

SORGENTI TERMICHE DELLE POMPE DI CALORE

*Aspetti tecnici,
economici e normativi*



INDICE

Prefazione	III
Capitolo 1 - Introduzione	1
1.1 - Domanda di energia nei settori residenziale e terziario	1
1.2 - Potenzialità delle pompe di calore	5
1.3 - Diffusione delle pompe di calore	9
Capitolo 2 - Pompe di calore e refrigeratori	15
2.1 - Principio di funzionamento	15
2.2 - Componenti	23
2.2.1 - Compressione meccanica	23
2.2.2. - Compressione termica	31
2.2.3 - Condensatori ed evaporatori	33
2.2.4 - Organo di laminazione	36
2.2.5 - Refrigerante	38
2.3 - Sorgenti fredde della pompa di calore	40
2.4 - Prestazioni delle macchine	43
2.5 - Confronto energetico e ambientale	48
2.5.1 - Impatto ambientale riferito all'uso delle pompe di calore	48
2.5.2 - Esempio del TEWI applicato su base nazionale	49
2.5.3 - Osservazioni sull'uso TEWI	49
2.5.4 - Confronto con i sistemi tradizionali a combustione	50
Capitolo 3 - Impianti di riscaldamento e pompe di calore	53
3.1 - Rassegna dei terminali di impianto	53
3.1.1 - Radiatori	53
3.1.2 - Convettori e ventilconvettori	56

3.1.3 - Sistemi radianti a bassa temperatura	58
3.1.4 - Impianti a sola aria	61
3.2 - Impianto a radiatori e pompa di calore	62
3.3 - Pavimenti e soffitti radianti e pompa di calore	63
3.4 - Ventilconvettori e pompa di calore.....	64
3.5 - Impianti a sola aria e pompa di calore	65
3.6 - Produzione dell'acqua calda sanitaria e pompa di calore	65
Capitolo 4 - Aria esterna	69
4.1 - Sorgente aerotermica	69
4.2 - Classificazione dei climi	70
4.2.1 - Clima temperato	72
4.2.1.2 - Clima sinico	74
4.2.1.3 - Clima temperato umido con estate calda	75
4.2.1.4 - Clima temperato umido con estate fresca	75
4.2.2 - Clima e pompe di calore	76
4.3 - Batterie ad aria	77
4.4 - Dipendenza delle prestazioni dalla temperatura esterna	79
4.4.1 - Stima della sensibilità del COP (Cavallini, 2010)	79
4.5 - Calcolo dell'efficienza stagionale della pompa di calore	81
4.5.1 - Dati che il costruttore deve fornire	82
4.5.2 - Procedura di calcolo	85
4.5.3 - Metodo "bin"	87
4.5.4 - Considerazioni sul dimensionamento della pompa di calore	88
4.6 - Tema del brinamento e delle tecniche di sbrinamento	90
4.6.1 - Termodinamica dell'aria umida e le cause del brinamento	90
4.6.2 - Influenza della brina sulle prestazioni della macchina	93
4.6.3 - Tecniche di sbrinamento	95
4.6.3.1 - Sbrinamento per irrorazione di liquido caldo	96
4.6.3.2 - Sbrinamento per irrorazione di salamoia	97
4.6.3.3 - Sbrinamento per inversione di ciclo	97
4.6.3.4 - Sbrinamento con iniezione di gas caldo	97
4.6.3.5 - Sbrinamento con riscaldamento elettrico	99
4.3.6.6 - Altri metodi di sbrinamento	100
4.6.4 - Aspetti energetici dello sbrinamento	100
Capitolo 5 - Acque superficiali e sotterranee	103
5.1 - Pompe di calore ad acque sotterranee (GroundWater Heat Pumps) ...	103
5.1.1 - Introduzione	103
5.1.2 - Determinazione della portata d'acqua da prelevare	105
5.1.2.1 - Metodo basato sulle prestazioni della pompa di calore/chiller	105
5.1.2.2 - Metodo basato sulle prestazioni globali del sistema	112

5.1.3 - Progettazione dei pozzi	116
5.1.3.1 - Nozioni generali di idrologia	116
5.1.3.2 - Costruzione di un pozzo	119
5.1.3.3 - Diametro, numero, distanza e profondità dei pozzi	120
5.1.3.4 - Sistemi ATES	122
5.1.3.5 - Testing del pozzo	125
5.1.4 - Pompe di aspirazione	127
5.1.4.1 - Prestazioni	129
5.1.5 - Controllo e regolazione dell'impianto	129
5.1.6 - Scambiatore di calore	134
5.1.7 - Scarico dell'acqua sotterranea post-scambio termico	135
5.1.8 - Cenno ai sistemi standing column	135
5.2 - Pompe di calore accoppiate a un corpo idrico superficiale	137
5.2.1 - Scambio termico nei bacini idrici superficiali	139
5.2.2 - Modello termico di bacini idrici superficiali	140
5.2.3 - Sistemi a ciclo chiuso	141
5.2.3.1 - Fluidi antigelo	142
5.2.3.2 - Dimensionamento del circuito secondario	143
5.2.3.3 - Esempio di calcolo per il dimensionamento di un circuito secondario	147
5.2.4 - Sistemi a ciclo aperto	150
5.2.5 - Dimensione minima del bacino affinché sia conveniente il suo sfruttamento	151
5.3 - Nota sulle procedure autorizzative	153
5.4 - Impianti realizzati	155
Capitolo 6 - Terreno	159
6.1 - Introduzione	159
6.2 - Sistemi di scambio termico a terreno a circuito chiuso	161
6.2.1 - Scambiatori orizzontali	162
6.2.2 - Sistemi alternativi a bassa profondità	167
6.2.3 - Sistemi verticali a media ed elevata profondità	169
6.2.3.1 - Tipologie di scambiatori	169
6.2.3.2 - Posa in opera di sonde verticali	178
6.2.4 - Sistemi accoppiati a elementi strutturali	183
6.3 - Progettazione e dimensionamento di impianti con sonde geotermiche	187
6.3.1 - Definizione della tipologia di sistema	189
6.3.2 - Problematiche amministrative	192
6.3.3 - Proprietà termofisiche del terreno: geognostica e GRT	197
6.3.4 - Analisi delle caratteristiche del sistema edificio impianto	205
6.3.4.1 - Calcolo dei fabbisogni energetici e delle potenze di progetto	205

6.3.4.2 - Scelta della pompa di calore	208
6.3.5 - Dimensionamento del campo sonde: sonde geotermiche verticali	210
6.3.5.1 - Influenza della sonda geotermica: la resistenza termica R_b , la scelta delle portate e del fluido termovettore	213
6.3.5.2 - Influenza del layout	217
6.3.5.3 - Metodi di calcolo.....	218
6.3.5.4 - Impianti ibridi lato sorgente	232
6.3.6 - Dimensionamento del campo sonde: orizzontali	234
6.3.6.1 - Sistemi orizzontali a sbancamento	234
6.3.6.2 - Sistemi orizzontali a trincea	235
6.3.7 - Esempi di calcolo	246
6.3.7.1 - Esempio di calcolo campo sonde verticali	246
6.3.7.2 - Esempio di calcolo campo sonde orizzontali	252
Capitolo 7 - Recupero termico	257
7.1 - Pompe di calore e recupero termico	257
7.2 - Recupero termico sull'aria espulsa	257
7.2.1 - Introduzione (Minchio, 2010)	257
7.2.2 - Considerazione generale sul recupero dell'aria espulsa	258
7.3 - Recupero termico in ventilazione attraverso la pompa di calore	260
7.4 - Recupero termico sulle acque grigie e nere (Minchio, 2010)	262
7.5 - Recupero termico dai chiller	265
7.6 - Sistemi ad anello liquido - WLHP	267
Capitolo 8 - Energia solare e pompe di calore	271
8.1 - Introduzione	271
8.2 - Utilizzo del solare termico	273
8.3 - Utilizzo del solare fotovoltaico	282
8.4 - Utilizzo del solare fotovoltaico/termico ibrido (PVT)	290
Capitolo 9 - Impianti multisorgente	295
9.1 - Introduzione	295
9.2 - Sorgente aria + collettori solari	297
9.3 - Sorgente terreno + collettori solari	303
9.4 - Conclusioni	310
Capitolo 10 - Pompe di calore, direttiva Res e incentivazione	313
10.1 - Introduzione	313
10.2 - Direttiva RES e DLgs 28 del 2011	313
10.2.1 - Fonti rinnovabili negli edifici	314
10.2.2 - Pompa di calore e fonti rinnovabili	315
10.2.3 - Criticità della Direttiva RES	316

10.3 - Incentivi per le pompe di calore	319
10.3.1 - Detrazioni fiscali su edifici esistenti	319
10.3.2 - Del. AEEG 348/07: il “doppio contatore” per le utenze residenziali	320
10.3.3 - Titoli di efficienza energetica	320
10.3.4 - Incentivi in attuazione al Decreto Romani	321
Capitolo 11 - Analisi energetico-economica di impianti	323
11.1 - Premessa	323
11.2 - Principi dell’analisi economica	323
11.2.1 - Concetto di interesse e l’attualizzazione	324
11.2.2 - Analisi in presenza di inflazione	326
11.3 - Impianto geotermico per la climatizzazione di un edificio rurale	327
11.4 - Impianto geotermico a servizio di un edificio industriale	332
11.4.1 - Aspetti tecnici e di dimensionamento	332
11.4.2 - Analisi economica	335
11.5 - Sistema multienergia per un edificio a energia netta zero	338
11.6 - Unità polivalenti e scambio termico con acqua di falda in un complesso polifunzionale	340
11.7 - Impianto a PdC multisorgente a servizio di un nuovo polo scolastico	342
Capitolo 12 - Norme tecniche	349
12.1 - Introduzione	349
12.2 - Norme di prodotto	350
12.3 - Norme di prestazione: prUNI TS 11300-4 e UNI TS 11300-3	354

PREFAZIONE

La collana AICARR si arricchisce di un nuovo utilissimo volume che si prefigge di analizzare le possibili fonti di calore che possano essere utilizzate dalle Pompe di Calore.

Congratulazioni al Prof. Lazzarin ed al suo Team che ha affrontato con grande competenza questo attualissimo tema contribuendo a completare, con questo prezioso lavoro, la Collana AiCARR.

Innanzitutto vorrei precisare che la Pompa di calore è un concetto ancor prima di un prodotto.

Questa affermazione significa che la versatilità e la pressoché infinita modalità di impiego di questo concetto mette a disposizione del Progettista una vastissima gamma di scelte nel concepire l'architettura impiantistica, che rende possibile il raggiungimento di obiettivi di efficienza energetica fino ad ora insperati.

La forte spinta di una decisa politica energetica Europea, non ancora recepita completamente dalla legislazione Italiana, pone in primo piano la ricerca di tutte le soluzioni atte ad aumentare l'Efficienza Energetica (e quindi la riduzione dei consumi da fonti fossili) e il sempre maggiore impiego di Fonti Rinnovabili. La passione, l'entusiasmo e il deciso impegno dei Progettisti Termotecnici di cogliere le opportunità di questo nuovo trend, potrebbe rappresentare l'avvio dell'auspicato nuovo "RISORGIMENTO" dell'impiantistica di alto Valore di cui si sente un forte bisogno.

La diffusa sensibilità ambientale che oggi si riscontra presso gli Utenti, i vincoli energetici di legge per l'involucro, e anche la necessità di ridurre i costi di gestione (Total Life Cycle Cost) hanno già influito in questi anni nella progettazione di

Edifici che, senza considerare gli impianti, ha ridotto i consumi energetici del 20-50%.

In aggiunta a questo, le tecnologie che si basano sui concetti delle Pompe di Calore, aprono ai Progettisti impensabili prospettive di efficienza, per il Comfort a ciclo annuale negli edifici di ogni destinazione, che riduce i consumi di ulteriori 30-50%.

L'effetto combinato Edificio-Impianto oggi può ridurre i consumi (rapportati all'energia primaria fossile) del 70-80% rispetto ad un Edificio/Impianto tradizionale. Il complemento di altri interventi sulle Rinnovabili fa apparire raggiungibile l'utopico "ZERO ENERGY BUILDING".

Ritorna allora forte la necessità di un nuovo forte rilancio della PROGETTAZIONE INTEGRATA che unisca con una forte alleanza Utenti-Architetti-Consulenti/Progettisti Termotecnici-Installatori-Produttori di macchinari-Manutentori, per il reale conseguimento, nel maggior numero possibile di edifici, degli obiettivi oggi tecnicamente raggiungibili.

Queste tecnologie inoltre sono adatte anche alla ristrutturazioni di impianti obsoleti che caratterizzano una elevata percentuale di fabbricati esistenti in Italia.

Un ulteriore vantaggio di questa tecnologia è la possibilità di eliminare la combustione e le relative immissioni inquinanti che, soprattutto nelle città, avrebbe un forte impatto sulla qualità dell'aria che tutti noi respiriamo.

La sostenibilità economica che deve accompagnare le evoluzioni tecnologiche per il risparmio energetico è un fattore di grande importanza.

Una delle criticità dell'impiantistica è la compressione dei costi di primo impianto che in tempi di scarsità finanziaria è ancora più accentuata.

Dopo anni di esperienza diretta posso affermare che l'adozione di soluzioni impiantistiche a Pompa di Calore innovative ed intelligenti, grazie ai ridotti costi di gestione, rendono non solo accettabile la sostenibilità economica, ma ne fanno addirittura un fattore di scelta, dato il limitato tempo di pay-back, e con Total Life Cycle Cost sempre più favorevole alle altre tecnologie di risparmio energetico concorrenti.

A fronte di tutti questi significativi vantaggi ci sono però delle complessità che rallentano una rapida diffusione della tecnologia.

A mio avviso gli ostacoli sono prevalentemente di natura psicologica (resistenza al cambiamento, avversione al rischio, insicurezza nel conoscere e saper dominare nuove soluzioni, necessità di formarsi una diversa cultura professionale, ecc)

Non mancano però anche ostacoli pratici ed economici (raramente il committente commissiona un'accurata analisi energetica con relative soluzioni ottimizzate, mancanza di tempo o non copertura dei costi di formazione e sperimentazione implicite nel cambiamento)

Le tecnologie a Pompa di Calore, data la loro estrema versatilità, si prestano particolarmente a sistemi impiantistici specializzati per destinazione d'uso degli edifici. Sono infatti completamente diverse le caratteristiche e le necessità energetiche per edifici adibiti a Ospedali – Centri Commerciali – Uffici – Residenziale – ecc. La versatilità della tecnologia deve però essere conosciuta e correttamente utiliz-

zata da chi deve concepire l'architettura di impianto e questo richiede un notevole investimento di tempo nelle conoscenze, simulazioni, esperienze dirette ecc. Cambiano completamente i paradigmi di progettazione dove la conoscenza, la creatività, la capacità innovativa, la capacità di ottimizzare la sostenibilità economica e la forte focalizzazione sul reale risparmio energetico saranno la discriminante fondamentale per i Progettisti del futuro.

Siamo di fronte ad un cambiamento epocale dell'impiantistica per il Comfort degli edifici con indubbi sacrifici richiesti ai Professionisti della termotecnica, ma con la prospettiva di un ruolo notevolmente accresciuto nella catena del valore dell'edificio.

L'industria Italiana che offre sul mercato prodotti e sistemi per il Comfort è fortemente impegnata ad affrontare questa grande sfida di evoluzione tecnologica e prestazionale.

La disponibilità di tecnologie e componenti sempre più performanti mantiene un ritmo di evoluzione nei prodotti che non era mai stato sperimentato prima, impegnando le Aziende a ingenti investimenti in R&D.

Tutti gli attori della grande filiera dell'Edilizia dovranno lavorare in grande sinergia per poter affrontare la grande sfida della Green Economy che sta avanzando a passi veloci.

Gli operatori Italiani hanno un grande patrimonio culturale e professionale per ambire ad una Leadership del settore, ma devono affrontare con grande spirito di sacrificio e determinazione il cambiamento che non è mai facile !!

Ringrazio gli Autori di questo libro per il servizio che hanno reso alla nostra professione e mi auguro che sappiano trarre, dalle continue evoluzioni tecnologiche future, nuovi spunti per riedizioni di questo volume o nuove Opere collaterali all'argomento, diventando sempre di più un punto di riferimento scientifico.

Bruno Bellò
Presidente COAER

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 - Domanda di energia nei settori residenziale e terziario

La richiesta di energia nel nostro paese è andata continuamente aumentando nel corso degli ultimi 50 anni con battute d'arresto negli anni '70 a fronte delle crisi energetiche o in presenza di crisi economiche (fig. 1.1). Il consumo di energia in Italia nel corso degli ultimi 50 anni si è praticamente triplicato.

Il fabbisogno di energia nel corso dell'ultimo decennio mostra che l'andamento dei tre settori in cui viene tradizionalmente suddiviso, civile, trasporti, industria, ha comportato una crescita significativa nei settori civile e trasporti e una diminuzione nel settore industriale (fig. 1.2). Attualmente il settore più energivoro è quello civile, inteso come l'insieme dei settori residenziale e terziario, seguito a breve distanza dal settore trasporti.

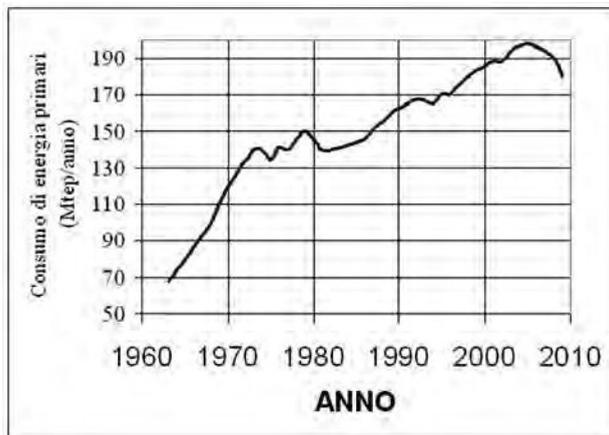


Fig. 1.1 - Consumo totale di energia in Italia negli ultimi 50 anni.

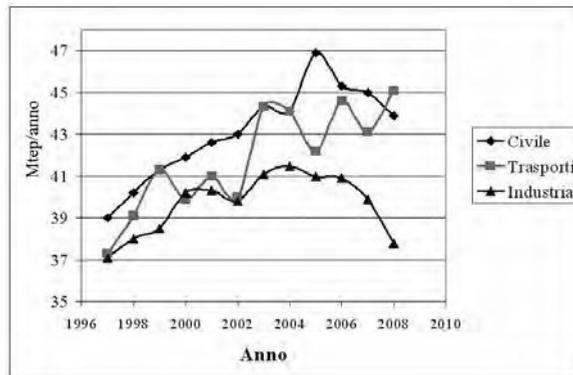


Fig. 1.2 - Andamento del consumo di energia finale in Italia dal 1997 al 2008, suddiviso nei tre settori tradizionali industria, trasporti, civile.

La prima domanda naturale è quali siano i motivi di una crescita che nella punta massima è stata dell'ordine del 30%. Una causa è certamente legata a un incremento degli impieghi elettrici, sia a livello di elettrodomestici che di apparecchiature per ufficio. Se è vero che in molti casi sono migliorate le prestazioni dei singoli apparecchi, dagli elettrodomestici di classe A+ a monitor e computer di più basso consumo, si sono moltiplicati gli apparecchi, alcuni intrinsecamente a elevato consumo (si pensi alle asciugatrici). Inoltre la diffusione degli apparecchi di condizionamento è diventata capillare: è vero che le problematiche sollevate da questi apparecchi sono soprattutto nella potenza richiesta per periodi di tempo relativamente ridotti. L'energia richiesta nel corso dell'estate non è in ogni caso trascurabile.

Infine c'è da domandarsi quanto abbia influito l'aumento della popolazione residente in Italia a diverso titolo.

Nel settore civile esistono le maggiori potenzialità di risparmio energetico e il contributo agli obiettivi imposti dalla direttiva denominata 20-20-20 (ridurre del 20% le emissioni di gas a effetto serra, portare al 20% il risparmio energetico e aumentare al 20% il consumo di fonti rinnovabili entro il 2020). In primo luogo si deve migliorare l'isolamento termico degli edifici. Da questo punto di vista risulta eloquente la figura 1.3 dove sono messi a confronto per diversi paesi gli spessori di isolamento termico medio negli edifici e le perdite di energia attraverso le pareti. Per quanto riguarda gli spessori di isolamento l'Italia presenta i valori più bassi fra tutti gli altri paesi. Ne derivano delle dispersioni che sono del tutto comparabili con quelle che si incontrano in paesi dal clima assai meno favorevole come Germania o Danimarca e addirittura maggiori di quelle di paesi dal clima decisamente rigido come Norvegia o Svezia.

Per avere un ordine di grandezza delle dispersioni di un edificio si fa spesso riferimento a un'energia specifica richiesta annualmente per il riscaldamento

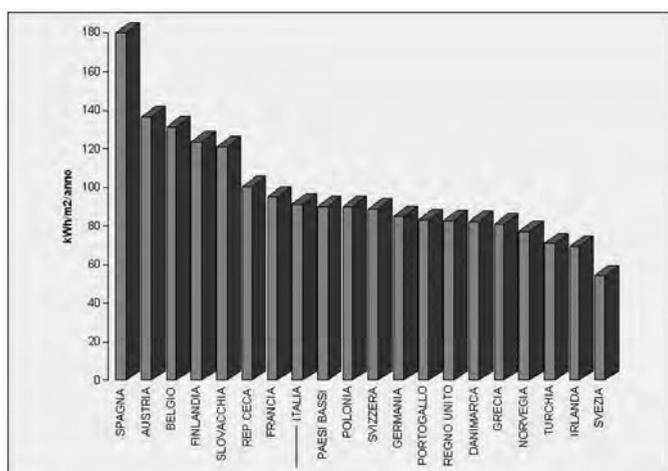
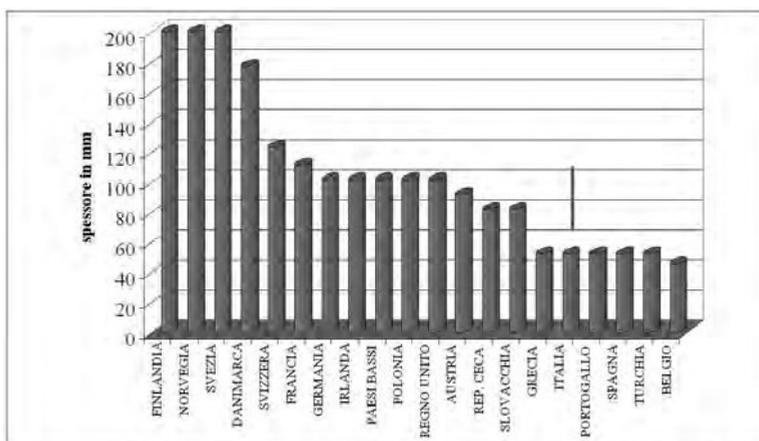


Fig. 1.3 - Spessore medio dell'isolante nelle pareti e perdite di energia attraverso le pareti in edifici ubicati nei paesi indicati.

di 1 m² di superficie utile. Ovviamente il valore dipende non solo dal grado di isolamento ma anche dal clima della località in cui si trova l'edificio. Si tratta comunque di un indice che permette un rapido apprezzamento quantitativo. Questo valore era in Italia orientativamente superiore a 200 kWh/m² anno prima della legge 373/1976, prima legge a imporre un livello minimo di isolamento agli edifici. Applicando questa si poteva scendere a 170. Poi con la legge 10/91 si è andati al di sotto di 140 kWh/m² anno. Negli edifici più recenti si è scesi ben al di sotto di 100 e non è difficile trovare valori anche inferiori a 50. È importante notare che interventi di isolamento nel retrofit di edifici di

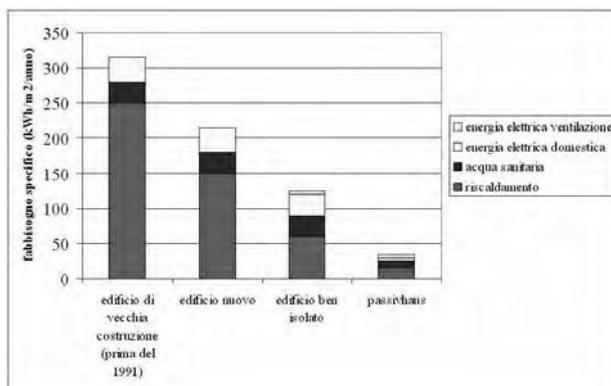


Fig. 1.4 - Consumo energetico specifico suddiviso nelle quote di riscaldamento ambiente, dell'acqua sanitaria ed elettriche (domestiche e per ventilazione) in edifici di vecchia, nuova e recentissima realizzazione confrontati con lo standard passivhaus.

anzianità superiore a 15-20 anni comportano generalmente una riduzione delle dispersioni del 40-50%.

La figura 1.4 illustra in modo suggestivo quanto esposto prima, mostrando come la domanda di energia di un edificio sia prevalentemente di riscaldamento, seguita da quella per l'acqua sanitaria e dall'energia elettrica per gli elettrodomestici. Negli edifici ben isolati e nello standard passivhaus (che riduce drasticamente tutte le dispersioni, portando l'indice precedente anche sotto i 15 kWh/m² anno) si ha anche una domanda di energia elettrica per la ventilazione meccanica controllata che consente significativi recuperi sul ricambio d'aria.

Una volta effettuati interventi di isolamento termico con la sostituzione degli infissi ed eventualmente con l'applicazione di un cappotto isolante sugli edifici esistenti, ulteriori interventi significativi di riduzione dei consumi si possono ottenere a livello di impianti con la sostituzione dei generatori di calore con caldaie più moderne, preferibilmente a condensazione, ovvero con il ricorso a pompe di calore. L'intervento sugli impianti è in svariati casi l'unico realmente applicabile, quando l'edificio, come accade non di rado in Italia, è un edificio storico o artistico.

Recenti statistiche (CRESME, 2009) indicano la presenza in Italia di circa 24 milioni di unità abitative dotate di impianto di riscaldamento. Di queste 14 milioni hanno un impianto di riscaldamento autonomo e 10 milioni un impianto centralizzato. Oltre 2/3 delle unità abitative hanno un'anzianità superiore a 30 anni e sono quindi suscettibili di interventi di ristrutturazione anche importante a livello di edificio e di impianto. Di fatto nei 5 anni dal 2000 al 2005 quasi metà delle unità abitative è stata interessata dalla sostituzione del generatore di calore e/o dei radiatori, confermando l'esistenza di un grande merca-

to delle sostituzioni. Un altro dato di grande interesse è legato al tipo di combustibile impiegato nel riscaldamento che è prevalentemente il gas naturale, ma per ben il 29% liquido e addirittura per il 14% solido. Su queste due ultime percentuali le potenzialità di sostituzione degli impianti con pompe di calore sono elevatissime non fosse che per motivi ambientali.

1.2 - Potenzialità delle pompe di calore

Se la caldaia a condensazione riesce a sfruttare pienamente (o quasi) l'energia contenuta nel combustibile bruciato, la pompa di calore può andare ben al di là, valorizzando sorgenti energetiche a bassa temperatura e restituendo in molti casi ben di più della stessa energia primaria richiesta per il funzionamento. Coma si vedrà più avanti le tipologie più diffuse di pompe di calore sono quelle elettriche a compressione e quelle alimentate a gas (ad assorbimento o con motore a c.i.).

Queste ultime consentono un Rapporto di Energia Primaria spesso superiore a 1,4, cioè in parole povere mettono a disposizione un 40% in più dell'energia contenuta nel combustibile richiesto per il funzionamento.

La valutazione delle pompe di calore elettriche è complicata dalla necessità di conoscere il rendimento di conversione, trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica. La figura 1.5 mostra per i diversi paesi europei quale sia il rapporto tra la produzione totale lorda di elettricità e il consumo di energia primaria per tale produzione. Si vede che è un rapporto che oscilla fra il 35 e il 45% con una media europea al 39%. Se si considera il bilancio energetico di una pompa di calore (fig. 1.6) su base stagionale, il coefficiente di presta-

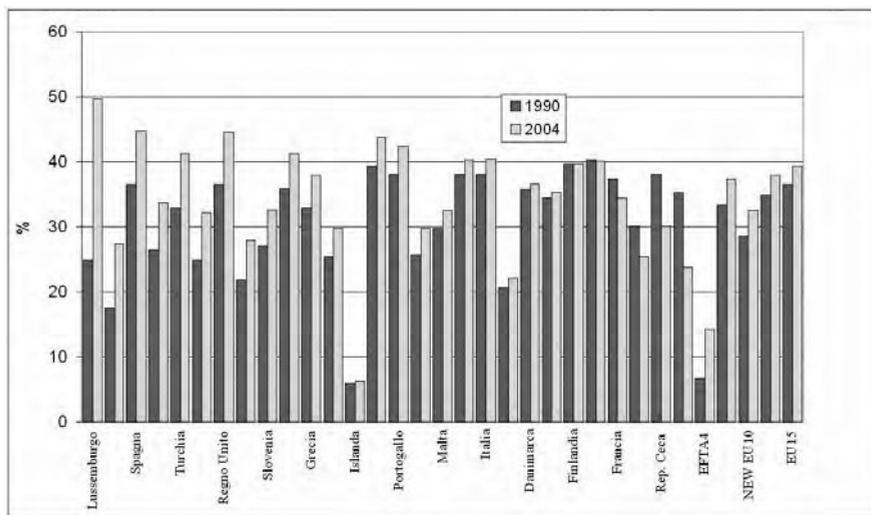


Fig. 1.5 - Rapporto tra la produzione totale lorda di elettricità e il consumo di energia primaria per la produzione di energia elettrica in diversi Paesi europei.

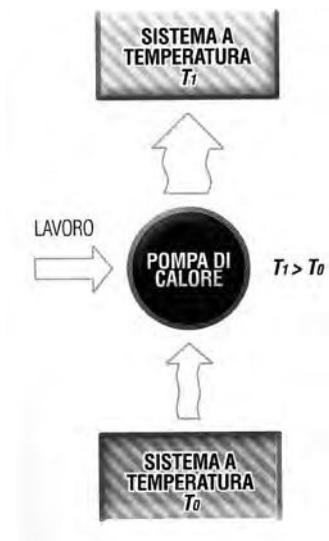


Fig. 1.6 - Bilancio energetico di una pompa di calore.

zione stagionale (*SPF*, *Seasonal Performance Factor*) è definito da:

$$SPF = \frac{Q_c}{L} \quad [1.1]$$

La Direttiva Europea 2009/28/CE stabilisce che la quota di energia rinnovabile che la pompa di calore è in grado di fornire è data da:

$$Q_{ren} = Q_c \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad [1.2]$$

La stessa Direttiva prescrive che la pompa di calore presenti comunque un *SPF* che consenta di risparmiare almeno il 15% dell'energia primaria necessaria a produrre l'energia elettrica che aziona la pompa di calore:

$$SPF > 1,15 \times \frac{1}{\eta} \quad [1.3]$$

dove η è proprio il rapporto relativo alla produzione di energia elettrica di cui si parlava prima.

Se si tiene conto della fascia dei valori che si incontrano nei paesi europei, si ricava il coefficiente di prestazione stagionale che la pompa di calore deve presentare:

$$SPF > 1,15 \times \frac{1}{\eta} = 1,15 \times \frac{1}{0,35} \approx 3,3 \quad [1.4]$$

$$SPF > 1,15 \times \frac{1}{\eta} = 1,15 \times \frac{1}{0,45} \approx 2,6$$

Se il riferimento è la media europea, il valore corrispondente è pari a:

$$SPF > 1,15 \times \frac{1}{\eta} = 1,15 \times \frac{1}{0,39} \approx 3,0 \quad [1.5]$$

Si tratta di valori che un tempo era difficile raggiungere, ma che ora, con l'evoluzione delle macchine e una progettazione accurata dell'impianto, possono essere superati, tanto più in climi non particolarmente rigidi. Si veda infatti quale sia stata l'evoluzione nel corso di 25 anni del COP e dell'EER di pompe di calore e di condizionatori in fig. 1.7.

In modo ancora più evidente la figura 1.8 riporta i valori stagionali ottenuti su un campione di 237 impianti di taglia inferiore ai 20 kW ubicati in Svizzera in funzione dell'anno di installazione per pompe di calore del tipo aria-acqua: il valore medio è risultato pari a 2,6. Ancora più favorevole risulta il dato relativo alle pompe di calore acqua-acqua, riportato in fig. 1.9, con un valore medio di 3,4. In quest'ultima serie di dati può risultare sorprendente la progressiva riduzione del SPF a partire dal 2000, ma ciò si deve alla progressiva crescita di pompe di calore a terreno rispetto a quelle alimentate da acqua di falda, sorgente decisamente più favorevole.

Il potenziale di risparmio energetico della pompa di calore rispetto ai sistemi tradizionali è quindi molto significativo e può risultare ingannevole il contenuto delle formule [1.4] e [1.5]. Infatti molto spesso l'energia primaria delle centrali termoelettriche non è utilizzabile localmente, sia che si tratti di centrali a carbone o a olio combustibile e ancor più se siano centrali nucleari o termovalorizzatori. Nel caso si tratti invece di gas naturale, il sistema conven-

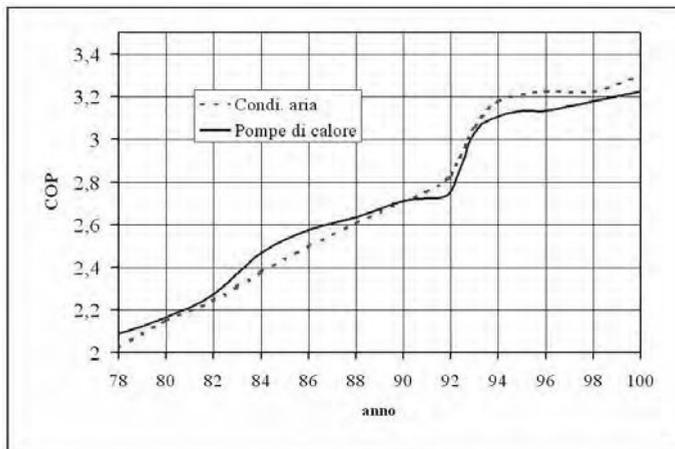


Fig. 1.7 - Miglioramento del COP e dello EER per pompe di calore e macchine frigorifere nel corso di 25 anni.

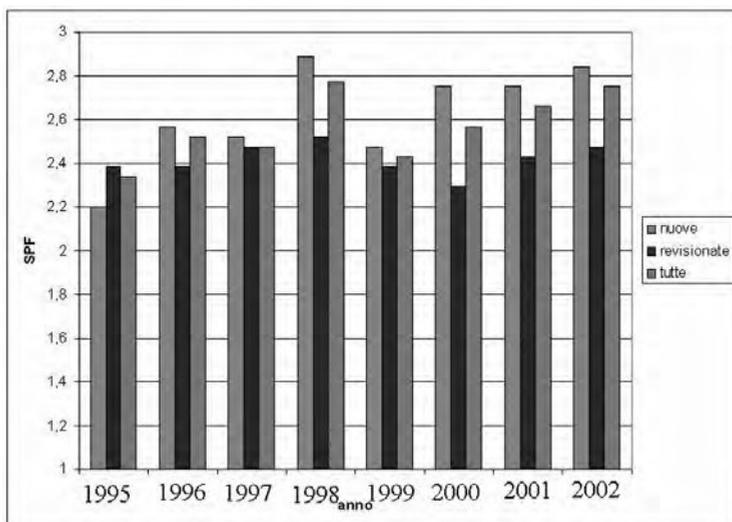


Fig. 1.8 - COP stagionale (SPF - *Seasonal Performance Factor*) per pompe di calore ad aria in funzione dell'anno a seconda se nuove, revisionate o tutte.

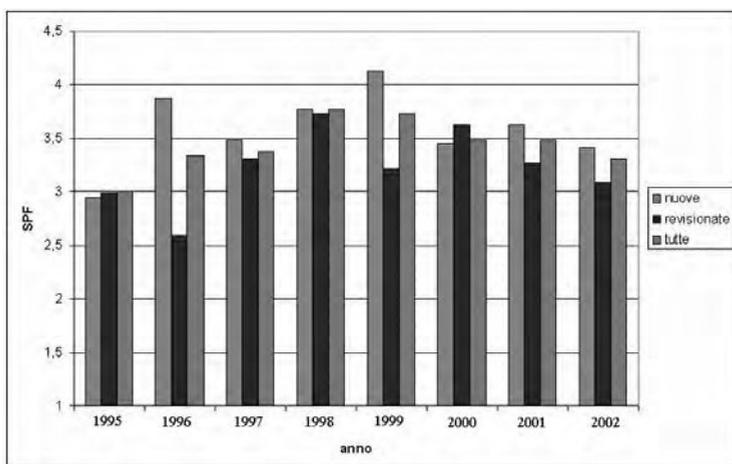


Fig. 1.9 - COP stagionale (SPF - *Seasonal Performance Factor*) per pompe di calore a terreno o ad acqua di falda in funzione dell'anno a seconda se nuove, revisionate o tutte.

zionale più favorevole è la caldaia a condensazione per la quale una resa stagionale vicina al 100% si può ottenere solo con un progetto di impianto accuratissimo e una conduzione perfetta. Da un punto di vista più generale va considerato che in Italia si stima siano operativi 21 milioni di generatori di calore di capacità termica media di 17 kW e con un consumo unitario di circa 1 tep/anno. Il rendimento medio stagionale di questi generatori è valutato attorno al 70%. Qualora 1/3 di questi generatori fosse rimpiazzato da moderne

pompe di calore con COP pari a 3, invece dei 7 Mtep richiesti annualmente per il funzionamento sarebbero sufficienti in termini di energia primaria (con un rendimento medio di conversione del 45%):

$$\frac{7 \times 0,7}{3 \times 0,45} = 3,6 \text{ Mtep}$$

1.3 - Diffusione delle pompe di calore

Nell'ultimo decennio la pompa di calore ha avuto una grande diffusione, proseguendo lo sviluppo di vendite già presente in Giappone e negli USA e conquistando nuovi mercati, anzitutto quello cinese. Le stime sono molto difficili, ma una valutazione considerata attendibile indica l'esistenza di circa 140 milioni di apparecchi nel mondo, in parte prevalente rivolti al riscaldamento residenziale (57%) e in applicazioni commerciali (27%). Gli usi nelle applicazioni industriali della pompa di calore non vanno sottovalutati (16%).

Il mercato delle pompe di calore viene stimato al 4% di tutto il mercato del riscaldamento abitativo ma con grandi potenziali di crescita. Le installazioni nel riscaldamento residenziale sono prevalenti in climi temperati che richiedono una quota significativa di raffrescamento estivo e inoltre consentono un impiego vantaggioso dell'aria esterna come sorgente fredda della macchina. Un settore in crescita nelle applicazioni della pompa di calore è nel recupero termico nella ventilazione meccanica controllata degli edifici e nella produzione di acqua calda sanitaria.

Mentre nel Sud Europa gran parte delle installazioni si incontrano nelle nuove costruzioni, nel Nord Europa è frequente l'impiego delle pompe di calore nel retrofitting degli edifici esistenti. In alcuni paesi, come la Germania, l'Austria, la Svizzera o la Svezia si sono avuti negli anni recenti incrementi annuali a due cifre. Nel 2004 la Germania ha avuto un tasso di incremento del 30%, così come nel 2007 la Francia anche a fronte di politiche di incentivazione governative.

Va detto che a livello europeo le statistiche sono davvero carenti, soprattutto perché nel loro conteggio non considerano inspiegabilmente le pompe di calore ad aria, forse con l'idea che queste siano prevalentemente impiegate come condizionatori estivi. A conferma di questa ipotesi vi è l'inserimento nella statistica delle pompe di calore ad aria installate in Svezia.

Per quanto riguarda l'Italia delle rilevazioni suggeriscono una presenza di oltre un milione di pompe di calore ad aria funzionanti, ma verosimilmente per lo più impiegate per il riscaldamento di spazi nelle abitazioni (singoli locali o piccoli appartamenti) dal momento che la capacità media di queste macchine è valutata in 3,2 kWt. Nel solo anno 2009 si valuta ne siano state installate 105.000.

I numeri per quanto riguarda le pompe di calore roof top e aria-acqua o acqua-acqua sono decisamente più ridotti, ma con capacità medie molto più elevate. Sempre con riferimento al 2009 sono state installate 1.400 pompe di calore roof top con una capacità media di 42 kWt e 13.000 pompe di calore aria-acqua e

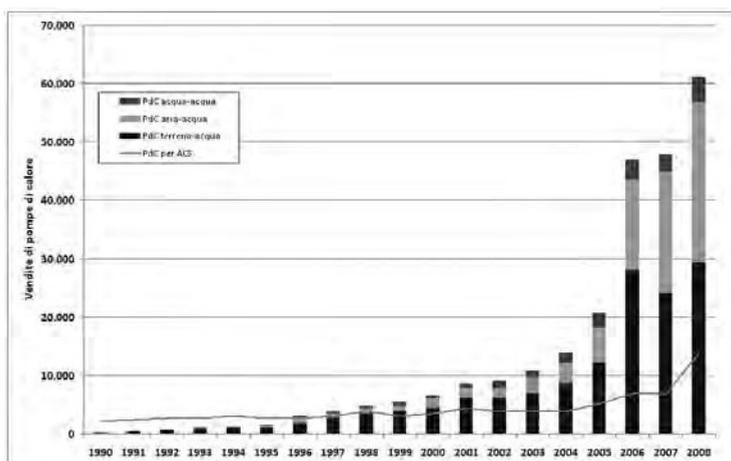


Fig. 1.10 - Andamento delle vendite delle pompe di calore in Germania nel periodo dal 1990 al 2008 suddivise nelle tipologie a terreno, ad aria e ad acqua e per acqua sanitaria.

acqua-acqua con una capacità media di 75 kWt. Questo significa che queste ultime categorie di macchine superano in termini di potenza complessiva installata di quasi tre volte le ben più numerose pompe di calore aria-aria di piccola taglia. Nell'ambito delle pompe di calore ad azionamento termico i numeri sono inferiori soprattutto per quanto riguarda le pompe di calore azionate da motore a c.i.. Tuttavia l'unico costruttore italiano di pompe di calore ad assorbimento ha prodotto nello stesso 2009 circa 4.000 apparecchi per un capacità complessiva di oltre 150.000 kWt.

Dal punto di vista dei dati statistici risulta istruttivo analizzare la ben diversa e organizzata mole di dati relativi alla Germania, paese leader nell'installazione di pompe di calore assieme ai paesi scandinavi e alla Svizzera.

Il punto di partenza può essere la fig. 1.10 dove si vede che il punto di svolta nelle installazioni è stato l'anno 2006 con l'installazione di circa 48.000 pompe di calore di cui oltre la metà a terreno con una potenza unitaria media di circa 10 kWt. Nel 2008 le installazioni erano salite a 62.500. Di queste circa la metà erano pompe di calore del tipo aria-acqua con una potenza media di circa 12 kWt. Vale la pena osservare che tali potenze si sono ridotte nel corso degli ultimi 20 anni di oltre 5 kW per il miglioramento delle caratteristiche termiche degli edifici. La valutazione delle pompe di calore operative in Germania al 2008 è attorno a 350.000, di cui 155.000 pompe di calore a terreno.

Dal punto di vista prestazionale a fronte di dati di targa di COP di 3,4 per le pompe di calore aria-acqua (A2/W35)¹ e di 4,5 per le pompe di calore acqua-acqua

^[1] (A2/W35) Dati relativi alle temperature della sorgente fredda (A=aria) e di effetto termico utile (W=acqua) nel funzionamento a regime delle macchine.

^[1] (B0/W35) Vedi nota 1, B= borehole, vale a dire temperatura all'uscita della termosonda a terreno.

GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE

AiCARR, Associazione italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, contribuendo al progresso delle tecnologie impiantistiche e alla definizione delle normative relative alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia termica. Nata nel 1960 come costola italiana della prestigiosa associazione statunitense ASHRAE, AiCARR riunisce oggi circa 2000 associati di varia estrazione: progettisti, docenti, installatori e manutentori, aziende produttrici, funzionari di Enti e Agenzie governative, istituzioni territoriali, nazionali e internazionali, studenti e ricercatori. La presenza nelle sedi accademiche e istituzionali dove si progetta il futuro energetico del nostro Paese fa di AiCARR un punto di riferimento essenziale per la definizione delle strategie e delle politiche energetiche e un interlocutore insostituibile per chiunque si occupi di efficienza energetica, qualità ambientale, fonti rinnovabili e uso consapevole dell'energia.

LE COMPETENZE CONDIVISE SONO ALLA BASE DI OGNI PROGRESSO

Accrescere la cultura tecnica del settore e la professionalità dei Soci, condividere know-how, redigere e diffondere linee guida di supporto nella pratica professionale, dare un appoggio concreto al mondo imprenditoriale che si occupa di temi energetici, fornire il proprio contributo in ambito normativo sono i principali impegni che AiCARR svolge attraverso:

- Convegni nazionali e internazionali, webinar, seminari, workshop, tavole rotonde
- Incontri tecnici e visite a impianti e realizzazioni d'avanguardia
- Commissioni di studio e coordinamento di attività tecniche, culturali e normative
- Comitati Tecnici attivi su tematiche specifiche
- Attività congiunte con Associazioni, Università ed Enti italiani ed europei, pubblici e privati

- Gruppi di lavoro creati per dare un supporto operativo alle Istituzioni
- Partecipazione alla definizione di regolamenti, leggi, linee guida e collaborazione alla redazione di normativa tecnica con UNI, CEN e CTI, grazie alla Commissione Tecnica e Normativa.

AGGIORNAMENTO E FORMAZIONE: UN MUST

L'aggiornamento tecnologico e normativo è oggi imprescindibile per professionisti e aziende: in quest'ottica AiCARR offre formazione di alto standard teorico e applicativo attraverso AiCARR Formazione, business unit di AiCARR Educational srl, società certificata ISO 9001:2015.

AiCARR Formazione è provider di CNI e CNPI per i crediti formativi professionali e i suoi corsi, condotti da accademici e professionisti selezionati fra i migliori esperti del settore HVAC&R, sono rivolti a progettisti, tecnici, manutentori, personale tecnico e commerciale di Enti e industrie, studenti e ricercatori.

SE LE IDEE CIRCOLANO, ACQUISTANO PIÙ FORZA

AiCARR pubblica gli atti dei convegni, cura l'edizione delle collane dei volumi tecnici, delle guide e dei vademecum, invia la newsletter quindicinale con le notizie sulle novità associative, editoriali, normative, legislative e di formazione; è distributore esclusivo per l'Italia delle pubblicazioni e norme ASHRAE e applica ai Soci condizioni favorevoli per l'acquisto delle norme CEI e sconti sulle pubblicazioni di importanti editori tecnici.

La biblioteca propone un'ampia selezione di titoli tecnico-scientifici in libera consultazione.

Sul sito www.aicarr.org e attraverso la App, scaricabile da Google Play, è anche possibile consultare articoli tecnici e la rassegna news. Inoltre, i Soci ricevono gratuitamente il periodico AiCARR Journal, organo ufficiale dell'Associazione.

Le pompe di calore assumeranno nel prossimo futuro un ruolo sempre più importante nella climatizzazione degli edifici di nuova costruzione e nelle ristrutturazioni rilevanti, anche in relazione agli obblighi imposti dalla Direttiva RES 2009/28/CE e dal relativo decreto di recepimento nazionale (Decreto Romani n. 28 del 3 marzo 2011).

La progettazione di un impianto che impieghi pompe di calore presenta diverse criticità; senza dubbio determinante è la scelta della sorgente termica. La prestazione energetica dipende infatti in modo rilevante dal livello termico della sorgente termica a cui la pompa di calore stessa è accoppiata.

Il testo si focalizza proprio su questo aspetto analizzando per ciascuna delle sorgenti termiche disponibili le principali criticità, gli aspetti progettuali e le modalità di calcolo delle prestazioni energetiche stagionali, con una descrizione dei principali aspetti normativi e legislativi e una valutazione delle implicazioni del Decreto Romani in termini di percentuale di energia da fonte rinnovabile prodotta dalle pompe di calore. Le sorgenti termiche trattate sono aria esterna, acque superficiali e sotterranee, il terreno, il solare termico, il recupero termico; si descrivono inoltre i sistemi dual-source che prevedono una combinazione di due diverse sorgenti termiche. Il volume è completato dall'analisi energetica ed economica di impianti con pompa di calore.

Gli Autori fanno parte di un gruppo di ricerca diretto dal prof. Lazzarin che opera presso il Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi industriali dell'Università di Padova. Il gruppo si occupa di risparmio energetico sia sul versante di una riduzione dei fabbisogni che su quello di una migliore efficienza di trasformazione dell'energia, in particolare nei sistemi di climatizzazione. Le pompe di calore sono un argomento su cui il gruppo ha sviluppato ricerche originali pubblicate spesso su riviste specializzate internazionali.

Filippo Busato è PhD in Fisica tecnica e titolare di assegno di ricerca.

Renato Lazzarin è professore ordinario di Gestione dell'energia.

Fabio Minchio è PhD in Energetica e libero professionista.

Marco Noro è PhD in Energetica e ricercatore nell'Università di Padova.

Sono tutti Docenti della Scuola AiCARR e autori di altri libri della collana AiCARR (Il condizionamento dell'aria, La rivoluzione elettrica, Celle a combustibile).

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, è un'associazione culturale no profit. Dal 1960 crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, occupandosi di uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali e di innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio. AiCARR conta oltre 2.600 Soci fra progettisti, costruttori di macchine, installatori, manutentori, accademici, ricercatori, studenti, funzionari di Enti e Agenzie governative e di istituzioni nazionali e internazionali.

La Collana AiCARR propone testi tecnici elaborati da Soci e selezionati dalla Commissione Editoria AiCARR, traduzioni di Linee Guida pubblicate da associazioni internazionali quali REHVA e ASHRAE e le Guide AiCARR realizzate dai Comitati Tecnici dell'Associazione.

AiCARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione - www.aicarr.org

CODICE SOR

www.editorialedelfino.it

ISBN 978-88-97323-16-7



9 788897 132316 7

Euro 49,00

Questo volume è provvisto del bollino
"VENDITA CON QUANTITÀ LIMITATE"
Esente da IVA (D.P.R. 26/10/1972, n. 633, art. 2, lett. b),
Esente da bollo d'accompagnamento (D.P.R. 6/10/1978, n. 627, art. 4, n. 9).

AUTORI VARI
SORGENTI TERMICHE
DELLE POMPE DI CALORE
ISBN 978-88-97323-16-7