

Individuazione di possibili interventi per il miglioramento delle condizioni di comfort ambientale e contenimento dei consumi energetici nell'edificio del Convitto Nazionale in Roma

INDICE

INTRODUZIONE

A1: ACQUISIZIONE DATI TECNICO-PROGETTUALI DELL'EDIFICIO, DELL'IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE/RISCALDAMENTO E DEL CONTESTO URBANO.

1 - ANALISI DEL CONTESTO URBANO

1.1 - ANALISI DEL COMPLESSO

1.2 - STUDIO DELLE OMBRE

2 - INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE

3 - CARATTERISTICHE TERMOFISICHE DELLE SUPERFICI OPACHE DELL'EDIFICIO

3.1 - CARATTERISTICHE TERMOFISICHE DELLE SUPERFICI TRASPARENTI DELL'EDIFICIO

4 - CARATTERISTICHE IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

4.1 - SISTEMA DI DISTRIBUZIONE

5 - ASPETTI VINCOLISTICI

A2: ACQUISIZIONE DATI MICROCLIMATICI DELLA ZONA ADIACENTE

6 - DATI MICROCLIMATICI

A3: ACQUISIZIONE DATI SUI CONSUMI DI COMBUSTIBILE ED ELETTRICI DEGLI ULTIMI ANNI

7 - ACQUISIZIONE DATI SUI CONSUMI DI COMBUSTIBILE ED ELETTRICI DEGLI ULTIMI ANNI

7.1 - RISCALDAMENTO

7.2 - CONSUMO GAS MENSA

7.3 - CONSUMI ELETTRICI

A4: RILIEVO IN SITU DEI DATI EVENTUALMENTE MANCANTI E LORO VERIFICA CAMPIONARIA

8 - RILIEVI IN SITU

B1: DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO IN UN MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE

9 - DESCRIZIONE MODELLO

B2: VERIFICA E TARATURA DEL MODELLO

10 - IPOTESI SEMPLIFICATIVE

10.1 - PROFILO DI UTILIZZO

10.2 - EFFICIENZA IMPIANTO TERMICO

10.3 - GESTIONE CALDAIE

10.4 - MODULAZIONE DELL'IMPIANTO TERMICO

11 - CONDIZIONI DI COMFORT CLIMATICO

11.1 - TEMPERATURE

11.2 - VENTILAZIONE

C1: PROGETTAZIONE DI MASSIMA E STIMA ECONOMICA DI INTERVENTI

12 - SIMULAZIONE ENERGETICA STATO ATTUALE

- 12.1 - DISTRIBUZIONE POTENZA TERMICA UTILE
- 12.2 - RISULTATI DELLA SIMULAZIONE DINAMICA
- 12.3 - CRITICITÀ

13 - PROGETTAZIONE DI MASSIMA E STIMA ECONOMICA DI INTERVENTI

- 13.1 - SOSTITUZIONE INFISSI
- 13.2 - DATI DI INPUT AL MODELLO DI SIMULAZIONE
- 13.3 CARATTERISTICHE TERMO FISICHE DEI NUOVI INFISSI
- 13.4 RIQUALIFICAZIONE IMPIANTO TERMICO
- 13.5 IMPIANTO DI TRIGENERAZIONE
- 13.6 IMPIANTO DI SOLAR COOLING
- 13.7 COLLETTORE SOLARE TERMICO PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA
- 13.8 IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE: CONTROLLO DELL'ACCENSIONE DEI CORPI ILLUMINANTI

C3: COSTRUZIONE DI SCENARI E COMMENTO DEI RISULTATI

14 - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI ENERGETICHE PER SINGOLO INTERVENTO

- 14.2 IMPIANTO DI TRIGENERAZIONE

APPENDICE A: ABACO DEGLI INFISSI

INTRODUZIONE

Questo studio ha per oggetto l'analisi del complesso edilizio del Convitto Nazionale "Vittorio Emanuele II" sito nel Comune di Roma in Piazza Monte Grappa 5 ed ha lo scopo di individuare le cause dei principali consumi energetici dell'edificio scolastico e di suggerire interventi che abbiano come obiettivo quello di migliorare le prestazioni del sistema sia in termini di comfort, che in termini di riduzione dei consumi stessi e delle emissioni inquinanti.

L'edificio che ospita il Convitto Nazionale è un edificio storico di interesse architettonico artistico, attualmente soggetto al DL 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" che ne limita fortemente la possibilità di intervento sull'involucro edilizio per il contenimento dei consumi energetici.

L'impianto di riscaldamento è costituito da una dotazione impiantistica ormai datata, in particolare da generatori termici a gas naturale installati nei primi anni novanta mentre il sistema di distribuzione risale all'epoca della costruzione dell'edificio.

Il sistema di regolazione delle temperature interne sembra non adeguato, in termini di zonizzazione, parzializzazione e controllo attivo, alla complessa geometria dell'edificio e all'articolazione dell'uso dei diversi ambienti (aule, uffici, alloggi, auditorium, laboratori, etc.).

Altri elementi critici, apparsi evidenti sono la presenza di ampie vetrate dotate di semplici vetri singoli (dal quale dipendono le principali dispersioni di calore e condizioni di discomfort degli occupanti), l'assenza di efficaci elementi ombreggianti (seppure esistenti nei serramenti originali), la mancanza di un sistema di accensione e controllo delle luci che ne parializzi o regoli il funzionamento. A tutto ciò si aggiunge la prospettiva di potenziamento delle funzioni scolastiche anche nella stagione estiva, fatto che richiede un adeguamento tecnologico e normativo del sistema edificio-impianto.

Inoltre, a causa delle previste modifiche nel layout degli ambienti, si rende necessaria una verifica sulle capacità del sistema edificio-impianto ad adeguarsi a tali cambiamenti.

A seguito di un lavoro di indagine, sono stati individuati singoli interventi migliorativi e prodotti scenari di intervento per ciascuno dei quali sono state stimate le prestazioni energetiche ed economiche, calcolando il risparmio di elettricità e di combustibile, mediante una stima costi/benefici attesi.

In particolare è stata valutata l'efficacia di interventi di tipo "passivo" (sostituzione infissi), la gestione avanzata dell'impianto termico compresa la zonizzazione del sistema di distribuzione e l'utilizzo di tecnologie efficienti per la climatizzazione e l'illuminazione degli ambienti. Inoltre è stata valutata anche la fattibilità e la convenienza di realizzare un impianto fotovoltaico integrato in copertura per l'auto produzione di energia elettrica.

Il presente rapporto indica quindi un insieme di soluzioni tecniche corredate delle informazioni che guideranno e supporteranno la Committenza nelle scelte economicamente più sostenibili.

A1: ACQUISIZIONE DATI TECNICO-PROGETTUALI DELL'EDIFICIO, DELL'IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE/RISCALDAMENTO E DEL CONTESTO URBANO.

1 - ANALISI DEL CONTESTO URBANO

Il Convitto Nazionale "Vittorio Emanuele II", edificio oggetto di studio, è situato all'interno di un edificio risalente agli anni '30. Esso appartiene al XVII Municipio ed occupa l'intera area compresa tra Lungotevere G. Oberdan, Piazza Monte Grappa, via M. Prestinari e via C. Ederle, dotata di ampi spazi esterni (circa 20.000 mq.) di cui alcuni utilizzati per attività ricreative e sportive, altri adibiti a parco.

Rimasto nella storica sede di Via del Clementino, a Piazza Nicosia, fu trasferito nel 1935 in Piazza Monte Grappa, nel quartiere Delle Vittorie, in un nuovo edificio appositamente costruito in un collegio moderno, spazioso e provvisto di spazi aperti tali da permettere lo svolgimento di attività sportive e ricreative.

Risulta essere l'unica struttura pubblica che nel tempo ha coniugato residenzialità, semiresidenzialità, istruzione e formazione; basti pensare che nel Convitto Nazionale di Roma sono presenti: una Scuola Primaria, una Scuola Secondaria di I grado, un Liceo Classico, un Liceo Scientifico, un Liceo sperimentale Classico Europeo, nonché la struttura Collegio articolata in sezione maschile e sezione femminile, che rappresentano nell'insieme una risposta adeguata alle molteplici esigenze dell'utenza.

L'architettura dell'intero complesso, in pieno stile di epoca fascista, è caratterizzata dalla linearità delle facciate, dall'uso geometrico e dalla compenetrazione di volumi e forme, tale da restituire immagini di "monumentalismo essenziale".

1.1 - ANALISI DEL COMPLESSO

Come si evince dalla planimetria di seguito riportata (*fig.1*), l'edificio è caratterizzato fondamentalmente dall'accorpamento di tre distinti blocchi di forma parallelepipedica, in cui i corpi laterali sono orientati prevalentemente secondo la direttrice Nord-Sud e il centrale secondo quella Ovest-Est. Il volume complessivo è di circa 75000 mc; alla struttura, nell'ala esposta a sud, è stato successivamente addossato un ulteriore blocco (*fig.2*) di circa 10000 mc, adibito a spazio congressuale e fruibile sia dalla scuola che dal territorio (Auditorium).

I blocchi 1, 2 e 3 hanno una lunghezza rispettivamente di circa 80, 70 e 90 metri e si sviluppano per un'altezza media di 20 metri. Data la forma ad "U" del complesso, l'orientamento e le dimensioni dei singoli blocchi riveste un ruolo rilevante ai fini della determinazione delle prestazioni energetiche dell'edificio dovuta anche all'incidenza mutua delle ombre di ciascun blocco sugli altri. Motivo questo per cui è stata effettuata una analisi più specifica relativamente a questa problematica.

1.2 - STUDIO DELLE OMBRE

Per la stima del carico termico invernale ed estivo dell'edificio in oggetto, come descritta nei successivi paragrafi, è stata svolta una analisi dei mutui ombreggiamenti tra i corpi di fabbrica che costituiscono l'edificio.

In particolare lo studio è stato riferito alla pareti rivolte verso la corte interna, soggette durante l'anno ad effetti schermanti variabili a causa della diversa posizione del sole al variare delle ore del giorno e delle stagioni. *Questo fenomeno ha per effetto la modifica delle temperature interne e dei carichi termici delle relative zone che, se non considerate nello studio energetico, possono influenzare la correttezza delle valutazioni tecniche ed economiche.*

Al fine di una maggiore comprensione del fenomeno viene illustrato, nella tabella successiva, il mutuo ombreggiamento delle pareti della corte nei diversi orari della giornata (9:00 – 12:00 – 16:00) relativo al giorno 21 del mese di Dicembre, Marzo-Settembre e Giugno rappresentativi rispettivamente del periodo invernale, intermedio ed estivo.

Nell'immagine di seguito riportata si può notare che nel mese di Dicembre, periodo nel quale il percorso solare assume l'altezza minima sull'orizzonte, la parete rivolta verso Nord della zona 1 (corpo a destra) rimane costantemente in ombra per orientamento, mentre la parete rivolta verso Ovest della zona 2 (corpo centrale), in ombra fino a mezzogiorno, viene investita nel pomeriggio dall'ombra portata della zona 1 (corpo a destra); mentre la parete rivolta verso Sud della zona 3 (corpo a sinistra), a causa della presenza della zona 2 (corpo centrale), rimane ombreggiata nelle prime ore del mattino e completamente soleggiata per tutto il resto della giornata.

Nei mesi di Marzo e Settembre, quando il percorso solare ha un'altezza maggiore sull'orizzonte, il mutuo ombreggiamento tra i corpi risulta meno evidente: infatti si può notare come la parete rivolta verso Sud della zona 3 (corpo a sinistra), nelle prime ore del mattino subisce un minore ombreggiamento da parte della zona 2 (corpo centrale), e rimane soleggiata per il resto della giornata; lo stesso discorso vale per la parete rivolta verso Ovest che è influenzata dall'ombra portata della zona 1 (corpo a sinistra) soltanto nel pomeriggio, con una minore intensità rispetto al

mese di Dicembre; la parete rivolta verso Nord della zona 1 (corpo a destra) è sempre ombreggiata per orientamento.

Nel mese di Giugno, quando il percorso solare assume la massima altezza sull'orizzonte, il mutuo ombreggiamento tra i corpi è pressoché assente: infatti la parete rivolta verso Sud della zona 3 (corpo a sinistra), nelle prime ore del mattino non subisce l'ombreggiamento da parte della zona 2 (corpo centrale), rimanendo soleggiata per tutta la giornata; la parte rivolta verso Ovest risulta soleggiata per tutta la durata del pomeriggio senza ricevere l'ombra portata del zona 1 (corpo a sinistra); la parete rivolta verso Nord della zona 1 (corpo a destra) è sempre ombreggiata per orientamento (*fig. 3*).

2 - INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE

Lo svolgimento delle attività di formazione, residenza e semi-convivialità avviene in zone distinte della stessa struttura. Una corretta analisi energetica di un edificio così complesso richiede la suddivisione dello stesso in zone termiche omogenee rispetto all'uso, alle caratteristiche geometriche e costruttive e all'orientamento delle facciate principali.

L'incidenza dell'esposizione, della distribuzione funzionale degli ambienti interni e dei profili di utilizzo per la determinazione delle prestazioni energetiche (fabbisogni termici ed elettrici, andamento orario delle temperature e dei carichi termici) ha permesso di ipotizzare una suddivisione della struttura in zone omogenee, contraddistinte dalla denominazione - Z "a b c"- , dove: Z:zona, a: numero di padiglione (1: padiglione primo; 2: padiglione secondo; 3: padiglione terzo), b: piano (T: piano terra; 1: primo piano; 2: secondo piano; 3: terzo piano), c: orientamento della zona (N, nord; S, sud; O, ovest; E est)

In particolare, come si vede dalle planimetrie riportate (*fig.4*), per ogni piano si hanno le seguenti zone:

PIANO TERRA:

- Z 1_T_S - Attività didattica
- Z 1_T_N - Accessibilità (corridoi)
- Z 2_T_O - Servizi
- Z 2_T_E - Accessibilità (corridoi)
- Z 3_T_S - Servizi/Refettorio
- Z 3_T_N - Servizi/Refettorio
- Z 4_T_N - Servizi

PIANO PRIMO:

- Z 1_1_S - Attività didattica
- Z 1_1_N - Accessibilità (corridoi)
- Z 2_1_O - Attività didattica
- Z 2_1_E - Accessibilità (corridoi) + uffici
- Z 3_1_S - Attività didattica
- Z 3_1_N - Attività didattica
- Z 4_1_N - Attività didattica

PIANO SECONDO:

- Z 1_2_S - Dormitori
- Z 1_2_N - Dormitori
- Z P_2_S - Alloggi
- Z 2_2_O - Uffici
- Z 2_2_E - Accessibilità (corridoi) + uffici
- Z 3_2_S - Attività didattica

- Z 3_2_N - Accessibilità (corridoi) + servizi
- Z 4_2_N - Attività didattica + palestra

PIANO TERZO:

- Z 1_3_S - Dormitori
- Z 1_3_N - Dormitori
- Z P_3_S - Alloggi
- Z 2_3_O - Attività didattica e ricreativa
- Z 2_3_E - Accessibilità (corridoi) + uffici
- Z 3_3_S - Attività educativa, ricreativa e dormitori
- Z 3_3_N - Accessibilità (corridoi) + servizi
- Z 4_3_N - Servizi

Le zone agli interpiani “2°- 3°” e “3°- 4°”, poiché presentano uguali superficie di calpestio, distribuzione interna degli ambienti e profilo di utilizzo, sono state accorpate e indicate nelle zone Z1_3_S e Z1_3_N, senza alterarne i volumi. Le caratteristiche di tali zone sono riportate nella tabella che segue.

	<i>ALTEZZA (m)</i>	<i>SUPERFICIE CALPESTIO (MQ)</i>	<i>VOLUME (MC)</i>
PIANO TERRA			
Z1_T_S	4,6	897,58	4.128,87
Z1_T_N	4,6	281,60	1.295,36
Z2_T_O	4,6	809,52	3.723,79
Z2_T_E	4,6	359,34	1.652,96
Z3_T_S	4,6	656,88	3.021,65
Z3_T_N	4,6	645,60	2.969,76
Z4_T_N	4,6	424,00	1.950,40
Totale piano terra		4.074,52	18.742,79
PIANO PRIMO			
Z1_1_S	5,2	897,58	4.667,42
Z1_1_N	5,2	280,72	1.459,74
Z2_1_O	4,6	809,52	3.723,79
Z2_1_E	5,2	359,34	1.868,57
Z3_1_S	5,2	656,88	3.415,78
Z3_1_N	5,2	632,00	3.286,40
Z4_1_N	5,2	424,00	2.204,80
Totale piano primo		4.060,04	20.626,50
PIANO SECONDO			
Z1_2_S	3,3	548,68	1.810,64
Z1_2_N	4,6	280,72	1.291,31
ZP_2_S	4,8	359,52	1.725,70
Z2_2_O	4,8	591,16	2.837,57
Z2_2_E	4,8	359,34	1.724,83
Z3_2_S	4,8	789,08	3.787,58
Z3_2_N	4,8	365,24	1.753,15
Z4_2_N	4,8	292,56	1.404,29
Totale piano secondo		3.586,30	16.335,08
PIANO TERZO			
Z1_3_S	6,3	548,00	3.452,40

Z1_3_N	6,3	283,36	1.785,17
ZP_3_S	4,8	359,52	1.725,70
Z2_3_O	4,8	591,16	2.837,57
Z2_3_E	4,8	359,34	1.724,83
Z3_3_S	4,8	789,08	3.787,58
Z3_3_N	4,8	365,24	1.753,15
Z4_3_N	4,8	292,56	1.404,29
Totale piano terzo		3.588,26	18.470,69
TOTALE EDIFICIO		15.309,12	74.175,05

3 - CARATTERISTICHE TERMOFISICHE DELLE SUPERFICI OPACHE DELL'EDIFICIO

Le caratteristiche strutturali delle superfici opache dell'edificio sono state desunte sia da dati reperiti in letteratura per edifici coevi.

Nelle tabelle di seguito riportate, sono riassunte tali informazioni, suddivise per tipologia di pareti opache orizzontali e verticali. Vengono riportati inoltre stralci di sezioni raffiguranti le stratigrafie delle varie tipologie di strutture.

CARATTERISTICHE STRUTTURALI PARETE ESTERNE

	s	λ	ρ	c	Massa frontale	Resistenza	h_i	h_e	Trasmittanza
	(m)	(W/mK)	(Kg/mc)	(W/mqK)	(Kg/mq)	(mqK/W)	(mqK/W)	(mqK/W)	(W/mqK)
							7,7		
Intonaco	0,04	0,41	900		36	0,10			
Ghiaia grossa senza argilla	0,72	1,2	1700		1224	0,60			
Intonaco	0,04	0,41	900		36	0,10			
								25	
Totale	0,8				1296	0,965			1,036

CARATTERISTICHE STRUTTURALI PARETE INTERNA (20 cm)

	s	λ	ρ	c	Massa frontale	Resistenza	h_i	h_e	Trasmittanza
	(m)	(W/mK)	(Kg/mc)	(W/mqK)	(Kg/mq)	(mqK/W)	(mqK/W)	(mqK/W)	(W/mqK)
							7,7		
Intonaco	0,02	0,41	900		18	0,05			
Ghiaia grossa senza argilla	0,16	1,2	1700		272	0,13			
Intonaco	0,02	0,41	900		18	0,05			
								25	
Totale	0,2				308	0,401			2,50

CARATTERISTICHE STRUTTURALI PARETE INTERNA (60 cm)

	<i>s</i>	λ	ρ	<i>c</i>	<i>Massa frontale</i>	<i>Resistenza</i>	<i>hi</i>	<i>he</i>	<i>Trasmittanza</i>
	(m)	(W/mK)	(Kg/mc)	(W/mqK)	(Kg/mq)	(mqK/W)	(mqK/W)	(mqK/W)	(W/mqK)
							7,7		
Intonaco	0,04	0,41	900		36	0,10			
Ghiaia grossa senza argilla	0,52	1,2	1700		884	0,43			
Intonaco	0,04	0,41	900		36	0,10			
								25	
Totale	0,6				956	0,798			1,25

CARATTERISTICHE STRUTTURALI PARETE INTERNA (80 cm)

	<i>s</i>	λ	ρ	<i>c</i>	<i>Massa frontale</i>	<i>Resistenza</i>	<i>hi</i>	<i>he</i>	<i>Trasmittanza</i>
	(m)	(W/mK)	(Kg/mc)	(W/mqK)	(Kg/mq)	(mqK/W)	(mqK/W)	(mqK/W)	(W/mqK)
							7,7		
Intonaco	0,04	0,41	900		36	0,10			
Ghiaia grossa senza argilla	0,72	1,2	1700		1224	0,60			
Intonaco	0,04	0,41	900		36	0,10			
								25	
Totale	0,8				1296	0,965			1,04

CARATTERISTICHE STRUTTURALI SOLAIO PIANO TERRA

	<i>s</i>	λ	ρ	<i>c</i>	<i>Massa frontale</i>	<i>Resistenza</i>	<i>hi</i>	<i>he</i>	<i>Trasmittanza</i>
	(m)	(W/mK)	(Kg/mc)	(W/mqK)	(Kg/mq)	(mqK/W)	(mqK/W)	(mqK/W)	(W/mqK)
							7,7		
Ciotoli	0,18	0,70	1500		270	0,26			
Solaio	0,26		1800		219	0,39			
Argilla	0,06	0,12	450		27	0,50			
Massetto	0,04	0,42	1100		44	0,10			
Piastrelle	0,02	1	2300		46	0,02			
								25	
Totale	0,56				606	1,39			0,72

CARATTERISTICHE STRUTTURALI SOLAIO INTERMEDIO

	<i>s</i>	λ	ρ	<i>c</i>	<i>Massa frontale</i>	<i>Resistenza</i>	<i>hi</i>	<i>he</i>	<i>Trasmittanza</i>
	(m)	(W/mK)	(Kg/mc)	(W/mqK)	(Kg/mq)	(mqK/W)	(mqK/W)	(mqK/W)	(W/mqK)
							7,7		
Intonaco	0,02	0,41	900		18	0,05			
Solaio	0,26		1800		219	0,39			

Massetto	0,04	0,42	1100		44	0,10			
Pavimento	0,02	1,00	2300		46	0,02			
								25	
Totale	0,34				327	0,81			1,23

CARATTERISTICHE STRUTTURALI SOLAIO COPERTURA

	<i>s</i>	λ	ρ	<i>c</i>	Massa frontale	Resistenza	<i>hi</i>	<i>he</i>	Trasmit- tanza
	(m)	(W/mK)	(Kg/mc)	(W/mqK)	(Kg/mq)	(mqK/W)	(mqK/W)	(mqK/W)	(W/mqK)
							7,7		
Intonaco	0,02	0,41	900		18	0,05			
Solaio	0,26		1800		219	0,39			
Massetto	0,04	0,42	1100		44	0,10			
Rivestime- nto in cemento	0,03	1,40	2000		60	0,02			
								25	
Totale	0,35				341	0,73			1,38

3.1 - CARATTERISTICHE TERMOFISICHE DELLE SUPERFICI TRASPARENTI DELL'EDIFICIO

L' edificio presenta un elevato numero di infissi (circa 550) differenti per geometria, ma costituiti tutti da telaio in legno e vetro singolo.

Nelle tabelle che seguono sono riportate, rispettivamente, le caratteristiche di ciascuna tipologia di superficie trasparente e la distribuzione per piano e tipologia.

TIPOLOGIA FINESTRE

	Af	Uf	Ag	Ug	Aw	ψ_g	Ig	Uw
	(mq)	(W/mqK)	(mq)	(W/mqK)	(mq)	(W/mK)	(m)	(W/mqK)
A1	1,50	1,90	2,16	5,70	3,67	0	11,58	4,14
A2	1,73	1,90	2,71	5,70	4,44	0	13,58	4,22
A3	1,59	1,90	2,38	5,70	3,97	0	12,38	4,18
B1	2,841	1,90	4,8464	5,70	7,69	0	24,86	4,30
B2	3,156	1,90	5,888	5,70	9,04	0	28,22	4,37
B3	2,991	1,90	5,3424	5,70	8,33	0	26,46	4,34
C1	1,11	1,90	1,53	5,70	2,64	0	7,94	4,11
C2	1,18	1,90	1,73	5,70	2,91	0	8,54	4,16
D	0,74	1,90	1,10	5,70	1,83	0	7,34	4,17
E	1,93	1,90	2,18	5,70	4,11	0	22,14	3,91
F	2,109	1,90	3,127	5,70	5,24	0	17,04	4,17
G1	2,2195	1,90	3,3245	5,70	5,54	0	25,28	4,18
G2	2,422	1,90	3,815	5,70	6,24	0	27,08	4,22
H	2,0385	1,90	2,9835	5,70	5,02	0	2,40	4,16
I	1,58	7,00	2,53	5,70	4,11	0	30,84	6,20
L1	1,83	7,00	3,25	5,70	5,07	0	32,76	6,17

L2	0,93	7,00	1,41	5,70	2,34	0	32,28	6,22
M	3,44	7,00	6,88	5,70	10,32	0	72,61	6,13
N	1,30	7,00	4,70	5,70	6,00	0	39,48	5,98
O	3,40	1,90	5,58	5,70	8,99	0	2,40	4,26

Dove:

- Af area telaio (mq)
- Uf trasmittanza telaio (W/mqK)
- Ag area vetro (mq)
- Ug trasmittanza vetro (W/mqK)
- Aw area infisso (mq)
- Ψ_g trasmittanza lineare dei distanziatori (W/mK)
- Lg perimetro dell'infisso (m)
- Uw Trasmittanza infisso (W/mqK)

PIANO	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C!	C2	D	E	F	G1	G2	H	I	L1	L2	M	N1	N2	O
<i>Rialzato</i>	99	0	0	6	0	0	1	0	1	2	0	0	0	3	1	1	1	1	1	0	0
<i>Primo</i>	0	118	0	0	11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	1
<i>Secondo</i>	0	0	74	3	0	15	0	32	1	0	1	2	1	0	1	2	0	0	0	0	1
<i>Interpia no 2°-3°</i>	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Interpia no 3°-4°</i>	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Terzo</i>	0	0	82	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Numero totale</i>	99	118	156	9	11	31	1	91	2	2	2	2	1	3	4	8	1	1	1	0	4
<i>Mq - Area finestra</i>	3.7	4.4	4	7.7	9	8.3	2.6	2.9	1.8	4.1	5.2	5.5	6.2	5	4.1	5.1	2.3	10	6	6	9
<i>Area totale- mq</i>	363	523	620	69	99	258	2.6	265	3.7	8.2	10	11	6.2	15	16	41	2.3	10	6	0	36

4 - CARATTERISTICHE IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

Attualmente l'edificio è dotato di un impianto di riscaldamento, alimentato da due caldaie RENDMAX tipo 280 della serie 811-5 e 811-5bB. Sono caldaie abbastanza obsolete, le cui potenze di targa sono 927000 Kcal/h (corrispondenti a 1112.4 kW) e 1078 kW.

I dati forniti dalla casa costruttrice sono riportati di seguito:

RENDMAX

tipo 280 serie 811-5 (del 1991)

Potenza nominale: 927000 Kcal/h

Pressione alimentazione: 18 mbar

Bruciatore classe B1

Pressione idraulica: 11 bar

RENDMAX

tipo 280 serie 811-5B (del 1992)

Portata termica modul. nominale (kW): 240 (al 20%) - 1198 (al 100%)

Potenza termica modul. nominale (kW): 216 (al 20%) - 1078 (al 100%)

Pressione alimentazione: 18 mbar

Pressione esercizio: 11 bar

Analizzando i profili di utilizzo delle due caldaie, in particolare la prima caldaia è utilizzata per produrre acqua calda sanitaria, mentre la seconda per il riscaldamento dell'edificio.

I dati derivanti dalle operazioni di manutenzione delle caldaie, effettuati ai sensi dell'Allegato L c.5 del Dlgs 192/05 e smi. nell'ultimo controllo effettuato il 28/03/2008, hanno dato i seguenti risultati riportati di seguito.

<i>Mat.</i>	<i>052095</i>	<i>Mat.</i>	<i>051039</i>
Combustibile	GAS NAT	Combustibile	GAS NAT
O2 Rif.	3.0 %	O2 Rif.	3.0 %
CO2 teorico	11.7 %	CO2 teorico	11.7 %
Temp. Fumi	100.7 °C	Temp. Fumi	100.8 °C
T aria comb.	19.5 °C	T aria comb.	19.5 °C
O2 ossigeno	17.1 %	O2 ossigeno	16.5 %
CO fumi sec.	0 ppm	CO fumi sec.	0 ppm
CO2	2.17 %	CO2	2.51 %
CO senz'aria	0 ppm	CO senz'aria	0 ppm
Indice aria	4.67	Indice aria	4.67
Perd. Cal. S	14.6 %	Perd. Cal. S	12.7 %
Rendimento	85.4 %	Rendimento	87.3 %

Dal controllo effettuato emerge un rendimento di combustione delle due caldaie pari rispettivamente al 85.4% e del 87.3%.

Secondo l'allegato H del Dlgs 192/05 il rendimento di combustione delle due caldaie non deve essere inferiore a 87.2 %.

Come previsto dallo stesso Decreto Legislativo, se durante le operazioni di controllo vengono rilevati rendimenti di combustione inferiori e non riconducibili, tramite manutenzione ordinaria, ai limiti ammessi, il responsabile della gestione delle Caldaie è **obbligato** alla sostituzione delle Caldaie entro 300 giorni solari dalla data di controllo.

Nel caso specifico una delle due caldaie presenta un rendimento di combustione ben al di sotto del rendimento limite, mentre l'altra presenta un rendimento appena superiore al rendimento limite.

Si suppone che a seguito del funzionamento durante l'ultimo anno di riscaldamento, anche l'efficienza della seconda caldaia sia sotto il valore limite.

4.1 - SISTEMA DI DISTRIBUZIONE

La distribuzione del calore prodotto è sicuramente uno degli aspetti più importanti da tenere in considerazione per poter garantire un funzionamento ottimizzato di tutto l'impianto.

E' stata effettuata l'acquisizione delle dislocazioni e alla tipologia dei radiatori presenti tramite sopralluoghi effettuati in tutto l'edificio.

Da queste informazioni sono state sviluppate le planimetrie con la dislocazione dei diversi tipi di radiatori, che sono tutti in ghisa ma hanno forma diversa, probabilmente perché installati in periodi differenti.

Si precisa non è stato possibile dedurre il layout del sistema di distribuzione e il relativo stato di efficienza.

5 - ASPETTI VINCOLISTICI

L'edificio oggetto di studio è attualmente soggetto al rispetto dell'art. 12 del DL 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137", il quale stabilisce che l'edificio è sottoposto a tutela fino a quando non venga verificata la sussistenza dell'interesse artistico, storico o archeologico che in data odierna non risulta effettuata.

La Sovrintendenza ha pertanto fornito alcune prescrizioni sull'intervento che possono riassumersi nei seguenti punti:

- gli infissi in legno potranno essere sostituiti con infissi in alluminio, così come quelli in parte già montati e approvati dalla Sovrintendenza dei Beni Culturali di Roma con la stessa tipologia di telaio, che dovrà avere forma, disegno e *texture* pressoché simile agli infissi esistenti, nel rispetto della salvaguardia architettonica dell'edificio stesso;
- le unità esterne degli impianti, quali torre evaporativa e macchina ad assorbimento, dovranno essere ubicate sulla copertura a terrazzo con il minor impatto ambientale possibile; a tal fine la corretta posizione dovrà definirsi in accordo con la Sovrintendenza dei Beni Culturali di Roma e si dovrà provvedere "all'inscatolamento" delle stesse con rete metallica di color bronzo o alluminio anticato;
- l'eventuale impianto solare termico e/o fotovoltaico dovrà essere "a tappeto", posizionato sulla copertura a terrazzo e costituito da pannelli caratterizzati da un ridotto coefficiente di riflessione.

Ai fini del rispetto della normativa vigente sull'efficienza energetica degli edifici, D.lgs 192/05 e smi, come stabilito dall'art.3 comma 3 dello stesso Decreto, la riqualificazione energetica dell'edificio in oggetto non ricade nei vincoli relativi ai consumi energetici minimi annui per il riscaldamento e il raffrescamento in quanto lo stesso edificio è sottoposto al rispetto dell'art. 12 del D.L. 42/2004.

A2: ACQUISIZIONE DATI MICROCLIMATICI DELLA ZONA ADIACENTE

6 - DATI MICROCLIMATICI

Il progetto di un edificio energeticamente efficiente o la riqualificazione energetica di un edificio deve necessariamente tener conto del clima caratteristico dell'area di intervento. L'inserimento del progetto nello specifico territorio e nel suo clima è un elemento importante nell'intero processo progettuale e deve influenzare l'evoluzione stessa del progetto.

Il clima può essere definito attraverso vari parametri che caratterizzano una determinata regione geografica, e cioè temperatura, umidità, pressione, intensità e durata delle radiazioni solari, precipitazioni, nuvolosità, vento (velocità, direzione, raffiche).

Per gli interventi di efficienza energetica in edilizia sono spesso sufficienti i dati relativi alla temperatura e all'umidità. Per la progettazione di impianti di produzione energetica da fonti rinnovabili è ovviamente previsto che si tenga conto dell'intensità e durata della radiazione solare e dei dati inerenti la nuvolosità, nel caso di impianti fotovoltaici e solari termici.

Questi parametri atmosferici sono rilevati tramite le stazioni meteorologiche localizzate nelle diverse zone geografiche; i dati raccolti vengono poi elaborati tenendo conto di successioni molto ampie di dati, arrivando ad avere un campione statistico rappresentativo. I dati, divisi per Comune, sono reperibili presso i vari istituti di rilevamento (come il Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici, l'Ufficio Centrale di Meteorologia del Ministero dell'Agricoltura, il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, l'Enea, ecc.).

I dati raccolti ed elaborati da Enea, costituenti l'Atlante solare italiano, sono divisi per Comune e riguardano:

- I valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna;
- Le coordinate geografiche dei capoluoghi di provincia (altitudine, latitudine, longitudine);
- L'irradiazione solare giornaliera media mensile diretta e diffusa sul piano orizzontale;
- L'irradiazione solare globale su superficie verticale esposta a Sud, a Est-Ovest, a Nord-Ovest e Nord-Est, Nord;
- La velocità giornaliera del vento su media annuale con direzione prevalente;
- La temperatura dell'aria;

In particolare i dati climatici nel nostro caso sono stati ricavati dall'Atlante solare Enea per il sito di Monte Mario (distante qualche km dall'edificio di riferimento) e sono stati integrati con i dati ricavabili dalla stessa stazione di rilevamento.

In tabella sono riportati i valori climatici di Monte Mario riportati nell'Atlante solare Enea. Si usano le seguenti definizioni:

- *Tn, Tmed, Tx*: temperatura minima, media, massima;
- *med, estr*: medio, estremo;
- *G*: giorni;
- *ser, piov*: sereni, piovosi;
- *V*: velocità del vento;
- *UR*: umidità relativa

	<i>Gen</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Apr</i>	<i>Mag</i>	<i>Giu</i>	<i>Lug</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Ott</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Ann</i>
<i>Tn,med</i>	4	4.7	6.1	9	12.6	16.3	18.8	18.8	16.2	12	8.4	4.9	11
<i>Tn,estr</i>	-1.8	-1.6	-1	3.8	8.2	11.4	14.8	14.6	11.4	6.4	1.8	-0.3	-1.8
<i>Tx,med</i>	10.9	12	14.2	17.7	22.1	26.1	29.3	28.9	25.1	20.1	15.2	11.6	19.4
<i>Tx,estr</i>	15.2	16	19.5	23.2	27.4	31.2	33.6	34.2	30	25.4	20	16	34.2
<i>Tmed</i>	7.5	8.4	10.1	13.4	17.3	21.2	24	23.9	20.6	16	11.8	8.3	15.2
<i>Profilo</i>	1	1	2	2	3	3	4	4	3	3	2	1	
<i>Radiaz</i>	7.1	9.8	14.2	17.7	21.9	23.6	23.7	20.6	15.8	11.5	7.6	5.7	5464
<i>Nuvol</i>	6	6	6	5	5	4	2	3	4	4	6	6	4.8
<i>G ser</i>	12	12	13	13	15	17	24	22	19	17	12	12	188
<i>Precip</i>	81	66	68	55	46	37	17	37	74	79	113	93	766
<i>G piov</i>	9	9	8	7	6	4	2	3	5	7	10	9	79
<i>UR min</i>	66	63	60	58	56	53	48	50	57	62	69	69	48
<i>UR max</i>	82	82	80	78	76	74	69	71	78	81	84	83	84

Dalla stazione meteo di Monte Mario sono state inoltre ricavate ulteriori informazioni riguardanti gli ultimi anni: i valori dal 2004 al 2008.

I dati sono del seguente formato:

		<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Med</i>
Gennaio 2008	<i>Temperatura</i>	15.6 °C	0.7 °C	9.1 °C
	<i>Punto di rugiada</i>	12.7 °C	-10.0 °C	3.4 °C
	<i>Umidità</i>	98.00%	28.00%	69.90%
	<i>Velocità del vento</i>	24.1km/h from the SSE	-	2.7km/h
	<i>Raffiche di vento</i>	24.1km/h from the SSE	-	-
	<i>Vento</i>	-	-	SE
	<i>Pressione</i>	1031.7hPa	615.9hPa	
	<i>Precipitazioni</i>	56.1mm		

I dati utilizzati per la simulazione oraria sono riportati nella seguente tabella:

	<i>Gen</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Apr</i>	<i>Mag</i>	<i>Giu</i>	<i>Lug</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Ott</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
<i>Temperatura</i>	6.12	8.48	10	14.18	18.74	21.9	26.98	23.68	20.48	18.98	11.86	8.4
<i>Punto di rugiada</i>	0.68	2.2	3.02	6.74	10.04	12.24	12.42	14.54	11.68	11.48	6.62	3.58
<i>Umidità %</i>	66.8	67.7	64.0	63.72	60.98	57.5	45.46	61.86	60.26	66.26	72.82	71.4

A3: ACQUISIZIONE DATI SUI CONSUMI DI COMBUSTIBILE ED ELETTRICI DEGLI ULTIMI ANNI

7 - ACQUISIZIONE DATI SUI CONSUMI DI COMBUSTIBILE ED ELETTRICI DEGLI ULTIMI ANNI

Sono stati analizzati i consumi energetici dell'edificio per i diversi usi.

In particolare sono state acquisite le bollette relative ai consumi elettrici (anno 2008) e di gas per riscaldamento (anno 2005) e acqua calda sanitaria per i servizi mensa (anno 2008).

7.1 – RISCALDAMENTO

Attualmente la fornitura di gas metano per il Convitto Nazionale è effettuata da Italgaspiù, società del gruppo ENI spa. Dall'analisi delle bollette, emesse dalla società distributrice, è stato estrapolato il consumo mensile di gas per il riscaldamento del complesso scolastico e per l'acqua calda sanitaria consumata dai convittori. In particolare si riportano di seguito i dati relativi ai consumi di gas come da estrapolazione delle bollette relative all'anno solare 2005:

Consumi gas 2005	Riscaldamento + ACS Convitto	
	MC	Costo (€)
Dicembre	32.389	23.092
Novembre	8.987	6.416
Ottobre	1.224	298
Settembre	1.224	298
Agosto	4.900	2.917
Luglio	Bolletta assente	
Giugno	Bolletta assente	
Maggio	1.974	1.448
Aprile	16.168	10.568
Marzo	31.998	20.467
Febbraio	32.595	19.955
Gennaio	37.860	24.645
	169.319	110.104
Consumo medio mensile	16.931,9	
Consumo estrapolato annuo	203.183	€ 132.124,80
Costo medio gas	0,65 €/mc	

PCI GAS naturale 9,60 kWh/mc

Al fine di individuare le potenzialità degli interventi di efficientamento energetico, di seguito proposti, si è reso necessario estrapolare i consumi di gas naturale relativi al solo riscaldamento.

A tal fine sono stati esaminati i dati relativi ai consumi di gas nei mesi in cui non viene attivato l'impianto di riscaldamento (Maggio, Settembre, Ottobre, escludendo il mese di Agosto essendo riportato in bolletta un consumo anomalo di molto superiore alla media). Inoltre, non essendo le bollette in oggetto basate su letture di consumi reali ma di consumi stimati da parte della Società distributrice, i dati fatturati sono stati confrontati con i dati forniti da ENEA sui consumi di ACS relativi alla stessa destinazione d'uso.

Si riporta di seguito la tabella utilizzata per individuare i consumi medi annui di ACS:

da bollette

- consumo medio mensile kWh 14150,40
- Consumo energetico annuo estrapolato 169.804,80 kWh/anno
- Consumo termico 106.977,02 kWh/anno

da dati ENEA

- numero stanze/punti di prelievo ACS kWh 71,00
- Consumo termico stimato procapite giornaliero 3,84 kWh/stanza/giorno
- Consumo energetico stimato annuo 157.958,10 kWh/anno
- Consumo termico annuo stimato 99.513,60 kWh/anno

Come si evince dalle precedenti tabelle, il consumo termico per ACS medio stimato utilizzando i dati medi di letteratura riportati da ENEA, coincide con i dati estrapolati dalle bollette del gas relative ai soli valori medi di Maggio, Settembre e Ottobre.

In particolare dalle bollette si ottiene un consumo termico annuo pari a 106.977 kWh/anno,

Sottraendo dai consumi anni di gas i consumi di acqua calda sanitaria, è stato stimato il consumo medio annuo per il solo riscaldamento:

- consumo energetico per solo riscaldamento estrapolato annuo 1.780.750,08 kWh
- consumo energetico estrapolato annuo per riscaldamento 185.494,80 mc

La tariffa media annua con cui viene fornito il gas metano per usi civili (riscaldamento e ACS) è regolata dalla Condizioni economiche di fornitura secondo Delibera AEEG n. 138/03 e successive modifiche ed integrazioni.

In particolare, visti i consumi medi annui di 203.000 mc, desunti dalle bollette di Italgaspiù relative all'anno 2005, sono state individuate le seguenti componenti tariffarie

- Totale tariffa di vendita media annua: 0,32 €/mc
- Imposta a consumo (accisa): 0,186 €/mc
- Addizionale regionale: 0,0309 €/mc
- I.V.A.: 20%

7.2 - CONSUMO GAS MENSA

La Italgaspiù fornisce, con diverso punto di consegna e quindi diversa contabilizzazione, anche il gas per i consumi giornalieri della mensa a servizio della struttura scolastica. La tabella seguente ne fornisce un riepilogo.

Consumi gas mensa 2008

Mc *costo [€]*

<i>Dicembre</i>	519	463
<i>Novembre</i>	1.046	1.034
<i>Ottobre</i>	1.511	1.408
<i>Settembre</i>	138	136
<i>Agosto</i>	236	211
<i>Luglio</i>	176	151
<i>Giugno</i>	750	657
<i>Maggio</i>	552	450
<i>Aprile</i>	940	764
<i>Marzo</i>	938	774
<i>Febbraio</i>	953	802
<i>Gennaio</i>	661	562

7.3 - CONSUMI ELETTRICI

La fornitura di energia elettrica al complesso scolastico è effettuata da ACEA in bassa tensione con una potenza impegnata pari a 280 kW e una potenza massima disponibile pari a 350 kW.

I consumi annui di energia elettrica sono stati estrapolati dalla bollette emesse da ACEA nell'anno 2008, con cadenza mensile.

In particolare, poiché non tutte le fatture presentano letture dei consumi reali, è stato stimato un consumo medio anno, valutando le letture effettuate il 14 Gennaio del 2008 e il 15 Settembre 2008, come indicato di seguito:

Anno 2008

14 Gennaio: lettura 12.803

15 Settembre: lettura 13.995

Differenza: 1.192

Costante: 200

Energia consumata [kWh]: 238.400

Costo [€]: 45.236,10

- Consumo mensile: 26.488,89 kWh
- Consumo annuo estrapolato: 317.866,67 kWh
- Costo energia elettrica anno: 60.314,80 €
- Costo specifico energia elettrica: 0,19 €/kWh

Come si evince dalle precedenti tabelle, il Complesso Scolastico presenta un consumo annuo pari a circa 318.000 kWh con un costo annuo di circa 60.300 € e un costo specifico di 0,19 €/kWh.

E' stato valutato il consumo medio di energia elettrica nei mesi di Giugno, Luglio e Agosto al fine di stimare le potenzialità degli interventi di efficientamento energetico per la climatizzazione estiva e stimare i nuovi consumi elettrici dovuti all'utilizzo della struttura come scuola estiva.

I consumi elettrici estivi sono stati estrapolati come si evince dalla seguente tabella:

14 Luglio: 13.856

15 Settembre: 13.995

Differenza: 139

Costante: 200

Energia consumata [kWh]: 27.800

- Consumo medio mensile estivo attuale: 13.900 kWh
- Totale consumo estivo stimato: 41.700 kWh
- Consumo estivo previsto per scuola estiva (*fattore moltiplicativo 2*): 83.400 kWh

Attualmente dalle letture effettuate da ACEA e riportate in bolletta si stima un consumo medio estivo (Da Giugno ad Agosto) pari a 41.700 kWh; prevedendo un raddoppio dei consumi dovuti al futuro utilizzo della struttura come scuola estiva, si stima un futuro prelievo dalla rete ACEA nei tre mesi estivi per 83.400 kWh.

B1: DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO IN UN MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE

8 - DESCRIZIONE MODELLO

La simulazione dello stato attuale e lo studio degli scenari di intervento descritti in seguito, è stata effettuata mediante un modello di simulazione dinamica.

Il modello permette di valutare il comportamento dell'edificio in funzione delle condizioni climatiche del sito (irraggiamento solare, temperatura esterna, umidità relativa, etc.) e delle esigenze dell'utenza (destinazione d'uso e profili di utilizzo). Inoltre, a differenza dei modelli standard che basano i risultati su valutazioni condotte per alcuni giorni significativi, rappresentativi di un intero anno, il modello dinamico consente la determinazione delle prestazioni energetiche dell'edificio per ogni ora del giorno e per un anno intero.

È stato calcolato il fabbisogno termico attuale dell'edificio in funzione delle condizioni climatiche, delle caratteristiche fisiche, strutturali e geometriche dell'edificio e degli apporti termici gratuiti (determinati in base a profili medi di consumo) dovuti alle persone presenti e al loro livello di attività, agli apparecchi per illuminazione e alle apparecchiature elettriche in funzione.

Inoltre il modello ha permesso lo studio di scenari di intervento per ridurre il fabbisogno termico annuo e rispettare i parametri della normativa in vigore, verificando le diverse soluzioni a livello di involucro (diverse tipologie di infissi), a livello impiantistico (impianti di generazione di energia termica e impianto di distribuzione) e a livello gestionale (sistemi di gestione e controllo).

I dati inseriti nel modello sono elencati di seguito:

- **caratteristiche tipologiche dell'edificio**
 - Volume lordo dell'ambiente climatizzato;
 - Volume interno dell'ambiente climatizzato;
 - Superficie utile dell'ambiente climatizzato;
 - Superficie di tutti i componenti dell'involucro e della struttura edilizia;
 - Orientamenti di tutti componenti dell'involucro;
 - Caratteristiche geometriche di tutti gli elementi esterni (altri edifici, aggetti, etc..) che ombreggiano i componenti trasparenti dell'involucro edilizio;

- **caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio**
 - Trasmittanze termiche dei componenti dell'involucro edilizio;
 - Capacità termiche areiche dei componenti della struttura dell'edificio;
 - Trasmittanza di energia solare totale (Fattore solare) dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio;
 - Fattori di riduzione della trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio in presenza di schermature mobili;
 - Fattori di riduzione dovuti al telaio dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio;

- **dati climatici**
 - Medie mensili delle temperature esterne;
 - Irradianza solare totale media mensile sul piano orizzontale;
 - Irradianza solare diretta, diffusa e totale media mensile per ciascun orientamento;

- **dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio**
 - Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento;
 - Temperatura interna di regolazione per il raffrescamento;
 - Il numero di ricambi d'aria;
 - Il tipo di ventilazione (aerazione, ventilazione naturale, ventilazione artificiale);
 - Il tipo di regolazione della portata di ventilazione (costante, variabile);

- La durata del periodo di riscaldamento;
- La durata del periodo di raffrescamento;
- Il regime di funzionamento dell'impianto di climatizzazione;
- Le modalità di gestione delle chiusure oscuranti;
- Le modalità di gestione delle schermature mobili;
- Gli apporti di calore interni;

B2: VERIFICA E TARATURA DEL MODELLO

9 – IPOTESI SEMPLIFICATIVE

Sono state formulate alcune ipotesi semplificative relative alla gestione degli impianti termici, al profilo di utilizzo di ciascun ambiente e agli apporti interni di potenza termica gratuiti (per illuminazione artificiale e affollamento). Il confronto fra dati rilevati (monitoraggi e serie storiche di consumi) e dati calcolati ha consentito di tarare il modello modificando i parametri più sensibili e di più difficile rilevazione.

Il complesso scolastico, ricadendo nel comune di Roma, si trova in zona climatica D, per cui, secondo il DPR 412/93 il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento è consentito per 12 ore al giorno dal 1° Novembre al 15 Aprile; tale periodo è stato considerato nella simulazione dinamica per il calcolo dei consumi energetici.

9.1 - PROFILO DI UTILIZZO

In funzione dell'attività svolta da ciascun individuo, il corpo umano scambia energia con l'ambiente sottoforma di calore, apportando al bilancio energetico orario di ciascun ambiente un flusso termico positivo (guadagno gratuito) nei mesi invernali negativo (carico interno) nei mesi estivi.

Al fine di calcolare l'effettivo fabbisogno termico degli ambienti simulati e le relative temperature in presenza e in assenza di affollamento (come da profilo di utilizzo), è stata associato a ciascun studente, professore e membro del personale un flusso termico medio pari a 100 W corrispondente ad una attività moderata.

L'affollamento medio totale del complesso scolastico è di circa 1200 unità al giorno (studenti e personale) con inizio dell'attività scolastica **alle ore 8.00 e termine alle ore 13.00. Dalle ore 13.00 alle ore 17.30 si svolge attività di Semiconvitto**, e gli alunni sono affidati agli educatori (mensa ore 13.00-14.00; ricreazione ore 14.00-15.00; studio guidato ore 15.00-17.30).

Ciascuna classe è occupata mediamente da 25 alunni con il seguente profilo d'utilizzo :

- *profilo utilizzo aule: dalle 8.00 alle 13.00 e dalle 14.00 alle 17.30*

Nello studio energetico è stato considerato un apposito profilo di utilizzo delle zone adibite a dormitorio al fine di poter calcolare i relativi apporti termici dovuti all'affollamento e all'illuminazione della camere. Come da sopralluogo effettuato, ogni stanza è occupata da un solo convivente per un totale di 71 stanze da letto di cui 60 presenti nei piani secondo, terzo e quarto della zona 1 e 10 presenti al terzo piano della zona 2 e zona 3

- *profilo utilizzo dormitori: dalle 18.00 alle 8.00*

L'attività principale svolta nella zona 3 è quella di mensa e refettorio, occupato dagli studenti per un ora al giorno con un affollamento medio di 300 persone secondo il seguente diagramma:

- *profilo utilizzo refettorio: dalle 13.00 alle 14.00*

Il calcolo del flusso termico apportato dall'illuminazione artificiale è stato effettuato considerando che in ciascun ambiente del complesso scolastico sono installate corpi illuminanti ad alta efficienza

energetica (fluorescenti tubolari 18 W – 36 W) a cui è associato un flusso termico verso gli ambienti illuminati pari a 5 W/mq. Per il calcolo dell'apporto termico totale in ciascuna zona si è considerato un profilo orario di accensione delle lampade come di seguito indicato e una superficie illuminata pari alla superficie calpestabile.

E' stato ipotizzato per l'illuminazione delle aule e per il refettorio lo stesso profilo di utilizzo relativo all'affollamento mentre per i dormitori si è considerato un orario di accensione delle lampade nelle stanze, corridoi e sale giochi dalle 18:00 alle 24:00 secondo il seguente diagramma orario giornaliero:

- *profilo illuminazione camere: dalle 18.00 alle 24.00*

9.2 - EFFICIENZA IMPIANTO TERMICO

Per determinare i consumi di energia primaria in termini di combustibile per il riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria occorre valutare il valore del rendimento globale medio stagionale η dell'impianto termico pari al prodotto dei seguenti singoli rendimenti:

- **rendimento termico utile di un generatore di calore η_p** : è il rapporto tra la potenza termica utile e la potenza termica del focolare, fornita dal costruttore o misurata durante i controlli periodici di manutenzione della caldaia come stabilito dalla normativa vigente.
- **rendimento di regolazione η_r** : è il rapporto tra il fabbisogno energetico utile di riscaldamento degli ambienti con una regolazione teorica perfetta e quello richiesto per il riscaldamento degli stessi ambienti con la regolazione reale. Tiene conto del fatto che un sistema di regolazione che non risponde accuratamente e velocemente alla richiesta di energia genera oscillazioni di temperatura all'interno dell'ambiente che causano incrementi di scambi termici per trasmissione e ventilazione verso l'esterno. Il valore di questo rendimento dipende dalla qualità dei dispositivi di regolazione e dall'adeguatezza del sistema alle caratteristiche dell'impianto e dell'edificio e può essere determinato facendo riferimento ad apposite tabelle fornite dalla norma UNI 10348.
- **rendimento di distribuzione η_d** : è il rapporto tra l'energia termica globale richiesta dalle varie zone dell'edificio e quella immessa nella rete. non disponendo di dati precisi sullo stato della rete di distribuzione ci si può riferire ai valori riportati nella tabella fornita dalla norma UNI 10348 per diverse tipologie di sistema edificio-impianto.
- **rendimento di emissione η_e** : è il rapporto tra il fabbisogno energetico utile di riscaldamento degli ambienti con un sistema di emissione di riferimento in grado di fornire una temperatura interna perfettamente uniforme e uguale nei vari ambienti e il sistema di emissione reale nelle stesse condizioni di temperatura interna di riferimento e di temperatura esterna. L'efficienza di emissione caratterizza l'influenza che esercita il tipo di scambio termico che si instaura tra il terminale di erogazione e l'ambiente interno. Il rendimento di emissione tiene perciò conto delle disuniformità di temperatura che vengono introdotte all'interno del volume riscaldato e del conseguente accrescimento delle dispersioni termiche. I valori convenzionali da assumere sono ancora riportati dalla norma UNI 10348.

Nel presente studio energetico sono stati assunti e stimati i seguenti valori per le grandezze prima descritte:

rendimento termico utile del generatore di calore:

La fornitura dell'energia termica all'edificio è effettuata con due caldaie installate aventi una potenza termica utile rispettivamente pari a 1078 kWt (installata nel 1991) e a 1198 kWt (installata nel 1992). Come già detto, nelle operazioni di controllo e manutenzione effettuate ai sensi dell'Allegato L c.5 del Dlgs 192/05 e smi, e dal controllo, effettuato in data 28 Marzo 2008, emerge un rendimento di combustione delle due caldaie pari rispettivamente al 85.4% e del 87.3%.

Secondo le recenti misure sulla combustione delle caldaie, si assume per lo studio energetico in oggetto un rendimento medio utile delle due caldaie pari all' 86%.

rendimento di regolazione η_r :

Facendo riferimento alle tabelle fornite dalla UNI 10348 per impianti centralizzati e distribuzione con radiatori si assume un rendimento di regolazione convenzionale pari al 96 %

rendimento di distribuzione η_d :

Seguendo il prospetto IV (tipo edificio b) della UNI 10348:

Rendimento di distribuzione stimato per edificio di tipo "b" (edificio nel quale le colonne montanti ed i raccordi con i terminali di erogazione sono situati in traccia nelle tamponature esterne, e le tubazioni orizzontali che collegano la centrale termica alle colonne montanti sono disposte nell'interrato) con altezza superiore compresa tra 15 e 25 m e volume lordo superiore a 20.000 mc: rendimento di distribuzione pari a 87%.

rendimento di emissione η_e :

Impianto a radiatori: rendimento di emissione 0,96 (secondo prospetto III UNI 10348)

Per lo studio energetico si è considerato quindi un rendimento medio globale stagionale (η) dell'impianto termico pari a : $\eta = 0,86*0,96*0,87*0,96 = 0,69$

9.3 - GESTIONE CALDAIE

Per la simulazione energetica dello stato attuale si è reso necessario stabilire la modalità di gestione della caldaia in termini di ore di accensione giornaliera e regolazione della potenza generata al variare del carico termico dell'edificio.

In particolare, anche a seguito delle indicazioni fornite dall'ufficio tecnico, si è ipotizzata la seguente gestione dell'impianto termico:

Intervallo giornaliero di accensione dell'impianto termico:

Il DPR 412/92 impone un numero di ore massimo di accensione giornaliero degli impianti centralizzati in funzione della zona climatica. Per la zona climatica D (Roma), la normativa vigente impone un numero massimo di accensione giornaliero delle caldaie pari a 12 ore.

In funzione delle informazioni acquisite per lo studio energetico si è assunto il seguente diagramma di accensione giornaliero:

- Intervallo accensione giornaliero impianto termico: dalle 6.00 alle 10.00 e
dalle 18.00 alle 23.00

9.4 - MODULAZIONE DELL'IMPIANTO TERMICO

In funzione delle informazioni acquisite sono stati individuati due distinti periodi di gestione dell'impianto termico. In particolare, nei primi due mesi dell'anno vengono accese entrambe le caldaie secondo il diagramma giornaliero prima indicato . In questo periodo la caldaia da 1198 kWt viene modulata con regolazione climatica in funzione della temperatura esterna. La caldaia può modulare fino al 20% della sua potenza termica utile.

Nei mesi di Marzo e Aprile, compresi tutti i fine settimana dell'intera stagione di riscaldamento, viene accesa solo la caldaia non modulante da 1078 kWt che, dalle informazioni tecniche acquisite, viene utilizzata anche per la produzione di acqua calda sanitaria.

10 – CONDIZIONI DI COMFORT CLIMATICO

Al fine di definire i parametri dell'ambiente interno che influiscono sulla prestazione energetica dell'edificio, si è ricorso all'utilizzo della norma **UNI EN 15251:2008** che stabilisce i "Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, dell'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica".

Vengono specificate le modalità per definire dei parametri di input relativi all'ambiente interno da utilizzare per la valutazione dell'edificio e per i calcoli della prestazione energetica; la definizione dei parametri si riferisce a condizioni normali di utilizzo (Categoria II).

10.1 – TEMPERATURE

I valori delle temperature interne di progetto, saranno utilizzati per il calcolo dei carichi termici per riscaldamento e per raffrescamento e per il dimensionamento degli impianti.

Vengono utilizzati i seguenti valori di set point:

Tipologia	Categoria	Temperatura operativa (°C)	
		Inverno (1,0 clo)	Estate (0,5 clo)
<i>Sala conferenze</i> – <i>Auditorium – Aula</i> – <i>Ufficio singolo</i> - <i>Mensa</i>	II	20	26
<i>Alloggi e dormitori</i>	II	20	26

10.2 – VENTILAZIONE

Per la determinazione della qualità dell'aria interna si è considerata l'influenza legata all'emissione delle persone ed alla loro attività e all'emissione dei materiali che costituiscono le finiture interne degli ambienti. I ricambi d'aria richiesti per ottenere una buona qualità dell'ambiente interno e per la determinazione dei carichi termici sono stati calcolati considerando un ricambio d'aria minimo durante le ore di non occupazione, in funzione dei mq della zona.

La tabella successiva illustra i risultati ottenuti:

Ambiente	DATI EDIFICIO			DATI VENTILAZIONE			
	Volume	Superficie	Affollamento	Portata 1 *	Ricambi d'aria	Portata 2**	Ricambi d'aria – no occupazione
	(mc)	(mq)	N° di pers.	(mc/h)	(l/h)	(mc/h)	(l/h)
Z1_T_S - Aule	4128.9	897.58	180.00	4529.90	1.37	484.69	0.15
Z1_T_N- Aule	1295.4	281.60	0.00	709.63	0.68	152.06	0.15
Z2_T_O - Ufficio	3723.8	809.52	0.00	2039.99	0.68	437.14	0.15
Z2_T_E - Ufficio	1653.0	359.34	0.00	905.54	0.68	194.04	0.15
Z3_T_S - Rist	3021.6	656.88	200.00	5183.34	2.14	354.72	0.15
Z 3_T_N - Rist/Cuc	2969.8	645.60	100.00	3390.91	1.43	348.62	0.15
Z4_T_N - Lavand.	1950.4	424.00	0.00	1068.48	0.68	228.96	0.15
Z1_1_S - Aule	4667.4	897.58	120.00	3773.90	1.01	484.69	0.13
Z1_1_N - Aule	1459.7	280.72	0.00	707.41	0.61	151.59	0.13
Z2_1_O - Aule	3723.8	809.52	50.00	2669.99	0.90	437.14	0.15
Z2_1_E - Aule	1868.6	359.34	0.00	905.54	0.61	194.04	0.13
Z3_1_S - Aule	3415.8	656.88	150.00	3545.34	1.30	354.72	0.13
Z3_1_N - Aule	3286.4	632.00	60.00	2348.64	0.89	341.28	0.13
Z4_1_N - Aule	2204.8	424.00	20.00	1320.48	0.75	228.96	0.13
Z1_2_S – Dorm.	1810.6	548.68	10.00	2227.25	1.54	296.29	0.20
Z1_2_N – Dorm.	926.4	280.72	10.00	1262.59	1.70	151.59	0.20
Z P_2_S -	1725.7	359.52	0.00	1294.27	0.94	194.14	0.14

Abitaz.							
Z2_2_O - Ufficio	2837.6	591.16	11.00	1517.44	0.67	319.23	0.14
Z2_2_E - Ufficio	1724.8	359.34	0.00	905.54	0.66	194.04	0.14
Z3_2_S - Aule	3787.6	789.08	200.00	4508.48	1.49	426.10	0.14
Z3_2_N - Aule	1753.2	365.24	0.00	920.40	0.66	197.23	0.14
Z4_2_N - Palestra	1404.3	292.56	0.00	737.25	0.66	157.98	0.14
Z1_3_S - Dorm.	3489.2	548.00	26.00	2628.00	0.94	295.92	0.11
Z1_3_N - Dorm.	1785.2	283.36	25.00	1650.10	1.16	153.01	0.11
ZP_3_S - Preside	1725.7	359.52	0.00	1294.27	0.94	194.14	0.14
Z2_3_O - Sala riun	2837.6	591.16	10.00	1615.72	0.71	319.23	0.14
Z2_3_E - Sala riun	1724.8	359.34	0.00	905.54	0.66	194.04	0.14
Z3_3_S - Sala riun	3787.6	789.08	20.00	2240.48	0.74	426.10	0.14
Z3_3_N - Sala riun	1753.2	365.24	0.00	920.40	0.66	197.23	0.14
Z4_3_N - Magazz	1404.3	292.56	0.00	737.25	0.66	157.98	0.14
* Portata 1: ricambi d'aria durante il periodo di utilizzo degli ambienti -							
** Portata 2: ricambi d'aria durante il periodo di non utilizzo degli ambienti							

I ricambi d'aria presentati nella tabella precedente vengono utilizzati per la simulazione della prestazione energetica dell'edificio; le portate d'aria durante le ore di utilizzo (portata 1) dei locali si considerano garantite dall'apertura manuale degli infissi da parte degli utenti mentre nel periodo di non utilizzo, il ricambio d'aria richiesto (portata 2) è garantito dalla portata d'aria per infiltrazione attraverso l'involucro, calcolata secondo le indicazioni date dalla UNI EN 12831:2006 "Impianti di riscaldamento degli edifici – Metodo di calcolo del carico termico di progetto"; questo requisito è soddisfatto sia con gli infissi esistenti sia nel caso di sostituzione degli stessi con infissi a maggiore tenuta all'aria come indicato dalla seguente tabella.

Ambiente	Volume	INFISSI ESISTENTI		NUOVI INFISSI	
		Portata d'aria	Ricambi d'aria	Portata d'aria	Ricambi d'aria
		(mc/h)	(l/h)	(mc/h)	(l/h)
	(mc)				
Z1_T_S - Aule	4128.9	1189.11	0.36	594,56	0.18
Z1_T_N - Aule	1295.4	373.06	0.36	186,53	0.18
Z2_T_O - Ufficio	3723.8	1072,45	0.36	536,23	0.18
Z2_T_E - Ufficio	1653.0	476,05	0.36	238,03	0.18
Z3_T_S - Rist	3021.6	870,23	0.36	435,12	0.18
Z3_T_N - Rist/Cuc	2969.8	855,29	0.36	427,65	0.18
Z4_T_N - Lavand.	1950.4	561,72	0.36	280,86	0.18
Z1_1_S - Aule	4667.4	1344,22	0.36	672,11	0.18
Z1_1_N - Aule	1459.7	420.41	0.36	210,20	0.18
Z2_1_O - Aule	3723.8	1072,45	0.36	536,23	0.18
Z2_1_E - Aule	1868.6	538,15	0.36	269,07	0.18
Z3_1_S - Aule	3415.8	983,74	0.36	491,87	0.18
Z3_1_N - Aule	3286.4	946,48	0.36	473,24	0.18
Z4_1_N - Aule	2204.8	634,98	0.36	317,49	0.18
Z1_2_S - Dorm.	1810.6	521,47	0.36	260,73	0.18
Z1_2_N - Dorm.	926.4	266,80	0.36	133,40	0.18
ZP_2_S - Abitaz.	1725.7	497,00	0.36	248,50	0.18
Z2_2_O - Ufficio	2837.6	817,22	0.36	408,61	0.18
Z2_2_E - Ufficio	1724.8	496,75	0.36	248,38	0.18
Z3_2_S - Aule	3787.6	1090,82	0.36	545,41	0.18
Z3_2_N - Aule	1753.2	504,91	0.36	252,45	0.18
Z4_2_N - Palestra	1404.3	404,43	0.36	202,22	0.18
Z1_3_S - Dorm.	3489.2	1004,89	0.36	502,44	0.18
Z1_3_N - Dorm.	1785.2	514,13	0.36	257,06	0.18

ZP_3_S - Preside	1725.7	497,00	0.36	248,50	0.18
Z2_3_O - Sala riun	2837.6	817,22	0.36	408,61	0.18
Z2_3_E - Sala riun	1724.8	496,75	0.36	248,38	0.18
Z3_3_S - Sala riun	3787.6	1090,82	0.36	545,41	0.18
Z3_3_N - Sala riun	1753.2	504,91	0.36	252,45	0.18
Z4_3_N - Magazz	1404.3	404,43	0.36	202,22	0.18

C1: PROGETTAZIONE DI MASSIMA E STIMA ECONOMICA DI INTERVENTI

11 - SIMULAZIONE ENERGETICA STATO ATTUALE

Le prestazioni energetiche dell'involucro dell'edificio e dell'impianto termico allo stato attuale sono state valutate mediante il modello di simulazione dinamica descritto precedentemente.

La simulazione dell'edificio durante l'anno climatico caratteristico ha consentito di evidenziare i problemi relativi al comfort termico degli occupanti e ai consumi energetici che si verificano nelle diverse stagioni. Inoltre, da un'analisi critica dei risultati ottenuti con le simulazioni, ma anche dai rilievi ambientali, è stato possibile individuare gli interventi più opportuni per correggere i disagi e per rendere più efficiente il sistema.

11.1 - DISTRIBUZIONE POTENZA TERMICA UTILE

Per la simulazione energetica dello stato attuale è stato necessario individuare la distribuzione della potenza termica utile installata nelle diverse zone del complesso scolastico come indicato nei paragrafi precedenti. Per ciascun ambiente in cui è stata suddivisa ognuna delle tre zone termiche, sono stati individuati il numero e il tipo di radiatore con il relativo numero di elementi.

Per individuare la potenzialità termica di ciascun radiatore, sono state individuate le dimensioni degli stessi (altezza e profondità) in modo da rapportare il numero degli elementi di ciascun radiatore ad un radiatore di riferimento: altezza 0,7 m – profondità 0,2 m.

In questo modo si è ottenuto un numero fittizio di elementi per tipo di radiatore e per zona termica, utile per il calcolo della percentuale di potenza termica installata e distribuita alla stessa zona.

- Caldaia 1 (non parzializza) 1078 kW
- Caldaia 2 parzializzata 1198 kW
- Totale potenza termica installata **2276 kW**

Zona 1

<i>Tipo radiatore</i>									
<i>Altezza (m)</i>	1,1	0,7	0,6	0,3	0,7	0,6	0,9		
<i>Profondità (m)</i>	0,2	0,2	0,06	0,3	0,1	0,14	0,14	<i>Totale elementi</i>	<i>% load</i>
Z1ts	132	18						143,45	18,63
Z1tn	39							39,00	5,07
Z11s	143	12						150,64	19,57
Z11n	60							60,00	7,79
Z12s			242					39,60	5,14
Z12n			174					28,47	3,70
Z13s					300			95,45	12,40
Z13n	21				236			96,09	12,48
Zp2s	50				27			58,59	7,61
Zp3s	50				27			58,59	7,61
<i>Totale elementi zona 1</i>								769,89	

<i>Potenza termica zona 1</i>	658,95 kW
<i>Percentuale carico termico zona 1</i>	28,95%

Zona 2

<i>Tipo radiatore</i>									
<i>Altezza (m)</i>	1,1	0,7	0,6	0,3	0,7	0,6	0,9		
<i>Profondità (m)</i>	0,2	0,2	0,06	0,3	0,1	0,14	0,14	<i>Totale elementi</i>	<i>% load</i>
Z2to	92	26						108,55	13,47
Z2te	61							61,00	7,57
Z21o	58	184						175,09	21,27
Z21e	59							59,00	7,32
Z22o	101							101,00	12,53
Z22e	85							85,00	10,55
Z23o	75	76						123,36	15,31
Z23e	93							93,00	11,54
Totale elementi zona 2								806,00	
Potenza termica zona 2								689,86 kW	
Percentuale carico termico zona 1								30,31%	

Zona 3

<i>Tipo radiatore</i>									
<i>Altezza (m)</i>	1,1	0,7	0,6	0,3	0,7	0,6	0,9		
<i>Profondità (m)</i>	0,2	0,2	0,06	0,3	0,1	0,14	0,14	<i>Totale elementi</i>	<i>% load</i>
Z3ts	106	22						120,00	11,08
Z3tn	24	88						80,00	7,38
Z31s	103							103,00	9,51
Z31n	68	119						143,73	13,27
Z32s	111			63				136,77	12,63
Z32n	60							60,00	5,54
Z33s	133					45	12	157,05	14,50
Z33n	36							36,00	3,32
Z4tn	50							50,00	4,62
Z41n	76							76,00	7,02
Z42n	8	64						48,73	4,50
Z43n	72							72,00	6,65
Totale elementi zona 3								1083,28	
Potenza termica zona 1								927,19 kW	
Percentuale carico termico zona 1								40,74%	

11.2 - RISULTATI DELLA SIMULAZIONE DINAMICA

Le prestazioni dell'involucro sono state determinate quindi in termini di "domanda di energia" (quantità di energia **al netto del rendimento degli impianti** richiesta per mantenere le condizioni

ambientali richieste in estate ed in inverno). I risultati del calcolo sono riportati nelle tabelle che seguono.

		<i>Zona 1</i>	<i>Zona 2</i>	<i>Zona 3</i>	<i>TOTALE</i>	<i>Da Bolletta 2005</i>
<i>Energia primaria riscaldamento</i>	<i>kWh</i>	528.969,37	597.884,08	804.489,96	1.931.343,40	1.780.750,08
<i>Gas riscaldamento</i>	<i>mc</i>	55.100,98	62.279,59	83.801,04	201.181,60	185.494,80
<i>Distribuzione dei consumi</i>	<i>%</i>	27,39	30,96	41,65	100,00	
<i>Scostamento dalla bolletta 2005</i>	<i>%</i>				8,46	

Come si evince dalla precedente tabella di sintesi, la simulazione dinamica restituisce per il periodo di riscaldamento un consumo annuo di energia primaria, calcolata con il rendimento globale d'impianto, appena superiore dell'8,46% rispetto al dato estrapolato da Bolletta del gas del 2005. Lo scostamento rispetto al consumo stimato da bolletta è dovuto essenzialmente alle condizioni meteo considerate in fase di simulazione riferite a una media storica di diversi anni (anno caratteristico), mentre i consumi da bolletta fanno riferimento, ovviamente, ad un anno specifico.

11.3 - CRITICITÀ

La simulazione dell'edificio durante l'anno climatico caratteristico ha consentito di evidenziare alcuni problemi legati sia ai consumi energetici sia a condizioni di discomfort ambientale da parte degli occupanti.

In particolare oltre alla ridotta efficienza delle due caldaie, ormai obsolete, l'impianto termico presenta una gestione poco efficiente causando anche un effetto di discomfort termico degli occupanti, verificato anche da una indagine operata tra gli operatori del Convitto.

Infatti, come verificato attraverso la simulazione oraria di ciascuna zona, la gestione unica dell'impianto termico e la scarsa resistenza termica degli infissi (fino a circa 3 volte superiore ai limiti imposti dalla vigente normativa) causa:

- un riscaldamento di locali in ore in cui l'utilizzo è nullo: zona dormitori durante le ore di attività scolastica, e zona aule durante le ore notturne
- una surriscaldamento (valore ben superiori a 20°C di comfort termico invernale) delle zone esposte a irraggiamento solare durante il giorno e zone con sovra dimensionamento dei radiatori rispetto al volume da riscaldare: zona uffici con parete esposte a Est e zona aule con parete a Sud e zone dormitori esposti a nord.
- una temperatura inferiore ai 20 °C di comfort, nelle zone vissute durante le ore di spegnimento dell'impianto di riscaldamento: zona aule, dormitori e zone ombreggiate durante il giorno (con esposizione a Nord), da imputare prevalentemente alle dispersioni di calore attraverso gli infissi poco efficienti.

12 - PROGETTAZIONE DI MASSIMA E STIMA ECONOMICA DI INTERVENTI

Dai risultati ottenuti con le simulazioni e dall'analisi dei rilievi ambientali, è stato possibile individuare un insieme di interventi più opportuni per correggere i disagi e per rendere più efficiente il sistema.

In particolare, in funzione delle criticità emerse, vengono proposti interventi migliorativi del comfort termico e delle prestazioni energetiche globali mediante:

- sostituzione degli infissi (nel rispetto delle indicazioni fornite dalla sovrintendenza)
- installazione valvole termostatiche per singolo termosifone
- sezionamento delle diverse zone termiche
- sostituzione caldaie
- installazione impianto di trigenerazione
- installazione impianto di solar cooling per il raffrescamento estivo
- installazione di collettori solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria
- installazione impianto fotovoltaico
- installazione sistema per la regolazione automatica dell'illuminamento artificiale

Nei seguenti paragrafi verrà descritto ogni singolo intervento proposto.

L'ipotesi relativa all'installazione dell'impianto fotovoltaico è invece esposta in un elaborato a se stante.

L'efficacia di ciascun intervento è stato valutato effettuando delle modifiche al modello di simulazione per descrivere, di volta in volta, le configurazioni progettate. Ciascun intervento è stato valutato anche dal punto di vista economico mediante una stima di massima dei costi complessivi (materiali, mano d'opera, etc.).

12.1 - SOSTITUZIONE INFISSI

Come già accennato in premessa, i vincoli posti dalla sovrintendenza, limitano fortemente la possibilità di interventi radicali sull'involucro.

In particolare gli infissi in legno potranno essere sostituiti con infissi in alluminio, che dovrà avere forma, disegno e *texture* pressoché simile agli infissi esistenti, nel rispetto della salvaguardia architettonica dell'edificio stesso.

Si è ipotizzato che ai fini prestazionali i nuovi infissi rispettino il valore limite della trasmittanza come riportato dal DLgs 192/05 e il suo decreto attuativo DPR 59/09 che impone per la località di Roma una trasmittanza (U_w) del sistema infisso pari a 2,40 W/mqK e una trasmittanza al centro del vetro (U_g) di 1,90 W/mqK .

I limiti prestazionali degli infissi sono da intendersi come scelte progettuali in quanto, come già detto, il complesso scolastico in oggetto è sottoposto al rispetto dell'art. 12 del DL 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" per cui ai sensi dell'art.3 comma 3 del DLgs 192/05 è escluso dal rispetto dei limiti imposti.

L'edificio in oggetto presenta comunque diverse tipologie di chiusure trasparenti a cui corrisponde un diverso valore di trasmittanza termica media (U_w) dell'infisso, dovuto al differente rapporto tra area vetrata e area del telaio. Nei seguenti paragrafi verrà indicata nel dettaglio la trasmittanza termica di ciascun infisso utilizzata in simulazione energetica.

L'intervento sugli infissi esistenti analizzati riguarda:

- **Sostituzione con infissi in alluminio taglio termico e vetro doppio basso emissivo**: l'intervento riguarda l'utilizzo di infissi esistenti in commercio con telaio in alluminio, sistema multicamera profondità fino a 70 mm in grado di offrire un ottimo isolamento termico (trasmittanza termica, U_f , fino a 1.3W/m2K). Il doppio vetro (6-12-6), U_g 1,1 W/mq*K) associato al telaio a taglio termico, consente di ottenere un valore finale di trasmittanza (U_w) pari a 1,3 W/m2K (ben al disotto del valore imposto da normativa). Si riportano di seguito i costi di massima relativi all'installazione dell'infisso in alluminio a taglio termico.

Costi infissi in alluminio e doppio vetro basso emissivo

	<i>Unità</i>	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario (€)</i>	<i>Costo totale (€)</i>
Telaio in alluminio taglio termico con ante	mq	2367	190	449.730,00
Doppio vetro bassa	mq	2367	55	130.185,00

<i>emissione</i>				
Persiane avvolgibili PVC compresi accessori	mq	2367	33	78.111,00
			Totale	658.026,00
Smaltimento infissi sostituiti				13.160,52
M.d'o. installazione serramenti esterni				40.000,00
M.d'o. installazione avvolgibili				21.000,00
Progettazione				39.481,56
TOTALE				771.668,08

12.3 - DATI DI INPUT AL MODELLO DI SIMULAZIONE

Per valutare la prestazione energetica dell'edificio a seguito della sostituzione degli infissi esistenti con infissi ad elevate performance, si è utilizzato il software Window 5.2 per il calcolo la trasmittanza termica del sistema infisso nel rispetto della UNI EN ISO 10077-1; attraverso il software si è inoltre determinato il coefficiente di guadagno solare (SHGC) e la trasmittività nel visibile (VT) del sistema vetrato.

Il rispetto dei vincoli prestazionali riportati nel precedente paragrafo comporta l'utilizzo di tre sistemi vetrati che si differenziano tra loro per i valori di trasmittanza (U), SHGC (Coefficiente di guadagno solare) e VT (Trasmissione visibile).

Le tabelle seguenti indicano le caratteristiche dei sistemi vetrati utilizzati nello studio energetico dell'edificio relativamente alla sostituzione degli infissi:

SISTEMA VETRATO 1						
<i>Tipologia sistema vetrato</i>	<i>Intercapedine</i>	<i>U (W/mqK)</i>	<i>SHGC</i>	<i>VT</i>	<i>Tipo finestra in alluminio</i>	<i>Tipo finestra in legno/PVC</i>
Vetrocamera basso emissivo 6-12-6	aria	1.74	0.57	0.77	A1-A2-A3-B1-B2-C1-C2-F-H-L2-O	A1-A2-A3-B1-B2-C1-C2-D-E-F-G1-G2-H-I-L1-N-O

SISTEMA VETRATO 2						
<i>Tipologia sistema vetrato</i>	<i>Intercapedine</i>	<i>U (W/mqK)</i>	<i>SHGC</i>	<i>VT</i>	<i>Tipo finestra in alluminio</i>	<i>Tipo finestra in legno/PVC</i>
Vetrocamera basso emissivo 6-12-6	argon	1.40	0.57	0.77	D-G1-G2-N	M

SISTEMA VETRATO 3						
<i>Tipologia sistema vetrato</i>	<i>Intercapedine</i>	<i>U (W/mqK)</i>	<i>SHGC</i>	<i>VT</i>	<i>Tipo finestra in alluminio</i>	<i>Tipo finestra in legno/PVC</i>
Vetrocamera basso emissivo 6-12-6	argon	1.20	0.34	0.54	E-I-M	L2

Utilizzando i precedenti sistemi vetrati accoppiati alla tipologia di telai prima esaminati sono stati ricavati, nel rispetto della UNI EN ISO 10077- 1, i valori di trasmittanza totale (U_w) dei nuovi infissi utilizzati in simulazione.

12.4 RIQUALIFICAZIONE IMPIANTO TERMICO

Come riportato nei precedenti paragrafi, l'impianto termico è costituito da due caldaie installate nel 1992 ormai obsolete, aventi un rendimento di combustione pari rispettivamente al 85.4% e del 87.3%. (il rendimento minimo previsto dal Dlgs 192/05 non deve essere inferiore a 87.2%).

Come previsto dal Dlgs 192/05, se durante le operazioni di controllo vengono rilevati rendimenti di combustione inferiori e non riconducibili, tramite manutenzione ordinaria, ai limiti ammessi, il responsabile della gestione delle Caldaie è **obbligato** alla sostituzione delle Caldaie entro 300 giorni solari dalla data di controllo.

Nel caso specifico una delle due caldaie presenta un rendimento di combustione ben al di sotto del rendimento limite, mentre l'altra presenta un rendimento appena superiore al rendimento limite.

Si suppone che a seguito del funzionamento durante l'ultimo anno di riscaldamento, anche l'efficienza della seconda caldaia sia sotto il valore limite.

Al fine di ridurre i consumi energetici annui, migliorare le condizioni comfort e rispettare i rendimenti previsti dal Dlgs 192/05, incluso il rendimento di combustione delle due caldaie obsolete, sono stati esaminati i seguenti interventi:

- Sostituzione delle due caldaie con caldaie ad alta efficienza: ai fini prestazionali, le nuove caldaie dovranno avere una efficienza minima di combustione associata alla categoria "tre stelle", (superiore al 93%). Le due caldaie avranno una potenza termica nominale pari a 1 MWt ciascuna, con possibilità di modulare fino al 20% della potenza nominale e saranno dotate di sonda climatica esterna.
- Impianto di distribuzione calore: è stato supposto che l'impianto di distribuzione della potenza termica all'edificio sia obsoleto e causa di perdite energetiche elevate vista la data di installazione che risale a più di 30 anni fa. L'intervento di ristrutturazione dell'impianto termico, non riguarda l'isolamento dell'impianto di distribuzione sia per l'incertezza sull'effettiva disposizione delle tubazioni sia per la tipologia di intervento che risulterebbe in alcune sue parti molto invasivo sulla struttura edilizia interna ed esterna. Si suppone comunque di migliorare l'isolamento delle circuito di distribuzione *agendo solo sui montanti scoperti e di facile individuazione e accesso* direttamente nelle centrali termiche.
- Installazione di valvole termostatiche per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali:
La valvola termostatica è un sistema di regolazione per singolo ambiente: posta sul corpo scaldante (radiatore) modula il flusso del fluido all'interno di esso in funzione della temperatura ambiente. E' perciò dotata di un sensore che rileva la temperatura dell'ambiente: automaticamente il flusso di fluido termovettore viene interrotto quando la temperatura arriva a quella impostata (20°C). L'apertura è funzione della differenza di temperatura tra dell'ambiente e temperatura a cui la valvola è stata impostata. La valvola si chiude mano a mano che la temperatura ambiente, misurata da un sensore, si avvicina a quella desiderata, consentendo di dirottare ulteriore acqua calda verso gli altri radiatori, ancora aperti. L'installazione di dette valvole permetterà di sfruttare gli apporti gratuiti di energia, cioè quelli dovuti, ad esempio, alla presenza di molte persone, ai raggi del sole attraverso le finestre, agli elettrodomestici evitando il surriscaldamento dell'ambiente. In questo modo si può consumare meno energia nelle giornate più serene, quando il sole è sufficiente per

riscaldare alcune stanze, oppure, ad esempio, impostare una temperatura più bassa nelle stanze meno utilizzate. Le valvole termostatiche, installate negli impianti centralizzati hanno anche una buona influenza sull'equilibrio termico delle diverse zone dell'edificio. Quando i piani più caldi arrivano a 20°C le valvole chiudono i radiatori consentendo un maggiore afflusso di acqua calda ai piani freddi. Il risparmio di energia indotto dall'uso delle valvole termostatiche può arrivare fino al 20%. L'obbligo di utilizzo della regolazione della temperatura per singolo ambiente è normato dal **Dlgs 311/06, per nuovi edifici e ristrutturazione dell'impianto termico.**

- Sezionamento delle derivazioni dell'impianto termico con elettrovalvole comandate (via radio) da una centralina di termoregolazione zonale, in modo da riscaldare le zone secondo il proprio profilo di utilizzo.

Le centraline di termoregolazione zonale tipo **CM67Z** Honeywell Sensotec, consentono di regolare su valori differenti il comfort di un edificio suddividendolo "virtualmente" in zone termiche distinte. Per il Convitto Nazionale è stata IPOTIZZATA l'installazione di 4 centraline di termoregolazione zonale ognuna in grado di gestire separatamente due zone termiche in funzione della diversa destinazione d'uso :

	zona termica A	zona termica B
CENTRALINA 1	Z1TS - Z1TN- Z11S-Z11N	Z12S-Z12N-Z13S-Z13S-ZP2S-ZP3S
CENTRALINA 2	Z2TE-Z2TO - Z21E-Z21O	Z22E-Z22O
CENTRALINA 3	Z3TS-Z3TN	Z31N-Z31S-Z32S-Z32N-Z42N-Z43N
CENTRALINA 4	Z23E-Z23O	Z33N-Z33S

Ciascuna centralina comanda, tramite segnale a infrarossi, più valvole intercettatrici poste in corrispondenza delle derivazioni dal montante principale verso le zone termiche da sezionare.

Si riportano di seguito gli orari di attivazione delle singole zone termiche, così come implementate nel modello di simulazione dinamica oraria:

- Orario riscaldamento **centralina 1** - zona termica A (Aule), centralina 2 – zone termiche A e B (Didattica) , e **centralina 3** zona termica B (Aule, Laboratori):
dalle 6.30 alle 12.30 e dalle 14.30 alle 16.30
- Orario riscaldamento **centralina 1** - zona termica B (Dormitorio Sud), e **centralina 4** – zona termica A e B (Dormitorio Est – Nord):
dalle 6.30 alle 7.30, dalle 14.30 alle 16.30 e dalle 18.00 alle 22.00
- Orario riscaldamento **centralina 1** - zona termica B (Dormitorio Sud- Week End):
dalle 8.00 alle 11.00 e dalle 14.00 alle 23.00
- Orario riscaldamento **centralina 1** - zona termica B (Dormitorio Sud- Gennaio/ Febbraio).
dalle 6.30 alle 12.30, dalle 14.30 alle 16.30 e dalle 18.00 alle 22.00
- Orario riscaldamento **centralina 3** - zona termica A (mensa):
dalle 6.30 alle 12.30, dalle 14.30 alle 16.30 e dalle 18.00 alle 22.00

Costi ristrutturazione impianto termico

	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario [€]</i>	<i>Costo totale [€]</i>
<i>Caldia tre stelle tipo Ecomax avente una potenza massima termica utile pari 1000 kW</i>	2	18.000,00	36.000,00
<i>Valvole termostatiche</i>	340	25,00	8.500,00
<i>Centralina elettronica di termoregolazione zonale</i>	4	1.000,00	4.000,00
<i>Elettrovalvole comandate via radio</i>	28	180,00	5.040,00
<i>Sommano</i>			€ 53.540,00
<i>Mano d'opera e spese generali</i>			€ 11.778,80
<i>Progettazione</i>			€ 4.283,20
Totale Intervento			€ 69.602,00

12.5 IMPIANTO DI TRIGENERAZIONE

Si definisce trigenerazione la “produzione combinata di energia elettrica, energia termica e frigorifera in uno stesso impianto”.

La produzione combinata può incrementare l'efficienza di utilizzo del combustibile fossile fino a oltre l' 80%; a ciò corrispondono minori costi e minori emissioni di inquinanti, rispetto alla produzione separata di elettricità e di calore.

Per ogni kWh autoprodotta in cogenerazione si risparmiano emissioni in atmosfera per almeno 450 grammi di anidride carbonica.

L'idea progettuale si basa sull'autoproduzione di energia elettrica e termica in loco ad integrazione delle attuali risorse impiantistiche e sulla possibilità di raffrescare gli ambienti destinati ad essere utilizzati durante la scuola estiva, utilizzando la tecnologia delle macchine frigorifere ad assorbimento alimentate dal calore di scarto del generatore elettrico.

E' stata effettuata una analisi tecnico economica dell'installazione di un sistema integrato di Trigenerazione comprendente un *generatore di energia elettrica* (microturbina o motore a combustione interna), un *generatore di calore* (scambiatore fumi- acqua) e un *gruppo frigo* (assorbitore) alimentato dal calore recuperato dai fumi di scarico della microturbina o dall'acqua di raffreddamento del motore.

La tecnologia in questione trova nella maggior parte dei casi benefici economici dovuti al risparmio sul costo dell'energia elettrica e termica autoprodotta sfruttando un'unica fonte fossile, il costo della quale grazie alla normativa attuale, viene fortemente defiscalizzato.

Inoltre, rispetto alla soluzione classica (caldia + rete elettrica), la cogenerazione riduce del 30-40% la quantità di combustibile utilizzato e quindi le emissioni inquinanti.

Il dimensionamento dell'impianto di trigenerazione in oggetto è stato effettuato non per sostituire l'attuale impianto di riscaldamento e climatizzazione, ma per integrarlo con tecnologie altamente efficienti in grado di soddisfare la base del diagramma di durata del carico termico ed elettrico.

Normativa di riferimento nel campo della cogenerazione:

- **Delibera AEEG 34-05:** Modalità e condizioni economiche per il ritiro dell'energia elettrica di cui all'articolo 13, commi 3 e 4, del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387, e al comma 41 della legge 23 agosto 2004, n. 239.

Il soggetto responsabile in quanto produttore di energia elettrica da cogenerazione, si potrebbe avvalere della facoltà di cedere l'energia elettrica prodotta al gestore di rete cui l'impianto è collegato, con il diritto di avere riconosciuto un prezzo pari a quello di cessione dall'Acquirente unico alle imprese distributrici per la vendita al mercato vincolato.

Analizzando i dati forniti dall'Acquirente Unico per l'anno 2008 questo ha un valore medio di 0,09 €. Considerando che l'energia elettrica acquistata dall'Convitto Nazionale ha un costo medio di 0,19 €, risulta non conveniente cedere in rete eventuali eccessi, ma stipulare con l'ente distributore un contratto di scambio sul posto.

- **Delibera ARG/elt 74/08:** Testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per lo scambio sul posto (TISP):
La Delibera ARG/elt 74/08 regola le nuove condizioni per accedere al contratto di scambio sul posto con il Distributore di energia elettrica. Secondo tale delibera possono accedere al servizio di scambio sul posto oltre gli impianti alimentati da fonti rinnovabili, gli impianti di cogenerazione ad alto rendimento di potenza fino a 200 kW.
- **Delibera AEEG 42/02:** Condizioni per il riconoscimento della produzione combinata di energia elettrica e calore come cogenerazione ai sensi dell'articolo 2, comma 8, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79:
Sono definiti impianti di cogenerazione quelli che soddisfano due condizioni: un risparmio energetico (IRE) di almeno il 10% e un limite termico (incidenza dell'energia termica nel totale dell'energia prodotta) pari ad almeno il 15%.
- **Legge 448/98 – Delibera 16/98 AEEG:** Imposte sul consumo di gas naturale:
Per calcolare l'imposta sul consumo di gas metano per gli impianti di cogenerazione si segue una procedura particolare.

Sui primi 0,250 mc di gas naturale necessari a produrre 1 kWh è dovuta l'imposta per la generazione di elettricità (0,04493 c€/mc). In caso di autoconsumo tale imposta è ridotta al 30% del valore. Sui restanti metri cubi necessari alla produzione di 1 kWh elettrico (la cui entità dipende dal rendimento elettrico) è dovuta l'imposta base dell'utenza considerata (usi industriali o civili).

Nel caso specifico, l'imposta sul consumo di gas metano è di tipo civile cioè pari a 0,186 €/mc

Nel caso del teleriscaldamento l'imposta sul consumo è quella industriale : 0,012496 €/mc

Si considera teleriscaldamento anche il caso dell'alimentazione di una singola utenza, purché operata in servizio energia:

lettera protocollo 3158 del 21 giugno 2002 relativa al "trattamento fiscale del gas metano impiegato nella microcogenerazione", emessa dall'Area gestione tributi e rapporti con gli utenti - Ufficio regimi doganali e fiscali - dell'Agenzia delle Dogane.

Da ciò deriva la particolare convenienza, ad affidare la fornitura energetica e la gestione caldaie ad una società di servizi energetici (ESCO) che potrebbe accedere a un'imposta circa a dieci volte inferiore a quella dovuta dai clienti civili riversando parte di tale beneficio all'utente finale.

Tecnologie utilizzate per la realizzazione dell'impianto di trigenerazione

Motori a combustione interna alimentati a metano

Sono fondamentalmente caratterizzati da un limitato investimento iniziale, ma presentano alti costi di manutenzione e la necessità di effettuare la manutenzione straordinaria più frequentemente degli altri sistemi. Inoltre forniscono energia termica a due temperature distinte, di solito in due circuiti separati, legate al recupero dei gas di scarico (400-450°C) e di acqua di raffreddamento ed olio di lubrificazione (sotto i 100°C). I motori endotermici presentano comunque il vantaggio di essere adatti a carichi variabili e sopportano meglio delle turbine arresti e partenze.

Microturbina

La microturbina è una macchina simile, costruttivamente, ai turbogas installati presso le centrali di produzione di energia elettrica. Coprono generalmente un range di potenza da 30-100 kW_e presentando dimensioni relativamente piccole (es. Capston I 330: HxWxL=1900x714x1344 [mm]), ciò fa della microturbina una macchina estremamente compatta e di peso limitato. A tali caratteristiche si uniscono inoltre l'opportunità di raggiungere rendimenti relativamente elevati (rendimenti elettrici del 30%, mentre il rendimento complessivo può arrivare al 70% - 80%), basse emissioni e bassi costi di impianto, oltre che la possibilità di utilizzare combustibili diversi dal gas naturale quali biogas o altri a basso potere calorifico. Il principio di funzionamento è analogo a quello delle turbogas; l'aria esce dal compressore a circa 4-8 bar ed entra nel rigeneratore, se presente. Nel rigeneratore, il gas esausto è utilizzato per preriscaldare l'aria prima di entrare nella camera di combustione, aumentando il rendimento elettrico. I gas esausti allo scarico hanno una temperatura di circa 250 ÷ 300 °C, i quali vengono inviati ad una caldaia a recupero (scambiatore di calore fumi – acqua) per la generazione di acqua calda a circa 80 – 90 °C , utilizzata :

- Per alimentare una macchina ad assorbimento per integrare l'impianto di refrigerazione.
- Per alimentare uno scambiatore di calore acqua-acqua per integrare l'impianto di riscaldamento tradizionale.

Vantaggi:

- Maggiore vita operativa: manutenzione straordinaria dopo 60.000 ore di funzionamento
- Minori emissioni: NO_x < 11 mg/Nm³ – CO < 20 mg/Nm³ (motore a combustione interna
NO_x < 250 mg/Nm³ – CO₂ < 300 mg/Nm³)

Svantaggi:

- Maggiori costi di installazione

Gruppo frigo ad assorbimento

La produzione di acqua calda a temperatura superiore a 90°C sfruttando i gas di scarico della microturbina o dal motore a combustione interna, permette di alimentare i gruppi frigo “ad assorbimento” per produrre acqua refrigerata a 7°C (senza consumare energia elettrica) e integrare il condizionamento degli ambienti che normalmente è effettuato con chiller elettrici. Diversamente da un gruppo frigo a compressore meccanico, questi gruppi non vengono alimentati dalla corrente elettrica, ma impiegano una fonte di calore per produrre acqua refrigerata da utilizzare nella climatizzazione degli ambienti. Il refrigerante e la soluzione assorbente in un ciclo ad assorbimento formano ciò che si chiama una “coppia di lavoro”. La coppia ammoniacca-acqua è maggiormente impiegata nelle applicazioni di refrigerazione con basse temperature di evaporazione, sotto lo 0 °C, mentre la coppia acqua- bromuro di litio è ampiamente usata per applicazioni di condizionamento dell'aria, dove non sono necessarie temperature sotto lo 0°C. Per quanto riguarda i sistemi di raffreddamento ad assorbimento, che usano il bromuro di litio come assorbente e l'acqua come refrigerante, la fonte di calore (fumi di scarico della turbina) deve essere ad una temperatura di 90-95°C, per generare acqua refrigerante a 7°C. con prestazioni frigorifere (COP) comprese tra 0.7 e 0.9. Lo smaltimento del calore prodotto dal ciclo termodinamico avviene a temperature di 30-40 °C e pertanto per il loro funzionamento è indispensabile una torre evaporativa.

I sistemi che usano ammoniacca come refrigerante, invece, necessitano di una fonte di calore pari a 100 -120 °C con il vantaggio che alcune macchine non necessitano di torre evaporativa.

Nel caso del Convitto Nazionale, l'impianto di refrigerazione con assorbitore servirà ad integrare un gruppo frigo elettrico, coprendo la base del diagramma del carico frigorifero giornaliero durante i mesi in cui la struttura è attiva come scuola estiva.

La tecnologia dei gruppi frigo ad assorbimento è ormai diffusa. I maggiori produttori mondiali di gruppi frigo ad assorbimento sono: YAZAKI (Giappone), Broad (Cina), Colibry, Solarnext (Germania), Robur (Italia).

Zone destinate ad essere raffrescate

Prevedendo l'utilizzazione del Convitto Nazionale come scuola estiva, il dimensionamento preliminare dell'impianto di condizionamento è stato effettuato per assicurare le condizioni di comfort termico estivo agli ambienti che si suppone siano utilizzati durante le attività della scuola estiva (aule didattiche, segreterie, dormitori, refettorio, auditorium, teatro).

In particolare gli ambienti condizionati tramite convettori alimentati da acqua fredda a 7°C sono:

- Zona 1: T1S – T1N – 11S – 11N – 21S- 21N – 31S-31N
- Zona 2: 22E-22O
- Zona 3: T3S-T3N- 33S-33N
- Auditorium

La distribuzione del fluido termovettore a 7°C potrà essere realizzata con colonna montante discendente dal tetto (dove verrà installata la macchina ad assorbimento e il chiller di integrazione) realizzata con tubazione di mandata e ritorno interna all'edificio dal quale saranno derivate le singole tubature verso le zone raffrescate.

Dimensionamento e costi di installazione

Ai fini progettuali, analizzando i dati disponibili per il dimensionamento dell'impianto di trigenerazione e tenendo presente le taglie effettivamente disponibili in commercio si è scelto di esaminare due possibili soluzioni tecniche per la realizzazione dell'impianto di trigenerazione:

- 2 microturbine a gas tipo Turbec da 100 kWe e pompa di calore assorbimento tipo Yazaki da 70kWf. Tale tecnologia risulta più costosa, ma ha una maggiore vita operativa e meno inquinante della seguente soluzione con motore a combustione interna.;
- 2 motori a combustione interna tipo MAN da 105 kWe e pompa di calore ad assorbimento da 99kWf

Le tabelle che seguono riportano i costi stimati per le due soluzioni.

Costi impianto con microturbina:

<i>Impianto di trigenerazione</i>			
	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario [€]</i>	<i>Costo totale [€]</i>
<i>Fornitura microturbina</i>	2	163.000,00	326.000,00
<i>Accessori elettrici + opere civili e idraulici</i>	2	32.600,00	65.200,00
<i>Assorbitore + torre evaporativa</i>	1	45.000,00	45.000,00
<i>Progettazione</i>			26.172,00
<i>Montaggio</i>			34.896,00
Totale costo di investimento			€ 497.268,00

Impianto di climatizzazione dell'edificio				
	<i>Unità</i>	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario [€]</i>	<i>Costo totale [€]</i>
<i>Chiller elettrico 180 kWf</i>	kWf	180	300,00	54.000,00
<i>Fornitura ventilconvettori</i>	cad	120	300,00	36.000,00
<i>Tubazione per la distribuzione dell'energia frigorifera</i>	cad	1	9.000,00	9.000,00
<i>Mano d'opera</i>	cad			19.200,00
Totale				€ 64.200,00

Costi impianti con motore a combustione interna :

Impianto di trigenerazione			
	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario [€]</i>	<i>Costo totale [€]</i>
<i>Fornitura motore a combustione interna tipo MAN 105 kWe</i>	2	105.000,00	210.000,00
<i>Accessori elettrici + opere civili e idraulici</i>	2	10.500,00	21.000,00
<i>Assorbitore + torre evaporativa 99 kWf</i>	1	63.400,00	63.400,00
<i>Progettazione</i>			17.664,00
<i>Montaggio</i>			23.552,00
Totale costo di investimento			€ 335.616,00

Impianto di climatizzazione dell'edificio				
	<i>Unità</i>	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario [€]</i>	<i>Costo totale [€]</i>
<i>Chiller elettrico 180 kWf</i>	kWf	150	300,00	45.000,00
<i>Fornitura ventilconvettori</i>	cad	120	300,00	36.000,00
<i>Tubazione per la distribuzione dell'energia frigorifera</i>	cad	1	8.100,00	8.100,00
<i>Mano d'opera</i>	cad			19.200,00
Totale				€ 63.300,00

12.6 IMPIANTO DI SOLAR COOLING

Il "Solar Cooling" comprende una famiglia di tecnologie che permettono il raffrescamento e il riscaldamento degli edifici utilizzando in massima parte l'energia solare. La tecnologia è basata sull'impiego di collettori solari che convertono la radiazione solare diretta in calore ad alta temperatura (nel caso dei collettori sottovuoto fino a 100 °C) per alimentare macchine refrigeranti che invece dell'energia elettrica impiegano energia termica (*macchine ad assorbimento Acqua Bromuro di litio*), o fornendo direttamente energia termica per il riscaldamento dell'edificio e per l'acqua calda sanitaria, tramite scambiatore di calore.

I vantaggi del solar cooling sono notevoli:

- ridottissimo effetto serra indiretto per produzione di energia elettrica da combustibili fossili;

nessun effetto serra diretto dovuto alla perdita in atmosfera di sostanze climalteranti;

- sistema immune a possibili black out elettrici estivi dovuto all' accensione simultanea dei normali condizionatori elettrici.
- massima disponibilità di fonte solare nel periodo di massima richiesta di energia frigorifera.

La pompa di calore ad assorbimento accoppiata al collettore solare sarà del tipo Acqua-Bromuro di Litio la quale necessita di acqua calda a 90-95 °C per generare acqua refrigerante a 7°C durante la stagione estiva . Lo smaltimento del calore prodotto dal ciclo termodinamico avviene a temperature di 30-40 °C e pertanto per il loro funzionamento è indispensabile una torre evaporativa. Il funzionamento dell'impianto di solar coling in assenza di sole verrà garantito da un chiler elettrico da 150 kWf.

Dimensionamento e costi impianto di solar cooling

Ai fini progettuali, analizzando i dati forniti dalla simulazione dinamica relativamente al carico estivo delle zone climatizzate e tenendo presente l'effettiva superficie disponibile in copertura occupata dall'ingombro dell'impianto fotovoltaico, previsto tra gli scenari di intervento, il dimensionamento dell'impianto di solar cooling consentirà una copertura da fonte solare del fabbisogno frigorifero annuo circa pari al 40%.

• Tipo Assorbitore	BrLI singolo effetto tipo YAZAKI
• Potenza Frigorifera	70,00 kWf
• Numero Assorbitori	2,00
• Tipo collettori	Sottovuoto
• Superficie collettori per assorbitore	150,00 mq
• Totale superficie collettori	300,00 mq
• Superficie singolo collettore	2,00 mq
• Volume accumulo collettori	7,65 mc
• Volume accumulo utente lato freddo	7,65 mc

Visto il vincolo imposto dalla sovrintendenza, i collettori a tubi evacuati saranno disposti in posizione orizzontale al fine di evitare qualsiasi impatto visivo. Utilizzando i collettori solari prevalentemente durante la stagione estiva (durante la stagione invernale possono essere utilizzati per produzione di acqua calda sanitaria) la posizione orizzontale non causa rilevanti perdite di producibilità. Nella seguente tabella si riporta la procedura di dimensionamento e i risultati di simulazione del carico frigorifero per ciascuna zona e totale. Come si evince dai risultati di simulazione, la produzione di freddo da fonte solare consente un risparmio di energia primaria di circa il 40%.

Produzione energia frigorifera da solar cooling				
	Radiazioni orizzontali [kWh/mq]	efficienza collettori	superficie collettori [mq]	COP pompa ad assorbimento (tipo YAZAKY)
giugno	58,64	50%	300,00	0,70
luglio	132,07	50%	300,00	0,70
agosto	110,44	50%	300,00	0,70
settembre	79,52	50%	300,00	0,70
ottobre	59,93	50%	300,00	0,70

Mesi	Cooling_Load zona 1 [kWf]	Cooling_Load zona 2 [kWf]	Cooling_Load zona 3 [kWf]	Totale Cooling Load Mensile [kWhf]	Cooling da assorbitore[kWhf]	Frazione solare
giugno	3278,36	1896,36	1568,61	6743,33	6157,09	91,31%
luglio	17389,46	11877,85	8436,42	37703,73	13867,14	36,78%
agosto	22671,68	13216,19	11710,05	47597,92	11596,30	24,36%
settembre	6103,67	2096,20	2701,88	10901,75	8349,18	76,59%
			Totale	102.946,74	39.969,72	38,83%

Costi impianto di solar cooling

	Unità	Quantità	Costo unitario [€]	Costo totale [€]
Assorbitore tipo YAZAKY 70 kWf	cad	2	19.000,00	38.000,00
Collettore solare piano	mq	300	381,00	114.300,00
Torre evaporativa	cad	2	2.300,00	4.600,00
Accumulo termico	mc	15	1.000,00	15.000,00
Kit solare : gruppo solare, centralina differenziale, raccordi di collegamento collettori, vaso di espansione per alte temperature ed antigelo - scambiatore di calore	cad	1	20.000,00	20.000,00
Struttura portante	mq	300	35,00	10.500,00
			<i>Totale</i>	202.400,00
Progettazione				10.120,00
Mano d'opera				16.192,00
Totale				228.712,00

Si riportano di seguito i costi relativi ai componenti di impianto tradizionale ad integrazione del solar cooling e necessari per la realizzazione del sistema di climatizzazione del complesso scolastico:

	Quantità	Costo unitario [€]	Costo totale [€]
Chillert 150 kWf	1	45.000,00	45.000,00
Fornitura ventilconvettori	120	300,00	36.000,00
Installazione tubazione per la distribuzione dell'energia frigorifera	1	8.100,00	8.100,00
Mano d'opera	480	26,00	12.480,00
Totale			€ 101.580,00

12.6 COLLETTORE SOLARE TERMICO PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

La produzione di energia mediante sistemi solari termici rappresenta sicuramente una delle tecniche meno invasive e più ambientalmente sostenibili attualmente disponibili sul mercato. Oltre a far uso di un apporto energetico gratuito e totalmente rinnovabile nel significato più completo del termine, si realizza mediante impianti a tecnologia «povera», e realizzati con materiali assolutamente convenzionali. Nel caso di non installazione dell'impianto di solar cooling, descritto in precedenza,

è possibile coprire il 50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria, utilizzata annualmente dai convittori, installando un impianto solare termico con collettori piani a circolazione forzata. Un **impianto a circolazione forzata** è formato da un campo di collettori solari a sé stanti, connesso attraverso un circuito con un serbatoio localizzato nell'edificio. All'interno del circuito solare si trova acqua o un fluido termovettore antigelo. La pompa di circolazione del circuito solare è attivata da un regolatore differenziale di temperatura quando la temperatura all'interno del collettore è superiore alla temperatura di riferimento impostata nel serbatoio di accumulo. Il calore viene quindi trasportato al serbatoio di accumulo e ceduto all'acqua sanitaria mediante uno scambiatore di calore. Mentre in estate l'impianto solare copre tutto il fabbisogno di energia per il riscaldamento dell'acqua sanitaria, in inverno e nei giorni con scarsa insolazione serve per il preriscaldamento dell'acqua. Il riscaldamento ausiliario viene comandato da un termostato quando nel serbatoio la temperatura dell'acqua nella parte a pronta disposizione scende al di sotto della temperatura nominale desiderata.

Dall'analisi delle bollette energetiche, riportate precedentemente, risulta un consumo medio mensile per la produzione di acqua calda sanitaria del convitto pari a 8300 kWh/mese. La superficie dei collettori necessaria per soddisfare almeno il 50% del fabbisogno annuo è stata determinata considerando:

- il vincolo imposto dalla sovrintendenza sull'inclinazione orizzontale dei collettori solari
- la resa media annua del collettore piano pari al 50%
- a radiazione solare totale sul piano dei collettori solari come da dati meteo della stazione meteo di Monte Mario

Si riportano di seguito i dati utilizzati per il dimensionamento:

Produzione ACS mensile da collettore solare termico				
	<i>Radiazione oriz.</i> <i>[kWh/mq]</i>	<i>Efficienza</i> <i>collettori</i>	<i>Superficie</i> <i>collettori [mq]</i>	<i>Produzione</i> <i>mensile [kWh]</i>
Gennaio	27,78	50%	130,00	1.806,02
Febbraio	39,10	50%	130,00	2.541,69
Marzo	67,22	50%	130,00	4.369,17
Aprile	86,26	50%	130,00	5.606,58
Maggio	102,69	50%	130,00	6.675,04
Giugno	117,28	50%	130,00	7.623,07
Luglio	132,07	50%	130,00	8.584,42
Agosto	110,44	50%	130,00	7.178,66
Settembre	79,52	50%	130,00	5.168,54
Ottobre	59,93	50%	130,00	3.895,65
Novembre	33,08	50%	130,00	2.149,89
Dicembre	24,08	50%	130,00	1.565,13

Calcolo della frazione solare mensile e totale del sistema solare a circolazione forzata

<i>Mese</i>	<i>Consumo termico mensile ACS</i> <i>Dormitori [kWh]</i>	<i>Termico da ACS [kWh]</i>	<i>Frazione solare %</i>
Gennaio	8.292,80	1.806,02	21,78
Febbraio	8.292,80	2.541,69	30,65
Marzo	8.292,80	4.369,17	52,69

<i>Aprile</i>	8.292,80	5.606,58	67,61
<i>Maggio</i>	8.292,80	6.675,04	80,49
<i>Giugno</i>	8.292,80	7.623,07	91,92
<i>Luglio</i>	8.292,80	8.584,42	103,52
<i>Agosto</i>	8.292,80	7.178,66	86,57
<i>Settembre</i>	8.292,80	5.168,54	62,33
<i>Ottobre</i>	8.292,80	3.895,65	46,98
<i>Novembre</i>	8.292,80	2.149,89	25,92
<i>Dicembre</i>	8.292,80	1.565,13	18,87
Totale	99.513,60	57.163,88	57,44

Come si evince dalle tabelle di calcolo, una superficie solare di 130 mq consente, una copertura media annua del consumo di acqua calda sanitaria pari al 57 %. Si considera l'installazione di 74 collettori piani, ad es. tipo Ariston KAIROS CF 2.0, aventi una superficie captante di 1,8 mq. In corrispondenza dello scambiatore di calore posto nel locale caldaia a piano interrato, verrà installato un boiler da 4000 litri per l'accumulo termico giornaliero.

I collettori solari dovranno essere conformi alla Normativa Europea EN 12975.

Costi impianto a collettore solare termico

	<i>Unità</i>	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario [€]</i>	<i>Costo totale [€]</i>
<i>Collettore solare piano</i>	mq	130	350,00	45.500,00
<i>Accumulo termico</i>	mc	4	1.000,00	4.000,00
<i>Kit solare : gruppo solare, centralina differenziale, raccordi di collegamento collettori, vaso di espansione per alte temperature ed antigelo - scambiatore di calore</i>	cad	1	4.000,00	4.000,00
<i>Struttura portante</i>	mq	130	35,00	4.550,00
			<i>Totale</i>	58.050,00
<i>Progettazione</i>				2.902,50
<i>Mano d'opera</i>				4.644,00
Totale				65.596,50

12.7 IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE: CONTROLLO DELL'ACCENSIONE DEI CORPI ILLUMINANTI

Tutte le lampade attualmente in commercio possono essere suddivise, in base alle modalità con cui viene generata la luce, in due grandi categorie:

- ad incandescenza
- a scarica elettrica in gas (lampade a fluorescenza)

Le lampade a fluorescenza hanno un'efficienza luminosa di gran lunga superiore (da 4 a 10 volte) rispetto a quella delle lampade ad incandescenza, con durata media di circa 10000 ore, pari a 10 volte la durata media di una lampada a incandescenza. Tale tecnologia consente di ridurre fortemente i consumi di energia elettrica fino a circa il 70% rispetto alle lampadine ad incandescenza a parità di comfort visivo, in quanto è più elevata la quota di energia assorbita trasformata in luce. Attualmente i corpi illuminanti installati nell'edificio sono già ad alta efficienza, in particolare presso gli uffici, le aule e le sale riunioni sono installate lampade a fluorescenza tubolari. L'unica tipologia di interventi che si propone è quindi l'installazione di

sistemi in grado di gestire automaticamente l'accensione delle lampade e il loro dimmeraggio (regolazione del flusso luminoso emesso) in funzione dell'illuminazione naturale disponibile e quindi del comfort visivo. Di seguito sono analizzati i risparmi e i costi relativi a due soluzioni alternative per la gestione automatica dell'illuminazione: sensori di presenza e dimmeraggio.

Sensori di presenza:

I rilevatori di presenza, sono dei sensori che disinseriscono l'illuminazione, dopo un certo tempo in cui non rilevano più occupanti all'interno dell'ambiente; quando, il sensore, torna a rilevare delle presenze, riattiva l'illuminazione. Questo tipo di apparecchiature sono facilmente collegabili ai comandi dell'impianto, possono essere installati in impianti già esistenti però solo in ambienti di dimensioni limitate; solitamente vengono posizionati vicino all'interruttore (a 110 cm dal pavimento) o sul tetto in corrispondenza del corpo lampada. Si ipotizza l'installazione di un sensore di presenza in corrispondenza di ciascuna aula, delle stanze da letto dei dormitori, delle segreterie didattiche, per un totale di 161 locali e relativi punti luce. Dalle simulazioni effettuate e da una analisi statistica si stima che il consumo per illuminazione ammonta a circa il 40% del totale consumi del plesso scolastico corrispondente a circa 127.146 kWh/anno.

Il risparmio di energia elettrica che si ha adottando i sensori di presenza può essere stimato considerando una riduzione del fattore di contemporaneità degli apparecchi installati dal 75% al 50%, con un risparmio medio annuo del 25% sui consumi attuali, riducendo il fabbisogno elettrico annuo per illuminazione a 95360 kWh.

	<i>Unità</i>	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario [€]</i>	<i>Costo totale [€]</i>
<i>Fornitura di sensore di presenza da soffitto con visione a 360° per lo spegnimento automatico delle luci</i>	cad	161	80,00	12.880,00
<i>Materiale di cablaggio</i>	cad	1	644,00	644,00
<i>Mano d'opera</i>	cad	1	3.864,00	3.864,00
Totale				17.388,00

Dimmeraggio lampade

Le esigenze di illuminazione di un ambiente variano nell'arco della giornata e nel corso dell'anno, sia in relazione alle funzioni ed alle attività che vi si svolgono sia in rapporto alla disponibilità di luce naturale o alla reale presenza degli occupanti. Una prima risposta a diverse esigenze di illuminazione può essere data mediante l'accensione, la regolazione e lo spegnimento manuale degli apparecchi, ma la possibilità di gestire automaticamente ed in modo indipendente dall'utenza questo tipo di controllo rappresenta indubbiamente una modalità di regolazione sicuramente più efficace.

L'uso di sistemi completamente automatici per il controllo e l'integrazione dell'illuminazione artificiale e naturale può teoricamente contribuire alla determinazione di alcuni vantaggi quali:

- l'incremento del comfort visivo e del comfort termico all'interno degli ambienti confinati,
- l'ottenimento di un risparmio energetico dovuto innanzitutto ad un minor consumo di energia elettrica per gli apparecchi di illuminazione e, nel caso di ambienti condizionati, ad una riduzione dei carichi termici endogeni prodotti dalle sorgenti di luce

Un aspetto che non può essere trascurato nel valutare le implicazioni dei sistemi di controllo sulla qualità del progetto, riguarda il grado di accettazione da parte degli utenti. Le condizioni realizzate automaticamente dal sistema di controllo possono risultare non coerenti con le esigenze degli utenti e determinare un disagio fisiologico o psicologico che può, in molti casi, comportare la disattivazione dell'automazione per tornare ad una gestione degli impianti di tipo manuale.

Quindi alla base dell'utilizzo di un sistema automatizzato del controllo dell'intensità luminosa è necessario un approfondito studio illuminotecnico dei locali e una corretta programmazione della logica di controllo degli attuatori. Lo schema di funzionamento è il seguente:

1. la centralina di comando riceve i dati di input provenienti dai sensori di illuminamento posti nei diversi ambienti illuminati (aventi spesso una diversa esposizione solare)
2. la centralina rielabora un'informazione definendone un rispettivo segnale di output, inviato ai differenti *attuatori*
3. gli attuatori modificheranno le condizioni di funzionamento dei *reattori dimmerabili delle lampade a fluorescenza*. Lo stato definito dal sistema a seguito delle variazioni rilevate, rimarrà tale fino alla identificazione di nuovi cambiamenti.

Il sistema quindi regola il livello di illuminamento artificiale per integrare gli apporti gratuiti della luce naturale, in modo da mantenere il comfort visivo nelle aule (valore medio di illuminamento da normativa sul piano di lettura 200 lux) con il minimo apporto di consumi elettrici. Visti i costi elevati di tali sistemi, se ne ipotizza l'applicazione solo per le aule, laboratori didattici e palestre essendovi concentrate le maggiori utenze luminose del complesso scolastico.

Il sistema proposto sarà costituito da :

- sensore di illuminamento ambiente tipo Siemens GE 255: verrà installato un sensore per gruppo di zone aventi uguale esposizione solare. Il sensore dialoga con la centralina tramite sistema bus (cavo a tre conduttori) e può essere incassato all'interno di un apparecchio di illuminazione o incassata direttamente a controsoffitto.
- centralina attuatore tipo Siemens N256, dispone di tre ingressi per il collegamento diretto al sensore di illuminamento che permettono una regolazione luminosa costante di tre zone indipendenti. Ogni canale riesce a pilotare fino a 25 reattori dimmerabili
- reattore dimmerabile tipo Siemens EVG Dynamic. Il sistema di illuminazione del complesso scolastico è costituito prevalentemente da lampade fluorescenti tubolari da 36 W e 58 W. L'intervento obbliga la sostituzione del reattore di ciascuna lampada a fluorescenza (nei locali dove verrà effettuato il dimmeraggio automatico) con reattore tipo dimmerabile.

Costo dimmeraggio automatico lampade

	<i>Unità</i>	<i>Quantità</i>	<i>Costo unitario [€]</i>	<i>Costo totale [€]</i>
<i>Attuatore – centralina per pilotaggio reattore</i>	cad	10	400,00	4.000,00
<i>Sensore di illuminamento</i>	cad	30	100,00	3.000,00
<i>Reattore dimmerabile</i>	cad	210	60,00	12.600,00
<i>Materiale per cablaggio</i>	cad	1	1.960,00	1.960,00
			<i>Totale</i>	21.560,00
<i>Progettazione programmazione sistema</i>				2.156,00
<i>Mano d'opera</i>				7.200,00
Totale				30.916,00

Il sovra costo rispetto al semplice sistema con rilevatori di presenza e comando On-Off il sistema automatizzato offre ulteriori vantaggi

- Migliorare il comfort visivo
- Riduzione stimata dei consumi elettrici per illuminamento fino al 50%.

C3: COSTRUZIONE DI SCENARI E COMMENTO DEI RISULTATI

L'efficacia dei diversi interventi, esposti nel paragrafo precedente, è stata analizzata sia singolarmente sia in scenari composti allo scopo di rappresentare "filosofie di intervento"

omogenee e al fine di fornire gli elementi affinché il committente possa selezionare lo scenario che rappresenta il giusto mix fra gli obiettivi descritti. Per ciascun intervento e scenario sono stati prodotti alcuni indicatori che potranno servire da supporto alla decisione. Alcuni di questi sono: percentuale di risparmio del consumo di combustibile e dell'elettricità, riduzione delle emissioni inquinanti, risparmio annuo medio sulla bolletta energetica, costo dell'energia risparmiata, tempo di ritorno dell'investimento.

13 - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI ENERGETICHE PER SINGOLO INTERVENTO

Al fine di sintetizzare i risultati delle simulazioni energetiche ed avere una percezione immediata della convenienza tecnico economica del singolo intervento e degli scenari proposti, si sintetizzano nella seguente tabella gli indici energetici economici ed ambientali relativi ad ogni scenario ad eccezione di quello relativo all'impianto di trigenerazione, analizzato in un apposito paragrafo.

ANALISI ECONOMICA DEGLI INTERVENTI

		CONSUMO ENERGETICO				COSTO TOTALE ANNUO			COSTO INVESTIMENTO €	TEMPO DI RITORNO SEMPLICE anni
		<i>FEP kWh</i>	<i>GAS mc</i>	<i>Elettricità kWh</i>	<i>Risparmio energetico %</i>	<i>GAS €</i>	<i>Elettricità €</i>	<i>Risparmio €</i>		
0	<i>Stato attuale</i>	1.780.750,08	185.494,80	317.866,67		120.622,73	60.314,80			
1	<i>Sostituzione caldaie</i>	1.744.439,20	181.712,42		9,68	118.163,14		2.459,59	23.400,00	9,51
2	<i>Installazione valvole termostatiche per singolo termosifone</i>	1.547.138,38	161.160,25		19,89	104.798,56		15.824,16	13.430,00	0,85
3	<i>Installazione sensore di presenza da soffitto per lo spegnimento automatico delle luci</i>			286.080,00	10,00		54.284,16	6.031,48	17.388,00	2,88
4	<i>Installazione sistema per il drimmeraggio automatico dell'illuminazione artificiale</i>			267.008,00	16,00		50.664,43	9.650,37	30.916,00	3,20
5	<i>Scenario 1: installazione valvole termostatiche - sezionamento zone termiche</i>	1.192.431,54	124.211,62		38,26	80.771,77		39.850,95	22.802,00	0,57
6	<i>Scenario 2: sostituzione caldaie installazione valvole termostatiche - sezionamento zone termiche</i>	950.324,94	98.992,18		50,79	64.372,19		56.250,53	69.602,00	1,24
7	<i>Scenario 3: Sostituzione infissi in alluminio a taglio termico - valvole termostatiche - sezionamento zone termiche - sostituzione caldaie</i>	672.261,87	70.027,28		65,19	45.537,02		75.085,70	841.270,08	11,20
8	<i>Installazione impianto di solar cooling (per raffrescamento edificio)</i>	89.967,18		25.190,81	38,83		5.028,99	3.191,76	228.712,00	71,66

13.2 IMPIANTO DI TRIGENERAZIONE

Il dimensionamento degli impianti e le relative valutazioni economiche sono state effettuate considerando le curve di durata del carico termico e del carico frigorifero complessivo così come ottenute dalla simulazione annuale oraria dell'edificio allo stato attuale con l'installazione delle valvole termostatiche per singolo radiatore. Come evidenziato precedentemente potendo effettuare la cogenerazione in modalità teleriscaldamento, il costo della accise si ridurrebbe notevolmente, in quanto il complesso scolastico potrebbe accedere all'accisa industriale (0,0124€/mc, contro gli attuali 0,182 €/mc). Lo stesso vantaggio economico è conseguibile, come da protocollo 3158 del 21 giugno 2002 dell'Ufficio delle Dogane, affidando la gestione dell'impianto, compreso le caldaie di integrazione, ad una società di servizi energetici (ESCO) tramite un "contratto di gestione energia". Con il quale la ESCO si impegna ridurre i consumi energetici e a fornire per un numero di anni prestabilito il gas per il riscaldamento. I due impianti di cogenerazione ipotizzati di seguito, saranno gestiti in modalità "thermal following", seguiranno l'andamento del diagramma di carico termico e frigorifero, lavorando prevalentemente a potenza nominale e parzializzando fino al 50% della potenza installata solo per brevi periodi (in modo da lavorare a rendimento massimo per un maggior numero di ore). In particolare le due soluzioni ipotizzate di seguito, andranno a soddisfare la base del diagramma di carico termico e frigorifero, e verranno integrati dalle esistenti caldaie o gruppi frigo per compensare le punte di richieste stagionali. La totale energia elettrica generata verrà consumata nell'arco dell'anno solare, in quanto trattandosi di impianti aventi potenza elettrica inferiore a 200 kW possono accedere al servizio di scambio sul posto come indicato dalla Delibera 74/08 dell'AEGG. In questo modo la totale energia elettrica generata verrà valorizzata allo stesso costo di acquisto (circa 0,19 €/kWh) invece del prezzo di mercato (circa 0,09 €/kWh).

Per i calcoli economici seguenti sono stati utilizzati i seguenti costi di riferimento per il gas e le accise:

Costi di riferimento

• costo gas cogenerazione	0,35 €/mc
• imposte gas 0,25 mc per 1 kWhe	0,0004493 €/mc
• imposte gas 0,25 mc per 1 kWhe per autoproduttore	0,00013479 €/mc
• imposte industriali	0,012496 €/mc
• aliquota IVA	0,2
• accise civile	0,186 €/mc
• costo medio gas civile	0,36 €/mc
• costo medio gas incluso IVA	0,66 €/mc

Microturbina + assorbitore

Dati generali

• Tipo cogeneratore	Turbina a gas
• Tipo assorbitore	Br-Li singolo effetto
• Numero turbine	2,00
• Potenza elettrica nominale cogeneratore	100,00 kW
• Efficienza nominale elettrica	30,00 %
• Potenza termica nominale	165,00 kWt
• Potenza frigorifera nominale	70,00 kWf
• Potenza lato combustione	666,67 kW
• Fattore correttivo efficienza elettrica al 50% del carico (ipotesi restrittiva)	0,93

Ore di funzionamento anno

- **Riscaldamento**
 - N° ore funzionamento a potenza nominale 1000,00 ore
 - N° ore funzionamento in parzializzazione 612,00 ore
- **Raffrescamento**
 - N° ore funzionamento a potenza nominale 682,00 ore
 - N° ore funzionamento in parzializzazione 405,00 ore

Costo annuo gas cogeneratore

- Gas defiscalizzato per cogenerazione 0,25 mc/kWhe 97593,75 mc
- accise gas 7.501,76 €
- costo gas 49.946,37 €
- Costo totale gas incluso IVA 68.937,75 €

Potendo accedere all'accisa industriale (0,0124€/mc, contro gli attuale 0,182 €/mc), si avrebbe un vantaggio economico di circa 7000 €/ anno.

Costi di investimento iniziale impianto di cogenerazione

- Fornitura turbina tipo T 100 (da preventivo) 326.000,00 €
- Accessori elettrici + opere civili 65.200,00 €
- Investimento iniziale: Assorbitore + Torre evaporativa 45.000,00 €
- Sommano
- Costo progettazione 26.172,00 €
- Costo montaggio 34.896,00 €
- Totale costo di investimento 497.268,00 €**

Risparmio energia elettrica prelevata dalla rete con cogeneratore

- Energia elettrica generata dal cogeneratore 390.375,00 kWhe
- Energia frigo generata dall'assorbitore 76.090,00 kWhf
- COP medio impianto frigo tradizionale esistente 2,50
- Energia elettrica per raffrescamento risparmiata 30.436,00 kWhe
- Totale risparmio energia elettrica non prelevata dalla rete e generata dal cogeneratore 420.811,00 kWhe**

Risparmio energetico per riscaldamento

- Produzione termica per riscaldamento fornita dal cogeneratore 456.225,00 kWht
- Rendimento caldaia esistente 0,86
- Risparmio energia primaria per riscaldamento 530.494,19 kWh
- Risparmio gas per riscaldamento 55.259,81 mc

Vantaggi economici

- Risparmio annuo gas riscaldamento 35.934,10 €
- Totale risparmio per energia elettrica non prelevata 79.848,36 €
- Risparmio per riduzione corrispettivo di potenza impegnata 0,00 €/kW/anno

Costi evitati

- Chiller elettrico
- Potenza frigorifera chiller non installata 70,00 kWf
- Costo chiller specifico 300,00 €/kWf
- **Costo mancato acquisto chiller elettrico 70 kW 21.000,00 €**

Flusso di cassa annuo solo cogeneratore: **42.931,16 €/anno**

Tempo di ritorno investimento (valutato in forma semplice): **11,09 anni**

Motore a combustione interna + assorbitore

Dati generali

• Tipo cogeneratore	motore a combustione interna
• Tipo assorbitore	Br-Li singolo effetto
• Numero motori	2,00
• Potenza elettrica nominale cogeneratore	105,00 kW
• Efficienza nominale elettrica	37,23 %
• Potenza termica nominale singola macchina	143,00 kWt
• Totale potenza termica	286,00 kWt
• Potenza frigorifera nominale	99,00 kWf
• Potenza lato combustione singola macchina (funzionamento in condizioni nominali)	282,00 kW
• Potenza elettrica al 50%	52,50 kW
• Potenza termica 50% carico	77,00 kWt
• Potenza lato combustione (funzionamento 50%)	151,00 kWt
• Efficienza elettrica al 50% del carico	34,77 %

Ore di funzionamento annuo

• Risacclamento	
○ N° ore funzionamento a potenza nominale	1.186,00 ore
○ N° ore funzionamento in parzializzazione	482,00 ore
• Raffrescamento	
○ N° ore funzionamento a potenza nominale	458,00 ore
○ N° ore funzionamento in parzializzazione	423,00 ore

Totale consumo di gas annuo 115.855,78 mc

Costo annuo gas cogeneratore

○ Gas defiscalizzato per cogenerazione 0,25 mc/kWhe	101.594,06 mc
○ Accise gas	2.666,37 €
○ Costo gas	41.708,08 €
Costo totale gas	53.249,35 €

Potendo accedere all'accisa industriale (0,0124€/mc, contro gli attuale 0,182 €/mc), si avrebbe un vantaggio economico di circa 1800 €/ anno.

Costo impianto di trigenerazione

○ Fornitura motore a combustione interna tipo MAN 105 kW	210.000,00 €
○ Accessori elettrici + opere civili e idraulici	21.000,00 €
○ Assorbitore + torre evaporativa 99 kWf	<u>63.400,00 €</u>
	Sommano
	294.400,00 €
○ Progettazione	17.664,00 €
○ Montaggio	<u>23.552,00 €</u>
Totale costo di investimento	335.616,00 €

Risparmio energia elettrica non prelevata dalla rete	
○ Energia elettrica generata dal cogeneratore	406.376,25 kWh
○ Energia frigo generata dall'assorbitore	76.749,75 kWh
○ COP medio impianto frigo tradizionale esistente	2,50
○ Energia elettrica per raffrescamento risparmiata	30.699,90 kWh
Totale risparmio energia elettrica non prelevata dalla rete e generata dal cogeneratore	437.076,15 kWh
Risparmio energetico per riscaldamento	
○ Produzione energia termica fornita dal cogeneratore	430.655,50 kWh
○ Rendimento nuova caldaia tradizionale	0,93
○ Risparmio energia primaria per riscaldamento	463.070,43 kWh
Risparmio gas per riscaldamento	48.236,50 mc
Vantaggi economici	
○ Risparmio annuo gas riscaldamento	31.367,02 €
○ Totale risparmio per energia elettrica non prelevata	82.934,65 €
○ Risparmio per riduzione corrispettivo di potenza impegnata	2.719,50 €/anno
Totale risparmio economico annuo (escluso gestione impianto)	117.021,17 €/anno
Costi annui di gestione impianto di trigenerazione	
○ Costo gas cogeneratore annuo	53.249,35 €
○ Costo manutenzione	4,00 €/ora
○ Costo totale manutenzione annuo	10.196,00 €
Costi evitati	
○ Chiller elettrico	
○ Potenza frigorifera non installata	99,00 kWf
○ Costo specifico Chiller	300,00 €/kW
Costo mancato acquisto chiller elettrico	29.700,00 €
Flusso di cassa annuo	53.575,82 €/anno
Tempo di ritorno investimento (valutato in forma semplice)	5,71 anni

13.3 Commento dei risultati

Analizzando la tabella di sintesi dei risultati relativi alle proposte di intervento di risparmio energetico esaminati nei paragrafi precedenti è possibile dedurre le seguenti conclusioni:

- Una migliore gestione dell'impianto termico consente risparmi energetici fino al 38%, con tipologie di intervento che si presentano di facile realizzazione (se attuabili) senza turbare la normale attività scolastica. L'installazione della valvole termostatiche per ciascun radiatore è una soluzione tecnologica economica e di semplice. La migliore distribuzione della potenza termica, oltre che migliore le condizioni di comfort termico nelle aule e nei dormitori, determina una riduzione dei costi annui per il riscaldamento di circa il 20% con un tempo di ritorno dell'investimento inferiore ad un anno. Il risparmio energetico raddoppia se alle valvole termostatiche viene abbinato un controllo zonale della temperatura secondo i diversi profili di utilizzo degli ambienti.

- Un ulteriore incremento del risparmio energetico annuo si ottiene sostituendo le obsolete caldaie con caldaie ad alta efficienza e migliorando l'isolamento delle circuito di distribuzione (*agendo solo sui montanti scoperti e di facile individuazione e accesso*). Abbinando l'ottima gestione dell'impianto termico con una migliore efficienza delle caldaie si potrebbe ottenere un risparmio annuo fino al 50% con un limitato investimento economico che, visti i costi annui per il riscaldamento e acqua calda sanitaria, potrebbe essere ammortizzato in meno di due anni.
- La sostituzione degli infissi, costituisce un rilevante investimento economico vista l'elevata superficie vetrata che caratterizza l'involucro edilizio. La sostituzione degli infissi permetterà di migliorare il comfort termico degli occupanti, riducendo le dispersione di calore per trasmissione e per infiltrazione. Per tradurre il miglior comfort termico in un risparmio energetico è necessario abbinare la sostituzione degli infissi alla migliore gestione dell'impianto termico; in quanto le minore dispersioni termiche consentono di mantenere gli ambienti in temperatura con minori apporti dell'impianto di riscaldamento. Per ridurre tali apporti ed evitare fenomeno di sovratemperatura è necessario gestire localmente il sistema di distribuzione del calore. Gli scenari di intervento indicati associano la sostituzione degli infissi a una gestione ottimale dell'impianto termico e alla sostituzione della caldaie raggiungendo il massimo risparmio energetico ottenibile tra gli interventi proposti pari a circa il 65 % .
- Tra gli interventi è stata esaminata anche la possibilità di installare un impianto di solar cooling per il raffrescamento di una parte della struttura scolastica che probabilmente verrà vissuta durante la scuola estiva. Trattandosi di una tecnologia evoluta e ancora di scarsa diffusione presenta costi elevati e quindi tempi di ammortamento che possono superare la stessa vita utile dei componenti.
- L'impianto di trigenerazione con motore a combustione interna presenta minori tempi di ammortamento rispetto alla tecnologia con microturbina anche se con emissioni di CO e NOx superiori e maggiori costi di manutenzione annua. L'installazione dei due motori a combustione interna da 105 kWe e un assorbitore da 99 kWf, consente un risparmio annuo di circa 53.000€/anno e un tempo di ritorno dell'investimento iniziale di circa 6 anni.

APPENDICE

ABACO DEGLI INFISSI