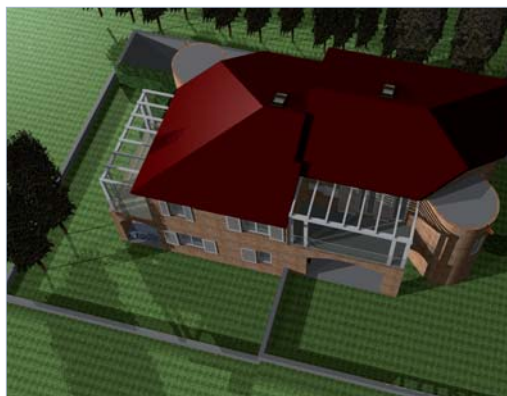


# Caldaia a condensazione e pompa di calore confronto delle prestazioni stagionali

Come ben noto, l'energia impiegata nel settore civile, sia residenziale sia terziario, per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua sanitaria rappresenta circa il 20% del consumo energetico totale italiano. La maggior parte di questo consumo è dovuto ad edifici scarsamente isolati e non progettati per sfruttare gli apporti gratuiti di calore, ma anche a impianti e generatori obsoleti e con bassissimi valori di rendimento rispetto a quelli ottenibili con apparecchi più moderni. A causa degli obiettivi ambiziosi di riduzione del consumo energetico e di emissione di gas climalteranti, negli ultimi anni si è posta sempre crescente attenzione alla valutazione dell'impatto dell'utilizzo di nuove tecnologie per migliorare la situazione energetica del parco edilizio italiano e in questo scenario diventa molto importante riuscire a valutare quantitativamente l'effetto dell'adozione delle varie tecnologie disponibili ai fini di massimizzarne i vantaggi in termini di ricerca della miglior efficienza economica ed energetica.

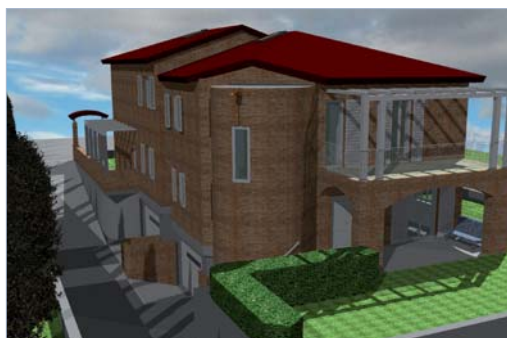
Una stima attendibile è che in Italia ci siano 29.000.000 di abitazioni in edifici residenziali di varia tipologia e di queste 1.770.000 sono dotate di impianto di riscaldamento autonomo, 5.700.000 di impianto di riscaldamento centralizzato o teleriscaldamento e le restanti non siano riscaldate (elaborazioni degli autori sui dati di partenza del censimento ISTAT 2001). Quindi la maggior parte del parco abitativo italiano è riscaldato mediante sistemi autonomi, dotati cioè di un generatore e un impianto di distribuzione per ogni unità abitativa. Attualmente i generatori più efficienti disponibili commercialmente per produrre calore per riscaldamento e acqua calda sanitaria per edifici residenziali unifamiliari o per appartamenti singoli, sono le pompe di calore elettriche idroniche, utilizzanti cioè acqua come fluido vettore, e le caldaie a condensazione dell'ultima generazione, dotate di premiscelazione aria-gas e ampio campo di modulazione fra la minima e la massima potenza. Per valutare le prestazioni stagionali, che siano perciò dipendenti dalle reali condizioni climatiche e di funzionamento degli apparecchi e non frutto



**FIGURA 1**  
Vista superiore  
dell'edificio in  
costruzione su  
cui si è effettuato  
il confronto



**FIGURA 2**  
Vista laterale  
dell'edificio in  
costruzione su  
cui si è effettuato  
il confronto



**FIGURA 3**  
Vista laterale  
dell'edificio in  
costruzione su  
cui si è effettuato  
il confronto

**PASSI DA ESEGUIRE PER IL CALCOLO IN BASE AI DATI RILEVATI**

- Passo 1:** Determinazione del fabbisogno di energia dei singoli intervalli
- Passo 2:** Determinazione dell'energia di integrazione dei singoli intervalli
- Passo 3:** Correzione della potenza in uscita e del COP per la temperatura di sorgente e di mandata dell'intervallo
- Passo 4:** Correzione del COP per il funzionamento a carico parziale
- Passo 5:** Calcolo del tempo di esercizio della pompa di calore nelle differenti modalità di funzionamento
- Passo 6:** Calcolo dell'energia ausiliaria in ingresso
- Passo 7:** Calcolo delle perdite di calore del generatore e delle perdite del generatore recuperabili
- Passo 8:** Calcolo dell'energia totale in ingresso per coprire i fabbisogni; calcolo opzionale del fattore di prestazione stagionale

di prove di laboratorio in condizioni standard, sono disponibili essenzialmente il metodo sperimentale oppure i metodi di calcolo applicabili in condizioni statiche o mediante simulazioni dinamiche. Lo scopo del presente lavoro è valutare il rendimento stagionale, i consumi di energia primaria e i risultati economici comparando nel medesimo contesto reale, una pompa di calore elettrica aria-acqua e una caldaia a condensazione attualmente presenti nei cataloghi di due aziende leader del settore. Il confronto è stato eseguito adottando i metodi di calcolo più aggiornati presenti nell'attuale parco normativo, in modo da evidenziare le differenze che emergono in una normale attività di progettazione. Dato che entrambe le tecnologie hanno delle prestazioni che sono dipendenti dalle temperature esterne del sito preso in esame, al fine di valutare l'influenza di queste temperature sui confronti delle differenze di prestazioni si sono effettuati i calcoli sia per una località del Nord Italia, sia per una località del Centro Italia: per il primo caso si è scelto di situare il confronto a Torino, mentre per il secondo caso si è scelta Ancona.

**Metodo di calcolo per pompa di calore**

Per la valutazione delle prestazioni della pompa di calore si è adottato il metodo di calcolo proposto nella UNI EN 15316-4-2. Questo metodo ha lo scopo di valutare il rendimento di produzione medio stagionale per le pompe di calore azionate elettricamente, le pompe di calore azionate con motore a gas e le pompe di calore ad assorbimento utilizzate sia per il riscaldamento dell'ambiente, sia per la produzione di acqua calda sanitaria, sia combinate per il soddisfacimento di entrambi i fabbisogni.

Il metodo di calcolo può essere applicato a pompe di calore funzionanti con diverse sorgenti e di mandate: aria-acqua, aria-aria, salamoia-acqua, acqua-acqua, espansione diretta-acqua. Poiché l'efficienza di una pompa di calore dipende fortemente dalle condizioni operative, cioè dalle temperature di sorgente e di mandata, il calcolo pro-

posto nella norma è basato sulla valutazione della temperatura di bulbo secco esterna, che influenza, direttamente o indirettamente le temperature del sistema.

La frequenza annuale, che deriva dai valori medi orari della temperatura esterna, è divisa in intervalli di temperatura (bins), che sono limitati da una temperatura superiore <sup>upper</sup> e una temperatura inferiore <sup>lower</sup> e le condizioni operative degli intervalli sono caratterizzate da punti di funzionamento nel centro di ogni intervallo: il punto di funzionamento di un dato intervallo definisce le condizioni operative della pompa di calore all'interno dell'intero intervallo. Per ogni intervallo, la potenza in uscita e il COP sono valutati da misurazioni in condizioni standard. La differenza fra i fabbisogni di energia e l'energia in uscita dalla pompa di calore deve essere fornita dal sistema di integrazione. Le perdite associate con il funzionamento della pompa di calore e l'elettricità in ingresso agli ausiliari sono calcolate per ogni intervallo.

La ponderazione dei risultati per ogni intervallo e la somma sono effettuate per determinare l'energia totale in ingresso in forma di elettricità o combustibile per l'intero periodo di funzionamento e il fattore di prestazione stagionale del sottosistema di generazione. I dati necessari per l'applicazione del metodo sono i seguenti.

**Modalità riscaldamento dell'ambiente:**

- dati meteorologici di temperatura esterna del luogo in distribuzione oraria;
- fabbisogno di energia per il riscaldamento (secondo la EN ISO 13790);
- curva caratteristica di riscaldamento (temperatura di mandata in funzione della temperatura esterna);
- caratteristiche della pompa di calore per potenza in uscita e COP (secondo la EN 14511);
- caratteristiche della pompa di calore per il funzionamento a carico parziale (secondo la CEN/TS 14825);
- punto di bilancio;
- configurazione dell'impianto;
- tipo di sistema di emissione, capacità del sistema di emissione;
- modalità di funzionamento del sistema di integrazione;
- sistemi di stoccaggio installati e coefficiente di perdita di calore;
- componenti ausiliari;
- potenza nominale della pompa di alimentazione, della pompa di caricamento dello stoccaggio o della pompa di circolazione;
- consumo di energia del sistema di controllo.

**Modalità acqua calda sanitaria:**

- fabbisogno di energia per l'acqua calda sanitaria;
- temperatura stabilita per l'erogazione di energia con la pompa di calore;
- parametri dello stoccaggio di acqua calda sanitaria.

gennaio-febbraio 2010  
LA TERMOTECNICA**TABELLA 1 - Caratteristiche della pompa di calore adottata per il confronto ad Ancona**

TEMP. SORGENTE (°C)	TEMP. MANDATA (°C)	POTENZA RESA (kW)	COP
7	35	6,95	3,95
15	35	8,15	4,58
7	40	6,63	3,47
15	40	7,69	4,00

**TABELLA 2 - Caratteristiche della pompa di calore adottata per il confronto a Torino**

TEMP. SORGENTE (°C)	TEMP. MANDATA (°C)	POTENZA RESA (kW)	COP
7	35	8,83	4,21
15	35	10,58	5,08
7	40	8,58	3,44
15	40	10,19	4,44

### Metodo di calcolo per la caldaia a condensazione

Per il calcolo delle prestazioni stagionali della caldaia a condensazione verrà utilizzato il metodo basato sulla Direttiva 92/42/CEE. Tale metodo, descritto nell'appendice B alla UNI TS 11300-2, è valido per i generatori di calore certificati ai sensi della direttiva. Il generatore scelto è certificato secondo questa direttiva e si hanno tutti i dati disponibili per applicare questo metodo.

Il metodo è basato sul seguente procedimento di calcolo: si assumono i rendimenti a potenza nominale ed a carico parziale, determinati in base alla Direttiva, e si apportano le correzioni per adeguarli alle specifiche temperature dell'acqua previste nelle condizioni di funzionamento del generatore; si determinano le perdite a carico nullo in condizioni di riferimento e si apportano le correzioni per tenere conto dell'effettive temperature dell'acqua nel generatore e per la temperatura dell'aria nel locale di installazione; si determinano le perdite di potenza termica per tre fattori di carico: perdite al 100% del carico; perdite al carico intermedio; perdite a carico nullo; si determinano le perdite di potenza termica al carico effettivo per interpolazione lineare; si determinano le perdite di energia nell'intervallo considerato; si determinano l'energia ausiliaria in base al carico del generatore; si determinano le perdite di energia recuperabili all'involucro come frazione delle perdite a carico nullo ed in funzione dell'ubicazione del generatore; si aggiunge l'energia ausiliaria recuperabile alle perdite recuperabili per determinare l'energia recuperabile totale.

### DESCRIZIONE GENERALE DELL'EDIFICIO E DELL'IMPIANTO ESAMINATO

L'edificio che si è preso in considerazione per l'analisi è una abitazione unifamiliare realmente in costruzione nelle Marche da parte dell'impresa 2GAP di Recanati e che ha ottenuto la certificazione Casaclima Classe B.

#### DATI RELATIVI ALL'EDIFICIO

posizione geografica:	Ancona
zona climatica:	D
tipologia abitativa:	E.1
superficie utile complessiva:	225,8 m <sup>2</sup>
volume complessivo:	922,4 m <sup>3</sup>
coefficiente di dispersione globale H:	273,97 W/°C

#### DATI RELATIVI ALL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

sistema di emissione: pannelli radianti a pavimento  
limite superiore di temperatura esterna per il riscaldamento: 15 °C  
temperatura di progetto esterna: -2 °C (UNI 5364)  
temperatura di progetto interna: 20 °C (appendice B UNI 10379)  
temperatura interna attenuata: 16 °C  
temperatura di mandata alla temperatura esterna di -2 °C: 40 °C  
temperatura di mandata alla temperatura esterna di 20 °C: 20 °C  
portata acqua circuito caldaia: 560 l/h

Le distribuzioni orarie delle temperature per Ancona e per Torino, necessarie per l'applicazione del metodo di calcolo secondo la UNI EN 15316, sono state generate con il programma Transys. Successivamente, essendo disponibili tali dati orari di temperatura, al fine di rendere il confronto più omogeneo si è utilizzato il metodo di calcolo della norma UNI TS 11300 per i periodi composti dalle ore di ogni singolo bin di temperatura.

#### DATI RELATIVI AI GENERATORI IN ESAME

La pompa di calore presa in considerazione è un modello aria-acqua, con sola unità esterna e distribuzione all'interno dell'ambiente riscaldato solo del liquido dell'impianto di riscaldamento. Essendo maggiori i valori delle dispersioni termiche dell'edificio nei due siti presi in esame è stato necessario adottare due modelli diversi della stessa gamma proposta dal costruttore: le caratteristiche tecniche sono riassunte nelle tabelle 1 e 2. Per ciò che riguarda la caldaia a condensazione si è scelto un modello murale di ultima generazione, con elevato rendimento e alto rapporto di modulazione. A causa dei bassi valori di dispersione dell'edificio preso in esame e conseguentemente i bassi valori di potenza necessari per il riscaldamento ambiente, si è deciso di adottare una potenza nominale di 12 kW, in modo da limitare il più possibile il funzionamento intermittente della caldaia. Ciò renderà necessario adottare un accumulo esterno per la produzione di acqua calda sanitaria, scelta tuttavia in linea con la tipologia dell'edificio (villetta unifamiliare) e all'obbligo di utilizzare collettori solari termici per la copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria. Per quanto riguarda i dati di ingresso del generatore essi sono riportati nella Tabella 3.

### Risultati

In questo lavoro si sono eseguiti i calcoli solo per la parte relativa al fabbisogno di energia per il riscaldamento ambiente, in modo da concentrare l'attenzione relativamente alle prestazioni dei due generatori solo su questo tipo di utilizzo. In lavori successivi si introdurrà anche il fabbisogno di

**TABELLA 3 - Caratteristiche della caldaia a condensazione adottata per il confronto**

Descrizione	Simbolo	Valore
Tipo generatore		a condensazione
potenza termica utile nominale	$P_{pn}$	12 kW
potenza termica utile a carico intermedio	$P_{pint}$	2 kW
dati di rendimento*	$h_{gn,pn}$	97,6% **
	$J_{gn,W,test,pn}$	70 °C
	$h_{gn,pint}$	107,5% **
	$J_{gn,W,test,pint}$	30 °C
pot. elettrica degli ausiliari a pieno carico	$W_{aux,Pn}$	145 W **
pot. elett. ausiliari a carico intermedio	$W_{aux,Pint}$	49,5 W ***
pot. elett. ausiliari a carico nullo	$W_{aux,PO}$	15 W ***
combustibile utilizzato		gas metano
tipo di bruciatore		a modulazione con ventilatore
ubicazione generatore		in centrale termica
tipo regolazione		climatica compensata
tipologia circuito		diretto in caldaia

\* determinati in prove termiche come richiesto dalla Direttiva 92/42/CEE

\*\* dichiarato dal costruttore - \*\*\* calcolato secondo il prospetto B.4

**TABELLA 4 - Risultati del confronto per Ancona**

	Pompa di calore aria-acqua	Caldaia a condensaz.
Fabbisogno termico [kWh]	11.832,8	11.832,8
Energia elettrica pdc(tot) [kWh]	2.847,5	/
Eprim (tot) [kWh]	7.118,7	11.080,2
COP stagionale	4,15	/
Rendimento di produzione globale stagionale [%]	166,2	106,8
Spesa annua (euro)	606,5	902
Prezzo generatore (euro)	4.630	1.930
Tempo di rientro non attualizzato (anni)	9,1	

**TABELLA 5 - Risultati del confronto per Torino**

	Pompa di calore aria-acqua	Caldaia a condensaz.
Fabbisogno termico [kWh]	18.431,5	18.431,5
Energia elettrica pdc(tot) [kWh]	4.461,5	/
Eprim (tot) [kWh]	11153,7	17.325,2
COP stagionale	4,13	/
Rendimento di produzione globale stagionale [%]	165,2	107,2
Spesa annua (euro)	950,3	1403,9
Prezzo generatore (euro)	4981	1930
Tempo di rientro non attualizzato (anni)	6,7	

energia per l'acqua calda sanitaria, ipotizzando le tipologie impiantistiche necessarie per i due casi. In Figura 3 sono riportati i passi finali del calcolo per la pompa di calore ad Ancona. Nella Figura 4 sono invece riportati i passi finali del calcolo per la caldaia a condensazione sempre a Ancona. Nel caso della pompa di calore si ottengono dal calcolo le quantità di energia elettrica per ogni bin: tali quantità sommate danno il fabbisogno di energia elettrica stagionale per il riscaldamento invernale che, messo in rapporto al fabbisogno termico per il riscaldamento invernale

**FIGURA 4**

$L_{med,i}$ (°C)	$Q_{i,fornito}$ (KWh)	$COP_{pl,i}$	$E_{in,PdC,i}$ (KWh)
2,25	0	0	0
2,75	278,8329675	3,507359	79,49941847
3,25	541,501705	3,54201	152,8797694
3,75	400,681125	3,598064	111,3601974
4,25	375,4073925	3,673127	102,2037574
4,75	647,5965875	3,703385	174,8661241
5,25	614,24074	3,779628	162,5135238
5,75	835,471515	3,856937	216,6153003
6,25	561,2960375	3,906893	143,6681489
6,75	776,841935	3,985791	194,9028205
7,25	639,2405025	4,065783	157,2244662
7,75	714,8562225	4,14257	172,5634595
8,25	573,008255	4,224704	135,6327562
8,75	560,953575	4,299008	130,4844109
9,25	715,6781325	4,383256	163,275472
9,75	589,720425	4,468672	131,9677115
10,25	325,887315	4,555278	71,54060088
10,75	646,2267375	4,633412	139,471029
11,25	438,6944625	4,72228	92,89887611
11,75	361,6404	4,812407	75,14750195
12,25	256,9153675	4,903826	52,39080131
12,75	210,545945	4,986126	42,22635483
13,25	85,067685	5,080035	16,74549142
13,75	207,1898125	5,175347	40,03399159
14,25	217,395195	5,272114	41,23492228
14,75	43,150275	5,36477	8,043267112
15,25	117,122175	5,464528	21,43317337
15,75	17,4655875	5,565953	3,137933013
16,25	15,4108125	5,663207	2,721216562
16,75	13,3560375	5,768198	2,315461078
17,25	11,3012625	5,875266	1,923532121
17,75	9,2464875	5,984651	1,545033713
18,25	14,383425	6,096705	2,35921292
18,75	10,273875	6,211994	1,653877043
19,25	6,164325	6,331594	0,973581898
	<b>11832,7643</b>		<b>2847,453195</b>

dell'edificio a monte della distribuzione, da il COP stagionale. Per ottenere il fabbisogno di energia primaria occorre dividere il fabbisogno elettrico per il rendimento del sistema elettrico, che è un valore aggiornato ogni anno ed è stato assunto in questo lavoro pari a 0,4. Infine facendo il rapporto fra il fabbisogno di energia primaria e il fabbisogno termico si ottiene il coefficiente di prestazione stagionale SPF. Per ciò che riguarda la caldaia a condensazione invece i risultati del calcolo danno direttamente il fabbisogno di energia primaria, tenendo conto anche dell'energia elettrica neces-

gennaio-febbraio 2010  
LA TERMOTECNICA

FIGURA 5

Temperature medie esterne	Temperatura media caldaia	Numero di ore	Calcolo della potenza media del bin	Calcolo del fattore di carico	Rendimento corretto a potenza nominale	Perdite corrette a potenza nominale	Rendimento corretto a potenza intermedia	Perdite corrette a potenza intermedia	Perdite corrette a carico nullo	Perdite corrette al carico effettivo	Perdite di energia	Calcolo energia ausiliari al carico effettivo	Calcolo energia recuperata dagli ausiliari	Calcolo delle perdite del generatore recuperabili	Fabbisogno totale di energia per la combustione	Fabbisogno Energia Primaria				
[°C]	Tmedi [°C]	(h)	[W]	[%]	[%]	[W]	[%]	[W]	[W]	[W]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]				
2,25	32,43	0	0	0	105,111	-593,8205	107,111	-132,836	22,4939	-42,6318	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000						
2,75	32,39	59	4,7380	2,3620	105,1210	-594,5844	107,1210	-132,9526	22,4438	-256,0666	-15,1079	4,5075	0,7888	1,1950						
3,25	32,08	118	4,5890	2,2945	105,1847	-591,4971	107,1847	-134,0621	21,9313	-252,4919	-29,7940	8,8551	1,5496	2,2182						
3,75	31,76	180	4,4520	2,2260	105,2486	-588,4262	107,2486	-135,1741	21,4195	-248,7638	-22,3887	8,6320	1,6064	1,6524						
4,25	31,44	247	4,3150	2,1575	105,3128	-605,3694	107,3128	-136,2887	20,9083	-244,8822	-21,3047	6,2931	1,1013	1,5932						
4,75	31,11	315	4,1780	2,0890	105,3771	-612,3305	107,3771	-137,4061	20,3977	-240,8466	-37,3332	11,0019	1,3253	2,7000						
5,25	30,79	382	4,0410	2,0205	105,4418	-619,3093	107,4418	-138,5263	19,8878	-236,6563	-35,9719	10,5830	1,8520	2,5911						
5,75	30,47	450	3,9041	1,9520	105,5066	-626,3069	107,5066	-139,6496	19,3785	-232,3327	-49,7149	14,6099	2,5567	3,9546						
6,25	30,14	519	3,7671	1,8835	105,5718	-633,3241	107,5718	-140,7760	18,8698	-227,8136	-33,9442	9,9705	1,7448	2,4099						
6,75	29,81	590	3,6301	1,8151	105,6372	-640,3620	107,6372	-141,9058	18,3617	-223,1597	-47,7561	14,0301	2,4553	3,3681						
7,25	29,49	661	3,4931	1,7468	105,7029	-647,4219	107,7029	-143,0391	17,8542	-218,3494	-29,9579	11,7499	2,0562	2,8006						
7,75	29,16	732	3,3561	1,6781	105,7689	-654,5047	107,7689	-144,1762	17,3473	-213,3825	-45,4507	13,3875	2,3428	3,1671						
8,25	28,82	803	3,2191	1,6096	105,8352	-661,6103	107,8352	-145,3172	16,8418	-208,2611	-37,0765	10,9468	1,9877	2,5695						
8,75	28,49	874	3,0822	1,5411	105,9018	-668,7453	107,9018	-146,4624	16,3373	-202,9819	-26,3427	10,9461	1,9556	2,5403						
9,25	28,16	945	2,9452	1,4725	105,9687	-675,9061	107,9687	-147,6103	15,8339	-197,4452	-48,0035	14,2056	2,5000	3,2972						
9,75	27,82	1016	2,8082	1,4041	106,0361	-683,0962	108,0361	-148,7684	15,3254	-191,9566	-40,3096	12,0611	2,1107	2,7586						
10,25	27,49	1087	2,6712	1,3356	106,1038	-690,3176	108,1038	-149,9299	14,8212	-186,1974	-22,7861	6,8417	1,9373	1,5499						
10,75	27,14	1158	2,5342	1,2671	106,1719	-697,5725	108,1719	-151,0907	14,3175	-180,2850	-45,9727	13,9548	2,4421	3,1294						
11,25	26,80	1229	2,3972	1,1986	106,2404	-704,8632	108,2404	-152,2613	13,8142	-174,2127	-31,6809	9,7868	1,7092	2,1668						
11,75	26,45	1300	2,2602	1,1301	106,3094	-712,1826	108,3094	-153,4382	13,3112	-167,9789	-26,8768	8,3225	1,4564	1,8255						
12,25	26,11	1371	2,1233	1,0616	106,3789	-719,5337	108,3789	-154,6217	12,8085	-161,6866	-19,5519	6,1300	1,0728	1,3284						
12,75	25,76	1442	1,9863	0,9931	106,4488	-726,9000	108,4488	-155,8126	12,3060	-154,5595	-16,2815	5,1445	0,9003	1,1181						
13,25	25,40	1513	1,8493	0,9246	106,5194	-734,3455	108,5194	-157,0114	11,8037	-144,2930	-6,1372	3,8424	0,7224	0,8454						
13,75	25,05	1584	1,7123	0,8562	106,5905	-741,8650	108,5905	-158,2189	11,3013	-133,8345	-13,8646	3,9458	0,6905	1,1721						
14,25	24,69	1655	1,5753	0,7877	106,6623	-749,4540	108,6623	-159,4360	10,7988	-123,2890	-14,4012	3,6070	0,6312	1,2773						
14,75	24,33	1726	1,4383	0,7192	106,7349	-757,1089	108,7349	-160,6637	10,2959	-112,6523	-2,4305	0,6171	0,3080	0,2648						
15,25	23,96	1797	1,3014	0,6507	106,8082	-764,8356	108,8082	-161,9032	9,7924	-101,9263	-5,9693	1,4255	0,2495	0,7954						
15,75	23,59	1868	1,1644	0,5822	106,8824	-772,6297	108,8824	-163,1553	9,2889	-91,1967	-8,7956	0,1782	0,0212	0,1934						
16,25	23,21	1939	1,0274	0,5137	106,9577	-780,4974	108,9577	-164,4246	8,7823	-80,4630	-6,1179	0,1294	0,0226	0,1129						
16,75	22,83	2010	0,8904	0,4452	107,0341	-788,4362	109,0341	-165,7099	8,2746	-69,7240	-4,4620	0,0902	0,0588	0,1064						
17,25	22,44	2081	0,7534	0,3767	107,1118	-796,4508	109,1118	-167,0184	7,7641	-58,9780	-2,3282	0,0595	0,0104	0,0988						
17,75	22,04	2152	0,6164	0,3082	107,1913	-804,5364	109,1913	-168,3517	7,2496	-48,2236	-0,2167	0,0385	0,0064	0,0932						
18,25	21,64	2223	0,4794	0,2397	107,2728	-812,6881	109,2728	-169,7179	6,7292	-37,4614	-0,2558	0,0401	0,0070	0,1730						
18,75	21,21	2294	0,3425	0,1712	107,3570	-820,9117	109,3570	-171,1283	6,1994	-26,6946	-0,2141	0,0184	0,0032	0,1594						
19,25	20,77	2365	0,2055	0,1027	107,4454	-829,2019	109,4454	-172,5848	5,6535	-12,6605	-0,0390	0,0059	0,0010	0,1454						
											<b>-748,9703</b>	<b>222,0163</b>	<b>38,8528</b>	<b>54,4024</b>	<b>10990,5388</b>	<b>11079,3453</b>				
											<b>Rendimento di produzione medio stagionale</b>	<b>107,66%</b>								
											<b>Rendimento globale di produzione medio stagionale</b>	<b>106,80%</b>								
											<b>Spesa per metano</b>	<b>853,96</b>								
											<b>Spesa per energia elettrica</b>	<b>47,29</b>								
											<b>Spesa Totale</b>	<b>901,25</b>								

saria per gli ausiliari per cui si è adottato il medesimo rendimento del sistema elettrico. Dal fabbisogno così calcolato, in rapporto con il fabbisogno termico si ottiene il rendimento globale di produzione medio stagionale. Nelle Tabelle 4 e 5 sono riassunti i risultati del confronto.

**Conclusioni e obiettivi futuri**

Come visibile dalle Tabelle 4 e 5, l'utilizzo di una pompa di calore è vantaggioso sotto l'aspetto energetico, dato che viene ridotto fortemente il fabbisogno di energia primaria e conseguentemente anche l'EPI che passa da 49,1 kWh/m<sup>2</sup> a 31,5 kWh/m<sup>2</sup> ad Ancona e da 76,7 kWh/m<sup>2</sup> a 49,4 kWh/m<sup>2</sup> a Torino. Il confronto economico, tuttavia non è altrettanto vantaggioso per la pompa di calore e questo a causa del rapporto fra i costi dell'energia elettrica e del gas, che in questi calcoli sono stati assunti rispettivamente pari a 0,213 euro/kWh per l'energia elettrica e 0,0777 euro/kWh per il gas, secondo quanto proposto da Enel Energia con i contratti di fornitura EnergiaPura Casa e EnergiaSicura Casa. Tale differenza di costi fa sì che il vantaggio energetico a favore della pompa di viene ridotto arrivando a dare un risparmio annuale pari rispettivamente a 294,7 euro e 453,6 euro ad Ancona e Torino: prendendo in considerazione i

prezzi di listino dei due generatori e facendo l'ipotesi che i costi di installazione e manutenzione siano equivalenti, si ottiene un tempo di ritorno dell'investimento, inteso come extracosto della pompa di calore rispetto alla caldaia a condensazione, superiore a 9 anni ad Ancona e quasi 7 anni a Torino e quindi pari a più di metà della vita utile della macchina e ciò di fatto rende poco remunerativo l'investimento. È da notare che la diminuzione dell'SPF della pompa di calore passando a un clima più freddo, viene compensata dal maggior risparmio ottenuto e ciò migliora il tempo di rientro fra Ancona e Torino. Questa situazione potrebbe essere modificata mediante interventi di incentivazione, come viene fatto nel caso di altre tecnologie che hanno buone prospettive di sviluppo e vantaggi di efficienza e ambientali, ma non sono ancora mature in termini di costi, tuttavia allo stato attuale rimane il grande interrogativo della sostenibilità da parte del sistema elettrico nazionale della conversione del riscaldamento ambiente dal gas all'energia elettrica, aspetto su cui occorre interrogarsi prima di avviare una campagna di incentivazione. Il lavoro esposto continuerà con l'inclusione dell'acqua calda sanitaria nel confronto fra le due tecnologie e prendendo in considerazione ulteriori siti di installazione al fine di valutare l'influenza delle condizioni climatiche sui risultati del confronto.