificio e sugli impianti esistenti

Il rilievo dello stato di fatto nel caso studio ha come obbiettivo il reperimento delle seguenti informazioni.

FABBRICATO- località, volumetrie, superfici disperdenti, destinazione d'uso dei locali, stratigrafie dei componenti di involucro.

IMPIANTO MECCANICO: ubicazione, tipo e potenza dei terminali di emissione, tipo e lunghezza dei tubi distribuzione, ausiliari di distribuzione, ubicazione, tipo e potenza dei generatori, dispositivi e tipo di regolazione.

Consumi / Bollette energetiche

Tutti questi dati sono necessari per procedere alla creazione di un modello energetico sul software di calcolo TERMOLOG.

I dati geometrici (volumetrie, superfici disperdenti) e la destinazione d'uso dei locali si possono reperire sulle tavole di progetto (planimetrie e prospetti), o sul campo tramite rilievi che necessitano di strumentazione ottica per esempio laser, georadar.

I dati riguardanti stratigrafie e proprietà termofisiche degli elementi di involucro, per edifici costruiti più di 20 anni fa, difficilmente sono acquisibili da elaborati di progetto e il loro rilievo in campo può richiedere:

- a) strumentazione più costosa (termocamera, termoflussimetro) e tempi di misura molto più lunghi.
- b) controlli invasivi quali carotaggi

I dati riguardanti gli impianti per le stesse motivazioni di cui sopra si acquisiscono da rilievo in campo.

II.1.1 RILIEVO FABBRICATO

Il rilievo dei dati riguardanti il fabbricato inizia nel caso specifico con l'acquisizione di un file progetto modello architettonico Revit realizzato dalla studio Claudio Gabbiani:

Figura 3: Modello 3D Scuola D'Infanzia via Narcisi



Nel modello sono presenti viste in pianta, prospetti, sezioni e viste 3D.

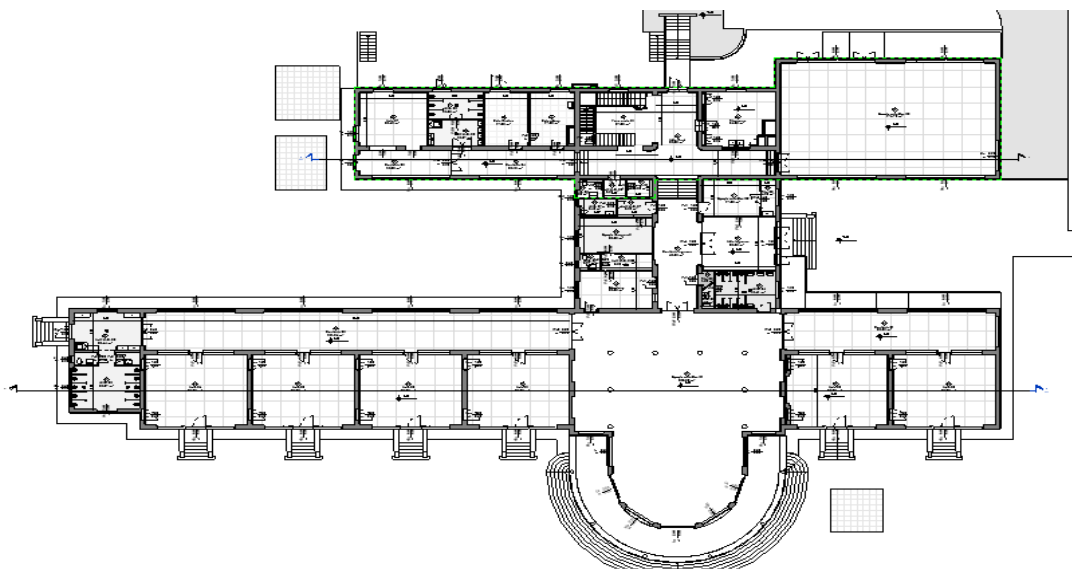
Un file di progetto Revit potrebbe contenere tutte le informazioni necessarie alla costruzione di un modello energetico elaborabile dai software commerciali di calcolo (in questo caso Termolog).

Il modello Revit della scuola invece (come spesso accade) non essendo stato creato a tal fine, contiene solo alcune di queste informazioni:

Planimetrie, prospetti e la destinazione d'uso dei locali

Ciò ci tornerà utile nell'acquisizione rapida di superfici disperdenti, locali, e zone termiche.

Figura 4: Planimetria Piano rialzato



Per definire le proprietà termofisiche degli elementi di involucro si è fatto ricorso a un sopralluogo e al report di uno precedentemente effettuato dalla società Geolab s.r.l. con finalità strutturali :

Dal sopralluogo è emerso che la tipologia costruttiva è a muri portanti in calcestruzzo non armato e mattoni pieni, solai in laterocemento e copertura in predalles, infissi di vario tipo, per la maggior parte a vetro singolo.

Si è proceduto al rilievo puntuale delle dimensioni e caratteristiche degli elementi di involucro. Data la loro importanza, al fine di realizzare un modello nel software di calcolo che sia il più rispondente possibile al reale.

Di seguito si descrivono i principali elementi di involucro:

Foto 1: Vetro singolo con telaio in metallo



Foto 2: Vetro singolo con telaio in legno



di essi si è proceduto alla misura delle superfici e degli spessori degli elementi.

Per quanto riguarda gli elementi di involucro si è proceduto alla misura degli spessori e ai risultati di carotaggi e endoscopie:

Figura 5: Muro perimetrale piano primo

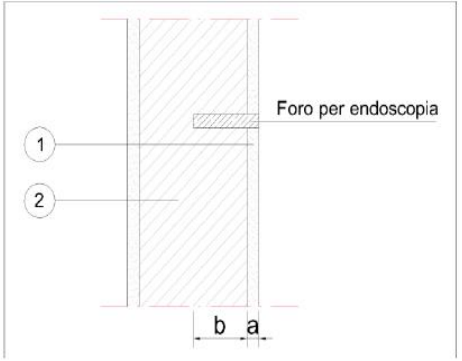
DESCRIZIONE DELLA PROVA		EN 3																	
PARETE IN MATTONI PIENI		PIANO PRIMO																	
																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPOLOGIA</th><th colspan="2"><i>Parete in mattoni pieni</i></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">SPESSORE</td><td colspan="2">42 ÷ 43 cm</td></tr> <tr> <td>1</td><td>Intonaco</td><td>a =</td><td>2 cm</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Mattoni pieni</td><td>b =</td><td>30 cm</td></tr> </tbody> </table>		TIPOLOGIA		<i>Parete in mattoni pieni</i>		SPESSORE		42 ÷ 43 cm		1	Intonaco	a =	2 cm	2	Mattoni pieni	b =	30 cm		
TIPOLOGIA		<i>Parete in mattoni pieni</i>																	
SPESSORE		42 ÷ 43 cm																	
1	Intonaco	a =	2 cm																
2	Mattoni pieni	b =	30 cm																

Figura 6: Muro perimetrale piano interrato

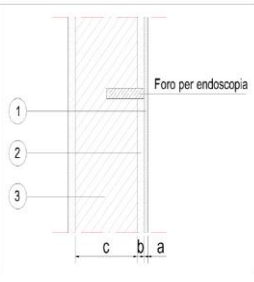
DESCRIZIONE DELLA PROVA		EN 1																					
PARETE IN CLS NON ARMATO		PIANO INTERRATO																					
																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPOLOGIA</th><th colspan="2"><i>Parete in cls non armato</i></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">SPESSORE</td><td colspan="2">50 cm</td></tr> <tr> <td>1</td><td>Piastrelle</td><td>a =</td><td>1 cm</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Intonaco</td><td>b =</td><td>3 cm</td></tr> <tr> <td>3</td><td>Muratura in cls</td><td>c =</td><td>43 cm</td></tr> </tbody> </table>		TIPOLOGIA		<i>Parete in cls non armato</i>		SPESSORE		50 cm		1	Piastrelle	a =	1 cm	2	Intonaco	b =	3 cm	3	Muratura in cls	c =	43 cm		
TIPOLOGIA		<i>Parete in cls non armato</i>																					
SPESSORE		50 cm																					
1	Piastrelle	a =	1 cm																				
2	Intonaco	b =	3 cm																				
3	Muratura in cls	c =	43 cm																				

Figura 7: Muro perimetrale piano terreno

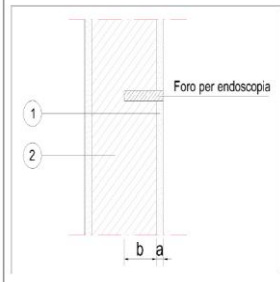
DESCRIZIONE DELLA PROVA		EN 5																	
PARETE IN MATTONI PIENI		PIANO TERRA																	
																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPOLOGIA</th><th colspan="2"><i>Parete in mattoni pieni</i></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">SPESSORE</td><td colspan="2">45 cm</td></tr> <tr> <td>1</td><td>Intonaco</td><td>a =</td><td>1,5 cm</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Mattoni pieni</td><td>b =</td><td>28,5 cm</td></tr> </tbody> </table>		TIPOLOGIA		<i>Parete in mattoni pieni</i>		SPESSORE		45 cm		1	Intonaco	a =	1,5 cm	2	Mattoni pieni	b =	28,5 cm		
TIPOLOGIA		<i>Parete in mattoni pieni</i>																	
SPESSORE		45 cm																	
1	Intonaco	a =	1,5 cm																
2	Mattoni pieni	b =	28,5 cm																

Figura 8: Piano interrato corpo sud

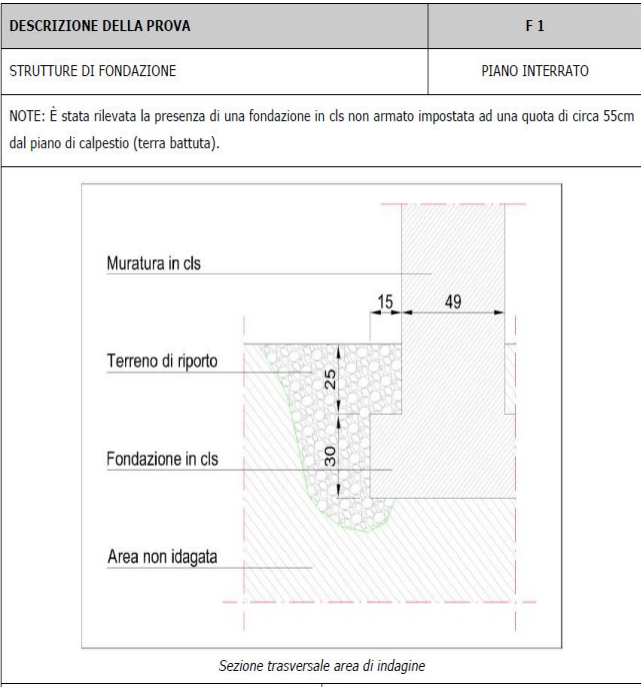


Figura 9: Piano interrato corpo nord

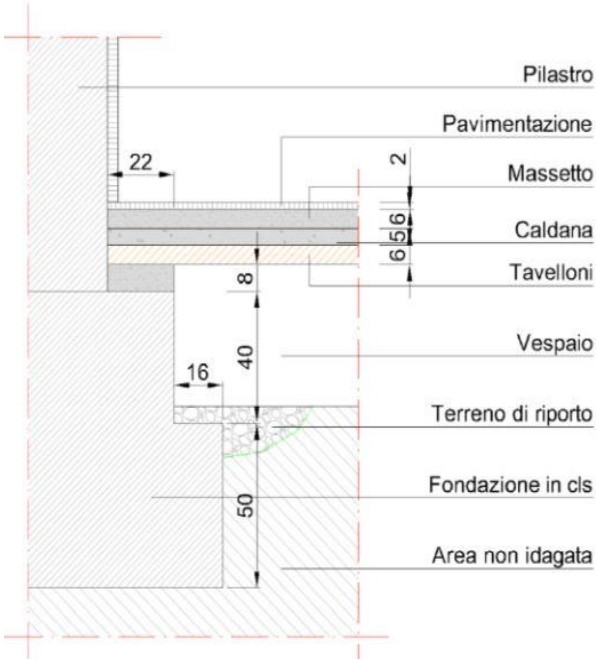


Figura 10: Solaio piano interrato nord

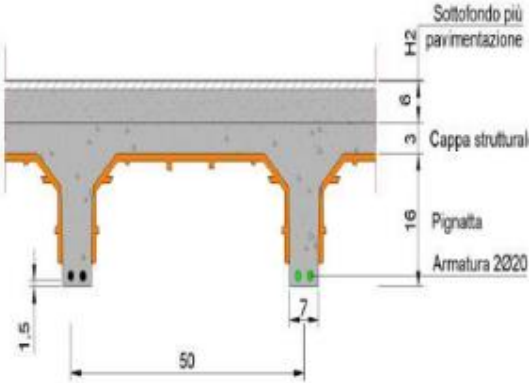


Figura 11: Solaio piano interrato nord

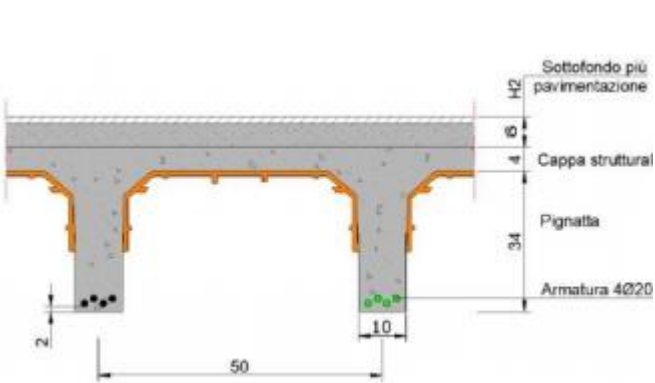


Figura 12: Solaio piano interrato sud

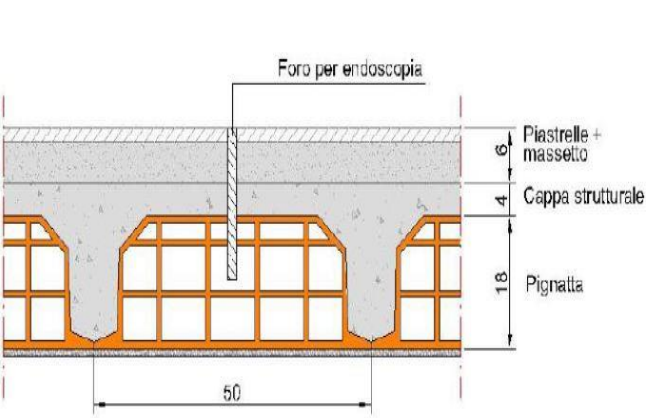


Figura 13 : Solaio piano interrato sud

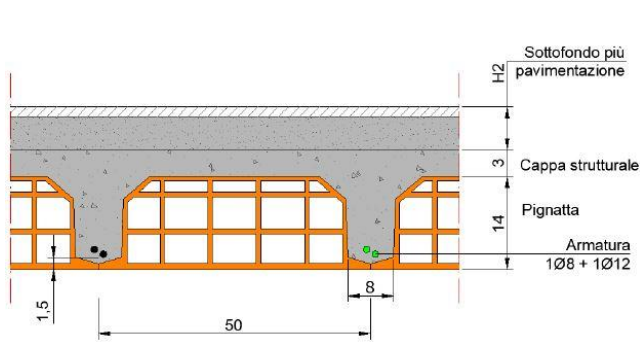
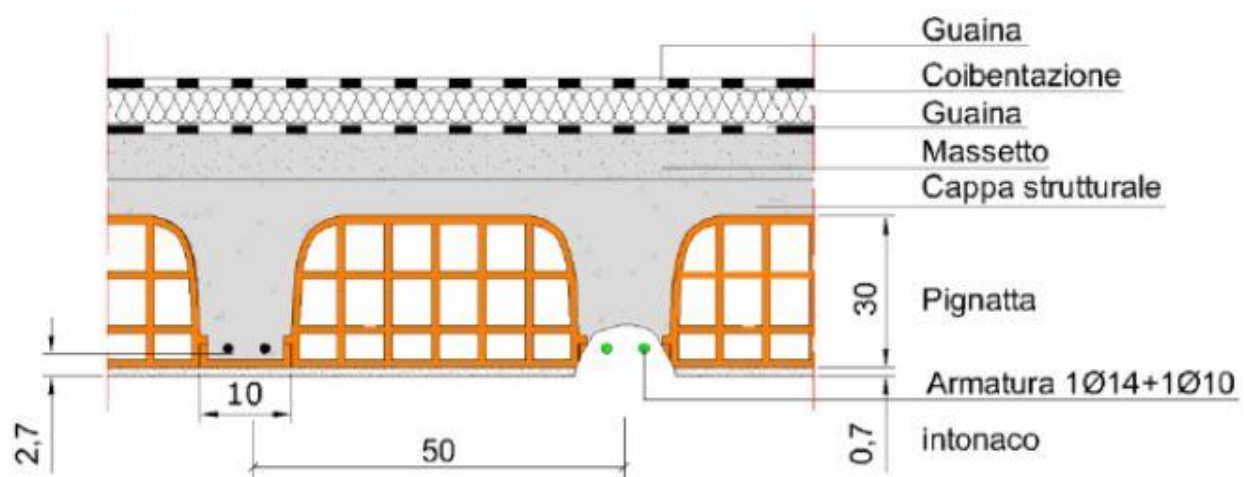


Figura 14: Copertura



II.1.2 RILIEVO DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO

L'impianto esistente è un impianto di riscaldamento centralizzato avente come corpi scaldanti i radiatori a piastre d'acciaio e a tubolari in ghisa. La distribuzione, parzialmente isolata, corre in un ambiente non climatizzato leggermente areato. Il vaso di espansione è di tipo aperto. I generatori sono caldaie con bruciatore a gas metano, la regolazione è di zona più compensazione climatica.

Si sono rilevate la dimensione, la tipologia e la posizione dei corpi scaldanti, riportandoli sulle planimetrie:

Figura 15 Planimetria Piano interrato

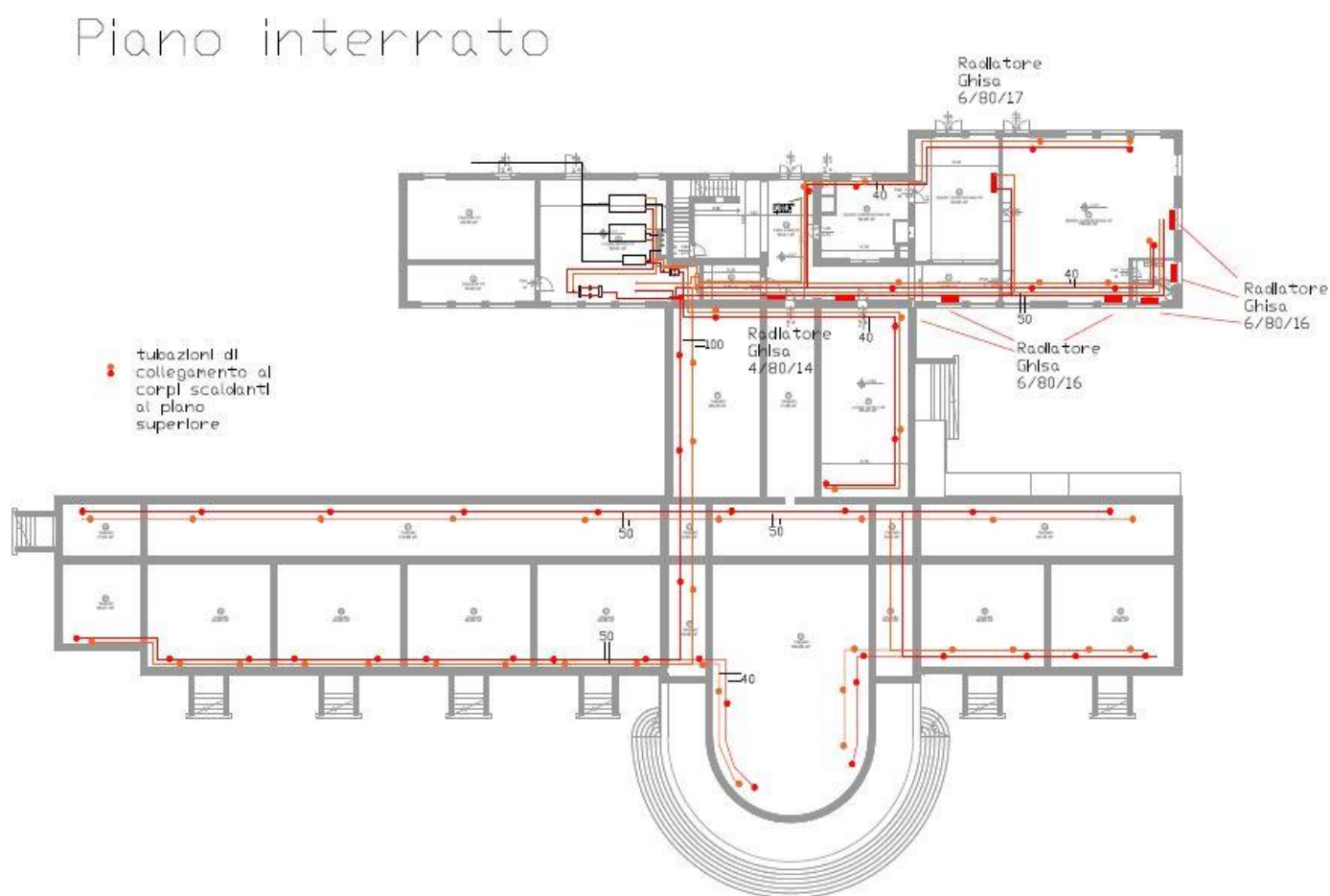


Figura 16 Planimetria Piano rialzato con corpi scaldanti

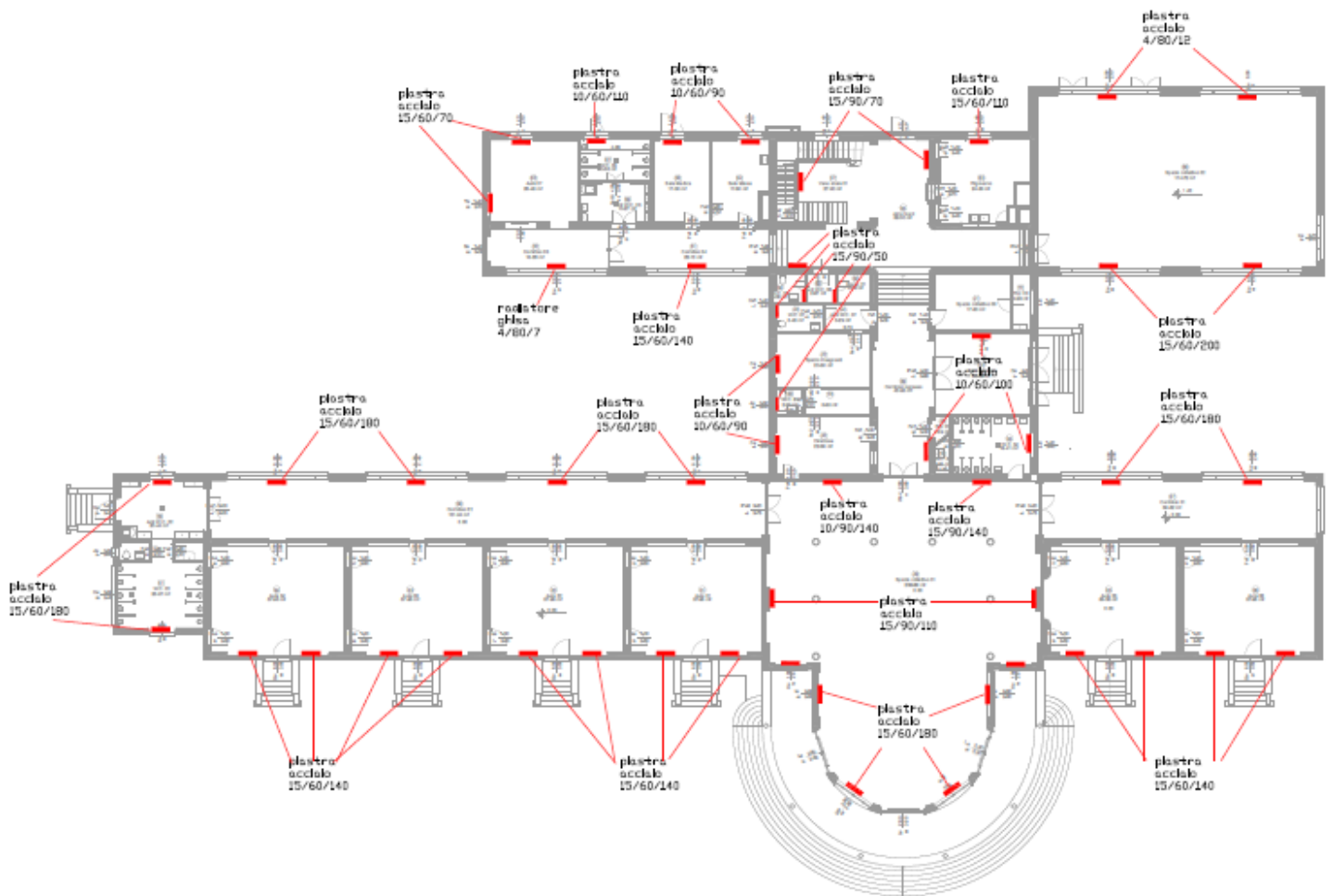
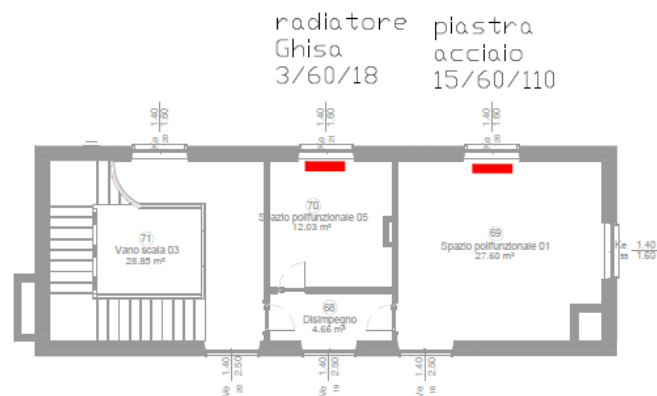


Figura 17 Planimetria Piano primo con corpi scaldanti



Si è proceduto in seguito ai rilievi della centrale termica

Foto 3



Foto 4



Foto 5



II.1.2.1 Schema Funzionale e componenti dell'impianto

Nel seguente schema è riportata la logica funzionale dell'impianto. Sono indicati i diametri delle tubazioni e sono numerati i principali componenti ripresi nella tabella successiva.

Figura 18 Schema Funzionale con diametri tubazioni e componenti

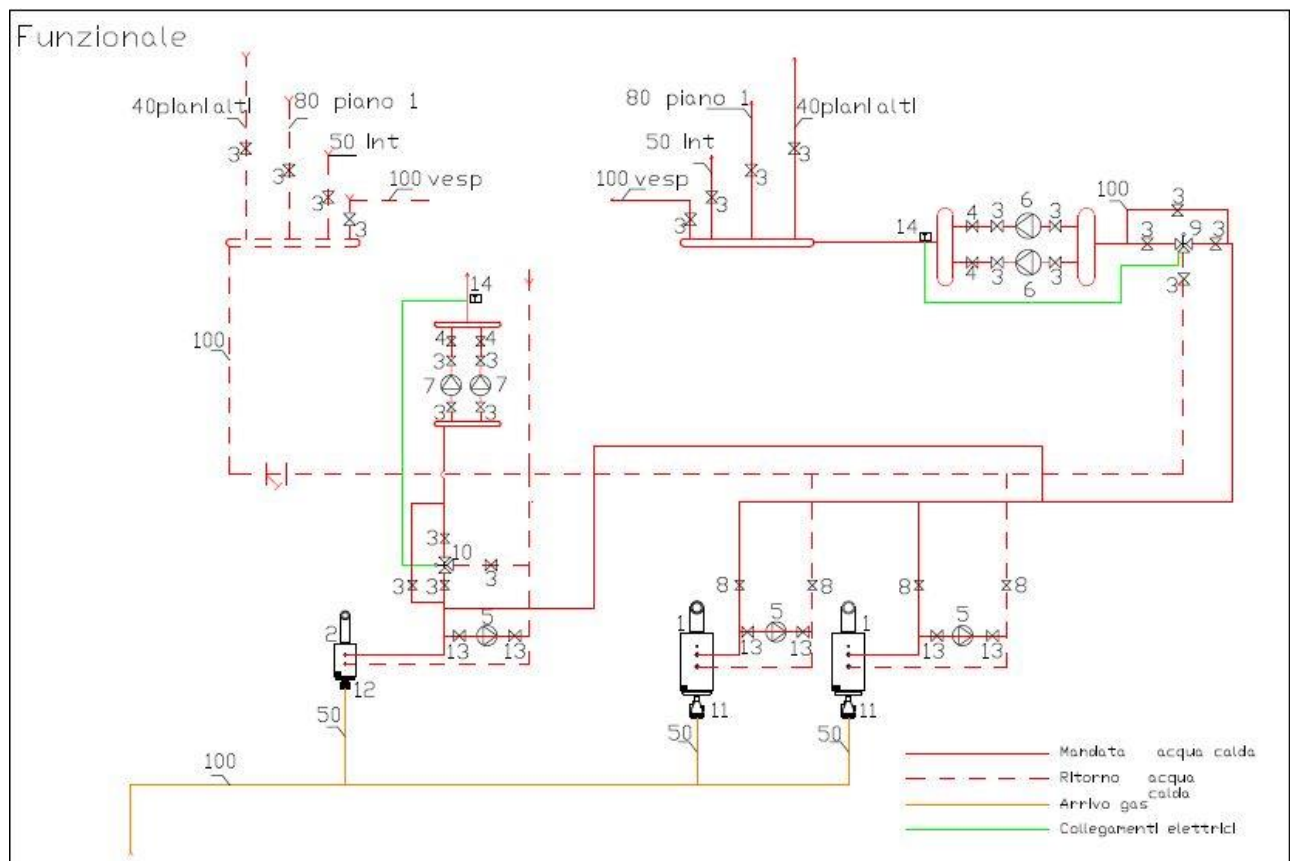


Tabella 2.2 Caratteristiche componenti centrale termica

Numero grafico	Elemento	Quantità	Marca	Modello	Dati caratteristici
1	Caldaia 1 e 2	2	Unical	Trisecal 300P	Pot. termica al focolare 323,7 kW
2	Caldaia 3	1	Unical	Trisecal 90P	Pot. termica al focolare 97 kW
3	Valvola 2 vie	24	Coster	Varie	Valvola intercettazione

4	Valvola 2 vie	4	Coster	Varie	Valvola di non ritorno
5	Pompa	3	Salmson	SCX 32-25	Anticondensa generatori 1, 2 e 3
6	Pompa	2	Salmson	NR	Circuito scuola riscaldamento
7	Pompa	2	Salmson	SMX 40-40	Circuito autonomo riscaldamento
8	Valvola 2 vie di cascata	4	Coster	CVH 218	Regolazione Generatori 1 e 2
9	Valvola 3 vie	1	Coster	VSF3100-949 + CVH 118	Regolazione circuito scuola
10	Valvola 3 vie	1	Coster	VSF350-417 + CVH 118	Regolazione circuito autonomo
11	Bruciatore	2	RBL	RS 28	Tipo: aria soffiata Combustibile: metano
12	Bruciatore	1	Riello RBL	Gulliver BS3D	Tipo: aria soffiata Combustibile: metano
13	Valvola 2 vie	4	Coster	Varie	Valvole di intercettazione (ramo anticondensa)
14	Sensore T	2	-	-	Sensore per regolazione climatica

La centrale termica è stata realizzata in un locale al piano interrato. All'interno del locale sono presenti 3 generatori ad acqua calda alimentati a gas dotati ognuno di elettropompa anticondensa e canna fumaria corrente in apposito cavedio e sviluppo in verticale oltre il colmo dell'edificio, i collettori circuito primario e secondario, 4 pompe di circolazione per il riscaldamento, 2 valvole di regolazione a 3 vie. Dei vari componenti sono stati rilevati i dati di targa e per i generatori la prova fumi. Di seguito riportiamo dettagliatamente i dati dei componenti principali.

Specifiche Tecniche dei generatori

Generatore 1

Quantità	2
Marca-Modello	Unical Trisecal 3P300
Potenza Nominale	Pn 300 kW
Uso	riscaldamento
Marca-Mod Bruciatore	RBL RS28 – 809 T1
Fluido Termovettore	Acqua
Potenza elettrica bruciatore	370 W
Combustibile	Metano

Foto 6 Prova Fumi

11. RISULTATI DELLA PRIMA VERIFICA EFFETTUATA DALL'INSTALLATORE E DELLE VERIFICHE PERIODICHE SUCCESSIVE EFFETTUATE DAL MANUTENTORE

11.1 GRUPPI TERMICI
 Riferimento: ☐ norma UNI 10369-1 ☐ altro

Gruppo termico GT 551
 Completare una scheda per ogni gruppo termico (completare la riga del "Numero modulo", rilevare gli secondi, e 1, sono previste due analisi fumi per lo stesso gruppo termico)

DATA	15/1/16	15/1/16	8/2/17
Numero modulo	24/11/	1	
Portata termica effettiva (kW)	29	29	250
VALORI MISURATI			
Temperatura fumi (°C)	88,5	85,1	146
Temperatura aria comburente (°C)	12,6	15,4	12,9
O ₂ (%)	6,4	5,4	4,0
CO ₂ (%)	8,2	8,7	11,4
Indice di Bacharach	0,010	0,0010	1,1...
CO nei fumi secchi (ppm v/v)	23	21	3
Portata combustibile (m³/h oppure kg/h)	29	29	26,5
VALORI CALCOLATI			
CO nei fumi secchi e senz'aria (ppm v/v)	33	29	4
Rendimento di combustione η _c (%)	95,9	96,4	93,5
VERIFICHE			
Rispetta l'indice di Bacharach	☒ Si ☐ No	☒ Si ☐ No	☒ Si ☐ No
CO fumi secchi e senz'aria ≤ 1.000 ppm v/v	☒ Si ☐ No	☒ Si ☐ No	☒ Si ☐ No
η minimo di legge (%)	93,5	93,5	88,1
η _c ≥ η minimo	☒ Si ☐ No	☒ Si ☐ No	☒ Si ☐ No
FIRMA			

COFELY

Generatore 2

Quantità	1
Marca-Modello	Unical Trisecal 3P90
Potenza Nominale	Pn 90 kW
Uso	riscaldamento
Marca-Mod Bruciatore	Riello Gulliver BS 3D - 917
Fluido Termovettore	Acqua
Potenza elettrica bruciatore	350 W
Combustibile	Metano

NON Sono presenti prove fumi

Specifiche pompe circolazione

Pompa anticondensa

Quantità	3
Marca-modello	Salmson-SCX 32-25
Potenza nominale	0,16 kW

Pompa riscaldamento principale

Quantità	2
Marca-modello	Salmson
Potenza nominale	1,5 kW

Pompa riscaldamento autonomo

Quantità	2
Marca-modello	Salmson-SMX 40-40
Potenza nominale	0,41 kW

II.1.3 Consumi / Bollette energetiche

Figura 19

Stagione termica	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	
Consumi di Energia Elettrica (facoltativo):							
F1	NP	NP	NP	NP	-	-	kWh
F2	-	-	-	-	-	-	kWh
F3	-	-	-	-	-	-	kWh
F4	-	-	-	-	-	-	kWh
Consumi per usi termici degli impianti gestiti dal Fornitore							
Gas metano	34.888,05	35.984,44	39.240,87	36.819,00	-	-	m ³
Totale consumi energetici (energia elettrica + energia termica)							
	29,31	30,23	32,96	30,93	-	-	tep
Indicatori di consumo							
Elettricità	-	-	-	-	-	-	kWh/m ²
	-	-	-	-	-	-	kWh/m ³
Consumi termici	196,11	202,27	220,57	206,96	-	-	kWh/m ²
	41,23	42,52	46,37	43,51	-	-	kWh/m ³
% consumi per ACS*	-	-	-	-			%
Dati sulle Emissioni							
Emissioni di CO2 per	68,55	70,70	77,10	72,34	-	-	tCO ₂
Dati di Riferimento							
Gradi Giorno reali	2.132	2.199	2.398	2.250			GG
Ore di Riscaldamento	1.570	1.570	1.570	1.570			ore
Superficie riscaldata	1.702,00	1.702,00	1.702,00	1.702,00			m ²
Volume lordo	8.095,84	8.095,84	8.095,84	8.095,84			m ³

II.1.4 Realizzazione del modello energetico

Con i dati reperiti ed appena esposti si procede come segue alla creazione del modello dell'edificio nel software Termolog.

Il primo obiettivo è l'importazione del modello architettonico realizzato in Revit. A tale scopo bisogna esportare/convertire il file in un formato leggibile da Termolog. Revit può convertire i suoi file in IFC, formato studiato proprio con lo scopo di rendere i software BIM interfacciabili e velocizzare tale processo.

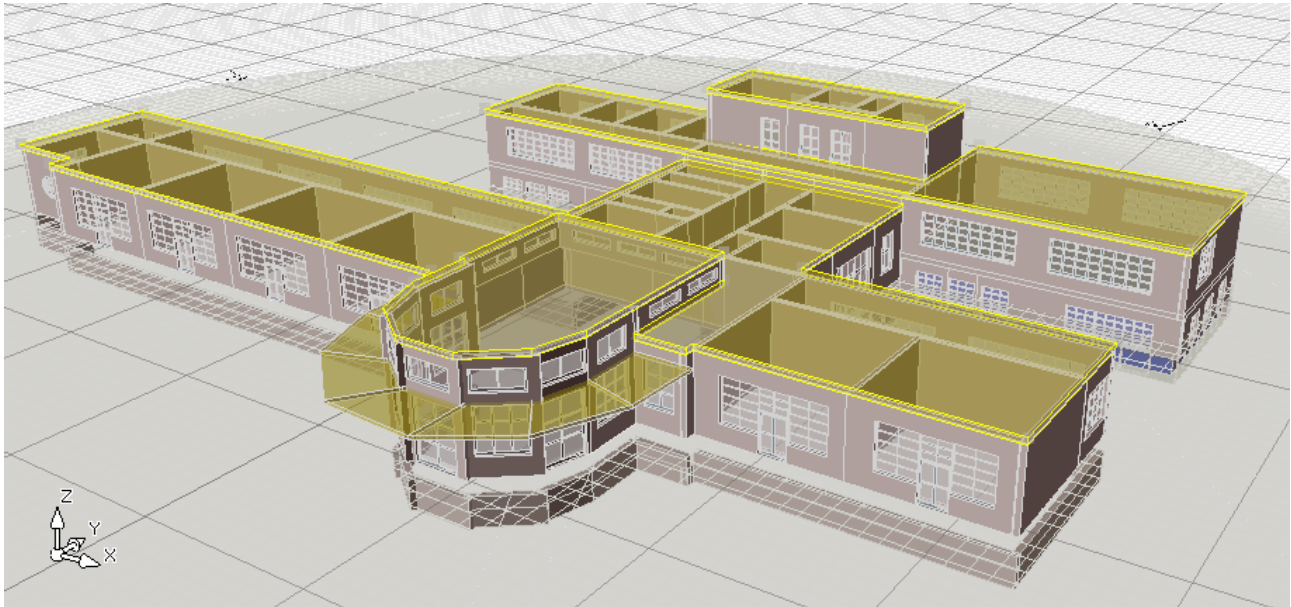
Purtroppo da un primo tentativo si nota che il file esportato da Revit contiene migliaia di elementi e oggetti (evidentemente più del necessario nel nostro caso).

Procedendo all'importazione con Termolog essa non porta a nessun risultato in quanto il software di calcolo non riesce ad importare un file così "complesso".

Si procede allora alla semplificazione del modello Revit mantenendo solo gli elementi importabili: muri perimetrali, partizioni interne, solai, copertura, locali.

Si procede ora con successo all'importazione

Figura 20: Modello 3D Termolog



Nel modello creato sono presenti le superfici disperdenti, le partizioni interne e i locali (climatizzati e non). Le superfici sono già ripartite e assegnate ai vari locali ma ad esse non è associato un componente dalla stratigrafia definita.

Si procede dunque creando i componenti di involucro (trasparenti e opachi) inserendo i materiali d'archivio e gli spessori rilevati.

Si creano le zone termiche (scuola, autonomo e locali tecnici non climatizzati)

Si assegnano le strutture importate ai componenti definiti nell'archivio di progetto ed i locali importati alle zone termiche di competenza.

Tabella 2.3 Elementi di involucro

Componente	Superficie [m^2]	Trasmittanza [W/m^2K]
Parete piano interrato	150	0.95
Parete p. interrato controterra	22	0.88
Parete piano rialzato	909	0.71
Parete piano primo	127	0.71
Pavimento piano rialzato Sud	1100	1.4
Pavimento p. interrato Nord	311	2.8

Solaio su locali tecnici	129	1.4
Copertura	1571	0.82
Serramento 1	6.76	5.76
Serramento 2	1.56	5.78
Serramento 3	2.8	6.1
Serramento 4	2.94	6.1
Serramento 5	4.08	6.24
Serramento 6	3.36	6.06
Serramento 7	2.64	5.97
Serramento 8	3.12	6.06
Serramento 9	2.24	6.21
Serramento 10	3.36	6.14
Serramento 11	4.68	6.06
Serramento 12	6.76	6.05
Serramento 13	6.48	6.09
Serramento 14	1.77	6.33
Serramento 15	14.4	4.6
Serramento 16	2.38	6.02
Serramento 17	2.89	6.01
Serramento 18	2.23	5.98
Serramento 19	3.78	6.12
Serramento 20	8.40	6.13
Serramento 21	13.6	3
Serramento 22	5.63	5.85
Serramento 23	3.41	6.1
Serramento 24	9.23	5.99
Serramento 25	4.76	5.77
Serramento 26	5.1	6.18
Serramento 27	6.48	6.1
Serramento 28	12.6	4.6
Serramento 29	5.1	6.14
Serramento 30	1.89	6.14

La parte impiantistica invece non essendo presente nel modello Revit va definita direttamente in Termolog. Si inseriscono quindi nelle varie schede le caratteristiche dei componenti di emissione, regolazione, distribuzione e generazione rilevate.

Si può procedere ora ad una prima simulazione che consentirà di redigere un APE di cui di seguito sono riportati principali parametri di calcolo e risultati.

Parametri Climatici della Località

Gradi Giorno	2404 GG
Temperatura minima di progetto	-5°C
Temperatura estiva di progetto	32°C
Umidità relativa dell'aria di progetto	48%
per la climatizzazione estiva	
Irradianza solare massima sul piano orizzontale	277,8 W/m ²
Volume delle parti di edificio abitabili al lordo	9081 m ³
delle strutture che lo delimitano	
Superficie disperdente	4844 m ²
Rapporto S/V	0,53 1/m
Superficie utile dell'edificio	1771
Valore di progetto della temperatura interne	20°C
per la climatizzazione invernale	

La valutazione del carico di progetto invernale è stata eseguita considerando i seguenti parametri: irraggiamento e apporti interni nulli, ricambio orario aule didattiche e servizi pari a 2 vol/h, spazio collettivo 1, 1 vol/h, altri ambienti 0.5 vol/h, caduta T regime di attenuazione pari a 3° C e tempo di ripresa due ore. I risultati ottenuti sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 176,44 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,91 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 277,77 kW

Tabella 2.4 Principali risultati ottenuti

RISCALDAMENTO - Fabbisogni di involucro

Zona Autonoma

	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
nn	giorni	31,00	28,00	31,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	30,00	31,00	183,00
Q _{int}	kWh	462,56	417,80	462,56	223,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	253,66	447,64	462,56	2.730,59
Q _{sol,w}	kWh	201,33	470,86	655,53	442,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	316,00	191,39	168,16	2.445,72
Q _{sol,op}	kWh	70,46	141,37	211,34	136,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	104,11	66,33	59,73	789,68
Q _{gn}	kWh	663,89	888,66	1.118,09	666,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	569,66	639,03	630,72	5.176,32
Q _d + Q _g + Q _u + Q _a	kWh	5.409,28	3.973,39	3.258,60	1.242,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.465,90	4.131,06	5.572,21	25.052,50
Q _r	kWh	315,29	373,90	506,25	169,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	143,54	243,68	275,07	2.027,07
QH _{ve}	kWh	1.815,47	1.333,55	1.093,66	416,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	491,99	1.386,47	1.870,15	8.408,15
QH _{ht}	kWh	7.469,57	5.539,48	4.647,17	1.691,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.997,31	5.694,89	7.657,70	34.698,03
gamma H	-	0,09	0,16	0,24	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,11	0,08	-
etaH _{gn}	-	1,00	1,00	1,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	1,00	1,00	-
QH _{nd}	kWh	6.805,79	4.651,98	3.534,61	1.040,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.432,50	5.056,11	7.027,07	29.548,91

zona principale

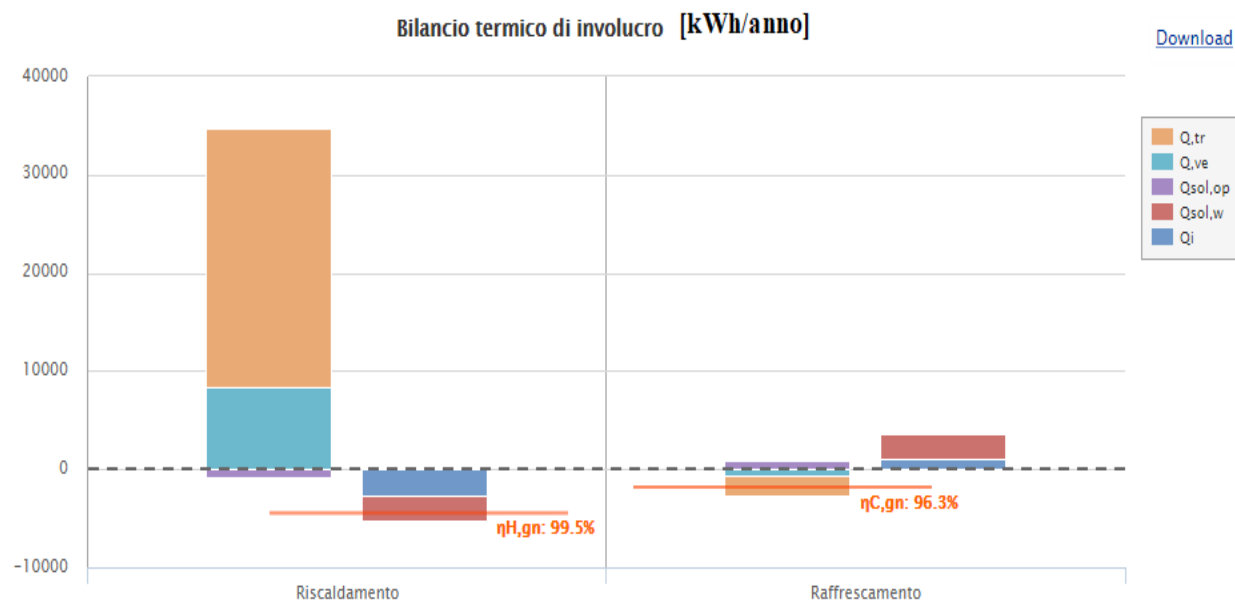
	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
nn	giorni	31,00	28,00	31,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	30,00	31,00	183,00
Q _{int}	kWh	4.808,26	4.342,95	4.808,26	2.326,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.636,79	4.653,16	4.808,26	28.384,27
Q _{sol,w}	kWh	7.917,00	14.295,68	17.570,10	9.884,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9.813,46	6.979,21	6.947,79	73.407,50
Q _{sol,op}	kWh	758,91	1.448,69	2.116,13	1.329,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.068,43	703,62	651,21	8.076,93
Q _{gn}	kWh	12.725,26	18.638,63	22.378,36	12.210,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12.450,25	11.632,37	11.756,05	101.791,77
Q _d + Q _g + Q _u + Q _a	kWh	71.563,89	52.567,33	43.110,78	16.432,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19.393,57	54.653,34	73.719,43	331.440,68
Q _r	kWh	3.578,37	4.243,64	5.745,70	1.921,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.629,13	2.765,63	3.121,94	23.006,28
QH _{ve}	kWh	18.871,61	13.862,16	11.368,44	4.333,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5.114,14	14.412,25	19.440,03	87.401,90
QH _{ht}	kWh	93.254,96	69.224,45	58.108,79	21.357,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25.068,42	71.127,59	95.630,19	433.771,92
gamma H	-	0,14	0,27	0,39	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,16	0,12	-
etaH _{gn}	-	0,99	0,96	0,93	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,99	0,99	-
QH _{nd}	kWh	80.646,32	51.276,22	37.359,23	10.882,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14.027,85	59.651,52	83.960,33	337.804,37

Dove:

- nn è il numero di giorni di riscaldamento
- Q_{int} sono gli apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{sol,w}$ sono gli apporti dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
- $Q_{sol,op}$ sono gli apporti dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{gn} sono gli apporti totali di energia termica
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ sono gli scambi di energia termica totali verso l'esterno, terreno, ambienti non climatizzati
- Q_r extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- QH_{ve} scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- QH_{ht} scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $gamma H$ rapporto apporti-dispersioni
- $etaH_{gn}$ fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- QH_{nd} fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti

Zona autonoma

Figura 21 Bilancio termico di involucro



Zona principale

Figura 22 Bilancio termico di involucro

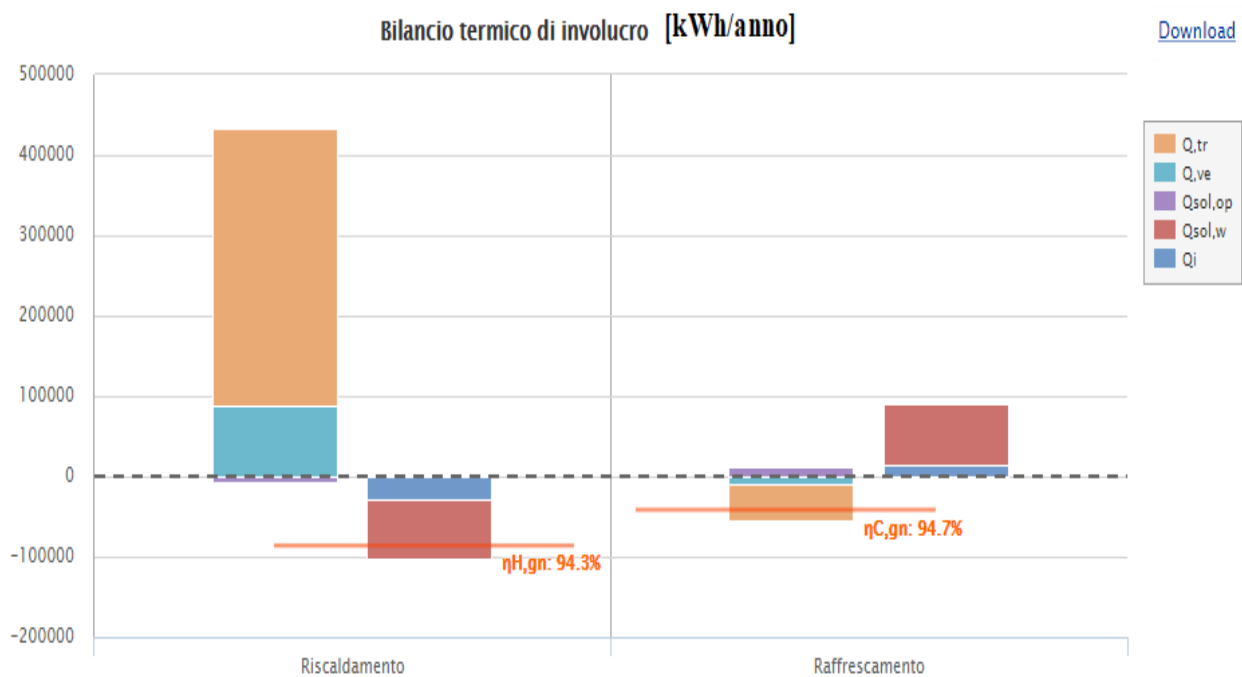


Tabella 2.5 Emissione/regolazione/distribuzione

Zona Autonoma - RH1 - riscaldamento ad acqua 1

	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Q'H	kWh	6.805,79	4.651,98	3.534,61	1.040,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.432,50	5.056,11	7.027,07	29.548,91
η_e	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,95	0,95	-
Ql,e	kWh	333,15	227,72	173,02	50,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,12	247,50	343,98	1.446,45
Ql _{rh,aux,e}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ql _{rg}	kWh	537,34	367,29	279,07	82,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	113,10	399,20	554,81	2.332,98
η_{rg}	-	0,93	0,93	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,93	0,93	-
Q _{rg,in}	kWh	7.676,28	5.246,99	3.986,70	1.173,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.615,72	5.702,80	7.925,86	33.328,34
FC	-	0,79	0,60	0,41	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,61	0,82	-
Q _{aux,e}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

zona principale - RH1 - riscaldamento ad acqua 1

	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Q'H	kWh	80.646,32	51.276,22	37.359,23	10.882,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14.027,85	59.651,52	83.960,33	337.804,37
η_e	-	0,92	0,92	0,92	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,92	0,92	-
Ql,e	kWh	7.331,48	4.661,47	3.396,29	989,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.275,26	5.422,87	7.632,76	30.709,49
Ql _{rh,aux,e}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ql _{rg}	kWh	3.665,74	2.330,74	1.698,15	494,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	637,63	2.711,43	3.816,38	15.354,74
η_{rg}	-	0,96	0,96	0,96	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,96	0,96	-
Q _{rg,in}	kWh	91.643,54	58.268,44	42.453,67	12.366,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15.940,74	67.785,82	95.409,46	383.868,60
FC	-	0,53	0,37	0,24	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,40	0,55	-
Q _{aux,e}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

DISTRIBUZIONE TABELLARE

riscaldamento ad acqua 1

	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Q _{d,out}	kWh	99.319,82	63.515,42	46.440,37	13.540,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17.556,46	73.488,62	103.335,3	417.196,94
Ql _d	kWh	7.590,64	4.854,25	3.549,26	1.034,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.341,77	5.616,46	7.897,53	31.884,80
Q _{d,in}	kWh	106.910,4	68.369,67	49.989,63	14.575,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18.898,23	79.105,08	111.232,8	449.081,74
Q _{aux,d}	kWh	1.451,54	1.311,07	1.451,54	702,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	796,01	1.404,72	1.451,54	8.568,79

Dove:

- $Q'H$ è il fabbisogno ideale netto di riscaldamento
- η_e è il rendimento del sottosistema di emissione
- Ql_e sono le perdite del sottosistema di emissione
- $Ql_{rh,aux,e}$ sono i recuperi degli ausiliari elettrici del sottosistema di emissione
- Ql_{rg} sono le perdite del sottosistema di regolazione
- η_{rg} è il rendimento del sottosistema di regolazione
- $Q_{rg,in}$ è il fabbisogno in ingresso al sottosistema di regolazione
- FC è il fattore di carico del sottosistema di emissione
- $Q_{aux,e}$ sono i fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di emissione
- $Q_{d,out}$ è il fabbisogno in uscita al sottosistema di regolazione
- Ql_d perdite del sottosistema di distribuzione
- $Q_{d,in}$ fabbisogno in ingresso al sottosistema di distribuzione
- $Q_{aux,d}$ fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione

Tabella 2.6 Generazione

Generatore 316														
Riscaldamento	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Q _{gn,out}	kWh	106.910,4	68.369,67	49.989,64	14.575,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18.898,23	79.105,09	111.232,8	449.081,76
FC _{gn}	-	0,45	0,32	0,21	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,35	0,47	-
Q _{l,gn}	kWh	15.630,67	10.902,59	8.946,96	3.101,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.803,49	12.348,72	16.123,61	70.857,74
Q _{gn,in}	kWh	120.850,5	77.835,92	57.455,56	17.002,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21.946,52	89.923,64	125.649,8	510.664,72
Q _{aux,gn}	kWh	255,02	169,76	128,59	39,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,51	194,46	264,31	1.102,29
η _{gn}	-	0,88	0,88	0,87	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,88	0,89	0,87

Generatore 316														
Riscaldamento	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Q _{gn,out}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FC _{gn}	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Q _{l,gn}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q _{gn,in}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q _{aux,gn}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
η _{gn}	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

Generatore a energia elettrica														
ACS	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Q _{gn,out}	kWh	1.230,04	1.111,00	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.190,36	1.230,04	14.482,71
FC _{gn}	-	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	-
Q _{l,gn}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q _{gn,in}	kWh	1.230,04	1.111,00	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.190,36	1.230,04	14.482,71
Q _{aux,gn}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
η _{gn}	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Dove:

- $Q_{gn,out}$ è il fabbisogno in uscita al sottosistema di generazione
- FC_{gn} è il fattore di carico del generatore
- $Q_{l,gn}$ sono perdite del sottosistema di generazione
- $Q_{gn,in}$ è il fabbisogno in ingresso al sottosistema di generazione
- $Q_{aux,gn}$ è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di generazione
- η_{gn} efficienza del sottosistema di generazione

Tabella 2.7

FABBISOGNO DI ENERGIA IN USCITA DAI GENERATORI															
Di seguito sono riportati i valori di $Q_{gn,out}$ serviti da ciascun generatore divisi per servizio.															
Generatore	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Generatore 316	H	kWh	106.910,	68.369,6	49.989,6	14.575,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18.898,2	79.105,0	111.232,	449.081,76
Generatore	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Generatore 316	H	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Generatore	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Generatore a energia elettrica	W	kWh	1.230,04	1.111,00	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.190,36	1.230,04	14.482,71

FABBISOGNO DI ENERGIA ELETTRICA DEGLI AUSILIARI															
Di seguito sono riportati i valori di fabbisogno di energia degli ausiliari elettrici esterni alla generazione divisi per servizio.															
	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica	H	kWh	1.451,54	1.311,07	1.451,54	702,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	796,01	1.404,72	1.451,54	8.568,79
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

FABBISOGNO DI ENERGIA IN INGRESSO AI GENERATORI															
Di seguito sono riportati i valori di $Q_{gn,in}$ per ciascun generatore.															
Generatore	Combustibile	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Generatore 316	Metano	kWh	120.850,	77.835,9	57.455,5	17.002,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21.946,5	89.923,6	125.649,	510.664,72
Generatore	Combustibile	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Generatore 316	Metano	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Generatore	Combustibile	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Generatore a energia elettrica	Energia elettri	kWh	1.230,04	1.111,00	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.230,04	1.190,36	1.230,04	1.190,36	1.230,04	14.482,71

Figura 23: Fabbisogni termici e Fabbisogni di energia primaria

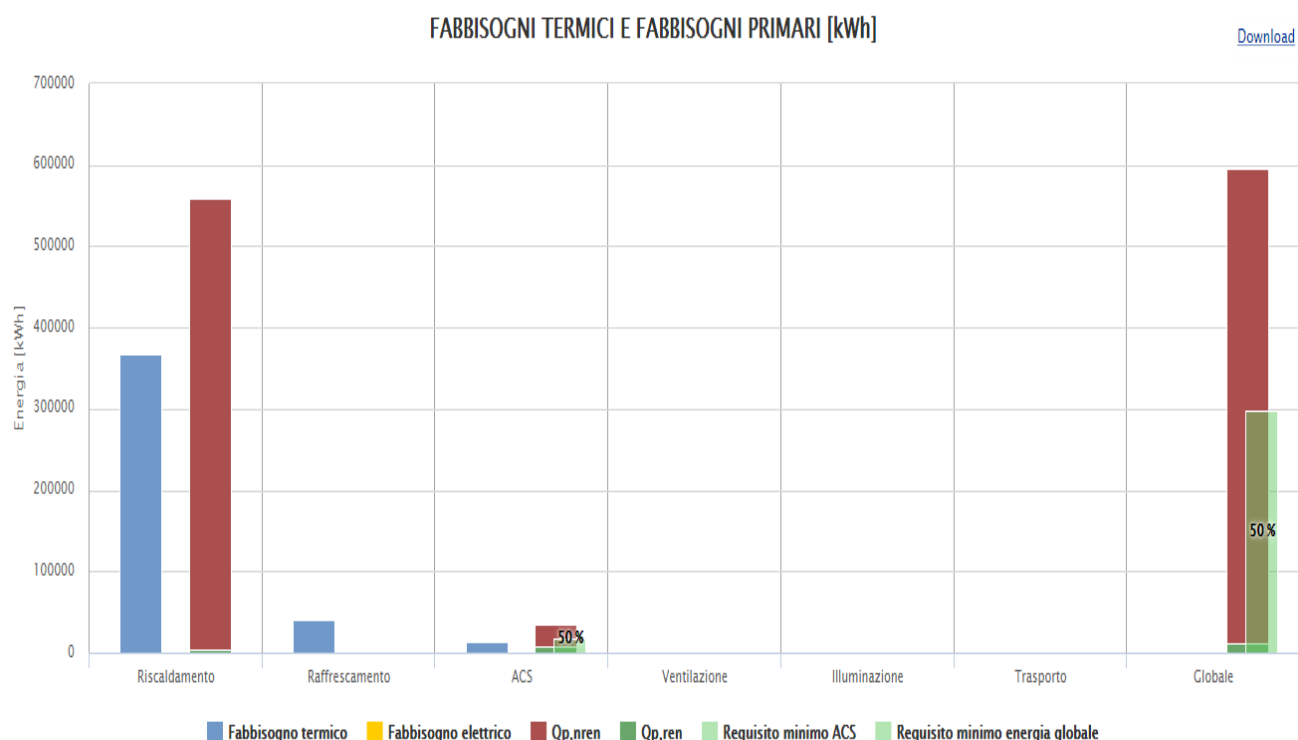


Figura 24: Indici di prestazione

Dati geometrici

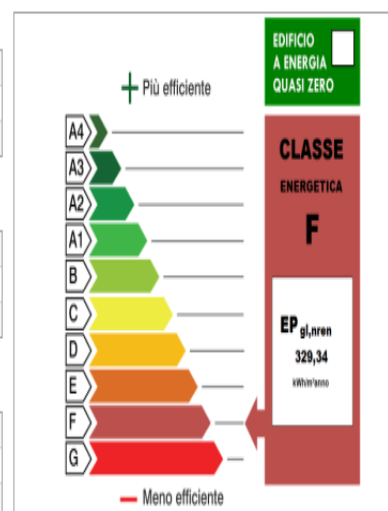
Superficie utile riscaldata $S_{u,H}$	1.771,11 m ²
Volume lordo riscaldato $V_{l,H}$	9.081,73 m ³
Superficie disperdente S_{disp}	4.844,17 m ²

Fabbisogni di energia termica utile

EPH,nd	207,41 kWh/m ²	Stagione di riscaldamento	183 giorni
EPC,nd	22,69 kWh/m ²	Stagione di raffresca	97 giorni
EPW,nd	7,57 kWh/m ²		

Fabbisogni di energia primaria

EPH,ren	2,57 kWh/m ²	EPH,nren	313,39 kWh/m ²	EPH,tot	315,96 kWh/m ²	η_H	0,656
EPW,ren	3,84 kWh/m ²	EPW,nren	15,95 kWh/m ²	EPW,tot	19,79 kWh/m ²	η_W	0,383
EPgl,ren	6,41 kWh/m ²	EPgl,nren	329,34 kWh/m ²	EPgl,tot	335,75 kWh/m ²		



FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA con ventilazione di riferimento

Edificio reale						Edificio di riferimento				Verifica
Riscaldamento involucro	QH,nd	367353, kWh	Indice di prestazione termica utile riscalda...	EPH,nd	207,41 kWh/m²	Indice di prestazione termica utile riscalda...	EPH,nd,rif	85,25 kWh/m²	NO	
Raffrescamento involucro	QC,nd	40192,9 kWh	Indice di prestazione termica utile raffresca...	EPC,nd	22,69 kWh/m²	Indice di prestazione termica utile raffresca...	EPC,nd,rif	28,34 kWh/m²	SI	
Acqua calda sanitaria	QW	13411 kWh	Indice di prestazione termica utile acs	EPW,nd	7,57 kWh/m²	Indice di prestazione termica utile acs	EPW,nd,rif	7,57 kWh/m²		

FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA con ventilazione effettiva

Edificio reale				Edificio di riferimento				Verifica
Riscaldamento involucro	QH,nd	367353, kWh	Indice di prestazione termica utile riscalda...	EPH,nd	207,41 kWh/m ²			
Raffrescamento involucro	QC,nd	40192,9 kWh	Indice di prestazione termica utile raffresca...	EPC,nd	22,69 kWh/m ²			
Acqua calda sanitaria	QW	13411 kWh	Indice di prestazione termica utile acs	EPW,nd	7,57 kWh/m ²			

CLIMATIZZAZIONE INVERNALE: fabbisogni di energia primaria e rendimenti

Edificio reale						Edificio di riferimento				Verifica
Energia primaria riscaldamento non rinnov...	Q _{p,H,nren}	555056, kWh	Indice di prestazione non rinnovabile	EPH,nren	313,39 kWh/m²	Indice di prestazione non rinnovabile	EPH,nren,rif	116,32 kWh/m²		
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,H,ren}	4545,4 kWh	Indice di prestazione rinnovabile	EPH,ren	2,57 kWh/m²	Indice di prestazione rinnovabile	EPH,ren,rif	0 kWh/m²		
Energia primaria totale	Q _{p,H,tot}	559602 kWh	Indice di prestazione totale	EPH,tot	315,96 kWh/m²	Indice di prestazione totale	EPH,tot,rif	116,32 kWh/m²		
			Efficienza globale stagionale	η _{H,tot}	0,656	Efficienza globale limite	η _{H,rif}	0,733		NO
			Quota rinnovabile	Q _{R,H}	0,8 %					

ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogni di energia primaria e rendimenti

Edificio reale					Edificio di riferimento				Verifica
Energia primaria acs non rinnovabile	Q _{p,W,nren}	28241,3 kWh	Indice di prestazione non rinnovabile	EPW _{nren}	15,95 kWh/m²	Indice di prestazione non rinnovabile	EPW _{nren,rif}	21,09 kWh/m²	
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,W,ren}	6806,9 kWh	Indice di prestazione rinnovabile	EPW _{ren}	3,84 kWh/m²	Indice di prestazione rinnovabile	EPW _{ren,rif}	5,08 kWh/m²	
Energia primaria totale	Q _{p,W,tot}	35048,2 kWh	Indice di prestazione totale	EPW _{tot}	19,79 kWh/m²	Indice di prestazione totale	EPW _{tot,rif}	26,18 kWh/m²	
			Efficienza globale stagionale	η _{W,tot}	0,383	Efficienza globale limite	η _{W,rif}	0,289	SI
			Quota rinnovabile	QR _W	19,4 %	Limite normativo	QR _{W,lim}	50 %	NO

FABBISOGNO GLOBALE: fabbisogni di energia primaria e rendimenti

Edificio reale						Edificio di riferimento			Verifica
Energia primaria non rinnovabile	Qp,gl,nren	583297, kWh	Indice di prestazione non rinnovabile	EPgl,nren	329,34 kWh/m²	Indice di prestazione non rinnovabile	EPgl,nren,rif	137,42 kWh/m²	NO
Energia primaria rinnovabile	Qp,gl,ren	11352,3 kWh	Indice di prestazione rinnovabile	EPgl,ren	6,41 kWh/m²	Indice di prestazione rinnovabile	EPgl,ren,rif	5,08 kWh/m²	
Energia primaria totale	Qp,gl,tot	594650, kWh	Indice di prestazione totale	EPgl,tot	335,75 kWh/m²	Indice di prestazione totale	EPgl,tot,rif	142,5 kWh/m²	NO
			Quota rinnovabile	QR,gl	1,9 %	Limite normativo	QR,gl,lim	50 %	NO

I valori limite degli indici di prestazione invernale e globale non tengono conto della correzione richiesta dal D.Lgs. 28/2011 per l'utilizzo degli impianti a fonte rinnovabile (vedi All. 3 c. 6).

Confrontando il fabbisogno in ingresso ai generatori e i consumi effettivi delle bollette si nota una netta differenza

$$\text{Fabbisogno} = 525146 \text{ kWh} = 54139 \text{ m}^3$$

	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	
Gas metano	34.888,05	35.984,44	39.240,87	36.819,00	-	-	m ³

Questa differenza è normale e la giustificazione principale è data dal fatto che la metodologia di calcolo che viene adottata nella normale redazione di un APE, è basata sul calcolo dei consumi 24ore/24 per tutti i giorni del mese.

C'è la necessità quindi di una valutazione adattata all'utenza e non standard per tarare il modello.

II.1.5 Modello Tailored

Si definiscono per le zone termiche le condizioni di utilizzo reale come segue

Figura 25: Condizioni di utilizzo reale Zona autonoma e principale

► RISCALDAMENTO. zona autonoma: specifica i dati nelle condizioni di utilizzo reale

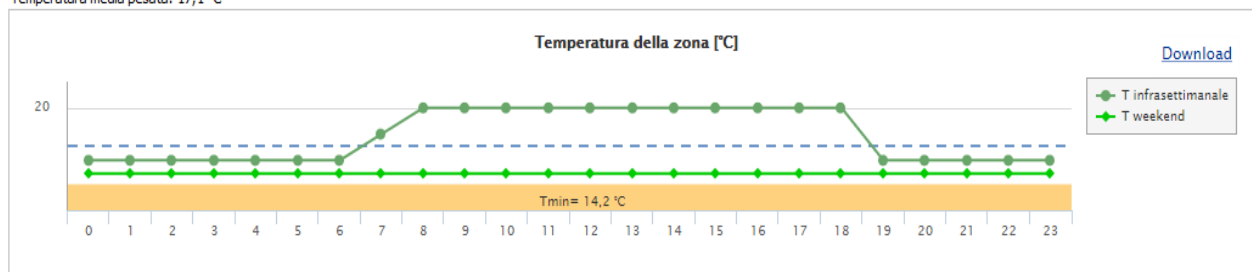
☒ Modifica il profilo di temperatura interna [Imposta temperatura di zona](#) [Copia profilo](#)

Ora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tint	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	18,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0

☒ Doppio profilo settimanale 2 giorni weekend

Ora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tint	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0

Temperatura media pesata: 17,1 °C



► Apporti interni, ricambi d'aria e fabbisogno ACS

Valori standard

☒ Ricambi d'aria Valore utente 0,50 [1/h] Calcola - Applica a tutte le zone

☐ Apporti interni Valore utente 0 [W] Calcola 618,32 W Applica a tutte le zone

☐ Fabbisogno di ACS Qh,W 0 [kWh] Calcola 0,00 kWh Applica a tutte le zone

▷ RISCALDAMENTO. zona principale: specifica i dati nelle condizioni di utilizzo reale

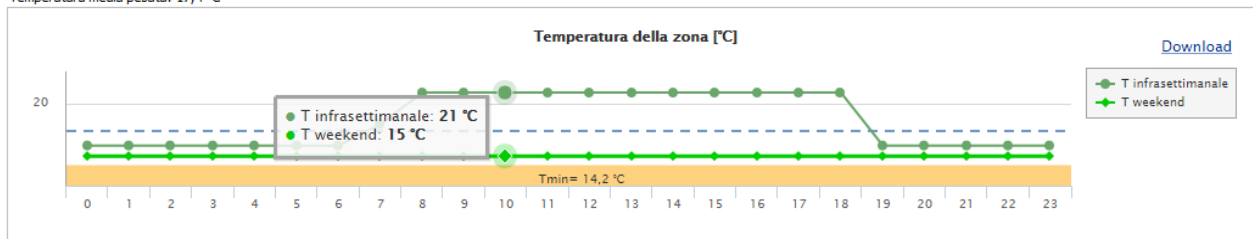
☒ Modifica il profilo di temperatura interna [Imposta temperatura di zona](#) [Copia profilo](#)

Ora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tint	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	18,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	

☒ Doppio profilo settimanale 2 giorni weekend

Ora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Tint	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	

Temperatura media pesata: 17,4 °C



▷ Apporti interni, ricambi d'aria e fabbisogno ACS

☒ Ricambi d'aria Valore utente 0,70 [1/h] Calcola Valori standard Applica a tutte le zone

☒ Apporti interni Valore utente 7000 [W] Calcola 7.000,00 W Applica a tutte le zone

☐ Fabbisogno di ACS Qh,W 0 [kWh] Calcola 13.410,99 kWh Applica a tutte le zone

Si procede al calcolo dei consumi effettivi secondo i precedenti profili di utilizzo dell'edificio

Tabella 2.8 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

		Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED
Fabbisogni di energia termica per riscaldamento			
Durata	giorni	183,00	183,00
QH,tr	kWh	372.659,91	304.712,02
QH,ve	kWh	95.810,05	35.928,47
Qsol,e	kWh	8.866,61	8.866,61
Qsol,i	kWh	75.853,23	75.853,23
Qi	kWh	31.114,86	31.114,86
QH,nd	kWh	367.353,27	243.835,01
Fabbisogni di energia termica per ACS			
Qh,W	kWh	13.410,99	13.410,99

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

QpH,ren	kWh	4.545,41	4.385,74
QpH,nren	kWh	555.056,55	377.137,46
QpH,tot	kWh	559.601,95	381.523,19
EpH,ren	kWh/m ²	2,57	2,48
EpH,nren	kWh/m ²	313,39	212,94
EpH,tot	kWh/m ²	315,96	215,41
ηH	-	0,66	0,65
QR,H	%	0,81	1,15

ACS: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

QpW,ren	kWh	6.806,87	6.806,87
QpW,nren	kWh	28.241,29	28.241,29
QpW,tot	kWh	35.048,16	35.048,16
EpW,ren	kWh/m ²	3,84	3,84
EpW,nren	kWh/m ²	15,95	15,95
EpW,tot	kWh/m ²	19,79	19,79
ηW	-	0,47	0,47
QR,W	%	19,42	19,42

Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Qpgl,ren	kWh	11.352,28	11.192,61
Qpgl,nren	kWh	583.297,84	405.378,74
Qpgl,tot	kWh	594.650,12	416.571,36
Epgl,ren	kWh/m ²	6,41	6,32
Epgl,nren	kWh/m ²	329,34	228,88
Epgl,tot	kWh/m ²	335,75	235,20
QR,HWC	%	0,53	0,75
Emissioni di CO2	kg/m ²	66,82	46,72

Metano

Consumo teorico	m ³	54.038,59	36.174,48
Consumo effettivo	m ³	-	36.732,75
Costo teorico	€	48.094,35	32.195,29
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-1,54

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	24.153,79	23.814,07
Consumo effettivo	kWh	-	0,00
Costo teorico	€	4.830,76	4.762,81
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	100,00

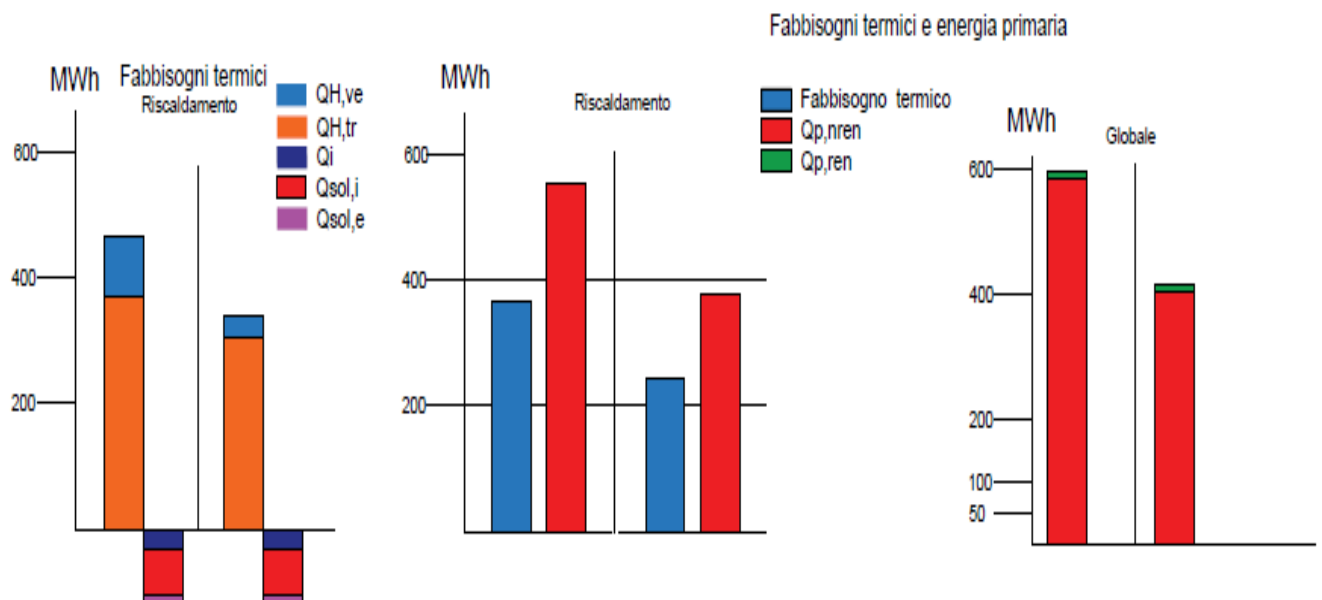
Il parametro K esprime il discostamento percentuale dei consumi stimati rispetto a quelli effettivi delle bollette energetiche.

K energia elettrica assume il valore 100 in quanti non sono state utilizzate bollette elettriche.

I risultati ottenuti mostrano come i fabbisogni effettivi e di conseguenza i consumi siano minori rispetto a quelli di un utilizzo standard.

Il motivo principale è ovviamente legato tempo reale di funzionamento degli impianti, infatti nel caso specifico si ha un doppio profilo di utilizzo settimanale con 2 giorni in cui l'edificio non è occupato. Si nota inoltre come rispetto alle condizioni standard il fabbisogno di ventilazione si discosti maggiormente rispetto a quello dovuto alle dispersioni, causa non solo del periodo di effettiva occupazione ma anche dall'effettiva portata di aria di rinnovo nel periodo di occupazione che evidentemente è inferiore a quella minima di progetto prescritta dalla UNI EN 10339.

Figura 26: Confronto Standard/Tailored



II.2 SCENARI RISPARMIO ENERGETICO

I risultati ottenuti fin qui mostrano come l'edificio caso dello studio faccia parte effettivamente di quella parte di patrimonio immobiliare pubblico individuato dal Piano d'azione nazionale dove è possibile un ampio risparmio energetico infatti il caso in questione presenta un consumo termico annuo il 65% maggiore rispetto a quello medio cui fa riferimento il rapporto (215 contro 130 [kWh/m²anno]).

I dati prestazionali sia di involucro che di impianto infatti sono ampiamente migliorabili come evidenzia in primis il confronto tra i valori calcolati di $E_{ph_{nd}}$ e η_h e quelli dell' "edificio di riferimento".

Ogni scenario sarà valutato anche dal punto di vista economico essendo per l'appunto la valutazione economica parte rilevante della diagnosi energetica.

Ricorrendo alla norma UNI EN 15459 'Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici', sono stati presi in considerazione non soltanto i costi iniziali, ma anche i flussi di cassa in esercizio. L'obiettivo primario consiste nel determinare il VAN, valore attuale netto dell'operazione, a Van positivi corrispondono investimenti efficaci dal punto di vista economico, altrimenti l'intervento è da considerarsi non vantaggioso. Ai fini del calcolo tutti i flussi di cassa devono essere attualizzati all'anno iniziale affinché il bilancio tra costi e ricavi possa essere ricondotto ad un medesimo riferimento temporale. Una volta attualizzati i costi ed i ricavi in esercizio si determina il VAN. Esso sarà pari ad:

$$VAN = \sum_{k=0}^n \frac{C_k}{(1+T_{ir})^k}$$

Dove:

- k sono le scadenze temporali;
- C_k sono i flussi finanziari (positivi o negativi) al tempo k ;
- T_{ir} è il tasso di interesse reale

I costi iniziali fanno riferimento a misure d'efficienza dell'involucro edilizio, costi dei sistemi di approvvigionamento energetico, costi degli eventuali impianti di ventilazione e condizionamento, componenti impiantistici, altri investimenti connessi all'energia come dispositivi esterni di ombreggiamento, automazione di componenti e sistemi edilizi/impiantistici ed ovviamente i costi di installazione.

I costi in esercizio devono tenere conto dell'approvvigionamento, della manutenzione, della sostituzione periodica di un componente in relazione alla sua vita utile, e per finire dello smaltimento se previsto. I ricavi invece possono essere ricavi da risparmio energetico, ricavi periodici da

detrazioni. Per ogni voce di costo occorre considerare la durata della vita, il costo unitario iniziale, il costo unitario di sostituzione, la quantità ed i costi relativi alla manutenzione.

Per la determinazione dei costi abbiamo fatto riferimento al listino dei prezzi del Comune di Milano. Bisogna inoltre determinare una serie di parametri per ogni tipologia di costi/ricavi come per esempio l'importo nominale, le annualità considerate, il fattore di attualizzazione, l'importo totale attualizzato. Il fattore di attualizzazione calcolato in funzione del tasso di interesse equivalente, ed indirizzato a ricondurre i vari flussi di cassa considerati, aventi luogo nel corso dell'intervallo di calcolo, all'anno zero (anno di esecuzione dell'investimento), è fondamentale ai fini del calcolo. Esso sarà pari a

$$f_{pv} = \frac{1 - (1 + T_{ir})^{-y}}{T_{ir}}$$

Dove :

- f_{pv} è il tasso di attualizzazione;
- y è l'anno considerato;
- T_{ir} è il tasso di interesse reale.

Quest'ultimo a sua volta sarà determinato come:

$$T_{ir} = \frac{T_{im} - T_{in}}{1 + T_{in}}$$

Dove:

- T_{im} è il tasso di interesse del mercato;
- T_{in} è il tasso di inflazione.

Un altro importante parametro economico da considerare è l'indice di profittabilità pari ad:

$$i = 1 + \frac{VAN}{C_i}$$

Dove:

- C_i è il costo di investimento

I vettori energetici sono valorizzati come segue:

energia elettrica = $0.2 \text{ €} / kWh_e$,

metano = $0,89 \text{ €} / m^3$

Di seguito mostriamo uno schema che riassume quanto descritto

Figura 27: Schema Analisi Economica



II.2.1 Sostituzione serramenti

Il primo intervento valutato è la sostituzione di tutti i serramenti con un modello a doppi vetri e telaio con taglio termico ombreggiamenti mobili interni e trasmittanza certificata $<1,3 [W/m^2K]$

Tabella 2.9 Intervento sostituzione serramenti

Superficie dell'intervento	481 m ²
Costo unitario	315 €/m ²
Costo intervento	151597 €
Quota incentivabile	40%

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 119,30 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,91 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 220,63 kW

Tabella 3 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

SOSTITUZIONE SERRAMENTI	
F*	
Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED

Fabbisogni di energia termica per riscaldamento

Durata	giorni	183,00	183,00
QH,tr	kWh	241.827,79	197.138,27
QH,ve	kWh	95.810,05	35.928,47
Qsol,e	kWh	8.866,61	8.866,61
Qsol,i	kWh	49.783,95	49.783,95
Qi	kWh	31.114,86	31.114,86
QH,nd	kWh	259.671,71	158.390,42

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

QpH,ren	kWh	4.407,37	4.269,77
QpH,nren	kWh	400.030,61	251.448,55
QpH,tot	kWh	404.437,99	255.718,32
EpH,ren	kWh/m²	2,49	2,41
EpH,nren	kWh/m²	225,86	141,97
EpH,tot	kWh/m²	228,35	144,38
ηH	-	0,65	0,63
QR,H	%	1,09	1,67

Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Qpgl,ren	kWh	11.214,25	11.076,64
Qpgl,nren	kWh	428.271,90	279.689,84
Qpgl,tot	kWh	439.486,15	290.766,48
Epgl,ren	kWh/m²	6,33	6,25
Epgl,nren	kWh/m²	241,81	157,92
Epgl,tot	kWh/m²	248,14	164,17
QR,HWC	%	0,71	1,06
Emissioni di CO2	kg/m²	49,31	32,52

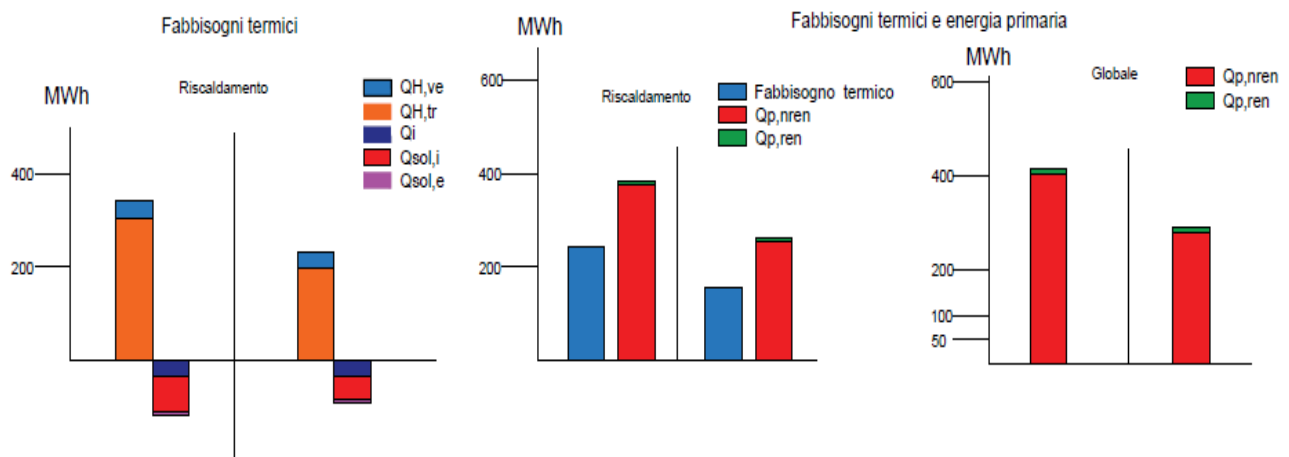
Metano

Consumo teorico	m³	38.472,63	23.555,91
Consumo effettivo	m³	-	-
Costo teorico	€	34.240,64	20.964,76
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	23.860,10	23.567,33
Consumo effettivo	kWh	-	-
Costo teorico	€	4.772,02	4.713,46
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Figura 28: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Effetti positivi:

- 1) diminuzione energia termica dispersa per trasmissione
- 2) miglioramento condizioni di comfort termo-acustico
- 3) miglioramento prestazioni di involucro nella stagione di raffrescamento (Q_{cnd})

Effetti negativi:

- 1) la diminuzione dei guadagni solari dovuto alla minor trasmittanza solare
- 2) la diminuzione dell'efficienza dell'impianto di climatizzazione invernale dovuta ad un fattore di carico minore per il generatore

Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 12580 [m^3] di metano e 245 [kWh] di energia elettrica.

I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 1,47

Tempo di ritorno attualizzato = 9,85 [anni]

VAN = 71522 €

Tabella 3.1 Valutazione economica

Costi,ricavi,incentivi												
	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita							
Costo intervento	iniziali	151596,9	0	20	0,000							
Risparmio gas naturale	periodici	11220	1	20	0,000							
costo energia elettrica	periodici	49	1	20	0,000							
Incentivo	periodici	12000	1	5	0,000							
Valore												
Tasso Interesse mercato R	0,04											
Tasso Inflazione Ri	0,01											
tasso interesse reale	0,02970											
periodo di calcolo	20											
Valori nominali												
anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Costo intervento	151596,9											
benefici incentivi		12000	12000	12000	12000	12000						
Risparmio gas naturale		11220	11220	11220	11220	11220	11220	11220	11220	11220	11220	
costo energia elettrica		49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	
anno		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Costo intervento												
benefici incentivi												
Risparmio gas naturale		11220	11220	11220	11220	11220	11220	11220	11220	11220	11220	
costo energia elettrica		49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
tasso di sconto Rd	1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56	
Andamento annuale												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Costi	151596,90											
benefici en. Elettrica		47,59	46,21	44,88	43,59	42,33	41,11	39,92	38,77	37,65	36,57	
benefici incentivi		11653,85	11317,68	10991,21	10674,15	10366,24						
benefici gas		10896,35	10582,03	10276,78	9980,33	9692,44	9412,85	9141,32	8877,63	8621,55	8372,85	
flussi di cassa	-151596,90	22697,78	21945,92	21312,86	20698,07	20101,01	9453,96	9181,25	8916,40	8659,20	8409,41	
flusso cassa cumulato	-151596,90	-128999,12	-107053,20	-85740,34	-65042,27	-44941,26	-35487,30	-26306,05	-17389,65	-8730,45	-321,04	
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Costi												
benefici en. Elettrica		35,51	34,49	33,49	32,53	31,59	30,68	29,79	28,93	28,10	27,29	
benefici incentivi												
benefici gas		8131,32	7896,77	7668,97	7447,75	7232,92	7024,27	6821,65	6624,87	6433,77	6248,18	
flussi di cassa		8166,83	7931,25	7702,47	7480,28	7264,50	7054,95	6851,44	6653,80	6461,87	6275,47	
flusso cassa cumulato		7845,80	15777,05	23479,51	30959,79	38224,30	45279,25	52130,69	58784,49	65246,36	71521,83	
Indici di valutazione												
Costi residui e valori finali												
IP	1,47											
TR att	9,85 anni											
VAN	71522 euro											
Incentivo	60000											

II.2.2 Isolamento copertura

L'intervento sulla parte opaca di involucro può intervenire su copertura, mura perimetrali e solai verso la parte interrata ecco gli scenari proposti a riguardo:

COPERTURA: applicazione di lastra di XPS ($\lambda=0,035$ [W/m*K]) dello spessore di 15 cm rivestimento con guaina impermeabilizzante

Tabella 3.2 Intervento isolamento copertura

Elemento	Trasmittanza	Nuova trasmittanza	Costo €/m ²	Superficie m ²
Copertura	0.823	0.185	50	1571.7

Costo intervento	78585 €
Quota incentivabile	40,0%

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 149,38 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,91 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 250,70 kW

Tabella 3.3 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

SOSTITUZIONE COPERTURA	
F*	
Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED

Durata	giorni	183,00	183,00
QH,tr	kWh	310.249,16	253.342,94
QH,ve	kWh	95.810,05	35.928,47
Qsol,e	kWh	4.247,81	4.247,81
Qsol,i	kWh	75.853,23	75.853,23
Qi	kWh	31.115,21	31.115,21
QH,nd	kWh	305.385,13	193.721,77

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

QpH,ren	kWh	4.467,66	4.320,34
QpH,nren	kWh	467.329,73	305.492,24
QpH,tot	kWh	471.797,38	309.812,58
EpH,ren	kWh/m ²	2,52	2,44
EpH,nren	kWh/m ²	263,86	172,48
EpH,tot	kWh/m ²	266,38	174,92
η_H	-	0,65	0,63
QR,H	%	0,95	1,39

Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Qpgl,ren	kWh	11.274,53	11.127,21
Qpgl,nren	kWh	495.571,02	333.733,53
Qpgl,tot	kWh	506.845,55	344.860,74
Epgl,ren	kWh/m ²	6,37	6,28
Epgl,nren	kWh/m ²	279,80	188,43
Epgl,tot	kWh/m ²	286,17	194,71
QR,HWC	%	0,62	0,90
Emissioni di CO2	kg/m ²	56,91	38,62

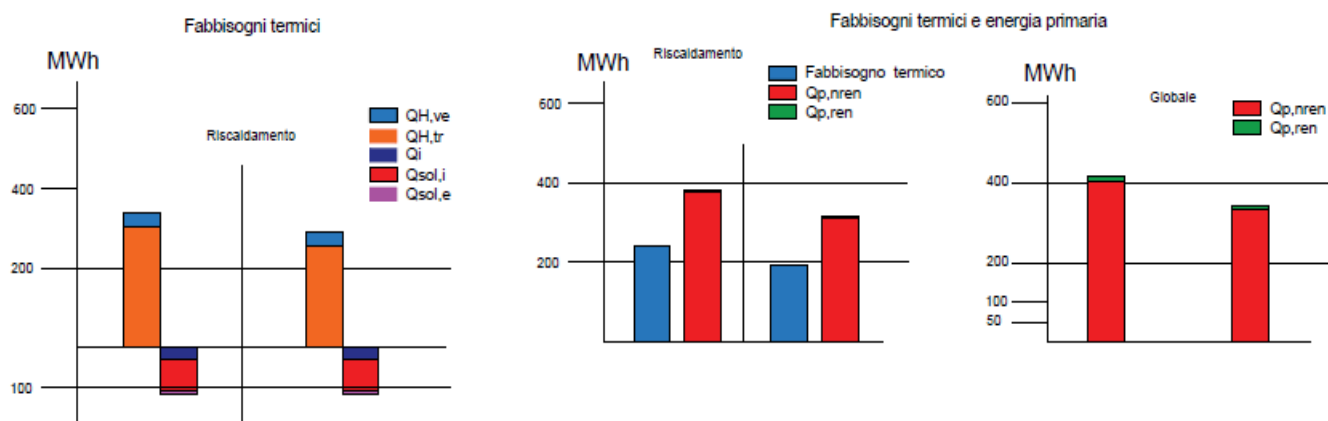
Metano

Consumo teorico	m ³	45.229,91	28.981,35
Consumo effettivo	m ³	-	-
Costo teorico	€	40.254,62	25.793,40
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	23.988,36	23.674,93
Consumo effettivo	kWh	-	-
Costo teorico	€	4.797,67	4.734,98
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Figura 29: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Effetti positivi:

1 diminuzione energia termica dispersa per trasmissione

Effetti negativi:

1 peggioramento prestazioni di involucro nella stagione di raffrescamento (Epc nd)

2 la diminuzione dell'efficienza dell'impianto di climatizzazione invernale dovuta ad un fattore di carico minore per il generatore

Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 7193 [m³] di metano e 245 [kWh] di energia elettrica. I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 1,55

Tempo di ritorno attualizzato = 9,3 [anni]

VAN = 42860 €

Tabella 3.4 Valutazione economica

Costi,ricavi,incentivi												
Costo intervento	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita							
Risparmio gas naturale	Iniziali	78585	0	20	0,000							
costo energia elettrica	periodici	6160	1	20	0,000							
Incentivo	periodici	49	1	20	0,000							
	periodici	6286,8	1	5	0,000							
Valore												
Tasso Interesse mercato R		0,04										
Tasso Inflazione Ri		0,01										
tasso Interesse reale		0,02970										
periodo di calcolo		20										
Valori nominali												
anno		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo intervento		78585										
benefici Incentivi			6286,8	6286,8	6286,8	6286,8	6286,8					
Risparmio gas naturale			6160	6160	6160	6160	6160	6160	6160	6160	6160	6160
costo energia elettrica			49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
anno			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costo intervento												
benefici Incentivi												
Risparmio gas naturale			6160	6160	6160	6160	6160	6160	6160	6160	6160	6160
costo energia elettrica			49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tasso di sconto Rd		1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56
Andamento annuale												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costi		78585,00										
benefici en. Elettrica			47,59	46,21	44,88	43,59	42,33	41,11	39,92	38,77	37,65	36,57
benefici Incentivi			6105,45	5929,33	5758,29	5592,19	5430,88					
benefici gas			5982,31	5809,74	5642,15	5479,40	5321,34	5167,84	5018,77	4873,99	4733,40	4596,86
flussi di cassa		-78585,00	12135,34	11785,29	11445,33	11115,17	10794,54	5208,95	5058,69	4912,76	4771,05	4633,42
flusso cassa cumulato		-78585,00	-66449,66	-54664,37	-43219,04	-32103,87	-21309,33	-16100,38	-11041,69	-6128,93	-1357,88	3275,54
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costi												
benefici en. Elettrica			35,51	34,49	33,49	32,53	31,59	30,68	29,79	28,93	28,10	27,29
benefici Incentivi												
benefici gas			4464,26	4335,48	4210,42	4088,96	3971,01	3856,46	3745,22	3637,18	3532,27	3430,37
flussi di cassa			4499,77	4369,97	4243,91	4121,49	4002,60	3887,14	3775,01	3666,12	3560,36	3457,66
flusso cassa cumulato			7775,31	12145,28	16389,19	20510,68	24513,28	28400,42	32175,43	35841,54	39401,91	42859,57
Indici di valutazione												
Costi residui e valori finali												
IP		1,55										
TR att		9,3 anni										
VAN		42860 euro										
Incentivo		31434										

II.2.3 Isolamento pareti con sostituzione infissi

MURA PERIMETRALI: isolamento continuo con strato di 14 cm di ROCWOOL COSMOS ($\lambda=0,035$ [W/m*K])

Tabella 3.5 Intervento isolamento pareti con sostituzione infissi

Elemento	Trasmittanza	Nuova trasmittanza	Costo [€/m ²]	Superficie intervento [m ²]
Muro perimetrale piano terreno	0.953	0.22	52	150.95
Muro perimetrale piano rialzato	0.71	0.21	52	909.19
Muro perimetrale piano primo	0.71	0.21	52	127.41
Serramenti	varia	1.3	315	481

Costo intervento	210130 €
Quota incentivabile	28% (max 60000)

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 98,67 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,91 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 200 kW

Tabella 3.6 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

E*	
Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED

Fabbisogni di energia termica per riscaldamento

Durata	giorni	183,00	183,00
QH,tr	kWh	196.796,45	156.994,68
QH,ve	kWh	95.810,05	35.105,94
Qsol,e	kWh	6.662,82	6.090,81
Qsol,i	kWh	49.783,95	45.740,00
Qi	kWh	31.114,86	29.563,81
QH,nd	kWh	214.839,85	122.291,82

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

QpH,ren	kWh	4.349,53	4.222,26
QpH,nren	kWh	336.777,57	200.654,25
QpH,tot	kWh	341.127,10	204.876,51
EpH,ren	kWh/m ²	2,46	2,38
EpH,nren	kWh/m ²	190,15	113,29
EpH,tot	kWh/m ²	192,61	115,68
η_H	-	0,64	0,61
QR,H	%	1,28	2,06

Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Qpgl,ren	kWh	11.156,41	11.029,13
Qpgl,nren	kWh	365.018,86	228.895,54
Qpgl,tot	kWh	376.175,26	239.924,67
Epgl,ren	kWh/m ²	6,30	6,23
Epgl,nren	kWh/m ²	206,10	129,24
Epgl,tot	kWh/m ²	212,40	135,47
QR,HWC	%	0,82	1,28
Emissioni di CO2	kg/m ²	42,16	26,78

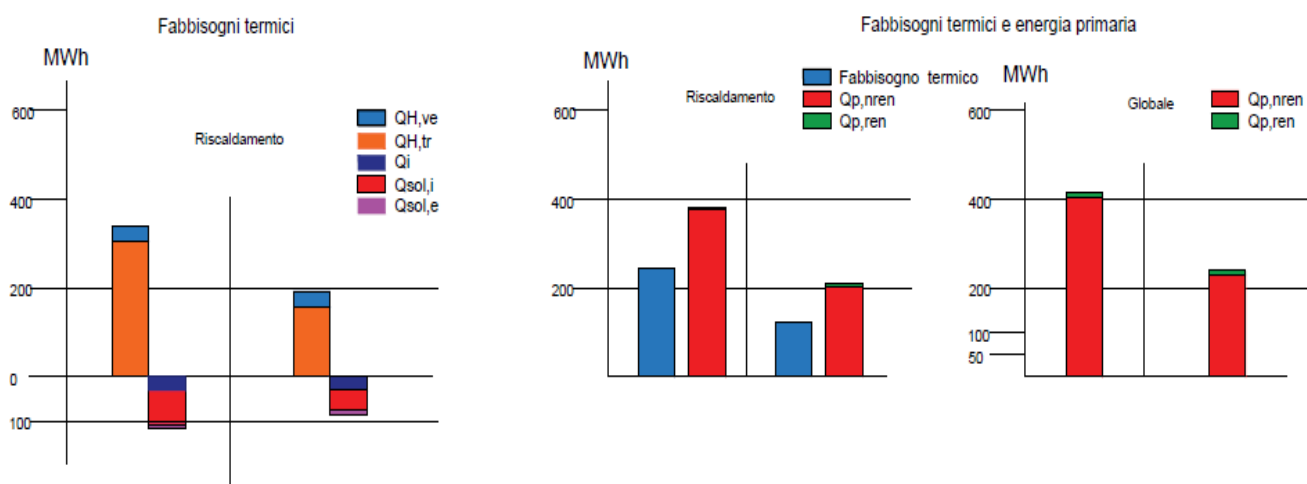
Metano

Consumo teorico	m ³	32.122,11	18.456,68
Consumo effettivo	m ³	-	-
Costo teorico	€	28.588,68	16.426,44
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	23.737,04	23.466,24
Consumo effettivo	kWh	-	-
Costo teorico	€	4.747,41	4.693,25
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Figura 30: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Effetti positivi:

- 1) diminuzione energia termica dispersa per trasmissione
- 2) migliori condizioni comfort termo-acustico
- 3) miglioramento prestazioni di involucro nella stagione di raffrescamento (Epc_{nd})

Effetti negativi:

- 1) la diminuzione dei guadagni solari dovuto alla minor trasmittanza solare
- 2) la diminuzione dell'efficienza dell'impianto di climatizzazione invernale dovuta ad un fattore di carico minore per il generatore

Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 17717 [m^3] di metano e 245 [kWh] di energia elettrica. I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 1,37

Tempo di ritorno attualizzato = 11,9 [anni]

VAN = 77242 €

Tabella 3.7 Valutazione economica

Costi, ricavi, incentivi											
Costo intervento	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita						
Risparmio gas naturale	Iniziali	210130	0	20	0,000						
costo energia elettrica	periodici	15527	1	20	0,000						
Incentivo	periodici	49	1	20	0,000						
	periodici	12000	1	5	0,000						
Valore											
Tasso Interesse mercato R	0,04										
Tasso Inflazione RI	0,01										
tasso Interesse reale	0,030										
periodo di calcolo	20										
Valori nominali											
anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo intervento	210130										
benefici incentivi		12000	12000	12000	12000	12000					
Risparmio gas naturale		15527	15527	15527	15527	15527	15527	15527	15527	15527	15527
costo energia elettrica		49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
anno		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costo intervento											
benefici incentivi											
Risparmio gas naturale		15527	15527	15527	15527	15527	15527	15527	15527	15527	15527
costo energia elettrica		49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tasso di sconto Rd	1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56
Andamento annuale											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costi	210130,00										
benefici en. Elettrica		47,59	46,21	44,88	43,59	42,33	41,11	39,92	38,77	37,65	36,57
benefici incentivi		11653,85	11317,68	10991,21	10674,15	10366,24					
benefici gas		15079,11	14644,13	14221,70	13811,46	13413,06	13026,14	12650,39	12285,47	11931,08	11586,92
flussi di cassa	-210130,00	26780,54	26008,02	25257,79	24529,20	23821,63	13067,25	12690,31	12324,24	11968,73	11623,48
flusso cassa cumulato	-210130,00	-183349,46	-157341,44	-132083,65	-107554,45	-83732,82	-70665,57	-57975,26	-45651,02	-33682,28	-22058,80
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costi											
benefici en. Elettrica		35,51	34,49	33,49	32,53	31,59	30,68	29,79	28,93	28,10	27,29
benefici incentivi											
benefici gas		11252,68	10928,08	10612,85	10306,71	10009,40	9720,67	9440,26	9167,95	8903,49	8646,66
flussi di cassa		11288,19	10962,57	10646,34	10339,24	10040,99	9751,34	9470,06	9196,88	8931,59	8673,94
flusso cassa cumulato		-10770,61	191,96	10838,30	21177,54	31218,52	40969,87	50439,92	59636,80	68568,39	77242,33
Indici di valutazione											
Costi residui e valori finali											
Incentivo	60000 euro										
IP	1,37										
TR att	11,9 anni										
VAN	77242 euro										

II.2.4 Intervento di sostituzione delle caldaie con pompe di calore

L'intervento prevede la sostituzione delle caldaie alimentate a gas con pompe di calore a compressione di vapore aria/acqua, sostituzione e coibentazione rete distribuzione ai corpi scaldanti, sostituzione dei terminali di emissione con fan-coil.

Le P_n potenze termiche nominali di seguito riportate sono riferite a condizioni dell'aria esterna pari a -7°C e temperatura dell'acqua di mandata pari a 35°C , le stesse indicate sul listino prezzi

Tabella 3.8 Intervento sostituzione impianti

Intervento	Costo
Sostituzione generatore 1 PDC $P_n=218,8\text{ kW}$	38593 €
Sostituzione generatore 1 PDC $P_n=186,4$	36593 €
Adeguamento rete distribuzione	17812,6 €
Sostituzione terminali emissione	35750 €
Totale	128748 €

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 176,44 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,91 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 277,77 kW

Tabella 3.9 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

		Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED
Fabbisogni di energia termica per riscaldamento			
Durata	giorni	183,00	183,00
QH,tr	kWh	372.659,91	304.712,02
QH,ve	kWh	95.810,05	35.928,47
Qsol,e	kWh	8.866,61	8.866,61
Qsol,i	kWh	75.853,23	75.853,23
Qi	kWh	31.114,86	31.114,86
QH,nd	kWh	367.353,27	243.835,01

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

QpH,ren	kWh	353.923,52	238.967,42
QpH,nren	kWh	246.427,13	178.494,16
QpH,tot	kWh	600.350,66	417.461,58
EpH,ren	kWh/m ²	199,83	134,93
EpH,nren	kWh/m ²	139,14	100,78
EpH,tot	kWh/m ²	338,97	235,71
ηH	-	1,49	1,37
QR,H	%	58,95	57,24

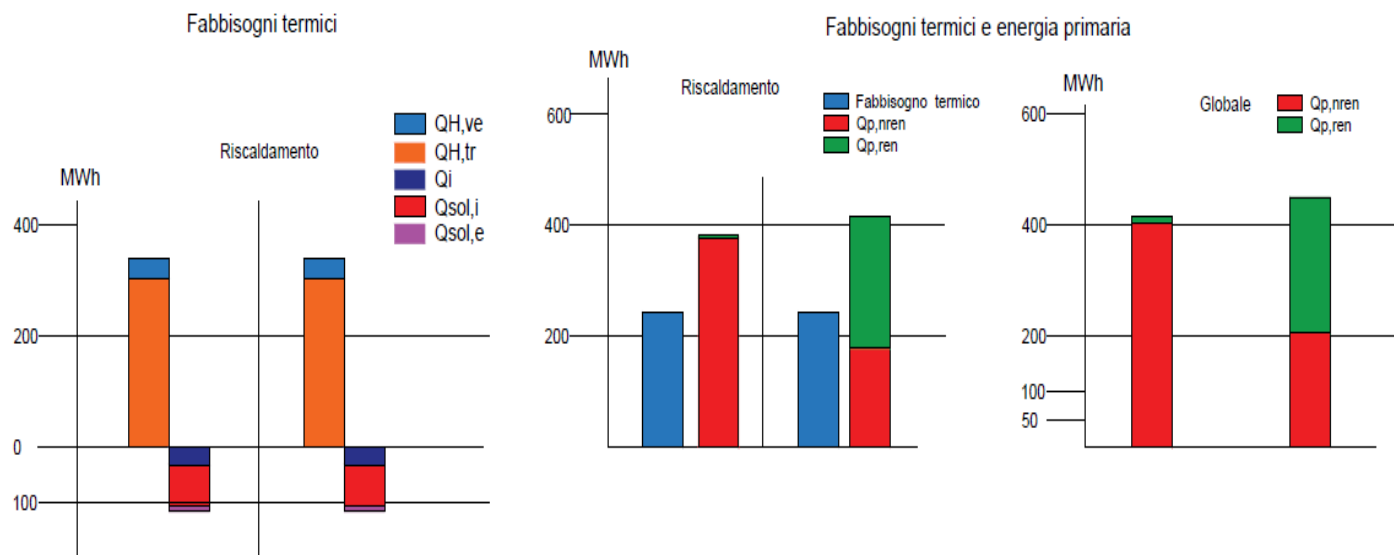
Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Qpgl,ren	kWh	360.730,40	245.774,30
Qpgl,nren	kWh	274.668,42	206.735,45
Qpgl,tot	kWh	635.398,82	452.509,74
Epgl,ren	kWh/m ²	203,67	138,77
Epgl,nren	kWh/m ²	155,08	116,73
Epgl,tot	kWh/m ²	358,76	255,49
QR,HWC	%	15,77	15,09
Emissioni di CO2	kg/m ²	36,58	27,54

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	140.855,59	106.018,20
Consumo effettivo	kWh	-	0,00
Costo teorico	€	28.171,12	21.203,64
Costo effettivo	€	-	-

Figura 31: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 35902 m³ di metano ma comporta un consumo di energia elettrica aggiuntivo pari a 82204 kWh. I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 2,09

Tempo di ritorno attualizzato = 6,5 [anni]

VAN = 140971 €

Tabella 4 Valutazione economica

Costi, ricavi, incentivi												
Costo intervento	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita							
Risparmio gas naturale	Iniziali	128748	0	20	0,000							
costo ene elettrica	periodici	31953	1	20	0,000							
Incentivo	periodici	16441	1	20	0,000							
	periodici	20665	1	5	0,000							
Valore												
Tasso Interesse mercato R		0,04										
Tasso Inflazione RI		0,01										
tasso Interesse reale		0,030										
periodo di calcolo		20										
Valori nominali												
anno		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo intervento		128748										
benefici incentivi			20665	19335								
Risparmio gas naturale			31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica			16441	16441	16441	16441	16441	16441	16441	16441	16441	16441
anno			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costo intervento												
benefici incentivi												
Risparmio gas naturale			31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica			16441	16441	16441	16441	16441	16441	16441	16441	16441	16441
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tasso di sconto Rd		1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56
Andamento annuale												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costi		128748,00										
benefici en. Elettrica			-15966,74	-15506,16	-15058,87	-14624,48	-14202,62	-13792,93	-13395,05	-13008,66	-12633,41	-12268,98
benefici incentivi			20068,89	18235,61								
benefici gas			31031,28	30136,15	29266,83	28422,60	27602,72	26806,48	26033,22	25282,26	24552,97	23844,71
flussi di cassa		-128748,00	35133,43	32865,59	14207,97	13798,12	13400,10	13013,56	12638,17	12273,60	11919,56	11575,72
flusso cassa cumulato		-128748,00	-93614,57	-60748,97	-46541,01	-32742,89	-19342,79	-6329,23	6308,93	18582,53	30502,09	42077,81
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costi			-11915,07	-11571,37	-11237,58	-10913,42	-10598,61	-10292,88	-9995,97	-9707,62	-9427,59	-9155,64
benefici en. Elettrica												
benefici incentivi												
benefici gas			23156,88	22488,89	21840,17	21210,17	20598,34	20004,15	19427,11	18866,71	18322,48	17793,95
flussi di cassa			11241,81	10917,53	10602,60	10296,75	9999,73	9711,28	9431,14	9159,09	8894,89	8638,30
flusso cassa cumulato			53319,62	64237,15	74839,74	85136,50	95136,23	104847,51	114278,65	123437,74	132332,63	140970,93
Indici di valutazione												
Costi residui e valori finali												
Incentivo		40000 euro										
IP		2,09										
TR att		6,5 anni										
VAN		140971 euro										

II.2.4.2 Combinazione di interventi: sostituzione serramenti e inserimento PDC

Tabella 4.1 Intervento sostituzione impianti e serramenti

Intervento	Costo
Sostituzione generatore 2*PDC $P_n=170.1$ kW	63126 €
Adeguamento rete distribuzione	17812 €
Sostituzione terminali emissione	32500 €
Sostituzione serramenti	151597 €
Totale	265035 €

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 119,30 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,91 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 220,63 kW

Tabella 4.2 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

		Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED
Fabbisogni di energia termica per riscaldamento			
Durata	giorni	183,00	183,00
QH,tr	kWh	241.827,79	197.138,27
QH,ve	kWh	95.810,05	35.928,47
Qsol,e	kWh	8.866,61	8.866,61
Qsol,i	kWh	49.783,95	49.783,95
Qi	kWh	31.114,86	31.114,86
QH,nd	kWh	259.671,71	158.390,42

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

QpH,ren	kWh	252.054,85	151.213,42
QpH,nren	kWh	170.672,89	118.806,23
QpH,tot	kWh	422.727,74	270.019,65
EpH,ren	kWh/m ²	142,31	85,38
EpH,nren	kWh/m ²	96,36	67,08
EpH,tot	kWh/m ²	238,68	152,46
η_H	-	1,52	1,33
QR,H	%	59,63	56,00

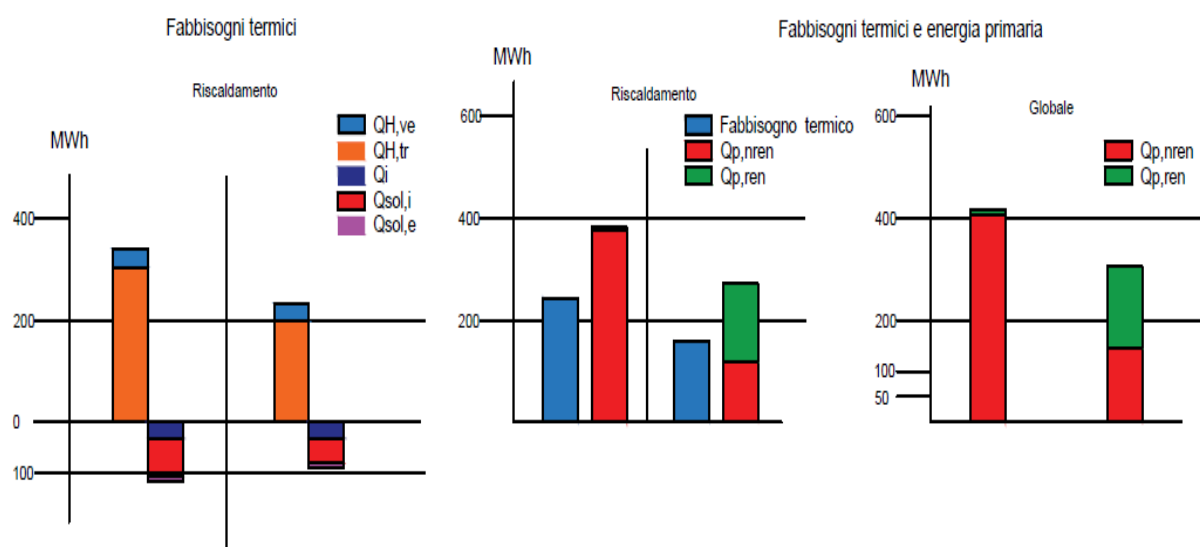
Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Qpgl,ren	kWh	258.861,73	158.020,29
Qpgl,nren	kWh	198.914,18	147.047,52
Qpgl,tot	kWh	457.775,90	305.067,81
Epgl,ren	kWh/m ²	146,16	89,22
Epgl,nren	kWh/m ²	112,31	83,03
Epgl,tot	kWh/m ²	258,47	172,25
QR,HWC	%	15,71	14,39
Emissioni di CO2	kg/m ²	26,49	19,59

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	102.007,30	75.408,98
Consumo effettivo	kWh	-	-
Costo teorico	€	20.401,45	15.081,80
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Figura 32: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 35902 m^3 di metano ma comporta un consumo di energia elettrica aggiuntivo pari a 51594 kWh. I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 1,57

Tempo di ritorno attualizzato = 9,2 [anni]

VAN = 150769 €

Tabella 4.3 Valutazione economica

Costi,ricavi, incentivi											
Costo intervento	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita						
Risparmio gas naturale	Iniziali	265035	0	20	0,000						
costo ene elettrica	periodici	31953	1	20	0,000						
Incentivo impianti	periodici	10319	1	20	0,000						
Incentivo involucro	periodici	17212	1	3	0,000						
		12000	1	5							
	Valore										
Tasso Interesse mercato R	0,04										
Tasso Inflazione Ri	0,01										
tasso Interesse reale	0,030										
periodo di calcolo	20										
Valori nominali											
anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo intervento	265035										
benefici incentivi	29212	29212	17576	12000	12000						
Risparmio gas naturale	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319
anno	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Costo intervento											
benefici incentivi											
Risparmio gas naturale	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319	10319
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi											
tasso di sconto Rd	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56
Andamento annuale											
Costi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
benefici en. Elettrica	265035,00	-10021,34	-9732,26	-9451,52	-9178,88	-8914,11	-8656,97	-8407,25	-8164,73	-7929,21	-7700,48
benefici incentivi		28369,35	27551,00	16098,45	10674,15	10366,24					
benefici gas		31031,28	30136,15	29266,83	28422,60	27602,72	26806,48	26033,22	25282,26	24552,97	23844,71
flussi di cassa	-265035,00	49379,29	47954,89	35913,77	29917,87	29054,85	18149,52	17625,97	17117,53	16623,76	16144,22
flusso cassa cumulato	-265035,00	-215655,71	-167700,83	-131787,06	-101869,19	-72814,34	-54664,82	-37038,85	-19921,32	-3297,56	12846,66
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costi		-7478,35	-7262,63	-7053,13	-6849,68	-6652,09	-6460,20	-6273,85	-6092,87	-5917,12	-5746,43
benefici en. Elettrica		23156,88	22488,89	21840,17	21210,17	20598,34	20004,15	19427,11	18866,71	18322,48	17793,95
benefici incentivi		15678,53	15226,26	14787,04	14360,49	13946,25	13543,95	13153,26	12773,84	12405,36	12047,52
flussi di cassa		28525,18	43751,44	58538,48	72898,98	86845,22	100389,17	113542,43	126316,27	138721,64	150769,15
flusso cassa cumulato											
Indici di valutazione											
Costi residui e valori finali											
Incentivo	100000 euro										
IP	1,569										
TR att	9,2 anni										
VAN	150769 euro										

II.2.4.3 Combinazione di interventi: isolamento copertura e inserimento PDC

Tabella 4.4 Intervento sostituzione impianti e copertura

Intervento	Costo
Sostituzione generatore 1 PDC $P_n=186,4$ kW	36593 €
Sostituzione generatore 1*PDC $P_n=170,1$ kW	31563 €
Adeguamento rete distribuzione	17812 €
Sostituzione terminali emissione	33150 €
Isolamento copertura	78585 €
Totale	197703 €

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 149,38 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,91 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 250,70 kW

Tabella 4.5 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

		Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED
Fabbisogni di energia termica per riscaldamento			
Durata	giorni	183,00	183,00
QH,tr	kWh	310.249,16	253.342,94
QH,ve	kWh	95.810,05	35.928,47
Qsol,e	kWh	4.247,81	4.247,81
Qsol,i	kWh	75.853,23	75.853,23
Qi	kWh	31.114,86	31.114,86
QH,nd	kWh	305.385,43	193.722,04
RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza			
QpH,ren	kWh	298.162,07	186.897,56
QpH,nren	kWh	210.815,47	138.195,99
QpH,tot	kWh	508.977,54	325.093,55
EpH,ren	kWh/m ²	168,35	105,53
EpH,nren	kWh/m ²	119,03	78,03
EpH,tot	kWh/m ²	287,38	183,55
η_H	-	1,45	1,40
QR,H	%	58,58	57,49

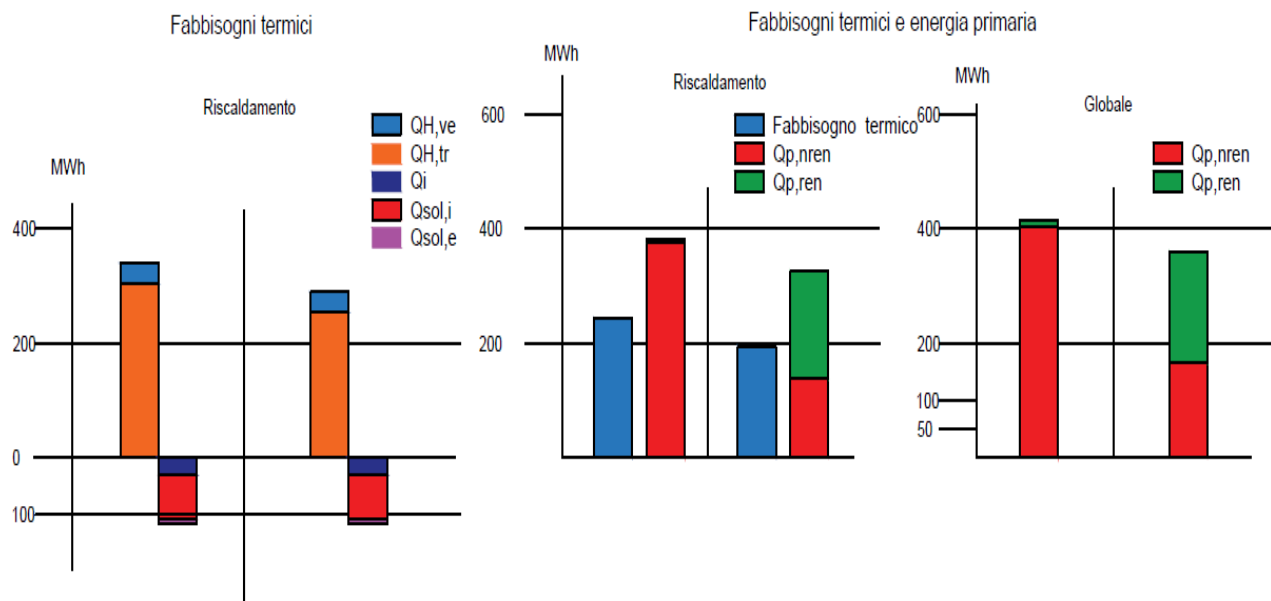
Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Qp _{gl,ren}	kWh	304.968,95	193.704,44
Qp _{gl,nren}	kWh	239.056,76	166.437,28
Qp _{gl,tot}	kWh	544.025,71	360.141,71
Ep _{gl,ren}	kWh/m ²	172,19	109,37
Ep _{gl,nren}	kWh/m ²	134,98	93,97
Ep _{gl,tot}	kWh/m ²	307,17	203,34
QR,HWC	%	15,57	14,94
Emissioni di CO2	kg/m ²	31,84	22,17

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	122.593,20	85.352,45
Consumo effettivo	kWh	-	-
Costo teorico	€	24.518,64	17.070,49
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Figura 33: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 35902 m³ di metano ma comporta un consumo di energia elettrica aggiuntivo pari a 61538 kWh. I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 1,821

Tempo di ritorno attualizzato = 7,5 [anni]

VAN = 162359 €

Tabella 4.6 Valutazione economica

Costi, ricavi, inventivi												
Costo intervento	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita							
Risparmio gas naturale	Iniziali	197703	0	20	0,000							
costo ene elettrica	periodici	31953	1	20	0,000							
Incentivo impianti	periodici	12308	1	20	0,000							
Incentivo involucro	periodici	18646	1	3	0,000							
		6286,8	1	5								
Valore												
Tasso Interesse mercato R		0,04										
Tasso Inflazione Ri		0,01										
tasso interesse reale		0,030										
periodo di calcolo		20										
Valori nominali												
anno		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo intervento		197703										
benefici incentivi		24932,8	24932,8	8994,8	6286,8	6286,8						
Risparmio gas naturale		31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica		12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308
anno												
Costo intervento			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
benefici incentivi												
Risparmio gas naturale			31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica			12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308	12308
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tasso di sconto Rd		1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56
Andamento annuale												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costi		197703,00										
benefici en. Elettrica		-11952,96	-11608,16	-11273,31	-10948,12	-10632,31	-10325,61	-10027,76	-9738,49	-9457,58	-9184,76	
benefici incentivi		24213,58	23515,12	8238,64	5592,19	5430,88						
benefici gas		31031,28	30136,15	29266,83	28422,60	27602,72	26806,48	26033,22	25282,26	24552,97	23844,71	
flussi di cassa		43291,90	42043,10	26232,16	23066,66	22401,28	16480,87	16005,46	15543,77	15095,39	14659,95	
flusso cassa cumulato		-197703,00	-154411,10	-112368,00	-86135,84	-63069,17	-40667,89	-24187,02	-8181,56	7362,21	22457,60	37117,55
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costi												
benefici en. Elettrica			-8919,82	-8662,51	-8412,63	-8169,96	-7934,29	-7705,42	-7483,14	-7267,28	-7057,65	-6854,06
benefici incentivi												
benefici gas			23156,88	22488,89	21840,17	21210,17	20598,34	20004,15	19427,11	18866,71	18322,48	17793,95
flussi di cassa			14237,06	13826,38	13427,54	13040,21	12664,05	12298,74	11943,97	11599,43	11264,83	10939,88
flusso cassa cumulato			51354,61	65180,99	78608,53	91648,74	104312,79	116611,53	128555,49	140154,92	151419,76	162359,64
Indici di valutazione												
Costi residui e valori finali												
Incentivo		71434 euro										
IP		1,82										
TR att		7,5 anni										
VAN		162360 euro										

II.2.4.4 Combinazione di interventi: isolamento pareti perimetrali, sostituzione serramenti e inserimento di PDC

Tabella 4.7 Intervento sostituzione impianti-isolamento pareti perimetrali-serramenti

Intervento	Costo
Sostituzione generatori 2*PDC $P_n=148,8$ kW	57648 €
Adeguamento rete di distribuzione	17812 €
Sostituzione terminali emissione	31850 €
Muro perimetrale piano terreno	7849 €
Muro perimetrale piano rialzato	47227 €
Muro perimetrale piano primo	6624 €
Sostituzione serramenti	151597 €
Totale	320607 €

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 98,67 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,91 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 200 kW

Tabella 4.8 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

		Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED
Fabbisogni di energia termica per riscaldamento			
Durata	giorni	183,00	183,00
QH,tr	kWh	196.796,45	156.994,68
QH,ve	kWh	95.810,05	35.105,94
Qsol,e	kWh	6.662,82	6.090,81
Qsol,i	kWh	49.783,95	45.740,00
Qi	kWh	31.114,86	29.563,81
QH,nd	kWh	214.839,85	122.291,82

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

QpH,ren	kWh	209.057,49	116.376,74
QpH,nren	kWh	144.959,34	100.448,43
QpH,tot	kWh	354.016,83	216.825,17
EpH,ren	kWh/m ²	118,04	65,71
EpH,nren	kWh/m ²	81,85	56,71
EpH,tot	kWh/m ²	199,88	122,42
ηH	-	1,48	1,22
QR,H	%	59,05	53,67

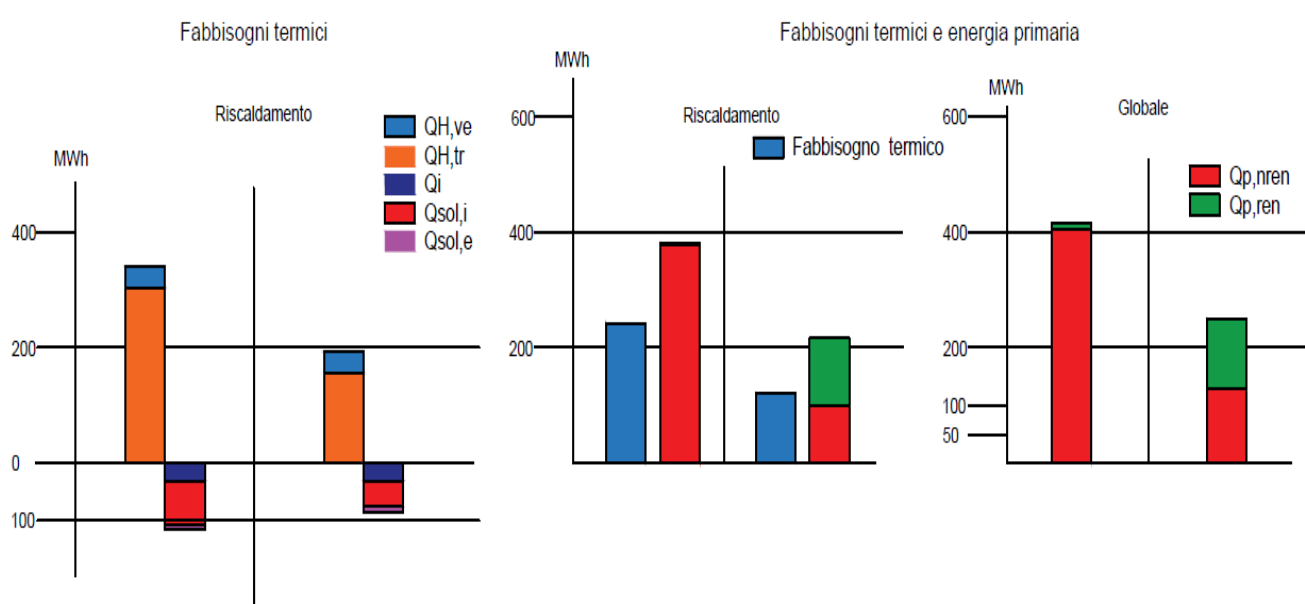
Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Qpgl,ren	kWh	215.864,37	123.183,61
Qpgl,nren	kWh	173.200,63	128.689,72
Qpgl,tot	kWh	389.065,00	251.873,33
Epgl,ren	kWh/m ²	121,88	69,55
Epgl,nren	kWh/m ²	97,79	72,66
Epgl,tot	kWh/m ²	219,67	142,21
QR,HWC	%	15,41	13,59
Emissioni di CO2	kg/m ²	23,07	17,14

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	88.820,84	65.994,73
Consumo effettivo	kWh	-	-
Costo teorico	€	17.764,17	13.198,95
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	-

Figura 34: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 35902 m^3 di metano ma comporta un consumo di energia elettrica aggiuntivo pari a 42180 kWh. I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 1,38

Tempo di ritorno attualizzato = 11,6 [anni]

VAN = 123202 €

Tabella 4.9 Valutazione economica

Costi,ricavi,inventivi											
Costo intervento	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita						
Risparmio gas naturale	Iniziali	320607	0	20	0,000						
costo ene elettrica	periodici	31953	1	20	0,000						
Incentivo impianti	periodici	8437	1	20	0,000						
Incentivo involucro	periodici	16351	1	3	0,000						
	periodici	12000	1	5							
	Valore										
Tasso Interesse mercato R	0,04										
Tasso Inflazione RI	0,01										
tasso Interesse reale	0,03										
periodo di calcolo	20										
Valori nominali											
anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo intervento	320607										
benefici incentivi		28351	28351	19298	12000	12000					
Risparmio gas naturale		31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica		8437	8437	8437	8437	8437	8437	8437	8437	8437	8437
anno		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costo intervento											
benefici incentivi											
Risparmio gas naturale		31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica		8437	8437	8437	8437	8437	8437	8437	8437	8437	8437
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi											
tasso di sconto Rd	1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56
Andamento annuale											
Costi	320607,00										
benefici en. Elettrica		-8193,63	-7957,27	-7727,73	-7504,82	-7288,33	-7078,09	-6873,92	-6675,63	-6483,06	-6296,05
benefici incentivi		27533,18	26738,96	17675,69	10674,15	10366,24					
benefici gas		31031,28	30136,15	29266,83	28422,60	27602,72	26806,48	26033,22	25282,26	24552,97	23844,71
flussi di cassa	-320607,00	50370,84	48917,83	39214,79	31591,93	30680,63	19728,39	19159,30	18606,63	18069,90	17548,65
flusso cassa cumulato	-320607,00	-270236,16	-221316,33	-182103,54	-150511,61	-119830,98	-100102,59	-80943,29	-62336,66	-44266,76	-26718,11
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costi											
benefici en. Elettrica		-6114,44	-5938,06	-5766,77	-5600,42	-5438,87	-5281,98	-5129,61	-4981,64	-4837,94	-4698,39
benefici incentivi											
benefici gas		23156,88	22488,89	21840,17	21210,17	20598,34	20004,15	19427,11	18866,71	18322,48	17793,95
flussi di cassa		17042,44	16550,83	16073,41	15609,75	15159,47	14722,18	14297,50	13885,07	13484,54	13095,56
flusso cassa cumulato		-9675,66	6875,17	22948,58	38558,33	53717,79	68439,97	82737,47	96622,54	110107,08	123202,64
Indici di valutazione											
Costi residui e valori finali											
Incentivo	100000 euro										
IP	1,384										
TR att	11,6 anni										
VAN	123203 euro										

II.2.5 Combinazione di interventi: isolamento copertura, isolamento pareti perimetrali, sostituzione serramenti, isolamento componenti controterra, inserimento di PDC e installazione di pannelli fotovoltaici (NZEB)

COPERTURA: applicazione di lastra di XPS ($\lambda=0,035$ [W/m²K]) dello spessore di 15 cm rivestimento con guaina impermeabilizzante

MURA PERIMETRALI: isolamento continuo con strato di 14 cm di ROCWOOL COSMOS ($\lambda=0,035$ [W/m²K])

SOLAI VERSO INTERRATO: isolamento con strato di 10 cm di ROCWOOL COSMOS ($\lambda=0,035$ [W/m²K])

INSTALLAZIONE di 400 m² di pannelli fotovoltaici

Tabella 5 Intervento Ristrutturazione primo livello involucro-impianti NZEB

Elemento	Trasmittanza	N Trasmittanza	Costo [€/m ²]	Sup. intervento [m ²]
Muro perimtrale piano terreno	0.953	0.22	52	150
Muro perimetrale piano rialzato	0.71	0.21	52	909
Muro perimetrale piano primo	0.71	0.21	52	127
Controterra corpo nord	0.527	0.286	25	311
Controterra corpo sud	0.569	0.217	25	1100
Copertura	0.823	0.185	50	1571

Intervento	Costo €
Sostituzione generatori 2*PDC $P_n=119,4$ kW	40094
Installazione pompe ad inverter	2000
Adeguamento rete di distribuzione	17812
Sostituzione terminali emissione	27300
Installazione generatori ACS e PDC	9900

Installazione fotovoltaico	134160
Muro perimetrale p. terreno	7849
Muro perimetrale p. rialzato	47227
Controterra corpo nord	7795,25
Controterra corpo sud	27524
Copertura	78585
Sostituzione serramenti	151597
Totale	551843

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 44 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 65,9 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,4 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 145,3 kW

Tabella 5.1 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

A4*	
Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED

Fabbisogni di energia termica per riscaldamento

Durata	giorni	183,00	164,00
QH,tr	kWh	108.173,24	78.028,71
QH,ve	kWh	93.686,24	29.859,04
Qsol,e	kWh	2.502,22	1.664,63
Qsol,i	kWh	36.382,89	25.349,35
Qi	kWh	30.914,06	26.793,71
QH,nd	kWh	137.178,50	58.425,13

Fabbisogni di energia termica per ACS

Q _{H,W}	kWh	13.410,99	13.410,99
------------------	-----	-----------	-----------

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

Q _{pH,ren}	kWh	130.128,93	16.953,79
Q _{pH,nren}	kWh	73.954,45	27.905,87
Q _{pH,tot}	kWh	204.083,38	44.859,65
E _{pH,ren}	kWh/m ²	73,95	9,63
E _{pH,nren}	kWh/m ²	42,03	15,86
E _{pH,tot}	kWh/m ²	115,98	25,49
η _H	-	1,85	2,09
Q _{R,H}	%	63,76	37,79

ACS: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

Q _{pW,ren}	kWh	13.784,23	14.053,50
Q _{pW,nren}	kWh	2.856,78	2.048,13
Q _{pW,tot}	kWh	16.641,01	16.101,63
E _{pW,ren}	kWh/m ²	7,83	7,99
E _{pW,nren}	kWh/m ²	1,62	1,16
E _{pW,tot}	kWh/m ²	9,46	9,15
η _W	-	4,69	6,55
Q _{R,W}	%	82,83	87,28

Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Q _{pgl,ren}	kWh	143.913,15	31.007,28
Q _{pgl,nren}	kWh	76.811,24	29.954,00
Q _{pgl,tot}	kWh	220.724,39	60.961,28
E _{pgl,ren}	kWh/m ²	81,78	17,62
E _{pgl,nren}	kWh/m ²	43,65	17,02
E _{pgl,tot}	kWh/m ²	125,43	34,64
Q _{R,HWC}	%	18,11	14,13
Emissioni di CO ₂	kg/m ²	10,30	4,02

Energia elettrica

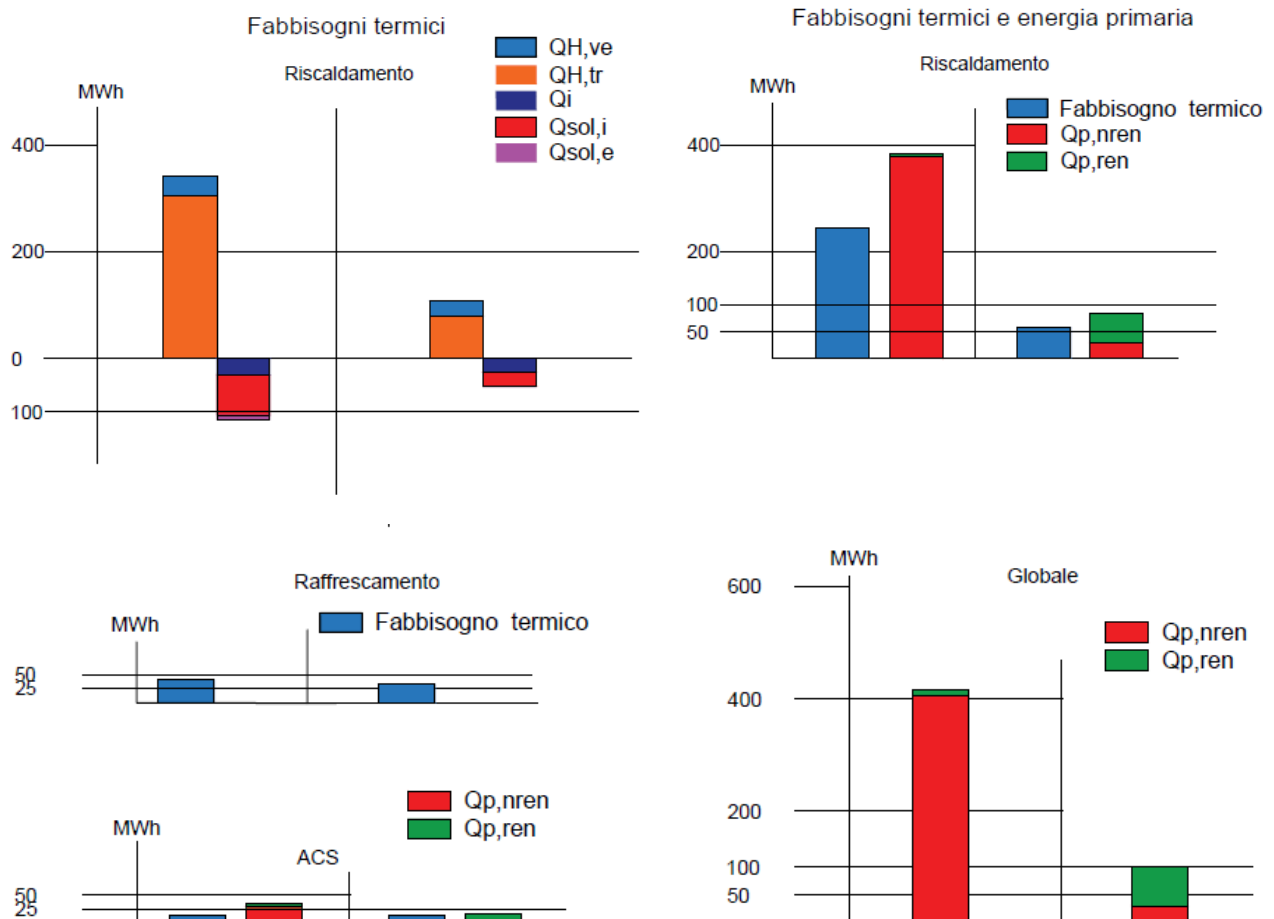
Consumo teorico	kWh	39.390,38	15.361,02
Consumo effettivo	kWh	-	0,00
Costo teorico	€	7.878,08	3.072,21
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	100,00

Di seguito mostriamo la produzione da fotovoltaico

Prod. Fotovoltaico	Um.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
	kWh	1.772,17	2.417,33	4.267,67	5.600,00	6.871,67	8.015,00	8.426,83	6.907,83	5.320,00	2.893,33	1.505,00	1.302,00	55.298,83

I risultati sopra riportati, alla voce QpH_{ren} , non comprendono la quota di energia rinnovabile termica in ingresso alle pompe di calore, al contrario essa è presente nei grafici sottostanti.

Figura 35: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 35902 m^3 di metano ma comporta un consumo di energia elettrica aggiuntivo pari a 50439 kWh . I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 1,73

Tempo di ritorno attualizzato = 5,8 [anni]

VAN = 404164 €

Tabella 5.2 Valutazione economica

Costi, ricavi, incentivi											
	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita						
Costo intervento	Iniziali	551843	0	20	0,000						
Risparmio gas naturale	periodici	31953	1	20	0,000						
costo ene elettrica	periodici	-10087,8	1	20	0,000						
Incentivo NZEB	periodici	71739,59	1	5	0,000						
Valore											
Tasso Interesse mercato R	0,04										
Tasso Inflazione Ri	0,01										
tasso interesse reale	0,030										
periodo di calcolo	20										
Valori nominali											
anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo intervento	551843										
benefici incentivi		71739,59	71739,59	71739,59	71739,59	71739,59					
Risparmio gas naturale		31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica		-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8
anno		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costo intervento											
benefici incentivi											
Risparmio gas naturale		31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica		-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8	-10087,8
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tasso di sconto Rd	1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56
Andamento annuale											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costi	551843,00										
benefici en. Elettrica		9796,81	9514,21	9239,76	8973,23	8714,38	8463,01	8218,88	7981,80	7751,55	7527,95
benefici incentivi		69670,18	67660,46	65708,72	63813,27	61972,51					
benefici gas		31031,28	30136,15	29266,83	28422,60	27602,72	26806,48	26033,22	25282,26	24552,97	23844,71
flussi di cassa	-551843,00	110498,26	107310,81	104215,31	101209,10	98289,61	95269,49	92252,10	89236,06	86230,42	83237,66
flusso cassa cumulato	-551843,00	-441344,74	-334033,92	-229818,61	-128609,52	-30319,91	4949,58	39201,68	72465,74	104770,26	136142,92
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costi											
benefici en. Elettrica		7310,80	7099,91	6895,11	6696,21	6503,05	6315,46	6133,28	5956,36	5784,54	5617,68
benefici incentivi											
benefici gas		23156,88	22488,89	21840,17	21210,17	20598,34	20004,15	19427,11	18866,71	18322,48	17793,95
flussi di cassa		30467,68	29588,80	28735,28	27906,38	27101,39	26319,61	25560,39	24823,08	24107,03	23411,63
flusso cassa cumulato		166610,59	196199,40	224934,68	252841,05	279942,44	306262,05	331822,45	356645,52	380752,55	404164,18
Indici di valutazione											
Costi residui e valori finali											
Incentivo	358697,95 euro										

II.3 SCENARI DI RISPARMIO ENERGETICO CON VMC

In questo capitolo tratteremo dei scenari che presentano un servizio precedentemente non considerato ovvero la ventilazione meccanica e tutto ciò che essa comporta. La norma a cui abbiamo fatto riferimento per la determinazione delle portate di immissione è la UNI EN 10339 “Impianti aeraulici per la climatizzazione. Classificazione, prescrizioni e requisiti prestazionali per la progettazione e la fornitura” e ovviamente la UNI 11300.

Gli impianti aeraulici devono garantire le condizioni di qualità dell'aria interna desiderate, fondamentali per la salute e il benessere delle persone. Le proprietà dell'aria infatti sono strettamente correlate alle concentrazioni dei contaminanti in essa presenti e di conseguenza un impianto che permetta attraverso la filtrazione l'abbattimento delle sostanze nocive, e che soddisfi i carichi di riscaldamento ed umidificazione risulta necessario.

Abbiamo previsto un impianto con trattamento dell'aria centralizzato, un'unità centrale che provvede alla filtrazione e al trattamento dell'aria esterna.

Prima di tutto abbiamo calcolato la portata di immissione tenendo conto della destinazione d'uso dell'edificio in esame.

II.3.1 Determinazione portata minima di immissione

La portata di aria esterna nominale è stata calcolata secondo la seguente formula presente nella UNI EN 10339:

$$Q_{v,o,n} = n \cdot q_{v,o,p} + A \cdot q_{v,o,s}$$

Dove

$Q_{v,o,n}$ è la portata volumica di aria esterna nominale espressa in $10^{-3}m^3s^{-1}$;

n è l'affollamento di riferimento, ovvero numero di persone previste a progetto o calcolate mediante l'indice di affollamento per unità di superficie, n_s espressa in m^2 , con l'equazione:

$$n = n_s \cdot A$$

$q_{v,o,p}$ portata volumica di aria esterna minima per persona, espressa in $10^{-3}m^3s^{-1}p^{-1}$;

A area della superficie del locale in pianta, espressa in m^2 ;

$q_{v,o,s}$ portata volumica di aria esterna minima per unità di superficie espressa in $10^{-3}m^3s^{-1}m^{-2}$.

Gli indici di affollamento per unità di superficie, n_s , fissati solamente per i locali dove è prevista la permanenza di persone, sono espressamente riportati nel Prospetto 13 della norma.

Tabella 5.3 Indici di affollamento

EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE E ASSIMILABILI	
• asili nido e scuole materne (scuole dell'infanzia)	0,42
• aule scuole elementari (primarie di primo grado)	0,55
• aule scuole medie inferiori (primarie di secondo grado)	0,55
• aule scuole medie superiori (secondarie di secondo grado)	0,51
• aule universitarie	0,5
• servizi	
• biblioteche, sale lettura	0,3
• aule musica e lingue	0,2
• laboratori chimici/biologici	
• laboratori	0,5
• sale insegnanti	0,7

D'altro canto invece i valori di aria esterna minima per persona, $q_{v,o,p}$, e di portata volumica di aria esterna minima per unità di superficie, $q_{v,o,s}$, sono espressamente indicati nel Prospetto 14 a seconda della destinazione d'uso degli ambienti e della classe di qualità dell'aria interna.

Tabella 5.4 Determinazione $q_{v,o,p}$, $q_{v,o,s}$

Destinazione d'uso dell'edificio e dell'ambiente	Portata per persona			Portata per superficie			Portata di estrazione		Nota
	$q_{v,o,p}$ [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ per persona]			$q_{v,o,s}$ [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ m ⁻²]			$Q_{v,e}$ [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹]	[h ⁻¹]	
	Elevata	Media	Bassa	Elevata	Media	Bassa			
ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE E ASSIMILABILI									
• asili nido e scuole materne (scuole per l'infanzia)	7,5	6	4,5	1,25	1,0	0,75			g
• aule scuole elementari (prima- rie di primo grado)	7,5	6	4,5	0,63	0,5	0,38			g
• aule scuole medie inferiori (primarie di secondo grado)	7,5	6	4,5	0,63	0,5	0,38			g
• aule scuole medie superiori (secondarie di secondo gra- do)	7,5	6	4,5	0,63	0,5	0,38			g
• aule universitarie	7,5	6	4,5	0,63	0,5	0,38			
• bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo							8	b
	Estrazioni in funzionamento discontinuo							16	b
• biblioteche, sale lettura	6,9	5,5	4,1	0,63	0,5	0,38			
• aule musica e lingue	6,9	5,5	4,1	0,38	0,3	0,23			
• laboratori chimici/biologici	Estrazione							5	

Di seguito mostriamo le portate relative ad ogni singolo locale della scuola di infanzia.

Tabella 5.5 Determinazione portata effettiva

LOCALE	SUP UTILE [m ²]	H NETTA [m]	SUP LORDA	indice di n persone	Q l/s	
Aula 1	55,51	4,57	67,04	0,42	23,3142	219
Antibagno 1	19,05	4,57	23,01	0		19
Wc1	27,83	4,57	33,61	0		283
Corridoio	120,16	4,57	145,12	0	0	120
Aula 5	56,3	4,57	68	0,42	23,646	222
Aula 6	55,23	4,57	66,7	0,42	23,1966	218
Ripostiglio 1	14,99	4,57	18,1	0	0	15
Spogliatoio	31,57	4,57	38,13	0	0	32
Vano scala	84,15	4,57	101,63	0	0	84
Aula 4	54,98	4,57	66,4	0,42	23,0916	217
Aula 3	55,3	4,57	66,79	0,42	23,226	218
Aula 2	55,68	4,57	67,25	0,42	23,3856	219
Corridoio 2	54,84	4,57	66,23	0	0	55
WC 2	14,99	4,57	18,1	0	0	152
Antibagno 2	5,02	4,57	6,06	0	0	5
WC 3	17,97	3,3	21,7	0	0	132
Corridoio 3	40,45	3,3	48,85	0	0	40
Corridoio 4	37,54	3,3	45,34	0	0	38
Aula 7	27,17	3,3	32,81	0,42	11,4114	107
Sala Medica	20,67	3,3	24,96	0	0	21
Sala Medica	18,72	3,3	22,61	0	0	19
Vano Scale	49,69	3,3	60,01	0	0	50
Rigoverno	30,6	3,3	36,96	0	0	31
Spazio Colle	177,03	3,3	213,81	0,05	8,8515	239
Vano Scala	29,18	2,75	35,24	0	0	29
Spogliatoio	11,31	2,75	13,66	0	0	11
Spazio Polif	25,82	2,75	31,18	0,1	2,582	44
Corridoio Pi	3,8	2,75	4,59	0	0	4
Spazio Colle	259,4	5,44	313,29	0,05	12,97	350
Polifunzion	111,56	3,57	134,74	0,1	11,156	190
Polifunzion	38,63	3,57	46,66	0	0	39
Corridoio in	40,24	4,57	51,73	0	0	40
Laboratorio	20,27	4,57	26,06	0,1	2,027	34
Atrio Ingres	28,43	4,57	36,55	0,1	2,843	48
Antibagno 4	9,19	4,57	11,81	0	0	9
WC 4	10,09	4,57	12,97	0	0	102
Spazio Inse	17,97	4,57	23,1	0,1	1,797	31
Direzione	20,47	4,57	26,31	0,1	2,047	35
Ripostiglio 3	2,72	4,57	3,5	0	0	3
WC 5	5,2	4,57	6,68	0	0	53
					195,5449	3774

La portata complessiva risulta quindi, tenendo conto dei fattori correttivi, pari a $13587 \text{ m}^3/h$.

II.3.2 Metodologia calcolo fabbisogno UTA con PDC

Per il calcolo del fabbisogno di energia termica per il trattamento dell'aria abbiamo cercato una metodologia in grado di produrre dei risultati il più rappresentativi possibili, in quanto la procedura indicata nella norma 11300 non solo non tiene conto del carico di umidificazione necessario, ma prende in considerazione dei valori della temperatura esterna medi mensili e da ciò ovviamente non ne consegue una corrispondenza con i consumi reali. Infatti secondo norma il fabbisogno di energia termica di una batteria all'interno dell'unità di trattamento dell'aria è dato dalla seguente equazione:

$$Q_{h,risc,nd} = \rho_a \cdot c_a \cdot q_{ve,k} \cdot \beta_k \cdot FC_{ve,k} \cdot (\theta_{out} - \theta_{in})$$

dove:

- $Q_{h,risc,nd}$ è il fabbisogno di energia termica
- $\rho_a \cdot c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a $1200 \text{ J/m}^3\text{K}$;
- $q_{ve,k}$ è la portata nominale del flusso d'aria m^3/h ;
- β_k è la frazione dell'intervallo temporale di calcolo con la ventilazione meccanica funzionante per il flusso d'aria k-esimo;
- $FC_{ve,k}$ è il fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica;
- θ_{in} è la temperatura dell'aria all'entrata della batteria;
- θ_{out} è la temperatura in uscita della batteria.

Per avere dei risultati maggiormente fedeli ai consumi reali abbiamo considerato i dati orari della temperatura e dell'umidità dell'aria esterna. Tali dati sono stati raccolti dal portale del Comitato Termotecnico Italiano.

Abbiamo considerato la seguente trasformazione di riscaldamento, l'aria filtrata attraversa un recuperatore rotativo la cui efficienza sensibile è pari a 0,7, per poi attraversare la prima batteria di riscaldamento, l'umidificatore, la batteria di post riscaldamento, il filtro F8 e il silenziatore. A sua volta la ripresa sarà filtrata prima di attraversare il silenziatore, il recuperatore rotativo e il ventilatore di ripresa.

Di conseguenza per il calcolo del fabbisogno abbiamo tenuto conto del carico orario di riscaldamento sia sensibile che latente, utilizzando la seguente formula:

$$Q_{h,risc,nd} = q_{ve} \cdot \rho_a \cdot (h_{int} - h_{prec})$$

dove

- q_{ve} è la portata nominale dell'impianto in m^3/s ;
- ρ_a è la densità dell'aria pari a $1,2 \text{ Kg}/m^3$);
- h_{int} è l'entalpia dell'aria nelle condizioni di immissione KJ/Kg;
- h_{prec} è l'entalpia dell'aria nelle condizioni all'uscita del recuperatore KJ/Kg;

Abbiamo effettuato la procedura appena descritta quando l'umidità dell'aria esterna non risultava sufficiente per le condizioni di immissione, altrimenti quando il valore di umidità assoluta eccedeva i $7,5 \text{ g/Kg}$ abbiamo considerato soltanto l'apporto di carico sensibile, ovvero:

$$Q_{h,risc,nd} = q_{ve} \cdot c_{p_a} \cdot (\theta_{int} - \theta_{prec})$$

dove

- c_{p_a} è il calore specifico dell'aria pari a $1,02 \text{ KJ/Kg K}$;
- θ_{int} è la temperatura dell'aria di immissione;
- θ_{prec} è la temperatura dell'aria all'uscita del recuperatore.

Una volta ricavati i carichi termici da soddisfare per mezzo dell'unità di trattamento dell'aria abbiamo ricavato i consumi elettrici considerando il coefficiente di prestazione COP, delle pompe di calore, alle diverse condizioni esaminate durante l'arco dell'intero anno. Nello stesso tempo abbiamo considerato i consumi elettrici per il moto dell'aria, di cui forniremo i valori ricavati nel prossimo paragrafo.

Ovviamente, come tutti i generatori, anche le pompe di calore subiscono una modifica del coefficiente di prestazione (COP) quando il carico applicato risulta inferiore alla potenza massima che la macchina può fornire. La UNI/TS 11300 tratta di questo argomento introducendo un fattore correttivo da applicare al COP dichiarato dal costruttore nelle prestazioni a pieno carico. La norma appena citata richiama molteplici volte la norma EN 14825 pubblicata da UNI nel maggio 2012 il cui titolo è: "Condizionatori d'aria, refrigeratori di liquido e pompe di calore, con compressore elettrico, per il

riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti. Metodi di prova e valutazione a carico parziale e calcolo del rendimento stagionale”.

Quest’ultima indica i dati che devono fornire i costruttori delle pompe di calore utili ai fini della progettazione, ovvero le prestazioni della macchina in quattro condizioni diverse a cui corrispondono diversi fattori di carico e diversi fattori correttivi del COP, determinati per stabilire gli effettivi consumi.

Quindi ricapitolando una volta determinati i carichi orari richiesti alla pompa di calore, abbiamo ricavato interpolando i dati forniti dal costruttore, le potenze nominali orarie della macchina. Ciò ci ha permesso di determinare i fattori di carico orari ai quali corrispondono i vari fattori correttivi che andranno a moltiplicare il coefficiente di prestazione. Ovviamente a seconda delle condizioni esterne avremo un determinato COP della pompa di calore.

La formula per il calcolo del fattore correttivo f_{cop} indicata dalla 14825 è la seguente:

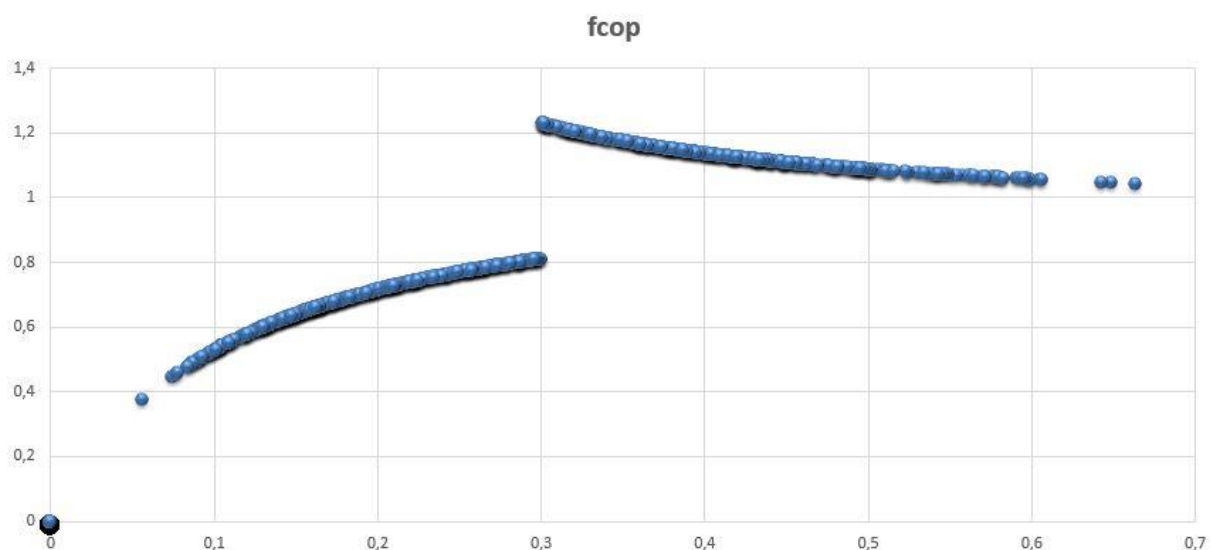
$$f_{cop} = \frac{CR}{(CC \cdot CR + (1 - CC))}$$

Dove:

- CC è un coefficiente che per pompe di calore a potenza variabile (regolazione tramite inverter) assume valore pari a 1,08 fino al valore minimo di modulazione e 0,9 al di sotto di esso. Il carico minimo di modulazione dichiarato nel nostro caso è pari a 0,3
- CR è la capacity ratio, ovvero il rapporto tra la potenza erogata e quella disponibile, nelle medesime condizioni di temperatura, dichiarata dal produttore.

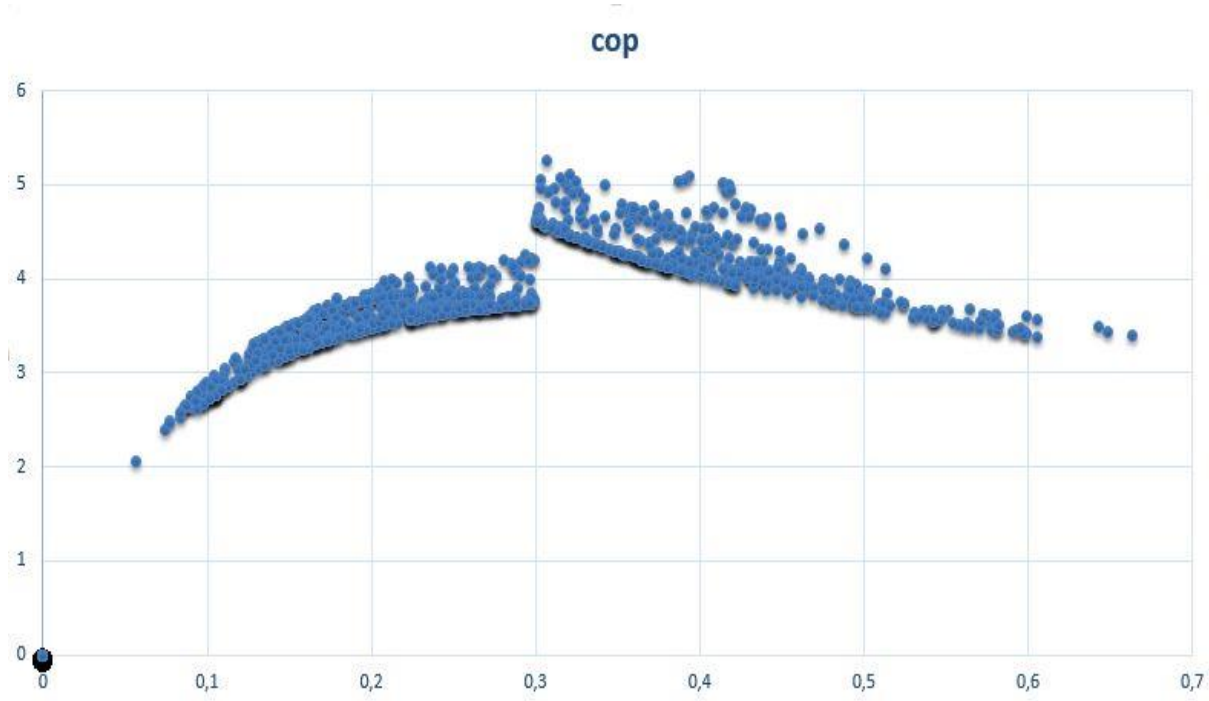
L’andamento dei fattori correttivi a seconda dei fattori di carico è mostrato nel grafico seguente, avente per l’appunto i CR come ascisse e i f_{cop} come ordinate.

Figura 36: f_{cop} in funzione di CR



Ciò ha portato alla determinazione dei COP orari, il cui andamento in funzione del fattore di carico è mostrato nel grafico sottostante

Figura 37: COP in funzione di CR



Come mostrato nei grafici in corrispondenza del fattore di carico pari a 0,3 vi è una discontinuità dovuta al fatto che al di sotto di quel valore cessa la regolazione in frequenza e inizia la modalità ON/OFF.

Il metodo descritto ci ha permesso di stimare i fabbisogni e i consumi dell'UTA in condizione di funzionamento più rappresentativi. Essi sono pari rispettivamente ad 59687 kWh termici ed 14315 kWh elettrici.

II.3.3 Fabbisogni elettrici ventilazione

Per avere una corretta valutazione dell'intervento che presuppone la ventilazione meccanica ovviamente non si possono dimenticare i fabbisogni elettrici per il moto dell'aria.

Abbiamo ricavato tramite i dati orari fornitoci il numero esatto di ore in cui l'impianto di climatizzazione è funzionante. Le perdite di carico complessive sono state stimate pari a 800 Pa per l'immissione e 400 Pa per l'estrazione, di conseguenza il carico di ventilazione sarà:

$$Q_{ve} = \frac{t \cdot \Delta P \cdot qv}{\eta_v \cdot 1000}$$

dove

- Q_{ve} è il fabbisogno espresso in kWh;
- t sono il numero di ore in cui è attivo l'impianto;
- ΔP è la perdita di carico complessiva espressa in Pa;
- qv è la portata complessiva precedentemente ricavata espressa in m^3/s ;
- η_v è la prodotto dei rendimenti meccanico, elettrico, aeraulico pari a 0,7.

Il consumo stimato è quindi pari ad 6040 kWh elettrici per l'immissione e 3020 kWh elettrici per l'estrazione.

II.3.4 Scenario Nzeb con VMC

Tabella 5.6 Intervento Scenario NZEB con VMC

Intervento	Costo €
Sostituzione generatori 1*PDC $P_n=119,4$ kW	20047
Sostituzione generatori 1*PDC $P_n=170,1$ kW	31563
Installazione pompe ad inverter	2000
Adeguamento rete di distribuzione	17812
Sostituzione terminali emissione	27300
Installazione generatori ACS e PDC	9900
Uta	
Serranda	1780
Filtrazione (G3+F6)	3170
Ventilatore immissione	5533
Recuperatore	10537
Batteria preriscaldamento	2319
Umidificazione	3277
Batteria post riscaldamento	2036
Filtrazione (F8)	3170

Silenziatore	1800
Filtrazione G4	1744
Silenziatore	1800
Ventilatore e serranda	7270
Canali aria	34690
Bocchette d'aria	1706
Griglie di ripresa	1776
Installazione fotovoltaico	134160
Muro perimetrale p. terreno	7849
Muro perimetrale p. rialzato	47227
Controterra corpo nord	7795,25
Controterra corpo sud	27524
Copertura	78585
Sostituzione serramenti	151597
Totale	645967

I carichi di progetto sono:

ϕ_t potenza termica dispersa per trasmissione = 44,06 kW

ϕ_v potenza termica dispersa per ventilazione = 103,377 kW

ϕ_{rh} potenza termica di ripresa = 35,42 kW

ϕ_{hl} carico termico totale = 182,85 kW

Tabella 5.7 Risultati Condizioni Standard/ Condizioni Tailored

Fabbisogni di energia termica per riscaldamento

Durata	giorni	183,00	142,00
QH,tr	kWh	108.173,24	68.466,05
QH,ve	kWh	93.686,24	386,31
Qsol,e	kWh	2.502,22	1.181,85
Qsol,i	kWh	36.382,89	18.866,85
Qi	kWh	30.914,06	21.931,23
QH,nd	kWh	137.178,50	29.968,34

Fabbisogni di energia termica per ACS

Q _{h,W}	kWh	13.410,99	13.410,99
------------------	-----	-----------	-----------

RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

Q _{pH,ren}	kWh	130.128,93	12.229,28
Q _{pH,nren}	kWh	73.954,45	10.691,55
Q _{pH,tot}	kWh	204.083,38	22.920,83
E _{pH,ren}	kWh/m ²	73,95	6,95
E _{pH,nren}	kWh/m ²	42,03	6,08
E _{pH,tot}	kWh/m ²	115,98	13,03
η _H	-	1,85	2,80
Q _{R,H}	%	63,76	53,35

ACS: fabbisogni di energia primaria ed efficienza

Q _{pW,ren}	kWh	13.784,23	14.201,90
Q _{pW,nren}	kWh	2.856,78	1.326,69
Q _{pW,tot}	kWh	16.641,01	15.528,59
E _{pW,ren}	kWh/m ²	7,83	8,07
E _{pW,nren}	kWh/m ²	1,62	0,75
E _{pW,tot}	kWh/m ²	9,46	8,82
η _W	-	4,69	10,11
Q _{R,W}	%	82,83	91,46

Energia primaria globale ed efficienza dell'intero edificio

Q _{pgl,ren}	kWh	143.913,15	26.431,18
Q _{pgl,nren}	kWh	76.811,24	12.018,25
Q _{pgl,tot}	kWh	220.724,39	38.449,42
E _{pgl,ren}	kWh/m ²	81,78	15,02
E _{pgl,nren}	kWh/m ²	43,65	6,83
E _{pgl,tot}	kWh/m ²	125,43	21,85
Q _{R,HWC}	%	18,11	19,10
Emissioni di CO ₂	kg/m ²	10,30	1,61

Energia elettrica

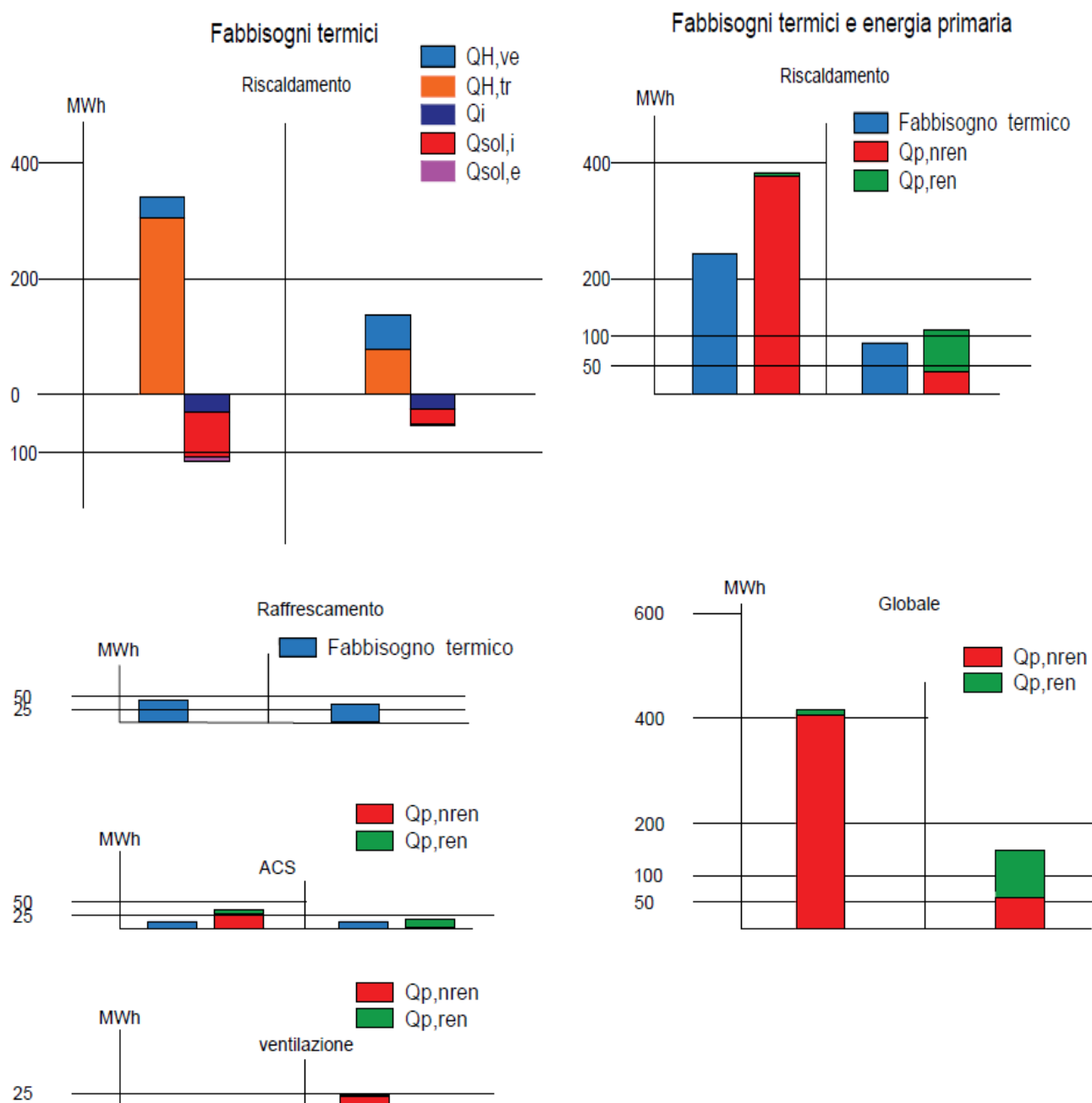
Consumo teorico	kWh	39.390,38	6.163,20
Consumo effettivo	kWh	-	0,00
Costo teorico	€	7.878,08	1.232,64
Costo effettivo	€	-	-
k	%	-	100,00

Di seguito mostriamo la produzione da fotovoltaico

Prod Fotovoltaico	U _m	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
	kWh	1.772,17	2.417,33	4.267,67	5.600,00	6.871,67	8.015,00	8.426,83	6.907,83	5.320,00	2.893,33	1.505,00	1.302,00	55.298,83

I risultati sopra riportati, alla voce $Q_{pH_{ren}}$, non comprendono la quota di energia rinnovabile termica in ingresso alle pompe di calore, al contrario essa è presente nei grafici sottostanti.

Figura 38: Confronto Stato di fatto Condizioni Tailored/ Intervento Condizioni Tailored



Lo scenario proposto consentirebbe quindi di risparmiare annualmente 35902 m^3 di metano ma comporta un consumo di energia elettrica aggiuntivo pari a 36501 kWh. I risultati dell'analisi economica, riportata di seguito, possono essere riassunti dagli indicatori:

Indice di profittabilità = 1,5

Tempo di ritorno attualizzato = 7,5 [anni]

VAN = 324539 €

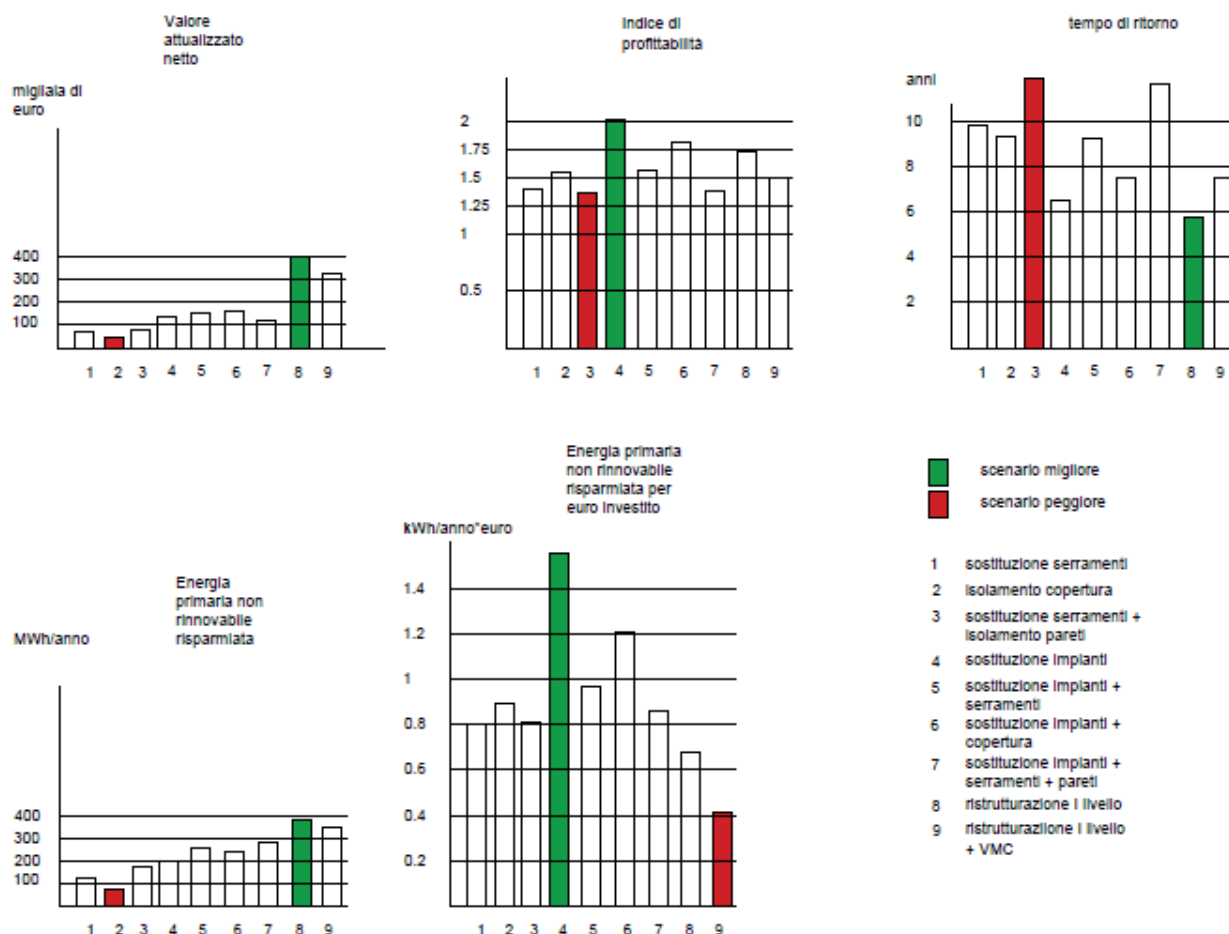
Tabella 5.8 Valutazione economica

Costi, ricavi, incentivi												
Costo intervento	Tipologia	Costo (euro)	anno inizio	anno fine	tasso di crescita							
Risparmio gas naturale	Iniziali	645967	0	20	0,000							
costo ene elettrica	periodici	31953	1	20	0,000							
Incentivo NZEB	periodici	-7300,2	1	20	0,000							
	periodici	83975,71	1	5	0,000							
Valore												
Tasso Interesse mercato R		0,04										
Tasso Inflazione Ri		0,01										
tasso Interesse reale		0,02970										
periodo di calcolo		20										
Valori nominali												
anno		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo intervento		645967										
benefici incentivi		83975,71	83975,71	83975,71	83975,71	83975,71	83975,71	31953	31953	31953	31953	31953
Risparmio gas naturale		31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica		-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2
anno			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costo intervento												
benefici incentivi												
Risparmio gas naturale		31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953	31953
costo energia elettrica		-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2	-7300,2
Dettaglio calcolo/Attualizzazione costi												
tasso di sconto Rd		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56
Andamento annuale												
Costi		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
benefici en. Elettrica		645967,00										
benefici incentivi			7089,62	6885,11	6686,50	6493,62	6306,30	6124,39	5947,73	5776,16	5609,54	5447,72
benefici gas			81553,33	79200,83	76916,19	74697,46	72542,72					
flussi di cassa			31031,28	30136,15	29266,83	28422,60	27602,72	26806,48	26033,22	25282,26	24552,97	23844,71
flusso cassa cumulato		-645967,00	119674,23	116222,09	112869,53	109613,68	106451,74	32930,88	31980,95	31058,42	30162,50	29292,43
		-645967,00	-526292,77	-410070,68	-297201,15	-187587,48	-81135,73	-48204,86	-16223,91	14834,51	44997,01	74289,44
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costi			5290,58	5137,97	4989,75	4845,82	4706,04	4570,29	4438,45	4310,42	4186,08	4065,33
benefici en. Elettrica												
benefici incentivi												
benefici gas			23156,88	22486,89	21840,17	21210,17	20598,34	20004,15	19427,11	18866,71	18322,48	17793,95
flussi di cassa			28447,46	27626,86	26829,93	26055,99	25304,37	24574,44	23865,56	23177,13	22508,56	21859,28
flusso cassa cumulato			102736,90	130363,76	157193,68	183249,67	208554,05	233128,48	256994,05	280171,18	302679,74	324539,01
Indici di valutazione												
Costi residui e valori finali												
Incentivo		419878,55 euro										
IP		1,50										
TR att		7,5 anni										
VAN		324539 euro										

Parte III

III.1 Conclusioni e spunti

Figura 39: Comparazioni finali scenari



L'analisi dei risultati ottenuti porta a concludere che il conseguimento di un sostanziale risparmio energetico è ottenibile adeguando le prestazioni degli elementi di involucro ed impiantistici allo stato dell'arte rispettando le prescrizioni derivanti dal contesto normativo nazionale e comunitario.

Sottolineiamo tuttavia che l'adeguamento della prestazione energetica dell'edificio agli standard prescritti non sia sempre un investimento economico vantaggioso sotto il profilo costi-benefici.

Senza la presenza degli incentivi infatti anche gli investimenti che mantengono un VAN positivo avrebbero dei tempi di ritorno molto lunghi cosa che li renderebbe poco appetibili. Continua dunque ad essere necessario per gli stati membri lo studio di strumenti incentivanti e la loro erogazione al fine del raggiungimento dei prefissati obiettivi di risparmio energetico.

Gli strumenti disponibili nel nostro paese per il tipo di interventi che sono stati proposti in questo studio fanno sicuramente in modo che tali interventi siano economicamente vantaggiosi. La loro quantificazione è adeguata e soprattutto il periodo in cui vengono erogati (i primi 5 anni) fanno sì che il tempo di ritorno sia quasi sempre inferiore ai 10 anni.

Confrontando i vari scenari si nota come gli interventi sull'impianto con l'adozione di una pompa di calore come generatore e la loro combinazione con una ristrutturazione solo parziale dell'involucro siano quelli più convenienti dal punto di vista del rapporto costi/benefici. Gli interventi sull'involucro sono quelli con tempi di ritorno più lunghi. La sostituzione dei soli impianti è lo scenario economicamente più vantaggioso, esso infatti è quello a cui vengono corrisposti la minor quantità di incentivi.

Gli scenari che consentono il maggior risparmio energetico sono ovviamente quelli di ristrutturazione di primo livello, essi però sono i peggiori dal un punto di vista del rapporto costi/benefici. Per tali interventi infatti è prevista dagli stati dell'unione una quota percentuale di incentivazione maggiore. La corretta definizione degli standard di prestazione ottimali da raggiungere è fondamentale (nel grafico in cui è presente l'energia primaria risparmiata per euro investito [kWh/anno*€]) infatti si nota come diventi sempre più oneroso migliorare le prestazioni dell'edificio, fenomeno che può comportare un dispendio di risorse eccessivo se le prestazioni da raggiungere sono troppo sfidanti. Il maggior dispendio di risorse per il raggiungimento delle migliori prestazioni dell'edificio viene giustificato dal fatto che da esse conseguano migliori condizioni di comfort igrometrico che ha una ripercussione positiva sulla salute e produttività degli utilizzatori.

Da questo punto di vista si nota come l'adozione di un sistema di ventilazione meccanica sia l'unico modo per garantire costantemente la quantità di aria di rinnovo minima e la sua qualità non perseguendo nel caso specifico principalmente il risparmio energetico quanto i requisiti minimi di rinnovo dell'aria ambiente.

Si fa inoltre notare che per il raggiungimento di valori ottimali di prestazioni dell'edificio sia spesso necessario il ricorso a tecnologie e componenti impiantistici quali pannelli solari fotovoltaici, pompe di calore, UTA. Per una più completa valutazione della sostenibilità energetica/ambientale bisognerebbe allocare alle tecnologie appena elencate ed utilizzate negli scenari proposti la quantità di energia non rinnovabile necessaria per la loro produzione, il loro trasporto ed il loro smaltimento. Lo stesso discorso vale anche per gli elementi di involucro utilizzati.

Risulta quindi evidente che la rotta tracciata in primis dalle direttive europee sia quella da percorrere per il raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico e sostenibilità ambientale, e che si possa andare oltre nelle valutazioni prestando la dovuta attenzione ad ogni fase di progettazione e realizzazione di un intervento di miglioramento energetico.

Bibliografia

- [1] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo. Articolo 1
- [2] Bruxelles, 19.10.2006 COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità.
- [3] Comunicato di stampa della Commissione Europea MEMO/07/7 Bruxelles, 10 gennaio 2007
- [4] Direttiva 2012/27/UE 25 ottobre 2012 Articolo 5
- [5] D.lgs. 115 del 3 marzo 2008 art. 13