



Ricerca di Sistema elettrico

Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica (zona D: $1.400 < GG \leq 2.100$)

D. Testi, E. Schito, P. Conti, D. Allegra, M. Acernese,
A. Eccher, P. Signoretti, D. Iatauro

STUDIO DI UN EDIFICIO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA DI RIFERIMENTO NELLA ZONA CLIMATICA (ZONA D: $1.400 < GG \leq 2.100$)

D. Testi, E. Schito, P. Conti, D. Allegra, M. Acernese, A. Eccher (Università di Pisa)

P. Signoretti, D. Iatauro (ENEA)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

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

Progetto: D.2 – Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (nZEB)

Obiettivo: Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB

Responsabile del Progetto: Ing. Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica (zona D: $1.400 < GG \leq 2.100$)"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Paolo Signoretti

Responsabile scientifico Università di Pisa: Prof. Ing. Daniele Testi

Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE	6
1.1 PREMESSA	6
1.2 OBIETTIVI DEL LAVORO	6
1.3 CONTESTUALIZZAZIONE DEGLI EDIFICI DELL'ERP DAL PUNTO DI VISTA LEGISLATIVO	7
1.4 IL RECUPERO DEGLI EDIFICI ERP IN PANZEB	9
2 ATTIVITÀ PRELIMINARI E SCELTA DEL CASO STUDIO	11
2.1 ANALISI DELLO STATO DI FATTO IN ITALIA	11
2.2 L'EDILIZIA POPOLARE A PISA E I DATI REGIONALI.....	12
2.3 CARATTERIZZAZIONE DEL CASO DI STUDIO.....	16
2.3.1 <i>Caratteristiche generali</i>	16
2.3.2 <i>Caratteristiche strutturali dell'involucro</i>	19
2.3.3 <i>Caratteristiche dell'impianto termico</i>	20
3 SIMULAZIONE DELLO STATO DI FATTO	21
3.1 SIMULAZIONE CON SOFTWARE MC11300 (VALUTAZIONE A2)	21
3.1.1 <i>Componenti opachi</i>	21
3.1.2 <i>Componenti finestrati</i>	23
3.1.3 <i>Ponti termici</i>	23
3.1.4 <i>Ventilazione</i>	24
3.1.5 <i>Involucro edilizio</i>	25
3.1.6 <i>Caratteristiche degli impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria</i>	26
3.2 SIMULAZIONE CON SEAS (DIAGNOSI ENERGETICA).....	27
3.2.1 <i>Dati climatici</i>	27
3.2.2 <i>Profili di utilizzo</i>	28
3.2.3 <i>Dispersioni per trasmissione</i>	31
3.2.4 <i>Ventilazione e apporti interni</i>	32
3.2.5 <i>Inserimento dati dell'impianto</i>	36
3.3 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE CON SOFTWARE MC11300	39
3.3.1 <i>Fabbisogno di energia utile in riscaldamento</i>	39
3.3.2 <i>Fabbisogno di energia per raffrescamento</i>	44
3.4 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE CON SEAS	47

3.4.1	<i>Risultati involucro e risultati audit</i>	47
3.4.2	<i>Confronto con dati di fatturazione energetica</i>	51
4	ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RETROFIT	52
4.1	DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RETROFIT	52
4.2	INTERVENTI FINALIZZATI AD OTTENERE LA CONFIGURAZIONE NZEB	52
4.2.1	<i>Descrizione degli interventi</i>	52
4.2.2	<i>Risultati ottenuti con software MC11300</i>	56
4.2.3	<i>Risultati ottenuti con SEAS</i>	62
4.3	INTERVENTI SCELTI SECONDO CRITERI "COSTI-BENEFICI"	66
4.3.1	<i>Scenario 1: descrizione degli interventi proposti</i>	67
4.3.2	<i>Scenario 1: risultati ottenuti con MC11300</i>	69
4.3.3	<i>Scenario 1: risultati ottenuti con SEAS</i>	72
4.3.4	<i>Scenario 2: descrizione degli interventi proposti</i>	75
4.3.5	<i>Scenario 2: risultati ottenuti con MC11300</i>	75
4.3.6	<i>Scenario 2: risultati ottenuti con SEAS</i>	78
4.3.7	<i>Scenario 3: descrizione degli interventi proposti</i>	80
4.3.8	<i>Scenario 3: risultati ottenuti con MC11300</i>	80
4.3.9	<i>Scenario 3, risultati ottenuti con SEAS</i>	82
5	ANALISI ECONOMICA DEGLI INTERVENTI DI RETROFIT	85
5.1	ANALISI ECONOMICA PER INTERVENTO NZEB	85
5.2	ANALISI ECONOMICA PER SCENARIO 1	87
5.3	ANALISI ECONOMICA PER SCENARIO 2	89
5.4	ANALISI ECONOMICA DELLO SCENARIO 3	91
6	ESTENSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI AD ALTRI EDIFICI ERP DELLA PROVINCIA	94
7	CONCLUSIONI	95
	BIBLIOGRAFIA	96
	BREVE CURRICULUM SCIENTIFICO DEI MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO	97

Sommario

La presente ricerca descrive le attività svolte per verificare la possibilità di riqualificare in NZEB (secondo le definizioni del D.l. 26 giugno 2015 “Requisiti minimi”) un appartamento appartenente all’edilizia residenziale pubblica della provincia di Pisa, considerato rappresentativo della zona climatica Centro Italia (zona D).

Il lavoro si è articolato nelle seguenti fasi:

- analisi della letteratura e contestualizzazione dell’edilizia residenziale pubblica nel contesto normativo e legislativo italiano;
- individuazione dell’opportuno caso studio e raccolta dati, attraverso analisi del materiale disponibile, sopralluoghi, colloqui con gli utenti e analisi delle fatturazioni energetiche;
- simulazione energetica dell’unità abitativa allo stato attuale attraverso due software, uno certificato CTI e conforme quindi alle norme UNI/TS 11300, il secondo (SEAS 3) raccomandato per le diagnosi energetiche e la corretta stima degli usi energetici;
- individuazione degli interventi necessari a portare l’unità abitativa a NZEB e simulazione sia attraverso software CTI sia attraverso SEAS, per verificare, rispettivamente, il raggiungimento dei requisiti minimi per NZEB e i risparmi energetici conseguibili con il reale utilizzo;
- individuazione di altri interventi affidabili e ottimali in termini costi-benefici, non necessariamente per portare l’unità abitativa a rispettare i requisiti minimi per NZEB;
- analisi economica di entrambi i set di interventi.

1 Introduzione

1.1 Premessa

Il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA hanno stipulato un Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale, approvato con il Decreto Ministeriale del 21 aprile 2016.

La presente relazione tecnica si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2017, per quanto attiene all'Area D "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", tema di ricerca "D.2 Edifici a energia quasi zero (nZEB)". Il tema sviluppato nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria, dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa riguarda la riqualificazione energetica di edifici di tipo residenziale pubblico, in applicazione del D.l. 26 giugno 2015 sulle nuove prescrizioni ed i requisiti minimi.

1.2 Obiettivi del lavoro

Il lavoro qui riportato prevede l'individuazione di un caso di studio rappresentativo della tipologia di edificio del tipo "edilizia residenziale pubblica" (nel seguito ERP) nella zona climatica Centro Italia, in particolare zona D ($1400 < GG \leq 2100$). Per questo caso di studio, viene riportata dapprima un'analisi dello stato di fatto, volta a definire quale sia la sua caratterizzazione dal punto di vista energetico; vengono poi riportati diversi scenari d'intervento con l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica dell'edificio, modificandone sia l'involucro sia gli impianti. Gli interventi sono stati scelti secondo due diverse logiche: (i) trasformare l'edificio esistente in "Edificio a energia quasi zero", secondo le definizioni del DM 26 giugno 2015 "Requisiti minimi"; (ii) migliorare l'efficienza dell'edificio, senza l'obbligo di raggiungimento di "Edificio a energia quasi zero" ma considerando la fattibilità tecnico-economica degli interventi ed evidenziando eventuali criticità. L'analisi comprende il calcolo di vari indicatori, sia energetici (fabbisogni energetici all'involucro, richieste energetiche complessive suddivise per servizio e per vettore, energia primaria rinnovabile e non rinnovabile richiesta annualmente), sia economici (tempo di ritorno, valore attualizzato netto, indice di profitto, tasso interno di rendimento).

Per lo svolgimento della diagnosi energetica, è stato utilizzato il software SEAS 3.0 (acronimo di Software Energetico per Audit Semplificati), nato nel precedente PAR da una collaborazione tra ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa.

1.3 Contestualizzazione degli edifici dell'ERP dal punto di vista legislativo

Il concetto di edilizia residenziale popolare nasce in Italia all'inizio del 1900 con l'approvazione della cosiddetta Legge Luzzatti, che fornisce una prima risposta al problema abitativo per tutta quella parte della popolazione che, autonomamente, non è in grado di acquistare o di prendere in affitto un immobile ai prezzi di mercato [1]. Questa legge e le sue successive modifiche ed integrazioni definiscono due principali tipi di edifici:

- Case popolari, da concedersi solo in affitto a soggetti con reddito non superiore a mille lire mensili, di grandezza non superiore a sei vani abitabili;
- Case economiche, da concedersi sia in affitto che in vendita, di grandezza non superiore a dieci vani abitabili.

Un secondo intervento, noto anche come piano Fanfani o piano INA casa, è partito nel secondo dopoguerra, con l'approvazione della legge 28 febbraio 1949 n. 43. Come nel caso precedente, l'obiettivo era la costruzione di alloggi per le famiglie a basso reddito, ma allo stesso tempo anche il rilancio dell'attività edilizia e l'occupazione di un numero considerevole di disoccupati nel periodo post-bellico. Con la legge 18 aprile 1962, n. 167, viene reso obbligatoria la definizione di un piano urbanistico per la costruzione di edifici di tipo economico e popolare in tutti i comuni con più di 50000 abitanti e nei capoluoghi di provincia. Si noti che, in tutti i casi, la realizzazione di questi edifici da parte dell'amministrazione pubblica è incentivata o con contributi finanziari e sconti sulle imposte erariali o locali o mettendo a disposizione l'area edificabile sul quale realizzare gli edifici. Nella legislazione più recente, il termine "edilizia residenziale popolare" è stato affiancato da "social housing", o "edilizia residenziale sociale": nonostante in alcuni casi i due termini siano descritti ad indicare due tipi di edilizia residenziale diverse, non ci sono invece sostanziali differenze, essendo entrambi insiemi di alloggi realizzati con contributi pubblici per il sostegno abitativo a soggetti in condizioni economiche disagiate [1].

Una definizione del termine "Social housing" è stata data dal Cecodhas (European Federation of Public, Cooperative & Social Housing), che lo ha definito *"l'insieme delle attività atte a fornire alloggi adeguati, attraverso regole certe di assegnazione, a famiglie che hanno difficoltà nel trovare un alloggio alle condizioni di mercato perché incapaci di ottenere credito o perché afflitte da problematiche particolari"*.

Un'altra definizione si trova nel Decreto Ministeriale 22 aprile 2008: *"È definito «alloggio sociale» l'unità immobiliare adibita ad uso residenziale in locazione permanente che svolge la funzione di interesse generale, nella salvaguardia della coesione sociale, di ridurre il disagio abitativo di individui e nuclei familiari svantaggiati, che non sono in grado di accedere alla locazione di alloggi nel libero mercato."* (Art. 1 comma 2).

Sempre nello stesso decreto viene posto un accento sulle caratteristiche dell'ERP in termini di sostenibilità ambientale ed efficienza energetica (Art. 2 comma 7): *“L'alloggio sociale deve essere adeguato, salubre, sicuro e costruito o recuperato nel rispetto delle caratteristiche tecnico-costruttive indicate agli articoli 16 e 43 della legge 5 agosto 1978, n. 457. [...] L'alloggio sociale deve essere costruito secondo principi di sostenibilità ambientale e di risparmio energetico, utilizzando, ove possibile, fonti energetiche alternative.”*

Il tema dell'efficienza energetica sulle nuove costruzioni dell'ERP è quindi ben specificato; d'altro canto, nel Decreto Legislativo 4 luglio 2014 n. 102 non è invece stato dato lo stesso rilievo alla riqualificazione energetica degli edifici dell'ERP già esistenti: questa tipologia di interventi consentirebbe di ridurre le spese energetiche associate ad edifici costruiti ormai decenni fa (generalmente prima che entrassero in vigore le normative e legislazioni attuali per l'efficienza energetica). Considerata la situazione di disagio di chi vive negli edifici ERP, questo tipo di azioni si configurerebbero come un'azione assistenzialistica dello Stato a favore della classe più debole della società. Il miglioramento dell'efficienza energetica nell'ERP è invece stata evidenziata nella Direttiva Europea 2012/27/UE, dove viene infatti specificato (art. 49): *“È opportuno incoraggiare gli Stati membri e le regioni ad utilizzare appieno i fondi strutturali e il fondo di coesione per stimolare gli investimenti nelle misure di miglioramento dell'efficienza energetica. Gli investimenti nell'efficienza energetica possono contribuire alla crescita economica, all'occupazione, all'innovazione e alla riduzione della precarietà energetica delle famiglie e contribuiscono pertanto in modo positivo alla coesione economica, sociale e territoriale. Tra i settori potenziali di finanziamento si annoverano misure di efficienza energetica negli edifici pubblici e negli alloggi sociali e la fornitura di nuove competenze che favoriscano l'occupazione nel settore dell'efficienza energetica.”* La differenza tra Direttiva Europea 2012/27/UE e Decreto Legislativo n. 102 è stata evidenziata anche da AiCARR in [2].

La necessità di un piano per la riqualificazione dello stock esistente di edifici adibiti a ERP deriva anche da un'analisi del patrimonio, che ha evidenziato che questo presenta problematiche rilevanti dovuti all'età media elevata associata a pochi e spesso non appropriati interventi di manutenzione [3]. Una stima effettuata da Federcasa ha rilevato che più della metà del patrimonio ERP gestito dalle Aziende Casa è considerato ad elevato consumo energetico. Un'ulteriore analisi, sempre relativa al lavoro effettuato da Federcasa, ha inoltre messo in luce che le spese associate ai consumi energetici (per mantenere le condizioni di comfort nelle abitazioni) sarebbero pari al 10% del reddito delle persone residenti in tali alloggi: si tratta di una percentuale rilevante, per cui spesso gli utenti di questi edifici non possono permettersi di riscaldare adeguatamente le proprie abitazioni [4].

Lo studio delle modalità per la riqualificazione energetica del parco dell'ERP è stato affrontato spesso negli ultimi anni, coinvolgendo architetti, ingegneri ed urbanisti. Infatti, il recupero di questi edifici non è solo un tema strutturale o energetico, ma si colloca all'interno di un quadro più ampio, di integrazione di politiche edilizie, urbanistiche e di recupero sociale.

1.4 Il recupero degli edifici ERP in PANZEB

Il piano d'Azione Nazionale PANZEB è stato redatto da ENEA, RSE, CTI e Ministero dello Sviluppo Economico per incrementare il numero di edifici ad energia quasi zero (NZEB) in Italia.

Un edificio reale viene definito NZEB quando sia caratterizzato da indici di efficienza energetica minori rispetto ai corrispondenti indici calcolati sull'edificio di riferimento¹, in termini di:

- Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (H'_T);
- Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile;
- Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EP_H);
- Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva, compreso il controllo dell'umidità (EP_C);
- Indice di prestazione energetica globale, espresso in energia primaria (EP_{gl}), sia totale che non rinnovabile;
- rendimenti dell'impianto di climatizzazione invernale (η_H), di climatizzazione estiva (η_C) e produzione di acqua calda sanitaria (η_W).

Devono inoltre essere rispettati gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili. Si faccia riferimento al D.I. Requisiti Minimi per ulteriori approfondimenti.

In tale contesto, il Piano D'Azione Nazionale noto come "PANZEB" presenta il potenziale di risparmio energetico nel settore civile dovuto alla riqualificazione energetica degli edifici sul territorio italiano, in particolare incrementando il numero di edifici NZEB. Nel documento si fa riferimento anche all'edilizia residenziale pubblica, specificando che gli interventi di recupero e di efficientamento energetico di questa categoria di edifici rappresentano una priorità di investimento, in termini sia di riduzione di richieste energetiche in edifici molto energivori, sia di misure sociali contro il problema della "fuel poverty".

La presente ricerca si inquadra all'interno di questo contesto, individuando un caso studio rappresentativo dell'ERP del centro Italia, in particolare della Toscana, con approccio bottom-up. Questa metodologia consiste nell'identificazione di edifici di riferimento e nella loro analisi dettagliata. I risultati ottenuti dall'analisi di questi singoli casi studio possono essere estesi agli edifici di cui questi sono riferimento per

¹ Si definisce edificio di riferimento l'edificio virtuale geometricamente equivalente a quello di progetto ma dotato di parametri energetici e delle caratteristiche termiche minime vigenti.

poter trarre delle conclusioni il più possibile generali. Tale approccio è stato usato anche in altre precedenti ricerche [5,6].

Nel caso in esame, si è studiato un appartamento facente parte di un fabbricato dell'ERP pisana, considerato rappresentativo, per dimensioni e per anno di costruzione, del patrimonio residenziale sociale della provincia di Pisa. L'analisi condotta su questo appartamento è servita ad evidenziare quali interventi potessero servire a portare l'unità abitativa in condizioni NZEB e quali potessero essere considerati invece appropriati dal punto di vista dell'ottimizzazione costi-benefici. Poiché l'appartamento studiato è simile ad altri 450 appartamenti presenti nel quartiere, nel paragrafo finale della ricerca si sono calcolati i risparmi di energia e di CO₂ ottenibili estendendo gli interventi scelti per l'appartamento anche agli altri edifici sede di alloggi sociali.

2 Attività preliminari e scelta del caso studio

2.1 Analisi dello stato di fatto in Italia

In Italia, secondo i dati riportati dal CECODHAS [7], il 5.3% degli edifici residenziale è di tipo sociale, considerando solamente le abitazioni concesse in affitto. Si veda la Fig. 1, dove è riportata la percentuale di edifici residenziali sociali dati in affitto rispetto al totale dell'edilizia residenziale in diversi Paesi in Europa.

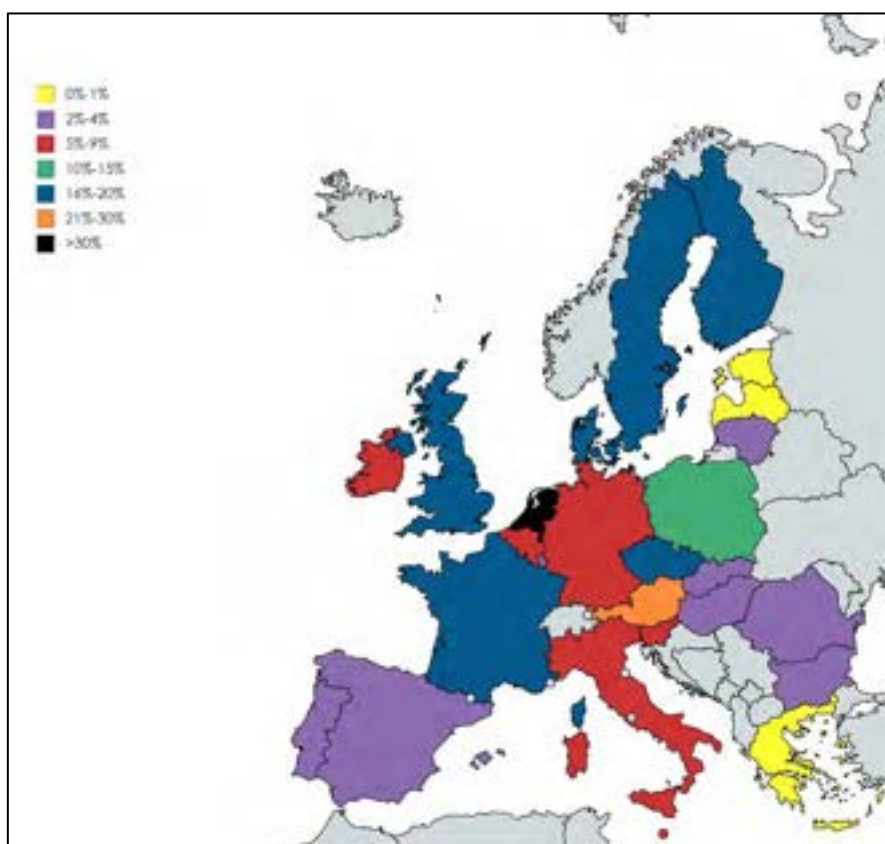


Figura 1. Percentuali di ERP in locazione rispetto al totale del degli edifici residenziali.

Secondo un'analisi Federcasa 2013-2014 [8], il patrimonio residenziale in Italia ammonta a poco meno di 800000 abitazioni, in cui abitano circa 2 milioni di persone in condizioni di estrema fragilità sociale: 145mila persone disabili, 413mila anziani ultrasessantacinquenni, 142mila immigrati extracomunitari, con oltre un terzo delle famiglie che dichiara redditi al di sotto di 10mila euro l'anno. In Tabella 1 sono riportati i dati riassuntivi del patrimonio ERP italiano secondo l'analisi Federcasa.

Tabella 1. Patrimonio residenziale in Italia.

Alloggi gestiti					
	In locazione	% sul totale	A riscatto	% sul totale	Totale
Nord	323279	44	18860	38	342139
Centro	155718	21	19277	39	174995
Sud	263019	35	11758	24	274777
Italia	742016	100	49895	100	791911

Secondo queste stime, la maggior parte degli alloggi di tipo residenziale sociale in Italia sono dati in locazione a persone in condizioni di disagio e povertà. Solamente una piccola parte del totale sono invece dati a riscatto, cioè viene offerta agli utenti di queste abitazioni la possibilità di comprare gli alloggi a prezzi competitivi.

2.2 L'edilizia popolare a Pisa e i dati regionali

Il patrimonio di edilizia residenziale pubblica a Pisa è attualmente gestito dalla APES – Scpa (Azienda Pisa Edilizia Sociale – Società consortile per Azioni) che ha sostituito, ancora nel 2004, l'ATER nella programmazione e nella gestione dell'intero parco edilizio. I dati e le statistiche che caratterizzano l'Azienda possono essere letti sul VI rapporto sulla Condizione Abitativa della Regione Toscana (di seguito C.A.R.T.), scaricabile all'indirizzo <http://www.regione.toscana.it/-/abitare-in-toscana-anno-2017-sesto-rapporto-sulla-condizione-abitativa>. Da questo si evince che l'Azienda gestiva 6335 alloggi nel 2016 con un numero di dipendenti pari a 34 unità.

Dal documento si evince, altresì, che in Toscana, *“per quanto riguarda le dimensioni degli alloggi, il 43,7% (pari a 21.688 unità) ha una superficie compresa fra i 65 ed i 95 m², mentre il 38,4% di essi si colloca nella fascia immediatamente inferiore (fra i 45 ed i 65 m²) e il 13,1% ha una superficie inferiore ai 45 m². Per il restante 4,8% delle unità immobiliari si registrano dimensioni superiori ai 95 m².”*

Nel dettaglio, la provincia di Pisa esibisce i valori assoluti e i valori in percentuale indicati nelle tabelle 2 e 3.

Tabella 2. Dati sugli alloggi del parco ERP in Toscana, valori assoluti.

Provincia o area di riferimento	< 45 m ²	Da 45 a 65 m ²	Da 65 a 95 m ²	> 95 m ²	N. D.	Totale
Arezzo	450	1479	1014	196	0	3139
Empolese Valdelsa	189	619	703	33	0	1544
Firenze	1831	4212	5849	875	5	12772
Grosseto	330	1248	1509	78	0	3165
Livorno	1488	3760	3030	197	0	8475
Lucca	305	1532	1984	233	0	4054
Massa Carrara	359	1181	2039	139	19	3737
Pisa	869	2608	2483	375	0	6335
Pistoia	290	830	990	3	0	2113
Prato	182	629	907	67	0	1785
Siena	208	961	1180	04	22	2575
Totale	6501	19059	21688	2400	46	49694

Tabella 3. Dati sugli alloggi del parco ERP in Toscana, valori percentuali.

Provincia o area di riferimento	< 45 m ²	Da 45 a 65 m ²	Da 65 a 95 m ²	> 95 m ²	Totale
Arezzo	14.3	47.1	32.5	6.2	100.0
Empolese Valdelsa	12.2	40.1	45.5	2.1	100.0
Firenze	14.3	33.0	45.8	6.9	100.0
Grosseto	10.4	39.4	47.7	2.5	100.0
Livorno	17.6	44.4	35.8	2.3	100.0
Lucca	7.5	37.8	78.9	5.7	100.0
Massa Carrara	13.7	41.2	39.2	5.9	100.0
Pisa	13.7	41.2	39.2	5.9	100.0
Pistoia	13.7	39.3	46.9	0.1	100.0
Prato	10.2	35.2	50.8	3.8	100.0
Siena	8.1	37.6	46.2	8.0	100.0
Totale	13.1	38.4	43.7	4.8	100.0

Un altro dato caratterizzante il parco ERP toscano è il periodo di costruzione dei fabbricati, sintetizzato nelle tabelle 4 e 5.

Tabella 4. Periodo di costruzione dei fabbricati ERP in Toscana, valori assoluti.

Provincia o area di riferimento	Prima 1950	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	Dopo 2010	N.D.	Totale
Arezzo	74	56	54	70	95	18	34	13	0	414
Empolese Valdelsa	24	28	18	34	28	9	13	10	7	171
Firenze	140	110	121	366	299	48	66	31	82	1263
Grosseto	68	63	60	73	68	7	18	12	81	450
Livorno	145	166	172	59	96	33	26	25	1	723
Lucca	75	136	188	62	83	25	34	22	19	644
Massa Carrara	120	150	135	51	55	19	13	0	37	580
Pisa	189	210	144	93	111	20	33	16	21	837
Pistoia	36	29	42	61	47	11	5	7	58	296
Prato	19	19	25	15	41	20	13	11	0	163
Siena	37	34	64	48	68	12	25	10	77	375
Totale	927	1001	1023	932	991	222	280	157	383	5916

Tabella 5. Periodo di costruzione dei fabbricati ERP in Toscana, valori percentuali.

Provincia o area di riferimento	Prima 1950	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	Dopo 2010	Totale
Arezzo	17.9	13.5	13.0	16.9	22.9	4.3	8.2	3.1	100.0
Empolese Valdelsa	14.6	17.1	11.0	20.7	17.1	55.5	7.9	6.1	100.0
Firenze	11.9	9.3	10.2	31.0	25.3	4.1	5.6	2.6	100.0
Grosseto	18.4	17.1	16.3	19.8	18.4	1.9	4.9	3.3	100.0
Livorno	20.1	23.0	23.8	8.2	13.3	4.6	3.6	3.5	100.0
Lucca	12.0	21.8	30.1	9.9	13.3	4.0	5.4	3.5	100.0
Massa Carrara	22.1	27.6	24.9	9.4	10.1	3.5	2.4	0.0	100.0
Pisa	23.2	25.7	17.6	11.4	13.6	2.5	4.0	2.0	100.0
Pistoia	15.1	12.2	17.6	25.6	19.7	4.6	2.1	2.9	100.0
Prato	15.1	12.2	17.6	25.6	19.7	4.6	2.1	2.9	100.0
Siena	12.4	11.4	21.5	16.1	22.8	4.0	8.4	3.4	100.0
Totale	16.8	18.1	18.5	16.8	17.9	4.0	5.1	2.8	100.0

Dall'analisi del patrimonio ERP toscano si nota che la provincia di Pisa risulta essere una di quelle con il maggior numero di alloggi, insieme a Firenze e Livorno. Inoltre, si nota che la costruzione di circa il 67 % dei fabbricati ERP presenti nella provincia di Pisa risale ad un periodo antecedente gli anni '70, denotando un patrimonio che risulta in gran parte ormai obsoleto. In particolare, la categoria di immobili più diffusa risulta essere composta dai fabbricati costruiti dal 1950 al 1959 contenenti alloggi con superfici utili che vanno da 45 a 65 m². Si cercherà quindi di individuare il caso studio all'interno di questa categoria in modo che possa essere assunto come rappresentativo di un'ampia porzione degli alloggi di ERP presenti nella provincia di Pisa.

2.3 Caratterizzazione del caso di studio

2.3.1 Caratteristiche generali

L'appartamento oggetto del caso di studio è stato individuato all'interno di uno degli edifici APES, sito in via Fosso delle Bufalina n. 3 a Pisa. L'appartamento è situato nel quartiere di Gagno, costruito nel 1958 dalla gestione INA-Case. Situato nella prima periferia pisana questo quartiere conta circa 450 appartamenti, una chiesa, una scuola, aree a verde e campi da gioco. Nelle successive figure sono riportate alcune vedute aeree del quartiere, in cui si riconoscono le strutture riconducibili ad edilizia popolare.



Figura 2. Quartiere di Gagno, veduta aerea.



Figura 3. Quartiere di Gagno, con evidenziato il fabbricato studiato.

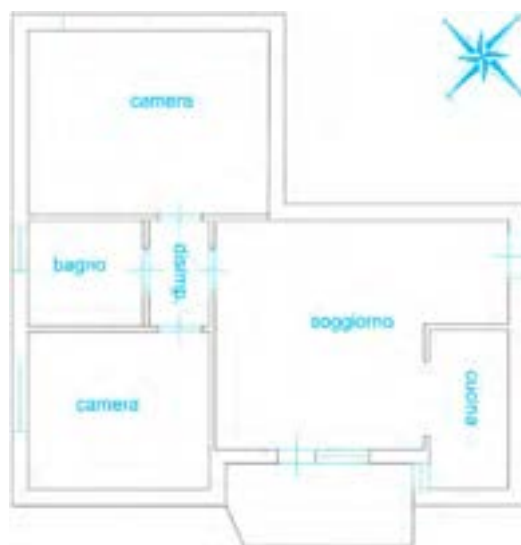
All'interno del fabbricato, costruito approssimativamente nel 1960, sono presenti 12 unità abitative assegnate in locazione dalla società APES. Tra di esse, è stata scelta un'unità abitativa su cui svolgere indagini più dettagliate. L'appartamento ha una superficie utile di 52 m², e si compone di un ingresso, un soggiorno, un cucinino, un disimpegno, due camere da letto e un bagno. L'unità abitativa risulta esposta esternamente a Nord-Est, Sud-Est e Sud-Ovest, mentre le altre pareti perimetrali risultano confinanti con il vano scale e con un altro appartamento. È inoltre presente un balcone, accessibile dal soggiorno, situato sulla parete esposta a Nord-Est.

Ai lati Nord-Est e Sud-Ovest le ostruzioni esterne sono rappresentate da due palazzine di 4 piani poste a circa 9 m di distanza mentre al lato Sud-Est è presente una palazzina di 3 piani posta a circa 18 m di distanza. In Figura 4 è riportata la posizione dell'appartamento nel fabbricato ed una pianta dell'appartamento.

In Figura 5 sono inoltre riportate alcune foto dell'appartamento, effettuate durante il sopralluogo.



(a)



(b)

Figura 4. Posizione dell'appartamento in analisi nel fabbricato (a) e pianta dell'appartamento (b).



(a)



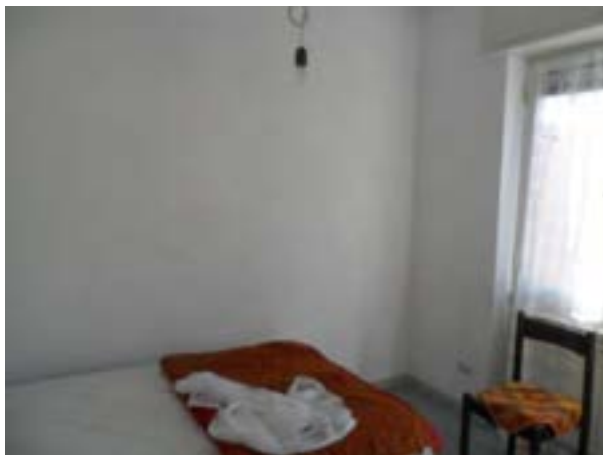
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5. Interno dell'appartamento, fotografato durante il sopralluogo: (a) ingresso, (b) soggiorno, (c) cucinotto, (d) camera matrimoniale, (e) cameretta, (f) bagno.

2.3.2 Caratteristiche strutturali dell'involucro

Poiché l'immobile è stato realizzato negli anni '60, e la documentazione rimasta risulta scarna, le caratteristiche strutturali dell'involucro sono state reperite durante il sopralluogo.

L'appartamento rispecchia le modalità costruttive del periodo di realizzazione con uno scheletro indipendente eseguito in travi e pilastri in cemento armato e tamponamenti in blocchi di laterizio. I solai di separazione con le unità immobiliari superiore ed inferiore sono in travetti e pignatte. Sono inoltre presenti pareti di confine con il vano scale e con altre unità immobiliari. Come le tipiche costruzioni dell'epoca, nel fabbricato risulta completamente assente ogni tipo di coibentazione.

La superficie scambiante dell'appartamento è pertanto rappresentata dalle pareti esterne e dalla porzione di parete interna attestata sul vano scale.

Nel dettaglio le strutture disperdenti dei fabbricati del complesso sono:

- Paramenti verticali esterni in laterizio di tipo tradizionale (non porizzata) di tipo a "cassetta" con intercapedine non ventilata.
- Pareti verticali disperdenti verso il vano scala in laterizio di tipo tradizionale
- Solai interpiano in laterocemento non coibentati, compresi il pavimento confinante con gli scantinati e il solaio sottotetto.
- Finestre con infisso in legno e vetro semplice.
- Portoncino interno in legno tamburato.

2.3.3 Caratteristiche dell'impianto termico

L'unità immobiliare è servita da un impianto di riscaldamento di tipo autonomo rappresentato da un caldaia murale a gas naturale a camera stagna di potenza termica nominale 23.8 kW. La caldaia è adibita al servizio di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria istantanea. Dai dati del costruttore si è ricavato anche il rendimento termico della caldaia alla potenza nominale, risultato pari al 92.2%.

I terminali di emissione sono radiatori tradizionali in alluminio, sprovvisti di valvola termostatica. Il circuito di distribuzione è costituito da un collettore e tubazione in rame mediamente coibentate.

La regolazione della temperatura ambiente è gestita da termostato di zona di tipo on-off.

3 Simulazione dello stato di fatto

L'analisi dello stato attuale è stata condotta con l'utilizzo di due software:

- Un software commerciale certificato CTI, MC11300 (Masterclima), usato per la valutazione della classe energetica attuale ed il rispetto dei requisiti NZEB;
- Il software SEAS, sviluppato nel corso di precedenti accordi tra ENEA, Ministero dello Sviluppo Economico ed Università di Pisa, utilizzato per un'analisi di tipo "audit energetico", che consiste nella simulazione dell'edificio nelle condizioni reali di funzionamento e una stima più precisa dei fabbisogni energetici per i vari servizi.

La doppia simulazione consente di fare delle considerazioni riguardanti la fattibilità tecnico-economica di rendere effettivamente NZEB l'edificio. Con il software commerciale, infatti, si possono elencare gli interventi necessari a rispettare i limiti NZEB, mentre con SEAS si potrà verificare se, con le effettive richieste energetiche dell'edificio, gli interventi per portare a NZEB l'edificio abbiano indici di convenienza economica accettabili o se, invece, altri tipi di interventi risultino più efficienti dal punto di vista costi-benefici.

3.1 *Simulazione con software MC11300 (valutazione A2)*

Nel seguito sono riportati i dati inseriti nel software MC11300 per la simulazione secondo UNI/TS 11300.

3.1.1 Componenti opachi

Sono stati calcolati i valori di trasmittanza e capacità termica areica dei componenti opachi della zona in esame. In particolare, si sono rilevate due pareti esterne di spessore diverso: la parete che si affaccia sul balcone ha spessore 27 cm, mentre la rimanente porzione di parete esterna ha spessore 31 cm. Nelle tabelle 6 e 7 si riportano le caratteristiche stratigrafiche delle pareti opache inserite nel software. La Tabella 8, invece, sintetizza i valori sintetici di trasmittanza e capacità termica areica dei componenti opachi dell'appartamento.

Tabella 6. Stratigrafia della parete esterna con spessore 31 cm.

Parete esterna spessore 31 cm					
Descrizione	Conducibilità [W/mK]	Spessore [m]	Massa volumica [kg/m ³]	Capacità termica specifica [J/kgK]	Fattore di resistenza al vapore
Intonaco calce e cemento	0.90	0.015	1800	840	38
Muratura in mattoni	0.30	0.080	800	840	8
Intercapedine	0.51	0.080	1.3	1000	1
Muratura in mattoni	0.54	0.120	1200	840	8
Intonaco calce e cemento	0.90	0.015	1800	840	38

Tabella 7. Stratigrafia della parete esterna con spessore 27 cm.

Parete esterna spessore 27 cm					
Descrizione	Conducibilità [W/mK]	Spessore [m]	Massa volumica [kg/m ³]	Capacità termica specifica [J/kgK]	Fattore di resistenza al vapore
Intonaco calce e cemento	0.90	0.015	1800	840	38
Muratura in mattoni	0.30	0.080	800	840	8
Intercapedine	0.51	0.040	1.3	1000	1
Muratura in mattoni	0.54	0.120	1200	840	8
Intonaco calce e cemento	0.90	0.015	1800	840	38

Tabella 8. Caratteristiche delle strutture opache dell'appartamento.

Codice	Descrizione	Trasmittanza U [W/m ² K]	Capacità termica areica C _i [kJ/m ² K]
Sol01	Solaio in laterocemento	1.92	75.1
Mur01	Muro esterno balcone	1.18	52.2
Mur02	Muro esterno	1.18	52.2
Mur03	Muro vano scala	1.06	50.8

3.1.2 Componenti finestrati

La modellazione degli infissi, tutti in singolo vetro, è stata effettuata inserendo, per ogni componente, le seguenti specifiche all'interno del software:

- Dimensioni dell'intero serramento, del telaio e dei vetri presenti;
- Caratteristiche del telaio;
- Caratteristiche dei vetri;
- Caratteristiche relative alla permeabilità dell'aria;
- Angoli caratteristici di aggetti o ostruzioni esterne;
- Caratteristiche relative alla presenza di schermature mobili.

Le caratteristiche dei componenti finestrati, in termini di trasmittanza del vetro e trasmittanza complessiva dell'infisso, sono riportate in Tabella 9.

Tabella 9. Caratteristiche degli elementi finestrati.

Codice	Descrizione	Trasmittanza vetro U_g [W/m ² K]	Trasmittanza infisso U_w [W/m ² K]
Fin01	Finestra cucina	5.71	4.87
Fin02	Finestra soggiorno	5.71	4.87
Fin03	Finestra camera	5.71	4.97
Fin04	Finestra bagno	5.71	4.92
Fin05	Finestra camera	5.71	5.10
Pfin01	Porta finestra	5.71	5.10

3.1.3 Ponti termici

I ponti termici individuati nell'appartamento sono risultati essere: (i) ponte termico tra parete e solaio; (ii) ponte termico in presenza di balcone non isolato; (iii) ponte termico tra parete e infissi. Per i valori di trasmittanza lineica, si è usato l'abaco CENED dei ponti termici. Si riportano nelle tabelle 10-11-12 le tipologie di ponte termico individuate e le relative trasmittanze lineiche utilizzate.

Tabella 10. Caratteristiche ponte termico parete-solaio.

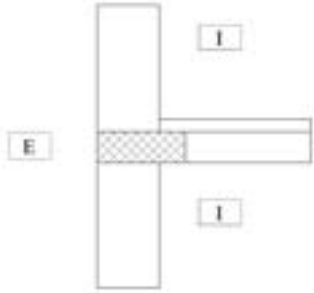
	Ponte termico parete-solaio (Pt01)		
	Trasmittanza termica lineica	[W/mK]	0.923
	Descrizione		
	Ponte termico formato dalla giunzione di una parete esterna non isolata con un solaio, la cui trave non è isolata.		

Tabella 11. Caratteristiche ponte termico balcone.

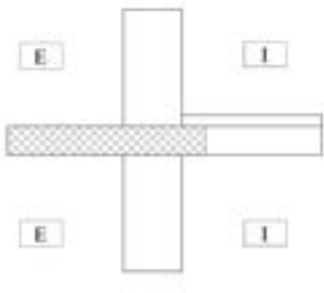
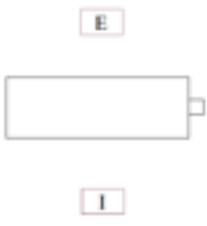
	Ponte termico balcone (Pt02)		
	Trasmittanza termica lineica	[W/mK]	0.870
	Descrizione		
	Ponte termico formato dalla giunzione di due pareti uguali non isolate, in presenza di balcone non isolato.		

Tabella 12. Caratteristiche ponte termico parete-infissi.

	Ponte termico parete-infissi (Pt03)		
	Trasmittanza termica lineica	[W/mK]	-0,189
	Descrizione		
	Ponte termico formato dal contatto tra parete non isolata, in mezzeria.		

3.1.4 Ventilazione

Non essendo presente un impianto di ventilazione meccanica, il ricambio di aria viene garantito solamente tramite l'apertura delle finestre. In questo caso, si fa riferimento alla norma UNI/TS 11300-1, in cui la portata

minima di progetto di aria esterna ($q_{ve,0}$) è data semplicemente dal prodotto tra il volume netto della zona termica considerata (V) e il tasso di ricambio d'aria (n , per le abitazioni, scelto pari a 0.5 vol/h):

$$q_{ve,0} = n \frac{V}{3600} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Per tenere conto del reale profilo di utilizzo e delle infiltrazioni (quando non si opera l'apertura delle finestre), si è scelto un fattore di correzione pari a 0.6.

3.1.5 Involucro edilizio

Dopo che sono stati inserite in MC11300 le stratigrafie e le caratteristiche di tutti i componenti opachi e finestrati dell'appartamento, se ne riportano le dimensioni, l'esposizione e le eventuali presenze di oggetti o ostruzioni esterne nella schermata del "Fabbricato". In particolare, i componenti soggetti ad ombreggiamento dovuto ad oggetti orizzontali e verticali sono quelli in prossimità del balcone del piano soprastante, che risulta sporgere per circa 1.5 m ed avere una lunghezza di circa 3 m. Le ostruzioni esterne invece sono causate dalla presenza dei palazzi adiacenti che si trovano ad una distanza di circa 9 m dalle facciate Nord-Est e Sud-Ovest e distanti circa 18 m dalla facciata Sud-Est. In Figura 6 è riportato uno screenshot del software alla scheda "Fabbricato", in cui sono stati riportati i dati caratteristici dell'involucro edilizio dell'appartamento. I dati geometrici complessivi sono riportati in Tabella 13.

	A	T	E	Codice	Descrizione	Misure (formule)	Unità	Risultato	Valore (max.)	Valore (min.)	Trasmissione (W/m²K)
✓	✓	✓	D	OP	NE	INUM02	parete esterna componente op 30 cm	8,0713	06,60	18,23	1,176
✓	✓	✓	D	OP	SE	INUM02	parete esterna componente op 30 cm	0,7513	0,20	1,40	1,176
✓	✓	✓	D	TR	SE	FIN01	finestra fucina	0,80	0,0	0,0	4,886
✓	✓	✓	D	PI	SE	PT01	ponte termico finestra	4,2	4,2	4,2	-0,188
✓	✓	✓	D	PI	SE	PT02	ponte termico balcone	1,5	1,5	1,5	0,87
✓	✓	✓	D	OP	NO	INUM02	parete esterna componente op 30 cm	0,8413	0,39	0,99	1,176
✓	✓	✓	D	OP	SE	INUM02	parete esterna componente op 30 cm	0,7813	0,30	0,54	1,176
✓	✓	✓	D	TR	SE	FIN02	finestra 1,2x1,6 camera inf.	1,82	1,82	1,82	4,972
✓	✓	✓	D	TR	SE	FIN04	finestra 1,6x1,6 doppia	1,28	1,28	1,28	4,919
✓	✓	✓	D	PI	SE	PT01	ponte termico parete sopra	0,7813	0,30	0,54	0,923
✓	✓	✓	D	PI	SE	PT02	ponte termico finestra	10,4	10,4	10,4	-0,188
✓	✓	✓	D	OP	SO	INUM02	parete esterna componente op 30 cm	4,3413	1,00	10,46	1,176
✓	✓	✓	U	OP		INUM02	parete verso vano scala	0,0713	0,00	0,00	1,064

Ambiente confinante: Esterno
 Tipo di elemento: Opaco
 Esposizione: Sud-Est
 Origine dati: Da progetto
 Codice del componente: INUM02
 Descrizione: parete esterna componente op 30 cm
 Superficie (m²): 8,0713

Figura 6. Screenshot della scheda "Fabbricato", in cui sono riportati i dati caratteristici dell'involucro edilizio.

Tabella 13. Dati geometrici complessivi dell'appartamento.

	u.m.	Valore
Superficie utile	m ²	50.3
Superficie disperdente	m ²	86.6
Volume netto	m ³	135.8
Volume lordo	m ³	178.5
Rapporto S/V	m ⁻¹	0.485

3.1.6 Caratteristiche degli impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria

I terminali di emissione installati sono radiatori in alluminio su parete esterna non isolata. La potenza termica che questi possono complessivamente fornire è 5.3 kW. Per il calcolo del rendimento di emissione, si è fatto riferimento alla norma UNI/TS 11300-2, alla voce “radiatori su parete esterna non isolata”, con carico termico medio annuo calcolato pari a 6.3 W/m³. Il valore risultante è 0.93.

Per quanto riguarda la regolazione, utilizzando sempre la norma UNI/TS 11300-2, si è utilizzato il valore di 0.93 per una regolazione di zona di tipo on-off.

Per quanto riguarda il rendimento di distribuzione, la norma UNI/TS 11300-2 fornisce un valore di 0.9908 per impianti autonomi a piani intermedi.

Infine, per quanto riguarda il rendimento di generazione, questo è stato stimato pari a 0.863 in quanto il generatore è di tipo camera stagna tipo C, tre stelle, con rendimento a potenza nominale 92.2%, temperatura media in caldaia maggiore di 65 °C e rapporto tra potenza installata e potenza di progetto pari a 4. La potenza elettrica degli ausiliari, a pieno carico, è stata stimata pari a 125 W.

Per quanto riguarda invece il servizio di produzione di acqua calda sanitaria, si è usato un rendimento di erogazione unitario, in linea con quanto previsto con le valutazioni energetiche standard. Per il calcolo del rendimento di distribuzione, si sono calcolate le perdite sui tratti costituenti la rete, considerando il sistema installando dopo l'entrata in vigore della legge 373/76 e rete di distribuzione totalmente corrente nell'ambiente climatizzato.

Nel complesso, i rendimenti dell'impianto di riscaldamento e produzione di ACS sono sintetizzati in tabella 14.

Tabella 14. Rendimenti per l'impianto di riscaldamento e produzione di ACS dell'appartamento.

Rendimento	Simbolo	Valore [%]
Rendimento sottosistema di emissione	$\eta_{H,e}$	0.93
Rendimento sottosistema di distribuzione	$\eta_{H,d}$	0.9908
Rendimento sottosistema di regolazione	$\eta_{H,rg}$	0.93
Rendimento sottosistema di generazione	$\eta_{H,gn}$	0.83
Efficienza media stagionale dell'impianto di riscaldamento	η_H	0.6685
Efficienza media stagionale dell'impianto di produzione ACS	η_w	0.7172

3.2 Simulazione con SEAS (diagnosi energetica)

Benché molto simile, la procedura di inserimento dati in SEAS si discosta da quella di inserimento dati nel software commerciale in quanto sono richiesti dati più dettagliati possibile per simulare il sistema involucro-impianto in modo realistico. A differenza della valutazione A2, infatti, si vuole verificare l'efficienza del sistema nel reale funzionamento. La bontà dei dati inseriti è verificata dal confronto tra i risultati della simulazione con le fatturazioni energetiche di un determinato periodo.

3.2.1 Dati climatici

Come dati climatici, sono stati utilizzati valori sulla velocità del vento e irraggiamento globale su piano orizzontale ricavate dalla norma UNI 10349. Per quanto riguarda la temperatura media esterna, sono stati inseriti invece i valori medi mensili relativi al periodo di riscaldamento 2016-2017 (periodo sul quale si avevano a disposizione anche le fatturazioni energetiche). Tali dati sono stati rilevati dalla stazione meteo di Pisa San Giusto.

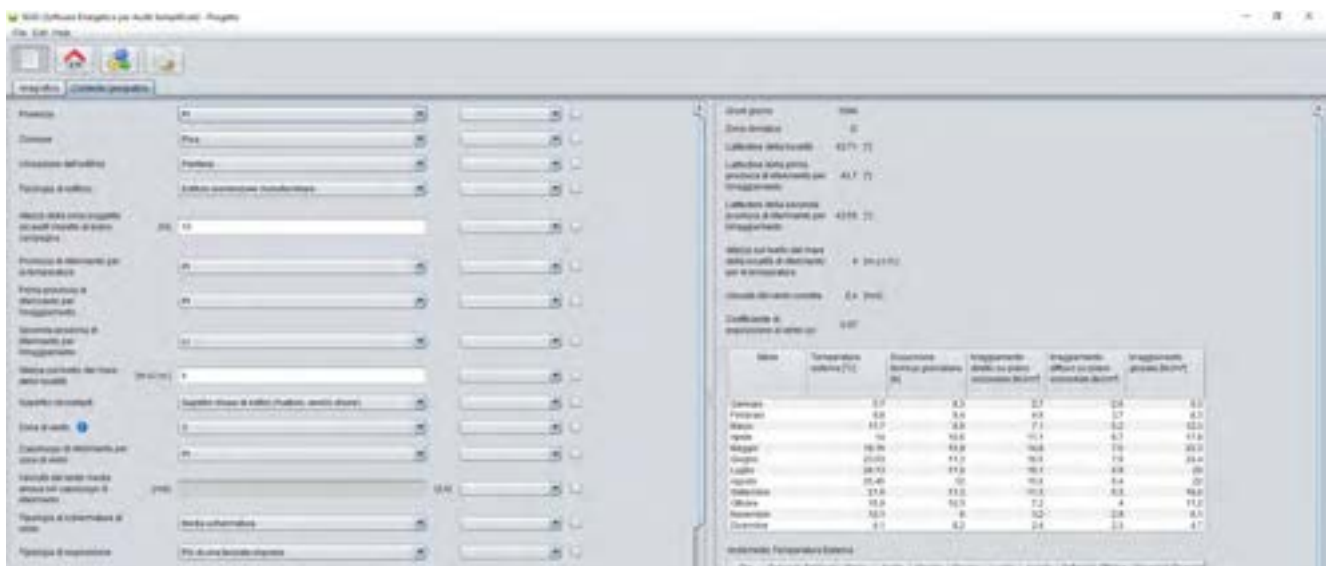


Figura 7. Screenshot SEAS su dati climatici, inserimento dati relativi al contesto geografico.

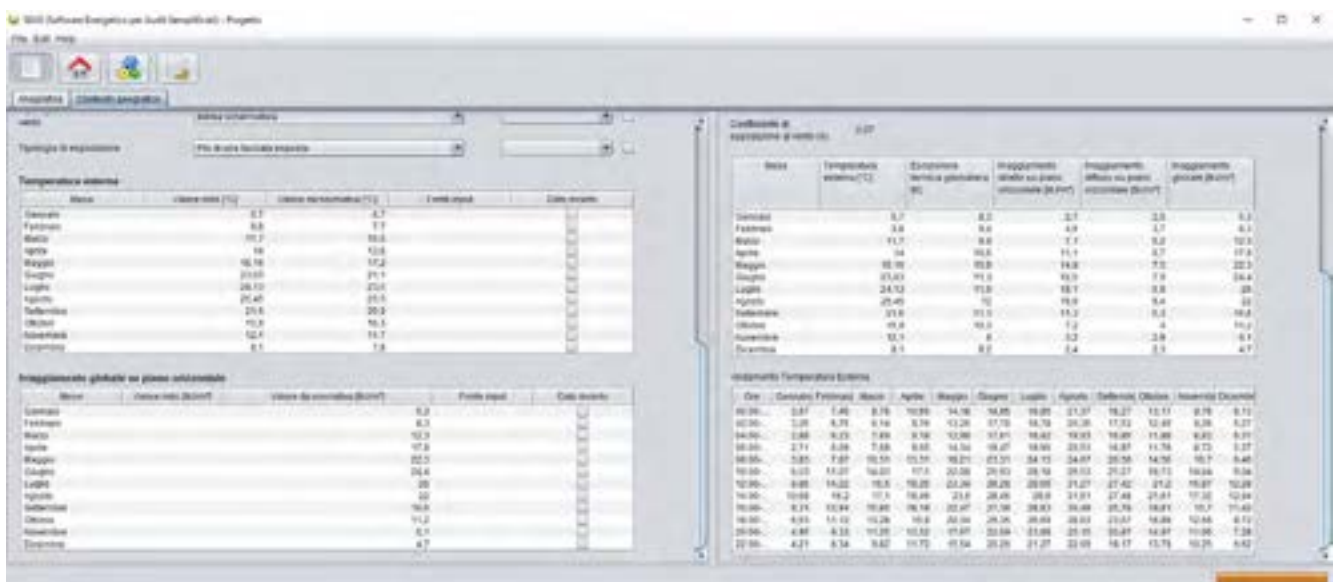


Figura 8. Screenshot SEAS su dati climatici. Confronto tra dati di temperatura da normativa e dati inseriti.

Nelle figure 7 e 8 sono riportati due screenshot da SEAS sull'inserimento dei dati climatici. Si noti che, su quasi tutti i mesi, la temperatura esterna media realmente registrata nel periodo 2016-2017 è stata leggermente superiore a quella riportata in normativa.

3.2.2 Profili di utilizzo

La prima serie di schede da compilare in SEAS è relativa ai profili di utilizzo della zona da parte dell'utenza. Da intervista, si è verificato che l'appartamento è abitato da due persone, delle quali si sono rilevati i profili di presenza, di utilizzo del sistema di riscaldamento, delle chiusure oscuranti e di apertura delle finestre.

Nella sezione “Profilo presenze” si sono inseriti i dati di presenza nell’appartamento degli occupanti, suddivisi tra giorni feriali e festivi, con step biorario. Mancando un profilo diviso per mese, il profilo complessivo è stato ottenuto con una media tra i profili dei vari mesi. Sono inoltre stati inseriti i giorni di assenza dall’appartamento, che servono per il software per non considerare gli apporti gratuiti interni e l’utilizzo dell’apparecchiatura elettrica.

Uno screenshot della scheda è riportato in Figura 9.

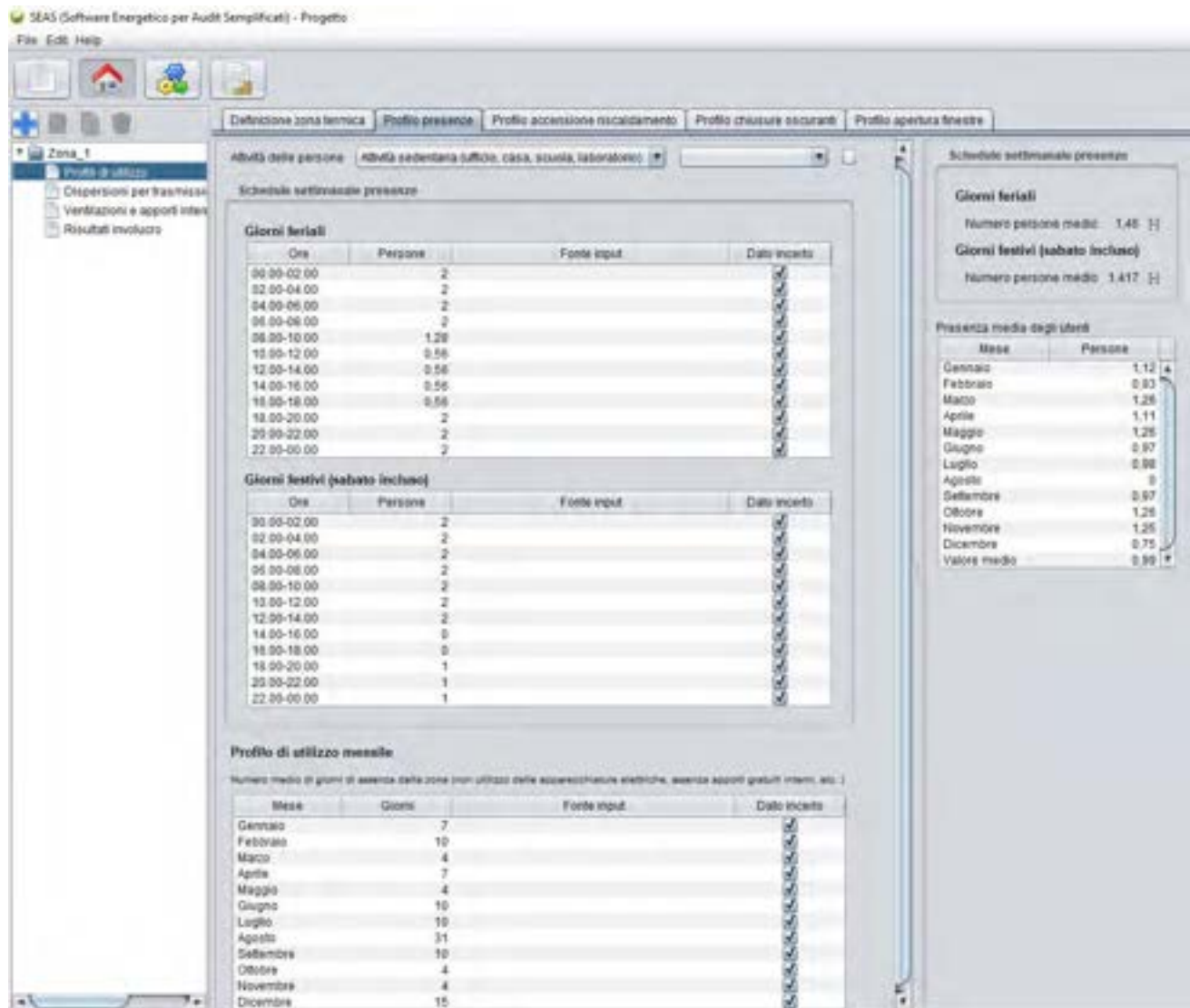


Figura 9. Screenshot SEAS, scheda "Profilo presenze".

Per quanto riguarda la scheda “Profilo accensione riscaldamento”, è stato inserito un regime di attenuazione, in quanto gli utenti hanno affermato di impostare una temperatura di setpoint pari a 19.5 °C quando si trovano in casa (per un totale di 118 ore settimanali) e una temperatura di attenuazione di 17.5 °C quando invece sono assenti. Sono inoltre stati riportati i giorni di non utilizzo dell’impianto termico. In Figura 10 è riportato uno screenshot dei dati inseriti. È stato inoltre inserito un profilo di accensione reale, per cui il

software simula la stagione di riscaldamento reale, scegliendo i giorni di accensione e spegnimento dell'impianto in base al bilancio degli apporti e delle dispersioni all'involucro.

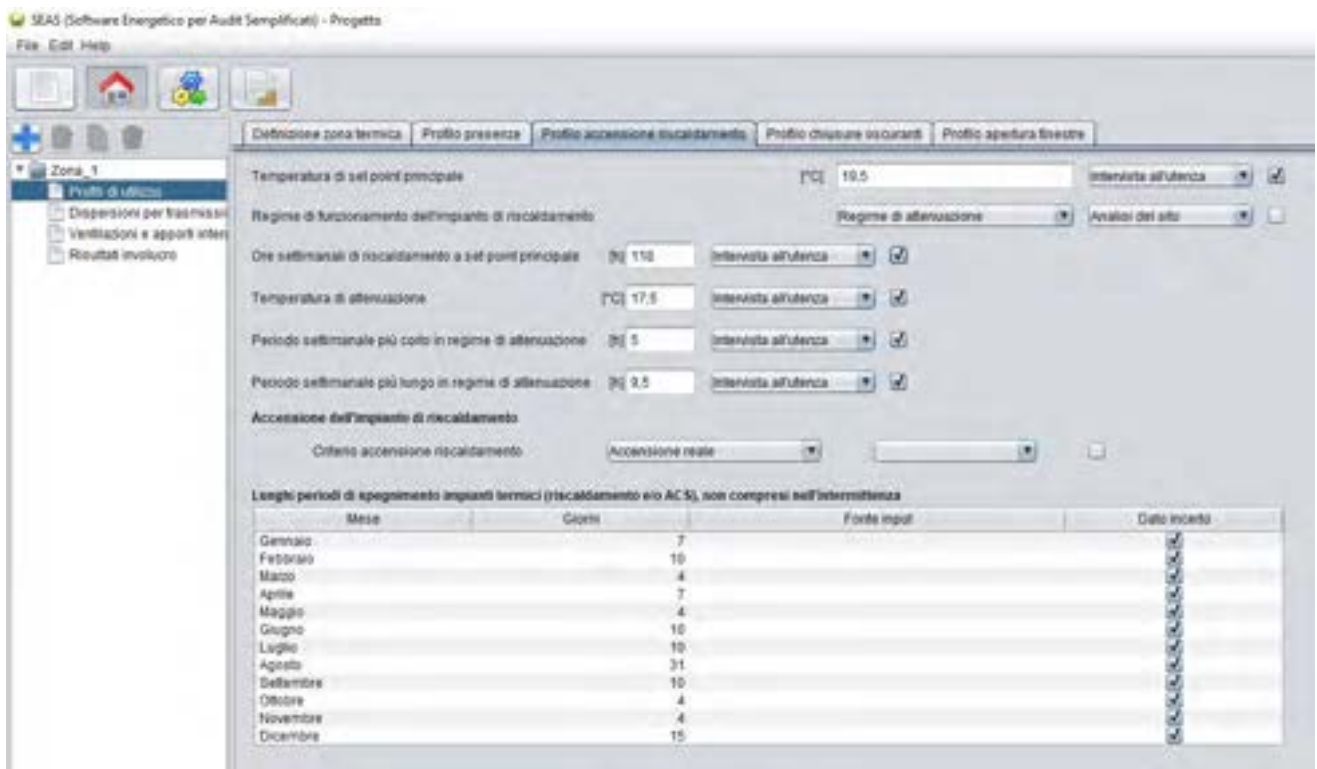


Figura 10. Screenshot SEAS, scheda "Profilo accensione riscaldamento".

Per la compilazione delle schede "Profilo chiusure oscuranti" e "Profilo aperture finestre", è stato chiesto agli utenti di descrivere, mese per mese e su step biorario, l'utilizzo delle chiusure oscuranti (tapparelle) e le modalità di apertura delle finestre. Tali profili sono stati riportati nelle apposite tabelle in SEAS. Le Figure 11 e 12 riportano due screenshot delle relative schede.

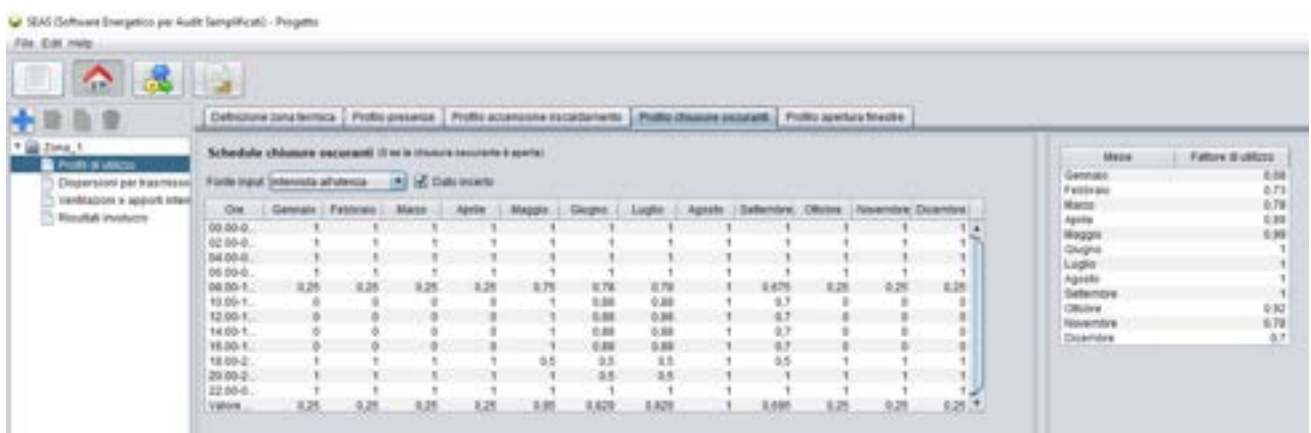


Figura 11. Screenshot SEAS, scheda "Profilo chiusure oscuranti".

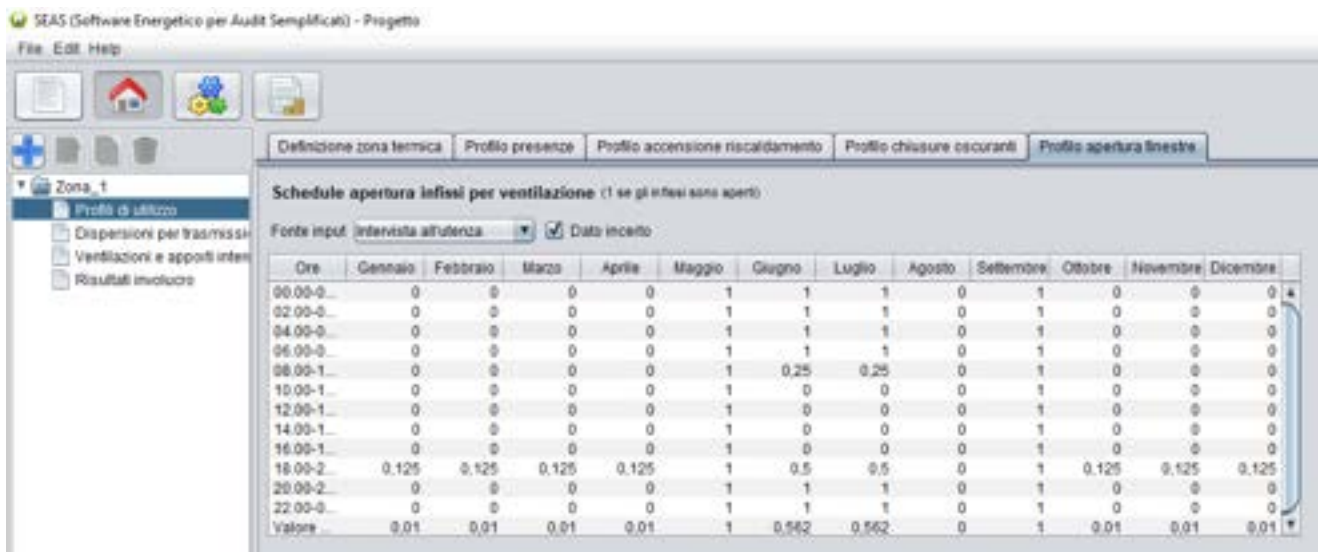


Figura 12. Screenshot SEAS, scheda "Profilo apertura finestre".

3.2.3 Dispersioni per trasmissione

In questa sezione sono stati inseriti i dati relativi ai componenti opachi, finestrati e ai ponti termici. I dati di trasmittanza e capacità termica areica di tutti i componenti sono gli stessi ottenuti tramite la modellazione nel software MC11300.

Nelle figure 13-14-15 sono riportati gli screenshot relativi all'inserimento dei dati nelle varie schede. Si noti che sulla parte destra del software compaiono dei risultati intermedi, suddivisi per mese: ad esempio, per le pareti opache (figura 13), le dispersioni per trasmissione e gli apporti solari, mentre per le superfici vetrate (figura 14) sono presenti anche le dispersioni dovute all'apertura finestra, calcolate in base ai profili di apertura inseriti nella precedente scheda "Profilo apertura finestre".

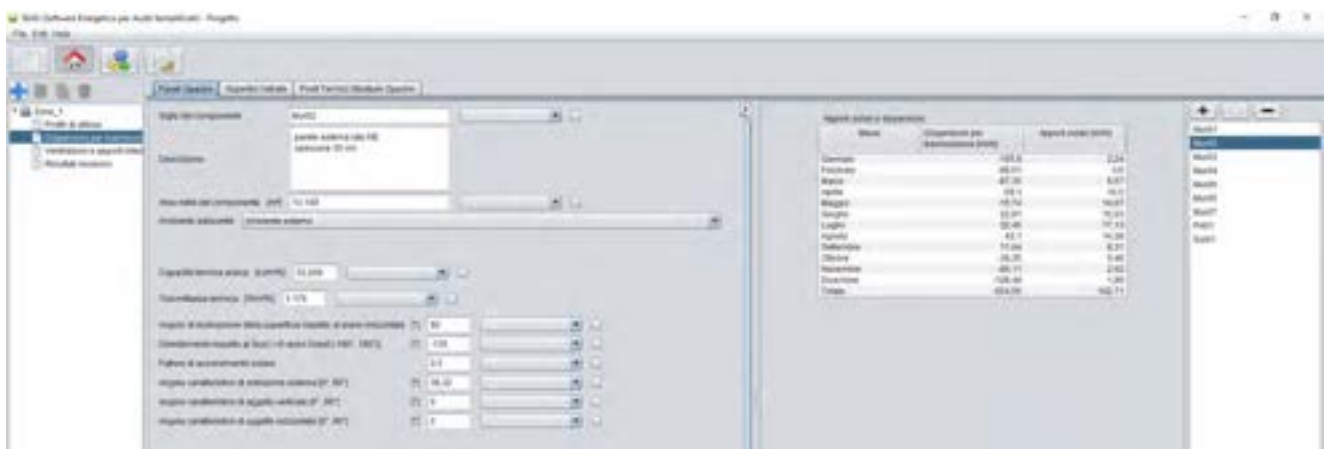


Figura 13. Screenshot SEAS, scheda "Pareti opache".

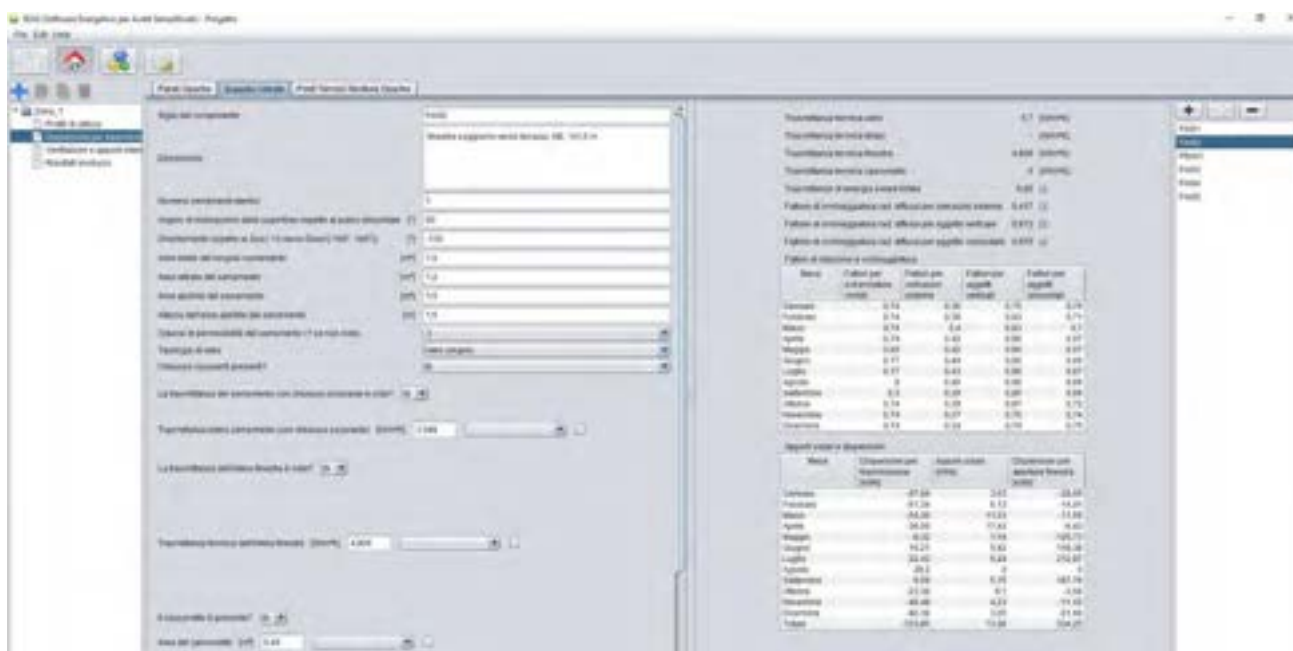


Figura 14. Screenshot SEAS, scheda "Superfici vetrate".



Figura 15. Screenshot SEAS, scheda "Ponti termici strutture opache".

3.2.4 Ventilazione e apporti interni

Nella sezione “Ventilazione e apporti interni” vengono riportati i dati di input per il calcolo delle dispersioni per ventilazione, delle richieste di volumi di ACS, ed i carichi termici ed elettrici della zona.

Per quanto riguarda la ventilazione, si è proceduto in analogia a quanto inserito su MC11300, utilizzando la metodologia di calcolo secondo UNI 10339. Si veda la Figura 16.

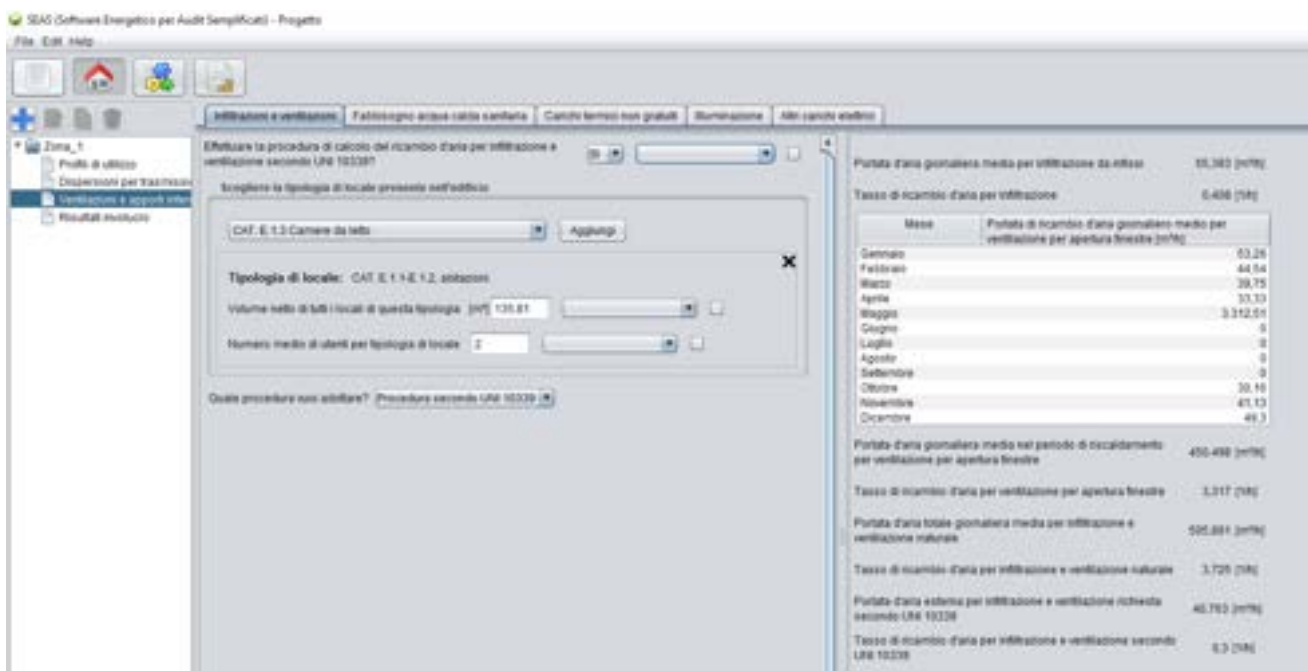


Figura 16. Screenshot SEAS, scheda "Infiltrazioni e ventilazioni".

Nella scheda "Fabbisogno acqua calda sanitaria", sono stati inseriti i volumi medi mensili di ACS, stimati tramite intervista all'utenza. Si sono considerati due tipi di consumi di ACS: uno dovuto alle docce (45 litri/giorno a 40 °C) e l'altro per il lavaggio dei piatti e stoviglie (17 litri/lavaggio a 30 °C). In figura 17 è riportato il relativo screenshot. L'utilizzo mensile di ACS è valutato sulla base dei reali profili di richiesta dichiarati dagli utenti, differenziando i giorni feriali e festivi e i periodi di assenza dall'appartamento.

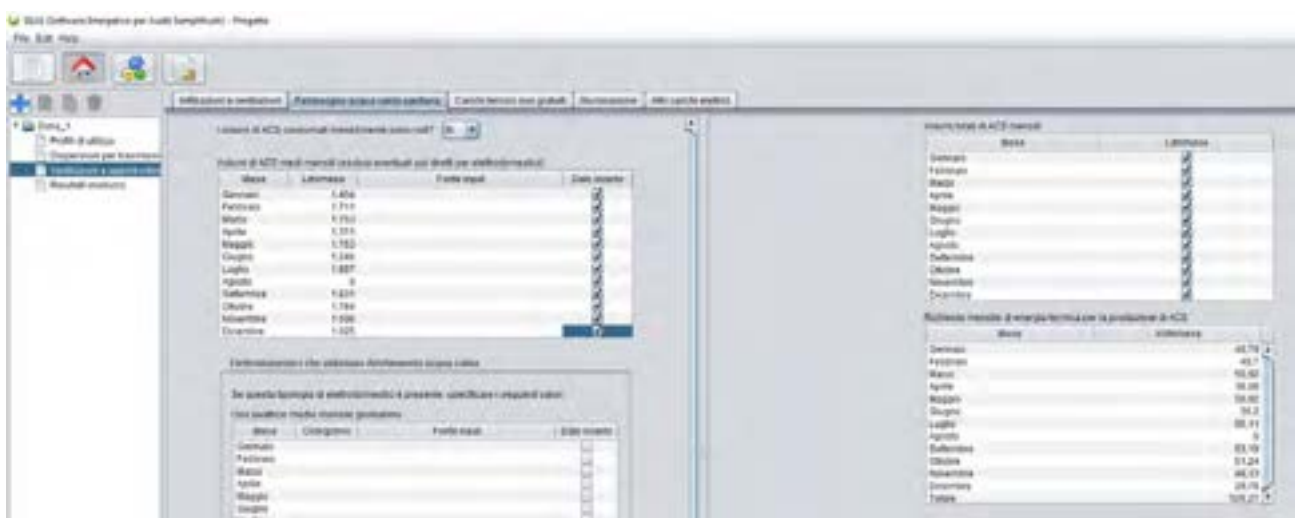


Figura 17. Screenshot SEAS, scheda "Fabbisogno Acqua calda sanitaria".

Nella scheda “Carichi termici non gratuiti” sono state inserite le energie richieste annualmente da un forno e da un piano cottura, alimentati a gas naturale, che costituiscono un apporto termico aggiuntivo per l'appartamento, non gratuito in quanto sfruttano un vettore energetico.

La figura 18 riporta lo screenshot della scheda “Carichi termici non gratuiti”.

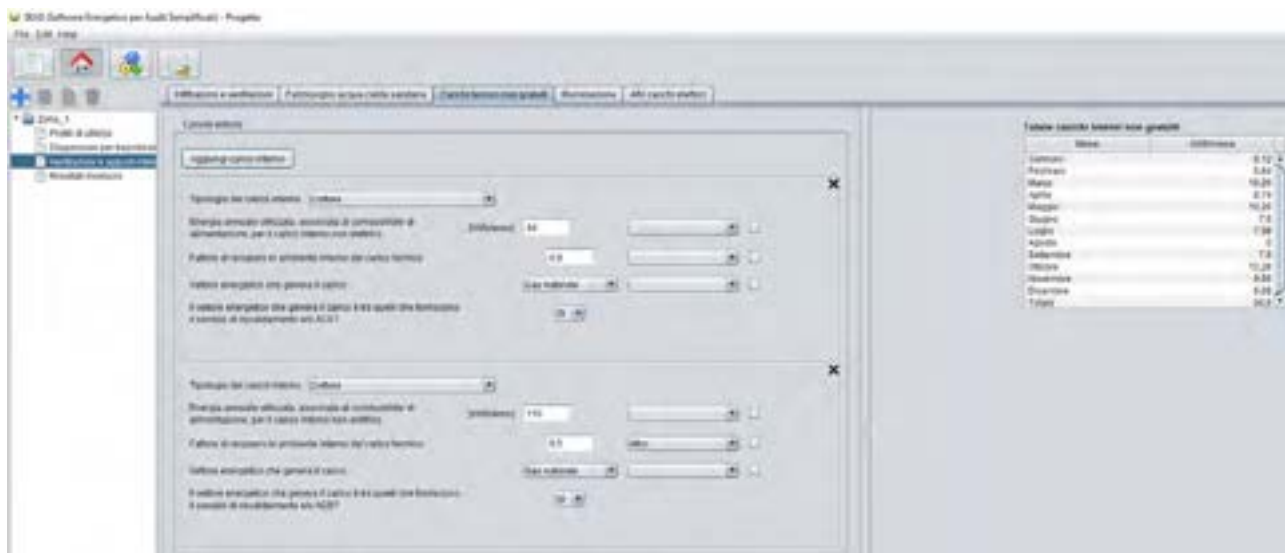


Figura 18. Screenshot SEAS, scheda "Carichi termici non gratuiti".

Nella scheda “Illuminazione” sono state riportate le potenze nominali, il numero di apparecchi e le ore di accensione effettive medie giornaliere delle lampade presenti nell’appartamento. Le lampade presenti sono di tipo fluorescenti compatte, di potenza 25 W. Non è presente un impianto di illuminazione di emergenza. La Figura 19 riporta il relativo screenshot.

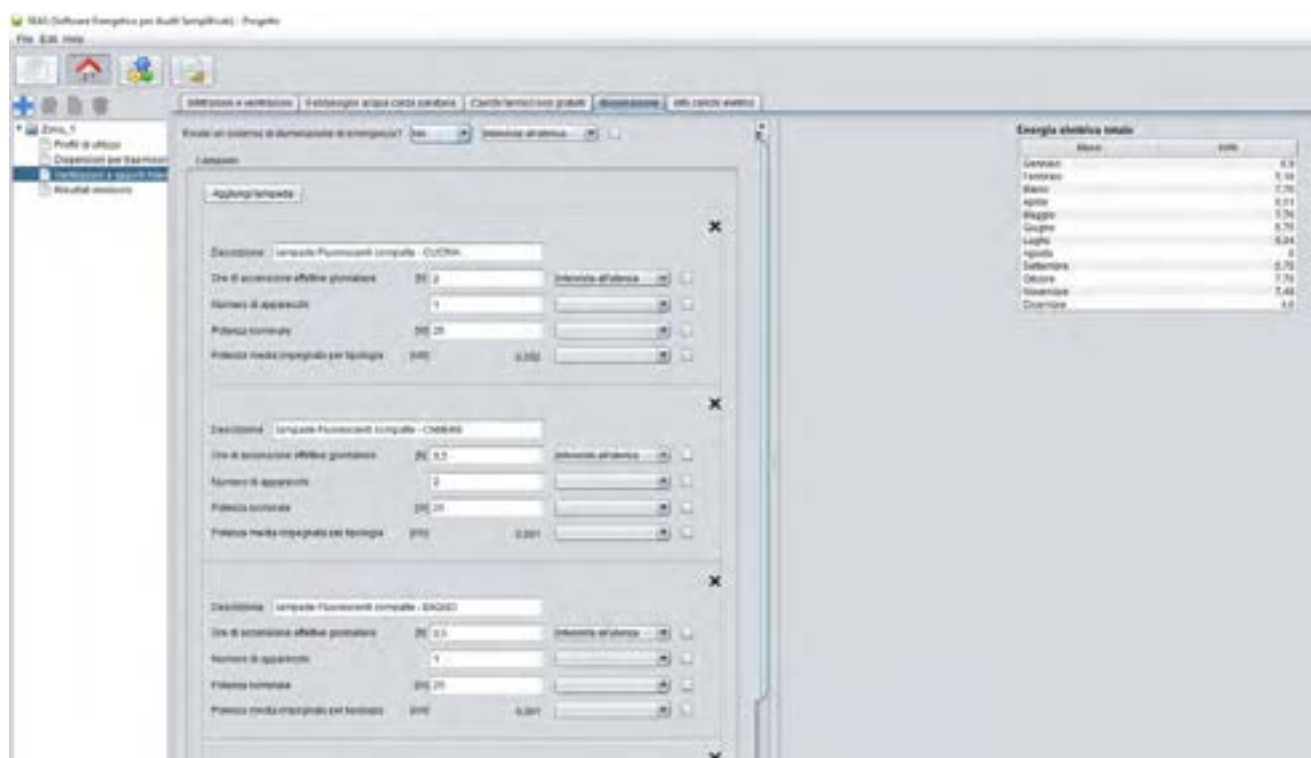


Figura 19. Screenshot SEAS, scheda "Illuminazione".

Infine, nella scheda "Altri carichi elettrici", sono stati riportati gli altri apparecchi presenti nella zona. Da intervista e sopralluogo, gli ulteriori carichi elettrici sono risultati essere un fornello elettrico, un frigorifero, due portatili, un phon e un televisore. Nessun elettrodomestico è di tipo ENERGY STAR o utilizzato in modalità risparmio energetico. La Figura 20 riporta la relativa sezione in SEAS.

The screenshot displays the SEAS software interface for entering electrical load data. The main window is titled 'SEAS (Software Energetico per Audit Semplificati) - Progetto'. The 'Altri carichi elettrici' tab is selected, showing a table for entering data on various electrical appliances. The table has columns for 'Apparecchiatura residenziale', 'Numero di apparecchi', 'Fonte input', and 'Data incasso'. The appliances listed include: Congelatore verticale, Freezer da stile, Freezer elettrico, Frigoriferatore, Hi-Fi, Lavastoviglie, Lavatrice, Lettore CD/DVD, Phon, and Televisione (non Energy Star). The right side of the screen shows a summary of the entered data, including a table for 'Energia consumata annualmente per carichi elettrici (senza illuminazione)' (Annual energy consumption for electrical loads, excluding lighting) with columns for month and kWh.

Figura 20. Screenshot SEAS, scheda "Altri carichi elettrici".

3.2.5 Inserimento dati dell'impianto

Nella sezione dedicata all'impianto in SEAS, il primo dato che viene richiesto è quello relativo ai millesimi dei vari servizi. L'appartamento considerato è autonomo, quindi si è lasciato il valore "1000" per tutti i servizi presenti. È stato inoltre riportato che un unico generatore soddisfa il servizio di riscaldamento e produzione di ACS. Si veda la figura 21.



Figura 21. Screenshot SEAS, scheda dei millesimi per i servizi.

Le caratteristiche dell'impianto inserite in SEAS sono state le stesse inserite in MC11300. Per tutti i vari sottosistemi (Emissione, Regolazione, Distribuzione RISC, Distribuzione ACS, Generazione ACS e Generazione RISC), il software riporta anche degli output intermedi quali energie in ingresso ai sottosistemi, energie elettriche richieste agli ausiliari, rendimenti mensili. Si vedano le figure 22-23-24-25.



Figura 22. Screenshot SEAS, scheda "Emissione".

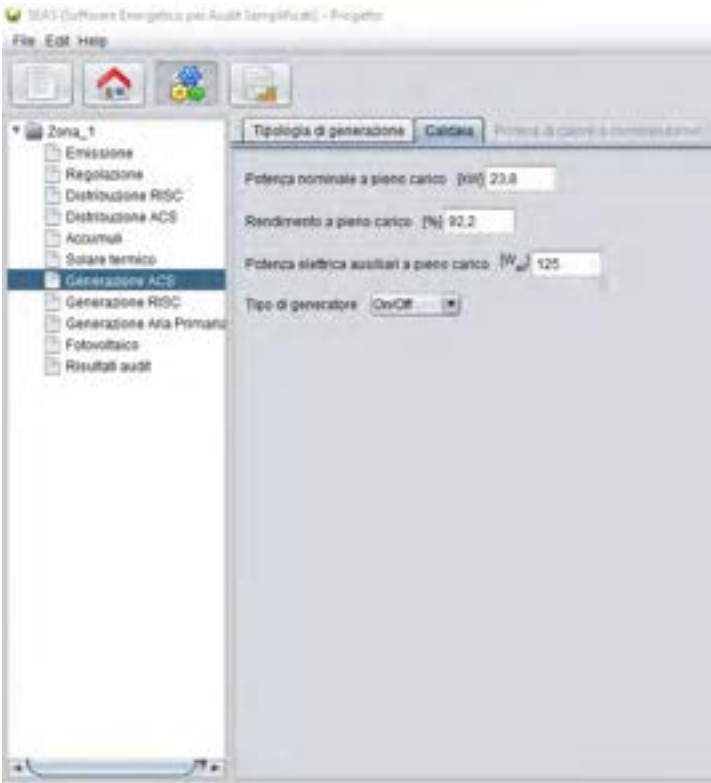


Figura 23. Screenshot SEAS, scheda "Generazione ACS".

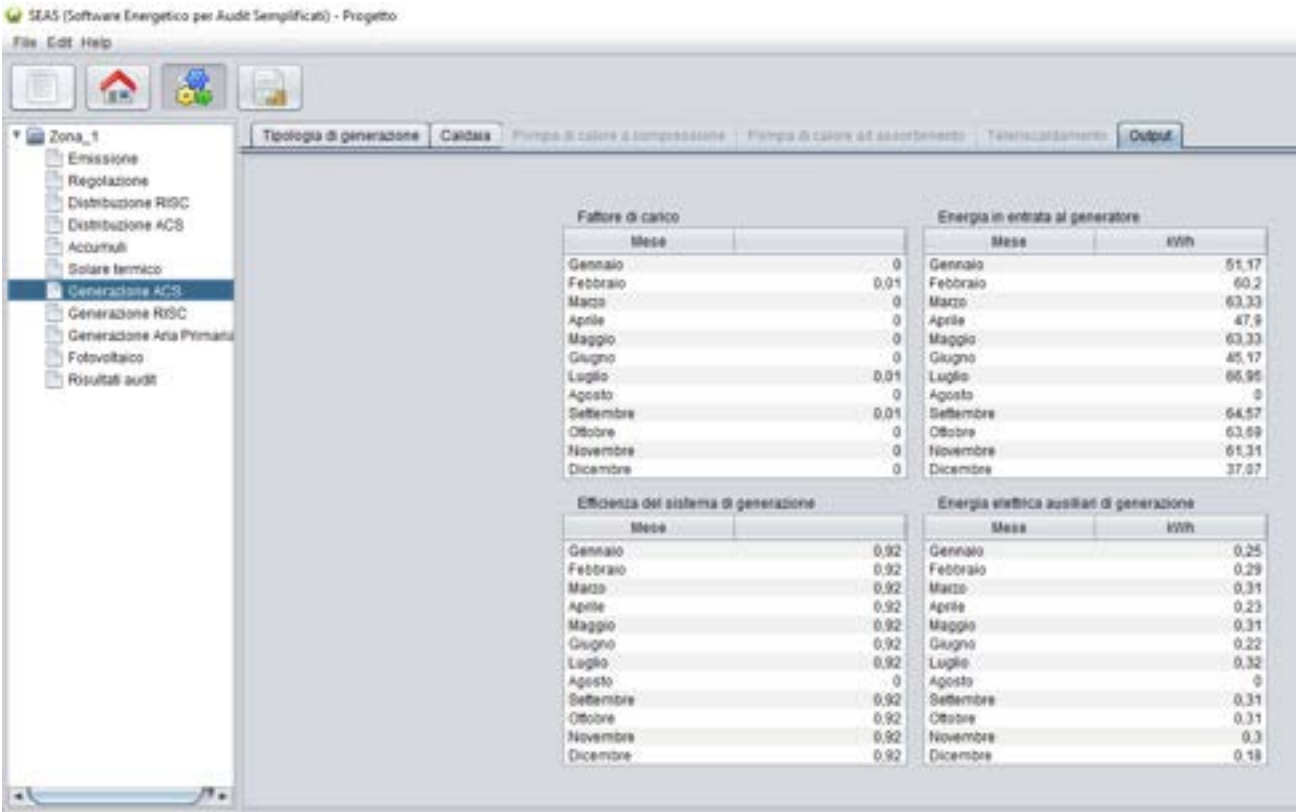


Figura 24. Screenshot SEAS, risultati intermedi "Generazione ACS".

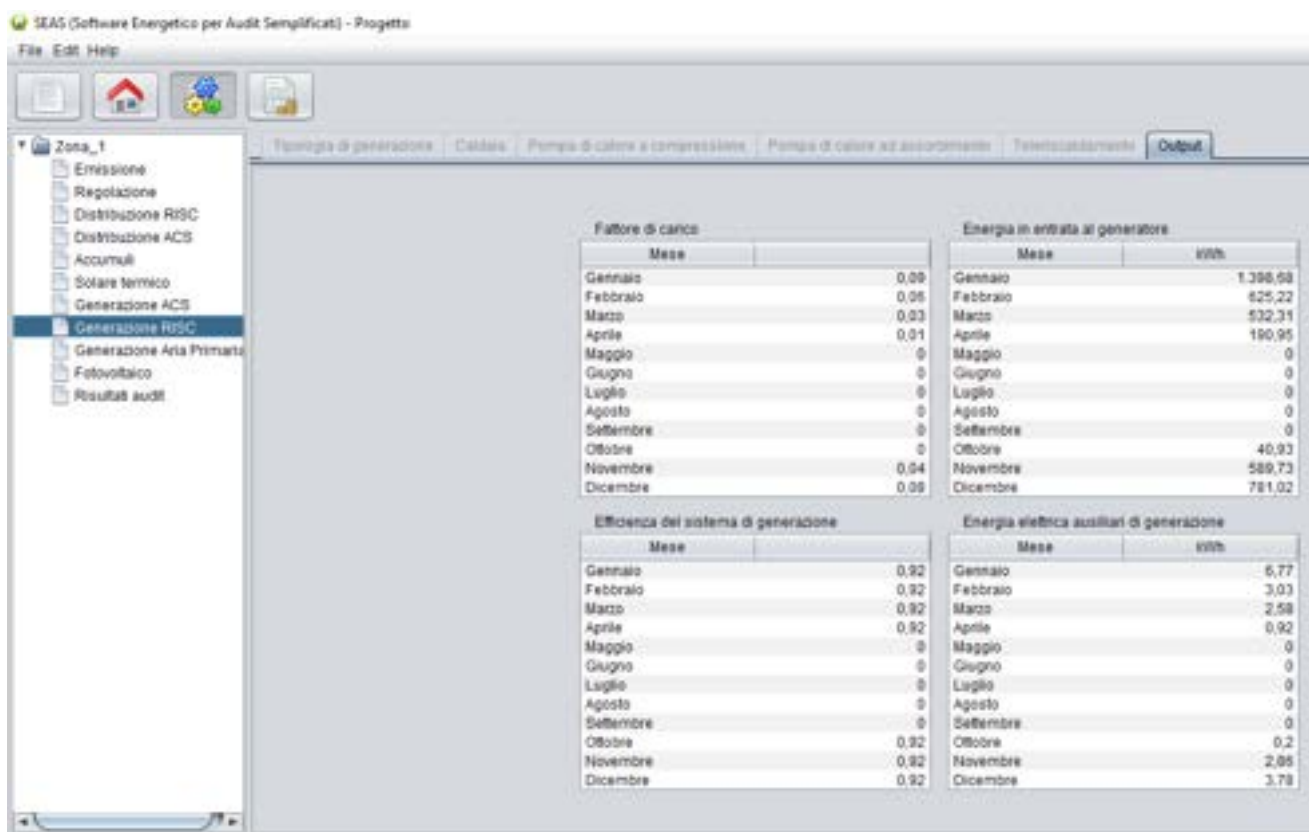


Figura 25. Screenshot SEAS, risultati intermedi "Generazione RISC".

3.3 Risultati della simulazione con software MC11300

3.3.1 Fabbisogno di energia utile in riscaldamento

Il software MC11300 riporta numerosi risultati dell'analisi A2 dell'appartamento. A livello di involucro, ad esempio, riporta, per mese, le dispersioni per trasmissione suddivisa per tipologia di componente, per ventilazione, e il flusso termico radiativo verso la volta celeste. Si veda la tabella 15.

Tabella 15. Dispersioni termiche per trasmissioni e ventilazione nel periodo di riscaldamento.

	Nov.	Dic.	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Tot.
Energia dispersa per trasmissione verso l'esterno [kWh]	800	1236	1265	1134	927	736	6097
Energia dispersa per trasmissione verso il terreno [kWh]	0	0	0	0	0	0	0
Energia dispersa per trasmissione verso ambienti non climatizzati [kWh]	62	96	98	88	72	57	472
Energia dispersa per trasmissione verso ambienti climatizzati a diversa temperatura [kWh]	0	0	0	0	0	0	0
Energia dispersa per ventilazione [kWh]	81	125	128	115	94	75	618
Extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste (componenti opachi) [kWh]	25	24	24	26	27	26	150
Extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste (finestre) [kWh]	15	14	15	15	16	16	91

Vengono inoltre riportati, per mese, i valori degli apporti gratuiti, suddivisi tra solari ed interni, ed il relativo valore del rapporto apporti/dispersioni. Si veda la tabella 16.

Tabella 16. Apporti gratuiti nel periodo di riscaldamento.

	Nov.	Dic.	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Tot.
Apporti solari su componenti opachi [kWh]	46	35	41	48	73	78	320
Apporti solari su componenti trasparenti [kWh]	168	135	154	175	258	265	1156
Apporti interni [kWh]	225	232	232	210	232	225	1358
Rapporto apporti/dispersioni [kWh]	0.42	0.25	0.26	0.29	0.46	0.59	

Infine, si riporta una tabella (tabella 17) riassuntiva in cui sono inseriti i valori di energia dispersa per trasmissione, per ventilazione, gli apporti solari sui componenti finestrati, gli apporti interni, il fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica, ed il fabbisogno di energia utile in riscaldamento. In tabella 17 sono riportati i risultati, utilizzando la notazione seguente:

- $Q_{H,tr}$ Scambio di energia termica per trasmissione;
- $Q_{H,ve}$ Scambio di energia termica per ventilazione;

- $Q_{H,ht}$ Scambio di energia termica in totale, dato dalla somma di scambi per ventilazione e trasmissione;
- $Q_{sol,w}$ Apporti solari sui componenti trasparenti;
- Q_{int} Apporti interni;
- Q_{gn} Apporti totali di energia termica, dato dalla somma di apporti solari su componenti trasparenti e apporti interni;
- $\eta_{H,gn}$ Fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica;
- $Q_{H,nd}$ Fabbisogno di energia termica utile in riscaldamento.

Tabella 17. Fabbisogni di energia utile nel periodo di riscaldamento.

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Nov.	856	81	937	168	225	393	0.99	547
Dic.	1334	125	1459	135	232	367	1.00	1092
Gen.	1361	128	1489	154	232	386	1.00	1103
Feb.	1215	115	1330	175	210	385	1.00	945
Mar.	968	94	1062	258	232	490	0.99	577
Apr.	756	74	830	265	225	490	0.97	354
Tot.	6491	618	7109	1156	1357	2513		4618

I contributi di dispersioni e di apporti dell'appartamento per l'intera stagione di riscaldamento sono riportati nel grafico a torta in figura 26. Da questo grafico si nota il peso preponderante delle perdite per trasmissione, pari al 92% delle perdite complessive, e il contributo trascurabile dell'intermittenza (il fattore di utilizzazione degli apporti è sempre prossimo a 1 su tutti i mesi). Per quanto riguarda l'effetto degli apporti, si segnala un contributo simile tra gli apporti solari sulle finestre e gli apporti gratuiti interni.

Si è quindi proceduto al calcolo dell'energia primaria necessaria per soddisfare i servizi di riscaldamento e produzione di ACS, utilizzando i rendimenti dei vari sottosistemi impiantistici ed i seguenti fattori di conversione in energia primaria dei vettori energetici utilizzati:

- Gas naturale: fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile 1.05, fattore di conversione in energia primaria rinnovabile 0;
- Energia elettrica da rete: fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile 1.95, fattore di conversione in energia primaria rinnovabile 0.47.

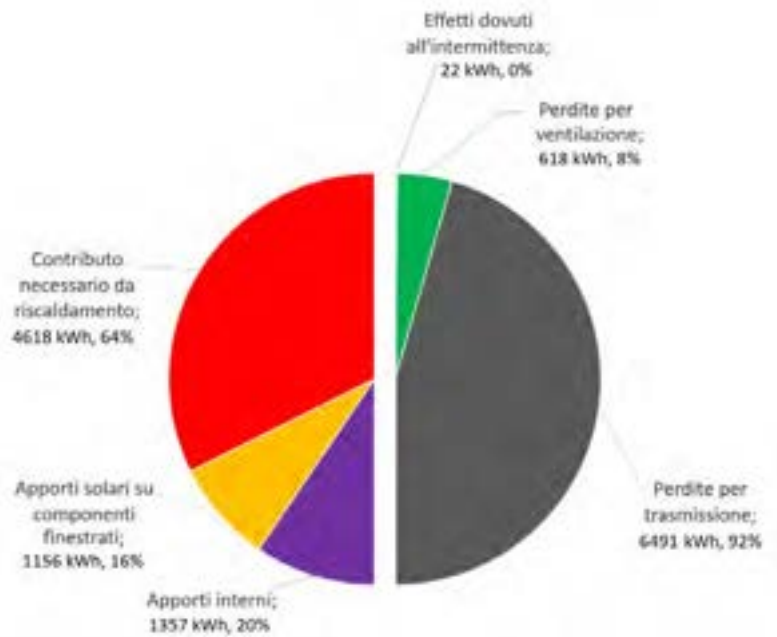


Figura 26. Bilancio di dispersioni e apporti nella stagione di riscaldamento.

Tabella 18. Fabbisogni di energia primaria per il servizio di riscaldamento.

Mese	Fabbisogno di generazione per riscaldamento $Q_{H,gn,in}$ [kWh]	Fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari $E_{H,gn,aux}$ [kWh]	Energia primaria per il servizio di riscaldamento $E_{H,p,tot}$ [kWh]
Gen.	1542	14	1653
Feb.	1332	12	1428
Mar.	802	7	859
Apr.	245	2	262
Mag.	-	-	-
Giu.	-	-	-
Lug.	-	-	-
Ago.	-	-	-
Set.	-	-	-
Ott.	-	-	-
Nov.	761	7	816
Dic.	1527	14	1637
Tot	6199	55	6642

Tabella 19. Fabbisogni di energia primaria per il servizio di ACS.

Mese	Fabbisogno di generazione per ACS $Q_{W,gn,in}$ [kWh]	Fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari $E_{W,gn,aux}$ [kWh]	Energia primaria per il servizio di ACS $E_{W,p,tot}$ [kWh]
Gen.	107	1	114
Feb.	96	1	103
Mar.	107	1	114
Apr.	103	1	111
Mag.	107	1	114
Giu.	103	1	111
Lug.	107	1	114
Ago.	107	1	114
Set.	103	1	111
Ott.	107	1	114
Nov.	103	1	111
Dic.	107	1	114
Tot	1256	11	1346

In base ai risultati forniti dal software, è stato realizzato il grafico in figura 27, dove si nota la suddivisione tra l'energia primaria richiesta per i servizi di riscaldamento e produzione di ACS. Si noti, in particolare, il trascurabile contributo dell'energia primaria proveniente da fonti rinnovabili: questa ovviamente proviene solamente dall'energia elettrica utilizzata per gli ausiliari, e rappresenta quindi una percentuale irrilevante. L'utilizzo del gas naturale come combustibile per entrambi i servizi fa sì che l'energia primaria richiesta sia, quasi totalmente, non rinnovabile.

Infine, per quanto riguarda la classe energetica dell'abitazione allo stato attuale, è stata ottenuta una classe F con indice di prestazione energetica globale (in energia primaria non rinnovabile) pari a circa 159 kWh/m²: si veda la figura 28.

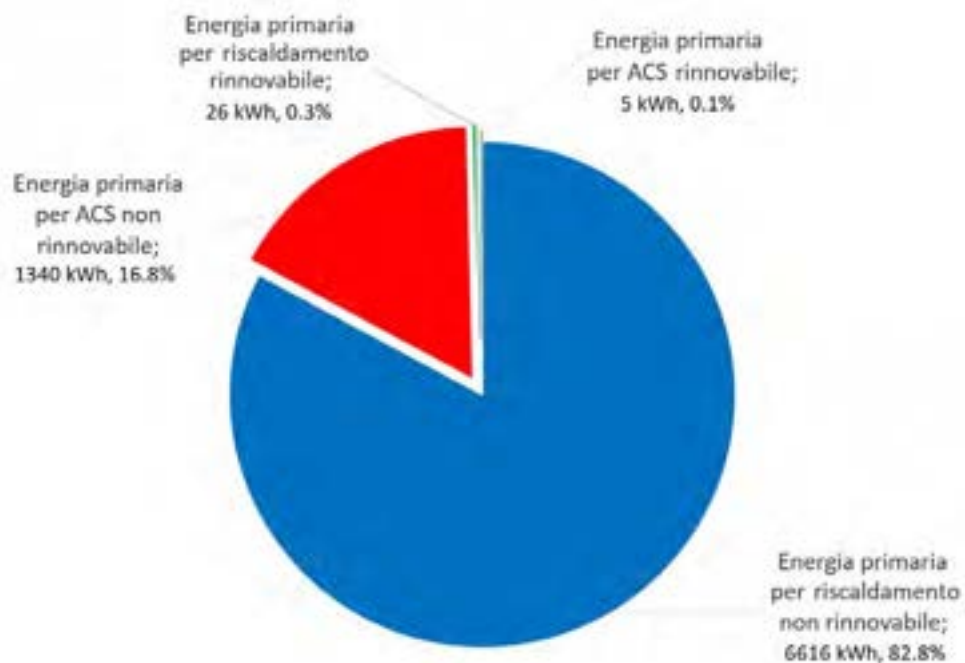


Figura 27. Suddivisione dell'energia primaria per i servizi di riscaldamento e produzione di ACS.



Figura 28. Risultato della simulazione con MC1300 in termini di classe energetica.

3.3.2 Fabbisogno di energia per raffrescamento

Il software MC1300 riporta il bilancio energetico relativo al periodo estivo riferito ad una stagione di raffrescamento ideale, compresa, per il caso in esame, tra il 21 maggio e il 23 settembre. Anche in questo caso, vengono suddivisi i contributi di dispersione e ventilazione da quelli di apporti.

La tabella 20 riporta, mese per mese, i contributi delle dispersioni per trasmissione e ventilazione nella stagione di raffrescamento. La tabella 21, invece, riporta i contributi degli apporti gratuiti, divisi in solari sui componenti opachi, solari su componenti finestrati, ed interni, insieme al rapporto apporti/dispersioni.

Tabella 20. Dispersioni per trasmissione e ventilazione nel periodo di raffrescamento.

	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Tot.
Energia dispersa per trasmissione verso l'esterno [kWh]	807	520	309	289	598	2522
Energia dispersa per trasmissione verso il terreno [kWh]	0	0	0	0	0	0
Energia dispersa per trasmissione verso ambienti non climatizzati [kWh]	63	40	24	22	46	195
Energia dispersa per trasmissione verso ambienti climatizzati a diversa temperatura [kWh]	0	0	0	0	0	0
Energia dispersa per ventilazione [kWh]	82	53	31	29	61	256
Extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste (componenti opachi) [kWh]	29	30	33	31	26	149
Extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste (finestre) [kWh]	18	18	20	19	16	90

Tabella 21. Apporti gratuiti nel periodo di raffrescamento.

	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Tot.
Apporti solari su componenti opachi [kWh]	97	98	109	109	92	506
Apporti solari su componenti trasparenti [kWh]	314	308	345	358	323	1648
Apporti interni [kWh]	232	225	232	232	225	1147
Rapporto apporti/dispersioni [kWh]	0.61	0.95	1.81	2.11	0.84	

Infine, si riporta in Tabella 22 il quadro riassuntivo delle perdite per trasmissione e ventilazione e degli apporti solari e gratuiti insieme ai valori dei fattori di utilizzazione delle dispersioni, mese per mese. La notazione usata è la seguente:

- $Q_{C,tr}$ Scambio di energia termica per trasmissione;
- $Q_{C,ve}$ Scambio di energia termica per ventilazione;
- $Q_{C,ht}$ Scambio di energia termica in totale, dato dalla somma delle dispersioni per trasmissione e ventilazione;
- $Q_{sol,w}$ Apporti solari su componenti trasparenti;
- Q_{int} Apporti interni;

- Q_{gn} Apporti totali di energia termica, dato dalla somma degli apporti solari su componenti trasparenti e apporti interni;
- $\eta_{C,ls}$ Fattore di utilizzazione delle dispersioni;
- $Q_{C,nd}$ Fabbisogno di energia termica utile in raffrescamento.

Tabella 22. Fabbisogni di energia utile nella stagione di raffrescamento.

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Mag.	820	82	902	314	232	546	0.60	0,8
Giu.	510	53	563	308	225	533	0.88	40
Lug.	277	31	308	345	232	577	1.00	271
Ago.	252	29	281	358	232	590	1.00	311
Set.	594	61	655	323	225	548	0.81	17
Tot	2450	256	2706	1648	1147	2795		638

I contributi complessivi, su tutta la stagione di raffrescamento, di apporti e dispersioni sono riportati in figura 29.

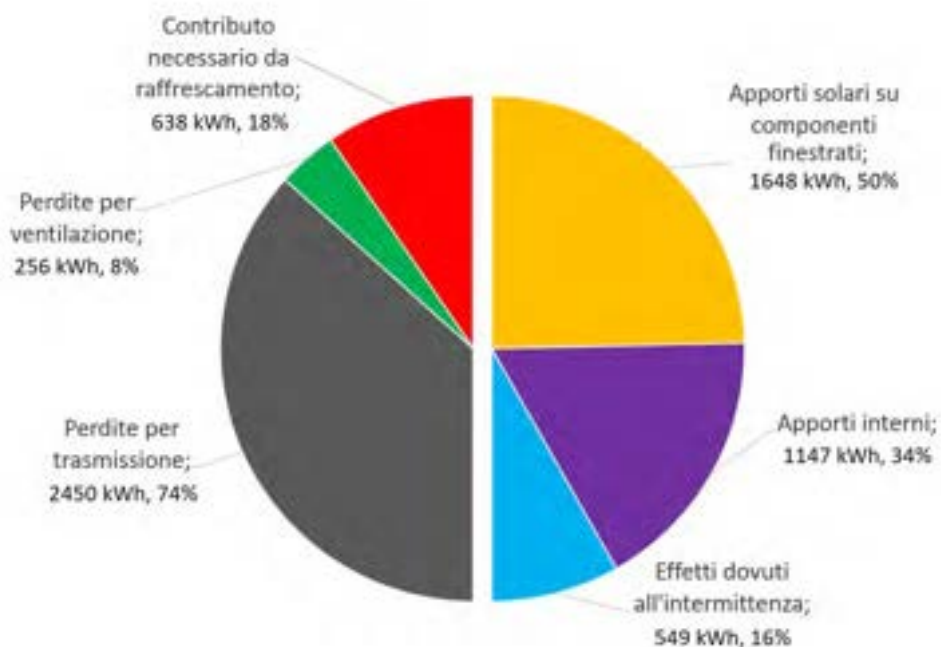


Figura 29. Bilancio di apporti e dispersioni per la stagione di raffrescamento.

L'appartamento in analisi non è però dotato di impianto di climatizzazione estivo, per cui non si è calcolata l'energia effettivamente utilizzata per raffrescamento.

3.4 Risultati della simulazione con SEAS

3.4.1 Risultati involucro e risultati audit

Il software SEAS fornisce risultati intermedi a livello dell'involucro edilizio: per ogni mese, vengono riportati i valori dei carichi interni (gratuiti e non), solari (alle pareti opache e ai componenti finestrati), le perdite per trasmissione e ventilazione, e il conseguente fabbisogno netto di riscaldamento. È possibile quindi ricavare anche il fattore di utilizzazione degli apporti.

La tabella 23 riporta i risultati di SEAS in termini di dispersioni e apporti a livello di involucro, in cui è usata la seguente nomenclatura:

- $Q_{Int.Not.Free}$ carichi interni non gratuiti;
- Q_{Int} carichi interni gratuiti
- $Q_{Sol.Op}$ apporti solari sulle pareti opache;
- $Q_{Sol.Fin}$ apporti solari sulle finestre;
- Q_{ve} perdite per ventilazione;
- $Q_{Tr.Op}$ Perdite per trasmissione sulle pareti opache;
- $Q_{Tr.Fin}$ perdite per trasmissione sulle finestre;
- Q_{Pt} perdite per trasmissione sui ponti termici;
- $\eta_{H,gn}$ fattore di utilizzazione degli apporti;
- $Q_{H,nd}$ fabbisogno netto di riscaldamento.

Tabella 23. Risultati involucro di SEAS.

Mese	$Q_{Int.Not.Free}$ [kWh]	Q_{Int} [kWh]	$Q_{Sol.Op}$ [kWh]	$Q_{Sol.Fin}$ [kWh]	Q_{ve} [kWh]	$Q_{Tr.Op}$ [kWh]	$Q_{Tr.Fin}$ [kWh]	Q_{Pt} [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Gen	63	81	17	80	-103	-479	-486	-239	0.99	-1069
Feb	43	51	20	95	-53	-249	-254	-123	0.97	-478
Mar	80	103	47	220	-63	-297	-304	-147	0.90	-407
Apr	61	77	52	232	-37	-174	-180	-85	0.77	-149
Mag	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Giu	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Lug	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Set	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Ott	80	103	44	206	-26	-127	-134	-61	0.73	-32
Nov	78	99	23	105	-58	-270	-277	-133	0.94	-451
Dic	28	36	9	46	-56	-262	-267	-130	0.99	-597
Tot	433	550	212	984	-398	-1858	-1902	-918		-3182

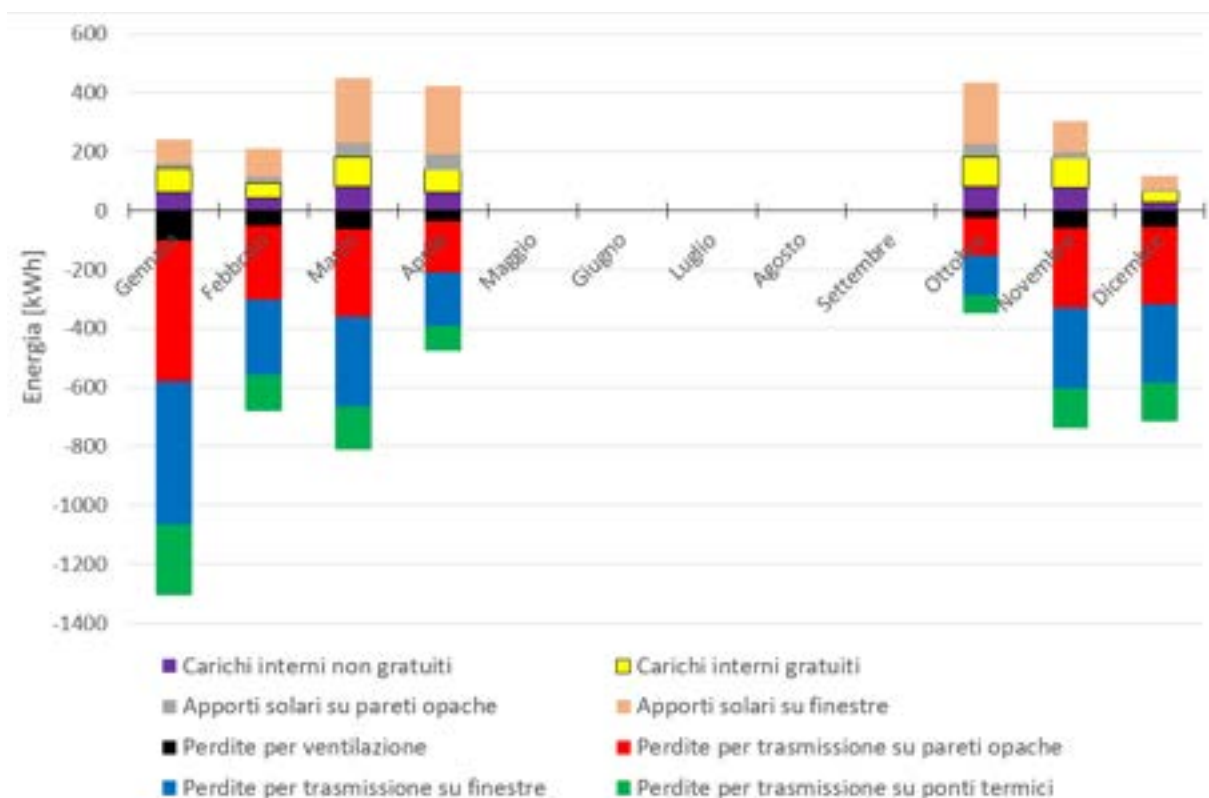


Figura 30. Risultati di SEAS relativi all'involucro, mese per mese.

Al termine della sezione "Impianto" sono riportati i risultati dell'audit, suddivisi per singolo servizio e singolo vettore energetico; sono inoltre presenti quelli totali relativi alla zona. Le figure 31 e 32 riportano due screenshot di SEAS.

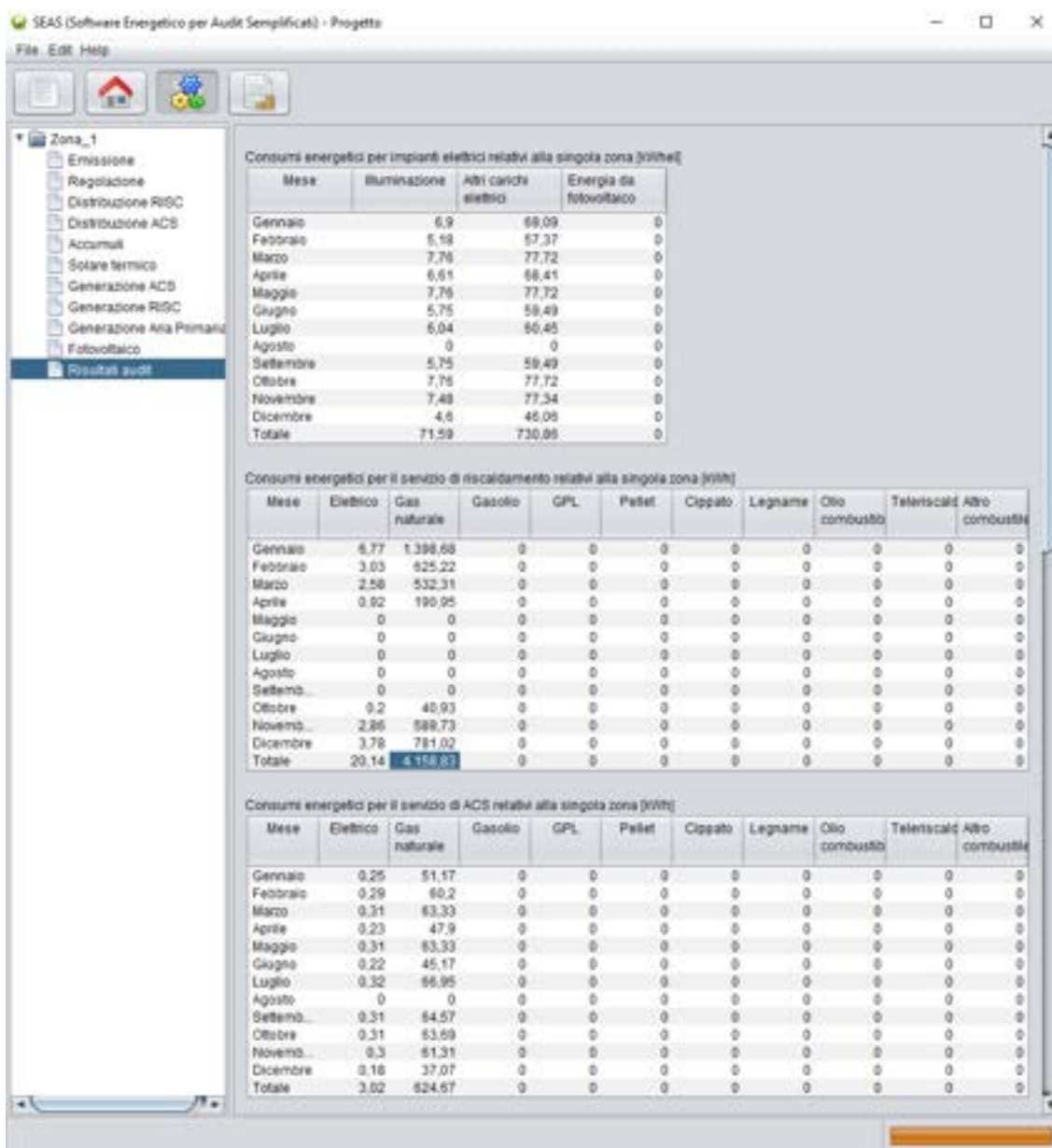


Figura 31. Screenshot SEAS, consumi energetici per illuminazione, altri carichi elettrici, servizio di riscaldamento e produzione ACS.

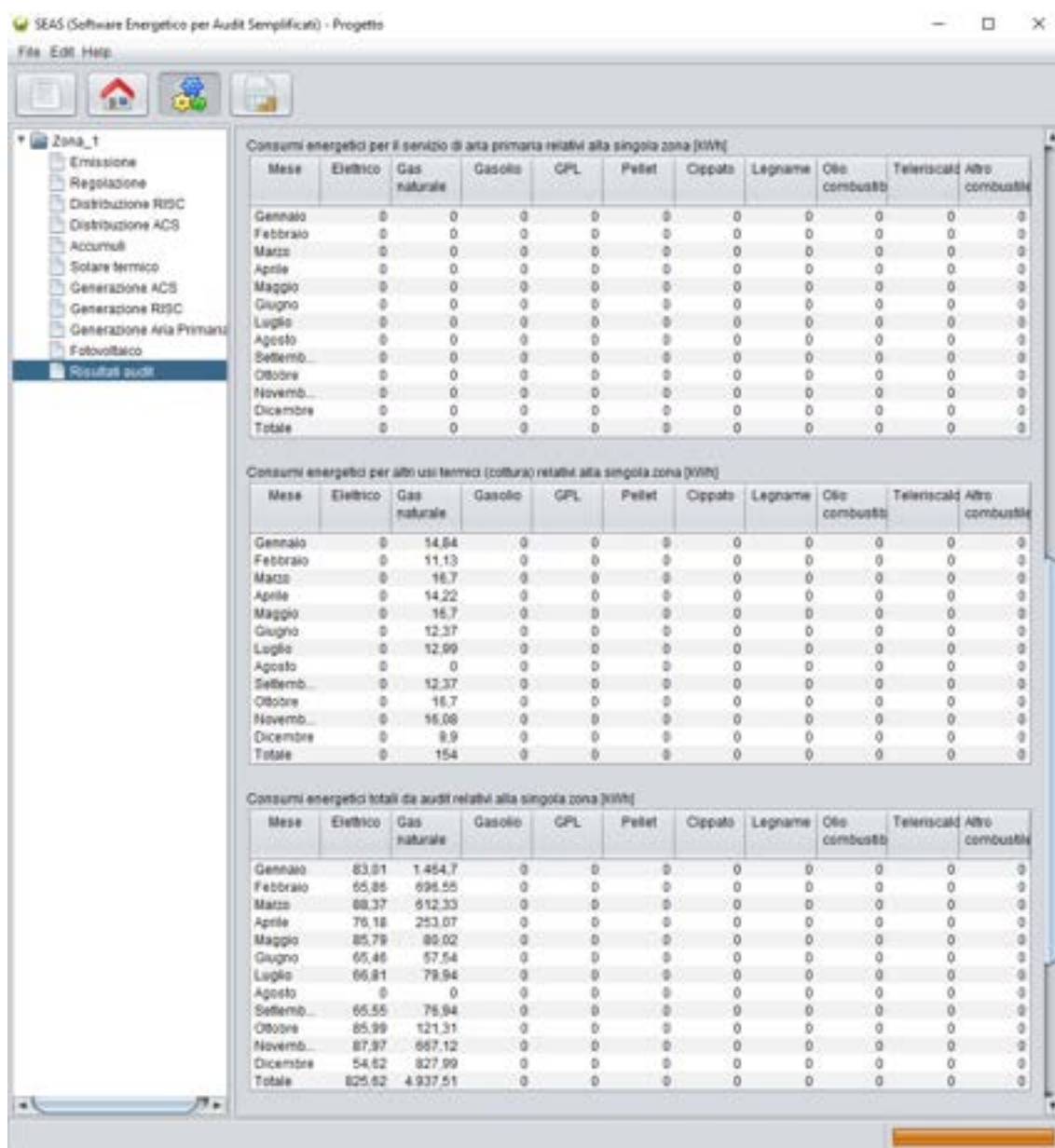


Figura 32. Screenshot SEAS, consumi energetici per usi cottura e consumi energetici totali.

La tabella 24 riporta i consumi di energia elettrica e di gas naturale complessivi per l'anno simulato, suddivisi per servizio. Si nota che i consumi elettrici totali ammontano a 826 kWh/anno mentre quelli per il vettore gas naturale risultano pari a 4938 kWh/anno. In particolare si calcola che il 2,4 % dell'energia elettrica sia richiesta dagli ausiliari dell'impianto di riscaldamento, lo 0,4 % per gli ausiliari dell'impianto di produzione di ACS e il 97,2 % viene utilizzata per illuminazione e per alimentare gli altri carichi elettrici presenti. Per quanto riguarda il vettore gas naturale l'84,2 % viene richiesto per il servizio di riscaldamento, il 12,7 % viene consumato dall'impianto di produzione di ACS mentre, il 3,1 % viene utilizzato per la cottura.

Tabella 24. Consumi complessivi di energia elettrica e di gas naturale, suddivisi per uso finale.

Consumi energia elettrica [kWh]		Consumi gas naturale [kWh]	
Servizio riscaldamento	20	Servizio riscaldamento	4159
Servizio ACS	3	Servizio ACS	625
Illuminazione	72	Cottura	154
Altri carichi elettrici	731		
Totale	826	Totale	4938

3.4.2 Confronto con dati di fatturazione energetica

Per poter ritenere validata la simulazione effettuata con SEAS, e poter quindi procedere alla simulazione degli interventi e alla stima realistica dei risparmi energetici ed economici conseguibili con interventi di riqualificazione, è necessario confrontare i risultati della diagnosi con dei dati di fatturazione energetica.

Sono stati acquisiti i dati delle fatturazioni energetiche relativi ai vettori energetici gas naturale ed energia elettrica per il periodo degli anni 2016-2017: lo stesso periodo è stato usato per l'inserimento dei dati climatici. I dati delle fatturazioni energetiche sono stati inserite nell'apposita scheda in SEAS, per effettuare il confronto con i risultati dell'audit. Il confronto tra i consumi è riportato in tabella 25: questo evidenzia un sostanziale accordo tra i risultati della diagnosi e i dati delle fatturazioni, per cui la simulazione con SEAS può essere ritenuta validata e usata per le successive analisi di riqualificazione.

Tabella 25. Confronto tra risultati dell'audit in SEAS e fatturazioni energetiche.

Energia termica [kWh]		Scarto %	Energia elettrica [kWh]		Scarto %
Consumi da fatturazioni	Consumi da audit		Consumi da fatturazioni	Consumi da audit	
5061	4938	-2.4	791	826	+4.4

4 Analisi degli interventi di retrofit

4.1 Definizione degli interventi di retrofit

La seconda parte della ricerca prevede la scelta degli interventi di retrofit da simulare nel caso studio proposto, per due diversi livelli di analisi:

- Il primo livello prevede l'individuazione di quegli interventi che portano l'unità abitativa a NZEB in accordo alla legislazione italiana;
- Il secondo livello serve alla scelta di quegli interventi che riducono significativamente l'energia (termica ed elettrica) richiesta dall'appartamento, ma in un'ottica di ottimizzazione costi-benefici.

In generale, gli interventi scelti per il miglioramento energetico nell'ottica costi-benefici non saranno necessariamente quelli utilizzati per portare a NZEB l'appartamento.

4.2 Interventi finalizzati ad ottenere la configurazione NZEB

4.2.1 Descrizione degli interventi

Per la definizione di NZEB, come specificato nel paragrafo 1.4, è necessario confrontare l'edificio in analisi con quello "di riferimento" in termini di alcuni parametri. Per il caso studio in esame, i valori calcolati allo stato di fatto per i parametri di riferimento sono riportati nella tabella 26, confrontati con i valori dell'edificio di riferimento. Oltre a questi parametri, è prevista una copertura del 50% dei consumi totali per ACS, riscaldamento e raffrescamento con energia prodotta da fonti rinnovabili. La tabella mostra l'insufficiente prestazione energetica dell'attuale sistema, in quanto quasi nessun indicatore raggiunge il valore limite necessario.

Tabella 26. Confronto tra i parametri di riferimento NZEB dell'edificio allo stato di fatto e l'edificio di riferimento.

	u.m.	Descrizione	Valore calcolato (stato di fatto)	Valore edificio di riferimento
H'_T	W/m ² K	Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente	1.68	≤ 0.58
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	-	Area solare equivalente estiva per unità di superficie	0.059	≤ 0.030
$EP_{H,nd}$	kWh/m ²	Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	88.77	≤ 10.48
$EP_{C,nd}$	kWh/m ²	Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	12.61	≤ 21.67
$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	Indice di prestazione energetica globale dell'edificio	159.58	≤ 60.64
η_H	-	Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale	0.67	≥ 1.09
η_w	-	Efficienza media stagionale dell'impianto di produzione di ACS	0.71	≥ 0.72
η_c	-	Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva	-	-

Per ottenere la configurazione NZEB, si sono individuati i seguenti interventi:

- riduzione delle trasmittanze dei componenti opachi e di quelli trasparenti in modo da ridurre significativamente le dispersioni di energia nel periodo invernale;
- aumento delle schermature sui componenti finestrati, in modo da ridurre il parametro $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$;
- inserimento di impianti alimentati da fonti rinnovabili per garantire la copertura del 50% del fabbisogno tramite queste fonti e un aumento delle efficienze;
- installazione di dispositivi a minor risparmio energetico.

Per quanto riguarda la riduzione delle trasmittanze sui componenti opachi, si è scelta la soluzione che prevede l'installazione di un cappotto esterno sulle pareti perimetrali e di un cappotto interno sulle pareti che confinano con il vano scale. Le nuove stratigrafie delle pareti esterne sono riportate nelle tabelle 27 e 28.

Tabella 27. Nuova stratigrafia della parete esterna (prima 31 cm di spessore), dopo installazione di cappotto esterno.

Parete esterna (prima spessore 31 cm → ora spessore 40.5 cm)					
Descrizione	Conducibilità [W/mK]	Spessore [m]	Massa volumica [kg/m³]	Capacità termica specifica [J/kgK]	Fattore di resistenza al vapore
Intonaco calce e cemento	0.900	0.015	1800	840	38
Muratura in mattoni	0.297	0.080	800	840	8
Intercapedine	0.510	0.080	1.3	1000	1
Muratura in mattoni	0.544	0.120	1200	840	8
Intonaco calce e cemento	0.900	0.015	1800	840	38
Isolante in schiuma di polyso	0.028	0.080	35	1460	56
Intonaco	0.900	0.015	1800	840	38

Tabella 28. Nuova stratigrafia della parete esterna (prima 27 cm di spessore), dopo installazione di cappotto esterno.

Parete esterna (prima spessore 27 cm → ora spessore 36.5 cm)					
Descrizione	Conducibilità [W/mK]	Spessore [m]	Massa volumica [kg/m3]	Capacità termica specifica [J/kgK]	Fattore di resistenza al vapore
Intonaco calce e cemento	0.900	0.015	1800	840	38
Muratura in mattoni	0.297	0.080	800	840	8
Intercapedine	0.260	0.040	1.3	1000	1
Muratura in mattoni	0.544	0.120	1200	840	8
Intonaco calce e cemento	0.900	0.015	1800	840	38
Isolante in schiuma di polyso	0.028	0.080	35	1460	56
Intonaco	0.900	0.015	1800	840	38

L'installazione dell'isolamento a cappotto esterno porta anche alla correzione del ponte termico parete-solaio; inoltre, cambiano le caratteristiche di trasmittanza lineica dei ponti termici parete-infissi e parete-balconi, riportate in tabella 29 e 30.

Tabella 29. Nuove caratteristiche del ponte termico parete-infisso.

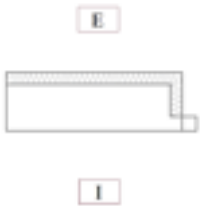
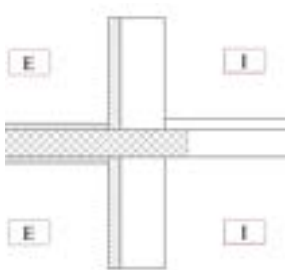
	Ponte termico parete-infissi		
	Trasmittanza termica lineica	[W/mK]	0.031
	Descrizione		
	Ponte termico formato dal contatto tra serramento e parete isolata dall'esterno, serramento a filo interno a contatto con risvolto dell'isolante.		

Tabella 30. Nuove caratteristiche del ponte termico parete-balcone.

	Ponte termico balcone		
	Trasmittanza termica lineica	[W/mK]	0.073
	Descrizione		
	Ponte termico formato dalla giunzione di due pareti uguali isolate dall'esterno, in presenza di balcone isolato sia nella parte superiore, sia nella parte inferiore ma non all'estremità.		

Per la riduzione delle perdite per trasmissione tramite le finestre, si prevede la sostituzione degli attuali infissi con nuovi infissi in triplo vetro con trattamento basso emissivo, con trasmittanza $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Inoltre, l'inserimento di veneziane bianche interne con fattore di trasmissione 0.3 serve alla riduzione della frazione di area solare equivalente estiva. Per il miglioramento dell'efficienza dell'impianto, si prevede la sostituzione della caldaia con due pompe di calore: una pompa di calore aria-acqua, installata esternamente e dotata di serbatoio di accumulo, per la produzione di ACS ed una pompa di calore ad espansione diretta, che alimenta 3 split interni per il servizio di riscaldamento.

Le caratteristiche della pompa di calore aria-aria (ad espansione diretta) per il servizio di riscaldamento e della pompa di calore aria-acqua per il servizio di ACS sono riportate in tabella 31.

Tabella 31. Prestazioni delle pompe di calore per i servizi di riscaldamento e ACS

Pompa di calore aria-aria per il servizio di riscaldamento. Temperatura dell'ambiente interno: 20 °C.		
Temperatura aria esterna [°C]	Potenza termica [W]	COP
-7	2600	3.64
2	3510	3.90
7	4000	4.17
12	4500	4.46
Pompa di calore aria-acqua per il servizio di ACS. Temperatura dell'accumulo: 10-55 °C.		
Temperatura aria esterna [°C]	Potenza termica [W]	COP
7	946	2.63
15	1169	3.10
20	1267	3.19
35	1481	3.39

In tabella 32 sono riportate ulteriori caratteristiche della pompa di calore per il servizio di ACS.

Tabella 32. Caratteristiche della pompa di calore per il servizio ACS.

Parametro	Valore
Temperatura massima ACS in pompa di calore [°C]	65
Temperatura massima ACS con resistenza elettrica [°C]	75
Portata aria trattata [m ³ /h]	230
Limiti della temperatura ingresso aria [°C]	-7 / +35
Volume accumulo [l]	97.9
Refrigerante	R134a

Per utilizzare nell'abitazione un unico vettore energetico, si è prevista anche l'installazione di un piano cottura ad induzione e forno elettrico; inoltre si è considerata l'installazione di elettrodomestici a ridotti consumi energetici e lampade a led. Si noti che i risparmi dovuti a questi ultimi interventi (piano cottura, elettrodomestici a risparmio energetico, lampade led) non sono valutabili in sede di valutazione A2.

4.2.2 Risultati ottenuti con software MC11300

Sono stati inserite le nuove caratteristiche dell'involucro e dell'impianto nel software certificato, verificando il raggiungimento dei limiti previsti per NZEB.

I nuovi risultati ottenuti, a livello di involucro, suddivisi per mese e a seconda della tipologia di apporti e dispersioni, sono riportati in tabella 33.

Tabella 33. Edificio NZEB, fabbisogno di energia utile all'involucro durante la stagione di riscaldamento.

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Nov.	187	81	268	67	225	292	0.89	8
Dic.	290	125	415	54	232	286	1.00	128
Gen.	296	128	424	63	232	295	1.00	129
Feb.	265	115	380	75	210	285	1.00	95
Mar.	211	94	305	113	232	345	0.87	6
Apr.	167	75	242	118	225	343	0.70	0
Tot.	1413	618	2031	490	1357	1847		365

Rispetto allo stato di fatto, si nota una riduzione consistente delle perdite per trasmissione (oltre il 75%) e anche una riduzione degli apporti solari attraverso le finestre (oltre il 55%). Le perdite per ventilazione e i carichi interni non hanno invece subito variazione in quanto le condizioni standard non risultano modificate. Nel complesso, si nota anche un incremento relativo del peso dell' "intermittenza", dovuto al fatto che il fattore di utilizzazione degli apporti si riduce nei mesi meno rigidi della stagione. Un confronto tra risultati dell'involucro allo stato di fatto e NZEB è riportato in tabella 34.

Tabella 34. Confronto tra edificio allo stato di fatto ed edificio NZEB, stagione di riscaldamento.

	Perdite per trasmissione [kWh]	Perdite per ventilazione [kWh]	Perdite per intermittenza [kWh]	Apporti solari da finestre [kWh]	Apporti interni gratuiti [kWh]	Contributo da riscaldamento [kWh]
Stato di fatto	6491	618	22	1156	1357	4618
NZEB	1413	618	181	490	1357	365
	Peso perdite per trasmissione [%]	Peso perdite per ventilazione [%]	Peso perdite per intermittenza [%]	Peso apporti solari da finestre [%]	Peso apporti interni gratuiti [%]	Peso contributo da riscaldamento [%]
Stato di fatto	92%	8%	0%	16%	20%	64%
NZEB	64%	28%	8%	22%	61%	17%

Per quanto riguarda la stagione di raffrescamento, questa risulta essere compresa tra il 26 aprile e il 16 ottobre. Il fabbisogno di energia utile in tale periodo è riportato in tabella 35.

Tabella 35. Edificio NZEB, fabbisogno di energia utile all'involucro durante la stagione di raffrescamento.

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Apr.	300	133	433	121	225	346	0.80	0,18
Mag.	180	82	262	143	232	375	1.00	113
Giu.	114	53	167	140	225	365	1.00	199
Lug.	63	31	94	156	232	388	1.00	294
Ago.	61	29	90	158	232	390	1.00	304
Set.	131	61	192	141	225	366	1,00	174
Ott.	237	105	342	88	232	320	0.91	4
Tot	1084	494	1578	947	1605	2552		1088

La tabella 36 mostra invece un confronto tra i risultati dello stato di fatto e dell'edificio NZEB secondo la simulazione con software MC11300. Si nota la riduzione degli apporti solari dalle finestre, dovuto all'installazione delle veneziane, e delle perdite per trasmissione, dovuto alle modifiche effettuate sull'involucro. A differenza del caso di riscaldamento, tuttavia, in questo caso cambiano i calori di perdita per ventilazione e degli apporti interni, in quanto cambia anche la stagione di raffrescamento calcolata. Aumentando il numero di giorni della stagione di raffrescamento, aumentano anche i giorni su cui calcolare sia le perdite per ventilazione che gli apporti dovuti alla presenza di persone.

È stata infine calcolata la richiesta di energia primaria, considerando che ora entrambi i servizi di riscaldamento e produzione ACS sono soddisfatti da pompa di calore. Utilizzando i rendimenti dei vari sottosistemi e le efficienze della pompa di calore nel suo funzionamento nella stagione invernale, si sono calcolate le richieste di energia primaria, suddivise in energia primaria rinnovabile e non rinnovabile. L'utilizzo della pompa di calore aria-aria per riscaldamento contribuisce in maniera significativa all'innalzamento della quota di energia primaria da fonte rinnovabile. I risultati per il servizio di riscaldamento sono presentati in tabella 37.

Tabella 36. Confronto tra edificio allo stato di fatto ed edificio NZEB, stagione di raffrescamento.

	Apporti solari da finestre [kWh]	Apporti interni gratuiti [kWh]	Perdite per intermittenza [kWh]	Perdite per trasmissione [kWh]	Perdite per ventilazione [kWh]	Contributo da raffrescamento [kWh]
Stato di fatto	1648	1147	549	2450	256	638
NZEB	947	1605	114	1084	494	1088
	Peso apporti solari da finestre [%]	Peso apporti interni gratuiti [%]	Peso perdite per intermittenza [%]	Peso perdite per trasmissione [%]	Peso perdite per ventilazione [%]	Peso contributo da riscaldamento [%]
Stato di fatto	50%	34%	16%	74%	8%	18%
NZEB	36%	60%	4%	41%	18%	41%

Tabella 37. Edificio NZEB, energia primaria per riscaldamento.

Mese	Energia in uscita dal generatore [kWh]	Energia in ingresso al generatore [kWh]	Energia primaria rinnovabile per riscaldamento [kWh]	Energia primaria non rinnovabile per riscaldamento [kWh]	Energia primaria totale per riscaldamento [kWh]
Gen.	117	18	99	35	134
Feb.	85	13	72	25	97
Mar.	0	0	0	0	0
Apr.	0	0	0	0	0
Mag.	-	-	-	-	-
Giu.	-	-	-	-	-
Lug.	-	-	-	-	-
Ago.	-	-	-	-	-
Set.	-	-	-	-	-
Ott.	-	-	-	-	-
Nov.	0	0	0	0	0
Dic.	117	18	99	35	134
Tot.	319	49	270	95	365

Per quanto riguarda invece il servizio di produzione di ACS, i risultati di energia primaria sono presentati in tabella 38.

Tabella 38. Edificio NZEB, energia primaria per ACS.

Mese	Energia in uscita dal generatore [kWh]	Energia in ingresso al generatore [kWh]	Energia primaria rinnovabile per ACS [kWh]	Energia primaria non rinnovabile per ACS [kWh]	Energia primaria totale per ACS [kWh]
Gen.	96	37	59	72	131
Feb.	87	33	53	65	118
Mar.	96	34	62	66	128
Apr.	93	32	61	62	123
Mag.	96	31	65	60	125
Giu.	93	29	63	57	121
Lug.	96	30	66	59	124
Ago.	96	30	66	58	124
Set.	93	29	63	57	121
Ott.	96	31	64	61	126
Nov.	93	32	60	63	123
Dic.	96	36	59	71	130
Tot	1129	386	743	752	1495

In termini complessivi, per entrambi i servizi, è stato realizzato un grafico con la suddivisione delle richieste di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile in base al servizio. Il risultato è mostrato in figura 33. Si noti come ora la quota principale di energia primaria è associata alla produzione di ACS, mentre è diminuita drasticamente la quota associata al riscaldamento. Anche nella suddivisione tra energia primaria rinnovabile e non rinnovabile, si nota che, per il servizio di riscaldamento, è preponderante la quota rinnovabile, dovuta all'elevato valore di SPF (Seasonal Performance Factor) della pompa di calore aria-aria (pari a 6.6). Nel caso della pompa di calore utilizzata per la produzione di ACS, invece, il valore di SPF risulta essere più basso (2.9), in quanto viene utilizzata una pompa di calore aria-acqua con temperature dell'acqua molto elevate.

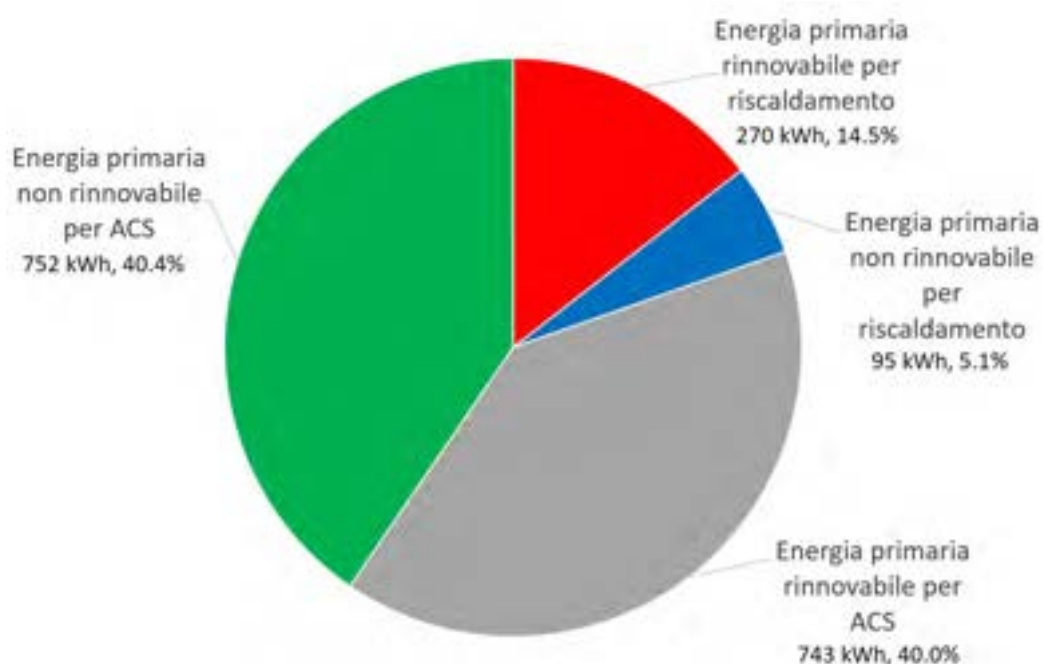


Figura 33. Suddivisione tra energia primaria rinnovabile e non rinnovabile per riscaldamento e produzione di ACS.

Nel complesso, al termine della simulazione di questi interventi, l'appartamento risulta essere in classe A4, con indice di prestazione energetica globale pari a 17.4 kWh/m^2 (si veda la figura 34). I nuovi parametri dell'appartamento per la verifica del raggiungimento della categoria NZEB sono riportati in tabella 39, confrontati con lo stato di fatto. Poiché tutti i parametri sono rispettati, si può classificare l'edificio come NZEB. Inoltre, in base a quanto riportato dalla UNI EN 15603, si può calcolare il risparmio di $\text{CO}_{2\text{eq}}$ dovuto a questi interventi di retrofit. Usando un fattore di produzione di $\text{CO}_{2\text{eq}}$ di 0.368 kg/kWh per il gas naturale e di 0.466 kg/kWh per l'energia elettrica (valori definiti dall'ISPRA [9]) per l'Italia, si ha che:

- Lo stato di fatto è correlato ad una produzione di 2202 kg/anno di $\text{CO}_{2\text{eq}}$;
- La configurazione NZEB è correlata ad una produzione di 574 kg/anno di $\text{CO}_{2\text{eq}}$.

Si osserva quindi che gli interventi proposti consentono una riduzione annua di $\text{CO}_{2\text{eq}}$ immessa in ambiente di 1628 kg (-74% rispetto allo stato di fatto).



Figura 34. Nuova prestazione energetica dell'abitazione, dopo la simulazione degli interventi NZEB.

Tabella 39. Edificio NZEB, confronto con l'edificio di riferimento.

	u.m.	Stato di fatto (valore calcolato)	NZEB (valore calcolato)	Edificio di riferimento (valore limite)
H'_T	W/m²K	1.68	0.36	≤ 0.58
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	-	0.06	0.02	≤ 0.03
EP _{H,nd}	kWh/m²	88.77	7.26	≤ 10.48
EP _{C,nd}	kWh/m²	12.61	21.63	≤ 21.67
EP _{gl,tot}	kWh/m²	159.56	41.77	≤ 60.64
η_H	-	0.67	2.36	≥ 1.09
η_w	-	0.71	1.04	≥ 0.72
η_c	-	-	-	-
Copertura fabbisogno RISC + ACS da fonti rinnovabili	%	0.39	58	≥ 50
Copertura fabbisogno ACS da fonti rinnovabili	%	0.39	55	≥ 50

4.2.3 Risultati ottenuti con SEAS

Gli interventi proposti per raggiungere la categoria NZEB sono stati inseriti anche nella simulazione in SEAS, per valutare gli effettivi risparmi energetici ottenibili in caso di funzionamento reale, non standard. A livello di involucro, i nuovi risultati in termini di dispersioni e apporti sono presentati in tabella 40. Dal confronto

con la precedente tabella analogo dello stato di fatto, si nota una riduzione delle perdite per trasmissione (pareti opache, finestre, ponti termici), una riduzione degli apporti solari sia su componenti opachi e finestrati ed una riduzione dei carichi interni non gratuiti. Quest'ultima riduzione è dovuta alla simulazione, in SEAS, della sostituzione delle lampade fluorescenti con LED e dell'utilizzo di elettrodomestici a risparmio energetico. Rimangono invece invariati i carichi interni gratuiti e le perdite per ventilazione (queste ultime sono sempre stimate tramite UNI 10339).

Tabella 40. Edificio NZEB, risultati involucro di SEAS.

Mese	$Q_{Int.Not.Free}$ [kWh]	Q_{Int} [kWh]	$Q_{Sol.Op}$ [kWh]	$Q_{Sol.Fin}$ [kWh]	Q_{ve} [kWh]	$Q_{Tr.Op}$ [kWh]	$Q_{Tr.Fin}$ [kWh]	Q_{Pt} [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Gen	40	81	4	33	-103	-117	-242	-11	1.00	-316
Feb	27	50	5	39	-53	-61	-126	-6	0.99	-126
Mar	50	103	11	84	-63	-72	-150	-7	0.90	-69
Apr	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Mag	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Giu	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Lug	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Set	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Ott	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Nov	49	98	5	42	-58	-66	-137	-6	0.94	-83
Dic	18	36	2	19	-56	-64	-132	-6	1.00	-185
Tot	183	370	27	216	-334	-380	-787	-37		-779

Poiché il criterio scelto per l'accensione è "reale", non sono più presenti richieste di riscaldamento per i mesi di aprile e di ottobre: ciò è dovuto al miglioramento della qualità dell'involucro, per cui l'accensione dell'impianto può quindi essere rimandata e il suo spegnimento anticipato.

Nelle figure 35 e 36 sono riportati due screenshot SEAS riportanti i risultati dell'audit in termini di consumi energetici finali.

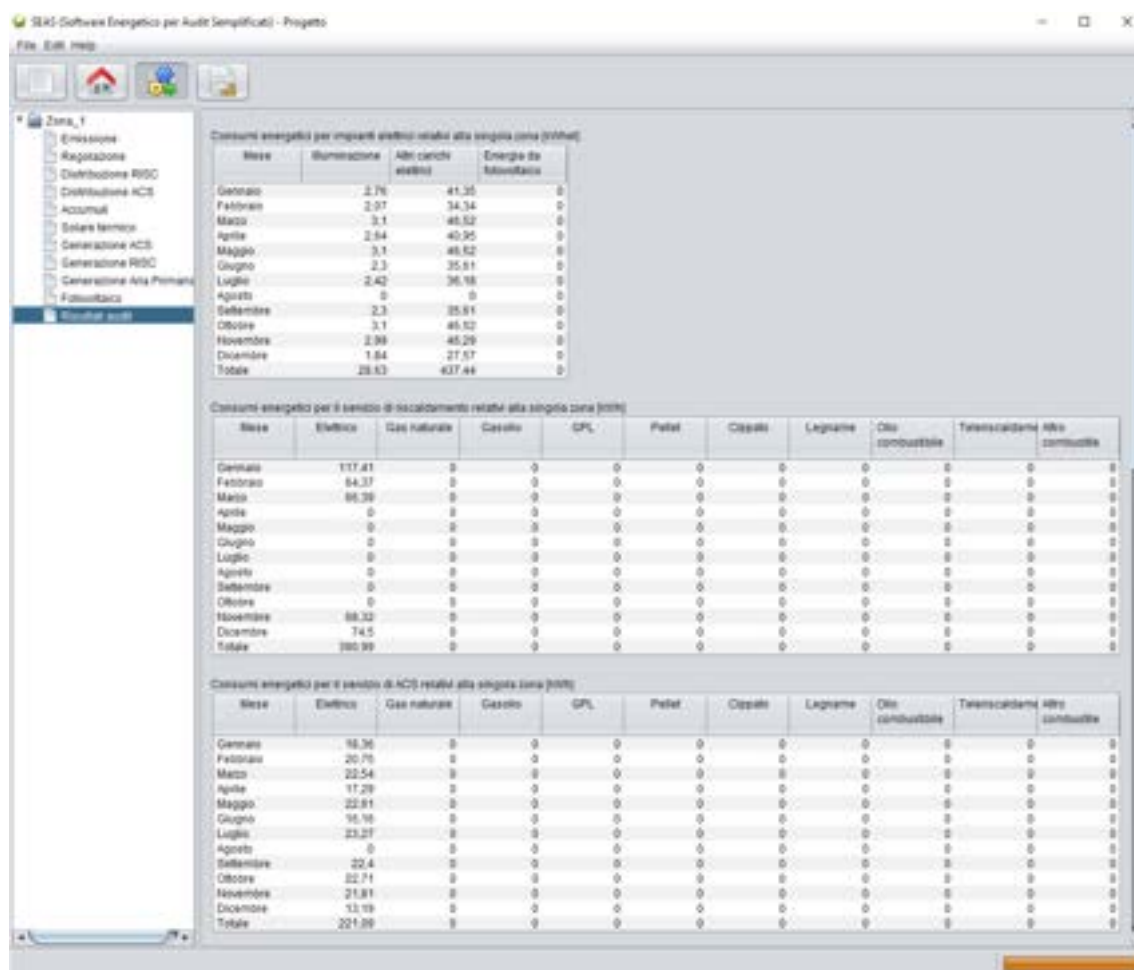


Figura 35. Screenshot SEAS per edificio NZEB, consumi energetici per illuminazione ed altri carichi elettrici, riscaldamento e produzione ACS.

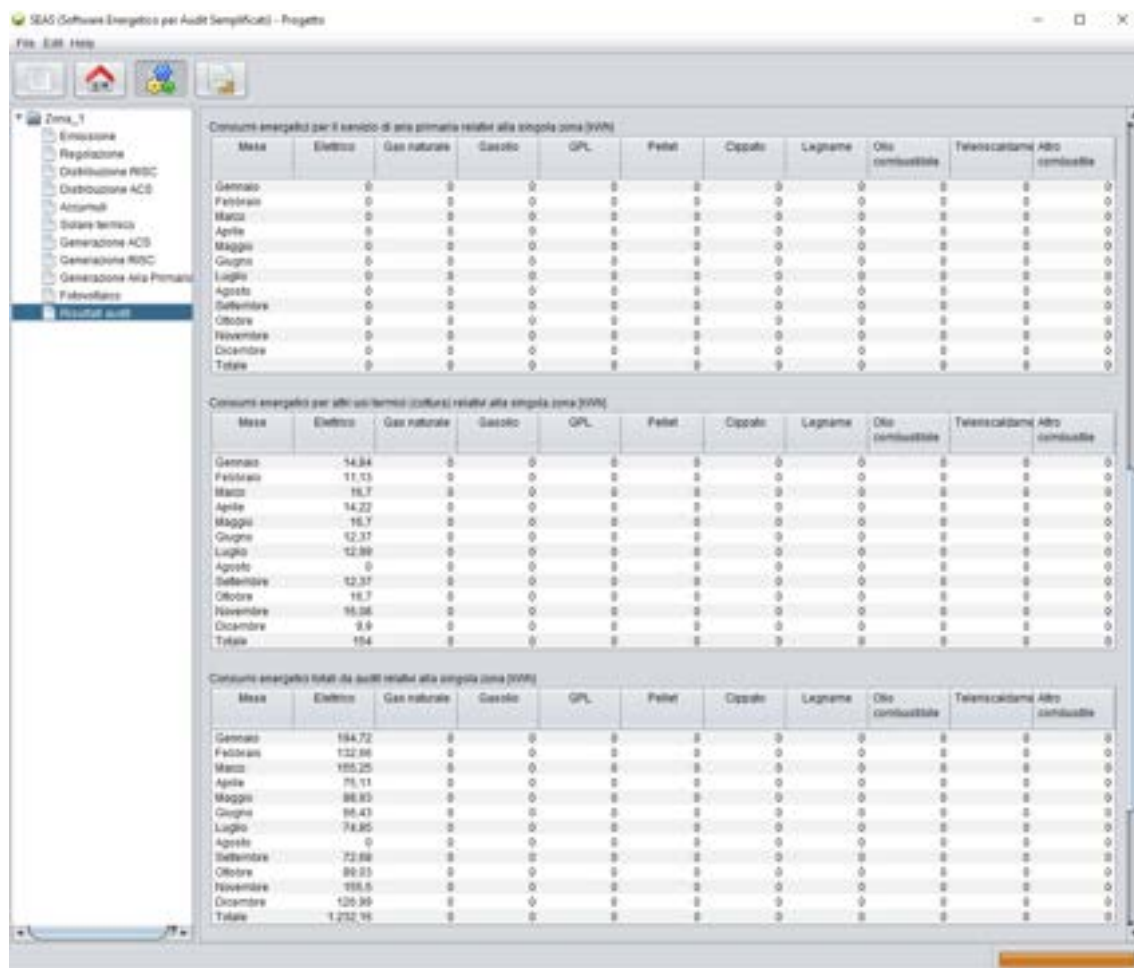


Figura 36. Screenshot SEAS per edificio NZEB, consumi energetici per uso cottura e consumi totali.

Si riporta infine, in tabella 41, un confronto tra i consumi suddivisi per servizio e vettore energetico, tra il caso NZEB e lo stato di fatto. Come si vede, la nuova configurazione impiantistica consente di non utilizzare totalmente il gas naturale e riduce le richieste energetiche complessive. In particolare, il 31,7 % dell'energia elettrica sia richiesta dall'impianto di riscaldamento, il 17,9 % per l'impianto di produzione di ACS e il 50,4% viene utilizzata per illuminazione e per alimentare gli altri carichi elettrici presenti, tra i quali i piani per la cottura.

Tabella 41. Confronto tra consumi suddivisi per servizio e vettore energetico.

Consumi energia elettrica [kWh]			Consumi gas naturale [kWh]		
	Stato di fatto	NZEB		Stato di fatto	NZEB
Servizio riscaldamento	20	391	Servizio riscaldamento	4159	0
Servizio ACS	3	221	Servizio ACS	625	0
Illuminazione	72	29	Cottura	154	0
Altri carichi	731	591 (comprende cottura)			
Totale	826	1232	Totale	4938	0

4.3 Interventi scelti secondo criteri “costi-benefici”

Oltre al set di interventi necessari a raggiungere la condizione NZEB, si sono valutate anche altre soluzioni, meno stringenti dal punto di vista normativo, ma che avessero come obiettivo quello di migliorare il rapporto costi-benefici.

Sono quindi stati proposti tre diversi scenari, per analizzare il comportamento dell’edificio nella sola stagione di riscaldamento al variare di alcune caratteristiche dell’involucro e/o dell’impianto, riportate sinteticamente nel seguente elenco:

- Scenario 1: inserimento di intonaco termoisolante sul lato interno delle pareti confinanti con l’esterno, sostituzione degli infissi attualmente a singolo vetro con infissi a doppio vetro basso-emissivo, installazione di pompa di calore aria-aria con 3 split interni per riscaldamento (per il servizio di ACS viene mantenuta la caldaia esistente);
- Scenario 2: inserimento di intonaco termoisolante sul lato interno delle pareti confinanti con l’esterno e sostituzione degli infissi attualmente a singolo vetro con infissi a doppio vetro basso-emissivo; vengono lasciati inalterati gli impianti attualmente usati;
- Scenario 3: installazione di cappotto esterno su pareti confinanti con l’esterno e sostituzione degli infissi attualmente a singolo vetro con infissi a triplo vetro basso-emissivo (in analogia all’intervento NZEB); vengono lasciati inalterati gli impianti attualmente usati.

I tre scenari sono descritti nel dettaglio nei seguenti paragrafi, in cui sono presentati anche i relativi risultati delle simulazioni ottenuti con software MC11300 e SEAS.

4.3.1 Scenario 1: descrizione degli interventi proposti

Lo scenario 1 prevede l'inserimento di 5 cm di intonaco termoisolante sulle pareti confinanti con l'esterno. Le stratigrafie vengono quindi modificate come riportato nelle tabelle 42 e 43. Le modifiche alla stratigrafia della parete portano anche alla correzione del valore delle trasmittanze lineiche dei due ponti termici coinvolti (solaio-balcone e solaio semplice): i nuovi valori si sono calcolati tramite Iris 4.0 (software agli elementi finiti) e sono mostrati nelle tabelle 44 e 45.

Tabella 42. Nuova stratigrafia della parete esterna (spessore 31 cm) nello scenario 1.

Parete esterna spessore 31 cm (ora spessore 36 cm)					
Descrizione	Conducibilità [W/mK]	Spessore [m]	Massa volumica [kg/m ³]	Capacità termica specifica [J/kgK]	Fattore di resistenza al vapore
Termointonaco	0.037	0.050	250	1000	3
Intonaco calce e cemento	0.900	0.015	1800	840	38
Muratura in mattoni	0.297	0.080	800	840	8
Intercapedine	0.510	0.080	1.3	1000	1
Muratura in mattoni	0.544	0.120	1200	840	8
Intonaco calce e cemento	0.900	0.015	1800	840	38

Tabella 43. Nuova stratigrafia della parete esterna (spessore 27 cm) nello scenario 1.

Parete esterna spessore 27 cm (ora spessore 32 cm)					
Descrizione	Conducibilità [W/mK]	Spessore [m]	Massa volumica [kg/m ³]	Capacità termica specifica [J/kgK]	Fattore di resistenza al vapore
Termointonaco	0.037	0.050	250	1000	3
Intonaco calce e cemento	0.900	0.015	1800	840	38
Muratura in mattoni	0.297	0.080	800	840	8
Intercapedine	0.260	0.040	1.3	1000	1
Muratura in mattoni	0.544	0.120	1200	840	8
Intonaco calce e cemento	0.900	0.015	1800	840	38

Tabella 44. Scenario 1, nuova trasmittanza lineica del ponte termico solaio-balcone.

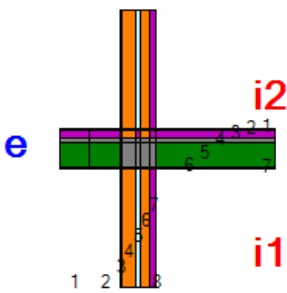
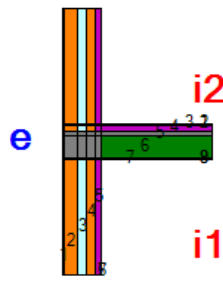
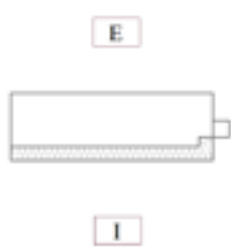
	Ponte termico balcone		
	Trasmittanza termica lineica	[W/mK]	0.422

Tabella 45. Scenario 1, nuova trasmittanza lineica del ponte termico solaio.

	Ponte termico solaio		
	Trasmittanza termica lineica	[W/mK]	0.458

Gli infissi in singolo vetro attualmente presenti sono sostituiti con infissi in doppio vetro con trattamento basso emissivo (trasmittanza $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Il nuovo valore del ponte termico parete-infisso è calcolato come in tabella 46. Infine, per quanto riguarda gli impianti, si fa riferimento alla stessa pompa di calore ad espansione diretta utilizzata per l'intervento NZEB, da utilizzarsi per il servizio di riscaldamento. Per il servizio di ACS si prevede di continuare ad utilizzare la caldaia esistente.

Tabella 46. Scenario 1, nuova trasmittanza termica del ponte termico parete-infisso.

	Ponte termico parete-infissi		
	Trasmittanza termica lineica	[W/mK]	0.031
	Descrizione		
	Ponte termico formato dal contatto tra serramento e parete isolata dall'esterno, serramento a filo interno a contatto con risvolto dell'isolante.		

4.3.2 Scenario 1: risultati ottenuti con MC11300

Come primo risultato, si riportano i risultati ottenuti da MC11300 in termini di fabbisogno di energia utile all'involucro: tali risultati sono mostrati in tabella 47. In tabella 48, invece, sono confrontati i risultati complessivi, all'involucro, per l'intera stagione di riscaldamento, tra lo stato di fatto, la soluzione NZEB, e lo scenario 1.

Tabella 47. Scenario 1, fabbisogno di energia utile all'involucro per la stagione di riscaldamento.

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Nov.	412	81	493	133	225	358	0,98	141
Dic.	640	125	765	107	232	339	1,00	427
Gen.	654	128	782	122	232	354	1,00	428
Feb.	584	115	699	138	210	348	1,00	352
Mar.	468	94	562	204	232	436	0,97	137
Apr.	367	75	442	209	225	434	0,91	48
Tot	3125	618	3743	911	1357	2268		1533

Tabella 48. Confronto dei fabbisogni di energia utile per stato di fatto, scenario 1 e NZEB.

	Perdite per trasmissione [kWh]	Perdite per ventilazione [kWh]	Perdite per intermittenza [kWh]	Apporti solari da finestre [kWh]	Apporti interni gratuiti [kWh]	Contributo da riscaldamento [kWh]
Stato di fatto	6491	618	22	1156	1357	4618
Scenario 1	3125	618	58	911	1357	1533
NZEB	1413	618	181	490	1357	365
	Peso perdite per trasmissione [%]	Peso perdite per ventilazione [%]	Peso perdite per intermittenza [%]	Peso apporti solari da finestre [%]	Peso apporti interni gratuiti [%]	Peso contributo da riscaldamento [%]
Stato di fatto	92%	8%	0%	16%	20%	64%
Scenario 1	82%	16%	2%	24%	36%	40%
NZEB	64%	28%	8%	22%	61%	17%

I risultati in Tabella 48 evidenziano che la soluzione dello scenario 1 rappresenta una soluzione intermedia tra lo stato di fatto e la soluzione NZEB, riducendo sia le perdite di trasmissione che gli apporti solari dai componenti finestrati. Ne consegue una riduzione rilevante del contributo necessario da riscaldamento, pari

ad oltre il 65% di quello dello stato di fatto, ma comunque non comparabile con quello trovato nel caso della soluzione NZEB. Non cambiano, invece, i contributi di perdite per ventilazione e gli apporti interni gratuiti. I valori di energia in uscita ed in ingresso ai generatori ed i corrispondenti valori di energia primaria per il solo servizio di riscaldamento sono riportati in tabella 49. L'energia primaria della pompa di calore è stata calcolata usando il valore di SPF calcolato dal software (pari a 5.9).

I risultati relativi al fabbisogno di energia (in ingresso al generatore e primaria) per il servizio di ACS sono invece riportati in tabella 50.

In termini di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile, la figura 37 presenta un confronto tra lo stato di fatto, lo scenario 1 e la soluzione NZEB. Si nota una riduzione significativa della quota di energia primaria non rinnovabile per il servizio per riscaldamento, dovuta sia alla riduzione delle perdite all'involucro sia all'utilizzo del generatore più efficiente e che sfrutta energia primaria rinnovabile. Rimangono ovviamente invariate le quote di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile per il servizio di ACS.

Tabella 49. Scenario 1, fabbisogni di energia al generatore ed energia primaria per il servizio di riscaldamento.

Mese	Energia in uscita dal generatore [kWh]	Energia in ingresso al generatore [kWh]	Energia primaria rinnovabile [kWh]	Energia primaria non rinnovabile [kWh]	Energia primaria totale [kWh]
Gen.	443	79	364	154	518
Feb.	364	63	300	124	424
Mar.	138	20	118	38	156
Apr.	22	3	19	6	25
Mag.	-	-	-	-	-
Giu.	-	-	-	-	-
Lug.	-	-	-	-	-
Ago.	-	-	-	-	-
Set.	-	-	-	-	-
Ott.	-	-	-	-	-
Nov.	142	20	123	38	161
Dic.	442	78	364	152	516
Tot	1551	262	1288	511	1800

Tabella 50. Scenario 1, fabbisogni di energia al generatore ed energia primaria per il servizio di ACS.

Mese	Energia in ingresso al generatore [kWh]	Energia elettrica per ausiliari [kWh]	Energia primaria totale [kWh]
Gen.	107	< 1	113
Feb.	96	< 1	102
Mar.	107	< 1	113
Apr.	103	< 1	109
Mag.	107	< 1	113
Giu.	103	< 1	109
Lug.	107	< 1	113
Ago.	107	< 1	113
Set.	103	< 1	109
Ott.	107	< 1	113
Nov.	103	< 1	109
Dic.	107	< 1	113
Tot	1256	5	1329

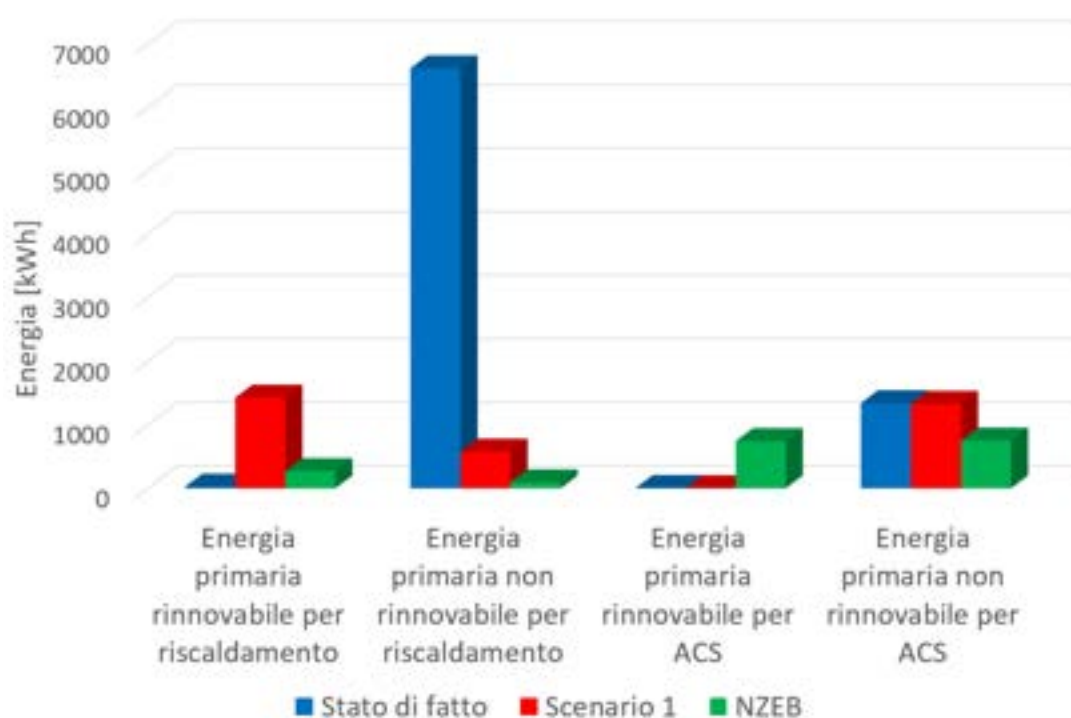


Figura 37. Confronto tra stato di fatto, caso NZEB e scenario 1 in termini di energia primaria per i servizi di riscaldamento e ACS.

La tabella 51 mostra i risultati dello scenario 1 in termini dei parametri di riferimento per il raggiungimento della configurazione NZEB. L'installazione della pompa di calore contribuisce al raggiungimento dei limiti previsti per η_H , mentre l'utilizzo dell'intonaco termoisolante e degli infissi in doppio vetro, senza ulteriori schermature, non è invece sufficiente per diminuire gli indici H'_T , $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ e $EP_{H,nd}$.

Tabella 51. Scenario 1, confronto con l'edificio di riferimento.

	u.m.	Stato di fatto (valore calcolato)	Scenario 1 (valore calcolato)	Edificio di riferimento (valore limite)
H'_T	W/m ² K	1.68	0.800	≤ 0.580
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	-	0.060	0.047	≤ 0.030
$EP_{H,nd}$	kWh/m ²	88.77	30.00	≤ 9.50
$EP_{C,nd}$	kWh/m ²	12.61	20.22	≤ 24.55
$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	159.56	66.31	≤ 51.15
η_H	-	0.669	2.11	≥ 1.00
η_w	-	0.717	0.725	≥ 0.720
η_c	-	-	-	-

In termini di CO_{2eq}, lo scenario 1 consuma 957 kg/anno, con una riduzione del 57% rispetto allo stato di fatto.

4.3.3 Scenario 1: risultati ottenuti con SEAS

Il set di interventi previsti per lo scenario 1 sono stati riportati anche in SEAS, per verificare i risparmi energetici realmente conseguibili. In Tabella 52 sono riportati i fabbisogni di energia all'involucro, suddivisi nei vari componenti di apporti e dispersioni.

Tabella 52. Scenario 1, fabbisogni di energia all'involucro.

Mese	$Q_{Int.Not.Free}$ [kWh]	Q_{Int} [kWh]	$Q_{Sol.Op}$ [kWh]	$Q_{Sol.Fin}$ [kWh]	Q_{ve} [kWh]	$Q_{Tr.Op}$ [kWh]	$Q_{Tr.Fin}$ [kWh]	Q_{Pt} [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Gen	63	81	7	61	-103	-192	-260	-320	1.00	-664
Feb	43	50	8	73	-53	-100	-134	-165	0.98	-282
Mar	80	103	18	168	-63	-119	-159	-196	0.91	-201
Apr	61	77	20	175	-37	-70	-92	-114	0.80	-46
Mag	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Giu	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Lug	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Set	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Ott	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Nov	78	98	9	81	-58	-108	-145	-178	0.95	-235
Dic	28	36	24	35	-56	-105	-142	-174	1.00	-375
Tot	353	447	66	592	-371	-694	-932	-1148		-1803

A differenza dello stato di fatto, si nota una diminuzione delle perdite attraverso i vari componenti (pareti opache, finestre, ponti termici), mentre non risultano diverse le perdite per ventilazione. Sono ridotti gli

apporti solari attraverso le finestre; nel complesso, risulta una diminuzione del fabbisogno di energia necessario all'involucro ed anche una riduzione del periodo di accensione (ad ottobre, infatti, il servizio di riscaldamento non risulta necessario).

In Figura 38 e figura 39 sono riportati i consumi di energia, suddivisi per vettore e per servizio, relativi allo scenario 1.

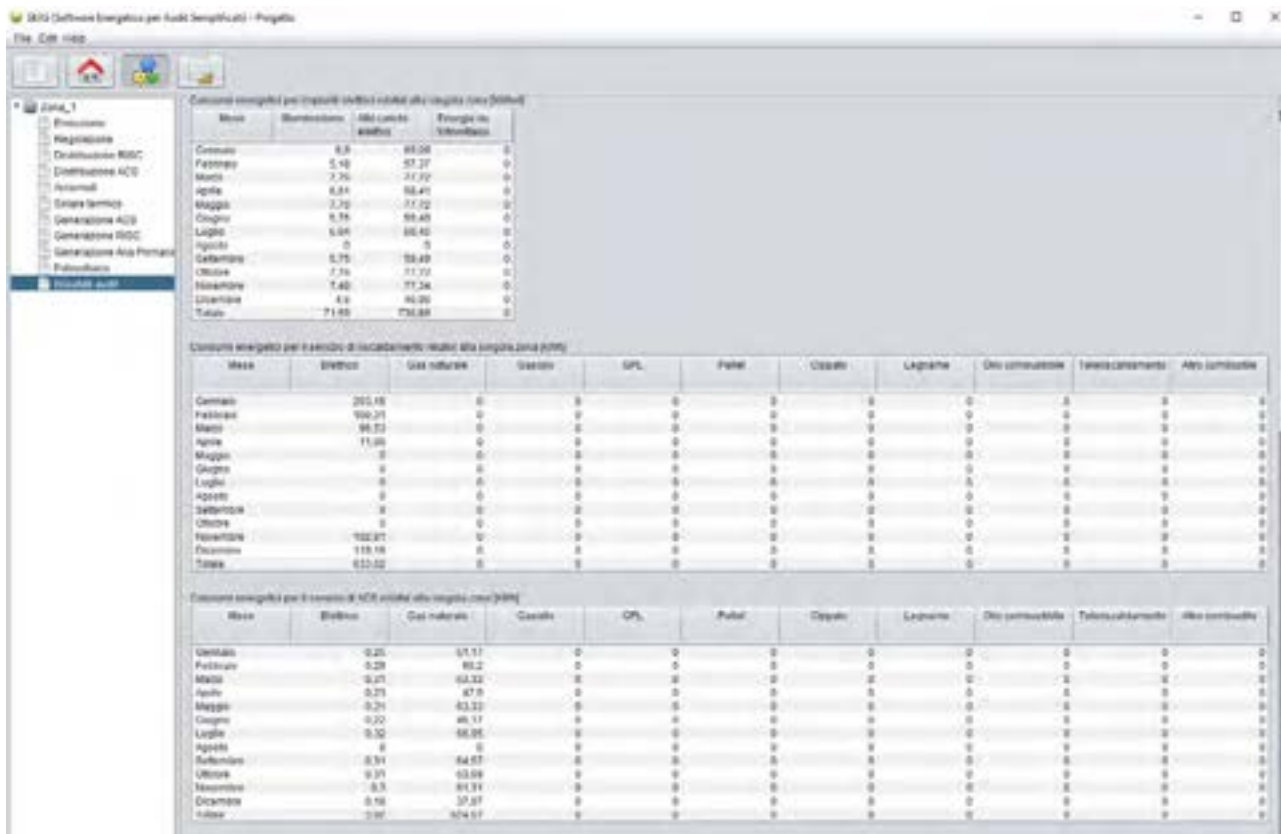


Figura 38. Screenshot SEAS, scenario 1, consumi di energia per illuminazione, altri usi elettrici, riscaldamento e ACS.

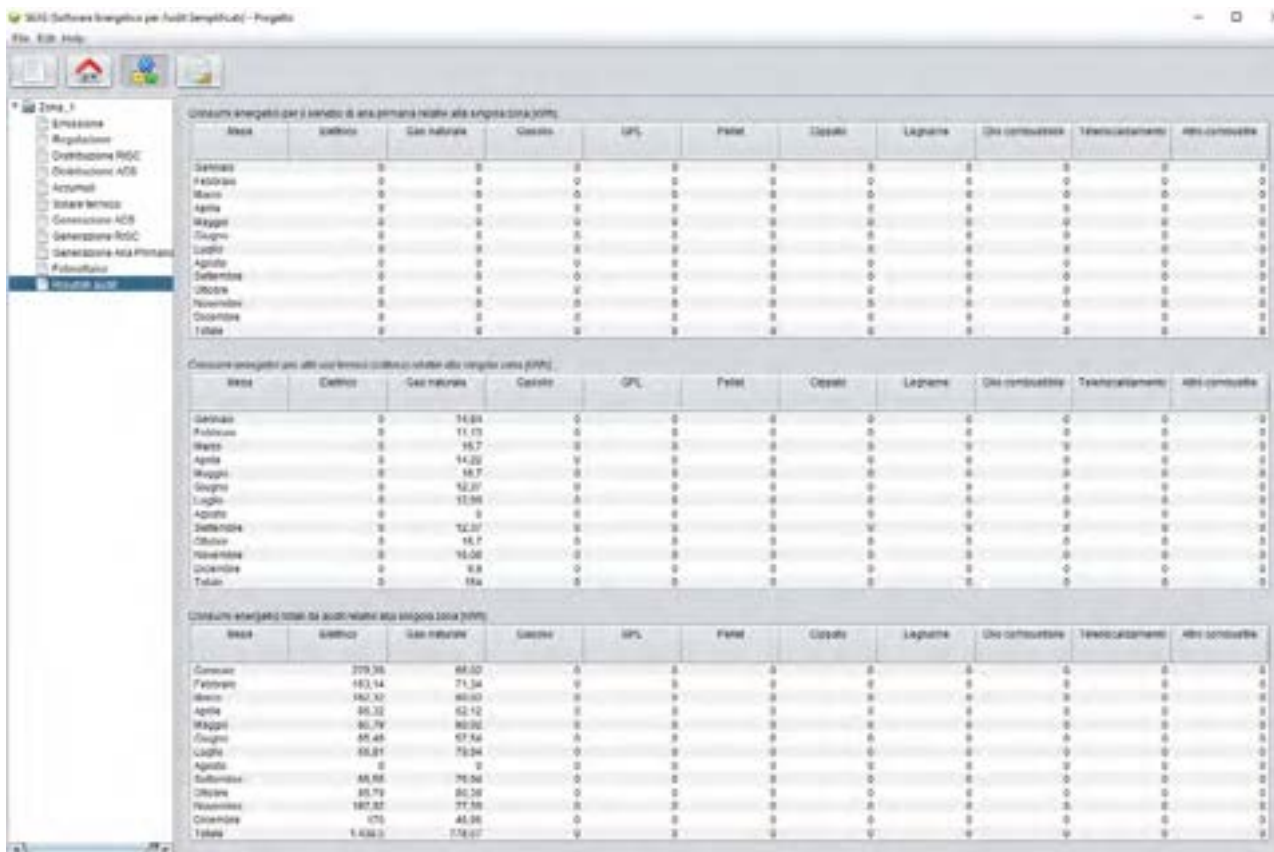


Figura 39. Screenshot SEAS, scenario 1, consumi di energia per usi cottura e consumi complessivi.

In Tabella 53 sono confrontati i risultati complessivi in termini di consumi (suddivisi per servizio) tra lo stato di fatto, lo scenario 1, e la soluzione NZEB. Il confronto evidenzia lo spostamento dei consumi per il servizio di riscaldamento dal vettore gas naturale al vettore energia elettrica; i consumi, tuttavia, risultano maggiori rispetto al caso NZEB in quanto le perdite all'involucro per trasmissione attraverso i vari componenti sono comunque maggiori rispetto al caso NZEB.

Tabella 53. Confronto tra i consumi complessivi di energia elettrica e gas naturale tra stato di fatto, scenario 1 e NZEB.

Consumi energia elettrica [kWh]				Consumi gas naturale [kWh]			
	Stato di fatto	Scenario 1	NZEB		Stato di fatto	Scenario 1	NZEB
Servizio riscaldamento	20	633	391	Servizio riscaldamento	4159	0	0
Servizio ACS	3	3	221	Servizio ACS	625	625	0
Illuminazione	72	72	29	Cottura	154	154	0
Altri carichi	731	731	591 (comprende cottura)				
Totale	826	1439	1232	Totale	4938	779	0

4.3.4 Scenario 2: descrizione degli interventi proposti

Nello scenario 2, si è previsto di lasciare invariato l'impianto allo stato attuale. Si prevede invece la modifica dell'involucro con l'inserimento di intonaco interno termoisolante e installazione di infissi in doppio vetro basso emissivo. Dal punto di vista delle nuove trasmittanze dei vari componenti, questo intervento risulta del tutto analogo a quello descritto nello scenario 1. Si rimanda perciò al paragrafo 4.3.1 per la descrizione delle nuove stratigrafie proposte per le pareti opache, per le finestre, e per la correzione dei relativi ponti termici.

4.3.5 Scenario 2: risultati ottenuti con MC11300

Poiché lo scenario 2 è identico allo scenario 1 dal punto di vista dell'involucro, non ci sono differenze nei fabbisogni di energia all'involucro calcolati con MC11300. Si rimanda perciò al paragrafo 4.3.2 per la consultazione di tali dati. Per quanto riguarda invece i valori di energia primaria calcolati per il servizio di riscaldamento e ACS, si fa riferimento alle tabelle 54 e 55.

Tabella 54. Scenario 2, fabbisogni di energia al generatore ed energia primaria per il servizio di riscaldamento.

Mese	Energia in ingresso al generatore [kWh]	Energia elettrica per ausiliari per riscaldamento [kWh]	Energia primaria rinnovabile [kWh]	Energia primaria non rinnovabile [kWh]	Energia primaria totale [kWh]
Gen.	587	5	2	626	628
Feb.	482	4	2	514	516
Mar.	182	2	1	195	196
Apr.	29	0	0	30	30
Mag.	-	-	-	-	-
Giu.	-	-	-	-	-
Lug.	-	-	-	-	-
Ago.	-	-	-	-	-
Set.	-	-	-	-	-
Ott.	-	-	-	-	-
Nov.	189	2	1	202	203
Dic.	586	5	2	625	627
Tot	2055	18	8	2193	2201

Tabella 55. Scenario 2, fabbisogni di energia al generatore ed energia primaria per il servizio di ACS.

Mese	Energia in ingresso al generatore [kWh]	Energia elettrica per ausiliari [kWh]	Energia primaria totale [kWh]
Gen.	107	1	114
Feb.	96	1	103
Mar.	107	1	114
Apr.	103	1	111
Mag.	107	1	114
Giu.	103	1	111
Lug.	107	1	114
Ago.	107	1	114
Set.	103	1	111
Ott.	107	1	114
Nov.	103	1	111
Dic.	107	1	114
Tot	1256	12	1346

La figura 40 mostra un confronto, in termini di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile, tra lo stato di fatto, i due scenari presentati, e la soluzione NZEB. A differenza dello scenario 1, si nota come lo scenario 2 diminuisca la quota di energia primaria per riscaldamento, ma non la sposti da energia primaria non rinnovabile a rinnovabile, in quanto gli impianti non sono stati modificati. Una soluzione che va quindi semplicemente a modificare l'involucro non è da considerarsi accettabile.

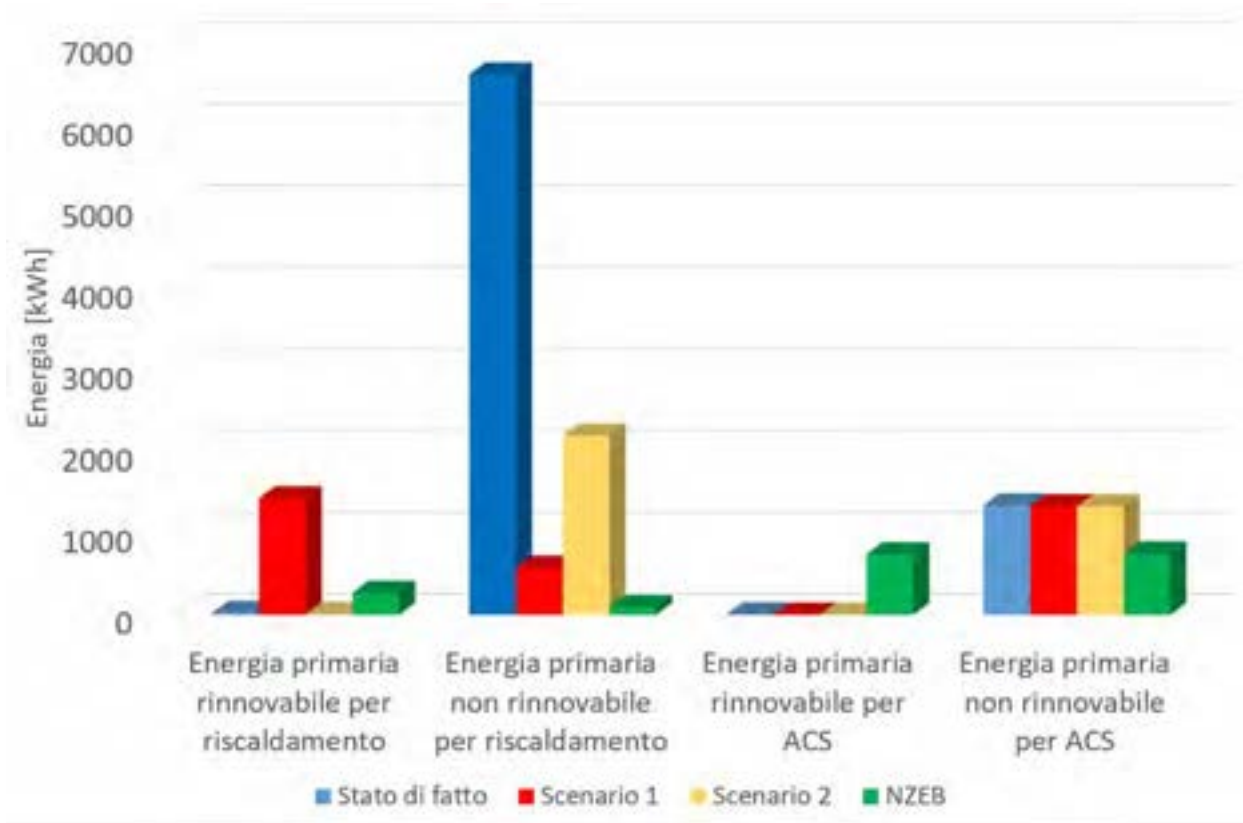


Figura 40. Confronto tra stato di fatto, scenario 1 e 2, e soluzione NZEB, in termini di energia primaria.

Infine, la tabella 56 mostra i risultati dello scenario 2 confrontato con l'edificio di riferimento. Si nota che, per questo tipo di intervento che rientra nella tipologia ristrutturazione importante di secondo livello, non si rientra nei limiti imposti per l'edificio di riferimento.

Tabella 56. Scenario 2, confronto con l'edificio di riferimento.

	u.m.	Stato di fatto (valore calcolato)	Scenario 2 (valore calcolato)	Edificio di riferimento (valore limite)
H'_T	W/m ² K	1.68	0.80	≤ 0.68
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	-	0.060	0.047	≤ 0.030
$EP_{H,nd}$	kWh/m ²	88.77	30.00	≤ 13.11
$EP_{C,nd}$	kWh/m ²	12.61	20.22	≤ 22.76
$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	159.56	70.55	≤ 51.76
η_H	-	0.669	0.685	≥ 0.733
η_W	-	0.717	0.717	≥ 0.720
η_C	-	-	-	-

In termini di CO_{2eq}, lo scenario 2 è responsabile di 1458 kg/anno di emissioni, con una riduzione di circa il 34% rispetto allo stato di fatto.

4.3.6 Scenario 2: risultati ottenuti con SEAS

Come nel caso precedente, anche per quanto riguarda la simulazione con SEAS, non ci sono differenze a livello di risultati di fabbisogni di energia all'involucro tra lo scenario 1 e lo scenario 2, per cui si rimanda al paragrafo 4.3.3 per i relativi risultati. Le figure 41 e 42 riportano gli screenshot SEAS riguardanti i consumi energetici, divisi per vettore e servizio, ottenuti alla fine della procedura di audit.

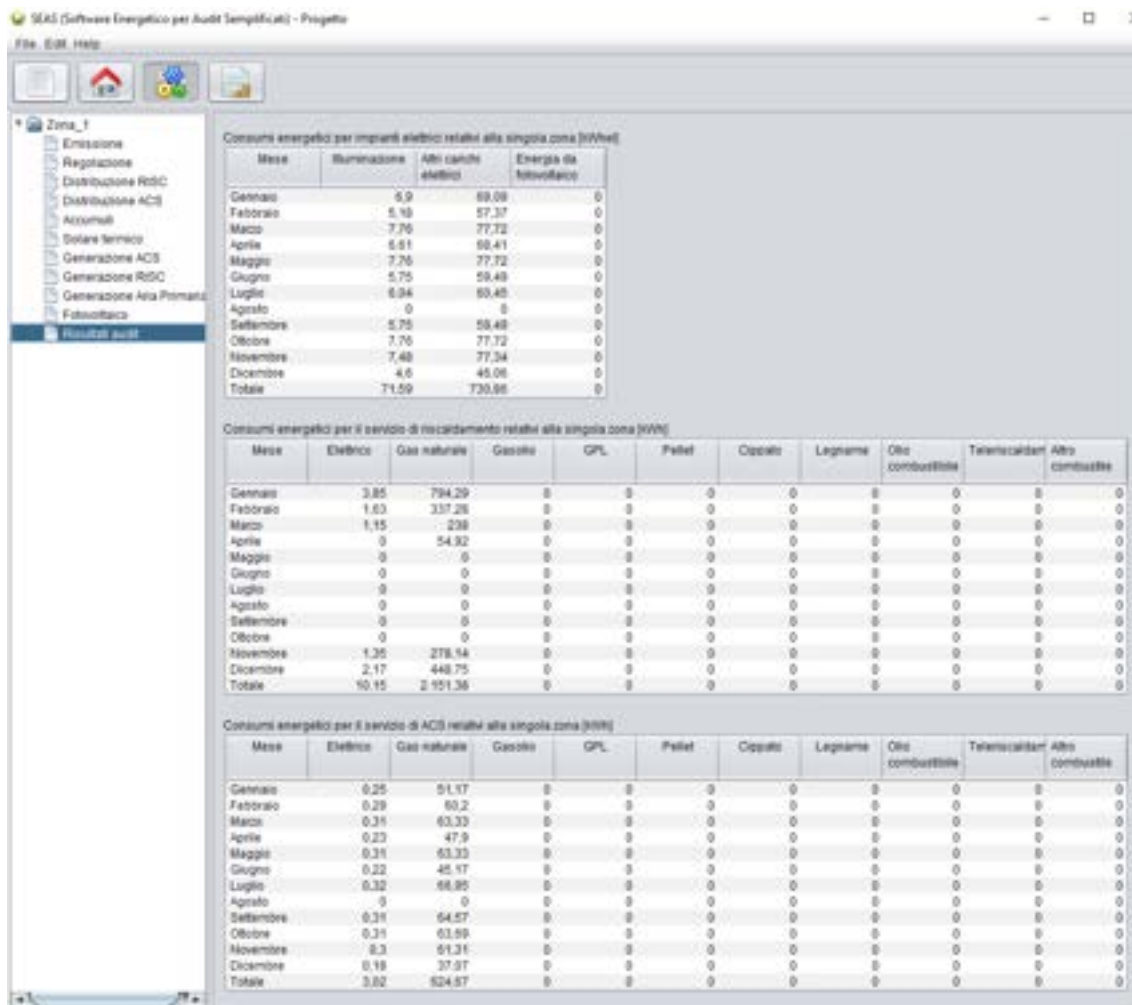


Figura 41. Screenshot SEAS, scenario 2, consumi energetici per cottura, riscaldamento e ACS.

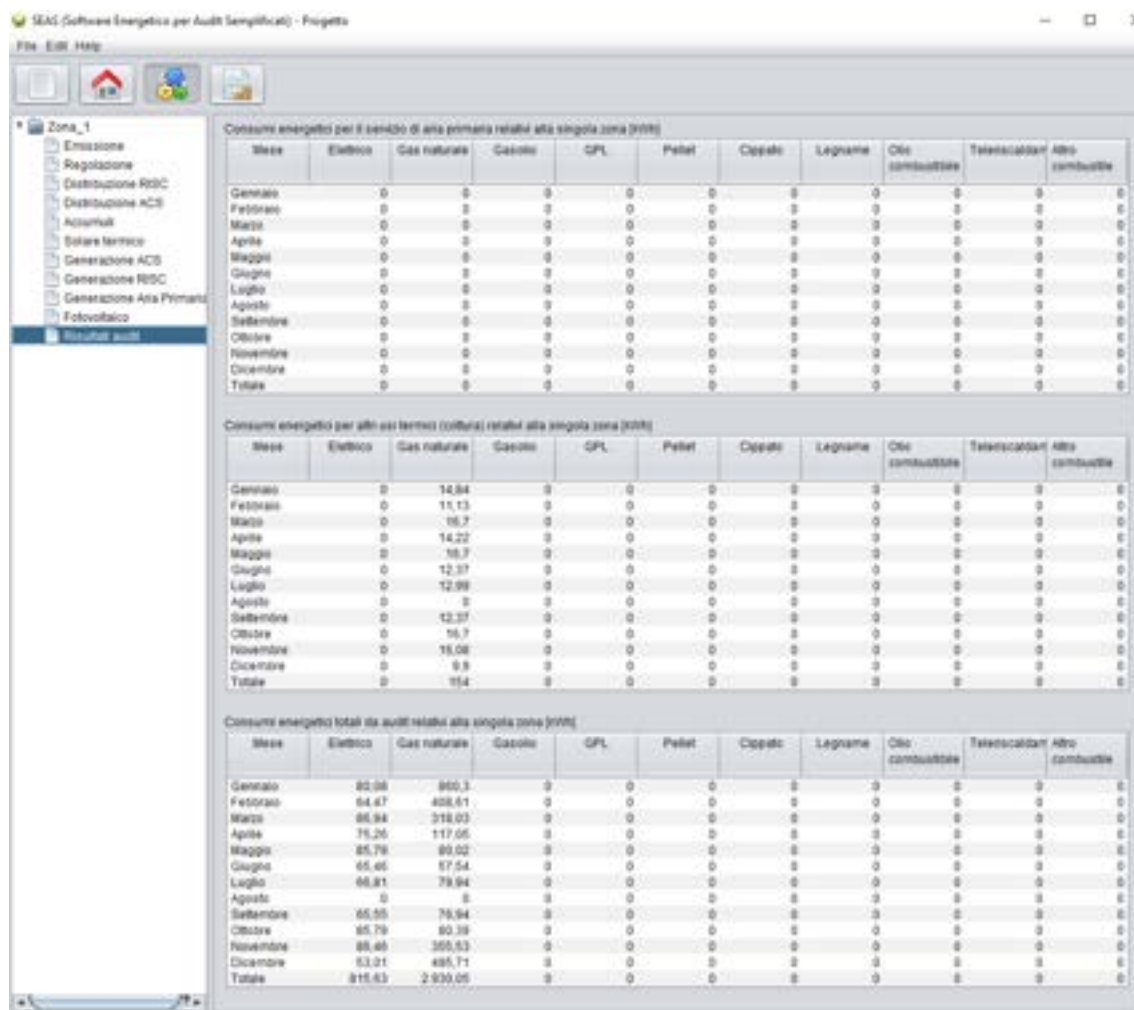


Figura 42. Screenshot SEAG, scenario 2, consumi complessivi di energia.

Tabella 57. Confronto tra consumi energetici dello stato di fatto, scenario 1 e 2, soluzione NZEB.

Consumi energia elettrica [kWh]					Consumi gas naturale [kWh]				
	Stato di fatto	Scenario 1	Scenario 2	NZEB		Stato di fatto	Scenario 1	Scenario 2	NZEB
RISC	20	633	10	391	RISC	4159	0	2151	0
ACS	3	3	3	221	ACS	625	625	625	0
Illum.	72	72	72	29	Cottura	154	154	154	0
Altri carichi	731	731	731	591 (comprende cottura)					
Totale	826	1439	816	1232	Totale	4938	779	2930	0

Il confronto tra consumi di energia elettrica e gas naturale tra i vari casi è presentato in tabella 57.

4.3.7 Scenario 3: descrizione degli interventi proposti

L'ultima soluzione analizzata è quella definita scenario 3, in cui si ipotizza di intervenire solo sull'involucro, effettuando gli interventi proposti per la configurazione NZEB, cioè isolamento a cappotto esterno sulle pareti perimetrali e installazione di infissi a triplo vetro con trattamento basso emissivo. Per le caratteristiche dei nuovi componenti (pareti opache, finestre e ponti termici), si rimanda al paragrafo 4.2.1. Si ipotizza di mantenere invariati gli impianti già esistenti.

4.3.8 Scenario 3: risultati ottenuti con MC11300

In termini di fabbisogni di energia all'involucro, la simulazione effettuata con MC11300 ha dato gli stessi risultati trovati per la configurazione NZEB, per cui si rimanda al paragrafo 4.2.2 per i relativi risultati. Sono riportati in tabella 58 e 59 i fabbisogni di energia primaria per i servizi di riscaldamento e ACS, rispettivamente.

Tabella 58. Scenario 3, fabbisogni di energia al generatore ed energia primaria per il servizio di riscaldamento.

Mese	Energia in ingresso al generatore [kWh]	Energia elettrica per ausiliari per riscaldamento [kWh]	Energia primaria rinnovabile [kWh]	Energia primaria non rinnovabile [kWh]	Energia primaria totale [kWh]
Gen.	154	1	0	164	164
Feb.	111	0	0	117	117
Mar.	0	0	0	0	0
Apr.	0	0	0	0	0
Mag.	-	-	-	-	-
Giu.	-	-	-	-	-
Lug.	-	-	-	-	-
Ago.	-	-	-	-	-
Set.	-	-	-	-	-
Ott.	-	-	-	-	-
Nov.	0	0	0	0	-
Dic.	154	1	0	164	164
Tot	420	2	1	445	446

Tabella 59. Scenario 3, fabbisogni di energia al generatore ed energia primaria per il servizio di ACS.

Mese	Energia in ingresso al generatore [kWh]	Energia elettrica per ausiliari [kWh]	Energia primaria totale [kWh]
Gen.	115	<1	122
Feb.	104	<1	111
Mar.	115	<1	122
Apr.	112	<1	118
Mag.	115	<1	122
Giu.	112	<1	118
Lug.	115	<1	122
Ago.	115	<1	122
Set.	112	<1	118
Ott.	115	<1	122
Nov.	112	<1	118
Dic.	115	<1	122
Tot	1360	5	1441

Tabella 60. Scenario 3, confronto con l'edificio di riferimento..

	u.m.	Stato di fatto (valore calcolato)	Scenario 3 (valore calcolato)	Edificio di riferimento (valore limite)
H'_T	W/m ² K	1.68	0.36	≤ 0.68
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	-	0.060	0.020	≤ 0.030
$EP_{H,nd}$	kWh/m ²	88.77	7.26	≤ 10.48
$EP_{C,nd}$	kWh/m ²	12.61	21.63	≤ 21.67
$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	159.56	37.49	≤ 47.11
η_H	-	0.669	0.821	≥ 0.792
η_W	-	0.717	0.670	≥ 0.720
η_C	-	-	-	-

La tabella 60 mostra che, per gli interventi ipotizzati per lo scenario 3, tutti i valori calcolati per i parametri di riferimento rientrano all'interno dei limiti previsti dal D.I. Requisiti minimi, ad esclusione del parametro η_W .

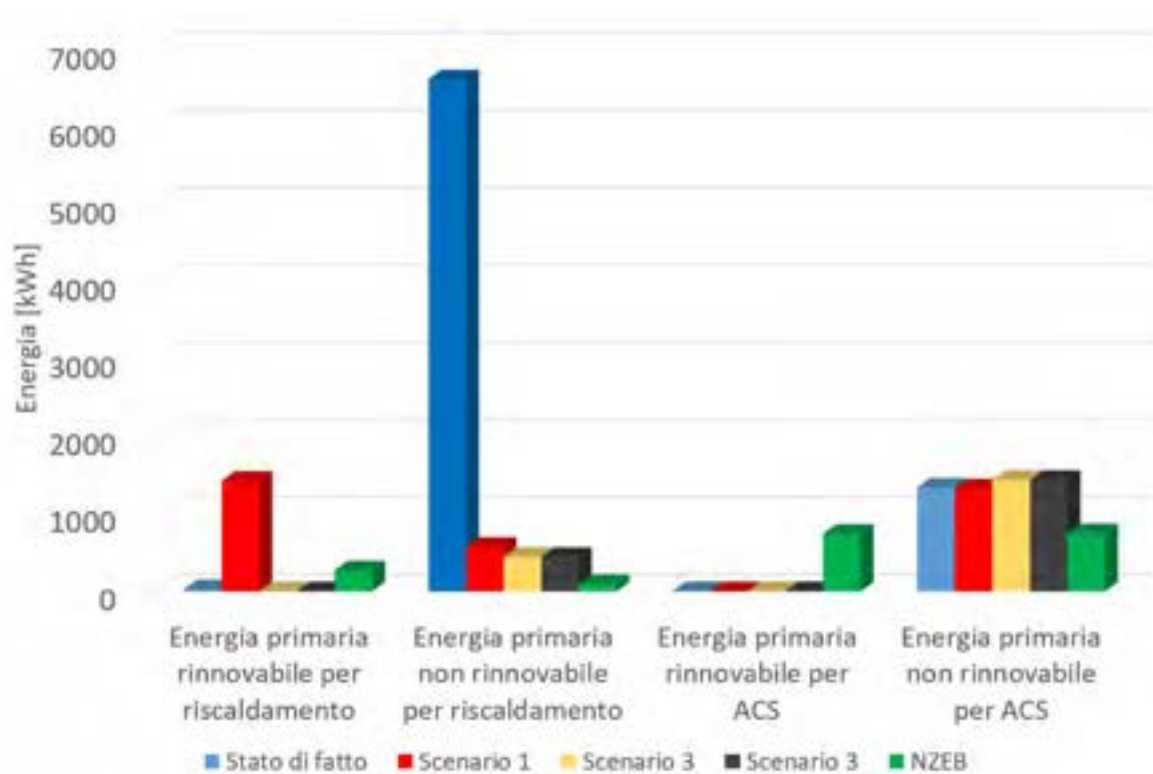


Figura 43. Confronto tra stato di fatto, scenario 1, 2 e 3, e soluzione NZEB, in termini di energia primaria.

In figura 43 è riportato il confronto tra energia primaria, rinnovabile e non rinnovabile, richiesta per i servizi di ACS e riscaldamento, per le varie simulazioni effettuate.

In termini di CO_{2eq} , lo scenario 3 è correlato a 906 kg/anno di emissioni, per cui, rispetto allo stato di fatto, si è ottenuta una riduzione del 59%.

4.3.9 Scenario 3, risultati ottenuti con SEAS

Per l'analisi dei vari termini del fabbisogno di energia all'involucro per riscaldamento, si rimanda all'analisi effettuata per la soluzione NZEB (paragrafo 4.2.3). In figura 44 e 45 sono riportati i consumi di energia, divisi per vettore e per servizio, relativi a questo scenario.

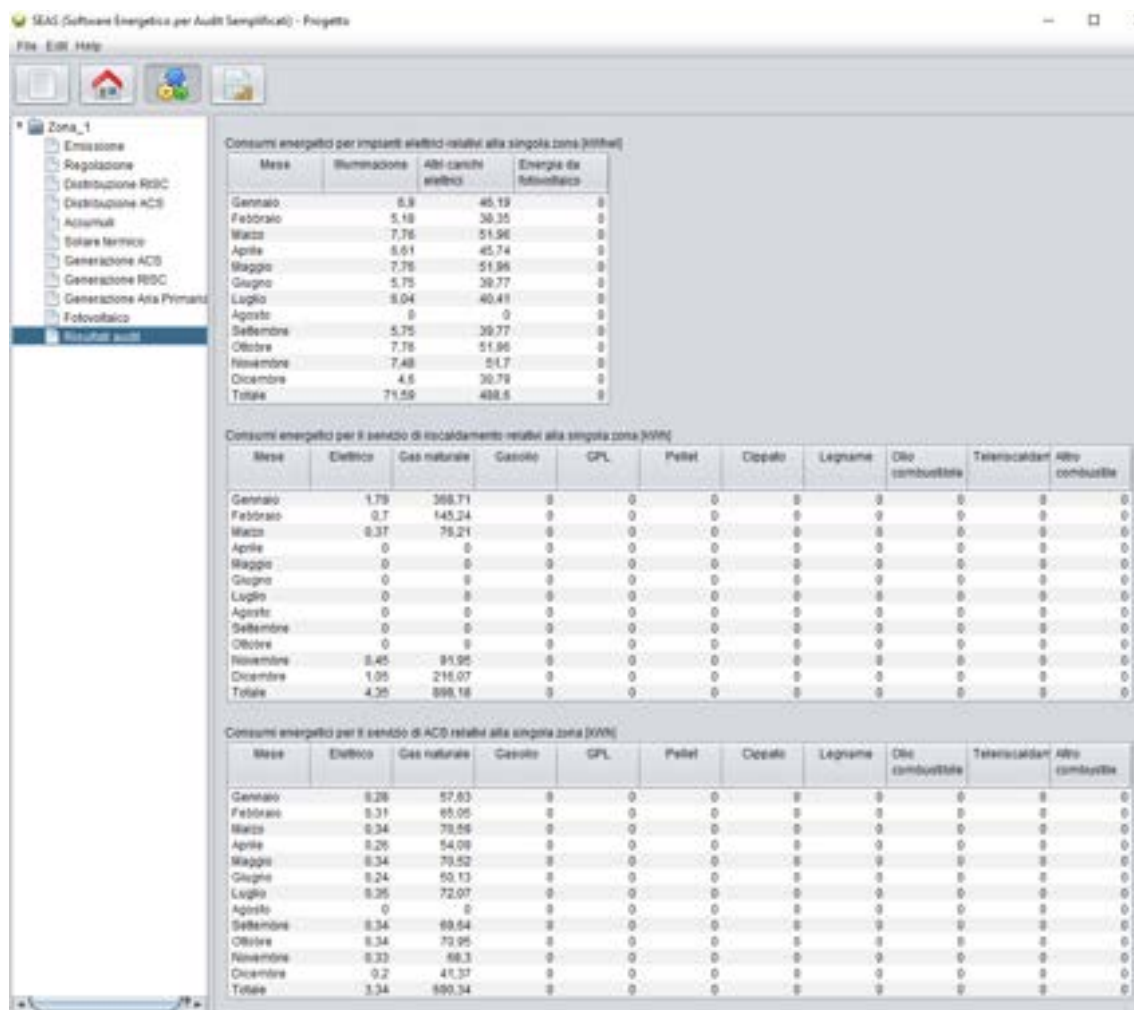


Figura 44. Screenshot SEAS, scenario 3, consumi di energia per illuminazione, altri carichi elettrici, riscaldamento e ACS.

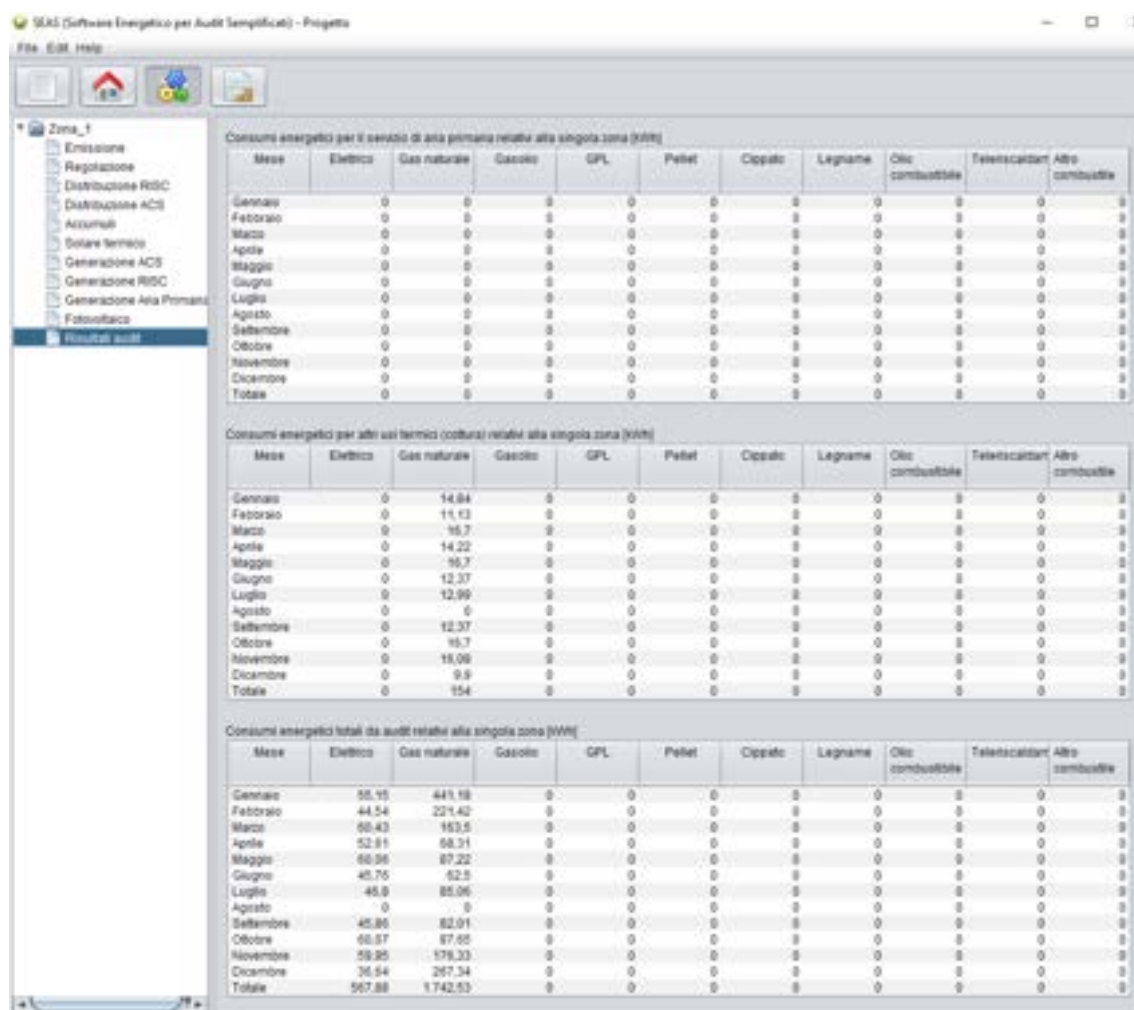


Figura 45. Screenshot SEAS, scenario 3, consumi di energia per uso cottura e consumi energetici totali.

Infine, in tabella 61 sono riportati i confronti in termini dei consumi di energia elettrica e gas naturale per i vari servizi, per lo stato di fatto, i tre scenari ipotizzati e la soluzione NZEB.

Tabella 61. Confronto tra stato di fatto (SDF), i tre scenari ipotizzati (SC. 1, SC. 2, SC.3) e la soluzione NZEB, in termini di consumi totali di energia elettrica e gas naturale per i vari servizi.

Consumi energia elettrica [kWh]						Consumi gas naturale [kWh]					
	SDF	SC. 1	SC. 2	SC. 3	NZEB		SDF	SC. 1	SC. 2	SC. 3	NZEB
RISC	20	633	10	4	391	RISC	4159	0	2151	898	0
ACS	3	3	3	3	221	ACS	625	625	625	690	0
Illum.	72	72	72	72	29	Cottura	154	154	154	154	0
Altri carichi	731	731	731	489	591 (comprende cottura)						
Totale	826	1439	816	568	1232	Totale	4938	779	2930	1743	0

5 Analisi economica degli interventi di retrofit

In questa sezione viene esposta l'analisi economica degli interventi descritti (NZEB, scenario 1, scenario 2, scenario 3). I risultati sono stati ottenuti dalla routine "Analisi economica" di SEAS che calcola i seguenti indicatori:

- Tempo di ritorno semplice (TRS) [anni];
- Tempo di ritorno attualizzato (TR) [anni];
- Indice di profitto (IP);
- Indice energetico globale (IEG) [kWh/€];
- Valore netto semplice (VN) [k€];
- Valore attuale netto (VAN) [k€];
- Costo totale semplice (CT) [k€];
- Tasso interno di rendimento (TIR) [%].

Per la definizione di questi indici, si rimanda a [10].

5.1 Analisi economica per intervento NZEB

Per quanto riguarda gli interventi proposti per la soluzione NZEB, sono stati scelti prezzi ricavati da analisi di mercato, prezario regionale della Regione Toscana e listini prezzi dei componenti scelti. Si veda la tabella 62.

Tabella 62. Costi relativi alla configurazione NZEB.

Interventi NZEB (comprensivi di manodopera)	u.m.	Q.ta	Prezzo unitario + IVA	Tot + IVA
Cappotto esterno	m ²	60.26	60 €	3615 €
Sostituzione infissi	m ²	9.77	400 €	3908 €
Impianti di risc. e prod. ACS	-	-	-	7000 €
Elettrodomestici	-	-	-	1130 €
			TOTALE	15653 €

Sono poi stati inseriti i consumi di energia elettrica e gas naturale pre- e post-intervento (calcolati sulla simulazione effettuata su SEAS) e il prezzo dell'energia (0.20 €/kWh e 0.08 €/kWh, rispettivamente per l'energia elettrica e per il gas naturale). Si è scelto un tasso di aumento del costo dell'energia elettrica e del gas naturale pari al 2%, un tasso d'interesse pari al 2% ed un tasso di inflazione pari anch'esso al 2%. La vita

utile è stata scelta pari a 50 anni, durante i quali sono state previste due sostituzioni dei componenti degli impianti ed una sostituzione degli elettrodomestici installati. È stato inoltre inserito l'ammontare degli incentivi ottenuti per la sostituzione degli infissi, per l'installazione del cappotto esterno e per la sostituzione degli impianti con sistemi a pompa di calore. La figura 46 mostra gli input inseriti per il calcolo, mentre i risultati sono mostrati in figura 47.

SEAS - Analisi Economica

SEAS - Software Energetico per Audit Semplicità - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Analisi Economica degli Interventi di Efficientamento Energetico

W. Grassi, G. Tosti, E. Bianchini, D. Della Vigna, P. Conti, E. Sotgiu, G. D'Adda, E. Marcelli - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, dei Territori e delle Costruzioni (DETSC)
P. Signorini, G. Passero - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Usi energetici

	Consumi pre-intervento (kWh/anno)	Consumi post-intervento (kWh/anno)	Prezzo dell'energia (€/kWh)	Tasso annuo di aumento prezzo energia (%)
En. elettrica	6114300	1.1000000	0.2000	1
Gas naturale	41975400	0	0.0800	1
Cappotto	0	0	0	0
Gasolio	0	0	0	0
Sistema idraulico	0	0	0	0
Altre conduttilità	0	0	0	0
CPV	0	0	0	0
Pellet	0	0	0	0
Legname	0	0	0	0
Altre conduttilità	0	0	0	0

Esclusione dell'energia prodotta per consumo (kWh/anno) Esclusione da fatturazione produzione consumo (kWh/anno)

TEE (Certificati Bianchi)

Rapporto annuo di energia termica rimborsabile in TEE (primario)

Rapporto annuo di energia elettrica rimborsabile in TEE (secondario)

N° anni di concessione del TEE

Valore del TEE per intervento (€/Tt)

Costo Energia (Fattibilità)

N° anni di concessione del costo energia

Valore della tariffa incentivante (€/kWh)

Altri incentivi

Ona Tassista (€)

Inc. sostituiti (€)

Durata Inc. rimborsati (Anni)

Fattore di incentivazione su elettrica - ex. primaria

Parametri per confronto tra interventi diversi

Caso singolo

Massimo finanziabile iniziale per finanziamento (€)

Massimo depositabile annuale per investimento rimborsati (€/anno)

Durata investimento (anni)

Dati sistema esistente

Prezzo sistema esistente (€)

Vita residua (anni)

Vita utile (anni)

Prezzo sostituzione (€/anno)

Tassi attuali

Tasso d'interesse (%)

Tasso d'inflazione (%)

Tasso di aumento del TEE (%)

Dati nuovo sistema

Vita utile e manutenzione

Vita utile (anni)

Prezzo stimato per la manutenzione (€/anno)

Investimento

Quota per l'investimento (investimento standard, lordo, senza software incentivi e/o sovvenzioni) (€)

Importo annuo da corrispondere per il finanziamento dell'intervento (€/anno)

Durata di un'eventuale finanziamento (anni)

Calcola

Figura 46. Screenshot SEAS, analisi economica edificio NZEB, input.

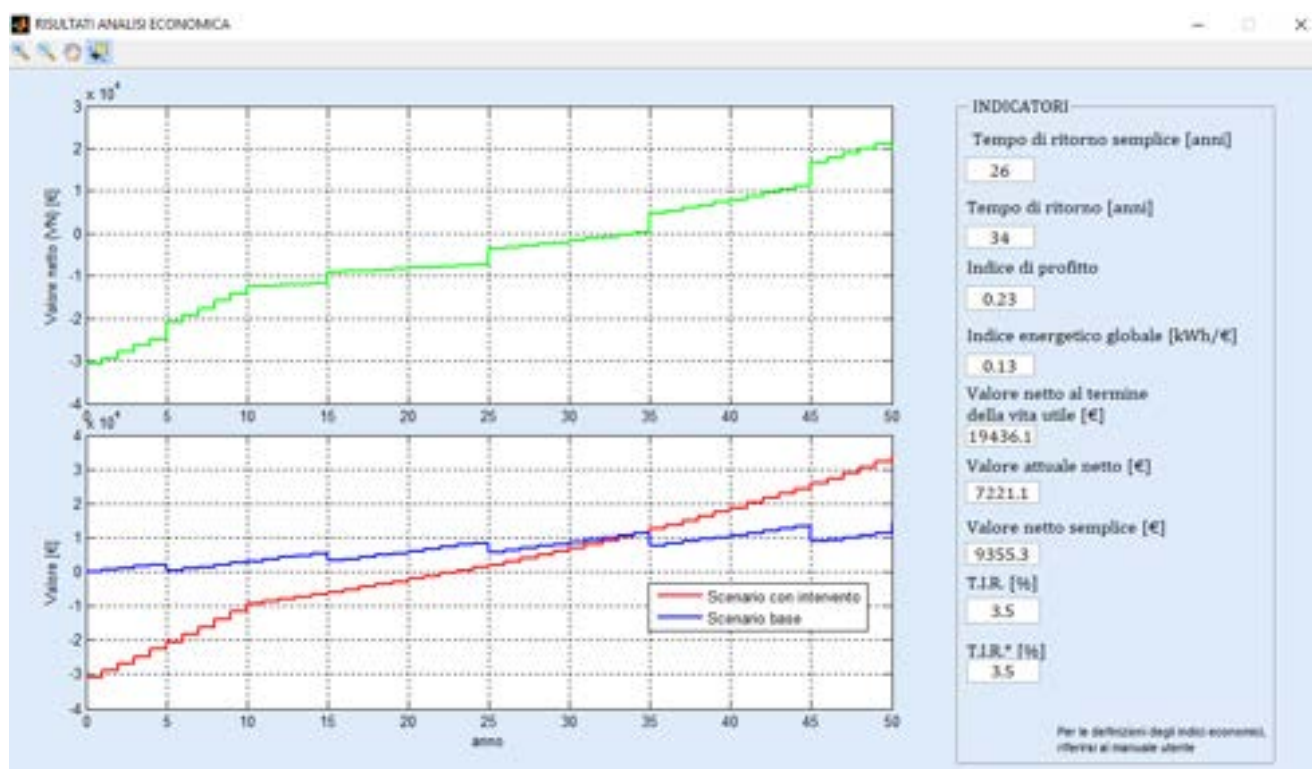


Figura 47. Screenshot SEAS, analisi economica edificio NZEB, risultati.

A fronte di un investimento di 30.7 k€, si è ottenuto un tempo di ritorno di 34 anni, un T.I.R. del 3.5 %, un VAN di 7.2 k€ ed un valore netto al termine della vita utile pari a circa 19.4 k€. L'indice di profitto, dato dal rapporto tra il VAN e l'investimento iniziale, risulta pari a 0.23.

5.2 Analisi economica per scenario 1

I prezzi relativi agli interventi ipotizzati per lo scenario 1 sono riportati in tabella 63; si ipotizzano inoltre gli stessi prezzi dei vettori elettrici ipotizzati per l'intervento NZEB e gli stessi valori per il tasso d'interesse, tasso d'inflazione e tasso annuo di aumento del prezzo dell'energia. Per la caldaia già presente, si considera una vita utile di 10 anni ed una vita residua di 5 anni.

Tabella 63. Costi relativi alla configurazione "Scenario 1".

Interventi Scenario 1 (comprensivi di manodopera)	u.m.	Q.ta	Prezzo unitario + IVA	Tot + IVA
termointonaco	m ²	48.20	45 €	2169 €
Sostituzione infissi	m ²	9.77	350 €	3420 €
Impianto di riscaldamento	-	-	-	5000 €
TOTALE				10589 €

Nelle figure 48 e 49 sono presentati due screenshot della routine “Analisi economica” di SEAS relativa a questo caso in analisi; in particolare, nella figura 48 sono presentati i dati inseriti in ingresso ed i risultati sono riportati in figura 49.

SEAS - Analisi Economica

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Analisi Economica degli Interventi di Efficientamento Energetico

W. Driess, D. Tassi, F. Marchetti, D. Della Vigna, P. Conti, S. Turchi, C. Dardano, S. Mancini - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, dell'Territorio e delle Costruzioni (DISTEC)
P. Signorini, G. Passaro - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerca Casaccia

Dati energetici

	Consumo pre-intervento (kWh/anno)	Consumo post-intervento (kWh/anno)	Prezzo dell'energia (€/kWh)	Tassa annua di auto- consumo energia (%)
En. elettrica	8234.000	44954.000	0.2000	2
Gas naturale	940754.000	7756754.000	0.0800	2
Cappotto	0	0	0	0
Geotermia	0	0	0	0
Teleriscaldamento	0	0	0	0
Altri combustibili	0	0	0	0
SP1	0	0	0	0
Pellet	0	0	0	0
Legname	0	0	0	0
Altri combustibili	0	0	0	0

Stipendio da lavoro libero
pre-intervento (€/anno) 0 Stipendio da lavoro libero
post-intervento (€/anno) 0

Dati sistema esistente

Prezzo sistema esistente (€) 2000

Vita residua (anni) 8

Vita utile (anni) 10

Prezzo manutenzione (€/anno) 100

Tassi annuali

Tasso d'interesse (%) 2

Tasso d'inflazione (%) 2

Tasso di aumento del TEE (%) 0

Dati nuovo sistema

Vita utile e manutenzione

Vita utile (anni) 10

Prezzo attuale per la manutenzione (€/anno) 100

Investimento

Quota per l'investimento (scontata) lorda
(senza sottrarre interessi e le sovvenzioni) (€) 20000.00

Importo annuo da
contribuire
per il finanziamento
dell'intervento (€/anno) 0

Durata di un rateale
finanziamento (anni) 0

TEE (Certificati Bianchi)

Rapporto annuo di energia termica
sostituibile a TEE (sostituibile)

Rapporto annuo di energia elettrica
sostituibile a TEE (sostituibile)

0° anni di concessione del TEE

Valore del TEE per intervento (€/TEE)

Costo Energia (Fotovoltaico)

0° anni di concessione del costo
energia

Valore della tariffa incentivante
(€/kWh)

Altri incentivi

Due Tattori (€)

1204.438 Inc. rimborsati (€)

10 Durata Inc. rimborsati (Anni)

2.42 Fattore di conversione
en. elettrica - en. primaria

Parametri per confronto tra interventi diversi

Caso singolo

Massima disponibilità
spesa per investimento (€)

Massima disponibilità annuale
per investimenti (€/anno)

Costo investimento (€)

Calcola

Figura 48. Screenshot SEAS, analisi economica dello scenario 1, input.

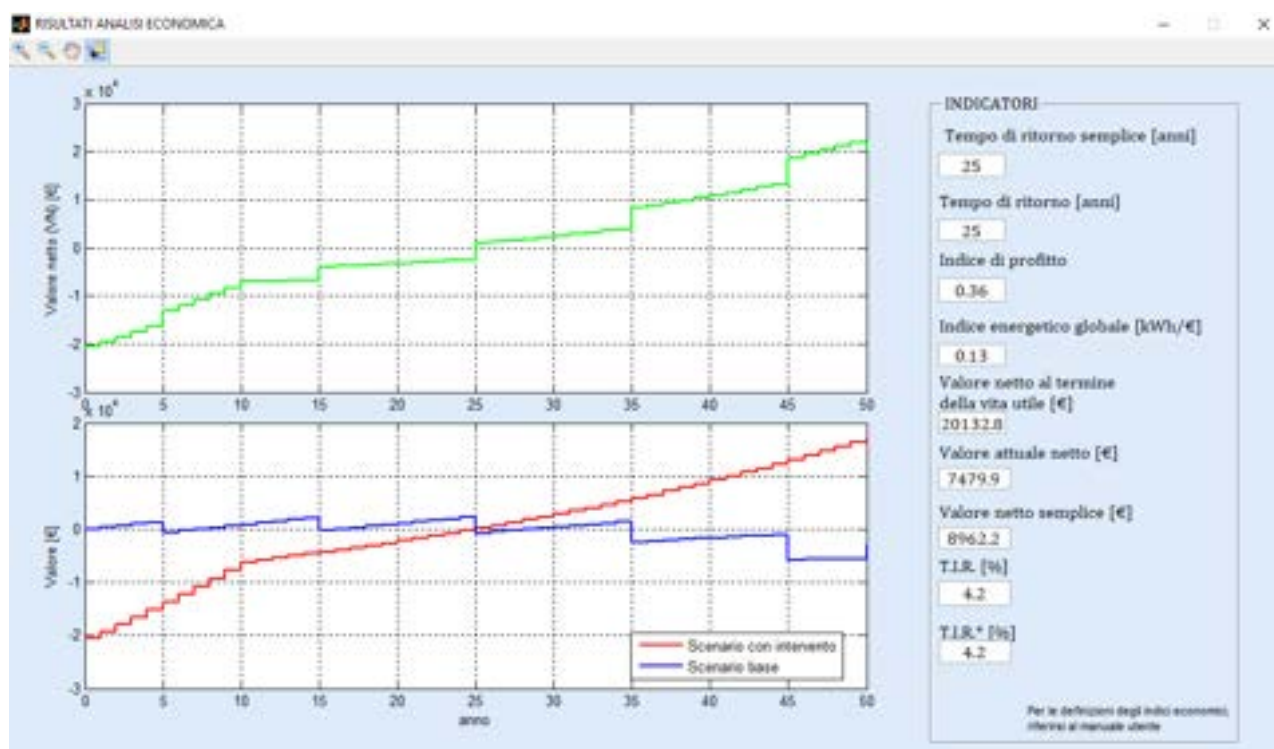


Figura 49. Screenshot SEAS, analisi economica dello scenario 1, risultati.

A fronte di un investimento iniziale di 20.6 k€, si è ottenuto un tempo di ritorno di 25 anni, un T.I.R. del 4.2 %, un VAN di 7.5 k€ ed un valore netto al termine dei 50 anni pari a circa 20.1 k€. Nonostante si abbia un VAN simile, il minore investimento iniziale porta ad ottenere un indice di profitto superiore, per cui questa soluzione risulta preferibile a quella finalizzata ad ottenere un edificio NZEB.

5.3 Analisi economica per scenario 2

La configurazione “scenario 2” prevede la modifica solamente dei componenti dell’involucro. I relativi costi sono riportati in tabella 64; si mantengono i prezzi dei vettori energetici, i tassi di interesse, di inflazione e di aumento dei prezzi dei vettori energetici definiti per il caso NZEB. Si ipotizza una vita utile di 10 anni per la caldaia, con una vita residua di 5.

Tabella 64. Costi relativi alla configurazione “scenario 2”.

Interventi Scenario 2 (comprensivi di manodopera)	u.m.	Q.ta	Prezzo unitario + IVA	Tot + IVA
termointonaco	m ²	48.20	45 €	2169 €
Sostituzione infissi	m ²	9.77	350 €	3420 €
TOTALE				5589 €

SEAS - Analisi Economica

SEAS - Software Energetico per Audit Semplici - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Analisi Economica degli Interventi di Efficientamento Energetico

H. Grassi, D. Tesi, E. Marchetti, D. Della Vigna, F. Conti, E. Schito, G. Giudice, S. Morici - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, dei Territori e delle Costruzioni (DESTEC)
 P. Signorini, G. Passero - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Unità energetiche

	Consumi pre-intervento (kWh/anno)	Consumi post-intervento (kWh/anno)	Prezzo dell'energia (€/kWh)	Tasso annuo di prezzo-energia
En. elettrica	825.400	814.800	0.2000	
Gas naturale	4.947.500	4.947.500	0.8800	
Coperto	0	0	0	
Gasolio	0	0	0	
Tele riscaldamento	0	0	0	
Altre combustibili	0	0	0	
GPI	0	0	0	
Pellet	0	0	0	

Subordinata da Intervento
prodotta pre-intervento (kWh/anno) Subordinata da Intervento
prodotta post-intervento (kWh/anno)

TEE (Certificati Bianchi)

Rapporto annuo di energia
termica valorizzabile in TEE
(prothanno)

Rapporto annuo di energia
elettrica valorizzabile in TEE
(prothanno)

N° anni di concessione del TEE

Valore del TEE per l'intervento
(€/TEE)

Costo Energia (Potenzialità)

N° anni di concessione del costo
energia

Valore della tariffa incentivante
(€/kWh)

Altri incentivi

Stia Tassato (€)

Inc. rimborsati (€)

Durata Inc. rimborsati (anni)

Fattore di conversione
es. elettrica - es. primaria

Parametri per confronto tra interventi diversi

Caso singolo

Massima disponibilità
accusa per l'intervento (€)

Massima disponibilità annuale
per investimenti rimborsati (€/anno)

Durata investimento (anni)

Dati sistema esistente

Prezzo sistema
esistente (€)

Vita residua (anni)

Vita utile (anni)

Prezzo manutenzione
(€/anno)

Tassi annuali

Tasso d'interesse (%)

Tasso d'inflazione (%)

Tasso di aumento del TEE (%)

Dati nuovo sistema

Vita utile e manutenzione

Vita utile (anni)

Prezzi stimati per la manutenzione
(€/anno)

Investimento

Quota per l'investimento immediatamente
stanziata, lorda (senza sottrarre incentivi e/o
sovvenzioni) (€)

Importo annuo da
compensare per il finanziamento
dell'intervento (€/anno)

Durata di un'eventuale
finanziamentazione (anni)

Calcola

Figura 50. Screenshot SEAS, analisi economica dello scenario 2, input.

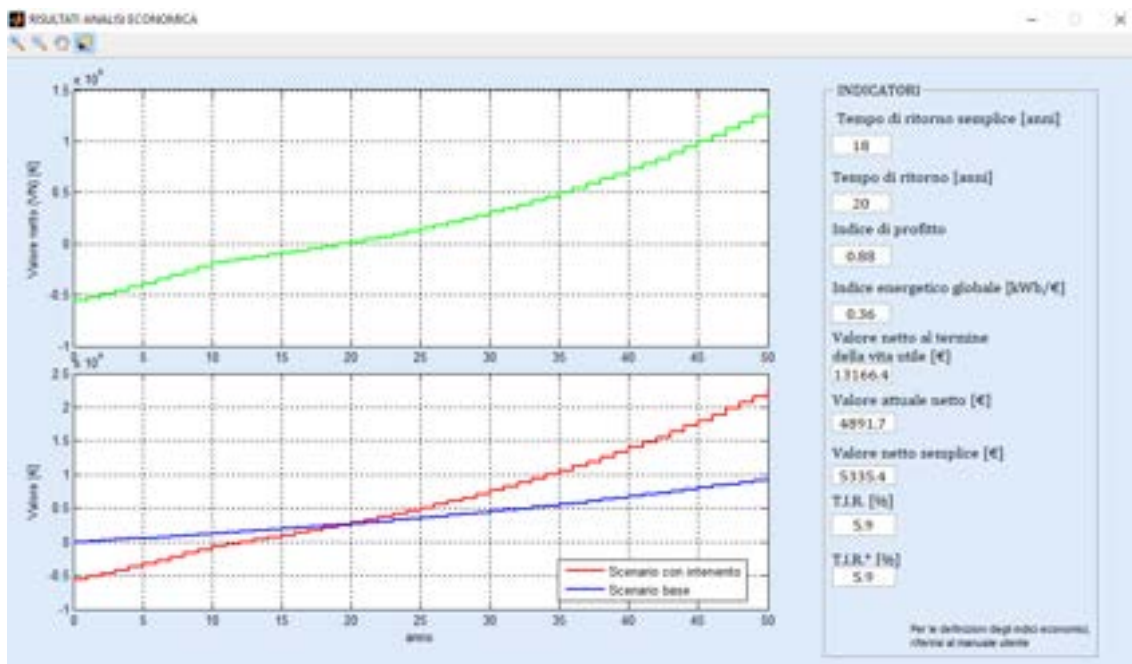


Figura 51. Screenshot SEAS, analisi economica scenario 2, risultati.

In figura 50 sono riportati gli input inseriti nella routine di analisi economica, mentre in figura 51 sono riportati i relativi risultati. A fronte di un investimento iniziale di 5.59 k€, si è ottenuto un tempo di ritorno di 20 anni, un T.I.R. del 5.9 %, un VAN di 4.9 k€ e un valore netto al termine dei 50 anni pari a 13.2 k€. Anche in questo caso l'indice di profitto ottenuto, 0.88, risulta superiore a quello ottenuto per gli interventi della configurazione NZEB.

5.4 Analisi economica dello scenario 3

I prezzi relativi agli interventi proposti per lo scenario 3 sono riportati in tabella 65. Sono considerati invariati, rispetto al caso NZEB e agli scenari 1 e 2, i prezzi dei vettori energetici, i tassi di interesse e di inflazione, e i tassi di aumento dei prezzi dell'energia. Per la caldaia già presente si considera una vita utile di 10 anni con vita residua 5.

Tabella 65. Costi relativi alla configurazione "scenario 3".

Interventi Scenario 3 (comprensivi di manodopera)	u.m.	Q.ta	Prezzo unitario + IVA	Tot + IVA
Cappotto esterno	m ²	60.25	60 €	3615 €
Sostituzione infissi	m ²	9.77	400 €	3908 €
			TOTALE	7523 €

Gli input inseriti nella simulazione sulla routine "Analisi economica" in SEAS sono riportati in figura 52, mentre in figura 53 sono riportati i risultati.

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Analisi Economica degli Interventi di Efficientamento Energetico

W. Grassi, G. Tesi, F. Benvenuti, D. Della Vola, P. Corio, F. Sordani, G. Daddato, S. Bianchi - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dell'Edilizia, dell'Territorio e delle Costruzioni (DISTEC)
P. Sigorotti, G. Passaro - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Usi energetici

	Consumi pre-intervento (kWh/anno)	Consumi post-intervento (kWh/anno)	Prezzo dell'energia (€/kWh)	Tasso annuo di crescita prezzi energia
En. elettrica	8334199	4474866	0,2096	0
Gas naturale	43873e+00	17435e+00	0,8888	0
Cappello	0	0	0	0
Geotermia	0	0	0	0
Teleriscaldamento	0	0	0	0
Altre combustibili	0	0	0	0
GPV	0	0	0	0
Fotovoltaico	0	0	0	0

Isolamento dell'involucro pre-intervento (kWh/anno) 0 Isolamento dell'involucro post-intervento (kWh/anno) 0

Dati sistema esistente

Prezzo sistema esistente (€) 0
Vita residua (anni) 0
Vita utile (anni) 0
Prezzo manutenzione (€/anno) 0

Tassi annuali

Tasso d'interesse (%) 2
Tasso d'inflazione (%) 2
Tasso di aumento dei TEE (%) 0

Dati nuovo sistema

Vita utile e manutenzione
Vita utile (anni) 10
Prezzi stimati per la manutenzione (€/anno) 0

Investimento

Quota per l'investimento immediatamente ritardata, lorda (senza sottrarre incentivi e/o sovvenzioni) (€) 7123,36
Importo annuo da corrispondere per il finanziamento dell'intervento (€/anno) 0
Durata di un mese di finanziamento (anni) 0

TEE (Certificati Bianchi)

Rapporto annuo di energia termica valutabile in TEE (kWh/anno) 0
Rapporto annuo di energia elettrica valutabile in TEE (kWh/anno) 0
N° anni di concessione dei TEE 0
Valore dei TEE per intervento (€) 0

Costo Energia (Futuro/Salvo)

N° anni di concessione del costo energia 0
Valore della tariffa incentivante (€/kWh) 0

Altri incentivi

Una Tantum (€) 0
Inc. rimborsati (€) 408,398
Durata Inc. rimborsati (Anni) 10

Fattore di correzione es. elettrica - es. primaria 2,42

Parametri per confronto tra interventi diversi

Caso singolo: ☐ ☒ ☐
Massima disponibilità risorse per l'investimento (€) 7123,36
Massima disponibilità annuale per investimenti retroscati (€/anno) 0
Durata investimento (anni) 0

Calcola dati
Salva dati
Help

Calcola

Figura 52. Screenshot SEAS, analisi economica scenario 3, input.

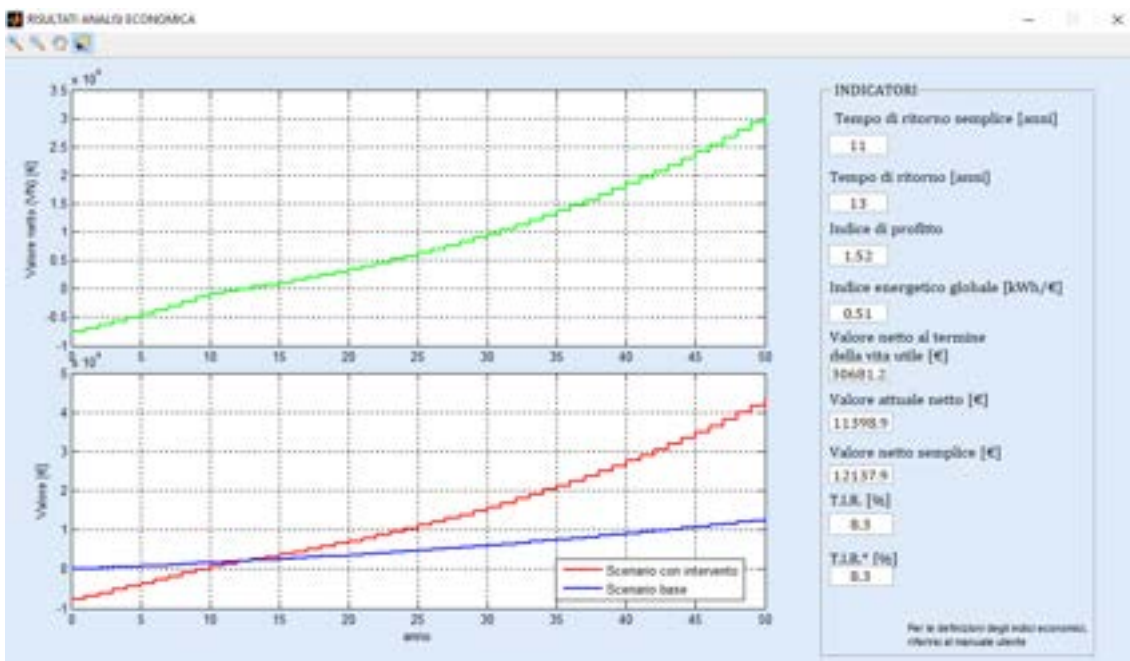


Figura 53. Screenshot SEAS, analisi economica scenario 3, risultati.

A fronte di un investimento iniziale di 7.5 k€, si è ottenuto un tempo di ritorno di 13 anni, un T.I.R. del 8.3 %, un VAN di 11.4 k€ e un valore netto al termine dei 50 anni pari a 30.7 k€.

L'indice di profitto in questo caso risulta superiore all'unità (pari a 1.52), quindi oltre a recuperare l'investimento, si riesce a ottenere un guadagno superiore all'investimento stesso.

Dunque è possibile affermare che, tra i tre scenari analizzati, quello con il miglior rapporto costi/benefici risulta essere proprio quest'ultimo. Inoltre, confrontando questo scenario con la configurazione NZEB, l'analisi dei due investimenti permette di notare che risulta più conveniente intervenire solamente sui componenti di involucro e mantenere invariati gli impianti.

Risulta quindi che, data la ridotta superficie esterna dell'edificio, l'intervento di installazione dell'isolamento a "cappotto esterno" non pesa eccessivamente dal punto di vista economico, cosa che invece avviene per quanto riguarda la sostituzione degli impianti, per i quali è necessaria una spesa maggiore, incrementata ulteriormente dal fatto che la vita utile di questi è tale da prevedere 2 sostituzioni complete nel periodo di tempo considerato.

Si ritiene quindi più concretizzabile un piano di intervento come quello descritto dallo scenario 3 anche se i consumi di energia elettrica e gas risultano superiori a quelli relativi alla configurazione NZEB.

6 Estensione dei risultati ottenuti ad altri edifici ERP della Provincia

Al fine di stimare i benefici in termini di risparmio energetico e di riduzioni delle quote di CO₂ immesse in atmosfera che si possono raggiungere estendendo i risultati ottenuti per il caso studio analizzato ad altri edifici sede di alloggi sociali o di ERP nella Provincia di Pisa, si è provveduto a stimare i risparmi in termini di consumi energetici e di tonnellate di CO₂ emesse per l'intero quartiere di Gagno, per il quale si ritiene che tutti gli edifici abbiano le stesse tecniche costruttive di quello in esame e che anche i fabbisogni delle singole unità abitative risultino simili tra loro.

Sapendo che il numero di unità abitative presenti nel suddetto quartiere ammonta a circa 450, si è stimata la superficie netta totale che risulta di circa 23000 m².

Si procede quindi ad estendere i risultati ottenuti per la configurazione NZEB e per quella descritta dallo scenario 3 all'intero quartiere.

Nella tabella 66 si riportano le emissioni di CO_{2eq} ed i consumi di energia elettrica e di gas naturale relativi solo agli impianti di riscaldamento e produzione di ACS, per lo stato attuale, la configurazione NZEB e lo scenario 3. I dati energetici sono ricavati da SEAS (valutazione A3), mentre i coefficienti di conversione da energia a CO_{2eq} emessa sono i valori definiti dall'ISPRA, indicati nel paragrafo 4.2.2. Secondo i valori stimati, adottare la configurazione NZEB porterebbe ad un valore di emissioni di CO_{2eq} evitate pari a circa 733 tonnellate mentre con la configurazione dello scenario 3 questo valore ammonterebbe a circa 583 tonnellate.

Tabella 66. Confronto tra stato di fatto, soluzioni NZEB e scenario 3, ipotizzando l'estensione dei risultati ad altri edifici ERP della Provincia.

	u.m.	Stato di fatto	NZEB	Scenario 3
Consumo gas naturale	MWh	2222	0	784
Consumo energia elettrica	MWh	372	554	256
CO _{2eq} emessa	t	991	258	408

7 Conclusioni

Il presente lavoro si poneva l'obiettivo di verificare la fattibilità di rendere NZEB un edificio ERP nella zona climatica D.

Si è scelto come caso studio un appartamento tipico della Provincia di Pisa, di dimensioni abbastanza ridotte (circa 50 m²) e costruito nella metà del 1900. L'appartamento è rappresentativo di altri 450 appartamenti nel quartiere in cui si trova.

Sono state confrontate due diverse analisi: la prima ha verificato la fattibilità di rendere NZEB l'unità abitativa in base alla legislazione in vigore; la seconda ha esaminato la possibilità di scegliere opportunamente gli interventi da realizzare per diminuire le richieste energetiche (senza arrivare necessariamente però all'obiettivo NZEB), seguendo il principio dell'ottimizzazione costi-benefici.

Per la simulazione con finalità NZEB non si è potuto validare il modello con i dati reali, in quanto la metodologia applicata, A2 (Asset Rating), prevede un utilizzo standard e continuativo dei locali e degli impianti, differente da quello effettivo. Al contrario, il modello di diagnosi, che utilizza la metodologia adattata all'utenza, A3 (Tailored Rating), è stato validato attraverso gli usi energetici effettivi, rilevati tramite le fatturazioni di energia elettrica e gas naturale di un periodo di due anni.

Sono emerse delle criticità riguardanti la fattibilità economica degli interventi per il raggiungimento della classe NZEB dovute sia al fatto che raggiungere livelli di fabbisogno così ridotti richiede delle performance molto alte da parte dell'involucro edilizio, ma anche e soprattutto dal fatto che il raggiungimento dell'elevata percentuale richiesta per la copertura del fabbisogno tramite fonti rinnovabili non risulta possibile se non mediante l'installazione di sistemi ed impianti il cui impatto economico risulta in molti casi elevato per utenze di taglia così limitata.

È anche lecito pensare che i requisiti imposti dalla normativa risultino, in alcuni casi, troppo stringenti. A dimostrazione di questo, oltre alle difficoltà osservate per il raggiungimento della classe NZEB, si ricorda che i risultati ottenuti con la simulazione degli scenari scelti secondo criteri "costi-benefici" non sempre risultano rientrare all'interno dei limiti imposti, eppure consentono un notevole miglioramento dell'unità abitativa dal punto di vista energetico a prezzi realizzabili.

Riteniamo utile la prosecuzione dell'analisi dei casi studio e delle simulazioni dinamiche degli edifici caratteristici italiani, di modo da individuare le tipologie di retrofit più opportune per diminuire le richieste energetiche degli edifici, in accordo con la visione della Direttiva Europea 2010/31/UE.

Bibliografia

- [1] R. Lungarella, Social housing: una definizione inglese di “edilizia residenziale pubblica”?, *Ist. Del Fed. Riv. Di Stud. Giuridici e Polit.* 3 (2010) 271–311.
- [2] Federesco, Federconsumatori, U.N. Consumatori, AiCARR, Fuel Poverty ed Efficienza Energetica. Strumenti e misure di contrasto alla precarietà energetica in Italia., (2017) 31.
- [3] E. Antonini, J. Gaspari, G. Olivieri, Densifying to upgrading: strategies for improving the social housing built stock in Italy., *TECHNE J. Technol. Archit. Environ.* 4 (2012) 306.
<http://ezproxy.uow.edu.au/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=87766194&site=eds-live>.
- [4] M. Corsetti, Retrofitting energetico per l’housing sociale, (2011) 34–40.
- [5] D. Testi, W. Grassi, D. Della Vista, E. Menchetti, S. Comelato, M. Rocca, A. Taverni, V. Vannucci, P. Signoretti, L. Terrinoni, Riqualficazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione NZEB - studio dell’edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: 1400<GG<2100), 2015.
- [6] D. Testi, E. Schito, P. Conti, E. Menchetti, S. Comelato, W. Grassi, P. Signoretti, L. Terrinoni, Riqualficazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione NZEB - studio dell’edificio ad uso uffici della PA nella zona climatica Centro Italia, 2016.
- [7] A. Pittini, E. Laino, Housing europe review 2012. The nuts and bolts of European social housing systems, (2011) 91.
- [8] Federcasa, L’edilizia residenziale pubblica. Elemento centrale della risposta al disagio abitativo, (2015).
- [9] ISPRA, Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra e altri gas nel settore elettrico, 2018.
http://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/rapporti/R_280_18_Emissioni_Settore_Elettrico.pdf.
- [10] D. Testi, D. Della Vista, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, W. Grassi, G. Fasano, P. Signoretti, Sviluppo del Software SEAS per le diagnosi energetiche di ambienti ospedalieri dedicati alla degenza, Report di Ricerca di Sistema Elettrico (RSE/PAR2013/113), 2013.

Breve curriculum scientifico dei membri del gruppo di lavoro

Daniele Testi, nato a Pietrasanta (LU) nel 1977, dal 2014 è Professore Associato di Fisica Tecnica presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa. Laureato con lode in Ingegneria Aerospaziale (2002), Dottore di Ricerca in Energetica Elettrica e Termica (2006), Assegnista di Ricerca (2006-2009), Borsista di Ricerca (2010-2011) e Ricercatore Universitario a tempo indeterminato (2011-2014) presso l'Università di Pisa. Ha svolto supporto alla didattica per i corsi di Termodinamica Applicata, Fisica Tecnica e Termoenergetica dell'Edificio. È stato codocente dei corsi di Teoria dei Sistemi, Laurea in Ingegneria Energetica, e di Risparmio Energetico in Edilizia, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Attualmente è Presidente del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e titolare dei corsi di Fisica Tecnica, Laurea in Ingegneria dell'Energia, Energia e Sistemi Energetici, Laurea in Ingegneria Gestionale, e Trasmissione del Calore e Termofluidodinamica, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Principali campi di studio: termofluidodinamica monofase e bifase, tecniche d'incremento dello scambio termico convettivo, tecniche di misura nella fisica tecnica, scambiatori e dissipatori di calore, microgravità, termofisica degli ambienti abitati, impianti di climatizzazione, efficienza energetica in edilizia, simulazione, integrazione e ottimizzazione di sistemi energetici, pianificazione energetica. Per la sua Tesi di Dottorato di Ricerca, ha ottenuto il premio europeo "EUROTHERM Young Scientist Award", conferito con cadenza quadriennale. Autore di oltre 100 pubblicazioni su riviste internazionali o in atti di congressi. Docente in numerosi corsi di formazione, master e seminari sulla gestione dell'energia, la diagnosi e la certificazione energetica degli edifici e gli impianti termotecnici. Titolare di consulenze o collaboratore per vari contratti di ricerca nell'ambito della diagnosi, dell'efficienza, della normativa, della pianificazione e della conversione energetica. Socio dell'Unione Italiana Termofluidodinamica (UIT) e dell'Associazione della Fisica Tecnica Italiana (FTI). Dal 2014 è responsabile scientifico dello sviluppo del software nazionale SEAS per la diagnosi energetica negli edifici.

Eva Schito, nata a Pisa nel 1990, ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria dell'Energia, Sistemi, Territorio e Costruzioni presso l'Università di Pisa, nel giugno 2017, discutendo la tesi "Methods and tools for a rational and efficient use of energy in museum environments". Ha conseguito con lode la Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica presso l'Università di Pisa (luglio 2013), discutendo la tesi dal titolo "Modellizzazione dinamica di un sistema pompa di calore – edificio". Ha ottenuto l'Attestato di Merito previsto per gli studenti del Percorso di Eccellenza. Attualmente è Assegnista di Ricerca in Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni presso l'Università di Pisa e codocente del corso "Risparmio Energetico in Edilizia" del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. I suoi principali campi di interesse sono: modellizzazione cycle-based delle pompe di calore e progettazione ottimizzata, simulazione dinamica e

riqualificazione energetica degli edifici, anche di valore storico. Nel 2008 è risultata vincitrice del Primo Posto nella Categoria Singoli Studenti del Concorso Nazionale “IV Edizione delle Olimpiadi della Scienza – Premio Green Scuola – Energie alternative e ambiente: la produzione sostenibile di energia”, indetto dal Ministero dell’Istruzione, Università e Ricerca e dal Consorzio Interuniversitario “La Chimica per l’Ambiente” (INCA). Esperto Junior CasaClima e Socia FTI e dell’Associazione Italiana Condizionamento dell’Aria Riscaldamento e Refrigerazione (AiCARR). Ha collaborato come Borsista col DESTEC, Università di Pisa, nell’ambito di contratti di ricerca e consulenza nel campo della diagnosi e simulazione energetica degli edifici e dei sistemi energetici.

Paolo Conti, nato a Jesi (AN) nel 1987, ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria “Leonardo da Vinci” Energetica Elettrica e Termica presso l’Università di Pisa, discutendo la tesi “Sustainable design of ground-source heat pump systems: optimization of operative life performances”. Dal 2015 al 2017 è stato Assegnista di Ricerca e Borsista presso il DESTEC, Università di Pisa. Da aprile 2017 è Ricercatore a Tempo Determinato, sempre presso il DESTEC, ed è titolare del corso “Termoenergetica degli edifici” del Corso di Laurea in Ingegneria dell’Energia. La sua attività riguarda la progettazione e la gestione ottimizzata degli impianti geotermici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici. I suoi settori principali d’interesse professionale sono: gli impianti di climatizzazione ad acqua e ad aria, lo sviluppo di modelli al calcolatore per la simulazione e la valutazione delle prestazioni energetiche dei sistemi edificio – impianto, lo studio e sviluppo di metodologie per la diagnosi energetica negli edifici, l’individuazione di buone pratiche di progettazione e gestione dei sistemi edifici-impianto. Socio AiCARR, UGI, FTI e dell’American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Membro dell’International Geothermal Association (IGA) Resources & Reserves Committee e Co-chair del Subcommittee A per la promozione e l’aggiornamento delle specifiche riguardanti l’applicazione del protocollo UNFC alle applicazioni geotermiche (pompe di calore incluse).

Daniele Allegra, nato a Lucca (LU) nel 1992, ha conseguito la Laurea triennale in Ingegneria dell’Energia presso l’Università di Pisa (luglio 2015). Ha collaborato con aziende cartarie della provincia di Lucca per progetti a fini didattici in collaborazione con l’Università di Pisa, legati all’analisi del processo produttivo della carta e alla stesura di bilanci energetici per gli impianti di seccheria e quelli di produzione del vapore, oltre che all’analisi della Direttiva 2003/87/CE UE ETS (Emission Trading System). Ha svolto stage/tirocinio presso un’azienda nel settore “Macchine da converting” (giugno 2010) e presso l’Area della Ricerca dell’Istituto di Fisiologia Clinica del CNR di Pisa (febbraio 2011). A ottobre 2018 discuterà la Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica, Università di Pisa, dal titolo “Riqualificazione energetica in chiave NZEB. Analisi di fattibilità e criticità nell’applicazione all’edilizia popolare: il caso del quartiere di Gagno, Pisa”.

Mario Acernese, nato a Pisa (PI) nel 1973 e laureato in Ingegneria Aerospaziale all'Università di Pisa nell'aprile 2002, è attualmente iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Pisa. Ha consolidato la propria esperienza nel campo dell'impiantistica termica e del condizionamento, implementata dagli studi sulla diagnosi energetica degli edifici. L'attività professionale riguarda diversi ambiti: dalla progettazione impiantistica in ambito civile e commerciale, agli incarichi di consulente tecnico, alla direzione tecnica di cantiere, alla certificazione energetica di edifici. L'aggiornamento continuo lo ha portato a completare due corsi per Energy Manager e un corso per Auditor Energetico, oltre a corsi su vari argomenti (contabilizzazione e redazione di tabelle energetiche millesimali, corsi sui requisiti acustici passivi). Attualmente sta seguendo la progettazione degli impianti idrotermosanitari con utilizzo di pannelli solari termici e fotovoltaici di una Residenza Sanitaria Assistita in San Giuliano Terme (PI), la progettazione e la Direzione dei Lavori di un impianto di condizionamento di un ristorante in Pisa, la Direzione dei Lavori di una Lottizzazione composta da condominio di 12 unità abitative e 9 villette e la ristrutturazione di abitazioni in Pisa.

Andrea Eccher, nato a Livorno (LI) nel 1973, si è laureato in Ingegneria Civile (orientamento Infrastrutture e Trasporti) presso l'Università di Pisa nell'aprile del 2002. Ha coltivato le proprie attitudini all'interno di uno Studio di Ingegneria a Pisa, specializzato e pioniere anche in energie rinnovabili, raggiungendo discreti risultati nell'ambito della sicurezza antincendio e in cantiere. Contemporaneamente ha iniziato a collaborare col Prof. Marotta dell'Università di Pisa come assistente all'esame di "Tecnica e Sicurezza dei Cantieri", partecipando all'attività didattica e di esercitazione, attività questa che continua tuttora. Assieme all'Ing. Mario Acernese, fonda nel 2005 ANTARES PROGETTAZIONE, che si occupa di progettazione e direzione lavori per impianti termici e meccanici, riqualificazione energetica degli edifici, certificazione energetica, impianti antincendio elettrici e coordinamento per la sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione in cantiere. Negli ultimi anni, ha potuto applicare le proprie conoscenze nell'ambito della prevenzione incendi alla progettazione di importanti progetti su tutto il territorio nazionale su strutture civili e militari: alcuni edifici di Camp Darby (PI), la sede di Kering a Milano, l'Unità di Pontremoli di IG O&M. Nel 2014 si iscrive a ConfCommercio Pisa, dove è attualmente il Vicepresidente dell'area dedicata alla Sicurezza e Salute nei luoghi di lavoro.