



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'ambiente,
dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC
Ufficio federale dell'energia UFE

Rapporto finale

Maggio 2012

QS-WP/QP: PROSEGUIMENTO DEL MONITORAGGIO SUL CAMPO DI IMPIANTI A POMPA DI CALORE TRAMITE MISURAZIONI, ANALISI DEL COMPORTAMENTO A LUNGO TERMINE E DETERMINAZIONE DELL'EFFICIENZA PER IL MODELLO STATISTICO DELLE POMPE DI CALORE PER GLI ANNI 2008-2011

Impressum

Data: Maggio 2012

Committente

Ufficio federale dell'energia UFE
Programma di ricerca Pompe di calore, ICFC, freddo
CH-3003 Berna
www.ufe.admin.ch

Mandatario

Hubacher Engineering
Tannenbergstrasse 2
9032 Engelburg



Autori

Peter Hubacher, ing. dipl. STS, Hubacher Engineering, he-ko@bluewin.ch
Carlos Bernal, tecnico, Hubacher Engineering

Progetto: 102590

Indirizzo per ordinare la pubblicazione: www.ricerca-energetica.ch

Solo l'autore è responsabile dei contenuti e delle conclusioni del presente rapporto.

Sommario

	pagina
Compendio	4
1. Obiettivi del progetto	5
2. Procedura/Metodo	5
2.1 Repertorio degli impianti e suddivisione	5
2.2 Valutazione degli impianti	8
2.3 Rilevamento dei dati	8
2.4 Statistica delle pompe di calore	9
3. Analisi e risultati	9
3.1 Analisi dei coefficienti di lavoro annui (CLA)	10
3.1.1 Confronto in base agli anni di esercizio	10
3.1.2 Confronto in base agli anni civili	11
3.2 Analisi delle ore di esercizio	12
3.3 Analisi della produzione di calore	13
3.4 Analisi del consumo di energia elettrica	14
3.5 Influsso del refrigerante sull'efficienza	14
3.6 Influsso dell'altitudine nelle pompe di calore aria-acqua	15
3.7 Analisi delle anomalie (disponibilità delle pompe di calore)	15
4. Manutenzione e riparazione	16
4.1 Manutenzione delle pompe di calore	16
4.2 Riparazione delle pompe di calore	17
4.3 Spese complessive di manutenzione e riparazione	18
5. Cooperazione nazionale	18
6. Cooperazione internazionale	18
7. Conclusioni	19
8. Bibliografia	19

Compendio

Il progetto a lungo termine «Analisi sul campo di piccoli impianti a pompa di calore» è portato avanti sistematicamente da ormai 15 anni. In questo arco di tempo sono stati visitati e strumentati oltre 250 impianti, e ne è stato rilevato lo stato tecnico. I dati di misurazione sono stati rilevati direttamente dai proprietari degli impianti, che hanno provveduto anche alla loro verbalizzazione e notifica ai fini della valutazione. Se nel corso degli anni il campione di impianti rilevato e analizzato ha assunto una tale proporzione è stato proprio grazie a questa semplice procedura di misurazione.

I risultati sono differenziati. Se si considera l'efficienza degli impianti ci si dovrebbe attendere un risultato migliore. Nei primi anni (fino al 2000) l'efficienza è andata aumentando, mentre gli anni successivi non evidenziano la benché minima tendenza di miglioramento dei coefficienti di lavoro annuo. Vi sono anche impianti con risultati da buoni a ottimi che soddisfano tutti i presupposti.

Un'ulteriore analisi era dedicata alle ore di esercizio annue degli impianti, che ha consentito di verificare il rispetto delle specifiche di dimensionamento dell'Ufficio federale dell'energia UFE (Garanzia di prestazione – Installazioni domestiche) e della norma SIA 384/6 per le sonde geotermiche. Negli impianti analizzati, le ore di esercizio ammontano a circa 1700 per le pompe di calore aria-acqua e a 1900 per le pompe di calore acqua glicolata-acqua e si situano entro il limite prescritto di 2000-2300 ore all'anno, senza o con produzione di acqua calda. È importante avvicinarsi a queste ore di esercizio soprattutto con gli impianti a pompa di calore acqua glicolata-acqua, altrimenti si potrebbero creare a lungo termine problemi di congelamento delle sonde geotermiche.

L'analisi delle anomalie evidenzia un quadro molto positivo. La disponibilità media si attesta a oltre il 99,5% e regge senz'altro il confronto con tutti gli altri sistemi di produzione di calore. In logica conseguenza è stato analizzato un campione di 61 impianti a pompa di calore per quanto riguarda le spese di manutenzione e di riparazione. I risultati sono più che positivi: le spese di manutenzione ammontano mediamente a 21.60 [CHF/a] e quelle di riparazione a 84.40 [CHF/a], per un totale medio annuo di 106.00 [CHF/a]. Ogni 1000 ore di esercizio si possono pertanto prevedere spese di manutenzione e riparazione pari a circa 51.00 [CHF]. Quest'analisi sui 61 impianti a pompa di calore si basa pur sempre su complessivi 1,32 milioni di ore di esercizio.

Alla luce di questo lavoro di ricerca è possibile affermare che i piccoli impianti a pompa di calore presentano nel complesso ottimi risultati. L'efficienza è invero ragionevole, ma con un potenziale di miglioramento. La sicurezza di esercizio e i costi di esercizio denotano un quadro estremamente favorevole.

Il proseguimento di queste analisi sul campo assume una grande importanza, perché i prossimi anni sono quelli che ci portano alla durata di esercizio stimata a 20 anni per i piccoli impianti a pompa di calore. Sarebbe opportuno poter confermare che i piccoli impianti a pompa di calore hanno una durata di esercizio di 20 e più anni senza maggiori problemi e costi di manutenzione.

1 Obiettivi del progetto

Gli obiettivi si orientano alla strategia di garanzia della qualità dell'UFE e del GSP¹. Il presente progetto si situa in una nicchia di grande importanza. Per creare un clima di maggiore fiducia a tutti i livelli è necessario acquisire e divulgare informazioni e nozioni sul comportamento a lungo termine, nonché sugli oneri di manutenzione.

L'esigenza di svolgere analisi sul campo per assimilare ed elaborare conoscenze importanti da comunicare con l'intento di incrementare la fiducia e fornire un'informazione complementare è stata riconosciuta anche dai nostri Paesi confinanti (Germania, Austria e, di recente, anche Inghilterra). In Svizzera, grazie a questo progetto, abbiamo un vantaggio abissale perché siamo gli unici a disporre di risultati rilevati e analizzati sull'arco di 15 anni. Il presente progetto è scaturito dall'analisi sul campo iniziata nel 1995 nel quadro del progetto FAWA².

La continuazione coerente di questo progetto ci consente di comunicare i dati rilevati finora con successo e le relative valutazioni per quanto riguarda l'invecchiamento e la disponibilità a lungo termine. Non esiste al mondo alcun altro studio a lungo termine sul campo con risultati altrettanto completi.

- Acquisizione dei dati del precedente campione di 165 impianti.
- Acquisizione annua di 10 nuovi impianti a pompa di calore per determinare lo stato della tecnica a scopo di confronto con gli impianti più vecchi.
- Accertamento dei dati sulla base di valori di misura per stabilire il CLA ai fini della statistica delle pompe di calore e della statistica svizzera dell'energia dell'UFE.
- Monitoraggio a lungo termine dell'invecchiamento: determinazione dei CLA e confronto con i valori precedenti.
- Disponibilità (analisi delle anomalie): determinazione dei valori di esercizio annui e confronto con i valori precedenti.
- Rilevamento delle spese di manutenzione e di riparazione in un campione di 61 impianti a pompa di calore (a partire da un campione di 165 impianti) per fornire dati statistici significativi. Finora mancavano indicazioni a lungo termine, molto preziose e ricercate anche dal mercato.

2 Procedura/Metodo

Il progetto a lungo termine è in corso da 15 anni; in questo periodo sono stati visitati e strumentati 250 impianti e ne è stato rilevato lo stato tecnico. Nel corso degli anni, oltre il 40% degli impianti è venuto meno o è stato stralciato per svariati motivi. Ogni anno, nel campione di impianti oggetto di analisi sono stati inseriti 10 nuovi impianti (tabelle 1-3). Ciò ha consentito di individuare eventuali differenze sia sul piano tecnico, sia a livello di progressi.

2.1 Repertorio degli impianti e suddivisione

Tab. 1: Elenco dei nuovi impianti inseriti nel 2008

N.	Codice impianto	Segmento	Oggetto	Sorgente termica	Prod. ACS	CLA	Inizio rilev. dati	Modello
1205	SENDOR14	Nuova costr.	Casa unif.	Aria esterna	sì	2.43	Okt 08	Alpha Innotec
1206	STEHOU43	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	sì	5.23	Nov 08	Weider
1207	GOSFLO15	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	sì	3.92	Nov 08	CTA
1208	ZEIHOC20	Risanamento	Casa unif.	Aria esterna	no	2.40	Dez 08	Six Madun
1209	MÜHIMH00 *	Nuova costr.	Casa unif.	Aria esterna	sì	2.88	Jan 09	Hoval
1210	ABTMÜH06	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	sì	3.79	Nov 08	ElcoTherm
1211	RUSMUS11	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	no	3.54	Nov 08	CTC-Giersch
1212	HERBUR03	Nuova costr.	Casa unif.	Aria esterna	no	3.33	Apr 09	Six Madun
1213	INSBUR22	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	sì	3.22	Okt 08	CTA
1214	BRÜOBM00	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	no	4.05	Feb 09	Waterkotte

¹ Gruppo promozionale svizzero per le pompe di calore GSP, Steinerstrasse 37, 3006 Berna, www.gsp-si.ch

² FAWA-Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen, Schlussbericht 2004 (analisi sul campo di impianti a pompa di calore, un progetto dell'UFE)

Un impianto (*) del campione 2008 (tab. 1) non soddisfa i requisiti a causa dell'inaffidabile rilevamento dei dati di misurazione da parte del proprietario. Il restante campione di impianti è stato ancora elaborato attivamente. Durante l'ultimo anno ci sono stati contatti personali, per e-mail o telefono, con la maggior parte dei proprietari di impianti che proseguono con la lettura dei dati. Alcuni proprietari non erano più disposti a rilevare i dati, per cui è stato necessario dimetterli dal progetto.

Tab. 2: Elenco dei nuovi impianti inseriti nel 2009

N.	Codice impianto	Segmento	Oggetto	Sorgente termica	Prod. ACS	CLA	Inizio rilev. dati	Modello
1205	SENDOR14	Nuova costr.	Casa unif.	Aria esterna	si	2.43	Okt 08	Alpha Innotec
1206	STEHAU43	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	si	5.23	Nov 08	Weider
1207	GOSFLO15	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	si	3.92	Nov 08	CTA
1208	ZEIHOC20	Risanamento	Casa unif.	Aria esterna	no	2.40	Dez 08	Six Madun
1209	MÜHIMH00 *	Nuova costr.	Casa unif.	Aria esterna	si	2.88	Jan 09	Hoval
1210	ABTMÜH06	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	si	3.79	Nov 08	ElcoTherm
1211	RUSMUS11	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	no	3.54	Nov 08	CTC-Giersch
1212	HERBUR03	Nuova costr.	Casa unif.	Aria esterna	no	3.33	Apr 09	Six Madun
1213	INSBUR22	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	si	3.22	Okt 08	CTA
1214	BRÜOBM00	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	no	4.05	Feb 09	Waterkotte

Tab. 3: Elenco dei nuovi impianti inseriti nel 2010

N.	Codice impianto	Segmento	Oggetto	Sorgente termica	Prod. ACS	CLA	Inizio rilev. dati	Modello
1225	SARBAH58	Risanamento	Casa unif.	Aria esterna	si	1.83	Apr 10	Krüeger
1226	WITBET17	Nuova costr.	Casa unif.	Sonda geot.	si	5.23	Jun 10	CTA
1227	RONAU10	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	si	4.62	Apr 10	CTA
1228	GRÜBÖS35	Risanamento	Casa unif.	Aria esterna	si	Dati insufficienti per determinare il CLA	Okt 10	Striegatherm
1229	GRAAMA23	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	no		Sep 10	Kibernetik
1230	MATALT28	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	si		Dez 10	Weider
1231	WILALT20	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	si		Jan 10	Alphalnotec
1232	GÜMRÜT08	Risanamento	Casa unif.	Sonda geot.	si		Jun 11	CTA
1233	AAROB13	Risanamento	Casa unif.	Aria esterna	si		Jan 11	Stiebel Eltron
1234	THABUE09	Risanamento	Casa unif.	Aria esterna	no		Dez 10	Elco

I valori CLA (**) sono stati ancora in parte estrapolati sull'anno. È dunque possibile che per il 2010 non siano rilevabili cambiamenti.

Tab. 4: Campione di impianti complessivo a disposizione dell'analisi

Anno di messa in servizio	Totale impianti in funzione	PdC acqua glicolata-acqua		PdC aria-acqua	PdC aria-aria	Produzione acqua calda con PdC	Quota impianti risanamento	Anni di esercizio dalla messa in servizio
		con acqua glicolata	con acqua					
1995	12	8		4		7	12	15
1996	8	5		2	1	5	4	14
1997	13	4		7	2	10	6	13
1998	10	6		4		6		12
1999	12	9		3		7	6	11
2000	9	5		3	1	4	4	10
2001	20	11		9		8	6	9
2002	21	10		11		16	6	8
2003	25	17	1	7		13	12	7
2004	1	1				1	1	6
2005	4	3		1		4	3	5
2006								4
2007								3
2008	10	6		4		6	3	2
2009	10	4		6		8	6	1
2010	10	4	2	4		10	8	
Totale	165	93	3	65	4	105	77	

Nota: tra il 2006 e il 2007 non sono stati inseriti nuovi impianti. La continuazione coerente dell'analisi sul campo è stata infatti oggetto di discussione tra la Hubacher Engineering e l'UFE soltanto nel 2007, cui ha fatto seguito la ripresa dello studio.

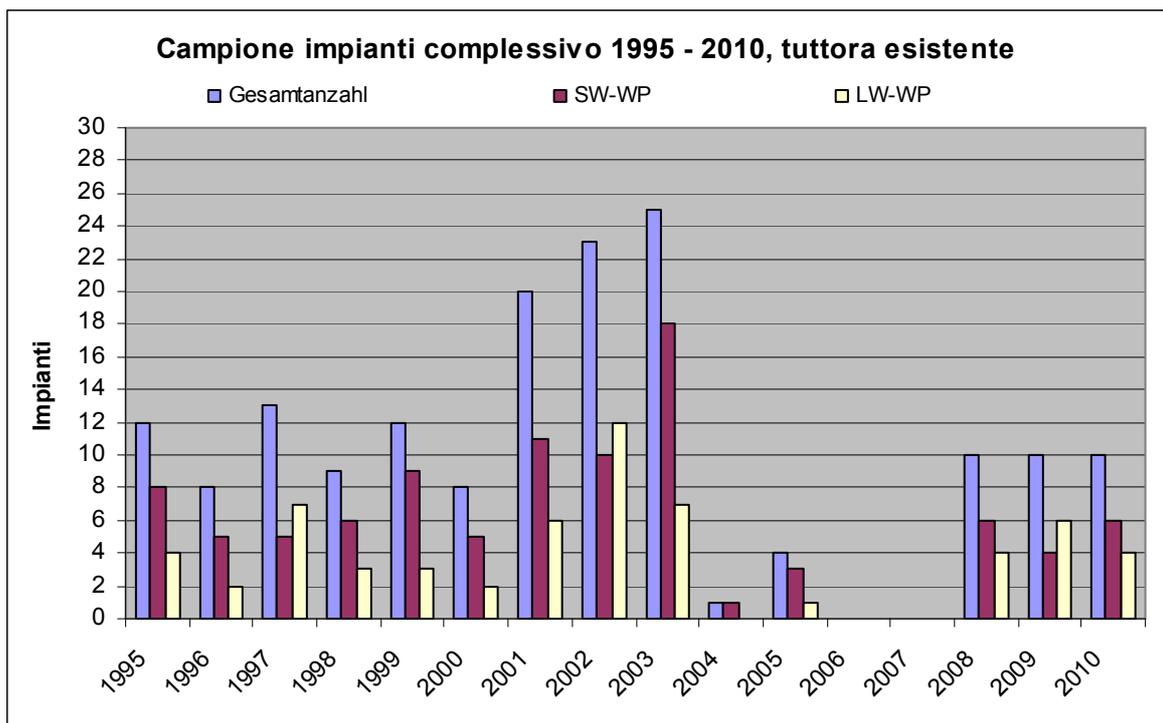


Fig. 1: Campione di impianti tuttora rilevato ed elaborato

Le pompe di calore acqua-acqua non sono molto diffuse tra i piccoli impianti. Per questo motivo, dal 2004 il campione di impianti non contempla più impianti acqua-acqua che sfruttano quale fonte di calore le falde acquifere o le acque di superficie (fig. 1). Al loro posto sono stati inseriti a scopo di confronto quattro impianti con sonde geotermiche in cui circola soltanto acqua (senza glicole). Per garantire la protezione antigelo, le sonde verticali devono essere inserite a una maggiore profondità affinché la temperatura della sorgente risulti superiore. Quasi tutti questi impianti hanno quindi un'efficienza nettamente più alta.

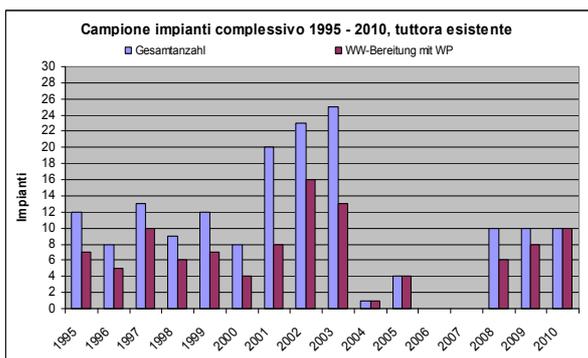


Fig. 2: Quota impianti con produzione di acqua calda

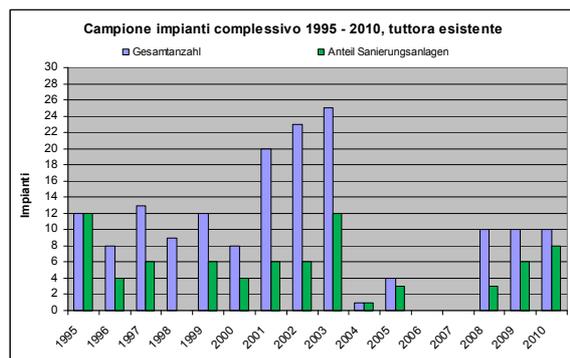


Fig. 3: Quota impianti nel settore risanamenti

La valutazione degli impianti, effettuata in base ai criteri di ammissione definiti nell'ambito del progetto FAWA (analisi sul campo di impianti a pompa di calore), è alquanto dispendiosa. Si presta attenzione ad esempio al fatto che nel campione siano rappresentati in modo equilibrato impianti con produzione di acqua calda (fig. 2) e impianti installati nel quadro di un risanamento (fig. 3). I partecipanti al mercato (produttori, fornitori e ditte installatrici) sono da un lato parecchio impegnati e, vista la mancanza di tempo, il loro interesse per ampliare e approfondire le conoscenze sugli impianti installati è notevolmente calato. Dall'altro lato, tuttavia, la qualità degli impianti non è migliorata nel corso degli ultimi anni. In parte si constatano persino fenomeni di usura, riconducibili al ripetersi degli stessi errori e dimenticanze in sede di dimensionamento e di realizzazione degli impianti.

2.2 Valutazione degli impianti

Per svolgere un'indagine statisticamente valida è necessario un numero minimo di impianti. Il campione disponibile conta tuttora 165 impianti, suddivisi in pompe di calore aria-acqua, acqua glicolata-acqua e alcune acqua-acqua, compresi i 30 nuovi impianti del presente progetto (anni 2008, 2009 e 2010) e gli impianti degli obblighi in scadenza. Il campione per l'analisi a lungo termine delle manutenzioni e riparazioni è formato da 61 impianti di età compresa tra cinque e dodici anni.

I 10 nuovi impianti introdotti di volta in volta negli anni 2008, 2009 e 2010 sono stati valutati secondo i criteri definiti a suo tempo per il progetto FAWA.

- a. **Potenza termica:** gli impianti non devono avere una potenza termica superiore a $20 \text{ kW}_{\text{th}}$ (gruppo di impianti dominante sul mercato).
- b. **Sorgente termica:** impianti aria-acqua e acqua glicolata-acqua, in parti all'incirca uguali.
- c. **Tipo di produzione:** apparecchi di serie, nessuna esecuzione speciale, né modelli «esotici»
- d. **Configurazione:** monovalente, in via eccezionale bivalente con produzione di calore secondaria rilevabile.
- e. **Ubicazione:** posizioni geografiche diverse.
- f. **Oggetti:** gli impianti si trovano in nuove costruzione e in edifici risanati.
- g. **Acqua calda sanitaria:** gli impianti con produzione di acqua calda tramite PdC devono essere rappresentati nell'effettiva proporzione di tali impianti in uso.
- h. **Rapporto di proprietà:** solo impianti privati; sono esclusi gli impianti installati in edifici pubblici.
- i. **Collaudo:** le pompe di calore devono aver ottenuto per quanto possibile il marchio di qualità GSP.
- j. **Strumentazione:** gli impianti devono essere di preferenza dotati di contatore elettrico e contatore di calore; in caso contrario, l'equipaggiamento in tal senso deve avvenire a un costo ragionevole.
- k. **Integrazione idraulica:** gli impianti sono di regola configurati in base a circuiti standard conosciuti; circuiti idraulici complessi o «esotici» non vengono considerati.

2.3 Rilevamento dei dati

La presa in consegna dei dati di misurazione e il relativo controllo sono stati mantenuti. I guasti agli strumenti di misura e altri problemi riscontrati sugli impianti sono stati riparati e risolti.

Gli strumenti di misura, in particolare i contatori di calore (marca NeoVac) basati sul principio degli ultrasuoni, sono stati complessivamente smontati e controllati a campione tre volte negli ultimi 15 anni nell'ambito della realizzazione di precedenti progetti. I risultati di tali controlli erano tutti nei limiti di tolleranza previsti. Anche a questo riguardo la qualità delle misurazioni soddisfa perciò i requisiti fondamentali posti all'analisi complessiva.

La registrazione informatica dei dati di misurazione nei file degli impianti e la loro interpretazione sono avvenute in modo scaglionato in base alla ricezione dei fogli con i dati. L'analisi e la valutazione dei singoli impianti si effettuano soltanto in presenza di tutti i risultati.

- Organizzazione dei dati di misurazione e controllo dei documenti ricevuti; registrazione dei dati esistenti nei file degli impianti, analisi e valutazione.
- Visite agli impianti in caso di anomalie o guasti ai dispositivi di misurazione per eliminare i difetti.
- Preparazione e invio di informative ai proprietari degli impianti con allegata una valutazione dell'impianto specifico.
- Valutazione dei dati di misurazione e analisi di tutto il campione di impianti, compresa la compilazione dei grafici più significativi.

Per determinare i coefficienti di lavoro annuo, ogni impianto è dotato di un contatore di calore, un contatore elettrico e un contatore di funzionamento. A intervalli utili (settimanalmente o mensilmente), il proprietario dell'impianto procede alla lettura e alla notifica dei valori. Nel calcolo dei coefficienti di lavoro annuo si tiene conto degli attuatori secondari inseriti nel circuito idraulico della pompa di calore, nonché di eventuali perdite dell'accumulatore. Per contro, i componenti accessori come i gruppi di circolazione per riscaldamento, ecc., non inseriti direttamente nel circuito della pompa di calore, vengono eliminati.

Per determinare le spese di manutenzione e i costi energetici è stato necessario interpellare individualmente i proprietari. Nella fattispecie, l'invio di questionari non fornisce per esperienza risultati attendibili. Un colloquio personale con i proprietari degli impianti consente invece di chiarire direttamente eventuali ambiguità o contraddizioni. Le spese di manutenzione e riparazione sono state rilevate in base a giustificativi, come rapporti e fatture, per quanto disponibili.

Non è sempre facile ricevere tempestivamente tutti i dati di misurazione per effettuare le analisi concordate da contratto e la presentazione dei risultati (rapporto di stato, seduta dei gruppi di lavoro e relazione annuale). Affinché i proprietari degli impianti non dimentichino di eseguire la lettura dei dati e non si creino eccessive lacune nei rilevamenti, è necessario un contatto regolare.

Per motivare i proprietari, nel 2010 è stata lanciata una promozione con invio di un piccolo regalo in allegato a una lettera di ringraziamento dell'UFE. Il riscontro è stato molto positivo, tenuto conto che ci sono proprietari che forniscono i propri dati più o meno regolarmente da oltre 10 anni.

2.4 Statistica delle pompe di calore

Nell'ambito delle prime analisi sul campo (studio FAWA e progetti successivi) i coefficienti di lavoro annuo erano espressi come valori medi. Per la statistica delle pompe di calore, i coefficienti di lavoro annuo vengono ora calcolati sulla base dei dati effettivamente misurati. I risultati differenziati confluiscono nella statistica svizzera dell'energia sotto la voce energie rinnovabili.

3 Analisi e risultati

Al fine di garantire una comparabilità dei risultati degli impianti con il precedente progetto FAWA sono stati applicati gli stessi parametri e criteri. Nel quadro dell'analisi dei dati, ad esempio, viene determinato e confrontato soltanto il CLA 2 (fig. 4).

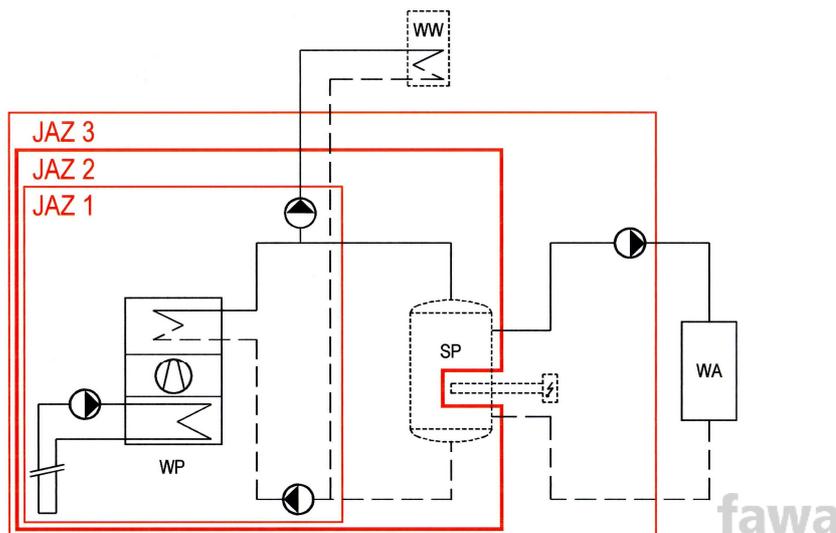


Fig. 4: Limiti del sistema; CLA 1, 2 e 3.

Per le valutazioni e i confronti è stato utilizzato soltanto il limite del bilancio per CLA 2, che tiene conto delle eventuali perdite dell'accumulatore. Per gli impianti senza accumulatore si considera il consumo di elettricità delle pompe di circolazione lato distribuzione in funzione della perdita di carico al condensatore.

La differenza tra CLA 2 e CLA 2 normalizzato (nCLA 2) sta nel fatto che quest'ultimo è normalizzato in base al clima. La procedura utilizzata a tale scopo è relativamente semplice prevede la lettura della linea di regressione dei coefficienti di prestazione in regime di riscaldamento in corrispondenza del valore di temperatura esterna $T_{est} = 3 \text{ °C}$. I valori di tutti gli impianti possono così essere confrontati tra loro a prescindere dall'altitudine s.l.m. di installazione. Questa procedura è stata a suo tempo descritta in dettaglio nel rapporto FAWA.

L'analisi dei dati sull'arco di oltre 15 anni ha tuttavia evidenziato che il campione di impianti in questione, situato per oltre il 90% nell'Altopiano svizzero, è poco sensibile a questa normalizzazione. Lo conferma anche il confronto tra nCLA 2 e CLA 2 riferito alle più recenti valutazioni.

Esistono singoli impianti i cui dati del primo anno di esercizio non sono completi o non hanno potuto essere considerati nella valutazione a causa di altri problemi. In questi casi, se nel primo anno non è stato possibile procedere a una valutazione, come riferimento è stato preso il secondo anno.

3.1 Analisi dei coefficienti di lavoro annui (CLA)

I CLA dei 165 impianti considerati nel campione si suddividono in due gruppi principali (impianti acqua glicolata-acqua e aria-acqua). Nella valutazione e rappresentazione grafica si considerano da un lato gli anni di esercizio e dall'altro gli anni civili.

3.1.1 Confronto in base agli anni di esercizio

Ci troviamo ora in una fase avvincente che mostrerà se le nostre previsioni per quanto riguarda l'invecchiamento a lungo termine sono corrette. Siccome gli ultimi tre anni di servizio non possono essere valutati in modo completo, già solo a causa del numero di impianti analizzato, ai fini di una risposta affidabile è importante proseguire l'analisi sul campo almeno per altri tre anni.

Tra il primo e l'undicesimo anno di esercizio non si constata in pratica alcun cambiamento. Le piccole variazioni vanno ricercate piuttosto nella precisione del rilevamento o della misurazione. Gli ultimi tre anni di esercizio vanno ancora considerati con la dovuta prudenza, visto che per il momento gli impianti oggetto di esame con 12 e più anni di esercizio sono pochi. A ciò si aggiunge che proprio questi impianti, a differenza delle pompe di calore più recenti, presentano ancora in gran parte compressori a stantuffo, per i quali ci aspettiamo un invecchiamento pronunciato a causa della maggiore usura delle guarnizioni.

Il limite del bilancio dei coefficienti di lavoro annuo nCLA 2 comprende l'impianto a pompa di calore e le perdite di calore dell'accumulatore, se presente. Nel bilancio energetico dei nCLA 2 si contempla anche l'energia a pagamento consumata dalla pompa di carico dell'accumulatore o, negli impianti senza accumulatore, la quota di energia consumata dalla pompa per convogliare il flusso di massa attraverso il condensatore della pompa di calore e l'intero fabbisogno di energia lato sorgente (pompe o ventilatori).

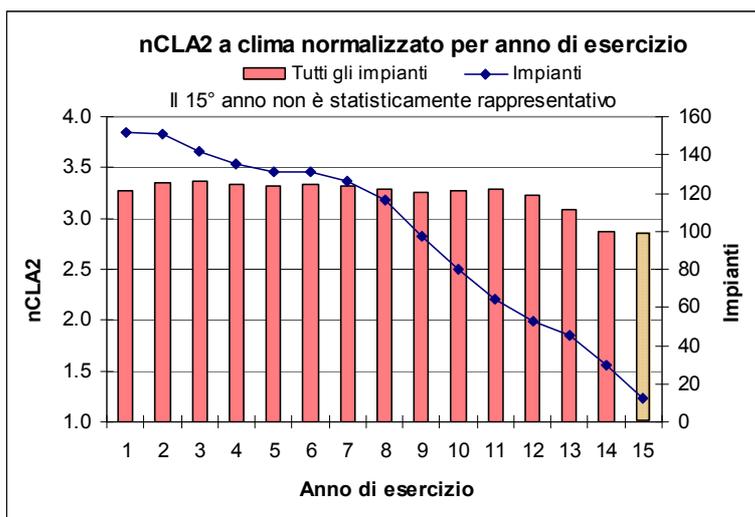


Fig. 5: Andamento dei coefficienti di lavoro annuo assoluti (nCLA2_{ass}) in base agli anni di esercizio

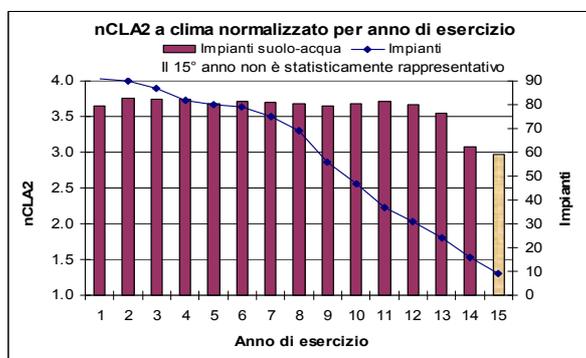


Fig. 6: Serie cronologica del campione di impianti suolo-acqua

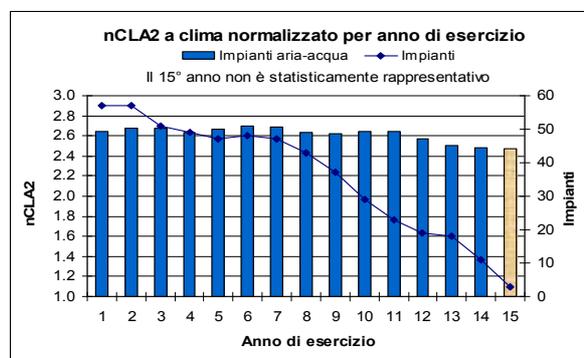


Fig. 7: Serie cronologica del campione di impianti aria-acqua

Come già menzionato, la procedura utilizzata per la normalizzazione dei coefficienti di lavoro annuo nCLA2 è semplice (vedi descrizione all'inizio del capitolo 3). Qui di seguito si riporta a scopo di confronto anche il grafico di tutti gli impianti con i CLA2 non normalizzati.

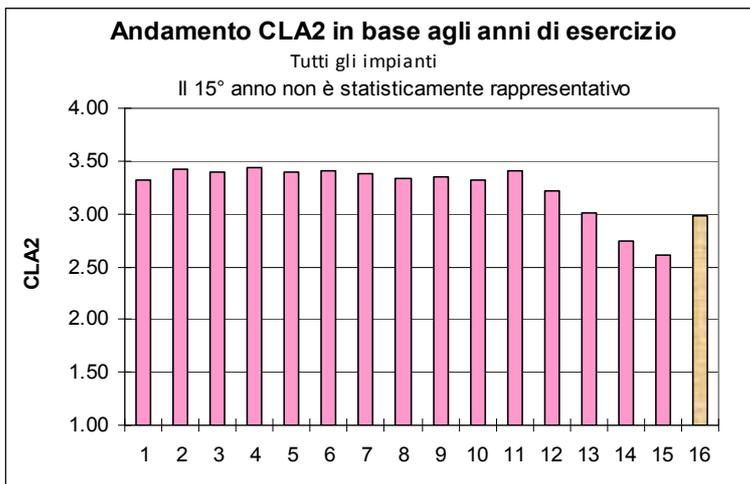


Fig. 8: Andamento dei coefficienti di lavoro annuo assoluti ($CLA2_{ass}$) in base agli anni di esercizio

I valori medi dei due grafici oggetto del confronto (fig. 5 e fig. 8) sono molto vicini tra loro. Sull'arco dei 15 anni, il coefficiente di lavoro annuo normalizzato ($nCLA2$) si attesta a 3,23, quello non normalizzato ($CLA2$) a 3,25. Ciò è dovuto al fatto, già menzionato, che la maggior parte degli impianti del campione è installata nell'Altopiano svizzero a un'altitudine di circa 400-500 metri s.l.m.

3.1.2 Confronto in base agli anni civili

L'andamento dei coefficienti di lavoro annuo $nCLA2$ in base agli anni civili corrisponde ai valori e alle conoscenze già comunicati nella precedente analisi FAWA. Dopo una prima fase (1995-2000) in cui di anno in anno si è constatato un miglioramento dei CLA, a partire dal periodo di riscaldamento 2000/2001 i valori si sono livellati e sono rimasti in pratica uguali fino a oggi. Questo fenomeno non è del tutto chiaro. Se si considera tuttavia l'assenza di consistenti progressi tecnologici e il costante incremento delle cifre di vendita, attualmente il settore delle pompe di calore è chiamato a risolvere problemi di altro genere, come il potenziamento e la formazione del personale specializzato, ecc.

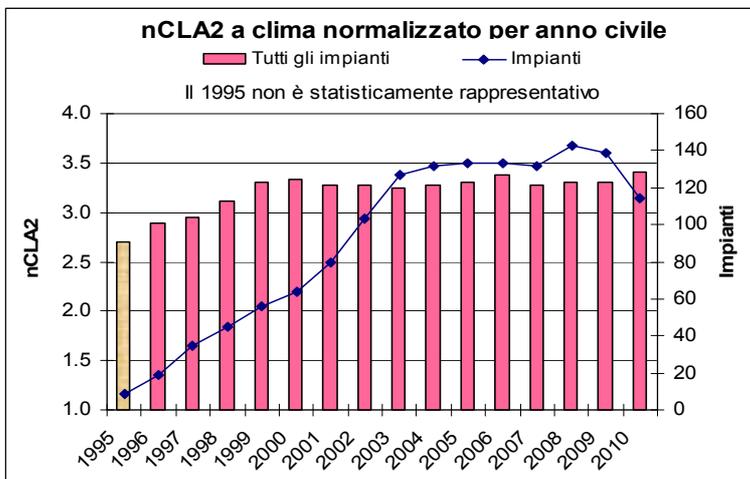


Fig. 9: Andamento dei coefficienti di lavoro annuo assoluti ($nCLA2_{ass}$) a clima normalizzato, in base agli anni civili

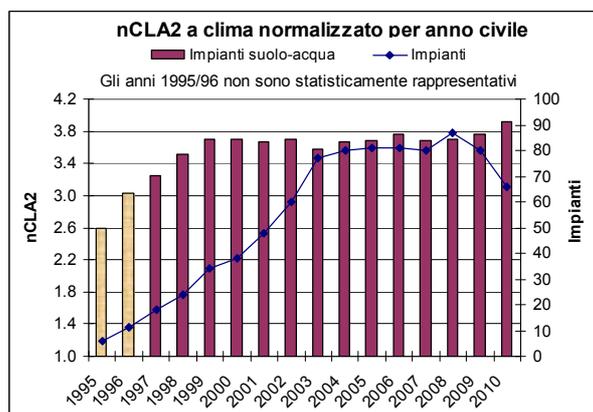


Fig. 10: Serie cronologica del campione di impianti suolo-acqua

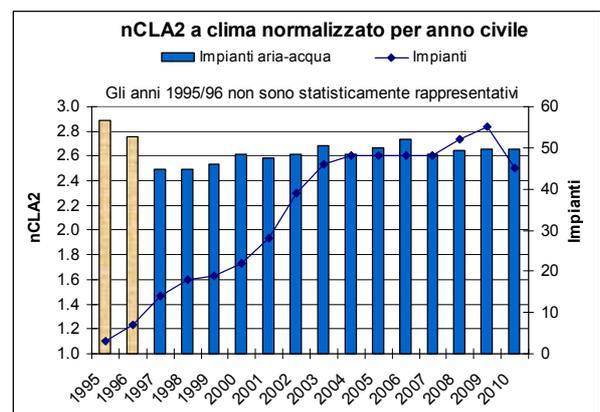


Fig. 11: Serie cronologica del campione di impianti aria-acqua

Nella seguente tabella 5 sono inoltre riportati i quattro impianti acqua-acqua, sia a titolo di confronto, sia per informazione complementare. Trattandosi di soli quattro impianti, i valori non possono essere considerati come rappresentativi. Ciò nonostante, questi valori sono tendenzialmente corretti, tenuto conto che per molti piccoli impianti acqua-acqua la fonte di calore è poco efficiente. Questo dipende dalla quota variabile del livello dell'acqua di falda (prevalenza geodetica) e dal fatto che molto spesso questi piccoli impianti sono anche sovradimensionati. Non esiste una pompa per acqua di falda sufficientemente piccola.

Tab. 5: nCLA2 per anno di esercizio per le singole fonti di calore

Fonte di calore	Anno di esercizio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Aria-acqua	nCLA2	2.60	2.67	2.69	2.66	2.68	2.73	2.67	2.65	2.61	2.62	2.67	2.63	2.47	2.56	2.59	3.25
	Impianti	49	48	46	45	44	45	41	35	26	21	16	16	12	5	1	1
Suolo-acqua	nCLA2	3.61	3.73	3.69	3.69	3.67	3.69	3.68	3.64	3.75	3.70	3.71	3.54	3.25	2.80	2.47	
	Impianti	85	86	80	78	79	77	71	54	46	36	30	22	17	11	6	
Acqua-acqua	nCLA2	3.56	3.71	3.74	3.63	3.53	3.48	3.51	3.37	3.50	3.21	2.89	2.94	2.95	2.50		
	Impianti	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1		

I grafici per anno civile (Fig. 9-11) consentono di spiegare l'analisi per anni di esercizio, in quanto evidenziano chiaramente il costante aumento di efficienza degli impianti nei primi anni (1995-1999), già riportato tra l'altro anche nel rapporto FAWA.

3.2 Analisi delle ore di esercizio

I tempi di esercizio assumono un ruolo fondamentale soprattutto negli impianti acqua glicolata-acqua. Il dimensionamento dell'impianto lato sorgente con sonde geotermiche si basa sulle specifiche di esercizio di max. 2000 ore senza produzione di acqua calda e di 2300 ore con produzione di acqua calda. Le specifiche generali per il dimensionamento di impianti a pompa di calore sono riportate nell'opuscolo dell'UFE intitolato «Garanzia di prestazione – Installazioni domestiche». Per gli impianti a sonda geotermica, le specifiche sono definite anche nella norma SIA 384/6 pubblicata nel 2010.

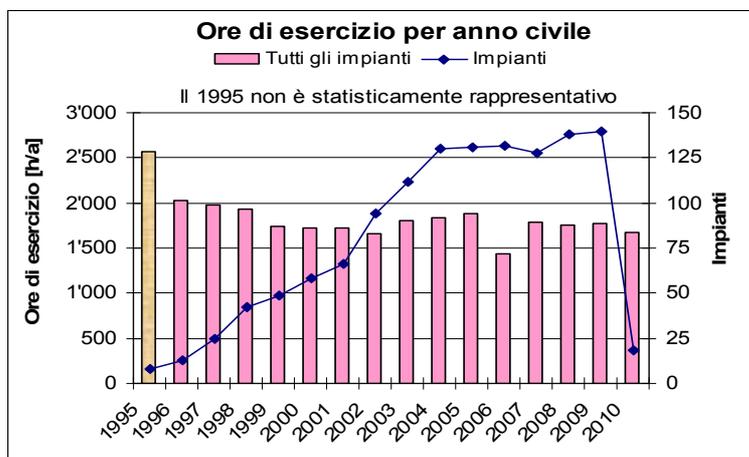


Fig. 12: Serie cronologica delle ore di esercizio per anno civile

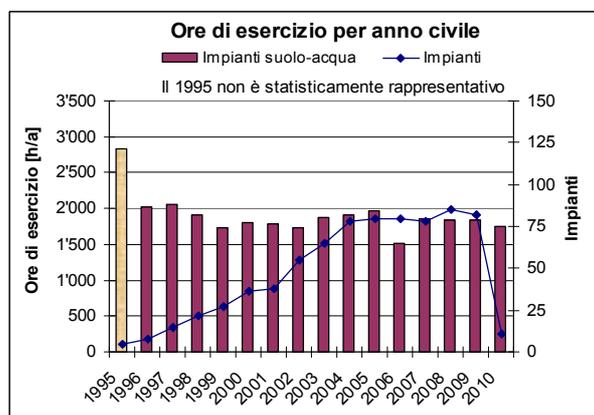


Fig. 13: Serie cronologica del campione di impianti suolo-acqua

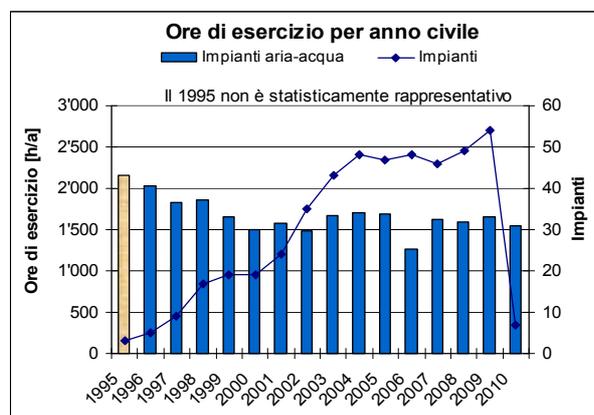


Fig. 14: Serie cronologica del campione di impianti aria-acqua

Tab. 6: Ore di esercizio 1° stadio per anno civile per le singole fonti di calore

Fonte di calore	Anno civile	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PdC aria-acqua Aria esterna	Ore di esercizio 1° stadio	2154	2025	1835	1866	1664	1496	1580	1481	1669	1700	1694	1263	1631	1592	1653	1548
	Impianti	3	5	9	17	19	19	24	35	43	48	47	48	46	49	54	7
PdC suolo-acqua Sonde geot.	Ore di esercizio 1° stadio	2824	2018	2061	1918	1726	1810	1778	1728	1867	1885	1950	1501	1829	1813	1835	1748
	Impianti	5	8	15	22	27	36	38	55	65	79	81	81	79	86	83	12
PdC acqua-acqua Acqua	Ore di esercizio 1° stadio			2190	2489	2394	2021	2163	2165	2216	2188	2182	1794	2323	2248	2065	
	Impianti			1	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

Dalla figura 12 si evince chiaramente che le specifiche di dimensionamento vengono rispettate. I valori annui si situano appena al di sotto delle 2000 ore di esercizio. Negli impianti a pompa di calore acqua glicolata-acqua è importante avvicinarsi a queste ore di esercizio (fig. 13), altrimenti si potrebbero creare a lungo termine problemi di congelamento delle sonde geotermiche.

Negli impianti a pompa di calore aria-acqua (fig. 14) le ore di esercizio non hanno la stessa valenza. Dai valori analizzati si può desumere il rispetto delle raccomandazioni dell'UFE per il dimensionamento.

Tab. 7: Ore di esercizio 2° stadio per anno civile per le singole fonti di calore

Fonte di calore	Anno civile	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PdC aria-acqua Aria esterna	Ore di esercizio 2° stadio		67	256	898	472	515	511	565	855	1139	831	1018	392	639	
	Impianti		2	2	2	2	4	4	4	5	5	5	5	5	6	
PdC suolo-acqua Sonde geot.	Ore di esercizio 2° stadio	702	266	47	329	847	1158	795	1009	947	1157	819	1079	1148	1637	
	Impianti	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
PdC acqua-acqua Acqua	Ore di esercizio 2° stadio		369	763	868	703	1342	1370	1424	1440	1502	1088	1404	1373	1239	
	Impianti		1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

La valutazione del 2° stadio non è molto significativa, in quanto il campione di impianti analizzato comprende soltanto 5 impianti aria-acqua, 3 impianti suolo-acqua e 2 impianti acqua-acqua.

3.3 Analisi della produzione di calore

La produzione media di calore del campione di impianti analizzato è di circa $Q_a = 19'000$ [kWh/a] per le pompe di calore acqua glicolata-acqua e di circa $Q_a = 15'100$ [kWh/a] per le pompe di calore aria-acqua. Negli impianti suolo-acqua il valore molto alto del 1995 ha un leggero influsso sulla media (+3%).

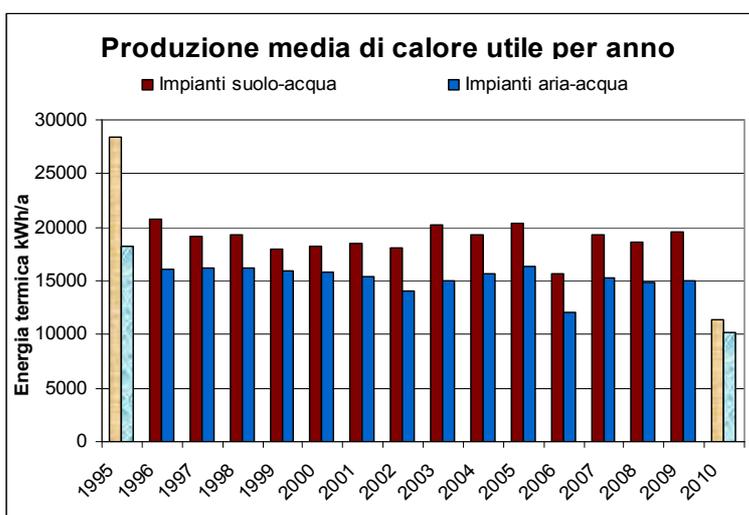


Fig. 15: Serie cronologica della produzione media di calore degli impianti per anno civile

Nel 1995 è stato possibile valutare solo 5 impianti, di cui uno con una produzione estremamente elevata di calore di oltre 43'000 [kWh/a].

Anche i dati del 2010 non sono ancora statisticamente consolidati in quanto mancavano alcuni risultati.

3.4 Analisi del consumo di energia elettrica

Il consumo medio di energia elettrica del campione di impianti analizzato (165 impianti) è di circa $Q_a = 6'000$ [kWh/a] per le pompe di calore acqua glicolata-acqua e di circa $Q_a = 5'600$ [kWh/a] per le pompe di calore aria-acqua. Il maggior consumo medio di energia elettrica delle pompe di calore acqua glicolata-acqua è legato alla maggiore produzione di calore (vedi fig. 15). Il consumo estremamente elevato degli impianti del 1995 incide sul valore medio nella misura del +6% circa.

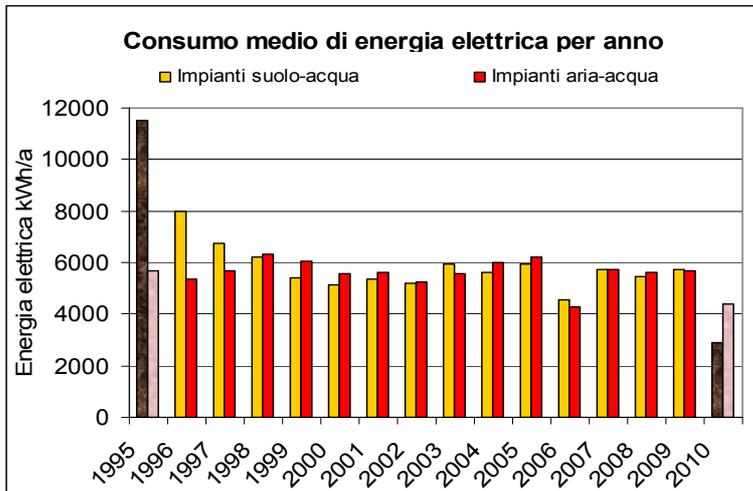


Fig. 16: Serie cronologica del consumo medio di energia elettrica degli impianti per anno civile

Il 1995 non è rappresentativo in quanto sono stati valutati solo 5 impianti, tra cui uno con un consumo estremamente elevato di oltre 17'000 [kWh/a].

Anche i dati del 2010 non sono ancora statisticamente consolidati in quanto mancavano alcuni risultati.

3.5 Influsso del refrigerante sull'efficienza

L'efficienza delle pompe di calore in funzione del refrigerante utilizzato è stata a sua volta oggetto di analisi. A scopo di confronto, al campione analizzato sono stati aggiunti alcuni impianti con il refrigerante R22 ed è stato considerato anche il refrigerante ecocompatibile R290 (propano).

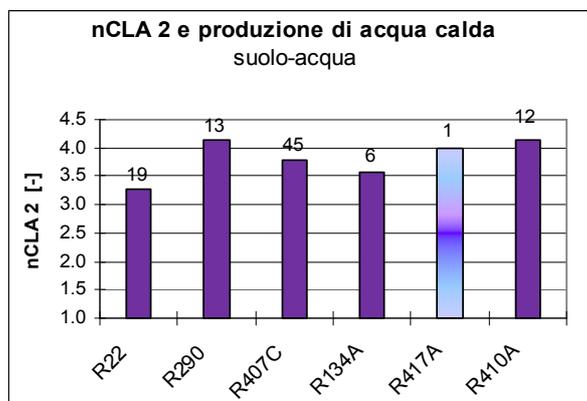


Fig. 17: Efficienza vs refrigerante nelle PdC suolo-acqua

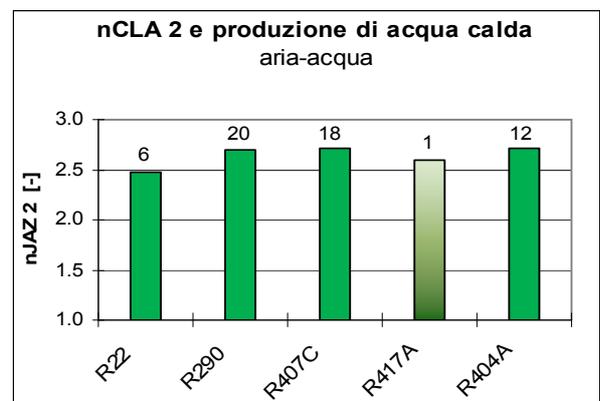


Fig. 18: Efficienza vs refrigerante nelle PdC aria-acqua

Si nota che il refrigerante R22, oggi non più utilizzato né autorizzato, ha un valore nettamente peggiore in entrambi i gruppi di impianti.

Nelle pompe di calore acqua glicolata-acqua i migliori refrigeranti sono risultati come previsto l'R290 e l'R410A. Il refrigerante R417A è stato analizzato soltanto in un impianto per ogni gruppo. Nelle pompe di calore aria-acqua non ci sono complessivamente grandi differenze tra i diversi refrigeranti, fatta eccezione per l'R22.

Questa analisi evidenzia chiaramente che l'efficienza degli impianti a pompa di calore è determinata in misura molto più ampia da altri fattori, quali il differenziale termico (temperatura della sorgente e temperatura di riscaldamento), il dimensionamento, l'integrazione idraulica, ecc.

3.6 Influsso dell'altitudine nelle pompe di calore aria-acqua

Da più parti è stato chiesto fino a quale altitudine sul livello del mare è possibile utilizzare le pompe di calore aria-acqua con un sufficiente grado di efficienza. A questa domanda è stato possibile risponde-

re in modo abbastanza esaustivo. Il campione di impianti comprende soltanto una decina di impianti aria-acqua installati a un'altitudine superiore ai 600 m s.l.m.

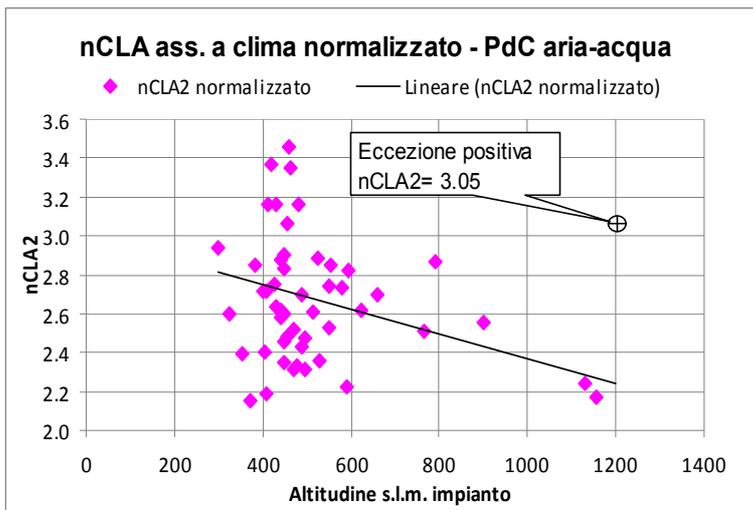


Fig. 19: Impianti aria-acqua a diverse altitudini

L'impianto aria-acqua installato a 1200 metri s.l.m con l'ottimo nCLA di 3.05 attesta che è possibile ottenere buoni risultati anche ad altitudini superiori, nonostante la temperatura media più bassa dell'aria esterna.

3.7 Analisi delle anomalie (disponibilità delle pompe di calore)

La sicurezza di esercizio degli impianti a pompa di calore è oggetto di analisi sin dallo studio FAWA con risultati sempre molto positivi. Le differenze tra gli impianti acqua glicolata-acqua e aria-acqua non sono sostanziali.

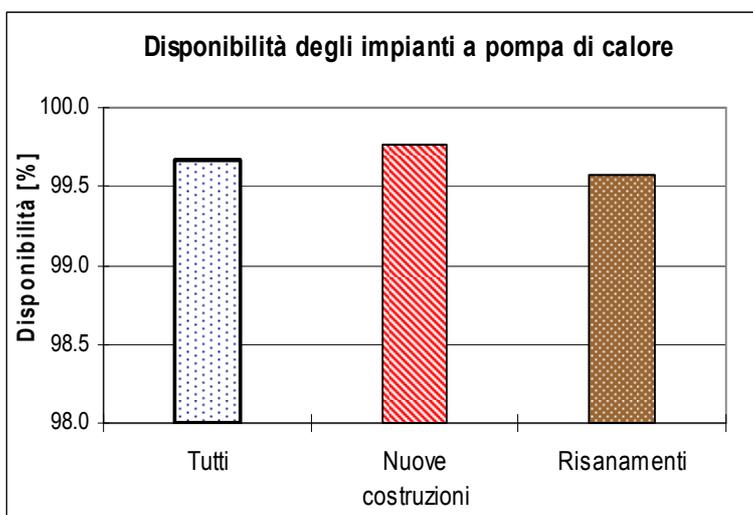


Fig. 20: Disponibilità complessiva degli impianti a pompa di calore e per i gruppi principali nuove costruzioni e risanamenti

Informazioni supplementari sugli impianti acqua glicolata-acqua, acqua-acqua, ecc., sono riportate nella tabella seguente.

Tab. 8: Analisi delle anomalie, suddivise nei vari gruppi

Anomalia	Tutti	Nuove costruzioni	Risanamenti	aria-acqua	suolo-acqua	monovalente	bivalente	senza accumulatore	con accumulatore
Esercizio totale [h]	2'257'079	1'139'108	1'117'971	759'978	1'339'321	2'122'269	128'034	868'400	1'388'679
Guasti [h]	7'416	2'655	4'761	5'308	1'705	6'966	450	3'962	3'454
Disponibilità [-]	99.673	99.767	99.576	99.306	99.873	99.673	99.650	99.546	99.752

La disponibilità è intesa come capacità di funzionamento. Si è in presenza di un'anomalia quando la pompa di calore non è in grado di generare energia termica. È interessante notare che la disponibilità di tutti i gruppi supera ampiamente il 99%, anche in quello delle pompe di calore aria-acqua. Le pompe di calore installate nell'ambito di un risanamento denotano anch'esse un ottimo risultato, con una differenza minima dello 0,2%.

4 Manutenzione e riparazione

Il rilevamento e la valutazione delle spese di manutenzione e riparazione avviene separatamente per categoria. Le categorie manutenzione e riparazione sono definite come segue:

Manutenzione	Con il termine «manutenzione» (o «servizio») si intendono tutti gli interventi di controllo ed eventualmente di regolazione eseguiti sulla pompa di calore e sugli organi di comando. Vi rientrano anche la sostituzione di parti soggette a usura (ad es. i filtri), la pulitura, il rabbocco di refrigerante, ecc., se previsto a priori dal piano di manutenzione del fabbricante. I contratti di servizio fanno a loro volta parte di questa categoria.
Riparazione	Con il termine «riparazione» si intende la sostituzione di componenti della pompa di calore che non sono più in grado, in parte o del tutto, di svolgere la propria funzione.

4.1 Manutenzione delle pompe di calore

Sui costi di esercizio complessivi di un impianto a pompa di calore incidono i costi energetici e le spese di manutenzione e riparazione. Per i proprietari, l'investimento iniziale in un impianto a pompa di calore è superiore rispetto a quello in un riscaldamento convenzionale a gasolio o a gas. Le spese di manutenzione assumono perciò una maggiore importanza. È importante sapere a quanto ammontano tali spese anche ai fini di un calcolo della redditività. Questo aspetto è di grande interesse nell'ambito della valutazione di sistemi a pompa di calore e può anche essere utilizzato direttamente per promuoverne l'immagine.

Le analisi specifiche sono iniziate nel quadro di un precedente progetto dell'UFE³ con un campione di 50 impianti. Nel frattempo il campione contempla 61 impianti. L'analisi è stata integrata nel presente progetto perché è essenziale disporre di informazioni statistiche consolidate in merito alla situazione dei costi e comunicarle in modo conforme.

Per determinare le spese di manutenzione e i costi energetici i proprietari vengono interpellati individualmente. L'invio di questionari non ha fornito risultati attendibili. Un colloquio, telefonico o sul posto, con i proprietari degli impianti consente di chiarire direttamente eventuali ambiguità o contraddizioni. Le spese di manutenzione e riparazione sono rilevate in base a giustificativi (rapporti di servizio, fatture, ecc.).

Il campione di impianti esaminato presenta la seguente configurazione:

fonti di calore (31 sonde geotermiche, 3 scambiatori geotermici, 1 palo energetico, 22 aria e 4 acqua); riscaldamento e produzione acqua calda (46 impianti); solo riscaldamento (15 impianti).

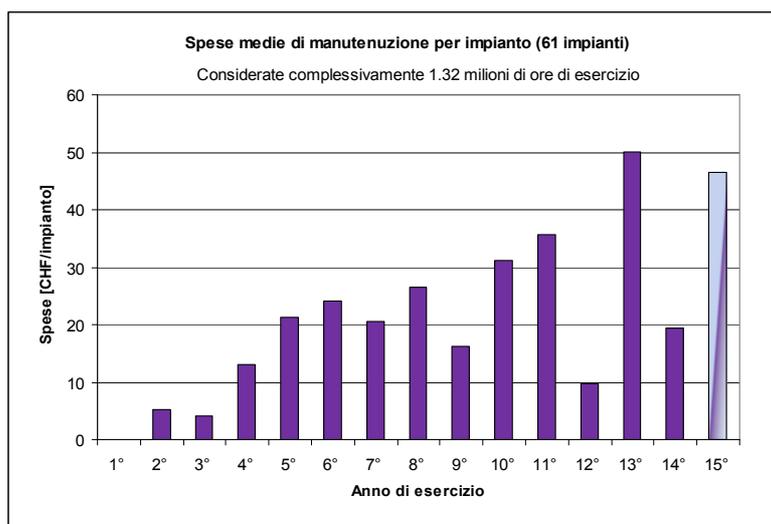


Fig. 21: Spese medie di manutenzione (servizio) per anno di esercizio delle pompe di calore.

Va notato che ci sono costi anche nel periodo di garanzia (di norma 2 anni). Si tratta di costi per interventi non coperti da garanzia a seguito di manipolazioni errate, ecc.

³ Progetto di ricerca n. 100'454 dell'UFE

Per un impianto a pompa di calore, le spese di manutenzione (servizio) si attestano a circa CHF 21.60 l'anno e risultano pertanto molto contenute. L'assenza quasi totale di spese nei primi anni è legata al periodo di garanzia di 2 anni e ad ampie prestazioni pro bono. La lieve progressione delle spese è dovuta ai maggiori interventi di servizio a scopo di controllo ed eliminazione di guasti minori.

4.2 Riparazione delle pompe di calore

Le spese di riparazione variano notevolmente. Agli anni con spese più alte corrispondono riparazioni di maggiore entità, come difetti e guasti dei compressori o degli scambiatori termici e, in un caso, un danno da incendio (difetto elettrico in un impianto a propano). Le restanti spese di riparazione si riferiscono a situazioni del tutto normali che riguardano la valvola di espansione, il flussostato, il regolatore, ecc., come pure influssi esterni, come l'insudiciamento del sistema idraulico, le valvole di miscelazione e le pompe di circolazione. Il valore medio di tutte le spese di riparazione si attesta a 84.40 [CHF/a] per impianto. Questo importo contenuto rappresenta un risultato conveniente che si ripercuote in modo positivo sul calcolo dei costi di esercizio di un impianto a pompa di calore.

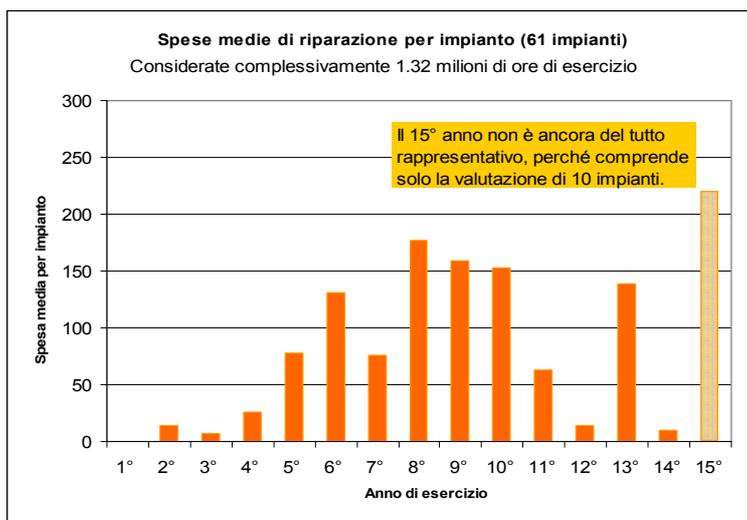


Fig. 22: Spese medie di riparazione per anno di esercizio di complessive 61 pompe di calore

Sull'arco dei 15 anni di esercizio analizzati, le spese di riparazione dei 61 impianti sono molto differenziate. Non si è constatato in particolare un aumento degli interventi di riparazione con il progredire dell'età degli impianti. Questo risultato positivo attesta la qualità delle piccole pompe di calore.

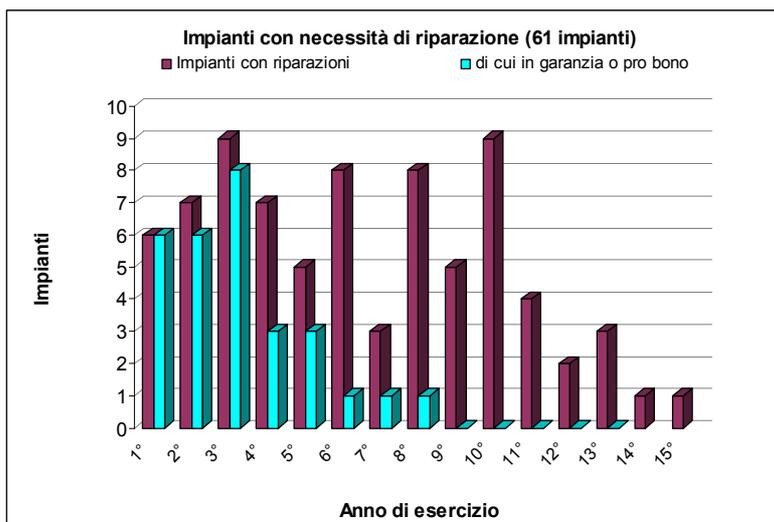


Fig. 23: Impianti con necessità di riparazione in funzione dell'anno di esercizio

La figura 23 rappresenta gli impianti che hanno richiesto interventi di riparazione più o meno importanti nei rispettivi anni di esercizio. Si nota chiaramente che le riparazioni, soprattutto nei primi tre anni, sono state effettuate prevalentemente in garanzia o pro bono.

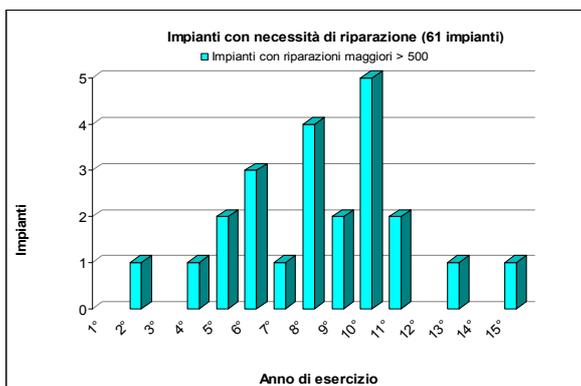


Fig. 24: Impianti con spese di riparazione >500 [CHF/a]

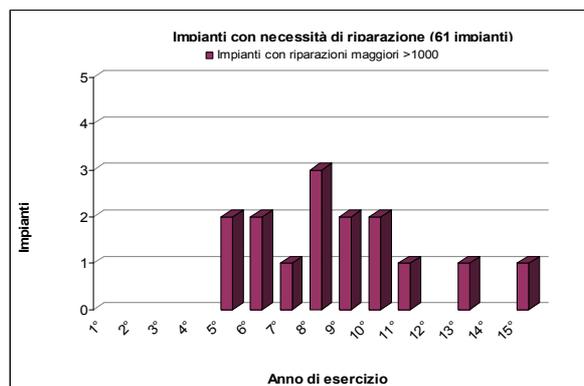


Fig. 25: Impianti con spese di riparazione >1000 [CHF/a]

Dai grafici (fig. 24 e 25) si evince l'esiguo numero di impianti che ha richiesto riparazioni maggiori. Nonostante queste ottime prospettive, una riparazione maggiore può sempre rendersi necessaria.

4.3 Spese complessive di manutenzione e riparazione

Sull'arco dei 15 anni di esercizio analizzati, le spese complessive di manutenzione e riparazione dei 61 impianti si sono attestate a 106.00 [CHF/a]. Questo importo molto contenuto attesta la qualità delle piccole pompe di calore. Ciò non significa tuttavia che le riparazioni sono sempre di lieve entità. I costi analizzati comprendevano pur sempre cinque compressori, un caso di incendio e un danno da congelamento a un evaporatore.

Ulteriori dettagli sulle spese medie annue di manutenzione sono riportati nella tabella 7. Se si calcolano le spese di manutenzione per ora di esercizio, si ottengono 1.065 [cts./h] per la manutenzione e 4.045 [cts./h] per la riparazione. Questa analisi sui 61 impianti a pompa di calore si basa pur sempre su complessivi 1.32 milioni di ore di esercizio.

Tab. 9: Spese di manutenzione per impianti a pompa di calore

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media
Impianti	33	61	61	61	61	61	60	58	55	52	51	42	36	21	10	
Spese manutenz.	0.00	5.10	4.03	13.02	21.67	24.11	20.60	26.59	16.22	31.30	35.61	9.71	50.09	19.47	46.56	21.60
Spese riparazione	0.02	13.56	7.40	26.00	78.26	130.76	76.00	176.51	159.10	153.43	63.17	13.73	138.76	9.52	220.40	84.40
Totale spese	0.02	18.65	11.43	39.01	99.92	154.87	96.60	203.10	175.32	184.72	98.78	23.45	188.85	29.00	266.96	106.00

L'ultimo anno di esercizio non è ancora rappresentativo in quanto sono stati valutati solo 10 impianti con 15 anni di esercizio.

5 Cooperazione nazionale

Ogni anno si sono svolte due sedute dei gruppi di lavoro con il dott. Richard Phillips e Gerold Truniger dell'UFE e il prof. dott. Max Ehrbar in veste di specialista.

I buoni contatti mantenuti con il Gruppo promozionale svizzero per le pompe di calore (GSP) consentono una condivisione mirata e semplice delle conoscenze acquisite. I risultati delle analisi confluiscono direttamente nei documenti di formazione.

Gli argomenti vengono divulgati attraverso tutti i canali possibili del GSP, ma anche in altre occasioni, nell'ambito di conferenze e attività di gruppi di lavoro, nonché integrati direttamente nella formazione (partner GSP certificato).

6 Cooperazione internazionale

Il responsabile di progetto ha tenuto due conferenze, la prima il 29 ottobre 2009 al Simposio internazionale sulle pompe di calore presso il centro TWK di Karlsruhe (prof. dott. ing. Reichelt) in Germania e la seconda nell'ambito del Convegno sulle pompe di calore 2011 nel Vorarlberg.

Non erano previsti ulteriori contatti a livello internazionale. Ci sono contatti con i gruppi di progetto in Germania e in Austria, i rapporti e le pubblicazioni vengono sottoposti a reciproco confronto.

In Svizzera, grazie a una pianificazione lungimirante, l'UFE aveva autorizzato il primo progetto di analisi sul campo di piccoli impianti a pompa di calore (studio FAWA [1] e progetti successivi QS-WP/QP [2]) già nel 1995, per cui vantiamo un enorme vantaggio in termini di esperienze e conoscenze.

7 Conclusioni

Le valutazioni mostrano una buona continuità. Le dispersioni nei dati sono contenute e la qualità dei risultati è conforme. Anche l'analisi delle spese di manutenzione e riparazione evidenzia risultati positivi. Le conoscenze acquisite possono fornire un ulteriore contributo ai successi di vendita delle pompe di calore, tenuto conto dei valori estremamente favorevoli delle spese di manutenzione (servizio).

Il proseguimento delle analisi sul campo di piccoli impianti a pompa di calore è di fondamentale importanza. I valori empirici sull'efficienza e sulle spese di manutenzione per tutta la durata di esercizio degli impianti hanno una notevole valenza. Gli impianti sono giunti a uno stadio molto interessante, caratterizzato da un progressivo consolidamento delle informazioni sull'intera durata di esercizio degli impianti a pompa di calore. Queste informazioni sono preziose sia per il mercato delle pompe di calore, sia per gli acquirenti.

Hubacher Engineering ringrazia l'UFE per l'incarico commissionatole. Nell'ambito di questo progetto dell'UFE, Hubacher Engineering ha potuto svolgere un importante lavoro a beneficio dell'intero settore. Le analisi sul campo richiedono una grande esperienza e un costante impegno, sostenuto in larga misura dai proprietari degli impianti attraverso l'annotazione periodica dei dati di esercizio. Il ringraziamento va anche a questi proprietari che continuano, in parte da ormai 15 anni, a metterci a disposizione i loro dati.

8 Bibliografia

- [1] **FAWA-Schlussbericht BFE: Feldanalysen von Wärmepumpenanlagen FAWA, 1996 - 2003**
Rapporto finale aprile 2004, autori: P. Hubacher, M. Erb, M. Ehrbar.
- [2] **QS-WP/QP: Qualitätssicherung von Klein-Wärmepumpen mittels Norm- und Feldmessungen**, Teilprojekt Langzeitverhalten 2007-2008. Rapporto finale 2008, autori: P. Hubacher, M. Ehrbar (perito)
- [3] **Verbesserung der Jahresarbeitszahl durch witterungsgeführten Ladekreis**;
Rapporto finale 2008; autori: P. Hubacher, M. Ehrbar.

Engelburg, Primavera 2012

Hubacher Engineering
Peter Hubacher