

RIVISTA TECNICA

ENERGIA RINNOVABILE DALL'AGRICOLTURA E DALLE FORESTE

# agriforenergy

**SPECIALE CORRETTA PROGETTAZIONE**  
Soluzioni progettuali  
e confronto tra tecnologie

Certificazione Aria Pulita  
trova applicazione nelle delibere  
regionali sulla qualità dell'aria

Gestione del territorio nella futura  
politica forestale nazionale

Novità per le rinnovabili  
nel Winter Package europeo

**MERCATI & PREZZI** AGGIORNAMENTI E NOVITÀ

# Pompe di calore aerotermiche per il riscaldamento degli edifici: effetti energetici e ambientali degli errori progettuali

Valter Francescato, AIEL

L'obiettivo di questo articolo non è screditare le pompe di calore (PdC), che – alla pari delle altre FER – svolgono un ruolo di primo piano ai fini del raggiungimento degli obiettivi europei di produzione di energia rinnovabile del nostro Paese. Tuttavia, negli ultimi anni, sempre più spesso capita di vedere impianti a PdC ad aria installati per la climatizzazione invernale degli edifici, privi di senso tecnico ed energetico. Purtroppo alcuni installatori e progettisti (a volte) propongono questi apparecchi con troppa «disinvoltura» e senza il necessario approfondimento tecnico-economico ed energetico nella fase progettuale. Nel periodo 2010-2014 il numero di PdC

installate in Italia, così come la loro potenza termica utile, sono aumentate del 20%, passando rispettivamente da 15 a 18 milioni di apparecchi e da 102 a 122 GW. Il 97% dell'energia termica rinnovabile prodotta dalle PdC è ascrivibile a quelle aerotermiche, con un fattore di prestazione stagionale medio di 2,6. Le PdC rappresentano la seconda fonte termica rinnovabile del Paese (2,6 Mtep) dopo le biomasse (7 Mtep), con un consumo annuo di energia elettrica di circa 18.400 GWh (GSE, dati 2014). Questo quadro di mercato in forte espansione si rileva anche in altri Paesi europei, tra questi l'Austria. A novembre 2015 l'istituto indipendente di ricerca e consulenza

energetica E7 Energy Markt Analyse, con sede a Vienna, ha pubblicato uno studio sugli effetti della forte crescita delle PdC aerotermiche in Austria, per la climatizzazione invernale, sulla rete elettrica nazionale e sulle emissioni di CO<sub>2</sub>, con riferimento agli anni 2013 e 2014.

Questo articolo riporta i principali risultati di questo studio, nell'ottica di accrescere la consapevolezza degli operatori delle rinnovabili, in particolare gli installatori e i progettisti, così come delle istituzioni, che la realizzazione di impianti FER efficienti e sostenibili richiede sempre un'adeguata conoscenza della materia e un approccio di corretta progettazione.

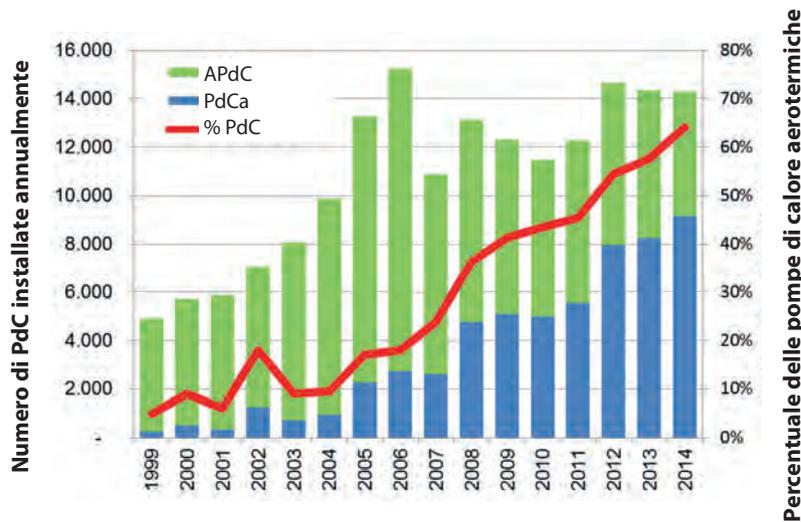
## Pompa di calore

Una pompa di calore (PdC) è una macchina in grado di trasferire energia termica da una sorgente a temperatura più bassa a una sorgente a temperatura più alta, utilizzando generalmente energia elettrica. Questo principio è conosciuto ormai da 200 anni e inizialmente fu utilizzato per il raffreddamento. Nel 1852 fu dimostrato che lo stesso principio poteva essere utilizzato anche per produrre calore. La resa di una PdC è espressa dal coefficiente di prestazione (COP), ovvero il rapporto tra il calore reso all'ambiente da riscaldare e l'energia elettrica (EE) consumata (per alimentare il compressore). Quindi un

COP=3,5 significa che, per ogni kWh di energia elettrica consumata, la PdC movimentata 3,5 kWh di calore verso l'ambiente da riscaldare. Per confronto una stufetta elettrica ha un COP teorico pari circa a 1. Nelle PdC che sfruttano l'aria (PdCa) il COP è fortemente influenzato dalla temperatura dell'aria esterna e dall'umidità dell'aria. Le condizioni ambientali esterne non sono costanti: in inverno quando la temperatura si abbassa molto, anche sotto lo zero, aumenta il fabbisogno di calore dell'edificio e il salto termico tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura da garantire all'interno

dell'abitazione, con un conseguente abbassamento (più che proporzionale) del COP. Per questo motivo è preferibile considerare la reale resa delle PdC, ovvero il coefficiente di prestazione annuale o stagionale (SCOP) che, in funzione del salto termico e dell'utilizzo della PdC, varia da 2 a 5. Inoltre, in inverno con aria esterna fredda e umida può formarsi nell'evaporatore esterno del ghiaccio che - essendo isolante - riduce il rendimento dello scambio termico. I dispositivi, più o meno raffinati, di sbrinamento comportano una riduzione delle prestazioni stagionali.

**Grafico 1. Evoluzione del numero di PdC installate in Austria nel periodo 1999-2014** Fonte: E7 Energy Markt Analyse, 2015.



APdC: pompe di calore alimentate con altre fonti, esclusa l'aria  
PdCa: pompe di calore ad aria

## LO STUDIO AUSTRIACO

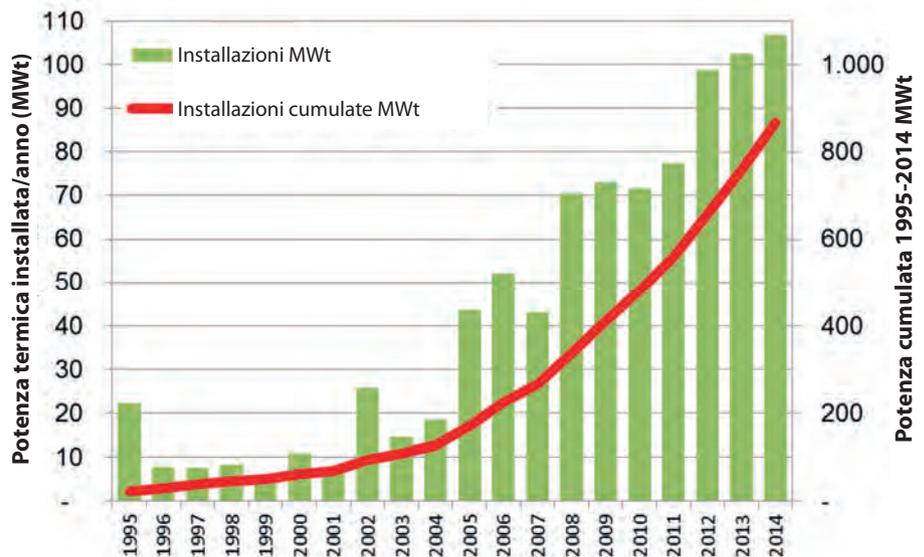
### Evoluzione del mercato

In Austria nel 2013 risultavano in esercizio 140.000 PdC per il riscaldamento e 74.000 per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS). Negli ultimi anni il mercato della PdC è stato molto dinamico, nei primi anni 2000 erano ancora in numero limitato, per poi crescere rapidamente. Nel 2013 le PdC rappresentavano il 16,5% dell'installato, contro il 20,3% delle biomasse solide, il 56,7% del gas e il 6,6% del gasolio. L'installazione delle PdC in Austria ha un andamento molto simile a quello delle nuove costruzioni e delle riqualificazioni energetiche. Il grafico 1 mostra l'andamento del numero di PdCa installate nel tempo rispetto a quelle alimentate con altre fonti (APdC). Mentre nel 2000 le PdCa rappresentavano solo il 10% del totale, nel 2014 sono salite al 64%. A partire dal 2005, in Austria si installano complessivamente circa 12.500 PdC l'anno e nel periodo 2006-2014 la percentuale di PdCa installate ha avuto una forte crescita, fino ad arrivare al 64% del 2014.

### Potenza elettrica installata

Il grafico 2 mostra l'evoluzione della potenza termica delle PdCa installata; gli autori stimano che nel 2014 questa abbia raggiunto **850 MW<sub>t</sub>**. Sulla base delle statistiche federali sulle nuove edificazioni e sulle riqualificazioni degli edifici, nonché

**Grafico 2 - Evoluzione della potenza termica installata delle PdCa in Austria nel periodo 1995-2014.** Fonte: E7 Energy Markt Analyse, 2015.



dei sistemi incentivanti, la potenza installata è stata ripartita nei 9 *Bundesländer* austriaci. Più della metà della potenza termica è stata installata nelle regioni della Bassa Austria e Alta Austria.

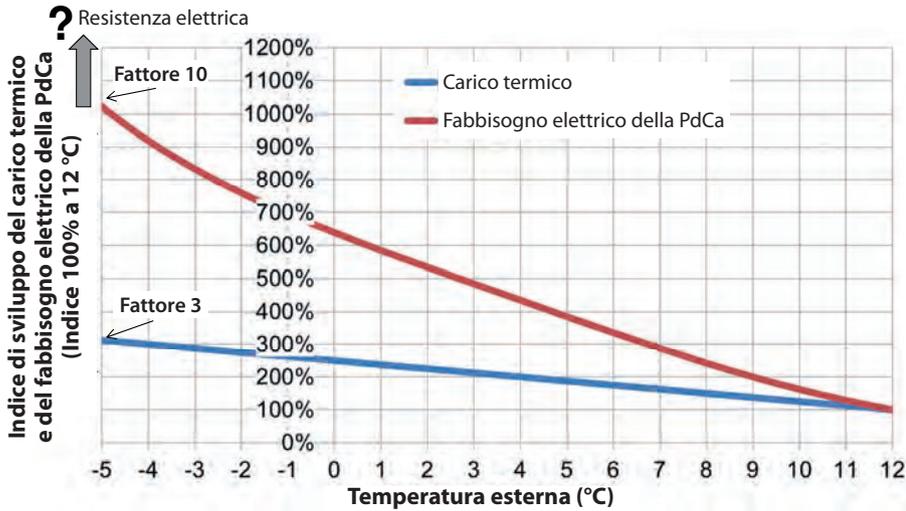
### Coefficiente di prestazione annua

Sulla base dell'analisi dei risultati di diversi studi, condotti tra il 2011 e il 2014, prevalentemente su nuovi edifici o edifici risanati, anche attraverso misure in campo, è stato rilevato dagli autori che il SCOP delle PdCa varia da **2,8 a 3** e che con l'aumento del fabbisogno termico dell'edificio l'efficienza della produzione di calore diminuisce.

### Profilo del fabbisogno elettrico di una PdCa

Il grafico 3 mostra l'andamento del fabbisogno termico dell'edificio (linea blu) e quello elettrico della PdCa (linea rossa) in funzione della temperatura dell'aria esterna. Con la riduzione della temperatura esterna, il fabbisogno elettrico aumenta più che proporzionalmente rispetto al fabbisogno termico dell'edificio. Con -5 °C di temperatura esterna

**Grafico 3 - Andamento del carico termico e del fabbisogno elettrico della PdCa in funzione della temperatura esterna.** Fonte: E7 Energy Markt Analyse, 2015.



la richiesta di energia elettrica risulta aumentata di **10 volte** rispetto al fabbisogno a 12 °C, mentre il fabbisogno di calore aumenta di **3 volte**.

#### Effetti sulla rete elettrica

Prendendo in considerazione le temperature medie giornaliere del 2013 e del 2014 è stato calcolato che l'insieme delle PdCa installate in Austria fino alla fine del 2014, ha comportato un aumento del picco di potenza elettrica richiesta tra **175 e 200 MWe**, ovvero circa il **2% della richiesta totale della rete elettrica** (tabella 1). A titolo comparativo, questa potenza elettrica corrisponde a quella della centrale termoelettrica fossile di Riedersbach II (Oberösterreich). Va evidenziato che, il modello di calcolo non ha considerato gli effetti sulla

rete elettrica dell'utilizzo delle **resistenze elettriche di backup**, che sono solitamente montate sulle PdCa per garantire il servizio

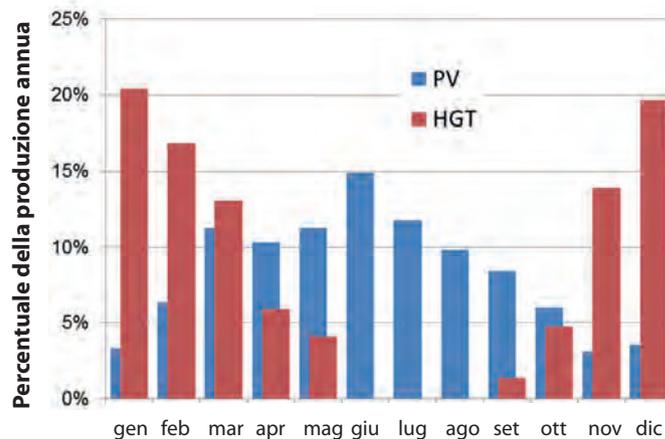
di riscaldamento in condizioni di temperatura esterna particolarmente rigide. L'utilizzo della resistenza elettrica consente di sottodimensionare la PdCa (minori costi), tuttavia riduce il SCOP e incrementa il picco di potenza elettrica richiesta.

#### Abbinamento delle PdCa con gli impianti fotovoltaici

Spesso la PdCa è proposta con l'argomentazione che, essendoci presente nell'edificio già un impianto fotovoltaico (FV), la configurazione FV-PdCa porterebbe a dei notevoli vantaggi energetici ed economici per l'utenza. Tuttavia, è noto che in inverno le ore in cui si ha la massima richiesta di energia elettrica sono quelle del mattino e della sera, ovvero i periodi in cui la produzione del FV è la più bassa o addirittura nulla. Il grafico 4 mette a confronto le percentuali del fabbisogno

**Grafico 4 - Distribuzione mensile delle percentuali del fabbisogno di calore (HGT) e della produzione di EE del fotovoltaico (PV) in un sito reale nel 2014**

Fonte: E7 Energy Markt Analyse, 2015.



**Tabella 1 - Effetti delle PdCa sulla rete elettrica austriaca nel 2013 e 2014**

	2013	2014
Massima richiesta della rete elettrica austriaca (MW)	10.092	10.136
Momento di massima richiesta elettrica	27.11.2013 – h 17:15	10.12.2014 – h 17:30
Potenza elettrica massima PdCa (MW)	322	299
Momento di massima potenza elettrica	26.1.2013 – h 6:00	30.12.2014 – h 6:00
Energia richiesta PdCa (GWh/anno)	581	424
Energia richiesta PdCa (GWh) in Gennaio	120 (21%)	104 (25%)
Aumento max. della richiesta elettrica sulla rete (MW)	196	175
Aumento della richiesta sulla rete (%)	2	1,8

NOTA: Nel calcolo della potenza elettrica massima richiesta si è fatto riferimento alla massima richiesta elettrica degli utenti finali, tuttavia per quantificare la reale produzione di energia elettrica necessaria, sarebbero dovute essere considerate anche le perdite di rete, almeno nell'ordine del 3-5%.

**Tabella 2 - Fattori di emissione di CO<sub>2</sub> e fattori di conversione in energia primaria delle PdCa in Austria.**

	2013	2014
Fattore di emissione di CO <sub>2</sub> (g/kWhe di energia finale) basato sul bilancio annuale del fabbisogno di EE in Austria	131	123
Fattore di emissione di CO <sub>2</sub> (g/kWhe di energia finale) delle PdCa basato sul bilancio orario	652	642
Fattore di conversione in energia primaria delle PdCa ( <sup>2</sup> )	2,43	2,41

(<sup>2</sup>) Il DM Requisiti Minimi 26.06.2015 indica per l'energia elettrica da rete un fattore di conversione in energia primaria totale di 2,42 (cfr. Tabella 1, cap. 1 comm. 1.1).

gno termico mensile<sup>1</sup> di un edificio con quelle della produzione dell'impianto FV. È evidente che la produzione del FV ha un andamento opposto al fabbisogno di calore. Se si volesse davvero coprire il fabbisogno elettrico della PdCa con il FV, servirebbe un impianto di elevata potenza di punta. Solo a titolo esemplificativo, per una PdCa di 5 kWe servirebbe un impianto FV di 45 kWp, ovvero circa 350 m<sup>2</sup>. In realtà, il FV in inverno produce energia elettrica primariamente tra le ore 10 e le ore 14, mentre la richiesta massima di energia della PdCa è al mattino e di sera, pertanto sarebbe in ogni caso necessario dotare l'impianto di supplementari sistemi di accumulo (batterie > 15 kWh), per coprire tutta la richiesta di energia della PdCa. Naturalmente molto diversa è la situazione qualora la PdCa venisse utilizzata prevalentemente per il raffrescamento estivo dell'edificio.

### Emissioni di CO<sub>2</sub>

Per quantificare l'effetto della diffusione delle PdCa sulle emissioni di CO<sub>2</sub>, gli autori hanno messo a punto un modello di calcolo per definire i profili del carico elettrico orario (nel 2013 e 2014) della richiesta di energia elettrica in Austria. Sono stati considerati tutti gli impianti di produzione elettrica del Paese, determinandone le rispettive emissioni di CO<sub>2</sub>. L'analisi dei dati mostra che la modificazione della richiesta di energia elettrica indotta dall'introduzione delle PdCa si

riflette quasi completamente sulla modificazione della potenza delle centrali elettriche alimentate a gas e carbone. Per la quantificazione del fattore di emissione (FE) di CO<sub>2</sub>, sono stati determinati i valori orari annui di emissione di CO<sub>2</sub> originati dalle PdCa in relazione al loro fabbisogno elettrico.

La *tabella 2* riporta i principali risultati dell'analisi. È interessante notare come il FE-CO<sub>2</sub> delle PdCa sia molto più elevato del valore nazionale calcolato sulla base del bilancio annuale, proprio perché è stato adottato un approccio basato su **un'analisi dettagliata del profilo orario annuo**, considerando di volta in volta quali centrali elettriche in esercizio soddisfano il fabbisogno elettrico richiesto dalle PdCa in quel preciso momento.

### Confronto tra le emissioni di CO<sub>2</sub> con gli altri sistemi di generazione termica

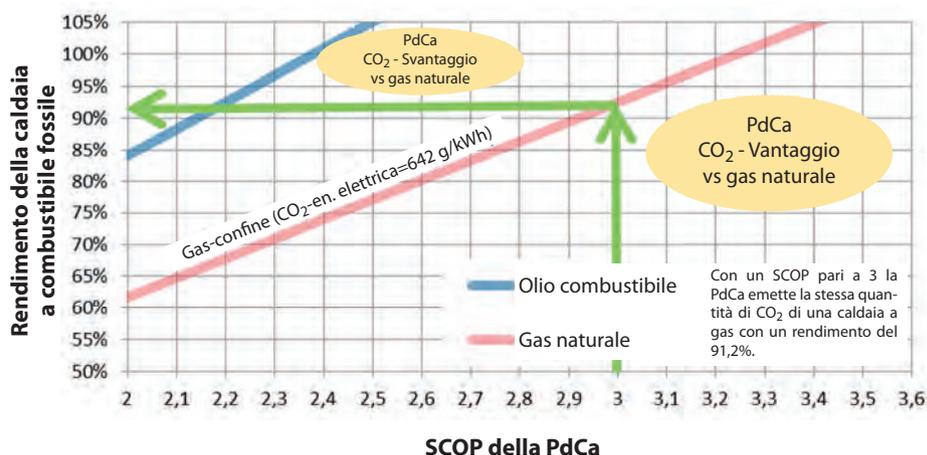
Sulla base dei risultati dell'analisi riportata al punto precedente, confrontando le emissioni di CO<sub>2</sub> di una PdCa con quelle emesse dai generatori di calore alimentati a combustibili fossili (*grafico 5*), risulta che una PdCa con un SCOP pari a 3 emette la stessa quantità di CO<sub>2</sub> in atmosfera di una caldaia a gas con un rendimento annuo del 91,4%. Se il SCOP della PdCa si abbassa a 2,8 questa ha un FE-CO<sub>2</sub> di una caldaia a gas con l'86,4% di rendimento annuo. Da questo confronto si evince che una moderna caldaia a gas a condensazione, per la quale ci si aspetta un rendimento annuo maggiore del 95%, emette meno CO<sub>2</sub> di una PdCa con SCOP ≤3. Sempre considerando questi valori realistici del SCOP (2,8-3), invece, in termini di emissione di CO<sub>2</sub>, la PdCa è sempre migliore di una caldaia a olio combustibile, perché considerando un rendimento annuo del 95% della caldaia, lo SCOP della PdCa dovrebbe scendere sotto 2,2.

### CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per una corretta e realistica valutazione dell'impatto clima alterante dei sistemi

**Grafico 5 - Confronto delle emissioni di CO<sub>2</sub> in funzione dei livelli di rendimento dei generatori termici considerati (energia elettrica 642 g/kWh).**

Fonte: E7 Energy Markt Analyse, 2015.



energetici è rilevante che il FE-CO<sub>2</sub> dei sistemi considerati sia determinato sulla base di analisi dettagliate e idonei modelli di calcolo.

Anzitutto, è molto importante distinguere le PdC in funzione del tipo di sorgente di calore esterna e la modalità di utilizzo dell'apparecchio. I risultati dello studio e le considerazioni qui riportate riguardano **esclusivamente le PdCa per la climatizzazione invernale degli edifici**. Tuttavia, è bene ricordare che – per motivi di costo e facilità di installazione – le PdCa sono le più diffuse in Italia. Secondo il Report statistico del GSE (2014), con riferimento alla produzione di energia termica da PdC, nel 2014 in Italia erano in esercizio circa **18 milioni di apparecchi a PdC**, per una potenza termica di 122 GW e una produzione di energia termica di 108 PJ (2,6 Mtep). Le PdC rappresentano così la seconda fonte termica rinnovabile del Paese dopo le biomasse (7 Mtep), con un consumo annuo di energia elettrica di circa **18.400 GWh**. Il **97% dell'energia termica prodotta dalle PdC deriva dalle PdCa** (102,5 PJ), mentre solo il 2,6% è prodotto con le geotermiche (2,7 PJ) e lo 0,3% con le idrotermiche.

I risultati dello studio, sebbene siano riferiti all'Austria, mettono in luce alcune importanti criticità, che devono essere prese in considerazione anche in Italia, nella **corretta progettazione di un impianto a PdCa per la clima-**

1 È utile ricordare che il DM Requisiti Minimi 26.06.2015, in attuazione della nuova Legge energetica (L. 90/2013), prescrive che il fabbisogno energetico annuale globale dell'edificio si calcola come energia primaria per singolo servizio energetico, con intervalli di calcolo mensile. Con le stesse modalità si determina l'energia da fonte rinnovabile prodotta all'interno del confine del sistema. Leccedenza di energia rispetto al fabbisogno mensile, prodotta in situ e che viene esportata, non concorre alla prestazione energetica dell'edificio.



*Gli errori di progettazione si ripercuotono non solo sull'utente finale, ma anche sull'ambiente in termini di elevate emissioni di CO<sub>2</sub>*

**tizzazione invernale degli edifici. In mancanza di una corretta valutazione in fase di progetto preliminare delle condizioni al contorno**, in particolare dell'andamento invernale delle temperature esterne, dell'umidità ambientale e del profilo del fabbisogno termico dell'edificio, ovvero delle dinamiche energetiche che caratterizzano il sistema edificio-impianto, **possono essere commessi errori grossolani che si ripercuotono sull'utente finale (bassa efficienza reale dell'impianto ed elevati costi dell'energia), sull'ambiente (emissioni di CO<sub>2</sub>), e sulla rete elettrica nazionale (incremento della potenza di picco).**

Per una corretta valutazione tecnico-economica ed energetica, in fase di progetto è importante considerare coefficienti di prestazione stagionali **raggiungibili in condizioni di esercizio reale**.

In fase progettuale, si ritiene impor-

tante valutare l'installazione – anche per questi sistemi - di accumuli inerziali opportunamente dimensionati. L'accumulo svolge una funzione di compensazione di carico, accumula le eccedenze energetiche e riduce la frequenza degli avviamenti, migliorando le condizioni di funzionamento della PdC. Questa componente idronica consente inoltre di realizzare impianti ibridi efficienti, integrando più fonti energetiche rinnovabili, ad esempio: solare termico per l'ACS estiva, biomasse e PdC per il riscaldamento invernale. ●

#### Bibliografia

Benke G., Amann C., Amann S. 2015. Expertise zum Einsatz von Luftwärmepumpen in Österreich. Endbericht, November 2015. E7 Energy Markt Analyse, Wien. [www.e-sieben.at/de/projekte/1515\\_LWP.php](http://www.e-sieben.at/de/projekte/1515_LWP.php)