

**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica & Nucleare**



*TESI DI LAUREA MAGISTRALE*

**Analisi tecnico economica delle soluzioni per la  
produzione di acqua calda sanitaria centralizzata negli  
edifici civili, e dei relativi costi di esercizio**

Relatore

Prof. Marco Carlo MASOERO

Correlatore

Ing. Gregorio TOSI

Candidato

Carlo AMODIO

Anno accademico 2019/2020

## **Abstract**

Una delle più grandi sfide per la società contemporanea è quella di ridurre le emissioni di gas inquinanti. In ambito edilizio una risposta a questo problema è l'attuazione di interventi di efficientamento energetico. Nello specifico, il seguente lavoro intende individuare le più adatte soluzioni per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) negli edifici con una generazione centralizzata.

Tra le diverse tecnologie utilizzabili in un edificio, di particolare interesse sono la caldaia a condensazione, la pompa di calore e il solare termico. Queste possono essere installate sia come singole sia abbinate a formare un sistema ibrido.

La soluzione ottimale si rivela essere quella ibrida: essa è preferibile sia da un punto di vista tecnologico, poiché ciascun sottosistema viene utilizzato nel suo punto di lavoro avente maggior efficienza, sia da un punto di vista economico, infatti essa porta ad un'alta resa e quindi a un maggiore risparmio.

È quindi possibile effettuare un intervento di efficientamento energetico nella progettazione di un generatore di ACS centralizzato in un edificio, poiché viene fornita la stessa quantità di energia, ma a un minor costo.

Bisogna tenere infatti conto non solo dell'efficienza dell'impianto, ma anche della domanda dell'utenza, che resta quasi costante. Inoltre, la rete di distribuzione dell'acqua deve presentare anche il ramo del ricircolo, così da rispondere in breve tempo alla chiamata da parte dell'utenza, ed è necessario prevedere dei cicli di trattamento termico anti Legionella. Entrambi costituiscono un'ulteriore richiesta di energia all'impianto e quindi comportano un inevitabile aumento dei costi.

## Sommario

<i>Abstract</i> .....	2
<i>Introduzione</i> .....	7
<i>Capitolo 1. Analisi dei diversi sistemi per la produzione dell'acqua calda sanitaria, valutando per ogni soluzione costo di realizzazione e costi di esercizio</i> .....	9
1.1 Accumulo termico.....	9
1.2 Sistemi di generazione di calore .....	13
1.2.1 Caldaia a condensazione .....	13
1.2.2 Pompa di calore (pdc) .....	17
1.2.3 Pompa di calore e desurriscaldatore .....	21
1.2.4 Pannello solare termico .....	22
1.3 Sonde di temperatura .....	26
1.4 Comparazione tecnologie e costi .....	28
<i>Capitolo 2. Valutazione delle entità energetiche per la produzione sanitaria su tre situazioni dimensionali differenti: edificio di 20 unità abitative, edificio di 35 unità abitative, edificio di 50 unità abitative, designando un dimensionamento delle diverse soluzioni possibili di fornitura di energia</i> .....	30
2.1 Descrizione della struttura abitativa.....	30
2.2 Edificio con 20 Unità Abitative .....	33
2.2.1 Dimensionamento dell'accumulo termico per la caldaia e per il solare termico ...	33
2.2.2 Dimensionamento della caldaia a condensazione .....	34
2.2.3 Dimensionamento della pompa di calore .....	36
2.2.4 Dimensionamento del solare termico .....	37
2.2.5 Comparazione delle soluzioni per le 20 U.A. ....	44
2.3 Edificio con 35 Unità Abitative .....	44
2.3.1 Dimensionamento dell'accumulo termico per la caldaia e per il solare termico ...	45
2.3.2 Dimensionamento della caldaia a condensazione .....	46
2.3.3 Dimensionamento della pompa di calore .....	47
2.3.4 Dimensionamento del solare termico .....	47

2.3.5 Comparazione delle soluzioni per le 35 U.A. ....	51
2.4 Edificio con 50 Unità Abitative .....	51
2.4.1 Dimensionamento dell'accumulo termico per la caldaia e per il solare termico ...	51
2.4.2 Dimensionamento della caldaia a condensazione .....	52
2.4.3 Dimensionamento della pompa di calore .....	53
2.4.4 Dimensionamento del solare termico .....	54
2.3.5 Comparazione delle soluzioni per le 50 U.A. ....	58
2.5 Comparazione degli edifici analizzati .....	58
 <i>Capitolo 3. Valutazione dei costi energetici nelle diverse soluzioni impiantistiche possibili, con considerazione dei relativi vantaggi e svantaggi; valutazione dei tempi di rientro per le soluzioni energeticamente più vantaggiose. ....</i>	
3.1 Collegamento con l'accumulo .....	61
3.2 Ipotesi di esercizio dell'impianto .....	61
3.3 Costi di esercizio per l'edificio di 20 U.A. ....	63
3.4 Costi di esercizio per l'edificio di 35 U.A. ....	67
3.5 Costi di esercizio per l'edificio di 50 U.A. ....	69
3.6 Comparazione dei tre edifici con utenze differenti e valutazione dei tempi di rientro	71
3.6.1 Tempi di rientro della pompa di calore .....	72
3.6.2 Tempi di rientro del solare termico con caldaia.....	74
3.6.3 Tempi di rientro del solare termico con pompa di calore.....	75
3.6.4 Comparazione tecnologie e i loro tempi di rientro .....	76
3.7 Valutazione dei costi con serbatoio di acqua tecnico.....	77
 <i>Capitolo 4. Valutazione dei fattori di contemporaneità nel dimensionamento delle portate, con valutazione delle portate caratteristiche. Valutazione di tutte le potenze in gioco nella produzione e nella distribuzione dell'acqua calda sanitaria e calcolo tipo delle potenze disperse nei diversi punti. ....</i>	
4.1 Valutazione diametro tubazione .....	84
4.1.1 Valutazione diametro per 20 U.A. ....	86
4.1.2 Valutazione diametro per 35 U.A. ....	87
4.1.3 Valutazione diametro per 50 U.A. ....	88

4.1.4 Comparazione portate e diametri degli edifici.....	89
4.2 Valutazione delle potenze in gioco .....	90
4.2.1 Perdite tubazione distribuzione.....	92
4.2.2 Perdite tubazione ricircolo.....	94
4.2.3 Perdite accumulo.....	96
4.2.4 Riepilogo.....	97
 <i>Capitolo 5. Considerazioni sull' idoneità dei materiali delle tubazioni per la distribuzione dell'acqua calda sanitaria a partire dalla normativa vigente, con riferimento alla Norma UNI 9182 – 2014. Valutazioni tecnico-economiche sulle diverse tipologie di tubazioni per la distribuzione ed il ricircolo dell'acqua calda sanitaria.....</i>	
5.1 Quadro normativo .....	100
5.2 Analisi di una tubazione in acciaio e una in multistrato .....	104
5.2.1 Tubazione in acciaio inox .....	104
5.2.2 Tubazione in multistrato .....	108
5.3 Comparazione delle tubazioni studiate.....	110
 <i>Capitolo 6. Normativa vigente in materia di trattamenti anti-legionellosi, e normativa vigente in tema di esercizio degli impianti centralizzati .....</i>	
6.1 Normativa vigente in materia di trattamenti anti-legionellosi .....	111
6.2 Normativa vigente in tema di esercizio degli impianti centralizzati.....	114
 <i>Capitolo 7. Valutazione in ipotetico intervento di efficientamento in edificio di 20, 35 e 50 unità abitative dei costi/benefici delle soluzioni realizzabili e dei relativi tempi di rientro .....</i>	
7.1 Interventi di efficientamento in un edificio esistente di 20 U.A. ....	117
7.1.1 Valutazione potenza caldaia attuale e costi di esercizio per 20 U.A. ....	117
7.1.2 Sostituzione con caldaia a condensazione per 20 U.A. ....	120
7.1.3 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento della caldaia obsoleta per 20 U.A. ....	122
7.1.4 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento ad una caldaia a condensazione per 20 U.A. ....	125
7.1.5 Inserimento del solare termico e di una pompa di calore con sostituzione della caldaia per 20 U.A. ....	127

7.1.6 Comparazione interventi per 20 U.A. ....	135
<b>7.2 Interventi di efficientamento in un edificio esistente di 35 U.A. ....</b>	<b>137</b>
7.2.1 Valutazione potenza caldaia attuale e costi di esercizio per 35 U.A. ....	137
7.2.2 Sostituzione con caldaia a condensazione per 35 U.A. ....	138
7.2.3 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento della caldaia obsoleta per 35 U.A. ....	140
7.2.4 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento ad una caldaia a condensazione per 35 U.A. ....	142
7.2.5 Inserimento del solare termico e di una pompa di calore con sostituzione della caldaia per 35 U.A. ....	144
7.2.6 Comparazione interventi per 35 U.A. ....	150
<b>7.3 Interventi di efficientamento in un edificio esistente di 50 U.A. ....</b>	<b>151</b>
7.3.1 Valutazione potenza caldaia attuale e costi di esercizio per 50 U.A. ....	151
7.3.2 Sostituzione con caldaia a condensazione per 50 U.A. ....	153
7.3.3 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento della caldaia obsoleta per 50 U.A. ....	155
7.3.4 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento ad una caldaia a condensazione per 50 U.A. ....	157
7.3.5 Inserimento del solare termico e di una pompa di calore con sostituzione della caldaia per 50 U.A. ....	158
7.3.6 Comparazione interventi per 50 U.A. ....	163
<b>7.4 Confronto dei vari interventi nei 3 condomini studiati ....</b>	<b>165</b>
<b><i>Conclusione</i> .....</b>	<b>168</b>
<b><i>Indice delle figure</i> .....</b>	<b>170</b>
<b><i>Indice delle tabelle</i> .....</b>	<b>173</b>
<b><i>Bibliografia</i> .....</b>	<b>178</b>

## Introduzione

Nel contesto delle progettazioni mirate al contenimento dei consumi energetici e delle relative emissioni di CO<sub>2</sub> relativamente alle volumetrie edilizie ed alla impiantistica dedicata alla climatizzazione di edifici condominiali sono stati raggiunti, nell'ultimo decennio, traguardi molto interessanti. Nell'edilizia di nuova fattura, si possono ridurre i fabbisogni energetici per la sola climatizzazione di oltre il 70% rispetto ai valori caratteristici degli anni '80, mediante opportune coibentazioni schermature e impiantistica di elevata efficienza. Nelle opere di efficientamento energetico (ristrutturazioni) si possono ottenere riduzioni comprese tra il 40 ed il 50%.

Diversamente dalle analisi dei fabbisogni relativi alla produzione sanitaria non si riscontrano analoghi risultati, e si evidenziano talvolta costi di gestione superiori a quelli necessari per la climatizzazione.

Pertanto, la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) centralizzata all'interno di un condominio ha un significativo impatto economico ed energetico, ed allo stato attuale predominante rispetto a quello della climatizzazione.

Risulta elevata la richiesta di energia necessaria per rispondere alle esigenze di contemporaneità di tutti gli alloggi, in assenza di una idonea programmazione, e di dimensionamenti equilibrati ed efficienti.

Inoltre, vi sono due fattori che concorrono ad aumentare il relativo assorbimento di energia: i cicli di incremento delle temperature per abbattere il rischio legato alla presenza del batterio Legionella e la necessità di far circolare continuamente l'acqua nelle tubature (ricircolo) in modo da aumentare la reattività di risposta dell'impianto per le singole utenze.

Pertanto, la riduzione dei fabbisogni di energia per l'ACS, e di conseguenza dei costi di esercizio dell'impianto, deve sottostare alla realizzazione di sistemi sempre più efficienti per la generazione di calore, oltre alla cura per limitare le dispersioni.

È proprio in questo contesto che si sviluppa il seguente progetto di tesi, che studia, sia da un punto di vista tecnico sia economico, le tecnologie per la produzione di calore e la valutazione del loro inserimento all'interno di condomini, caratterizzati da diverso

numero di alloggi. In particolare, lo studio prende in oggetto sia condomini nuovi sia condomini esistenti, cioè aventi un sistema di generazione di calore obsoleto, stimandone anche il corretto dimensionamento delle tecnologie proposte.

Tale analisi porta con sé tre vantaggi: uno tecnico, uno economico e uno ambientale. Quello tecnico è il principale, dal quale derivano gli altri due. In particolare, il primo nasce dall'utilizzo di macchine sempre più efficienti grazie agli sviluppi tecnologici che ne implementano le potenzialità. Da ciò deriva una riduzione dei costi relativi al consumo dell'acqua calda sanitaria, che può variare in base alle macchine utilizzate. Inoltre, la maggiore efficienza dei generatori porta a una diminuzione delle emissioni di inquinanti in atmosfera ed emissioni di CO<sub>2</sub>, perché viene utilizzata una minor quantità di energia per lo stesso quantitativo di calore destinato alla produzione di ACS.

Il seguente progetto di tesi ha l'obiettivo di individuare la tecnologia che risponda al meglio, sia da un punto di vista tecnico sia economico, alle esigenze di ACS nei diversi condomini analizzati.

## **Capitolo 1.**

### **Analisi dei diversi sistemi per la produzione dell'acqua calda sanitaria, valutando per ogni soluzione costo di realizzazione e costi di esercizio**

Esistono numerosi sistemi di generazione di acqua calda sanitaria, che vengono utilizzati in diversi contesti in base alle esigenze specifiche di quest'ultimi. Tali sistemi vengono installati in due diverse tipologie di impianto, uno usato per la produzione istantanea di ACS (Acqua Calda Sanitaria) e l'altro per la produzione con accumulo termico e quindi non istantanea.

La principale differenza tra queste due tipologie è la potenza che deve avere il generatore di calore e i conseguenti costi annessi.

Con il presente lavoro, si intende analizzare le caratteristiche di tali sistemi di produzione, evidenziarne gli aspetti positivi e negativi di ciascuna e i relativi costi di installazione e di esercizio.

L'analisi non si riferisce a tutte le tipologie esistenti per la produzione di acqua calda sanitaria, ma solo agli impianti aventi un accumulo. Essa è dunque applicabile per le grandi strutture, come per esempio gli edifici residenziali, con produzione di ACS centralizzata, gli alberghi e gli ospedali.

Come prima cosa si intendono analizzare le diverse tipologie di accumulo termico dell'acqua, in quanto comportano una diversa conduzione dell'impianto, soprattutto dal punto di vista sanitario, andando a influenzare i rischi e i costi dei diversi sistemi di produzione di ACS.

#### **1.1 Accumulo termico**

In riferimento alle grandi strutture, il primo importante aspetto da considerare è il tipo di accumulo che si intende avere in una centrale termica: un accumulo di ACS oppure uno di acqua tecnica. Con acqua tecnica si intende un fluido termovettore che entra in

contatto con i tubi dello scambiatore della fonte di calore, risultando sporco e ricco di impurità.

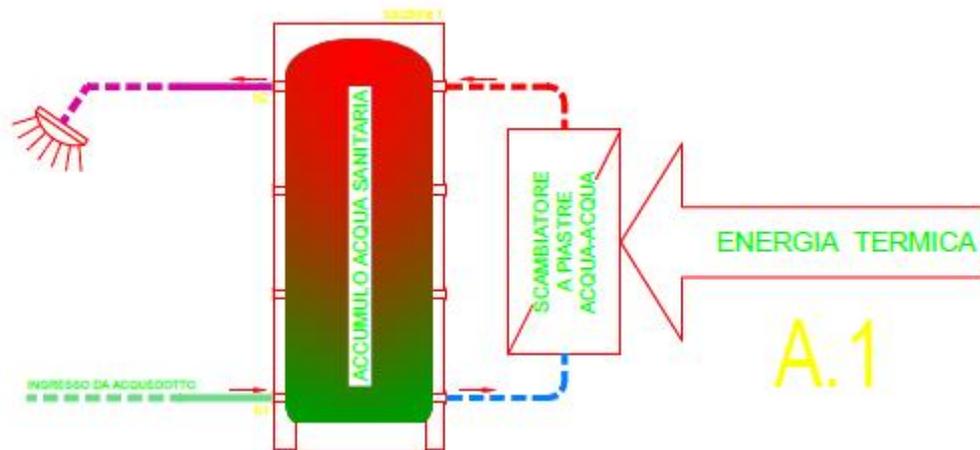


Figura 1. Schema produzione ACS mediante accumulo di ACS e scambiatore a piastre

La *figura 1.* illustra la prima soluzione che prevede l'accumulo di acqua calda sanitaria riscaldata direttamente con uno scambiatore di calore, in modo da tener separati i due circuiti, uno ad uso tecnico e l'altro ad uso sanitario, di cui è bene preservare le caratteristiche chimiche. Essa, dal punto di vista tecnologico, risulta una valida scelta perché non presenta alcun vincolo che possa limitare la produzione o la potenza dello scambiatore e permette così di scaldare l'acqua in poco tempo. Tale soluzione, però, evidenzia un'insidia dal punto di vista sanitario: ha un alto rischio di legionella, poiché comporta il ristagno dell'acqua potabile. Al fine di ridurre questo pericolo è bene eseguire dei cicli anti-legionella, aspetto che sarà approfondito in seguito [1].

Questa prima soluzione, inoltre, porta con sé degli elevati costi di gestione, in quanto richiede di operare più cicli anti-legionella che prevedono il mettere in moto l'acqua calda sanitaria a una certa temperatura, non solo al bisogno, ma in modo ripetuto.

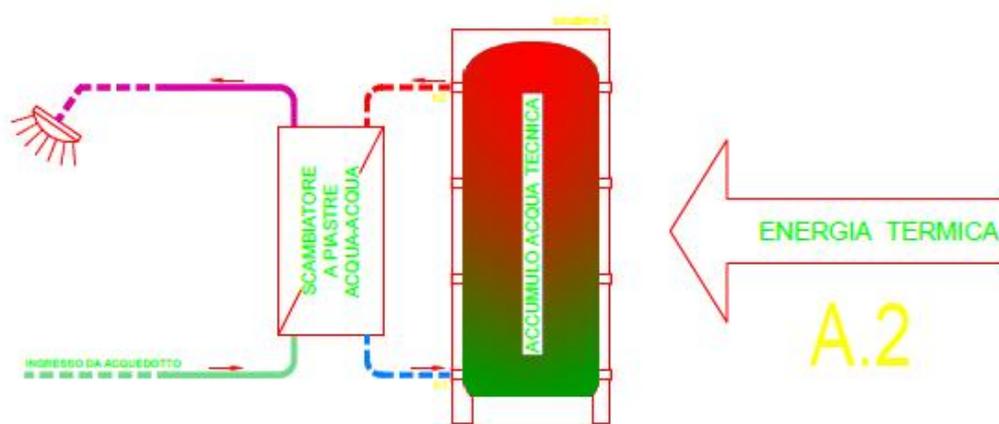


Figura 2. Schema produzione ACS mediante accumulo di acqua tecnica e scambiatore a piastre

figura 2. mostra la seconda soluzione, ovvero la possibilità di avere un accumulo di acqua tecnica: in questo caso è possibile produrre ACS con uno scambiatore a piastre rapido. Così facendo il rischio di legionella si riduce notevolmente, perché l'acqua che ristagna maggiormente è quella tecnica, quindi si ha l'accumulo nel lato tecnico e non nel lato potabile. Tuttavia, per tutelarsi, nelle centrali termiche aventi uno schema di impianto come questo vengono comunque attuate le tecniche anti-legionella.

Un aspetto rilevante di questi impianti si evidenzia nel dimensionamento dello scambiatore. Avendo un accumulo lato tecnico, si verifica un'alta differenza tra le temperature in ingresso e quelle in uscita dallo scambiatore.

Normalmente si hanno  $T_{in,tec} = 80^\circ\text{C}$ ,  $T_{out,tec} = 70^\circ\text{C}$  e  $T_{in,ACS} = 15^\circ\text{C}$ ,  $T_{out,ACS} = 50^\circ\text{C}$ .

Ciò genera un  $\Delta T_1 = T_{in,tec} - T_{out,ACS} = 80 - 50 = 30^\circ\text{C}$  e un  $\Delta T_2 = T_{out,tec} - T_{in,ACS} = 70 - 15 = 55^\circ\text{C}$ .

Alla luce di questi dati si evince che è possibile avere uno scambiatore più compatto a parità di potenza da scambiare. Questo inciderà sia sui costi di installazione per lo scambiatore di calore, sia sui costi dell'accumulo, perché è possibile sceglierne uno di dimensioni ridotte.

Non tutte le tecnologie per la generazione di calore riescono a raggiungere le temperature indicate: tale aspetto influisce logicamente sui costi di installazione poiché, a parità di potenza, risulta necessario utilizzare scambiatori di calore con una superficie di scambio termico maggiore.

Ad esempio, non è consigliabile avere una pompa di calore come fonte di generazione in uno schema di impianto che raggiunga le temperature descritte: una pompa di calore permette di ottenere alte temperature, ma si ha una bassa efficienza del sistema di generazione di calore.

Tuttavia, non sempre è conveniente avere uno scambiatore di calore piccolo con elevate differenza di temperatura tra i due lati; a volte è bene optare per uno scambiatore più grande in modo da avere differenza di 1° C tra la mandata di ACS e il ritorno al sistema di generazione, così da agevolare il funzionamento di quest'ultimo.

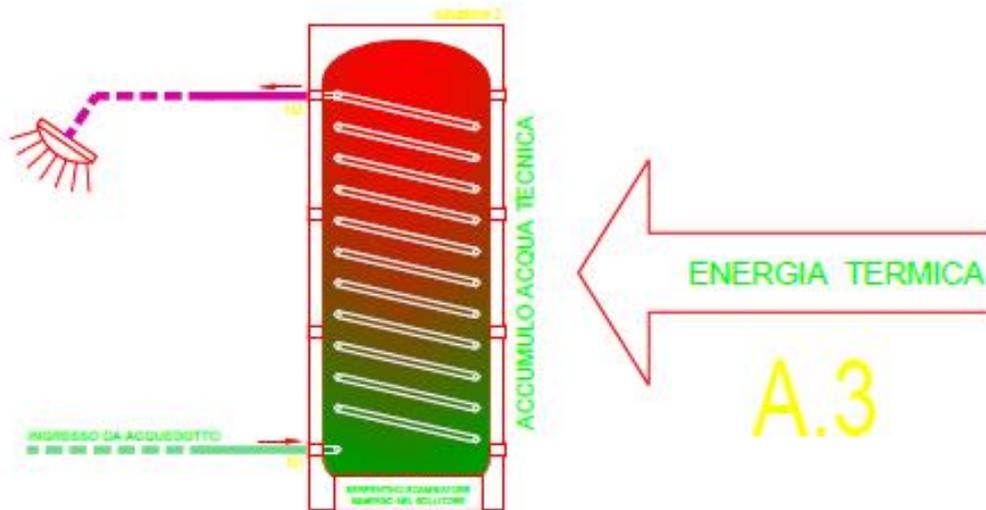


Figura 3. Schema produzione ACS mediante accumulatore di acqua tecnica e serpentino di scambio annegato

La figura 3. illustra un ultimo schema possibile, che risulta simile a quello precedente: la differenza consiste nel serpentino presente dentro all'accumulo di acqua tecnica, che svolge l'azione dello scambiatore di calore.

Tale configurazione però deve essere utilizzata singolarmente fino ad un massimo di 7/8 unità abitative per accumulatore. Una soluzione possibile per casi con un maggior numero di unità abitative è quella di disporre in parallelo due o più accumulatori, a seconda dell'esigenza, ognuno con la sua pompa di circolazione. Tali accumulatori preferiscono lavorare con piccoli  $\Delta T$  sul lato del circuito tecnico. Infine, essi non prevedono un'alta contemporaneità di prelievo.

Come nel caso precedente, anche qui vi è un basso rischio di legionella in quanto non sono presenti zone a flusso nullo di ACS. Per cautela, conviene effettuare tecniche di disinfestazione del batterio.

Concludendo, esistono anche serbatoi complementari a quest'ultimo schema, ovvero serbatoi di accumulo ACS con serpentino di scambio termico annegato. Tale soluzione, in riferimento alla legionella, porta con sé le stesse considerazioni del caso in *figura 1*.

Si prosegue ora con l'analisi dei sistemi di generazione di calore delle possibilità di allacciamento con l'accumulo termico.

Nello specifico verranno analizzati i seguenti sistemi: la caldaia a condensazione; la pompa di calore, con e senza desurriscaldatore; il solare termico. Ognuno di essi risulta compatibile con i tre diversi accumuli proposti in precedenza.

In ultimo si analizzeranno i benefici dell'utilizzo di una sonda termica in un impianto per la produzione di ACS.

## **1.2 Sistemi di generazione di calore**

### **1.2.1 Caldaia a condensazione**

La caldaia è una soluzione di generazione di calore ampiamente utilizzata, in quanto è stata una delle prime tecnologie ed è di semplice applicazione e utilizzo. Di recente interesse sono le caldaie a condensazione. Esse, rispetto alle caldaie tradizionali, sfruttano il calore latente del vapore acqueo dei fumi della combustione. In questo modo è possibile ottenere il massimo rendimento della fonte energetica primaria, attraverso la condensazione del vapore acqueo presente nei fumi della combustione. In passato, la condensazione dei fumi non era possibile per via delle difficoltà nella sua gestione, poiché la condensa acida dei fumi poteva bucare il camino.

## B.1

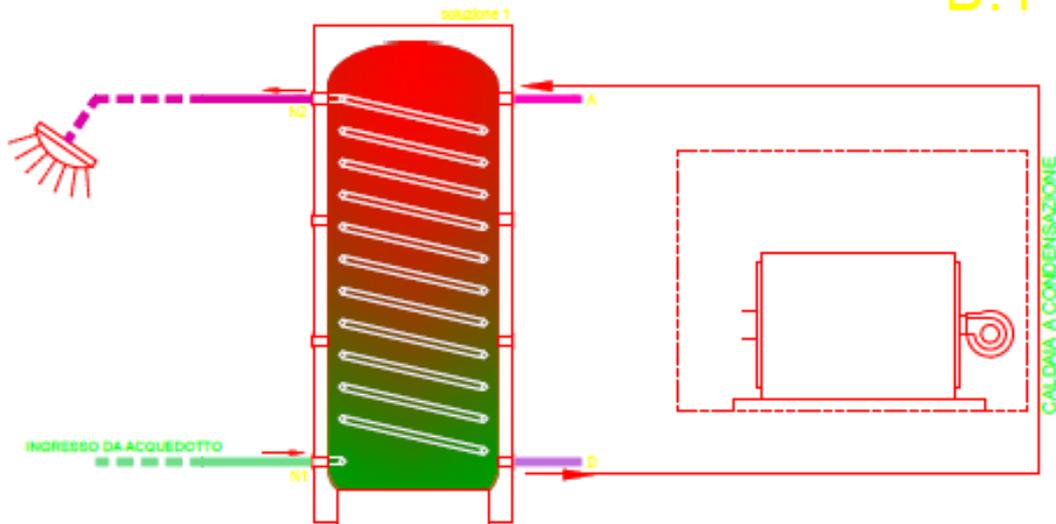


Figura 4. Schema produzione ACS mediante una caldaia come generazione di calore con prelievo d'acqua tecnica dal basso

Il miglior collegamento con l'accumulo è quello mostrato in figura 4.

$$\eta = \frac{\dot{m}_{water} * c_{p,water} * (T_A - T_B)}{\dot{m}_{fuel} * H_i}$$

Dalla formula del rendimento della caldaia, infatti, si vede come, a parità della potenza del focolare, cioè il denominatore, e della portata d'acqua, si possa ottenere un maggior rendimento se si massimizza la differenza di temperatura dell'acqua tra uscita e ingresso. L'acqua viene prelevata dalla zona inferiore del serbatoio ed è a una bassa temperatura, grazie anche alla stratificazione del fluido a seconda della temperatura e allo scambio termico con flusso controcorrente, così si favorisce la condensazione e si può avere il massimo  $\Delta T$ , quindi il massimo rendimento.

Infine, le caldaie a condensazione lavorano bene con alti  $\Delta T$  tra ingresso e uscita, anche maggiori di 20° C. Tuttavia, per ottenere una buona frazione di acqua condensata dai fumi, è bene tenere "bassa" la temperatura di uscita dalla caldaia; per gli utilizzi sanitari può convenire avere una  $T_A$  di 70° C.

Ipotizzando un condominio da 20 unità abitative, si valuta di scegliere un accumulo da 1500 l [3] e una caldaia con potenza termica di 175 kW. Trascurando il costo di manodopera, la spesa di questi due componenti principali si aggira intorno ai 17.500 €,

di cui 4.000 € per il bollitore e 13.500 € per la caldaia. Per stimare il costo annuale della spesa energetica e quindi un ipotetico costo di esercizio per sola fonte energetica primaria, il metano, si calcola la quantità media di energie richiesta dal condominio, di conseguenza il consumo di gas utilizzato e infine il costo:

$$E_{th,ACS} = \frac{C_{acqua} * c_{p,acqua} * (T_{out,acqua} - T_{in,acqua}) * giorni}{3600}$$

$$= \frac{(260 * 20) * 4,186 * (50 - 15) * 365}{3600} = 77243 \frac{kWh}{y}$$

dove il consumo di acqua è medio per singola unità abitativa e il salto termico è quello da imporre sull'acqua che si utilizzerà.

Per semplicità si ipotizza di avere un rendimento unitario dello scambiatore interno all'accumulo, quindi l'energia spesa per scaldare l'ACS è la stessa che deve essere fornita all'acqua tecnica della caldaia.

Con un rendimento del 107 %, maggiore di 100 per la condensazione dei fumi, un potere calorifico di 9,77 kWh/m<sup>3</sup> e un costo del gas metano di 0,85 €/m<sup>3</sup> [2] è possibile calcolare una spesa media annuale del metano per l'intero condominio:

$$\dot{V}_{gas} = \frac{E_{th,ACS}}{\eta * H_i} = \frac{77243}{1,07 * 9,77} = 7389 \frac{m^3}{y}$$

$$costo_{esercizio} = \dot{V}_{gas} * costo_{gas} = 7389 * 0,85 = 6281 \frac{€}{y}$$

Si evince che ogni unità abitativa ha una spesa energetica per la sola componente sanitaria di circa 314 € all'anno.

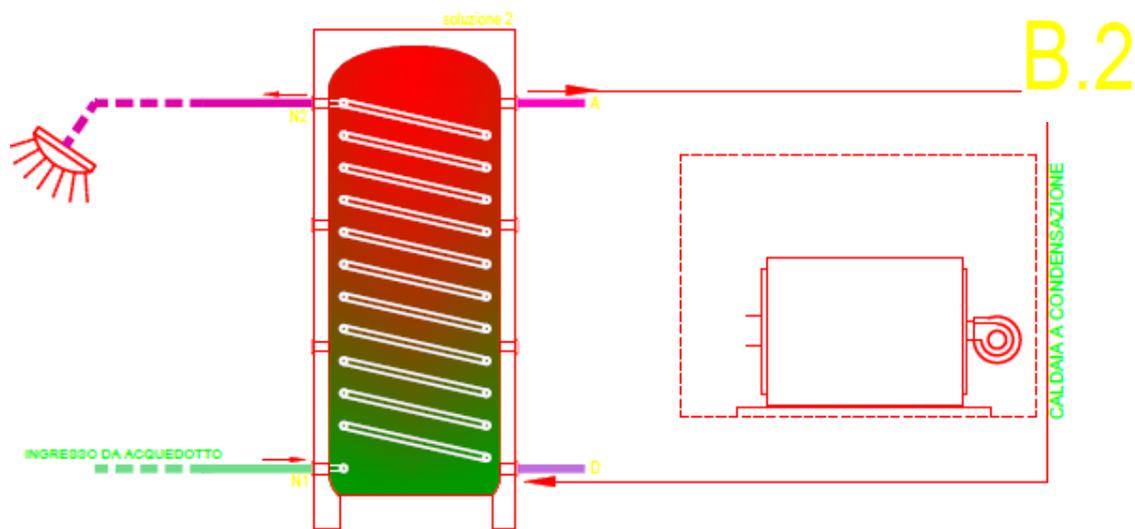


Figura 5. Schema produzione ACS mediante una caldaia come generazione di calore con prelievo d'acqua tecnica dall'alto

Lo schema illustrato in *figura 5.* è opposto al precedente, poiché presenta il ritorno dell'acqua in caldaia dall'alto del serbatoio. Alla luce di quanto emerso per il modello anteriore, si deduce che tale configurazione non favorisce un miglior rendimento della caldaia, causando un aumento della spesa energetica da parte del condominio. Questo perché l'acqua che ritorna al generatore ha una temperatura intorno ai 55 – 60° C, maggiore della temperatura dell'ACS che è intorno ai 50° C. Così facendo si hanno due conseguenze: un  $\Delta T$  in caldaia minore o uguale a 20° C, inferiore a quello dello schema precedente; una temperatura di ritorno in caldaia che non aiuta la condensazione del vapore dei fumi. Ne consegue un minor rendimento rispetto al primo modello.

Un'ulteriore aggravante, che si aggiunge ai motivi precedentemente illustrati, è che lo scambio termico avviene con un deflusso in equicorrentza [4]. Al contrario, nello schema in *figura 5.* tale scambio è in controcorrente e, come si evince dalla teoria degli scambiatori di calore, è da preferirsi perché, a parità di potenza scambiata, permette uno scambiatore più compatto e quindi un vantaggio economico.

Per questa seconda configurazione, riferendosi sempre allo stesso condominio con le stesse esigenze di ACS, si ipotizza un rendimento del 98 % e si ottiene un costo di esercizio annuale di:

$$\dot{V}_{gas} = \frac{E_{th,ACS}}{\eta * H_i} = \frac{77243}{0,98 * 9,77} = 8067,5 \frac{m^3}{y}$$

$$costo_{esercizio} = \dot{V}_{gas} * costo_{gas} = 8067,5 * 0,85 = 6857,4 \frac{€}{y}$$

Emerge chiaro lo svantaggio economico di questa scelta, che costerebbe circa 600 € all'anno in più rispetto alla soluzione precedente. I costi di installazione rimangono gli stessi.

### 1.2.2 Pompa di calore (pdc)

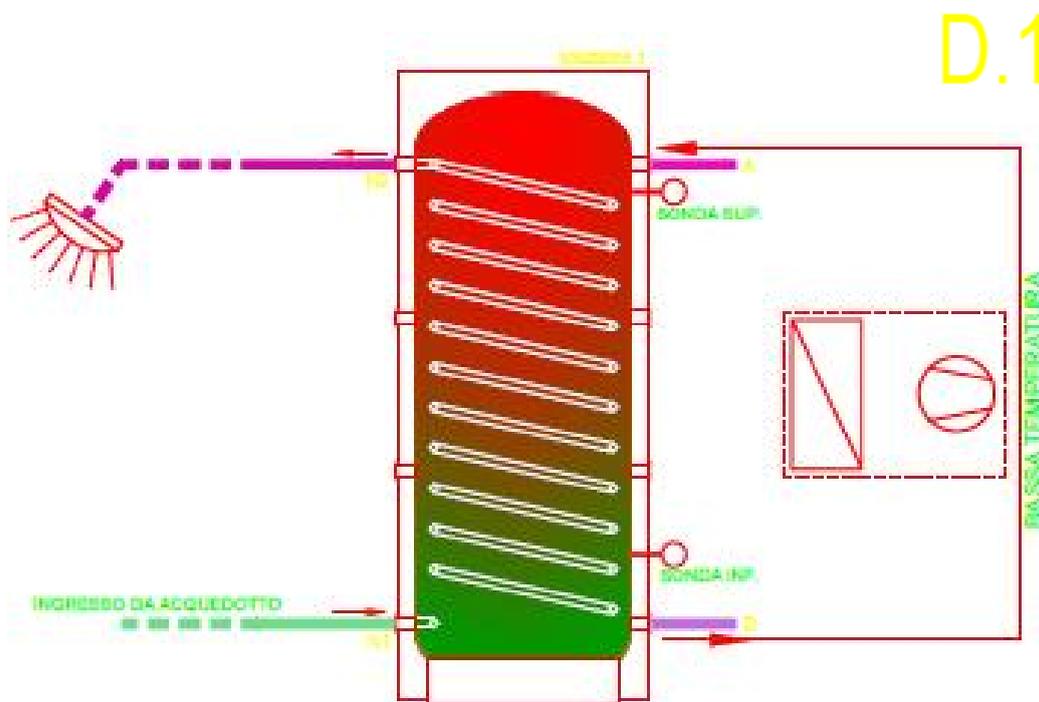


Figura 6. Schema produzione ACS mediante una pdc come generazione di calore con prelievo d'acqua tecnica dal basso

La pompa di calore è una delle tecnologie più emergenti negli ultimi anni per il raffreddamento e il riscaldamento degli edifici e per la generazione di acqua calda sanitaria.

Essa è in grado di prelevare del calore a bassa temperatura ed elevarlo a una maggiore, così da poterlo rendere utilizzabile.

Nonostante gli avanzamenti tecnologici, un limite di queste macchine è l'alta temperatura: è possibile raggiungere temperature intorno ai 50 – 60° C a scapito però di una più bassa efficienza.

Una prima problematica di un impianto, come quello illustrato in *figura 6.*, è la temperatura nella parte bassa del bollitore: se questa raggiungesse una temperatura inferiore ai 25° C potrebbe compromettere il funzionamento della pompa. Con tale configurazione, infatti, si rischia di abbassare troppo la temperatura di ritorno dell'acqua tecnica e di far lavorare maggiormente la macchina in condizioni non ottimali.

Le pompe di calore lavorano meglio se, nello scambiatore lato tecnico, la temperatura dell'acqua presenta un  $\Delta T$  che si aggira intorno ai 5° C. Questo comporta una destratificazione delle temperature nel bollitore e un abbassamento della temperatura di mandata alle utenze.

In aggiunta, in tale configurazione, all'inizio di un prelievo d'acqua sanitaria dopo un periodo di stop, si verifica quanto segue: il bollitore presenta acqua intorno ai 45° C nella parte alta e 30° C nella parte bassa. All'avvio della richiesta, parte la pompa di circolazione sul lato tecnico che mette in moto l'acqua; così facendo viene raffreddato maggiormente il bollitore, perché nel circuito l'acqua viene prelevata a 30° C e immessa nella parte alta dello stesso, dove avviene lo scambio termico con l'acqua da mandare all'utenza. Quindi si aziona la pompa di calore, che però potrebbe far lavorare maggiormente il compressore data l'elevata differenza di temperatura. In conclusione, per circa 5 minuti si invia all'utenza acqua fredda, cioè di circa 30° C, prima di poterla inviare alla temperatura voluta.

Per la stima dei costi di installazione e dei costi di esercizio, si prende in considerazione lo stesso condominio esaminato in precedenza, che ha quindi gli stessi consumi. Per i costi di installazione si stimano circa 54.000 €, di cui 50.000 € per la pdc e il resto per il bollitore. Risulta evidente che la pdc è una tecnologia costosa, infatti la differenza di costi rispetto alla caldaia è di circa 45.000 € a parità di potenza installata. Tuttavia, si avranno dei costi di esercizio minori rispetto a quelli della caldaia, che motivano la scelta di utilizzo di questa tecnologia.

Per stimare i costi di esercizio non basta considerare il rendimento della macchina, come invece avviene per il caso precedente, ma la difficoltà emerge nell'individuare un'efficienza della pompa di calore, in quanto essa varia a seconda della temperatura esterna. Per operare un calcolo approssimativo si può passare attraverso un'efficienza media annuale, in cui si valuta il COP (*Coefficient Of Performance* o Coefficiente Di Prestazione) al variare della temperatura esterna e della temperatura di mandata dell'acqua costante.

Il COP, come descritto dalla norma UNI EN 14511 [5], è il rapporto tra la potenza fornita, ovvero quella desiderata, e la potenza meccanica richiesta dalla macchina per poter erogare tale potenza.

Di notevole importanza è lo SCOP, *coefficiente di prestazione stagionale*, illustrato nella norma UNI EN 14825 [6]. Lo SCOP viene definito come il rapporto tra l'energia erogata e il lavoro meccanico; quindi, si prende in considerazione un lungo arco di tempo, solitamente una stagione termica, nel quale il COP varia il suo valore al variare della temperatura esterna.

Per le pompe di calore che producono acqua ad alte temperature si può utilizzare uno SCOP di 2,5. Tuttavia, con la configurazione proposta in *figura 6.*, si prende un valore di 2,35, poiché appunto meno efficiente come collegamento all'accumulo termico.

Dunque, ipotizzando di avere uno scambiatore del bollitore con efficienza unitaria, si calcola l'energia elettrica essenziale per produrre l'energia necessaria per l'ACS, misurata precedentemente:

$$E_{el,ACS} = \frac{E_{th,ACS}}{SCOP} = \frac{77243}{2,35} = 32869,4 \frac{kWh}{y}$$

Con un costo di 0,15 €/kWh [2] , si trova un costo di esercizio annuale di:

$$costo_{esercizio} = E_{el,ACS} * costo_{en\ el} = 32869,4 * 0,15 = 4930,4 \frac{€}{y}$$

Come anticipato, il costo di esercizio risulta minore rispetto a quello ottenuto usando una caldaia a condensazione: è presente un vantaggio economico di circa 1.350 €/y, per questo motivo è possibile scegliere tale tipologia di macchina nonostante il costo elevato di installazione.

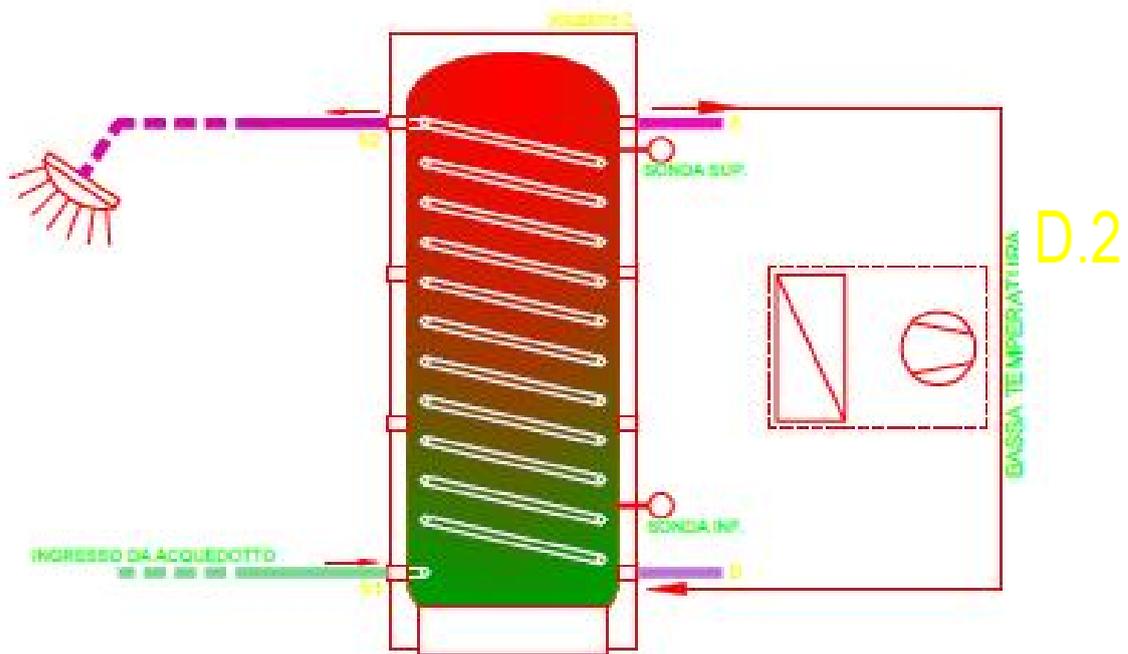


Figura 7. Schema produzione ACS mediante una pdc come generazione di calore con prelievo d'acqua dall'alto

Rispetto al caso precedente, la figura 7. presenta la migliore configurazione per una produzione di ACS attraverso una pompa di calore, poiché presenta uno scambio di calore con un deflusso in equicorrenza, tale da non causare un eccessivo abbassamento di temperatura di rientro dell'acqua alla pompa. In questo modo non viene compromesso il compressore della macchina. Tale soluzione, inoltre, presentando l'ingresso di acqua a temperatura maggiore nella parte bassa dell'accumulo evita la destratificazione e l'abbassamento di temperatura nella zona superiore.

È importante osservare come il miglior schema dell'allacciamento con l'accumulo e la fonte di generazione sia diverso per la pompa di calore e per la caldaia a condensazione.

Quindi, con SCOP di 2,5, maggiore del precedente per via della miglior configurazione che non influisce negativamente sulla macchina, si possono ipotizzare i seguenti range di costi di esercizio:

$$E_{el,ACS} = \frac{E_{th,ACS}}{SCOP} = \frac{77243}{2,5} = 30897,2 \frac{kWh}{y}$$

$$costo_{esercizio} = E_{el,ACS} * costo_{en\ el} = 30897,2 * 0,15 = 4634,6 \frac{€}{y}$$

Ne si conviene una riduzione sui costi di esercizio di circa 300 €, dato che si utilizza una macchina con un rendimento migliore, visto il collegamento con il serbatoio.

### 1.2.3 Pompa di calore e desurriscaldatore

Un ulteriore schema funzionale riguarda l'utilizzo della pdc e di un desurriscaldatore; un sistema ibrido. La pdc funziona come preriscaldamento dell'acqua, mentre il desurriscaldatore eleva ulteriormente la temperatura dell'acqua fino a quella desiderata.

Il desurriscaldatore consiste in uno scambiatore di calore che utilizza le alte temperature del refrigerante in uscita dal compressore, così da ottimizzare lo scambio con l'acqua ad alta temperatura.

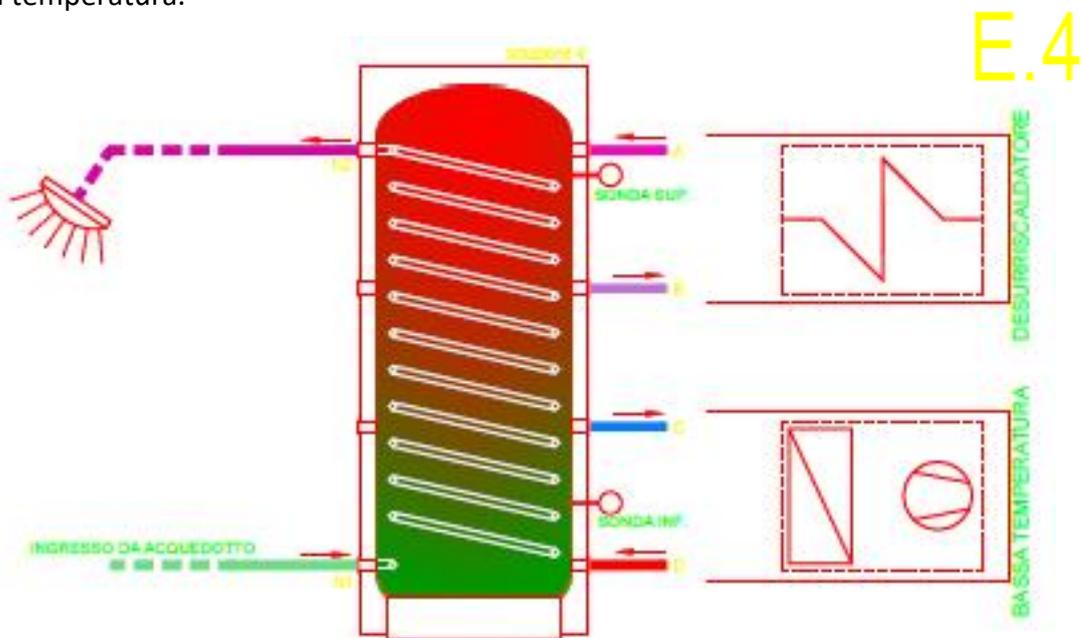


Figura 8. Schema produzione ACS attraverso una pdc e un desurriscaldatore come generazione di calore

Il miglior accoppiamento di tale sistema ibrido con il serbatoio è presente nella *figura 8*, dove la pdc preleva l'acqua dalla metà dell'accumulo, così da avere il miglior rendimento, come per la configurazione in *figura 5*. Mentre per il desurriscaldatore, conviene avere un allacciamento come per la caldaia, con il prelievo di acqua dalla metà del serbatoio.

Inoltre, con l'avvio della fornitura di acqua calda sanitaria, non si determina una destratificazione e, quindi, non si ha un abbassamento della temperatura nella parte alta del bollitore, cioè della temperatura dell'ACS di mandata.

In riferimento ai costi di esercizio, si ipotizza un rendimento complessivo di generazione di 3,5:

$$E_{el,ACS} = \frac{E_{th,ACS}}{SCOP} = \frac{77243}{3,5} = 22069,4 \frac{kWh}{y}$$

$$costo_{esercizio} = E_{el,ACS} * costo_{en\ el} = 22069,4 * 0,15 = 3310,4 \frac{€}{y}$$

Si nota, ancora una volta, una forte riduzione nei costi di esercizio annuali, dovuta, soprattutto, all'efficienza della generazione.

#### **1.2.4 Pannello solare termico**

Per il pannello solare termico, la soluzione più utilizzata è quella che prevede una generazione ibrida, ovvero caratterizzata dalla presenza di due sistemi di generazione di calore. In particolare, in presenza di pannelli solari termici si abbina una caldaia, una pdc o altro. I primi necessitano di una risorsa energetica variabile nel tempo, l'energia solare, mentre la seconda non ha alcuna dipendenza ed è per questo sempre usufruibile.

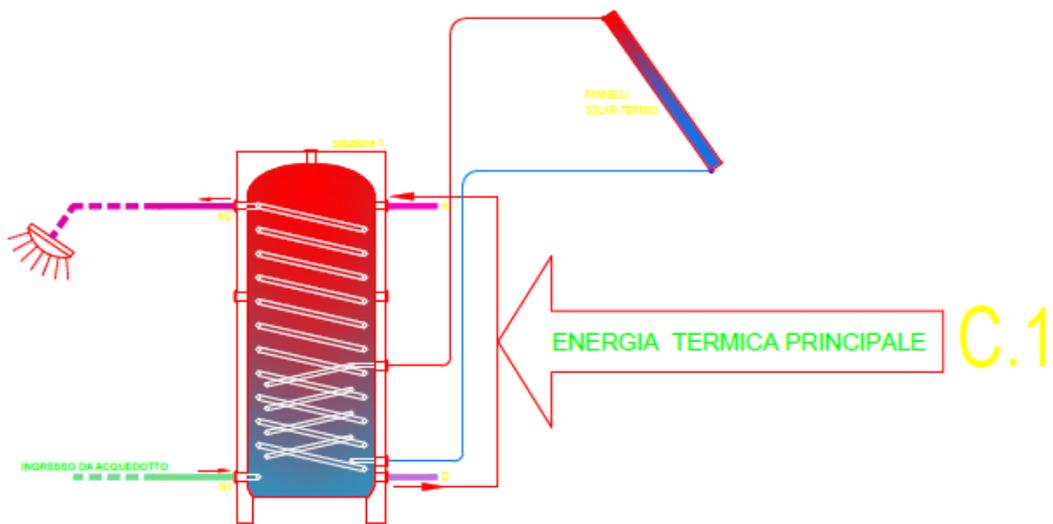


Figura 9. Schema produzione ACS attraverso pannello solare termico e altra fonte termica con un accumulo di acqua tecnica e scambiatore rapido

Per il pannello solare termico sono proposti tre schemi. Il primo schema, illustrato in figura 9., propone la produzione di ACS con l'accumulo di acqua tecnica. Come in alcuni dei casi precedenti, anche qui viene utilizzato un accumulo termico a scambio rapido, con il serpentino di scambio termico, proveniente dai pannelli solari, situato nella zona bassa del serbatoio. Il motivo di quanto descritto risiede nelle temperature dell'acqua che circola nel pannello stesso: esse non permettono il raggiungimento della temperatura voluta per l'ACS.

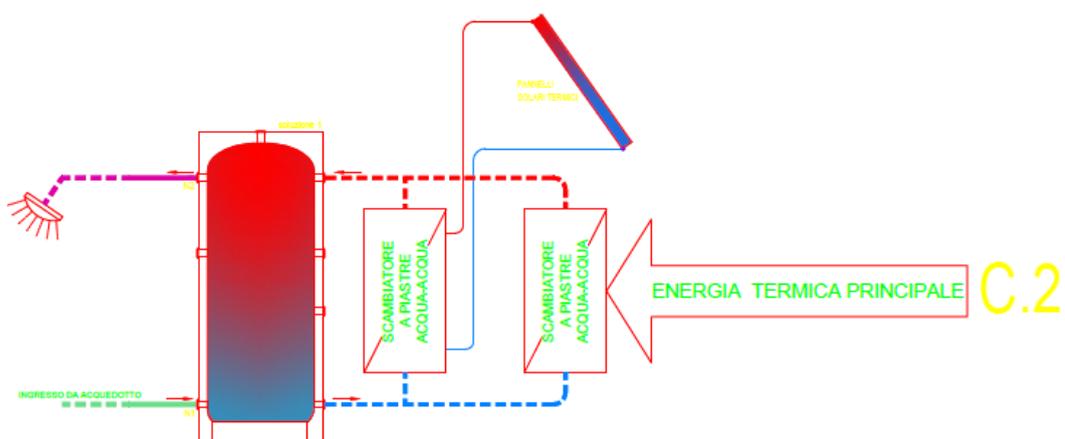
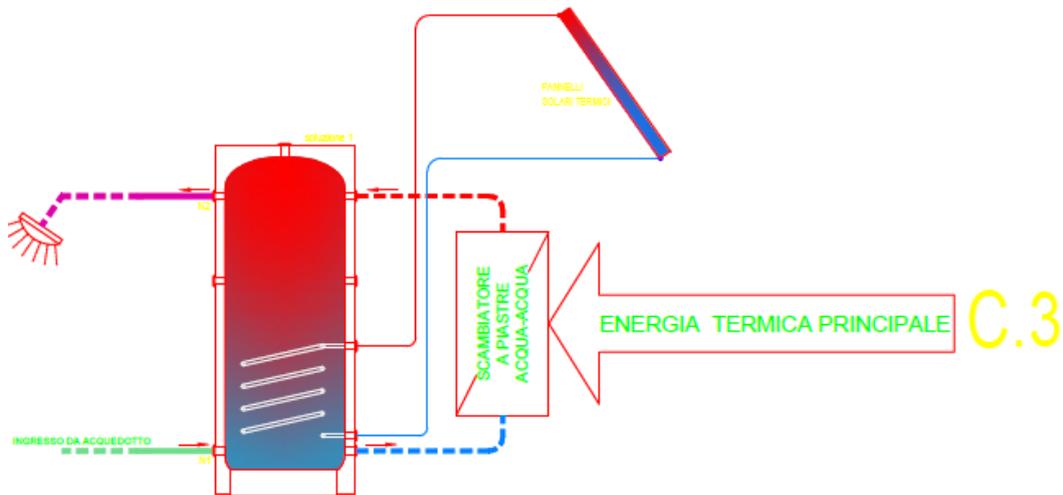


Figura 10. Schema produzione ACS attraverso pannello solare termico e altra fonte termica con un accumulo di acqua calda sanitaria

La *figura 10.* presenta il secondo schema: in questo caso la produzione di ACS avviene grazie all'accumulo di acqua calda sanitaria e mediante scambiatore a piastre.



*Figura 11. Schema produzione ACS attraverso pannello solare termico e altra fonte termica con un accumulo di acqua calda sanitaria con serpentino solare immerso*

Infine, il terzo schema rappresentato in *figura 11.* propone la produzione di ACS nello stesso modo dello schema in *figura 10.*, ma con l'aggiunta di un serpentino solare immerso nel serbatoio.

La principale differenza dei tre schemi consiste nel bollitore: in base a esso si sceglie se accumulare acqua tecnica (*figura 9.*) o acqua calda sanitaria (*figura 10.* e *figura 11.*). Tutte e tre le soluzioni risultano performanti allo stesso modo.

Col solare termico, una buona pratica è quella di operare soprattutto nelle regioni a bassa temperatura così da poter utilizzare tale tecnologia anche nel regime invernale, quando l'energia solare vi è per meno tempo e a un'intensità ridotta rispetto a quello estiva.

Così facendo, si può portare l'acqua dell'acquedotto da una temperatura di circa 15° C fino ai 35 – 40° C. In inverno, si può scegliere di arrivare ai 30 – 35° C, così da poter sfruttare ancora di più questa tecnologia. Dopodiché si utilizza la seconda fonte di generazione di calore per portare l'ACS ai 55° C. Una prima possibile fonte di generazione è la caldaia ad alta efficienza o a condensazione, anche se si condenserebbe poco visto che l'acqua tecnica circola con temperature che passano da 45° C a 60° C.

La seconda possibilità è la pompa di calore, la quale, in questo caso, presenta un miglior COP, quindi un miglior SCOP, grazie a un minor  $\Delta T$  tra le temperature degli scambiatori della pompa. La difficoltà, in una giornata poco soleggiata come quelle invernali, è la necessità di utilizzare unicamente la pdc, abbassando il rendimento.

Per quanto riguarda i costi, si prende in considerazione sempre il medesimo condominio utilizzato anche per gli altri sistemi. Esso richiede 77.243 kWh/y come energia termica e si ha un costo del bollitore di 4.500 €.

Essendo un edificio da 20 unità abitative, si suppone una necessità di 30 m<sup>2</sup> di pannello solare termico e di conseguenza un costo di circa di 45.000 €, stimando una spesa di 1.500 €/m<sup>2</sup>. Inoltre, bisogna aggiungere il costo della tecnologia necessaria per la generazione di calore, che dovrà avere una potenza tale da poter lavorare anche senza l'aiuto del pannello solare termico. Consideriamo, quindi, 13.500 € per una caldaia a condensazione o circa 50.000 € per una pompa di calore.

In questo modo si ha un costo di 63.000 € se si decide di utilizzare una caldaia o 99.500 € se si sceglie una pompa di calore.

Il vantaggio di tale tecnologia risiede sicuramente nei costi di esercizio: infatti, per quel che concerne i costi relativi al solare termico, non si ha alcuna spesa della risorsa, ma solo degli organi elettrici che mettono in moto il fluido, che ora trascuriamo.

Quindi, ipotizzando di poter riscaldare l'ACS fino a 55° C, essa deve subire un salto termico di 20° C, visto che è portata fino a 35° C dal solare termico.

Se si utilizza una caldaia, un costo di esercizio risulta pari a:

$$E_{th,ACS} = \frac{C_{acqua} * c_{p,acqua} * (T_{out,acqua} - T_{in,acqua}) * giorni}{3600}$$

$$= \frac{(260 * 20) * 4,186 * (60 - 40) * 365}{3600} = 44139 \frac{kWh}{y}$$

$$\dot{V}_{gas} = \frac{E_{th,ACS}}{\eta * H_i} = \frac{44139}{1,02 * 9,77} = 4429 \frac{m^3}{y}$$

$$costo_{esercizio} = \dot{V}_{gas} * costo_{gas} = 4429 * 0,85 = 3764,7 \frac{€}{y}$$

Si è preso un rendimento della caldaia di 1,02, perché non si ha una condensazione spinta: l'acqua tecnica, infatti, viene ripresa a una temperatura di 45° C e mandata nel bollitore a 60 – 65° C.

Se, invece, si impiega una pompa di calore, il costo di esercizio diviene pari a:

$$E_{el,ACS} = \frac{E_{th,ACS}}{SCOP} = \frac{44139}{2,8} = 15764 \frac{kWh}{y}$$

$$costo_{esercizio} = E_{el,ACS} * costo_{en\ el} = 15764 * 0,15 = 2365 \frac{€}{y}$$

Si è considerato uno SCOP maggiore rispetto quello preso nel caso delle pompe di calore come unica fonte primaria, poiché qui il salto termico è minore e quindi vi è un miglioramento di efficienza.

In entrambi i casi si ha un notevole risparmio nei costi di esercizio, infatti si ha circa un loro dimezzamento paragonandola alla sola generazione di caldaia o di pompa di calore. Allo stesso tempo, però, si ha un esborso considerevole per l'installazione della tecnologia, nonostante il ritorno economico sia molto elevato.

Per lo svolgimento di questi calcoli si è ipotizzato di poter raggiungere ogni giorno dell'anno la temperatura di 35° C dell'ACS con il solare termico, anche se non è sicuro che si riesca sempre a farlo. Di conseguenza, per correggere i valori è possibile moltiplicare l'energia richiesta di un fattore correttivo pari a 1,15 e cioè di aumentare del 15% l'energia richiesta.

### **1.3 Sonde di temperatura**

Negli ultimi dieci anni si sono iniziate a utilizzare maggiormente le sonde di temperatura. Le sonde sono uno strumento atto a migliorare il rendimento dell'impianto al fine di ottimizzare la produzione di acqua calda sanitaria attraverso la misurazione della temperatura del fluido.

All'interno del bollitore vengono disposte due sonde, una nella parte inferiore e una in quella superiore: ciascuna sonda invia un segnale diverso al generatore a seconda della temperatura misurata dell'acqua. Così facendo, è possibile generare le fasce orarie di

utilizzo dell'ACS di un condominio, ossia individuare degli intervalli di tempo in cui si ha un prelievo maggiore di acqua da parte delle utenze e durante i quali viene richiesta una certa differenza di temperatura all'interno del bollitore. Nel resto del tempo è possibile avere una differente differenza di temperatura, così da non dover accendere continuamente il bollitore.

Nello specifico, esistono due configurazioni.

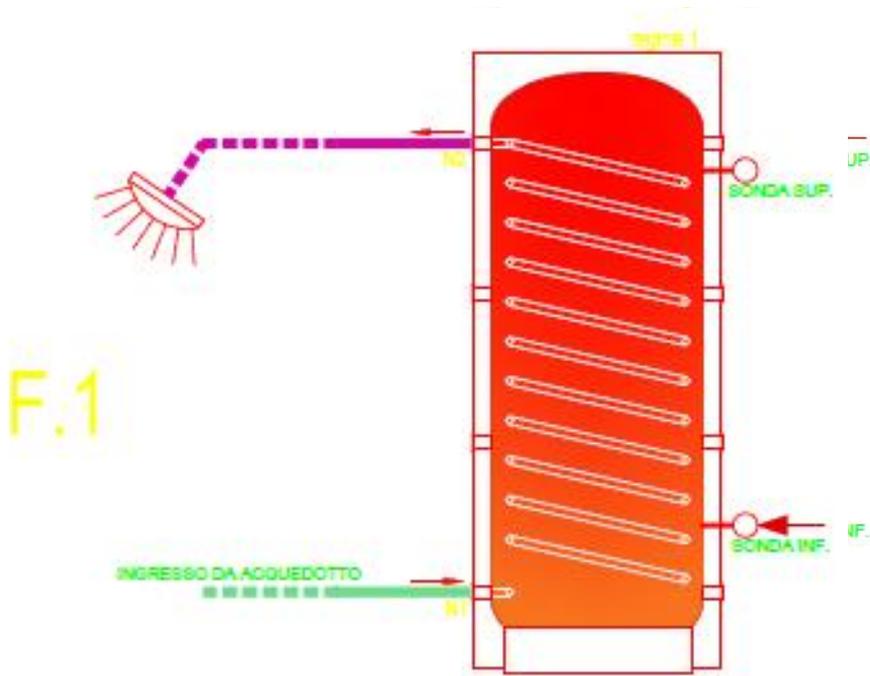


Figura 12. Posizionamento sonde di temperatura durante la fascia oraria di prelievo intenso di ACS

quando siamo nella fascia del prelievo, la differenza di temperatura tra la parte alta e quella bassa del bollitore è di circa 2° C, proprio per agevolare un funzionamento continuo del generatore e per inviare ACS con la stessa temperatura di mandata.

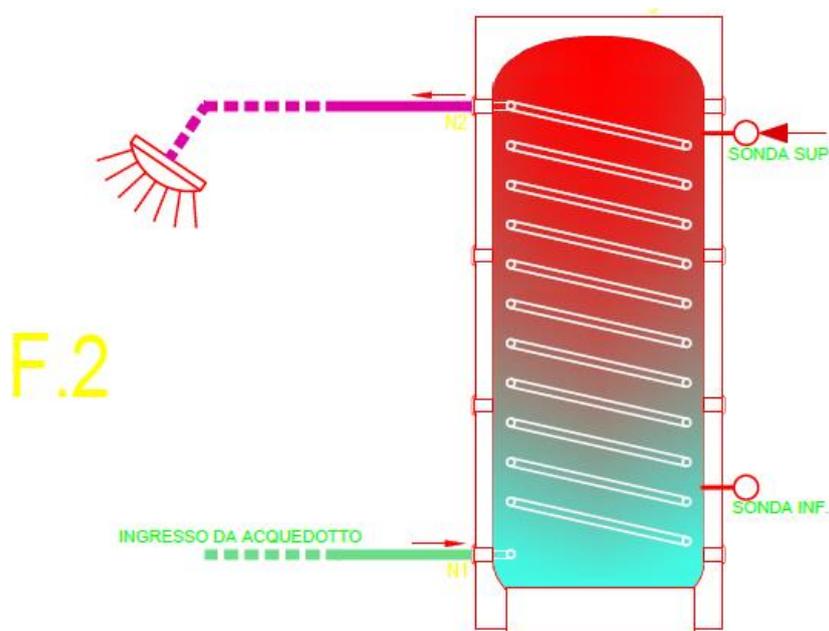


Figura 13. Posizionamento sonde di temperatura durante la fascia oraria di prelievo ridotto di ACS

Quando, invece non vi è un alto prelievo di acqua calda, è possibile avere una differenza di temperatura tra la parte e quella bassa del bollitore fino a 15° C, così da non dover avviare continuamente e a potenza ridotta il generatore. In questo modo, si tiene in temperatura solo la parte alta del bollitore, riuscendo a soddisfare i bassi prelievi senza avviare il generatore.

Il costo delle sonde si aggira intorno ai 25 € per una sonda.

#### 1.4 Comparazione tecnologie e costi

In conclusione, nella *tabella 1* si mettono a comparazione i vari costi delle varie tecnologie per la produzione di ACS centralizzata. Il costo di esercizio per quel che riguarda il solare termico si è aumentato del 15 %, come detto in precedenza.

Generazione	$\eta$	costo installazione	costo esercizio
Caldaia condensazione	107	17.500 €	6281,0 €/y
Caldaia condensazione	98	17.500 €	6857,4 €/y
Pompa di Calore	2,35	54.000 €	4930,4 €/y
Pompa di Calore	2,5	54.000 €	4634,6 €/y
PdC + Desurriscaldatore	3,5	74.000 €	3310,4 €/y
Solare th + Caldaia	102	63.000 €	4329,3€/y
Solare th + PdC	2,8	99.500 €	2719,8 €/y

Tabella 1. Comparazione costi installazione ed esercizio dei vari sistemi di generazione di ACS

Con queste ipotesi, il solare termico accoppiato con una pompa di calore risulta avere un costo di esercizio davvero irrisorio, anche se presenta il costo di installazione più grande, vista l'esigenza di avere due tecnologie, entrambe molto costose.

Inoltre, si vede come avere una tecnologia a basso costo di installazione, come la caldaia a condensazione, presenti dei costi di esercizio molto alti, soprattutto se essa sia collegata in modo scorretto con l'accumulo.

Un buon compromesso tra spesa iniziale e costi di esercizio è l'utilizzo di pdc con desurriscaldatore oppure il solare termico con caldaia a condensazione.

C'è da dire che questi calcoli risultano approssimativi, poiché in uno schema di impianto realistico di una centrale termica vi è anche la presenza della rete di ricircolo, ovvero una rete che serve per tenere calda la rete. Questa fa sì che i costi di esercizio aumentino rispetto a quelli stimati fino ad ora.

## Capitolo 2.

### **Valutazione delle entità energetiche per la produzione sanitaria su tre situazioni dimensionali differenti: edificio di 20 unità abitative, edificio di 35 unità abitative, edificio di 50 unità abitative, designando un dimensionamento delle diverse soluzioni possibili di fornitura di energia**

Si intende ora descrivere tre situazioni condominiali che differiscono tra loro per numero di unità abitative (U.A.): nello specifico consideriamo un edificio con 20 U.A., uno con 35 U.A. e uno con 50 U.A.

Per ciascun condominio residenziale si vuole dimensionare la generazione di ACS con il rispettivo accumulo, utilizzando le principali tecnologie analizzate in precedenza.

#### **2.1 Descrizione della struttura abitativa**

Ogni struttura abitativa presa in considerazione è formata da 8 U. A. per piano. Quindi, il primo edificio ha 3 piani, di cui l'ultimo con 4 U. A.; il secondo ha 5 piani, di cui l'ultimo formato da 3 U. A.; il terzo ha 7 piani, di cui l'ultimo con 2 U. A.

Per l'attuazione dei calcoli sanitari, si considera un consumo giornaliero di acqua per ciascun alloggio di 260 l. Inoltre, per valutare la dimensione dell'accumulo di ACS si utilizza il modello Caleffi che presenta parametri per la maggior parte costanti per tutti i condomini: l'unico a cambiare è il fattore di contemporaneità  $F$ , che varia a seconda del numero di alloggi.

Le formule del modello Caleffi [8] sono le seguenti:

$$C = c * F * n \quad [l]$$

formula per il calcolo del fabbisogno di acqua calda nel periodo di punta, partendo dal consumo giornaliero per alloggio ( $c=260$  l/alloggio), dal fattore di contemporaneità ( $F$ ) e dal numero di alloggi ( $n$ ).

$$Q_h = \frac{C(T_u - T_f)}{t_{pr} + t_{pu}} \left[ \frac{kcal}{h} \right]$$

formula per stimare il calore orario richiesto, ovvero la potenza termica necessaria, a partire dal carico giornaliero dell'edificio, nell'intervallo di tempo che include il periodo di preriscaldamento e quello di punta.

$$V_B = \frac{Q_h t_{pr}}{T_a - T_f} [l]$$

formula per calcolare il volume teorico del serbatoio partendo dal calore orario richiesto nel periodo di preriscaldamento.

La tabella sottostante mostra i valori presi in considerazione per il calcolo del volume dell'accumulo per ogni residenza che si intende studiare.

Temperatura utilizzo	40	°C
Temperatura acqua fredda	13	°C
Temperatura accumulo	50	°C
t periodo punta	1,5	h
t periodo preriscaldamento	2	h

Tabella 2. Temperature in gioco dell'ACS

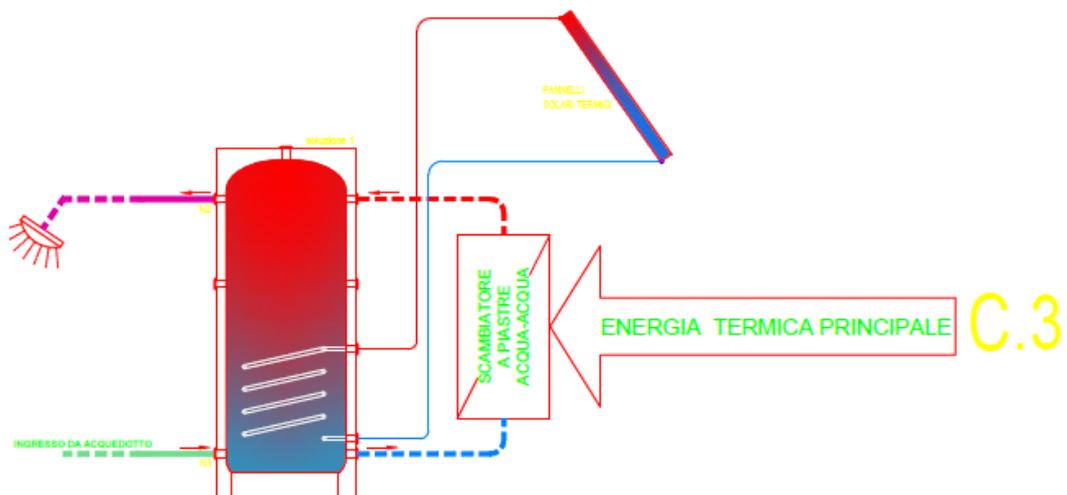
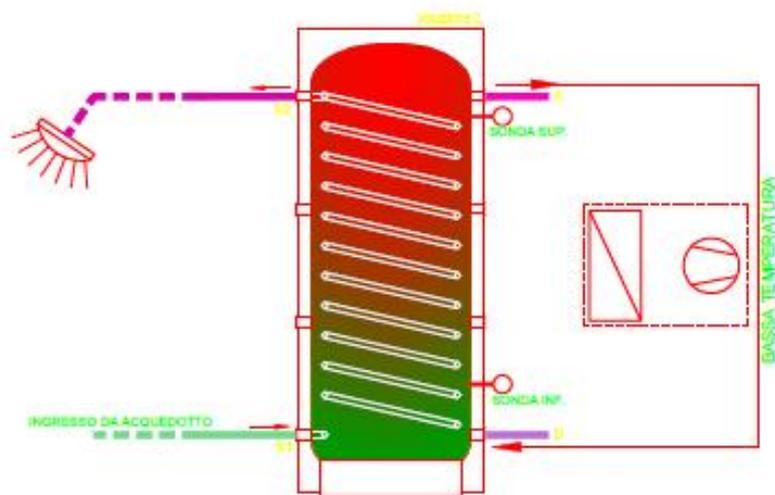
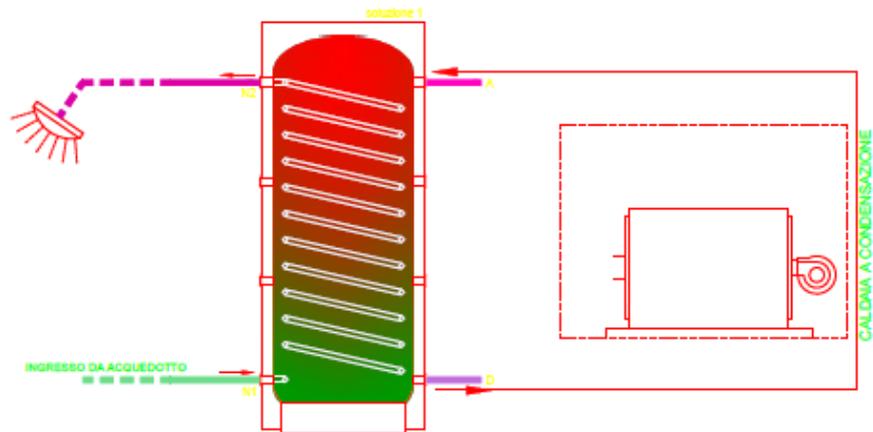
Per quanto riguarda il fattore F, i valori presi in considerazione per ciascun condominio sono i seguenti:

n alloggi	F
20	0,4
35	0,3
50	0,27

Tabella 3. Fattore di contemporaneità considerate per i tre condomini

Infine, si ricorda che gli allacciamenti tra la fonte di generazione e l'accumulo sono quelli che permettono di massimizzare il rendimento delle macchine, quindi sono: la figura 4

per la caldaia a condensazione, la *figura 7* per la pompa di calore e la *figura 11* per il solare termico e una seconda fonte. In ordine, vengono riproposte questi allacciamenti nello stesso ordine:



Si procede ora, a partire dai parametri illustrati, con il dimensionamento dei diversi sistemi: il bollitore, la caldaia a condensazione, la pompa di calore ed infine il solare termico.

## 2.2 Edificio con 20 Unità Abitative

Il primo edificio che si analizza presenta 20 unità abitative disposte, come sopra indicato, su 3 piani, di cui l'ultimo con 4 U. A.

### 2.2.1 Dimensionamento dell'accumulo termico per la caldaia e per il solare termico

L'accumulo presenta i seguenti valori:

$C=F*n*c$	2080	l
$Qn=C(Tu-Tf)/(tpp+tpr)$	16046	kcal/h
$Vb=Qn*tpr/(Ta-Tf)$	867	l

Tabella 4. Dimensionamento volume accumulo per 20 U.A.

Quindi si ha un accumulo da circa 0,9 m<sup>3</sup> di acqua per far fronte a una richiesta da parte di più utenze contemporaneamente.

La tipologia di dimensionamento appena descritta risulta molto generica; una procedura più mirata, invece, consiste nel classificare l'edificio e le abitudini dei condomini. Così facendo, si può scegliere di utilizzare un accumulo più piccolo, nel caso di un edificio abitato in modo continuativo; oppure uno più grande, se è abitato prevalentemente da lavoratori con orari di lavoro tra loro simili. Quest'ultima situazione aumenta la probabilità che il servizio sanitario venga utilizzato in contemporanea: in questo caso può essere utile predisporre un serbatoio più grande, così da non creare un disservizio. Si seleziona la Cordivari [9] come marca per gli accumuli, scegliendo un bollitore da catalogo. Nello specifico, si sceglie di usare il BOLLY 1 ST 800 L POLYWARM di 1.928 €.

## BOLLY® 1 ST

BOLLITORE POLYWARM® CON 1 SCAMBIATORE FISSO PER PRODUZIONE DI A.C.S.



### IMPIEGO

Produzione ed accumulo di acqua calda sanitaria (ACS).

### MATERIALI E FINITURE

Acciaio rivestito in Polywarm® (certificazioni ACS - SSICA - DVGW - W270) idoneo per acqua potabile ai sensi del D. M. n. 174 del 06.04.04

### SCAMBIATORE DI CALORE:

1 scambiatore di calore fisso in acciaio rivestito in Polywarm®

### COIBENTAZIONE

**RIGIDA:** poliuretano espanso ad elevato isolamento termico.

**MORBIDA SMONTABILE:** fibra di poliestere NOFIRE® riciclabile ad elevato isolamento termico e classe di resistenza al fuoco B-s2d0 (EN 13501). Rivestimento esterno in PVC.

### PROTEZIONE CATTODICA

Anodo di magnesio.

### SCARICO

Scarico attraverso manicotto sul fondo. Modelli > 500 tubazione di scarico già montata.

### CONTROFLANGIA - GUARNIZIONI

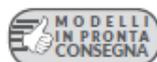
Guarnizioni in gomma siliconica alimentare (D.M. n.174 del 2004); resistenza in esercizio fino a 200 °C. Testata in acciaio al carbonio con trattamento Polywarm®.

### GARANZIA

5 anni (vedi condizioni generali di vendita)

### ACCESSORI E RICAMBI

Per l'elenco completo consultare la relativa sezione.



### BOLLY® 1 ST WB

Modello	Coibentazione RIGIDA		SUPERFICIE SCAMBIATORE [m <sup>2</sup> ]	CLASSE ENERGETICA ErP
	CODICE	Prezzo €		
150	3105162321101	699,00	0,6	B
200	3105162321102	739,00	0,8	B
300	3105162321103	877,00	1,2	B
400	3105162321104	1.123,00	1,5	C
500	3105162321105	1.216,00	1,8	C
800	3104162331106	1.928,00	2,7	B
1000	3104162331107	2.242,00	3,5	B
1500	3104162331108	4.035,00	3,8	C

Figura 14. Accumulo da 800 l Cordivari [9]

Il volume dell'accumulo risulta più piccolo di quello quantificato col modello Caleffi, poiché si sceglie la taglia disponibile più vicina a quella del calcolo; per tale motivo si preferisce il modello da 800 l rispetto a quello da 500 l, che limiterebbe la produzione di ACS.

### 2.2.2 Dimensionamento della caldaia a condensazione

Per quel che riguarda il dimensionamento della caldaia, si procede in tal senso: dato che l'esigenza principale è di far fronte velocemente a una chiamata da parte delle docce, si dimensiona la caldaia proprio a partire da questa urgenza. Infatti, la portata di una doccia è maggiore rispetto alle altre portate in gioco in un alloggio, quindi si opera similmente al bollitore: si usa un fattore di contemporaneità per stimare la massima portata in gioco che l'impianto può riscaldare in parallelo.

Docce in contemporanea	4	-
Portata	0,8	kg/s
$\Delta T$	35	°C
cp	4,186	kJ/(kg*s)
Potenza	117	kW

Tabella 5. Dimensionamento caldaia per 20 U.A.

Il modello proposto calcola la potenza della caldaia a partire dalla portata di ACS che deve circolare in rete. In particolare, si utilizza la formula seguente per il calcolo della potenza della caldaia:

$$P = \frac{\dot{m} * c_{p,acqua} * \Delta T}{1000} [kW]$$

dove il salto termico è quello lato sanitario, ovvero la differenza di temperatura tra uscita ed ingresso dell'acqua nel bollitore. Nello specifico, si presume una temperatura dell'acqua in uscita dal bollitore di 48° C; così facendo avremo una temperatura maggiore che andrà a sopperire alle perdite dovute alla dispersione durante la fase di distribuzione dell'acqua sanitaria.

LISTOCATALOGO

**RIELLO**

#### DATI TECNICI

Denominazione commerciale	Potenza kW			Rendimento			Classe energetica	Codice n.	Prezzo Euro
	utile 80°/60° max	utile 50°/30° max	Focolare min-max	utile Pn (80°/60°) %	utile Pn (50°/30°) %	utile 30% Pn (50°/30°) %			
CONDEXA PRO 35 P	34,4	38,0	9,0-34,9	98,4	108,7	109,5	A	20115221	3.649,00
CONDEXA PRO 50 P	44,2	48,8	9,0-45,0	98,3	108,6	109,2	A	20115222	3.772,00
CONDEXA PRO 57 P	55,7	61,9	14,0-57,0	98,3	108,6	109,2	A	20115223	4.961,00
CONDEXA PRO 70 P	67,0	73,9	14,0-68,0	97,9	108,1	108,8	A	20115224	5.464,00
CONDEXA PRO 90	88,3	97,4	19,4-90,0	98,0	108,3	108,9	-	20115225	5.433,00
CONDEXA PRO 100	95,3	105,1	19,4-97,0	97,9	108,2	108,8	-	20115226	5.597,00
CONDEXA PRO 115	109,8	121,1	22,4-112,0	98,3	108,6	108,8	-	20115228	5.771,00
CONDEXA PRO 135	129,0	142,1	26,2-131,0	97,9	108,3	108,9	-	20115229	6.530,00

Figura 15. Caldaie a condensazione Riello a metano [10]

Per la caldaia, si decide di utilizzare la marca Riello [10]: nel catalogo di questa industria si sceglie una caldaia a condensazione che opera a temperature conformi con le ipotesi

fatte. Nello specifico, si opta per la tipologia Condexa Pro 115, con una potenza nominale di 121,1 kW, con una buona condensazione. Il costo totale della caldaia 5.770 €.

### 2.2.3 Dimensionamento della pompa di calore

Per quel che concerne il dimensionamento della pompa di calore si utilizza il modello che propone la società di pompe di calore Rossato [11]. Il modello propone anche il calcolo del volume del serbatoio in accoppiamento con una pdc: per questo motivo solo per il dimensionamento della pdc si utilizza un bollitore con un volume diverso da quello utilizzato col modello Caleffi.

Le formule del modello Rossato sono le seguenti:

$$V_B = \frac{C * t_{pp} * (T_u - T_f)}{t_{pp} + t_{pr}} * \frac{t_{pre}}{(T_a + T_f)} [l]$$

La principale differenza tra il modello in esame e quello Caleffi si è nell'inserimento del tempo di punta tra i fattori della formula: questo aumenta il volume dell'accumulo.

$$P = \frac{C * t_{pp} * (T_u - T_f)}{t_{pp} + t_{pr}} * \frac{1}{1000} [kW]$$

Dato che la temperatura dell'accumulo è di 50° C, a causa della difficoltà di mantenere alta la temperatura nell'accumulo e anche di generare una temperatura maggiore con la pompa, si ottengono i valori:

$C=F*n*c$	2080	l
$V_b=C*t_{pp}*(T_u-T_f)/(t_{pr}+t_{pp})*t_{pr}/(T_a-T_f)$	1301	l
$P=C*t_{pp}*(T_u-T_f)/(t_{pp}+t_{pr})$	24	kW

Tabella 6. Dimensionamento pompa di calore per 20 U.A.

È possibile osservare come il volume del serbatoio è quasi raddoppiato.

Per quel che riguarda la potenza della pompa, risulta efficace averne una da 24 kW così che l'ACS in uscita dal serbatoio abbia una temperatura vicina ai 50° C e si possa sopperire alle perdite di distribuzione.

## Dati Tecnici

## Technical Data

AURA	Mod	106		109		112		115		118		124	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<b>FUNZIONAMENTO: INVERNALE - A7/W55 Aria/Radiatori / OPERATION: WINTER - A7/W55 Air/Radiators</b>													
Pot.Termica / Thermal Power Plant	kW	1,28	5,38	1,98	7,68	3,10	11,72	4,08	14,18	4,43	16,49	5,44	20,66
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m <sup>3</sup> /h	0,22	0,93	0,34	1,32	0,53	2,02	0,70	2,44	0,76	2,84	0,94	3,55
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,58	2,04	0,88	2,87	1,24	4,41	1,59	5,16	2,03	6,23	3,04	7,74
COP		2,64		2,68		2,66		2,75		2,65		2,67	

Figura 16. Pompa di calore GSI Aura [12]

Si sceglie la ditta GSI [12] per le pompe di calore; dal loro catalogo, si sceglie la pompa Aura, che presenta al suo interno un inverter che massimizza il rendimento della macchina in base alla temperatura esterna. In particolare, si sceglie il modello 124 che, però, presenta una potenza nominale di 20,7 kW, minore rispetto a quella calcolata col modello. Ciò non costituisce un problema; impiegherà maggior tempo per scaldare tutto l'accumulo. Il costo di tale pompa risulta di 8.500 €.

Quest'ultimo sarà maggiore rispetto al precedente; nello specifico si sceglie il modello da 1500 l della Cordivari. Il costo è di 3.100 €.

### 2.2.4 Dimensionamento del solare termico

Per il dimensionamento del solare termico si utilizza il software della ditta Paradigma [13]. Tale dispositivo permette il calcolo del fabbisogno annuale di ACS, inserendo al suo interno le caratteristiche dell'edificio, e dell'energia prodotta, immettendo la superficie totale dei pannelli solari.

Per il dimensionamento di questa tecnologia, si segue questa ipotesi di progettazione: si dimensiona il solare termico in modo che sappia rispondere a circa il 50% della richiesta di energia per l'ACS e la restante parte della quota di energia viene sopperita con una seconda tecnologia, come la caldaia o la pompa di calore.

Vengono ora riportati le maschere del software con i dati inseriti e ipotizzati al fine di dimensionare il sistema di generazione di calore.

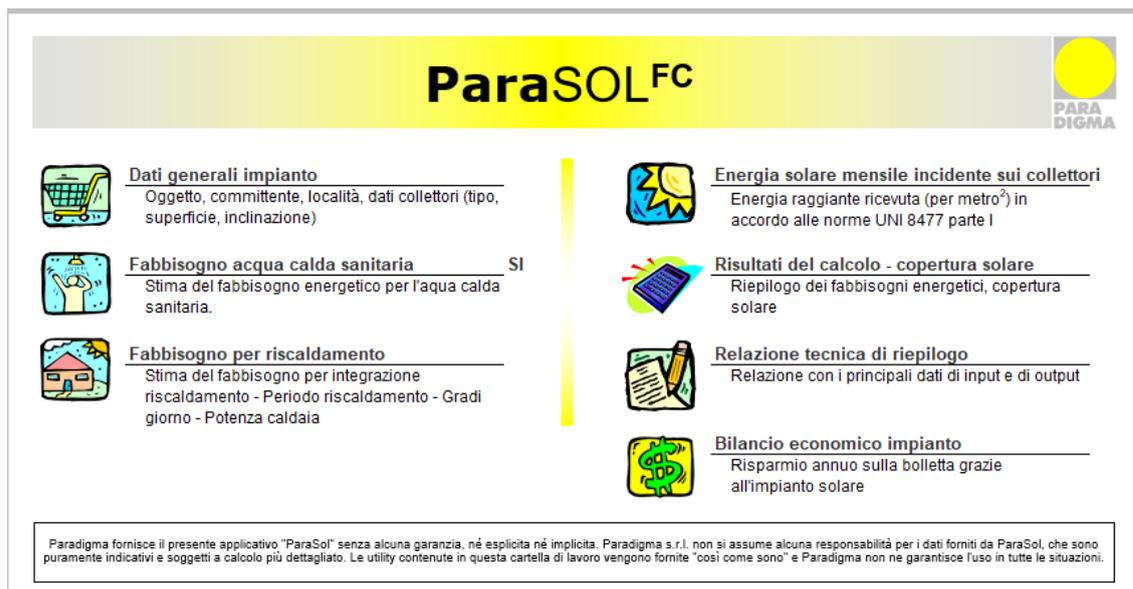


Figura 17. Schermata 1 del programma Parasol per 20 U.A.

Dato che il dimensionamento dei pannelli solari è solo per la generazione di acqua calda sanitaria, viene omesso il calcolo per il riscaldamento. Inoltre, non vengono approfondite le schede riguardanti la relazione tecnica di riepilogo e del bilancio economico dell'impianto, in quanto non forniscono dati utili ai fini della tesi.

All'interno del software i primi dati che si inseriscono sono le caratteristiche generali dell'impianto.

<b>ParaSol</b>		<b>Dati generali impianto</b>			
<input type="button" value="OK"/>					
<b>Dati impianto</b>					
<u>Committente</u>	Condominio 20 U.A.	<u>Provincia:</u>	Torino	Lat. = 45°	<input type="button" value="SCEGLI"/>
<u>Riferimento:</u>	<input type="text"/>				
<b>Caratteristiche del COLLETTORI</b>					
<u>Tipo:</u>	AQUA PLASMA	<input type="button" value="SCEGLI"/>	<u>Sup.apertura:</u>	36,0 m <sup>2</sup>	<input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/>
<u>Inclinazione:</u>	55 ° sull'orizzontale	<input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="?"/>	<u>Azimut:</u>	10 ° orientamento da sud <input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/>
<b>Impianto solare</b>					
<u>Accumulo solare:</u>	1.494 litri	<input type="button" value="SCEGLI"/>	<u>Tecnologia Aqua:</u>	SI	<input checked="" type="checkbox"/>
	AquaSun 1500		<u>Solare come preriscaldamento:</u>	SI	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 18. Schermata 2 del programma Parasol per 20 U.A.

I primi principali dati richiesti sono: la tipologia del pannello che si desidera installare, la superficie utilizzabile, l'angolazione dei pannelli e il volume dell'accumulo.

- Il pannello della ditta Paradigma scelto è l'Acqua Plasma in quanto è il più performante tra i possibili pannelli della società.
- La superficie considerata è di 36 m<sup>2</sup>: viene utilizzata questa misura in quanto, selezionata a seguito di simulazioni, è il valore che permette un buon compromesso tra la richiesta di ACS e di costo.
- L'inclinazione dei pannelli è di 55° per massimizzare la loro resa anche in inverno, evitando così un dimensionamento che favorisca le stagioni calde, dove il consumo di ACS è ridotto e l'irraggiamento è superiore di intensità e di tempo.
- L'azimut considerato è di 10° poiché è quello consigliato dal programma e che aumenta la resa dell'impianto.
- Il volume dell'accumulo è quello calcolato per il collegamento con la pdc ed è di circa 1.500 l; questo perché si preferisce avere un serbatoio con capacità maggiore rispetto al necessario per evitare un aumento di temperatura dell'acqua nel pannello. Come accumulo viene preso in considerazione un

serbatoio della marca Paradigma solo per poter usare tale software per il dimensionamento dei pannelli.

**ParaSol**  
Fabbisogno energia utile per ACS secondo UNI/TS 11300-2

OK  Conferma

Consumi: **abitazione S > 200 m2** SCEGLI

**50,00** litri/G m2

**100** m2/alloggio (20 alloggi)

**5.000** litri / giorno (V<sub>u</sub>)

**161** kWh/giorno (inverno)

Temperature: utilizzo: **40 °C** Valore UNI: 40°C

ingresso: **10 °C** Valore UNI non modificabile

Profilo utilizzo: annuale **condominio** SCEGLI

Ricircolo:  SCEGLI

**Periodo d'utilizzo**

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	sett	ott	nov	dic
100 %	100 %	90 %	90 %	80 %	80 %	75 %	80 %	80 %	90 %	90 %	100 %
4.980 kWh	4.498 kWh	4.482 kWh	4.338 kWh	3.984 kWh	3.856 kWh	3.735 kWh	3.984 kWh	3.856 kWh	4.482 kWh	4.338 kWh	4.980 kWh

Fabbisogno utile per ACS                    **Q<sub>1,...</sub>**:                    **51.515 kWh /anno**

Fabbisogno per distribuzione            **Q<sub>1,...</sub>**:                    **4.121 kWh /anno**

Fabbisogno erogazione                    **Q<sub>1,...</sub>**:                    **0 kWh /anno**

Fabbisogno stoccaggio                    **Q<sub>1,...</sub>**:                    **1.090 kWh /anno**

**Totale fabbisogno sanitario**            **Q<sub>1,...</sub>**:                    **56.726 kWh /anno**

Figura 19. Schermata 3 del programma Parasol per 20 U.A.

Quindi si procede inserendo le caratteristiche dell'edificio, così da stimare l'energia richiesta annuale dello stesso. Si introducono le caratteristiche dell'edificio: il numero di alloggi, la loro superficie, stimata di 80 m<sup>2</sup> per alloggio, e la temperatura di utilizzo e di prelievo dell'acqua. Inoltre, non si inserisce il ricircolo, ovvero che noi dimensioniamo l'impianto in modo che faccia fronte soltanto alla componente di energia per l'acqua sanitaria.

Il software provvede al calcolo annuale dell'energia richiesta dai condomini, che risulta di 56.726 kWh/y, sofferendo anche alle perdite di distribuzione.

Inoltre, si suppone un quantitativo in litri di ACS, diverso per ogni mese. Si nota come nelle stagioni più calde è minore l'utilizzo di acqua calda perché generalmente si tende a fare le docce con acqua meno calda e quindi si riducono i litri richiesti.

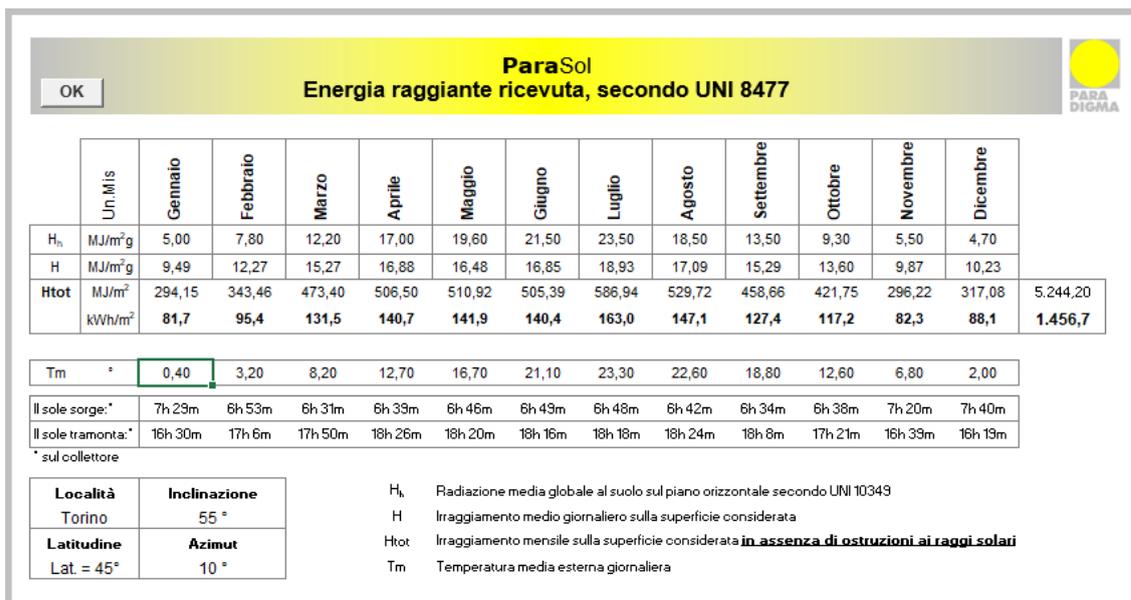


Figura 20. Schermata 4 del programma Parasol per 20 U.A.

La maschera “Energia raggiante ricevuta” mostra l’energia che i pannelli ricevono per ogni mese a seconda dell’inclinazione e dell’azimut. I dati proposti sono dei modelli e si basano sull’ipotesi che i pannelli non siano ostruiti da ostacoli; tale ipotesi necessita di essere verificata.

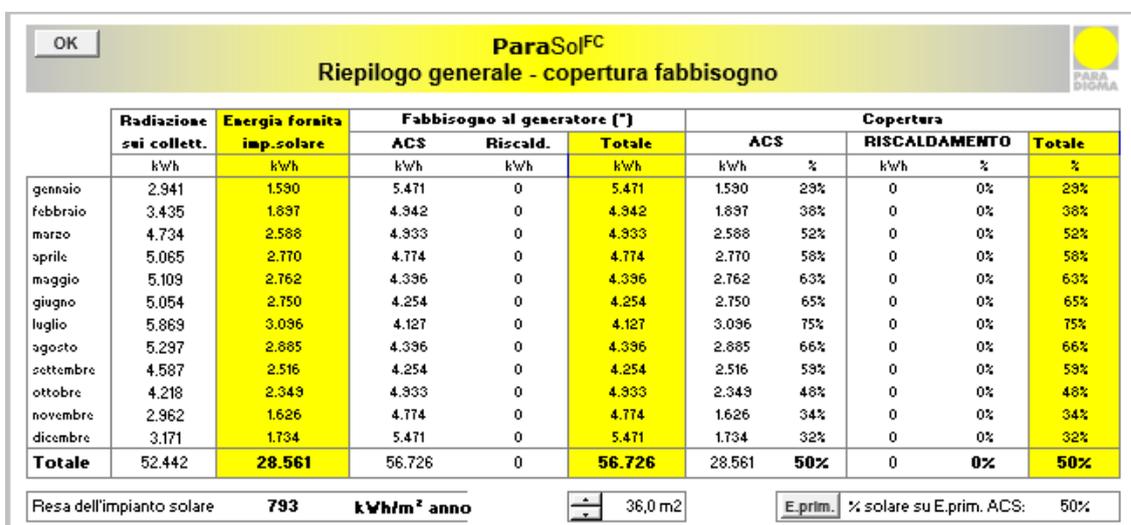


Figura 21. Schermata 5 del programma Parasol per 20 U.A.

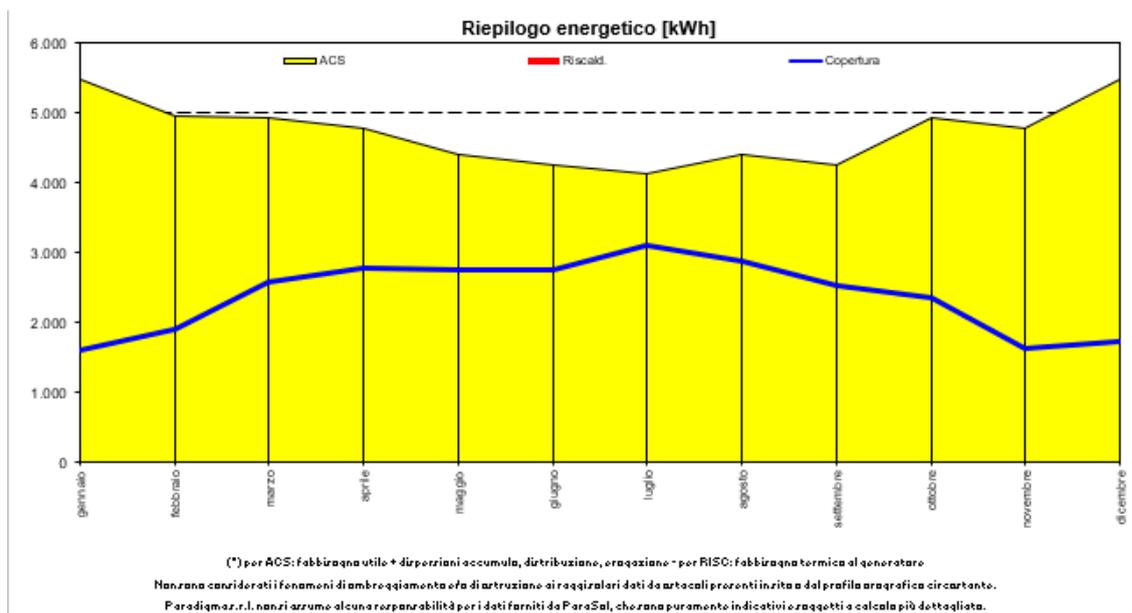


Figura 22. Schermata 6 del programma Parasol per 20 U.A.

La schermata del riepilogo generale è fondamentale perché mette in relazione la figura 18, la figura 19 e la figura 20: il fabbisogno dell'edificio e l'energia sfruttabile dai pannelli solari. Grazie ai dati inseriti e alle scelte fatte, si può osservare che il fabbisogno è quasi coperto al 56% %, vicino a 50. Si nota come nei mesi estivi il solare riesca a soddisfare poco meno del 50% della richiesta di energia, invece nei mesi estivi, con 24 m<sup>2</sup>, i pannelli soddisfano quasi la totalità della richiesta.

La figura soprastante mostra la percentuale di ACS che è possibile produrre con il solare termico rispetto alla totale ipotizzata; nel caso non si riesca a fornire il 100% dell'ACS, la si produce con una seconda fonte di calore.

Infine, si evidenzia come la scelta dell'inclinazione sia vincente, a parità delle altre condizioni: essa risponde meglio alla domanda rispetto ad un'inclinazione di 15°, figura 23, o di 0°, figura 24. Infatti, si nota che nei mesi estivi la richiesta è quasi soddisfatta, e questo è dovuto al fatto che il sole è più alto e quindi l'angolazione favorisce questi mesi, mentre in inverno, dove c'è una maggiore richiesta, l'energia che si riesce a fornire è minore. Dunque, si predilige un'angolazione di 55° così da favorire l'energia che si può fornire nei mesi più freddi.

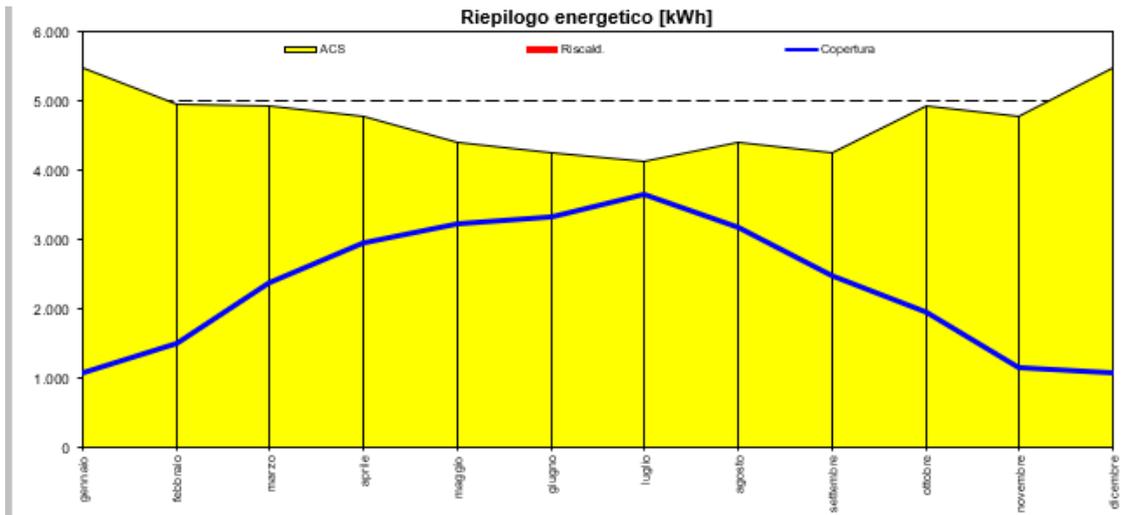


Figura 23. Fabbisogno e produzione ACS con pannello inclinato di 15°

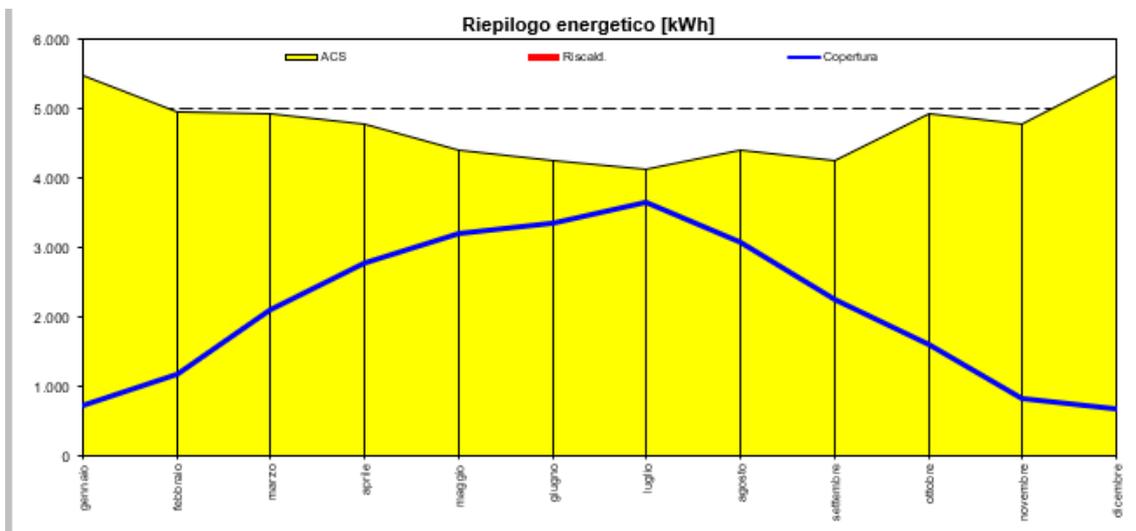


Figura 24. Fabbisogno e produzione ACS con pannello inclinato di 0°

Per quanto riguarda i costi di installazione, si sceglie di usare un pannello della ditta Atag [29], molto simile a quello utilizzato nel software di Paradigma.

Il pannello scelto ha una superficie assorbente di 3,2 m<sup>2</sup> ha un costo unitario di 2.140 €/pannello; dato che si ha bisogno di 36 m<sup>2</sup>:

$$N_{pannelli} = \frac{A}{S_{assorbente}} = \frac{36}{3,2} = 11,25 \text{ cioè } 11$$

$$\begin{aligned} \text{Costo} &= N_{pannelli} * \text{costo}_{unitario} * (1 - \text{sconto}) = 11 * 2140 * (1 - 13\%) \\ &= 20.480 \text{ €} \end{aligned}$$

Viene inserito un fattore di sconto nella formula. In aggiunta a questo costo si hanno i costi relativi alla seconda fonte di calore, e a tutte le spese relativi all'acquisto delle tubazioni, dell'accumulo e di altri sistemi ausiliari che permettono il funzionamento dell'impianto.

### 2.2.5 Comparazione delle soluzioni per le 20 U.A.

In conclusione, per la produzione di ACS centralizzata per un edificio da 20 unità abitative, si hanno i seguenti costi:

Tipologia	Potenza generazione	Costo generazione	Volume accumulo	Costo accumulo	Costo Totale
Caldaia + Accumulo	117 kW	5.770 €	800 l	1.928 €	7.698 €
PdC + Accumulo	24 kW	8.500 €	1500 l	3.100 €	11.600 €
Solare Termico + Accumulo	36 m <sup>2</sup> + Caldaia	26.250 €	1500 l	4.332 €	30.582 €
	36 m <sup>2</sup> + PdC	28.980 €	1500 l	4.332 €	33.312 €

Tabella 7. Comparazione dimensionamento e costi per 20 U.A.

Si nota come il costo della tecnologia del solare termico sia molto onerosa in entrambi i casi, cioè sia con seconda generazione una caldaia o una pompa di calore; segue la pompa di calore e quindi la caldaia a condensazione. I motivi risiedono nella difficoltà della tecnologia e nella difficoltà di poter far fronte più o meno velocemente alla richiesta di calore. Lo si vedrà maggiormente negli edifici che si analizzano in seguito.

I vantaggi dello spendere maggiormente per una tecnologia si vedono nei costi di esercizio di essa, esaminati nel capitolo seguente.

### 2.3 Edificio con 35 Unità Abitative

Si procede ora con lo studio per un edificio da 35 U.A.; similmente al caso precedente, si procede con il dimensionamento con lo stesso ordine.

### 2.3.1 Dimensionamento dell'accumulo termico per la caldaia e per il solare termico

Seguendo il modello Caleffi, si ricavano i seguenti dati:

$C=F*n*c$	2730	l
$Q_n=C(T_u-T_f)/(t_{pp}+t_{pr})$	23400	kcal/h
$V_b=Q_n*t_{pr}/(T_a-T_f)$	1170	l

Tabella 8. Dimensionamento volume accumulo 35 U.A.

Si vede come il volume del bollitore risulti maggiore del precedente dato che il numero delle unità abitative è maggiore.

## BOLLY® 1 ST

BOLLITORE POLYWARM® CON 1 SCAMBIATORE FISSO PER PRODUZIONE DI A.C.S.



#### IMPIEGO

Produzione ed accumulo di acqua calda sanitaria (ACS).

#### MATERIALI E FINITURE

Acciaio rivestito in Polywarm® (certificazioni ACS - SSICA - DVGW - W270) idoneo per acqua potabile ai sensi del D. M. n. 174 del 06.04.04

#### SCAMBIATORE DI CALORE:

1 scambiatore di calore fisso in acciaio rivestito in Polywarm®

#### COIBENTAZIONE

**RIGIDA:** poliuretano espanso ad elevato isolamento termico.

**MORBIDA SMONTABILE:** fibra di poliestere NOFIRE® riciclabile ad elevato isolamento termico e classe di resistenza al fuoco B-s2d0 (EN 13501). Rivestimento esterno in PVC.

#### PROTEZIONE CATODICA

Anodo di magnesio.

#### SCARICO

Scarico attraverso manicotto sul fondo. Modelli > 500 tubazione di scarico già montata.

#### CONTROFLANGIA - GUARNIZIONI

Guarnizioni in gomma siliconica alimentare (D.M. n.174 del 2004); resistenza in esercizio fino a 200 °C. Testata in acciaio al carbonio con trattamento Polywarm®.

#### GARANZIA

5 anni (vedi condizioni generali di vendita)

#### ACCESSORI E RICAMBI

Per l'elenco completo consultare la relativa sezione.



### BOLLY® 1 ST WB

Modello	Coibentazione RIGIDA		SUPERFICIE SCAMBIATORE [m²]	CLASSE ENERGETICA ErP
	CODICE	Prezzo €		
150	3105162321101	699,00	0,6	B
200	3105162321102	739,00	0,8	B
300	3105162321103	877,00	1,2	B
400	3105162321104	1.123,00	1,5	C
500	3105162321105	1.216,00	1,8	C
800	3104162331106	1.928,00	2,7	B
1000	3104162331107	2.242,00	3,5	B
1500	3104162331108	4.035,00	3,8	C

Figura 25. Accumulo dal 1000 l Cordivari [9]

Dal catalogo Cordivari, si sceglie l'accumulo BOLLY 1 ST con disponibilità di 1000 l da 2.242 €.

Il fatto di avere un volume inferiore a quello calcolato col modello porta a un vantaggio e uno svantaggio:

- il vantaggio è quello di poter riscaldare più rapidamente il volume di acqua a parità di potenza installata del generatore;
- lo svantaggio è che non sarà possibile far fronte alla stessa portata in contemporanea, come calcolata col modello.

### 2.3.2 Dimensionamento della caldaia a condensazione

Per il dimensionamento della caldaia si segue la stessa procedura evidenziata per le 20 U.A.

docce insieme	7	-
portata	1,4	kg/s
$\Delta T$	35	$^{\circ}C$
cp	4,186	kJ/(kg*s)
potenza	205	kW

Tabella 9. Dimensionamento caldaia per 35 U.A.

Dai calcoli, serve una potenza di circa 360 kW.

Dato che il volume dell'accumulo è leggermente inferiore, è possibile scegliere anche una potenza inferiore, ad esempio di 320 kW, così da ridurre anche i costi.

LISTOCATALOGO

**RIELLO**

#### DATI TECNICI

Denominazione commerciale	Potenza kW			Rendimento			Classe energetica	Codice n.	Prezzo Euro
	utile 80°/60° max	utile 50°/30° max	Focolare min-max	utile Pn (80°/60°) %	utile Pn (50°/30°) %	utile 30% Pn (50°/30°) %			
CONDEXA PRO 35 P	34,4	38,0	9,0-34,9	98,4	108,7	109,5	A	20115221	3,649,00
CONDEXA PRO 50 P	44,2	48,8	9,0-45,0	98,3	108,6	109,2	A	20115222	3,772,00
CONDEXA PRO 57 P	55,7	61,9	14,0-57,0	98,3	108,6	109,2	A	20115223	4,961,00
CONDEXA PRO 70 P	67,0	73,9	14,0-68,0	97,9	108,1	108,8	A	20115224	5,464,00
CONDEXA PRO 90	88,3	97,4	19,4-90,0	98,0	108,3	108,9	-	20115225	5,433,00
CONDEXA PRO 100	95,3	105,1	19,4-97,0	97,9	108,2	108,8	-	20115226	5,597,00
CONDEXA PRO 115	109,8	121,1	22,4-112,0	98,3	108,6	108,8	-	20115228	5,771,00
CONDEXA PRO 135	129,0	142,1	26,2-131,0	97,9	108,3	108,9	-	20115229	6,530,00

Figura 26. Caldaie a condensazione Riello [10]

Scegliendo sempre di utilizzare la Riello come marca di caldaia, si scelgono 2 caldaie: una da 142 kW e una da 61,9 kW; nello specifico la CONDEXA PRO 135 e la CONDEXA PRO 57 P. Le caldaie saranno disposte in cascata così da ottenere 203 kW. Il costo delle caldaie si aggira intorno ai 10.730 €.

### 2.3.3 Dimensionamento della pompa di calore

La potenza della pompa di calore e il volume dell'accumulo ad esso associato sono:

$V_b = C * t_{pp} * (T_u - T_f) / (t_{pr} + t_{pp}) * t_{pr} / (T_a - T_f)$	1755	l
$P = C * t_{pp} * (T_u - T_f) / (t_p + t_{pr})$	35	kW

Tabella 10. Dimensionamento della pompa di calore per 35 U.A.

Come per la caldaia, i risultati sono maggiori rispetto al caso di 20 U.A.

AURA		[Versione INVERTER]													
		Mod		106		109		112		115		118			
Dati Tecnici		Technical Data													
AURA		Mod		106		109		112		115		118		124	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
FUNZIONAMENTO: INVERNALE - A7/W55 Aria/Radiatori / OPERATION: WINTER - A7/W55 Air/Radiators															
Pot. Termica / Thermal Power Plant	kW	1,28	5,38	1,98	7,68	3,10	11,72	4,08	14,18	4,43	16,49	5,44	20,66		
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m <sup>3</sup> /h	0,22	0,93	0,34	1,32	0,53	2,02	0,70	2,44	0,76	2,84	0,94	3,55		
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,58	2,04	0,88	2,87	1,24	4,41	1,59	5,16	2,03	6,23	3,04	7,74		
COP		2,64		2,68		2,66		2,75		2,65		2,67			

Figura 27. Pompa di calore Aura della GSI [12]

Dal catalogo GSI, si sceglie di mettere in parallelo due pompe Aura 124, così facendo si avranno 41,4 kW di potenza, poco superiore a quanto calcolato. Il costo è di 17.000 €.

Si sceglie di disporre in parallelo due accumuli, così da non avere un volume maggiore da gestire; in particolare si prende il bollitore da 1000 l e uno da 800 l, entrambi della ditta Cordivari. Il costo è di 4.170 €.

### 2.3.4 Dimensionamento del solare termico

Seguono ora le maschere del software Paradigma per il dimensionamento del solare termico.

<b>ParaSol</b>		<b>Dati generali impianto</b>			
<b>Dati impianto</b>					
<u>Committente:</u>	Condominio da 35 U.A.	<u>Provincia:</u>	Torino	Lat. = 45°	<input type="button" value="SCEGLI"/>
<u>Riferimento:</u>	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
<b>Caratteristiche del COLLETTORI</b>					
<u>Tipo:</u>	AQUA PLASMA	<input type="button" value="SCEGLI"/>	<u>Sup.apertura:</u>	63,0 m <sup>2</sup>	<input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/>
<u>Inclinazione:</u>	55 ° sull'orizzontale	<input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/> ?	<u>Azimut:</u>	10 ° orientamento da sud	<input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/> ?
<b>Impianto solare</b>					
<u>Accumulo solare:</u>	1.494 litri	<input type="button" value="SCEGLI"/>	<u>Tecnologia Aqua:</u>	SI	<input checked="" type="checkbox"/>
	AquaSun 1500		<u>Solare come preriscaldamento:</u>	SI	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 28. Schermata 1 del programma Parasol per 35 U.A.

Le considerazioni sulla tipologia di pannello solare scelto, sull'angolazione e sul serbatoio sono le stesse fatte per il caso precedente. La superficie irraggiata è di 63 m<sup>2</sup>, perché sopperisce a circa il 50% della richiesta di energia del condominio.

**ParaSol**  
Fabbisogno energia utile per ACS secondo UNI/TS 11300-2

**Consumi:** **abitazione S > 200 m2** SCEGLI

**109,38** litri/G m2

**80** m2/alloggio (35 alloggi)

**8.750** litri / giorno (V<sub>u</sub>)

**281** kWh/giorno (inverno)

**Temperature:** utilizzo: **40 °C** Valore UNI: 40°C

ingresso: **13 °C** Valore UNI non modificabile

**Profilo utilizzo:** annuale **personalizzato** SCEGLI

**Riscaldamento:**  SCEGLI

**Periodo d'utilizzo**

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	sett	ott	nov	dic
100 %	100 %	90 %	90 %	80 %	75 %	70 %	70 %	75 %	90 %	90 %	100 %
8.716 kWh	7.872 kWh	7.844 kWh	7.591 kWh	6.973 kWh	6.326 kWh	6.101 kWh	6.101 kWh	6.326 kWh	7.844 kWh	7.591 kWh	8.716 kWh

Fabbisogno utile per ACS      **Q<sub>u,util</sub>: 88.000 kWh /anno**

Fabbisogno per distribuzione      **Q<sub>u,dist</sub>: 7.395 kWh /anno**

Fabbisogno erogazione      **Q<sub>u,erog</sub>: 0 kWh /anno**

Fabbisogno stoccaggio      **Q<sub>u,sto</sub>: 1.090 kWh /anno**

**Totale fabbisogno sanitario      Q<sub>u,tot</sub>: 96.485 kWh /anno**

Figura 29. Schermata 2 del programma Parasol per 35 U.A.

Le ipotesi sulle dimensioni degli alloggi sono le stesse per l'edificio da 20 U.A. I litri al giorno, e quindi il fabbisogno annuale, sono 8750 l/giorno e 96.485 kWh/anno, quasi il doppio del caso scorso.

**ParaSol**  
Energia raggiante ricevuta, secondo UNI 8477

Un.Mis	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	
H <sub>g</sub> MJ/m <sup>2</sup> g	5,00	7,80	12,20	17,00	19,60	21,50	23,50	18,50	13,50	9,30	5,50	4,70	
H MJ/m <sup>2</sup> g	9,49	12,27	15,27	16,88	16,48	16,85	18,93	17,09	15,29	13,60	9,87	10,23	
H <sub>tot</sub> MJ/m <sup>2</sup>	294,15	343,46	473,40	506,50	510,92	505,39	586,94	529,72	458,66	421,75	296,22	317,08	5.244,20
kWh/m <sup>2</sup>	<b>81,7</b>	<b>95,4</b>	<b>131,5</b>	<b>140,7</b>	<b>141,9</b>	<b>140,4</b>	<b>163,0</b>	<b>147,1</b>	<b>127,4</b>	<b>117,2</b>	<b>82,3</b>	<b>88,1</b>	<b>1.456,7</b>
T <sub>m</sub> °	<b>0,40</b>	3,20	8,20	12,70	16,70	21,10	23,30	22,60	18,80	12,60	6,80	2,00	
Il sole sorge:*	7h 23m	6h 53m	6h 31m	6h 39m	6h 46m	6h 49m	6h 48m	6h 42m	6h 34m	6h 38m	7h 20m	7h 40m	
Il sole tramonta:*	16h 30m	17h 6m	17h 50m	18h 26m	18h 20m	18h 16m	18h 18m	18h 24m	18h 8m	17h 21m	16h 39m	16h 19m	
* sul collettore													

<b>Località</b>	<b>Inclinazione</b>
Torino	55 °
<b>Latitudine</b>	<b>Azimet</b>
Lat. = 45°	10 °

H<sub>g</sub> Radiazione media globale al suolo sul piano orizzontale secondo UNI 10349

H Irraggiamento medio giornaliero sulla superficie considerata

H<sub>tot</sub> Irraggiamento mensile sulla superficie considerata **in assenza di ostruzioni ai raggi solari**

T<sub>m</sub> Temperatura media esterna giornaliera

Figura 30. Schermata 3 del programma Parasol per 35 U.A.

I dati dell'energia ricevuta su ogni pannello sono gli stessi per il dimensionamento di 20 U.A.; questo perché dipende dall'inclinazione e dell'azimut. Cambierà l'energia totale utilizzabile perché varia la superficie totale dei pannelli.

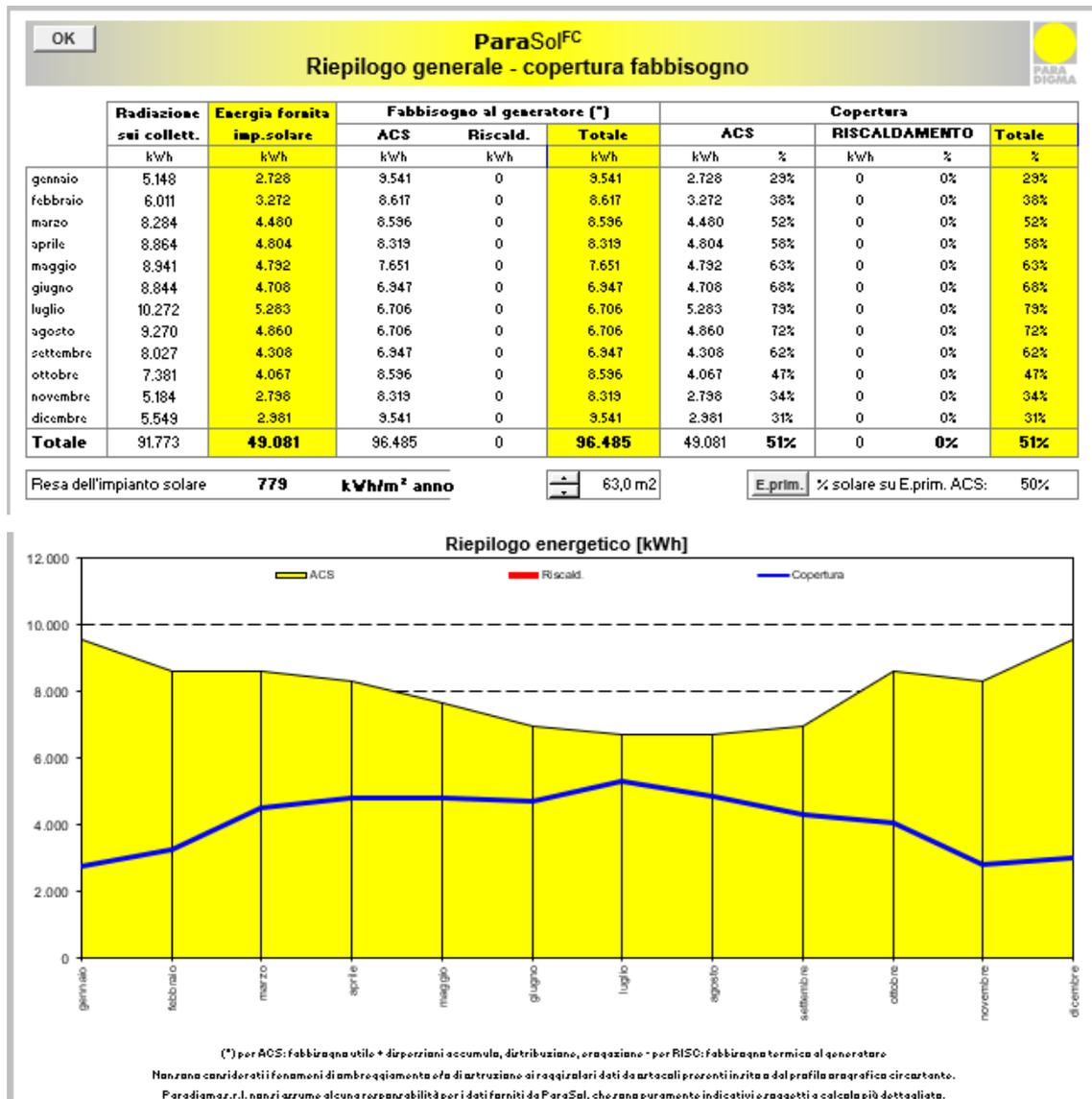


Figura 31. Schermata 4 del programma Parasol per 35 U.A.

Con i dati inseriti, si riesce a sopperire per il 50% alla richiesta del condominio. I mesi che necessitano maggiormente di una seconda fonte di generazione sono i mesi freddi; inoltre si noti come anche per i mesi più caldi incomincia a servire maggiormente anche la seconda fonte energetica, cosa che per il caso precedente ciò non avveniva.

Con il pannello Acqua Plasma, servono i seguenti pannelli che avranno il seguente costo:

$$N_{pannelli} = \frac{A}{S_{assorbente}} = \frac{63}{3,2} = 19.7 \text{ cioè } 20$$

$$Costo = N_{pannelli} * costo_{unitario} * (1 - sconto) = 20 * 2140 * 0,83 = 35.524 \text{ €}$$

### 2.3.5 Comparazione delle soluzioni per le 35 U.A.

Tipologia	Potenza generazione	Costo generazione	Volume accumulo	Costo accumulo	Costo Totale
Caldaia + Accumulo	205 kW	10.730 €	1000 l	2.242 €	12.972 €
PdC + Accumulo	38 kW	17.000 €	1800 l	4.170 €	21.170 €
Solare Termico + Accumulo	63 m <sup>2</sup> + Caldaia	46.254 €	1800 l	5.300 €	51.554 €
	63 m <sup>2</sup> + PdC	52.524 €	1800 l	5.300 €	57.824 €

Tabella 11. Comparazione dimensionamento e costi di installazione per 35 U.A.

Come per il caso da 20 U.A., i costi più onerosi riguardano la scelta del solare termico poiché prevede installazione di due tecnologie. Invece, si noti come i costi della caldaia aumentano ma inferiormente rispetto alle altre due opzioni. Notare anche che il solare termico supera il doppio del costo della pompa di calore poiché necessita che la seconda generazione sia in grado da sola a coprire il fabbisogno. Quindi, è per questo motivo che l'ultima soluzione è la più onerosa, perché, appunto, ha bisogno di due pompe di calore in parallelo.

## 2.4 Edificio con 50 Unità Abitative

Infine, si dimensiona il caso di un edificio di 50 alloggi.

### 2.4.1 Dimensionamento dell'accumulo termico per la caldaia e per il solare termico

Col modello Caleffi si ottengono i seguenti valori:

$C=F*n*c$	3510	l
$Qn=C(Tu-Tf)/(tpp+tpr)$	30086	kcal/h
$Vb=Qn*tpr/(Ta-Tf)$	1504	l

Tabella 12. Dimensionamento volume accumulo per 50 U.A.

Il volume dell'accumulo è di circa 1500 l; si nota come è di poco superiore rispetto al caso di 35 U.A. questo perché crescendo il numero di alloggi, diminuisce il fattore di contemporaneità e ciò limita la crescita del volume del serbatoio.

## BOLLY® 1 ST

BOLLITORE POLYWARM® CON 1 SCAMBIATORE FISSO PER PRODUZIONE DI A.C.S.



### IMPIEGO

Produzione ed accumulo di acqua calda sanitaria (ACS).

### MATERIALI E FINITURE

Acciaio rivestito in Polywarm® (certificazioni ACS - SSICA - DVGW - W270) idoneo per acqua potabile ai sensi del D. M. n. 174 del 06.04.04

### SCAMBIATORE DI CALORE:

1 scambiatore di calore fisso in acciaio rivestito in Polywarm®

### COIBENTAZIONE

**RIGIDA:** poliuretano espanso ad elevato isolamento termico.

**MORBIDA SMONTABILE:** fibra di poliestere NOFIRE® riciclabile ad elevato isolamento termico e classe di resistenza al fuoco B-s2d0 (EN 13501). Rivestimento esterno in PVC.

### PROTEZIONE CATODICA

Anodo di magnesio.

### SCARICO

Scarico attraverso manicotto sul fondo. Modelli > 500 tubazione di scarico già montata.

### CONTROFLANGIA - GUARNIZIONI

Guarnizioni in gomma silconica alimentare (D.M. n.174 del 2004); resistenza in esercizio fino a 200 °C. Testata in acciaio al carbonio con trattamento Polywarm®.

### GARANZIA

5 anni (vedi condizioni generali di vendita)

### ACCESSORI E RICAMBI

Per l'elenco completo consultare la relativa sezione.



## BOLLY® 1 ST WB

Modello	Coibentazione RIGIDA		SUPERFICIE SCAMBIATORE [m²]	CLASSE ENERGETICA ErP
	CODICE	Prezzo €		
150	3105162321101	699,00	0,6	B
200	3105162321102	739,00	0,8	B
300	3105162321103	877,00	1,2	B
400	3105162321104	1.123,00	1,5	C
500	3105162321105	1.216,00	1,8	C
800	3104162331106	1.928,00	2,7	B
1000	3104162331107	2.242,00	3,5	B
1500	3104162331108	4.035,00	3,8	C

Figura 32. Accumulo termico da 1500 l della Cordivari [9]

Si sceglie il modello BOLLY 1 ST da 1500 l che costa 4.035 €, cioè proprio quello calcolato col modello.

### 2.4.2 Dimensionamento della caldaia a condensazione

La potenza della caldaia sarà di:

docce insieme	10	-
portata	2,0	kg/s
$\Delta T$	35	°C
cp	4,186	kJ/(kg*s)
potenza	293	kW

Tabella 13. Dimensionamento caldaia per 50 U.A.

Anch'essa risulta di 60 kW superiore al caso precedente proprio a causa del fattore di contemporaneità. Si specifica che, se fosse un edificio adibito specialmente per lavoratori con orari simili, si dovrebbe usare un fattore maggiore e si avrebbero dei valori differenti.

LISTOCATALOGO

**RIELLO**

#### DATI TECNICI

Denominazione commerciale	Potenza kW			Rendimento			Classe energetica	Codice n.	Prezzo Euro
	utile 80°/60° max	utile 50°/30° max	Focolare min-max	utile Pn (80°/60°) %	utile Pn (50°/30°) %	utile 30% Pn (50°/30°) %			
CONDEXA PRO 35 P	34,4	38,0	9,0-34,9	98,4	108,7	109,5	A	20115221	3.649,00
CONDEXA PRO 50 P	44,2	48,8	9,0-45,0	98,3	108,6	109,2	A	20115222	3.772,00
CONDEXA PRO 57 P	55,7	61,9	14,0-57,0	98,3	108,6	109,2	A	20115223	4.961,00
CONDEXA PRO 70 P	67,0	73,9	14,0-68,0	97,9	108,1	108,8	A	20115224	5.464,00
CONDEXA PRO 90	88,3	97,4	19,4-90,0	98,0	108,3	108,9	-	20115225	5.433,00
CONDEXA PRO 100	95,3	105,1	19,4-97,0	97,9	108,2	108,8	-	20115226	5.597,00
CONDEXA PRO 115	109,8	121,1	22,4-112,0	98,3	108,6	108,8	-	20115228	5.771,00
CONDEXA PRO 135	129,0	142,1	26,2-131,0	97,9	108,3	108,9	-	20115229	6.530,00

Figura 33. Caldaia a condensazione a metano dell RIELLO [10]

Si sceglie sempre la caldaia CONDEXA PRO 135 della ditta RIELLO. Anche in quest'ultimo caso vengono disposte in cascata così da ottenere 282 kW, poco meno della potenza richiesta. Si ha un costo di intorno ai 13.060 €.

#### 2.4.3 Dimensionamento della pompa di calore

Per la pompa di calore e il suo accumulo si hanno i seguenti valori, secondo il modello Rossato:

$Vb=C*tp*(Tu\_Tf)/(tpr+tp)*tpr/(Ta-Tf)$	2256	l
$P=C*tp*(Tu-Tf)/(tp+tpr)$	45	kW

Tabella 14. Dimensionamento pompa di calore per 50 U.A.

La potenza calcolata risulta la maggiore dei casi analizzati, dato l'elevato numero di alloggi all'interno della struttura.

AURA		[Versione INVERTER]												GSI High Performance System	
		Technical Data													
Dati Tecnici		Mod		106		109		112		115		118		124	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
FUNZIONAMENTO: INVERNALE - A7/W55 Aria/Radiatori / OPERATION: WINTER - A7/W55 Air/Radiators															
Pot. Termica / Thermal Power Plant	kW	1,28	5,38	1,98	7,68	3,10	11,72	4,08	14,18	4,43	16,49	5,44	20,66		
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m <sup>3</sup> /h	0,22	0,93	0,34	1,32	0,53	2,02	0,70	2,44	0,76	2,84	0,94	3,55		
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,58	2,04	0,88	2,87	1,24	4,41	1,59	5,16	2,03	6,23	3,04	7,74		
COP		2,64		2,68		2,66		2,75		2,65		2,67			

Figura 34. Pompa di calore Aura della GSI [12]

Si sceglie sempre la pompa Aura; si opta di disporre 3 pompe in parallelo, ottenendo circa 60 kW con un costo di 25.500 €.

Si prendono tre accumuli da 800 l, avendo così un volume di 2400 l, di poco superiore al volume calcolato. Il costo è di 5.784 €.

#### 2.4.4 Dimensionamento del solare termico

Per ultimo, il dimensionamento del solare termico attraverso il programma Paradigma:

<b>ParaSol</b>		<b>Dati generali impianto</b>			
<b>Dati impianto</b>					
Committente:	<b>Condominio da 50 U.A.</b>	Provincia:	<b>Torino</b>	Lat. = 45°	<b>SCEGLI</b>
Riferimento:					
<b>Caratteristiche del COLLETTORI</b>					
Tipo:	<b>AQUA PLASMA</b>	<b>SCEGLI</b>	Sup.apertura:	<b>91,0 m<sup>2</sup></b>	<input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/>
Inclinazione:	<b>55° sull'orizzontale</b>	<input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/> ?	Azimut:	<b>10° orientamento da sud</b>	<input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/> ?
<b>Impianto solare</b>					
Accumulo solare:	<b>2.445 litri</b>	<b>SCEGLI</b>	Tecnologia Aqua:	<b>SI</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Aqua Espresso III 800</b>			Solare come preriscaldamento:	<b>SI</b>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 35. Schermata 1 del programma Parasol di Paradigma per 50 U.A.

Le ipotesi di inclinazione e di azimut rimangono invariate; l'accumulo scelto è più grande rispetto quello calcolato poiché la ditta non ne propone uno da 1500 l. Infine la miglior superficie da ipotizzare è di 91 m<sup>2</sup>.

**ParaSol**  
Fabbisogno energia utile per ACS secondo UNI/TS 11300-2

OK  Conferma

**Consumi:** **abitazione S > 200 m2** SCEGLI

**156,25** litri/G m2

**80** m2/alloggio (50 alloggi)

**12.500** litri / giorno (V<sub>u</sub>)

**402** kWh/giorno (inverno)

**Temperature:**

utilizzo: **40 °C** Valore UNI: 40°C

ingresso: **13 °C** Valore UNI non modificabile

**Profilo utilizzo:** annuale **personalizzato** SCEGLI

**Ricircolo:**  SCEGLI

**Periodo d'utilizzo**

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	sett	ott	nov	dic
<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>90 %</b>	<b>90 %</b>	<b>80 %</b>	<b>75 %</b>	<b>70 %</b>	<b>70 %</b>	<b>75 %</b>	<b>90 %</b>	<b>90 %</b>	<b>100 %</b>
12.451 kWh	11.246 kWh	11.206 kWh	10.844 kWh	9.961 kWh	9.037 kWh	8.716 kWh	8.716 kWh	9.037 kWh	11.206 kWh	10.844 kWh	12.451 kWh

Fabbisogno utile per ACS      **Q<sub>u,anno</sub>: 125.714 kWh Anno**

Fabbisogno per distribuzione      **Q<sub>d,anno</sub>: 10.057 kWh Anno**

Fabbisogno erogazione      **Q<sub>e,anno</sub>: 0 kWh Anno**

Fabbisogno stoccaggio      **Q<sub>s,anno</sub>: 764 kWh Anno**

**Totale fabbisogno sanitario      Q<sub>tot,anno</sub>: 136.535 kWh Anno**

Figura 36. Schermata 2 del programma Parasol di Paradigma per 50 U.A

Le richieste dell'edificio risultano di circa 12.500 l/giorno di ACS per un totale all'anno di circa 136.535 kWh/anno.

**ParaSol**  
Energia raggiante ricevuta, secondo UNI 8477

OK

	Un. Mis	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	
H <sub>n</sub>	MJ/m <sup>2</sup> g	5,00	7,80	12,20	17,00	19,60	21,50	23,50	18,50	13,50	9,30	5,50	4,70	
H	MJ/m <sup>2</sup>	9,49	12,27	15,27	16,88	16,48	16,85	18,93	17,09	15,29	13,60	9,87	10,23	
H <sub>tot</sub>	MJ/m <sup>2</sup>	294,15	343,46	473,40	506,50	510,92	505,39	586,94	529,72	458,66	421,75	296,22	317,08	5.244,20
	kWh/m <sup>2</sup>	<b>81,7</b>	<b>95,4</b>	<b>131,5</b>	<b>140,7</b>	<b>141,9</b>	<b>140,4</b>	<b>163,0</b>	<b>147,1</b>	<b>127,4</b>	<b>117,2</b>	<b>82,3</b>	<b>88,1</b>	<b>1.456,7</b>
T <sub>m</sub>	°	<b>0,40</b>	3,20	8,20	12,70	16,70	21,10	23,30	22,60	18,80	12,60	6,80	2,00	
Il sole sorge:		7h 29m	6h 53m	6h 31m	6h 39m	6h 46m	6h 49m	6h 48m	6h 42m	6h 34m	6h 38m	7h 20m	7h 40m	
Il sole tramonta:		16h 30m	17h 6m	17h 50m	18h 26m	18h 20m	18h 16m	18h 18m	18h 24m	18h 8m	17h 21m	16h 39m	16h 19m	
* sul collettore														

<b>Località</b> Torino	<b>Inclinazione</b> 55 °
<b>Latitudine</b> Lat. = 45 °	<b>Azimet</b> 10 °

H<sub>n</sub> Radiazione media globale al suolo sul piano orizzontale secondo UNI 10349

H Irraggiamento medio giornaliero sulla superficie considerata

H<sub>tot</sub> Irraggiamento mensile sulla superficie considerata **in assenza di ostruzioni ai raggi solari**

T<sub>m</sub> Temperatura media esterna giornaliera

Figura 37. Schermata 3 del programma Parasol di Paradigma per 50 U.A

Come per gli scorsi casi, l'energia ricevuta per pannello risulta invariata, dato che sono uguali le angolazioni del singolo pannello.

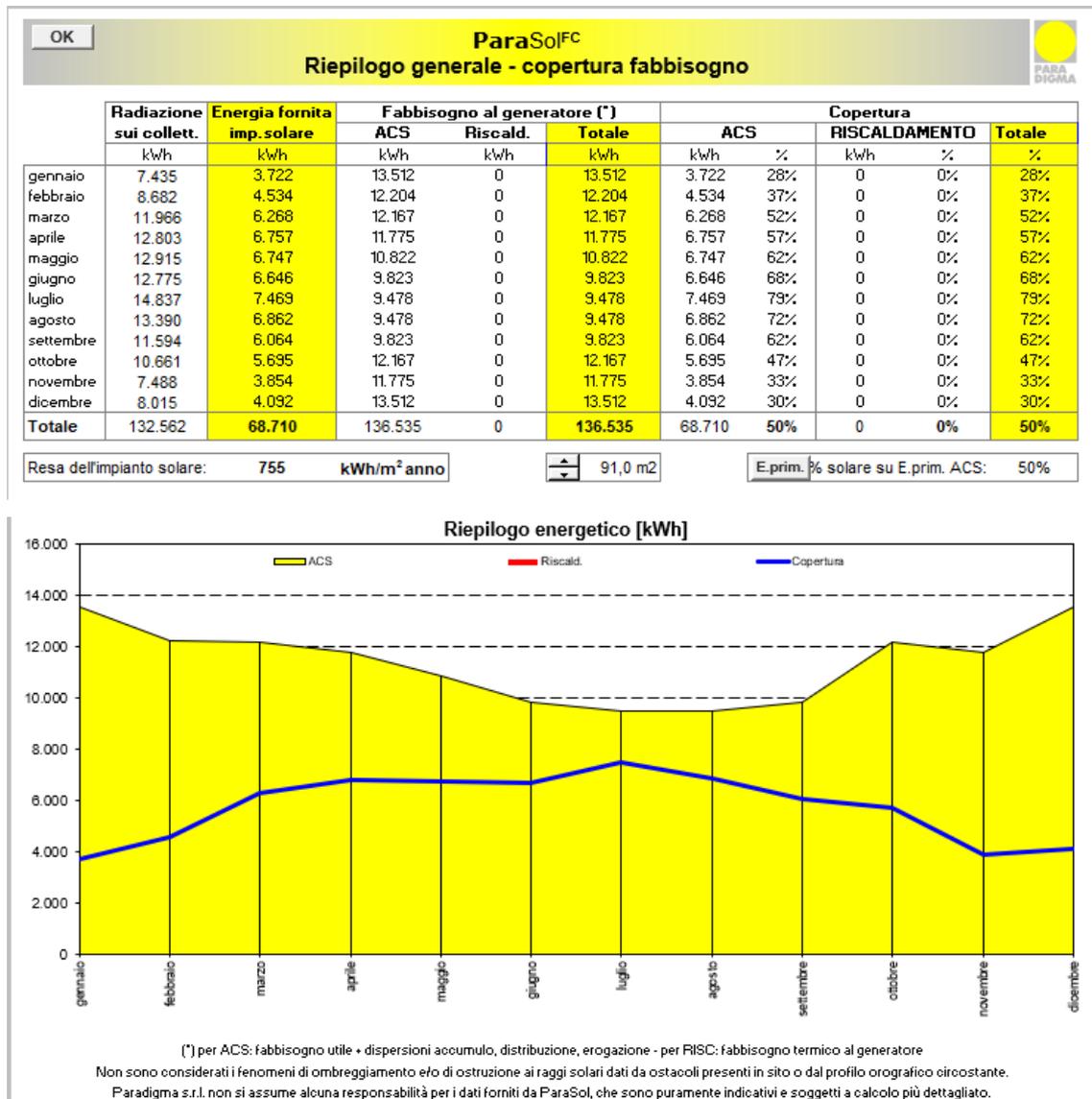


Figura 38. Schermata 4 del programma Parasol di Paradigma per 50 U.A

Anche in quest'ultimo caso, si nota come con le ipotesi fatte si ha una risposta da parte del sistema del 50% alla domanda di ACS.

Il costo per quest'ultimo dimensionamento è di:

$$N_{pannelli} = \frac{A}{S_{assorbente}} = \frac{91}{3,2} = 28,4 \text{ cioè } 28$$

$$\begin{aligned} \text{Costo} &= N_{\text{pannelli}} * \text{costo}_{\text{unitario}} * (1 - \text{sconto}) = 28 * 2140 * (1 - 22,5\%) \\ &= 46.438 \text{ €} \end{aligned}$$

### 2.3.5 Comparazione delle soluzioni per le 50 U.A.

Tipologia	Potenza generazione	Costo generazione	Volume accumulo	Costo accumulo	Costo Totale
Caldaia + Accumulo	293 kW	13.060 €	1500 l	4.035 €	17.095 €
PdC + Accumulo	45 kW	25.500 €	2400 l	5.784 €	31.284 €
Solare Termico + Accumulo	91 m <sup>2</sup> + Caldaia	59.498 €	2400 l	6.800 €	66.298 €
	91 m <sup>2</sup> + PdC	71.938 €	2400 l	6.800 €	78.738 €

Tabella 15. Comparazione dimensionamento e costi di installazione per 50 U.A.

Anche in quest'ultimo caso, si mantiene l'ordine delle tecnologie più costose. Inoltre, è ancora più evidente quanto influisca il costo della seconda fonte di calore dimensionata come se fosse da sola.

## 2.5 Comparazione degli edifici analizzati

Si mettono ora in evidenza i calcoli fatti per i singoli edifici.

N° U.A. per edificio	20 U.A.		35 U.A.		50 U.A.	
Caldaia condensazione	117 kW		205 kW		293 kW	
Costo	7.698 €		12.972 €		17.095 €	
Pompa di Calore	24 kW		38 kW		45 kW	
Costo	11.600 €		21.170 €		31.284 €	
Solare th	36 m <sup>2</sup> + caldaia	36 m <sup>2</sup> + pdc	63 m <sup>2</sup> + caldaia	63 m <sup>2</sup> + pdc	91 m <sup>2</sup> + caldaia	91 m <sup>2</sup> + pdc
Costo	30.582 €	33.312 €	51.554 €	57824	66.298 €	78.738 €

Tabella 16. Sintesi dei costi di installazione delle diverse tecnologie per le diverse strutture

Come mostra la tabella riassuntiva, le potenze e i costi delle varie modalità di generazione aumentano con l'aumentare della taglia dell'edificio. Questo fatto era da aspettarsi poiché aumentando il numero degli alloggi aumenta anche la necessità di ACS della struttura e quindi deve aumentare la potenza di generazione, quindi aumentano i costi.

Inoltre, tutte le generazioni studiate hanno la caratteristica di poter rispondere in autonomia al fabbisogno di energia dell'edificio, anche se per il solare termico si necessita anche di una seconda fonte di generazione.

Per quest'ultimo, bisogna introdurre un discorso importante. Come detto precedentemente, i dati che il programma Paradigma propone sono dei modelli, basati su delle ipotesi che necessitano la verifica. Nello specifico, sarà molto difficile che i pannelli durante la giornata non siano ombreggiati; questo può accadere per gli edifici isolati dalla città.

Infine, un'ultima considerazione da fare riguarda la superficie disponibile: nei calcoli effettuati si parla solo di superficie assorbente, ciò significa una superficie lorda maggiore. Non sempre tale superficie è disponibile, perché i pannelli vengono inseriti

sul tetto, che ha una sua superficie. Per tale motivo, si inseriscono un numero minore di pannelli che sopperiscono a una parte ancora minore dell'energia richiesta dal condominio per l'ACS.

## Capitolo 3.

### **Valutazione dei costi energetici nelle diverse soluzioni impiantistiche possibili, con considerazione dei relativi vantaggi e svantaggi; valutazione dei tempi di rientro per le soluzioni energeticamente più vantaggiose.**

Si intende ora fare un'analisi sui costi di esercizio delle varie soluzioni energetiche analizzate nel capitolo precedente per tutti e tre gli edifici.

#### **3.1 Collegamento con l'accumulo**

Per ogni generazione energetica, quindi per la caldaia, per la pompa di calore e per il solare termico, si sceglie il miglior collegamento idraulico con il serbatoio, quello cioè che massimizza il rendimento della fonte di calore. In particolare, per la caldaia si decide di usare il collegamento evidenziato dalla *figura. 4*; per la pompa di calore quello in *figura. 7* e infine per il solare termico quello in *figura. 9*.

Inoltre, si sceglie un accumulo di ACS, come in *figura. 1*: questa scelta, come evidenziato nel primo capitolo, è la più svantaggiosa a causa del rischio di formazione del batterio Legionella. Tuttavia, è la soluzione che si trova maggiormente nei vari condomini esistenti, nonostante implichi dei costi di gestione più rilevanti; quindi, si mettono in evidenza i costi relativi a tale scelta e, infine, si propone una analisi dei costi per un accumulo di acqua tecnica come quello riportato nella *figura. 2*.

#### **3.2 Ipotesi di esercizio dell'impianto**

La soluzione presa in esame ha al suo interno il rischio di formazione del batterio Legionella. Dunque, è necessario, al fine di tutelare i condomini e la loro salute, una tipologia di esercizio che non comprenda soltanto gli usi specifici delle unità abitative, ma anche un trattamento antibatterico per le stesse.

Come evidenzia l'articolo della società Caleffi [15], vi sono più strade per questo trattamento: il più usato dal punto di vista civile è quello termico. Ne esistono due tipologie: lo shock termico, che prevede il deflusso dell'acqua sanitaria ad una temperatura maggiore di 70° C, e la disinfestazione termica, che si può attuare attraverso due modalità. La prima modalità prevede di mantenere costantemente all'interno delle tubazioni l'acqua a 50° C; la seconda, invece, prevede di mettere in moto l'acqua a 60° C per almeno 30 minuti al giorno.

Tra le due tipologie, lo shock termico è una tecnica che risolve il problema grazie all'alta temperatura, anche se resta una misura di disinfestazione temporanea e che quindi bisogna operarla frequentemente. Questo comporta un alto costo, non solo perché è necessario raggiungere la temperatura indicata, ma anche perché il flusso d'acqua deve poi essere espulso; vi è quindi un costo maggiorativo dovuto all'utilizzo dell'acqua.

La scelta migliore è quindi la seconda, ovvero quella di operare la disinfestazione termica, una misura preventiva e sistematica. Tra i due modi illustrati, si privilegia il secondo poiché lavora per una minor durata e ha quindi un minor costo.

Inoltre, negli edifici con tante utenze, come quelli di questa analisi, vi è anche la rete di ricircolo, utile per far circolare l'acqua in una rete apposta in modo tale da ridurre i tempi tra la richiesta di ACS e la sua erogazione. Essendo una tubazione, questa disperde il calore accumulato nel serbatoio. Pertanto, viene considerata una certa quantità di potenza dispersa dalla rete in un certo lasso di tempo, 10 h al giorno.

Per ogni edificio viene proposto un quantitativo di energia annuale per l'acqua calda che viene calcolato dal programma Paradigma, in riferimento all'effettivo uso da parte dei condomini della stessa, che viene aumentata a causa del trattamento anti-legionella.

Quindi, per la stima del costo di esercizio, i passaggi che vengono proposti sono:

1. la stima della potenza necessaria al trattamento anti-legionella;
2. il calcolo dell'energia annuale per il trattamento;
3. la stima dell'energia persa per il ricircolo,
4. la somma dell'energia totale richiesta;
5. la stima del costo di esercizio per ogni tecnologia.

### 3.3 Costi di esercizio per l'edificio di 20 U.A.

Prima di iniziare con la stima dei costi per il caso da 20 U.A., si precisa che i dati relativi all'energia annuale dedicata solamente all'acqua calda sanitaria derivano dal dato fornito dal programma Paradigma, usato nel precedente capitolo. Questo perché, impiegando il modello Caleffi per la stima del volume dell'acqua usato giornalmente, esso forniva dei valori molto alti, quindi si considerano i dati forniti dal software.

Vengono ora mostrati i calcoli e i valori dei costi per la struttura da 20 alloggi:

Stima potenza per il trattamento		
d	1,6	cm
A	2,010	cm <sup>2</sup>
v	75	cm/s
portata volumetrica	150,7	cm <sup>3</sup> /s
densità	0,000985	kg/cm <sup>3</sup>
portata massica	0,148	kg/s
potenza	29,2	kW

Tabella 17. Stima potenza per il trattamento anti Legionella per 20 U.A.

I calcoli proposti partono dal diametro del tubo di uscita dell'accumulo: esso limita la portata dell'acqua che realizza il trattamento contro il batterio. Quindi si calcola l'area di tale tubazione, poi si stima la velocità dell'acqua nella tubazione, 3,5 m/s, e infine si calcola la portata volumetrica.

$$\dot{V} = A * v = \frac{\pi * d^2}{4} * v \left[ \frac{cm^3}{s} \right]$$

Successivamente si ricava la portata massica, attraverso la densità del fluido, e poi la potenza da fornire a quest'acqua, che deve avere almeno 50° C. In questo studio la si considera 55° C.

$$P = \dot{m} * c_{p,acqua} * (T_{uscita} - T_{ingresso}) [kW]$$

Così facendo, si può calcolare l'energia utilizzata per il trattamento, dato che conosciamo il suo tempo di durata, che è di 30 minuti:

t antiL [h]	0,5	h/gg
Eth antiL	14,60	kWh/gg
Eth,antiL	5.330	kWh/anno

Tabella 18. Stima energia annuale per il trattamento anti Legionella per 20 U.A.

I passaggi che si susseguono sono i seguenti:

$$E_{th,antiL} = P * t \left[ \frac{kWh}{gg} \right] = P * t * 365 \left[ \frac{kWh}{anno} \right]$$

Per quel che riguarda il ricircolo, si stima una potenza persa di 12,5 kW; quindi il risultato dell'energia persa annuale è:

Potenza persa ricircolo	12,5	kW
tempo	10	h/gg
Eth,ricircolo	45.625	kWh/anno

Tabella 19. Stima energia persa per il ricircolo per 20 U.A.

Si utilizza la seguente formula:

$$E_{th,ricircolo} = P * t * 365 \left[ \frac{kWh}{anno} \right]$$

Da qui, è possibile calcolare prima l'energia totale spesa per l'ACS e poi il costo di esercizio per ogni tecnologia, che ha dei costi diversi data la differente fonte energetica.

Eth,antiL	5.330	kWh/anno
Eth,ACS	55.937	kWh/anno
Eth,ricircolo	45.625	kWh/anno
Eth,tot	106.893	kWh/anno

Tabella 20. Sintesi energie perse annualmente per 20 U.A.

Ipotizzando sempre che tutta l'energia che viene trasportata dall'acqua tecnica sia ceduta all'acqua potabile, ovvero non ci siano perdite, si possono calcolare i seguenti costi:

Generazione	Caldaia	Pompa di Calore	Solare termico	
Volume accumulo [l]	800	1500	1500	
Potenza generatore	117 kW	24 kW	36 m <sup>2</sup>	
η	1,02	2,7	-	
Energia termica [kWh <sub>t</sub> ]	106.893	106.893	78.330	
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0923	0,080	Seconda generazione	
			Caldaia	Pompa di Calore
			0,092	0,080
costo esercizio	9.868 €	8.512 €	7.231 €	6.237 €
% anti-legionella	5,0%	5,0%	6,8%	6,8%
% ricircolo	42,7%	42,7%	58,2%	58,2%
% ACS	52,3%	52,3%	34,9%	34,9%

Tabella 21. Stima costi di esercizio per ogni tecnologia per 20 U.A.

I passaggi effettuati sono i seguenti, simili a quelli sviluppati nel primo capitolo:

E infine:

$$\text{Costo esercizio} = \text{Energia termica} * \frac{\text{costo vettore energetico}}{\eta}$$

Per il caso della caldaia, si considera un costo di 0,92 €/m<sup>3</sup> del metano e si ricava il costo per chilowattora attraverso il suo potere calorifico, pari a 9,77 kWh/m<sup>3</sup>:

$$\text{costo metano} = \frac{\text{costo al m}^3}{\text{potere calorifico} * \eta} = 0,092 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_t}$$

Considerando un costo di 0,215 €/kWh per l'energia elettrica, si ottiene un costo dell'energia elettrica di:

$$\text{costo en el} = \frac{\text{costo al kWh}}{SCOOP} = 0,080 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_t}$$

Per il caso del solare termico i passaggi sono diversi: dal programma Paradigma si prende il dato dell'energia che un impianto solare ricava in un anno; essa è di 28.563 kWh/anno. Tale energia viene sottratta dalla somma dell'energia termica totale richiesta. Quindi bisogna ancora fornire 78.330 kWh. È, quindi, necessario utilizzare una seconda fonte di generazione: nella tabella si pone l'accento su due casi. Nel primo si utilizza una caldaia e si osserva che essa dà come risultato circa 7.231 € per i costi di esercizio; nel secondo si usa una pompa di calore, che come costi genera 6.237 € annui.

La tabella evidenzia anche che non sempre spendere meno per i costi di installazione significa spendere meno per costi di esercizio. Si nota infatti una differenza significativa di costi tra le tecnologie: con la pdc vi è un risparmio di circa 1.300 € rispetto alla caldaia e col solare termico si riducono ulteriormente le spese.

Come anticipato, per il caso del solare termico il peso dell'energia dedicata all'ACS è minore rispetto agli altri casi. Il motivo risiede proprio nell'utilizzo di energia proveniente dal sole che, di fatto, riduce la richiesta di energia da altra fonte. Ci si aspetta che questo valore sia il 26%; questo non avviene perché il calcolo delle percentuali viene fatto rispetto all'energia che deve essere fornita, cioè a 78.330 kWh, per il caso solare. Riducendo il denominatore, aumenta il valore calcolato; se invece si riferisce al valore dell'energia totale da fornire, ossia 106.893 kWh, allora l'energia da fornire con la seconda fonte di calore per la sola componente di ACS è pari al 26%, cioè metà degli altri due casi, proprio perché il solare termico fornisce la restante parte di energia, come da dimensionamento.

Inoltre, si evidenzia il peso del trattamento anti-legionella e quello relativo alla perdita del ricircolo, che tende al 50% per il caso con generazione singola, e al 60% per il caso con il solare termico. Infatti, senza questi, si avrebbe una spesa di circa la metà per la caldaia per la pompa di calore; per il solare termico si avrebbe un costo davvero irrilevante.

Il vantaggio del solare termico è chiaro soprattutto nel caso abbinato alla pompa di calore; tuttavia, i costi di installazione non sono pochi, dato che bisogna collocare due fonti.

### 3.4 Costi di esercizio per l'edificio di 35 U.A.

Si presenta ora il caso dell'edificio di 35 U.A.

La potenza necessaria per generare acqua per il trattamento anti-legionella viene illustrata nella tabella sottostante. Si nota come sia maggiore del caso precedente perché è maggiore la portata uscente dall'accumulo, essendo di dimensioni più grandi.

Stima potenza per il trattamento		
d	1,6	cm
A	2,01	cm <sup>2</sup>
v	75	cm/s
portata v	150,7	cm <sup>3</sup> /s
rho	0,000985	kg/cm <sup>3</sup>
portata m	0,15	kg/s
potenza	29,21	kW

Tabella 22. Stima potenza per il trattamento anti Legionella per 35 U.A.

Come per il caso precedente, l'energia annuale richiesta per la sola ACS viene presa dal programma Paradigma ed è di 97.890 kWh. Viene considerata una potenza persa dalla rete di ricircolo di 20 kW, maggiore della precedente poiché sarà più lunga e quindi disperde una maggior potenza.

Dalla potenza, si può calcolare l'energia annuale necessaria per tale trattamento.

t antiL [h]	0,5	h
Eth,antiL	5.330	kWh/anno
Eth,ACS	97.890	kWh/anno
Eth,ricircolo	73.000	kWh/anno
Eth,tot	176.221	kWh/anno

Tabella 23. Sintesi energie perse annualmente per 35 U.A.

Infine, si calcolano i costi di esercizio per le tre soluzioni analizzate. Per il caso del solare termico viene calcolata l'energia che è necessario produrre attraverso un'altra tecnologia, poiché, come visto, il solare termico riesce a sopperire solo ad una porzione di energia per l'ACS.

Generazione	Caldaia	Pompa di Calore	Solare termico	
Volume accumulo [l]	1000	1800	1500	
Potenza generatore	205 kW	38 kW	63 m <sup>2</sup>	
$\eta$	1,02	2,7	-	
Energia termica [kWht]	176.221	176.221	127.140	
costo vettore energetico [€/kWht]	0,0923	0,080	Seconda generazione	
			Caldaia	Pompa di Calore
			0,092	0,080
costo esercizio	16.269 €	14.032 €	11.737 €	10.124 €
% anti-legionella	3,0%	3,0%	4,2%	4,2%
% ricircolo	41,4%	41,4%	57,4%	57,4%
% ACS	55,5%	55,5%	38,4%	38,4%

Tabella 24. Stima dei costi di esercizio per ogni tecnologia per 35 U.A.

Per la stima dei costi di esercizio del caso con generazione attraverso il solare termico, il valore dell'energia prodotta in un anno dal sistema, come stimato da Paradigma, è di 49.081 kWh/anno, mentre quella da fornire con un'altra tecnologia è di 176.221 kWh/anno.

Si nota sempre il risparmio sui costi di esercizio per le tecnologie più costose: il solare termico ha dei costi di esercizio che sono sempre minori rispetto ai casi con un'unica fonte energetica.

Come per il caso precedente, è importante notare come il costo per la componente relativa all'ACS corrisponda a circa il 50% della componente totale.

### 3.5 Costi di esercizio per l'edificio di 50 U.A.

Infine, si propone lo studio dell'edificio con 50 U.A.

Avendo l'edificio un numero maggiore di alloggi, ci si aspetta che l'energia in gioco sia maggiore e che quindi siano più alti i costi di esercizio.

Stima potenza per il trattamento		
d	1,6	cm
A	2,01	cm <sup>2</sup>
v	75	cm/s
portata v	150,72	cm <sup>3</sup> /s
rho	0,000985	kg/cm <sup>3</sup>
portata m	0,148	kg/s
potenza	29,2	kW

Tabella 25. Stima potenza persa per il trattamento anti Legionella per 50 U.A

Ne deriva un'energia annuale per il trattamento in esame di:

t antiL [h]	0,5	h
Eth antiL	14,60	kWh/gg
Eth,antiL	5.330	kWh/anno

Tabella 26. Stima energia persa per il trattamento anti Legionella per 50 U.A

L'energia necessaria per recuperare quella persa con il ricircolo è di:

Potenza persa ricircolo	30	kW
tempo	10	h/gg
Eth,ricircolo	109.500	kWh/anno

Tabella 27. Stima energia persa per il ricircolo per 50 U.A.

L'energia all'anno è pari a:

Eth,antiL	5.330	kWh/anno
Eth,ACS	139.843	kWh/anno
Eth,ricircolo	109.500	kWh/anno
Eth,tot	254.674	kWh/anno

Tabella 28. Stima energie perse annualmente per 50 U.A

Si possono così calcolare i costi di esercizio per ogni singola fonte di generazione. Per il caso con il solare termico, si ha un'energia proveniente dai pannelli solari di 37.416 kWh/anno.

Generazione	Caldaia	Pompa di Calore	Solare termico	
Volume accumulo [l]	1500	2400	2400	
Potenza generatore	284 kW	24 kW	270 m <sup>2</sup>	
$\eta$	1,02	2,7	-	
Energia termica [kWh]	254.674	254.674	185.964	
costo vettore energetico [€/kWh]	0,0923	0,080	Seconda generazione	
			Caldaia	Pompa di Calore
			0,092	0,080
costo esercizio	23.511 €	20.280 €	17.168 €	14.808 €
% anti-legionella	2%	2%	3%	3%
% ricircolo	43%	43%	59%	59%
% ACS	55%	55%	38%	38%

Tabella 29. Stima costi esercizio per ogni tecnologia per 50 U.A.

Come anticipato, i costi di esercizio sono maggiori a causa dell'alto numero di alloggi. Si nota sempre come il costo legato al solare termico sia un terzo inferiore rispetto alle altre fonti di calore.

Anche per quest'ultimo caso, i costi relativi al trattamento anti-legionella e per il ricircolo hanno una notevole incisione sui costi, anche se in quantitativo inferiore poiché cresce l'energia necessaria per il solo riscaldamento dell'acqua calda sanitaria.

### 3.6 Comparazione dei tre edifici con utenze differenti e valutazione dei tempi di rientro

Si mettono ora in relazione i calcoli effettuati per i singoli edifici.

Generazione		20 U.A.		35 U.A.		50 U.A.	
		Costo installazione	Costo esercizio	Costo installazione	Costo esercizio	Costo installazione	Costo esercizio
Caldaia		7.698 €	9.868 €	12.972 €	16.269 €	17.095 €	23.511 €
Pompa di Calore		11.600 €	8.512 €	21.170 €	14.032 €	31.284 €	20.280 €
Solare th	30.582 €	7.231 €	51.554 €	11.737 €	66.298 €	17.168 €	20.611 €
	33.312 €	6.237 €	57.824 €	10.124 €	78.738 €	14.808 €	17.778 €

Tabella 30. Comparazione costi di installazione e di esercizio delle varie soluzioni per i tre condomini

Nella tabella soprastante, il costo relativo al solare termico per tutti i 3 casi, prevede il costo dei pannelli sommato al costo della caldaia o della pompa di calore. Il primo caso è relativo al costo di esercizio maggiore, mentre il caso con la pdc è relativo al costo d'esercizio inferiore. La tecnologia annessa al solare termico ha le dimensioni del dimensionamento in singolo; quindi ha gli stessi costi ed è in grado di rispondere bene alle esigenze della struttura.

Analizzando i dati riportati, la caldaia rappresenta la soluzione minima, ovvero la più facile sia a livello tecnico, sia economico e sia di praticità. Tuttavia, presenta i costi di

esercizio più onerosi, in tutti e tre i casi di condomini analizzati. La pompa di calore, invece, è la tecnologia di mezzo, quella che ha un buon compromesso tra la spesa iniziale e i costi di esercizio. Infine, il solare termico, è la scelta da effettuare quando si vuole operare una spesa maggiore inizialmente, ma che premia l'uso della pompa di calore come seconda fonte energetica; infatti il caso solare termico con caldaia ha un costo di esercizio simile al caso della singola pompa di calore e di poco inferiore alla singola caldaia.

I casi della pompa di calore e i due casi del solare termico vengono considerati per valutare i tempi di rientro delle tecnologie.

### 3.6.1 Tempi di rientro della pompa di calore

Edificio	20 U.A.	35 U.A.	50 U.A.
Costo Pompa di Calore	11.600 €	21.170 €	31.284 €
Costo riferimento	7.698 €	12.972 €	17.095 €
costo esercizio riferimento	9.868 €	16.269 €	23.511 €
costo esercizio pdc	8.512 €	14.032 €	20.280 €
Risparmio annuale	1.356 €	2.236 €	3.232 €
tempi di rientro	2,9	3,7	4,4
Risparmio al 20esimo anno	23.227 €	36.526 €	50.446 €

Tabella 31. Valutazione tempo di rientro per la pompa di calore

Per valutare i tempi di rientro per la pompa di calore, si è seguita questa formula:

$$\text{tempi di rientro} = \frac{\text{Costo pdc} - \text{Costo riferimento}}{\text{costo es riferimento} - \text{costo esercizio pdc}}$$

Il numeratore è una differenza tra il costo della pompa di calore, che è la più costosa, e quello di riferimento, la caldaia a condensazione. Si è attuata questa scelta perché bisogna avere una tipologia di generazione e, quindi, è necessario calcolare il tempo di rientro su questa differenza, che sarà minore del costo della pompa. Lo stesso discorso vale per il denominatore. Così facendo è possibile calcolare il tempo di rientro e vedere da quale momento in poi si comincia a “guadagnare” rispetto ad una scelta differente di generazione.

Inserendo in un grafico l’investimento iniziale negativo, ovvero la differenza dei costi di installazione che sono un esborso, e considerando costante la differenza tra i costi di esercizio, si può stimare quanto può essere il ricavo economico dovuto a tale scelta:

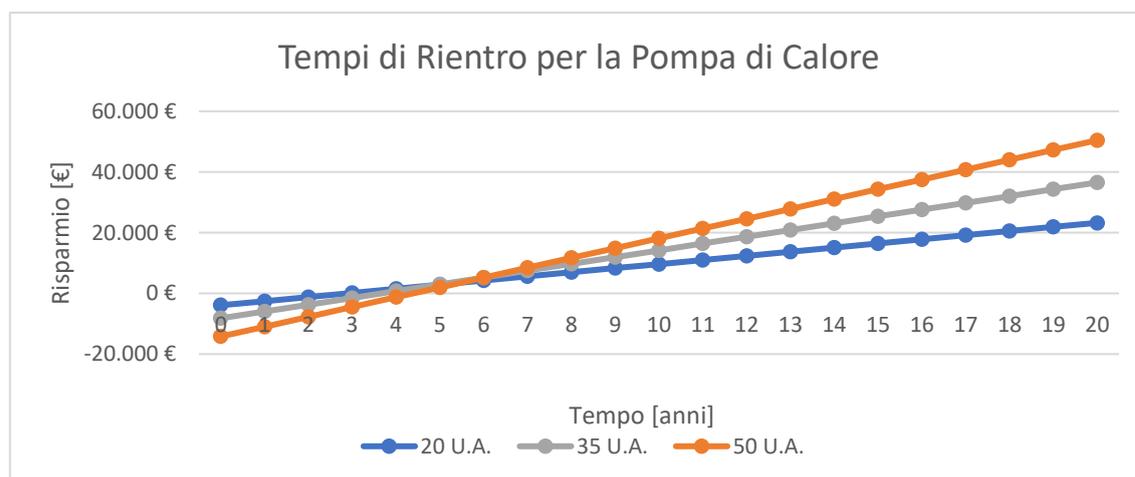


Figura 39. Tempi di rientro per la pompa di calore

Dal grafico si osservano i seguenti risparmi al ventesimo anno si ha: per 20 U.A. 23.200 €; per un edificio con 35 U.A. di 36.500 €; con 50 U.A. di 50.500 €. La differenza di ricavo dipende dalla differenza dei costi di esercizio: più è alta e più è grande il ricavo. Si nota come il tempo di rientro è molto simile per le tre strutture considerate; quindi dal terzo/quarto anno dall’installazione della tecnologia, grazie al minor costo di esercizio, si è già ripagata la differenza di costo iniziale.

### 3.6.2 Tempi di rientro del solare termico con caldaia

Seguendo le stesse ipotesi e gli stessi passaggi del caso precedente, si propongono ora i valori per i tempi di rientro considerando il solare termico e la caldaia come seconda fonte di calore. Mentre la singola caldaia viene considerata come la tecnologia di riferimento per cui operare i calcoli per il tempo di rientro e il possibile guadagno al 20esimo anno.

Edificio	20 U.A.	35 U.A.	50 U.A.
Costo iniziale solare termico + caldaia	30.582 €	51.554 €	66.298 €
Costo iniziale riferimento	7.698 €	12.972 €	17.095 €
costo esercizio riferimento	9.868 €	16.269 €	23.511 €
costo esercizio solare termico + caldaia	7.231 €	11.737 €	17.168 €
Risparmio annuale	2.637 €	4.531 €	6.343 €
tempi di rientro	8,7	8,5	7,8
Risparmio al 20esimo anno	29.855 €	52.041 €	77.662 €

Tabella 32. Valutazione tempi di rientro per il solare termico con caldaia

Si nota come i tempi di rientro siano maggiori del caso precedente dato che è maggiore la spesa iniziale e siano comunque aumentati i risparmi annuali ma non in modo tale da ridurre i tempi di rientro in modo significativo. Si può vedere quanto calcolato in un grafico:

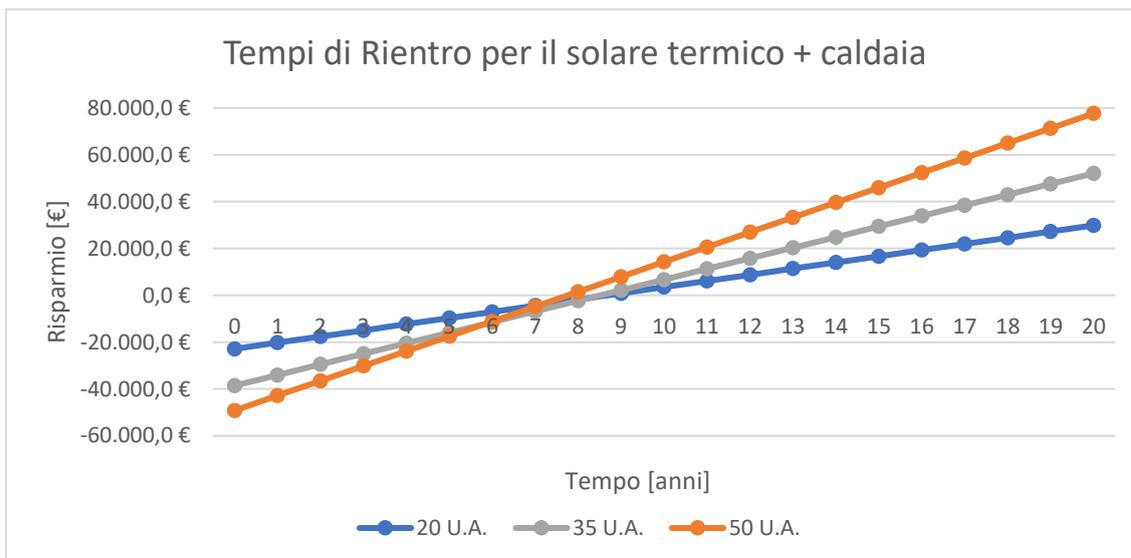


Figura 40. Tempi di rientro per il solare termico con la caldaia

### 3.6.3 Tempi di rientro del solare termico con pompa di calore

Si procede con i calcoli per l'ultimo caso, cioè il solare termico con una pompa di calore come seconda fonte termica; ci si aspetta un miglioramento economico rispetto al caso gemello del solare termico con la caldaia.

Edificio	20 U.A.	35 U.A.	50 U.A.
Costo iniziale solare termico + pdc	33.312 €	57.824 €	78.738 €
Costo iniziale riferimento	7.698 €	12.972 €	17.095 €
costo esercizio riferimento	9.868 €	16.269 €	23.511 €
costo esercizio solare termico + pdc	6.237 €	10.124 €	14.808 €
Risparmio annuale	3.631 €	6.145 €	8.703 €
tempi di rientro	7,1	7,3	7,1
Risparmio al 20esimo anno	47.004 €	78.038 €	112.419 €

Tabella 33. Valutazione tempi di rientro per il solare termico con la pompa di calore

Come anticipato, i tempi di rientro sono inferiori di almeno un anno e mezzo rispetto al caso solare termico con caldaia; questo perché risulta maggiore il risparmio annuale. La figura sottostante, infine, evidenzia i calcoli per il solare termico con la pompa di calore.

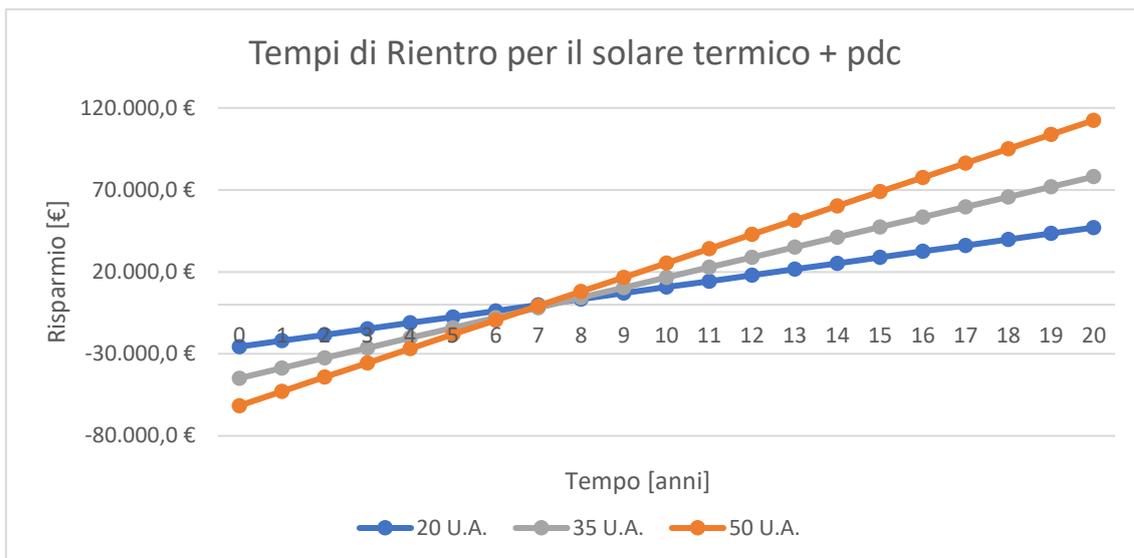


Figura 41. Tempi di rientro per il solare termico con una pompa di calore

### 3.6.4 Comparazione tecnologie e i loro tempi di rientro

U.A.	Tecnologia	Pompa di calore	solare termico + caldaia	solare termico + pdc
20 U.A.	spesa iniziale	11.600 €	30.582 €	33.312 €
	tempi rientro	2,9	8,7	7,1
	risparmio 20esimo anno	23.227,0 €	29.855 €	47.004 €
35 U.A.	spesa iniziale	21.170 €	51.554 €	57.824 €
	tempi rientro	3,7	8,5	7,3
	risparmio 20esimo anno	36.526,2 €	52.041 €	78.038 €
50 U.A.	spesa iniziale	31.284 €	66.298 €	78.738 €
	tempi rientro	4,4	7,8	7,1
	risparmio 20esimo anno	50.446,2 €	77.662 €	112.419 €

Tabella 34. Comparazione tempi di rientro e vantaggi per le tre tecnologie studiate

La tabella soprastante risulta un buon riassunto dei calcoli effettuati fino a qui; in particolare, mette in luce i punti di forza e di debolezza delle tecnologie differenti da

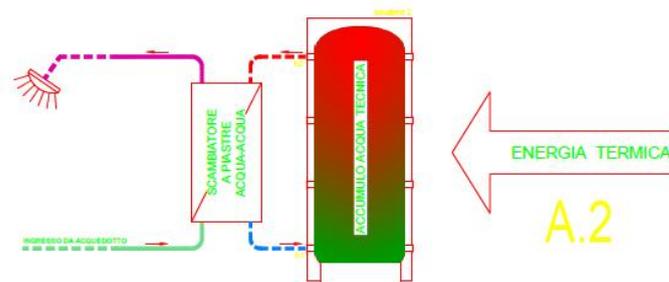
quelle di riferimento. Si possono mettere in luce tre punti cardinali nella scelta di una tecnologia:

1. i tempi di rientro variano in quanto varia la spesa iniziale; in particolare quello della pompa di calore viene preferito se si vuole optare per una tecnologia più redditizia dai primi anni di installazione;
2. i risparmi che si possono avere al 20esimo anno di esercizio sono maggiori per i casi in cui si ha un elevato costo iniziale, tranne che per il caso del solare termico con caldaia, perché, come visto precedentemente, i risparmi annuali non differiscono dal caso della singola pompa di calore;
3. le scelte da optare per un condominio nuovo sono la pompa di calore o il solare termico con pompa di calore; la scelta sta, appunto, se si preferisce rientrare in breve tempo nella spesa, con la pdc, o massimizzare i guadagni nel tempo, col solare termico associato a una pdc. Il solare termico con caldaia risulta una scelta da optare per un condominio esistente, dove si vuole abbattere il costo di esercizio della singola fonte di calore.

### **3.7 Valutazione dei costi con serbatoio di acqua tecnico**

Se si considera un accumulo come quello in *figura. 2*, ovvero un sistema con un accumulo di acqua tecnica e con uno scambiatore di calore, il rischio di avere acqua che contenga la Legionella è minore. In questo modo si può decidere di non attuare il trattamento sopra utilizzato e di conseguenza si riducono i costi di esercizio. I costi relativi alle perdite per il ricircolo sono da considerare poiché è indispensabile. Tuttavia, i costi di impianto aumentano a causa della presenza di uno scambiatore di calore a piastre.

Si ricorda il collegamento della *figura 2*.



Così facendo bisogna scegliere un'altra tipologia di accumulo, chiamata Puffer, che permette di immagazzinare acqua tecnica. Essa è più conveniente, infatti i materiali che si usano sono meno costosi poiché l'acqua che si immagazzina non è per il consumo umano. In questo modo, però, si utilizza uno strumento in più, ovvero lo scambiatore di calore, che dovrà scambiare la potenza necessaria per ogni applicazione al fine di scaldare l'acqua per il consumo sanitario.

Si utilizza la marca Cordivari per la scelta di queste ultime componenti.

In particolare, il Puffer viene preso dal seguente catalogo:

# PUFFER

## TERMOACCUMULATORE PER ACQUA DI RISCALDAMENTO



### IMPIEGO

Accumulo di acqua calda di riscaldamento.

### MATERIALI E FINITURE

Acciaio al carbonio verniciato esternamente; internamente non trattato (essendo collegato all'impianto di riscaldamento non necessita di trattamento anticorrosivo).

### INFORMAZIONI TECNICHE

I Puffer sono usati per migliorare la flessibilità di reazione di stufe, caldaie, termocamini oppure in impianti con basso contenuto d'acqua. Trovano impiego in impianti di riscaldamento pensati per sfruttare una sorgente termica a funzionamento discontinuo, come un termocamino o una caldaia a biomassa.

Disponibili modelli con Pmax a 6 bar.

### COIBENTAZIONE

**RIGIDA:** poliuretano espanso ad elevato isolamento termico.

**MORBIDA SMONTABILE:** fibra di poliestere NOFIRE® riciclabile ad elevato isolamento termico e classe di resistenza al fuoco B-s2d0 (EN 13501).

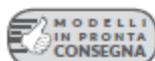
Rivestimento esterno in PVC.

### GARANZIA

5 anni (vedi condizioni generali di vendita)

### ACCESSORI E RICAMBI

Per l'elenco completo consultare la relativa sezione.



Configuratore energetico per etichetta ErP on-line

ACCUMULO	
Pmax	Tmax
6 bar	99 °C



### PUFFER VB

Modello	Coibentazione <b>RIGIDA</b>		CLASSE ENERGETICA ErP
	CODICE	Prezzo €	
200	3251162312501	498,00	B
300	3251162312502	599,00	B
500	3251162312503	756,00	C
600	3251162312504	830,00	C
750	3251162312525	1.062,00	B
800	3251162312526	1.116,00	B
1000	3251162312527	1.226,00	C
1250	3251162312508	1.711,00	B
1500	3251162312509	1.803,00	C
2000	3251162312510	2.265,00	B



### PUFFER VB

Modello	Coibentazione <b>RIGIDA SMONTABILE</b>		CLASSE ENERGETICA ErP
	CODICE	Prezzo €	
750	3251162312505	1.128,00	B
800	3251162312506	1.184,00	B
1000	3251162312507	1.300,00	C



### PUFFER VC

CLASSE ENERGETICA

Figura 42. Accumulo di acqua tecnica (Puffer) della Cordivari [9]

Per ogni edificio con differenti unità abitative si cambia il volume del Puffer, vista la diversa esigenza di ACS, a seconda del volume richiesto; si rimanda al secondo capitolo.

# SCAMBIATORI PHC 7420 - DN32

SCAMBIATORI PHC 7420 (per versione pn16 codice a richiesta)

		N° Piastre	Con guarnizione EPDM		VERSIONE
			VERSIONE PN10	VERSIONE PN16	SOVRAPPREZZO
			CODICE	Prezzo [€]	[€]
		9	3175056654391	934,00	
		11	3175056654392	1.001,00	
		13	3175056654393	1.068,00	
		15	3175056654394	1.135,00	
		17	3175056654395	1.202,00	
		19	3175056654396	1.269,00	
		21	3175056654397	1.336,00	
		23	3175056654398	1.403,00	
		25	3175056654399	1.470,00	
		27	3175056654400	1.537,00	
		29	3175056654401	1.604,00	
		31	3175056654402	1.671,00	
		33	3175056654403	1.738,00	
		35	3175056654404	1.805,00	
		37	3175056654405	1.872,00	
		39	3175056654406	1.939,00	+70,00
		41	3175056654407	2.006,00	
		43	3175056654408	2.073,00	
		45	3175056654409	2.140,00	
		47	3175056654410	2.207,00	
		49	3175056654411	2.274,00	
		51	3175056654412	2.341,00	
		53	3175056654413	2.408,00	
		55	3175056654414	2.475,00	
		57	3175056654415	2.542,00	
		59	3175056654416	2.609,00	
		61	3175056654417	2.676,00	
		63	3175056654418	2.743,00	
		65	3175056654419	2.810,00	
		67	3175056654420	2.877,00	

CONNESSIONI	
<b>DN32 (1"1/4)</b>	
1	Ingresso primario
2	Uscita primario
3	Uscita secondario
4	Ingresso secondario

Figura 43. Scambiatore di calore a piastre della Cordivari [9]

Per quanto riguarda gli scambiatori si utilizza il modello che la ditta Cordivari offre per stimare il numero di piastre dello scambiatore, conoscendo le temperature in gioco e la potenza dello scambiatore. Logicamente, il numero di piastre cresce col numero degli alloggi nelle strutture.

Quindi, si ottengono i seguenti valori di costi per edificio:

Generazione		Caldaia	Pompa di Calore	Solare termico	
20 U.A.	Costo generatore	5.770 €	8.500 €	22.045 €	24.775 €
	Costo Puffer	1.120 €	1.800 €	1.120 €	1.120 €
	Costo Scambiatore	1.800 €	1.100 €	1.800 €	1.800 €
	TOT Costo Installazione	8.690 €	11.400 €	29.170 €	31.900 €
	Costo esercizio	9.376 €	8.087 €	6.739 €	5.813 €
35 U.A.	Costo generatore	10.730 €	17.000 €	35.930 €	42.200 €
	Costo Puffer	1.250 €	2.370 €	1.250 €	1.250 €
	Costo Scambiatore	2.250 €	1.250 €	2.250 €	2.250 €
	TOT Costo Installazione	14.230 €	20.620 €	49.754 €	56.024 €
	Costo esercizio	15.777 €	13.608 €	11.245 €	9.700 €
50 U.A.	Costo generatore	13.060 €	25.500 €	48.760 €	61.200 €
	Costo Puffer	1.800 €	3.360 €	1.800 €	1.800 €
	Costo Scambiatore	2.600 €	1.500 €	2.600 €	2.600 €
	TOT Costo Installazione	17.460 €	30.360 €	63.898 €	76.338 €
	Costo esercizio	23.019 €	19.855 €	16.676 €	14.384 €

Tabella 35. Valutazione costi di installazione ed esercizio di impianto con accumulo Puffer

La tabella mostra tutti i costi principali di una produzione di ACS, mediante un accumulo di acqua tecnica e uno scambiatore rapido esterno, e i costi di esercizio, dovuti soltanto alla componente di energia richiesta per scaldare l'acqua, poiché tale configurazione risulta sicura dal punto di vista di Legionella.

Infine, si confrontano i costi totali e quelli di esercizio del caso in cui si abbia un accumulo di ACS e un accumulo tecnico con il Puffer:

Generazione			Caldaia	Pompa di Calore	Solare termico	
					con caldaia	con pdc
20 U.A.	Costo TOT	ACS	7.698 €	11.600 €	30.582 €	33.312 €
		Puffer	8.690 €	11.400 €	29.170 €	31.900 €
	Costo esercizio	ACS	9.868 €	8.512 €	7.231 €	6.237 €
		Puffer	9.376 €	8.087 €	6.739 €	5.813 €
35 U.A.	Costo TOT	ACS	12.972 €	21.170 €	51.554 €	57.824 €
		Puffer	14.230 €	20.620 €	49.754 €	56.024 €
	Costo esercizio	ACS	16.269 €	14.032 €	11.737 €	10.124 €
		Puffer	15.777 €	13.608 €	11.245 €	9.700 €
50 U.A.	Costo TOT	ACS	17.095 €	31.284 €	66.298 €	78.738 €
		Puffer	17.460 €	30.360 €	63.898 €	76.338 €
	Costo esercizio	ACS	23.511 €	20.280 €	17.168 €	14.808 €
		Puffer	23.019 €	19.855 €	16.676 €	14.384 €

Tabella 36. Comparazione costi tra un impianto con accumulo di ACS e con Puffer

Il vantaggio di utilizzare una configurazione con il Puffer è minimo: si risparmia circa 500 €/anno. Il motivo risiede proprio nella bassa quantità di energia per il trattamento anti Legionella; infatti, un modo per ridurre ulteriormente i costi sarebbe quello di intervenire nell'energia relativa al ricircolo, la quale ha un peso maggiore di quella per il trattamento antibatterico.

I costi di installazione risultano più onerosi nell'ultimo caso di accumulo analizzato, ovvero l'accumulo di acqua tecnica; ciò è dovuto alla presenza di un ulteriore strumento, ovvero lo scambiatore di calore. Tuttavia, un risparmio c'è ed è tale da poter ripagare la spesa dello scambiatore nel corso di tre anni.

## Capitolo 4.

### **Valutazione dei fattori di contemporaneità nel dimensionamento delle portate, con valutazione delle portate caratteristiche. Valutazione di tutte le potenze in gioco nella produzione e nella distribuzione dell'acqua calda sanitaria e calcolo tipo delle potenze disperse nei diversi punti.**

A partire dal lavoro svolto nel precedente capitolo, si valuta la scelta del diametro della tubazione di mandata dell'acqua calda sanitaria; ciò verrà fatto per ogni esempio di struttura considerata. Inoltre, vengono analizzate le potenze perse nei tratti di maggior interesse di un edificio con 42 U.A. e di 4 piani.

#### **4.1 Valutazione diametro tubazione**

Al fine di valutare il diametro, e quindi anche la portata dell'impianto, bisogna partire dalla portata totale di ogni edificio. Questa si calcola partendo dalla massima portata che può avere una singola unità immobiliare; in particolare, si considera che essa può avere una portata massima di 0,7 l/s, ripartita secondo la tabella seguente:

tipo	Portata unitaria [l/s]
lavello cucina	0,2
lavabo	0,1
bidet	0,1
doccia	0,2

*Tabella 37. Portate di un alloggio tipo*

Per ogni singola abitazione, vengono presi in considerazione due lavabi, uno per la cucina e uno per il bagno; così si ottiene 0,7 l/s per ogni abitazione.

Da questo valore, si può calcolare la portata totale per ogni edificio; quindi, attraverso dei valori di fattori di contemporaneità [16] è possibile calcolare la portata caratteristica, dalla quale valutare il diametro della tubazione. In particolare, i fattori di contemporaneità riducono la portata totale poiché, realisticamente, non sarà mai possibile che tutti gli erogatori di ACS siano usati contemporaneamente. Quindi essa viene ridotta a seconda del numero di alloggi nell'edificio; più esso contiene tante U.A. più il fattore è minore e viceversa.

UTENZE [N°]	FATTORE DI CONTEMPORANEITA' [%]
2	100,0
3	80,0
4	70,0
5	65,0
11	48,3
20	37,6
21	37,1
25	34,7
26	34,1
32	30,6
35	29,5
38	28,9
49	26,4
50	26,1
64	24,2
90	21,8
110	20,0
130	19,0
150	18,0

Tabella 38. Fattore di contemporaneità per ogni edificio

Per ogni struttura che si analizza, viene valutato più di un fattore di contemporaneità, in modo da evidenziare la scelta numerica del fattore.

#### 4.1.1 Valutazione diametro per 20 U.A.

Si procede con la prima valutazione dei diametri per una struttura avente 20 alloggi.

La portata totale è di 14 l/s, dato che sono 20 u.a.

Fattore contemporaneità	Portata progetto [dm <sup>3</sup> /s]	diametro interno [mm]	diametro in pollici [“]	scelta diametro tubazione [“]	velocità [m/s]
50%	7	47	1,9	2,5	2,2
45%	6,3	45	1,8	2	3,1
40%	5,6	42	1,7	2	2,8
37,6%	5,3	41	1,6	1,5	4,6
35%	4,9	40	1,6	1,5	4,3
30%	4,2	37	1,4	1,5	3,7

Tabella 39. Valutazione diametri per 20 U.A.

Per giungere al diametro, si sono seguiti i seguenti passaggi:

$$diámetro\ interno = \left( \sqrt[2]{\frac{\dot{V}}{v} * \frac{4}{\pi}} \right) * 100 \ [mm]$$

Considerando una velocità indicativa di 4 m/s; quindi il valore lo si divide per 2,54 ottenendo il valore del diametro in pollici.

Questi calcoli permettono una prima valutazione del diametro; tuttavia, non è possibile scegliere il valore esatto del calcolo, in quanto bisogna scegliere il valore della tubazione che è compatibile con il mercato. Per tale motivo, nella tabella è inserita la colonna riguardante la scelta del diametro. Infine, dal valore di portata di progetto e con il diametro della tubazione noto, si è valutata la velocità all'interno del tubo nel primo tratto del circuito., attraverso la seguente formula:

$$velocità = \left( \frac{\dot{V}}{\frac{\pi * (d_{pollici} * 0,254)^2}{4}} \right) * \frac{1}{10} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

La tabella mostra che attraverso i fattori di contemporaneità, vengono ridotti i diametri delle tubazioni; per quel che riguarda la velocità dell'acqua, essa deve essere minore di 4 massimo 4,5 m/s. Questo perché la velocità influenza le perdite di carico: maggiore è la velocità e maggiori saranno le perdite, con la conseguenza di una pompa di circolazione maggiore. Quindi, la tubazione evidenziata, nonché la scelta consigliata, sarebbe da cambiare, andando ad aumentare il diametro della tubazione, così da ridurre la velocità. Tuttavia, questo non viene fatto in quanto il valore è proprio al limite; una buona scelta per ammortizzare le maggiori perdite di carico è quella di scegliere una tubazione in acciaio così da risparmiare sul materiale e avere una pompa capace di sopperire a tali perdite.

Infine, si noti come la portata ottimale sia circa un terzo di quella di totale; questo fa ridurre notevolmente il diametro se si considerasse la portata totale dell'edificio. Per una struttura con esigenze diverse e note, per esempio orario lavorativo simile per la maggior parte degli abitanti dell'edificio o altri fattori che fanno aumentare la contemporaneità dell'utilizzo dell'ACS, è bene aumentare il fattore, poiché la centrale termica dovrà rispondere a tutte le esigenze senza sfavorire nessuno; in questo caso varierebbero tutti i conti effettuati sino adesso nonostante il numero delle U.A. rimanesse invariato.

#### 4.1.2 Valutazione diametro per 35 U.A.

Per quel che riguarda il caso di 35 unità abitative, la portata totale è di 24,5 l/s; si procede con l'analisi del fattore di contemporaneità.

Fattore contemporaneità	Portata progetto [dm <sup>3</sup> /s]	diametro interno [mm]	diametro in pollici	scelta diametro tubazione	velocità [m/s]
50%	12,3	62	2,5	2,5	3,9
45%	11,0	59	2,3	2,5	3,5
40%	9,8	56	2,2	2	4,8
35%	8,6	52	2,1	2	4,2
29,5%	7,2	48	1,9	2	3,6
				1,5	6,3

Tabella 40. Valutazione diametri per 35 U.A.

Anche in questo caso, l'analisi di più fattori di contemporaneità mostra la riduzione sia della portata sia del diametro da scegliere. Notare, inoltre, che la riduzione del fattore concorre ad una riduzione del diametro della tubazione ma non sempre della velocità associata alla portata.

Per questo caso, il fattore da considerare è il 29,5%; si è voluto evidenziare che, per la portata che ne consegue, la possibilità di scegliere il diametro da 2 o da 1,5 pollici. La differenza sta nella velocità. La scelta che va a limitare le perdite di carico è quella relativa al diametro più grosso, quello da 2"; è comunque possibile scegliere il diametro più piccolo con le dovute considerazioni fatte nel capitolo precedente riguardanti le maggiori perdite di carico e la necessità di avere una pompa adatta a vincere quest'ultime.

#### 4.1.3 Valutazione diametro per 50 U.A.

Considerando un edificio da 50 alloggi, la portata totale è di 35 l/s.

Fattore contemporaneità	Portata progetto [dm <sup>3</sup> /s]	diametro interno [mm]	diametro in pollici	scelta diametro tubazione	velocità [m/s]
50%	17,5	75	2,9	3	3,8
45%	15,8	71	2,8	2,5	5,0
40%	14,0	67	2,6	2,5	4,4
35%	12,3	62	2,5	2,5	3,9
30%	10,5	58	2,3	2,5	3,3
				2	5,2
26,1%	9,1	54	2,1	2,5	2,9
				2	4,5

Tabella 41. Valutazione diametri per 50 U.A.

Le considerazioni fatte per i casi precedenti valgono anche per il caso in esame da 50 alloggi. Invece, per considerando il fattore di 30% si è voluto fare una doppia analisi, sia scegliendo il diametro da 2,5 pollici che il 2 pollici; la differenza sta nella velocità. Nel caso si scegliesse di dimensionare con questo fattore sarebbe consigliabile utilizzare la tubazione da 2,5”.

Invece, per quel che riguarda il dimensionamento con il fattore di contemporaneità pari a 26,1%, è possibile scegliere se optare per una tubazione più grossa ma con una velocità inferiore, quella da 2,5”, oppure una più piccola ma con una velocità limite da un punto di vista tecnologico, quella da 2”.

#### 4.1.4 Comparazione portate e diametri degli edifici

Si evidenziano ora i calcoli per i singoli fattori di contemporaneità collegati al numero degli alloggi.

N° U.A.	Fattore contemporaneità	Portata progetto [dm <sup>3</sup> /s]	diametro interno [mm]	diametro in pollici	scelta diametro tubazione	velocità [m/s]
20	37,6%	5,3	40,9	1,6	1,5	4,6
35	29,5%	7,2	48,0	1,9	2	3,6
50	26,1%	9,1	53,9	2,1	2,5	2,9
					2	4,5

*Tabella 42. Comparazione diametri per i tre diversi condomini*

Come anticipato, il fattore di contemporaneità diminuisce con l'aumentare del numero di unità abitative nelle strutture; invece, la portata e i diametri aumentano, dato che aumenta la portata di progetto.

Infine, si nota che anche il diametro scelto tende ad aumentare con il numero di alloggi. Nel caso di 50 U.A. è possibile scegliere anche il 2 pollici anche con una maggiore velocità; ciò è possibile poiché è relativo ad una portata simile al caso di 35 U.A.

## **4.2 Valutazione delle potenze in gioco**

Si procede ora con l'analisi delle perdite relative ad un edificio con un 44 unità abitative [17]. L'edificio in questione è descritto dalla figura sottostante. Come si evince, è un edificio formato da 6 piani; i primi 5 sono costituiti da 8 alloggi, mentre l'ultimo presenta 4 alloggi. Dato che è un grosso edificio, presenta un circuito di ricircolo, con un diametro di 20 mm, inferiore a quella destinata al consumo. Quest'ultima varia a lungo i piani, in quanto ad ogni piano diminuisce la portata poiché una parte viene destinata al consumo.

## SCHEMA CONFORMAZIONE TIPO DEI MONTANTI PER DISTRIBUZIONE SANITARIA

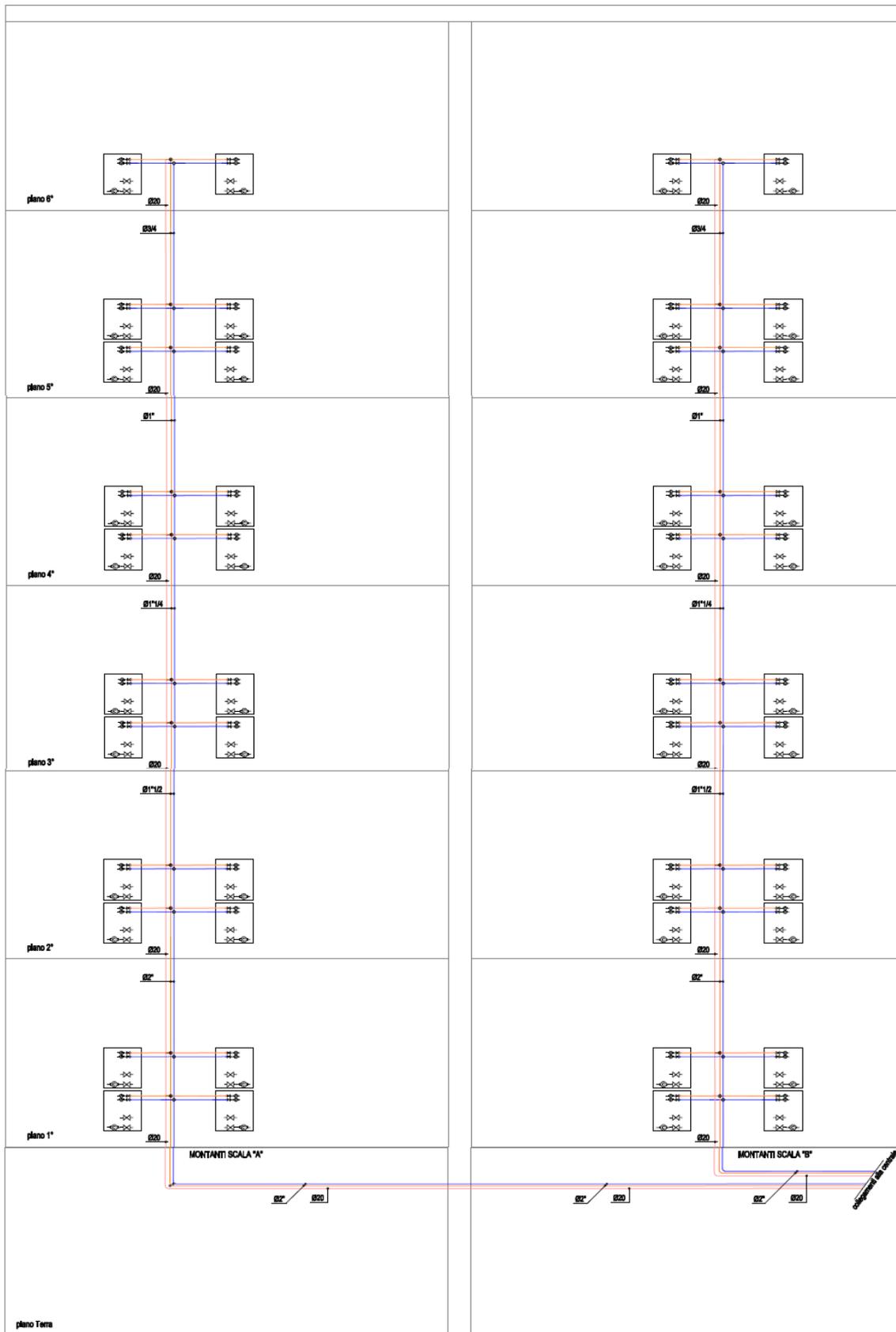


Figura 44..Condominio tipo per il calcolo delle dispersioni per il ricircolo [17]

#### 4.2.1 Perdite tubazione distribuzione

Si procede ora con l'analisi termica per le dispersioni. Per tale analisi, si è utilizzato un foglio di calcolo [18] per il calcolo della conduttività delle varie tubazioni; quindi si è potuto valutare la potenza persa e l'energia persa, prendendo in considerazione un tempo. Si sono fatti i calcoli per la tubazione destinata al consumo dell'ACS, al ricircolo e all'accumulo presenta nella centrale termica, quest'ultimo non presente nella figura soprastante.

<b>SCAMBIO TERMICO IN RISCALDAMENTO DELLE TUBAZIONI RIVESTITE DI ISOLANTE</b>						
	DIAMETRO NOMINALE TUBAZIONE	$\phi 3/4''$	$\phi 1''$	$\phi 1''1/4$	$\phi 1''1/2$	$\phi 2''$
$\alpha_1$	ADDUTTANZA UNITARIA DELLA SUPERFICIE INTERNA [W/mq K]	1046,7	1046,7	1046,7	1046,7	1046,7
$\alpha_2$	ADDUTTANZA UNITARIA DELLA SUPERFICIE ESTERNA [W/mq K]	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
$\lambda_1$	CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE TUBAZIONE [W/m K] (ACCIAIO)	47,683	47,683	47,683	47,683	47,683
$\lambda_2$	CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE ISOLANTE [W/m K] (ARMAFLEX)	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
$t_1$	TEMPERATURA FLUIDO INTERNO [°C] (ACQUA)	55	55	55	55	55
$t_2$	TEMPERATURA FLUIDO ESTERNO [°C] (ARIA)	20	20	20	20	20
$t_s$	TEMPERATURA SUPERFICIE ESTERNA TUBAZIONE ISOLATA [°C]	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
$s_i$	SPESSORE ISOLAMENTO TUBAZIONE [mm]	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
$d_1$	DIAMETRO INTERNO TUBAZIONE ACCIAIO [m]	0,0206	0,0274	0,0361	0,042	0,0531

d <sub>2</sub>	DIAMETRO ESTERNO TUBAZIONE ACCIAIO [m]	0,0264	0,0332	0,0419	0,0478	0,0596
d <sub>3</sub>	DIAMETRO ESTERNO TUBAZIONE ISOLATA [m]	0,0634	0,0702	0,0789	0,0848	0,0966
T	TRASMITTANZA LINEICA [W/m K]	0,25	0,29	0,34	0,37	0,44
	DISPERSIONE UNITARIA DELLA TUBAZIONE RIVESTITA [W/m]	8,68	10,12	11,92	13,12	15,52
	SVILUPPO TUBAZIONE [m]	10	10	10	10	50
Q	DISPERSIONE TOTALE [W]	87	101	119	131	776
	DISPERSIONE TOTALE [kW]	0,087	0,101	0,119	0,131	0,776
	ORE DI ESERCIZIO GIORNALIERE [h/gg]	14	14	14	14	14
	<b>MEDIA ENERGIA DISPERSA AL GIORNO [kWh<sub>t</sub>]</b>	<b>1,22</b>	<b>1,42</b>	<b>1,67</b>	<b>1,84</b>	<b>10,86</b>
	<b>MEDIA ENERGIA DISPERSA ALL'ANNO [kWh<sub>t</sub>]</b>	<b>443,8</b>	<b>516,9</b>	<b>608,9</b>	<b>670,6</b>	<b>3964,9</b>

Tabella 43. Calcoli dispersioni delle tubazioni della rete per il condominio tipo

Per il calcolo della trasmittanza lineica si segue la seguente formula:

$$T = \frac{\pi}{\frac{1}{(\alpha_1 * d_1)} + \frac{\ln(\frac{d_2}{d_1})}{(2 * \lambda_1)} + \frac{\ln(\frac{d_3}{d_2})}{(2 * \lambda_2)} + \frac{1}{(\alpha_2 * d_3)}}$$

dove le adduttanze si riferiscono al fluido a contatto con la tubazione: la prima è quella relativa all'acqua in movimento nel tubo internamente; la seconda è relativa all'aria a contatto con il tubo esternamente. Le conduttività, invece, si riferiscono agli strati della tubazione: il primo è in acciaio e il secondo è l'isolante.

Da questo valore, è possibile calcolare la dispersione per metro di lunghezza e quindi la potenza dispersa, moltiplicando prima per il salto termico tra interno ed esterno e, in seguito, per la lunghezza del tratto.

Infine, ipotizzando un utilizzo di 14 ore al giorno, si è potuta calcolare l'energia persa in un giorno e in un anno. Si è considerato un tempo di 14 h/gg poiché questa tubazione è utilizzata non solo per l'acqua destinata al consumo, ma anche per il trattamento anti-

legionella e per il ricircolo; quindi, essendo utilizzata, disperde calore in questo lasso di tempo.

I calcoli proposti, si svolgono per le diverse tubazioni utilizzate nell'edificio; la grossa differenza, oltre nei diametri, sta nella lunghezza della tubazione per ogni diametro di tubo. Infatti il più lungo è la tubazione da 2 pollici poiché parte dalla centrale termica e giunge fino agli alloggi del primo; per le altre si considerano 5 metri per piano.

Così facendo, si ottiene che la dispersione totale di energia giornaliera legata alla tubazione di distribuzione è di 17 kWh, mentre quella annuale è di 6.205 kWh, dove il 64% di questa energia proviene dalla tubazione dei 2 pollici. Il motivo risiede nella maggior trasmittanza lineica, dato che il diametro è maggiore e lo spessore dell'isolante è costante, e nella maggior lunghezza di tubo, il principale fattore.

#### 4.2.2 Perdite tubazione ricircolo

Similmente al calcolo per le tubazioni di distribuzione dell'ACS, si procede col calcolo delle perdite legate alla tubazione di ricircolo. I passaggi che si susseguono sono gli stessi relativi alla sezione precedente; viene proposta solo l'analisi di una tubazione di DN 20 poiché la tubazione del ricircolo ha lo stesso diametro in tutto l'edificio. Quindi, ne consegue che la tubazione ha una lunghezza pari alla somma dei tratti precedenti, cioè circa 100 m.

<b>SCAMBIO TERMICO DELLE TUBAZIONI DI RICIRCOLO RIVESTITE DI ISOLANTE</b>		
	DIAMETRO NOMINALE TUBAZIONE	$\phi$ 20
$\alpha_1$	ADDUTTANZA UNITARIA DELLA SUPERFICIE INTERNA [W/mq K]	1046,7
$\alpha_2$	ADDUTTANZA UNITARIA DELLA SUPERFICIE ESTERNA [W/mq K]	14,5
$\lambda_1$	CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE TUBAZIONE (ACCIAIO)	47,683
$\lambda_2$	CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE ISOLANTE [W/mq K] (ARMAFLEX)	0,038
$t_1$	TEMPERATURA FLUIDO INTERNO [°C] (ACQUA)	55
$t_2$	TEMPERATURA FLUIDO ESTERNO [°C] (ARIA)	20
$t_s$	TEMPERATURA SUPERFICIE ESTERNA TUBAZIONE ISOLATA [°C]	20,1
$s_i$	SPESSORE ISOLAMENTO TUBAZIONE [mm]	18,5
$d_1$	DIAMETRO INTERNO TUBAZIONE ACCIAIO [m]	0,02
$d_2$	DIAMETRO ESTERNO TUBAZIONE ACCIAIO [m]	0,0258
$d_3$	DIAMETRO ESTERNO TUBAZIONE ISOLATA [m]	0,0628
	TRASMITTANZA LINEICA [W/m K]	0,24
	DISPERSIONE UNITARIA DELLA TUBAZIONE RIVESTITA [W/m]	8,56
	SVILUPPO TUBAZIONE [m]	100
Q	DISPERSIONE TOTALE [W]	856
	DISPERSIONE TOTALE [kW]	0,856
	ORE DI ESERCIZIO GIORNALIERE [h/gg]	14
	<b>MEDIA ENERGIA DISPERSA AL GIORNO [kWh<sub>t</sub>]</b>	<b>12,0</b>
	<b>MEDIA ENERGIA DISPERSA ALL'ANNO [kWh<sub>t</sub>]</b>	<b>4372,3</b>

Tabella 44. Calcoli dispersioni per la rete di ricircolo del condominio tipo

In questo caso, il parametro più rilevante è la lunghezza della tubazione; questo fa sì che la potenza persa dalla rete sia quasi di un chilowatt. Quindi, con l'elevato numero di ore di esercizio, si raggiungono i 12 kWh di energia persa giornalmente. Così, si ottiene un quantitativo di energia persa annualmente di circa 4.400 kWh, che è dello stesso ordine di grandezza dell'energia persa dalla tubazione di distribuzione.

#### 4.2.3 Perdite accumulo

Infine, si calcola l'energia persa dall'accumulo; questo dato ci si aspetta non essere troppo elevato a causa del buon isolamento dell'apparecchio. I passaggi che si sono seguiti in questa sezione sono simili ai precedenti, la grossa differenza sta che bisogna calcolare due dispersioni del serbatoio: quella dovuta alla componente verticale del cilindro e quella relativa alle due superfici orizzontali del cilindro. Queste, poi, sono sommate e viene calcolata l'energia dispersa dall'intero componente.

<b>SCAMBIO TERMICO IN RISCALDAMENTO DEI SERBATOI RIVESTITI DI ISOLANTE</b>		
$\alpha_1$	ADDUTTANZA UNITARIA DELLA SUPERFICIE INTERNA [W/mq K]	1046,7
$\alpha_2$	ADDUTTANZA UNITARIA DELLA SUPERFICIE ESTERNA [W/mq K]	14,5
$\lambda_1$	CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE [W/m K] (ACCIAIO)	47,683
$\lambda_2$	CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE ISOLANTE [W/m K]	0,038
$t_1$	TEMPERATURA FLUIDO INTERNO [°C] (ACQUA)	60
$t_2$	TEMPERATURA FLUIDO ESTERNO [°C] (ARIA)	20
$t_s$	TEMPERATURA SUPERFICIE ESTERNA ISOLATA [°C]	20,0
$s_i$	SPESSORE ISOLAMENTO [mm]	100
$d_1$	DIAMETRO INTERNO ACCIAIO [mm]	900
$d_2$	DIAMETRO ESTERNO ACCIAIO [mm]	905,8
$d_3$	DIAMETRO ESTERNO CON ISOLAMENTO [mm]	1105,8
	ALTEZZA SERBATOIO [mm]	2000
	TRASMITTANZA UNITARIA CILINDRICA [U [W / (m K)]	1,2
$Q_1$	DISPERSIONE UNITARIA CILINDRO [W/m]	46,7
	DISPERSIONE TOTALE CILINDRO [W]	93
	TRASMITTANZA FONDELLI SERBATOIO COIBENTATI [U [W / (mq K)]	0,37
	SUPERFICIE TOTALE FONDELLI SERBATOIO [mq]	1,289
$Q_2$	DISPERSIONE TOTALE FONDELLI [W]	19,1
$Q_1+$	DISPERSIONE TOTALE [W]	112,6
$Q_2$	DISPERSIONE TOTALE [kW]	0,113
	DISPERSIONE TERMICA K [W/K]	2,8

	ORE DI ESERCIZIO GIORNALIERE [h]	24
	<b>MEDIA ENERGIA DISPERSA AL GIORNO [kWh<sub>t</sub>]</b>	<b>2,7</b>
	<b>MEDIA ENERGIA DISPERSA ALL'ANNO [kWh<sub>t</sub>]</b>	<b>986,1</b>

Tabella 45. Calcoli dispersioni dell'accumulo per il condominio tipo

Come anticipato, l'energia giornaliera persa dal componente è di un ordine di grandezza inferiore rispetto alla tubazione della distribuzione e del ricircolo; ciò è dovuto allo spessore dell'isolante, che è di un ordine di grandezza maggiore rispetto all'isolamento delle altre tubazioni. Ne deriva un'energia annuale persa di circa 990 kWh.

#### 4.2.4 Riepilogo

Si procede con la somma di questi contributi e si analizza il peso di ognuna di esse sul totale.

PERDITE CON TUBAZIONI ISOLATE						
Tipologia	Dispersione termica [W/K]	Ore giornaliere [h]	Potenza dispersa [kW]	Dispersione giornaliera [kWh <sub>t</sub> ]	Dispersione annuale [kWh <sub>t</sub> ]	Peso dispersione sul totale
Distribuzione	34,69	14	1,214	17,0	6.205,2	53,7%
Ricircolo	24,45	14	0,856	12,0	4.372,3	37,8%
Serbatoi	2,81	24	0,113	2,7	986,1	8,5%
Totale	61,956	/	2,183	31,7	11.563,6	100,0%

Tabella 46. Perdite totali con tubazione isolata del condominio tipo

Come anticipato, si vede che la dispersione termica della tubazione di distribuzione è simile a quella del ricircolo; mentre quella del serbatoio è di un decimo rispetto a queste due.

Invece, per quel che riguarda le dispersioni energetiche, soltanto una parte della quota di distribuzione deve essere rigenerata dalla fonte di calore; tale quota è pari circa al 60%. Invece le dispersioni legate al ricircolo e al serbatoio sono energie che devono essere rigenerate dal generatore. Questo perché nel ricircolo l'acqua poi torna nel serbatoio

mentre la quota di energia della rete di distribuzione che non deve essere rigenerata è ACS che viene utilizzata dall'utente.

Infine, si nota l'importanza dell'isolamento in tutte le parti della distribuzione, dall'accumulo alle tubazioni; infatti, la potenza totale dispersa è di poco superiore ai 2 kW. Se si confrontano questi valori con una tubazione di lunghezza identica ma con le sole tubazioni NON isolate, si ottengono valori di un ordine di grandezza superiore. Questo vuol dire un utilizzo ancora maggiore della sorgente di calore. Quanto detto è evidenziato dalla tabella sottostante.

PERDITE CON TUBAZIONI NON ISOLATE						
Tipologia	Dispersione termica [W/K]	ore giornaliere [h]	Potenza dispersa [kW]	Dispersione giornaliera [kWh <sub>t</sub> ]	Dispersione annuale [kWh <sub>t</sub> ]	Peso dispersione sul totale
Tubazione	200,89	14	7,031	98,4	35.929,2	62,4%
Ricircolo	115,64	14	4,048	56,7	20.682,8	35,9%
Serbatoi	2,81	24	0,113	2,7	986,1	1,7%
Totale	319,347	/	11,191	157,8	57.598,0	100,0%

Tabella 47. Perdite totali con tubazione non isolate del condominio tipo

Si propone ora una tabella che mette maggiormente in luce i vantaggi energetici di una rete avente un tubo isolato termicamente rispetto a una non isolata:

Tipologia	Dispersione annuale Tubazione NON isolata [kWh <sub>t</sub> ]	Dispersione annuale Tubazione isolata [kWh <sub>t</sub> ]
Tubazione	35.929	6.205
Ricircolo	20.683	4.372
Serbatoi	986	986
Totale	57.598	11.564

Tabella 48. Confronto perdite tubazione isolata e non isolata per il condominio tipo

Questo vantaggio di energia non dispersa usando una tubazione isolata si traduce nei seguenti risparmi, considerando come fonte primaria metano o energia elettrica:

Vettore energetico	Energia non dispersa [kWh/anno]	Costo vettore [€/kWh <sub>t</sub> ]	Risparmio [€/anno]
metano	46.034,5	0,092	4.250 €
energia elettrica		0,072	3.299 €

*Tabella 49. Risparmi dovuti all'utilizzo di una tubazione isolata per il condominio tipo*

## **Capitolo 5.**

### **Considerazioni sull'idoneità dei materiali delle tubazioni per la distribuzione dell'acqua calda sanitaria a partire dalla normativa vigente, con riferimento alla Norma UNI 9182 – 2014. Valutazioni tecnico-economiche sulle diverse tipologie di tubazioni per la distribuzione ed il ricircolo dell'acqua calda sanitaria**

#### **5.1 Quadro normativo**

Si intende ora sviluppare un'analisi riguardante i materiali che possono essere impiegati negli impianti sanitari. Dato che l'acqua usata è destinata al consumo umano, essa è normata secondo il d. lgs. numero 31 del 2 febbraio 2001 [19] e il d.lgs. numero 27 del 2 febbraio 2002 [20], le quali attuano la direttiva europea 98/83 CE [21]. Tali decreti definiscono la qualità dell'acqua che viene utilizzata negli edifici in modo da tutelare la salute degli utilizzatori.

Nel primo decreto legislativo, viene sancito che le acque devono essere salubri e pulite, ovvero gli eventuali microrganismi e parassiti devono essere in quantità inferiore a quanto sancisce il CE; infatti, nel decreto vengono ribaditi i limiti di tali concentrazioni.

**ALLEGATO I**  
**PARAMETRI E VALORI DI PARAMETRO \***

**PARTE A**

**Parametri microbiologici**

Parametro	Valore di parametro (numero/100ml)
Escherichia coli (E. coli)	0
Enterococchi	0

Per le acque messe in vendita in bottiglie o contenitori sono applicati i seguenti valori:

Parametro	Valore di parametro
Escherichia coli (E.coli)	0/250 ml
Enterococchi	0/250 ml
Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml
Conteggio delle colonie a 22°C	100/ml
Conteggio delle colonie a 37°C	20/ml

Figura 45. Parte A dell'allegato 1 del d.lgs. 31[19]

**PARTE B**

**Parametri chimici**

Parametro	Valore di parametro	Unità di misura	Note
Acilammide	0,10	µg/l	Nota 1
Antimonio	5,0	µg/l	
Arsenico	10	µg/l	
Benzene	1,0	µg/l	
Benzo(a)pirene	0,010	µg/l	
Boro	1,0	mg/l	
Bromato	10	µg/l	Nota 2
Cadmio	5,0	µg/l	
Cromo	50	µg/l	
Rame	1,0	mg/l	Nota 3
Cianuro	50	µg/l	
1,2 dicloroetano	3,0	µg/l	
Epilcloridrina	0,10	µg/l	Nota 1
Fluoruro	1,50	mg/l	
Piombo	10	µg/l	Nota 3 e 4
Mercurio	1,0	µg/l	
Nichel	20	µg/l	Nota 3
Nitrato (come NO <sup>3</sup> )	50	mg/l	Nota 5
Nitrito (come NO <sup>2</sup> )	0,50	mg/l	Nota 5
Antiparassitari	0,10	µg/l	Nota 6 e 7
Antiparassitari-Totale	0,50	µg/l	Nota 6 e 8
Idrocarburi policiclici aromatici	0,10	µg/l	Somma delle concentrazioni di composti specifici; Nota 9
Selenio	10	µg/l	
Tetracloroetilene	10	µg/l	Somma delle concentrazioni dei parametri specifici
Tricloroetilene			
Triometani-Totale	30	µg/l	Somma delle concentrazioni di composti specifici; Nota 10
Cloruro di vinile	0,5	µg/l	Nota 1
Clorito	200	µg/l	Nota 11
Vanadio	50	µg/l	

Figura 46. Parte B dell'allegato 1 del d.lgs. 31 [19]

## PARTE C

### Parametri indicatori

Parametro	Valore di parametro	Unità di misura	Note
Alluminio	200	µg/l	
Ammonio	0,50	mg/l	
Cloruro	250	mg/l	Nota 1
<i>Clostridium perfringens</i> (spore comprese)	0	Numero/100 ml	Nota 2
Colore	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale		
Conduttività	2500	µS <sub>cm</sub> <sup>-1</sup> a 20°C	Nota 1
Concentrazione ioni idrogeno	≥6,5 e ≤9,5	Unità pH	Note 1 e 3
Ferro	200	µg/l	
Manganese	50	µg/l	
Odore	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale		
Ossidabilità	5,0	mg/l O <sub>2</sub>	Nota 4
Solfato	250	mg/l	Nota 1
Sodio	200	mg/l	
Sapore	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale		
Conteggio delle colonie a 22°C	Senza variazioni anomale		
Batteri coliformi a 37°C	0	Numero/100 ml	Nota 5
Carbonio organico totale (TOC)	Senza variazioni anomale		Nota 6
Torbidità	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale		Nota 7
Durezza *			<b>Il limite inferiore vale per le acque sottoposte a trattamento di addolcimento o di dissalazione</b>
Residuo secco a 180°C **			
Disinfettante residuo ***			

Figura 47. Parte C dell'allegato 1 del d.lgs. 31 [19]

La parte A è relativa ai microrganismi, mentre le parti B e C riguardano le altre sostanze che possono essere presenti nell'acqua o che essa può erodere dalla tubazione. Infatti, per questo studio, non è tanto importante la qualità dell'acqua che c'è alla fonte dell'acquedotto, quanto assicurare la qualità di essa quando esce dalla tubazione. Quindi, la qualità della tubazione risulta molto rilevante al fine di salvaguardare le caratteristiche dell'acqua potabile.

Da questi due decreti, è stato emanato il d.m. 174 del 6 aprile 2004 [22] che presenta le condizioni dei materiali per gli impianti sanitari da attuare per assicurare, nel tempo, la qualità dell'acqua destinata al consumo umano durante il loro utilizzo. Viene sancito

che, quanto detto, valga anche per i raccordi, per le guarnizioni e per tutti gli accessori negli impianti che sono a contatto diretto con l'acqua.

Tale decreto, risulta importante perché sancisce quali tipologie di materiali possono essere impiegate per la distribuzione dell'acqua e quali devono essere le loro caratteristiche. In particolare, i materiali sono:

- i metalli e le loro leghe;
- i materiali a base di leganti idraulici;
- i materiali plastici;
- altre tipologie che necessitano di valutazione igienico-sanitaria.

Per quel che riguarda i metalli, possono essere usati acciai al carbonio, ghisa, acciai al carbonio zincato, acciaio inossidabile, alluminio, rame e le sue leghe. I leganti idraulici comprendono le fibre, gli smalti porcellanati, le ceramiche e il vetro. I materiali plastici che si possono usare sono tutte le gomme naturali e quelle sintetiche che possono stare a contatto con l'acqua.

Da questi decreti, è stata emanata la norma UNI 9182 nel 2014 [23], una norma tecnica, che ha l'obiettivo di massimizzare il rendimento dell'impianto di produzione di acqua calda e di ACS in modo tale da assicurare anche la salute degli utilizzatori. Quindi, si analizzano i principali parametri da tenere sotto controllo per ottenere lo scopo della norma.

In particolare, si considerano:

1. l'aspetto dell'acqua, ovvero le sostanze sospese e sedimentabili che essa può contenere. Queste possono provocare incrostazioni, depositi e corrosioni;
2. la temperatura che, misurata in punti strategici del circuito d'impianto, permette l'individuazione di alcuni fenomeni come le incrostazioni, corrosioni e crescite microbiologiche;
3. il pH, che deve essere riferito a 25°C, è anch'esso un dato utile per la rivelazione di incrostazione e corrosione;

4. la durezza, che è la somma di tutti i sali di calcio e di magnesio contenuti nell'acqua; anch'essa è causa di incrostazione nel circuito dell'impianto se non vengono prese le giuste precauzioni;
5. la presenza di ferro che, invece, può dare origine a depositi e/o corrosioni;
6. il rame, che può dare origine a corrosione locale e la presenza di esso deriva da fenomeni di corrosione della rete di distribuzione dell'acqua;
7. infine, la presenza di funghi, batteri e microrganismi, i quali possono alterare l'odore e il sapore dell'acqua o dare origine a fenomeni di corrosione.

L'importanza dell'analisi dell'acqua e della buona scelta dei materiali nella distribuzione serve a ridurre le perdite energetiche che si possono avere nell'impianto a causa della corrosione, dell'incrostazione, dei depositi e delle crescite biologiche che vanno a diminuire l'efficienza degli impianti termici.

## **5.2 Analisi di una tubazione in acciaio e una in multistrato**

Dalla normativa vigente, sia legislativa che tecnica, si vede come risulta importante l'analisi dell'acqua nel punto di prelievo, ma anche i materiali usati per distribuirla fino alle utenze, poiché, come visto, l'acqua non deve cambiare le proprie caratteristiche. Dunque, ora si analizzano tali materiali da un punto di vista termico, di perdite di carico e di costo.

### **5.2.1 Tubazione in acciaio inox**

Si procede con l'analisi della tubazione in acciaio della ditta Eurotis [24] quindi con l'analisi di una in multistrato della ditta Aquatechnik [25], entrambi conformi con le normative dei materiali per la distribuzione dell'acqua ad uso sanitario.

La prima analisi riguarda il CSST Eurowater in acciaio inox AISI 304. Il paragone fra le due tubazioni viene fatto per il tratto di tubazione del singolo appartamento, quindi viene considerata una portata molto più piccola rispetto alla totale che parte dall'accumulo.

Per quel che riguarda le perdite di carico, la ditta fornisce un grafico per tale calcolo che varia a seconda del diametro della tubazione e della portata:

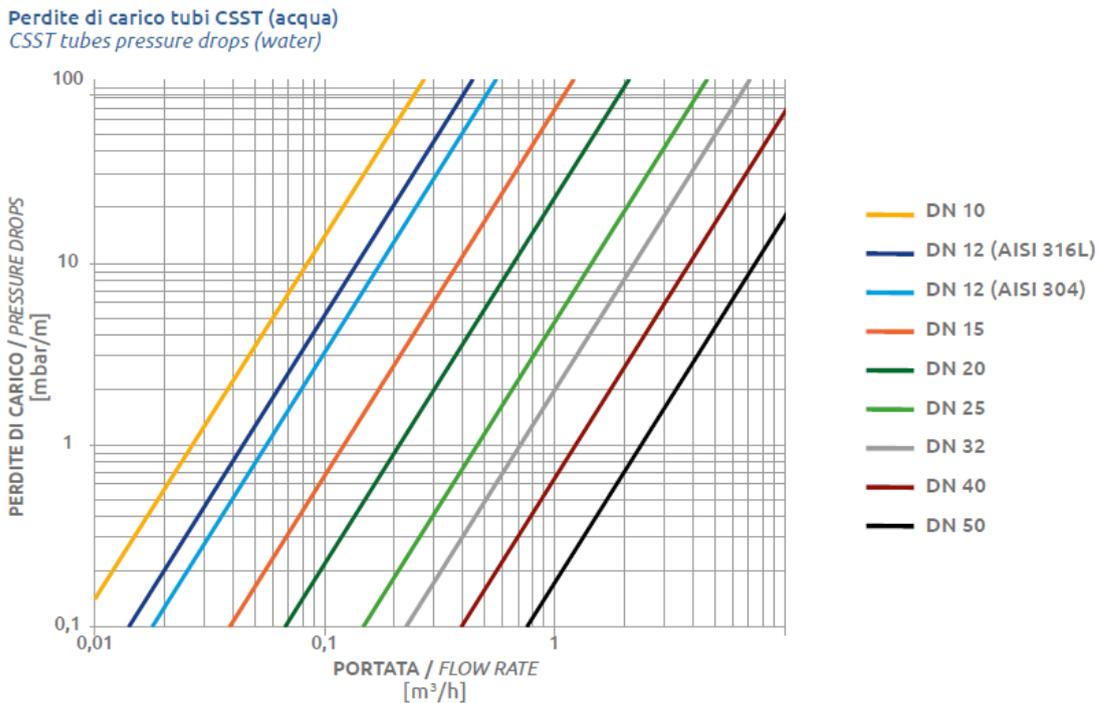


Figura 48. Perdite di carico del CSST dell'Eurotis [24]

Considerando una portata di 0,7 l/s, ovvero quella del singolo appartamento e facendo variare la velocità dell'acqua, si possono avere i seguenti diametri:

v [dm/s]	d [mm]
14	25
13	26
12	27
11	28
10	30
9	31
8,5	32
8	33
7	36
6	39
5	42

Tabella 50. Valori di velocità in riferimento al diametro a parità di portata

Seguendo il calcolo di una portata volumetrica,  $d = \sqrt[2]{\frac{4}{\pi} * \frac{\dot{V}}{v}}$ , se si diminuisce la velocità all'interno del tubo, aumenta il diametro dello stesso; viceversa, se si aumenta la velocità. La tabella XX mostra che i migliori diametri sono quelli che vanno dal 25 al 32, poiché riguardano velocità compatibili al passaggio dell'acqua senza comportare difficoltà tecnologiche e rumorosità.

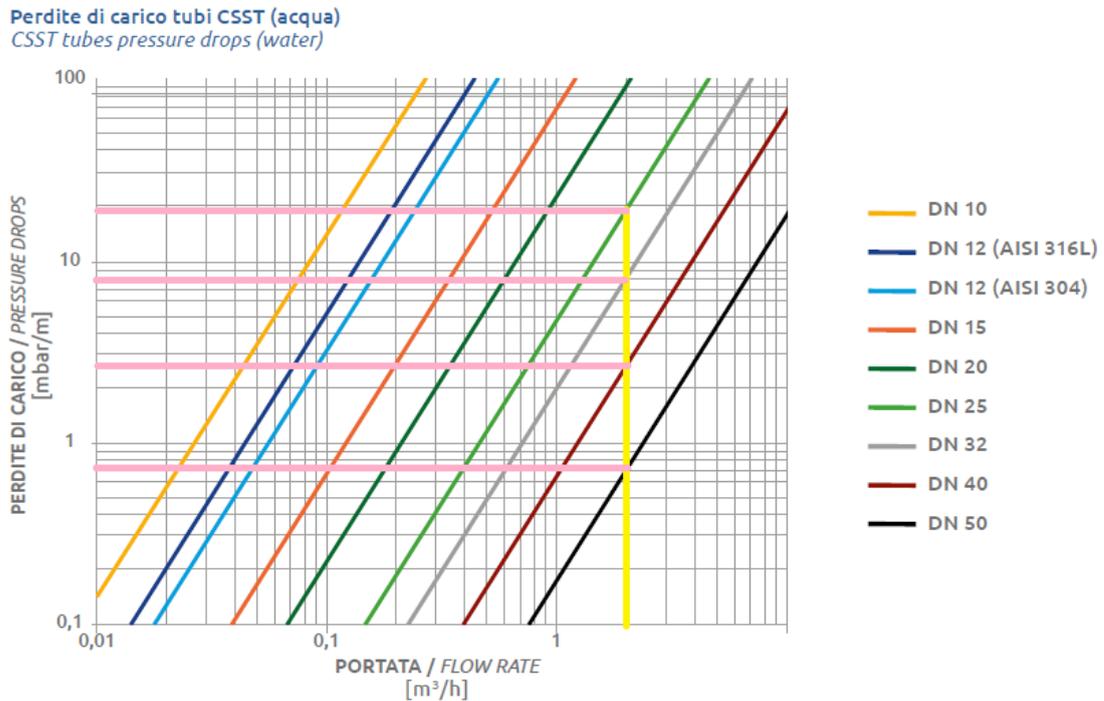


Figura 49. Perdite di carico per il CSST con portata 2m³/h [24]

Considerando i diametri che partono da 25 mm, si hanno le seguenti perdite di carico:

portata [m³/h]	Diametro [mm]	perdita [mm.c.a./m]
2	25	110
2	32	80
2	40	30
2	50	7
8	50	103

Tabella 51. Perdite di carico della tubazione in acciaio considerata in riferimento al diametro

L'ultimo caso, quello con portata di 8 m<sup>3</sup>/h con un diametro di 50 mm, è preso in considerazione poiché può essere una tubazione di collegamento, precedente a quella del singolo alloggio. Come già indicato, a parità di portata, se si sceglie un diametro più grande, la velocità del fluido diminuisce e diminuisce il rumore, tuttavia vi è un'esigenza di maggior spazio per far passare la tubazione.

Per quel che riguarda la conducibilità, essendo un tubo non rivestito da alcun materiale isolante, sarà maggiore, circa di 15 W/(m°C). Tuttavia, è possibile isolare il tubo con dell'isolante poliuretano, con conducibilità di 0,035 W/(m°C). Considerando di inserire un ultimo strato sottile, in modo da non rovinare il materiale isolante, si ottengono i seguenti valori di conducibilità dell'intera tubazione:

Conducibilità Acciaio					
DN	[mm]	25	32	40	50
α1	[W/(m°C)]	1046,7	1046,7	1046,7	1046,7
α2	[W/(m°C)]	14,5	14,5	14,5	14,5
λ1	[W/(m°C)]	15,00	15,00	15,00	15,00
λ2	[W/(m°C)]	0,035	0,035	0,035	0,035
λ3	[W/(m°C)]	0,4	0,4	0,4	0,4
d1	[mm]	26	33	40	51
d2	[mm]	33	41	47,7	61
d3	[mm]	87	107	107	122
d4	[mm]	90	110	110	125
λ TOT	[W/(m°C)]	0,226	0,229	0,271	0,316

Tabella 52. Valutazione conducibilità tubazione in acciaio INOX rivestita di isolante

Per il calcolo della conducibilità globale si è utilizzata la seguente formula per il calcolo della conducibilità di una struttura con più strati interni e a contatto con un fluido sul lato interno ed esterno:

$$\lambda_{TOT} = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 * d_1} + \frac{\ln(\frac{d_2}{d_1})}{2 * \lambda_1} + \frac{\ln(\frac{d_3}{d_2})}{2 * \lambda_2} + \frac{\ln(\frac{d_4}{d_3})}{2 * \lambda_3} + \frac{1}{\alpha_4 * d_4}} \left[ \frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

Invece il costo è pari a:

Codice Code	DN	Fil. connessione Connection thread	Spessore acciaio Steel thickness	Lungh./confezione Length / box	€/confez. €/pack	€/metro €/meter	Conf./box Packs/box
A01-0001-00661	25	1 1/4"		25 m	443,00	17,72	-
A01-0001-00662				50 m	886,00	17,72	-
A01-0001-04794	32	1 1/2"		10 m	212,60	21,26	-
A01-0001-03005				30 m	637,80	21,26	-
A01-0001-04791	40	2"	0,35 mm	10 m	249,10	24,91	-
A01-0001-04543				30 m	747,30	24,91	-
A01-0001-04792	50	2 1/2"	0,40 mm	10 m	326,50	32,65	-
A01-0001-04544				30 m	979,40	32,65	-

Figura 50. Costi per la tubazione CSST dell'Eurotis [24]

Logicamente, il costo aumenta all'aumentare del diametro, visto che è maggiore la quantità del materiale utilizzato; inoltre, tale costo è relativo al solo tubo in acciaio e non considera l'isolamento. Per quest'ultimo bisogna incrementare il costo al metro di circa 13 €/m.

### 5.2.2 Tubazione in multistrato

Si procede ora con l'analisi di una tubazione in multistrato prodotta dalla Aquatechnik. La tubazione scelta è Tubo faser ISO FIBER-COND. Questa presenta le seguenti perdite di carico:

Perdite di carico SDR 7,4 Continuous pressure drop SDR 7,4	Rugosità Rugosity	0,007																											
	Peso specifico Specific weight	998,00 kg/m³	977,20 kg/m³																										
	Temperatura Temperature	20°C	70°C																										
	Viscosità Viscosity	1,00E-06 m²/s	4,13E-07 m²/s																										
LEGENDA																													
Q= portata flow (l/s) De= Ø esterno ext.Ø (mm) Di= Ø interno int.Ø (mm)																													
R= perdita di carico continuous pressure drop (mbar/m) V= velocità speed (m/s)																													
Q	De	32	40	50	63	75	90	110	125																				
	Di	23,2	29,0	36,2	45,8	54,4	65,4	79,8	90,8																				
0,70	R	7,65	6,03	2,71	2,14	0,93	0,74	0,31	0,25	0,13	0,11	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	V	1,30	0,84	0,54	0,34	0,24	0,16	0,11	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
2,80	R			53,42	42,14	18,63	14,70	6,09	4,81	2,69	2,12	1,12	0,89	0,44	0,34	0,24	0,19												
	V			4,24	2,72	1,70	1,21	0,83	0,56	0,43																			

Figura 51. Perdite di carico del multistrato Aquatechnik per le due portate considerate [25]

Le portate considerate sono le stesse del caso precedente, ma misurate in l/s, e anche i diametri che si analizzano sono gli stessi. L'unica differenza è che il DN 25 dell'acciaio coincide con il DN 32 del multistrato.

portata [l/s]	DN [mm]	perdita [mm.c.a./m]	
		a 20 °C	a 70 °C
0,7	25	136,3	107,5
0,7	32	47,2	37,3
0,7	40	16,5	13
0,7	50	5,4	4,3
2,8	50	60,9	48,1

Tabella 53. Perdite di carico della tubazione multistrato considerata in riferimento al diametro

Per quel che riguarda la conducibilità della tubazione si usa la stessa formula precedentemente proposta con i valori indicati dalla scheda tecnica della tubazione in esame.

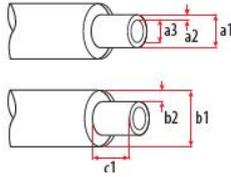
Conducibilità Multistrato					
DN	[mm]	25	32	40	50
$\alpha_1$	[W/(m°C)]	1046,7	1046,7	1046,7	1046,7
$\alpha_2$	[W/(m°C)]	14,5	14,5	14,5	14,5
$\lambda_1$	[W/(m°C)]	0,19	0,19	0,19	0,19
$\lambda_2$	[W/(m°C)]	0,0227	0,0227	0,0227	0,0227
$\lambda_3$	[W/(m°C)]	0,4	0,4	0,4	0,4
d1	[mm]	26,2	32,6	40,8	51,4
d2	[mm]	32	40	50	63
d3	[mm]	87	107	107	122
d4	[mm]	90	110	110	125
$\lambda_{TOT}$	[W/(m°C)]	0,139	0,141	0,181	0,208

Tabella 54. Conducibilità della tubazione in multistrato

Infine, il costo della tubazione analizzata è:



**TUBO faser ISO FIBER-COND**, tubo pluristrato con strato intermedio caricato con fibre speciali, strato interno colore bianco, strato esterno colore bianco con strisce grigie, preisolato con schiuma in PUR, protetto da tubo in PE-HD colore nero.  
 Confezione: barre da 11,60 m



COD	SDR	Tubo interno				b1	b2	c1	€/m
		a1	a2	a3	DN				
61462UPL	11	32	2,9	26,2	25	90	26,0	190	44,15
61464UPL	11	40	3,7	32,6	32	110	32,0	190	49,99
61466UPL	11	50	4,6	40,8	40	110	27,0	190	53,56
61468UPL	11	63	5,8	51,4	50	125	28,0	190	59,10
61470UPL	11	75	6,8	61,4	65	140	29,5	190	66,44
61472UPL	11	90	8,2	73,6	80	160	32,0	190	79,73

Figura 52. Costo del multistrato Acquatechnik [25]

### 5.3 Comparazione delle tubazioni studiate

Si procede ora con il confronto tra le due tecnologie:

$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]	DN [mm]	perdita [mm.c.a./m]			Conduttività tubazione [W/(m°C)]			costo [€/m]		
		Acciaio	Multistrato	riduzione perdite	Acciaio	Multistrato	riduzione conduttività	Acciaio	Multistrato	riduzione costo
2	25	110	76	31%	0,226	0,139	38%	30,7	44,2	31%
2	32	80	27	66%	0,229	0,141	38%	34,3	50	31%
2	40	30	9	69%	0,271	0,181	33%	37,9	53,6	29%
2	50	7	3	56%	0,316	0,208	34%	45,7	59,1	23%
8	50	103	61	41%	0,316	0,208	34%	45,7	59,1	23%

Tabella 55. Confronto tubazione in acciaio INOX isolato e in multistrato

Come si evince dalla tabella, le perdite di carico sono inferiori per la tubazione in multistrato, data la minor rugosità della plastica rispetto all'acciaio, e lo stesso si può dire per la conduttività dell'intera tubazione. Invece, i costi per la tubazione in acciaio sono, in media, inferiori del 25% per ogni diametro analizzato. Tuttavia, l'aumento del costo della tubazione è giustificato, viste le minor perdite di carico e quelle per dispersioni. Una buona pratica è quella di usare entrambi i materiali, anche per ridurre i costi legati alla distribuzione dell'ACS; quindi, si può utilizzare l'acciaio per la prima parte del circuito, per esempio fino al primo collettore, dopodiché usare il multistrato.

## **Capitolo 6. Normativa vigente in materia di trattamenti anti-legionellosi, e normativa vigente in tema di esercizio degli impianti centralizzati**

Il termine *legionellosi* denota ogni infezione, la cui causa sono le diverse specie di batteri del genere *Legionella*. Questi ultimi infettano i polmoni, procurando una polmonite chiamata malattia dei legionari.

La legionella si manifestò la prima volta in America nel 1976 e il numero dei casi è ancora oggi in continua crescita, anche per una sempre più ampia conoscenza e per la capacità di mappare la sua presenza e le sue manifestazioni.

La legionella si può contrarre dall'inalazione di microgocce d'acqua in cui sono presenti i batteri del genere *Legionella*. Tali batteri si possono trovare in natura in ambienti di acqua dolce, come le acque fluviali e lacustri, e da qui diffondersi nei sistemi idrici antropici, quali le reti cittadine di distribuzione dell'acqua o gli impianti idrici di un singolo edificio. Gli impianti che presentano un maggior rischio di presenza del batterio sono quelli che prevedono un accumulo di acqua sanitaria, in quanto quest'acqua, rimanendo ferma a una temperatura intorno ai 40° C presenta una maggior proliferazione della legionella. Tale acqua, se non opportunamente trattata, può provocare la malattia se venissero aspirate le microgocce.

È importante precisare che la legionella può essere trasmessa molto raramente da uomo a uomo e viene più facilmente contratta direttamente dall'inalazione di microgocce contaminate.

Risulta necessaria la messa in atto di tutte le misure anti-legionellosi nella costruzione e nella manutenzione degli impianti idrici per prevenire e per ridurre il rischio di crescita e di diffusione della legionella.

### **6.1 Normativa vigente in materia di trattamenti anti-legionellosi**

Al fine di ridurre il rischio di contagio, esistono molti trattamenti, sia chimici che fisici, che si possono attuare. Questi trattamenti sono riportati nelle Linee guida per la

prevenzione ed il controllo della legionellosi [26], in particolare nell'allegato 13. Tale documento, viene pubblicato nel maggio 2015 a seguito di due documenti, trattanti materia legionella, pubblicati nel 2000 e nel 2005.

In particolare, i trattamenti si dividono in due categorie [15]:

- misure a breve termine, ovvero la decalcificazione degli elementi meno usurati e/o la sostituzione degli elementi più usurati;
- misure a lungo termine, ovvero dei trattamenti, termici e non, che vengono attuati più frequentemente durante la vita dell'impianto.

Le misure a breve termine sono necessarie in tempi specifici e riguardano soltanto parti specifiche dell'impianto, soprattutto le parti terminali, quali i flessibili delle docce oppure i filtri dei rubinetti. Invece, di maggior interesse sono le misure a lungo termine. In particolare, esse riguardano i seguenti trattamenti:

- filtrazione al punto di utilizzo;
- trattamenti termici;
- irraggiamento UV
- trattamenti chimici.

La filtrazione al punto di utilizzo prevede l'utilizzo di una barriera meccanica in grado di rimuovere la Legionella; essendo una barriera fisica, essa si intasa con l'utilizzo, pertanto è da sostituire periodicamente. Tale filtro è da inserire localmente dove l'acqua viene erogata.

Il trattamento termico, invece, prevede il mantenimento dell'ACS a elevate temperature, intorno ai 50° – 60° C; questo perché, con tali temperature, viene inibita la capacità di proliferazione del batterio. Come visto nel capitolo 3, il trattamento termico può essere attuato in due modalità diverse: lo shock termico e la disinfestazione termica.

Il primo consiste nel mantenere l'acqua tra i 70° C e gli 80° C per tre giorni consecutivi assicurando il deflusso dell'acqua da tutti i punti di erogazione per almeno 30 minuti al giorno. Questa procedura ha il vantaggio di non richiedere particolari attrezzature e garantisce l'efficacia dell'intervento; tuttavia, essa è di difficile attuazione, dato che

bisogna far defluire l'acqua da tutti i rubinetti per almeno 1 ora e mezza per i tre giorni dell'intervento. Le altre difficoltà sono legate al raggiungimento delle elevate temperature, all'elevato costo del trattamento e del personale e degli strumenti utili per misurare i vari parametri del trattamento. Infine, lo shock termico ha una durata maggiore come intervento di prevenzione batterica se, dopo l'attuazione dello stesso, l'acqua circolante ha una temperatura maggiore o uguale a 50° C.

L'altro trattamento termico, la disinfestazione termica, consiste nel mantenimento dell'acqua nell'accumulo a 60° C e far circolare l'acqua nella rete di distribuzione tra i 48° e i 55° C per almeno 30 minuti al giorno. Così facendo, nel serbatoio non c'è probabilità di generazione di Legionella. Gli svantaggi di questo intervento sono legati al costo del trattamento, sempre oneroso ma non richiede l'utilizzo di acqua da parte delle utenze, e al fatto che bisogna tenere l'acqua a temperature più alte possibile, evitando i 48° C. Questo perché si limita l'efficacia del trattamento.

L'irraggiamento UV, invece, è un metodo alternativo per la disinfestazione della Legionella. Tale procedura prevede l'utilizzo di una luce ultravioletta, appunto, a 240 nm in grado di inattivare i batteri, così che, se anche fossero inalati dall'uomo, non costituiscono un problema per l'umano. Per fare ciò, il sistema che genera la luce ultravioletta deve essere installato localmente vicino al punto di utilizzo. I vantaggi di questa procedura sono la facilità di installazione del dispositivo anche su impianti esistenti e il fatto che l'acqua trattata mantiene le proprie proprietà, senza variare, quindi, il sapore, come avviene per i trattamenti chimici. Tuttavia, lo spessore del flusso d'acqua deve essere limitato fino a 3 cm e l'acqua non deve essere torbida.

I trattamenti chimici riguardano l'introduzione di cloro nell'acqua dell'impianto poiché, essendo un'ossidante, inattiva il batterio se la concentrazione di cloro libero nell'acqua è tra 1 e 3 mg/l; come per i trattamenti termici, si dividono in due: l'iperclorazione shock e l'iperclorazione continua. Le caratteristiche che hanno in comune sono quella di alterare la composizione dell'acqua sanitaria e che la concentrazione di cloro da immettere varia a seconda delle proprietà chimiche e chimico-fisiche dell'acqua che si preleva dalla rete idrica.

L'iperclorazione shock si attua dopo aver disattivato il riscaldamento e le temperature nell'impianto sono minori di 30° C; a questo punto si inserisce il disinfettante, sotto forma di ipoclorito di sodio o di calcio, nell'acqua di reintegro fino ad ottenere una concentrazione di cloro libero tra i 20 e i 50 mg/l. dopo un periodo che va da un'ora a due ore, si smaltisce parte dell'acqua dell'impianto, ad alto contenuto di cloro e la si reintegra con acqua della rete idrica in modo da ottenere una concentrazione di cloro di 0,5-1 mg/l in punti distali dell'impianto. L'iperclorazione shock ha il vantaggio di essere un trattamento forte; però, come lo shock termico, la sua azione dura al massimo qualche mese, quindi deve essere ripetuto; inoltre ha un'azione fortemente corrosiva per le tubazioni della rete di distribuzione.

L'iperclorazione continua, come dice il termine stesso, prevede l'introduzione dello stesso disinfettante in modo continuo, in modo che esso sia compreso tra 1 e 3 mg/l. Tale concentrazione permette di minimizzare la colonizzazione da Legionella; come per l'iperclorazione shock, c'è il rischio di corrosione delle tubature. Inoltre, dato che la concentrazione che si genera per limitare il batterio non è compatibile con i limiti di concentrazione dell'acqua destinata al consumo umano, bisogna avere delle misure cautelative.

Similmente a queste due modalità, esistono altri trattamenti chimici che prevedono l'utilizzo di biossido di cloro, di ozono, di monocloramina o degli ioni di argento e di rame. Tuttavia, queste procedure necessitano ancora di verifica di funzionalità.

## **6.2 Normativa vigente in tema di esercizio degli impianti centralizzati**

Per quel che concerne la conduzione di un impianto termico atto alla produzione di acqua calda sanitaria, si fa riferimento nuovamente alla norma tecnica 9182 [23]. Questa sancisce che la scelta dei trattamenti anti Legionella deve essere conforme alla tipologia di impianto che si installa e alle qualità dell'acqua che si preleva dalla rete. Tuttavia, è consigliabile avere un filtro di sicurezza.

Inoltre, specifica che la scelta dei trattamenti viene fatta dal committente, a seguito delle proposte fatte dal progettista. Il committente sceglie sulla base delle proposte del progettista a seconda della tecnologia e del suo costo.

Sicuramente, una buona scelta può essere quella di un mix di trattamenti anti Legionella, così da diminuire maggiormente il rischio di contrarre la malattia annessa ad esso. Quindi, è consigliabile la scelta del filtro localizzato nel punto di utilizzo, come da normativa; sicuramente anche un trattamento termico trova il suo spazio e la sua affidabilità, data dagli ultimi anni di utilizzo nei vari condomini. Tra le due possibilità, sicuramente la meno dispendiosa sia da un punto di vista termico che economico è la disinfestazione termica rispetto allo shock termico. I trattamenti chimici possono essere consigliabili laddove non si voglia installare il sistema ad ultravioletti. Quest'ultimo può essere evitato se presente un trattamento termico, altrimenti risulta indispensabile.

Ne si deduce che, al momento presente, i trattamenti chimici anti Legionella possano non essere presente negli impianti termici per ACS, visti i loro svantaggi tecnico-salutari.

## Capitolo 7.

### **Valutazione in ipotetico intervento di efficientamento in edificio di 20, 35 e 50 unità abitative dei costi/benefici delle soluzioni realizzabili e dei relativi tempi di rientro**

Il lavoro svolto fino a questo punto verteva sul dimensionamento e sull'analisi tecnico-economica dei vari sistemi per la produzione di acqua calda sanitaria per un impianto nuovo in differenti condomini. Con questo capitolo, si sposta l'analisi su dei condomini con le stesse esigenze ma aventi un impianto esistente per la produzione di ACS. Lo scopo di tale capitolo è andare a valutare i possibili interventi che si possono attuare di efficientamento energetico sia a livello tecnico che economico.

Per ogni condominio, si ipotizza che lo stato attuale dell'impianto per la produzione di ACS consista in una caldaia a metano con un rendimento stagionale del 92%. Inoltre, all'inizio di ogni paragrafo, si richiamano i valori di potenze ed energie in gioco calcolate ai capitoli 2 e 3. Per ulteriori calcoli di dimensionamento si utilizzano gli stessi modelli mostrati nei capitoli citati.

I possibili interventi che si possono fare per abbassare i costi di esercizio e, come causa di questo vantaggio economico, aumentare l'efficienza dell'impianto attraverso l'utilizzo di tecnologie nuove sono:

- il primo, e il più semplice, è la sostituzione della caldaia obsoleta con una caldaia a condensazione odierna; il vantaggio consisterà nel miglioramento del rendimento della macchina;
- il secondo intervento consiste nell'allacciamento di una pompa di calore con la caldaia obsoleta, in modo da avere una generazione ibrida; la pompa di calore svolge il ruolo di preriscaldamento dell'acqua nell'accumulo;
- il terzo consiste nell'allacciamento della pompa di calore ad una caldaia a condensazione nuova; la pdc servirà sempre come preriscaldamento dell'ACS;

- infine, il quarto intervento consiste nell'introduzione di un circuito di preriscaldamento dell'acqua, alimentato da un solare termico e da una pompa di calore, collegato a una caldaia a condensazione.

Si studiano ora questi quattro casi per i tre condomini con differenti alloggi; in particolare, viene analizzato in sintesi il dimensionamento, il costo di esercizio della tecnologia e il tempo di rientro. Dopodiché, si comparano gli interventi e si valuta il migliore da un punto di vista tecnico-economico.

## **7.1 Interventi di efficientamento in un edificio esistente di 20 U.A.**

Si inizia con lo studio del caso riguardante il condominio con 20 unità abitative.

### **7.1.1 Valutazione potenza caldaia attuale e costi di esercizio per 20 U.A.**

Si considera come situazione esistente una caldaia a metano come fonte di calore; in particolare una caldaia con un rendimento stagionale del 92%. La situazione attuale viene studiata attraverso gli stessi calcoli utilizzati nel capitolo 2; in particolare si hanno i seguenti valori:

DATI		
Numero alloggi	20	
Consumo periodo punta	260	l
F (n alloggi)	0,4	-
Temperatura utilizzo	40	°C
Temperatura acqua prelievo	13	°C
Temperatura accumulo	50	°C
tempo periodo punta	1,5	h
tempo periodo preriscaldamento	2	h
$C=F*n*c$	2080	l
$Qn=C(Tu-Tf)/(tpp+tpr)$	16046	kcal/h
$Vb=Qn*tpr/(Ta-Tf)$	867	l
CALDAIA PRESENTE - sostituita con condensazione		
docce in contemporanea	4	-
portata	0,80	kg/s
$\Delta T$	35	°C
cp	4,186	kJ/(kg*s)
Potenza caldaia	117	kW

Tabella 56. Valutazione potenza caldaia per 20 U.A.

Si riportano ora l'energia necessaria per il condominio da 20 alloggi, comprese le energie spese per il trattamento antibatterico e quelle relativa alle perdite per il ricircolo.

Stima energia perse		
d	1,60	cm
A	2,01	cm <sup>2</sup>
v	75	cm/s
portata volumica	150,7	cm <sup>3</sup> /s
densità	0,000985	kg/cm <sup>3</sup>
portata massica	0,15	kg/s
potenza anti Legionella	29,2	kW
tempi anti Legionella [h]	0,5	h/gg
Potenza persa ricircolo	12,5	kW
tempo ricircolo	10	h/gg
Energia anti Legionella	5.330	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ricircolo	45.625	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ACS	55.937	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia totale	106.893	kWh <sub>t</sub> /anno

Tabella 57. Stima energie perse annualmente per 20 U.A.

Utilizzando il software di Paradigma, si stima l'energia necessaria annualmente per produrre l'acqua calda; quindi si stima l'energia utilizzata per il trattamento anti Legionella e quella persa per il ricircolo. I passaggi utilizzati sono gli stessi del capitolo 3.

Quindi 106.893 kWh<sub>t</sub>/anno è l'energia che serve annualmente per l'intero condominio, compresa del trattamento antibatterico e del ricircolo.

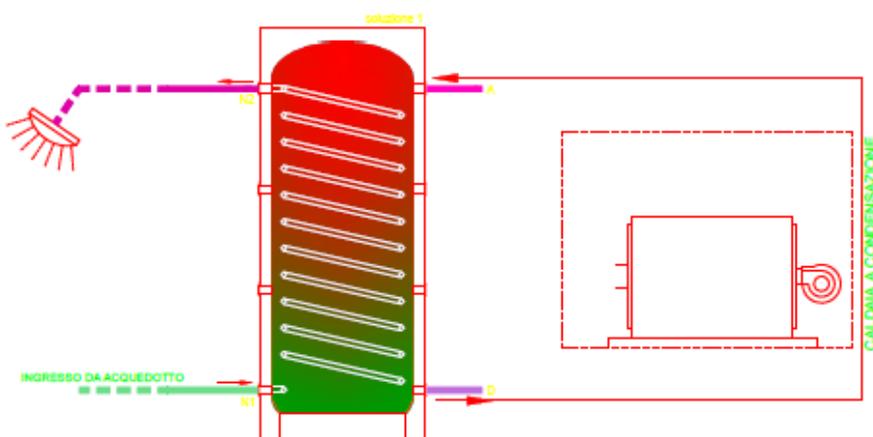
Logicamente, essendo lo stato attuale una caldaia obsoleta, ci si aspetta che i costi di esercizio siano elevati. Infatti, essi sono di 10.567 €/anno; ciò è dovuto principalmente al basso rendimento della caldaia.

Costi esercizio attuali	
rendimento [-]	0,92
costo metano [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,1024
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	106.893
costo annuale [€/anno]	10.941 €

Tabella 58. Stima costi esercizio con caldaia obsoleta per 20 U.A.

### 7.1.2 Sostituzione con caldaia a condensazione per 20 U.A.

Il primo intervento possibile consiste, appunto, nella semplice sostituzione della caldaia



già presente con una a condensazione con migliore rendimento. Inoltre, per far sì che il rendimento sia massimo, è bene che essa sia collegata come in figura 4.

Quindi, la potenza della nuova caldaia sarà la stessa di quella installata, o comunque molto simile.

LISTOCATALOGO

**RIELLO**

#### DATI TECNICI

Denominazione commerciale	Potenza kW			Rendimento			Classe energetica	Codice n.	Prezzo Euro
	utile 80°/60° max	utile 50°/30° max	Focolare min-max	utile Pn (80°/60°) %	utile Pn (50°/30°) %	utile 30% Pn (50°/30°) %			
CONDEXA PRO 35 P	34,4	38,0	9,0-34,9	98,4	108,7	109,5	A	20115221	3.649,00
CONDEXA PRO 50 P	44,2	48,8	9,0-45,0	98,3	108,6	109,2	A	20115222	3.772,00
CONDEXA PRO 57 P	55,7	61,9	14,0-57,0	98,3	108,6	109,2	A	20115223	4.961,00
CONDEXA PRO 70 P	67,0	73,9	14,0-68,0	97,9	108,1	108,8	A	20115224	5.464,00
CONDEXA PRO 90	88,3	97,4	19,4-90,0	98,0	108,3	108,9	-	20115225	5.433,00
CONDEXA PRO 100	95,3	105,1	19,4-97,0	97,9	108,2	108,8	-	20115226	5.597,00
CONDEXA PRO 115	109,8	121,1	22,4-112,0	98,3	108,6	108,8	-	20115228	5.771,00
CONDEXA PRO 135	129,0	142,1	26,2-131,0	97,9	108,3	108,9	-	20115229	6.530,00

Figura 53. Catalogo caldaia Condexa Pro Riello [10]

In particolare, si opta per una Condexa Pro 115 della Riello; la potenza è di circa 120 kW, perché si prende in considerazione la potenza che tale generatore riesce a produrre con un salto termico dell'acqua di 50°/30° C. Il costo è di 5.771 €; oltre a questo, si aggiunge una spesa di 2.500 € relativo al costo di accessori ausiliari e all'installazione dei macchinari. Invece, il costo di esercizio con la nuova caldaia è di 9.269 €.

Costi esercizio caldaia condensazione	
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	106.893
rendimento [-]	1,086
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0867
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	106.893
costo annuale [€/anno]	9.269 €

Tabella 59. Stima costi esercizio con caldaia a condensazione per 20 U.A.

Con tale sostituzione si ha un vantaggio sui costi di esercizio di 1.615 €; e porta a un risparmio di circa 8.00 € al decimo anno. Sicuramente è una sostituzione semplice e con un tempo di rientro relativamente breve di cinque anni.

Edificio da 20 U.A.	Caldaia a condensazione
Costo iniziale tecnologia più efficiente	8.270 €
costo esercizio riferimento	10.941 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	9.269 €
Risparmio annuale	1.672 €
tempi di rientro	4,9
Risparmio al 5o anno	92 €
Risparmio al 10mo anno	8.454 €
Risparmio al 20mo anno	25.177 €

Tabella 60. Stima tempo di rientro e risparmi con una caldaia a condensazione per 20 U.A.

### 7.1.3 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento della caldaia obsoleta per 20 U.A.

Un altro intervento di efficientamento energetico è quello di inserire una pompa di calore che serva da preriscaldamento dell'acqua dell'accumulo. Il vantaggio principale è che aumenta il rendimento della pdc; ciò è dovuto dal limitato salto di temperature a cui lavora la macchina. Infatti, diversamente dalla pompa di calore utilizzata per i condomini nuovi, questa scalda l'acqua dalla temperatura di ingresso, circa 13° C, a una temperatura di 42°C, e non di 50° C. Quanto detto, fa aumentare il rendimento della macchina e quindi diminuisce i costi.

L'allacciamento di questo generatore composto con l'impianto è quello che deve prevedere il miglior rendimento delle due tecnologie; pertanto è il seguente:

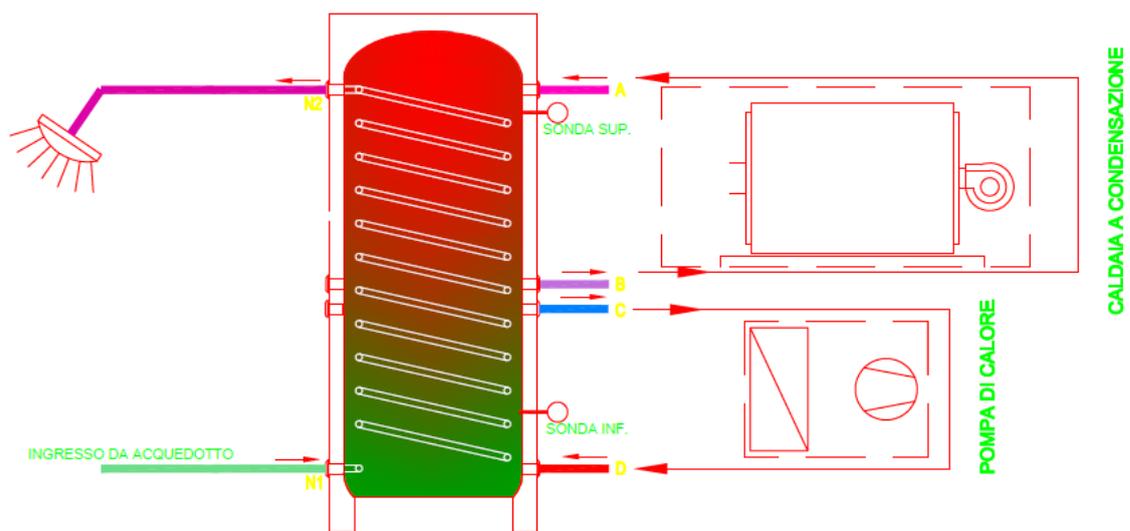


Figura 54. Schema funzionale del generatore ibrido con l'accumulo

Seguendo il modello Rossato [11], utilizzando come temperatura di utilizzo la temperatura a cui arriva il preriscaldamento, ovvero 35° C, si trova la potenza della macchina:

POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA		
Temperatura ingresso	13	°C
Temperatura preriscaldamento	42	°C
t periodo punta + t preriscaldamento	3,5	h
$C=F*n*c$	2.080	l
$P=C*tp*(Tu-Tf)/(tp+tp_r)$	26	kW

Tabella 61. Dimensionamento pompa di calore per 20 U.A.

AURA		[Versione INVERTER]										GSI High Performance System	
Dati Tecnici		Technical Data											
AURA		Mod 106		109		112		115		118		124	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
FUNZIONAMENTO: INVERNALE - A7/W35 Aria/Radiante / OPERATION: WINTER - A7/W35 Air/Radiant Floor													
Pot.Termica / Thermal Power Plant	kW	1,54	6,05	2,29	8,64	3,43	12,79	4,48	15,29	4,81	17,64	5,85	21,74
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m <sup>3</sup> /h	0,26	1,04	0,39	1,49	0,59	2,20	0,77	2,63	0,83	3,03	1,01	3,74
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,45	1,35	0,63	1,88	0,84	2,79	1,05	3,36	1,42	4,07	2,31	5,00
COP		4,49		4,59		4,59		4,55		4,33		4,35	

Figura 55. Catalogo pdc Aura della GSI [10]

Quindi, dal catalogo della GSI relativo alle pompe di calore Aura, si sceglie il modello 124; la potenza installata, 21 kW, è di poco inferiore a quella calcolata, 26 kW. Come visto precedentemente, questo non costituisce un problema. Il COP della macchina che si considera è di poco inferiore, ovvero 4; viene preso questo valore perché il COP di 4,35 è considerato con una temperatura di mandata intorno ai 35° C, mentre, nel nostro caso, tale temperatura è di circa 45° C. pertanto è bene ridurre il COP.

Il costo della macchina è di circa 8.500 €, considerando anche il costo di installazione e di altre attrezzature ausiliarie, il costo iniziale si è di 11.500 €.

Il funzionamento dell'impianto ibrido è quello che una parte di tutta l'energia è prodotta mediante la pdc, e la restante parte dalla caldaia. Per valutare la frazione prodotta dalla pompa di calore e quella della caldaia si utilizzano le temperature in gioco: quella di ingresso, quella di preriscaldamento e quella di uscita. Da queste, si valuta la percentuale di energia prodotta da una fonte mediante questa formula:

$$frazione\ pdc = \frac{T_{preriscaldamento} - T_{ingresso}}{T_{accumulo} - T_{ingresso}}$$

Questo perché il primo salto termico è relativo alla pdc, mentre il denominatore si riferisce all'intero salto che l'acqua deve subire; la frazione relativa alla caldaia è il complemento a uno di tale formula.

Temperatura ingresso	13
Temperatura preriscaldamento [°C]	42
Temperatura accumulo [°C]	48
frazione pdc	82,9%
frazione caldaia	17,1%

Tabella 62. Frazione energia prodotta da pdc e da caldaia per 20 U.A.

Logicamente, la frazione relativa alla pdc è maggiore poiché il salto termico è maggiore rispetto a quello della caldaia; tale fattore viene in vantaggio dei costi di esercizio visto l'alto rendimento della pompa di calore.

Quindi, i costi di esercizio sono, applicando la frazione di energia prodotta per ogni tecnologia rispetto all'energia totale da produrre:

Costi installazione ibridi con caldaia obsoleta		
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	106.893	
Generazione	Caldaia obsoleta	Pompa di Calore
rendimento [-]	0,92	4
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,1024	0,0538
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	18.324	88.568
costo annuale	1.876 €	4.761 €
totale costo esercizio	6.636 €	

Tabella 63. Stima costi esercizio con generazione ibrida con caldaia obsoleta per 20 U.A.

È ora possibile valutare il tempo di rientro di questa soluzione e i ricavi che ne conseguono:

Edificio da 20 U.A.	Ibrida con caldaia obsoleta
Costo iniziale tecnologia più efficiente	11.500 €
costo esercizio riferimento	10.941 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	6.636 €
Risparmio annuale	4.305 €
tempi di rientro	2,7
Risparmio al 5o anno	10.024 €
Risparmio al 10mo anno	31.548 €
Risparmio al 20mo anno	74.596 €

*Tabella 64. Stima tempi di rientro e risparmi con generazione ibrida con caldaia obsoleta per 20 U.A.*

Come anticipato, l'effetto del preriscaldamento si vede sulla riduzione dei costi di esercizio: il risparmio annuale risulta più che raddoppiato rispetto alla sola sostituzione della caldaia con una a condensazione.

#### **7.1.4 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento ad una caldaia a condensazione per 20 U.A.**

Questa tipologia di intervento è simile alla precedente, l'unica differenza consiste nel sostituire anche la caldaia obsoleta con una più efficiente. Lo scopo di questa sostituzione è quella di valutare quanto influisce la sostituzione della caldaia.

L'allacciamento è lo stesso del caso precedente.

Per questo intervento, i calcoli di dimensionamento sono già presenti nelle sezioni precedenti, in quanto la potenza della caldaia non varia e anche la pompa di calore viene dimensionata nello stesso modo. Pertanto, il costo di installazione è di:

Costi installazione ibridi con caldaia a condensazione		
Generazione	potenza	costo installazione
caldaia	121 kW	5.770 €
pdc	21 kW	8.500 €
installazione	-	4.500 €
<b>totale</b>	<b>18.770 €</b>	

Tabella 65. Stima costi di installazione relativi a una generazione ibrida nuova per 20 U.A.

Per quel che concerne i costi di esercizio, si segue sempre l'ipotesi sul frazionamento dell'energia prodotta dalla pompa di calore e dalla caldaia. Quindi, la quantità di energia rimarrà la stessa del caso precedente, varia il costo dell'energia prodotta dalla caldaia a condensazione, dato che è aumentato il rendimento della macchina.

Costi esercizio ibridi con caldaia a condensazione		
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	106.893	
Generazione	Caldaia a condensazione	Pompa di Calore
rendimento [-]	1,086	4
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0867	0,0538
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	18.324	88.568
costo annuale	1.589 €	4.761 €
<b>totale costo esercizio</b>	<b>6.349 €</b>	

Tabella 66. Stima costi di esercizio con una generazione ibrida nuova per 20 U.A.

Il costo di esercizio totale è di poco superiore a 6.100 €; tale valore è di circa 300 € inferiore al caso di mantenere la caldaia obsoleta collegata alla pompa di calore. Il risparmio è minimo poiché influisce la quantità di energia che la caldaia deve produrre; essendo tale quantità modesta, modesto è anche il risparmio annesso; inoltre è aumentata la spesa iniziale, dovendo sostituire la caldaia obsoleta.

Questo intervento porta i seguenti vantaggi economici:

Edificio da 20 U.A.	Ibrida con caldaia a condensazione
Costo iniziale tecnologia più efficiente	18.770 €
costo esercizio riferimento	10.941 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	6.349 €
Risparmio annuale	4.591 €
tempi di rientro	4,1
Risparmio al 5o anno	4.187 €
Risparmio al 10mo anno	27.145 €
Risparmio al 20mo anno	73.060 €

Tabella 67. Stima tempo di rientro e risparmi con una generazione ibrida per 20 U.A.

Il tempo di rientro è di un anno e mezzo superiore al caso di inserimento della pompa di calore senza la sostituzione della caldaia, dovuto al superiore esborso economico iniziale; tuttavia, già dal decimo anno dalla sostituzione, si vedono i vantaggi economici.

#### **7.1.5 Inserimento del solare termico e di una pompa di calore con sostituzione della caldaia per 20 U.A.**

L'ultima ipotesi di intervento è più complessa ma efficiente. In particolare, si inserisce un solare termico, dimensionato in modo da sopperire al 50% della domanda di ACS del condominio; il solare termico riscalda l'acqua contenuta in un accumulo che funziona come preriscaldamento. Quando il solare non riesce a scaldare l'acqua, esso funge da sorgente per una pompa di calore ad acqua che è in grado di riscaldare l'acqua nel serbatoio di preriscaldamento. In aggiunta, si sostituisce la caldaia obsoleta con una caldaia a condensazione più efficiente ma di eguale potenza.

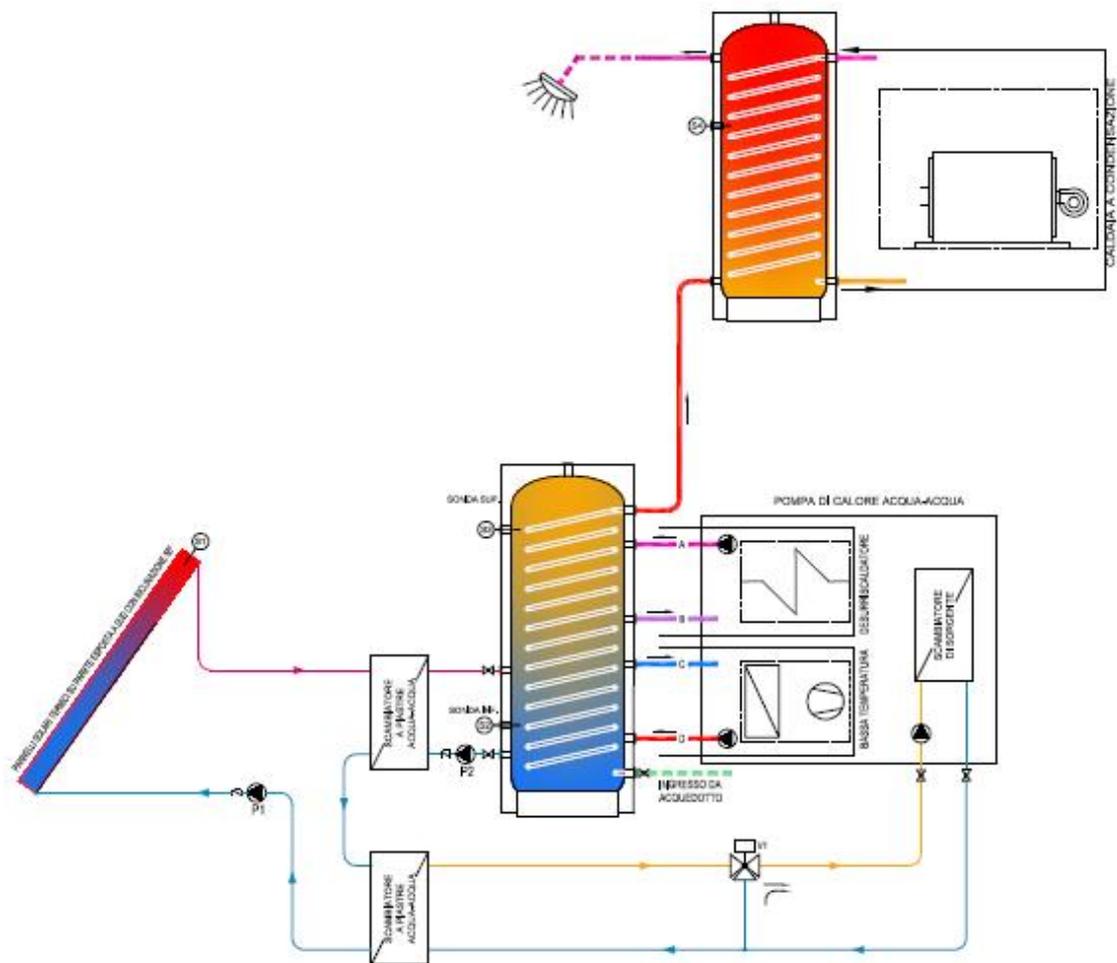


Figura 56. Collegamento del solare ibrido con gli accumuli [27]

La logica di funzionamento dell'impianto mostrato in *figura 56* è la seguente: quando la temperatura dell'acqua nel pannello solare è maggiore della temperatura dell'acqua nel serbatoio di preriscaldamento, allora il solare termico riscalda l'accumulo. Altrimenti, l'acqua del solare funge da sorgente per la pompa di calore, che è in grado di produrre acqua a 50° C e scalda l'acqua nel primo accumulatore. Quando l'acqua degli accumulatori è a 50°C, la caldaia non lavora, poiché l'acqua sanitaria è già in temperatura grazie alle altre due tecnologie; in caso contrario, essa si attiva per portare a 50° C l'acqua e renderla utilizzabile.

Il vantaggio di questa tecnologia risiede nell'utilizzare il pannello solare sia come sorgente di calore che come sorgente per la pompa di calore quando la temperatura al suo interno non sarebbe sufficiente per riscaldare l'acqua nel pannello. Infatti, in inverno

o nei giorni nuvolosi, è difficile che l'acqua contenuta nei pannelli solari abbia per tanto tempo una temperatura alta per scaldare l'accumulo, e non verrebbe utilizzata. Con questa soluzione, essa verrebbe adoperata come sorgente per la pompa di calore ad acqua, col vantaggio di avere una temperatura maggiore rispetto all'aria esterna, aumentando il rendimento della macchina. Con questa soluzione, ci si aspetta quindi un maggior utilizzo della caldaia nelle stagioni rigide, quando il pannello riceve poche energie dal sole e quindi funziona poco la pompa di calore.

Per quel che riguarda il dimensionamento dei vari componenti principali, si considerano i valori esposti in precedenza: la caldaia ha una potenza di 120 kW, gli scambiatori sono da 19 piastre l'uno in modo da scambiare 100 kW e il pannello solare è dimensionato per sopperire a circa il 50% del fabbisogno.

La pompa di calore, invece, ha una potenza maggiore rispetto al caso ibrido; ciò è dovuto alla maggior temperatura dell'acqua che la pompa deve garantire, 50° C e non più i 42° C.

POMPA DI CALORE H2O-H2O		
Temperatura ingresso	13	°C
Temperatura preriscaldamento	50	°C
t periodo punta + t preriscaldamento	3,5	h
$C=F*n*c$	2.080	l
$P=C*t_{pp}*(T_u-T_f)/(t_p+t_{pr})$	33	kW

Tabella 68. Dimensionamento pdc H2O-H2O per 20 U.A.

Un ultimo discorso riguarda gli accumuli; infatti, per gli altri interventi energetici, questi non si sono considerati poiché viene mantenuto quello esistente, considerandolo di buono stato. Invece, per il caso che si considera ora, è bene avere due accumuli che come somma diano lo stesso volume dell'accumulo installato. Inoltre, si preferisce che l'accumulo collegato con il solare termico e la pdc sia più grande rispetto a quello collegato solo con la caldaia. Quanto detto perché così si cerca di massimizzare l'utilizzo delle tecnologie che hanno un minor costo di esercizio; inoltre, il fatto di avere un

volume minore del primo accumulo, motiva la scelta di una pompa di poco inferiore al caso di generazione ibrida.

AQUA RC		[Versione INVERTER]										
		Mod		114		121		127		138		
AQUA RC			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
FUNZIONAMENTO: INVERNALE- W10/W35 / OPERATION: WINTER- W10/W35												
Potenza Termica / Thermal Power	kW	4,72	17,52	6,16	24,65	8,62	36,80	10,55	45,04	12,28	52,45	
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m3/h	0,81	3,01	1,06	4,24	1,48	6,33	1,82	7,75	2,11	9,02	
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,77	3,23	1,06	4,59	1,43	6,69	1,67	7,81	2,04	9,57	
COP		6,10		5,83		6,03		6,32		6,01		

Figura 57. Pompa di calore H2O-H2O della GSI [28]

In particolare, la pompa di calore è una Aqua RC 127 da 36,8 kW il cui costo è di 18.000€. Si sceglie questo modello di pompa poiché permette un recupero di calore con un desurriscaldatore; si rimanda al capitolo 1 per il vantaggio sia tecnico sia economico di tale scelta. Per cautela, si considera un COP di 5,75.

Per quel che riguarda i pannelli solari, si opta per utilizzare quelli della ditta Atag [29], in particolare i collettori sottovuoto a flusso diretto.

SOLARE TERMICO	Atag
superficie	36
superficie pannello	3,2
costo pannello	2.140 €
n pannelli	11

Tabella 69. Dati pannelli solari Atag per 20 U.A.

I costi di installazione risultano:

Costi installazione solare ibrido		Atag
Generazione	potenza	costo installazione
caldaia	240 kW	5.770 €
pdv	36,8 kW	18.400 €
solare	36 m <sup>2</sup>	20.009 €
Accumuli	500 l+ 300l	2.180 €
Scambiatori di calore	2	3.600 €
installazione	-	7.000 €
<b>totale</b>	-	<b>56.959 €</b>

Tabella 70. Stima costi installazione solare ibrido per 20 U.A.

Logicamente, questo intervento è il più oneroso sullo stesso condominio; il motivo risiede in due fattori tutti concatenati l'un l'altro, quali la complessità di generazione e il numero di componenti dell'impianto.

Per quel che riguarda i costi di esercizio, la difficoltà rispetto al caso ibrido sta nel fatto che non tutta l'energia prodotta proviene dal solare termico e/o dalla pompa di calore, ma solo una parte di essa proviene da queste fonti.

Il primo passaggio che si esegue è quello di sottrarre l'energia che proviene dal solare termico; tale valore di energia è noto grazie al programma di Paradigma. Inoltre, essa è un'energia che riesce a scaldare l'acqua a 50° C, e non è quella che alimenta la pdv.

ENERGIE ANNUALI		
Energia anti Legionella	5.330	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ricircolo	45.625	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ACS	55.937	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia totale	106.893	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia da solare	28.563	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia da fornire	78.330	kWh <sub>t</sub> /anno

Tabella 71. Stima energie perse e prodotte per 20 U.A.

Per il calcolo dell'energia proveniente dalla pdc e dalla caldaia si eseguono i seguenti passaggi:

1. calcolo energia assorbita mensilmente dai pannelli [30];
2. calcolo energia che alimenta la pdc ad acqua, conoscendo l'energia del pannello che alimenta l'accumulo grazie ai dati del software di Paradigma;
3. stima energia prodotta per ogni mese dalla pdc, attraverso il COP;
4. per sottrazione dall'energia mensile da produrre, si ricava l'energia proveniente dalla caldaia.

Mese	Irraggiamento medio mensile superficiale [kWh/m <sup>2</sup> ]	energia totale sul pannello [kWh]	energia solare per accumulo [kWh]	energia solare per pdc [kWh]	energia prodotta pdc [kWh]
Gennaio	49,9	1.797	1.590	207	1.189
Febbraio	70,3	2.530	1.897	633	3.640
Marzo	118,4	4.263	2.588	1.675	6.525
Aprile	146,4	5.270	2.770	2.500	6.186
Maggio	176,7	6.361	2.762	3.599	5.811
Giugno	189,9	6.836	2.750	4.086	5.683
Luglio	195,3	7.031	3.096	3.935	5.206
Agosto	164,3	5.915	2.885	3.030	5.688
Settembre	120,3	4.331	2.516	1.815	5.917
Ottobre	84,6	3.047	2.349	698	4.012
Novembre	54,0	1.944	1.626	318	1.829
Dicembre	48,6	1.750	1.734	16	92
Totale	1418,8	51.075	28.563	22.512	51.778

Tabella 72. Stima energia prodotta dalla pdc H2O-H2O per 20 U.A.

Si procede ora con la determinazione dell'energia prodotta annualmente dai 3 sottosistemi:

Mese	energia totale [kWh <sub>t</sub> ]	energia solare [kWh <sub>t</sub> ]	energia pdc [kWh <sub>t</sub> ]	energia mensile caldaia [kWh <sub>t</sub> ]	frazione solare	frazione pdc	frazione caldaia
Gennaio	9.654	1.590	1.189	6.875	16,5%	12,3%	71,2%
Febbraio	9.131	1.897	3.640	3.594	20,8%	39,9%	39,4%
Marzo	9.113	2.588	6.525	0	28,4%	71,6%	0,0%
Aprile	8.956	2.770	6.186	0	30,9%	69,1%	0,0%
Maggio	8.573	2.762	5.811	0	32,2%	67,8%	0,0%
Giugno	8.433	2.750	5.683	0	32,6%	67,4%	0,0%
Luglio	8.302	3.096	5.206	0	37,3%	62,7%	0,0%
Agosto	8.573	2.885	5.688	0	33,7%	66,3%	0,0%
Settembre	8.433	2.516	5.917	0	29,8%	70,2%	0,0%
Ottobre	9.113	2.349	4.012	2.753	25,8%	44,0%	30,2%
Novembre	8.956	1.626	1.829	5.502	18,2%	20,4%	61,4%
Dicembre	9.654	1.734	92	7.828	18,0%	1,0%	81,1%
Totale	106.893	28.563	51.778	26.552	27,0%	49,4%	23,6%

Tabella 73. Ripartizione energie prodotte per fonte di calore per 20 U.A.

Osservando le frazioni di energie prodotte ogni mese, e in particolare quella relativa alla caldaia, si nota che questa tecnologia è indispensabile per i mesi freddi, cioè quando c'è una maggior richiesta di energia e una minor disponibilità di energia solare. Nei mesi estivi, invece, la caldaia viene usata poco perché le altre tecnologie riescono a sopperire all'esigenza.

A questo punto, come per il caso ibrido, si può calcolare quanta energia è prodotta dalla pompa di calore e quanta dalla caldaia attraverso la frazione appena calcolata. Il costo di esercizio è uguale per i due casi considerati.

Costi esercizio solare + ibrido			
Energia totale[kWh <sub>t</sub> /anno]	106.893		
Energia da fornire [kWh <sub>t</sub> /anno]	78.330		
Generazione	Caldaia	Pompa di Calore	Solare
rendimento [-]	1,086	5,75	-
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0867	0,0374	0
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	26.552	51.778	28.563
costo annuale	2.302 €	1.936 €	0 €
totale costo esercizio	4.238 €		

Tabella 74. Stima costi esercizio con un solare ibrido per 20 U.A.

Logicamente, l'energia prodotta dal sole non ha un costo di generazione. Con questo intervento, si va a spendere quasi la metà rispetto alla situazione attuale con la caldaia obsoleta. I risparmi sono i seguenti:

Edificio da 20 U.A.	Solare ibrido Atag
Costo iniziale tecnologia più efficiente	56.959 €
costo esercizio riferimento	10.941 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	4.238 €
Risparmio annuale	6.703 €
tempi di rientro	8,5
Risparmio al 5o anno	-23.446 €
Risparmio al 10mo anno	10.067 €
Risparmio al 20mo anno	77.093 €

Tabella 75. Stima tempo di rientro e risparmi per solare ibrido per 20 U.A.

Il risparmio al quinto anno è ancora negativo perché, come si vede dal tempo di rientro, è proprio verso il non anno che si iniziano a vedere i benefici economici dell'intervento per entrambi i casi.

### 7.1.6 Comparazione interventi per 20 U.A.

È possibile ora comparare questi diversi interventi e valutare i vantaggi e svantaggi di ognuno:

Edificio da 20 U.A.	Caldaia a condensazione	Ibrida con caldaia obsoleta	Ibrida con caldaia a condensazione	Solare ibrido Atag
Costo iniziale tecnologia più efficiente	8.270 €	11.500 €	18.770 €	56.959 €
costo esercizio riferimento	10.941 €	10.941 €	10.941 €	10.941 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	9.269 €	6.636 €	6.349 €	4.238 €
Risparmio annuale	1.672 €	4.305 €	4.591 €	6.703 €
tempi di rientro	4,9	2,7	4,1	8,5
Risparmio al 5o anno	92 €	10.024 €	4.187 €	-23.446 €
Risparmio al 10mo anno	8.454 €	31.548 €	27.145 €	10.067 €
Risparmio al 20mo anno	25.177 €	74.596 €	73.060 €	77.093 €

Tabella 76. Comparazione interventi per 20 U.A.

Si nota subito il vantaggio economico di tutte e quattro le opzioni, infatti anche la più semplice, la sostituzione dalla caldaia con una a condensazione, porta con sé un risparmio annuale, considerando il basso costo di intervento.

Interessante è notare il caso di una generazione ibrida, caldaia e pompa di calore: se non si sostituisce la caldaia, si risparmia circa 1.600 € in più al 20mo anno. Di fatto, non c'è risparmio nel sostituire la caldaia entro gli anni considerati; tuttavia, è bene precisare che, tra i due, sarebbe meglio scegliere di sostituire anche la caldaia, così da aumentare il rendimento dell'impianto e ridurre le emissioni provenienti dalla caldaia, dato che si utilizza meno combustibile.

Per quel che riguarda il solare termico ibrido, è chiaro il vantaggio dell'intervento dal punto di vista economico, infatti è quello che permette il maggior risparmio annuale; però, è un intervento che deve prevedere un buon controllo di gestione e di produzione

dell'energia, perché non è immediato il suo funzionamento. Se si usasse in maniera diversa da come descritta, si andrebbe a ridurre il rendimento dell'impianto e non è assicurato questo risparmio stimato. Infine, si evidenzia il fatto che non è la soluzione che porta il maggior risparmio energetico al 20mo anno; questo è dovuto all'elevato costo iniziale.

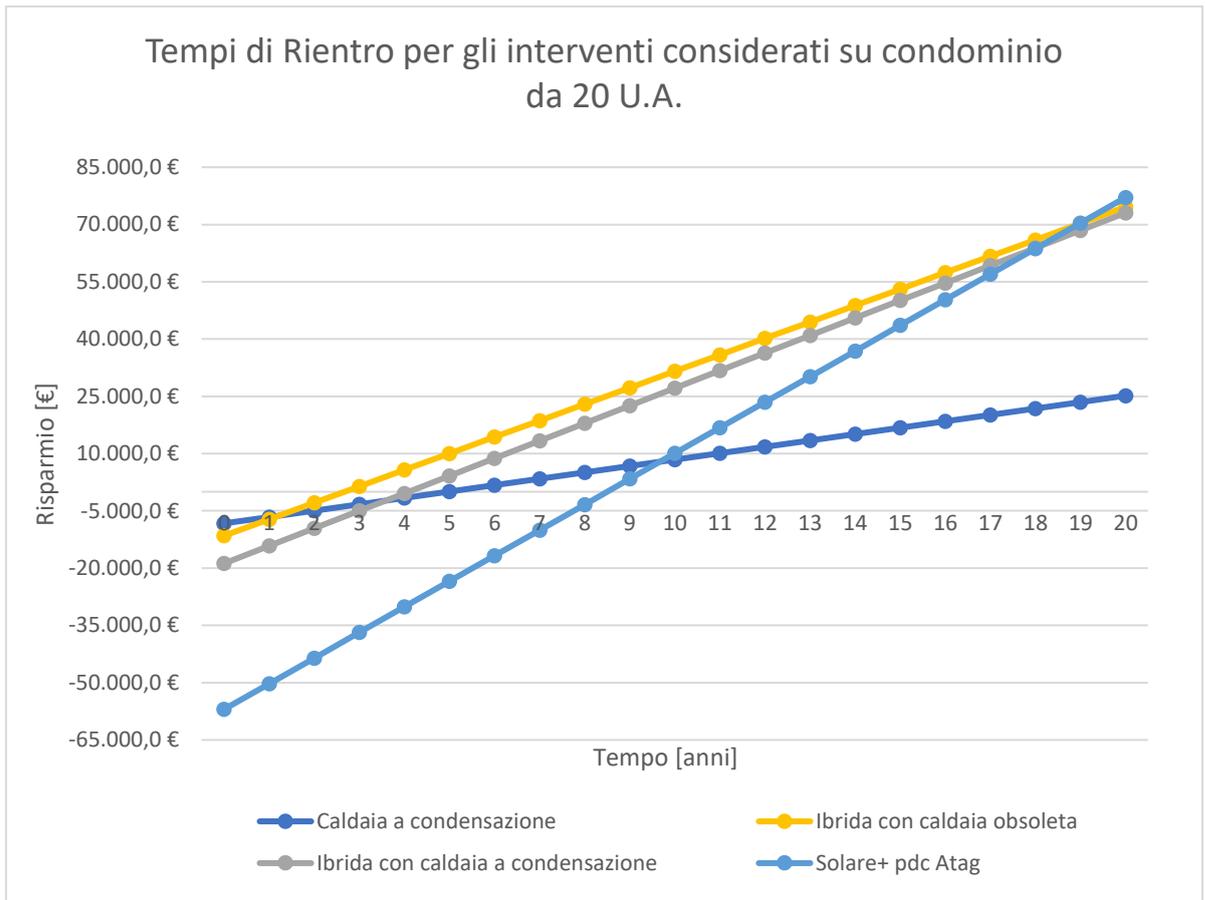


Figura 58. Andamento nel tempo del risparmio dovuto agli interventi per 20 U.A.

La figura soprastante mette in chiaro l'andamento economico nel tempo per ogni intervento.

Sicuramente, gli interventi più interessanti sono avere una generazione ibrida con caldaia a condensazione e il solare ibrido; logicamente molto dipende anche dal budget che si vuole stanziare per questi interventi.

## 7.2 Interventi di efficientamento in un edificio esistente di 35 U.A.

Si procede ora con l'analisi degli stessi quattro interventi per un edificio da 35 unità abitative; ci si aspetta che, come per il capitolo dei costi di esercizio, l'efficacia degli interventi sia la stessa, varieranno soltanto i contributi economici e i relativi risparmi annuali.

### 7.2.1 Valutazione potenza caldaia attuale e costi di esercizio per 35 U.A.

La caldaia presente nel condominio presenta le seguenti caratteristiche:

DATI		
Numero alloggi	35	
Consumo periodo punta	260	l
F(n alloggi)	0,3	-
Temperatura utilizzo	40	°C
Temperatura acqua prelievo	13	°C
Temperatura accumulo	50	°C
tempo periodo punta	1,5	h
tempo periodo preriscaldamento	2	h
$C=F*n*c$	2.730	l
$Qn=C(Tu-Tf)/(tpp+tpr)$	21.060	kcal/h
$Vb=Qn*tpr/(Ta-Tf)$	1.138	l
CALDAIA PRESENTE - sostituita con condensazione		
docce in contemporanea	7	-
portata	1,40	kg/s
$\Delta T$	35	°C
cp	4,186	kJ/(kg*s)
Potenza caldaia	205	kW

Tabella 77. Stima potenza caldaia per 35 U.A.

Quindi, la caldaia presente ha una potenza di poco superiore ai 200 kW.

L'energia richiesta dal condominio è di:

Stima energia perse		
d	1,6	cm
A	2,01	cm <sup>2</sup>
v	75	cm/s
portata volumica	150,7	cm <sup>3</sup> /s
densità	0,000985	kg/cm <sup>3</sup>
portata massica	0,15	kg/s
potenza anti Legionella	29,21	kW
t anti Legionella [h]	0,5	h/gg
Potenza persa ricircolo	20	kW
tempo ricircolo	10	h/gg
Energia anti Legionella	5.330	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ricircolo	73.000	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ACS	97.890	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia totale	176.221	kWh <sub>t</sub> /anno

Tabella 78. Stima energie perse per 35 U.A.

I costi di esercizio per la produzione dell'energia per il condominio saranno di:

Costi esercizio attuali	
rendimento [-]	0,92
costo metano [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,1024
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	176.221
costo annuale [€/anno]	18.037 €

Tabella 79. Stima costi di esercizio con una caldaia obsoleta per 35 U.A.

Da questi, si valutano i vantaggi economici che possono portare dei possibili interventi.

### 7.2.2 Sostituzione con caldaia a condensazione per 35 U.A.

Si inizia con la sostituzione della caldaia con una a condensazione, di pari potenza.

## DATI TECNICI

Denominazione commerciale	Potenza kW			Rendimento			Classe energetica	Codice n.	Prezzo Euro
	utile 80°/60° max	utile 50°/30° max	Focolare min-max	utile Pn (80°/60°) %	utile Pn (50°/30°) %	utile 30% Pn (50°/30°) %			
CONDEXA PRO 35 P	34,4	38,0	9,0-34,9	98,4	108,7	109,5	A	20115221	3,649,00
CONDEXA PRO 50 P	44,2	48,8	9,0-45,0	98,3	108,6	109,2	A	20115222	3,772,00
CONDEXA PRO 57 P	55,7	61,9	14,0-57,0	98,3	108,6	109,2	A	20115223	4,961,00
CONDEXA PRO 70 P	67,0	73,9	14,0-68,0	97,9	108,1	108,8	A	20115224	5,464,00
CONDEXA PRO 90	88,3	97,4	19,4-90,0	98,0	108,3	108,9	-	20115225	5,433,00
CONDEXA PRO 100	95,3	105,1	19,4-97,0	97,9	108,2	108,8	-	20115226	5,597,00
CONDEXA PRO 115	109,8	121,1	22,4-112,0	98,3	108,6	108,8	-	20115228	5,771,00
CONDEXA PRO 135	129,0	142,1	26,2-131,0	97,9	108,3	108,9	-	20115229	6,530,00

Figura 59. Catalogo caldaia a condensazione Condexa Pro della Riello [10]

Si sceglie di installare in cascata due caldaie Condexa Pro 100, in modo da avere 210 kW, considerando un salto termico dell'acqua da 50° a 30°C. il costo della sostituzione si aggira 11.200 € per la caldaia; si aggiungono 2.500 € per l'installazione.

Per quel che riguarda i costi di esercizio, invece:

Costi esercizio caldaia condensazione	
Energia totale [kWh/anno]	176.221
rendimento [-]	1,086
costo vettore energetico [€/kWh]	0,0867
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	176221
costo annuale [€/anno]	15.280 €

Tabella 80. Stima costi di esercizio con una caldaia a condensazione per 35 U.A.

Si nota già un risparmio annuale di circa 3.000 €.

I tempi di rientro e i risparmi sono:

Edificio da 35 U.A.	Caldaia a condensazione
Costo iniziale tecnologia più efficiente	13.700 €
costo esercizio riferimento	18.037 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	15.280 €
Risparmio annuale	2.757 €
tempi di rientro	5,0
Risparmio al 5o anno	85 €
Risparmio al 10mo anno	13.870 €
Risparmio al 20mo anno	41.441 €

Tabella 81. Stima tempo di rientro e risparmi con una caldaia a condensazione per 35 U.A.

Al quinto anno iniziato, si è ripagata la spesa fatta e iniziano i risparmi economici per i condomini, come per il caso di 20 U.A.

### 7.2.3 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento della caldaia obsoleta per 35 U.A.

Si prosegue con il secondo intervento, inserendo una pompa di calore, ottenendo una generazione ibrida.

POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA		
Temperatura ingresso	13	°C
Temperatura preriscaldamento	42	°C
t periodo punta + t preriscaldamento	3,5	h
$C=F*n*c$	2.730	l
$P=C*tp*(Tu-Tf)/(tp+tp_r)$	34	kW

Tabella 82. Dimensionamento di una pompa di calore per 35 U.A.

## Dati Tecnici

## Technical Data

AURA	Mod	106		109		112		115		118		124	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
FUNZIONAMENTO: INVERNALE - A7/W35 Aria/Radiante / OPERATION: WINTER - A7/W35 Air/Radiant Floor													
Pot.Termica / Thermal Power Plant	kW	1,54	6,05	2,29	8,64	3,43	12,79	4,48	15,29	4,81	17,64	5,85	21,74
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m3/h	0,26	1,04	0,39	1,49	0,59	2,20	0,77	2,63	0,83	3,03	1,01	3,74
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,45	1,35	0,63	1,88	0,84	2,79	1,05	3,36	1,42	4,07	2,31	5,00
COP		4,49		4,59		4,59		4,55		4,33		4,35	

Figura 60. Catalogo pdc aria-acqua della GSI [12]

Si opta di disporre in cascata due Aura: il modello 124 e il 112, ottenendo 33 kW; questa soluzione ha un costo di installazione di 18.000 €, 15.000 € per la pdc e 3.000 € per componenti secondari e installazione effettiva.

Per quel che riguarda i costi di esercizio, si segue sempre il ragionamento fatto per le temperature per lo stesso caso con un condominio di 20 alloggi; si propone ora la tabella per il calcolo della ripartizione dell'energia per le due fonti di calore.

Temperatura ingresso	13
Temperatura preriscaldamento	42
Temperatura accumulo	48
frazione pdc	82,9%
frazione caldaia	17,1%

Tabella 83. Frazione energia prodotta con una pdc e con una caldaia per 35 U.A.

Si hanno i seguenti costi di esercizio:

Costi esercizio ibridi con caldaia obsoleta		
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	176.221	
Generazione	Caldaia obsoleta	Pompa di Calore
rendimento [-]	0,92	4,1
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,1024	0,0524
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	30.209	146.012
costo annuale	3.092 €	7.657 €
totale costo esercizio	10.749 €	

Tabella 84. Stima costi di esercizio con una generazione ibrida con caldaia obsoleta per 35 U.A.

Con i seguenti vantaggi economici nel tempo:

Edificio da 35 U.A.	Ibrida con caldaia obsoleta
Costo iniziale tecnologia più efficiente	18.000 €
costo esercizio riferimento	18.037 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	10.749 €
Risparmio annuale	7.288 €
tempi di rientro	2,5
Risparmio al 5o anno	18.441 €
Risparmio al 10mo anno	54.882 €
Risparmio al 20mo anno	127.764 €

Tabella 85. Stima tempo di rientro e risparmi con un impianto ibrido con caldaia obsoleta per 35 U.A.

Si notano i vantaggi economici rispetto alla soluzione precedente, sia come costi di esercizio annuali che come risparmi calcolati nei vari anni a seguire.

#### **7.2.4 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento ad una caldaia a condensazione per 35 U.A.**

Se si sostituisce anche la caldaia per una generazione ibrida, si ottengono i seguenti valori di costo iniziale:

Costi installazione ibridi con caldaia a condensazione		
Generazione	potenza	costo installazione
caldaia	210 kW	11.200 €
pdc	33 kW	15.000 €
installazione	-	4.000 €
<b>totale</b>	<b>30.200 €</b>	

Tabella 86. Stima costi installazione di un impianto ibrido nuovo per 35 U.A.

E, seguendo la ripartizione dell'energia, si ottengono i costi di esercizio:

Costi esercizio ibridi con caldaia a condensazione		
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	163.696,4	
Generazione	Caldaia a condensazione	Pompa di Calore
rendimento [-]	1,086	4,1
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0867	0,0524
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	30.209	146.012
costo annuale	2.619 €	7.657 €
<b>totale costo esercizio</b>	<b>10.276 €</b>	

Tabella 87. Stima costi di esercizio con un impianto ibrido nuovo per 35 U.A.

Con un risparmio di 400 €/anno rispetto al caso senza la sostituzione della caldaia.

I tempi di rientro per l'intervento sono:

Edificio da 35 U.A.	Ibrida con caldaia a condensazione
Costo iniziale tecnologia più efficiente	30.200 €
costo esercizio riferimento	18.037 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	10.276 €
Risparmio annuale	7.761 €
tempi di rientro	3,9
Risparmio al 5o anno	8.604 €
Risparmio al 10mo anno	47.408 €
Risparmio al 20mo anno	125.016 €

Tabella 88. Stima tempo di rientro e risparmi con un impianto ibrido nuovo per 35 U.A.

I vantaggi economici sono di poco maggiori poiché è quasi raddoppiata la spesa iniziale e sono molto simili i risparmi annuali.

#### **7.2.5 Inserimento del solare termico e di una pompa di calore con sostituzione della caldaia per 35 U.A.**

Infine, l'intervento solare termico ibrido. La logica di funzionamento dell'impianto è medesima al caso di 20 unità abitative. In sintesi, vi è il solare termico che, se la temperatura dell'acqua è abbastanza elevata, alimenta direttamente il serbatoio dell'ACS, altrimenti serve da sorgente termica per una pompa di calore acqua-acqua. In caso queste due non bastassero per portare in temperatura l'acqua negli accumuli, in questa soluzione sono due e collegati, c'è una caldaia a condensazione che sopperisce a tale mancanza.

Per quel che riguarda la pompa di calore, la potenza necessaria è circa la seguente:

POMPA DI CALORE H2O-H2O		
Temperatura ingresso	13	°C
Temperatura preriscaldamento	50	°C
t periodo punta + t preriscaldamento	3,5	h
$C=F*n*c$	2.730	l
$P=C*tp*(Tu-Tf)/(tp+tpr)$	43	kW

Tabella 89. Dimensionamento pdc H2O-H2O per 35 U.A.

AQUA RC		[Versione INVERTER]										GSI High Performance System	
Dati Tecnici		Technical Data											
AQUA RC		Mod		114		121		127		138		145	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
FUNZIONAMENTO: INVERNALE- W10/W35 / OPERATION: WINTER- W10/W35													
Potenza Termica / Thermal Power	kW	4,72	17,52	6,16	24,65	8,62	36,80	10,55	45,04	12,28	52,45		
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m3/h	0,81	3,01	1,06	4,24	1,48	6,33	1,82	7,75	2,11	9,02		
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,77	3,23	1,06	4,59	1,43	6,69	1,67	7,81	2,04	9,57		
COP		6,10		5,83		6,03		6,32		6,01			

Figura 61. Catalogo pdc acqua-acqua della GSI [12]

La pompa di calore è sempre una Aqua RC modello 138, così da avere circa 45 kW. Inoltre, ricordando che il solare termico è dimensionato con il programma Paradigma per il 50% dei consumi e che la caldaia segue il dimensionamento riportato prima, il numero dei pannelli solari per le due marche sono:

SOLARE TERMICO	Atag
superficie	63
superficie pannello	3,2
costo pannello	2.140 €
n pannelli	20

Tabella 90. Dati pannelli solari Atag per 35 U.A.

Costi installazione solare ibrido		Atag
Generazione	potenza	costo installazione
caldaia	210 kW	11.200 €
pdc	45 kW	22.400 €
solare	63 m <sup>2</sup>	36.380 €
Accumuli	2 da 500 l + 400 l	3.816 €
Scambiatori di calore	2	4.400 €
installazione	-	7.000 €
totale	-	85.196 €

Tabella 91. Stima costi di installazione del solare termico ibrido per 35 U.A.

I costi sono maggiori del caso di 20 alloggi poiché è maggiore la quantità di energia. Quindi, anche nei vantaggi economici che queste portano, le due soluzioni sono praticamente identiche.

L'energia da produrre annualmente è di:

ENERGIE ANNUALI		
Energia anti Legionella	5.330	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ricircolo	73.000	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ACS	97.890	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia totale	176.221	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia da solare	49.081	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia da fornire	127.140	kWh <sub>t</sub> /anno

Tabella 92. Stima energie perse e prodotte per un condominio di 35 U.A.

E i 127.140 kWh<sub>t</sub>/anno vengono ripartite secondo questo frazionamento a seconda della temperatura.

Seguendo lo stesso ragionamento del caso precedente, si stima l'energia prodotta ogni mese dalle tre fonti di calore.

Mese	Irraggiamento mensile superficiale [kWh/m <sup>2</sup> ]	energia totale sul pannello [kWh]	energia solare per accumulo [kWh]	energia solare per pdc [kWh]	energia prodotta pdc [kWh]
Gennaio	49,9	3.144	2.728	416	2.394
Febbraio	70,3	4.428	3.272	1.156	6.645
Marzo	118,4	7.460	4.480	2.980	10.565
Aprile	146,4	9.223	4.804	4.419	9.966
Maggio	176,7	11.132	4.792	6.340	9.307
Giugno	189,9	11.964	4.708	7.256	9.146
Luglio	195,3	12.304	5.283	7.021	8.342
Agosto	164,3	10.351	4.860	5.491	9.239
Settembre	120,3	7.579	4.308	3.271	9.546
Ottobre	84,6	5.332	4.067	1.265	7.272
Novembre	54,0	3.402	2.798	604	3.473
Dicembre	48,6	3.063	2.981	82	469
Totale	1418,8	89.381	49.081	40.300	86.364

Tabella 93. Stima energia prodotta con la pdc H2O-H2O per 35 U.A.

Ora è possibile stimare l'origine dell'energia prodotta con l'impianto solare ibrido.

Mese	energia totale [kWh <sub>t</sub> ]	energia solare [kWh <sub>t</sub> ]	energia pdc [kWh <sub>t</sub> ]	energia mensile caldaia [kWh <sub>t</sub> ]	frazione solare	frazione pdc	frazione caldaia
Gennaio	15.991	2.728	2.394	10.870	17,1%	15,0%	68,0%
Febbraio	15.076	3.272	6.645	5.159	21,7%	44,1%	34,2%
Marzo	15.045	4.480	10.565	0	29,8%	70,2%	0,0%
Aprile	14.770	4.804	9.966	0	32,5%	67,5%	0,0%
Maggio	14.099	4.792	9.307	0	34,0%	66,0%	0,0%
Giugno	13.854	4.708	9.146	0	34,0%	66,0%	0,0%
Luglio	13.625	5.283	8.342	0	38,8%	61,2%	0,0%
Agosto	14.099	4.860	9.239	0	34,5%	65,5%	0,0%
Settembre	13.854	4.308	9.546	0	31,1%	68,9%	0,0%
Ottobre	15.045	4.067	7.272	3.706	27,0%	48,3%	24,6%
Novembre	14.770	2.798	3.473	8.499	18,9%	23,5%	57,5%
Dicembre	15.991	2.981	469	12.542	18,6%	2,9%	78,4%
Totale	176.221	49.081	86.364	40.775	28,2%	49,9%	21,9%

Tabella 94. Stima frazioni energia per 35 U.A.

E si ottengono i seguenti costi di esercizio per tale impianto:

Costi esercizio solare + ibrido (Atag)			
Energia totale[kWh <sub>t</sub> /anno]	176.221		
Energia da fornire [kWh <sub>t</sub> /anno]	127.140		
Generazione	Caldaia	Pompa di Calore	Solare
rendimento [-]	1,086	5,75	-
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0867	0,0374	0
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	40.775	86.364	49.081
costo annuale	3.536 €	3.229 €	0 €
totale costo esercizio	6.765 €		

Tabella 95. Stima costi di esercizio per un solare ibrido per 35 U.A.

Con i consecutivi vantaggi economici:

Edificio da 35 U.A.	Solare ibrido Atag
Costo iniziale tecnologia più efficiente	85.196 €
costo esercizio riferimento	18.037 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	6.765 €
Risparmio annuale	11.272 €
tempi di rientro	7,6
Risparmio al 5o anno	-28.836 €
Risparmio al 10mo anno	27.525 €
Risparmio al 20mo anno	140.245 €

Tabella 96. Stima tempo di rientro e risparmi con un solare ibrido per 35 U.A.

Dato che il tempo di rientro è superiore a cinque anni, i risparmi che si avranno al quinto anno sono ancora negativi. Tuttavia, questa è la soluzione che mostra i maggiori risparmi annuali.

### 7.2.6 Comparazione interventi per 35 U.A.

Si mostrano ora in sintesi i quattro interventi:

Edificio da 35 U.A.	Caldaia a condensazione	Ibrida con caldaia obsoleta	Ibrida con caldaia a condensazione	Solare ibrido Atag
Costo iniziale tecnologia più efficiente	13.700 €	18.000 €	30.200 €	85.196 €
costo esercizio riferimento	18.037 €	18.037 €	18.037 €	18.037 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	15.280 €	10.749 €	10.276 €	6.765 €
Risparmio annuale	2.757 €	7.288 €	7.761 €	11.272 €
tempi di rientro	5,0	2,5	3,9	7,6
Risparmio al 5o anno	85 €	18.441 €	8.604 €	-28.836 €
Risparmio al 10mo anno	13.870 €	54.882 €	47.408 €	27.525 €
Risparmio al 20mo anno	41.441 €	127.764 €	125.016 €	140.245 €

Tabella 97. Confronto tempo di rientro e risparmi dei vari interventi per 35 U.A.

Rispetto al caso precedente, per il solare ibrido, si vede come incide maggiormente il costo iniziale sul risparmio al 20mo anno; infatti quest'ultimo valore è inferiore di circa 20.000 € rispetto al caso ibrido classico, nonostante il solare ibrido abbia un risparmio annuale maggiore.

Come per il caso precedente, si mostra il grafico dell'andamento del tempo dei risparmi dovuti agli interventi energetici:

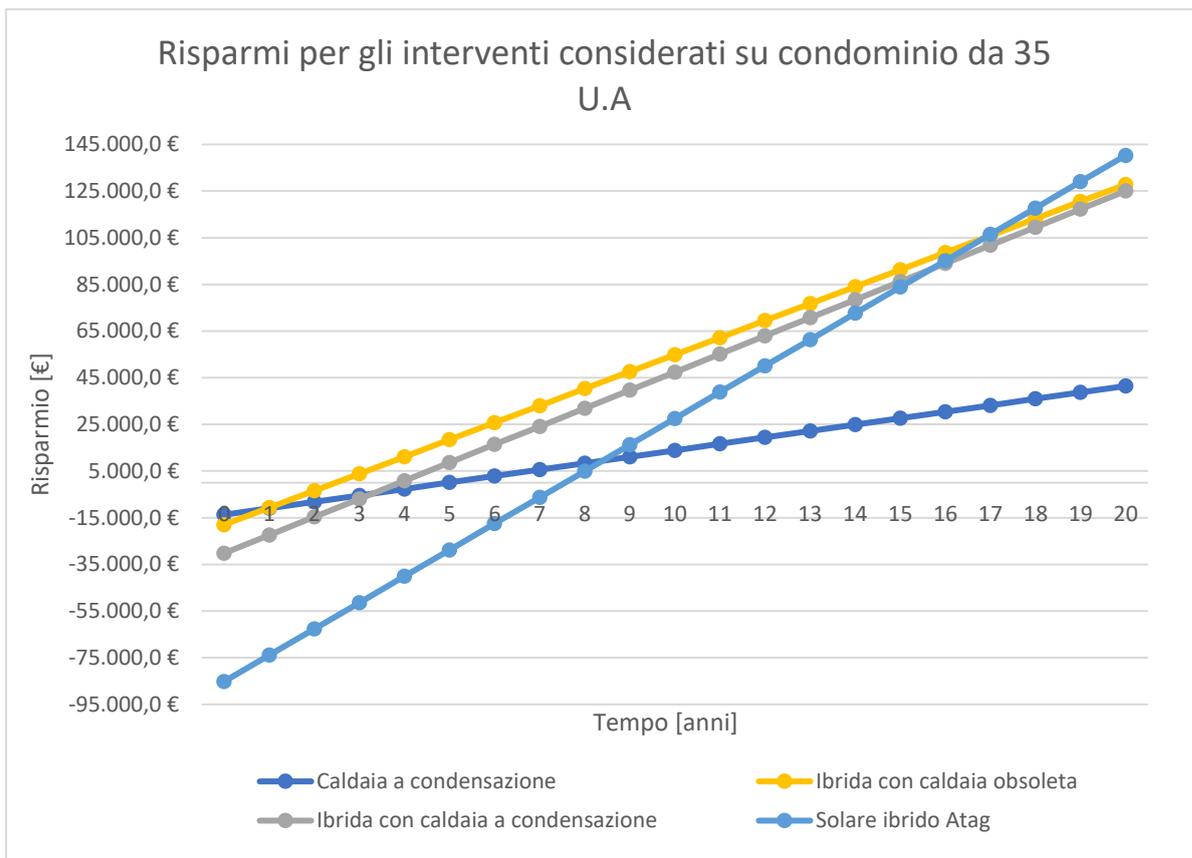


Figura 62. Andamento dei risparmi dovuti agli interventi per 35 U.A.

È chiaro come il solo cambiamento della caldaia sia pratico e con un basso costo iniziale ma porta a un basso risparmio economico.

La soluzione migliore, per il caso di un condominio con 35 alloggi, è avere una generazione ibrida rispetto al solare ibrido.

### 7.3 Interventi di efficientamento in un edificio esistente di 50 U.A.

Si prosegue con l'ultimo caso, ovvero per il condominio esistente da 50 unità abitative. Ci si aspetta di avere un comportamento simile all'ultimo studiato

#### 7.3.1 Valutazione potenza caldaia attuale e costi di esercizio per 50 U.A.

La potenza caldaia già presente è di:

DATI		
Numero alloggi	50	
Consumo periodo punta	260	l
F (n alloggi)	0,27	-
Temperatura utilizzo	40	°C
Temperatura acqua prelievo	13	°C
Temperatura accumulo	50	°C
tempo periodo punta	1,5	h
tempo periodo preriscaldamento	2	h
$C=F*n*c$	3.510	l
$Qn=C(Tu-Tf)/(tpp+tpr)$	27.077	kcal/h
$Vb=Qn*tpr/(Ta-Tf)$	1.464	l
CALDAIA PRESENTE - sostituita con condensazione		
docce in contemporanea	10	-
portata	2,00	kg/s
$\Delta T$	35	°C
cp	4,186	kJ/(kg*s)
Potenza caldaia	293	kW

Tabella 98. Stima potenza caldaia per 50 U.A.

Seguendo il software Paradigma per la stima dell'energia legata all'ACS, si valutano le altre entità di energie in gioco e quella totale:

Stima energia perse		
d	1,6	cm
A	2,01	cm <sup>2</sup>
v	75	cm/s
portata volumica	150,7	cm <sup>3</sup> /s
densità	0,000985	kg/cm <sup>3</sup>
portata massica	0,15	kg/s
potenza anti Legionella	29,21	kW
t anti Legionella [h]	0,5	h/gg
Potenza persa ricircolo	30	kW
tempo ricircolo	10	h/gg
Energia anti Legionella	5.330	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ricircolo	109.500	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ACS	139.843	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia totale	254.674	kWh <sub>t</sub> /anno

Tabella 99. Stima energie perse per un condominio di 50 U.A.

È ora possibile valutare i costi di esercizio con tale macchina:

Costi esercizio attuali	
rendimento [-]	0,92
costo metano [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,1024
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	254.674
costo annuale [€/anno]	26.067 €

Tabella 100. Stima costi di esercizio con una caldaia obsoleta per 50 U.A.

Come anticipato nelle sezioni precedenti, il costo aumenta ed è più oneroso rispetto agli altri.

### 7.3.2 Sostituzione con caldaia a condensazione per 50 U.A.

Sostituendo tale caldaia con una della Riello di pari potenza, si spende circa 13.000 €.

## DATI TECNICI

Denominazione commerciale	Potenza kW			Rendimento			Classe energetica	Codice n.	Prezzo Euro
	utile 80°/60° max	utile 50°/30° max	Focolare min-max	utile Pn (80°/60°) %	utile Pn (50°/30°) %	utile 30% Pn (50°/30°) %			
CONDEXA PRO 35 P	34,4	38,0	9,0-34,9	98,4	108,7	109,5	A	20115221	3,649,00
CONDEXA PRO 50 P	44,2	48,8	9,0-45,0	98,3	108,6	109,2	A	20115222	3,772,00
CONDEXA PRO 57 P	55,7	61,9	14,0-57,0	98,3	108,6	109,2	A	20115223	4,961,00
CONDEXA PRO 70 P	67,0	73,9	14,0-68,0	97,9	108,1	108,8	A	20115224	5,464,00
CONDEXA PRO 90	88,3	97,4	19,4-90,0	98,0	108,3	108,9	-	20115225	5,433,00
CONDEXA PRO 100	95,3	105,1	19,4-97,0	97,9	108,2	108,8	-	20115226	5,597,00
CONDEXA PRO 115	109,8	121,1	22,4-112,0	98,3	108,6	108,8	-	20115228	5,771,00
CONDEXA PRO 135	129,0	142,1	26,2-131,0	97,9	108,3	108,9	-	20115229	6,530,00

Figura 63. Catalogo caldaia a condensazione della Riello [10]

Nello specifico, si dispongono in cascata due Condexa Pro 135, ottenendo una potenza di 284 kW. I costi totali di installazione si aggirano ai 15.550 €

I costi di esercizio con la nuova fonte di calore sono:

Costi esercizio caldaia condensazione	
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	254.674
rendimento [-]	1,086
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0867
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	254.674
costo annuale [€/anno]	22.082 €

Tabella 101. Stima costi di esercizio con una caldaia a condensazione per 50 U.A.

Il risparmio è già più evidente rispetto agli altri casi; il motivo risiede sempre nelle dimensioni del condominio e nella quantità di energia ad esso collegato.

Edificio da 50 U.A.	Caldaia a condensazione
Costo iniziale tecnologia più efficiente	15.560 €
costo esercizio riferimento	26.067 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	22.082 €
Risparmio annuale	3.984 €
tempi di rientro	3,9
Risparmio al 5o anno	4.362 €
Risparmio al 10mo anno	24.284 €
Risparmio al 20mo anno	64.129 €

Tabella 102. Stima tempo di rientro e risparmi con una caldaia a condensazione per 50 U.A.

### 7.3.3 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento della caldaia obsoleta per 50 U.A.

Si considera ora il caso di una generazione ibrida formata da una pompa di calore e la caldaia obsoleta.

La potenza della pompa di calore è di:

POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA		
Temperatura ingresso	13	°C
Temperatura preriscaldamento	42	°C
t periodo punta + t preriscaldamento	3,5	h
$C=F*n*c$	3.510	l
$P=C*tp*(Tu-Tf)/(tp+tp_r)$	44	kW

Tabella 103. Dimensionamento di una pompa di calore per 50 U.A.

Considerando di scegliere sempre una macchina GSI, si sceglie il modello Aura 124; si dispongono due macchine del modello descritto in cascata così da avere una potenza di 42 kW.

## Dati Tecnici

## Technical Data

AURA	Mod	106		109		112		115		118		124	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
FUNZIONAMENTO: INVERNALE - A7/W35 Aria/Radiante / OPERATION: WINTER - A7/W35 Air/Radiant Floor													
Pot.Termica / Thermal Power Plant	kW	1,54	6,05	2,29	8,64	3,43	12,79	4,48	15,29	4,81	17,64	5,85	21,74
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m <sup>3</sup> /h	0,26	1,04	0,39	1,49	0,59	2,20	0,77	2,63	0,83	3,03	1,01	3,74
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,45	1,35	0,63	1,88	0,84	2,79	1,05	3,36	1,42	4,07	2,31	5,00
COP		4,49		4,59		4,59		4,55		4,33		4,35	

Figura 64. Catalogo pdc aria-acqua della GSI [12]

Tale pdc ha un costo di circa 17.000 € e si aggiungono 3.000 € per l'installazione della macchina.

La ripartizione dell'energia prodotta è la seguente:

Temperatura ingresso	13
Temperatura preriscaldamento	42
Temperatura accumulo	48
frazione pdc	82,9%
frazione caldaia	17,1%

Tabella 104. Frazione di energie prodotta con una pdc e da una caldaia per 50 U.A.

E si ottengono i successivi costi di esercizio:

Costi esercizio ibridi con caldaia obsoleta		
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	254.674	
Generazione	Caldaia obsoleta	Pompa di Calore
rendimento [-]	0,92	4
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,1024	0,0538
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	43.658	211.016
costo annuale	4.469 €	11.342 €
totale costo esercizio	15.811 €	

Tabella 105. Stima costi di esercizio con una generazione ibrida con caldaia obsoleta per 50 U.A.

Si nota già un maggiore risparmio sui costi dovuto all'energia prodotta dalla pdc.

Edificio da 50 U.A.	Ibrida con caldaia obsoleta
Costo iniziale tecnologia più efficiente	20.000 €
costo esercizio riferimento	26.067 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	15.811 €
Risparmio annuale	10.256 €
tempi di rientro	2,0
Risparmio al 5o anno	31.281 €
Risparmio al 10mo anno	82.562 €
Risparmio al 20mo anno	185.125 €

Tabella 106. Stima tempo di rientro e risparmi con una generazione ibrida con caldaia obsoleta per 50 U.A.

#### 7.3.4 Inserimento di una pompa di calore come preriscaldamento ad una caldaia a condensazione per 50 U.A.

Ora, si considera di sostituire anche la caldaia obsoleta per la generazione ibrida. I due sistemi di generazione di calore sono gli stesi evidenziati precedentemente.

Costi installazione ibridi con caldaia a condensazione		
Generazione	potenza	costo installazione
caldaia	284 kW	13.060 €
pdc	42 kW	17.000 €
installazione	-	4.000 €
<b>totale</b>		<b>34.060 €</b>

Tabella 107. Stima costi installazione per una generazione ibrida per 50 U.A.

Attraverso la stessa ripartizione della produzione di energia, si valuta il costo di esercizio annuale:

Costi esercizio ibridi con caldaia a condensazione		
Energia totale [kWh <sub>t</sub> /anno]	254.674	
Generazione	Caldaia a condensazione	Pompa di Calore
rendimento [-]	1,086	4
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0867	0,0538
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	43.658	211.016
costo annuale	3.786 €	11.342 €
totale costo esercizio	15.128 €	

Tabella 108. Stima costi di esercizio con una generazione ibrida nuova per 50 U.A.

Ed è ora possibile valutare il tempo di rientro e i guadagni associati all'intervento:

Edificio da 50 U.A.	Ibrida con caldaia a condensazione
Costo iniziale tecnologia più efficiente	34.060 €
costo esercizio riferimento	26.067 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	15.128 €
Risparmio annuale	10.939 €
tempi di rientro	3,1
Risparmio al 5o anno	20.636 €
Risparmio al 10mo anno	75.333 €
Risparmio al 20mo anno	184.726 €

Tabella 109. Stima tempo di rientro e risparmi con una generazione ibrida nuova per 50 U.A.

I risparmi sono ancora maggiori rispetto al caso di generazione ibrida mantenendo la caldaia obsoleta.

### 7.3.5 Inserimento del solare termico e di una pompa di calore con sostituzione della caldaia per 50 U.A.

Infine, si valuta l'intervento del solare termico ibrido. come per gli altri casi, questo intervento prevede anche la sostituzione dell'accumulo presente, in quanto ne necessita due che, come somma, diano lo stesso volume; necessita anche di due scambiatori di calore e di una pompa di calore ad acqua, con potenza simile alla precedente.

POMPA DI CALORE H2O-H2O		
Temperatura ingresso	13	°C
Temperatura preriscaldamento	50	°C
t periodo punta + t preriscaldamento	3,5	h
$C=F*n*c$	3.510	l
$P=C*tp*(Tu-Tf)/(tp+tp_r)$	56	kW

Tabella 110. Dimensionamento della potenza della pdc H2O-H2O per 50 U.A.

Si scelgono due pompe da disporre in cascata; le pompe in questione sono delle Aqua RC 127, limitando la potenza a 60 kW.

AQUA RC		[Versione INVERTER]		GSI		High Performance System							
Dati Tecnici		Technical Data											
AQUA RC		Mod		114		121		127		138		145	
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
FUNZIONAMENTO: INVERNALE- W10/W35 / OPERATION: WINTER- W10/W35													
Potenza Termica / Thermal Power	kW	4,72	17,52	6,16	24,65	8,62	36,80	10,55	45,04	12,28	52,45		
Portata acqua Imp. / Plant water flow	m <sup>3</sup> /h	0,81	3,01	1,06	4,24	1,48	6,33	1,82	7,75	2,11	9,02		
P.A. Totale / Total Power Consumption	kW	0,77	3,23	1,06	4,59	1,43	6,69	1,67	7,81	2,04	9,57		
COP		6,10		5,83		6,03		6,32		6,01			

Figura 65. Catalogo Pdc acqua-acqua della GSI [12]

i dati sui due pannelli solari utilizzabili per 50 U.A. sono:

SOLARE TERMICO	Atag
superficie	91
superficie pannello	3,2
costo pannello	2.140 €
n pannelli	28

Tabella 111. Dati pannelli solari per Atag per 50 U.A.

I costi di installazione per questa soluzione sono:

Costi installazione solare ibrido		Atag
Generazione	potenza	costo installazione
caldaia	240 kW	13.060 €
pdc	60 kW	35.400 €
solare	91 m <sup>2</sup>	47.936 €
Accumuli	4*300 l + 800 l	5.768 €
Scambiatori di calore	2	5.200 €
installazione	-	7.000 €
<b>totale</b>	-	<b>114.364 €</b>

Tabella 112. Stima costi di installazione del solare ibrido per 50 U.A.

L'energia annuale da fornire è la seguente:

ENERGIE ANNUALI		
Energia anti Legionella	5.330	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ricircolo	109.500	kWh <sub>t</sub> /anno
Energia ACS	139.843	kWh <sub>t</sub> /anno
<b>Energia totale</b>	<b>254.674</b>	<b>kWh<sub>t</sub>/anno</b>
Energia da solare	68.710	kWh <sub>t</sub> /anno
<b>Energia da fornire</b>	<b>185.964</b>	<b>kWh<sub>t</sub>/anno</b>

Tabella 113. Stima energie necessarie per un condominio di 50 U.A.

Seguendo sempre il ragionamento del frazionamento dell'energia prodotta utilizzato per i due casi precedenti, le frazioni di energia prodotta dalla pdc o dalla caldaia sono:

Mese	Irraggiamento mensile superficiale [kWh/m <sup>2</sup> ]	energia totale sul pannello [kWh]	energia solare per accumulo [kWh]	energia solare per pdc [kWh]	energia prodotta pdc [kWh]
Gennaio	49,9	4.542	3.722	820	4.714
Febbraio	70,3	6.395	4.534	1.861	10.704
Marzo	118,4	10.776	6.268	4.508	15.469
Aprile	146,4	13.322	6.757	6.565	14.588
Maggio	176,7	16.080	6.747	9.333	13.638
Giugno	189,9	17.281	6.646	10.635	13.390
Luglio	195,3	17.772	7.469	10.303	12.240
Agosto	164,3	14.951	6.862	8.089	13.523
Settembre	120,3	10.947	6.064	4.883	13.972
Ottobre	84,6	7.701	5.695	2.006	11.536
Novembre	54,0	4.914	3.854	1.060	6.095
Dicembre	48,6	4.424	4.092	332	1.907
Totale	1418,8	129.106	68.710	60.396	131.776

Tabella 114. Stima energia prodotta dalla pdc H2O.H2O per 50 U.A.

Mese	energia totale [kWh <sub>t</sub> ]	energia solare [kWh <sub>t</sub> ]	energia pdc [kWh <sub>t</sub> ]	energia mensile caldaia [kWh <sub>t</sub> ]	frazione solare	frazione pdc	frazione caldaia
Gennaio	23.089	3.722	4.714	14.653	16,1%	20,4%	63,5%
Febbraio	21.781	4.534	10.704	6.543	20,8%	49,1%	30,0%
Marzo	21.737	6.268	15.469	0	28,8%	71,2%	0,0%
Aprile	21.345	6.757	14.588	0	31,7%	68,3%	0,0%
Maggio	20.385	6.747	13.638	0	33,1%	66,9%	0,0%
Giugno	20.036	6.646	13.390	0	33,2%	66,8%	0,0%
Luglio	19.709	7.469	12.240	0	37,9%	62,1%	0,0%
Agosto	20.385	6.862	13.523	0	33,7%	66,3%	0,0%
Settembre	20.036	6.064	13.972	0	30,3%	69,7%	0,0%
Ottobre	21.737	5.695	11.536	4.506	26,2%	53,1%	20,7%
Novembre	21.345	3.854	6.095	11.396	18,1%	28,6%	53,4%
Dicembre	23.089	4.092	1.907	17.090	17,7%	8,3%	74,0%
Totale	254.674	68.710	131.776	54.188	27,3%	52,6%	20,1%

Tabella 115. Stima frazioni di energia prodotte dalle tre fonti di calore per 50 U.A.

Le frazioni richiamano quelli dei casi precedenti, cambia solo l'energia che i vari sistemi devono produrre; la caldaia produce il 20,1% dell'energia da produrre e il 27,3% viene prodotto dal solare, il 52,6%, e la restante parte con la pompa di calore ad acqua.

I costi di esercizio sono i seguenti:

Costi esercizio solare + ibrido			
Energia totale[kWh <sub>t</sub> /anno]	254.674		
Energia da fornire [kWh <sub>t</sub> /anno]	185.964		
Generazione	Caldaia	Pompa di Calore	Solare
rendimento [-]	1,086	5,75	-
costo vettore energetico [€/kWh <sub>t</sub> ]	0,0867	0,0374	0
Energia da produrre [kWh <sub>t</sub> ]	54.188	131.776	68.710
costo annuale	4.699 €	4.927 €	0 €
totale costo esercizio	9.626 €		

Tabella 116. Stima costi di esercizio con un solare ibrido per 50 U.A.

Il tempo di rientro per questa soluzione è di:

Edificio da 50 U.A.	Solare ibrido Atag
Costo iniziale tecnologia più efficiente	114.364 €
costo esercizio riferimento	26.067 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	9.626 €
Risparmio annuale	16.441 €
tempi di rientro	7,0
Risparmio al 5o anno	-32.159 €
Risparmio al 10mo anno	50.047 €
Risparmio al 20mo anno	214.458 €

Tabella 117. Stima tempo di rientro e risparmi con un solare ibrido per 50 U.A.

Si nota come il tempo di rientro è circa uguale agli altri due casi, anche se inferiore per via dell'elevato risparmio annuale rispetto al costo di esercizio di riferimento.

### 7.3.6 Comparazione interventi per 50 U.A.

Per ultimo, si comparano gli interventi relativi al condominio di 50 alloggi.

Edificio da 50 U.A.	Caldaia a condensazione	Ibrida con caldaia obsoleta	Ibrida con caldaia a condensazione	Solare ibrido Atag
Costo iniziale tecnologia più efficiente	15.560 €	20.000 €	34.060 €	114.364 €
costo esercizio riferimento	26.067 €	26.067 €	26.067 €	26.067 €
costo esercizio tecnologia più efficiente	22.082 €	15.811 €	15.128 €	9.626 €
Risparmio annuale	3.984 €	10.256 €	10.939 €	16.441 €
tempi di rientro	3,9	2,0	3,1	7,0
Risparmio al 5o anno	4.362 €	31.281 €	20.636 €	-32.159 €
Risparmio al 10mo anno	24.284 €	82.562 €	75.333 €	50.047 €
Risparmio al 20mo anno	64.129 €	185.125 €	184.726 €	214.458 €

Tabella 118. Confronto dei vari interventi per 50 U.A.

Come anticipato, la miglior soluzione di efficientamento energetico è installare un generatore ibrido. Infatti, installando un solare ibrido, si ha circa lo stesso risparmio annuale del caso ibrido; la differenza che determina un minor risparmio economico nel tempo sta nell'alta spesa iniziale.

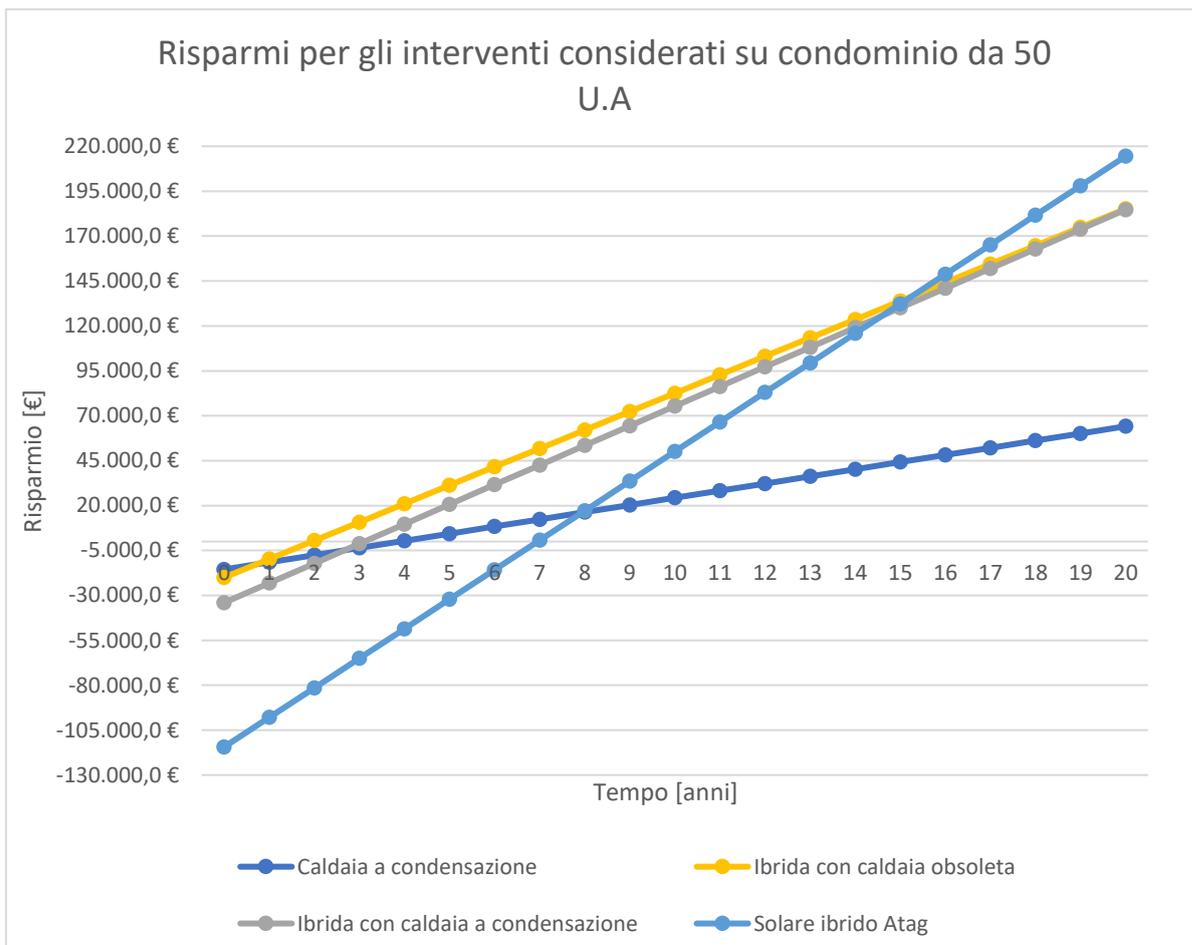


Figura 66. Andamento nel tempo dei risparmi dovuti agli interventi per 50 U.A.

### 7.4 Confronto dei vari interventi nei 3 condomini studiati

Per ultimo, si confrontano gli interventi studiati per i tre condomini. Ci si aspetta degli andamenti simili, come evidenziato nelle singole strutture, con la diversità sui costi, dato che ci sono esigenze differenti.

Edificio	Tecnologia	Costo iniziale tecnologia più efficiente	costo esercizio tecnologia più efficiente	Risparmio annuale	tempi di rientro	Risparmio al 5o anno	Risparmio al 10mo anno
20 U.A.	Caldaia a condensazione	8.270 €	9.269 €	1.672 €	4,9	6.806 €	8.454 €
	Ibrida con caldaia obsoleta	11.500 €	6.636 €	4.305 €	2,7	15.797 €	31.548 €
	Ibrida con caldaia a condensazione	18.770 €	6.349 €	4.591 €	4,1	15.179 €	27.145 €
	Solare ibrido Atag	56.959 €	4.238 €	6.703 €	8,5	-23.446 €	10.067 €
35 U.A.	Caldaia a condensazione	13.700 €	15.280 €	2.757 €	5,0	85 €	13.870 €
	Ibrida con caldaia obsoleta	18.000 €	10.749 €	7.288 €	2,5	18.441 €	54.882 €
	Ibrida con caldaia a condensazione	30.200 €	10.276 €	7.761 €	3,9	8.604 €	47.408 €
	Solare ibrido Atag	85.196 €	6.765 €	11.272 €	7,6	-28.836 €	27.525 €
50 U.A.	Caldaia a condensazione	15.560 €	22.082 €	3.984 €	3,9	4.362 €	24.284 €
	Ibrida con caldaia obsoleta	20.000 €	15.811 €	10.256 €	2,0	31.281 €	82.562 €
	Ibrida con caldaia a condensazione	34.060 €	15.128 €	10.939 €	3,1	20.636 €	75.333 €
	Solare ibrido Atag	114.364 €	9.626 €	16.441 €	7,0	-32.159 €	50.047 €

Tabella 119. Confronto interventi per i tre condomini analizzati

Interessante notare che tutti gli interventi hanno dei tempi di rientro molto simili, nonostante le esigenze aumentino con la taglia dell'edificio; questo è dovuto

all'aumentare del risparmio annuale per ogni tecnologia diversa. Infatti, se si guarda l'inserimento di una tecnologia specifica nei tre condomini, si vede che il risparmio annuale aumenta.

L'analisi fatta ha inoltre dimostrato il vantaggio di sostituire la caldaia obsoleta anche nell'impianto ibrido; il vantaggio, tuttavia, non è soltanto economico, di fatto il risparmio è di qualche migliaio di euro l'anno, ma è anche energetico-ambientale.

Come anticipato negli altri capitoli, per tutti gli stabili analizzati, si consiglia di sostituire la caldaia obsoleto con un impianto ibrido; si notano infatti i vantaggi rispetto ad avere una singola fonte. Ciò si vede comparando questa tabella con la *tabella 30*, che evidenzia i costi di esercizio per le nuove utenze con singola fonte energetica. Questo porta a consigliare anche un impianto ibrido anche per i condomini nuovi.

## Conclusione

Lo studio effettuato nel progetto di tesi ha prodotto i risultati attesi, ovvero la dimostrazione delle effettive riduzioni, sia a livello energetico che economico, conseguenti all'utilizzo di tecnologie efficienti negli impianti centralizzati per la produzione di ACS.

In particolare, si è osservato che una via per ridurre l'energia necessaria in un condominio è sicuramente quello di eliminare l'accumulo di ACS e preferire un accumulo di acqua tecnica. In tal modo, si riducono notevolmente le spese legate alla produzione di acqua calda, come evidenziato nella *tabella 36*.

Inoltre, con la scelta delle opportune tecnologie, che generalmente prevedono un elevato esborso economico iniziale, è possibile ridurre notevolmente i costi di esercizio e quindi della bolletta energetica. In riferimento a questo, per quel che riguarda i condomini nuovi, optando per tecnologie come le pompe di calore o il solare termico abbinato alla pompa di calore è possibile risparmiare, rispettivamente, il 13,5 % e il 21,9 % rispetto ad una generazione con una caldaia a condensazione. Invece, per quanto concerne i condomini esistenti che hanno già un generatore di calore obsoleto, è bene sostituirlo con un impianto ibrido: in questo modo si hanno più sistemi di generazione, ma molto performanti. Tra gli impianti ibridi analizzati il più prestante è quello composto dalla pompa di calore e dalla caldaia a condensazione, infatti, il risparmio risulta maggiore del 40% per tutti e tre i casi di condomini esistenti analizzati. Il caso del solare ibrido è consigliabile quando si vuole intervenire in un condominio che, però, presenta una caldaia meno obsoleta di quella considerata, come per esempio una caldaia a condensazione o ad alto rendimento. Così facendo si abbassano i costi di installazione e l'impianto diviene ancora più vantaggioso anche dal punto di vista economico.

In ultimo, attraverso lo studio, si è dimostrata l'importanza di utilizzare sempre nuove tecnologie anche interconnesse fra di loro, in modo tale da implementare ulteriormente la loro efficienza. Per questo motivo, anche negli impianti nuovi è bene considerare una generazione ibrida.

L'analisi fatta trova il suo spazio nel contesto urbano odierno, dove sono presenti molti casi di condomini nuovi ed esistenti in cui è possibile operare un intervento di efficientamento energetico, come quelli studiati, riducendo i costi di esercizio per i condomini, a parità di resa.

Un limite dello studio proposto è sicuramente quello di essere sperimentale e quindi di non avere un riscontro pratico degli interventi studiati. Per questo motivo, per renderlo ancora più efficace, un possibile lavoro futuro potrebbe essere quello di effettuare un'analisi tecnico-economica su un impianto centralizzato per la produzione di ACS, modificandolo con un generatore ibrido o con un solare ibrido, e di valutare i reali vantaggi di questo intervento.

## Indice delle figure

Figura 1. Schema produzione ACS mediante accumulo di ACS e scambiatore a piastre	10
Figura 2. Schema produzione ACS mediante accumulo di acqua tecnica e scambiatore a piastre .....	11
Figura 3. Schema produzione ACS mediante accumulo di acqua tecnica e serpentino di scambio annegato.....	12
Figura 4. Schema produzione ACS mediante una caldaia come generazione di calore con prelievo d'acqua tecnica dal basso .....	14
Figura 5. Schema produzione ACS mediante una caldaia come generazione di calore con prelievo d'acqua tecnica dall'alto .....	16
Figura 6. Schema produzione ACS mediante una pdc come generazione di calore con prelievo d'acqua tecnica dal basso .....	17
Figura 7. Schema produzione ACS mediante una pdc come generazione di calore con prelievo d'acqua dall'alto .....	20
Figura 8. Schema produzione ACS attraverso una pdc e un desurriscaldatore come generazione di calore.....	21
Figura 9. Schema produzione ACS attraverso pannello solare termico e altra fonte termica con un accumulo di acqua tecnica e scambiatore rapido.....	23
Figura 10. Schema produzione ACS attraverso pannello solare termico e altra fonte termica con un accumulo di acqua calda sanitaria.....	23
Figura 11. Schema produzione ACS attraverso pannello solare termico e altra fonte termica con un accumulo di acqua calda sanitaria con serpentino solare immerso .....	24
Figura 12. Posizionamento sonde di temperatura durante la fascia oraria di prelievo intenso di ACS .....	27
Figura 13. Posizionamento sonde di temperatura durante la fascia oraria di prelievo ridotto di ACS .....	28
Figura 14. Accumulo da 800 l Cordivari [9].....	34
Figura 15. Caldaie a condensazione Riello a metano [10] .....	35
Figura 16. Pompa di calore GSI Aura [12] .....	37
Figura 17. Schermata 1 del programma Parasol per 20 U.A. ....	38

Figura 18. Schermata 2 del programma Parasol per 20 U.A. ....	39
Figura 19. Schermata 3 del programma Parasol per 20 U.A. ....	40
Figura 20. Schermata 4 del programma Parasol per 20 U.A. ....	41
Figura 21. Schermata 5 del programma Parasol per 20 U.A. ....	41
Figura 22. Schermata 6 del programma Parasol per 20 U.A. ....	42
Figura 23. Fabbisogno e produzione ACS con pannello inclinato di 15° .....	43
Figura 24. Fabbisogno e produzione ACS con pannello inclinato di 0° .....	43
Figura 25. Accumulo dal 1000 l Cordivari [9].....	45
Figura 26. Caldaie a condensazione Riello [10] .....	46
Figura 27. Pompa di calore Aura della GSI [12] .....	47
Figura 28. Schermata 1 del programma Parasol per 35 U.A. ....	48
Figura 29. Schermata 2 del programma Parasol per 35 U.A. ....	49
Figura 30. Schermata 3 del programma Parasol per 35 U.A. ....	49
Figura 31. Schermata 4 del programma Parasol per 35 U.A. ....	50
Figura 32. Accumulo termico da 1500 l della Cordivari [9] .....	52
Figura 33. Caldaia a condensazione a metano dell RIELLO [10] .....	53
Figura 34. Pompa di calore Aura della GSI [12] .....	54
Figura 35. Schermata 1 del programma Parasol di Paradigma per 50 U.A. ....	55
Figura 36. Schermata 2 del programma Parasol di Paradigma per 50 U.A .....	56
Figura 37. Schermata 3 del programma Parasol di Paradigma per 50 U.A .....	56
Figura 38. Schermata 4 del programma Parasol di Paradigma per 50 U.A .....	57
Figura 39. Tempi di rientro per la pompa di calore .....	73
Figura 40. Tempi di rientro per il solare termico con la caldaia .....	75
Figura 41. Tempi di rientro per il solare termico con una pompa di calore.....	76
Figura 42. Accumulo di acqua tecnica (Puffer) della Cordivari [9] .....	79
Figura 43. Scambiatore di calore a piastre della Cordivari [9].....	80
Figura 44..Condominio tipo per il calcolo delle dispersioni per il ricircolo [17].....	91
Figura 45. Parte A dell'allegato 1 del d.lgs. 31[19] .....	101
Figura 46. Parte B dell'allegato 1 del d.lgs. 31 [19] .....	101
Figura 47. Parte C dell'allegato 1 del d.lgs. 31 [19] .....	102

Figura 48. Perdite di carico del CSST dell'Eurotis [24] .....	105
Figura 49. Perdite di carico per il CSST con portata 2m3/h [24] .....	106
Figura 50. Costi per la tubazione CSST dell'Eurotis [24] .....	108
Figura 51. Perdite di carico del multistrato Acquatechnik per le due portate considerate [25].....	108
Figura 52. Costo del multistrato Acquatechnik [25] .....	110
Figura 53. Catalogo caldaia Condexa Pro Riello [10] .....	120
Figura 54. Schema funzionale del generatore ibrido con l'accumulo .....	122
Figura 55. Catalogo pdc Aura della GSI [10] .....	123
Figura 56. Collegamento del solare ibrido con gli accumuli [27] .....	128
Figura 57. Pompa di calore H2O-H2O della GSI [28] .....	130
Figura 58. Andamento nel tempo del risparmio dovuto agli interventi per 20 U.A. ...	136
Figura 59. Catalogo caldaia a condensazione Condexa Pro della Riello [10] .....	139
Figura 60. Catalogo pdc aria-acqua della GSI [12] .....	141
Figura 61. Catalogo pdc acqua-acqua della GSI [12] .....	145
Figura 62. Andamento dei risparmi dovuti agli interventi per 35 U.A. ....	151
Figura 63. Catalogo caldaia a condensazione della Riello [10].....	154
Figura 64. Catalogo pdc aria-acqua della GSI [12] .....	156
Figura 65. Catalogo Pdc acqua-acqua della GSI [12] .....	159
Figura 66. Andamento nel tempo dei risparmi dovuti agli interventi per 50 U.A.....	165

## Indice delle tabelle

Tabella 1. Comparazione costi installazione ed esercizio dei vari sistemi di generazione di ACS .....	28
Tabella 2. Temperature in gioco dell'ACS .....	31
Tabella 3. Fattore di contemporaneità considerate per i tre condomini .....	31
Tabella 4. Dimensionamento volume accumulo per 20 U.A. ....	33
Tabella 5. Dimensionamento caldaia per 20 U.A. ....	35
Tabella 6. Dimensionamento pompa di calore per 20 U.A. ....	36
Tabella 7. Comparazione dimensionamento e costi per 20 U.A. ....	44
Tabella 8. Dimensionamento volume accumulo 35 U.A. ....	45
Tabella 9. Dimensionamento caldaia per 35 U.A. ....	46
Tabella 10. Dimensionamento della pompa di calore per 35 U.A.....	47
Tabella 11. Comparazione dimensionamento e costi di installazione per 35 U.A. ....	51
Tabella 12. Dimensionamento volume accumulo per 50 U.A. ....	52
Tabella 13. Dimensionamento caldaia per 50 U.A. ....	53
Tabella 14. Dimensionamento pompa di calore per 50 U.A. ....	53
Tabella 15. Comparazione dimensionamento e costi di installazione per 50 U.A. ....	58
Tabella 16. Sintesi dei costi di installazione delle diverse tecnologie per le diverse strutture .....	59
Tabella 17. Stima potenza per il trattamento anti Legionella per 20 U.A. ....	63
Tabella 18. Stima energia annuale per il trattamento anti Legionella per 20 U.A. ....	64
Tabella 19. Stima energia persa per il ricircolo per 20 U.A. ....	64
Tabella 20. Sintesi energie perse annualmente per 20 U.A. ....	64
Tabella 21. Stima costi di esercizio per ogni tecnologia per 20 U.A. ....	65
Tabella 22. Stima potenza per il trattamento anti Legionella per 35 U.A. ....	67
Tabella 23. Sintesi energie perse annualmente per 35 U.A. ....	67
Tabella 24. Stima dei costi di esercizio per ogni tecnologia per 35 U.A. ....	68
Tabella 25. Stima potenza persa per il trattamento anti Legionella per 50 U.A. ....	69
Tabella 26. Stima energia persa per il trattamento anti Legionella per 50 U.A. ....	69
Tabella 27. Stima energia persa per il ricircolo per 50 U.A. ....	69

Tabella 28. Stima energie perse annualmente per 50 U.A.....	70
Tabella 29. Stima costi esercizio per ogni tecnologia per 50 U.A.....	70
Tabella 30. Comparazione costi di installazione e di esercizio delle varie soluzioni per i tre condomini.....	71
Tabella 31. Valutazione tempo di rientro per la pompa di calore.....	72
Tabella 32. Valutazione tempi di rientro per il solare termico con caldaia.....	74
Tabella 33. Valutazione tempi di rientro per il solare termico con la pompa di calore .	75
Tabella 34. Comparazione tempi di rientro e vantaggi per le tre tecnologie studiate ..	76
Tabella 35. Valutazione costi di installazione ed esercizio di impianto con accumulo Puffer .....	81
Tabella 36. Comparazione costi tra un impianto con accumulo di ACS e con Puffer.....	82
Tabella 37. Portate di un alloggio tipo.....	84
Tabella 38. Fattore di contemporaneità per ogni edificio.....	85
Tabella 39. Valutazione diametri per 20 U.A.....	86
Tabella 40. Valutazione diametri per 35 U.A.....	88
Tabella 41. Valutazione diametri per 50 U.A.....	89
Tabella 42. Comparazione diametri per i tre diversi condomini .....	90
Tabella 43. Calcoli dispersioni delle tubazioni della rete per il condominio tipo.....	93
Tabella 44. Calcoli dispersioni per la rete di ricircolo del condominio tipo .....	95
Tabella 45. Calcoli dispersioni dell'accumulo per il condominio tipo .....	97
Tabella 46. Perdite totali con tubazione isolata del condominio tipo.....	97
Tabella 47. Perdite totali con tubazione non isolate del condominio tipo .....	98
Tabella 48. Confronto perdite tubazione isolata e non isolata per il condominio tipo .	98
Tabella 49. Risparmi dovuti all'utilizzo di una tubazione isolata per il condominio tipo	99
Tabella 50. Valori di velocità in riferimento al diametro a parità di portata.....	105
Tabella 51. Perdite di carico della tubazione in acciaio considerata in riferimento al diametro .....	106
Tabella 52. Valutazione conduttività tubazione in acciaio INOX rivestita di isolante ..	107
Tabella 53. Perdite di carico della tubazione multistrato considerata in riferimento al diametro .....	109

Tabella 54. Conduttività della tubazione in multistrato .....	109
Tabella 55. Confronto tubazione in acciaio INOX isolato e in multistrato .....	110
Tabella 56. Valutazione potenza caldaia per 20 U.A. ....	118
Tabella 57. Stima energie perse annualmente per 20 U.A. ....	119
Tabella 58. Stima costi esercizio con caldaia obsoleta per 20 U.A. ....	120
Tabella 59. Stima costi esercizio con caldaia a condensazione per 20 U.A. ....	121
Tabella 60. Stima tempo di rientro e risparmi con una caldaia a condensazione per 20 U.A. ....	121
Tabella 61. Dimensionamento pompa di calore per 20 U.A. ....	123
Tabella 62. Frazione energia prodotta da pdc e da caldaia per 20 U.A. ....	124
Tabella 63. Stima costi esercizio con generazione ibrida con caldaia obsoleta per 20 U.A. ....	124
Tabella 64. Stima tempi di rientro e risparmi con generazione ibrida con caldaia obsoleta per 20 U.A. ....	125
Tabella 65. Stima costi di installazione relativi a una generazione ibrida nuova per 20 U.A. ....	126
Tabella 66. Stima costi di esercizio con una generazione ibrida nuova per 20 U.A. ....	126
Tabella 67. Stima tempo di rientro e risparmi con una generazione ibrida per 20 U.A. ....	127
Tabella 68. Dimensionamento pdc H2O-H2O per 20 U.A. ....	129
Tabella 69. Stima costi installazione solare ibrido per 20 U.A. ....	131
Tabella 70. Stima energie perse e prodotte per 20 U.A. ....	131
Tabella 71. Stima energia prodotta dalla pdc H2O-H2O per 20 U.A. ....	132
Tabella 72. Ripartizione energie prodotte per fonte di calore per 20 U.A. ....	133
Tabella 73. Stima costi esercizio con un solare ibrido per 20 U.A. ....	134
Tabella 74. Stima tempo di rientro e risparmi per solare ibrido per 20 U.A. ....	134
Tabella 75. Comparazione interventi per 20 U.A. ....	135
Tabella 76. Stima potenza caldaia per 35 U.A. ....	137
Tabella 77. Stima energie perse per 35 U.A. ....	138
Tabella 78. Stima costi di esercizio con una caldaia obsoleta per 35 U.A. ....	138

Tabella 79. Stima costi di esercizio con una caldaia a condensazione per 35 U.A. ....	139
Tabella 80. Stima tempo di rientro e risparmi con una caldaia a condensazione per 35 U.A.....	140
Tabella 81. Dimensionamento di una pompa di calore per 35 U.A.....	140
Tabella 82. Frazione energia prodotta con una pdc e con una caldaia per 35 U.A. ....	141
Tabella 83. Stima costi di esercizio con una generazione ibrida con caldaia obsoleta per 35 U.A.....	142
Tabella 84. Stima tempo di rientro e risparmi con un impianto ibrido con caldaia obsoleta per 35 U.A. ....	142
Tabella 85. Stima costi installazione di un impianto ibrido nuovo per 35 U.A.....	143
Tabella 86. Stima costi di esercizio con un impianto ibrido nuovo per 35 U.A. ....	143
Tabella 87. Stima tempo di rientro e risparmi con un impianto ibrido nuovo per 35 U.A. ....	144
Tabella 88. Dimensionamento pdc H2O-H2O per 35 U.A. ....	145
Tabella 89. Stima costi di installazione del solare termico ibrido per 35 U.A. ....	146
Tabella 90. Stima energie perse e prodotte per un condominio di 35 U.A. ....	146
Tabella 91. Stima energia prodotta con la pdc H2O-H2O per 35 U.A. ....	147
Tabella 92. Stima frazioni energia per 35 U.A. ....	148
Tabella 93. Stima costi di esercizio per un solare ibrido per 35 U.A. ....	149
Tabella 94. Stima tempo di rientro e risparmi con un solare ibrido per 35 U.A. ....	149
Tabella 95. Confronto tempo di rientro e risparmi dei vari interventi per 35 U.A. ....	150
Tabella 96. Stima potenza caldaia per 50 U.A. ....	152
Tabella 97. Stima energie perse per un condominio di 50 U.A. ....	153
Tabella 98. Stima costi di esercizio con una caldaia obsoleta per 50 U.A.....	153
Tabella 99. Stima costi di esercizio con una caldaia a condensazione per 50 U.A. ....	154
Tabella 100. Stima tempo di rientro e risparmi con una caldaia a condensazione per 50 U.A.....	155
Tabella 101. Dimensionamento di una pompa di calore per 50 U.A.....	155
Tabella 102. Frazione di energie prodotta con una pdc e da una caldaia per 50 U.A..	156

Tabella 103. Stima costi di esercizio con una generazione ibrida con caldaia obsoleta per 50 U.A.....	156
Tabella 104. Stima tempo di rientro e risparmi con una generazione ibrida con caldaia obsoleta per 50 U.A. ....	157
Tabella 105. Stima costi installazione per una generazione ibrida per 50 U.A. ....	157
Tabella 106. Stima costi di esercizio con una generazione ibrida nuova per 50 U.A. ..	158
Tabella 107. Stima tempo di rientro e risparmi con una generazione ibrida nuova per 50 U.A.....	158
Tabella 108. Dimensionamento della potenza della pdc H2O-H2O per 50 U.A. ....	159
Tabella 109. Stima costi di installazione del solare ibrido per 50 U.A.....	160
Tabella 110. Stima energie necessarie per un condominio di 50 U.A. ....	160
Tabella 111. Stima energia prodotta dalla pdc H2O.H2O per 50 U.A. ....	161
Tabella 112. Stima frazioni di energia prodotte dalle tre fonti di calore per 50 U.A. ..	162
Tabella 113. Stima costi di esercizio con un solare ibrido per 50 U.A. ....	163
Tabella 114. Stima tempo di rientro e risparmi con un solare ibrido per 50 U.A. ....	163
Tabella 115. Confronto dei vari interventi per 50 U.A. ....	164
Tabella 116. Confronto interventi per i tre condomini analizzati .....	166

## Bibliografia

- [1] G. Tosi, *Allegato 1 – Comunicazione provata*
- [2] G. Tosi, *Confronti costi energetici – Comunicazione provata*
- [3] M. Caleffi, F. Guidetti, M. Doninelli, M. Doninelli, E. Prini, P. Barcellini, *Idraulica*, Caleffi, 2002
- [4] M. Cali, P. Gregorio, *Termodinamica*, Società Editrice Esculapio, Bologna, 1996, pp. 479 – 534
- [5] Norma UNI EN 14511 – 1:2018
- [6] Norma UNI EN 14825:2019
- [7] R. Dott, a. Genkinger, r. Kobler, z. Alimpic, p. Hubacher, t. Afjei, *Pompe di calore Progettazione I, Ottimizzazione I, Esercizio I, Manutenzione*, Zurigo, Ufficio federale dell'energia, Settore formazione di base e continua, 2019
- [8] M. Caleffi, *IL DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI IDROSANITARI, Vasi d'espansione e accumuli*, Caleffi, 2015
- [9] Cordivari, *Bollitori, Termoaccumulatori*, Cordivari 2019
- [10] Riello, *Listocatalogo*, Riello, 2019
- [11] Rossato, <https://www.rossatogroup.com/guide/pompe-di-calore/pompe-di-calore-per-acqua-calda/129-come-calcolare-il-volume-dell-accumulo-e-la-potenza-della-pompa-di-calore.html>
- [12] G.S.I. SRL, *Impianti aria-acqua/ air-water pump*, Ponte di Piave, Treviso, 2018
- [13] Paradigma, Software Parasol-fc34
- [14] Paradigma, *Cataloghi Prodotti 2019-2020*, Paradigma, 2020
- [15] M. Caleffi, *PERICOLO LEGIONELLA E RESPONSABILITÀ*, Caleffi, 2018
- [16] G. Tosi, *Fattori contemporaneità – Comunicazione provata*

- [17] G. Tosi, *Allegato 2 – Comunicazione provata*
- [18] G. Tosi, *Calcoli dispersioni tubazione e serbatoi – Comunicazione provata*
- [19] Decreto legislativo 2 febbraio 2001, n. 31, *Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano*
- [20] Decreto legislativo 2 febbraio 2002, n. 27, *Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano*
- [21] Direttiva europea 3 novembre 1998, n. 83, *Qualità delle acque destinate al consumo umano*
- [22] Decreto ministeriale 6 aprile 2004, n.174, *Regolamento concernente i materiali e gli oggetti che possono essere utilizzati negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano*
- [23] UNI 9182, febbraio 2014, *Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo*
- [24] Eurotis Creatori di soluzioni, *Listino - Catalogo*, Eurotis 2020
- [25] Acquatechnik Soluzioni per l'idraulica e l'impiantistica, *Listino prezzi*, Acquatechnik 2020
- [26] Center for Disease Control and Prevention, CDC,  
<https://www.cdc.gov/legionella/index.html>
- [27] G. Tosi, *Allegato 3 – Comunicazione provata*
- [28] G.S.I. SRL, *Catalogo Professionale/Professional Catalog*, Ponte di Piave, Treviso, 2018
- [29] Atag, *Listino Prezzi*, Atag Italia, 2019
- [30] Enea, *Atlante italiano della radiazione solare*,  
<http://www.solaritaly.enea.it/CalcRggmmOrizz/Calcola1.php>

