POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Specialistica

ANALISI TECNICO-ECONOMICA DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE IN EDILIZIA RESIDENZIALE CON L'UTILIZZO DI SISTEMI IN POMPA DI CALORE

Relatori:

prof. **Marco MASOERO**

prof.ssa **Chiara SILVI**

Candidato: Retano BOFFA

Novembre 2019

PREMESSA 3

OBIETTIVI 5

1. DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO 6

1.1 - INDAGINE IN CAMPO 9

1.2 - VISTA ASSONOMETRICA DEL MODELLO CARICATO CON EC 700 10

1.3 - PIANO TIPO DELL'EDIFICIO 12

1.4 - ELEMENTI PRINCIPALI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO (STATO DI FATTO) 13

1.5 -ELEMENTI PRINCIPALI DELL'IMPIANTO TERMICO (STATO DI FATTO) 13

2. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO 13

2.1 - GENERATORE DI CALORE 13

2.2 - DISTRIBUZIONE E CIRCOLAZIONE 15

2.3 - EROGATORI DI CALORE INTERNI ALLE UNITÀ 15

2.4 - REGOLAZIONE 17

3. RISTRUTTURAZIONE IMPIANTO TERMICO 18

3.1 - COSTI PER RISTRUTTURAZIONE IMPIANTISTICA CON CALDAIA A GAS A CONDENSAZIONE 18

4. CARICO TERMICO INVERNALE EDIFICIO 22

4.1 - CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI CON IL MODELLO RISPETTO AI REALI CONSUMI 26

5. VALUTAZIONE DEL CARICO TERMICO DELLE ZONE 28

5.1 - VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO CALORIFERI 28

5.2 - ANALISI DEI CARICHI DELL'UNITÀ TIPO 31

5.3 - CONSIDERAZIONI PRELIMINARI 32

6. INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE 34

6.1 - L'ISOLAMENTO A "CAPPOTTO" 34

6.2 CONSIDERAZIONI ECONOMICHE CAPPOTTO 40

6.3 - SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI 42

6.4 - CONSIDERAZIONI ECONOMICHE CAPPOTTO + INFISSI 46

7. DIMENSIONAMENTO POMPA DI CALORE 47

7.1 - CONSIDERAZIONI PRELIMINARI 48

7.2 - CONSIDERAZIONI SULLO SBRINAMENTO 54

7.3 - CARATTERISTICHE MACCHINE INDIVIDUATE **54**

7.4 - CONSIDERAZIONI TECNICHE **56**

7.5 - CONSIDERAZIONI ENERGETICHE **58**

8. VALUTAZIONE ECONOMICA COMPLESSIVA **59**

8.1 - CONSIDERAZIONI ECONOMICHE CON SGRAVI FISCALI **61**

9. CONCLUSIONI **66**

RINGRAZIAMENTI **68**

BIBLIOGRAFIA **69**

PREMESSA

Si parla di sostenibilità per l'edilizia da ormai qualche anno e le misure Legislative, emanate sul territorio nazionale, atte a fornire elementi tecnici volti alla riduzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione degli ambienti, sia in ambito residenziale che non residenziale, sono andate via via perfezionandosi imponendo obiettivi sempre più ambiziosi in materia di consumo energetico.

La direttiva comunitaria 2002/91/CE [1], recepita in Italia con l'emanazione del Dlgs 192/2005 ha segnato un passo importante verso l'obiettivo del risparmio energetico.

Tuttavia dal 2005 ad oggi il Decreto Legislativo ha subito non poche variazioni ed integrazioni attraverso l'emanazione di ulteriori provvedimenti sia nazionali che regionali, (in attuazione alla riforma del Titolo V della Costituzione Italiana alcune Regioni italiane hanno optato per dotarsi di appositi regolamenti in materia di efficienza energetica) che hanno integrato/riformulato articoli ed allegati tecnici, talvolta generando, negli ambienti tecnici, anche elementi di confusione sia nell'interpretazione che nella applicazione della norma stessa.

Successivamente è stata emanata la 2006/32/CE, sull'efficienza degli usi finali dell'energia, recepita in Italia con il D.Lgs 115/08.

Nel 2009 viene promulgata la 2009/28/CE che promuove l'uso dell'energia da fonti rinnovabili e recepita in Italia con il D.Lgs 28/11. Sostanzialmente la direttiva si propone come finalità un duplice obiettivo: da un lato la "*definizione degli strumenti, dei meccanismi, degli incentivi ed il quadro finanziario e giuridico, necessari per il raggiungimento degli obiettivi fino al 2020 in materia di quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia*" dall'altro dettare "*norme relative ai trasferimenti statistici tra gli Stati Membri*".

Il D.Lgs 28/11 fissa obiettivi molto ambiziosi sull'utilizzo delle fonti rinnovabili richiedendo di coprire con esse il 50% dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e il raffrescamento.

Il vincolo imposto dal D.Lgs 28/11 potrebbe rappresentare una criticità da raggiungere con l'impossibilità tecnica di ottemperare in tutto o in parte agli obblighi di integrazione, in fattispecie nei casi in cui si dovesse operare su un edificio esistente, costruito fra gli anni settanta ed ottanta, soggetto a ristrutturazione rilevante.

L'entrata in vigore del D.Lgs 28/11 favorisce la produzione di energia termica da fonte rinnovabile in particolare con pompa di calore e con solare termico. L'utilizzo della pompa di calore per la produzione di energia termica costituisce uno dei punti più delicati del decreto; il soddisfacimento del requisito imposto, talvolta difficilmente raggiungibile, potrebbe risultare tecnicamente inappropriato.

Nel seguente lavoro verrà esaminata la possibilità di impiegare una pompa di calore per la produzione di energia termica a servizio di un edificio residenziale costruito fra gli anni '70 – '80 avente una caratteristica costruttiva poco performante tipica dell'edilizia del "boom economico" e post "boom economico", le cui dimensioni sono di circa **3500 m^2** lordi riscaldati.
Nel caso specifico l'edificio è già stato sottoposto alla sola ristrutturazione dell'impianto termico mediante sostituzione del generatore di calore con uno alimentato a gas di tipo a condensazione e sostituzione dei dispositivi di circolazione del fluido vettore. Il precedente generatore, alimentato a gasolio, faceva parte dell'impianto originario. In questo lavoro verrà esaminata la possibilità di impiegare una pompa di calore in alternativa alla caldaia a gas, esaminando le condizioni tecniche per il suo buon funzionamento, anche con eventuale "ristrutturazione rilevante" dell'edificio mediante isolamento esterno (cosiddetto a "cappotto"). Tutto ciò per poter fare una valutazione tecnica ed economica circa la possibilità di impiego della tecnologia con pompa di calore nell'edificio preso in esame, così come negli edifici con le medesime caratteristiche situati in Piemonte e provincia e, comunque, nella zona climatica E.

Per l'analisi energetica dell'edificio e la realizzazione del modello di calcolo si è utilizzato il Software EC 700 della Edilclima srl.
Lo stabile fa parte del compendio Social Housing (edilizia Popolare) ubicato nella Provincia di Torino. Per "*affinare*" il modello energetico di calcolo realizzato sono stati acquisiti i consumi storici di due stagioni di riscaldamento inserendo anche i gradi giorno ambientali rilevati dalla stazione meteo più vicina.

OBIETTIVI

L'obiettivo di questo lavoro riguarda sostanzialmente l'analisi del sistema Edificio/Impianto per valutare la fattibilità tecnico/economica di un eventuale inserimento di Pompa di Calore (PdC) standard, di tipo aria/acqua, alimentata con energia elettrica, in alternativa ad un impianto di generazione di calore tradizionale alimentato a gas.
Verrà effettuato un calcolo dei carichi termici effettivi dell'edificio secondo la norma UNI EN 12831 per verificare la congruità fra la potenza termica di calcolo e la potenza termica installata resa dai radiatori presenti nelle unità immobiliari.

Sarà condotta una breve valutazione sugli erogatori di calore installati nei vari ambienti per verificare la variazione di potenza emessa in funzione della riduzione del Δt.
Infine verranno valutati i costi generali e gli eventuali benefici derivanti da interventi migliorativi sull'edificio e dall'applicazione di una tecnologia alternativa.

1. DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

L'edificio è di tipo a "torre" sviluppato su 5 piani fuori terra e costruito nella seconda metà degli anni '70, non possiede finiture di pregio poiché trattasi di tipologia EEP (edilizia economica popolare).
Le destinazioni d'uso all'interno dello stabile sono classificate, secondo il D.P.R. 412/93, come *E.1 (1) Edifici adibiti a residenza con carattere continuativo;*

L'edificio è ubicato nell'area della città metropolitana di Torino nel comune di Cuorgnè in area periferica rispetto al centro del comune.

Caratteristiche dell'edificio

La superficie utile riscaldata è pari a circa	**2960** [m^2]
La superficie lorda riscaldata è pari a circa	**3500** [m^2]
Il volume lordo degli ambienti climatizzati è circa	**10700** [m^3]
La superficie esterna che delimita il volume (V) è circa	**5140** [m^2]
Rapporto S/V	**0,48**
I gradi giorno della località in esame sono	**2975** [GG]
Temperatura di progetto	**- 9** [°C]
Ricambi aria previsti da norma	**0,5** [vol/h]

Fig. 1 Edificio Oggetto di Studio Vista aerea

Fig. 2 Facciata Vista SUD

Fig. 3 Facciata Vista NORD

Fig. 4 Facciata Vista OVEST

1.1 - Indagine in campo

L'edificio è di tipo a torre con quattro ingressi principali. Alle unità immobiliari si accede attraverso quattro scale indipendenti poste al lato Nord: Scala A, B, C e D.

All'interno dell'edificio sono presenti **50 unità** abitative, 10 per piano, suddivise in 5 tipologie di grandezza, la superficie netta calpestabile dei singoli appartamenti varia da circa **45 m^2** i più piccoli a **90 m^2** quelli più grandi.

Sono stati condotti dei rilievi topografici dello stabile ispezionando la quasi totalità delle unità immobiliari, sono stati rilevati il numero, la tipologia dei corpi scaldanti nonché, per quanto possibile, la struttura costituente l'involucro del fabbricato; muri perimetrali confinanti con l'esterno, muri divisori confinanti con ambienti non scaldanti, solai interpiano, soffitto e serramenti.

Con i dati acquisiti si è potuto realizzare un "modello energetico" di calcolo con il quale si è potuto effettuare un'analisi approfondita e sistematica sulla quantificazione e sulle modalità di utilizzo dell'energia al fine di valutare le potenziali soluzioni tecniche migliorative secondo una logica costi-benefici.

In questa analisi non si è inteso limitare l'indagine sul solo fattore risparmio energetico, ma su un insieme di criteri (tecnici, economici, energetici, ambientali) cui viene dato un peso diverso in relazione all'esigenza contingente.

Per il modello di calcolo elaborato si è realizzata una struttura tetto semplificata graficamente, essa non influenza i calcoli finali poiché l'ultimo piano riscaldato non confina con la copertura, bensì con un sottotetto non riscaldato.

Per tale ragione la copertura realizzata nel modello ed illustrata nelle immagini proposte non ricalca l'aspetto di quella reale.

1.2 - Vista Assonometrica del modello caricato con EC 700

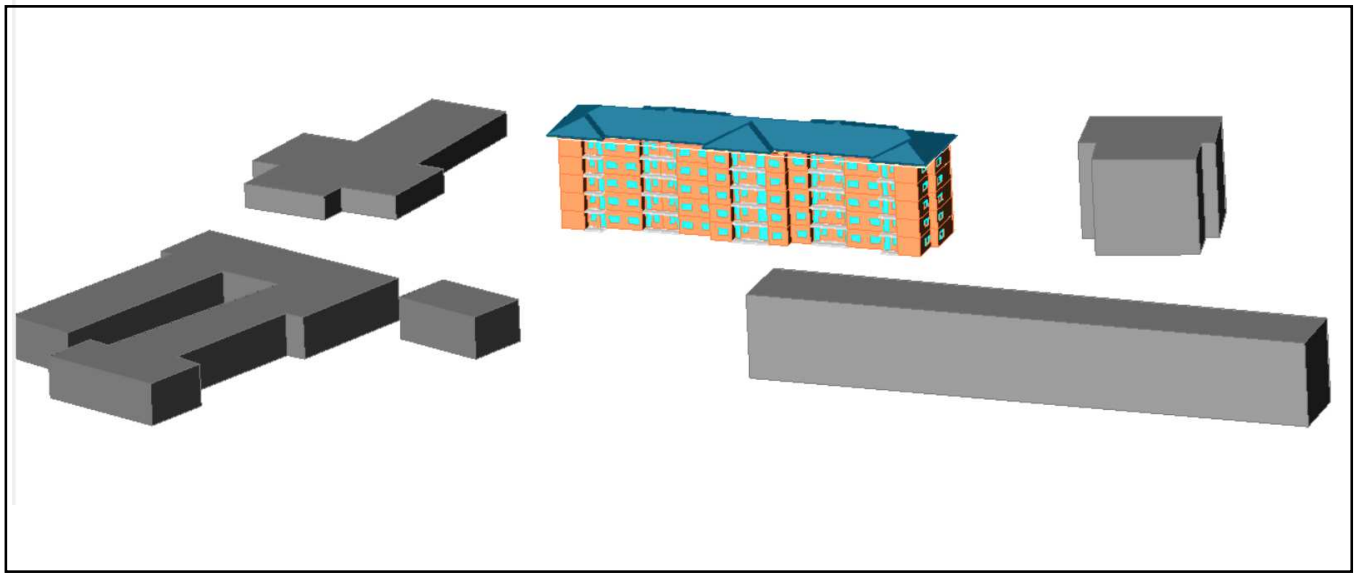

Fig. 5 Prospetto assonometrico del Modello con gli edifici circostanti

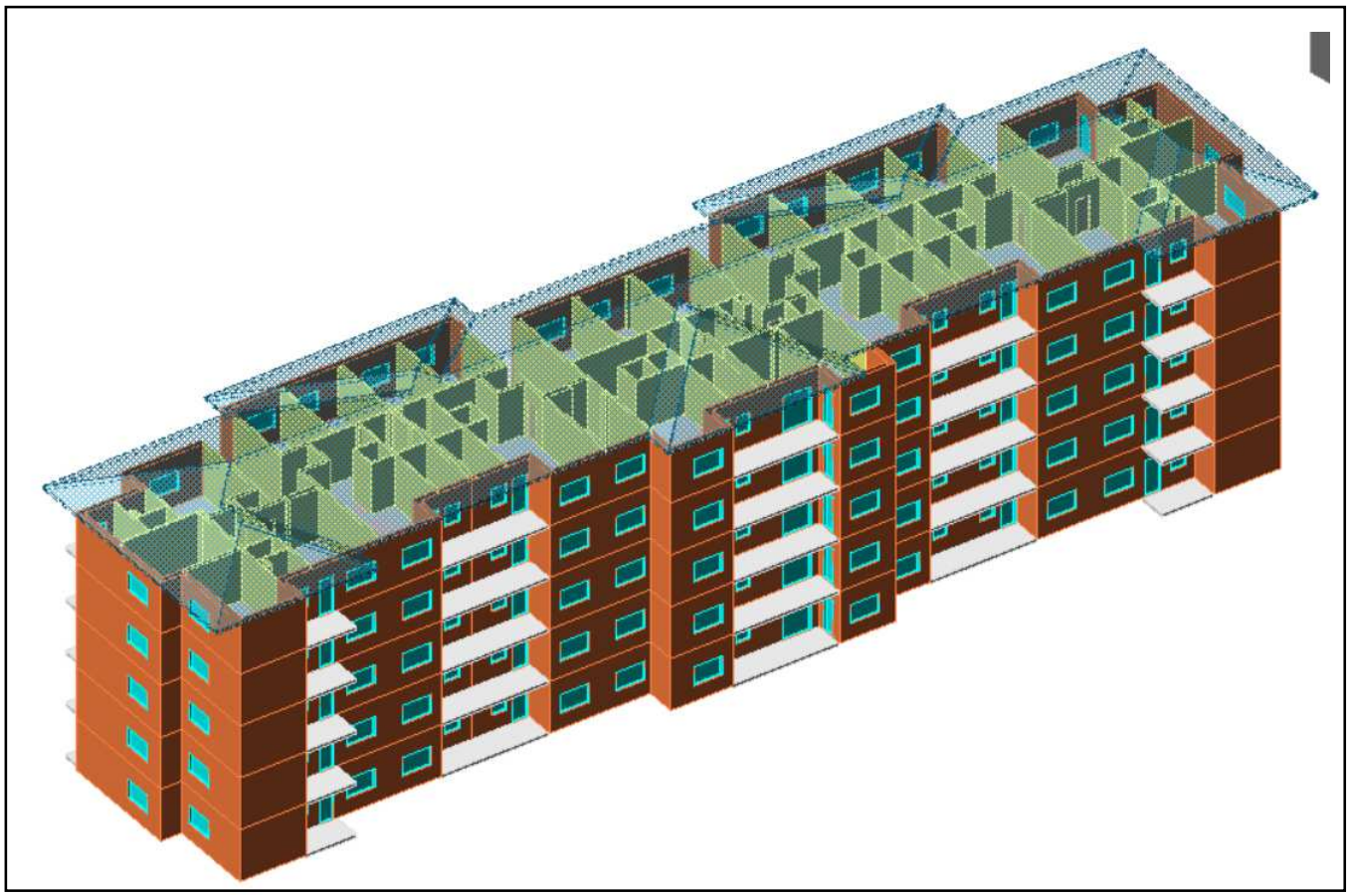

Fig. 6 Prospetto assonometrico del Modello vista sud

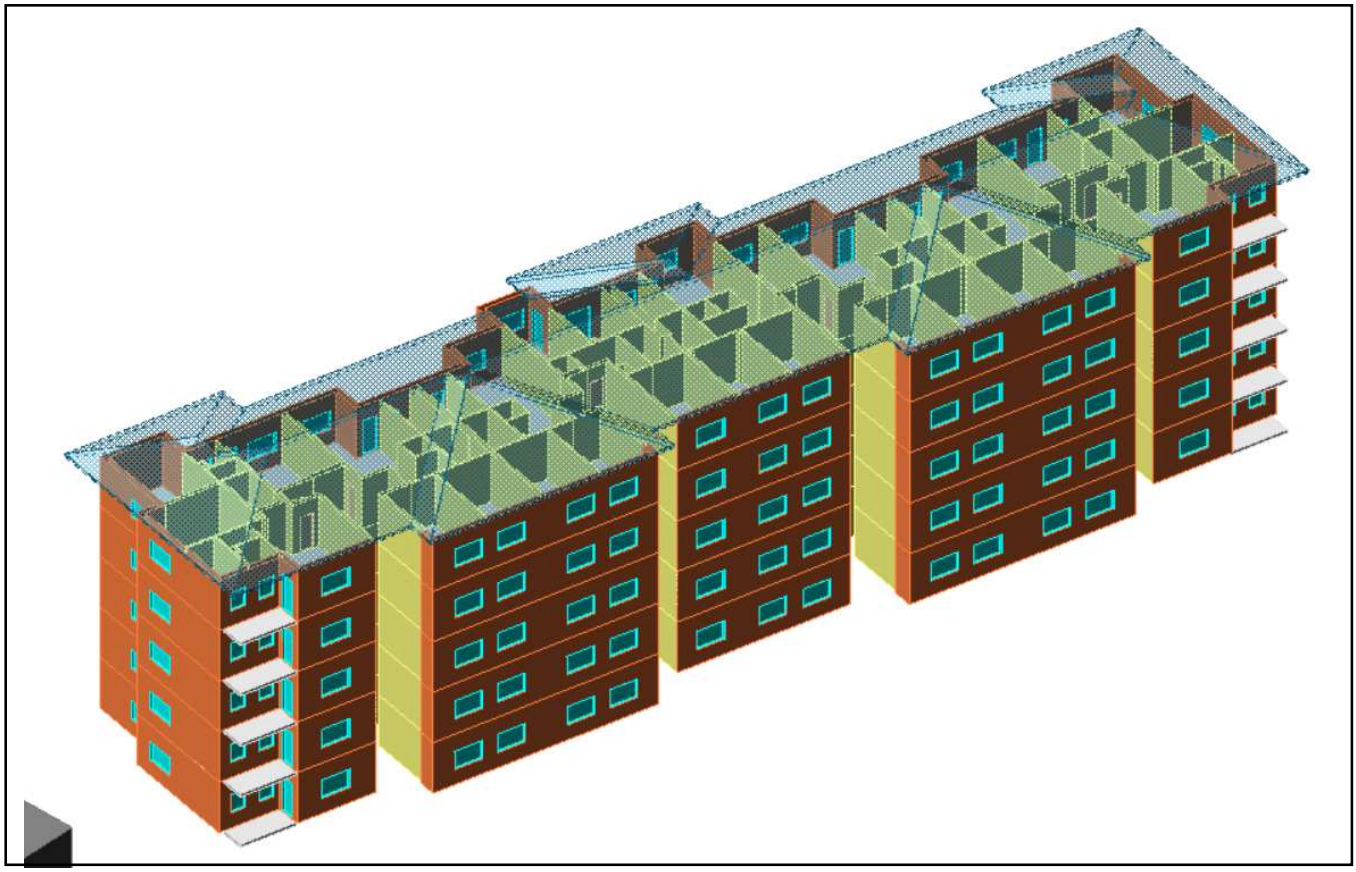

Fig. 7 Prospetto assonometrico del Modello vista Nord

Dai modelli rappresentati è possibile osservare che sono state rappresentate tutte le unità interne con le suddivisioni dei vari locali di tutti i piani.

.

1.3 - Piano Tipo dell'edificio

I rilievi effettuati hanno permesso di riprodurre graficamente i vari ambienti, quindi l'intero piano tipo nelle sue caratteristiche peculiari.

La numerazione è stata effettuata in progressione per piano e per scala partendo dalla A il numero associato seguirà la numerazione delle zone (zona 1, zona 2, zona…) caricate con il SW EC 700, non è stato associato il nome al locale, ma solo l'identificativo numerico come per le zone.

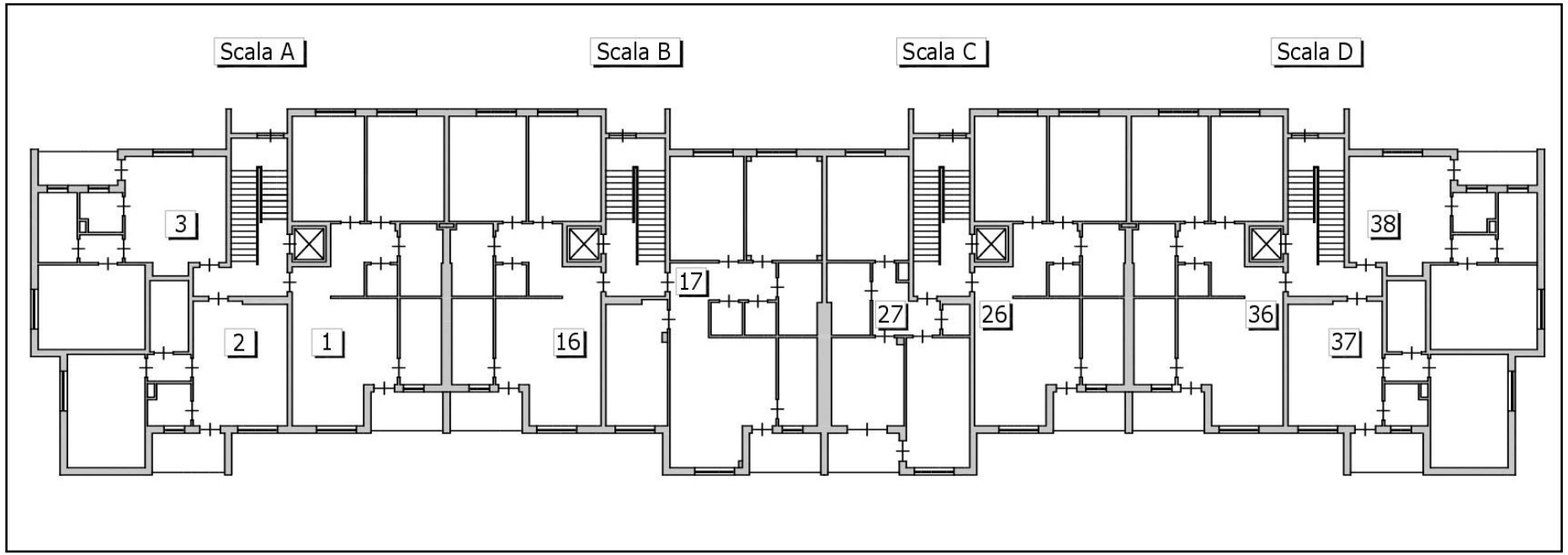

Fig. 8 Piano Tipo dell'edificio

1.4 - Elementi principali dell'involucro edilizio (stato di fatto)

STRUTTURA	$\mathbf{U_m}$ [W/(m^{2}K)]
Pareti Opache verticali: *Blocchi di laterizio spessore 300-350 mm*	*0,88*
Solai interpiani: *Laterocemento spessore 330 mm*	*1,14*
Solaio vs sottotetto: *Laterocemento spessore 290 mm*	*1,15*
Elementi finestrati: *Alluminio vetro camera standard*	*3,5**

Numero ricambi aria (UNI EN 12831)	*0,5 [vol/h]*
Fabbisogno medio (UNI EN 12831)	*32 [W/m^3]*

1.5 -Elementi principali dell'impianto termico (stato di fatto)

IMPIANTO		η [%]
Generatore di calore: *Caldaia a GAS Condens.*	*[$\eta_{H,gen,p,tot}$]*	*94,5 %*
Distribuzione: *Colonne montanti in traccia*	*[$\eta_{H,du}$]*	*91,7 %*
Terminali di Erogazione: *radiatori a colonne in ghisa*	*[$\eta_{H,em}$]*	*91,7 %*
Regolazione: *sonda esterna climatica*	*[$\eta_{H,rg}$]*	*85,1 %*
Rendimento medio globale stagionale	*[$\eta_{H,g,p,tot}$]*	*67,3 %*

2. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

2.1 - Generatore di Calore

L'impianto installato presso l'edificio esaminato è costituito da un generatore di calore a basamento alimentato a Gas a condensazione, la potenza termica al focolare installata è **272 kW** (Dati rilevati a bordo macchina), con un rendimento dichiarato *[$\eta_{,gn,\ Pn}$] al 100 % = 99,3,* ovviamente in condizioni di generatore nuovo.

L'impianto installato non è asservito alla produzione di acqua calda sanitaria centralizzata, ma si limita al solo riscaldamento centralizzato, è stato dotato di un Contabilizzatore di calore Tipo COSTER KWS 65M (lanciaimpulsi) che, attraverso il modulo elettronico

centrale e le due sonde di temperatura, restituisce il valore dell'energia termica utilizzata dal sistema.

Originariamente l'edificio era servito da caldaia a Gasolio da 320 kW installata nei primi anni '80 (data di ultimazione degli appartamenti) successivamente sostituita con l'attuale caldaia a GAS a condensazione.

L'impianto è di tipo a vaso chiuso con circolazione forzata e distribuzione a colonne montanti.

All'interno delle unità immobiliari gli erogatori di calore sono costituiti da radiatori in ghisa di tipo a "pannello".

Nel seguito si mostreranno alcuni elementi costituenti l'impianto dell'edificio oggetto di esame;

Fig. 9 Generatore di Calore e sistema di circolazione

2.2 - Distribuzione e circolazione

La distribuzione generale, a servizio delle unità, avviene mediante colonne montanti le quali si dividono sostanzialmente per scala, sono presenti 2 colonne montanti principali; una a servizio delle unità immobiliari facenti capo alle scale A e B e l'altra per le restanti unità delle scale B e C.

La distribuzione interna alle unità dei diversi piani serviti è realizzata con tubazioni in derivazione alle colonne montanti, non sono presenti valvole di bilanciamento.

Il fluido è movimentato da due gruppi di pompe gemellari a portata costante poiché non sono ancora stati installati i contabilizzatori individuali di calore con le relative valvole termostatiche.

2.3 - Erogatori di Calore interni alle Unità

Gli erogatori interni alle unità immobiliari sono costituiti principalmente da radiatori in ghisa di tipo a pannello, di diverse dimensioni, nella maggior parte dei casi sono rimasti quelli originari installati all'epoca della costruzione dell'edificio.

L'immagine di Fig. 11 illustra uno dei radiatori rilevati, si noti che non dispongono del ripartitore .

Nel seguito, viene riportata una scheda, Fig. 10, che illustra una parte delle unità immobiliari del piano rialzato dell'edificio, in essa sono visibili la posizione e le caratteristiche dei caloriferi rilevati; numero di colonne, altezza e n. di elementi, non è stata inserita la potenza poiché, com'è noto, essa varia in funzione della temperatura di mandata e del Δt utilizzato. E' molto probabile che con gli anni il valore di temperatura di mandata sia progressivamente calato in conseguenza della tecnologia del generatore di calore impiegato.

Negli anni '70 e fino a metà anni '80 era usuale dimensionare i radiatori secondo la UNI 6514 che prevedeva un Δt = 60 °C e temperature di mandata a 80-85 °C

Con l'attuale caldaia a GAS a condensazione la Temperatura di mandata è stata notevolmente ridotta, nonostante le condizioni di progetto della zona climatica, T_{est} = -9 °C, il generatore opera con una T_M intorno a 68 -70 °C con Δt di 10 °C.

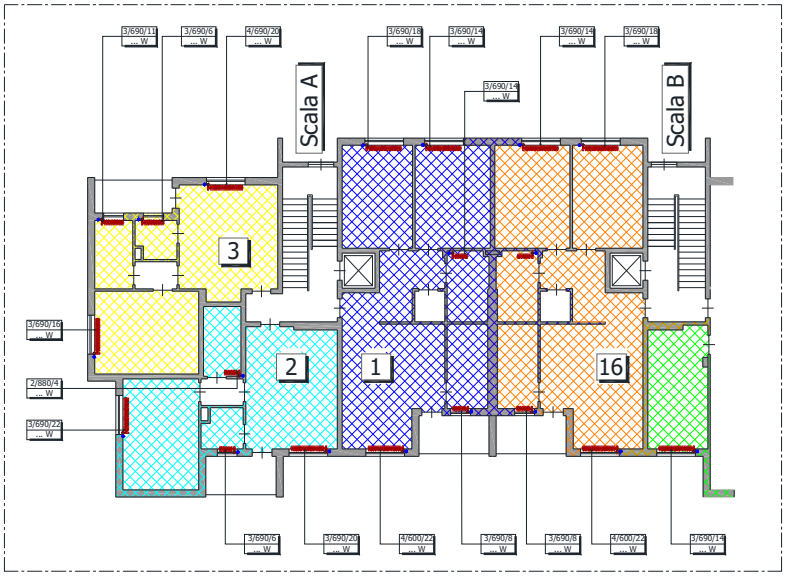

Fig. 10 porzione di unità rilevate ed indicazione dei caloriferi

Fig. 11 Esempio di radiatore tipo

2.4 - Regolazione

Non è prevista una regolazione di zona, è presente la sola regolazione in CT con centralina di caldaia che modula la potenza mediante sonda di Temperatura esterna.

Nota: presso le unità dovranno essere installate le valvole termostatiche ed i ripartitori su tutti i corpi scaldanti per ottemperare a quanto prescritto dal Dlgs 102/2014 e s.m.i.

3. RISTRUTTURAZIONE IMPIANTO TERMICO

L'impianto termico dell'edificio in esame è stato oggetto di recente ristrutturazione con il passaggio da caldaia a gasolio a caldaia a gas a condensazione, rifacimento di alcuni componenti impiantistici di centrale (collettore, stacchi alle colonne montanti, sistema di circolazione, dispositivi di sicurezza, bonifica del serbatoio ed altri interventi elettrici correlati). L'intervento si è, comunque, limitato ai locali tecnici e non ha coinvolto la restante parte dell'edificio.

3.1 - Costi per ristrutturazione impiantistica con caldaia a Gas a Condensazione

L'inserimento della caldaia a Gas a condensazione, in luogo di quella a gasolio, ha comportato una serie di interventi accessori indispensabili per il corretto e completo funzionamento del sistema. Di seguito viene riportata la tabella delle spese sostenute per l'intervento.

OPERA		DESCRIZIONE		COSTO € iva esclu	iva %	COSTO € iva inclusa
Generatore di Calore		Dismissione e smaltimento vecchio generatore. Caldaia nuova + accessori		17850,00	22%	21777,00
Linea Gas		Scavi fornitura tubi valvole ed accessori		8000,00	22%	9760,00
Canna Fumaria		Rifacimento sistema di evacuazione dei fumi a partire dalla CT fino al camino sulla copertura		4250,00	22%	5185,00
Termoidraulica		Rifacimento collettore Vasi di espansione Valvolame vario Dispositivi inail ex ispesl Contatermie Pompe di circolazione Lavaggio impianto Addolcitore		4450,00	22%	5429,00
Impianto Elettrico		Nuovo Quadro elettrico Nuove linee Rilevatori e centraline gas		3750,00	22%	4575,00
Opere Edili		Modifiche secondo DM 12/04/1996 Porte REI Risanamento pareti Tinteggiatura		1350,00	10%	1485,00
Serbatoio		Bonifica e dismissione		1500,00	22%	1830,00
Pratiche e Progetti				4800,00	22%	5856,00
Totale				45950,00		**55897,00**

Tab. 1 Tabella costi sostenuti per l'intervento di riqualificazione da Gasolio a Gas a Condensazione

Dalla tabella è possibile suddividere l'importo economico complessivamente sostenuto in tre "capitoli di spesa":

- Spese per nuovo generatore;
- Spese Tecniche
- Spese accessorie all'intervento

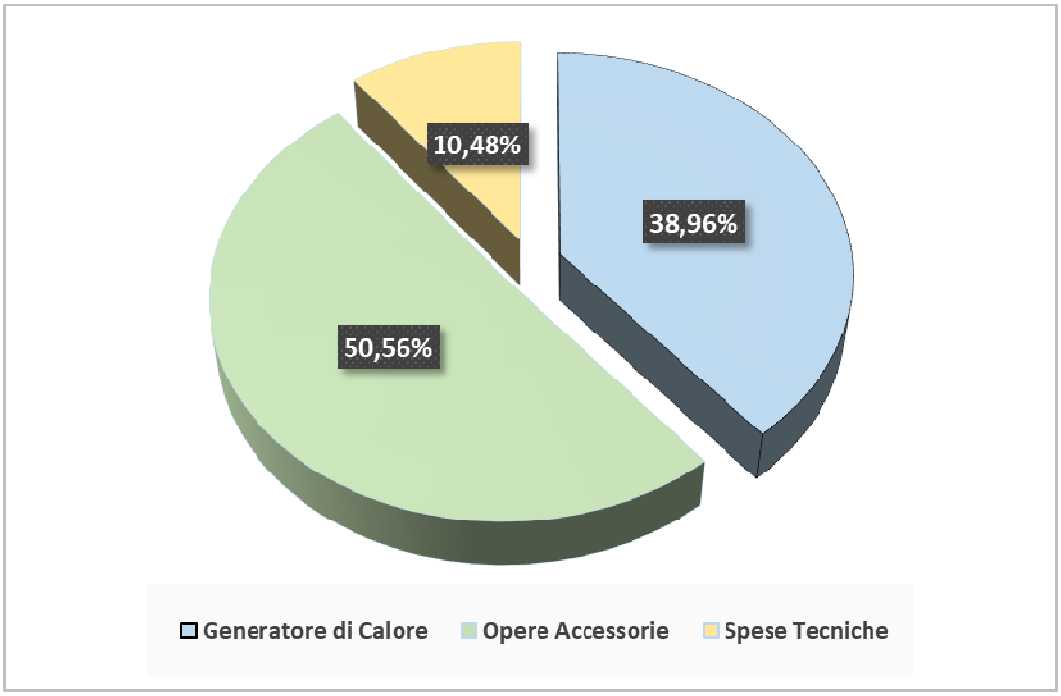

Fig. 12 suddivisione % delle spese

Si osserva che il costo del generatore, rispetto al costo complessivo, ha un'incidenza di circa il 39% mentre le opere accessorie superano il 50% del costo complessivo Fig. 12

I dati analizzati durante l'indagine mostrano che gli ultimi due anni di funzionamento a Gasolio è stata sostenuta una spesa media della materia prima pari a circa € 44.500 (acquisto del combustibile). Con l'inserimento della caldaia a gas a condensazione il costo medio dell'acquisto di combustibile nelle due stagioni analizzate ammontava a circa € 33.000,00 ovvero un risparmio medio di € 11.500,00/anno che in prima approssimazione si può tradurre in un investimento che raggiunge il suo punto di parità in circa 5 anni, periodo dopo il quale si avrà un risparmio che si cumulerà nel tempo.

La situazione sopra descritta è rappresentata graficamente nella tabella di Fig. 13 ed occorre precisare che il modello di calcolo del risparmio tiene conto del fatto che il costo dell'energia per kWh considera il Δ costo di acquisto fra gasolio e gas naturale.

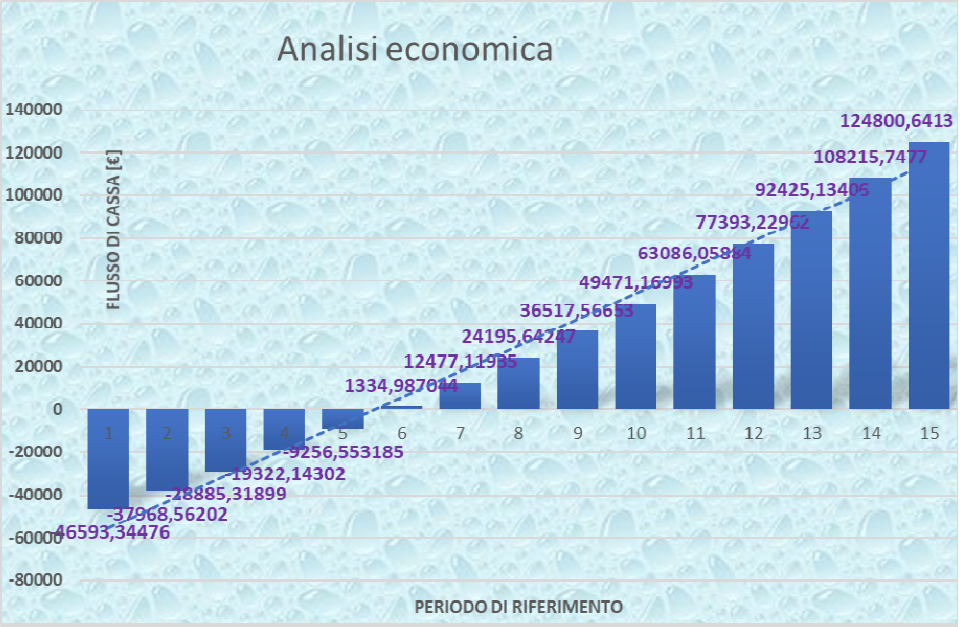

Fig. 13 Analisi economica intervento con Caldaia a Gas

Nella ipotesi di valutare l'applicazione di una pompa di calore standard anziché una caldaia a gas è possibile fare alcune considerazioni generali.

Si consideri che l'edificio in oggetto abbia un fabbisogno complessivo invernale di 350.000 kWh (il calcolo puntuale verrà illustrato successivamente), come si è visto con una caldaia a gas a Condensazione si spendono mediamente 33.000 €/anno (nella situazione analizzata ancora non erano state installate le valvole termostatiche ed i ripartitori per la contabilizzazione individuale).

Qualora la pompa di calore avesse un COP stagionale di 3 (valore cautelativo e variabile in funzione delle condizioni ambientali esterne), il consumo di energia elettrica sarebbe di 116.666,66 kW/anno. Si tratta ora di valutare il costo dell'energia elettrica, costo che dipende in maniera assolutamente stringente dal sistema tariffario. Ipotizzando una potenza impegnata di 90 kW (situazione abbastanza improbabile da ottenere per utenza privata in bassa tensione 400 V 50 Hz) ed un contratto specifico per PdC si potrebbe supporre di

ottenere una tariffa elettrica agevolata intorno a 21,2 $€_{cent}$/kWh, invariata per un periodo di tempo stabilito, si avrebbe come risultato una spesa complessiva per la stagione di riscaldamento pari ad € 24733,33 ovvero circa il 25% in meno rispetto alla caldaia a condensazione.

In prima battuta sembrerebbe estremamente conveniente adottare una PdC per applicazioni in edifici di tipo condominiale, tuttavia occorre valutare una serie di aspetti tecnici non trascurabili, soprattutto nel caso in cui l'applicazione sia rivolta ad un edificio esistente poco coibentato e strutturato per operare con fluido vettore a temperature oltre i 70 °C in mandata.

Nel seguito verranno analizzati i principali fattori tecnici che permetteranno di valutare la fattibilità Tecnico/Economica circa l'istallazione di una PdC in edificio condominiale esistente.

4. CARICO TERMICO INVERNALE EDIFICIO

Come prima operazione è stato definito il fabbisogno energetico tenuto conto che l'edificio presenta le caratteristiche costruttive tipiche dei fabbricati realizzati verso la fine degli anni '70 in cui non vigeva una normativa rigorosa sul risparmio energetico, è possibile che lo stabile sia stato edificato con i criteri dettati dall'allora Lg. 373 del 1976 *"Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici".* Tuttavia il contenimento energetico, inteso come prestazione termica dell'involucro, era limitato al Capo III della Legge in particolare all'art. 14 *"Per caratteristica di isolamento termico si intende il coefficiente volumico globale di dispersione termica espresso in chilocalorie al metro cubo per ora per salto termico di un grado centigrado (kcal/h m al cubo °C)".*

Il calcolo del carico termico è stato effettuato attraverso il modello realizzato con EC 700 ed ha restituito i seguenti valori principali (allegato 1 - ALL.1)

Dispersioni strutture opache:

						Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
					Totale:	***118886***	***46,80***

Dispersioni strutture trasparenti:

						Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
					Totale:	***43286***	***17,04***

Dispersioni dei ponti termici:

						Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
					Totale:	***20647***	***8,13***

Potenza dispersa per ventilazione:

						Φ_{ve} [W]	% Φ_{Tot} [%]
					Totale:	***38630***	***15,21***

Potenza dispersa per intermittenza:

						Φ_{rh} [W]	% Φ_{Tot} [%]
					Totale:	***32562***	***12,82***

Potenza dispersa TOTALE: Totale **254010 W**

Potenza installata generatore **272 kW**

Fabbisogno dell'edificio $\mathbf{Q_{H,nd}}$ **313341 kWh/anno**

Si può notare che i principali elementi disperdenti sono le strutture opache ed a seguire i serramenti ed altri elementi minori. I dati ricavati sono riassunti nella tabella 2 e rappresentati graficamente nel diagramma di Fig.14

Potenza Trasmessa [W]	%	ϕ	Descrizione
118886	46,80%	$\phi_{tr,op,}$	Flusso per trasmissione srutture opache
43286	17,04%	$\phi_{tr,ve}$	Flusso per trasmissione srutture trasparenti
20647	8,13%	ϕ_{pt}	Flusso perso ponti termici
38630	15,21%	ϕ_{ve}	Flusso perso per ventilazione
32562	12,82%	ϕ_{rh}	Flusso perso per intermittenza

Tab. 2 Flussi disperi nell'edificio

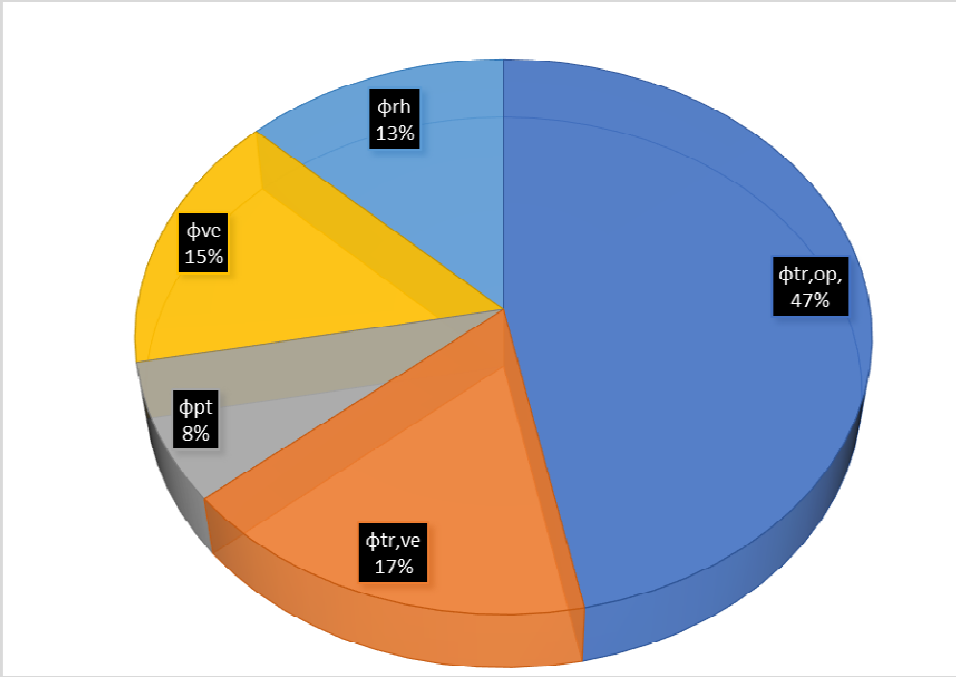

Fig. 14 Grafico dei flussi termici

Al fine di condurre una realistica simulazione energetica, oltre ad essere stati impostati i parametri generali quali: caratteristiche geografiche e climatiche della località, ombreggiamenti, stratigrafie di strutture opache verticali ed orizzontali, strutture trasparenti e ponti termici sono state create tutte le zone all'interno dell'intero edificio nonché tutti i locali all'interno delle zone così come rilevate in fase di indagine. Per quanto concerne il profilo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento, durante il periodo invernale è stato considerato

un livello termico all'interno degli ambienti pari a 20 °C secondo le norme UNI TS 11300, da lunedì a domenica nel periodo convenzionale di 183 GG e 14 ore giorno di funzionamento, mentre la temperatura esterna di calcolo è quella riferita alla località ovvero **-9 °C** T_{minima} (UNI 10349). Il profilo delle temperature minime e massime, riferito alla località in esame, è rappresentato nella tabella di Fig. 15

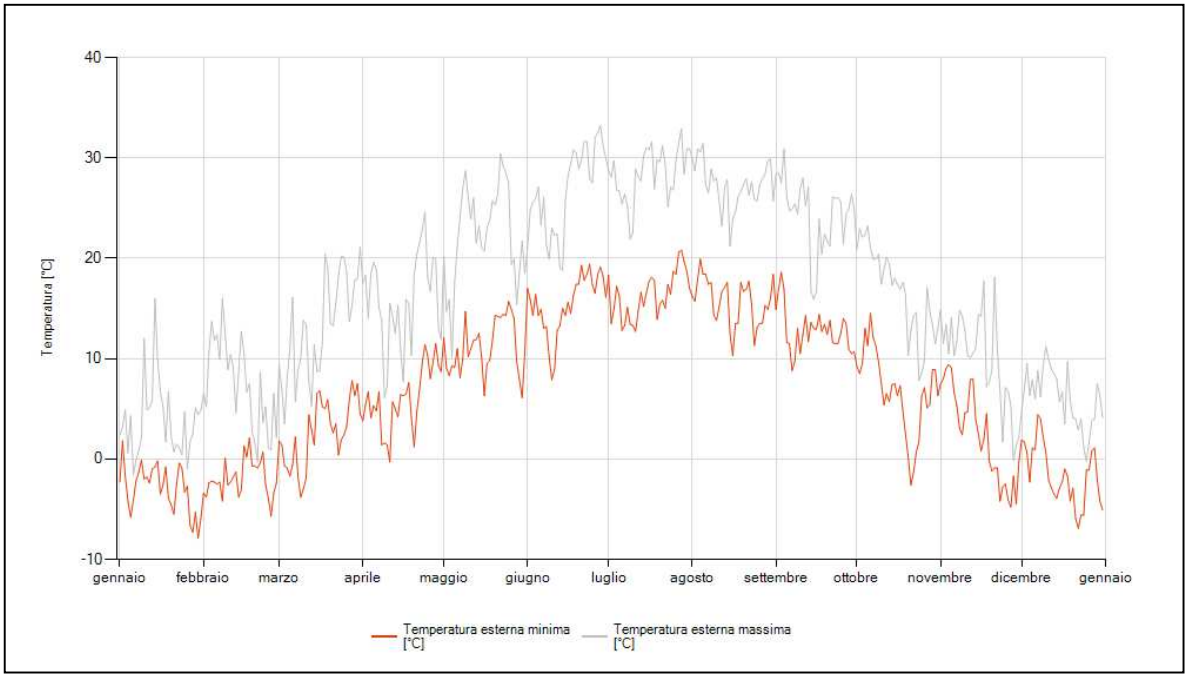

Fig. 15 Grafico andamento temperature esterne nella località di rifereimento

Con la procedura adottata è stato possibile ricavare degli indicatori circa le prestazioni energetiche dell'edificio (in particolare la climatizzazione invernale), poiché l'elemento fondamentale del modello realizzato è l'esecuzione del confronto tra l'energia richiesta dal fabbricato ovvero i consumi calcolati ed i consumi reali, ottenuti dalle misure dei contatori. Generalmente un confronto ancora più accurato considera sia i consumi di combustibile che di energia elettrica, dati più facilmente reperibili nonché rappresentativi delle prestazioni energetiche complessive dell'edificio. Questi ultimi non sono stati analizzati con accuratezza poiché a differenza dell'impianto termico, unico per tutta la struttura analizzata, i contatori elettrici erano divisi per scale, pertanto erano presenti 4 contatori indipendenti per ogni scala a servizio delle diverse utenze condominiali (luci cantine, luci scale, ascensori ed atri).

Gli indicatori ricavati sono rappresentati nella configurazione tipica proposta dalle linee guida

della normativa di riferimento.

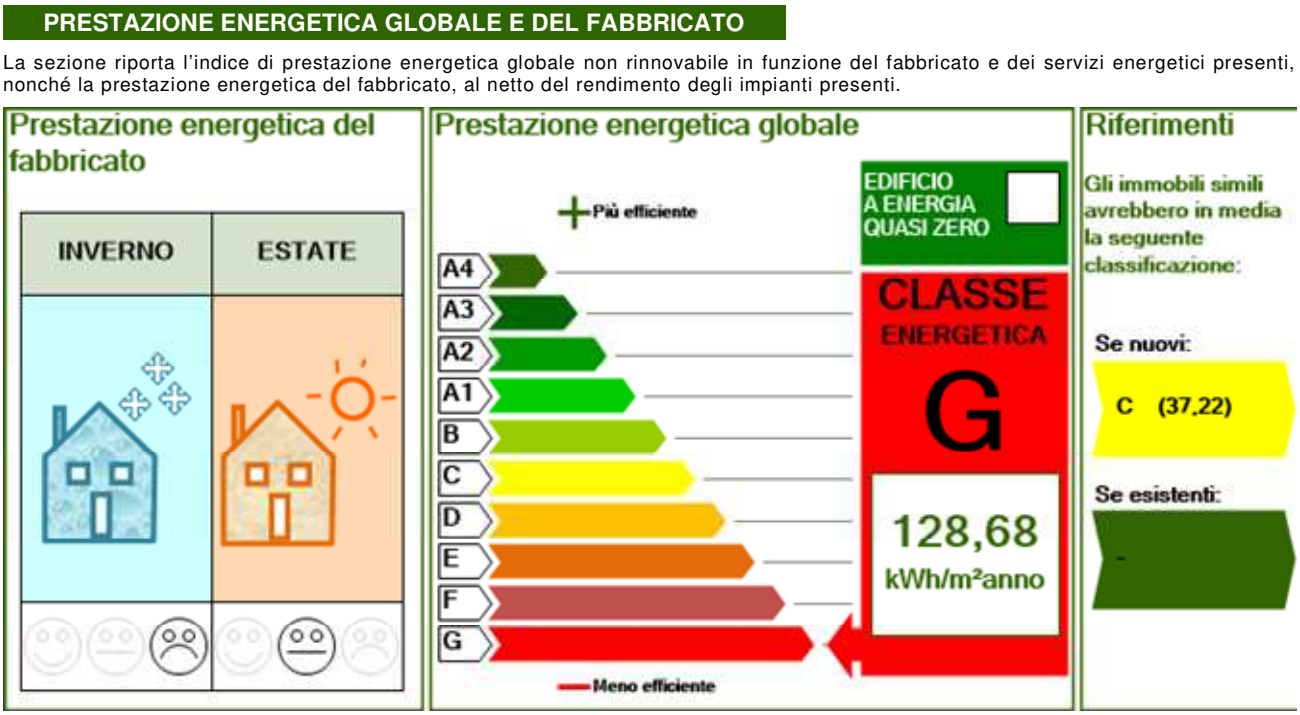

Fig. 16 Prestazione globale del fabbricato secondo linee guida nazionali

Nella Fig. 16 è stata riportata la tabella rappresentante l'indice di prestazione energetica del fabbricato, così come indicato nelle Linee guida per l'attestazione energetica degli edifici di cui al decreto previsto dall'articolo 6, comma 12 del d.lgs. 192/2005.

Si può immediatamente verificare che il modello restituisce un valore di $\mathbf{Q_{H,p,nren}}$ (*Energia Primaria non Rinnovabile per il riscaldamento*) pari a **380905 [kWh/anno]** ed un $\mathbf{Q_{H,gen\ out}}$ (*Fabbisogno in Uscita dalla Generazione*) pari a **359103 [kWh/anno]** che tradotto in consumo di metano corrispondono a circa **36223 [Sm^3/anno]**, ciò significa una spesa intorno a **€ 32.600,00**/anno per il riscaldamento (il Nm^3 corrisponde a 1,0549 Sm^3 e nella fatturazione vengono indicati gli Sm^3, il costo complessivo del metano si attesta intorno a 0,9 €/Sm^3).

Tenuto conto che l'edificio è composto da 50 unità immobiliari di dimensioni medio piccole, appartamenti che vanno dai 45 m^2 ai 90 m^2 (superficie utile riscaldata, quindi esclusi balconi e verande), un alloggio con superficie netta scaldata di 85 m^2 incide per 30 millesimi di superficie scaldata sul totale delle zone scaldate dell'edificio, pertanto è immediato effettuare

un calcolo teorico sulla spesa della materia prima gas per il riscaldamento paria a circa € 980,00.

In realtà il costo sostenuto per il riscaldamento è maggiorato delle spese di gestione, spese di manutenzione e quelle correlate (esempio la quota parte di energia elettrica a servizio della CT, ecc..). Sostanzialmente il costo annuale di riscaldamento per una unità di 85 m^2 di superficie netta si stima fra € 1.200,00 – 1.250,00/anno.

Occorre tener presente che non tutte le stagioni sono uguali, anni più freddi ed anni più caldi e che la legge 102/2014 ha introdotto l'obbligo di installazione di sistemi per la suddivisione delle spese in base ai consumi effettivi di ogni utente e l'obbligo di termoregolazione per ogni singola unità, pertanto una ulteriore variabile alla suddivisione delle spese ed all'effettivo consumo energetico.

4.1 - Confronto dei risultati ottenuti con il modello rispetto ai reali consumi

Il modello realizzato per calcolare il fabbisogno termico dell'edificio, sulla base dell'energia spesa per il riscaldamento, ha restituito una serie di "indici" confrontabili che permettono di formulare ipotesi tecniche sufficientemente attendibili.

Un primo confronto è dato dalla lettura del contabilizzatore di calore su due stagioni di riferimento:

	$Q_{H,gen\ out}$ Modello [KWh/anno]	**Q_H** Contabilizzatore [KWh/anno]	Consumo di CH4 Modello [Sm^3]	Consumo di CH4 Lettura
Stagione 1	*359103*	**354000**	*36223*	**35880**
Stagione 2	*359103*	**368900**	*36223*	**37561**

Tab. 3 Confronto consumi effettivi con quelli del modello energetico

Si noti che per la stagione 1 il valore reale, in termini energetici di kWh, è leggermente inferiore rispetto al valore del modello circa **1,4 %** in meno, mentre per la stagione 2 il valore e leggermente superiore circa il **3,5 %** in più rispetto al modello. Uno dei motivi è da attribuire al reale valore dei gradi giorno della stagione 1 e della stagione 2 poiché da una verifica più approfondita, cioè la consultazione dei tabulati della stazione meteo ARPA più vicina a Cuorgnè ovvero Sparone, risulta che nella stagione 1, i gradi giorno hanno un valore

di GG = 2743, mentre per la stagione 2 sono GG = 2777, quindi un leggero scostamento rispetto ai GG di progetto.

Un altro elemento, sicuramente non trascurabile, è da attribuire alla gestione dell'impianto interno da parte dell'utenza, oppure alle effettive ore di funzionamento dell'impianto centralizzato, poiché è possibile che l'assemblea di condominio abbia votato una deroga e prolungato le ore oppure i giorni del periodo di riscaldamento che si ricorda essere di 183 giorni per la Zona E e 14 ore al giorno.

Altra situazione non trascurabile è da attribuire al reale utilizzo delle unità immobiliari, risulta evidente che se una serie di alloggi sono sfitti e vengono chiuse le valvole dei termosifoni l'energia sarà sicuramente inferiore.

5. VALUTAZIONE DEL CARICO TERMICO DELLE ZONE

Sulla base dei dati ottenuti messi a confronto con i consumi reali è possibile ritenere il modello sufficientemente attendibile da poter fare alcune considerazioni di tipo tecnico per l'eventuale applicazione di un generatore di calore alternativo alla Caldaia a Gas a condensazione.

Come è noto le tecnologie innovative per la produzione di energia termica operano con sistemi a bassa entalpia e nella stragrande maggioranza dei casi, per sistemi operanti con fluido termovettore acqua, le temperature di mandata agli impianti sono piuttosto contenute, nell'ordine dei 50 °C, fatta eccezione per i sistemi che producono anche Acqua Calda Sanitaria. Una pompa di calore standard aria-acqua ha limiti di operatività sulla temperatura di mandata, difficilmente si arriva a valori sopra i 60 °C con condizioni esterne intorno a -5 °C. Nel caso specifico la Temperatura esterna di progetto è -9 °C situazione ancora più gravosa. Per queste ragioni e per non effettuare interventi sull'impianto interno, risulta indispensabile verificare le prestazioni dei caloriferi esistenti.

Per svolgere questa operazione è stato preso in considerazione un alloggio tipo e sono state analizzate le caratteristiche tecniche dei corpi scaldanti.

5.1 - Verifica del dimensionamento caloriferi

I caloriferi sono quasi tutti realizzati in ghisa di tipo a pannello e sono ancora quelli originari (circa 40 anni di funzionamento). E' noto che il calorifero non si usura meccanicamente, ma è soggetto a perdita di efficienza per varie ragioni: presenza di depositi ed incrostazioni interne, utilizzo di vernici estetiche esterne oppure montaggi errati e troppo a ridosso della parete esterna.

Nei calcoli effettuati si è ritenuto ragionevole un decadimento dell'efficienza, data anche la vetustà dei componenti, di un valore pari al 25%, abbondantemente cautelativo. Va anche considerato che i costruttori dei componenti forniscono un valore di emissività dell'elemento con Δt 50 °C. Le schede seguenti mostrano l'effettiva resa dei termosifoni nuovi messi a confronto con le attuali condizioni di funzionamento 68-70 °C e con condizioni di mandata a 58 °C, il calcolo è stato eseguito in riferimento alla norma UNI-EN 442-2.

I radiatori rilevati hanno caratteristiche compatibili con quelli della marca BIASI modello PRG.

SPECIFICHE TECNICHE

Modello	Dimensioni (mm)					Volume acqua per elemento litri	Peso (10 elementi) kg	Potenza termica nominale		Coefficiente caratteristico n
	Altezza H	Interasse mozzi I	Profondità P	Larghezza mozzo L	Posizione mozzo E			Watt	kcal/h	
Modello a 2 colonne										
PRG 2/566	566	500	60	60	30	0,57	36,2	55,6	47,8	1,300
PRG 2/690	690	623	60	60	30	0,61	44,3	66,5	57,2	1,307
PRG 2/880	880	813	60	60	30	0,75	54,5	83,6	71,9	1,317
Modello a 3 colonne										
PRG 3/566	566	500	95	60	30	0,70	48,8	78,0	67,0	1,317
PRG 3/690	690	623	95	60	30	0,83	60,6	92,1	79,2	1,321
PRG 3/880	880	813	95	60	30	1,00	76,0	114,0	98,0	1,327
Modello a 4 colonne										
PRG 4/566	566	500	130	60	65	0,83	62,4	98,6	84,8	1,348
PRG 4/690	690	623	130	60	65	0,92	77,3	117,0	100,6	1,344
PRG 4/880	880	813	130	60	65	1,06	100,4	145,0	124,7	1,338
Modello a 5 colonne										
PRG 5/566	566	500	165	60	82,5	0,96	78,0	118,5	101,9	1,375
PRG 5/690	690	623	165	60	82,5	1,09	93,5	140,1	120,5	1,400
PRG 5/880	880	813	165	60	82,5	1,32	119,0	172,0	147,9	1,410

Fig. 17 Tabella emissione fornita da un produttore.

Modelli PRG 2/880 - 3/690 – 3/880 – 4/600

Dati Dichiarati dal Produttore:

$Q = Q_n * (\Delta t/50)^n$

Dove:

$\Delta T = \frac{T_M + T_R}{2} - Ta$

T_M = Temperatura mandata al radiatore

T_R = Temperatura ritorno dal radiatore

T_a = Temperatura ambiente (solitamente 20 °C)

n = (esponente caratteristico)

Fig. 18 Tipologia e specifiche del radiatore

Alloggio Tipo			Potenza radiatori [W] ΔT [°C]					Decadimento 25%	
Locale	**Radiatore**	**Elementi**	34	44	46	48	50	34	44
Cucina	3/690	8	*442,68*	*622,32*	*659,95*	*698,12*	*736,80*	**332,01**	**466,74**
Soggiorno a	2/880	8	*402,45*	*565,17*	*599,25*	*633,79*	*668,80*	**301,84**	**423,88**
Soggiorno b	3/690	21	*1162,05*	*1633,58*	*1732,38*	*1832,56*	*1934,10*	**871,53**	**1225,19**
Bagno	2/880	8	*402,45*	*565,17*	*599,25*	*633,79*	*668,80*	**301,84**	**423,88**
Camera 1	3/690	14	*774,70*	*1089,05*	*1154,92*	*1221,71*	*1289,40*	**581,02**	**816,79**
Camera 2	3/690	14	*774,70*	*1089,05*	*1154,92*	*1221,71*	*1289,40*	**581,02**	**816,79**
Camera 3	3/690	16	*885,37*	*1244,63*	*1319,91*	*1396,24*	*1473,60*	**664,03**	**933,47**
Potenza [W] Alloggio Tipo			**4844**	**6809**	7221	7638	*8060,9*	**3633,29**	**5106,73**

Tab. 4 Calcolo potenze emesse di un alloggio campione

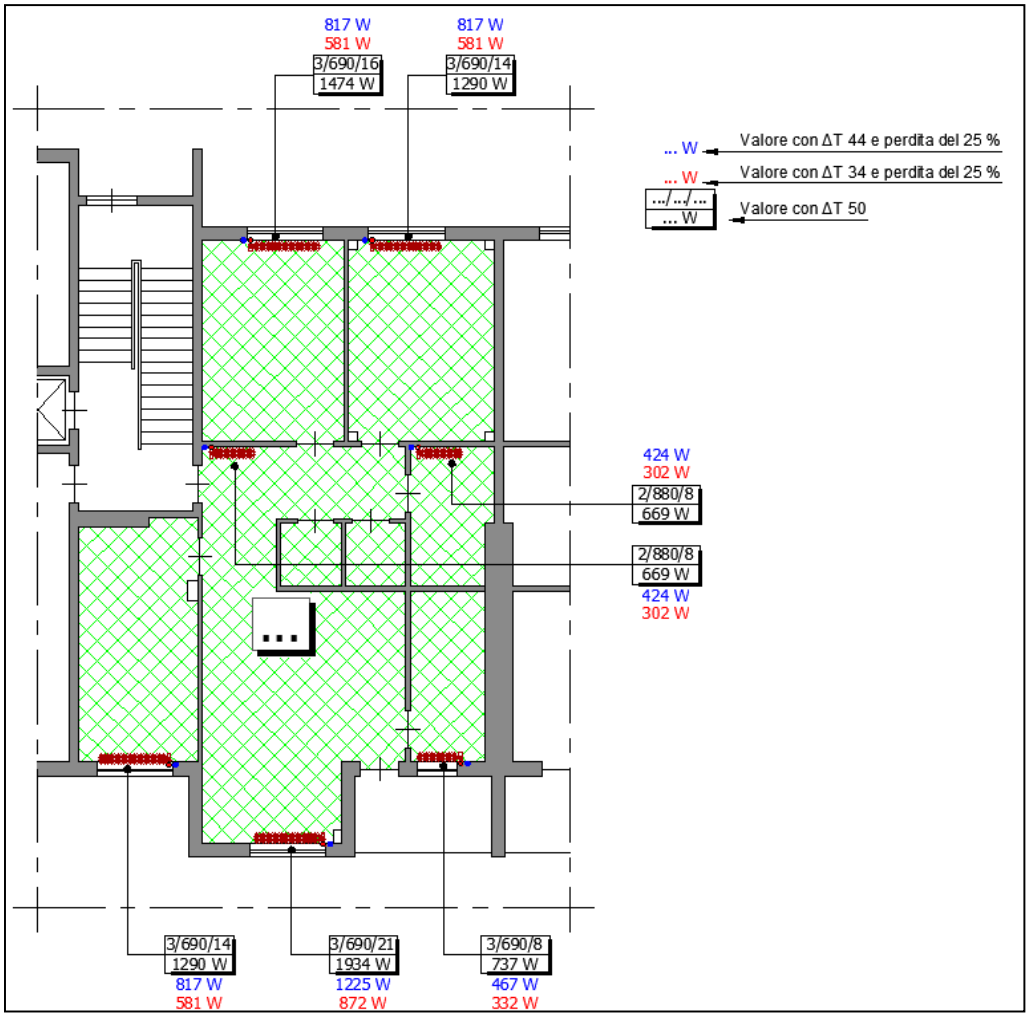

Fig. 19 Rappresentazione Tipo di appartamento grande con dislocazione e caratterizzazione dei radiatori

Le combinazioni possibili per ottenere un ΔT 34 °C sono molteplici quella utilizzabile per il caso in esame è T_M = 58 °C con T_R = 50 °C, ma come è intuibile una Temperatura di mandata a 58 °C è già una condizione gravosa per l'impiego di una Pompa di Calore.

5.2 - Analisi dei carichi dell'unità tipo

Si esaminano ora i carichi termici effettivi dell'unità tipo per verificare se i radiatori installati siano ancora in grado di soddisfare il fabbisogno qualora operassero con un fluido a temperatura più bassa rispetto agli attuali 68 – 70 °C T_M.

Loc	Descrizione	θi [°C]	n [1/h]	Φ_{tr} [W]	Φ_{ve} [W]	Φ_{rh} [W]	Φ_{hl} [W]	$\Phi_{hl\ sic}$ [W]
1	Camera 1	20,0	0,50	779	170	143	1092	1092
2	Soggiorno	20,0	0,50	1800	399	336	2535	2535
3	Ripostiglio 1	20,0	0,50	31	23	19	74	74
4	Ripostiglio 2	20,0	0,50	31	23	19	74	74
5	Cucina	20,0	0,50	429	76	64	569	569
6	Bagno	20,0	0,50	93	67	56	217	217
7	Camera 2	20,0	0,50	796	174	147	1118	1118
8	Camera 3	20,0	0,50	1118	172	145	1435	1435
			Totale:	**5077**	**1105**	**931**	**7114**	**7114**

Legenda simboli

θi	Temperatura interna del locale
n	Ricambio d'aria del locale
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione
Φ_{ve}	Potenza dispersa per ventilazione
Φ_{rh}	Potenza dispersa per intermittenza
Φ_{hl}	Potenza totale dispersa
$\Phi_{hl\ sic}$	Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

Tab. 5 Fabbisogno termico secondo UNI EN 12831 di un alloggio campione

Dalla tabella di Tab.5 si osserva che il carico totale di zona è pari a **7114 W** ed è compatibile con la potenza dei radiatori installati presso l'edificio ovvero **8060 W** (impianto originario con caldaia a Gasolio che operava con Temperatura di mandata sicuramente intorno agli 80 °C).
Nella tabella è possibile osservare che due valori hanno poca incidenza rispetto agli altri, la potenza persa per intermittenza e quella per ventilazione; la prima in un impianto centralizzato non ha molta rilevanza poiché vi sono orari stabiliti per accensione e

spegnimenti e la regolazione è di tipo climatico, la seconda ha un'influenza "soggettiva", essa viene calcolata, ma spesso nelle unità abitative non si hanno dei ricambi d'aria pari a 0,5 Volumi/ora (come da norma UNI), eccetto nei bagni. Motivo per cui, spesso in passato, alcuni alloggi di edifici popolari piuttosto grandi, raggiungevano temperature interne anche di 24 -25 °C.

L'installazione della nuova caldaia a Gas a condensazione operante con temperatura di mandata max fra i 68 – 70 °C, in abbinamento a termosifoni obsoleti, porta ad avere una potenza disponibile, nell'ambiente tipo, di circa **5100 W**, (Tab. 4, colonna corrispondente al Δt 44 con decadimento de 25 %) valore ancora compatibile se paragonato alla sola potenza dispersa per trasmissione pari a **5077 W.**

Certamente non compatibile con un sistema operante con T di mandata a 58 °C poiché, sugli attuali radiatori si avrebbe una potenza insufficiente per soddisfare il fabbisogno, anche solo per trasmissione calcolato in **3633 W** con conseguente discomfort interno.

5.3 - Considerazioni preliminari

Gli elementi analizzati fino ad ora forniscono informazioni sufficienti per dimostrare che l'installazione di una pompa di calore di tipo standard aria-acqua così come sola sostituzione al generatore di calore a Gas non può essere effettuata: i limiti di temperatura; troppo bassi per l'impianto esistente, non riuscirebbero a soddisfare il fabbisogno richiesto dalle singole unità ovvero dall'edificio.

Un altro aspetto non trascurabile riguarda la potenza del gruppo pompa di calore, una macchina da 250 kW, ammesso che operi con un C.O.P. di 2,8 a 0° C richiederebbe, in prima analisi, un'alimentazione elettrica con potenza di circa **100** kW, che difficilmente la rete nazionale riuscirebbe a fornire in bassa tensione (400 V, 50 Hz) nelle zone residenziali, vincolando l'Utente a realizzare una Cabina MT/BT che si rivelerebbe costosa e richiederebbe spazi tecnici aggiuntivi per la sua costruzione.

Si potrebbe optare per un sistema con pompa di calore ad Assorbimento ad ammoniaca operante con gas metano ovvero i sistemi GAHP, ma anche in questo caso il numero di macchine da impiegare per soddisfare il fabbisogno e la potenza richiesta di circa **250 kW**

non giustificherebbe il costo da sostenere intorno € 85.000,00 di sola fornitura delle macchine oltre alle opere accessorie indispensabili fra cui la rete di adduzione del gas e le opere edili per la ricollocazione all'esterno delle macchine.

Risulta evidente che, in un edificio dalle caratteristiche sopra descritte, una mera sostituzione del generatore di calore tradizionale alimentato a gas a condensazione con una pompa di calore non trova un riscontro applicabile.

Occorre necessariamente ridurre il fabbisogno del fabbricato rendendolo quanto più possibile compatibile con i limiti dettati dalle tecnologie delle PdC, in modo da effettuare un intervento tecnicamente ed economicamente sostenibile.

6. INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE

Dalla tabella e dal grafico di pag. 23 si rileva che vi sono i presupposti per intervenire sulla struttura dell'edificio.

Per poter ridurre il fabbisogno termico in modo significativo occorre intervenire sull'involucro edilizio effettuando una opportuna coibentazione, l'operazione deve tener conto delle esigenze degli inquilini pertanto la via percorribile risulta quella dell'isolamento di tipo a Cappotto effettuato interamente all'esterno dell'edificio.

6.1 - L'isolamento a "Cappotto"

Si considera di effettuare un intervento di riqualificazione mediante applicazione di isolamento esterno, cosiddetto a "Cappotto", su tutta la superficie disperdente compreso il sottotetto.

Le pareti saranno trattate mediante fissaggio di apposito isolante e rete plastica strutturale.

Descrizione della struttura: ***Parete esterna*** **Codice:** ***M1***

Trasmittanza termica	***0,212***	W/m^2K
Spessore	***402***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***-9,0***	°C
Permeanza	***0,558***	$10^{-12}kg/sm^2Pa$
Massa superficiale (con intonaci)	***234***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***191***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,027***	W/m^2K
Fattore attenuazione	***0,127***	-
Sfasamento onda termica	***-11,9***	h

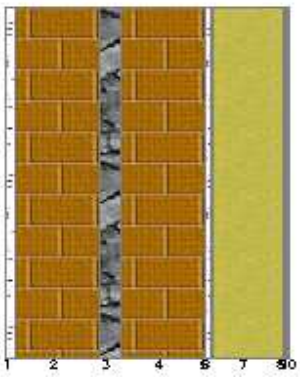

Fig. 20 a)

Descrizione della struttura: ***Sottofinestra*** **Codice:** ***M2***

Trasmittanza termica	***0,243***	W/m^{2}K
Spessore	***252***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***-9,0***	°C
Permeanza	***0,560***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***138***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***95***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,109***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,451***	-
Sfasamento onda termica	***-6,8***	h

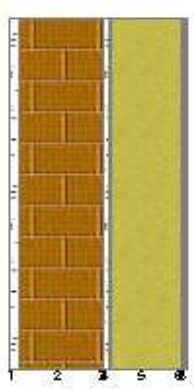

Fig. 20 b)

Descrizione della struttura: ***Soffitto vs sottotetto*** **Codice:** ***S2***

Trasmittanza termica	***0,297***	W/m^{2}K
Spessore	***390***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***-6,1***	°C
Permeanza	***18,002***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***405***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***378***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,037***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,124***	-
Sfasamento onda termica	***-11,1***	h

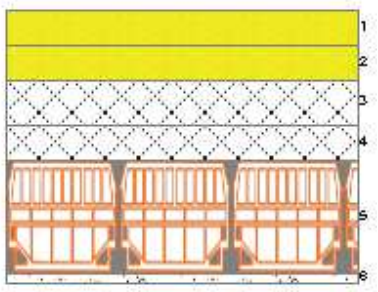

Fig. 20 c)

Sul solaio si prevedono due strati di lana di vetro da 50 mm posati in modo incrociato.

Le specifiche dettagliate dell'isolamento sono indicate nei calcoli dell'allegato 2 (ALL. 2) della presente documentazione.

Con l'intervento di isolamento a cappotto lo scenario dei flussi termici migliora significativamente ed assume la configurazione rappresentata nel grafico di Fig 21

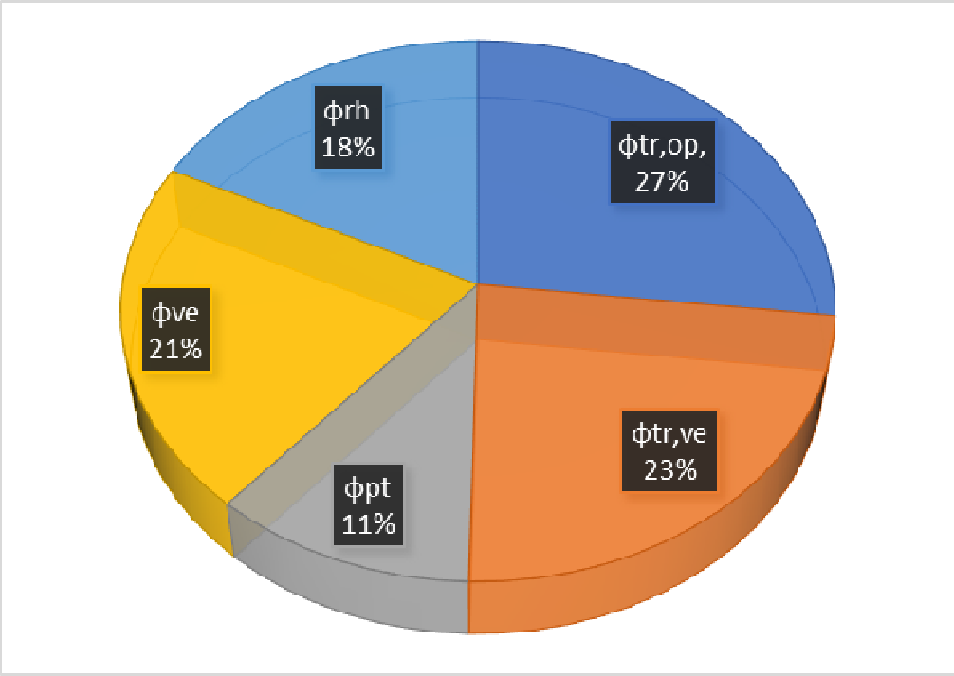

Fig. 21 Grafico dei flussi termici con intervento di ISOLAMENTO a CAPPOTTO

Si noti come la precedente quota di flusso per trasmissione superfici opache passi dal 47% al 27 %. L'intervento di coibentazione ha più che dimezzato il valore della potenza dispersa $\phi_{tr\ op}$ riducendola da 118,886 kW a 49,353 kW, il nuovo valore di fabbisogno viene riportato in tabella 6

Potenza Trasmessa [W]	%	ϕ	Descrizione
49353	26,83%	$\phi_{tr,op,}$	Flusso per trasmissione srutture opache
43286	23,53%	$\phi_{tr,ve}$	Flusso per trasmissione srutture trasparenti
20149	10,95%	ϕ_{pt}	Flusso perso ponti termici
38630	21,00%	ϕ_{ve}	Flusso perso per ventilazione
32562	17,70%	ϕ_{rh}	Flusso perso per intermittenza
183980		Φ_{Tot}	

Tab. 6 Grafico dei flussi termici

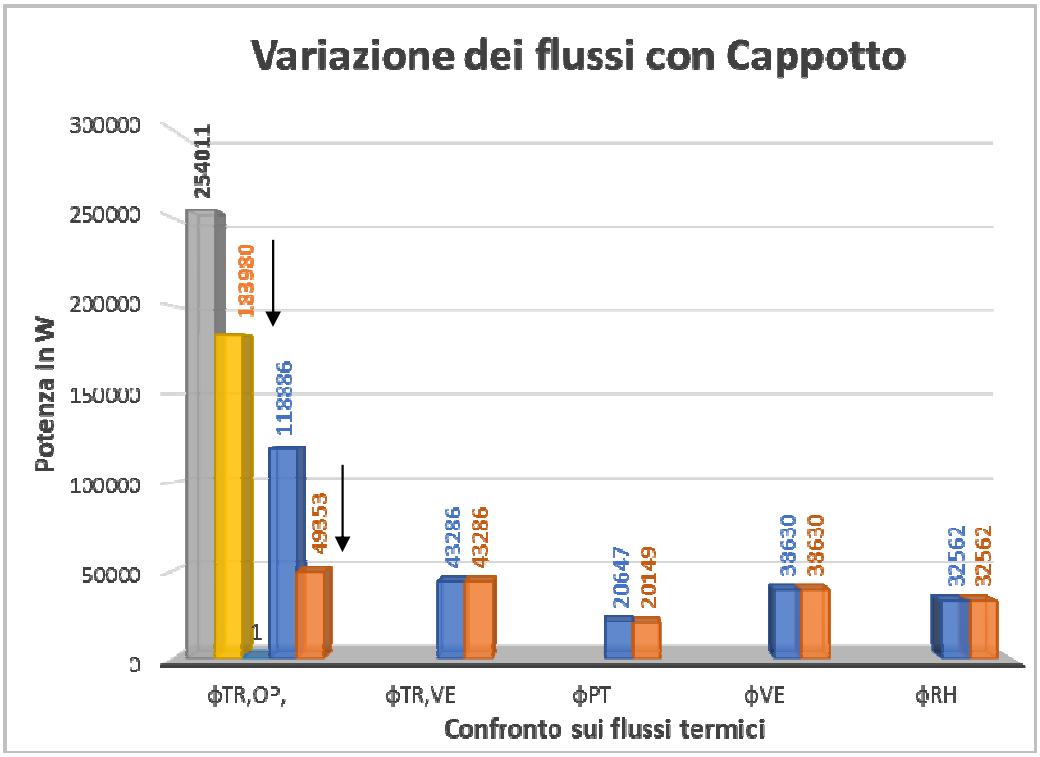

Fig. 22 Grafico dei flussi termici con isolamento a cappotto

L'intervento consente di passare da una potenza complessiva di 254 kW a 184 kW riducendo del 27,5 % il fabbisogno termico complessivo dell'edificio.

Anche in questo caso è possibile rappresentare con degli indicatori la nuova prestazione energetica dell'edificio.

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

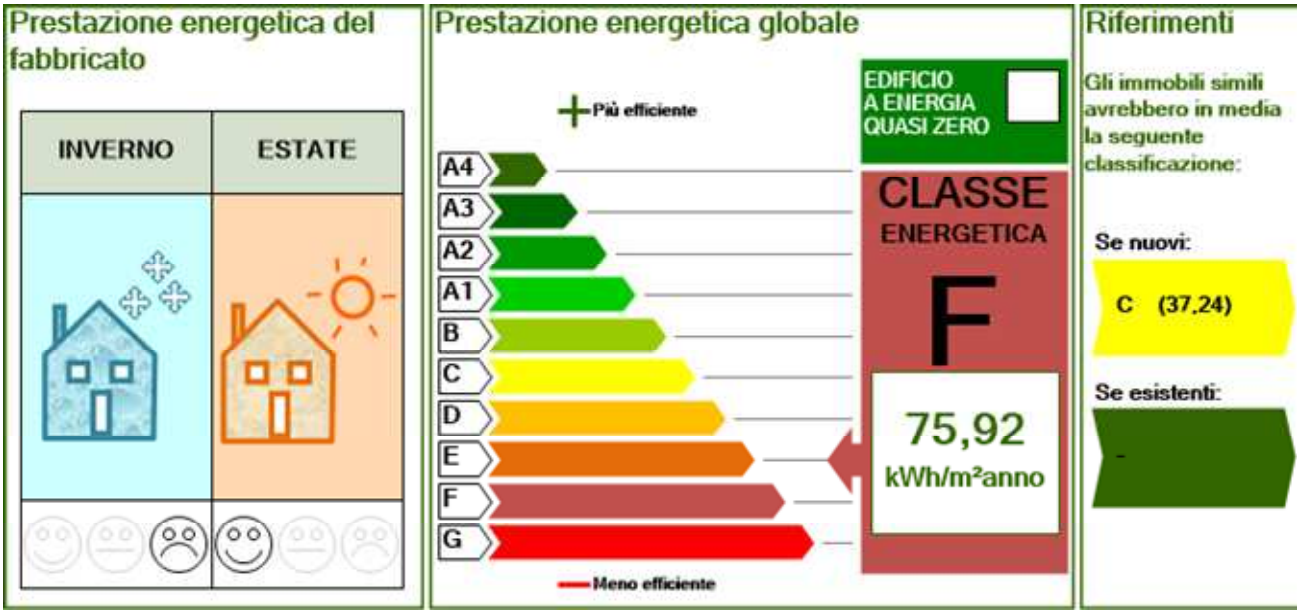

Fig. 23 Prestazione globale del fabbricato dopo l'isolamento a cappotto

Anche per questa nuova situazione si può verificare che il modello restituisce un valore di $\mathbf{Q_{H,p,nren}}$ (*Energia Primaria non Rinnovabile per il riscaldamento*) pari a **224739** [kWh/anno] ed un $\mathbf{Q_{H,gen\ out}}$ (*Fabbisogno in Uscita dalla Generazione*) pari a **212904** [kWh/anno] che tradotto in consumo di metano corrispondono a circa **22540** [Sm^3/anno], ovvero in una spesa per la materia prima di circa € **20.300,00**/anno.

È interessante notare che l'intervento ha consentito il guadagno di una classe energetica passando da **G** ad **F**.

Occorre valutare se la riduzione conseguita con l'intervento di coibentazione complessiva, i cui costi sono indicati nell'allegato 3 (ALL.3), trova riscontro e compatibilità con il fabbisogno dell'unità tipo presa in esame.

Utilizzando il modello energetico di calcolo si possono estrarre i nuovi valori di carico termico dell'edificio quindi dell'Unità Tipo presa precedentemente in esame. Il risultato dei calcoli viene riportato nella tabella 7.

Loc	Descrizione	θi [°C]	n [1/h]	Φ_{tr} [W]	Φ_{ve} [W]	Φ_{rh} [W]	Φ_{hl} [W]	$\Phi_{hl\ sic}$ [W]
1	*Camera 1*	*20,0*	*0,50*	*617*	*170*	*143*	*930*	*930*
2	*Soggiorno*	*20,0*	*0,50*	*1286*	*399*	*336*	*2022*	*2022*
3	*Ripostiglio 1*	*20,0*	*0,50*	*31*	*23*	*19*	*74*	*74*
4	*Ripostiglio 2*	*20,0*	*0,50*	*31*	*23*	*19*	*74*	*74*
5	*Cucina*	*20,0*	*0,50*	*294*	*76*	*64*	*435*	*435*
6	*Bagno*	*20,0*	*0,50*	*93*	*67*	*56*	*217*	*217*
7	*Camera 2*	*20,0*	*0,50*	*573*	*174*	*147*	*895*	*895*
8	*Camera 3*	*20,0*	*0,50*	*860*	*172*	*145*	*1177*	*1177*
			Totale:	***3786***	***1105***	***931***	***5823***	***5823***
			Totale Edifico:	***3786***	***1105***	***931***	***5823***	***5823***

Legenda simboli

θi	Temperatura interna del locale
n	Ricambio d'aria del locale
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione
Φ_{ve}	Potenza dispersa per ventilazione
Φ_{rh}	Potenza dispersa per intermittenza
Φ_{hl}	Potenza totale dispersa
$\Phi_{hl\ sic}$	Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

Tab. 7 Fabbisogno unità tipo secondo UNI EN 12831 dopo l'isolamento a cappotto

L'intervento di isolamento a cappotto ha comportato un notevole vantaggio in termini energetici, ciò nonostante il carico termico della Unità Tipo del complesso residenziale non è ancora compatibile con il funzionamento dei termosifoni operanti con mandata fluido vettore a 58 - 60 °C. Infatti si riscontra un valore di carico termico pari a **5823 [W]** complessivi contro i precedenti 7114 [W] e **3786 [W]** per la sola trasmissione contro i 5077 [W] non sono ancora sufficienti a garantire un adeguato comfort ambientale, ancorché la potenza resa dai radiatori con T_M 58-60 [°C] è di **3633** [W] tabella 4.

Si potrebbero effettuare dei calcoli facendo riferimento al fabbisogno di energia anziché al fabbisogno termico, tuttavia il calcolo sull'energia viene condotto con la norma UNI EN ISO 13790 e UNI TS 11300-1, oppure si potrebbe fare ricorso ai metodi indicati nella UNI EN 14825 e UNI/TS 11300-4 piuttosto che al metodo secondo UNI EN 12831, quest'ultimo più cautelativo che tiene conto di dispersioni termiche calcolate in condizione di regime permanente, presupponendo proprietà costanti, quali valori di temperatura, caratteristiche degli elementi dell'edificio ecc….

Effettuare una verifica sull'energia non troverebbe riscontro con i risultati dei calcoli dei carichi termici ambientali finora condotti. Pertanto si proseguirà con l'indagine facendo riferimento ai fabbisogni termici precedentemente calcolati.

6.2 Considerazioni economiche cappotto

Attraverso l'opera di riqualificazione energetica mediante l'isolamento a "cappotto" si è conseguito un netto miglioramento delle prestazioni termiche dell'edificio portando l'indice di prestazione energetica da un valore iniziale di **128,68** [kWh/m^{2}anno] a **75,92** [kWh/m^{2}anno]. L'intervento nel suo complesso richiede un impegno di spesa di circa ***€285.000,00***, fra allestimento cantiere manodopera e materiale (vedere ALL.3 per i costi nel dettaglio).

Nonostante l'importante intervento ed il costo necessario per effettuarlo, si è riscontrato che il fabbisogno termico degli ambienti, benché notevolmente ridotto, non ha ancora raggiunto un livello compatibile con le condizioni operative di una PdC aria/acqua.

Occorre inoltre considerare che la sola opera di coibentazione esterna supera di **cinque volte** il costo delle opere per l'installazione e messa in servizio della Caldaia a Condensazione (€ 285.000,00 con € 55.900,00).

Proseguendo nella valutazione tecnica osserviamo che il grafico di Fig. 21 mostra quei flussi disperdenti su cui esiste ancora un margine di intervento. Sugli elementi disperdenti della struttura si nota che $\Phi_{tr\ ve}$ e Φ_{ve} hanno un peso abbastanza importante, risulta più sensato agire sul $\Phi_{tr\ ve}$ (flusso termico disperso attraverso le strutture vetrate) circa il 23% piuttosto

che su Φ_{ve} (flusso termico disperso per ventilazione) circa il 21 %, non tanto per la sola percentuale lievemente maggiore, ma per il fatto che la miglioria sull'involucro è sempre da preferire rispetto all'inserimento di un sistema meccanico che porta con sé una serie di oneri; realizzazione più complessa, manutenzione ordinaria e straordinaria, consumo di energia.
Inoltre il flusso Φ_{ve} per essere ridotto, restando nei parametri della norma per il ricambio di aria minimo in ambiente (UNI EN 12831), richiede interventi complessivamente articolati poiché presuppone l'inserimento di uno o più recuperatori di calore in un edificio con pochissimi spazi tecnici e struttura con una certa vetustà.

Per ridurre ulteriormente il carico termico dell'edificio si preferisce intervenire ancora una volta sull'involucro operando sugli infissi.

6.3 - Sostituzione degli infissi

All'intervento di isolamento si prevede di abbinare anche la sostituzione degli attuali infissi in quanto poco performanti, la superficie complessivamente costituita dai componenti finestrati disperdenti e di circa **394** [m^2].

Per contenere i costi si prevede di utilizzare serramenti realizzati in PVC aventi una trasmittanza termica globale **Uw** ≤ 1,6 [W/m^2k].

Sostenendo complessivamente un ulteriore impegno di spesa di circa ***€ 135.000,00***, da sommare ai precedenti *€ 285.000,00,* si consegue un carico termico complessivo pari a kW 160,6 ovvero una riduzione complessiva del 37% rispetto agli iniziali kW 254.

Fig. 24 Specifiche tecniche dei nuovi serramenti in PVC

Il nuovo indicatore di prestazione energetica dell'edificio indica un ulteriore miglioramento.

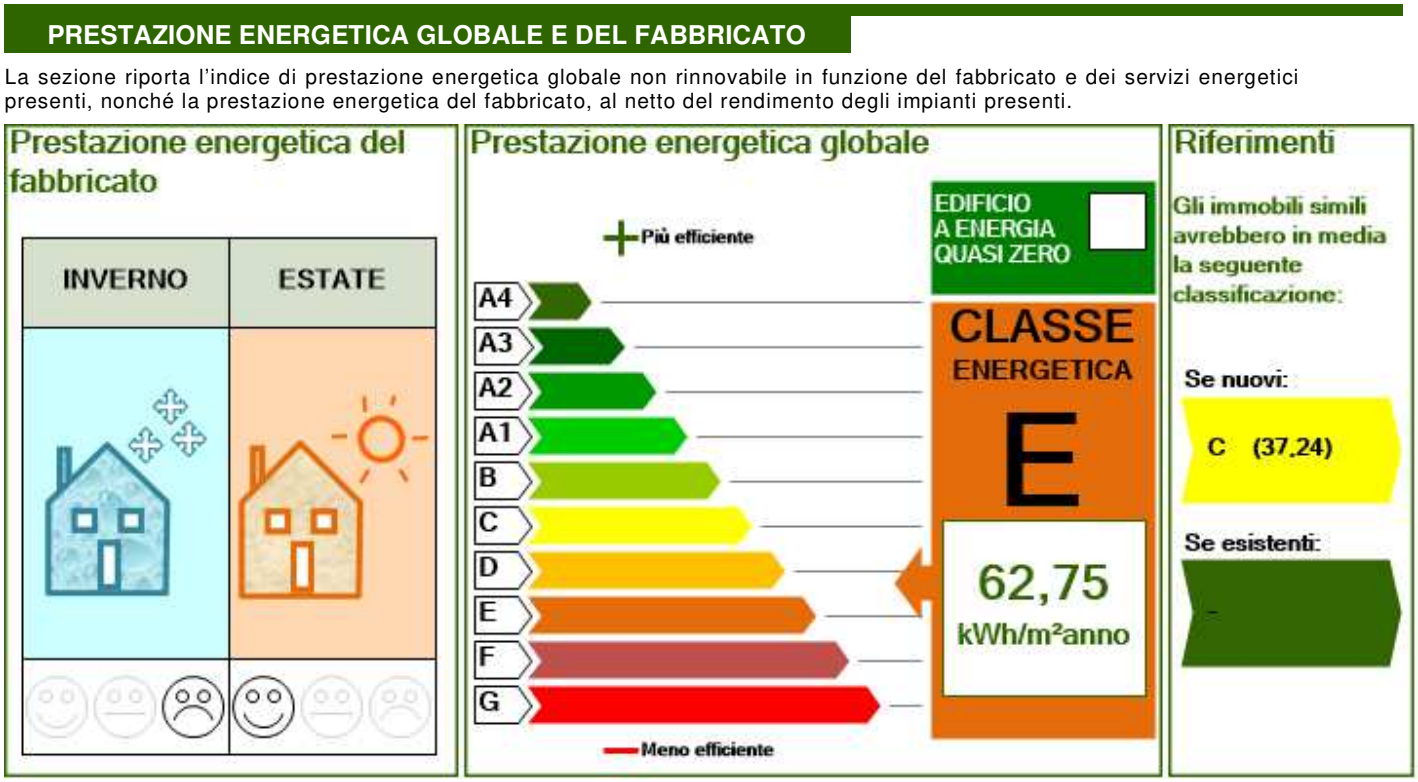

Fig. 25 Prestazione globale del fabbricato con l'isolamento a cappotto e sostituzione serramenti

L'ulteriore miglioria indica, attraverso il modello, i seguenti nuovi valori $\mathbf{Q_{H,p,nren}}$ (*Energia Primaria non Rinnovabile per il riscaldamento*) pari a **185743** [kWh/anno] ed un $\mathbf{Q_{H,gen\ out}}$ (*Fabbisogno in Uscita dalla Generazione*) pari a **176352** [kWh/anno] che tradotto in consumo di metano corrispondono a circa **18627** [Sm^3/anno], ovvero una spesa di GAS di circa € **16.800,00**/anno.

L'intervento ha ovviamente ridotto il fabbisogno complessivo dell'edificio e di ogni unità abitativa, ciò ha consentito di raggiungere una classe energetica più performante, passando da **F** ad **E**.

Il valore complessivo del Fabbisogno risulta ora essere di **160,6** kW, la tabella 8 indica le varie componenti.

Potenza Trasmessa [W]	%	ϕ	Descrizione
49353	30,73%	$\phi_{tr,op,}$	Flusso per trasmissione srutture opache
19916	12,40%	$\phi_{tr,ve}$	Flusso per trasmissione srutture trasparenti
20149	12,55%	ϕ_{pt}	Flusso perso ponti termici
38630	24,05%	ϕ_{ve}	Flusso perso per ventilazione
32562	20,27%	ϕ_{rh}	Flusso perso per intermittenza
160610		Φ_{Tot}	

Tab. 8 Fabbisogno

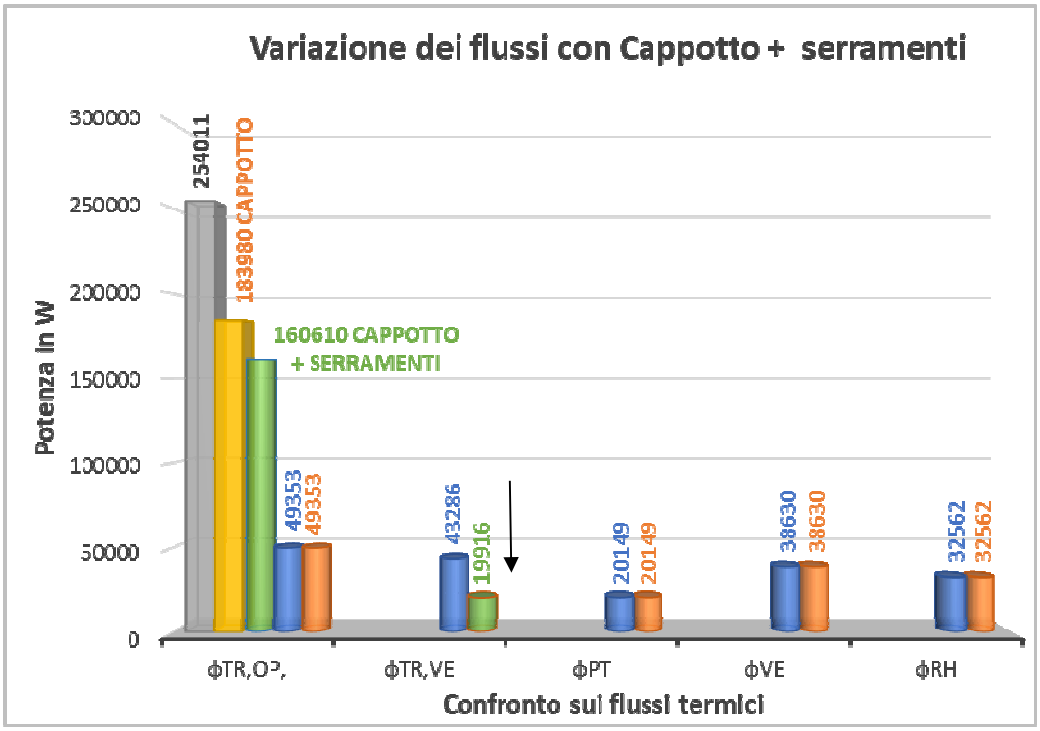

Fig. 25 Grafico dei flussi termici con isolamento a cappotto e sostituzione serramenti

Il grafico e la tabella mostrano le variazioni (in verde) del nuovo intervento, sono rimaste invariate le componenti: *flusso perso per intermittenza, flusso per ventilazione* e *flusso per ponti termici*. In realtà quest'ultimo dovrebbe subire un leggero miglioramento poiché l'installazione dei nuovi serramenti prevede un montaggio alla regola dell'arte con interposizione verso il telaio di schiume ed altri materiali a taglio termico, ma il telaio generalmente non viene sostituito e pertanto la riduzione del ponte termico risulta esigua.

I nuovi valori di fabbisogno dell'unità tipo sono indicati nella successiva tabella 9

Loc	Descrizione	θi [°C]	n [1/h]	Φ_{tr} [W]	Φ_{ve} [W]	Φ_{rh} [W]	Φ_{hl} [W]	$\Phi_{hl\ sic}$ [W]
1	*Camera 1*	*20,0*	*0,50*	*521*	*170*	*143*	*834*	*834*
2	*Soggiorno*	*20,0*	*0,50*	*1098*	*399*	*336*	*1833*	*1833*
3	*Ripostiglio 1*	*20,0*	*0,50*	*31*	*23*	*19*	*74*	*74*
4	*Ripostiglio 2*	*20,0*	*0,50*	*31*	*23*	*19*	*74*	*74*
5	*Cucina*	*20,0*	*0,50*	*230*	*76*	*64*	*370*	*370*
6	*Bagno*	*20,0*	*0,50*	*93*	*67*	*56*	*217*	*217*
7	*Camera 2*	*20,0*	*0,50*	*459*	*174*	*147*	*780*	*780*
8	*Camera 3*	*20,0*	*0,50*	*745*	*172*	*145*	*1062*	*1062*
			Totale:	***3209***	***1105***	***931***	***5245***	***5245***

Legenda simboli

θi	Temperatura interna del locale
n	Ricambio d'aria del locale
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione
Φ_{ve}	Potenza dispersa per ventilazione
Φ_{rh}	Potenza dispersa per intermittenza
Φ_{hl}	Potenza totale dispersa
$\Phi_{hl\ sic}$	Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

Tab. 9 Fabbisogno unità tipo secondo UNI EN 12831 dopo l'isolamento a cappotto e sostituzione serramenti

Il carico termico si è ridotto a **5245 W** complessivi contro i precedenti 5823 W (intervento con solo l'isolamento esterno a cappotto) e **3209 W** per la sola trasmissione contro i 3786 W del precedente calcolo.

Valutando il solo carico termico per trasmissione possiamo considerarlo compatibile con la potenza resa dai radiatori con T_M 58-60 °C e cioè di 3633 W.

E' doveroso precisare che si tratta di una situazione limite poiché è pur vero che il fattore di ripresa, ovvero il flusso perso per intermittenza, può essere trascurato nell'impianto centralizzato, ma il flusso per ventilazione dipende dalle abitudini degli inquilini e quindi non considerarlo non è del tutto corretto. Di contro si è tenuto in considerazione un decadimento dell'efficienza di emissione dei caloriferi pari al 25 %, valore cautelativo, pertanto è ragionevole supporre che i valori ottenuti con la sostituzione dei serramenti possano essere compatibili con l'eventuale installazione della PdC a cui precederà certamente un lavaggio chimico dell'impianto esistente per rimuovere quanto più possibile eventuali morchie ed

incrostazioni interne.

6.4 - Considerazioni economiche cappotto + infissi

La riqualificazione generale fin qui esaminata; isolamento a cappotto più sostituzione degli infissi, ha migliorato notevolmente le prestazioni termiche dell'edificio riducendone l'indice di prestazione energetica da un valore iniziale di **128,68** [kWh/m^{2}anno] a **62,75** [kWh/m^{2}anno]. Tuttavia l'investimento per realizzarlo è notevole, il solo intervento di sostituzione degli infissi ha un peso economico pari a circa *€ 135.000,00* che sommato all'isolamento raggiunge la quota di ***€ 420.000,00*** (vedere ALL.3 per i costi nel dettaglio).
Risulta doveroso soffermarsi sugli importi per valutarne attentamente la fattibilità sul piano economico, ricordando che l'intervento di sola sostituzione del generatore con la conversione da gasolio a Gas ha avuto un costo di € 55.900.

Nell'ipotesi in cui non sia possibile accedere ad incentivi economici, conto termico e/o bonus fiscali come il recupero IRPEF ex Lg.296-06, il tempo di pareggio dell'investimento potrebbe andare oltre i 10 anni ed in questi casi avrebbe più senso affidarsi ad una ESCO e pagare un servizio di gestione calore, piuttosto che sostenere una spesa oltre i 400.000,00 €.

7. DIMENSIONAMENTO POMPA DI CALORE

Sulla base dei dati finora esaminati ed operando sull'edificio con interventi di miglioramento energetico finalizzati al raggiungimento di livelli di fabbisogno termico compatibili con il funzionamento delle PdC, si procederà esaminando gli aspetti più tecnici legati alla scelta ed il dimensionamento della PdC.

Come è noto le prestazioni di una pompa di calore dipendono dalla temperatura della sorgente fredda, ovvero temperatura ed umidità dell'aria esterna e dal pozzo caldo, ma anche dal fatto che il loro funzionamento avvenga o meno a carico parziale. Tuttavia il calcolo delle prestazioni stagionali delle macchine sono definiti nella norma UNI EN 14825 " *Condizionatori d'aria, refrigeratori di liquido e pompe di calore, con compressore elettrico, per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti - Metodi di prova e valutazione a carico parziale e calcolo del rendimento stagionale*" secondo la quale il coefficiente di prestazione stagionale (SCOP) va calcolato ripartendo con il "bin" (durata di ogni intervallo di temperatura esterna ore/mese oppure ore/anno che viene suddiviso in un certo numero di intervalli, di 1 o 2°C ciascuno e si considera per ognuno di essi la frequenza media) l'intera stagione di riscaldamento.

Se si operasse secondo il metodo "bin" si otterrebbe inevitabilmente una PdC con potenze ridotte poiché, nell'edificio in esame, verrebbero considerati gli apporti gratuiti, un numero di ricambi d'aria inferiore (0,3 anziché 0,5) e non si considererebbe la maggiorazione della potenza di progetto dovuta all'intermittenza (cioè il fattore di ripresa del riscaldamento).

Inoltre, operando secondo il metodo sopra descritto, una volta trovato il "punto di bilanciamento" della temperatura esterna (temperatura dell'aria bivalente), che si vedrà nel dettaglio più avanti, mancherà buona parte della potenza per soddisfare il fabbisogno dell'edificio con T_{est} al di sotto di quel valore, potenza che andrà integrata con altra sorgente termica ausiliaria (caldaia a gas, o altro generatore).

Come è stato anticipato in premessa l'obiettivo di questo lavoro riguarda la fattibilità tecnico-economica dell'applicazione di una pompa di calore possibilmente senza integrazioni di sorgente ausiliaria, pertanto non verranno adottati i metodi indicati nella UNI EN 14825 ancorché occorrerebbe effettuare delle valutazioni approfondite sullo SCOP NET e lo SCOP ON

(in condizioni di integrazione ausiliaria), anche in relazione ai dati messi a disposizione dei costruttori di PdC (generalmente pochi e non facilmente reperibili).

7.1 - Considerazioni preliminari

C6.1 - on gli interventi di riqualificazione dell'edificio (Isolamento a Cappotto e sostituzione dei serramenti) si è raggiunta una potenza di progetto pari a **160,6 kW** con una curva del fabbisogno di energia che decresce con l'aumentare della temperatura esterna il cui andamento annuale è rappresentato in Fig 27.

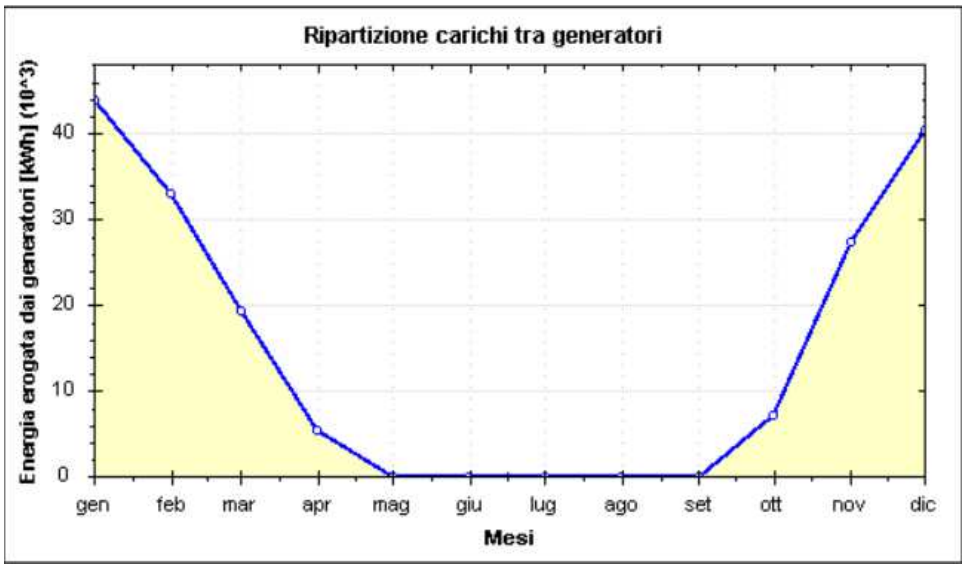

Fig. 27 Fabbisogno di energia media stagionale dell'edificio

Volendo rappresentare il carico termico in kW rispetto alla Temperatura esterna si ottiene il grafico di Fig. 28

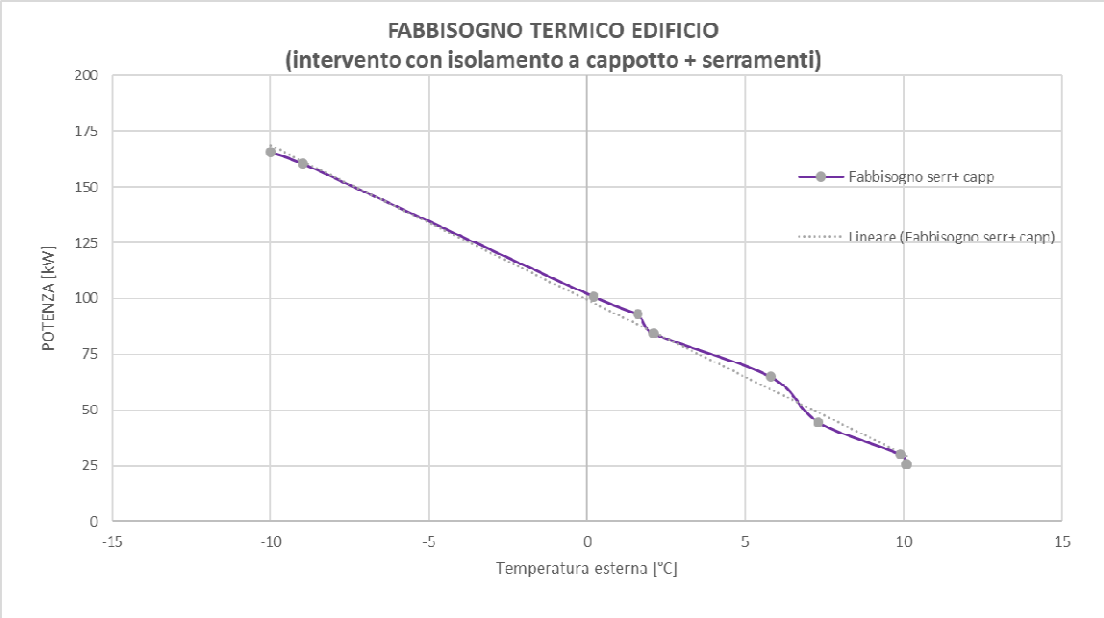

Fig. 28 Fabbisogno termico edificio in funzione della T esterna

Al carico termico ricavato occorre abbinare una macchina adeguata, nel caso specifico si è valutato l'impiego di due macchine aventi una potenza singola nominale in caldo di 102 kWt (T_M = 55 °C e T_{est} = 7°C). Analizzando i pochi dati messi a disposizione dal costruttore, si constata che la macchina ha un range di funzionamento rappresentato dal grafico Fig 35, nel quale si osserva che il lato di mandata può raggiungere la temperatura di 60 °C con una temperatura esterna di – 10 °C. I dati complementari messi a disposizione del produttore evidenziano che a -10 °C la potenza termica si riduce in modo importante, quasi dimezzata, scendendo a 63,9 kWt.

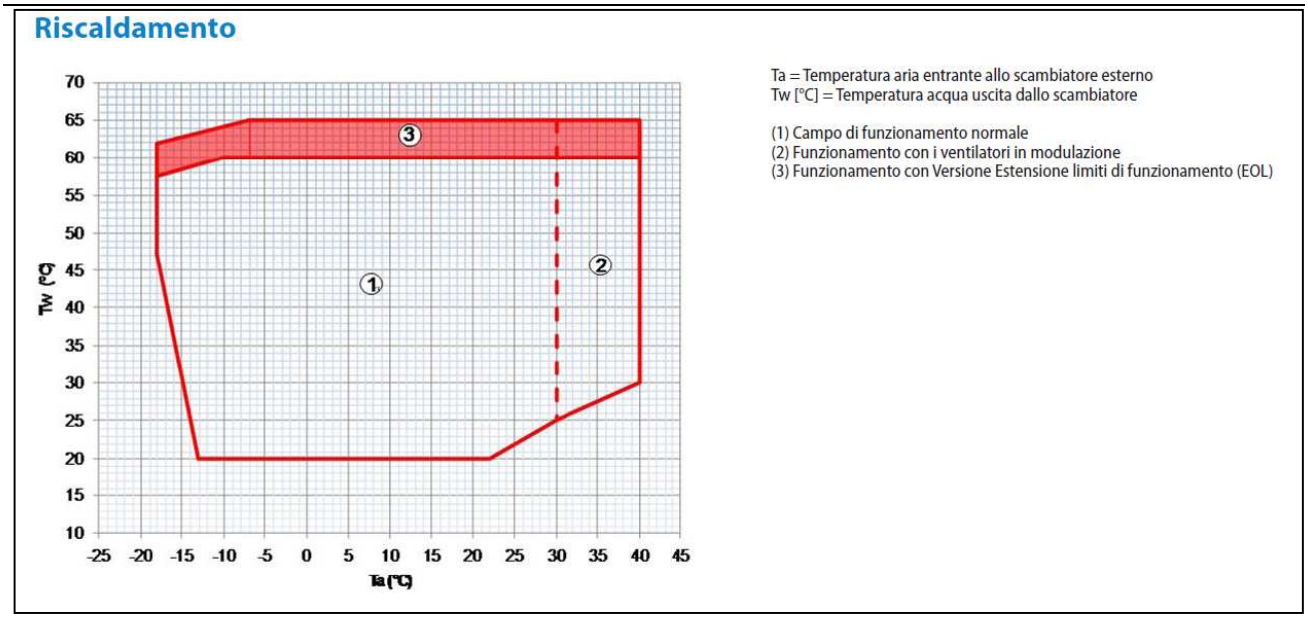

Fig. 29 Campo di Funzionamento della PdC selezionata

Costruendo una curva della capacità della pompa di calore, sulla base degli esigui dati forniti dal costruttore e riportati per chiarezza nella tabella seguente, l'andamento di carico assume la configurazione della Fig. 28 in cui la potenza erogata dalla macchina cresce con l'aumentare della temperatura esterna, situazione esattamente opposta a ciò che si verifica negli edifici per il fabbisogno termico, che aumenta al diminuire della temperatura esterna.

POMPA DI CALORE		
T_{est} [°C]	P.resa 1 PdC [kW]	P.resa 2 PdC [kW]
-10	63,9	127,8
-7,5	68,8	137,6
-5,4	73,3	146,6
0	83	166
7	98,1	196,2
10	104	208

Tab. 10 Variazione della potenza erogata dalla PdC in funzione delle T esterna

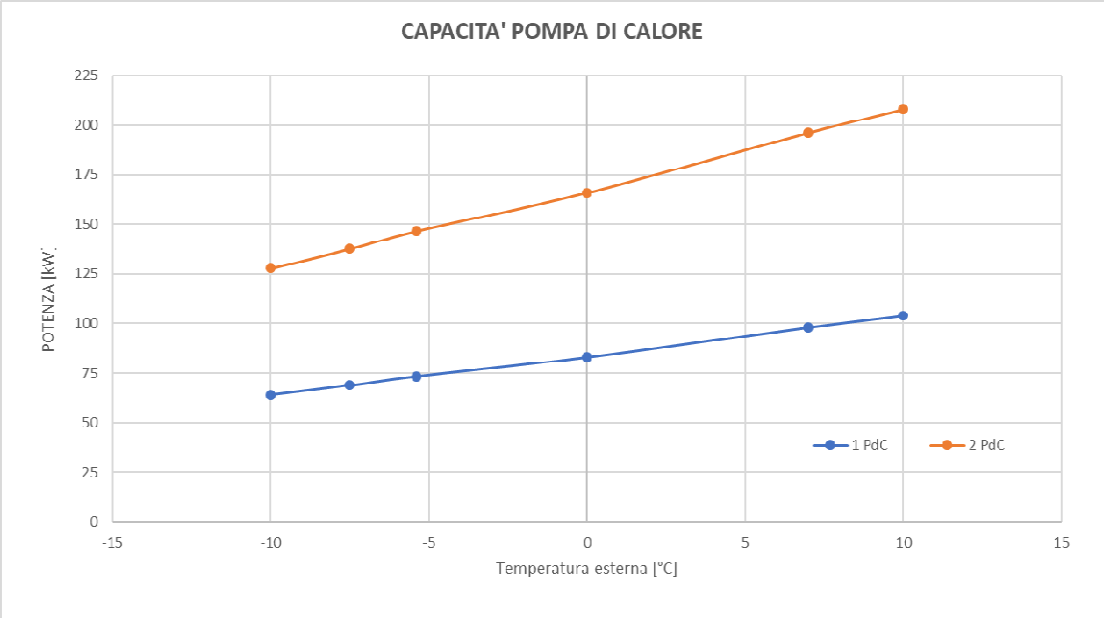

Fig. 30 Curva prestazionale della PdC

Unendo la curva relativa al fabbisogno dell'edificio con quella delle PdC si ottiene il punto di intersezione detto anche punto di "temperatura bivalente", al di sotto del quale la pompa di calore lavora al 100 % della potenza, ma la stessa non è sufficiente a soddisfare il carico termico dell'edificio per il quale risulta necessaria un'integrazione di calore ausiliaria.

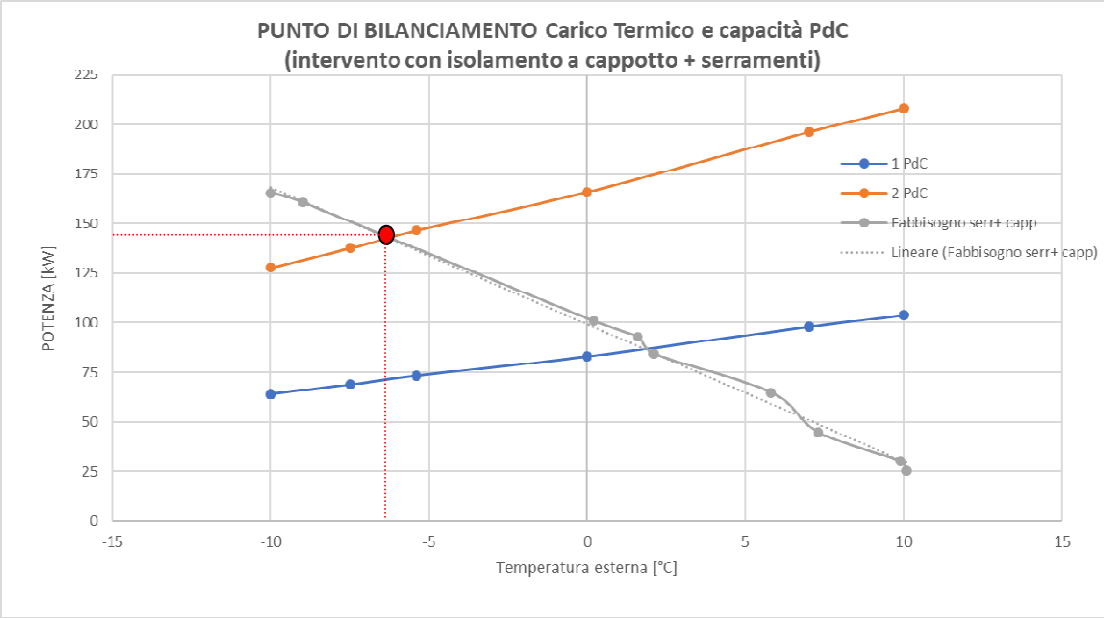

Fig. 31 Punto di bilanciamento fra carico termico edificio e curva della PdC

T_{est} [°C]	**Fabbisogno P Termica Invernale secondo UNI EN 12831 [kW]**
-10	165,5
-9	160,6
0,2	100,84
1,6	92,98
2,1	84,3
5,8	64,92
7,3	44,65
9,9	30,21
10,1	25,5

Tab. 11 Fabbisogno termico edificio in funzione della T esterna

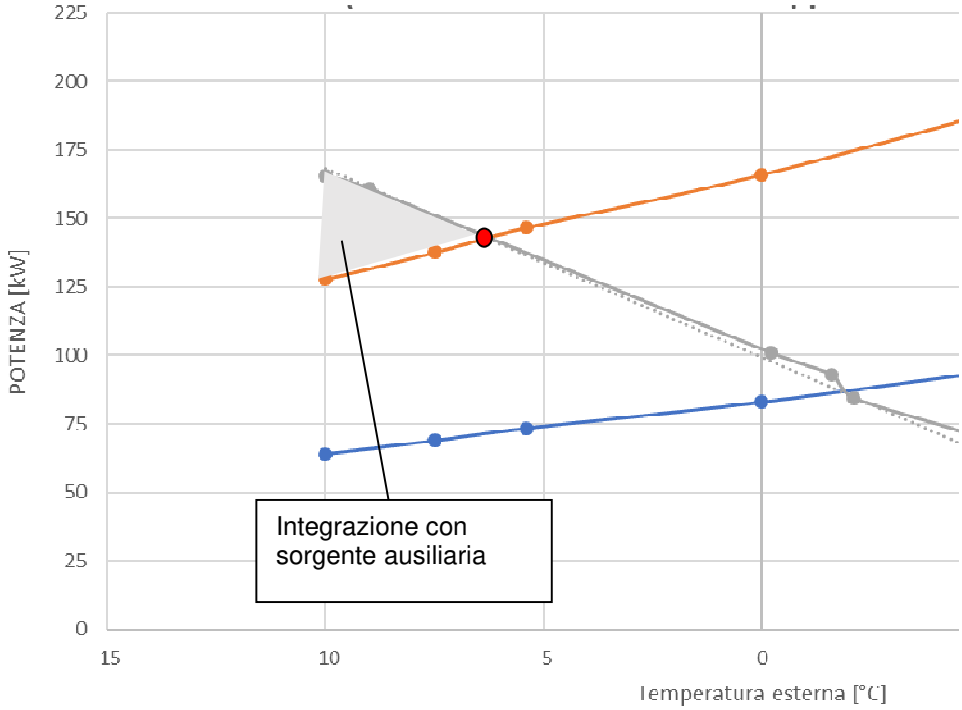

Fig. 32 Quota di potenza ausiliaria necessaria al soddisfacimento del carico complessivo

Il grafico mostra che una parte della potenza complessiva, fra 127,8 kW e 165,5 kW deve essere aggiunta da una sorgente ausiliaria perché le due PdC, operando in parallelo, non sono in grado di soddisfare l'intero fabbisogno.

Risulta intuitivo riconoscere che un abbinamento corretto della PdC effettuato sull'effettivo fabbisogno, secondo la UNI EN 12831, situazione rappresentata in Fig. 33, conduce ad un inevitabile sovradimensionamento della macchina, poiché le condizioni di lavoro alla

temperatura di progetto potrebbero verificarsi pochi giorni all'anno, ma è pur vero che se tali condizioni si verificassero in modo continuativo per 7-10 giorni si avrebbe un deficit di potenza, se non si affiancasse una sorgente ausiliaria di calore. Tale situazione potrebbe rappresentare una criticità nel sistema impiantistico, pertanto, per il caso in esame è stato realizzato un apposito P&I, allegato MEC 01, nel quale è stata prevista anche l'installazione di una caldaia a gas come sorgente ausiliaria di calore.
La caldaia, essendo un elemento "ausiliario", non è stata inserita nel quadro economico complessivo.

Va anche precisato che al variare della temperatura bivalente varia anche la potenza di progetto della macchina e di conseguenza cambia lo SCOP NET della stessa, ma per questo specifico argomento, occorre far riferimento alla Norma UNI EN 14825 ed affrontare l'aspetto con un approccio diverso da quello fin qui adottato, pertanto non si prenderà in considerazione questo tipo di analisi.

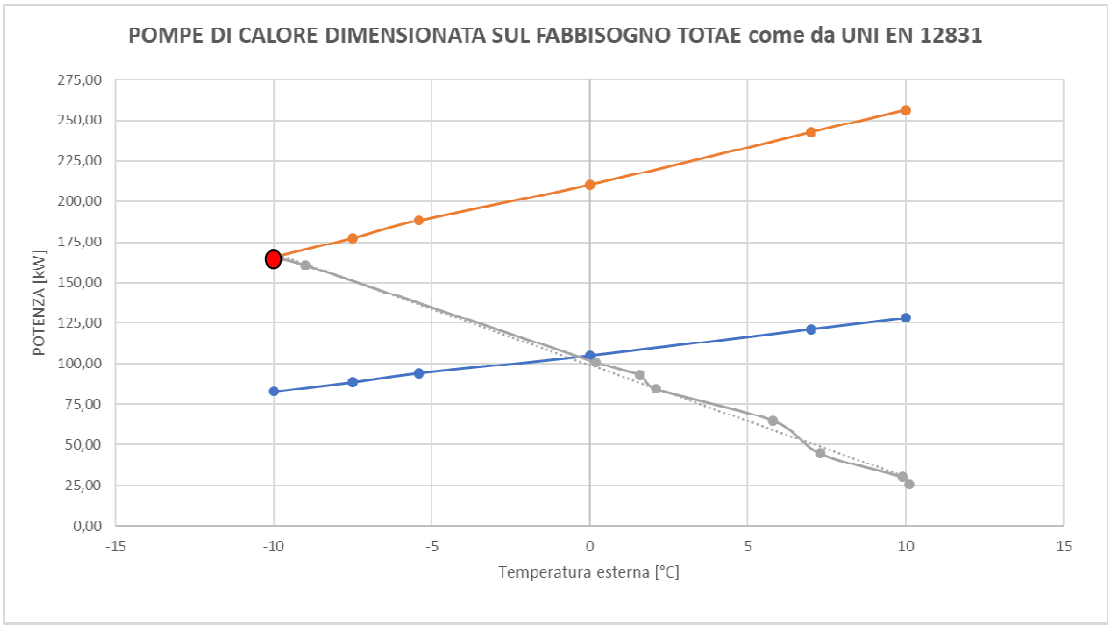

Fig. 33 Abbinamento di PdC con carico termico edificio per soddisfacimento Totale del fabbisogno

7.2 - Considerazioni sullo sbrinamento

Elemento non trascurabile delle pompe di calore aria/acqua è il fenomeno del brinamento delle batterie evaporanti con temperature intorno a 2 – 3 °C esterni e umidità relativa alta 75-80 %.

Durante il funzionamento invernale si ha la formazione di brina sulla superficie delle batterie evaporanti, lo strato di ghiaccio che si forma sulla superficie delle batterie riduce sia le caratteristiche di scambio termico, poiché funge da isolante, sia l'area di passaggio dell'aria aumentandone le perdite di carico.

Sostanzialmente si ha l'effetto di riduzione della superficie di scambio con il progredire della formazione di ghiaccio. Effetto che si autoalimenta in modo negativo accelerando in modo esponenziale la formazione di brina superficiale, condizione degenerativa.

I cicli di sbrinamento, per evitare il fenomeno sopradescritto, comportano una perdita di potenza resa dalla macchina, poiché l'energia del compressore viene utilizzata dal condensatore, divenuto evaporatore, per "sbrinare".

Questa perdita di energia si può quantificare in circa il 15-20% per ogni ciclo e nelle condizioni critiche di innesco del fenomeno bisogna considerare circa 2 sbrinamenti per ogni ora di funzionamento.

Anche per questo motivo si è optato per inserire due PdC che operino in parallelo, in modo da avere sempre una macchina disponibile.

7.3 - Caratteristiche macchine individuate

Per l'applicazione sono state individuate macchine operanti con gas R-407C e la potenza totale dell'edificio è stata suddivisa su due di esse funzionanti in parallelo. Ogni macchina è dotata di due compressori SCROLL che offrono una regolazione parziale del 50%, si hanno pertanto 4 gradini di regolazione complessivi che ad una temperatura media esterna di 0 °C permettono di regolare la potenza termica nominale secondo i seguenti valori 41,5 [kW], 83 [kW], 124,5 [kW] e 166 [kW] complessivi.

La scheda tecnica messa a disposizione del produttore è riportata nella pagina seguente e come si potrà notare è una scheda sommaria con pochi dati significativi.

Grandezze			82	122	162	202	262	302
Pannelli radianti								
Riscaldamento								
Potenza termica	1	kW	31,0	41,4	53,3	73,9	83,3	103
Potenza assorbita totale	2	kW	7,04	9,93	13,0	17,5	20,6	25,3
COP (EN 14511:2011)	3		4,40	4,17	4,12	4,23	4,05	4,05
ErP Classe energetica Riscaldamento d'ambiente - Clima MEDIO - W35	11		A+	A+	A+	A+	A+	A+
SCOP - Clima MEDIO - W35	12		3,24	3,63	3,42	3,70	3,45	3,19
Raffreddamento								
Potenza frigorifera	6	kW	30,4	44,3	55,4	75,0	94,5	112,6
Potenza assorbita totale	2	kW	8,26	14,0	16,3	24,4	30,7	36,9
EER (EN 14511:2011)	7		3,69	3,18	3,39	3,08	3,07	3,05
Portata acqua	6	l/s	1,44	2,10	2,62	3,56	4,48	5,34
Prevalenza utile pompa	6	kPa	157	153	148	164	138	166
Unità terminali								
Riscaldamento								
Potenza termica	4	kW	29,1	40,3	51,0	71,1	80,4	99,5
Potenza assorbita totale	2	kW	8,53	12,1	15,5	20,8	24,8	30,8
COP (EN 14511:2011)	3		3,41	3,34	3,28	3,41	3,24	3,23
Raffreddamento								
Potenza frigorifera	8	kW	21,3	32,2	39,7	53,9	65,9	80,3
Potenza assorbita totale	2	kW	7,79	12,5	14,9	21,9	27,6	32,1
EER (EN 14511:2011)	7		2,73	2,58	2,67	2,46	2,39	2,50
SEER	12		2,68	2,70	2,79	2,69	2,60	2,74
Portata acqua	8	l/s	1,00	1,52	1,88	2,55	3,12	3,80
Prevalenza utile pompa	8	kPa	183	183	173	195	184	201
Radiatori								
Riscaldamento								
Potenza termica	5	kW	27,4	40,1	48,6	69,3	78,4	98,2
Potenza assorbita totale	2	kW	10,3	14,9	18,4	25,3	29,9	37,6
COP (EN 14511:2011)	3		2,65	2,69	2,64	2,74	2,62	2,61
ErP Classe energetica Riscaldamento d'ambiente - Clima MEDIO - W55	11		-	A+	-	A+	-	-
SCOP - Clima MEDIO - W55	12		-	2,95	-	2,99	-	-
Portata acqua	5	l/s	1,3	1,9	2,3	3,3	3,8	4,7
Prevalenza utile pompa	5	kPa	164	163	158	172	164	181
Compressore								
Tipo compressori			SCROLL					
Refrigerante			R-407C	R-407C	R-407C	R-407C	R-407C	R-407C
N° compressori		Nr	2	2	2	2	2	2
Carica olio (C1)		l	1,89	1,89	4,00	4,00	4,14	4,14
Carica olio (C2)		l	1,89	1,89	4,00	4,00	4,14	4,14
Circuiti refrigeranti		Nr	2	2	2	2	2	2
Carica refrigerante (C1)		Kg	7.,5	10	15	16	20	19
Carica refrigerante (C2)		Kg	7,5	10	15	16	20	19
Scambiatore lato utilizzo								
Tipo scambiatore	9		PHE	PHE	PHE	PHE	PHE	PHE
N° scambiatori		Nr	1	1	1	1	1	1
Contenuto d'acqua		l	2,3	3,3	4,2	5,8	7,0	8,3
Portata minima		l/s	0,9	1,1	1,4	1,75	2,1	2,3
Ventilatori zona esterna								
Tipo ventilatori	10		AX	AX	AX	AX	AX	AX
N° ventilatori		Nr	4	4	6	6	8	8
Portata aria standard		l/s	5000	5000	7420	7420	9585	9585
Potenza unitaria installata		kW	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22

Fig. 34 Scheda Tecnica pompa di calore selezionata

Considerato lo scarso livello di regolazione complessiva delle macchine si interporrà fra macchine ed impianto un accumulo termico per due ragioni sostanziali; la prima per equilibrare le portate idrauliche lato primario (macchine accumulo) e lato secondario poiché sostanzialmente diverse, la seconda per compensare la scarsa regolazione di potenza in modo da far lavorare meglio i compressori.

7.4 - Considerazioni Tecniche

Le macchine individuate andranno collocate all'esterno ed occuperanno una superficie in pianta di circa 25 m^2, ingombro delle stesse più una parte di superficie funzionale necessaria alle macchine.

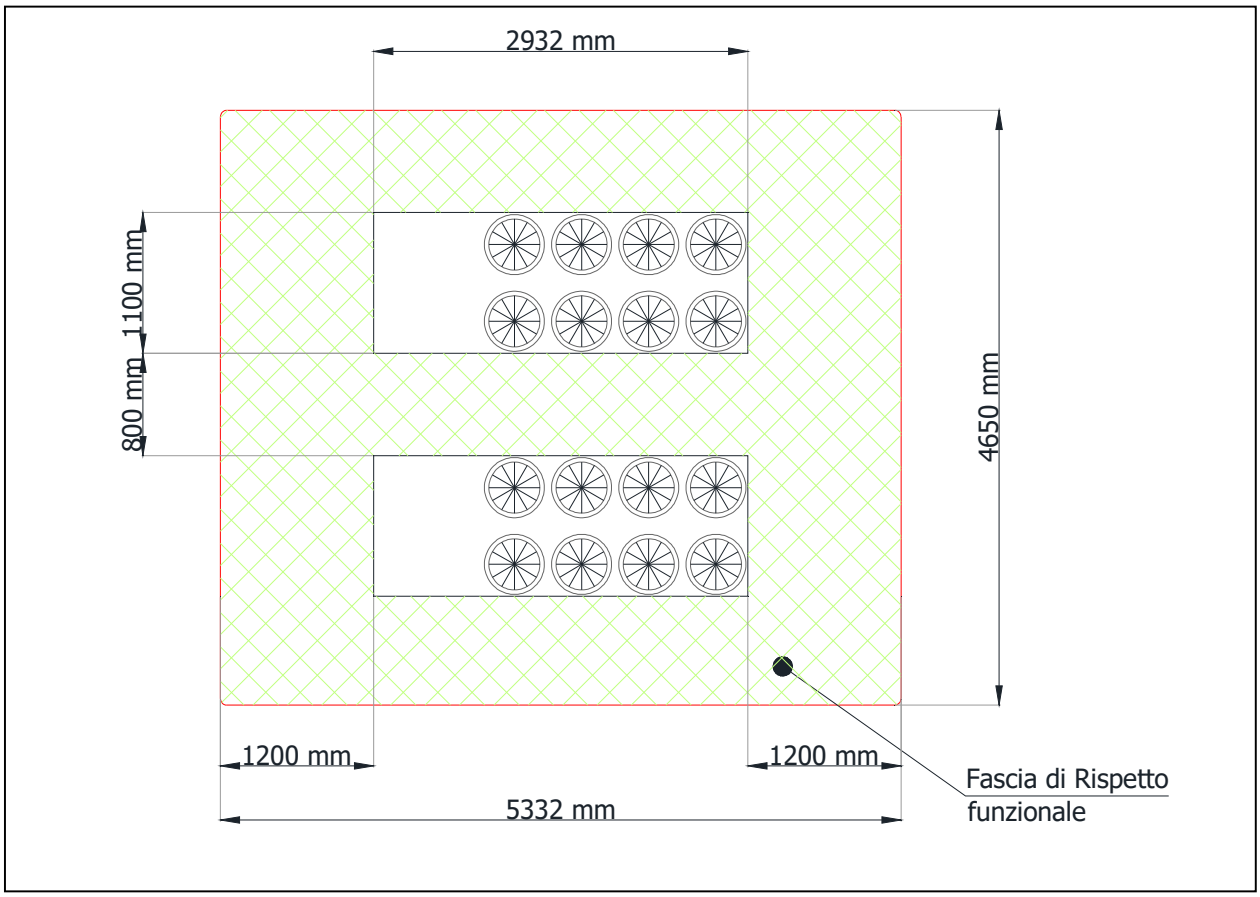

Fig. 35 Posizionamento corretto delle macchine

La posizione determinerà una serie di opere accessorie quali lo scavo per l'allacciamento delle tubazioni idrauliche e per l'allacciamento elettrico di alimentazione.

Inoltre sarebbe auspicabile una protezione perimetrale con apposita rete metallica dotata di

cancelletto di ingresso.

Fig. 36 Vista della macchina

La protezione oltre a dissuadere eventuali accessi vandalici andrebbe arricchita di pannelli "FONOASSORBENTI" poiché la macchina, operando circa 14 ore al giorno, produce rumore sia dai compressori che dai ventilatori ed il rumore prodotto è tutt'altro che trascurabile, specie in una zona residenziale.

Grandezze	Livello di Potenza Sonora (dB)								Livello di Pressione Sonora	Livello di Potenza Sonora
	Bande d'ottava (Hz)									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)	dB(A)
82	86	80	80	76	71	72	64	57	62	79
122	88	81	80	79	74	69	64	56	63	80
162	90	85	84	80	74	75	66	66	65	82
202	89	85	84	78	73	76	66	68	65	82
262	91	86	85	81	75	6	67	67	66	83
302	91	87	86	80	75	78	68	70	67	84

Tab. 11 Fabbisogno

7.5 - Considerazioni Energetiche

Con l'inserimento delle pompe di calore gli indicatori delle prestazioni energetiche dell'edificio migliorano ulteriormente guadagnando altre due classi passando da E a C.

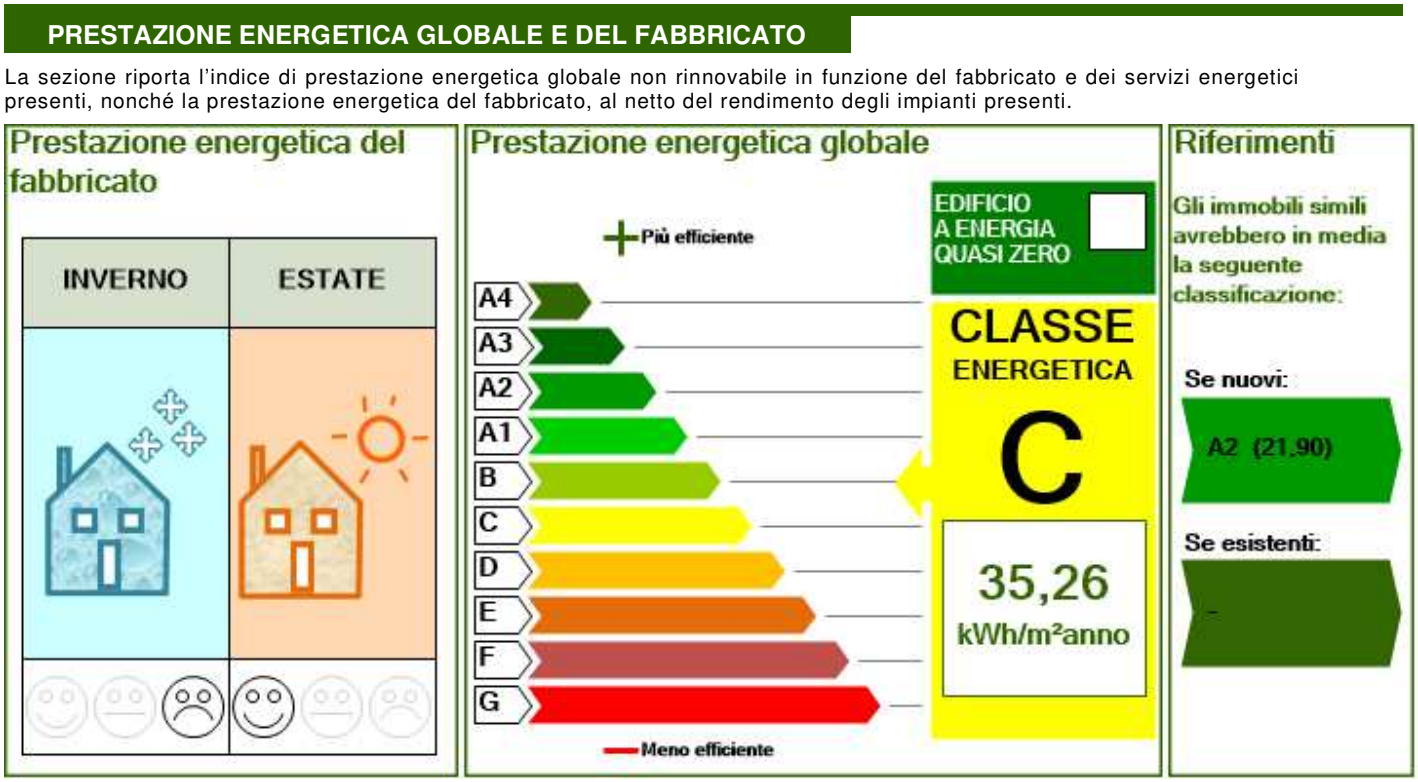

Fig. 37 Prestazione globale del fabbricato con cappotto, sostituzione serramenti ed inserimento PdC

L'installazione delle macchine modifica ancora una volta i parametri energetici che, attraverso il modello di calcolo, restituiscono i seguenti nuovi valori $\mathbf{Q_{H,p,nren}}$ (*Energia Primaria non Rinnovabile per il riscaldamento*) pari a **104380** [kWh/anno] ed un $\mathbf{Q_{H,gen\ out}}$ (*Fabbisogno in Uscita dalla Generazione*) pari a **176300** [kWh/anno] che corrispondono ad un consumo di energia elettrica di circa **53242** [kWh/anno], ovvero una spesa di circa € **11287,00**/anno con un costo dell' energia a tariffa agevolata di **21,2** $€_{cent}$/kWh.

8. VALUTAZIONE ECONOMICA COMPLESSIVA

In primo luogo sono necessari circa 25 m^2 di spazio tecnico esterno da preparare con un apposito massetto cementizio per poter alloggiare le macchine, sarà necessario realizzare un apposito scavo per la posa delle tubazioni per i fluidi e condutture elettriche fino all'attuale locale Centrale Termica.
Tutte opere accessorie, ma indispensabili che hanno un costo non trascurabile.

Per l'acquisto di ciascuna macchina occorrono € 34.160,00 iva compresa, per un totale di € **68.320,00** a cui vanno aggiunte le necessarie opere accessorie.

Attraverso i vari interventi migliorativi sull'edificio si è trovato un punto di fattibilità tecnica per l'installazione della pompa di calore a servizio dell'impianto di riscaldamento condominiale. L'insieme di tutte le opere comporta un costo certamente non "trascurabile" poiché per raggiungere l'obiettivo occorrono oltre mezzo milione di euro ovvero 9 volte il valore della semplice sostituzione con caldaia a Gas.
Volendo fare una valutazione di prima approssimazione, l'investimento equivale a circa € 510,00 a millesimo di riscaldamento il che significa che l'alloggio tipo da 30 millesimi (di riscaldamento) si troverebbe ad affrontare un esborso di € 15.300,00.

Intervento	Importo in [€]
Realizzazione isolamento a Cappotto	*285.361,29*
Sostituzione Serramenti	*134.512,40*
Fornitura e posa PdC	*88.754,75*
Spese tecniche	*6000,00*
Totale	***514628,44***

Tab. 12 Quadro economico riassuntivo

Con le cifre indicate nel sintetico quadro economico (Tabella 12) è possibile fare un'analisi sul tempo di *payback* che, in assenza di incentivi economici, risulta essere intorno a 10 anni (un

aspetto non trascurabile della Analisi Economica, che individua il punto di payback a circa 10 anni, è il tasso di interesse del denaro *i* , nel 2008 il valore medio era di *i = 2,5 %*, nel 2018 il valore era prossimo allo 0 e nel secondo semestre 2019 risulta addirittura negativo, *fonte European Central Bank* www.ecb.europa.eu).

Tenuto conto che la vita utile di una pompa di calore varia da un minimo di 10 ad un massimo di 15 anni e considerato che la stessa si trova ad operare in condizioni piuttosto gravose, temperatura dell'acqua in mandata a circa 60 °C, vi sono i presupposti di un carico di lavoro eccessivo per i compressori scroll, i quali, con buona probabilità, richiederanno un intervento di manutenzione straordinaria prima dei 10 anni di lavoro.
In prima battuta si può dedurre che il tempo di ritorno dell'investimento con PdC non sia conveniente.

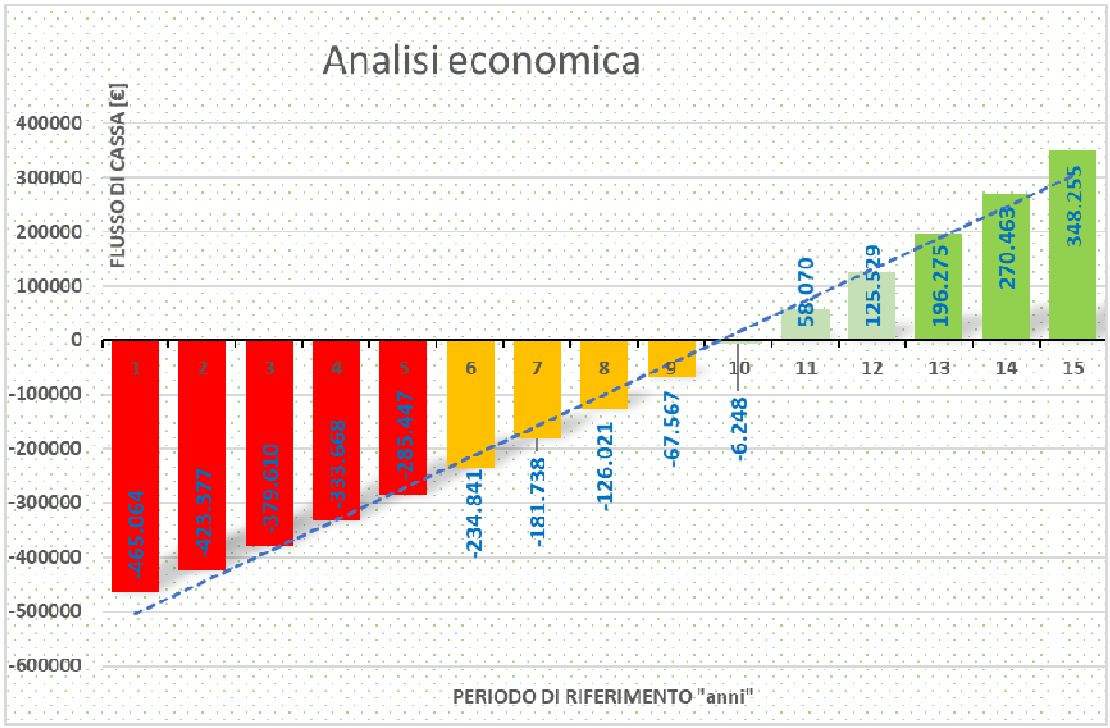

Fig. 38 payback per investimento di riqualificazione edificio ed installazione delle PdC

8.1 - Considerazioni Economiche con sgravi fiscali

Nel seguito si ipotizzerà uno scenario economico che tenga conto delle detrazioni fiscali per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici, facendo riferimento alla Lg.27/12/2006 n. 296 e decreti correlati successivi.

Tuttavia è bene precisare che l'incentivo economico previsto dalla 296/06 e s.m.i. non prevede un "contributo" fiscale bensì di una "detrazione" fiscale sulle imposte IRPEF, pertanto se un soggetto fisico non avesse capienza IRPEF non riuscirebbe a beneficiare dell'incentivo.

L'accessibilità all'incentivo indicato nella Lg.296/06 prevede dei requisiti, nel caso specifico si prenderanno in considerazione solo quelli di natura "tecnica". Si riporteranno nel seguito gli estratti dei requisiti minimi.

Pompa di Calore:

Tipo di pompa di calore Ambiente esterno/interno	**Ambiente esterno [°C]**	**Ambiente interno [°C]**	**COP**	**COP**
			2008-2009	**2010**
aria/aria	Bulbo secco all'entrata : 7 Bulbo umido all'entrata : 6	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entr.: 15	3,8	3,9
aria/acqua potenza termica utile riscaldamento ≤ 35 kW	Bulbo secco all'entrata : 7 Bulbo umido all'entrata : 6	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	3,9	4,1
aria/acqua potenza termica utile riscaldamento >35 kW	Bulbo secco all'entrata : 7 Bulbo umido all'entrata : 6	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	3,7	3,8

Tab. 13 Requisiti minimi della PdC per beneficiare dello sgravi fiscale

Coibentazione e serramenti:

Zona climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili (**)
		Coperture	Pavimenti (*)	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

Roma, 26 gennaio 2010

Il Ministro: Scajola

(*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno
(**) Conformemente a quanto previsto all'articolo 4, comma 4, lettera c), del decreto Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, che fissa il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili e assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi."

Tab. 14 Requisiti minimi dei componenti dell'involucro per beneficiare degli sgravi fiscali

Intervento di riqualificazione	Parete Esterna Trasmittanza *[W/m²K]*	Struttura sottotetto *[W/m²K]*	Serramenti Trasmittanza *[W/m²K]*	Pompa di Calore COP 7-35 °C
Valore Richiesto	**0,27**	**0,30**	**1,8**	**3,8**
Valore Raggiunto	0,243	0,297	1,6	4,05

Tab. 15 Tabella di verifica dei requisiti

Le specifiche tecniche ed i valori di trasmittanza degli interventi di isolamento a cappotto, sostituzione serramenti e COP delle pompe di calore risultano essere compatibili con quanto richiesto dai decreti attuativi: DECRETO 26 gennaio 2010 e DECRETO 6 agosto 2009.

Nella fattispecie è possibile portare in detrazione il 70% delle spese sostenute (fino ad un massimo di € 40.000,00 per unità immobiliare) per le spese di isolamento delle parti comuni condominiali quali: isolamento a cappotto, isolamento del sottotetto e contestualmente gli infissi. Per le pompe di calore l'importo detraibile risulta essere il 65 % delle spese (fino ad un massimo di € 30.000,00 per unità immobiliare).

L'ipotesi di accedere agli sgravi fiscali modifica gli scenari sul *payback* che messi a confronto con la sostituzione della caldaia a gas assumono la configurazione illustrata nei grafici di Fig. 39 e 40.

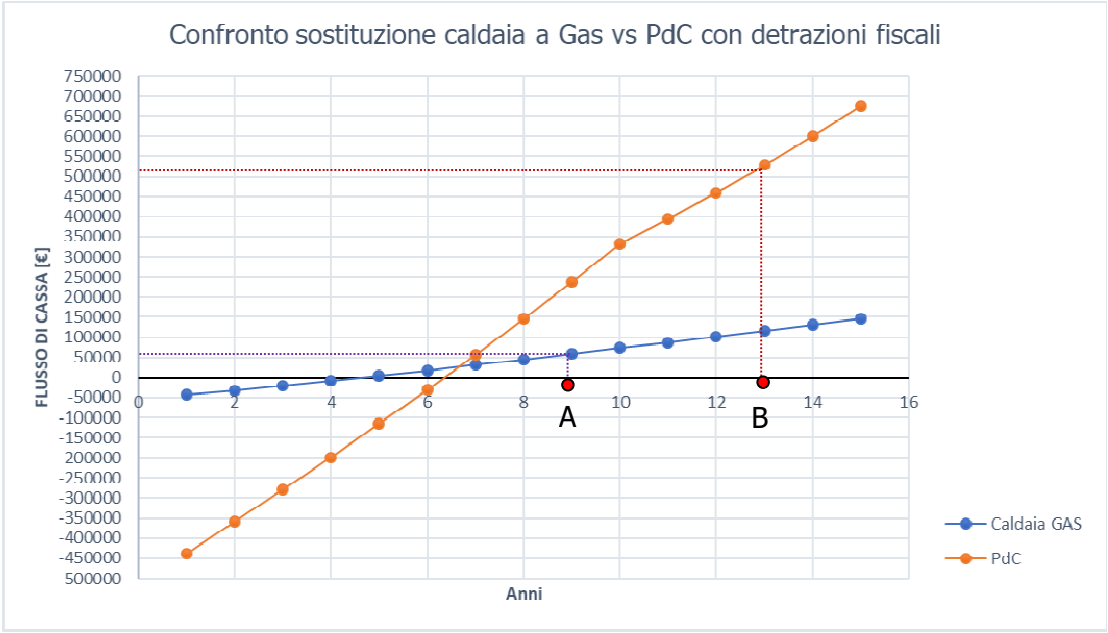

Fig. 39 payback investimento di riqualificazione edificio con accesso agli sgravi fiscali

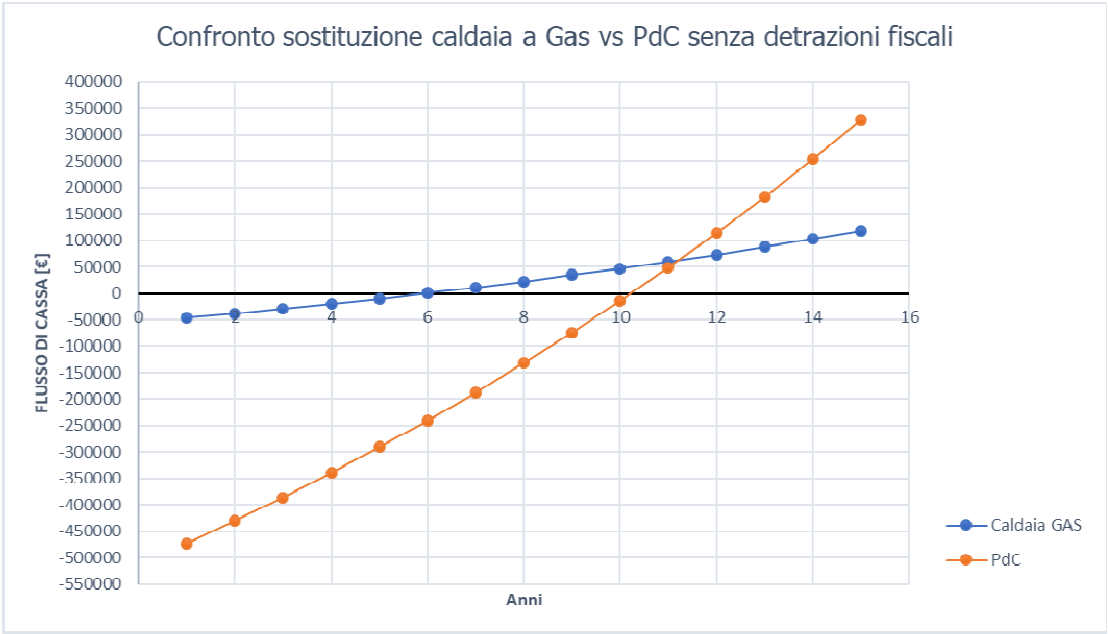

Fig. 40 payback investimento di riqualificazione edificio senza sgravi fiscali

Risulta interessante osservare che per la caldaia a Gas lo scenario con o senza sgravi varia poco; circa 6 anni senza sgravi e fra 4 e 5 anni con sgravi fiscali, questo perché l'importo è più basso e la quota detraibile è minore. Nel caso della PdC lo scenario è sostanzialmente diverso; si recupera l'importo speso in circa 6 anno e mezzo con gli sgravi fiscali, per arrivare ad oltre 10 anni senza sgravi fiscali.

Altro elemento interessante riguarda la velocità di recupero economico, osservando il grafico di Fig. 39, si constata che la caldaia raddoppia l'investimento iniziale (€ 55.900) in circa 9 anni, mentre la PdC lo raddoppia (investimento iniziale € 514.630) in meno di 13 anni.

È bene ricordare che la vita media delle macchine messe a confronto si aggira intorno ai 20 anni per una caldaia a condensazione e 10-15 anni per una pompa di calore operante in condizioni standard. Tenuto conto che nel caso in esame la PdC si troverebbe a lavorare in condizioni piuttosto gravose poiché sono richieste temperature di mandata del fluido piuttosto alte 58 °C, difficilmente i compressori scroll, operando con una media di 2600 ore/anno, riusciranno a raggiungere una vita di 10 anni senza manutenzione straordinaria.

Anno	Investimento Caldaia GAS [€]	Investimento PdC [€]
0	**-55897**	**-514630**
1	*9312,96*	*42278,10*
2	*9759,98*	*44307,45*
3	*10228,46*	*46434,21*
4	*10719,43*	*48663,05*
5	*11233,96*	*50998,87*
6	*11773,19*	*53446,82*
7	*12338,30*	*56012,27*
8	*12930,54*	*58700,86*
9	*13551,21*	*61518,50*
10	*14201,66*	*64471,39*
11	*14883,34*	*67566,01*
12	*15597,74*	*70809,18*
13	*16346,44*	*74208,02161*
14	*17131,06*	*77770,00665*
15	*17953,36*	*81502,96697*
TIR	**19%**	**7%**
VAN	133.542,67 €	345.370,50 €
EA	9.263,10 €	23.956,41 €

Tab. 16 Investimenti messi a confronto

Sulla base dei dati riportati in tabella 16 risulta possibile trarre alcune considerazioni; il *TIR* (*tasso interno di rendimento*) suggerisce di scegliere la soluzione con caldaia a GAS, questo perché il TIR, con il payback, rappresentano la velocità di recupero del capitale, mentre se osserviamo EA (*equivalente annuo*) è più rappresentativo dell'entità del valore dell'investimento ovvero identifica il progetto che, per unità di tempo, genera più valore. Si tratta di due indicatori che forniscono informazioni diverse, l'equivalente annuo ha anche rilevanza strategica quando si confronta con la vita utile del componente essenziale dell'impianto. Tuttavia occorre considerare che nell'investimento complessivo della PdC sono inseriti elementi che non sono soggetti ad usura tipica dei componenti impiantistici, infatti il cappotto termico ed i serramenti hanno una durata media che va ben oltre i 30 anni e rappresentano esborsi conseguenti all'impiego della PdC. In questo caso la valutazione dell'investimento ricade essenzialmente sulla disponibilità di capitale da parte degli utenti finali.

9. CONCLUSIONI

L'utilizzo delle pompe di calore aria/acqua si sta via via diffondendo, in nuovi edifici residenziali e non residenziali, come tecnologia impiantistica per la produzione di calore sia per il riscaldamento degli ambienti, ma anche per la produzione di acqua calda sanitaria, soprattutto grazie alle prescrizioni dettate dal D.Lgs 28 del 3/3/2011, il quale prescrive, oltre alla quota di fonte rinnovabile, anche l'inserimento di sistemi fotovoltaici in proporzione alla superficie della copertura del nuovo fabbricato.

Viene da sé che dovendo disporre di un sistema fotovoltaico risulta più conveniente impiegare delle PdC che siano reversibili anche per poter sfruttare il raffrescamento durante il periodo estivo.

Se, invece, si analizza un "retrofit" impiantistico con l'applicazione delle pompe di calore per il riscaldamento centralizzato su edifici esistenti, costruiti fra gli anni '70-'80, ma anche primi anni '90, lo studio di fattibilità va effettuato con molta attenzione poiché è necessario approfondire gli aspetti impiantistici per garantire una soluzione soddisfacente dal punto di vista funzionale.

I limiti operativi di una pompa di calore sono abbastanza vincolanti e per poter rendere compatibile l'impiego della macchina in un impianto esistente, all'interno di un edificio poco isolato, occorre necessariamente effettuare degli interventi di riqualificazione. Inoltre se la pompa di calore deve essere l'unico generatore presente, è necessario renderla assolutamente affidabile in ogni condizione di funzionamento, ciò comporta scelte tecniche rigorose.

L'applicabilità della PdC in edificio esistente con radiatori è dunque possibile, ma il costo da sostenere diventa molto importante, il caso esaminato mostra che l'esborso iniziale per l'applicabilità della PdC è circa 10 volte quello di un generatore di calore a gas a condensazione, il conseguente risparmio è anch'esso maggiore rispetto alla caldaia a gas, ma va ricordato che la vita utile di una PdC è inferiore rispetto ad una caldaia a gas ed è improbabile che nell'arco di 10 anni di funzionamento non venga effettuata alcuna manutenzione straordinaria alla macchina in quanto costituita da elementi più soggetti ad usura rispetto ad una semplice caldaia a gas.

In ultimo, ma di certo non meno importante, riguarda l'aspetto legato all'approvvigionamento dell'energia elettrica, la potenza necessaria per rendere operativo il sistema si aggira intorno a 90 kWe, funzionamento in parallelo delle macchine e degli accessori.
L'impegno di potenza contrattuale è considerevole e l'ente erogatore (ENEL o altri) lo potrà fornire direttamente in BT solo se nelle zone limitrofe avrà sufficiente disponibilità di potenza, diversamente si renderà necessaria la realizzazione di una cabina elettrica di trasformazione MT/BT che andrebbe inevitabilmente a gravare economicamente sugli utenti, modificando in modo significativo il quadro economico e gli aspetti legati ai tempi di recupero dell'investimento.

L'impiego delle PdC in un "retrofit" impiantistico, in edificio esistente, va effettuato con molta scrupolosità, valutando tutte le condizioni di fattibilità, dal profilo tecnico a quello economico.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ricordare tutti coloro che, nei diversi ruoli, hanno dato un contributo essenziale stimolandomi negli studi e nel lavoro per raggiungere quei traguardi che nel tempo cambiano e, talvolta, appaiono irraggiungibili.

Ringrazio il Prof. *Marco MASOERO* e la Prof.ssa *Chiara SILVI* per la disponibilità e professionalità dimostratami e per i loro preziosi consigli.

Rosaria per gli insegnamenti ricevuti.

Silvia per la sua comprensione ed il suo supporto.

Concludo citando le frasi di Aristotele e Socrate che nel mio percorso accademico hanno trovato la loro piena conferma.

*"**Ciò che dobbiamo imparare a fare, lo impariamo facendolo."** Aristotele*
***"Esiste un solo bene, la conoscenza, ed un solo male, l'ignoranza."** Socrate*

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 2010. *Manuale d'ausilio alla progettazione termotecnica*. Miniguida AiCARR. Padova: SGE
- Ernesto BETTANINI Pierfrancesco BRUNELLO 1985. *Lezioni di Impianti Tecnici Volume primo* CLEUP Editore Padova
- Alberto CAVALLINI Lino MATTAROLO 1988. *Termodinamica Applicata* CLEUP Editore Padova
- Renato LAZZARIN 2011. *Pompe di Calore Parte Teorica, Parte Applicativa* SGE Editoriali Padova
- Antonino CARIDI 1998 *Metodologie per la gestione operativa delle imprese* Editrice Levrotto & Bella Torino
- Vincenzo CORRADO Enrico FABRIZIO 2005 *Applicazioni di Termofisica dell'edificio e climatizzazione*. CLUT Torino
- Paolo ANGLESIO 1998. *Elementi di Impianti Termotecnici.* Pitagora Editrice Bologna
- UNI TS 11300 – 1 *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*.
- UNI/TS 11300-2 *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali.*
- UNI/TS 11300-3 *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva*.
- UNI/TS 11300-5 *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili*.
- UNI EN 12831-1 *Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo del carico termico di progetto - Parte 1: Carico termico per il riscaldamento degli ambienti, Modulo M3-3.*
- UNI CEN/TR 12831-2 *Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo del carico termico di progetto - Parte 2: Spiegazione e motivazione della EN 12831-1, Modulo M3-3*
- UNI EN ISO 13790 *Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento*
- UNI EN 14825 *Condizionatori d'aria, refrigeratori di liquido e pompe di calore, con compressore elettrico, per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti - Metodi di prova e valutazione a carico parziale e calcolo del rendimento stagionale.*