

COMUNE DI MATELICA

Piazza E. Mattei 1 / Via Spoletini 4 (sede provvisoria) - 62024 Matelica (MC)



C						
B						
A						
-	FEBBRAIO 2021	Emissione	-	Vitali	Magrini	Lucarelli
REV.	DATA	EMISSIONE/AGGIORNAMENTO	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Progetto

ADEGUAMENTO SISMICO SCUOLA MEDIA DI VIA ROMA

Via Roma - Comune di Matelica (MC)

CUP: E93H19000500005 - CIG: 8227000F28

Livello di progettazione

AGGIORNAMENTO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

RTP AGGIUDICATARIO
Capogruppo Mandataria



EXUP s.r.l.
via S. Pertini, 12 - 06019 Umbertide (PG)
tel. 075 941 58 71 info@exup.it www.exup.it



UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Socio N.887



COORDINAMENTO E INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Matteo Lucarelli
RILIEVI, RICERCA DOCUMENTALE, PROVE E INDAGINI
Ing. Andrea Maggini
Ing. Letizia Violini
ARCHITETTURA E PAESAGGIO

Arch. David Coccia
Arch. Diego Giubilei
Arch. Eugenia Cecchetti
Ing. lun. Michele Magrini Alunno
ENERGIA E IMPIANTI, ANTINCENDIO, ACUSTICO E ILLUMINOTECNICA
Ing. Francesco Vitali

Ing. lun. Michele Magrini Alunno
Arch. Annalisa Franchi

STRUTTURE

Ing. Emanuele Marcheggiani
Ing. Diego Calderini
COMPUTISTICA E CAPITOLATO D'APPALTO

Ing. Alessandro Capacci
Geom. Giacomo Palazzini
COORDINAMENTO SICUREZZA
Geom. Giacomo Palazzini

BIM
Ing. lun. Michele Magrini Alunno
Arch. Diego Giubilei

Il Responsabile del procedimento
Ing. Roberto Ronci

Nome file
20050_impaginazione.pln

Commessa
20_050

Scala

Elab
f-RE

Oggetto

RELAZIONI
Relazione tecnica efficientamento energetico

Tav

02

INDICE

1. EFFICIENTAMENTO ENERGETICO.....	2
1.1. PREMESSA	2
1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
1.3. METODOLOGIA PROGETTUALE.....	3
1.4. DIAGNOSI ENERGETICA.....	5
1.4.1. Parametri comuni	5
1.4.2. Analisi Dinamica	6
1.4.3. Profili d'uso	6
1.4.4. Scenari di progetto ipotizzati	6
1.4.5. Caratteristiche di rendimento dei generatori utilizzati	7
1.5. PRINCIPALI RISULTATI DI CALCOLO.....	7
1.5.1. Statistiche di potenza oraria e bilanci energetici	8
1.5.2. Valutazione dei risultati ottenuti.....	12
1.5.3. Stima della differenza costi di installazione tra i generatori	13

1. EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

1.1.PREMESSA

La presente relazione si riferisce al Progetto di fattibilità tecnica economica relativa ai lavori di adeguamento antisismico attraverso la ristrutturazione con ampliamento che prevede la demolizione e ricostruzione della Scuola Media “Enrico Mattei” sita in Via Roma a Matelica. Scopo della valutazione qui affrontata è la comparazione di diverse soluzioni per quanto riguarda i sistemi energetici e le scelte impiantistiche per il soddisfacimento dei fabbisogni dell'edificio in progetto.

1.2.NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'analisi energetica è effettuata considerando la procedura di calcolo dei fabbisogni energetici del complesso di edifici e la normativa vigente in materia di contenimento del fabbisogno energetico degli edifici. L'insieme di norme utilizzate è definito essenzialmente da:

- UNI EN ISO 52016-1:2018 Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo
- UNI CEN ISO/TR 52016-2:2018 Prestazioni energetiche degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 2: Spiegazione e giustificazione della ISO 52016-1 e della ISO 52017-1
- UNI EN ISO 52017-1:2018 Prestazione energetica degli edifici – Carichi termici sensibili e latenti e temperature interne - Parte 1: Procedure generali di calcolo
- UNI CEN ISO/TR 52016-2:2018 Prestazioni energetiche degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 2: Spiegazione e giustificazione della ISO 52016-1 e della ISO 52017-1
- UNI EN ISO 52010-1:2018 Prestazione energetica degli edifici – Condizioni climatiche esterne - Parte 1: Conversione dei dati climatici per i calcoli energetici
- UNI CEN ISO/TR 52010-2:2018 Prestazioni energetiche degli edifici – Condizioni climatiche esterne – Parte 2: Spiegazione e giustificazione della ISO 52010-1
- UNI EN ISO 52022-1:2018 Prestazione energetica degli edifici – Proprietà termiche, solari e luminose di componenti ed elementi edilizi. Parte 1: Metodo di calcolo semplificato delle caratteristiche luminose e solari per dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate
- UNI TS 11300-1 Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- UNI TS 11300-2 Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
- UNI TS 11300-3 Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
- UNI TS 11300-4 Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
- UNI TS 11300-5 Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili
- UNI TS 11300-6 Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili

1.3.METODOLOGIA PROGETTUALE

Gli edifici "ad energia quasi zero" (nearly Zero Energy Building nZEB) sono immobili che consumano pochissima energia per riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione. La Legge Nazionale li definisce come Edifici ad altissima prestazione energetica [...] Il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ.

Gli edifici nZEB sono stati introdotti dalla Direttiva Europea 31/2010/CE, seguita in Italia dal D.Lgs. 192/2005 e successivi aggiornamenti.

La normativa prevede che dal 2021 tutti i nuovi edifici dovranno essere costruiti nZEB.

I benefici in termini di risparmio energetico e miglioramento del comfort interno di edifici nZEB sono oramai noti a molti e di seguito verranno descritte le strategie che saranno intraprese nello sviluppo della progettazione del polo scolastico al fine di raggiungere gli obiettivi determinati; preme invece, in questa prima fase, determinare e valutare quali possano essere i rischi e gli effetti indesiderati di un edificio nZEB mal progettato e quali debbano essere altresì gli aspetti progettuali, magari considerati secondari, da approfondire e risolvere proprio per scongiurare la realizzazione di un edificio sulla carta rispondente ai requisiti richiesti dalla normativa ma che nella pratica di tutti i giorni possa risultare non efficiente e confortevole.

Nella definizione degli aspetti progettuali propri di un edificio nZEB nella realizzazione e soprattutto nel monitoraggio di edifici energeticamente molto performanti, sono molto utili i dati di letteratura derivanti dal monitoraggio dei primi edifici nZEB realizzati in Italia e nel resto d'Europa; si individuano 6 punti cardine per la progettazione:

Approccio olistico e progettazione integrata

Quando ci si avvicina alla progettazione di un edificio a energia quasi zero, a maggior ragione di un edificio scolastico, bisogna tener in considerazione quanti più aspetti possibile, per questo è necessario un approccio olistico, che consideri l'edificio nel suo complesso con i suoi sottoinsiemi, le sue funzioni, i suoi benefici interconnessi, attraverso una progettazione integrata. L'ottimizzazione della forma dell'edificio, la scelta del corretto orientamento e la composizione corretta delle facciate vengono ottenute grazie ad un confronto multidisciplinare, che coinvolge tutti i membri del team di progettazione, esperti nelle varie discipline.

Progetto e strategie specifiche per il clima locale (Regime dinamico)

Tanto più è performante dal punto di vista energetico un edificio, tanto più saranno i dettagli a fare la differenza in termini di qualità e comfort, sin dalla fase progettuale; in ogni area climatica bisognerà rispondere ad esigenze differenti e specifiche, e ancora più ogni edificio avrà un contesto locale particolare di cui si deve tenere conto. E' stata svolta preliminarmente una serie di simulazioni energetiche dell'edificio in regime dinamico in base alla norma ISO 52016 con l'utilizzo del software Termolog.

Rispetto alla classica valutazione in regime statico, il vantaggio principale del metodo dinamico è avvicinare il calcolo teorico alla realtà ed ottenere una previsione del comportamento del sistema edificio-impianto sempre più fedele al vero comportamento dell'edificio, tenendo in considerazione il reale andamento nel tempo delle condizioni climatiche proprie dell'area interessata dall'intervento e facilita quindi una corretta progettazione del sistema edificio/impianto.

Climatizzazione, energia rinnovabile e Surriscaldamento

Negli edifici tradizionali il consumo di energia è concentrato soprattutto nelle stagioni fredde ed è dovuto principalmente alle scarse caratteristiche di isolamento termico di involucro e serramenti. Negli edifici nZEB questo non avviene più, i collaudati sistemi di isolamento termico delle pareti e dei solai, così come dei serramenti, garantiscono una trasmissione del calore dall'interno verso l'esterno molto bassa e quindi dei fabbisogni per il riscaldamento molto limitati; questa caratteristica però ha un rovescio della medaglia nelle stagioni più calde (sempre più lunghe fra l'altro a queste latitudini) in quanto cresce il rischio di surriscaldamento degli ambienti interni dovuto principalmente agli apporti, in termini di energia termica, delle attività che avvengono negli

edifici, al surriscaldamento di pareti e copertura, al mancato controllo solare e alla impossibilità dovuta all'elevato isolamento termico, di raggiungere l'equilibrio termico con l'esterno durante la notte, in altre parole l'elevato isolamento non permette lo smaltimento del calore generato e accumulato all'interno.

Risulta pertanto di fondamentale importanza ottimizzare e progettare gli impianti e gli involucri degli edifici soprattutto per la fase estiva progettando:

- impianti di climatizzazione a bassa inerzia con sistemi radianti a soffitto e/o a parete che garantiscono comfort sia in inverno che in estate, un'elevata flessibilità e una pronta risposta ai repentini cambiamenti climatici. Questi sistemi, alimentati da una pompa di calore reversibile che sfrutta l'energia rinnovabile contenuta nell'atmosfera, saranno integrati con impianti ad aria per il rinnovo e il controllo dell'umidità interna. I tradizionali impianti radianti a pavimento ad alta inerzia non sono adatti a rispondere a queste esigenze di rapidità e flessibilità di utilizzo. Il sistema edificio/impianto così progettato trova il suo completamento ideale con il previsto impianto fotovoltaico che andrà ad abbattere ancora di più costi di esercizio ed emissioni in atmosfera soprattutto nelle stagioni calde, che come abbiamo visto sono quelle più critiche per questo tipo di edifici.
- Involucri edilizi ad alta inerzia termica come quelli proposti in questa offerta tecnica che garantiscano elevati tempi di sfasamento uniti alle classiche caratteristiche di isolamento termico. Alle latitudini in cui sorgerà la nuova scuola sono da evitare involucri ed isolanti leggeri i quali, a fronte di un ottimo comportamento in fase invernale, hanno comportamenti in fase estiva non adeguati e quindi si adattano meglio a climi più freddi.
- Coperture ad alta inerzia termica e del tipo "Cool Roof" cioè "tetti freschi", coperture caratterizzate da un'elevata capacità di riflettere la radiazione solare e di rimettere energia nel campo della radiazione infrarossa, cioè sotto forma di calore, consentendo ai tetti di restituire all'atmosfera, tramite irraggiamento termico, la maggior parte della radiazione solare incidente. Inoltre avendo previsto sul tetto anche il fotovoltaico, l'elevata riflettanza solare e la bassa temperatura superficiale ottenute con i Cool Roof consentono ai pannelli dell'impianto di incrementare la propria produzione di energia pulita e rappresentando un ulteriore vantaggio in termini energetici.
- Sistemi di controllo passivo dell'energia solare, che evitano o meglio controllano l'ingresso diretto dei raggi del sole all'interno degli ambienti.

Ventilazione naturale e meccanica

Molto importante nella progettazione di edifici moderni è lo sfruttamento della ventilazione naturale che, nelle stagioni miti, oltre a poter garantire il necessario rinnovo dell'aria interna, aiuta l'impianto di condizionamento e ventilazione meccanica controllata ad evitare il surriscaldamento interno.

L'edificio dovrà essere dotato, come detto, anche di un sistema di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore che garantisca il necessario rinnovo dell'aria e consenta un controllo elettronico dell'umidità interna. Grazie all'utilizzo di questo impianto sarà inoltre incrementata l'efficienza energetica dell'edificio grazie al recupero di calore, con indubbi vantaggi anche rispetto alla qualità dell'aria ed al comfort di utilizzo. In particolar modo la qualità dell'aria negli ambienti scolastici è molto importante, soprattutto se pensiamo ai risvolti pratici che inquinanti e allergeni possono avere sui bambini e sui ragazzi, più vulnerabili a causa di un sistema immunitario non ancora in grado di rispondere agli attacchi esterni. Molti studi dimostrano che in un ambiente chiuso dove la ventilazione è o scarsa o insufficiente e demandata esclusivamente alla saltuaria apertura delle finestre, il risultato immediato è che sempre più persone si ammalano ad esempio di eczemi (17%), rinite allergica o tosse (9%) asma (8%); per questo motivo si prevede di dotare l'impianto VMC con idonei filtri di ultima generazione in grado di arrestare l'ingresso di poveri sottili, pollini o batteri.

Messa in funzione, monitoraggio e possibilità di adattamenti

Ultimo, ma non meno importante, aspetto da tenere conto nella progettazione e nella realizzazione di edifici molto performanti e altamente tecnologici, è quello della messa in funzione del sistema edificio/impianto: Commissioning.

Il commissioning è l'insieme di procedure, responsabilità e metodi per far progredire un sistema, dalla fase di installazione al pieno funzionamento in conformità con l'intento progettuale; si tratta di un processo di verifica e di documentazione che attesta che l'edificio e tutti i relativi impianti e sottosistemi vengano pianificati, progettati, installati, collaudati, messi in funzione e gestiti in conformità agli obiettivi proposti in fase preliminare. Molto importante nella messa in funzione e poi soprattutto nella gestione del bene è il continuo monitoraggio dei parametri e dei consumi; per facilitare questa attività l'edificio dovrà essere dotato di un sistema che consentirà la contabilizzazione e il monitoraggio continuo dei consumi energetici dell'edificio e quindi consentirà ai gestori di valutare, ed eventualmente attuare nel tempo, accorgimenti e migliorie volte all'ulteriore ottimizzazione dei consumi stessi.

1.4.DIAGNOSI ENERGETICA

1.4.1. Parametri comuni

Nel considerare diverse configurazioni impiantistiche in grado di soddisfare i fabbisogni energetici dell'edificio in progetto, occorre verificare preliminarmente che tutte le soluzioni analizzate siano in grado di rispettare i requisiti minimi di legge attualmente in vigore.

In particolare, gli edifici pubblici di nuova costruzione, come già detto, devono attualmente ottenere prestazioni tali da poter essere classificati come "Edifici ad Energia Quasi Zero" o nZEB ("*Near Zero Energy Building*"), oltre ad ottemperare all'obbligo di integrazione di impianti alimentati da fonti rinnovabili, come da indicazioni del D.Lgs. n. 28 del 03.03.2011.

Si è scelto di valutare diverse opzioni per quanto riguarda il generatore principale a servizio dell'edificio, che garantirà i servizi di riscaldamento e raffrescamento.

Al fine di mettere a raffronto soluzioni paragonabili, nell'analisi che segue si è partiti da alcuni punti fermi comuni, di seguito descritti:

1. Le caratteristiche dell'involucro edilizio sono tali da permettere il rispetto dei requisiti previsti per gli indici di prestazione termica utile per riscaldamento e raffrescamento EPC,nd, EPH,nd. In particolare sono state utilizzate le seguenti caratteristiche:
 - Trasmittanza delle pareti esterne 0,13 W/m²K;
 - Trasmittanza della copertura 0,16 W/m²K;
 - Trasmittanza del pavimento 0,20 W/m²K;
 - Trasmittanza degli infissi 1,04 W/m²K (vetri) 1,20 W/m²K (telai);
 - Fattore solare delle vetrate 28%;
 - Sfasamento termico della struttura di copertura 16 ore;
2. L'impianto fotovoltaico viene dimensionato per garantire la copertura di almeno il 55% del fabbisogno energetico dell'edificio da fonte rinnovabile (valore minimo richiesto dal D.Lgs. 28/2011 per edifici pubblici), considerando i servizi di riscaldamento, raffrescamento, produzione acqua calda sanitaria, ventilazione ed illuminazione; ne deriva una potenza di picco stimata di 75 kWp, ottenibile con 225 pannelli della potenza cadauno di 330 Wp;
3. Per la produzione di acqua calda sanitaria, sono stati considerati degli scaldacqua a pompa di calore con accumulo integrato, da collocare in corrispondenza dei locali servizi igienici; a servizio degli spogliatoi della palestra viene invece posto un impianto solare termico in grado di riscaldare un accumulo acs di circa 1000 litri, con generatore a pompa di calore dedicato che interviene quando l'energia del solare non è disponibile;
4. I terminali di emissione in ambiente sono caratterizzati da basse temperature di alimentazione e sono costituiti da pannelli radianti a soffitto negli ambienti scolastici, pavimento radiante per la palestra.

1.4.2. Analisi Dinamica

La simulazione energetica dell'edificio è svolta in Regime Dinamico Orario in base alla norma ISO 52016, con l'utilizzo di un avanzato software di calcolo. Il vantaggio principale del metodo dinamico è avvicinare il calcolo teorico alla realtà, ottenendo una previsione del comportamento del sistema edificio-impianto sempre più fedele al vero comportamento dell'edificio, tenendo in considerazione il reale andamento nel tempo delle condizioni climatiche orarie proprie dell'area interessata dall'intervento.

Con il regime dinamico orario infatti la procedura di calcolo può considerare 8760 valori di temperatura esterna, un valore diverso per ciascuna ora dell'anno solare, valori inoltre caratteristici del sito di intervento. L'analisi oraria è l'unica in grado di tenere in conto la variabilità delle condizioni esterne, anche in relazione alla posizione del Sole e al relativo contributo di oggetti e sistemi oscuranti. Ne deriva una simulazione largamente più aderente alla realtà rispetto al calcolo energetico standard, che utilizza per le condizioni esterne solamente valori medi mensili.

1.4.3. Profili d'uso

Con l'analisi dinamica assume particolare importanza la definizione del profilo d'uso dell'edificio: si possono considerare infatti le temperature di set-point impostate per l'impianto termico a ciascuna ora del giorno e per ciascun giorno dell'anno.

Per l'analisi in esame si è assunto il profilo d'uso schematizzato nell'immagine seguente.

gennaio							febbraio							marzo							aprile							maggio							giugno						
L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D
			1	2	3		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4						1	2	1	2	3	4	5	6	
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27
25	26	27	28	29	30	31								29	30	31					26	27	28	29	30			24	25	26	27	28	29	30	28	29	30				
																												31													
luglio							agosto							settembre							ottobre							novembre							dicembre						
L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D
			1	2	3	4						1	1	2	3	4	5						1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5				
5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12
12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19	11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19
19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26	18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26
26	27	28	29	30	31	23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30				25	26	27	28	29	30	31	29	30						27	28	29	30	31			
							30	31																																	

Il periodo di attivazione dell'impianto di riscaldamento considerato va dal 1 novembre al 15 aprile, con temperatura di set-point impostata a 20°C dalle 7 alle 18, a 18°C nelle restanti ore.

E' stato poi considerato un periodo di raffrescamento esteso dal 16 maggio al 31 agosto (considerando un eventuale uso extrascolastico della struttura nei mesi estivi), con temperatura di set-point impostata a 26°C dalle 8 alle 18 e non controllata nelle restanti ore.

L'impianto è stato considerato non attivo né in riscaldamento, né in raffrescamento nei periodi restanti.

1.4.4. Scenari di progetto ipotizzati

Data la considerevole quota di energia da fonte rinnovabile necessaria per legge per gli edifici di nuova costruzione, sono da escludere scenari utilizzando fonti energetiche fossili per il generatore

principale della struttura. Dato inoltre l'obbligo di legge di disporre in sito di fonti di produzione di energia elettrica da rinnovabile, dal punto di vista ambientale, energetico ed economico risulta vantaggioso utilizzare generatori in grado di utilizzare questa fonte di energia.

Ne deriva che le macchine utilizzate per gli scenari da raffrontare debbano essere pompe di calore, in grado di fornire sia il servizio di riscaldamento che quello di raffrescamento.

A parità di involucro e dei sistemi energetici già descritti per la produzione di acqua calda sanitaria, si è pertanto scelto di confrontare le due soluzioni caratterizzate da:

- Una pompa di calore aria-acqua reversibile, in grado di utilizzare l'energia sottratta dallo scambio di calore con l'aria esterna;
- Una pompa di calore geotermica, che sfrutti invece lo scambio termico con il terreno per mezzo di sonde geotermiche opportunamente dimensionate.

1.4.5. Caratteristiche di rendimento dei generatori utilizzati

Di seguito si riportano i valori di efficienza delle macchine utilizzate in termini di COP (prestazione invernale) ed EER (prestazione estiva).

Pompa di calore aria-acqua

Efficienza COP		
T _{pf} [°C]	T _{pc} [°C]	
	35,0	45,0
-7,0	2,910	2,430
2,0	3,570	2,920
7,0	3,970	3,240
12,0	4,410	3,590

FC %	EER
100	3,450

Pompa di calore geotermica

Efficienza COP			
T _{pf} [°C]	T _{pc} [°C]		
	35,0	45,0	55,0
5,0	5,240	4,090	3,160
10,0	5,900	4,560	3,500
15,0	6,500	5,000	3,840

FC %	EER
100	4,500

1.5.PRINCIPALI RISULTATI DI CALCOLO

Di seguito si confronteranno i due scenari descritti, in termini di energia utilizzata, costi di esercizio e percentuali di sfruttamento della potenza dei generatori. Grazie all'analisi dinamica è possibile valutare le potenze effettivamente necessarie, in quanto nell'arco della giornata i diversi ambienti saranno sottoposti ad irraggiamenti solari differenti in base alla posizione del Sole.

1.5.1. Statistiche di potenza oraria e bilanci energetici

Il grafico seguente distingue, per i servizi di riscaldamento e raffrescamento, il numero di ore lavorate dalle macchine nelle varie fasce di potenza individuate, in base alla variabilità di richiesta termica dell'edificio ricavata dall'analisi dinamica. Vengono inoltre individuati, mese per mese, i giorni di massimo e di minimo impegno.

Alle pagine successive vengono riportati i bilanci di energia oraria per i due scenari valutati, che consentono al termine di stimare la spesa energetica per l'edificio.

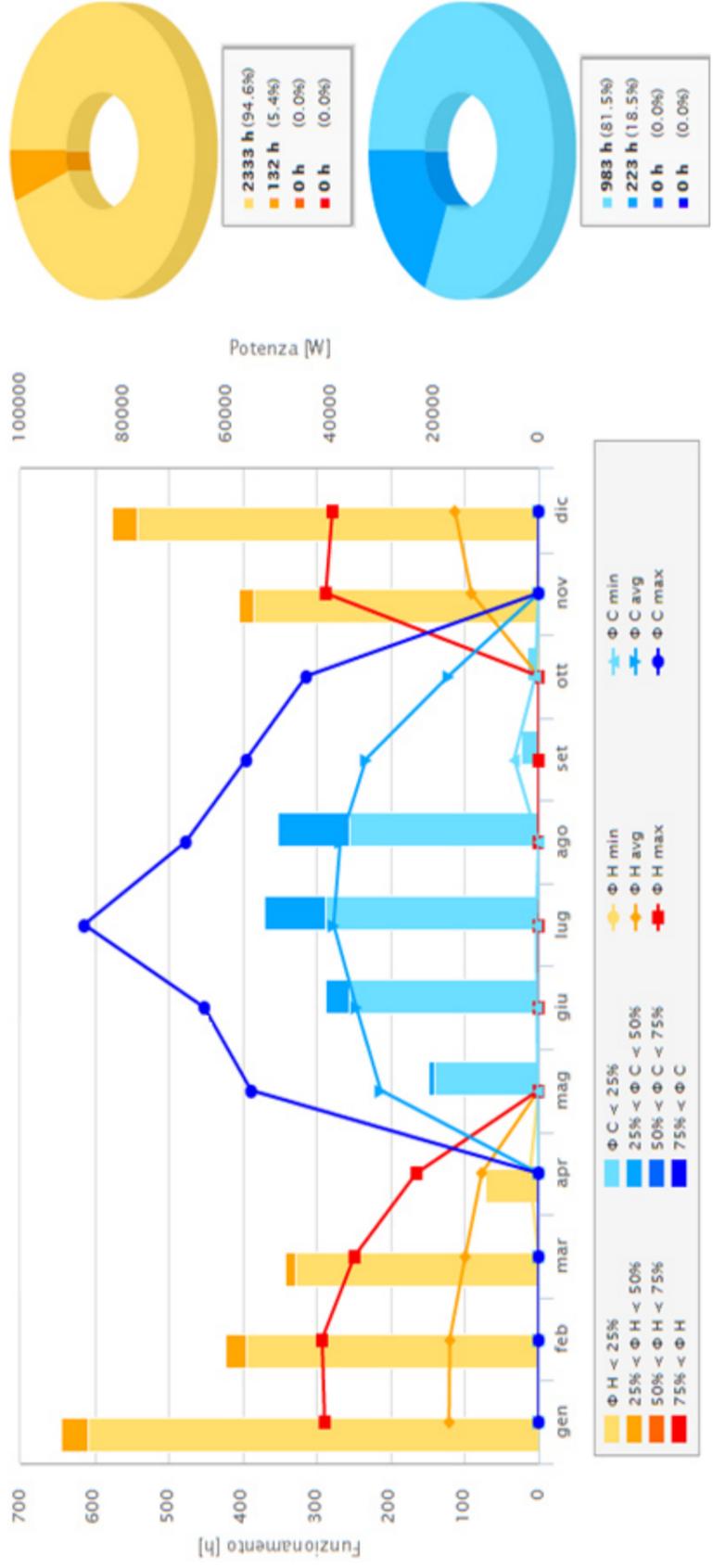
STATISTICHE DI POTENZA ORARIA

Riscaldamento

	max[W]	min[W]	avg[W]	g.max	g.min	<25%	25-50%	50-75%	>75%
gennaio	41.279,7	108,4	17.281,1	05/01 07:00	06/01 12:00	609,0	36,0	0,0	0,0
febbraio	41.779,8	54,3	17.124,3	14/02 07:00	27/02 22:00	395,0	28,0	0,0	0,0
marzo	35.518,2	23,5	14.138,8	06/03 07:00	18/03 02:00	329,0	14,0	0,0	0,0
aprile	23.590,4	1.693,6	10.971,1	03/04 07:00	10/04 08:00	73,0	0,0	0,0	0,0
maggio	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
giugno	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
luglio	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
agosto	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
settembre	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
ottobre	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
novembre	41.070,4	233,3	12.972,9	01/11 00:00	22/11 18:00	385,0	20,0	0,0	0,0
dicembre	39.777,3	25,9	16.141,1	31/12 07:00	02/12 19:00	542,0	34,0	0,0	0,0

Raffrescamento

gennaio	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
febbraio	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
marzo	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
aprile	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
maggio	55.462,3	127,2	30.450,5	27/05 15:00	28/05 19:00	142,0	7,0	0,0	0,0
giugno	64.500,3	348,5	35.155,7	16/06 08:00	30/06 19:00	257,0	32,0	0,0	0,0
luglio	87.689,3	459,4	39.555,5	24/07 08:00	05/07 09:00	288,0	84,0	0,0	0,0
agosto	68.073,5	13,3	38.273,4	22/08 15:00	30/08 18:00	256,0	97,0	0,0	0,0
settembre	56.382,2	4.722,4	33.280,7	12/09 15:00	26/09 17:00	24,0	3,0	0,0	0,0
ottobre	44.837,4	620,0	17.384,8	03/10 14:00	31/10 14:00	16,0	0,0	0,0	0,0
novembre	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
dicembre	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0



SCENARIO 1 – POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA - BILANCIO DI ENERGIA TOTALE DELL'EDIFICIO

DELIVERED FROM ON SITE / ENERGIA PRODOTTA IN SITO

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia termica da solare termico	H	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	W	kWh	52,64	271,78	372,61	404,18	448,17	430,69	540,92	527,74	444,61	404,88	230,39	177,35	4.305,95
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da fotov./minieolico	H	kWh	1.400,79	2.990,53	3.703,74	3.009,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.206,75	2.052,50	15.363,99
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	1.276,61	3.154,57	5.135,28	4.673,67	257,47	71,04	0,00	0,00	14.568,64
	L	kWh	817,34	1.857,58	3.072,12	3.662,09	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.787,25	3.662,09	3.787,25	1.761,36	1.301,32	34.945,01

DELIVERED FROM NEARBY OR DISTANT / ENERGIA CONSEGNATA DALL'ESTERNO

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da rete	H	kWh	5.089,90	2.509,48	862,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.381,36	3.920,90	14.763,82
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	kWh	2.969,91	1.558,77	715,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.900,73	2.485,93

EXPORTED / ENERGIA ESPORTATA

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da rete	H	kWh	0,00	0,00	0,00	595,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	595,80
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	1.059,40	1.009,30	1.178,81	816,91	258,60	49,83	0,00	0,00	4.372,86
	L	kWh	0,00	0,00	0,00	724,95	3.142,85	1.171,68	869,37	661,97	3.678,20	2.656,67	0,00	0,00	12.905,70

ENERGIA PRIMARIA

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Ep rinnovabile	H	kWh	3.793,04	4.169,99	4.108,95	3.009,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.325,99	3.895,33	22.302,98
	W	kWh	52,64	271,78	372,61	404,18	448,17	430,69	540,92	527,74	444,61	404,88	230,39	177,35	4.305,95
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	1.276,61	3.154,57	5.135,28	4.673,67	257,47	71,04	0,00	0,00	14.568,64
	L	kWh	2.213,20	2.590,20	3.408,23	3.662,09	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.787,25	3.662,09	3.787,25	2.654,71	2.469,71	39.471,34

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Ep non rinnovabile	H	kWh	9.925,31	4.893,49	1.681,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4.643,65	7.645,76	28.789,44
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	kWh	5.791,32	3.039,61	1.394,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.706,43	4.847,56

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Ep totale	H	kWh	#####	9.063,48	5.790,18	3.009,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7.969,65	#####	51.092,42
	W	kWh	52,64	271,78	372,61	404,18	448,17	430,69	540,92	527,74	444,61	404,88	230,39	177,35	4.305,95
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	1.276,61	3.154,57	5.135,28	4.673,67	257,47	71,04	0,00	0,00	14.568,64
	L	kWh	8.004,52	5.629,81	4.802,74	3.662,09	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.787,25	3.662,09	3.787,25	6.361,13	7.317,27	58.250,76

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
QR	H	%	27,65	46,01	70,96	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,73	33,75	43,65
	W	%	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	C	%	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
	L	%	27,65	46,01	70,96	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	41,73	33,75

CONSUMO TEORICO PER VETTORE ENERGETICO

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da rete	H	kWh	5.089,90	2.509,48	862,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.381,36	3.920,90	14.763,82
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	kWh	2.969,91	1.558,77	715,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.900,73	2.485,93

COSTO TEORICO PER VETTORE ENERGETICO

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da rete	H	€	1.017,98	501,90	172,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	476,27	784,18	2.952,76
	W	€	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	€	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	€	593,98	311,75	143,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	380,15	497,19

LEGENDA SERVIZI

- H Riscaldamento
- W Acqua calda sanitaria
- C Raffrescamento
- L Illuminazione

SCENARIO 2 – POMPA DI CALORE GEOTERMICA - BILANCIO DI ENERGIA TOTALE DELL'EDIFICIO

DELIVERED FROM ON SITE / ENERGIA PRODOTTA IN SITO

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia termica da solare termico	H	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	W	kWh	52,64	271,78	372,61	404,18	448,17	430,69	540,92	527,74	444,61	404,88	230,39	177,35	4.305,95
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia elettrica da fotovoltaico/minieolico	H	kWh	1.121,61	2.365,02	2.873,60	2.230,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.766,33	1.629,78	11.986,74
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	978,80	2.418,57	3.937,11	3.583,21	197,46	54,53	0,00	0,00	11.169,68
	L	kWh	1.096,52	2.483,10	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.787,25	3.662,09	3.787,25	2.201,78	1.724,05	37.427,99

DELIVERED FROM NEARBY OR DISTANT / ENERGIA CONSEGNATA DALL'ESTERNO

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da rete	H	kWh	2.752,28	888,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.171,50	1.950,38	6.763,05
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	kWh	2.690,73	933,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.460,31	2.063,20

EXPORTED / ENERGIA ESPORTATA

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da rete	H	kWh	0,00	0,00	49,62	794,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	844,51
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	924,18	1.160,22	1.654,67	1.249,10	204,48	38,65	0,00	0,00	5.231,30
	L	kWh	0,00	0,00	65,39	1.305,13	3.575,89	1.756,76	1.591,68	1.320,23	3.792,33	2.684,36	0,00	0,00	16.091,78

ENERGIA PRIMARIA

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Ep rinnovabile	H	kWh	2.415,18	2.782,79	2.873,60	2.230,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.316,94	2.546,45	15.165,37
	W	kWh	52,64	271,78	372,61	404,18	448,17	430,69	540,92	527,74	444,61	404,88	230,39	177,35	4.305,95
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	978,80	2.418,57	3.937,11	3.583,21	197,46	54,53	0,00	0,00	11.169,68
	L	kWh	2.361,16	2.921,73	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.787,25	3.662,09	3.787,25	2.888,13	2.693,75	40.787,31
Ep non rinnovabile	H	kWh	5.366,95	1.733,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.284,43	3.803,24	13.187,94
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	kWh	5.246,92	1.819,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.847,61	4.023,24
Ep totale	H	kWh	7.782,14	4.516,11	2.873,60	2.230,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4.601,37	6.349,70	28.353,32
	W	kWh	52,64	271,78	372,61	404,18	448,17	430,69	540,92	527,74	444,61	404,88	230,39	177,35	4.305,95
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	978,80	2.418,57	3.937,11	3.583,21	197,46	54,53	0,00	0,00	11.169,68
	L	kWh	7.608,09	4.741,58	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.662,09	3.787,25	3.787,25	3.662,09	3.787,25	5.735,74	6.717,00	54.724,94
QR	H	%	31,03	61,62	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,35	40,10	53,49
	W	%	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	C	%	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
	L	%	31,03	61,62	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	50,35	40,10	74,53

CONSUMO TEORICO PER VETTORE ENERGETICO

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da rete	H	kWh	2.752,28	888,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.171,50	1.950,38	6.763,05
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	kWh	2.690,73	933,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.460,31	2.063,20

COSTO TEORICO PER VETTORE ENERGETICO

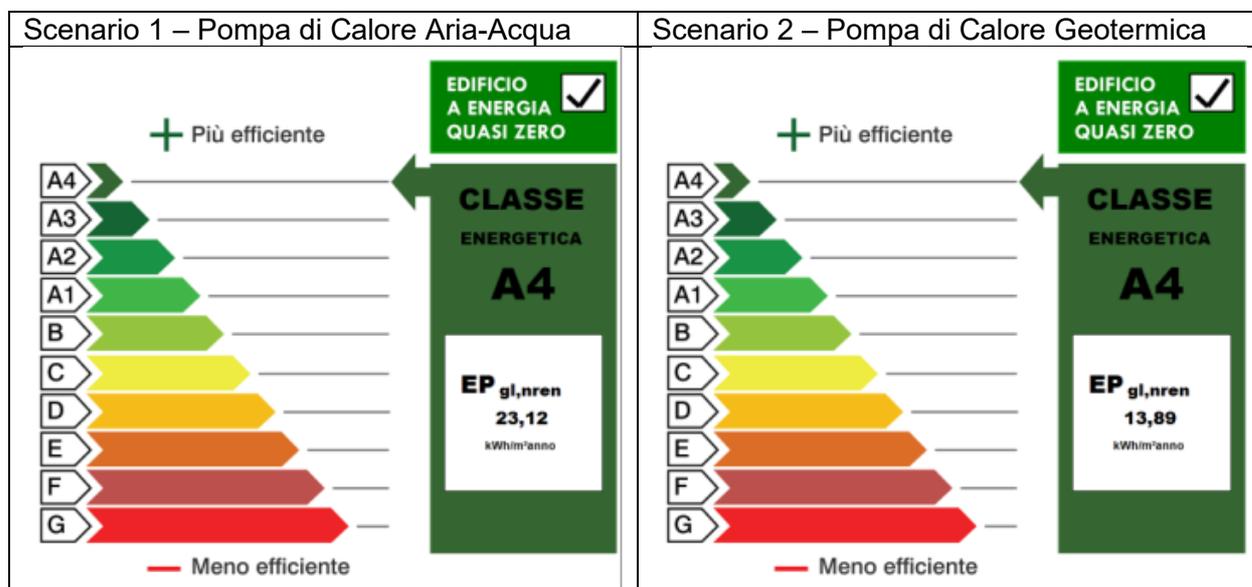
	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da rete	H	€	550,46	177,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	234,30	390,08	1.352,61
	W	€	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	€	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	€	538,15	186,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	292,06	412,64

LEGENDA SERVIZI

- H Riscaldamento
- W Acqua calda sanitaria
- C Raffrescamento
- L Illuminazione

1.5.2. Valutazione dei risultati ottenuti

I risultati evidenziano innanzitutto l'elevato grado di efficienza dei sistemi edificio-impianto modellati. In entrambe le configurazioni si ottiene una classificazione energetica (Calcolo Standard) in classe A4 nZEB, con i seguenti indici di prestazione.



Dai risultati emerge in prima analisi l'elevata capacità di copertura dei fabbisogni energetici da parte della produzione fotovoltaica: in entrambi gli scenari infatti i fabbisogni energetici sono completamente coperti da fonte rinnovabile da aprile ad ottobre, mesi in cui è massima la produzione solare. Nello scenario con geotermico, dove la richiesta di energia è minore grazie ai valori più alti del COP, viene azzerato il fabbisogno di energia dalla rete anche nel mese di marzo.

Inoltre, l'utilizzo della pompa di calore geotermica permette di ridurre notevolmente la spesa annua per l'energia elettrica; dal confronto tra i due scenari emerge che la spesa complessiva annua (quota energia) per i servizi energetici considerati è pari a

Scenario 1 → 4879 €/anno
 Scenario 2 → 2782 €/anno

Pertanto lo scenario 2 consente una riduzione della spesa energetica annua di circa 2100 €. A fronte di una spesa energetica ridotta di oltre il 40%, il generatore geotermico è caratterizzato certamente da un costo di installazione decisamente maggiore, dovuto essenzialmente al costo delle sonde geotermiche, in quanto i due generatori non presentano altre differenze significative. Per definire quindi la scelta migliore occorre effettuare una valutazione costi-benefici.

1.1.1. Stima della differenza costi di installazione tra i generatori

A valle dei generatori di calore le due ipotesi confrontate presentano la stessa configurazione impiantistica. Pertanto dal punto di vista economico l'unica differenza è costituita dai generatori stessi, in particolare come detto dalla sonda geotermica. Per dimensionare correttamente la sonda geotermica è necessario conoscere la stratigrafia del terreno attraversato, in quanto terreni con caratteristiche diverse sono in grado di fornire differenti potenze alla sonda. La resa per metro lineare di sonda geotermica verticale può variare, in funzione delle caratteristiche dei terreni, come indicato nella tabella seguente.

<i>Rese termiche specifiche per sonde geotermiche</i>			
<i>Tipo sottosuolo</i>	<i>Conducibilità termica (W/mK)</i>	<i>Potenza estraibile (W/m)</i>	
		<i>1800 ore</i>	<i>2400 ore</i>
Valori guida generali:			
<i>Sottosuolo povero (sedimento secco)</i>	<i><1,5</i>	<i>25</i>	<i>20</i>
<i>Rocce e terreni sciolti saturi d'acqua</i>	<i>1,5-3,0</i>	<i>60</i>	<i>50</i>
<i>Rocce ad alta conducibilità termica</i>	<i>> 3,0</i>	<i>84</i>	<i>70</i>
Tipologia roccia/terreno:			
<i>Ghiaia, sabbia, asciutta</i>	<i>0,4</i>	<i>< 25</i>	<i>< 20</i>
<i>Ghiaia, sabbia, saturi d'acqua</i>	<i>1,8-2,4</i>	<i>65-80</i>	<i>55-65</i>
<i>Argilla, terriccio, umido</i>	<i>1,7</i>	<i>35-50</i>	<i>30-40</i>
<i>Calcere (massiccio)</i>	<i>2,8</i>	<i>55-70</i>	<i>45-60</i>
<i>Arenaria</i>	<i>2,3</i>	<i>65-80</i>	<i>55-65</i>
<i>Magmatite silicea (ad esempio, granito)</i>	<i>3,4</i>	<i>65-85</i>	<i>55-70</i>
<i>Magmatite basica (ad esempio, basalto)</i>	<i>1,7</i>	<i>40-65</i>	<i>35-55</i>
<i>Gneiss</i>	<i>2,9</i>	<i>70-85</i>	<i>60-70</i>
- estrazione del solo calore - la lunghezza della singola sonda deve essere compresa tra 40 e 100 m - la distanza più piccola tra due sonde geotermiche deve essere: - almeno 5 m per le lunghezze foro scambiatore di calore da 40 a 50 m - almeno 6 m per le lunghezze foro scambiatore di calore > 50 m a 100 m - sonde geotermiche con tubi a doppio U con DN 20, 25 o DN 32 o sonde coassiali con un diametro minimo di 60 mm - non applicabile per un'alta concentrazione di sonde su una zona limitata			

In assenza di ulteriori informazioni si può considerare un valore cautelativo di 50 W/m.

La potenza che deve essere resa dalla sonda geotermica è valutabile con la seguente espressione

$$P_{\text{sonda}} = P_{\text{resa}} \times (\text{COP}-1)/\text{COP}$$

Nel caso in esame, la potenza necessaria per l'edificio è stimata, con l'attuale livello di approfondimento della progettazione, pari a circa 150 kW. Considerando un COP medio per il geotermico pari a 5, si ottiene una potenza della sonda pari a

$$P_{\text{sonda}} = 120 \text{ kW}$$

Con la potenza di estrazione suddetta, si può valutare la lunghezza di sonde necessaria:

$$L_{\text{sonda}} = 120.000 / 50 = 2400 \text{ m}$$

Tale lunghezza può essere raggiunta con n. 24 sonde di profondità cadauna di 100 m.

Il costo di realizzazione delle sonde, anche questo variabile con la tipologia di terreno, può essere stimato in media pari a 35 €/m, comprendente:

- trasferta personale (vitto e alloggio);
- perforazione comprendente nolo perforatrice allestita con doppia testa di trivellazione per lavorazione con aste e rivestimenti come da normative vigenti nelle perforazioni di sonde

geotermiche, corredo e attrezzature di lavorazione, per esecuzione d'opera a regola d'arte d'arte con trivellazione a distruzione di nucleo;

- fornitura prodotti per la perforazione;
- n° 2 operatori specializzati regolarmente iscritti con relativo patentino del perforatore.
- posa in opera sonde geotermiche;
- cementazione a regola d'arte con fornitura di premiscelato idoneo ad elevato scambio termico con relativa certificazione della casa produttrice;
- prova a pressione sonde;
- stratigrafia e certificato di collaudo tenuta a pressione e flusso.

Ne deriva un costo complessivo del campo sonde di circa 84.000 €.

Questo costo, come detto, rappresenta con buona approssimazione anche la differenza economica tra i due scenari ipotizzati.

Con il risparmio supplementare consentito dal geotermico rispetto alla pompa di calore aria-acqua, risultano necessari circa 40 anni per recuperare il costo aggiuntivo di installazione delle sonde.

Occorre inoltre considerare che, per evitare di interferenze termiche, è opportuno considerare una distanza minima tra ciascuna sonda di circa 8 m. Ne consegue che per collocare le 24 sonde previste è necessaria una superficie di circa 1500 m².

Ulteriori valutazioni potranno essere effettuate nelle successive fasi di progettazione, quando si potranno stimare con maggiore precisione le potenze necessarie per soddisfare il fabbisogno termico dell'edificio.

QUADRO ECONOMICO ADEGUAMENTO ENERGETICO

A	LAVORI	Parziali	Totali
	Lavori a base di gara		€ 1.140.000,00
	Oneri di sicurezza inclusi non soggetti a ribasso		€ 80.000,00
a.1	Lavori a misura		
		Totale LAVORI	€ 1.220.000,00
B	SOMME A DISPOSIZIONE		
b.1	Iva 10% su lavori		€ 122.000,00
b.2	Spese tecniche progettazione, direzione lavori, sicurezza, geologo ecc..		€ 70.000,00
b.3	Iva e cassa su spese tecniche		€ 16.016,00
b.3	Fondo incentivazione di cui art. 113 comma 2 D.Lgs.50/2016 e s.m.i – 1.12%		13.664,00
b.4	Fondo innovazione di cui art. 113 comma 4 D.Lgs.50/2016 e s.m.i - 0.4%		4.880,00
b.4	Opere su fattura iva compresa		€ 53.440,00
		Totale C	€ 280.000,00
		Totale A+C	€ 1.500.000,00