

Interreg



UNIONE EUROPEA
EVROPSKA UNIJA

ITALIA-SLOVENIJA



SECAP

Progetto strategico co-finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale
Strateški projekt sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj

ENERGY AUDIT

WP 3.3 - Strategia di mitigazione

ATTIVITÀ 15 - Studio di fattibilità - Energy Audit

Scadenza per la sottomissione:

Stato del documento: finale

Versione: 1.0

Data dell'ultima versione: 10.02.2022

Partner responsabile del risultato: Università di Trieste

Autori: Amedeo Pezzi, Marco Manzan

Livello di disseminazione: PU - pubblico

Descrizione dei risultati: Audit Energetico del museo Revoltella a Trieste

Il contenuto del documento riflette solo il punto di vista degli autori quindi, l'Autorità di gestione del Programma Interreg V-A Italy-Slovenia 2014-2020 non è da ritenersi responsabile per l'uso delle informazioni contenute in esso.

Revisioni del documento

Versione	Data	Autori	Organizzazione	Commenti
1.0	31.01.2022	Manzan Marco	UNITS	Redazione del sommario
1.1	02.02.2021	Manzan Marco	UNITS	Descrizione Edificio
1.2	10.02.2021	Manzan Marco, Amedeo Pezzi	UNITS	Inserimento Immagini
1.3	14.02.2021	Manzan Marco, Amedeo Pezzi	UNITS	Descrizione Modello
1.4	15.02.2021	Nardini Andrea, Giovanni Bacaro, Fontolan Giorgio	UNITS	Revisione documento
1.5	16.02.2021	Manzan Marco, Amedeo Pezzi	UNITS	Redazione Finale

Informazioni sui contatti

Nome	Organizzazione	Informazioni sui contatti
Marco Manzan	Università di Trieste	manzan@units.it
Amedeo Pezzi		amedeopezzi@hotmail.com

Sommario

1. 4

2. 4

2.1. 6

2.2. 7

2.3. 9

3. 11

3.1. 12

3.2. 15

3.3. 16

4. 17

5. 18

Conclusioni 20

Bibliography 21

Lista delle Figure 21

Lista delle tabelle 22

1. Sintesi

Nell'ambito del progetto SECAP si è proceduto alla realizzazione dell'Audit energetico di un edificio nel comune di Trieste. Lo scopo è quello di avere una conoscenza più dettagliata del consumo energetico di un edificio e dell'impatto del clima sullo stesso. Una volta individuato l'edificio oggetto dell'analisi si è proceduto alla raccolta dei dati disponibili, alla visita dell'edificio, e all'implementazione dei dati in un modello termoenergetico. Nel corso del progetto SECAP il gruppo di lavoro dell'Università di Trieste aveva già elaborato dati climatici utili al calcolo dei consumi energetici; tali dati sono risultati importanti ai fini della realizzazione del presente lavoro. Alla luce della natura del progetto SECAP si è ritenuto importante analizzare anche gli effetti del clima sui consumi energetici dell'edificio; a tal fine sono stati generati dati climatici proiettati nel futuro utilizzando metodi di morphing. Le tecniche erano già state sviluppate dall'unità di ricerca in seno al progetto e si basano su dati ottenuti da proiezioni GCM-RCM pubblicate da ARPA FVG.

Per effettuare la diagnosi energetica è stata applicata la norma UNI CEI EN 16247-2 [1] seguendone la procedura indicata. Tuttavia le procedure adottate hanno fatto uso di metodi di simulazione energetica dinamica su base oraria, utile per la stima dei consumi energetici in regime estivo. L'approccio ha anche consentito di evidenziare gli effetti del cambiamento climatico.

2. Edificio oggetto della Diagnosi

L'edificio è stato selezionato congiuntamente con il Comune di Trieste a seguito di una richiesta di caratteristiche precedentemente inviata. Di seguito è riportata la lista di caratteristiche proposte all'Amministrazione Comunale al fine di selezionare un edificio per la diagnosi energetica:

1. Dati dettagliati di consumo attuali: in una prima fase si procederebbe alla modellazione dell'edificio nel suo stato attuale, ed uno storico dei consumi consentirebbe di effettuare una calibrazione del modello prima di procedere all'introduzione di miglioramenti energetici;
2. Dati stratigrafici delle strutture, planimetrie, dati degli impianti esistenti;
3. Dati di occupazione, numero di persone, orari di utilizzo;
4. Utilizzo invernale ed estivo;

5. Impianto di riscaldamento e condizionamento. Nel caso mancasse l'impianto di raffrescamento/condizionamento l'analisi potrebbe essere comunque svolta considerando:
 - a. Le condizioni interne in un periodo futuro (temperatura, umidità)
 - b. I possibili consumi nel caso si introducesse un impianto di raffrescamento
6. Attrezzature interne, luci, macchinari per la determinazione del carico interno;
7. Assenza di vincoli per poter procedere agli interventi di riqualificazione:
 - a. Con vincoli gli interventi sarebbero giocoforza limitati
 - b. Tuttavia anche un'analisi del comportamento e delle condizioni interne con scenari futuri potrebbe rappresentare un argomento di interesse
8. Potrebbe essere interessante considerare edifici su cui il Comune comunque pensa di intervenire nel futuro.

A seguito di ulteriori riunioni si è optato per l'edificio sede del museo Revoltella. Va comunque evidenziato che tale edificio non soddisfa le condizioni del punto 7. Infatti molte parti sono soggette a vincoli che impediscono una radicale modifica dell'involucro. Tuttavia è possibile pensare a modifiche a livello impiantistico, soprattutto nella parte dedicata all'esposizione, in quanto anche in questo caso risulterebbe complicato un approccio alla parte museale.

L'edificio è situato sulle rive in prossimità del mare ed è stato realizzato nel 1858. All'interno si possono individuare diverse zone con destinazione d'uso differente. In maniera semplificata si possono identificare tre aree: il museo o parte padronale, la galleria d'arte, gli uffici.

Il museo, su tre piani collegati da una scala elicoidale, è composto dal piano terra, dall'appartamento del barone Revoltella al primo piano e dalla sala di rappresentanza al secondo piano. Gli impianti per la climatizzazione sono ventilconvettori per riscaldamento e raffrescamento.

La galleria d'arte è dedicata agli spazi espositivi, sono presenti sale su diversi piani, tutti collegati da passaggi che impediscono una separazione chiara tra livelli, per questa zona il sistema di riscaldamento/raffrescamento è di tipo ad aria con supporto di ventilconvettori.

La parte dedicata ad uffici è climatizzata con impianti di riscaldamento a radiatori e ventilconvettori, il condizionamento viene effettuato con sistemi ad espansione diretta.

Il museo Revoltella, Figura 1, è situato vicino alle rive in posizione prossima alla centralina meteorologica del Molo Bandiera per cui con ragionevole sicurezza per l'analisi energetica potranno essere utilizzati i dati meteorologici raccolti da ARPA FVG.

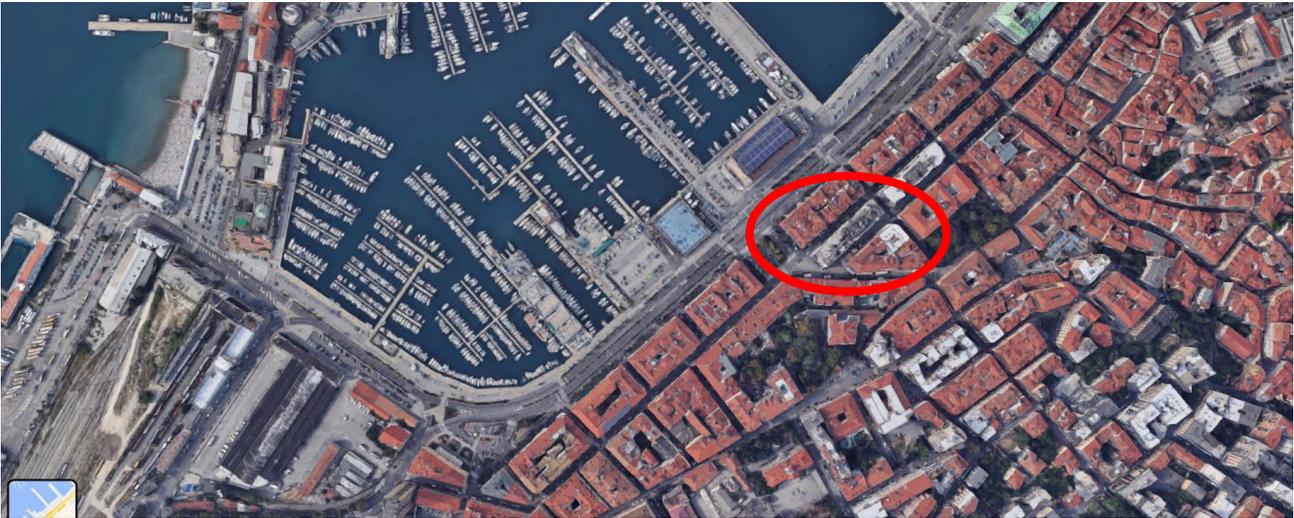


Figura 1: Posizionamento del Museo Revoltella.

2.1. Materiali forniti

Gli uffici del Comune di Trieste hanno fornito diverso materiale per procedere all'analisi energetica:

- Piante dell'edificio e degli impianti;
- Diagnosi Energetica svolta da SIRAM nel 2020;
- Diagnosi energetica uffici realizzato da ENGIE nel 2019;
- APE Museo Revoltella;
- APE Museo Revoltella uffici;
- Consumi elettrici mensili negli anni dal 2017 al 2020;
- Consumo di gas per gli anni 2010-2012 e 2019 2020.

Le Diagnosi Energetiche realizzate dalle ditte ENGIE e SIRAM sono state condotte con metodo semistazionario, adatto all'utenza, considerando solamente i consumi invernali ed i consumi elettrici per illuminazione e movimentazione di persone.

Le piante dell'edificio e degli impianti, fornite in formato pdf, sono relative a progetti degli anni 90. La Figura 2 riporta un esempio delle tavole fornite con la geometria delle strutture e disposizione degli impianti. Per utilizzare i dati forniti è stato necessario trasformare le mappe in formato CAD necessarie per la successiva modellazione numerica.

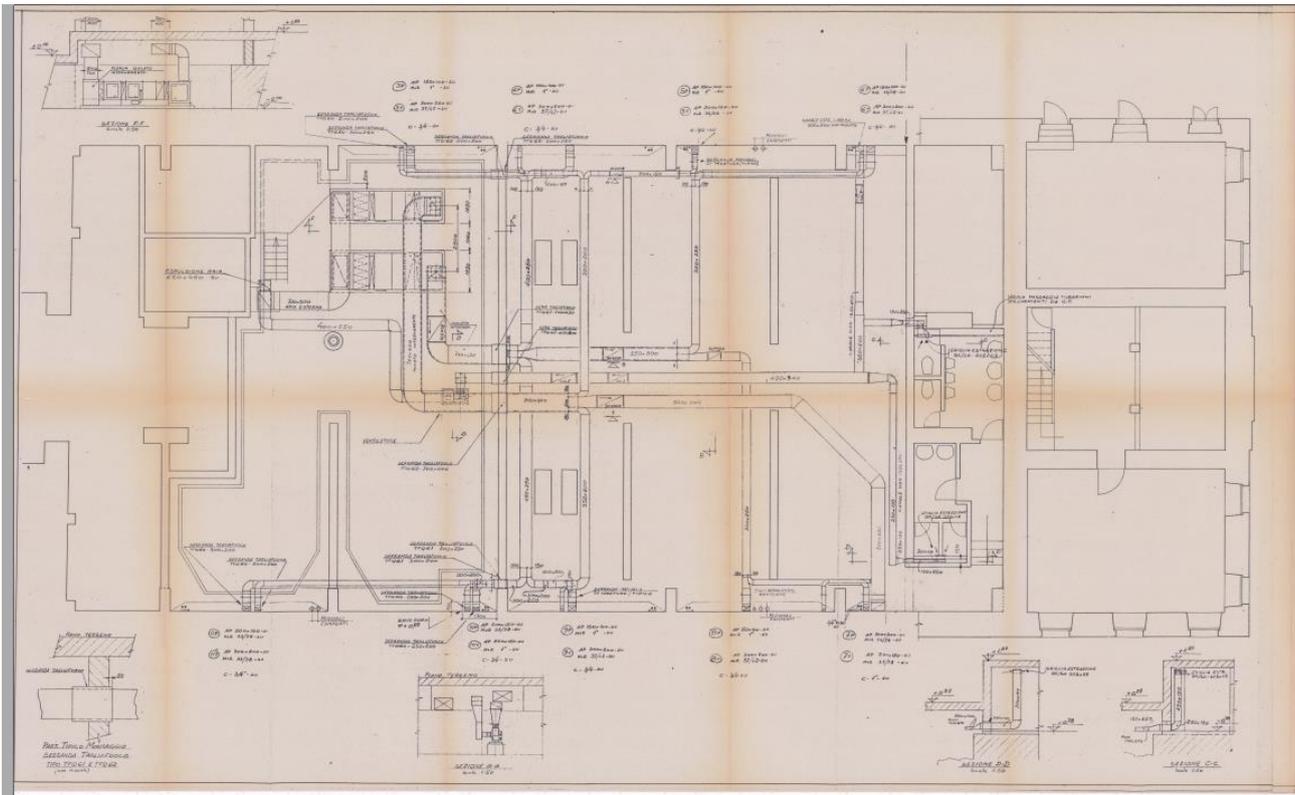


Figura 2: esempio di pianta di edificio e layout dell'impianto.

2.2. Sopralluogo

Il giorno 6 luglio 2021 si è svolto il sopralluogo presso il museo Revoltella accompagnati da un tecnico del comune di Trieste. Durante la visita si è potuto raccogliere le informazioni necessarie per lo svolgimento della diagnosi energetica potendo osservare sia la costruzione dell'involucro sia la disposizione degli impianti tecnici. Questi ultimi sono installati in una centrale da cui si dipartono le linee di distribuzione. Nella centrale è installato un refrigeratore d'acqua, l'unità di trattamento aria (UTA), le pompe e le condotte di distribuzione dell'aria.

Il refrigeratore è un AERMEC NLW 1000 L funzionante con fluido R407 C con una potenzialità di 340 kW in riscaldamento e 307 kW in raffreddamento, viene utilizzato per generare acqua refrigerata a 7 °C. Il calore necessario al riscaldamento è fornito da sei caldaie a condensazione GEMINOX THRI 10/50 da 50 kW, una caldaia dello stesso tipo è a servizio della zona uffici. In Figura 4 si possono vedere le sei caldaie per la produzione di acqua calda, in Figura 4 il refrigeratore a servizio dei ventilconvettori e dell'Unità di Trattamento Aria. Il refrigeratore è raffreddato ad acqua ed è collegato ad una torre evaporativa posizionata sul tetto e raffigurata in Figura 4 a).



Figura 3 caldaie per la produzione dell'acqua calda.

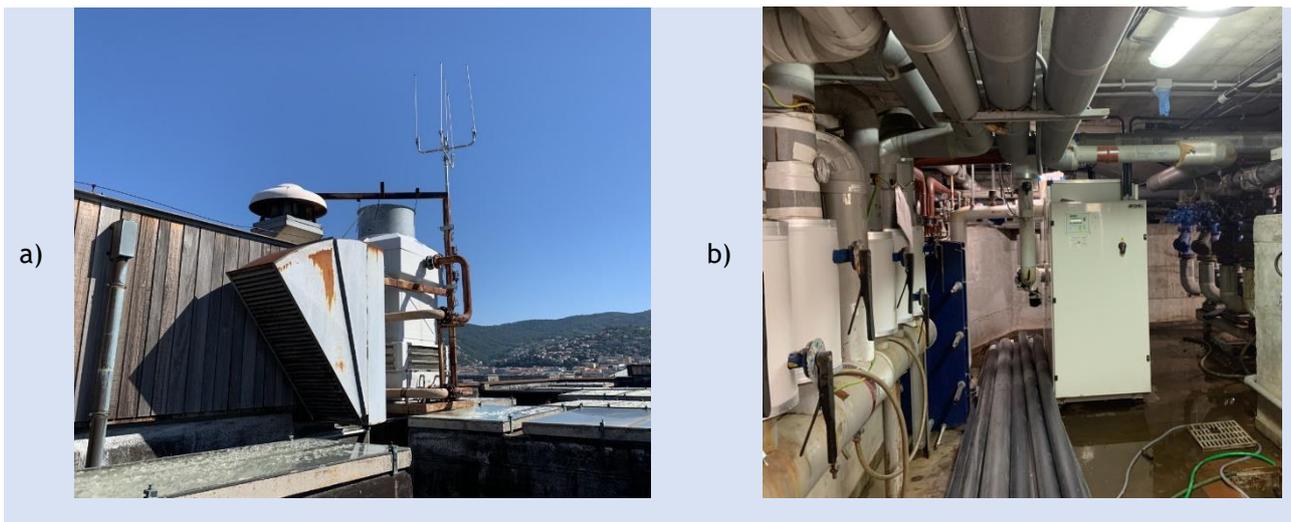


Figura 4: centrale termica, a) torre evaporativa b) refrigeratore d'acqua.

Durante il periodo estivo, il refrigeratore fornisce direttamente l'acqua refrigerata ai ventilconvettori della zona museale e nelle sale di esposizione per soddisfare il carico sensibile e ad una batteria fredda nella UTA per raffreddare l'aria primaria da introdurre nelle sale di esposizione. Durante il periodo invernale le caldaie forniscono acqua calda per alimentare i mobiletti della parte museale e della parte espositiva e la batteria calda nella UTA per riscaldare l'aria primaria da immettere nelle sale espositive. Non è previsto un controllo dell'umidità degli ambienti.

Nelle sale espositive l'aria primaria viene immessa da bocchette poste dopo un plenum, mentre l'aria viene ripresa da griglie di aspirazione. Nella Figura 5 è visibile un particolare delle bocchette di mandate e delle griglie di ripresa.



Figura 5: Particolare delle bocchette di immissione e delle griglie di estrazione nell'area espositiva.

2.3. Dati climatici

I dati climatici utilizzati sono stati raccolti dalla stazione ARPA del Molo Bandiera, i dati ottenuti sono stati trattati opportunamente al fine di eliminare eventuali lacune. I dati meteorologici utilizzati sono orari e sono relativi a:

- Temperatura;
- Umidità relativa;
- Irraggiamento globale;
- Velocità del vento;
- Direzione del vento;
- Pressione.

Dai dati di irraggiamento globale attraverso opportune tecniche di separazione si è ottenuto:

- Irraggiamento diretto normale;
- Irraggiamento diffuso sul pianto orizzontale.

I dati raccolti negli anni 1995-2019 sono stati utilizzati per ottenere anni tipo orari o Test Reference Year (TRY) per la località. Val la pena notare come l'anno tipo utilizzato differisce da quello utilizzato dalle precedenti diagnosi energetiche ricevute.

Oltre ad un'analisi con dati meteorologici attuali sono state utilizzate serie relative a singoli anni per la validazione del modello utilizzando i dati ottenuti dalle bollette energetiche.

La Figura 6 presenta l'andamento della temperatura e della radiazione globale sul piano orizzontale. L'andamento delle stagioni è perfettamente rilevabile.

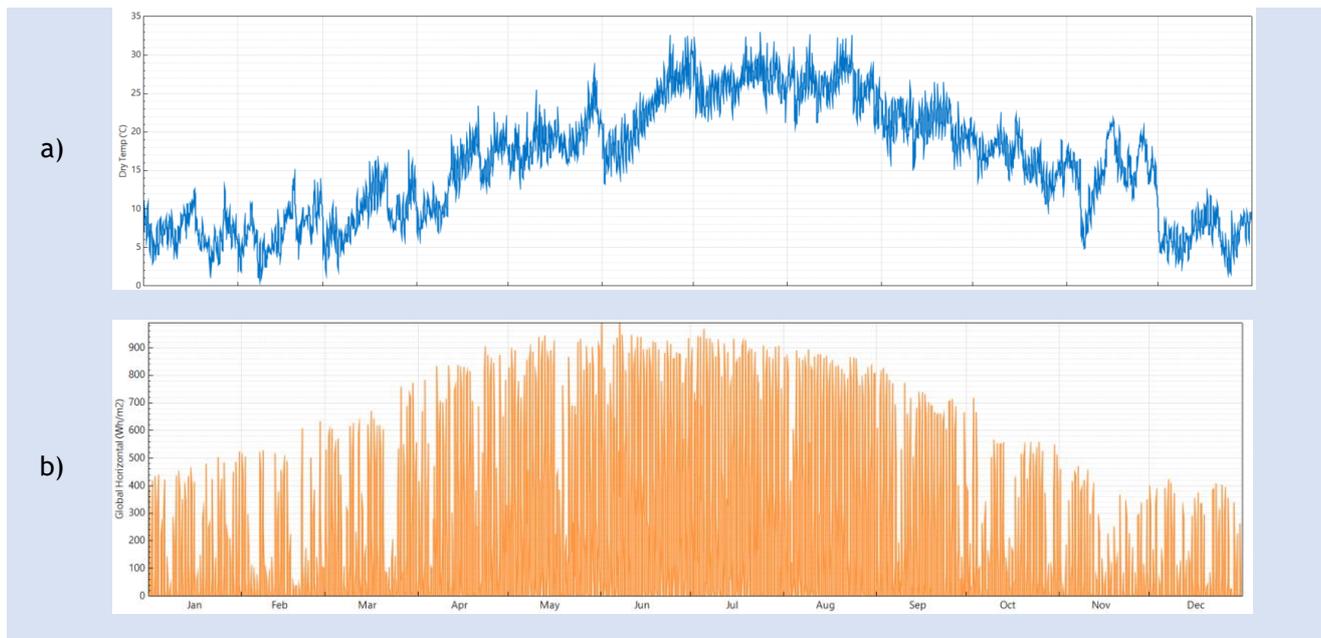


Figura 6: dati climatici orari a) temperatura b) irraggiamento globale su pianto orizzontale.

Accanto ai dati storici sono state utilizzate le proiezioni pubblicate da ARPA FVG sul comportamento del clima fino all'anno 2100. A tal scopo sono state utilizzate tecniche di morphing per proiettare i dati climatici nel futuro. Al fine del presente lavoro sono stati utilizzati dati futuri per due periodi, uno relativo al breve termine dal 2021 al 2035 ed uno relativo al medio termine relativo al periodo dal 2036 al 2050.

La Tabella 1 riporta i dati sintetici dei file climatici in termini di gradi giorno di riscaldamento HDD (Heating Degree Days) e di gradi giorno di raffreddamento CDD (Cooling Degree Days) si può notare un previsto aumento della temperatura, soprattutto per il periodo 2036-2050 con un abbassamento di gradi giorno per il riscaldamento ed un aumento per il raffreddamento. I dati riportati sono relativi ad uno scenario RCP 8.5 cioè relativo alla situazione che si verrebbe a creare senza interventi di mitigazione. La Figura 7 presenta sempre l'andamento della temperatura e della radiazione globale su piano orizzontale per il modello HadGEM2-ES_RACMO22E caratterizzato dall'incremento maggiore di temperatura. Per rappresentare in maniera immediata l'effetto del cambiamento climatico la temperatura dell'aria per tre anni tipo relativi alla situazione attuale, ad una situazione futura prossima ed una più estesa fino al 2050 è riportata in 8 utilizzando le heat-map. In ascissa viene presentato il giorno dell'anno, mentre in ordinata sono presenti le

ventiquattro ore giornaliere. Si può notare l'aumento della temperatura soprattutto al di fuori delle giornate più calde con un previsto allungamento della stagione di raffrescamento.

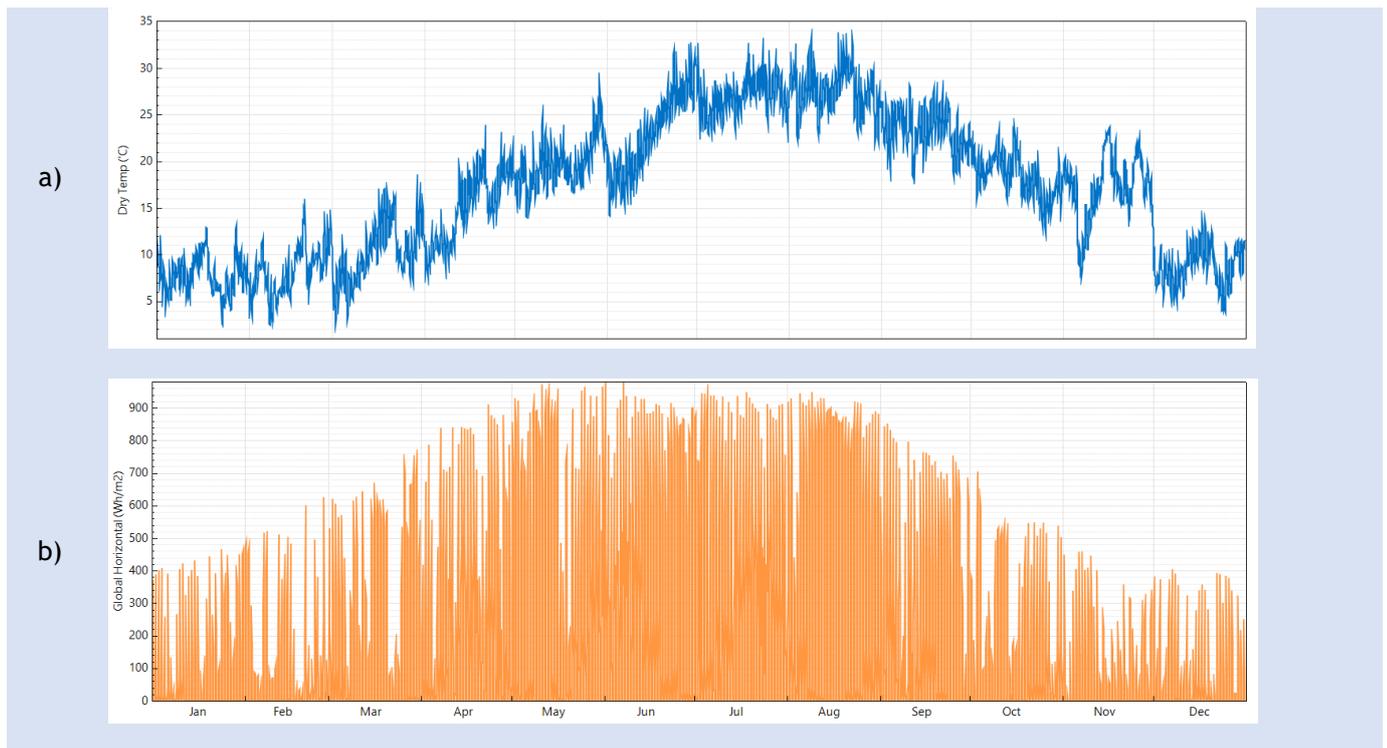


Figura 7: dati climatici nel periodo 2036-2050 relativo al modello HadGEM2-ES_RACMO22E.

3. Modello dell'edificio

L'edificio oggetto della presente analisi è riscaldato e raffrescato da una molteplicità di sistemi, si è effettuata la diagnosi energetica utilizzando la simulazione dinamica di edificio. Rispetto al metodo semistazionario implementato in diversi codici di calcolo conformi alla normativa tale approccio, seppur oneroso dal punto di vista computazionale, si è ritenuto portasse a diversi vantaggi quali un'accurata descrizione del comportamento dell'edificio e dell'impianto ad esso asservito. Ha reso inoltre possibile una descrizione numerica accurata della dinamica dell'edificio e dell'interazione con l'impianto, rappresentata solo in maniera semplificata dai metodi semistazionari. Infine ha permesso un accurato calcolo degli apporti solari tenendo conto anche degli effetti di ombreggiamento dovuti agli edifici circostanti. Si vuol far anche presente che l'attività intrapresa ricade nella tipologia di analisi A3 Adattata all'utenza o Tailored Rating, come riportato nella norma UNI-TS 11300-1 [2]. Riguardo la metodologia di calcolo si fa notare come

anche la normativa a livello internazionale si stia spostando sempre più verso un approccio di calcolo dinamico, seppur semplificato, pubblicato nella norma ISO EN UNI 52016 [3].

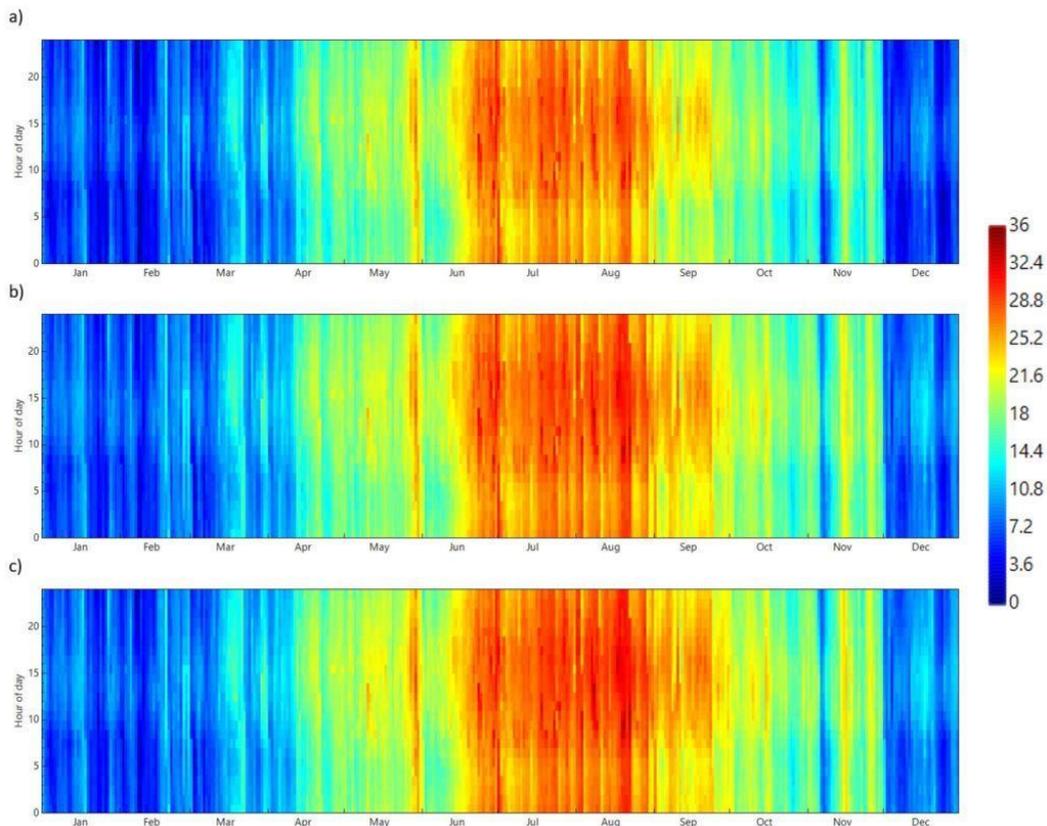


Figura 8 : confronto delle temperature tra anni tipo: a) anno tipo con storico 1995-2019 b) anno proiettato 2021-2035 c) anno proiettato 2036-2050.

3.1. Involucro edilizio

Partendo dalle scansioni dei disegni relativi all'edificio è stato possibile introdurre la geometria utilizzando il software DesignBuilder, interfaccia grafica al motore di calcolo EnergyPlus, software molto utilizzato per il calcolo degli edifici e degli impianti. La Figura 9 a) mostra l'edificio all'interno del suo contesto urbano, mentre La Figura 9 b) mostra il modello realizzato, dove si può apprezzare la presenza degli edifici circostanti inseriti come elementi di ostruzione solare per una più accurata analisi.

Per ridurre l'onerosità del calcolo il modello realizzato è stato semplificato rimuovendo alcune partizioni interne, ma tenendo separate le diverse parti dell'edificio in modo tale da poter modellare in maniera opportuna la parte impiantistica. La Figura 10 presenta uno spaccato dell'edificio dove si può notare la suddivisione dei piani. Le partizioni sono state comunque inserite come massa interna per garantire l'inerzia termica dell'edificio. La

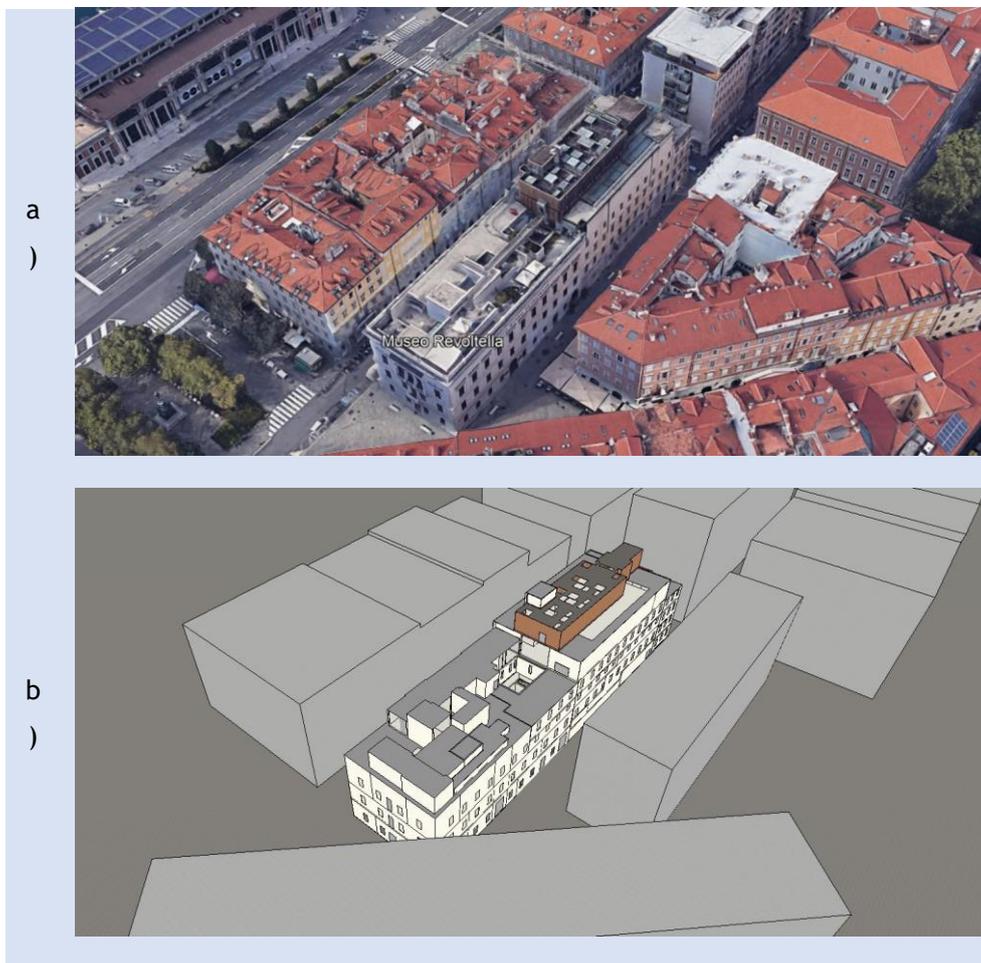


Figura 9: modello dell'edificio a) posizionamento reale b) modello con edifici circostanti.

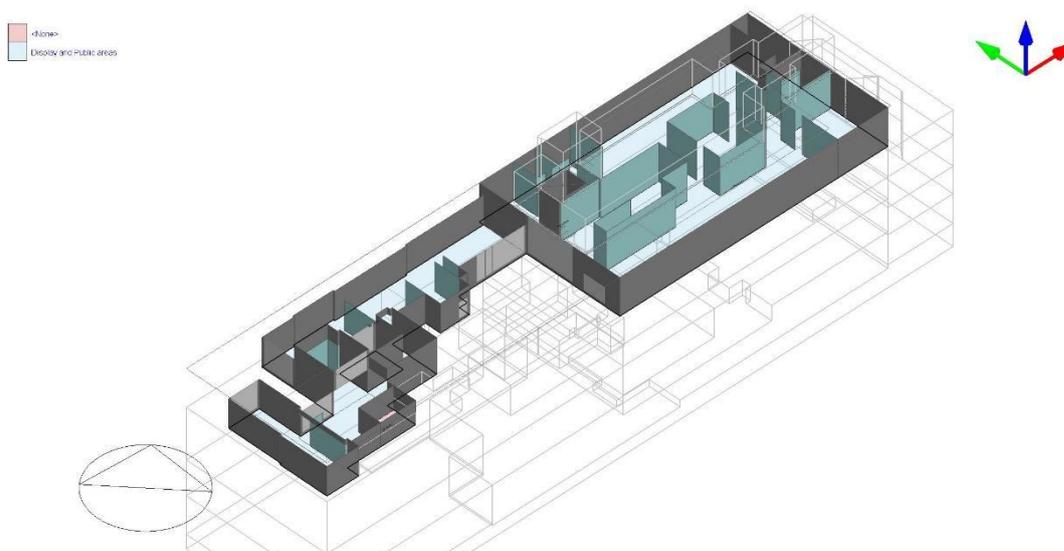


Figura 11 presenta la disposizione degli spazi su un piano, sono visibili in azzurro le masse interne aggiunte per garantire la corretta capacità termica dell'edificio. In totale è stato modellato un volume di 26307 m³.

I dati relativi alle stratigrafie sono stati recuperati dalle relazioni fornite dal Comune di Trieste e prodotte da Siram ed Engie; la Tabella 2 riporta la trasmittanza delle pareti. La successiva calibrazione del modello ha tuttavia portato a rivedere la trasmittanza delle pareti esterne.

Tabella 1: caratteristiche pareti.

	U [W/(m ² K)]
PARETI_ESTERNE_1000MM	1.24
PARETI_CONTROTERRA_1000MM	1.27
PARETI_ESTERNE_1000MM	1.24
PAVIMENTO_TERRA_510MM	0.42
PITCHED ROOF - UNINSULATED - LIGHTWEIGHT	2.95
SOLAIO_INTERNO_350MM	1.76
TETTO_400MM	1.78



Figura 10: Sezione dell'edificio con suddivisione dei piani.

3.2. Impianto Termico

L'impianto termico è stato modellato considerando tutte le forme di generazione presenti. La Figura 12 presenta il modello dell'impianto termico. Si possono individuare: 1) torre evaporativa, 2) UTA, 3) refrigeratore d'acqua, 4) ventilconvettori zona espositiva e museale, 5) caldaie, 6) sistema split per uffici, 7) caldaia per uffici. Nella modellazione è stato seguito il più possibile l'impianto esistente in modo tale da determinare nella maniera più possibile coerente i vettori energetici coinvolti.

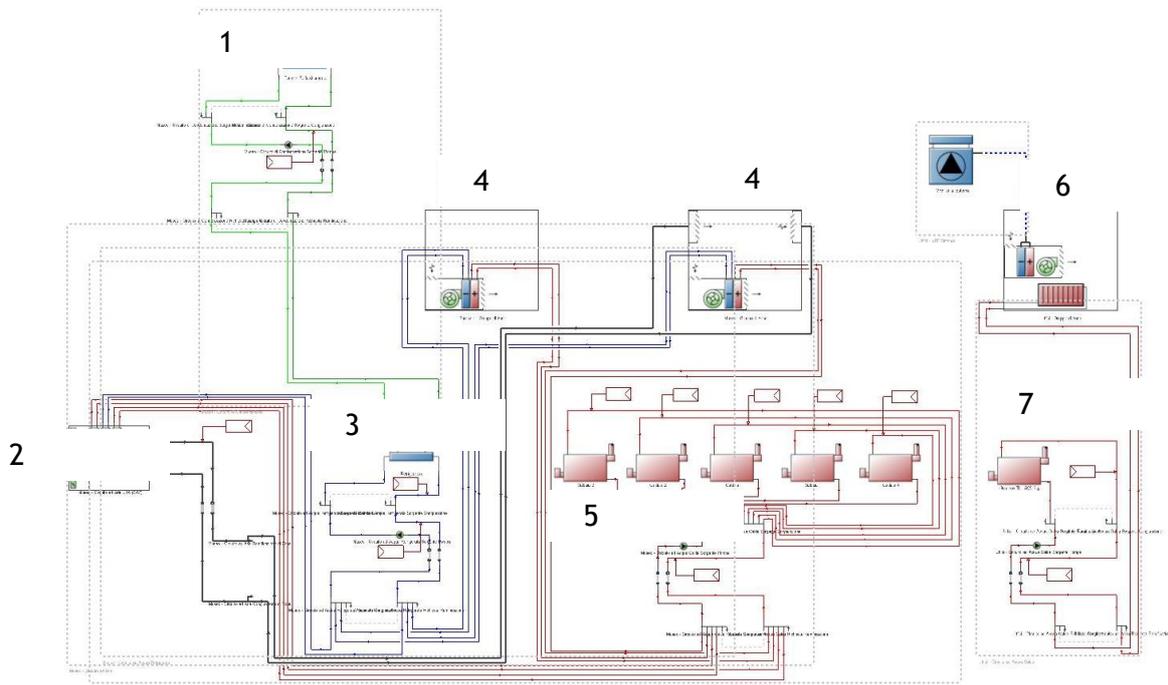


Figura 11: modello dell'impianto termico.

I componenti impiantistici essenziali sono stati modellati a partire dalle caratteristiche tecniche, la Figura 13 riporta le caratteristiche principali del refrigeratore d'acqua installato. Oltre ai dati sintetici sono state utilizzate e modellate opportunamente l'andamento delle prestazioni del refrigeratore in funzione delle temperature dell'acqua al condensatore e all'evaporatore. In tal senso sono state ottenute le curve di correzione della potenza e del coefficiente di effetto utile o EER (Energy Efficiency Ratio) [4] per tener conto del funzionamento del sistema nelle differenti condizioni. Allo stesso modo si è operato per i generatori di calore a condensazione, anche in questo caso l'efficienza e la potenza erogata sono state parametrizzate in funzione del carico e della temperatura di ritorno in caldaia. I dati salienti della caldaia sono riportati in Figura 14.

POMPA DI CALORE • HEAT PUMP R407C

RAFFREDDAMENTO • COOLING		0500	0550	0600	0650	0700	0750	0800	0900	1000
⊗ Potenza frigorifera • <i>Cooling capacity</i>	[kW]	107,0	117,0	142,0	161,0	184,0	218,0	251,0	279,0	307,0
⊗ Potenza assorbita totale • <i>Total input power</i>	[kW]	26,20	28,50	34,50	39,20	45,20	53,60	62,10	68,80	75,50
⊗ E.E.R	[W/W]	4,08	4,11	4,12	4,11	4,07	4,07	4,04	4,06	4,07
Portata acqua evaporatore • <i>Water flow rate evaporator</i>	[l/h]	18400	20120	24420	27690	31650	37500	43170	47990	52800
Portata acqua condensatore • <i>Water flow rate condenser</i>	[l/h]	22910	25026	30358	34434	39422	46715	53853	59822	65790
⊗ Perdite di carico evaporatore <i>Evaporator water pressure drops</i>	[kPa]	29,00	34,00	37,50	40,00	39,00	33,50	32,90	36,00	32,50
⊗ Perdite di carico condensatore <i>Condenser water pressure drop</i>	[kPa]	46,00	54,50	60,00	65,00	63,50	56,00	55,00	60,00	54,00

Figura 12: caratteristiche del refrigeratore d'acqua.

			THRi 10-34	THRi 10-50
Categoria				
Numero di omologazione CE			CE0085AR0323	
Potenza termica utile min/max	30/50°C	kW	10,7/34,0	10,7/52,6
	60/80°C	kW	9,7/32,2	9,7/48,7
Portata termica focolare min/max			kW	10,0/33,0
Rendimento su P.C.I.	30/50°C	%	107,7/105,5	107,7/105,1
	60/80°C	%	95,9/97,4	95,9/97,3
Rendimento su P.C.S.	30/50°C	%	96,9/94,8	96,9/94,6
	60/80°C	%	86,3/87,9	86,3/87,6
Rendimento 30% (Pn) DIR 92/42 CEE			107,7	

Figura 13: dati caldaia

3.3. Calibrazione

Il primo passo è stato quello di calibrare il modello utilizzando i dati forniti dalle bollette. I dati forniti riguardano il consumo medio di gas negli anni 2010-2012 ed i consumi negli anni 2019 e 2020. I dati presentati evidenziano un consumo molto più elevato relativo agli anni 2010-2012 rispetto agli anni 2019 e 2020. Quest'ultimo è caratterizzato dalla presenza della pandemia e quindi non è stato considerato valido, pertanto si è optato per utilizzare i dati energetici medi negli anni 2010-2012. Per quanto riguarda i dati relativi al raffrescamento sono stati presi come riferimento i dati dell'anno 2018 per cui erano a disposizione i dati climatici con un ridotto numero di lacune. Per procedere alla calibrazione del modello si è utilizzato un file climatico apposito comprendente sia i dati relativi al periodo invernale che estivo. La Tabella 3 riporta i risultati della calibrazione, evidenziando un errore molto piccolo per quanto riguarda il consumo elettrico e più elevato per quanto riguarda il consumo di gas. Migliori risultati potranno essere ottenuti avendo a disposizione più dati riguardanti l'impianto stesso. Tuttavia si può affermare che il modello descrive molto bene il comportamento dell'edificio e può essere utilizzato per analizzare alcuni scenari di intervento.

Tabella 2: risultati calibrazione del modello.

Configurazioni	Consumo gas [m ³]	Consumo elettricità [kWh]	Errore Gas [%]	Errore Elettricità [%]
Bollette	56056	313020	-	-
Calibrazione	52458	319371	-8.44	-1.74

4. Scenari di miglioramento

Una volta ottenuto il modello sono stati ipotizzati diversi scenari di intervento, le simulazioni sono state condotte utilizzando un file climatico generato con i dati relativi agli anni tra il 1995 e il 2019. Ai fini del miglioramento le possibilità risultano limitate visto la natura storica dell'edificio, la Tabella 4 riporta un riassunto degli interventi previsti.

Tabella 3: interventi previsti.

Intervento	Descrizione
A	Isolamento interno delle pareti della zona espositiva
B	Sostituzione dei lucernari con vetri filtranti a controllo solare
C	Isolamento interno e sostituzione lucernari

La Tabella 5 riporta i risultati delle simulazioni ed una stima dei costi e del ritorno semplice dell'investimento. Come si può osservare gli interventi non consentono un sostanziale vantaggio dal punto di vista economico. Va tuttavia fatto notare come gli interventi siano forzatamente limitati per i vincoli esistenti.

Tabella 4: effetto degli interventi proposti.

Intervento	gas [m ³]	elettricità [kWh]	Var. Gas [%]	Var. Ele. [%]	Costo [€]	Ritorno [anni]
SF	52931	305032	\	\	\	\
A	44794	304034	-15.37	-0.33	409264	41
B	50454	298267	-4.68	-2.22	67783	17
C	41699	294746	-21.22	-3.37	477047	32

5. Effetto del cambiamento climatico

La disponibilità di dati climatici proiettati nel futuro consente la stima di quale possa essere l'effetto del cambiamento climatico sui consumi dell'edificio. La Tabella 6 riporta i dati di consumo e le percentuali di variazione per due scenari: uno fino all'anno 2035, mentre il secondo fino al 2050. Come si può notare si registra una diminuzione del consumo di gas, tuttavia accompagnato da un aumento del consumo di elettricità, dovuta all'aumento delle temperature e del maggior carico sul sistema di raffreddamento.

Tabella 5: consumo dell'edificio per scenari futuri.

TRY	Consumo gas [m ³]	Consumo elettricità [kWh]	Var. Gas [%]	Var. Ele. [%]
1995-2019	52931	289193	\	\
2021-2035	43961	318398	-16.95	10.10
2036-2050	42654	325025	-19.42	12.39

Si è voluto valutare anche l'impatto del cambiamento climatico sugli interventi di miglioramento indicati in Tabella 5. La Tabella 7 riporta gli effetti utilizzando i dati proiettati nel periodo 2021-2035, mentre la Tabella 8 riporta gli effetti fino al 2050. Come si può osservare l'aumento della temperatura rende ancora meno efficace l'intervento.

Tabella 6: effetto degli interventi per un periodo fino al 2035.

TRY	Azione	gas [m ³]	elettricità [kWh]	Var. Gas [%]	Var. Ele. [%]	Costo [€]	Ritorno [anni]
2021-2035	SF	43961	318398	\	\	\	\
	A	36875	317161	-16.12	-0.39	409264	47
	B	41840	311235	-4.82	-2.25	67783	19
	C	34395	307362	-21.76	-3.47	477047	36

Tabella 7: effetto degli interventi per un periodo fino al 2050.

TRY	Azione	gas [m ³]	elettricità [kWh]	Var. Gas [%]	Var. Ele. [%]	Costo [€]	Ritorno [anni]
2036-2050	SF	42654	325025	\	\	\	\
	A	35768	323689	-16.14	-0.41	409264	48
	B	40618	317525	-4.77	-2.31	67783	19
	C	33345	313582	-21.82	-3.52	477047	37

Conclusioni

Le valutazioni presenti mostrano come sia difficile intervenire su un edificio storico con limitate possibilità di intervenire sull'involucro. Ciò porta ad evidenziare come i miglioramenti possibili dovranno essere cercati in una riqualificazione dell'impianto, soprattutto per quanto riguarda la UTA ove si registra un notevole consumo dovuto ai ventilatori. Anche il refrigeratore d'acqua è un componente che potrebbe essere rinnovato potendo contare ora su macchine con elevato EER. La verifica di questi interventi richiede un supplemento di analisi per una più accurata rappresentazione della soluzione impiantistica adottata ed una più accurata descrizione dei singoli componenti.

Bibliography

- [1] UNI, *EN 16247-2:2014 Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici*. 2014.
- [2] UNI/TS 11300-1:2014 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- [3] *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.* .
- [4] EN 14825:2018 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance. 2018.

Lista delle Figure

Figura 1: Posizionamento del Museo Revoltella.	6
Figura 2: esempio di pianta di edificio e layout dell'impianto.	7
Figura 3 caldaie per la produzione dell'acqua calda.	8
Figura 4: centrale termica, a) torre evaporativa b) refrigeratore d'acqua.	8
Figura 5: Particolare delle bocchette di immissione e delle griglie di estrazione nell'area espositiva.	9
Figura 6: dati climatici orari a) temperatura b) irraggiamento globale su pianto orizzontale.	10
Figura 7: dati climatici nel periodo 2036-2050 relativo al modello HadGEM2-ES_RACMO22E.	11
Figura 8 : confronto delle temperature tra anni tipo: a) anno tipo con storico 1995-2019 b) anno proiettato 2021-2035 c) anno proiettato 2036-2050.	12
Figura 9: modello dell'edificio a) posizionamento reale b) modello con edifici circostanti.	13
Figura 10: Sezione dell'edificio con suddivisione dei piani.	14
Figura 11: modello dell'impianto termico.	15
Figura 12: caratteristiche del refrigeratore d'acqua.	16
Figura 13: dati caldaia	16

Lista delle tabelle

Tabella 1: caratteristiche pareti.	14
Tabella 2: risultati calibrazione del modello.	17
Tabella 3: interventi previsti.	17
Tabella 4: effetto degli interventi proposti.	17
Tabella 5: consumo dell'edificio per scenari futuri.	18
Tabella 6: effetto degli interventi per un periodo fino al 2035.	18
Tabella 7: effetto degli interventi per un periodo fino al 2050.	18