

# Idraulica

PUBBLICAZIONE PERIODICA DI INFORMAZIONE TECNICO-PROFESSIONALE

**CALEFFI**  
Hydronic Solutions

**61**

dicembre 2021

**Gli impianti a  
pompa di calore  
aria-acqua**



# CALEFFI XF EXTRA FILTRAZIONE



CALEFFI XF serie 577 è un filtro defangatore magnetico di livello extra. La maglia filtrante con superficie extra grande ed extra fine consente una pulizia dell'impianto senza paragoni. Il nuovo magnete estraibile trattiene anche le più piccole impurità ferrose. CALEFFI XF è autopulente: il suo meccanismo a spazzole permette di rimuovere ed espellere tutte le impurità senza smontare il filtro. **GARANTITO CALEFFI.**



# EDITORIALE

## UN FUTURO SOSTENIBILE

20-20-20 era l'appellativo dato all'insieme delle misure pensate dalla UE da applicare in seguito al Protocollo di Kyoto del 1997. Il Pacchetto Clima – contenuto nella Direttiva 2009/29/CE ed entrato in vigore nel giugno 2009 – prevedeva di ridurre le emissioni di gas serra del 20 % rispetto ai valori del 1990, di alzare al 20 % la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e di portare al 20 % il risparmio energetico rispetto all'evoluzione tendenziale.



Poi il 2020 è arrivato davvero e tutti hanno constatato che le misure messe in atto fino ad allora non erano affatto sufficienti.

Durante il G20 e il COP26 abbiamo assistito ai tentativi messi in atto per trovare una sintesi tra necessità impellente e realtà. Mettere d'accordo tutte le nazioni, industrializzate e in via di sviluppo, sul tema delle emissioni e della sostenibilità ambientale non è facile. Al momento i target fissati (o auspicati) sono più ambiziosi rispetto al passato: 30 % di riduzione dei gas serra entro il 2030, più del 50 % entro il 2050. Una girandola di numeri che rischia di confondere e che nasconde una domanda fondamentale: come potremo mai farcela?

I primi a subire un durissimo attacco sono i trasporti e la climatizzazione domestica. I trasporti, dalla messa al bando del caro e vecchio motore a scoppio entro il non così lontano 2035, la climatizzazione domestica, da legislazioni e incentivi che cercano di scalzare le caldaie a combustibili fossili favorendone la sostituzione con le pompe di calore.

Le macchine in grado di prelevare energia termica da un ambiente a bassa temperatura e cederla a un altro ambiente a temperatura più elevata sono già incentivate nel nostro paese per quasi tutti gli edifici di nuova edificazione. Il problema sostanziale è, però, come poter sostituire il gran numero di caldaie già installate nel parco immobiliare nostrano con le pompe di calore.

Caleffi crede in questa rivoluzione sul medio periodo e investe in ricerca, sviluppo e processi per realizzare componenti specifici per questo tipo di impianti, con l'obiettivo di semplificare il lavoro di progettisti e installatori durante la fase di transizione impiantistica, certamente non semplice ma decisamente stimolante.

In questo numero di Idraulica abbiamo cercato di fornire una visione ponderata degli impianti a pompa di calore attualmente realizzabili, a partire dal quadro normativo fino alla scelta dei singoli componenti. È il nostro tendere la mano a chi cerca un confronto, un dipanamento, un aiuto nell'affrontare questa nuova sfida. Come sempre noi di Caleffi ci siamo.



**Domenico Mazzetti**

*Product Marketing HVAC and  
Post Sales Manager*

Direttore responsabile:  
Mattia Tomasoni

Responsabile di Redazione:  
Fabrizio Guidetti

Hanno collaborato  
a questo numero:  
Alessia Soldarini  
Claudio Ardizzoia  
Dennis Boetto  
Domenico Mazzetti  
Mattia Tomasoni  
Renzo Planca

Idraulica  
Pubblicazione registrata  
presso  
il Tribunale di Novara  
al n. 26/91 in data 28/9/91

Editore:  
La Terra Promessa Onlus -  
Novara

Stampa:  
La Terra Promessa Onlus -  
Novara

Copyright Idraulica Caleffi.  
Tutti i diritti sono riservati.  
Nessuna parte della  
pubblicazione può essere  
riprodotta o diffusa  
senza il permesso scritto  
dell'Editore.

CALEFFI S.P.A.  
S.R. 229, N. 25  
28010  
Fontaneto d'Agogna (NO)  
TEL. 0322-8491  
FAX 0322-863305  
info@caleffi.com  
www.caleffi.com

## SOMMARIO

- 5** **GLI IMPIANTI A POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA**
- 6** **LA SPINTA VERSO LE POMPE DI CALORE**
  - Il quadro normativo
  - Il parco edilizio
  - Il mercato delle caldaie
  - Il mercato delle pompe di calore
- 10** **LE TIPOLOGIE DI POMPA DI CALORE**
  - Principio di funzionamento
  - Classificazione delle pompe di calore in base al tipo di compressione
  - Classificazione delle pompe di calore in base al tipo di sorgente termica
- 14** **LE POMPE DI CALORE ARIA-ACQUA**
- 17** ***APPROFONDIMENTO: IL CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ NELLE POMPE DI CALORE***
- 18** **EFFICIENZA ENERGETICA E CONVENIENZA ECONOMICA**
  - Rendimento di un generatore
  - Il risparmio energetico
  - Il risparmio economico
  - Confronto tra risparmio energetico ed economico
  - Influenza della regolazione sul COP medio effettivo
- 27** ***APPROFONDIMENTO: POMPE DI CALORE E CLIMA ITALIANO***
- 28** ***APPROFONDIMENTO: I GAS REFRIGERANTI***
- 30** **IMPIANTI A POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA**
  - Dimensionamento
  - Parametri di funzionamento
  - Ciclo di sbrinamento
- 38** **LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA**
- 40** ***APPROFONDIMENTO: LA PROTEZIONE ANTILEGIONELLA NEGLI IMPIANTI A POMPA DI CALORE***
- 41** **COMPONENTI DI UN IMPIANTO A POMPA DI CALORE**
  - Terminali di emissione
  - Separatore idraulico
  - Accumulo inerziale
  - Trattamento acqua
  - Valvola di zona a 3 vie
  - Dispositivi per il mantenimento della circolazione
  - Vaso di espansione
  - Protezione antigelo
- 46** ***FILTRO DEFANGATORE MAGNETICO CALEFFI XF***
- 48** ***APPROFONDIMENTO: IMPIANTO MONOFASE O TRIFASE?***
- 53** ***VALVOLA ANTIGELO TRADIZIONALE E CON SENSORE ARIA***
- 54** ***MOSTRA CONVEGNO 2022***

# GLI IMPIANTI A POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA

L'efficienza energetica è uno degli obiettivi primari di questo periodo storico. La strategia della "Renovation wave" punta al profondo rinnovamento energetico di ben 35 milioni di edifici entro il 2030 in Europa.

Tale efficienza deve coinvolgere tutti i settori, dalla produzione all'utilizzo, partendo dalle materie prime, al metodo di lavorazione, trasporto e vendita, fino all'uso e addirittura al riciclo o smaltimento.

Questo clima di efficientamento energetico tocca ovviamente anche il settore della climatizzazione, nel quale le pompe di calore (denominate in seguito con l'abbreviazione PDC) concorrono in modo importante al raggiungimento dei nuovi obiettivi UE di decarbonizzazione: la loro tecnologia è uno tra gli strumenti chiave per un sistema energetico rinnovabile e intelligente.

Installare una pompa di calore in

sostituzione di un vecchio generatore è, oggi, uno degli interventi più effettuati e, talvolta, anche particolarmente conveniente grazie agli incentivi statali disponibili.

L'obiettivo di questo numero di *Idraulica* è proprio fare un po' di chiarezza nel mondo delle pompe di calore.

Nella prima parte analizzeremo le differenti tipologie per sottolineare vantaggi e svantaggi di ognuna ed aiutare a capire quale sistema sia più idoneo per l'impianto di climatizzazione che stiamo progettando. Poi, continueremo l'analisi delle pompe di calore aria-acqua che, ad oggi, presentano la maggiore diffusione tra i sistemi idronici.

Nella seconda parte ci occuperemo di efficienza energetica e vantaggi economici, per cercare di rispondere alla domanda ricorrente "Ma quando

è davvero conveniente installare una pompa di calore?". Spesso, infatti, capire se davvero si possa risparmiare con tale scelta non è immediato. Per individuare gli ambiti con maggiore potenzialità di intervento occorre considerare la distribuzione delle abitazioni per zona climatica, il tipo di edificio in cui sono collocate (monofamiliari o plurifamiliari), e il sistema di climatizzazione (centralizzato o autonomo).

L'ultima parte è dedicata agli impianti a pompa di calore, al loro dimensionamento e alla scelta dei parametri di funzionamento. Sulla carta, infatti, i loro vantaggi rimangono ineguagliati. Per ottenerli davvero, però, la macchina deve poter funzionare nelle condizioni ottimali.

Anche il dimensionamento dei componenti risulta fondamentale per un corretto funzionamento dell'impianto.



# LA SPINTA VERSO LE POMPE DI CALORE

Ingg. Claudio Ardizzoia ed Alessia Soldarini

Il ruolo delle pompe di calore sta diventando sempre più determinante nella transizione ecologica in tema di riscaldamento e climatizzazione. Il loro contributo verso i consumi da fonti rinnovabili termiche è destinato a crescere negli anni grazie anche alle strategie nazionali e comunitarie adottate dai vari stati. Presentiamo, di seguito, sinteticamente, il quadro normativo che favorirà i trend di crescita delle pompe di calore nei prossimi anni in Italia e in Europa.

## IL QUADRO NORMATIVO

Il protocollo di Kyoto, entrato in vigore nel 2005, rappresenta il primo accordo internazionale tra Stati con l'obiettivo di contrastare il riscaldamento globale. L'Unione Europea, applicando le raccomandazioni del protocollo di Kyoto, ha varato delle misure per la protezione del clima e dell'ambiente: la Direttiva Energy Related Products (ErP) e la Direttiva Energy Labelling (ELD). L'obiettivo

finale è il miglioramento delle prestazioni generali degli impianti di climatizzazione nelle nazioni, attraverso una nuova modalità per valutare le prestazioni di prodotti e sistemi di climatizzazione.

Il primo obiettivo del protocollo di Kyoto denominato "20-20-20" doveva essere raggiunto entro il **2020** e rappresentava il "Climate and Energy Package". Gli obiettivi chiave per il **2030** sono raccolti invece nel "Climate and Energy

Framework" e si concentrano sulla riduzione del gas serra e sul regolamento per l'uso del suolo. Tuttavia la visione strategica a lungo termine della Commissione Europea punta al **2050** per un'economia climaticamente neutra con l'obiettivo di rimanere sotto ai 2 °C di aumento della temperatura mondiale, ma con l'obiettivo di ridurre tale limite ad un valore inferiore addirittura al 1,5 °C.

Questi obiettivi saranno raggiungibili solo se verrà definita e attuata una strategia di riqualificazione energetica degli edifici esistenti con orizzonte 2050 (Renovation Wave) basata sulle sinergie tra miglioramento dell'efficienza energetica e utilizzo delle rinnovabili: in questo contesto il ruolo delle pompe di calore sarà fondamentale.

## LA DIRETTIVA ERP PER LE POMPE CALORE

Nel 2015 la Direttiva ErP introduce l'obbligo dei requisiti prestazionali minimi per tutti i dispositivi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Tutti i prodotti devono essere accompagnati da un'etichetta energetica che fornisca all'utente informazioni precise e semplici per un rapido confronto. Tra i dati tecnici riportati sull'etichetta delle pompe di calore devono comparire la potenza termica erogata e la rumorosità, oltre alla classe di efficienza energetica (da A+++ a G).

Da settembre 2019, sono state eliminate le classi di minor efficienza (dalla E alla G) e le pompe di calore più performanti sono state rese ancora più facilmente riconoscibili, introducendo la classe A+++.

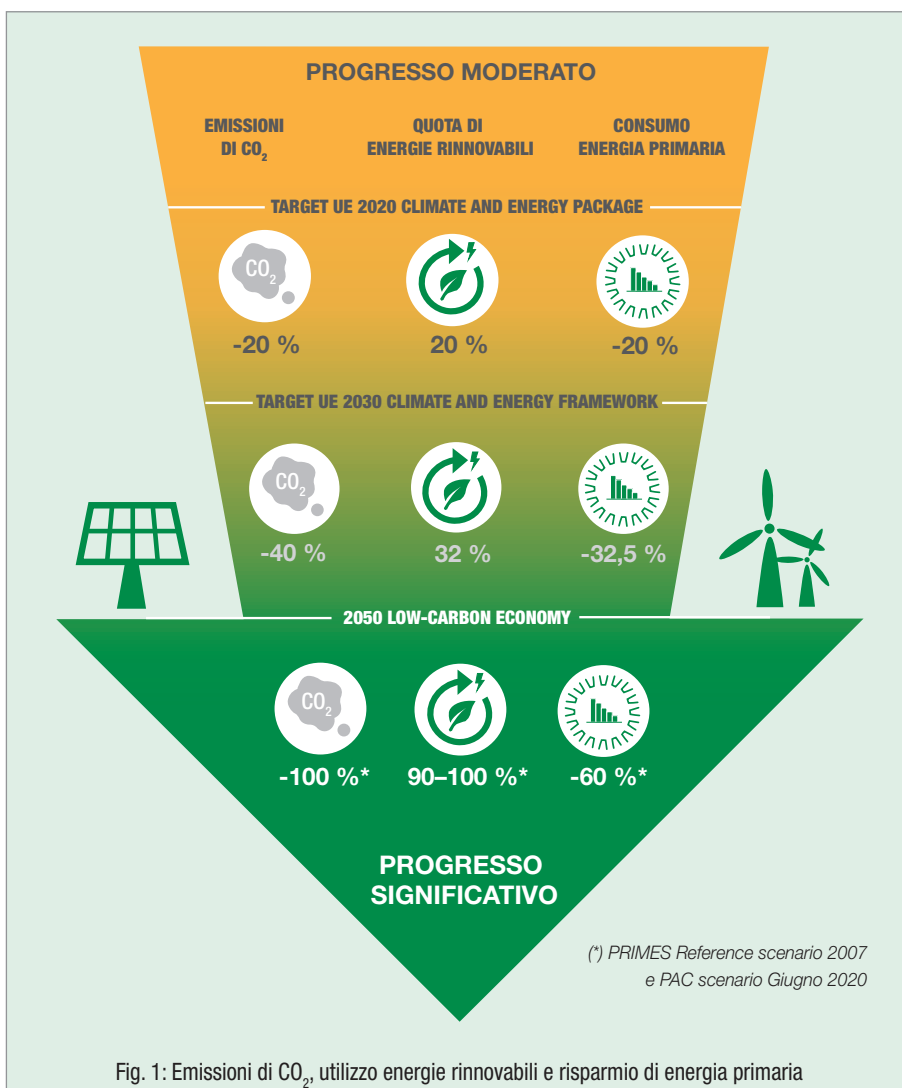


Fig. 1: Emissioni di CO<sub>2</sub>, utilizzo energie rinnovabili e risparmio di energia primaria

## LA DIRETTIVA ECOLABEL

Se i requisiti prestazionali di generatori di calore e bollitori vengono normati con la Direttiva Erp, la direttiva Ecolabel si occupa di chiarire come viene fornita l'informazione ai consumatori su tali prodotti, nel presupposto che solo un'informazione chiara e comprensibile può incentivare l'acquisto dei prodotti energeticamente più virtuosi.

Dal 2015 anche i generatori di calore e i bollitori per acqua calda sanitaria devono riportare le etichette di efficienza energetica. L'etichetta di prodotto (o di sistema nel caso della combinazione di più prodotti) deve riportare la classe energetica raggiunta, che va da A+++ a D.

## LA DIRETTIVA EPBD

Il settore dell'edilizia è fondamentale per raggiungere gli obiettivi energetici e ambientali imposti dall'Unione Europea. A tal proposito la commissione del vecchio continente ha istituito un quadro legislativo che include la direttiva sulla prestazione energetica degli edifici, l'EPBD (Energy Performance of Buildings Directive). La direttiva promuove politiche che aiuteranno i governi nazionali dell'UE a migliorare le prestazioni energetiche del patrimonio edilizio esistente entro il 2050. Tra le misure principali di supporto promosse dall'EPBD troviamo: la necessità di stabilire i requisiti minimi di prestazione energetica per la sostituzione o

il retrofit di sistemi di riscaldamento e raffreddamento, l'adozione di tecnologie intelligenti, come i dispositivi di automazione e controllo che regolano la temperatura ambiente per ambiente, e l'utilizzo di sistemi che favoriscono la salubrità dell'aria, come la ventilazione meccanica. L'EPBD, assieme ad altre iniziative, permetterà di sbloccare il potenziale dell'efficienza energetica del parco edilizio esistente e futuro: abitazioni più efficienti assicurano risparmi economici per gli utenti finali e minore inquinamento, migliorando la qualità dell'ambiente in cui vivere.

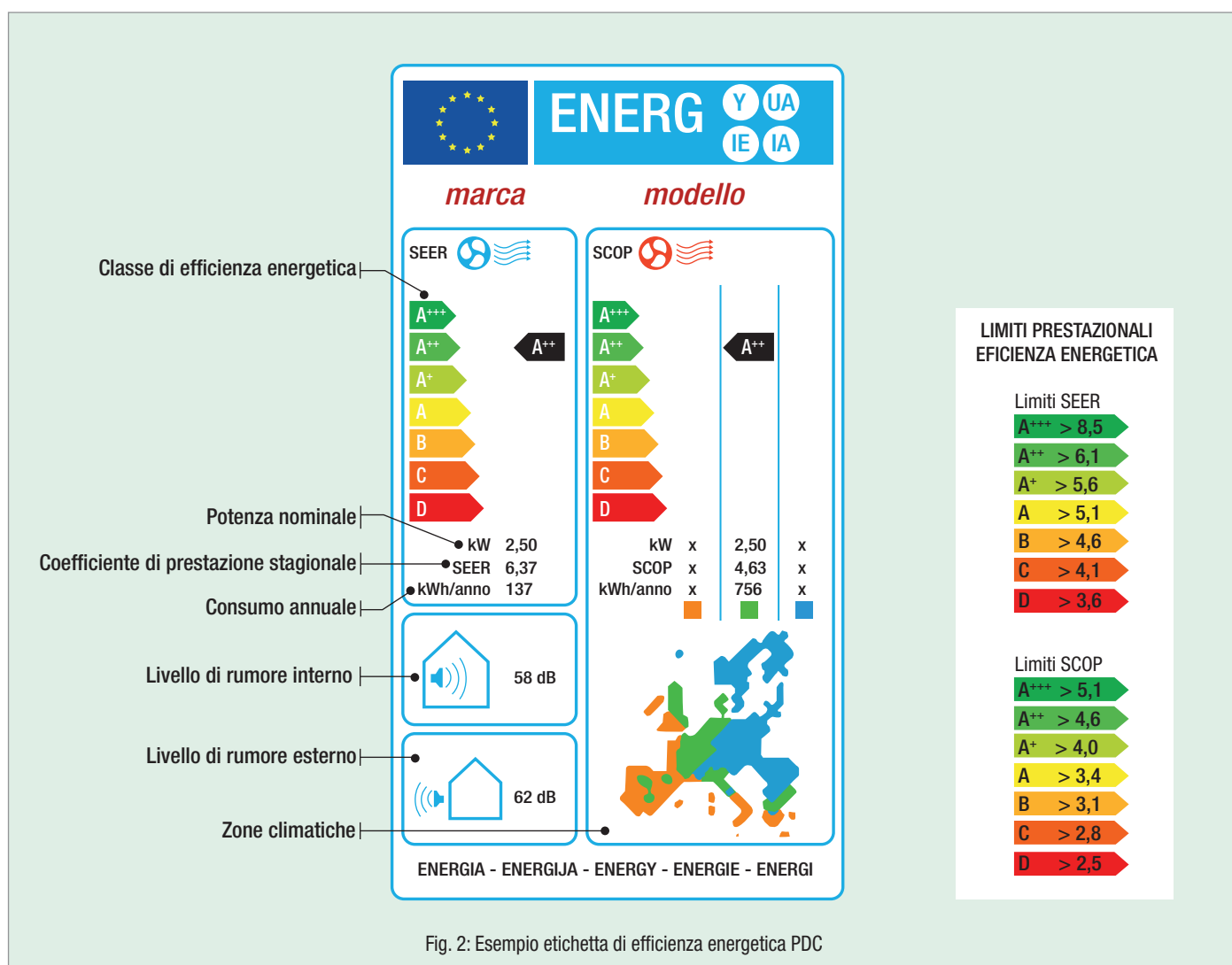


Fig. 2: Esempio etichetta di efficienza energetica PDC

## IL PARCO EDILIZIO

Nel rapporto annuale dell'efficienza energetica (RAEE) del 2020, redatto da ENEA, viene riportato che il patrimonio edilizio dell'Unione Europea risulta tra i maggiori responsabili delle emissioni di gas serra, poiché detiene il titolo di primo consumatore europeo di energia.

Negli ultimi anni sono stati compiuti notevoli progressi, in buona parte grazie alle disposizioni della direttiva EPBD per la riduzione dei consumi del settore.



**Il 40 % del consumo energetico deriva dagli edifici**



**Il 36 % delle emissioni di CO<sub>2</sub> è causata dagli edifici**



**Il 75 % degli edifici è energeticamente inefficiente**

Tuttavia, lo scenario rappresentato nei grafici a torta denota, ancora oggi, un alto livello di inadeguatezza del parco edilizio ed evidenzia, per gli edifici più vecchi, un consumo annuale che varia da un minimo di 160 kWh/m<sup>2</sup> anno fino a oltre 220 kWh/m<sup>2</sup> anno. Si consideri che un'abitazione in classe energetica C e in zona climatica E (zona in cui si trovano circa la metà dei comuni italiani) richiede un consumo tra i 60

e gli 80 kWh/m<sup>2</sup> anno.

Un consumo energetico così elevato è giustificato dal fatto che la stragrande maggioranza dei sistemi di generazione termica attuali sono a combustibile fossile.

Quanto appena detto è giustificato dalle seguenti analisi di mercato riferite/riguardanti le caldaie e le pompe di calore dell'Italia e di tutta l'Unione Europea.

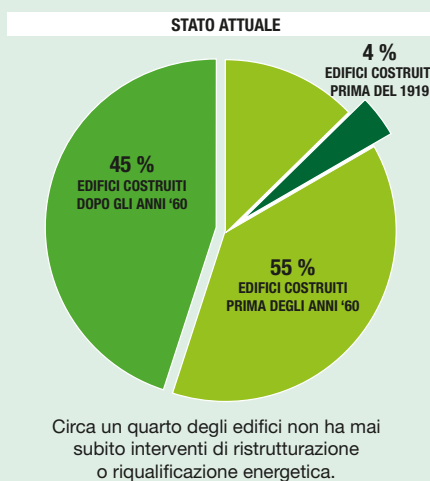


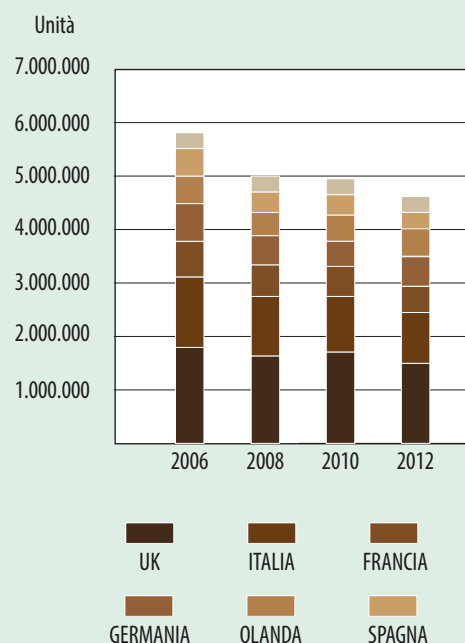
Fig. 3: Parco edilizio italiano - Fonte: ENEA

## IL MERCATO DELLE CALDAIE

Il parco caldaie installato in Italia è di oltre 19 milioni di unità, tra sistemi autonomi e centralizzati, composto per la maggior parte da apparecchi di età avanzata con rendimenti piuttosto bassi ed elevati consumi ed emissioni.

Si stima addirittura che più di 7 milioni di caldaie siano antecedenti alla direttiva 90/396/CE sugli apparecchi a gas, ovvero abbiano più di 20 anni di età.

Secondo uno studio di BSRIA, nei sette paesi più grandi d'Europa,





a partire dal 2006 fino ad oggi, sono state vendute e installate circa 5 milioni di caldaie all'anno. In particolare, in Italia negli ultimi anni sono state vendute e installate circa 750.000 caldaie all'anno.

Se da un lato le caldaie a condensazione stanno progressivamente sostituendo le meno performanti caldaie tradizionali, dall'altro il trend di transizione verso le pompe di calore risulta essere solo in una fase iniziale.

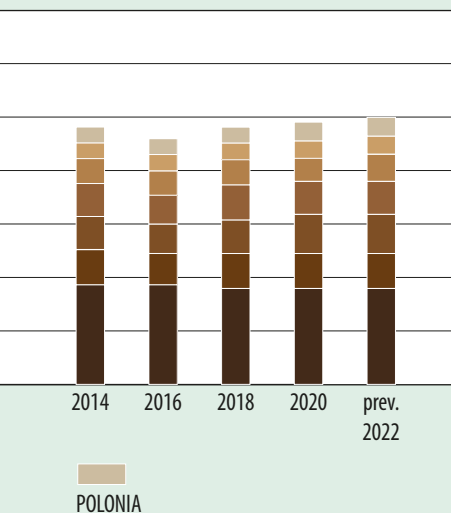


Fig. 4: Mercato europeo delle caldaie - Fonte: BSRIA

## IL MERCATO DELLE POMPE DI CALORE

L'analisi di mercato del BSRIA mostra come a partire dal 2017 il numero di pompe di calore idroniche installate nel mercato europeo abbia avuto un progressivo incremento annuo di circa il 10 %.

Il trend è confermato anche per il 2022, con una previsione di futuro parco installato di circa un milione di pezzi all'anno. La parte del leone nelle nuove installazioni è affidata alle pompe di calore aria-acqua nella versione sia split sia monoblocco, dedicate alla produzione combinata per la climatizzazione e ACS oppure solamente per l'ACS.

Le pompe di calore acqua-acqua, cioè quelle che utilizzano come sorgente

fredda l'acqua di falda, il calore del sottosuolo (geotermiche) e l'aria di rinnovo, forniscono un contributo marginale e comunque stabile a livello numerico (si veda "La classificazione delle pompe di calore" a pag. 12).

Nonostante lo sviluppo importante del mercato delle pompe di calore, fortemente spinto dagli incentivi e dai regolamenti nazionali, il rapporto tra le PDC e le caldaie installate ogni anno in ambito europeo rimane fortemente sbilanciato. Con il tasso di crescita attuale di questo mercato (fig. 5) e ipotizzando che la quantità di caldaie vendute diminuisca ogni anno di un numero pari all'incremento delle pompe di calore (fig. 4), saranno necessari ancora 12-15 anni perché i due mercati abbiano numeri simili.

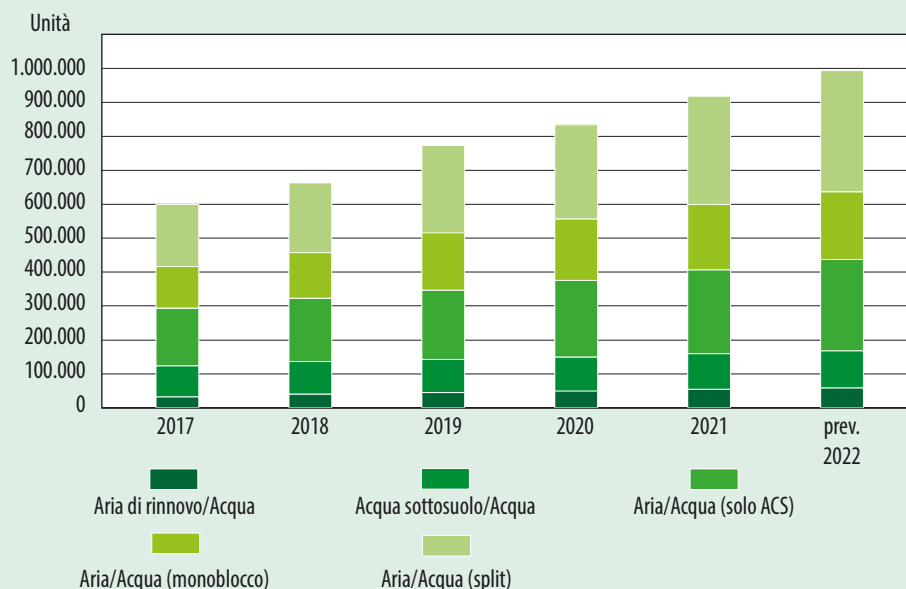


Fig. 5: Mercato europeo delle pompe di calore - Fonte: BSRIA

# LE TIPOLOGIE DI POMPA DI CALORE

Ingg. Mattia Tomasoni ed Alessia Soldarini

Le pompe di calore trasferiscono calore da una sorgente a temperatura inferiore ad una a temperatura superiore, sorgente esterna ed interna. La pompa di calore utilizza circa il 75 % di energia in forma gratuita, proveniente dal sole e accumulata da aria, acqua e terra, e il 25 % di energia elettrica per garantire comfort estivo e invernale ottimali.

## PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

La pompa di calore ha un funzionamento simile a quello di un normale frigorifero: si basa su un ciclo termodinamico di un fluido, detto gas frigorifero o fluido refrigerante, che può presentarsi sotto forma di stato liquido o gassoso, a seconda della temperatura e della pressione a cui si trova nelle condizioni di utilizzo.

[Per approfondimento si rimanda a *Idraulica* 33.]

La macchina è definita pompa di calore o macchina frigorifera a seconda dell'effetto utile che si vuole ottenere, cioè il riscaldamento o il raffreddamento della sorgente interna (abitazione). Le macchine che possono dirigere il fluido caldo sia verso la sorgente interna sia verso la sorgente esterna, attraverso opportune valvole, hanno la capacità di funzionare sia come pompa di calore sia come macchina frigorifera, in base alla tipologia di sorgente calda o fredda. Tali macchine sono dette a ciclo frigorifero reversibile o semplicemente reversibili lato frigorifero.

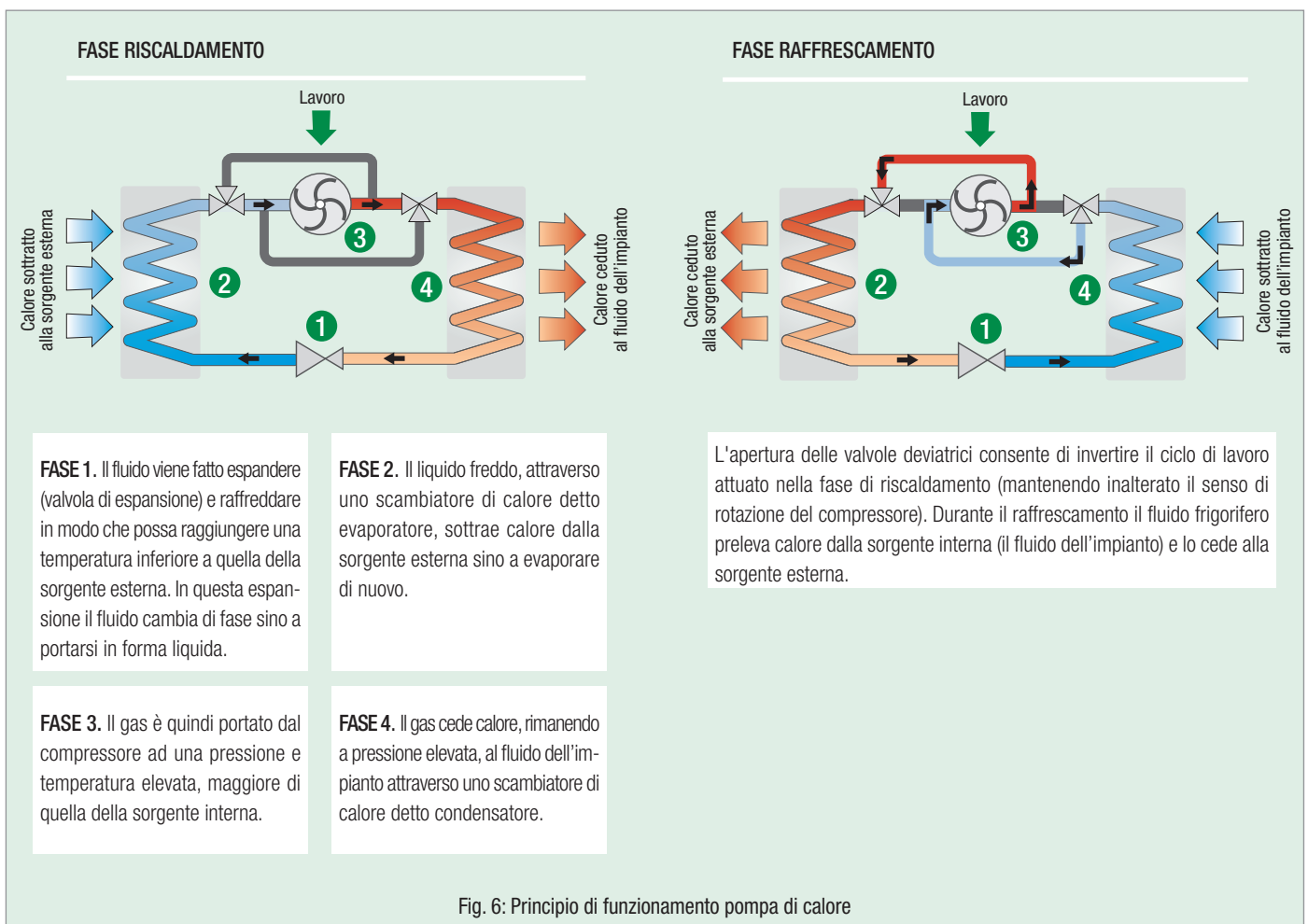


Fig. 6: Principio di funzionamento pompa di calore

## CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE IN BASE AL TIPO DI COMPRESSIONE

La fase in cui il fluido frigorifero viene innalzato di pressione e temperatura (fase 3, figura 6) può essere realizzata in vari modi; tutti prevedono l'apporto di energia al fluido. Il metodo attualmente più diffuso è quello dei compressori azionati da motori elettrici, tuttavia, ne esistono anche altri che, seppur in applicazioni di nicchia, presentano peculiarità sfruttabili e convenienti.

### POMPE DI CALORE A COMPRESSIONE CON MOTORE ELETTRICO

Sono le pompe di calore più diffuse per la versatilità e l'economicità dei motori elettrici, oltre alla possibilità di utilizzare come vettore energetico l'elettricità. I compressori sono di varia tipologia, ma i più utilizzati sono di tipo scroll, swing, a vite o a levitazione magnetica.

Tra i vantaggi possiamo citare il basso costo, la poca manutenzione e l'assenza di sistemi ausiliari (poiché in genere sono autoraffreddati). Tuttavia le temperature di mandata risultano limitate e potrebbe verificarsi un elevato consumo elettrico dovuto alle forti correnti di spunto (parzialmente mitigate dall'elettronica di potenza).

### POMPE DI CALORE A COMPRESSIONE CON MOTORE ENDOTERMICO

In queste pompe di calore il compressore è mosso da un motore endotermico, che generalmente è alimentato a gas ed è di derivazione automobilistica. Il vantaggio di queste macchine, dette anche GHP (Gas Heat Pump) o GEHP (Gas Engine Heat Pump), è quello di poter innalzare la temperatura di mandata sfruttando il calore disperso dal motore attraverso i gas di scarico e il circuito di raffreddamento. Per questi motivi risulta una valida alternativa nelle riqualificazioni che prevedono la sostituzione di caldaie a gas, soprattutto per potenze elevate.

Il consumo prevalentemente di gas e la produzione di acqua ad alta temperatura sono i vantaggi. Il costo di investimento e la manutenzione sono elevati, eppure risulta un sistema sfruttabile nei contesti in cui sono presenti limitazioni in termini di capacità di alimentazione elettrica.

### POMPE DI CALORE AD ASSORBIMENTO

La differenza più rilevante tra le pompe di calore ad assorbimento e quelle elettriche (o a gas) è l'assenza della fase di compressione, totalmente sostituita da due fasi distinte: la generazione e l'assorbimento.

Nell'assorbitore il fluido frigorifero, provenendo dall'evaporatore allo stato gassoso, viene assorbito da un fluido (detto assorbente) e ritorna allo stato liquido. Successivamente il fluido risultante (frigorifero più assorbente) viene pompato nel generatore dove, grazie ad un apporto di calore esterno (proveniente ad esempio da cogeneratori, reti di teleriscaldamento o processi industriali), rilascia nuovamente il fluido frigorifero a pressione e temperatura elevate.

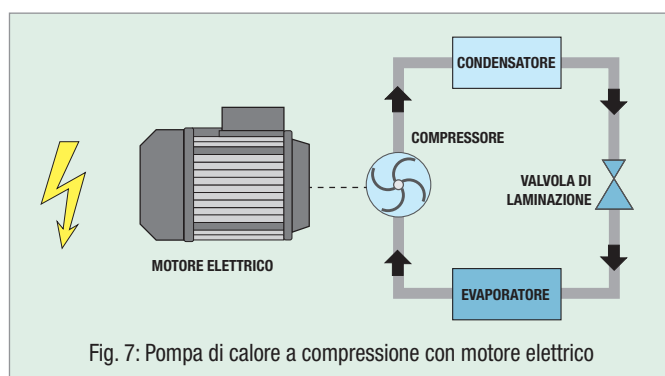


Fig. 7: Pompa di calore a compressione con motore elettrico

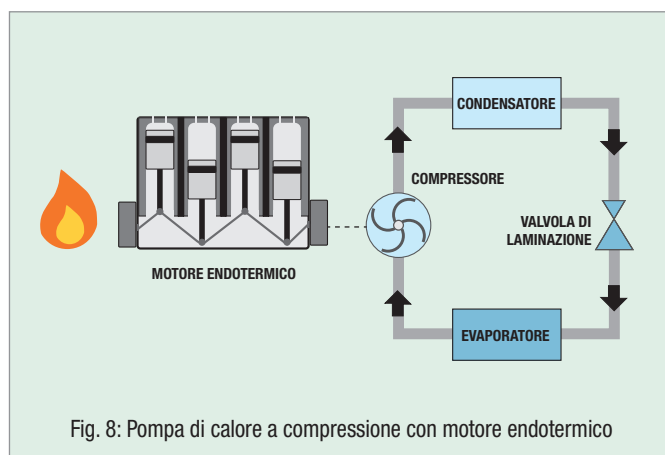


Fig. 8: Pompa di calore a compressione con motore endotermico

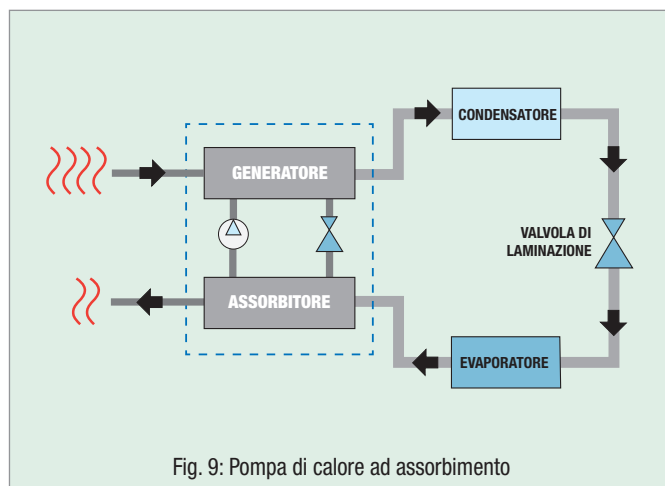
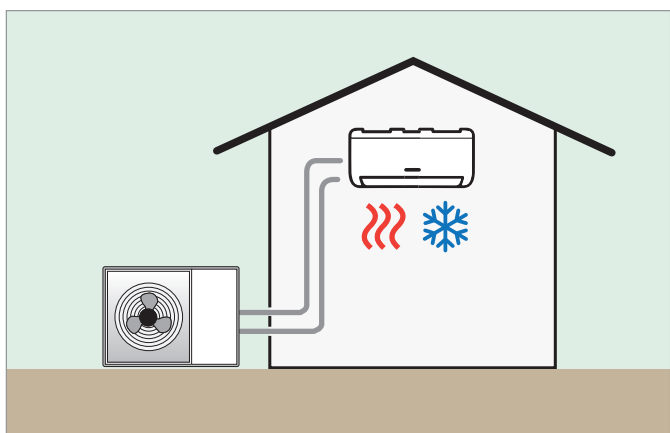


Fig. 9: Pompa di calore ad assorbimento

## CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE IN BASE AL TIPO DI SORGENTE TERMICA

Le **sorgenti fredde** (o sorgenti esterne) possono essere: l'**aria**, esterna o in alcuni casi aria di recupero (espulsa da impianti di ventilazione o circuiti di raffreddamento industriali), l'**acqua**, che può essere superficiale, di falda o derivata da circuiti dedicati come anelli di condensazione, oppure la **terra**, dove il calore viene assorbito tramite appositi scambiatori detti sonde geotermiche. Le **sorgenti calde** (cioè il fluido dell'impianto o sorgenti interne) possono essere: l'**aria**, quando la pompa di calore riscalda direttamente l'aria degli ambienti, oppure l'**acqua**, quando la pompa di calore riscalda l'acqua utilizzata come fluido vettore nei circuiti di riscaldamento.

### POMPA DI CALORE ARIA-ARIA



Queste pompe di calore sono dotate di scambiatori aria/gas refrigerante. La sorgente fredda è a temperatura variabile, essendo aria esterna è sempre disponibile. Essendo esposte a temperature esterne molto basse, necessitano di periodici sbrinamenti (si veda "Il ciclo di sbrinamento" pag. 35).

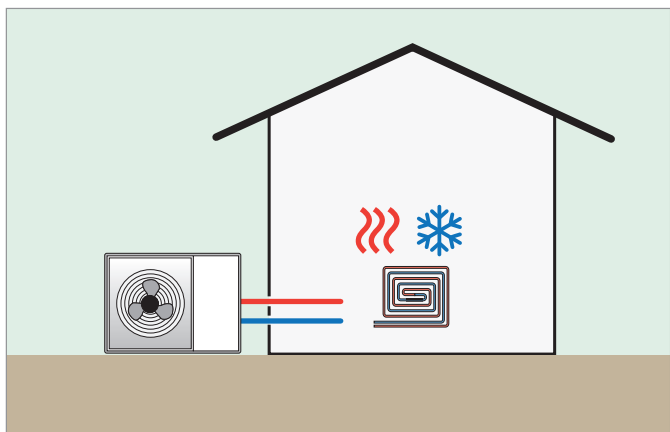
Ne esistono di due tipologie:

- **SPLIT**. Lo scambiatore verso la sorgente fredda e gli altri componenti del circuito frigorifero si trovano all'esterno, mentre lo scambiatore verso la sorgente calda è posizionato all'interno degli ambienti da riscaldare. Gli scambiatori sono collegati tramite tubazioni contenenti gas refrigerante.
- **ROOFTOP**. Tutto il circuito frigorifero è in un'unica macchina e l'aria è convogliata all'interno delle abitazioni tramite canalizzazioni.

Generalmente gli impianti aria-aria per piccoli ambienti residenziali e commerciali sono di tipo split, poiché il circuito frigorifero presenta bassi costi e ingombri ridotti.

I sistemi rooftop sono invece più utilizzati nei centri commerciali, teatri e ambienti produttivi dove vi è la possibilità di realizzare le canalizzazioni necessarie.

### POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA

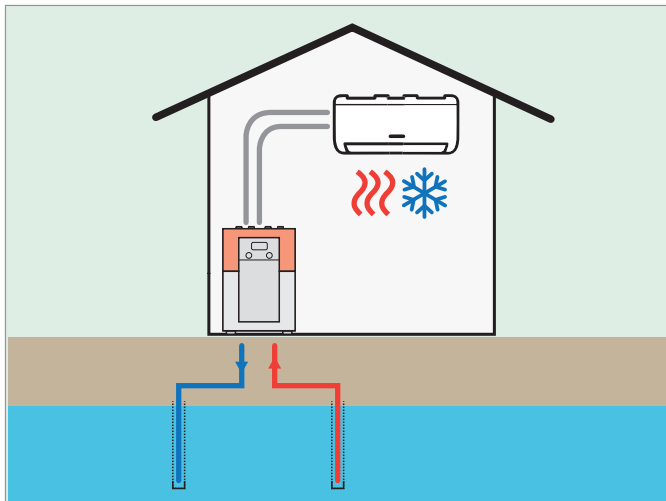


La pompa di calore aria-acqua permette di estrarre l'energia gratuita presente nell'aria e trasferirla all'acqua sotto forma di calore. A differenza delle pompe di calore aria-aria, la produzione di acqua tecnica al servizio di un impianto idronico garantisce un'ampia versatilità in termini di soluzioni impiantistiche. È dunque possibile impiegare le pompe di calore aria-acqua sia nel settore residenziale (con radiatori, ventilconvettori, pavimento radiante, ecc.) sia nel settore terziario e industriale (con batterie idroniche al servizio delle unità di trattamento aria).

L'elevata applicabilità impiantistica permette inoltre di mantenere il sistema di distribuzione esistente (e talvolta anche il sistema di emissione esistente) negli impianti originariamente dotati di generatori a gas senza dover riqualificare l'intero impianto.

Le limitazioni sono legate alla variabilità della potenza e del rendimento e, soprattutto, alle temperature di mandata.

## POMPA DI CALORE ACQUA-ARIA

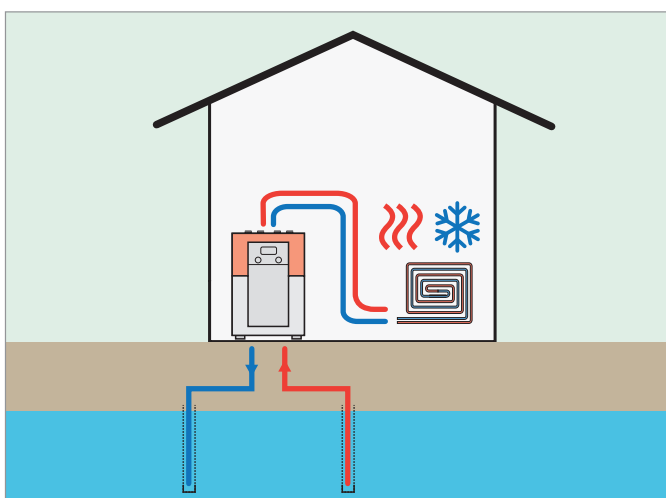


Utilizzano come sorgente fredda l'acqua presente nel sottosuolo, prelevata attraverso dei pozzi, e come sorgente calda appositi circuiti idraulici, come ad esempio gli anelli di condensazione.

Viene di solito posizionata in copertura (rooftop) ma, in casi particolari, per motivi di spazio o estetici, può essere posizionata internamente e associata agli split.

Queste tipologie sono poco utilizzate poiché richiedono la realizzazione dei pozzi di prelievo dell'acqua della sorgente fredda, soggetti ad analisi geologiche e permessi di captazione.

## POMPA DI CALORE ACQUA-ACQUA



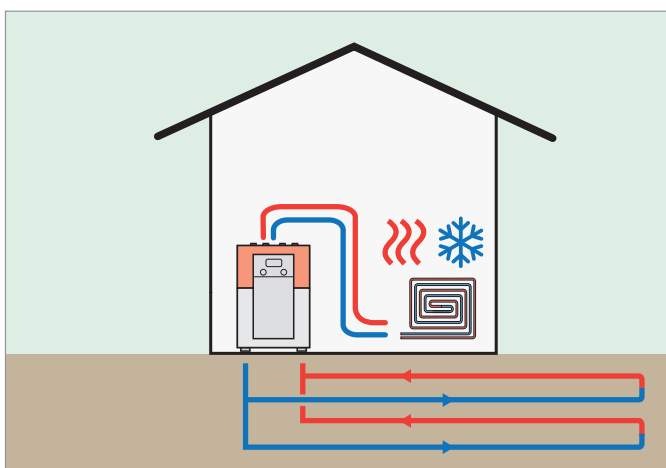
Presentano entrambi gli scambi di calore delle sorgenti fredda e calda con acqua.

Il lato freddo sottrae energia all'acqua che generalmente è prelevata dalle falde nel sottosuolo (in questo caso si parla di PDC geotermiche ad acqua di falda) oppure dalle acque superficiali come laghi, fiumi o mare. Il lato caldo è utilizzato come generatore di calore nei tradizionali impianti ad acqua. La stabilità di funzionamento e gli ottimi rendimenti sono i vantaggi di queste macchine. Inoltre, possono sviluppare grandi potenze in spazi relativamente ridotti.

Il loro limite è dato dalla presenza o meno di acqua sfruttabile ai fini termici e dai permessi relativi.

Esistono anche applicazioni limitate dove queste macchine sono sfruttate per recuperare calore come, ad esempio, i circuiti di raffreddamento dei processi industriali.

## POMPA DI CALORE TERRA-ACQUA



Sono PDC acqua-acqua, chiamate anche pompe di calore geotermiche, dove l'acqua della sorgente fredda è utilizzata come fluido intermedio per scambiare calore con il terreno. Gli scambiatori sono costituiti da tubazioni in materiale plastico annegate nel terreno chiamate "sonde geotermiche": si estendono in profondità (sonde verticali) oppure sfruttano la superficie (sonde orizzontali).

Le PDC geotermiche, come le acqua-acqua, funzionano in condizioni di scambio termico stabile con la sorgente fredda e, pertanto, non necessitano di cicli di sbrinamento (si veda "Il ciclo di sbrinamento" pag. 35).

Non necessitano di disponibilità di acqua di scambio, a differenza delle macchine acqua-acqua.

I costi per la realizzazione delle sonde sono molto alti.

## LE POMPE DI CALORE ARIA-ACQUA

Le pompe di calore aria-acqua sono le più utilizzate per il riscaldamento domestico. La loro maggiore diffusione rispetto agli altri sistemi a ciclo frigorifero è dovuta, principalmente, ai seguenti motivi:

- **Versatilità.** Possono essere collegate ai sistemi di distribuzione idronici tradizionali, sia di nuova realizzazione sia esistenti. Lo sfruttamento dell'aria come sorgente fredda le rende utilizzabili in ogni contesto dove sia possibile installare un'unità esterna o realizzare opportune canalizzazioni dell'aria.
- **Costi contenuti.** Rispetto ad altre tipologie di PDC hanno il costo di installazione minore in quanto non necessitano di impianti ausiliari complessi come le opere di presa e restituzione di acqua, pozzi o sonde geotermiche.
- **Continua evoluzione tecnica.** Negli ultimi anni hanno avuto le maggiori innovazioni tecniche: gestione della potenza erogata ottimizzata per un rendimento maggiore, aumento della temperatura massima raggiunta e migliore affidabilità.

Tuttavia, queste macchine presentano alcune limitazioni:

- **Elevati consumi elettrici di picco.** Il dimensionamento è, di solito, legato alle condizioni più sfavorevoli (temperatura dell'aria esterna) che porta ad un sovradimensionamento e soprattutto a consumi elettrici di picco maggiori rispetto ad altre tipologie di pompe di calore. Pertanto, in genere, è richiesta maggiore potenza elettrica rispetto alle pompe di calore equivalenti che sfruttano altre tecnologie (si rimanda all'approfondimento "Impianto monofase o trifase?" a pag. 48).
- **Cicli di sbrinamento indispensabili.** In certe condizioni l'umidità presente nell'aria esterna congela sullo scambiatore della macchina compromettendone lo scambio termico e il regolare funzionamento. Per ripristinare il normale funzionamento, si eseguono inversioni di ciclo che scaldano lo scambiatore e sciolgono lo strato di ghiaccio depositato. Questi cicli comportano un dispendio di energia a scapito del rendimento e dei costi (si rimanda al capitolo "Il ciclo di sbrinamento" pag. 35).
- **Rendimento influenzato da temperatura di aria e acqua.** Il rendimento e le spese di gestione delle pompe di calore aria-acqua dipendono dalla temperatura alla quale viene prodotta l'acqua calda in mandata all'impianto e dalla temperatura dell'aria esterna. Una progettazione non attenta degli impianti associati a queste macchine o un'errata regolazione possono comportare consumi elevati (si rimanda al capitolo "Efficienza energetica e convenienza economica" pag. 18).
- **Rumorosità.** Le unità esterne necessitano di uno spazio idoneo che garantisca un corretto ricambio d'aria. Inoltre, la rumorosità di queste unità deve essere opportunamente valutata e, in alcuni casi, è necessario prevedere opportuni accorgimenti di schermatura acustica (si rimanda all'approfondimento "Il controllo della rumorosità nelle pompe di calore" a pag. 17).



Fig. 10: Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di pompe di calore aria-acqua rispetto agli altri sistemi a ciclo frigorifero

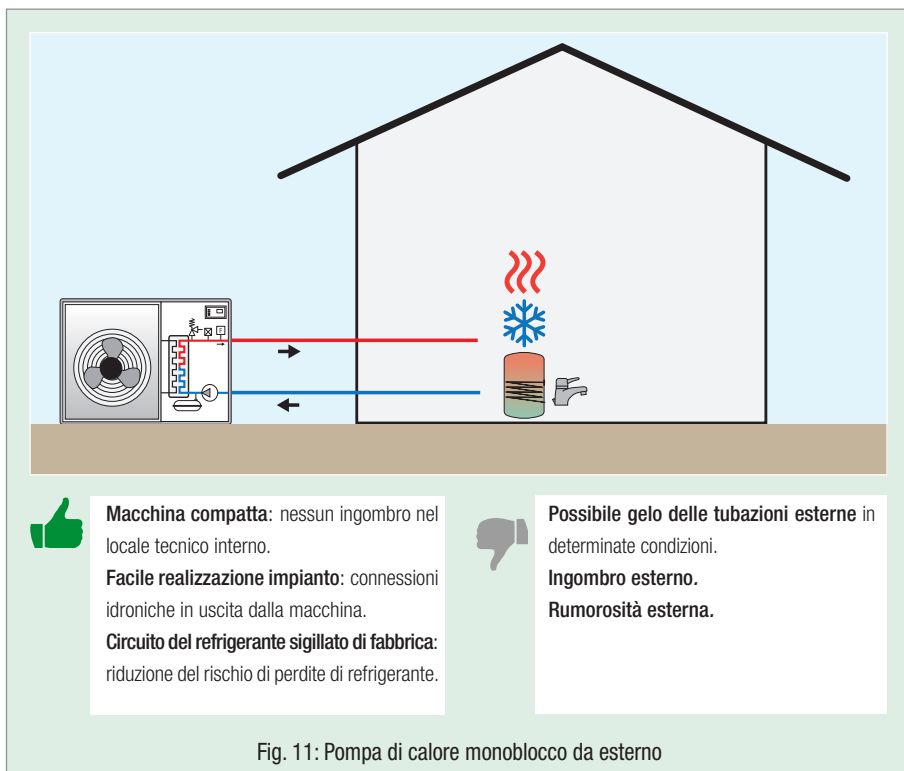
## PDC MONOBLOCCO DA ESTERNO

La pompa di calore monoblocco è costituita da un'unica apparecchiatura che contiene tutti gli elementi del circuito frigorifero al suo interno: lo scambiatore a piastre acqua/refrigerante, il compressore, la valvola di espansione e il ventilatore che permette lo scambio termico aria/refrigerante nell'evaporatore.

Possono essere integrati nella macchina alcuni elementi del circuito idraulico come il circolatore, il flussostato, il vaso di espansione, la valvola sfogo aria e la valvola di sicurezza.

L'unità, collocata all'esterno, è collegata direttamente all'impianto attraverso le tubazioni che convogliano l'acqua tecnica dalla macchina all'edificio.

La macchina monoblocco risulta vantaggiosa in tutte quelle situazioni in cui è necessario risparmiare spazio tecnico all'interno degli edifici.

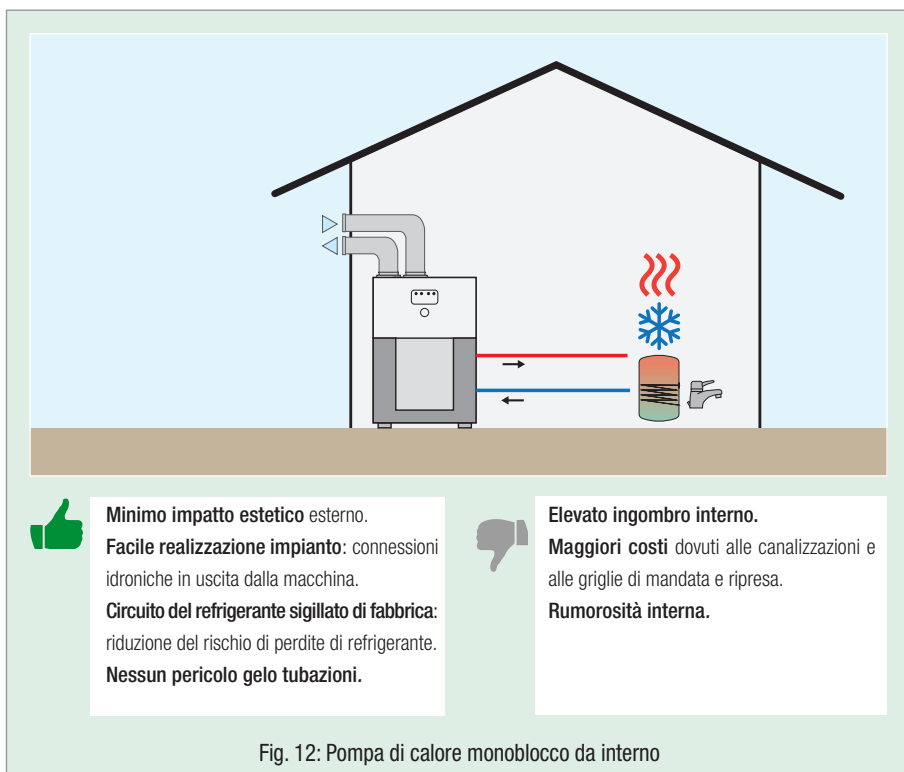


## PDC MONOBLOCCO DA INTERNO

È una pompa di calore monoblocco che dispone di ventilatori (sullo scambiatore dell'aria) con una prevalenza tale da poter essere canalizzata.

Alcuni modelli possono essere canalizzati sia sulla ripresa sia sulla mandata; in altri, invece, si canalizza solo l'espulsione riprendendo l'aria dall'ambiente dove sono installate. Questi ambienti devono essere dotati di opportune aperture per garantire il giusto apporto dell'aria di rinnovo utilizzata dalla macchina.

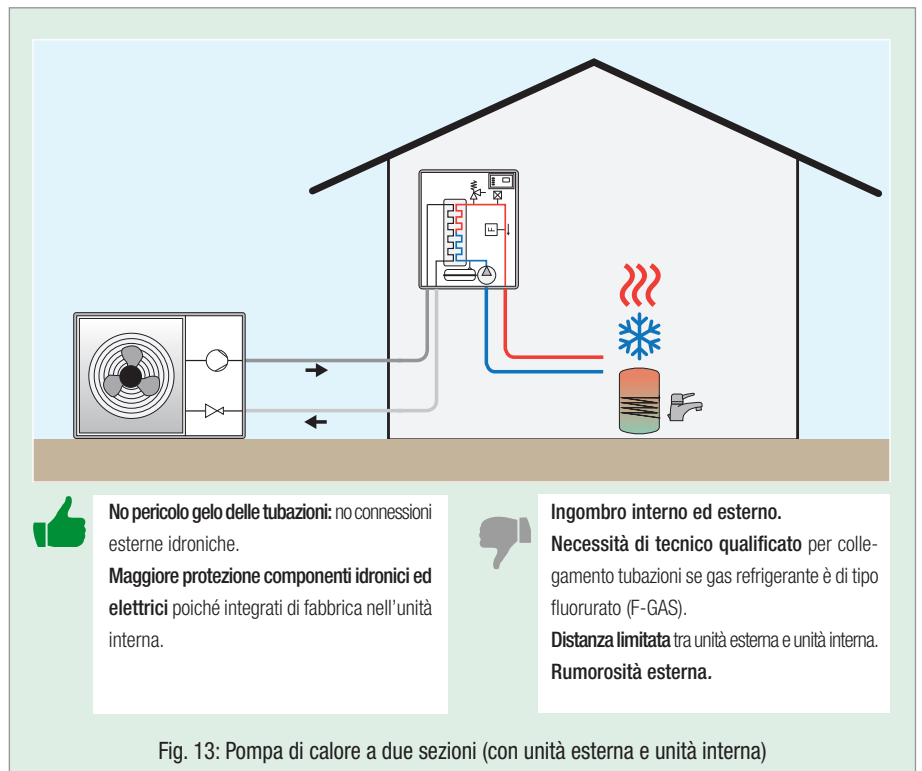
Vengono impiegate dove non è possibile installare le unità esterne principalmente per motivi estetici.



## POMPE DI CALORE A DUE SEZIONI

La pompa di calore split (dall'inglese "divisa") è, diversamente dalla monoblocco, composta da un modulo idronico collocato all'interno dell'edificio e da un'unità esterna che scambia calore con l'aria. I componenti principali che caratterizzano l'unità interna sono: lo scambiatore a piastre acqua/refrigerante, il circolatore per il circuito primario, il flussostato, il vaso di espansione, la valvola sfogo aria e la valvola di sicurezza. Nell'unità esterna rimangono invece il compressore, la valvola di espansione e il ventilatore che scambia calore con il fluido refrigerante, per mezzo dell'aria esterna.

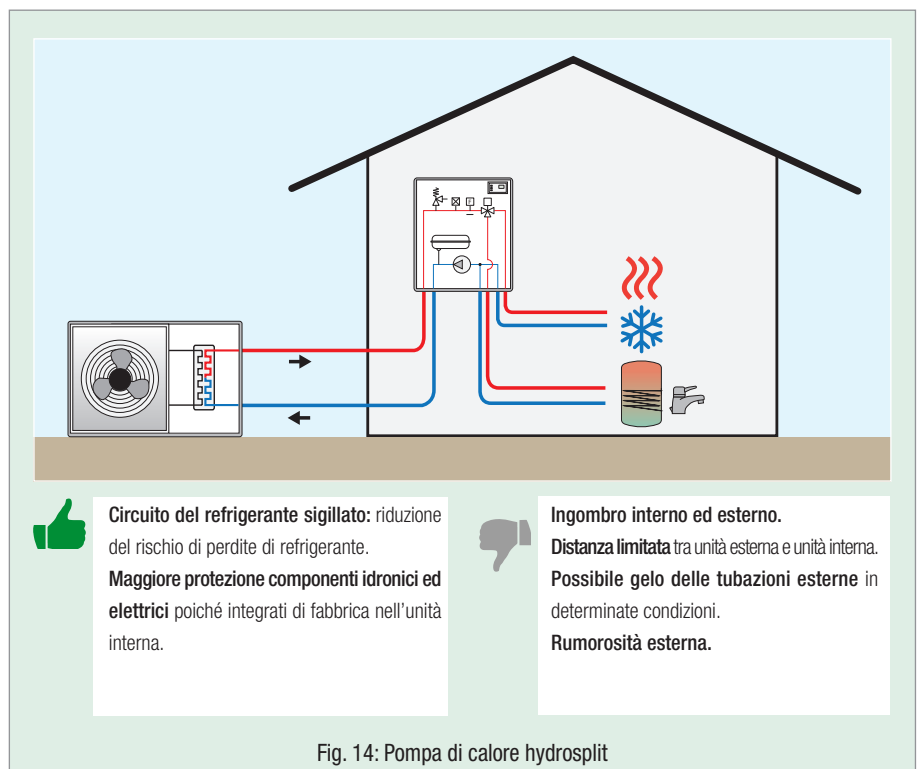
Il collegamento termico tra le due unità è realizzato mediante delle tubazioni di refrigerante ad alta pressione.



## POMPE DI CALORE HYDROSPPLIT

La pompa di calore Hydrosplit è concettualmente assimilabile ad una PDC monoblocco associata a un modulo interno idronico che integra tutti i componenti idraulici ed elettronici della macchina in modo tale da convogliarli in un unico luogo e renderli accessibili più facilmente alla manutenzione. Tali componenti risultano anche maggiormente protetti rispetto a un posizionamento esterno.

Il collegamento tra le due unità è realizzato attraverso delle tubazioni idroniche.





# IL CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ NELLE POMPE DI CALORE

Le unità esterne delle PDC ad aria possono presentare problemi di rumorosità e vibrazioni, sia per le abitazioni servite dall'impianto sia per quelle adiacenti. Per questo motivo è necessario porre attenzione alla loro installazione e al loro posizionamento.

Il rumore può essere trasmesso:

- per via solida: è il rumore generato dalle vibrazioni delle macchine che si propaga attraverso le strutture;
- per via aerea: è il rumore che si irradia dalla sorgente sonora attraverso l'aria.

Per limitare il rumore trasmesso per via solida è necessario:

- interporre opportuni piedini antivibranti a supporto delle macchine, soprattutto poste sui balconi o sui tetti al di sopra degli ambienti abitati;
- installare le macchine su basamenti strutturalmente divisi dalle abitazioni, ad esempio nei giardini.

Per limitare il rumore trasmesso per via aerea è necessario:

- installare le macchine in luoghi non "in vista" di recettori come le porte e le finestre e comunque il più lontano possibile da essi;
- porre attenzione al rumore riflesso;
- installare un'opportuna barriera acustica o cofanatura. La barriera acustica deve essere anche fonoassorbente, qualora possano instaurarsi fenomeni di riflessioni dell'onda sonora. La cofanatura deve garantire un opportuno passaggio dell'aria per il corretto funzionamento della macchina.

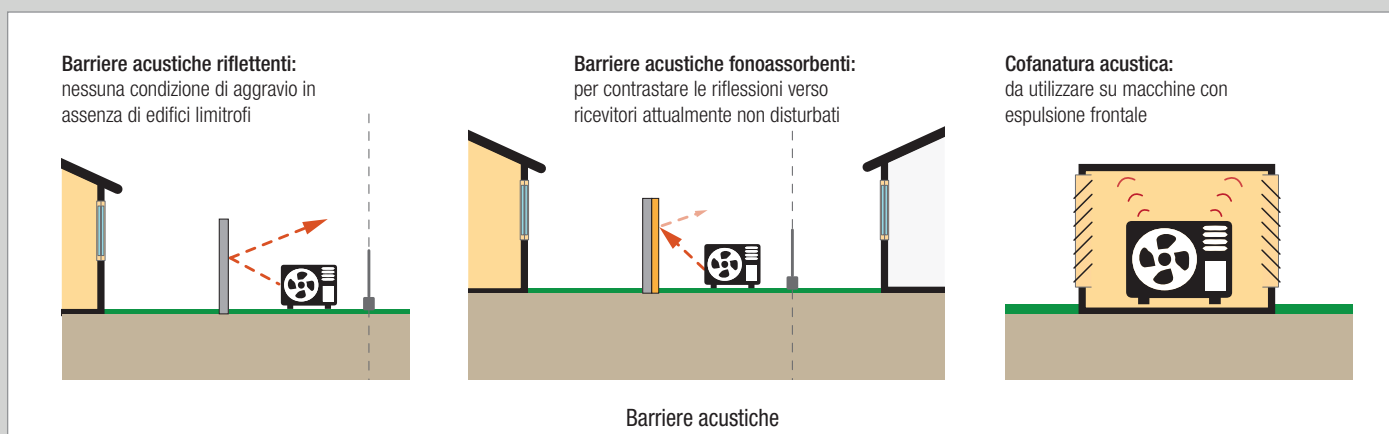
## I LIMITI DI LEGGE

Le emissioni sonore sono limitate per legge ed i criteri di verifica prevedono una:

1. **Verifica assoluta:** pone un limite sia sul valore di emissione (misurato in prossimità della fonte del rumore) sia sul valore di immis-

sione (misurato in prossimità del punto da verificare). Questi valori limite differiscono per tipo di area, come aree residenziali e industriali, e per periodo, diurno o notturno. Nel caso di aree residenziali per il periodo notturno il limite di emissione è fissato a 40 dB e quello di immissione a 45 dB.

2. **Verifica differenziale:** limita la differenza tra il rumore immesso (misurato in prossimità del punto da verificare) quando la sorgente di rumore è attiva e quando è spenta. Questa differenza durante il periodo notturno non deve superare i 3 dB.



# EFFICIENZA ENERGETICA E CONVENIENZA ECONOMICA

Ingg. Mattia Tomasoni ed Alessia Soldarini

Le pompe di calore hanno avuto una notevole diffusione negli ultimi anni. Questo è dovuto a vari fattori quali, ad esempio, la costruzione di abitazioni sempre più performanti (che richiedono potenze termiche contenute e, quindi, abbinabili con le taglie commerciali più diffuse di queste macchine) e l'adozione di sistemi di emissione che permettono di sfruttare basse temperature di distribuzione compatibili con quelle raggiungibili dalle pompe di calore.

Il fattore più importante è il risparmio energetico che queste macchine garantiscono rispetto a sistemi più tradizionali come le caldaie a gas. Questo, unito all'evoluzione delle leggi sempre più stringenti in termini di impatto ambientale, ha reso l'adozione di tali sistemi lo standard per gli impianti installati nelle nuove costruzioni e per le ristrutturazioni significative.

In genere, ad un risparmio energetico segue un risparmio economico in quanto, a parità di energia erogata, le macchine più efficienti presentano consumi minori. Tuttavia, se confrontiamo un sistema tradizionale, come una caldaia a gas, rispetto ad una pompa di calore, l'entità del risparmio energetico non è uguale a quella del risparmio economico.

## RENDIMENTO DI UN GENERATORE

Al fine di confrontare il consumo energetico di generatori alimentati da fonti diverse, si prende come riferimento il consumo di energia primaria. In altre parole, si confronta quanta energia presente in natura viene consumata dal generatore per produrre l'energia termica.

Il rapporto tra energia primaria consumata ed energia termica prodotta è anche detto rendimento del generatore (o di generazione) come riportato dalla formula 1.

$$\eta_{\text{GEN}} = \frac{E_{\text{TERMICA}}}{E_{\text{PRIMARIA}}}$$

Formula 1

## IL RENDIMENTO DI UNA CALDAIA TRADIZIONALE E A CONDENSAZIONE

Una caldaia trasforma l'energia contenuta all'interno del combustibile in energia termica. Per semplicità, e poiché sono i generatori più diffusi, focalizzeremo l'attenzione sulle caldaie alimentate a gas naturale anche se le considerazioni sono facilmente estensibili a qualsiasi caldaia a combustibile solido o liquido.

L'energia termica contenuta nel combustibile è indicata dal potere calorifico. Esso, come noto, viene espresso con due valori: uno superiore (PCS - Potere Calorifico Superiore) ed uno inferiore (PCI - Potere Calorifico Inferiore) a seconda che si consideri o meno come energia utile (sfruttabile dalla combustione) il calore necessario per far evaporare la parte di acqua prodotta dalla combustione.

I generatori che possono sfruttare l'energia contenuta nel vapore della combustione vengono detti a condensazione. Tradizionalmente, dato che non esistevano tecnologie su larga scala per lo sfruttamento della condensazione, il contenuto energetico dei combustibili è sempre stato identificato con il potere calorifico inferiore, e, per analogia, anche i rendimenti dei generatori sono sempre stati riferiti al Potere Calorifico Inferiore (PCI).

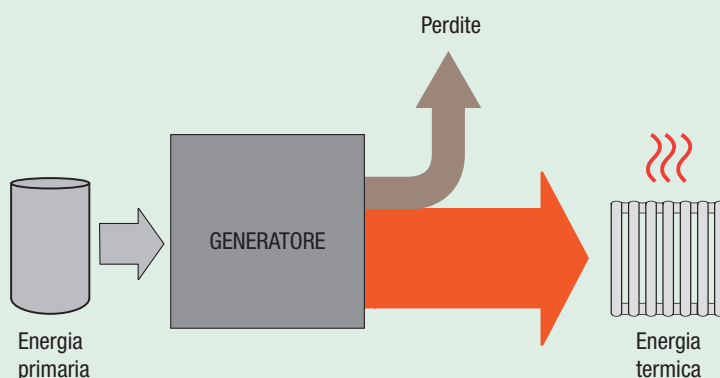
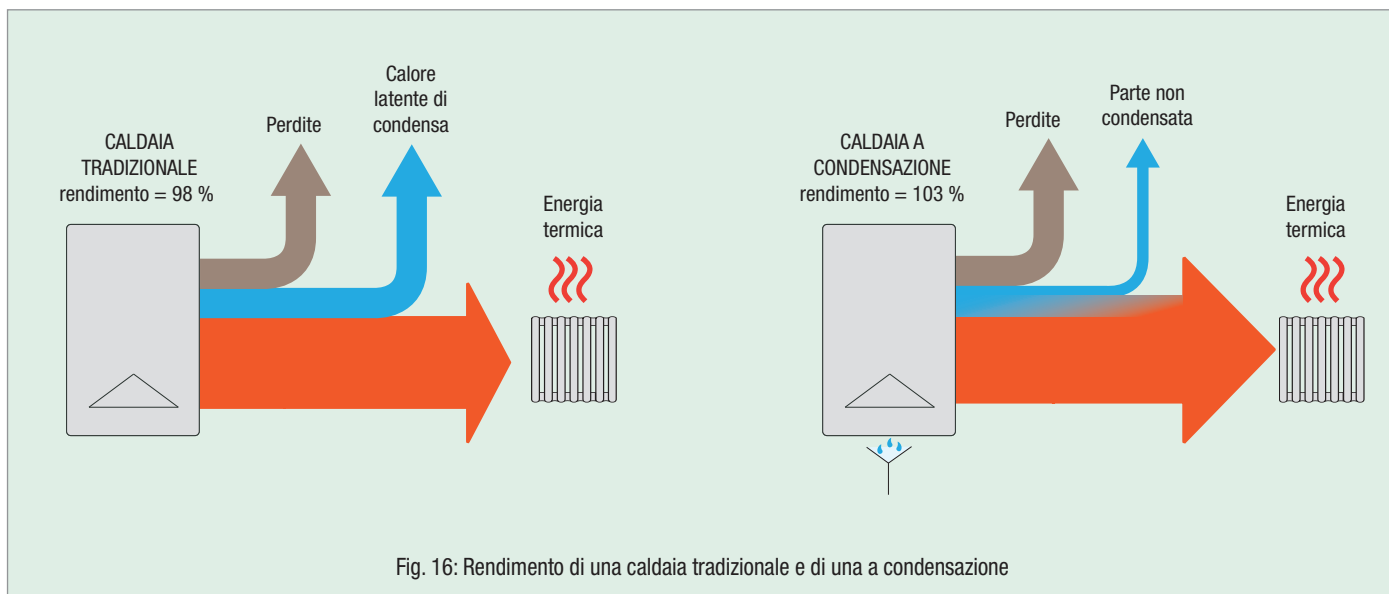


Fig. 15: Rendimento del generatore



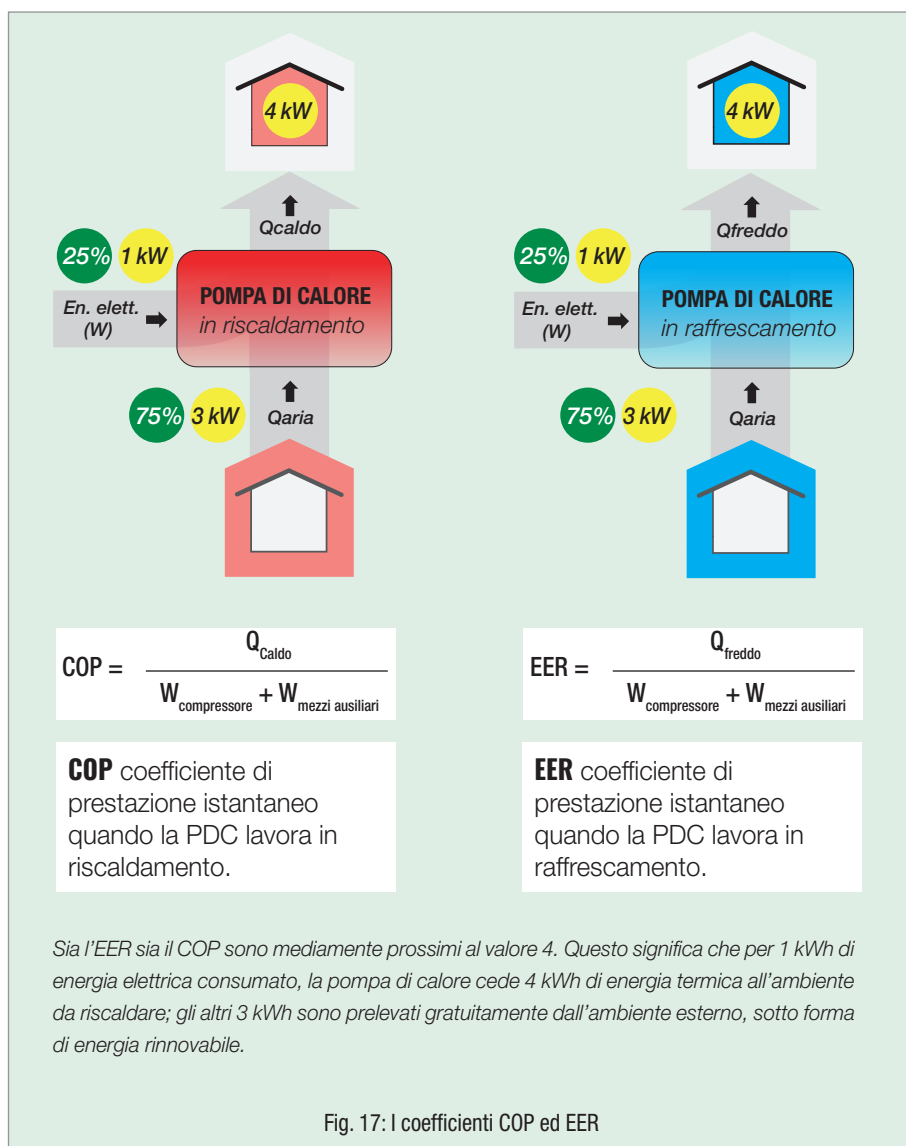
## IL RENDIMENTO DI UNA POMPA DI CALORE

La pompa di calore è una macchina a ciclo frigorifero che trasferisce calore da una sorgente fredda a una calda tramite l'impiego di energia elettrica.

L'efficienza con la quale le PDC trasferiscono il calore è definita tramite il COP. Il suo valore è dato dal rapporto fra calore ceduto al fluido caldo (energia termica resa all'utente) e il totale dell'energia elettrica assorbita (energia richiesta sia dal compressore sia dai mezzi ausiliari integrati nella pompa di calore: dispositivi antigelo, apparecchiature di regolazione e controllo, circolatori, ventilatori) (fig. 17).

[Per approfondimento si rimanda a *Idraulica* 33]

Durante il funzionamento in raffreddamento il parametro che rappresenta il rendimento della macchina è identificato con la sigla EER. Si calcola come rapporto tra l'energia termica sottratta all'utente e il totale dell'energia elettrica assorbita (come nel caso del COP l'energia elettrica assorbita è la somma di quella richiesta dal compressore e da tutti i mezzi ausiliari integrati nella pompa di calore) (fig. 17).



La norma EN 14511 consente al produttore di determinare le prestazioni della pompa di calore (COP) in funzione di:

- funzionamento a velocità nominale;
- modalità di riscaldamento;
- temperatura esterna fissa;
- temperatura di mandata fissa.

Il punto di funzionamento a potenza nominale, con il quale il produttore identifica la macchina sul mercato, viene di solito calcolato con temperatura esterna dell'aria pari a 7 °C e temperatura di mandata dell'acqua pari a 35 °C (A7W35). Ad esempio, una PDC con potenza nominale dichiarata 6 kW, produce circa 6 kW termici a A7W35.

Tuttavia, tale valore è poco rappresentativo delle effettive condizioni di funzionamento delle PDC durante il loro esercizio in un'intera stagione di riscaldamento. Il COP/EER non è un valore costante e, soprattutto nelle pompe di calore aria-acqua, può variare considerevolmente in base a:

- **temperatura dell'aria esterna;**
- **temperatura di produzione dell'acqua calda o fredda;**
- **fattore di carico della macchina;**
- **incidenza dei cicli di sbrinamento.**

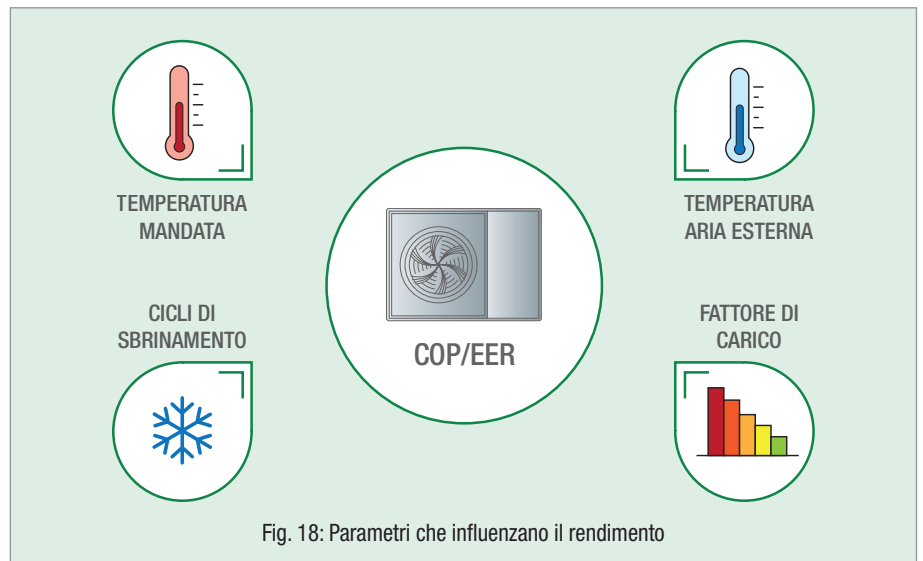


Fig. 18: Parametri che influenzano il rendimento

Le schede tecniche riportano, infatti, più valori di COP (o EER) in funzione delle diverse temperature sia dell'aria esterna sia dell'acqua di mandata.

La figura 19 mostra, a titolo esemplificativo, l'evoluzione del coefficiente di prestazione (COP) a pieno carico di una pompa di calore aria-acqua in funzione di tali parametri.

Come si può notare, le prestazioni:

- peggiorano in funzione della temperatura esterna; minore è la temperatura esterna, minore è il COP.

- diminuiscono a seconda della temperatura di mandata; maggiore è la temperatura di mandata minore è il COP.

In questo esempio, una riduzione della temperatura di mandata da 55 a 35 °C (per temperature esterne superiori a 7 °C) consente di migliorare il COP di oltre un punto.

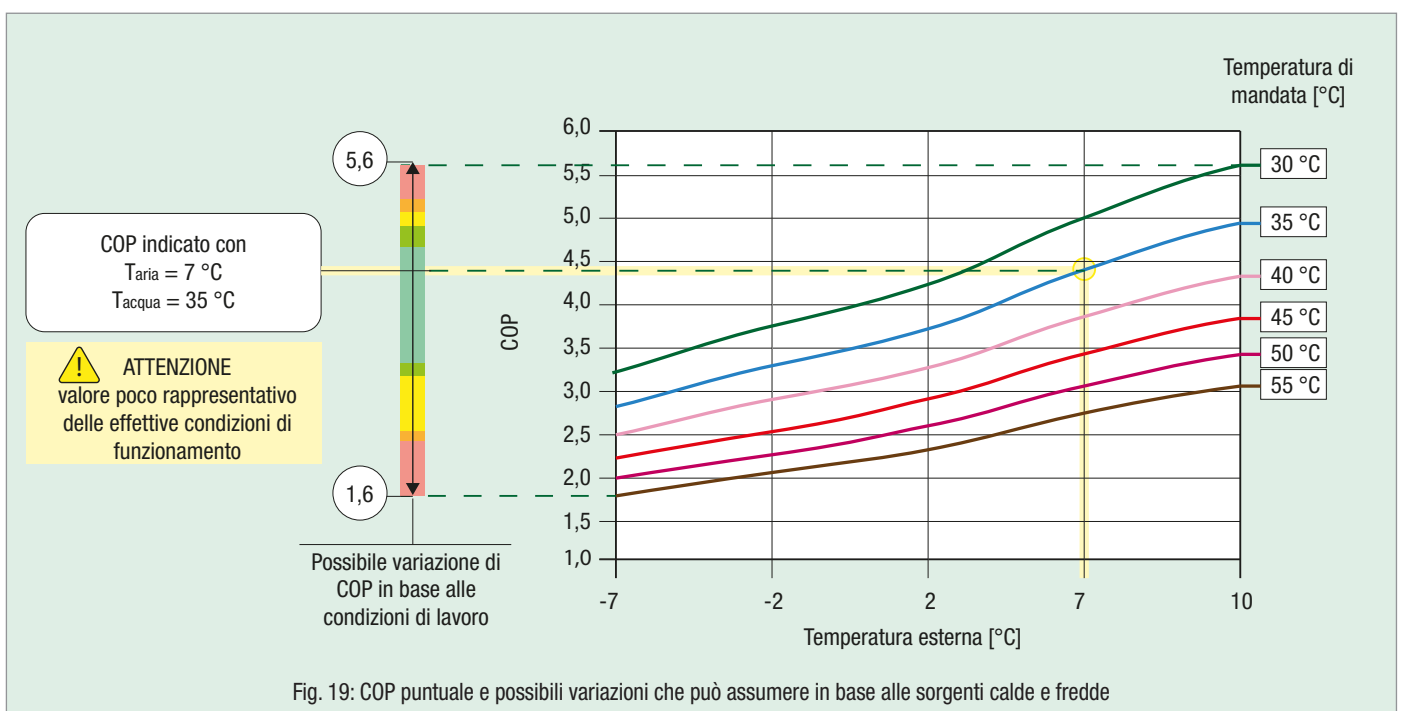


Fig. 19: COP puntuale e possibili variazioni che può assumere in base alle sorgenti calde e fredde

## COP A REGIME DI CARICO PARZIALE

Le curve di andamento del COP riportate nelle schede tecniche (fig. 19), si riferiscono al funzionamento a pieno carico della pompa di calore, cioè quando la macchina eroga la massima potenza utile (ad esempio nelle condizioni di temperature esterne più rigide o durante le fasi di avviamento degli impianti): un funzionamento poco rappresentativo delle reali condizioni di lavoro. **Durante il normale funzionamento la potenza disponibile della pompa di calore è spesso maggiore della potenza da fornire all'edificio.** Le macchine lavorano quindi a carico parziale.

Il **COP<sub>PX</sub> a carico parziale** rappresenta meglio il rendimento reale della macchina e si ottiene moltiplicando il COP<sub>max</sub> a pieno carico per un fattore correttivo ( $f_{CORR}$ ) che dipende solo dal fattore di carico della macchina (FC) e non dalle condizioni di funzionamento. Il fattore di carico della macchina è il rapporto fra la potenza istantanea richiesta e la potenza massima erogabile nelle medesime condizioni (Formula 2). I grafici (fig. 20) rappresentano un esempio di andamento del fattore di correzione

### COP a carico parziale:

$$COP_{PX} = COP_{max} \times f_{CORR}$$

$f_{CORR}$  dipende da fattore di carico FC

$$FC = \frac{\text{Potenza ist. richiesta}}{\text{Potenza max erogabile}}$$

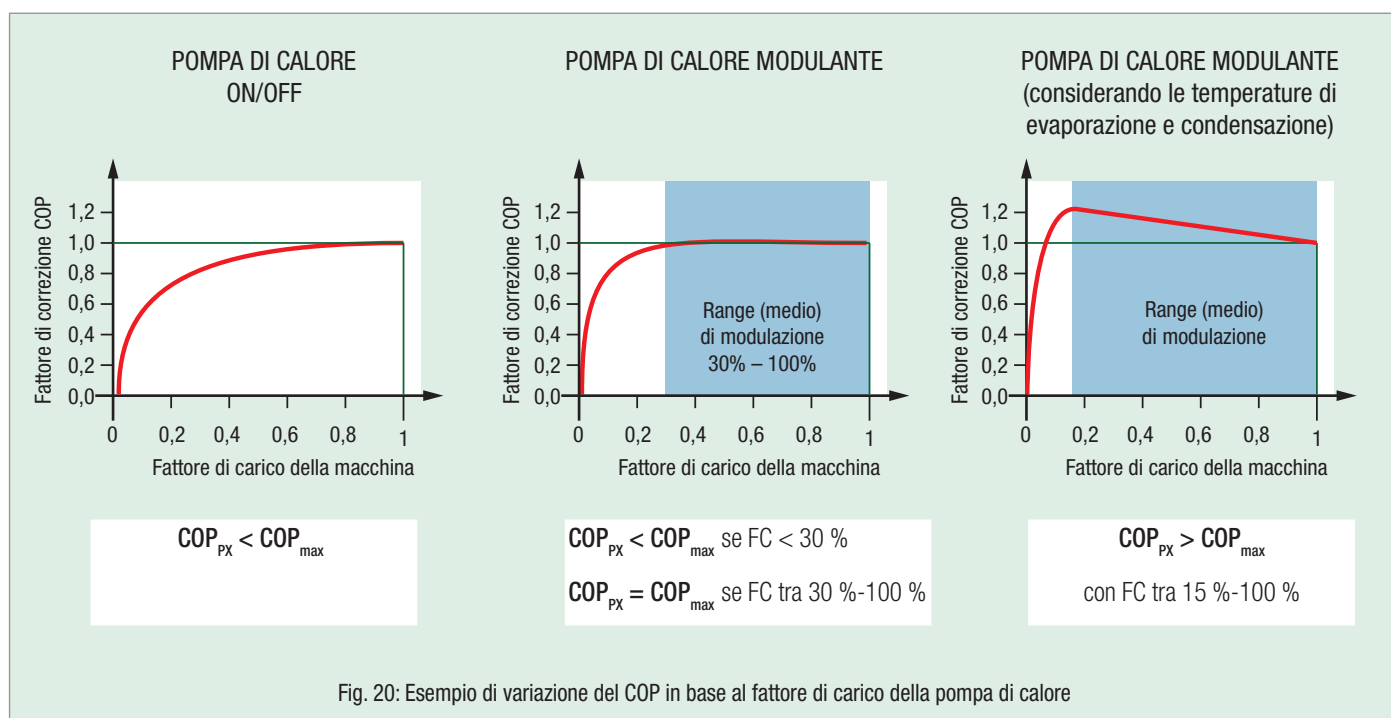
Formula 2

( $f_{CORR}$ ) al variare del fattore di carico della macchina (FC), nel caso di macchina ON-OFF oppure modulante.

I **modelli più vecchi** di pompa di calore, definite ON-OFF, modulavano la potenza attraverso cicli di accensione e spegnimento. Tali cicli degradano le prestazioni energetiche della macchina: ogni accensione porta a perdite per correnti di spunto dei motori elettrici e per messa a regime del ciclo frigorifero. Per questo motivo il fattore di correzione del COP nelle macchine ON-OFF è sempre inferiore a 1 (fig. 20), per qualsiasi fattore di carico della macchina. Il COP a carico parziale risulta sempre ridotto rispetto al COP<sub>max</sub>.

Le **macchine più moderne**, invece, variano i giri del compressore e del ventilatore dello scambiatore esterno per adattarsi a carichi ridotti. Questa

modulazione, in genere, può ridurre il carico delle macchine sino ad un valore del 25-30 % rispetto a quello massimo. Al di sotto di questo valore la pompa di calore, non riuscendo più a modulare, regola la potenza in modo analogo alle macchine ON-OFF. Nelle pompe di calore modulanti si può ottenere un andamento del COP con un fattore di correzione superiore a 1, in un campo di modulazione compreso tra il 15 e il 100 %. La pompa di calore è influenzata solamente dalle temperature di evaporazione e di condensazione, le quali determinano delle variazioni di pressione del fluido refrigerante che attraversa il compressore, e non dipende dalla temperatura esterna o da quella di ritorno dell'impianto. Quando il salto termico fra refrigerante e temperatura esterna si riduce (in tutte le condizioni di funzionamento a carico parziale), la differenza di pressione tra monte e valle del compressore diminuisce, così come l'assorbimento elettrico. In questo frangente la macchina lavora a carico parziale: si riduce la potenza termica emessa ma ancor di più l'assorbimento elettrico. Per questo motivo aumenta il COP.



## IL COEFFICIENTE DI PRESTAZIONE STAGIONALE INVERNALE (SCOP) ED ESTIVO (SEER)

L'ampia variabilità dei parametri di efficienza della pompe di calore aria-acqua e la sempre maggiore attenzione rispetto ai temi di risparmio energetico hanno fatto sì che, oltre al valore puntuale di COP, venisse introdotto e riportato in documentazione tecnica da parte dei produttori un altro indice detto SCOP (Seasonal Coefficient of Performance), definito dalla EN 14825. Questo indicatore è una media pesata dei valori di COP e risulta maggiormente rappresentativo in quanto fa riferimento alle condizioni operative nel corso di una stagione di riscaldamento. Integra le prestazioni della pompa di calore in funzionamento a carico parziale, per diverse temperature esterne sulla base dei dati climatici riferiti a tre zone differenti.

Il valore SCOP descrive quanta energia termica viene generata in un anno da un impianto, in rapporto all'impiego di energia elettrica. Rappresenta quindi un valore più significativo rispetto al COP circa l'efficienza delle PDC aria-acqua in quanto tiene conto delle condizioni climatiche esterne. Tuttavia, il valore SCOP non può ancora essere considerato affidabile poiché il reale rendimento dipende anche dalla temperatura di mandata, dalla tipologia di impianto collegato e dal tipo di regolazione e conduzione dell'impianto. Ad esempio, a parità di PDC, un impianto radiante progettato per funzionare a bassa temperatura di mandata ha un'efficienza migliore e consumi energetici minori rispetto ad un impianto a ventilconvettori con temperature di mandata più elevate. Allo stesso modo, una regolazione di tipo climatico consente di ottenere un'efficienza migliore rispetto allo stesso impianto regolato a punto fisso. Per i motivi elencati è necessario affidarsi ad un altro indicatore più realistico: il COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub>.

Così come SCOP rappresenta il rapporto tra l'energia resa e l'energia elettrica consumata nel periodo di riscaldamento, allo stesso modo l'efficienza stagionale di una pompa di calore durante

il funzionamento in raffreddamento è misurata dall'indice "SEER" (Seasonal Energy Efficiency Ratio).

## IL COP MEDIO EFFETTIVO

Il rendimento reale di una pompa di calore, inserita in uno specifico impianto dotato di regolazione, può essere calcolato tramite procedimenti laboriosi od opportuni software di calcolo e riassunto in un coefficiente medio di efficienza che chiameremo COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub>. Questo valore può scostarsi, anche in modo significativo, da COP e SCOP caratteristici della pompa di calore.

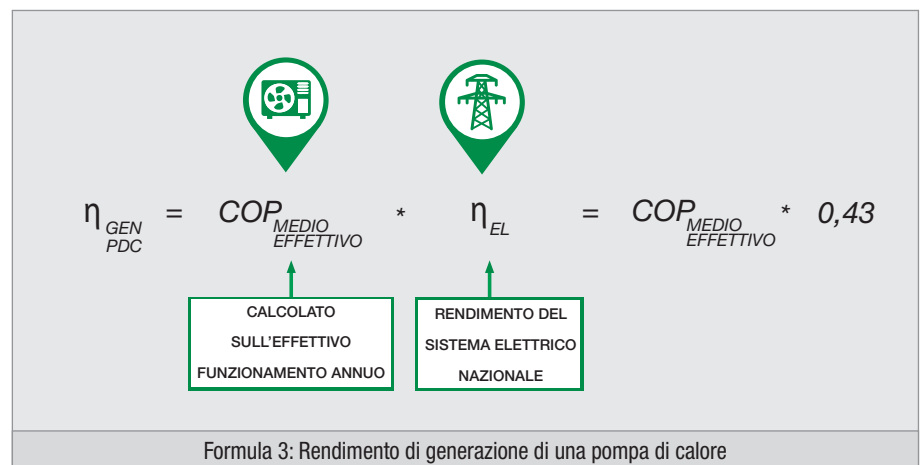
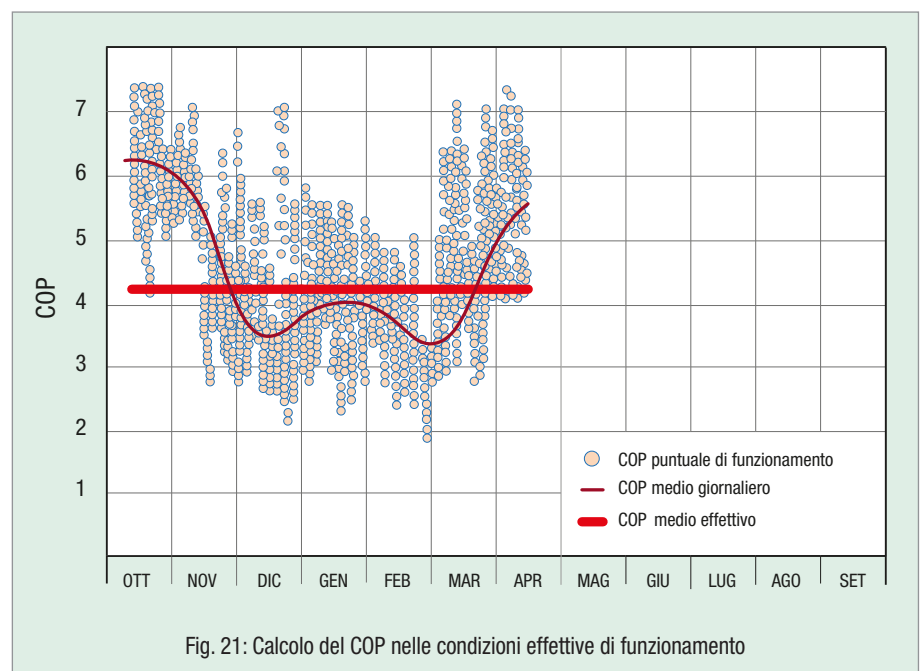
In Figura 21 è rappresentato un esempio di andamento reale del COP di una

pompa di calore aria-acqua. La linea rossa orizzontale rappresenta la media pesata di ogni punto di funzionamento della macchina e, quindi, il COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub>.

## IL RENDIMENTO DI GENERAZIONE

Il rendimento di generazione di una pompa di calore ( $\eta_{GEN PDC}$ ) può essere quindi calcolato come il prodotto tra il fattore di conversione dell'energia elettrica ( $\eta_{EL}$ ) e il COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> (Formola 3).

Equivale a rapportare il COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> alla quantità di energia primaria consumata attraverso il fattore medio di conversione dell'energia elettrica. Tale fattore attualmente in Italia vale 0,43 e tiene conto sia di tutti i generatori di



COP <sub>MEDIO EFFETTIVO</sub>	Rendimento di generazione
1,50	65 %
1,75	75 %
2,00	86 %
2,25	97 %
2,50	108 %
2,75	118 %
3,00	129 %
3,25	140 %
3,50	151 %
3,75	161 %
4,00	172 %
4,25	183 %
4,50	194 %
4,75	204 %
5,00	215 %

Tabella 1: Rendimento di generazione pompa di calore al variare del COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub>

energia elettrica collegati alla rete (quali ad esempio le centrali termoelettriche) sia dell'efficienza della rete di distribuzione.

In Tabella 1 sono riportati i rendimenti di generazione di una pompa di calore generica al variare del COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub>.

## IL RISPARMIO ENERGETICO

Il risparmio energetico, cioè il risparmio di energia da fonti primarie presenti in natura, tra l'utilizzo di un impianto di riscaldamento tradizionale, alimentato da una caldaia a gas, e l'utilizzo di un impianto con pompa di calore aria-acqua può essere calcolato confrontando i relativi rendimenti di generazione. Se il rendimento di generazione di una caldaia (tradizionale o a condensazione) è facilmente calcolabile, quello di una pompa di calore dipende fortemente dalle sue condizioni di lavoro. Considerando i valori di COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> di funzionamento possiamo riassumere i rendimenti di generazione della pompa di calore in Tabella 1.

Il rendimento di generazione di una pompa di calore è sempre elevato se confrontato con quello di una caldaia a gas, che si ferma sempre, ad esempio, al 106 %. Una pompa di calore presenta rese maggiori già con valori di COP

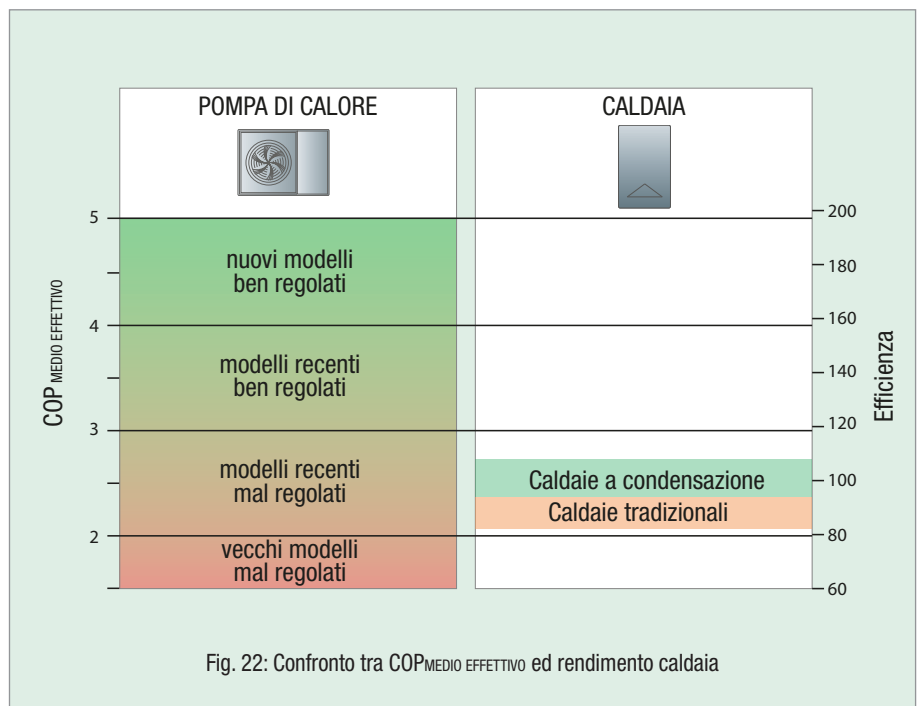


Fig. 22: Confronto tra COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> ed rendimento caldaia

maggiori di 2,5: valori ampiamente raggiunti e superati dalla maggior parte delle pompe di calore in commercio anche se utilizzate in condizioni di lavoro non ottimali. Se si abbina ad un modello recente di macchina una buona regolazione dell'impianto si raggiungono valori di efficienza tra il 130 % e il 170 %. Infine, se si installa un nuovo modello di pompa di calore e si gestisce l'impianto con una buona regolazione si può ottenere un'efficienza di circa il 200 %.

## IL RISPARMIO ECONOMICO

Il confronto economico tra un impianto tradizionale alimentato da una caldaia a gas ed uno a pompa di calore può essere valutato calcolando il costo sostenuto per produrre l'energia termica per entrambi i sistemi di produzione.

Il costo di un kWh<sub>TERMICO</sub> prodotto con una caldaia a gas è calcolabile attraverso la formula 4. Considerando un valore medio del PCI del gas pari a 9,7 kWh/ smc, possiamo riassumere il costo del kWh<sub>TERMICO</sub> in Tabella 2. Analogamente a quanto calcolato per gli impianti serviti da una caldaia a gas, è possibile calcolare il costo del kWh<sub>TERMICO</sub> prodotto da una pompa

di calore attraverso la Formula 5. Con questo tipo di generatori, il costo di produzione dell'energia termica (Tabella 3) è influenzato dal costo di acquisto dell'energia elettrica e dal COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> che, come già visto, è a sua volta condizionato da molti fattori. Nelle tabelle 2 e 3, a titolo di esempio, sono evidenziati i valori tipici di rendimento del generatore e i costi dei vettori energetici per un'utenza domestica.

$$\text{Costo kWh}_{\text{CALDAIA}} = \frac{\text{Costo SMC}_{\text{GAS}}}{\text{PCI}_{\text{GAS}} \cdot \eta_{\text{CALDAIA}}}$$

dove:  
 Costo SMC<sub>GAS</sub> = costo metro cubo standard del gas  
 PCI<sub>GAS</sub> = potere calorifico inferiore gas  
 η<sub>CALDAIA</sub> = rendimento caldaia

Formula 4

$$\text{Costo kWh}_{\text{PDC}} = \frac{\text{Costo kWh}_{\text{ELETTRICO}}}{\text{COP}_{\text{MEDIO EFFETTIVO}}}$$

Formula 5

Ad esempio, in un impianto con caldaia a gas, considerando i valori evidenziati in tabella 2, il costo del kWh<sub>TERMICO</sub> è pari a 7,36 c€/kWh.

In un impianto a PDC con i seguenti dati:

- COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> = 3,5

- costo energia elettrica = 0,24 €/kWh<sub>el</sub>  
si ottiene un costo del kWh<sub>TERMICO</sub> pari a 6,86 c€/kWh (tabella 3).

Confrontando i costi del kWh<sub>TERMICO</sub> si evidenzia un risparmio economico del 7 % se si utilizza la pompa di calore invece di una caldaia a gas.

In modo analogo, se consideriamo una pompa di calore con COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> pari a 3,0 si ottiene un costo del kWh<sub>TERMICO</sub> pari a 8,00 c€/kWh: superiore rispetto ai 7,36 c€/kWh della caldaia a gas. In questa situazione l'utilizzo della PDC non è conveniente.

Date le molte variabili che influenzano questi calcoli, in primo luogo il costo dell'energia, si possono costruire grafici (fig. 23) o tabelle dove, in base ai costi rispettivamente del metro cubo standard di gas e del kWh<sub>ELETTTRICO</sub>, si può ricavare il **COP MINIMO DI CONVENIENZA**. Questo valore indica il COP minimo che serve ad un impianto a pompa di calore per

produrre energia termica ad un costo inferiore rispetto ad una caldaia a gas.

In funzione del costo del gas (0,70 €/smc) e del kWh<sub>ELETTTRICO</sub> (0,24 €/kWh<sub>el</sub>) attuali per il mercato italiano, una PDC è **economicamente più efficiente** rispetto ad una caldaia a gas (cioè produce calore ad un costo inferiore) se il suo COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> risulta maggiore di 3,5.

## CONFRONTO TRA RISPARMIO ENERGETICO ED ECONOMICO

Confrontando i valori ottenuti si può facilmente notare come, a parità di COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub>, il risparmio energetico sia nettamente superiore a quello economico.

Ad esempio, il rendimento di generazione di una PDC con COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> pari a 3,50 è del 151 %, a differenza del 98 % di una caldaia tradizionale a gas. Il **risparmio energetico** di tale impianto è, quindi, del **54 %**.

Nello stesso impianto a PDC, il costo del kWh<sub>TERMICO</sub> è pari a 6,86 c€/kWh rispetto ai 7,36 c€/kWh della caldaia tradizionale a gas, come visto nei paragrafi precedenti.

Tale impianto risulta, quindi, **economicamente più efficiente** solo del **7 %**.

In modo analogo, se consideriamo un COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> compreso tra 2,5 e 3,5 si ottiene comunque un risparmio energetico ma non economico, poiché il costo del kWh<sub>TERMICO</sub> prodotto con una caldaia è più conveniente di quello prodotto con una pompa di calore.

In altre parole, è **abbastanza semplice far funzionare gli impianti a pompa di calore con un'efficienza energetica maggiore di quella delle caldaie a gas**, consumando meno combustibili fossili e riducendo le emissioni di CO<sub>2</sub>. **Non è, invece, altrettanto scontato far funzionare questi impianti ottenendo un risparmio economico** sulla spesa annua per il riscaldamento.

Per ottenere un risparmio economico sulla spesa di gestione degli impianti a PDC è quindi necessaria un'attenta progettazione, che preveda temperature di esercizio dei terminali più basse possibili, ed un'opportuna regolazione, in modo da massimizzare il COP di funzionamento.

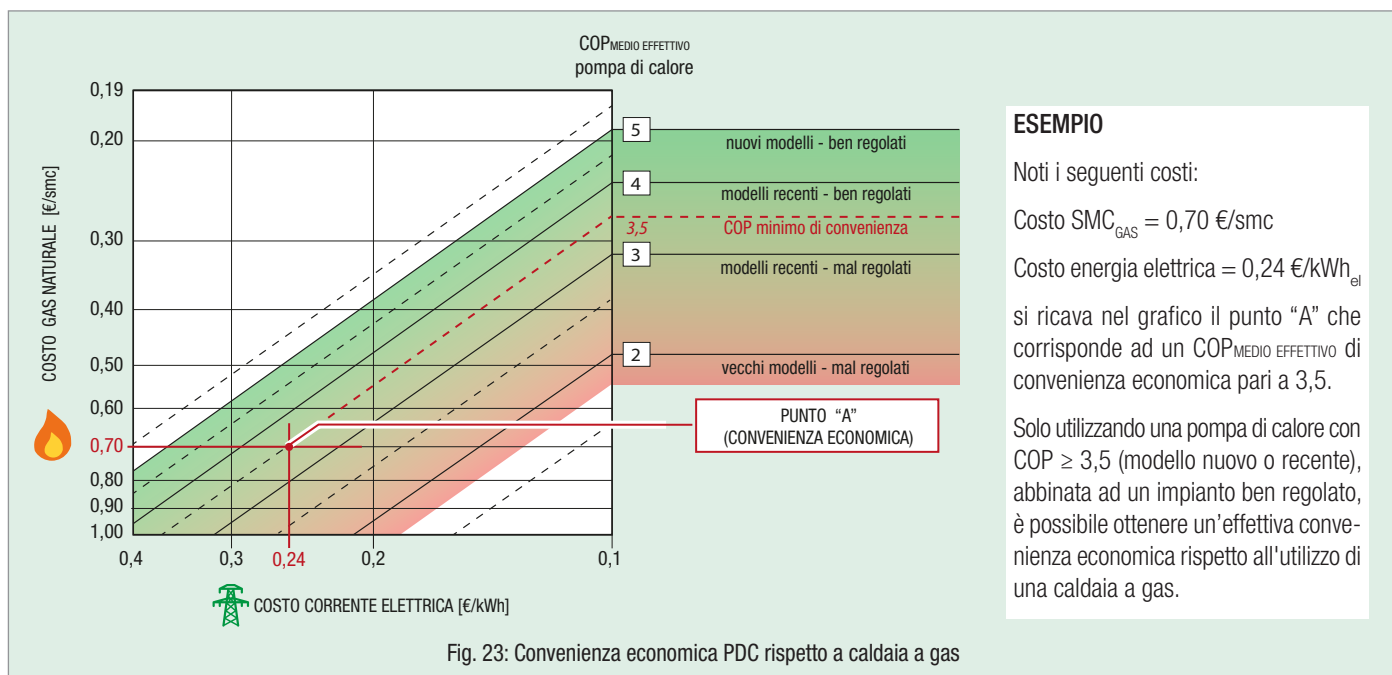


Fig. 23: Convenienza economica PDC rispetto a caldaia a gas





COSTO GAS [€/smc]	RENDIMENTO CALDAIA										
	0,86	0,88	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1	1,02	1,04	1,06
0,20	2,40	2,34	2,29	2,24	2,19	2,15	2,10	2,06	2,02	1,98	1,95
0,25	3,00	2,93	2,86	2,74	2,74	2,68	2,63	2,58	2,53	2,48	2,43
0,30	3,60	3,51	3,44	3,29	3,29	3,22	3,16	3,09	3,03	2,97	2,92
0,35	4,20	4,10	4,01	3,84	3,84	3,76	3,68	3,61	3,54	3,47	3,40
0,40	4,80	4,69	4,58	4,39	4,39	4,30	4,21	4,12	4,04	3,97	3,89
0,45	5,39	5,27	5,15	4,94	4,94	4,83	4,73	4,64	4,55	4,46	4,38
0,50	5,99	5,86	5,73	5,48	5,48	5,37	5,26	5,15	5,05	4,96	4,86
0,55	6,59	6,44	6,30	6,03	6,03	5,91	5,79	5,67	5,56	5,45	5,35
0,60	7,19	7,03	6,87	6,58	6,58	6,44	6,31	6,19	6,06	5,95	5,84
0,65	7,79	7,61	7,45	7,13	7,13	6,98	6,84	6,70	6,57	6,44	6,32
0,70	8,39	8,20	8,02	7,68	7,68	7,52	7,36	7,22	7,07	6,94	6,81
0,75	8,99	8,79	8,59	8,23	8,23	8,05	7,89	7,73	7,58	7,43	7,29
0,80	9,59	9,37	9,16	8,77	8,77	8,59	8,42	8,25	8,09	7,93	7,78
0,85	10,19	9,96	9,74	9,32	9,32	9,13	8,94	8,76	8,59	8,43	8,27
0,90	10,79	10,54	10,31	9,87	9,87	9,66	9,47	9,28	9,10	8,92	8,75

Tabella 2: Costo kWh termico (kWht) prodotto da caldaia a gas in centesimi di euro



COSTO kWh elettrico [€/kWh <sub>el</sub> ]	COP <sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> PDC										
	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
0,16	8,00	6,40	5,33	4,57	4,00	3,56	3,20	2,91	2,67	2,46	2,29
0,18	9,00	7,20	6,00	5,14	4,50	4,00	3,60	3,27	3,00	2,77	2,57
0,20	10,00	8,00	6,67	5,71	5,00	4,44	4,00	3,64	3,33	3,08	2,86
0,22	11,00	8,80	7,33	6,29	5,50	4,89	4,40	4,00	3,67	3,38	3,14
0,24	12,00	9,60	8,00	6,86	6,00	5,33	4,80	4,36	4,00	3,69	3,43
0,26	13,00	10,40	8,67	7,43	6,50	5,78	5,20	4,73	4,33	4,00	3,71
0,28	14,00	11,20	9,33	8,00	7,00	6,22	5,60	5,09	4,67	4,31	4,00
0,30	15,00	12,00	10,00	8,57	7,50	6,67	6,00	5,45	5,00	4,62	4,29
0,32	16,00	12,80	10,67	9,14	8,00	7,11	6,40	5,82	5,33	4,92	4,57
0,34	17,00	13,60	11,33	9,71	8,50	7,56	6,80	6,18	5,67	5,23	4,86
0,36	18,00	14,40	12,00	10,29	9,00	8,00	7,20	6,55	6,00	5,54	5,14
0,38	19,00	15,20	12,67	10,86	9,50	8,44	7,60	6,91	6,33	5,85	5,43
0,40	20,00	16,00	13,33	11,43	10,00	8,89	8,00	7,27	6,67	6,15	5,71
0,42	21,00	16,80	14,00	12,00	10,50	9,33	8,40	7,64	7,00	6,46	6,00
0,44	22,00	17,60	14,67	12,57	11,00	9,78	8,80	8,00	7,33	6,77	6,29

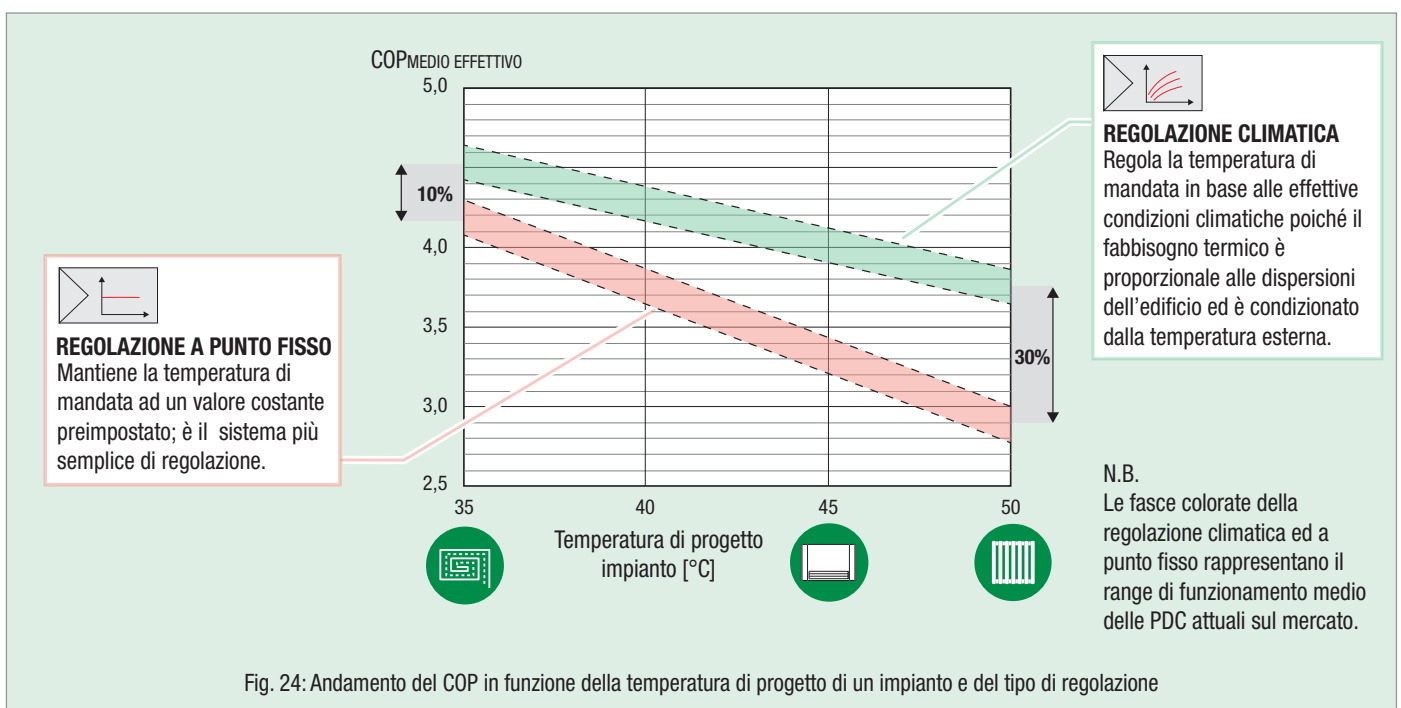
Tabella 3: Costo kWh termico (kWht) prodotto da pompa di calore in centesimi di euro (c€/kWh)

## INFLUENZA DELLA REGOLAZIONE SUL COP MEDIO EFFETTIVO

Il COP di funzionamento di una pompa di calore è fortemente influenzato dalla temperatura della sorgente interna, cioè dalla temperatura di mandata all'impianto di riscaldamento. È fondamentale, quindi, progettare impianti che siano in grado di funzionare con basse temperature di mandata, associati a sistemi di regolazione che possano mantenerle più basse possibili in base alle condizioni di effettivo carico dell'impianto. Risulta, dunque, opportuno impostare la temperatura di mandata delle pompe di calore in base a curve climatiche.

Il risparmio ottenibile, rispetto ad una regolazione tradizionale, è considerevole. In figura 24 sono riportati i valori di COP<sub>MEDIO EFFETTIVO</sub> risultanti da una simulazione numerica, per un impianto a pompa di calore aria-acqua, al variare della temperatura di mandata di progetto e del tipo di regolazione. I dati sono riferiti ad una situazione climatica tipica del Nord Italia e si tratta di un esempio. Come riportato dal grafico, i vantaggi di una regolazione climatica rispetto a una a punto fisso sono tanto più consistenti quanto più è elevata la temperatura di mandata ai terminali, in condizioni di progetto.

Ad esempio, nelle applicazioni di pompe di calore con radiatori a media temperatura (circa 50 °C) si possono ottenere risparmi fino al 30 %; il più delle volte ad investimento nullo, in quanto la maggior parte delle pompe di calore in commercio può essere regolata attraverso curve climatiche senza l'acquisto di componenti aggiuntivi.



# POMPE DI CALORE E CLIMA ITALIANO

Le pompe di calore aria-acqua sono macchine dalle performance variabili: il luogo in cui vengono installate determina un differente fabbisogno termico e frigorifero, ed influisce in maniera positiva, o negativa, sull'efficienza.

Il clima incide, anche, sulla quantità di energia consumata: climi più rigidi con prolungate stagioni invernali determinano consumi maggiori per il riscaldamento. Al contrario, zone più calde portano ad un incremento dei consumi relativi al condizionamento.

Il suolo italiano si estende in modo diversificato da Nord a Sud ed è possibile definire sei zone climatiche differenti:

- A: clima torrido
- B: clima caldo
- C: clima caldo mite
- D: clima freddo mite
- E: clima freddo
- F: clima rigido

Condizioni climatiche differenti influenzano una serie di fattori che risultano determinanti nella progettazione degli impianti a PDC.



## COP medio effettivo (riscaldamento)

Nelle zone climatiche più fredde le performance medie in riscaldamento risultano scarse a causa delle temperature esterne di progetto molto basse, che toccano addirittura i  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  in zona climatica F. Le stesse macchine avranno prestazioni decisamente migliori, invece, in località del Sud Italia con  $3-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  di progetto.



## EER medio effettivo (raffrescamento)

Contrariamente al COP, l'efficienza delle macchine in raffrescamento è influenzata negativamente nelle località più calde come quelle del Sud Italia.



## Risparmio di energia in riscaldamento

Climi freddi richiedono un maggiore assorbimento elettrico che si tramuta in un elevato consumo energetico per via del cospicuo numero di ore annue necessarie per il riscaldamento. Impiegando sistemi a pompa di calore aria-acqua, rispetto a quelli più tradizionali come le caldaie, il risparmio energetico risulta ancora più rilevante se questi impianti vengono accesi per più tempo.



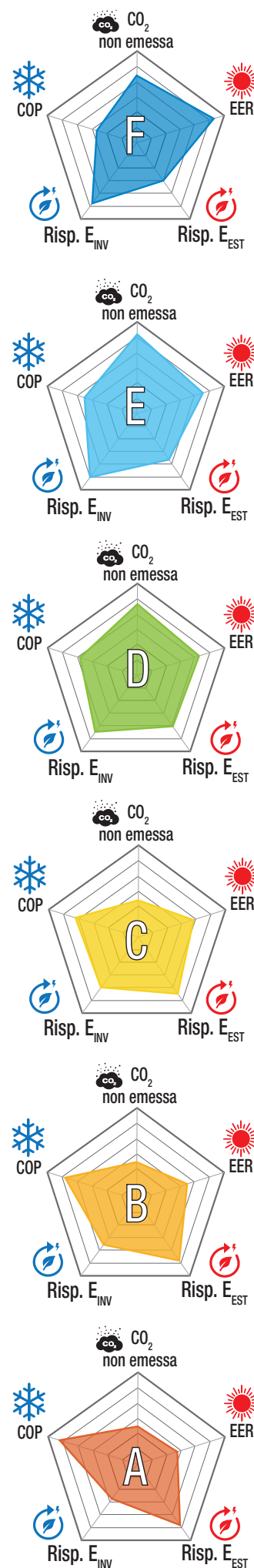
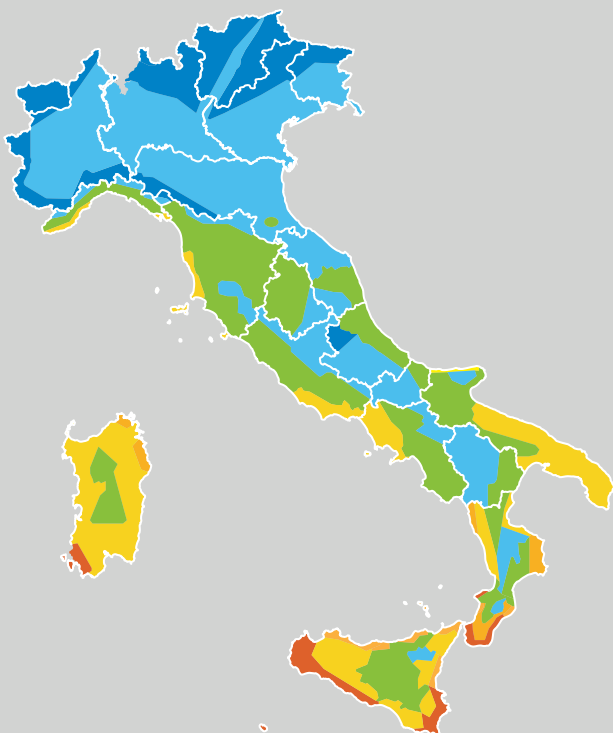
## Risparmio di energia in raffrescamento

Allo stesso modo, l'utilizzo di un sistema a PDC aria-acqua rispetto a uno aria-aria datato (il tipico condizionatore residenziale in uso qualche anno fa) garantisce notevoli risparmi energetici soprattutto nelle zone più calde dove vengono impiegati in modo continuativo durante la stagione estiva.



## CO<sub>2</sub> non emessa in ambiente

La quantità di anidride carbonica che viene emessa in ambiente è direttamente correlata all'utilizzo dell'impianto (tempo di attività) ed alla sua stessa efficienza. La maggiore concentrazione di inquinanti, come la CO<sub>2</sub>, si verifica in inverno quando i sistemi sono a regime: pertanto un impianto a PDC aria-acqua, con maggiori rendimenti rispetto a sistemi costituiti da caldaia, permetterà di abbattere sensibilmente le emissioni.



Grafici radar (a lato): prestazioni medie delle PDC aria-acqua nelle differenti zone climatiche

# I GAS REFRIGERANTI

L'evoluzione del settore della climatizzazione ha subito una forte accelerazione negli ultimi anni a seguito dell'introduzione di vincoli minimi riguardanti l'efficienza e l'impatto ambientale delle pompe di calore. A tal riguardo sono stati introdotti regolamenti specifici che hanno spinto i produttori a valutare refrigeranti più sostenibili e dalle prestazioni superiori rispetto a quelli in uso. In ambito residenziale i refrigeranti tradizionalmente utilizzati, come l'R410A e l'R134a, dovranno essere sostituiti con nuovi a basso impatto ambientale come il gas R32 (famiglia dei fluorurati) oppure il gas di origine naturale R290 (propano).

Ad oggi non ci sono divieti espliciti per pompe di calore che utilizzano R134a o R410A. **Tuttavia, nei condizionatori mono split residenziali con carica gas inferiore ai 3 kg sarà vietato l'uso dei refrigeranti HFC con valori di Global Warming Potential (GWP) > 750, a partire dal 1 gennaio 2025.**

## IMPATTO AMBIENTALE

Per valutare gli impatti dei diversi gas ad effetto serra sul riscaldamento globale relativi si utilizzano i valori del Global Warming Potential (GWP) (\*1) e quelli dell'Ozone Depletion Potential (ODP) (\*2).

Le prime macchine frigorifere furono costruite utilizzando l'R717 (ammoniaca) come fluido intermedio, poi abbandonato per la sua tossicità e corrosività nonostante presentasse rendimenti elevati, GWP nullo e costi alquanto ridotti in quanto di facile reperibilità. Per molti anni è stato inoltre impiegato un HCFC (idroclo fluorocarburo) denominato R22, ora vietato poiché ritenuto in grado di danneggiare lo strato di ozono atmosferico (ODP > 0). Attualmente si ricorre soprattutto all'uso degli HFC (idrofluorocarburi). Tuttavia è ancora aperta la ricerca di nuovi fluidi: l'obiettivo è quello di minimizzare il loro impatto ambientale e incrementare le loro prestazioni termodinamiche.

## REGOLAMENTO EU F-GAS 517/2014

Ha l'obiettivo di garantire una protezione dell'ambiente rafforzando e introducendo delle specifiche disposizioni volte alla riduzione delle emissioni dei gas fluorurati a effetto serra (F-gas). Tale regolamento impone limitazioni all'uso dei refrigeranti fluorurati: **bandisce alcuni HFC** per determinati prodotti/applicazioni, **introduce un sistema di quote nazionali** e **impone un controllo periodico delle perdite di gas**.

Le quote nazionali rappresentano il quantitativo di CO<sub>2</sub> equivalente (calcolato come prodotto tra GWP e carica

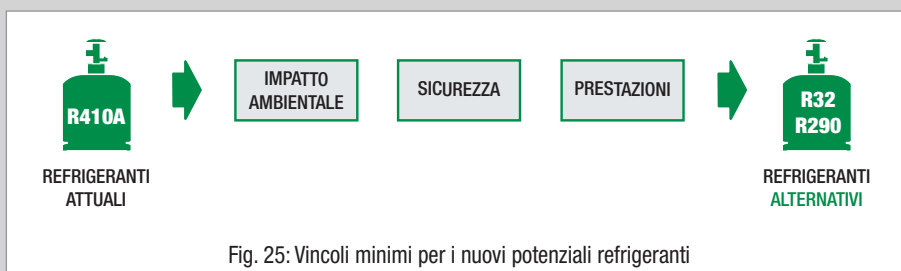


Fig. 25: Vincoli minimi per i nuovi potenziali refrigeranti

REFRIGERANTE	DENSITÀ (kg/m <sup>3</sup> a 25 °C)	TIPOLOGIA	GLOBAL WARMING POTENTIAL (*1)	OZONE DEPLETION POTENTIAL (*2)
R22	1191	HCFC	1810	0,05
R717	603	Naturale	0	0
R134a	1202	HFC	1430	0
R410A	1061	HFC	2088	0
R32	961	HFC	675	0
R290	493	Naturale	3	0

(\*1) L'indice di valutazione chiamato Global Warming Potential (GWP) è un numero adimensionale che misura il contributo all'effetto serra del refrigerante rispetto a quello di una sostanza di riferimento (CO<sub>2</sub>).

(\*2) L'ODP è un indicatore che definisce la misura dell'effetto distruttivo sull'ozono da parte di una sostanza comparato con una sostanza di riferimento (Gas R11).

Tabella 4: Caratteristiche gas refrigeranti per pompe di calore residenziali

di refrigerante) e tengono conto del reale effetto serra complessivo che possono causare. Tali e quote, secondo il Regolamento Europeo F-gas, devono essere progressivamente ridotte.

Assumono, quindi, primaria importanza:

- l'indice GWP: minore è il GWP, maggiore è la quantità di refrigerante utilizzabile dalla nazione (quote nazionali) (fig. 26).

- la densità del gas: minore è la densità, minore è la carica di refrigerante necessaria nella macchina (Tabella 4).

## SICUREZZA

### ISO 817:2014

Classifica i gas refrigeranti in base al livello di sicurezza, mediante una sigla composta da due o tre caratteri alfanumerici (fig. 27). Il primo carattere indica la classe di tossicità:

- A: indica i refrigeranti che hanno un limite di esposizione professionale di 400 ppm o superiore;
- B: indica i refrigeranti che hanno un limite di esposizione professionale inferiore a 400 ppm.

Il secondo carattere invece denota l'infiammabilità basata sul limite inferiore di infiammabilità (LFL), sul calore rilasciato durante la combustione e sulla velocità massima con cui quest'ultima può avvenire.

I refrigeranti impiegati nella climatizzazione residenziale sono caratterizzati da una ridotta tossicità. Tuttavia, molti dei refrigeranti alternativi sono infiammabili o debolmente infiammabili, soprattutto per quanto riguarda l'R290. Tale condizione richiede, pertanto, maggiori investimenti in termini di sicurezza impiantistica.

Un altro fattore da considerare è il pericolo di saturazione dell'aria presente in un ambiente. Sul mercato, esistono gas non tossici ma altamente inertizzanti come lo stesso R410A. È utile, dunque, valutare con attenzione il rapporto tra il peso della carica di fluido frigorigeno della macchina e il volume d'aria presente nell'ambiente dove viene posizionata.

## PRESTAZIONI

Nella valutazione di un nuovo refrigerante, oltre ai fattori di impatto ambientale e di sicurezza, occorre far riferimento anche ai parametri prestazionali in modo da valutare anche la loro influenza sui rendimenti della macchina.

I parametri utilizzati per confrontare due tipologie di gas sono sicuramente il COP e l'EER, approfonditi a pag. 19.

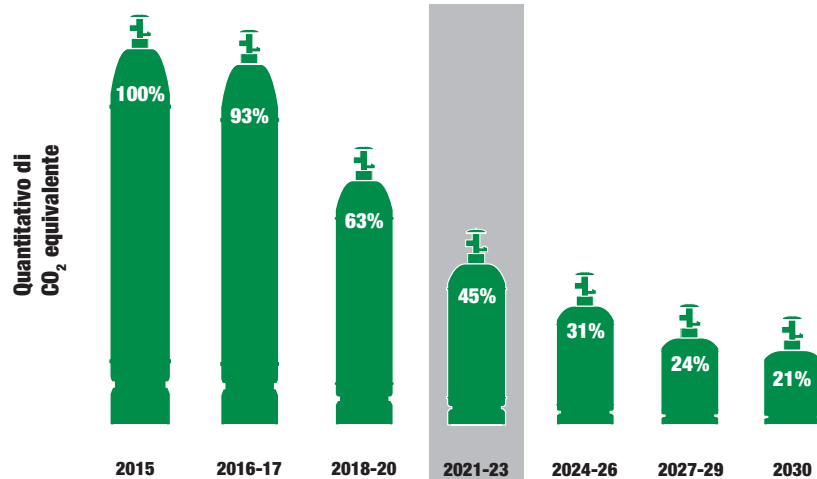


Fig. 26: Quote nazionali Regolamento F-gas

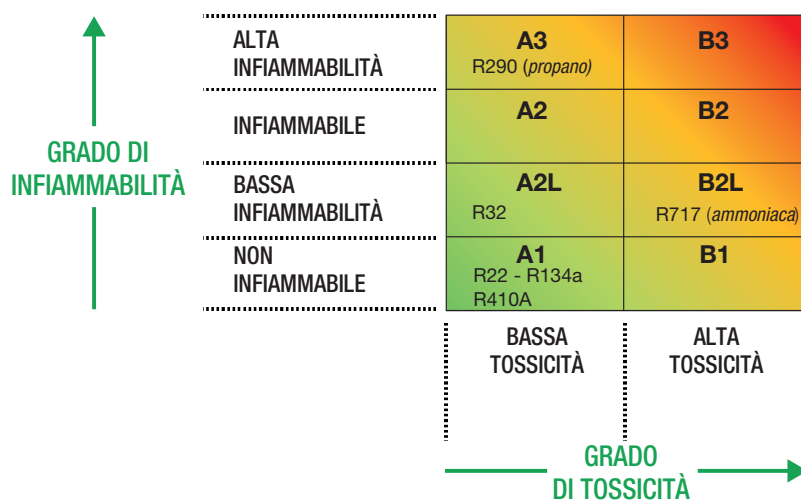


Fig. 27: Classificazione di sicurezza dei gas refrigeranti

### R32 VS R410A

Una pompa di calore convenzionale che utilizza l'R410A, in caso di condizioni esterne sfavorevoli, garantisce prestazioni simili alla nuova alternativa se la temperatura dell'acqua richiesta dall'impianto è al di sotto dei 40 °C circa (pavimento radiante). Al contrario, una PDC caricata con R32 presenta COP maggiori quando i terminali di emissione necessitano di temperature di esercizio più elevate. Pertanto, l'R32 è un'ottima alternativa per gli interventi di riqualificazione impiantistica nei quali si vogliono mantenere i radiatori esistenti come elementi emissivi.

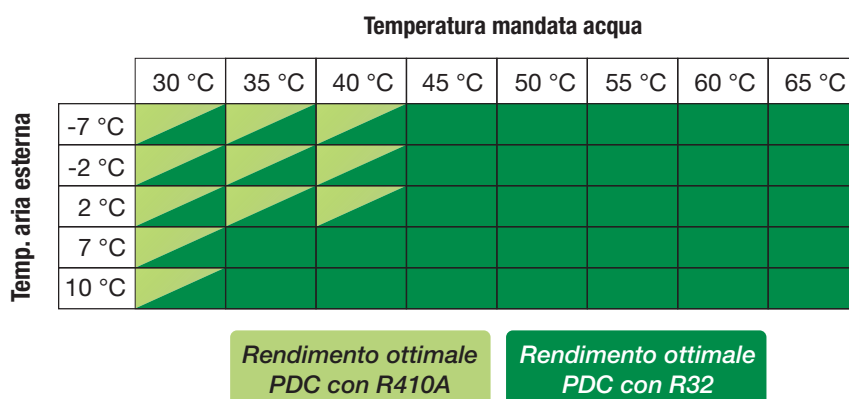


Tabella 5: COP ottimale per gas R410A e gas R32

# IMPIANTI A POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA

Ingg. Mattia Tomasoni e Alessia Soldarini

## DIMENSIONAMENTO

Il dato fondamentale per il corretto dimensionamento di una pompa di calore è la potenza termica erogata. Tale potenza non è costante ma dipende dagli stessi fattori che influenzano il COP:

- temperatura della sorgente calda (temperatura di mandata);
- temperatura della sorgente fredda (temperatura dell'aria esterna);
- numero di sbrinamenti;
- fattore di carico.

L'influenza degli ultimi due parametri, ai fini del dimensionamento delle pompe di calore, può essere trascurata facendo le seguenti ipotesi:

1. si considera sempre la potenza generata in caso di sbrinamento, fenomeno non controllabile poiché dipende unicamente dalle condizioni

di temperatura e umidità dell'aria esterna;

2. si assume un fattore di carico pari al 100 %, poiché le condizioni di progetto corrispondono alle condizioni di massima richiesta di potenza da parte della pompa di calore.

Con buona approssimazione possiamo quindi selezionare le PDC ad aria in base alla potenza erogata al variare della temperatura della sorgente calda (la mandata all'impianto) e della temperatura della sorgente fredda (l'aria esterna). I dati per il dimensionamento sono, di solito, disponibili nelle schede tecniche fornite dai produttori, riportati sotto forma di tabelle o grafici, e sono specifici per ogni macchina. Tuttavia, ai fini di una trattazione generale, possiamo riassumere l'andamento della potenza emessa dalle PDC aria-acqua nei grafici riportati in fig. 28.

Il primo grafico si riferisce a PDC con gas R410A mentre il secondo a macchine caricate con gas R32.

Dai grafici è facile notare come **la potenza nominale indicata nei dati tecnici**, che è riferita generalmente alle condizioni di temperatura dell'aria esterna di 7 °C e temperatura di mandata dell'acqua pari a 35 °C (punto a potenza nominale: A7W35), **può essere sensibilmente diversa dalla potenza erogata dalla macchina nelle condizioni di progetto**. Inoltre, come si nota dai grafici, le PDC con gas R410A presentano un'erogazione della potenza termica molto più influenzata dalla temperatura esterna e da quella di mandata rispetto a quelle caricate a R32, nelle quali la potenza emessa risulta stabile fino ad una temperatura di -7 °C.

Nella selezione di una pompa di calore

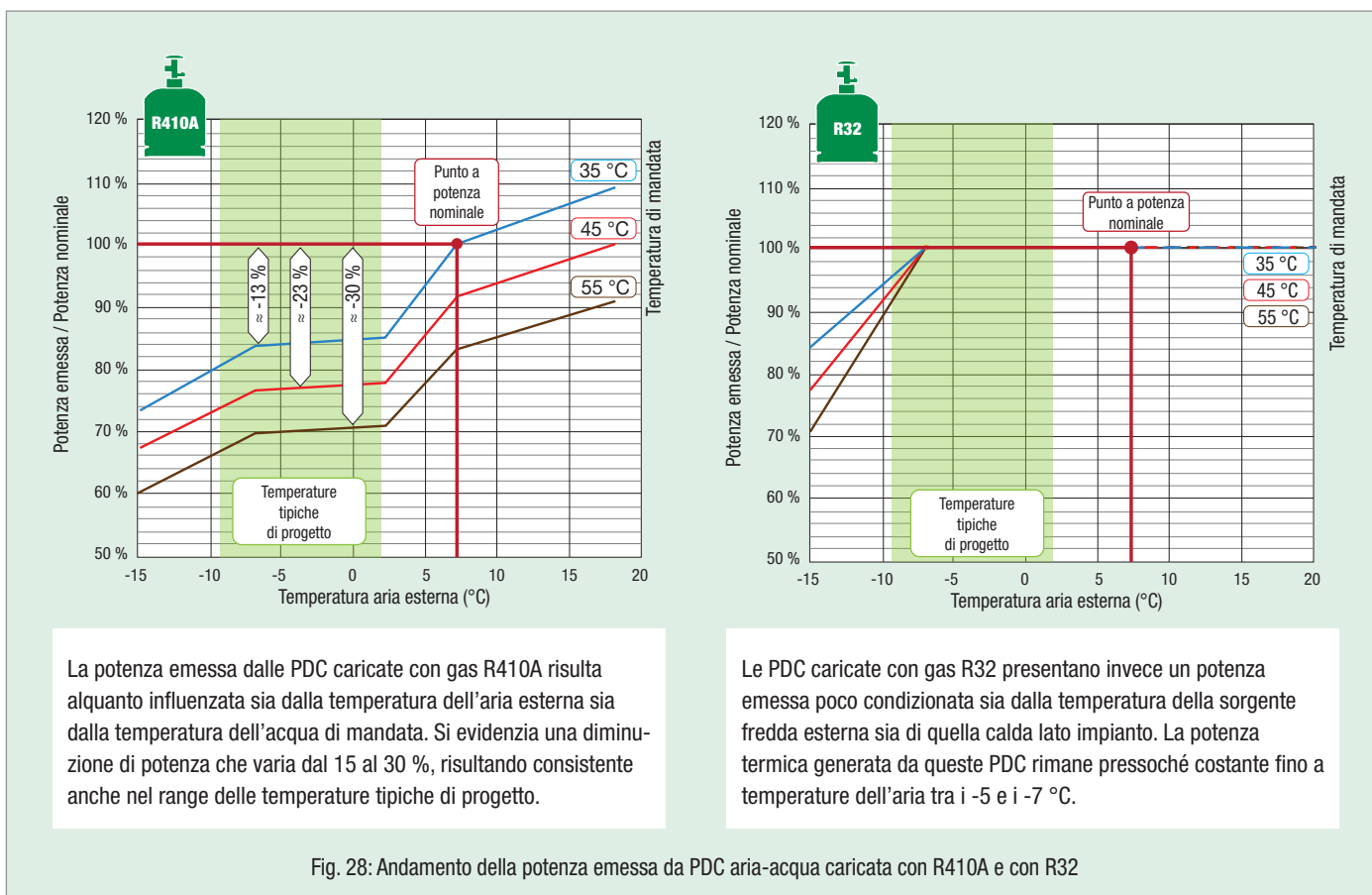


Fig. 28: Andamento della potenza emessa da PDC aria-acqua caricata con R410A e con R32

aria-acqua è, inoltre, fondamentale evitare sovradimensionamenti che comporterebbero aspetti negativi quali:

- costi di installazione sensibilmente maggiori;
- diminuzione dell'efficienza;
- elevato assorbimento elettrico.

Per questo motivo analizzeremo tre possibili **metodi di dimensionamento** delle pompe di calore presentandone i vantaggi, i possibili rischi e le strategie per minimizzarli.

## DIMENSIONAMENTO IN BASE AI DATI DI PROGETTO

Prevede di selezionare la pompa di calore in base alla potenza termica necessaria nelle condizioni di progetto dell'edificio. La procedura richiede l'analisi delle curve di potenza della macchina (da tabelle o grafici forniti dal produttore) e la scelta di quella che sviluppa una potenza uguale o superiore alla richiesta di progetto.

Questa procedura di dimensionamento risulta la più conservativa e porta a selezionare generatori leggermente sovradimensionati, fatto amplificato dai salti di taglia commerciali.

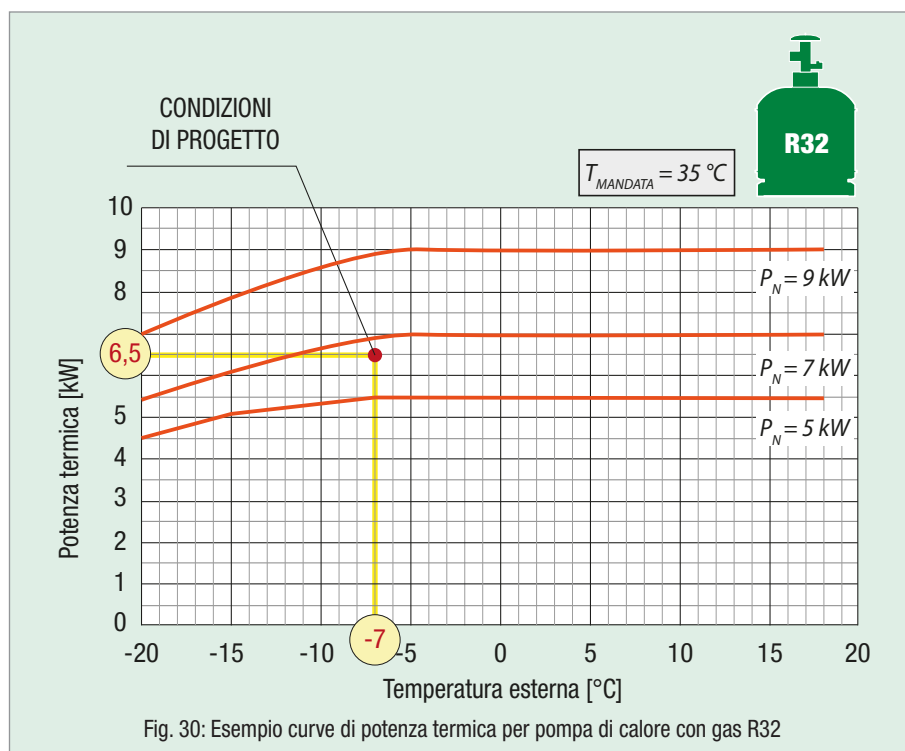
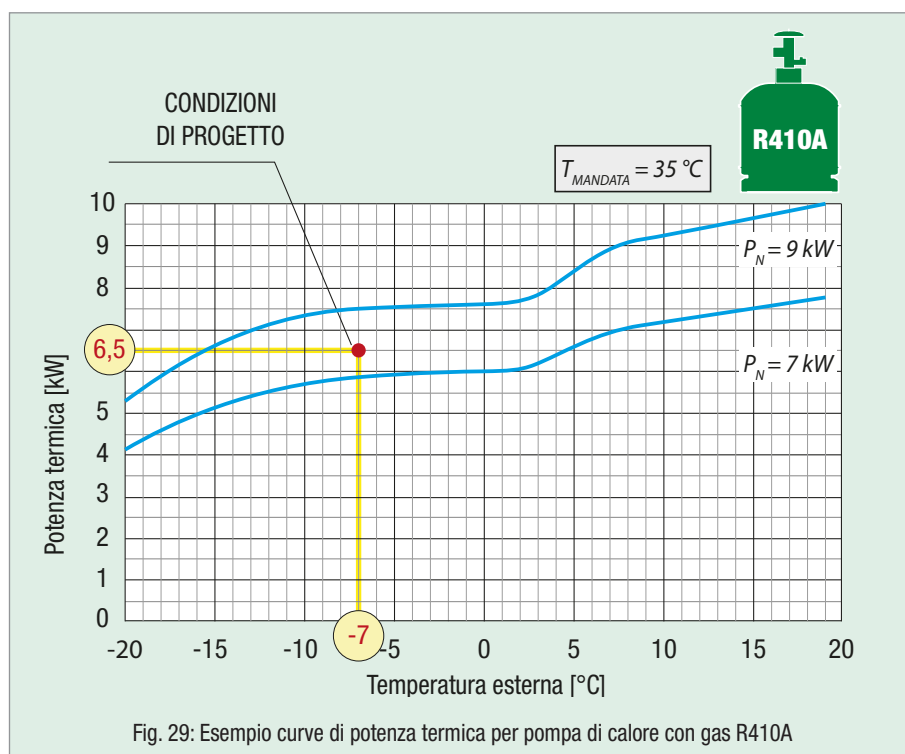
Prendendo, ad esempio, in considerazione le curve di potenza di una **PDC che utilizza R410A** (fig. 29) ed i seguenti dati di progetto dell'edificio:

- potenza termica necess. = 6,5 kW
- temperatura esterna = -7 °C

si arriva a selezionare una pompa di calore con **potenza nominale 9 kW**. Il generatore con potenza nominale pari a 7 kW risulterebbe, infatti, leggermente sottodimensionato.

I medesimi dati di progetto abbinati ad una **pompa di calore che utilizza R32** (fig. 30) consentono di selezionare una macchina con **potenza nominale pari a 7 kW**, di taglia inferiore rispetto a quella selezionata con R410A.

Il passaggio da una potenza all'altra, nelle pompe di calore di taglia domestica, può influire in modo significativo sui consumi elettrici delle macchine e sul costo dell'impianto elettrico (si



rimanda al capitolo "Impianto monofase o trifase?" pag. 48). Nel caso in cui le condizioni di progetto ricadano in una posizione intermedia tra due taglie di potenza diverse (come il caso in fig. 29),

conviene valutare un diverso metodo di dimensionamento che consideri la curva reale di potenza dell'edificio o la capacità termica dello stesso.

## DIMENSIONAMENTO IN BASE ALLA CURVA REALE DI POTENZA RICHIESTA

Nei reali consumi delle abitazioni vi è una quota parte di energia che non è fornita dall'impianto di riscaldamento e che viene rilasciata dal normale uso di elettrodomestici e illuminazione, dalle persone che vivono gli ambienti e dall'irraggiamento solare. L'apporto gratuito di questi carichi termici delinea la differenza tra la curva di potenza reale e quella teorica richiesta dall'edificio secondo un andamento tipico che viene riportato in figura 31.

Nelle condizioni di progetto l'apporto delle fonti gratuite di calore è abbastanza limitato (soprattutto perché diminuisce drasticamente la componente relativa

all'irraggiamento solare) ma può essere valutato in un range che va da 0,5 a 1,5 kW. Tenendo conto dei carichi gratuiti è possibile, dunque, dimensionare la PDC considerando la potenza termica reale ( $P_{REALE}$ ), cioè quella di progetto ( $P_{PROGETTO}$ ) ridotta degli apporti gratuiti presenti in quelle condizioni ( $P_{GRATUITA}$ ).

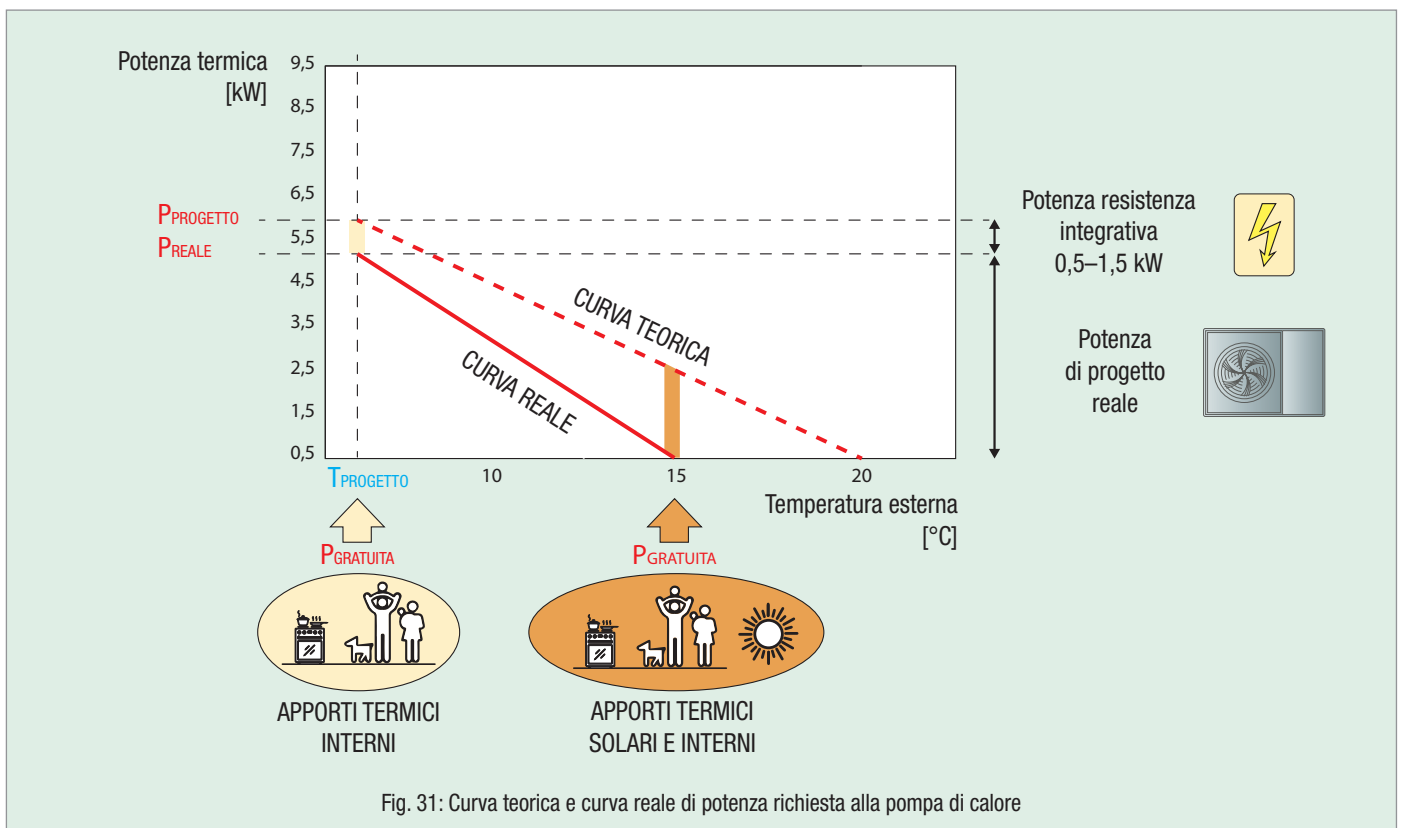
### Potenza di progetto reale

$$P_{REALE} = P_{PROGETTO} - P_{GRATUITA}$$

Formula 6

Quando si procede con questo tipo di dimensionamento è bene prevedere una resistenza elettrica di integrazione: in casi eccezionali di annullamento del carico gratuito (apporti termici interni)

è possibile integrare la potenza della pompa di calore attraverso l'accensione della resistenza. Questo accorgimento non va a gravare sull'impianto elettrico se interviene raramente. Risulta fondamentale, quindi, non sovrastimare l'apporto delle fonti gratuite per limitare il più possibile gli interventi della resistenza di emergenza, che richiedono un costo energetico elevato ( $COP=1$ ) e, quindi, inficiano negativamente sul rendimento globale dell'impianto termico.





## DIMENSIONAMENTO CONSIDERANDO LA CAPACITÀ TERMICA

Metodo più avanzato dei precedenti, si basa sul concetto che le abitazioni moderne, o recentemente ristrutturate, sono caratterizzate da un'elevata inerzia termica, favorita da tutti quegli interventi che permettono di mantenere il calore all'interno delle murature per lungo tempo (si pensi ad esempio all'isolamento 'a cappotto').

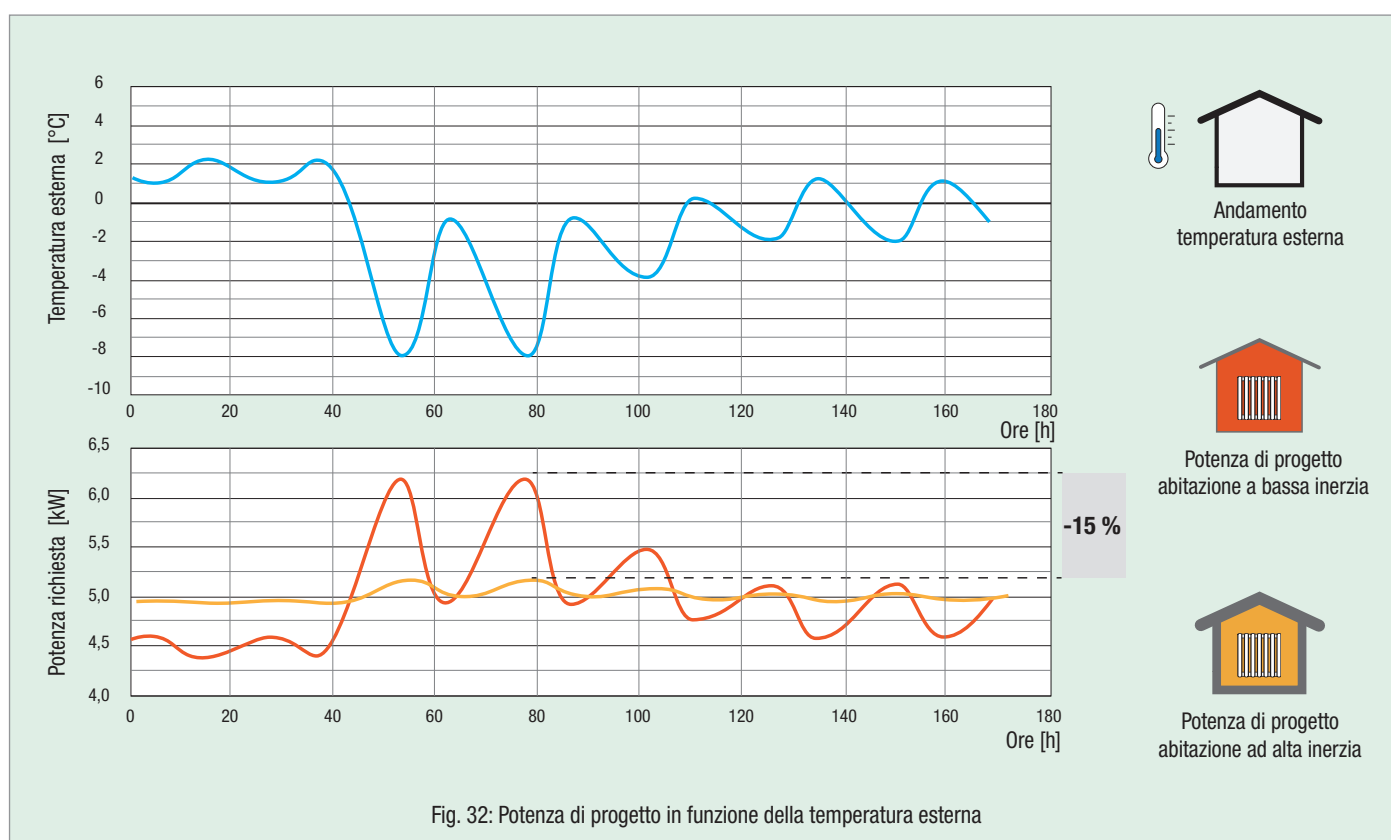
L'inerzia termica della struttura è assimilabile all'effetto di una batteria: durante le ore più calde le strutture accumulano calore fornito dall'impianto per poi rilasciarlo durante le ore più fredde. In questo modo si ha un effetto di smorzamento dei picchi di potenza grazie alla diminuzione della potenza massima richiesta al generatore di calore.

Un tipico effetto dell'inerzia è riportato in figura 32, dove è simulato l'andamento della potenza richiesta durante una settimana con temperature paragonabili alla temperatura di progetto (-7 °C). Le curve riportano l'andamento della potenza richiesta per mantenere all'interno dell'abitazione una temperatura di  $20\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ , rispettivamente per un'abitazione a bassa inerzia ed una ad alta inerzia termica. Come si può notare l'abitazione a bassa inerzia (che necessita solo di 6,5 kW di potenza) presenta dei picchi di potenza richiesta dal generatore paragonabili a quella di progetto; al contrario, in una casa con elevata inerzia termica la potenza richiesta al generatore è ridotta del 15%.

Il dimensionamento che tiene conto della capacità termica della struttura è di

tipo dinamico e va eseguito con opportuni software di calcolo che prendano in considerazione il comportamento dell'involucro edilizio al variare della temperatura esterna e dell'impianto ad esso associato.

Questo metodo di dimensionamento viene utilizzato soprattutto per ottimizzare il calcolo dell'impianto in abitazioni ad alte prestazioni energetiche. È un metodo valido per contesti nei quali l'impianto di riscaldamento è utilizzato in modo continuativo. Infatti, in caso di spegnimento dell'impianto nelle ore notturne (come avviene ad esempio in edifici adibiti ad uffici), diminuisce sensibilmente l'effetto di smorzamento dei picchi di potenza dovuto all'inerzia dell'edificio stesso.



## PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO

Oltre al generatore, negli impianti a pompa di calore, è necessario dimensionare correttamente anche tutti i componenti dell'impianto. Per questo motivo è importante conoscere e valutare i principali parametri di funzionamento quali la portata d'acqua e le temperature di esercizio.

### PORTATA D'ACQUA

La **portata nominale** è riferita solitamente ad un salto termico medio (circa 5 °C) tra ingresso ed uscita dall'evaporatore.

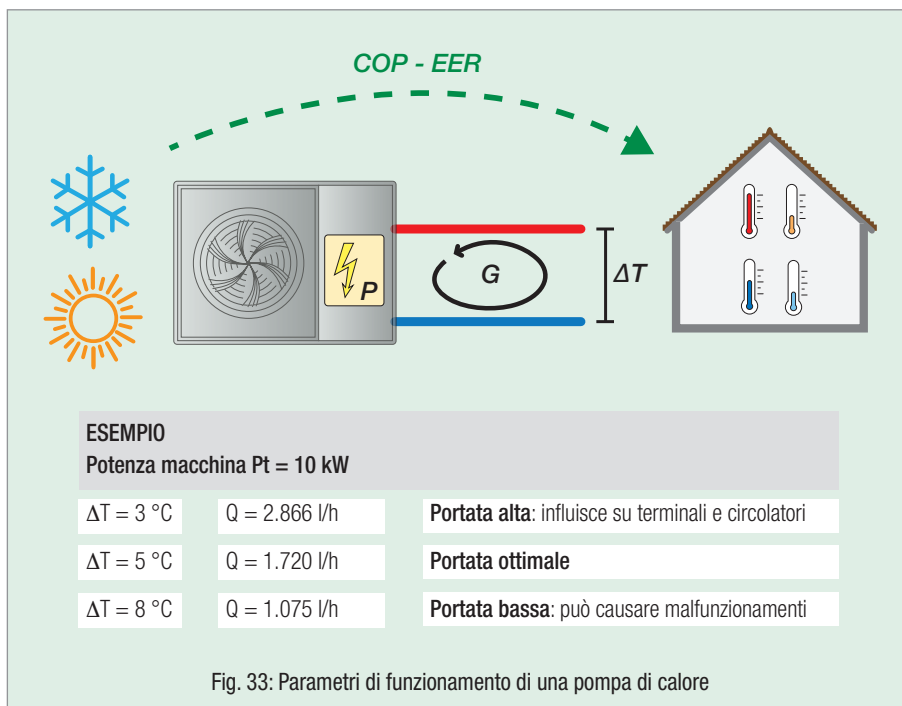
La **portata massima** ammessa è quella che presenta un salto termico minimo (circa 3 °C), mentre la **portata minima** è quella corrispondente ad un salto termico massimo (circa 8 °C).

Se la portata d'acqua è insufficiente (al di sotto della portata minima), la temperatura di evaporazione risulta troppo bassa; tale condizione causa l'intervento degli organi di sicurezza e l'arresto del generatore, con possibile formazione di ghiaccio nell'evaporatore e conseguenti gravi guasti al circuito frigorifero.

La presenza della portata d'acqua minima in circolo nell'impianto viene accertata mediante un flussostato: quando scende al di sotto del limite indicato dal produttore il dispositivo segnala un allarme alla macchina, in modo da arrestare il funzionamento ed evitare possibili danneggiamenti.

### TEMPERATURE DI ESERCIZIO

In **modalità riscaldamento**, le pompe di calore lavorano solitamente con una **temperatura di esercizio ottimale per l'acqua tecnica di 35 °C** (lato impianto) e arrivano a produrre **acqua calda sanitaria a temperature tra i 50 e i 60 °C**. Un altro punto da tenere in considerazione è il rendimento della pompa di calore, maggiore è la temperatura richiesta e minore sarà il suo COP. Occorre, dunque, trovare un compromesso tra la temperatura di produ-



zione dell'acqua calda in centrale, che dovrebbe essere la più bassa possibile, e la temperatura di mandata richiesta dai terminali, che al contrario dovrebbe essere la più alta possibile. Talvolta, quindi, risulta necessario sovradimensionare i sistemi di emissione per farli lavorare ad una temperatura più bassa rispetto a quella nominale. Operazione da eseguire tenendo in considerazione il compromesso tra il costo aggiuntivo, il rendimento di generazione e i limiti fisici legati alle temperature massime operative.

Inoltre, sebbene sia possibile diminuire la temperatura di produzione dell'acqua tecnica, per aumentare le performance delle macchine è necessario, allo stesso tempo, tenere in considerazione la possibile perdita di comfort con l'utilizzo di terminali a temperature più basse di quelle standard. Ad esempio, nel caso dei ventilconvettori è opportuno farli lavorare con temperature di mandata superiori ai 40 °C, in modo da non causare situazioni di scarso comfort: in caso contrario, infatti, le persone percepirebbero una sensazione di aria fredda sulla propria pelle (la temperatura corporea è circa 36 °C).

In **modalità raffrescamento**, solitamente, la **temperatura minima** alla quale viene prodotta acqua refrigerata è di **7 °C**. Tuttavia, in esecuzioni diverse dagli standard, è possibile produrre acqua tecnica anche a 5 °C.

Nella stagione estiva il rendimento della macchina (EER) risulterà minore tanto più saranno basse le temperature di produzione dell'acqua refrigerata, analogamente a quanto succede nella stagione invernale. Le macchine presentano inoltre un limite fisico di temperatura raggiungibile, imposto dal produttore, che permette di evitare il congelamento degli scambiatori dei gruppi frigoriferi stessi. Si supera tale ostacolo solamente miscelando glicole etilenico all'acqua e modificando, in questo modo, le proprietà termiche del fluido. È possibile, invece, aumentare la **temperatura massima** di mandata a valori superiori fino a **15-18 °C** integrando il sistema di raffrescamento con deumidificatori come avviene per i sistemi radianti.

## CICLO DI SBIRINAMENTO

Nelle pompe di calore aria-acqua, in determinate condizioni di funzionamento, il gas refrigerante presente nell'evaporatore risulta di 10–15 °C più freddo dell'aria esterna. Durante il funzionamento della macchina in modalità riscaldamento l'evaporatore sottrae calore all'aria e, nel momento in cui la temperatura scende al di sotto del punto di rugiada, avviene la formazione di condensa dall'aria umida a contatto con la batteria.

La condensa, ad una temperatura compresa tra -5 °C e +7 °C si trasforma in brina: questo fenomeno riduce significativamente la portata d'aria che attraversa la batteria della macchina con conseguenti limitazioni nel funzionamento. Le prestazioni della pompa di calore si riducono notevolmente ma non il suo consumo elettrico in quanto la macchina continua a funzionare.

Inoltre, maggiore è l'umidità contenuta nell'aria maggiore è la quantità di condensa che può trasformarsi in brina.

Affinché la pompa di calore possa continuare a funzionare in modo efficiente è necessario effettuare regolarmente lo sbrinamento (chiamato anche "defrost" o "defrosting"). Durante lo sbrinamento il ciclo del refrigerante viene invertito temporaneamente attraverso una valvola di inversione di ciclo a quattro vie per forzare il passaggio della PDC dalla modalità riscaldamento a raffrescamento. Questo permette di sottrarre brevemente calore all'acqua dell'impianto per condurlo all'evaporatore (batteria di scambio con aria esterna). Per tale motivo, durante lo sbrinamento è necessario garantire alla pompa di calore una portata minima associata ad un certo contenuto d'acqua dell'impianto. Questi parametri sono sempre indicati dal produttore.

La pompa di calore, per avviare lo sbrinamento, rileva automaticamente lo stato di congelamento della batteria dell'unità esterna mediante:

1. un timer che inverte il ciclo a intervalli fissi in base alla temperatura

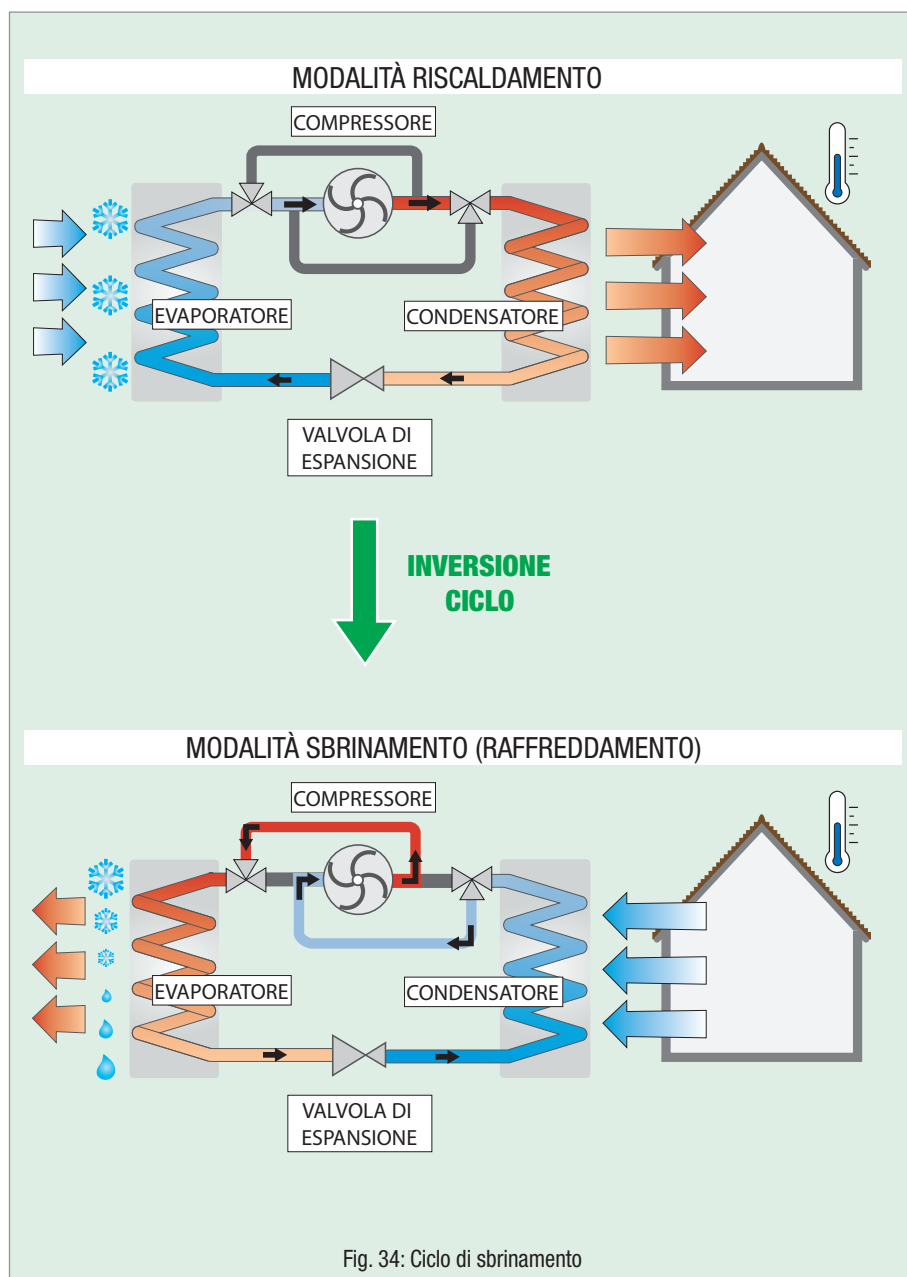


Fig. 34: Ciclo di sbrinamento

2. un sistema di controllo più raffinato che monitora il flusso e la temperatura dell'aria esterna e le condizioni puntuali dell'evaporatore (stato di congelamento).

Il secondo metodo è quello più efficiente, in quanto consente di evitare sbrinamenti inutili. Tuttavia, alcuni produttori prediligono il primo, poiché più semplice e meno oneroso dal punto di vista della realizzazione.

Durante lo sbrinamento, l'acqua generata dallo scioglimento della brina defluisce

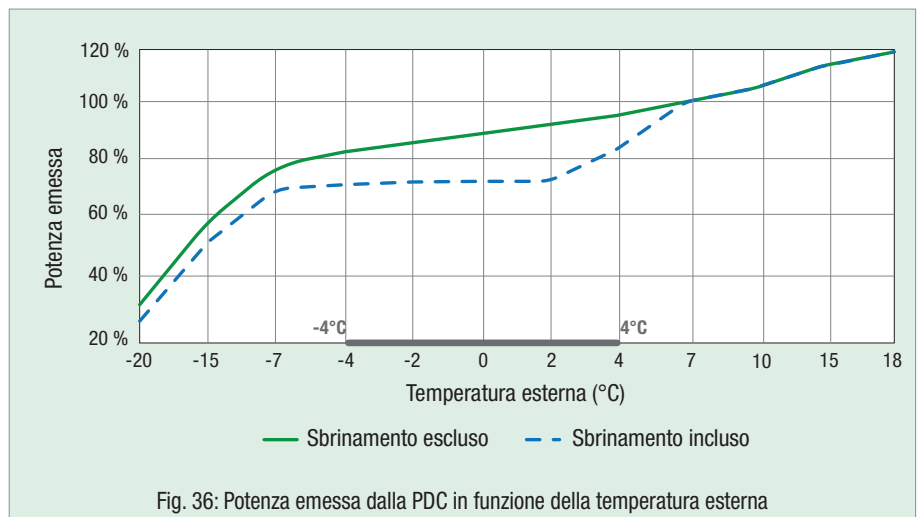
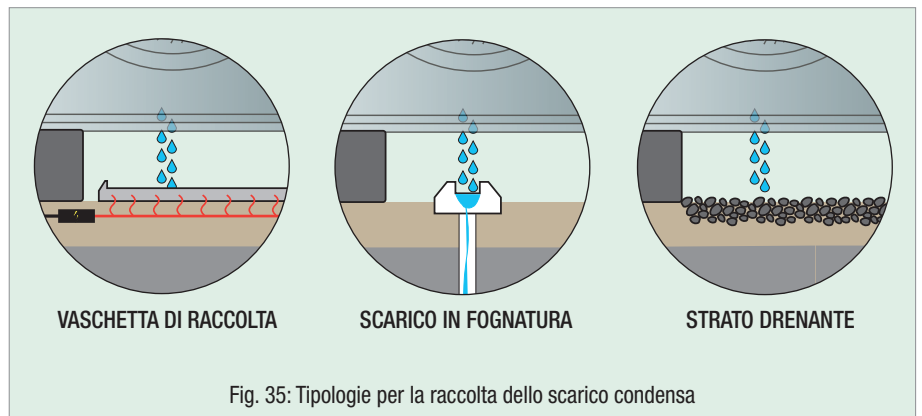
dallo scarico ubicato sul fondo dell'unità esterna; pertanto, è bene prevenirne il congelamento mediante un sistema di scarico e raccolta delle acque. È possibile prevedere una vaschetta di raccolta con cavo elettrico riscaldante, oppure convogliare direttamente lo scarico in fognatura. Infine si può anche utilizzare uno strato di ghiaia per il drenaggio dell'acqua, mantenendo una distanza minima tra il terreno e la macchina (fig. 35).

Lo sbrinamento influisce negativamente sulle prestazioni delle PDC, in quanto parte della potenza sviluppata dal ciclo frigorifero è utilizzata per scongelare la batteria esterna invece che essere trasmessa al fluido. Infatti, rispetto alle prestazioni nominali, durante lo sbrinamento si verifica:

1. un abbassamento del COP;
2. un calo della potenza termica emessa.

Questi due fenomeni sono tanto più evidenti quanto più sono frequenti le condizioni che determinano la formazione di ghiaccio sulla batteria esterna (temperature esterne basse ed umidità assoluta alta). La combinazione peggiore di questi due fattori si riscontra in un range di temperature tra  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Il fenomeno dello sbrinamento non può essere contrastato poiché dipende unicamente dalle condizioni termo-igrometriche dell'aria esterna. Va tuttavia tenuto in considerazione nella scelta e nel dimensionamento delle pompe di calore, soprattutto quando la temperatura di progetto dell'aria esterna ricade nel campo maggiormente interessato da questo fenomeno. A questo scopo, i produttori riportano in documentazione tecnica appositi grafici con le prestazioni delle pompe di calore che tengono conto dei cicli di sbrinamento.



## DA DOVE PROVIENE L'ENERGIA TERMICA PER IL CICLO DI SBRINAMENTO?

Il ciclo di sbrinamento richiede una quantità di energia termica che, in base alla configurazione impiantistica che si adotta, può essere sottratta al circuito di riscaldamento verso l'utenza oppure ad un serbatoio tampone.

### Impianto ad elevata inerzia

In presenza di un impianto con sufficiente inerzia termica è possibile raffreddare temporaneamente l'acqua contenuta nelle tubazioni, mantenendo un buon funzionamento della macchina senza perdite di comfort per l'utente (fig. 37).

Occorre progettare una parte dei circuiti dell'impianto di riscaldamento sempre in funzione. Ad esempio, in un piccolo alloggio, tipo un bilocale, è preferibile regolare l'impianto direttamente tramite l'accensione e lo spegnimento della pompa di calore, senza alcun organo di intercettazione o regolazione tra la macchina e i terminali di emissione (tipo comandi elettrotermici sui circuiti dei pannelli radianti).

### Impianto a bassa inerzia

In presenza di un impianto a bassa inerzia termica (ad esempio un impianto a ventilconvettori) oppure nel caso in cui la portata fruibile sia inferiore alla portata minima richiesta dal produttore è necessario separare il circuito primario (quello della pompa di calore) dal circuito secondario (quello verso le utenze) per mezzo di una valvola di by-pass oppure di un separatore idraulico (fig. 37).

Se si utilizza la valvola di by-pass è fondamentale inserire un accumulo tampone sul ritorno del circuito primario. In alternativa è possibile collegare il volano termico come separatore idraulico. Quest'ultima soluzione permette un riscaldamento continuo degli ambienti in modalità sbrinamento grazie al calore accumulato.

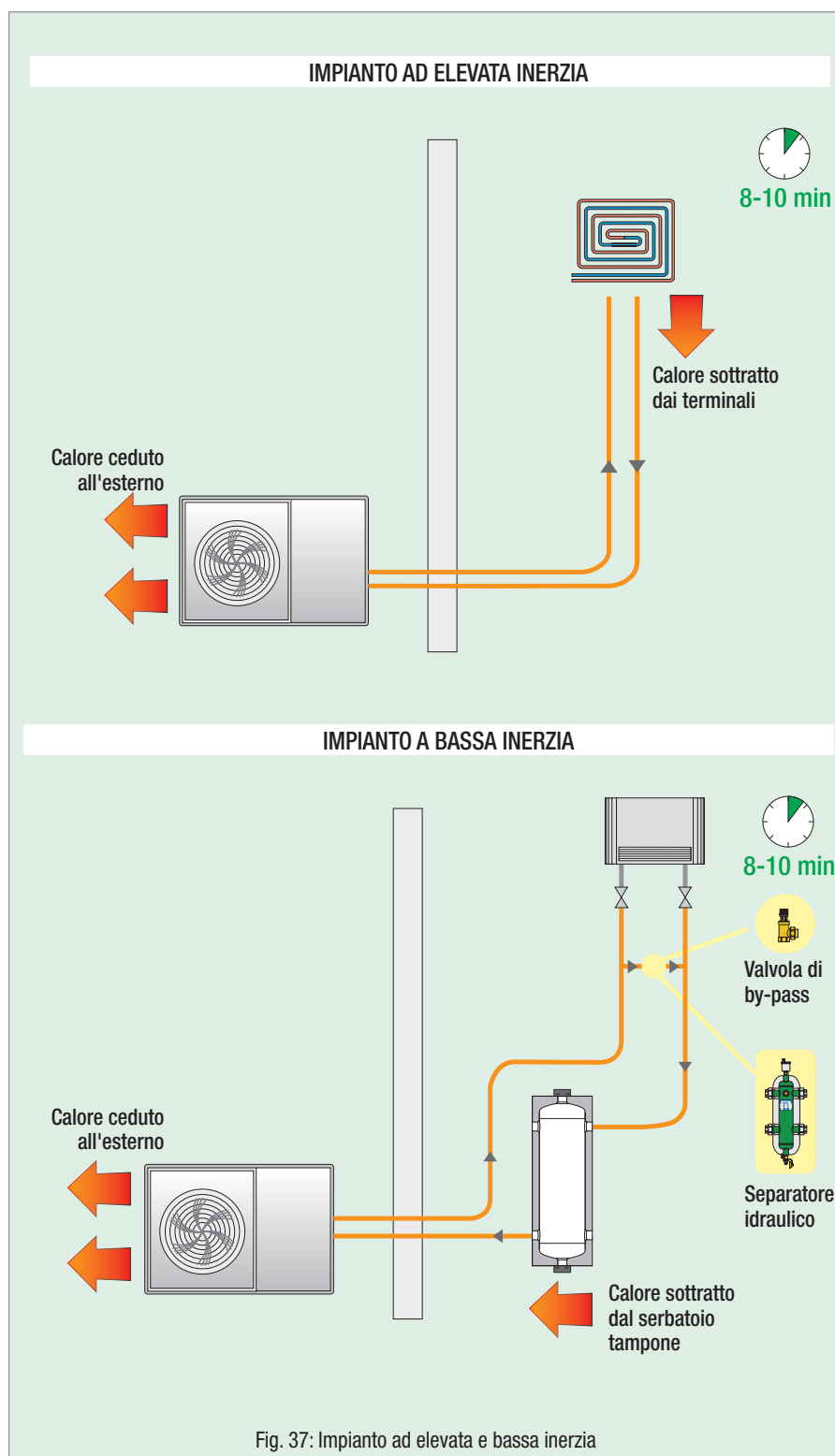


Fig. 37: Impianto ad elevata e bassa inerzia

## LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

### Le pompe di calore in genere non hanno sufficienti potenze per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria.

Per questo motivo, la produzione deve avvenire tramite sistemi ad accumulo. Poiché la temperatura in mandata durante la produzione di acqua calda sanitaria non può essere troppo alta, sia per limiti fisici sia per evitare rendimenti troppo bassi, occorre prestare particolare attenzione nella progettazione. Un bollitore per ACS dimensionato per una pompa di calore richiede volumi più grandi e superfici di scambio maggiori rispetto alla caldaia. Inoltre deve essere in grado di soddisfare l'intero fabbisogno di acqua calda sanitaria nel periodo di punta, poiché la ricarica dell'accumulo richiede tempi relativamente lunghi a causa della limitata potenza disponibile.

Il **volume di acqua stoccata** deve essere **abbondante** per permettere di accumulare acqua ad una temperatura compresa tra i 45 °C e i 50 °C. Tuttavia, ogni grado in più di temperatura richiesto alla pompa di calore ne riduce l'efficienza di circa il 3 %.

Lo **scambiatore deve essere sovradimensionato** rispetto ad uno abbinato a caldaia, per limitare la differenza tra la temperatura dell'ACS e quella dell'acqua tecnica. Inoltre, scambiatori di piccole dimensioni allungano i tempi di messa a regime del bollitore, sottraendo per un tempo maggiore la macchina alla funzione di riscaldamento.

L'accumulo deve essere dotato di un **buon isolamento** per ridurre il più possibile le perdite termiche e assicurare alti risparmi sui costi di gestione.

Il bollitore è, in genere, a serpentino immerso e con superficie di scambio maggiorata. Tale sistema può riscaldare il serbatoio dell'acqua calda sanitaria fino a temperature di comfort con il solo funzionamento della macchina, oppure mediante l'ausilio di un riscaldatore elettrico di riserva, per raggiungere temperature più elevate. Il bollitore può essere esterno oppure integrato nei moduli delle PDC.

Esistono anche modelli di pompa di calore che, per ottimizzare maggiormente lo scambio termico, utilizzano un accumulo tecnico ed uno scambiatore esterno a piastre per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria. Il calore non viene immagazzinato nell'acqua potabile ma in un serbatoio di acqua tecnica in cui la stratificazione delle temperature garantisce la produzione di ACS. Con questa soluzione l'acqua potabile viene riscaldata istantaneamente attraverso uno scambiatore di calore in acciaio inox restando igienicamente incontaminata.

La produzione di ACS avviene deviando l'acqua dall'impianto tramite una valvola a tre vie. Il comando di quest'ultima è affidato alla pompa di calore in quanto la macchina, oltre ad operare lo scambio, deve innalzare la sua temperatura di mandata ed invertire il ciclo nel caso stia producendo acqua refrigerata. Quando la produzione di ACS è affidata ad un bollitore esterno la deviazione può essere realizzata da una valvola a 3 vie, interna alla macchina oppure esterna (fig. 38). In ogni caso, la valvola viene controllata dall'elettronica della pompa di calore che rileva la temperatura del bollitore tramite un'opportuna sonda.

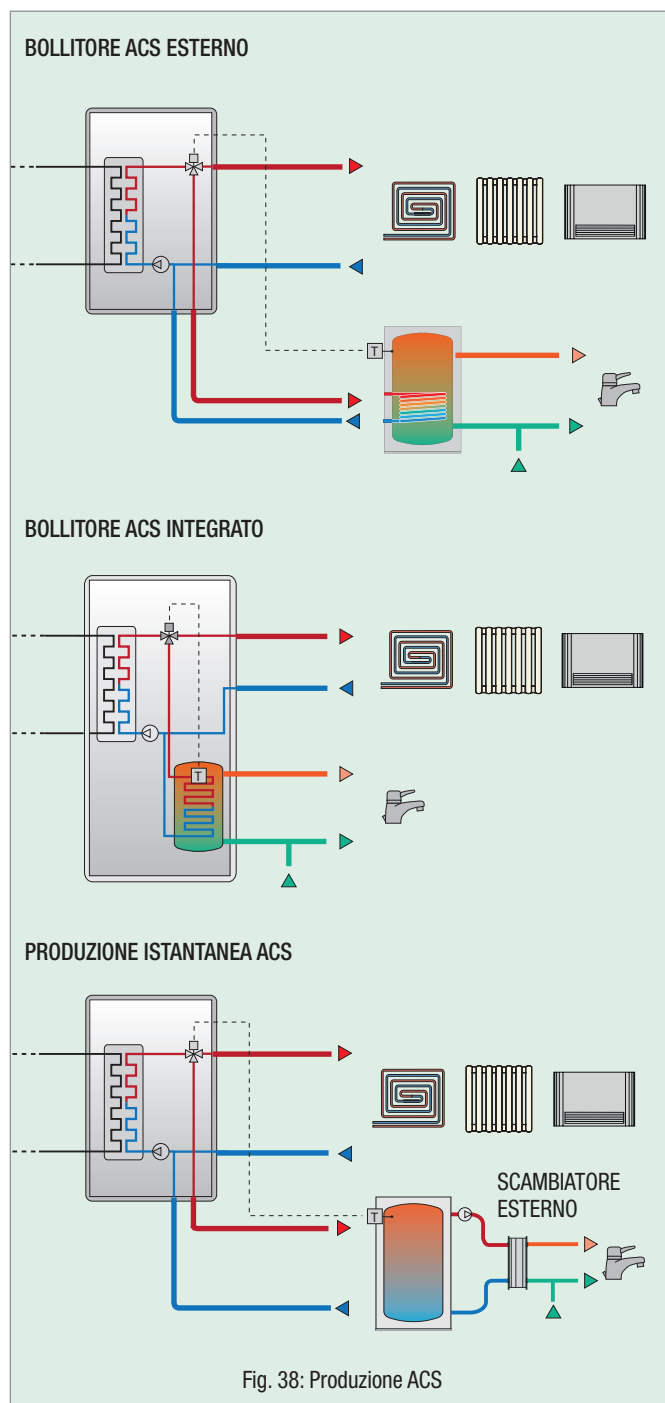
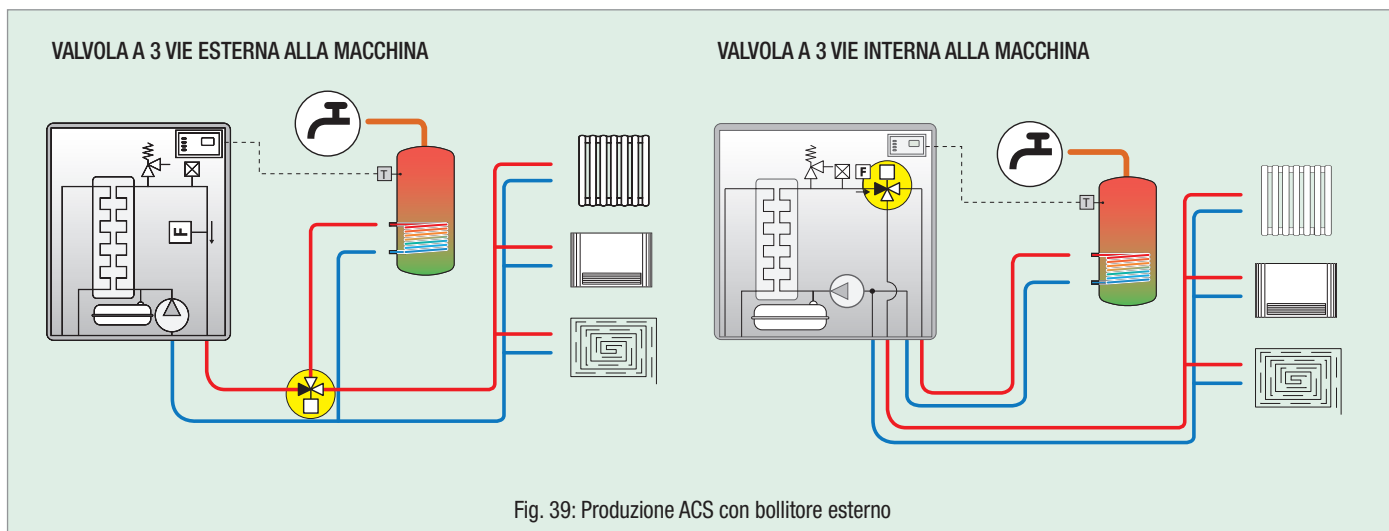


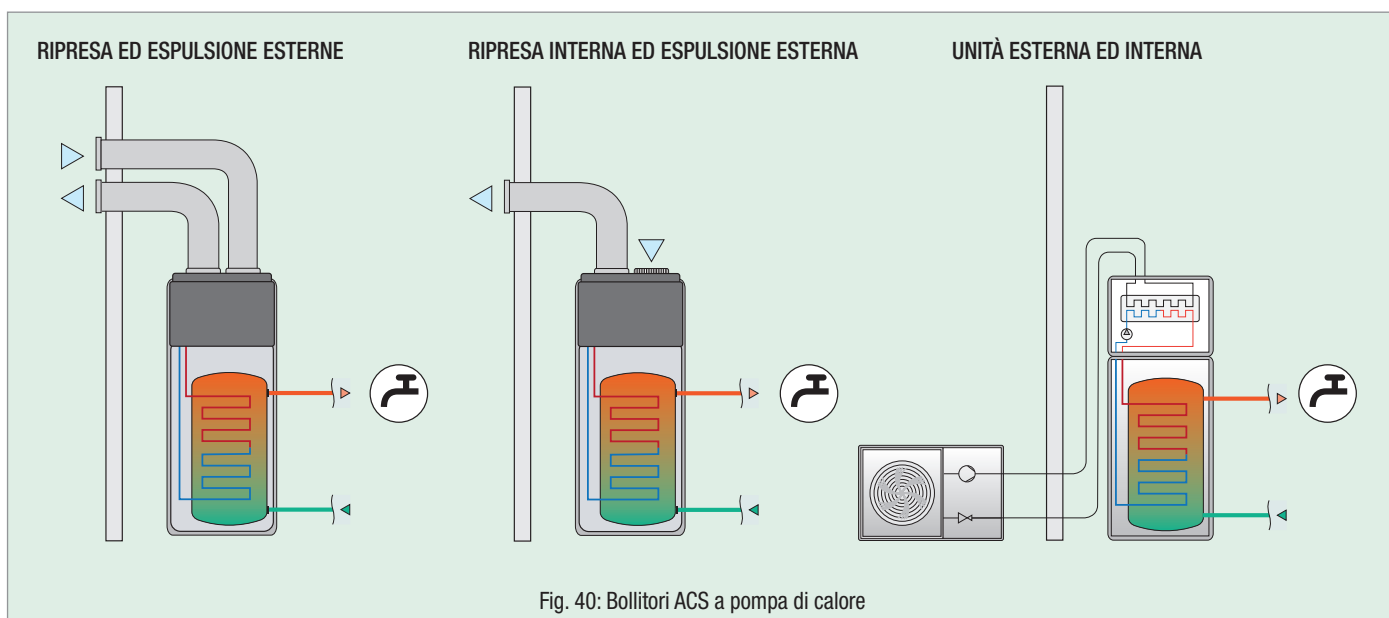
Fig. 38: Produzione ACS

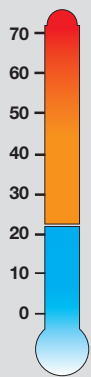


Infine, in alcune applicazioni è conveniente mantenere la produzione dell'ACS separata da quella del riscaldamento. Questo può avvenire: nelle ristrutturazioni (dove si è vincolati da una distribuzione esistente dell'ACS), negli impianti centralizzati con produzione autonoma dell'acqua sanitaria oppure in impianti a PDC (ad esempio aria-aria) senza produzione di ACS. In questi casi esistono dei **bollitori a pompa di calore aria-acqua**.

Essi possono funzionare per mezzo di due condotti verso l'esterno (ripresa ed espulsione aria) oppure sfruttando l'aria ambiente come ripresa per poi scaricarla, attraverso un condotto, all'esterno. Esistono anche modelli provvisti di unità esterna ed interna (a due sezioni).

Il bollitore a pompa di calore aria-acqua, sebbene presenti un costo di acquisto superiore, permette di evitare la commutazione da freddo a caldo, durante la funzione di raffreddamento, aumentando così la resa della macchina.





## LA PROTEZIONE ANTILEGIONELLA NEGLI IMPIANTI A POMPA DI CALORE

*Il batterio della Legionella sopravvive e prolifica in acqua tra i 20 e i 45 °C circa. Al di sotto dei 20 °C sopravvive in forma non attiva. Oltre i 50 °C non vi è alcun pericolo che si sviluppi la Legionella, anzi la sua eliminazione avviene nel giro di un paio di ore. Oltre i 60 °C si ha la morte del batterio in due minuti, mentre al di sopra dei 70 °C è istantanea.*

La pompa di calore, in funzionamento standard, può erogare acqua calda fino a circa 55 °C. In questi casi, la protezione antilegionella può essere realizzata mediante una resistenza integrativa di adeguata potenza (**fig. A**). La pompa di calore riscalda l'accumulo fino alla temperatura di set-point e, successivamente, entra in funzione la resistenza elettrica di integrazione per raggiungere la temperatura di disinfezione. Particolare attenzione va posta nella scelta della temperatura di disinfezione e del tempo minimo di mantenimento del set-point antilegionella, al fine di inattivare eventuali batteri presenti nell'acqua.

Solo particolari macchine lavorano con temperature più elevate fino a raggiungere i 70 °C. Con tali temperature è possibile eseguire cicli periodici di disinfezione termica del bollitore (**fig. B**). In ogni caso, la resa in queste condizioni di lavoro risulta notevolmente ridotta.

Per la disinfezione termica, non solo del bollitore ma anche della rete di distribuzione (dove è particolarmente estesa), è indispensabile un sistema di ricircolo sanitario sia nel sistema di fig. A sia in quello di fig. B.

È possibile, in alternativa ai trattamenti termici, eseguire il trattamento antilegionella con sistemi di disinfezione di tipo non termico (**fig. C**), quali il trattamento con raggi UV, l'utilizzo di microfiltri e il trattamento con biossido di cloro o perossido di idrogeno.

La produzione di ACS attraverso un accumulo di acqua tecnica ed uno scambiatore esterno (**fig. D**), unito ad una distribuzione poco estesa della rete, è l'unico sistema che non necessita della protezione antilegionella.

Fig. A: RESISTENZA ELETTRICA INTEGRATIVA

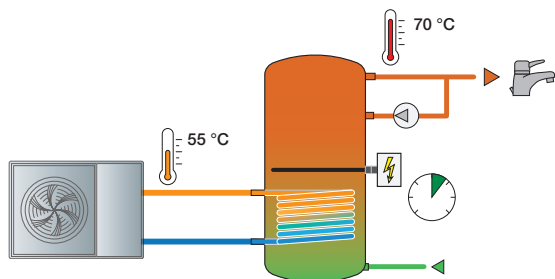


Fig. C: DISINFEZIONE NON TERMICA

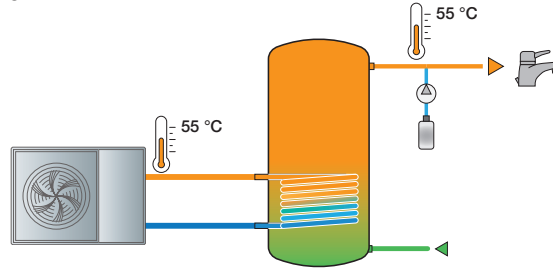


Fig. B: PDC ALTA TEMPERATURA

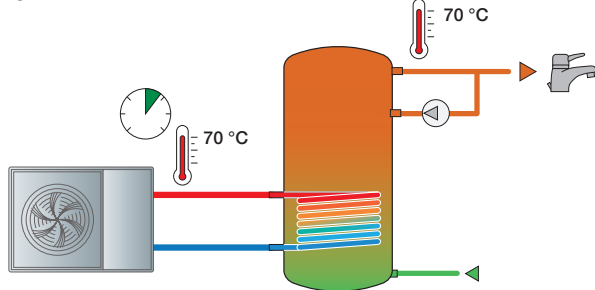
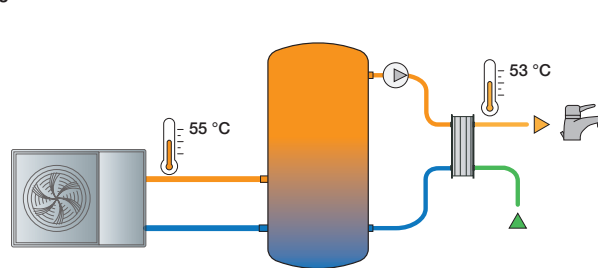


Fig. D: SCAMBIATORE ESTERNO





# Componenti di un impianto a PDC

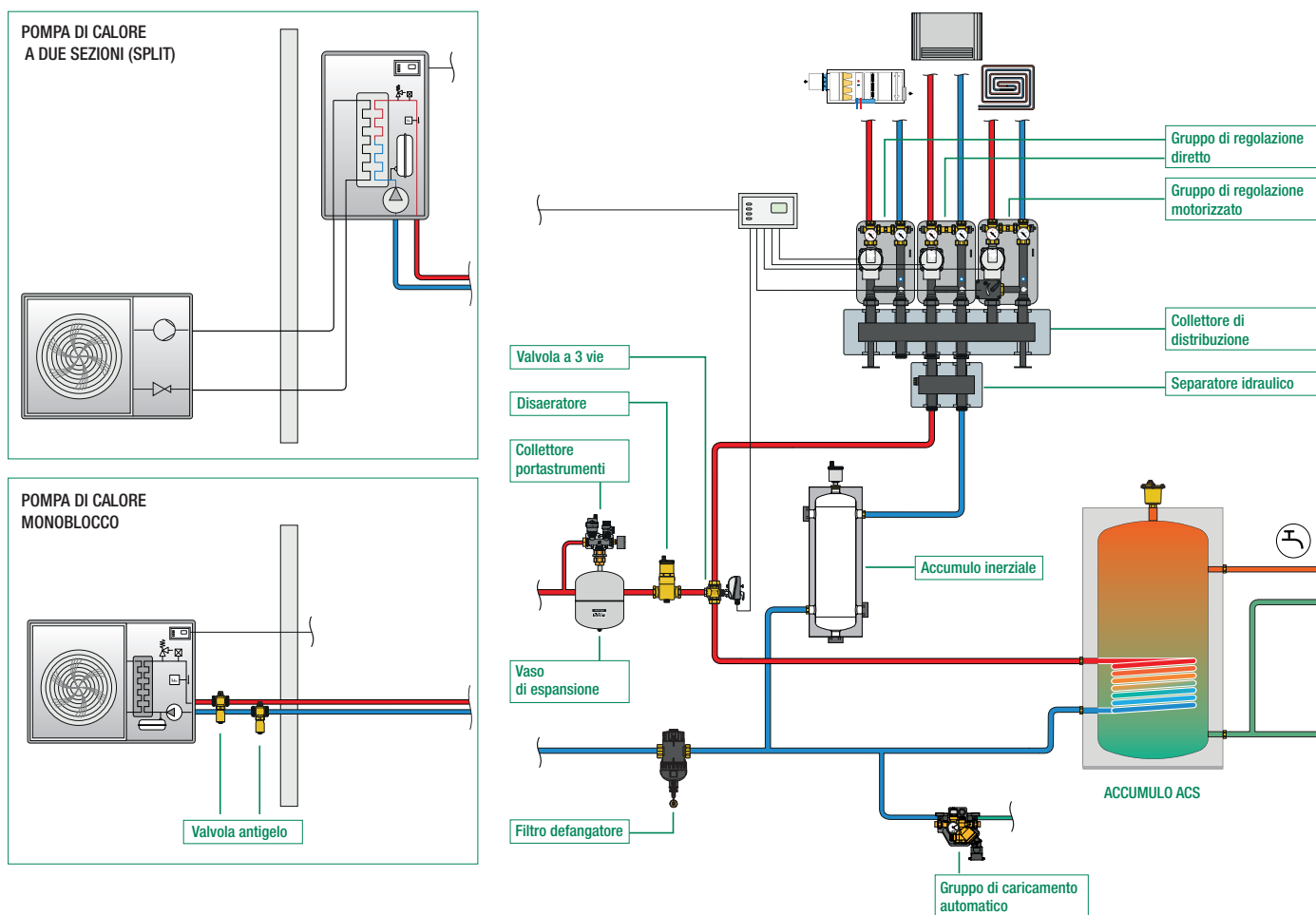


Fig. 41: Schema tipico di impianto a pompa di calore

## TERMINALI DI EMISSIONE

In un impianto a pompa di calore utilizzato in riscaldamento occorre dimensionare i terminali di emissione (corpi scaldanti) con la minima temperatura di mandata possibile. La scelta più semplice ricade sull'utilizzo di pannelli radianti, che siano a pavimento o a soffitto. I ventilconvettori non si abbinano molto bene alle pompe di calore poiché non è possibile abbassare la temperatura di mandata nelle mezze stagioni a causa della sensazione di aria fredda sulla pelle.

I nuovi standard di mercato delle pompe di calore garantiscono una temperatura dell'acqua di riscaldamento fino a 60–65 °C, senza bisogno di supporto di resistenze elettriche, anche con una temperatura esterna molto bassa di -20 °C. Ciò consente di abbattere i costi energetici e integrare anche i radiatori

(spesso già presenti nelle abitazioni) tra i possibili terminali di emissione.

Le pompe di calore aria-acqua sono inoltre in grado di produrre acqua refrigerata alle temperature normalmente utilizzate negli impianti di raffrescamento. Non vi sono particolari limiti nella scelta progettuale dei sistemi di condizionamento ad acqua associati a queste macchine.

## RADIATORI A BASSA TEMPERATURA

Possono essere utilizzati **solo in riscaldamento e solo se vengono ben dimensionati**. In un impianto completamente riquilibrato (sostituzione dei radiatori) la progettazione tiene conto della temperatura di mandata in modo da calcolare la superficie necessaria del nuovo radiatore.

Quando, invece, l'intervento si concentra solo sul generatore (con la sostituzione di una caldaia con una pompa

di calore) occorre verificare la potenza che i radiatori esistenti sono in grado di emettere alla nuova temperatura di mandata.

Facciamo un esempio con i seguenti dati:

- carico termico stanza = 700 W
- temperatura di mandata = 70 °C
- potenza singolo elemento radiatore in alluminio = 150 W (secondo EN 442).

Si calcola il numero di elementi del radiatore come rapporto tra il carico termico della stanza e la potenza del singolo elemento:  
 $700 / 150 = 5$  elementi.

Alimentando il radiatore a 40 °C, anziché 70 °C, si ottiene una resa inferiore (circa 85 W per singolo elemento). La resa totale del radiatore sarà pari a 428 W (85 W x 5 elementi) anziché i 700 W richiesti.

Per raggiungere la potenza richiesta si può operare in due modi diversi:

1. aumentare il numero di elementi fino a raggiungerla (se non sono eventualmente già sovradimensionati);
2. intervenire sulla struttura disperdente per abbassare il fabbisogno.

Spesso, infatti, in presenza di una sostituzione di generatore si interviene anche sull'isolamento della struttura disperdente tramite la realizzazione di cappotto termico, coibentazione di tetti e piano pilotis ed eventualmente la sostituzione di serramenti. Solo con questi interventi è possibile mantenere i radiatori esistenti con l'installazione di una pompa di calore.

### PAVIMENTO RADIANTE

Il sistema radiante, che sia a soffitto o a pavimento, rappresenta il connubio migliore con la pompa di calore ed è in grado di rendere l'impianto il più efficace ed economico possibile. La superficie estesa del sistema radiante garantisce il miglior comfort con una temperatura superficiale (e quindi di mandata della pompa di calore) più bassa rispetto a un radiatore.

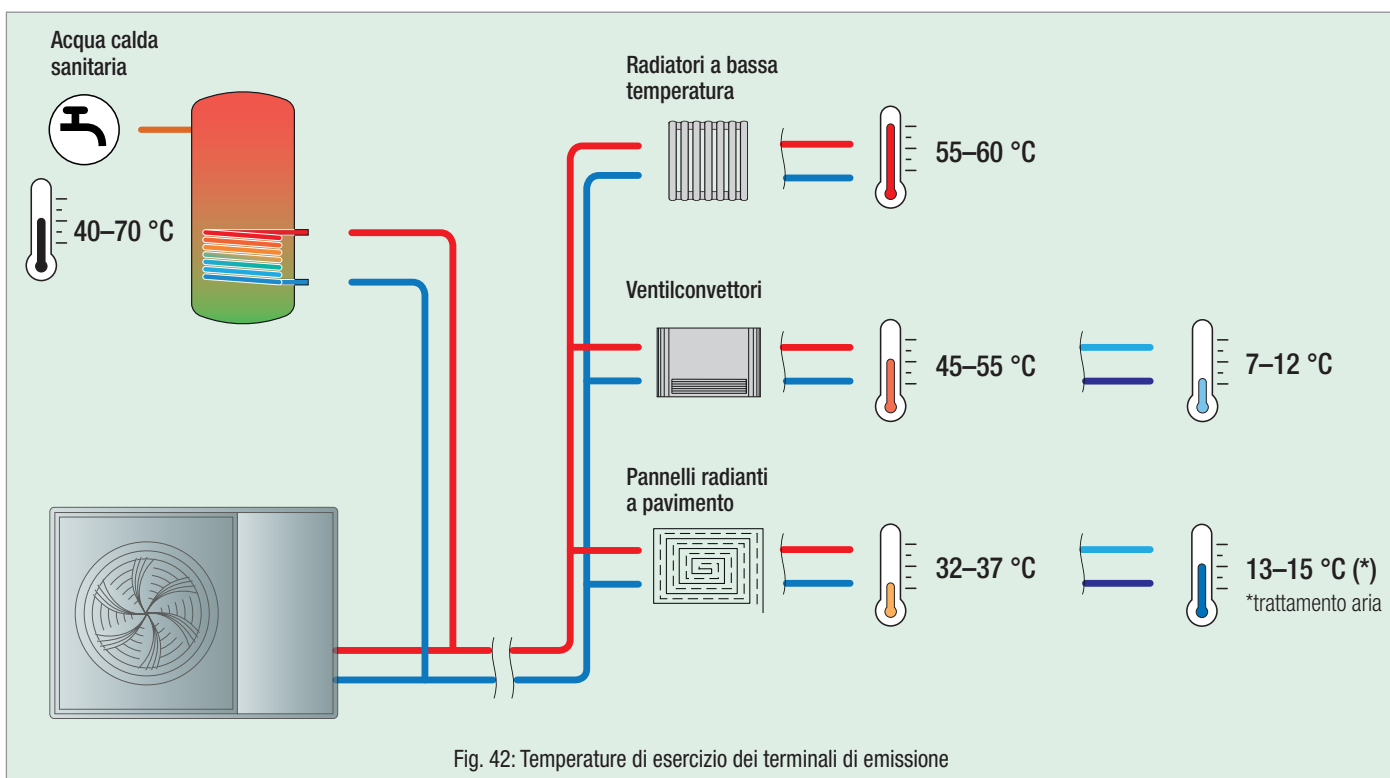
**In riscaldamento** le temperature tipiche di funzionamento sono tra i 35 e i 40 °C, ma talvolta ci si può spingere anche a temperature più basse infittendo il passo dei pannelli oppure utilizzando uno spessore ridotto del massetto. È possibile mantenere queste temperature di funzionamento solo se l'edificio è ben isolato, in quanto la potenza di emissione di un impianto radiante è legata alla superficie sulla quale è installato.

**In raffrescamento** consente di produrre acqua refrigerata a temperature più prossime a quelle richieste in ambiente. Il raffrescamento radiante, abbinato al relativo sistema di deumidificazione, permette di mantenere una temperatura maggiore in mandata ai terminali (13/15 °C in confronto ai 7/9 °C di un sistema tradizionale). Questo permette una resa maggiore del ciclo frigorifero. I sistemi radianti in raffrescamento hanno però alcune limitazioni tra cui una bassa potenza specifica, un'elevata inerzia e costi per il sistema di deumidificazione elevati che spesso non lo rendono economicamente vantaggioso.

### VENTILCONVETTORI

Il ventilconvettore può svolgere la doppia funzione di riscaldamento e raffrescamento e per questo potrebbe apparentemente risultare l'integrazione ideale alla pompa di calore. Tuttavia, **in riscaldamento**, i modelli più vecchi, alimentati a 65 °C non possono essere abbinati alle pompe di calore e, quelli attuali con temperatura di mandata tra i 45 e i 55 °C, sacrificano qualche punto di rendimento della macchina soprattutto nella mezza stagione.

**In raffrescamento** sfruttano l'acqua refrigerata per raffrescare e deumidificare in un'unica soluzione. Sono infatti dotati di un'apposita vaschetta che permette di raccogliere il vapore condensato durante la deumidificazione. Lavorano generalmente con una temperatura di mandata di 7 °C; è possibile innalzare le temperature dell'acqua entro un certo limite (fino alla temperatura di rugiada) in modo da garantire comunque una corretta deumidificazione degli ambienti.



## SEPARATORE IDRAULICO

Negli impianti che prevedono una pompa di rilancio si consiglia di separare il circuito primario da quello secondario attraverso un separatore idraulico. Questo, può essere costituito da un disgiuntore idraulico vero e proprio (volume di piccole dimensioni) oppure da un serbatoio inerziale installato come separatore. Entrambi sono in grado di dividere i due circuiti (primario e secondario) in quanto costituiti da una zona a ridotta perdita di carico. La loro funzione è quella di evitare che tra i circuiti stessi, a causa di variazioni

delle portate e delle prevalenze date dalle pompe di circolazione, possano insorgere interferenze e disturbi.

La scelta della tipologia di separatore è influenzata principalmente dalle portate massime in gioco nell'impianto.

È necessario, invece, installare un accumulo tecnico anziché un semplice compensatore idraulico nei seguenti casi:

- per garantire il contenuto minimo d'acqua (in impianti composti prevalentemente da ventilconvettori e radiatori);
- per aumentare l'inerzia termica dell'impianto in modo da ottenere

un migliore controllo in modulazione;

- quando è prevista l'installazione in parallelo di fonti di calore alternative alla pompa di calore (es. stufa a pellet);
- per ottimizzare il funzionamento durante il processo di sbrinamento evitando di immettere acqua fredda nell'impianto.

In presenza di un separatore idraulico o serbatoio inerziale è indispensabile bilanciare correttamente le portate dei due circuiti, primario e secondario.



### DIMENSIONAMENTO SEPARATORE IDRAULICO

Se  $G_{\text{PRIM}} = G_{\text{SEC}}$ , con buona approssimazione, si può ritenere che le temperature del primario e del secondario risultino uguali.

Se  $G_{\text{PRIM}} < G_{\text{SEC}}$ , la temperatura di mandata del secondario risulta inferiore a quella di mandata del primario. In un impianto a pompa di calore potrebbe non essere assicurata la temperatura corretta ai terminali.

Se  $G_{\text{PRIM}} > G_{\text{SEC}}$ , la temperatura di ritorno del primario (cioè quella di ritorno al generatore) risulta superiore a quella di ritorno del secondario. Invece, la temperatura di mandata al secondario (mandata ai terminali) rimane inalterata. Questo è il caso tipico di funzionamento degli impianti a pompa di calore che necessitano una portata costante e sufficiente durante tutto il funzionamento, con un salto termico ben definito.

Il separatore idraulico *si dimensiona con riferimento alla portata massima all'imbocco. Il valore scelto deve essere il maggiore tra la somma delle portate del circuito primario ( $G_{\text{PRIM}}$ ) e la somma delle portate del circuito secondario ( $G_{\text{SEC}}$ ).*

La separazione idraulica induce il ricircolo dell'acqua calda e un aumento della temperatura di ritorno del primario. In un impianto a PDC questo può causare cicli brevi di funzionamento della macchina degradandone le prestazioni. *La maggiorazione di portata al primario deve quindi essere controllata in modo che sia al massimo circa il 30 % in più del secondario.*

Misura	Portata [m³/h]
1"	2,5
1 1/4"	4,0
1 1/2"	6,0
2"	8,5

Tabella 4: Portata massima all'imbocco del separatore idraulico

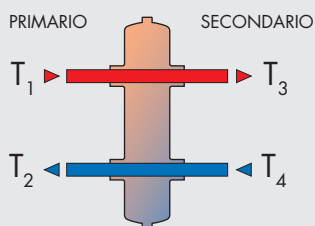
Misura	Portata [m³/h]
DN 50	9
DN 65	18
DN 80	28
DN 100	56
DN 125	75
DN 150	110
DN 200	180
DN 250	300
DN 300	420

$$G_{\text{PRIM}} = G_{\text{SEC}}$$



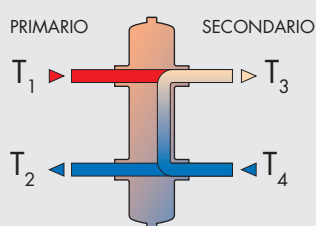
$$G_{\text{PRIM}} < G_{\text{SEC}}$$

$$G_{\text{PRIM}} > G_{\text{SEC}}$$



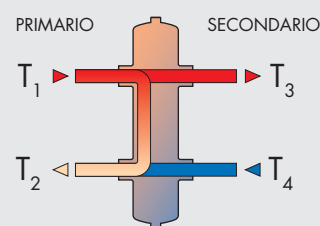
$$T_1 = T_3$$

$$T_2 = T_4$$



$$T_1 > T_3$$

$$T_2 = T_4$$



$$T_1 = T_3$$

$$T_2 > T_4$$

## ACCUMULO INERZIALE

Il volume di acqua minimo richiesto per il buon funzionamento è fondamentale per tutte le operazioni della pompa di calore (riscaldamento, raffreddamento e sbrinamento) e deve essere garantito anche nelle condizioni più sfavorevoli, ovvero con zone totalmente o parzialmente chiuse.

Per garantire dunque un volume d'acqua minimo alla pompa di calore è possibile installare un accumulo inerziale ponendo particolare attenzione alla sua collocazione e al suo dimensionamento.

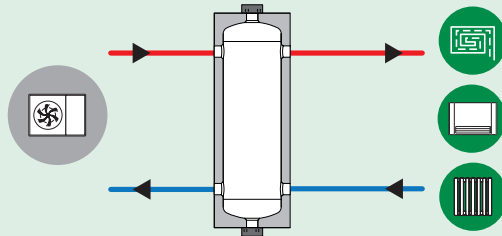
L'accumulo inerziale può essere **collegato come separatore idraulico** tra il primario ed il secondario, rendendo idraulicamente indipendenti i due circuiti. Questo tipo di configurazione garantisce una riserva energetica per le utenze e dunque una maggiore inerzia ai terminali di emissione in caso di spegnimento della macchina.

In alternativa, può essere **installato in linea sul ritorno** dell'impianto, ad esempio in impianti senza circuito di rilancio. Sulle macchine ON/OFF e su quelle con inverter obsoleti questa disposizione permette di diminuire il numero di cicli del compressore, garantendo meno sollecitazioni alla macchina. È garantita la temperatura minima di ritorno dell'acqua al generatore per le operazioni di sbrinamento dell'evaporatore.

L'accumulo tecnico **collocato sulla mandata** svolge la medesima funzione di volano termico sul ritorno ma, fungendo da riserva energetica per il sistema di emissione, necessita un maggiore tempo per ultimare la messa a regime dell'impianto.

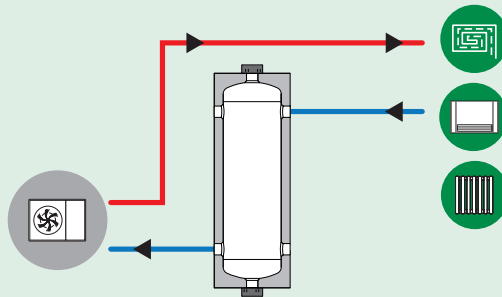
È possibile, infine, installare l'accumulo tecnico nella **versione a tre tubi**. Simile alla versione come separatore idraulico, permette di compensare idraulicamente i circuiti e allo stesso tempo fornisce un serbatoio energetico a servizio delle utenze. La differenza sostanziale è dettata dalla presenza di un collegamento diretto dalla macchina alle utenze che permette una messa a regime rapida.

### ACCUMULO INERZIALE COME DISGIUNTORE TERMICO



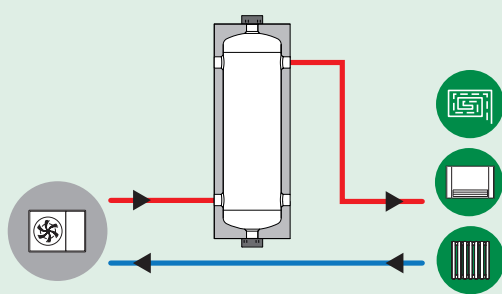
- Separazione dei circuiti e volano inerziale (2 in 1).
- Accumulo più efficiente.
- Temperatura dell'impianto più omogenea durante lo sbrinamento.
- Possibilità di utilizzare un salto termico sul secondario diverso da quello della pompa di calore.

### ACCUMULO INERZIALE INSTALLATO SUL RITORNO



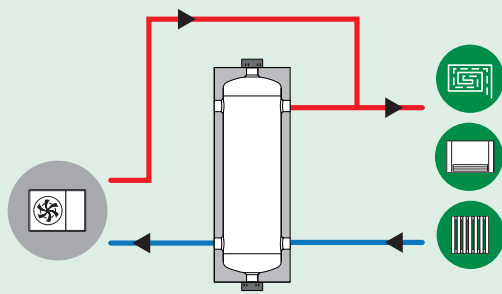
- Messa a regime più immediata.
- Separatore idraulico, o by-pass a valle dell'accumulo, necessario.
- Sulle macchine ON/OFF e su quelle con inverter obsoleti questa disposizione permette di diminuire il numero di cicli del compressore.
- Temperatura minima di ritorno dell'acqua al generatore garantita per le operazioni di sbrinamento dell'evaporatore.

### ACCUMULO INERZIALE INSTALLATO SULLA MANDATA



- Sulle macchine ON/OFF e su quelle con inverter obsoleti questa disposizione permette di diminuire il numero di cicli del compressore.
- Viene garantita la continuità di temperatura agli emettitori.
- Contenuto minimo garantito durante i cicli di sbrinamento.
- Separatore idraulico, o by-pass a valle dell'accumulo, necessario.

### ACCUMULO INERZIALE VERSIONE A 3 TUBI



- Separazione dei circuiti e volano inerziale (2 in 1).
- Viene garantita la continuità di temperatura agli emettitori.
- Temperatura dell'impianto più omogenea durante lo sbrinamento.
- Collegamento diretto macchina-utenze.
- Possibilità di utilizzare un salto termico sul secondario diverso da quello della pompa di calore.
- Messa a regime più immediata.

Fig. 43: Collegamenti possibili su accumulo inerziale



## DIMENSIONAMENTO ACCUMULO INERZIALE

Il volume dell'accumulo inerziale dipende dal volume minimo di acqua richiesto dal produttore per garantire il corretto funzionamento della macchina anche nelle fasi di sbrinamento. Tale valore viene influenzato dalle caratteristiche dell'impianto, dalla sua estensione e dalla modalità di gestione (presenza della valvola di by-pass) e deve essere garantito al netto del contenuto di acqua della pompa di calore e del sistema di emissione: infatti, con una regolazione a zona a 2 vie il contenuto di acqua del sistema di emissione viene escluso dal volume totale dell'impianto al raggiungimento della temperatura ambiente.

Il volume minimo di acqua può essere calcolato in base alla potenza della macchina: **generalmente si può assumere un valore pari a 5-7 litri al kW termico**. In ogni caso è indispensabile seguire le indicazioni del produttore.

## TRATTAMENTO ACQUA

Per quanto riguarda il trattamento dell'acqua, un impianto a pompa di calore si comporta come un impianto tradizionale a caldaia ed è soggetto agli stessi obblighi legislativi (in Italia rappresentato dal Decreto Requisiti Minimi del 2015). Inoltre molti produttori richiamano, all'interno della documentazione tecnica, il rispetto di questi obblighi per il mantenimento della garanzia. Infine, mantenere la qualità dell'acqua idonea alla circolazione nell'impianto può consentire un risparmio energetico dell'impianto di oltre l'8-10 %.

### ELIMINAZIONE DELL'ARIA

La presenza di un dispositivo di disaerazione è obbligatoria in ciascun circuito chiuso. Occorre, quindi, installare a valle della pompa di calore un disaeratore e non è sufficiente una valvola sfogo aria, ad eccezione di impianti con contenuto d'acqua inferiore ai 300 litri.

### ELIMINAZIONE DELLE IMPURITÀ

Molte pompe di calore presenti sul mercato sono equipaggiate con un filtro, immediatamente a monte dell'attacco di ingresso dell'acqua nello scambiatore a piastre. In assenza di questo le scaglie, i detriti e le impurità presenti nell'impianto potrebbero intasare lo scambiatore e provocare la corrosione di altri componenti. Tuttavia, per evitare che l'eccessivo sporco del filtro interno alla macchina causi diminuzione della portata del circuito e perdite di carico aggiuntive, è opportuno installare un filtro defangatore sulla linea di ritorno verso il generatore. In questo modo le impurità vengono trattenute dal filtro-defangatore esterno, più facilmente manutenibile.



## DIMENSIONAMENTO DISAERATORI - DEFANGATORI

Disaeratori e defangatori si dimensionano in base alla velocità massima raccomandata del fluido agli attacchi del dispositivo.

**Velocità massima = 1,2 m/s**

Per praticità si sceglie la misura del dispositivo sulla base della portata massima raccomandata per garantire un funzionamento efficace del dispositivo.

### DISAERATORI E DEFANGATORI

DN	20	25	32	40
Attacchi	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"
l/min	22	35	58	90
m³/h	1,36	2,11	3,47	5,42

Tabella 5: Portate massime raccomandate per disaeratori e defangatori



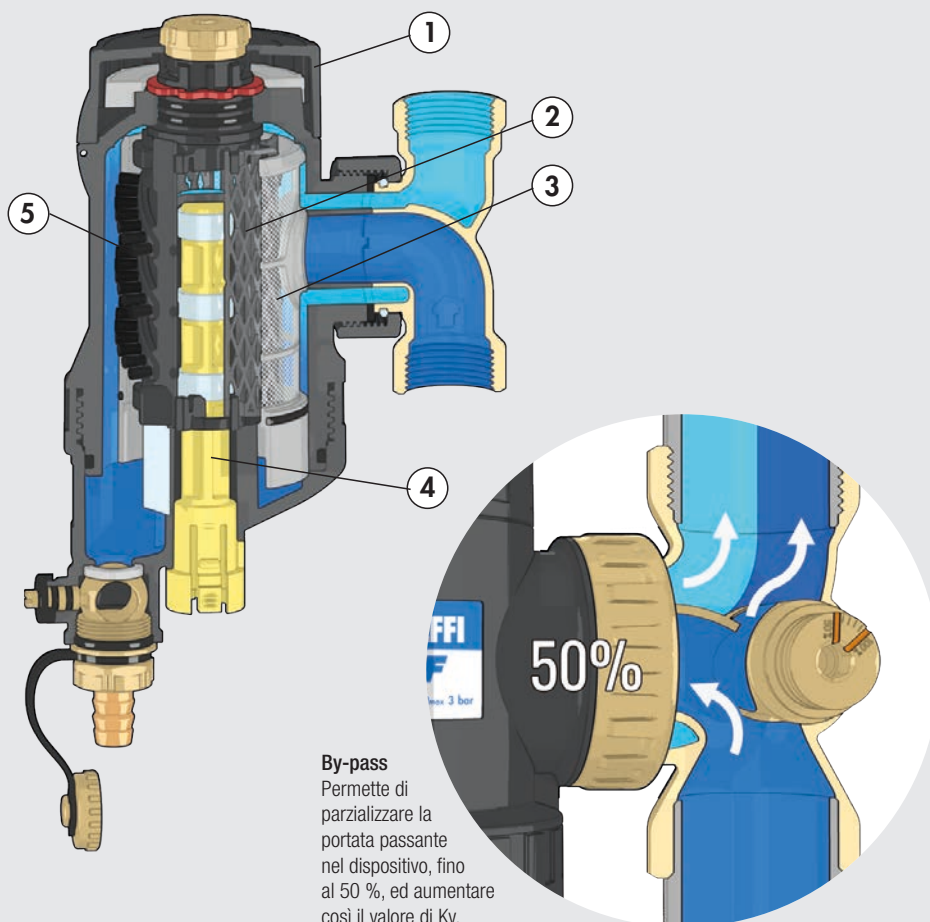
- Elevata capacità filtrante*
- Attrazione magnetica delle impurità ferrose*
- Corpo in tecnopolimero*
- Orientabile per installazioni su tubazioni orizzontali o verticali*
- Spazzole interne per pulizia maglia filtrante*
- By-pass regolabile (solo nella versione DN 40 e DN 50)*

Il filtro defangatore magnetico CALEFFI XF separa le impurità presenti nell'impianto minimizzando il problema dell'intasamento della maglia filtrante. Il funzionamento si basa sull'azione di tre elementi distinti per garantire una protezione continua del generatore e dei dispositivi dalle impurità che si formano nel circuito idraulico, sia in fase di avvio impianto sia in normali condizioni di esercizio. L'acqua dell'impianto passa prima attraverso l'**elemento interno reticolare** (2) che separa le impurità più grossolane per collisione, facendole precipitare nell'ampia camera di raccolta inferiore. Successivamente, il **magnete centrale** (4) trattiene tutte le impurità ferrose fino alle più piccole. Infine, l'acqua attraversa il **filtro in uscita** (3) che, grazie all'elevata superficie filtrante e alla mesh molto fine (0,16 mm), garantisce la cattura di tutte le impurità residue non bloccate dai primi due elementi.

Non sono necessarie valvole di intercettazione per effettuare la manutenzione, poiché il dispositivo è dotato di un meccanismo di **pulizia della maglia filtrante attraverso spazzole interne** (5). Ruotando la manopola superiore (1) le spazzole puliscono internamente il filtro, facendo precipitare le impurità nella parte inferiore del componente.

L'installazione è semplice e versatile grazie alla possibilità di **installazione su tubazioni orizzontali o verticali**.

Le misure più grandi (DN 40 e DN 50) sono dotate di un **by-pass** che permette di parzializzare la portata passante nel dispositivo, fino al 50 %, aumentare così il valore di Kv e ridurre l'energia utilizzata dal circolatore.



**By-pass**  
Permette di parzializzare la portata passante nel dispositivo, fino al 50 %, ed aumentare così il valore di Kv.

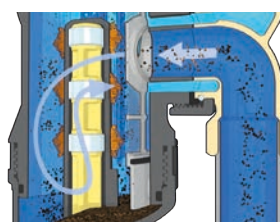
**Elemento interno reticolare a raggiera**

Favorisce la precipitazione delle impurità nella parte inferiore del corpo.



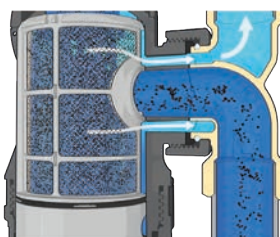
**Magnete centrale**

Cattura la magnetite e le impurità ferrose fino alle dimensioni più piccole.



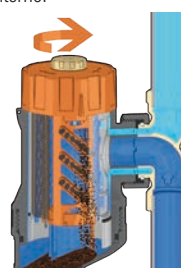
**Maglia filtrante**

Trattiene le impurità residue mediante selezione meccanica delle particelle in base alla loro dimensione.



**Spazzole interne**

Ruotando la manopola posta sulla parte superiore del componente è possibile pulire il filtro interno.



## CONDIZIONAMENTO CHIMICO

Il condizionamento chimico di un impianto di riscaldamento o raffrescamento è sempre obbligatorio, con qualsiasi potenza o durezza dell'acqua. Il riempimento di un impianto deve essere fatto con acqua che rispetta i criteri e parametri di potabilità. Terminato il riempimento è obbligatorio eseguire il lavaggio dell'impianto e, successivamente, inserire un protettivo anticorrosivo e antincrostante per mantenere alta l'efficienza degli impianti.

Una particolare attenzione meritano gli impianti termici recenti a pompa di calore, che sfruttano le basse temperature del fluido vettore ma che, proprio per questo, possono favorire la formazione di residui biologici negli impianti. In tal caso risulta indispensabile l'utilizzo di un biocida unitamente al protettivo. Il biocida è utile per la prevenzione e il controllo della crescita microbica su un ampio spettro di batteri e altri microrganismi presenti nelle acque di climatizzazione.

## VALVOLA DI ZONA A 3 VIE

Le valvole deviatrici motorizzate permettono la gestione del flusso tra l'impianto di climatizzazione e quello sanitario. La gestione è generalmente affidata all'elettronica della pompa di calore stessa, tramite una sonda installata sul bollitore sanitario.

La deviazione del flusso è pienamente efficace quando non vi è trafileamento e quando il tempo di manovra è ridotto. Proprio per questo motivo le valvole deviatrici a 3 vie a sfera, grazie alla loro conformazione, risultano preferibili rispetto a quelle a pistone.

La valvola motorizzata deve avere un **tempo di manovra** possibilmente di circa 10 secondi, e comunque non superiore a 50 secondi, in modo tale da ottimizzare le operazioni di produzione ACS.

### DOSAGGIO CONDIZIONANTI CHIMICI

Il Decreto Ministeriale 26/06/2015 prevede sempre l'inserimento di condizionanti chimici all'interno degli impianti di riscaldamento, indipendentemente dalla potenza del generatore installato.

*Si dosano in funzione del volume di acqua presente nell'impianto.*

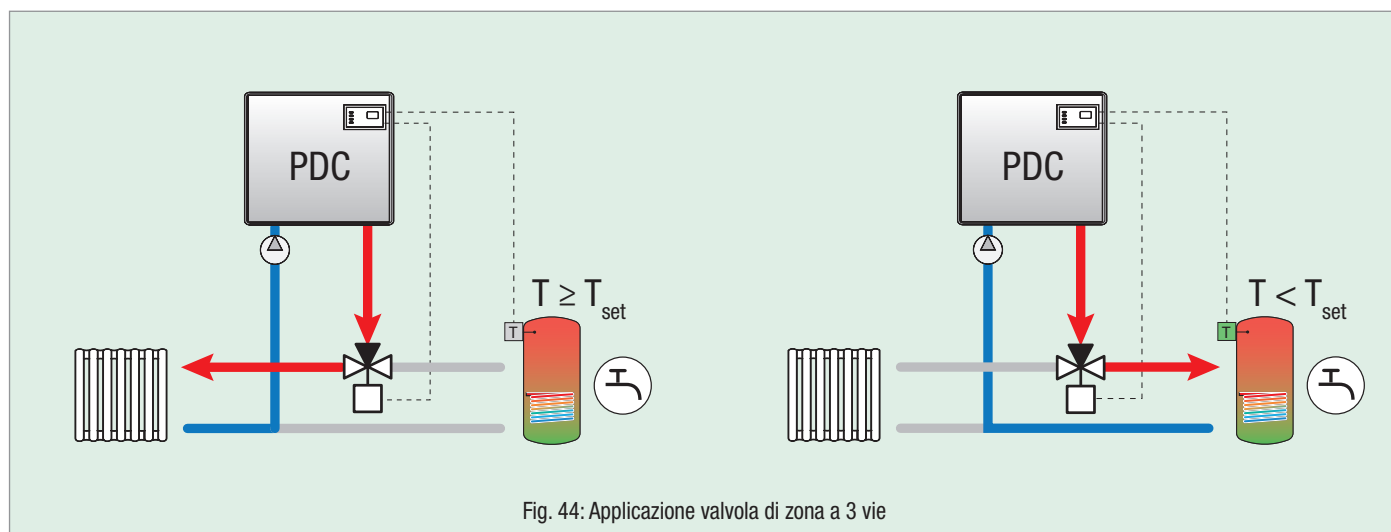
### DIMENSIONAMENTO VALVOLA 3 VIE

Essendo una valvola deviatrici viene *dimensionata in base al Kv*, l'unico valore di interesse in modo che la perdita di carico sia adeguata a quella disponibile nell'impianto. Si considerano i seguenti valori medi di perdita di carico:

- 200–300 mm c.a. (impianto a bassa perdita di carico)
- 500–600 mm c.a. (impianto ad alta perdita di carico)

DN	20	25	32	40
Attacchi	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"
Kv	9	12	25	47

Tabella 6: Valori medi Kv



## IMPIANTO MONOFASE O TRIFASE?

Le pompe di calore in genere, ma in modo più marcato le pompe di calore aria-acqua, presentano consumi elettrici considerevoli. Per questo motivo è necessario porre attenzione nella scelta della taglia della macchina (si veda “Il dimensionamento delle pompe di calore” pag. 30), nella scelta dei componenti accessori ad alto assorbimento elettrico, come le resistenze di integrazione, e nella gestione e regolazione del riscaldamento.

Oltre al consumo di picco è necessario porre attenzione alla tipologia di alimentazione elettrica: le pompe di calore possono lavorare con alimentazione monofase (generalmente fino a potenze termiche nominali di 12 kW) oppure trifase (generalmente per assorbimenti superiori i 9 kW).

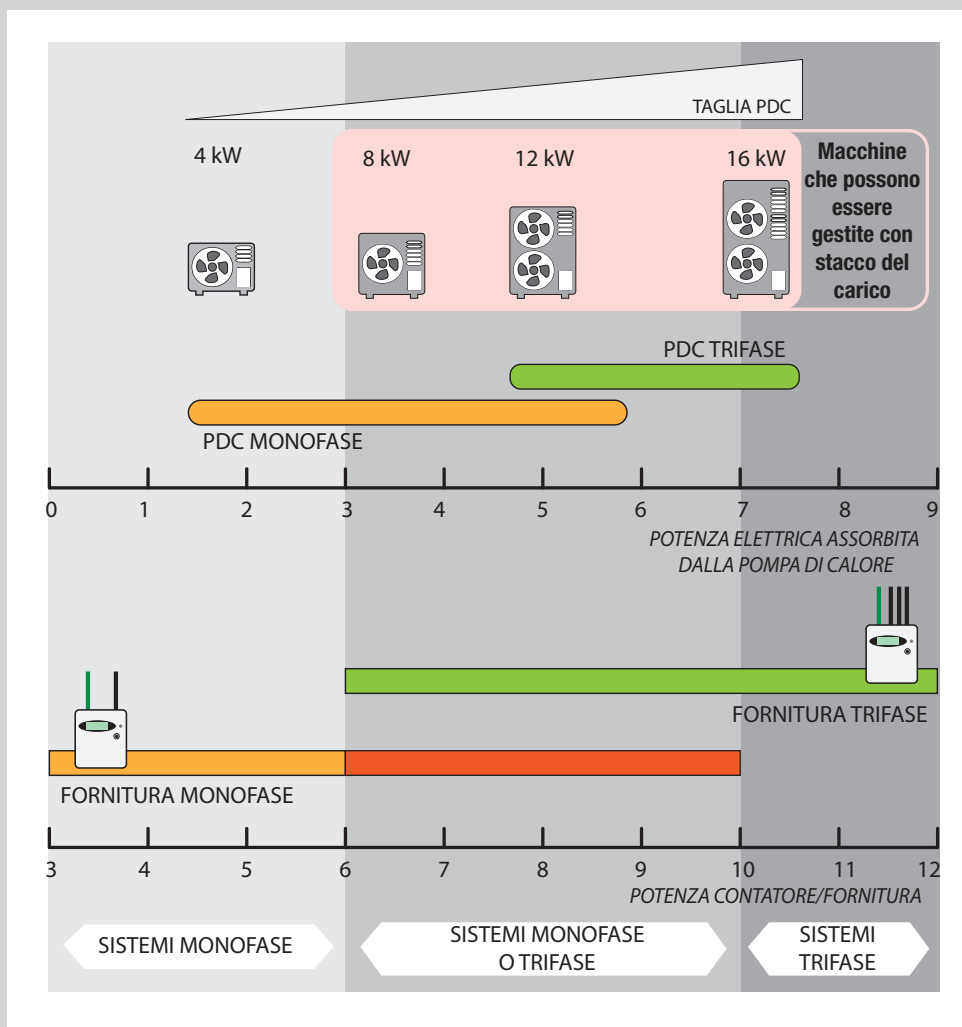
In Italia le tipologie di utenze elettriche domestiche possono essere sia monofase sia trifase. Le forniture monofase sono garantite fino a 6 kW ma in alcuni casi risultano estensibili fino a 10 kW previa valutazione e successiva autorizzazione dell'ente fornitore. Per assorbimenti maggiori di 6 kW è possibile avere la fornitura trifase, obbligatoria oltre i 10 kW.

Nella valutazione dell'impianto domestico è sempre preferibile privilegiare soluzioni monofase poiché risultano di più facile realizzazione e meno onerose nell'installazione. Inoltre gli elettrodomestici sono monofase, di conseguenza, in una fornitura trifase occorre suddividerli sulle tre fasi per avere carichi il più possibile equilibrati: su una fornitura da 9 kW non è possibile, ad esempio, derivare un impianto ad una singola fase da 9 kW. Sarà invece necessario suddividere i carichi su tre impianti monofase da 3 kW, da collegare ognuno ad una fase della fornitura. Questo rende ancora più onerosa la trasformazione di un impianto trifase in monofase.

Visto il limite di potenza delle forniture monofase e considerando che i normali consumi di un'abitazione sono di almeno 3 kW, è facile raggiungere il limite di fornitura per questo tipo di alimentazione durante il comune utilizzo degli apparecchi elettrici.

Va inoltre considerata la crescente diffusione di piani di cottura ad induzione, soprattutto in abbinamento all'installazione delle pompe di calore, in quanto permettono di evitare la fornitura di gas naturale; questi sistemi aggravano ancora di più la richiesta di potenza elettrica dell'utenza.

Da una prima analisi si potrebbe pensare che le pompe di calore con assorbimenti maggiori a 3-4 kW elettrici richiedano forniture trifase (o monofase maggiorate). È, tuttavia, possibile mantenere una potenza al contatore minore anche per pompe di calore con assorbimenti elettrici maggiori ricorrendo a sistemi di gestione del carico. Esistono infatti dei sistemi elettronici che possono spegnere momentaneamente dei carichi quando il consumo dell'abitazione raggiunge il limite di fornitura. I sistemi di gestione del carico sono perfettamente abbinabili con le pompe di calore aria-acqua in quanto un distacco momentaneo del generatore non porta ad alcun calo di comfort termico. Questo sistema diventa essenziale in tutti quei casi dove si vuole riqualificare l'impianto di riscaldamento e non è possibile, realizzare contemporaneamente il rifacimento dell'impianto elettrico.





## DISPOSITIVI PER IL MANTENIMENTO DELLA CIRCOLAZIONE

Nelle pompe di calore è necessario mantenere la circolazione attiva sullo scambiatore refrigerante/acqua per garantire un corretto smaltimento del calore rilasciato dagli scambiatori stessi e per sfruttare la massa d'acqua contenuta nell'impianto durante i cicli di sbrinamento.

Il blocco della circolazione o una portata insufficiente di acqua può determinare gravi malfunzionamenti portando talvolta a rotture di alcuni componenti della macchina. Per evitare queste problematiche, i produttori di pompe di calore prevedono l'utilizzo di flussostati che, attraverso un segnale, permettono alle macchine di arrestarsi in caso la portata scenda al di sotto di un valore limite di sicurezza.

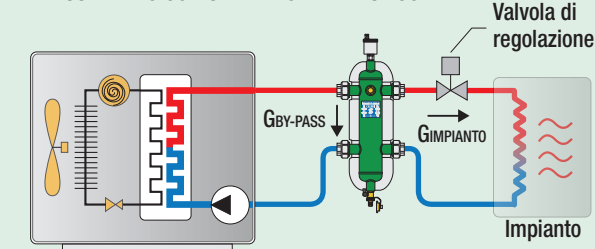
Per garantire la corretta circolazione alle pompe di calore si possono adottare i seguenti:

1. **Separatore idraulico.** È semplice e sicuro ma occorre bilanciare correttamente le portate tra primario e secondario (si veda "Separatore Idraulico" pag. 43). Necessita, inoltre, di sistemi di circolazione secondari. È il più utilizzato per le distribuzioni medio grandi.
2. **By-pass tarato con valvola di bilanciamento.** È adatto per piccole distribuzioni che non prevedono circuiti secondari. Tuttavia necessita di taratura e diminuisce la portata della pompa verso l'impianto di una quantità pari a quella convogliata nel by-pass. È preferibile utilizzare questo sistema quando i circolatori sono impostati a prevalenza costante, in modo da poter regolare la portata sfiorata attraverso la valvola di taratura.
3. **By-pass con AUTOFLOW®.** È una soluzione analoga alla precedente ma non richiede né taratura né prevalenza costante.
4. **By-pass con valvola di sfioro.** È una soluzione che permette di aprire la valvola di sfioro, facendo circolare acqua nel by-pass, solo quando la portata verso l'impianto diminuisce. Il sistema è adatto sia per circolatori a giri fissi sia a giri variabili impostati a prevalenza costante. In quest'ultimo caso è importante posizionare e tarare correttamente la valvola di sfioro, per evitare che rimanga o sempre aperta o sempre chiusa.

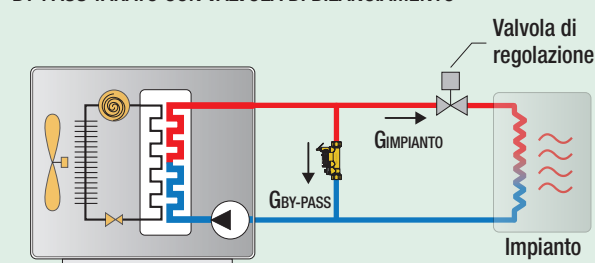
### DIMENSIONAMENTO

Si dimensionano sulla portata minima richiesta dalla pompa di calore.

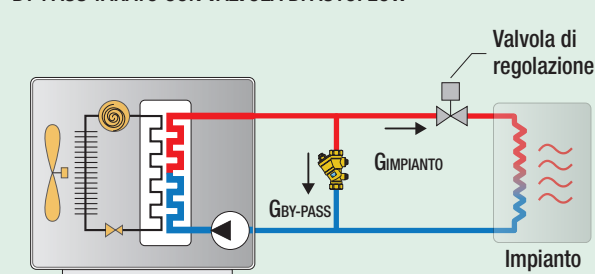
BY-PASS TARATO CON SEPARATORE IDRAULICO



BY-PASS TARATO CON VALVOLA DI BILANCIAMENTO



BY-PASS TARATO CON VALVOLA DI AUTOFLOW®



BY-PASS TARATO CON VALVOLA DI BY-PASS

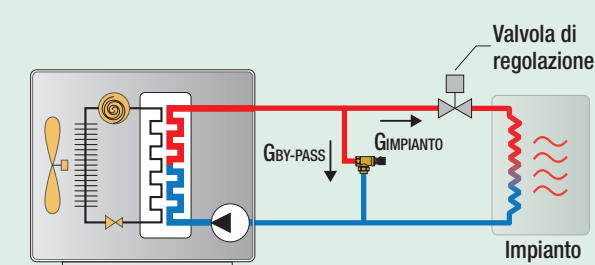


Fig. 45: Dispositivi per il mantenimento della circolazione

## VASO DI ESPANSIONE

Il vaso di espansione è un "recipiente" che viene collegato all'impianto termico e serve a limitare gli incrementi di pressione dovuti alla variazione di volume data dal riscaldamento/raffreddamento dell'acqua all'interno dell'impianto. È costituito da un contenitore suddiviso in due parti da una membrana: una riservata all'acqua dell'impianto, l'altra ad un gas il cui compito è quello di assorbire le variazioni di volume dell'acqua. La pressione di precarica del gas deve essere uguale alla pressione idrostatica dell'acqua nel punto di installazione maggiorata di 0,3 bar.

Solitamente le pompe di calore contengono un vaso di espansione: quando il volume di tale vaso non è sufficiente per l'impianto occorre installarne uno aggiuntivo.

### DIMENSIONAMENTO VASO DI ESPANSIONE

La capacità di un vaso di espansione chiuso a membrana (diaframma) per impianti di riscaldamento viene calcolata applicando la seguente formula:

$$V_n = \frac{e \cdot (V_a + V_v)}{1 - \frac{P_a}{P_e}}$$

Dove

**V<sub>n</sub>** = volume del vaso di espansione [litri], da calcolare

**V<sub>a</sub>** = contenuto di acqua dell'impianto [litri]

**V<sub>v</sub>** = minimo volume di acqua contenuto nel vaso a freddo, consigliato pari allo 0,5 % di V<sub>a</sub> (minimo 3 litri) [litri]

**V<sub>e</sub>** = volume di espansione dovuto al riscaldamento dell'acqua [litri]

**e** = coefficiente di espansione dell'acqua, calcolato in base alla massima differenza tra la temperatura dell'acqua ad impianto freddo (T<sub>1</sub>) e quella massima di esercizio (T<sub>2</sub>). Si calcola con la formula:

$$e = n/100$$

dove il coefficiente n è dato dalla formula:

$$n = 0,31 + 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot tm^2$$

**tm<sup>2</sup>** = temperatura massima ammissibile in gradi Celsius riferita all'intervento dei dispositivi di sicurezza

**P<sub>a</sub>** = pressione assoluta iniziale lato gas [bar] pari alla pressione P<sub>0</sub> più la pressione atmosferica (pari a 1 bar) più un eventuale Δp pompa\* relativo al circolatore

$$P_a = P_0 + 1 + [\Delta p \text{ pompa}]^*$$

Dove

**P<sub>0</sub>** = pressione di precarica vaso lato gas [bar] uguale alla pressione idrostatica nel punto di installazione (**P<sub>st</sub>**) aumentata di un valore di pressione cautelativo per assicurare che non vi siano depressioni nell'impianto

$$P_0 = P_{st} + 0,3 \text{ bar}$$

**Δp pompa\*** = il montaggio del vaso a valle del circolatore prevede che il calcolo di P<sub>a</sub> tenga in conto della prevalenza della pompa stessa [bar]

**P<sub>e</sub>** = pressione assoluta finale lato gas [bar], data dalla P<sub>er</sub> più la pressione atmosferica (pari a 1 bar)

$$P_e = P_{er} + 1 = P_{vs} - 0,5 \text{ bar [oppure } -10 \% P_{vs}] + 1$$

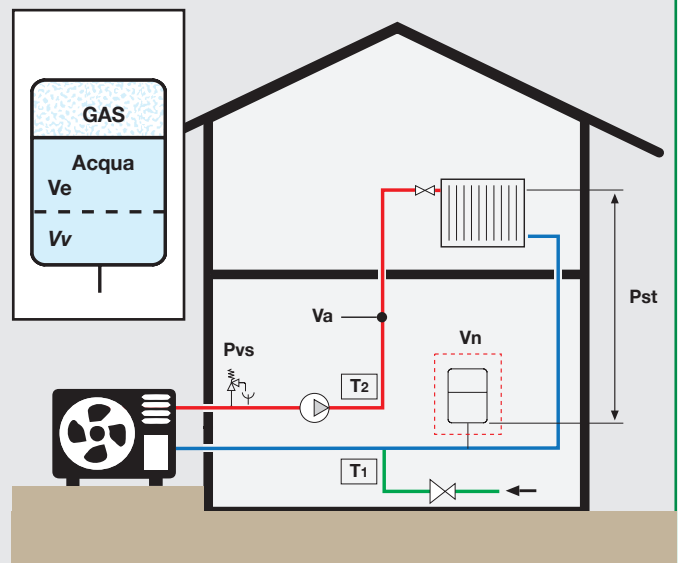
Dove

**P<sub>er</sub>** = pressione massima di esercizio dell'impianto lato gas [bar] ovvero P<sub>vs</sub> diminuita di un valore di pressione che previene l'apertura della valvola di sicurezza

$$P_{er} = P_{vs} - 0,5 \text{ bar (se } P_{vs} \leq 5 \text{ bar)}$$

$$P_{er} = P_{vs} - 10 \% P_{vs} \text{ (se } P_{vs} > 5 \text{ bar)}$$

**P<sub>vs</sub>** = pressione di taratura della valvola di sicurezza [bar]



Esempio:

Descrizione		Unità misura	Valore	
Volume impianto	V <sub>a</sub>	[litri]	200	DATI INPUT
Pressione idrostatica	P <sub>st</sub>	[bar]	0,6	
Pressione taratura V. Sic.	P <sub>vs</sub>	[bar]	2,5	
Pressione di riempimento	P <sub>r</sub>	[bar]	1,5	
Contenuto glicole	Gl	%	0	
Temperatura finale	T <sub>f</sub>	[°C]	65	
Coefficiente di espansione	e		0,017	DATI CALCOLO
Volume minimo vaso	V <sub>v</sub>	[litri]	3	
Pressione iniziale lato gas	P <sub>a</sub>	[bar]	1,9	
Pressione finale lato gas	P <sub>e</sub>	[bar]	3	
Pressione max. esercizio lato gas	P <sub>er</sub>	[bar]	2	
Pressione di precarica lato gas	P <sub>0</sub>	[bar]	0,9	
Temperatura iniziale	T <sub>i</sub>	[°C]	10	
Salto termico	DT	[°C]	60	
Coefficiente	n		1,7	
<b>Volume vaso espansione</b>	<b>V<sub>n</sub></b>	<b>[litri]</b>	<b>10</b>	



## DIMENSIONAMENTO VASO DI ESPANSIONE

Negli impianti a pompa di calore è possibile dimensionare approssimativamente il **volume necessario per l'espansione considerando quest'ultimo come circa il 5 % del volume massimo dell'impianto.**





Il valore pari al 5 % è stato valutato con le seguenti ipotesi:

- taratura delle valvole di sicurezza = 2,5 bar
- pressione di precarica del vaso = 0,9 bar
- temperatura massima = 65 °C (limite fisico della macchina) in presenza di acqua senza glicole
- stima del contenuto di acqua per tipologia di impianto.

Per semplicità di calcolo è possibile far riferimento alla tabella 7 nella quale si riporta il volume minimo del vaso di espansione necessario. **In macchina solitamente è presente un vaso da 6–8 litri. Se tale capacità non è sufficiente, deve essere installato un vaso supplementare nell'impianto, per coprire la differenza.**

$$V_{\text{minimo}} = V_{\text{vaso macchina}} + V_{\text{vaso aggiuntivo}}$$

**Attenzione: se sono presenti resistenze integrative il volume necessario per l'espansione è circa il 10 % del volume massimo dell'impianto.** La temperatura massima di calcolo deve infatti essere assunta pari a 100 °C.

TIPOLOGIA TERMINALI	 23 l/kW	 ghisa 14 l/kW	 acciaio 11 l/kW	 8 l/kW
Pot. nom. PDC [kW]	V <sub>MIN</sub> v. esp. [litri]	V <sub>MIN</sub> v. esp. [litri]	V <sub>MIN</sub> v. esp. [litri]	V <sub>MIN</sub> v. esp. [litri]
3	4	2	2	2
4	5	3	3	2
5	6	4	3	2
6	7	4	4	3
7	8	5	4	3
8	9	6	5	3
9	10	6	5	4
10	11	7	6	4
11	12	8	6	5
12	13	8	7	5
14	16	10	8	6
16	18	11	9	6
18	20	12	10	7
22	24	15	12	9
25	27	17	13	10

 Volume di espansione solitamente compreso nella macchina.

Tabella 7: Volume minimo vaso espansione in un impianto con PDC aria-acqua.

## PROTEZIONE ANTIGELO

### DURANTE IL NORMALE FUNZIONAMENTO

Le pompe di calore sono dotate di una funzione intrinseca antigelo a protezione dello scambiatore di calore gas/acqua e delle tubazioni del circuito idraulico. Quando la pompa di calore è spenta e la temperatura esterna scende al di sotto di un valore critico viene acceso il circolatore della macchina per mantenere in movimento l'acqua tecnica in modo da evitare il congelamento della stessa. Se in tali condizioni la temperatura dell'acqua in circolo scende al sotto di un limite impostato per sicurezza, viene attivato a supporto anche il compressore per innalzare la temperatura del fluido fino ad un valore ottimale.

Un altro sistema di protezione antigelo consiste nel collocare una resistenza elettrica sul lato dello scambiatore che lavora con l'aria esterna. In questo modo, in determinate condizioni di temperatura esterna, è possibile riscaldare in modalità diretta la superficie dello scambiatore per sciogliere la brina che si forma su di esso.

In caso di assenza della resistenza, o in sua aggiunta, talvolta viene richiesto dalle case produttrici un cavo scaldante alimentato elettricamente a protezione delle tubazioni idroniche esposte agli agenti atmosferici.

### IN ASSENZA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA

In caso di mancanza di corrente elettrica si possono utilizzare i seguenti sistemi di sicurezza:

- **glicole.** In tutte le tipologie di pompe di calore è possibile aggiungere glicole all'acqua. La concentrazione del liquido antigelo deve essere verificata ciclicamente con controllo periodico di tenuta dell'impianto per evitare possibili perdite in ambiente (composto tossico); in caso di necessità deve essere reintegrato. L'aggiunta di glicole genera un aumento delle perdite di carico a causa dell'elevata viscosità del prodotto. Inoltre, se il glicole raggiunge alte temperature può decomporre diventando corrosivo per l'impianto.
- **valvole di protezione antigelo,** solo in presenza di pompa di calore monoblocco (o hydrosplit) quando non si utilizza glicole.

## VALVOLE ANTIGELO

La valvola antigelo è un sistema di protezione passivo che permette lo scarico dell'acqua contenuta nel circuito. Quando la temperatura dell'acqua nella tubazione scende al di sotto dei 3 °C l'otturatore della valvola antigelo si apre e provvede allo scarico dell'acqua (indispensabile un gruppo di riempimento attivo). La chiusura dell'otturatore avviene quando la temperatura del fluido torna a 4 °C.

Il dispositivo deve essere installato solo in posizione verticale nella parte bassa delle tubazioni, evitando i collegamenti a sifone e mantenendo una distanza di almeno 15 cm dal terreno, al fine di evitare che la formazione dell'eventuale colonna di ghiaccio nella zona sottostante impedisca la fuoriuscita di acqua dalla valvola.

In caso di utilizzo di valvole di protezione antigelo occorre impostare il set-point minimo in funzione raffreddamento di almeno 2 °C più alto della temperatura nominale di scarico della valvola. In caso contrario, la valvola antigelo potrebbe scaricare durante il funzionamento della pompa di calore in modalità raffreddamento.

Sul mercato, per ovviare a questa problematica, si sono affacciate tipologie di valvole antigelo complete di sensore aria per la gestione del funzionamento nella stagione estiva. In condizioni di temperatura esterna superiore a 5 °C, l'intervento della valvola antigelo viene inibito grazie alla presenza di un sensore di temperatura aria. Si evita l'intervento della valvola durante il funzionamento in raffreddamento nella stagione estiva.



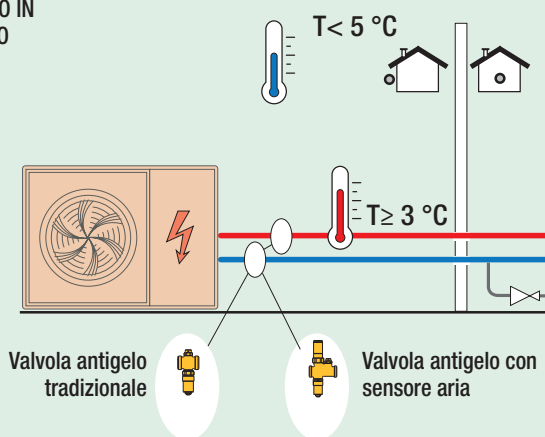
### DIMENSIONAMENTO VALVOLA ANTIGELO

La portata di scarico non dipende dalla dimensione della valvola ma solo dalla dimensione della tubazione.

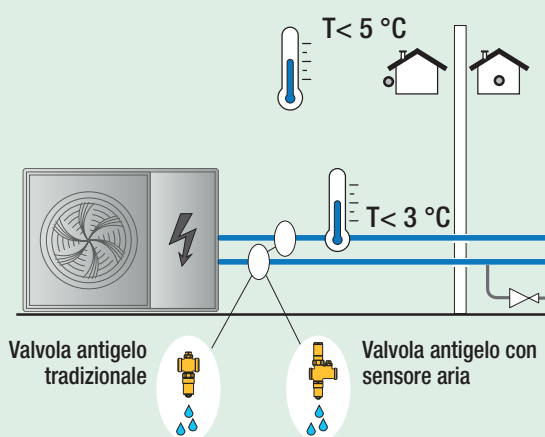
*Si sceglie la dimensione della valvola in funzione della tubazione.*

## FUNZIONAMENTO INVERNALE

### FUNZIONAMENTO IN RISCALDAMENTO

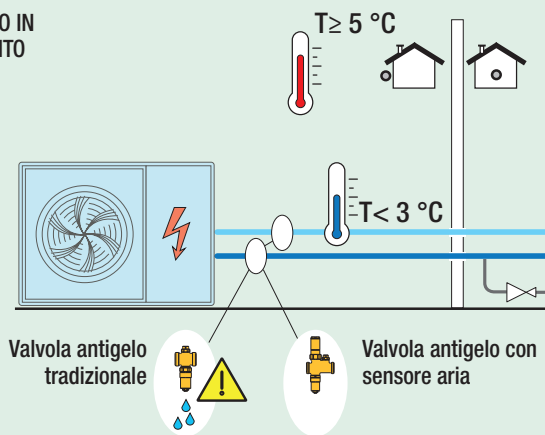


### MANCANZA DI ELETTRICITÀ



## FUNZIONAMENTO ESTIVO

### FUNZIONAMENTO IN RAFFRESCAMENTO



### FUNZIONAMENTO IN RAFFRESCAMENTO

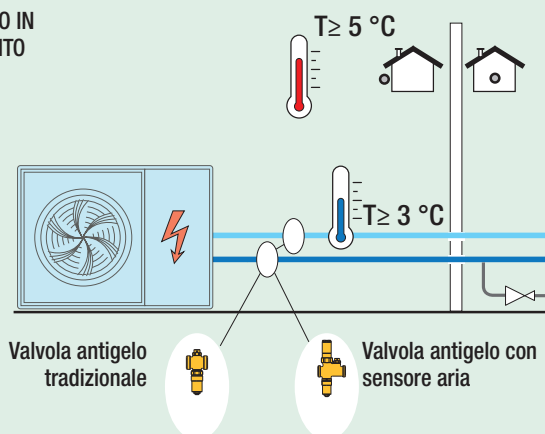


Fig. 46: Funzionamento valvola antigelo tradizionale e valvola antigelo con sensore aria

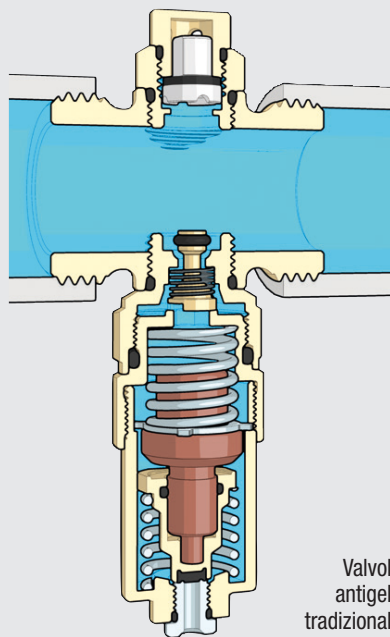


- Protezione dell'impianto dal gelo
- Funzionamento meccanico
- Facile installazione
- Sensore aria per funzionamento estivo
- Evita l'utilizzo di glicole

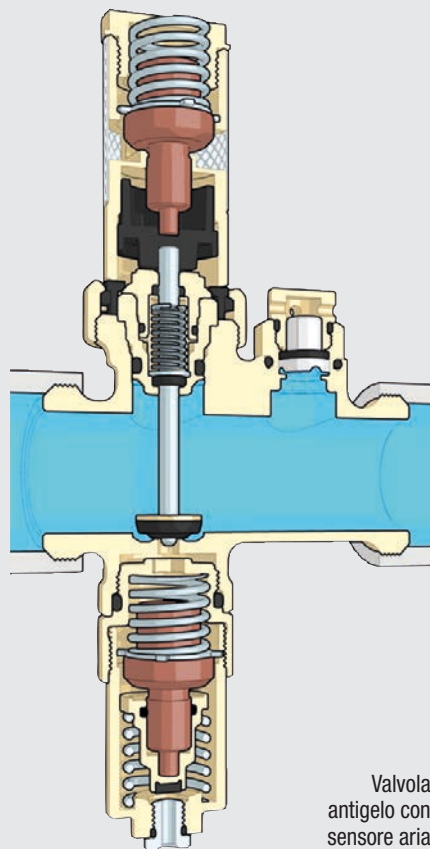
La valvola antigelo permette lo **scarico dell'acqua** del circuito quando la temperatura della stessa raggiunge i **3 °C**. Questo valore è tipico della stagione invernale, nella particolare condizione di **mancanza di alimentazione elettrica alla macchina**.

Durante il funzionamento estivo, quando la temperatura di mandata in funzione raffreddamento è al di sotto dei 3 °C, la **valvola antigelo tradizionale** scarica l'acqua nonostante il funzionamento della macchina sia corretto.

Per ovviare a questo inconveniente è preferibile utilizzare la **valvola antigelo con sensore aria** esterna. In condizioni di temperatura esterna superiore a 5 °C, ma con acqua all'interno delle tubazioni ad una temperatura < 3 °C, l'intervento della valvola antigelo viene inibito dal sensore di temperatura aria. Si evita così l'intervento della valvola durante il funzionamento in raffreddamento nella stagione estiva.

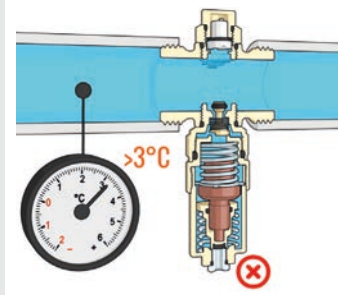


Valvola antigelo tradizionale

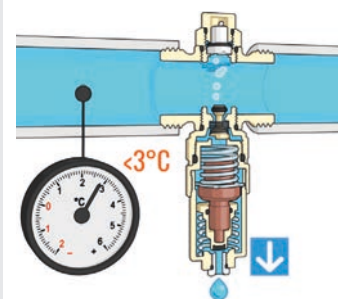


Valvola antigelo con sensore aria

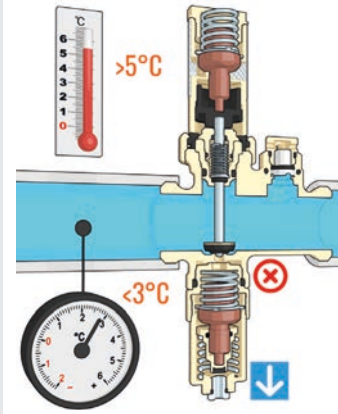
**Valvola antigelo tradizionale**  
Funzionamento invernale con  
TACQUA ≥ 3 °C



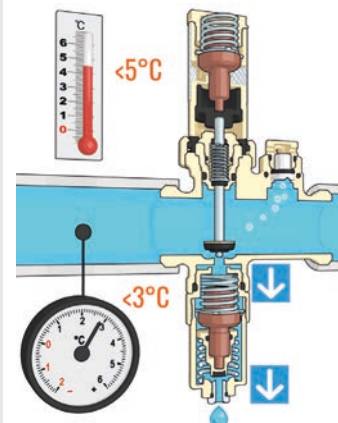
**Valvola antigelo tradizionale**  
Funzionamento invernale con  
TACQUA < 3 °C



**Valvola antigelo con sensore aria**  
Funzionamento invernale con  
TACQUA < 3 °C e TARIA > 5 °C



**Valvola antigelo con sensore aria**  
Funzionamento invernale con  
TACQUA < 3 °C e TARIA < 5 °C



# AVETE UN APPUNTAMENTO CON NOI: MOSTRA CONVEGNO 2022 - MILANO TORNIAMO A INCONTRARCI IN FIERA

## Siamo davvero emozionati

Dopo tre anni di totale assenza dalle manifestazioni fieristiche internazionali, **torniamo a esporre a MCE – Mostra Convegno Expocomfort**, una delle piattaforme mondiali più prestigiose per il comfort abitativo, che si terrà a Milano dal 28 Giugno al 1 Luglio.

**Stesso posto, stesse modalità, ma un nuovo messaggio e ancora più entusiasmo. E abbiamo anche un nuovissimo stand!**

MCE è un grande passo avanti per tutto il settore.

È la prima manifestazione internazionale del comparto HVAC a svolgersi dopo l'interruzione forzata e c'è indubbiamente grande attesa.

Noi di Caleffi non abbiamo esitato nemmeno un secondo ad aderire a questa opportunità di tornare in presenza e in contatto diretto con voi, con il nostro pubblico.

## Ci siete mancati

**Ci è mancato il potervi coinvolgere attraverso il contatto diretto, per noi insostituibile.** È dallo scambio di energie che traiamo slancio. Lo diciamo sempre: lo scambio arricchisce, perché porta la conoscenza su un doppio binario ed è sempre un'occasione per crescere. E noi non vediamo l'ora di tornare a crescere insieme a voi.

Stiamo lavorando per essere pronti ad accogliervi nella massima sicurezza. Ci saranno novità interessanti, ma non vogliamo darvi troppe anticipazioni! Nei prossimi mesi troverete aggiornamenti pre-fiera sul nostro sito e sui nostri canali social.

Mostra Convegno sarà la vetrina per presentare al meglio i nostri prodotti e mettere a disposizione il nostro flowing expertise. Ma sarà anche l'occasione di incontro per eccellenza di quest'anno **per tornare a stare vicini, guardando una delle nostre soluzioni in esposizione o, perché no, prendendo un buon caffè insieme.**

## Abbiamo un appuntamento

Segnatevelo a calendario.

**MCE 2022 a Milano - 28 Giugno/1 Luglio 2022**

**PAD. 7 - STAND A41/51 C42/52.**



## Seguiteci sui social

Troverete anticipazioni, inviti, istruzioni per farci visita a MCE 2022. E durante la fiera saremo connessi con storie da non perdere per (ri)vivere insieme a noi i momenti più belli e interessanti della giornata.



## ANTEPRIMA DEL NUOVO STAND

Il punto di incontro Caleffi rimane al consueto Padiglione 7. La posizione dello stand è sempre la stessa con 880 m<sup>2</sup> di accoglienza, esposizione prodotti ed esperienze digitali. La veste, invece, è completamente nuova.

**Progettato, anche per questo quadriennio, dall'Arch. Giorgia Giordano di Kibox, il nuovo stand è il racconto di un'azienda in movimento continuo.**

Il cambiamento è reso attraverso la scelta di **nuovi materiali e forme**.

Vetri e plexiglass consentono di smaterializzare le barriere visive create in passato da pareti tradizionali e pannelli espositivi verticali. I nuovi display prodotto sono a tutti gli effetti dei tavoli molto tecnici, **come se fossimo alle fasi finali della catena produttiva**. Su questo luogo di lavoro si innesca un confronto tra chi ingegnerizza, sviluppa, crea, presenta il risultato finale e il pubblico. Il rivestimento in lamiera, con finitura ad effetto orbitale, richiama la produzione metalmeccanica fatta di processi integrati tra loro in maniera eccellente.

Un **mega ledwall di 45 m<sup>2</sup>** li mostra per la prima volta live con riprese dinamiche e moderne. Un dietro le quinte che diventa palcoscenico ed esprime tutto il suo valore. Immane l'icona che negli ultimi anni ha comunicato innovazione e dato personalità allo stand in tutto il mondo: il CUBOROSSO.

Lo stand è stato studiato tenendo presente il tema della sostenibilità: la scelta costruttiva e di design è ricaduta su **materiali riutilizzabili e riciclabili al 100 %**.



## CALEFFI XS<sup>®</sup> E XP

### EXTRA SICUREZZA EXTRA PROTEZIONE



Sono la nostra coppia perfetta per le caldaie murali. Caleffi XP assicura un impianto sanitario protetto senza intaccare la potabilità dell'acqua, Caleffi XS<sup>®</sup> elimina lo sporco dall'acqua dell'impianto di riscaldamento. Piccoli, belli ed efficienti, lavorano insieme per offrire una protezione totale. **GARANTITO CALEFFI.**

CALEFFI XS<sup>®</sup>



CALEFFI XP

