



**Certificazione  
— energetica —**

**CORSO TECNICO-PRATICO  
CALCOLO PRESTAZIONE ENERGETICA EDIFICI**

Giovedì 10 Novembre 2016  
Ing. Dario Vannini

FONDAZIONE ARCHITETTI PROVINCIA DI MODENA | ORDINE ARCHITETTI PPC PROVINCIA DI MODENA | eden edilizia energetica

**CORSO CALCOLO PRESTAZIONE ENERGETICA EDIFICI**  
Ordine e Fondazione Architetti PPC della Provincia di Modena



**IL CONTRIBUTO  
DELLE POMPE DI CALORE**

**IV parte**

**Pompe di calore: riferimenti legislativi**
**D.LGS 28/2011 - Perché le PdC fra le FER?**

Per una pompa di calore elettrica, il rendimento utile in condizioni nominali riferito all'energia primaria in ingresso è dato da:

$$\eta_u = \eta \text{SPF} = \frac{E_{el} \cdot Q}{E_{p,el} \cdot E_{el}}$$

dove:

- **SPF** fattore di rendimento stagionale medio della pdc
- **$\eta$**  è il rapporto tra la produzione totale lorda di elettricità e il consumo di energia primaria per la sua produzione (definito con provvedimento dell'AEEG).

Se:

$$\eta_u \geq 1.15$$

quota parte dell'energia fornita dalla pompa di calore può essere considerata rinnovabile.

**Pompe di calore: riferimenti legislativi**
**D.LGS 28/2011 - Prestazioni delle PdC**

Tipo di pompa di calore Ambiente Esterno/interno	Ambiente esterno (°C)	Ambiente interno (°C)	COPmin 2010	$\eta$ -COP
aria/aria	Tbs entrata 7 Tbu entrata 6	Tbs entrata 20 Tbu entrata 15	3.9	1.79
aria/acqua < 35 kW	Tbs entrata 7 Tbu entrata 6	T entrata 30 T uscita 35	4.1	1.89
aria/acqua > 35 kW	Tbs entrata 7 Tbu entrata 6	T entrata 30 T uscita 35	3.8	1.75
salamoia/aria	T entrata 0	Tbs entrata 20 Tbu entrata 15	4.3	1.98
salamoia/acqua	T entrata 0	T entrata 30 T uscita 35	4.3	1.98
acqua/aria	T entrata 15 T uscita 12	Tbs entrata 20 Tbu entrata 15	4.7	2.16
acqua/acqua	T entrata 10	T entrata 30 T uscita 35	5.1	2.35

COP da DLgs 28/2011 All. 2;  $\eta=0.46$  da AEEG

## Pompe di calore: riferimenti legislativi

## D.G.R. EMILIA ROMAGNA

## Allegato 2 - Punto 28

Ai fini della determinazione dell'indice di prestazione energetica EP, **ERES: quantità di energia resa disponibile dalle pompe di calore da considerarsi energia da fonte rinnovabile**, è:

$$E_{RES} = E_{pdc} \left[ 1 - \frac{1}{SPF} \right] \quad SPF = \eta SCOP = \frac{E_{pdc}}{E_{p,pdc}}$$

dove:

- **SPF** fattore di rendimento stagionale
- **SCOP** fattore di rendimento stagionale medio stimato sulla base del metodo normalizzato
- $E_{pdc}$  energia fornita dalla pdc durante la stagione
- $E_{p,pdc}$  energia primaria consumata dalla pdc
- $\eta$  fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria (0.46)

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

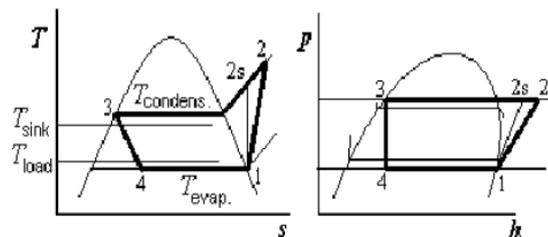
Ing. Dario Vannini 5 di 50

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

## POMPE DI CALORE

Le pompe di calore sfruttano il "ciclo inverso di Carnot" tipico di un compressore. Esse sottraggono calore ad una sorgente termica ad una temperatura più bassa per cederlo ad un ambiente confinato ad una temperatura più alta.

La grandezza caratteristica di una P.d.C. è il COP (Coefficient of Performance) che è dato dal rapporto tra la quantità di calore fornito all'ambiente ed il lavoro fornito (compressore).



Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 6 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**FASI DEL CICLO**

Le quattro fasi del procedimento sono:

- ❑ compressione del fluido termovettore che circola all'interno della pompa di calore, dalla pressione alla temperatura della sorgente termica fredda, fino alla pressione della sorgente termica alla temperatura superiore;
- ❑ cessione del calore del fluido termovettore mediante uno scambiatore di calore interno all'ambiente climatizzato alla temperatura superiore della sorgente termica "calda"
- ❑ salto entalpico, di pressione e di temperatura realizzato mediante una valvola di laminazione o dispositivo analogo;
- ❑ mediante lo scambiatore di calore esterno, assorbimento del calore dalla sorgente a temperatura inferiore e ritorno alle condizioni di partenza.

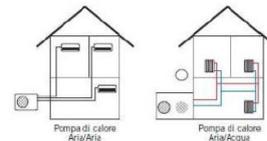
Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**SORGENTI TERMICHE**



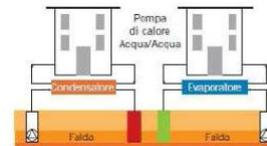
Aria

- disponibilità illimitata
- praticità d'uso
- prestazioni energetiche variabili



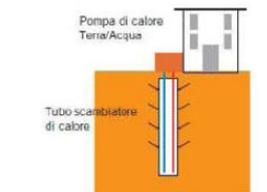
Acqua

- prestazioni costanti
- disponibilità variabile
- necessita di opere di prelievo e di scarico
- vincoli legislativi per prelievo e scarico



Terreno

- buone prestazioni energetiche
- elevati costi di realizzazione
- disponibilità limitata per necessità di ampie superfici
- tecnologia poco diffusa



Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**SORGENTI GEOTERMICHE A BASSA ENTALPIA**

Potenze termiche tipicamente disponibili:

- sonde verticali: da 20 a 100 W/m
- sonde orizzontali: da 10 a 20 W/m<sup>2</sup>

Sonda geotermica  
*Geothermal probe*  
 □ pompa di calore  
*heat pump*



Serpentine nel terreno  
*Horizontal probe*  
 □ pompa di calore  
*heat pump*



Pozzo  
*Well water*  
 □ pompa di calore  
*heat pump*



Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

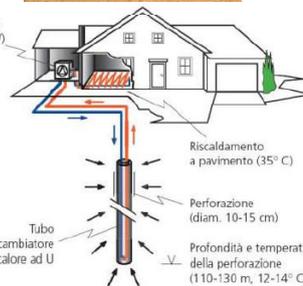
Ing. Dario Vannini 9 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

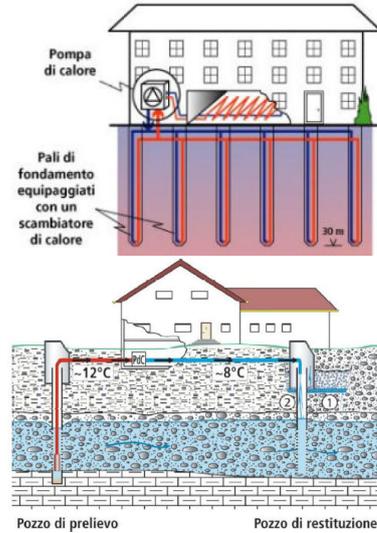
**SORGENTI GEOTERMICHE A BASSA ENTALPIA**



Pompa di calore  
(potenza 7-8 kW)



Riscaldamento di un'abitazione familiare con una sonda geotermica accoppiata ad una pompa di calore



Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 10 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**SORGENTI GEOTERMICHE A BASSA ENTALPIA**

- ❑ Gli extra-costi sono molto variabili, ma mediamente si aggirano intorno ad 1/3 del costo dell'impianto tradizionale, in buona misura dovuti alle opere di posa delle tubazioni esterne
- ❑ Per sonde orizzontali è necessaria in media una superficie di terreno pari a 2÷2,5 volte l'area netta da riscaldare, per il solo riscaldamento, o 3÷3,5 volte l'area netta da riscaldare se è previsto anche il raffrescamento estivo;
- ❑ Il costo per la posa delle tubazioni è dell'ordine di 20-40 € per m<sup>2</sup> di terreno da sbancare.
- ❑ Per sonde verticali, il costo è compreso tra 40 e 65 € per metro di profondità.
  - Per il funzionamento in P.d.C., l'investimento può essere interessante, in climi rigidi.
  - Per il funzionamento in raffrescamento, l'investimento può essere interessante soprattutto in climi torridi e/o in presenza di richieste frigorifere di durata annua particolarmente significativa.

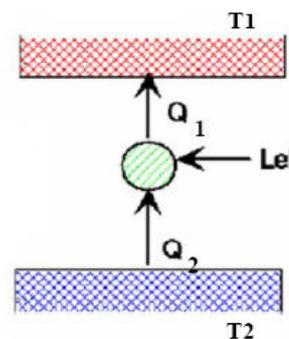
Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 11 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**TIPOLOGIE DI P.d.C.**

- ❑ **ACQUA – ACQUA (W – W)**  
(in cui Q<sub>2</sub> e Q<sub>1</sub> sono scambiati con acqua)
- ❑ **ACQUA – ARIA (W – A)**  
(in cui Q<sub>2</sub> è scambiato con acqua e Q<sub>1</sub> con aria)
- ❑ **ARIA – ACQUA (A – W)**  
(in cui Q<sub>2</sub> è scambiato con aria e Q<sub>1</sub> con acqua)
- ❑ **ARIA – ARIA (A – A)**  
(in cui Q<sub>2</sub> e Q<sub>1</sub> sono scambiati con aria)
- ❑ **TERRENO – ACQUA (B – W)**  
(in cui Q<sub>2</sub> è scambiato con il suolo e Q<sub>1</sub> con acqua)

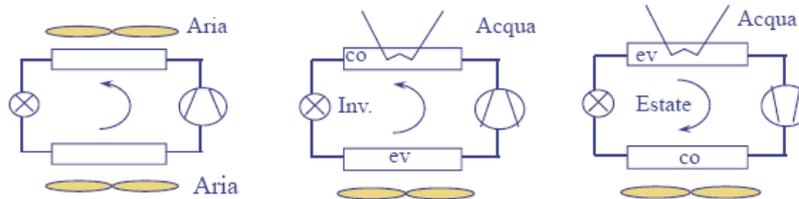


Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 12 di 50

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

## ARIA / ARIA e ARIA / ACQUA



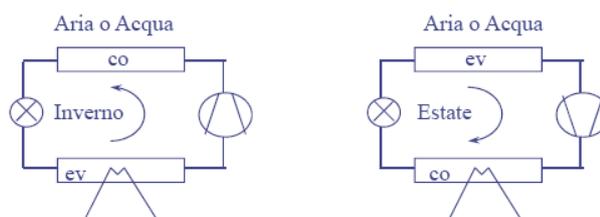
- ❑ semplicità di installazione
- ❑ forte dipendenza delle prestazioni dalle condizioni climatiche, sia in inverno che in estate
- ❑ in inverno, problemi di formazione di brina all'evaporatore (sbrinamento ad inversione di ciclo e/o con batterie elettriche)
- ❑ ingombro e rumorosità dell'unità esterna
- ❑ non disponibili per grandi potenzialità (oltre i 1000 kW, circa), per le dimensioni eccessive dell'unità esterna

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 13 di 50

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

## ACQUA / ARIA e ACQUA / ACQUA



- ❑ L'acqua è la sorgente esterna di elezione per gli impianti frigoriferi di grande taglia (oltre i 1000 kW)
- ❑ L'impianto è più costoso, ma le prestazioni sono superiori e meno sensibili alle condizioni climatiche esterne
- ❑ Per la refrigerazione, l'alternativa all'acqua di falda, fiume, lago o mare e l'acqua di ricircolo, raffreddata con torri evaporative
- ❑ Analoghe considerazioni valgono per l'impiego del terreno (o, per l'inverno, di acque termali) come sorgente termica

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 14 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

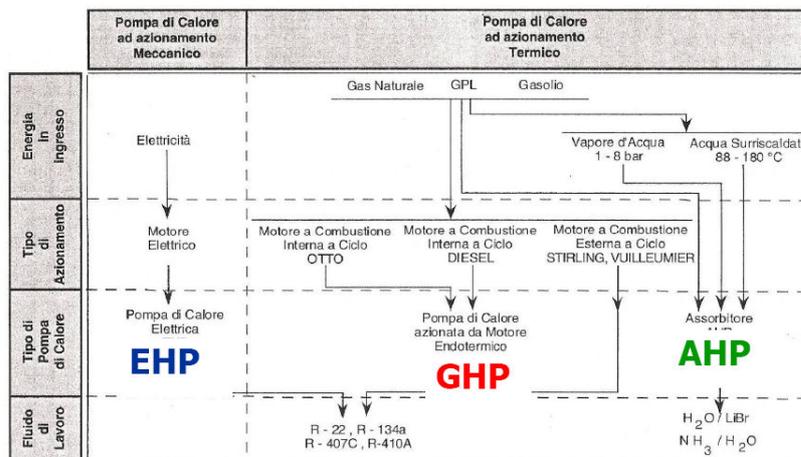
**CLASSIFICAZIONE**

In base al ciclo termodinamico, e quindi al principio di funzionamento, si distinguono:

- ❑ **Macchine a compressione di vapore:**
  - ad azionamento elettrico (EHP, ECH)
  - con motore endotermico (GHP, GCH)
- ❑ **Macchine ad azionamento termico:**
  - ad assorbimento (AHP, ACH)
  - ad assorbimento (Dessicant Evaporative cooling, DEC)

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO**



Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

### FLUIDI TERMOVETTORI

Requisiti fondamentali per le sostanze di lavoro delle pompe di calore a compressione:

- T critica superiore alla T ambiente
- andamento favorevole della curva di saturazione liquido-vapore nel piano (p,T)
- elevata entalpia latente di evaporazione
- basso volume specifico del vapore
- stabilità chimica, inerzia verso i materiali
- bassa tossicità, ininfiammabilità
- basso costo

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 17 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

### FLUIDI TERMOVETTORI

- HCFC (ex: R22), con basso ODP (a breve termine: al bando in impianti nuovi dal 2004, bando totale dal 2015), GWP > 0
- HFC (R407C, R134a), con ODP = 0, GWP > 0
- R717 (ammoniaca, NH<sub>3</sub>): ODP = 0, GWP = 0, ma è tossica e infiammabile
- idrocarburi (ad es. il propano): ODP = 0, ma GWP > 0 e sono molto infiammabili
- CO<sub>2</sub>: ODP = 0, ma è un fluido ad effetto serra

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 18 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

### FATTORI CHE INFLUENZANO LE PRESTAZIONI

- ❑ Temperature delle sorgenti calda e fredda:
  - ridurre la temperatura di mandata dell'impianto (ad ex.: uso di impianti a pannelli radianti a pavimento)
  - cercare sorgenti esterne a temperatura più alta possibile, ad ex.:
    - flussi di scarto (aria di ventilazione)
    - terreno, acqua di falda (sorgenti "geotermiche")
    - acque superficiali: laghi, corsi d'acqua
- ❑ Fattore di carico della macchina:
  - uso di inverter, suddivisione della potenza installata su più macchine, ...
- ❑ Altri fattori:
  - necessita di sbrinamento della batteria esterna (nel caso di pompe di calore evaporanti in aria)

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 19 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

### DIMENSIONAMENTO

La scelta della taglia della pompa di calore è importante perché influisce:

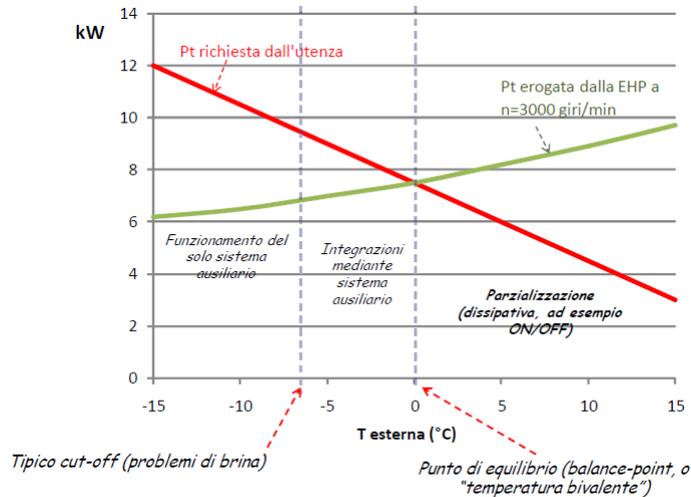
- ❑ sulla frazione di energia che potrà essere coperta dalla macchina, a fronte di quella che dovrà essere fornita dal sistema di integrazione (back-up: caldaia, resistenze elettriche), meno efficiente: taglia maggiore ⇔ integrazioni minori;
- ❑ sul numero di ore di funzionamento a carico parziale e quindi sull'efficienza media stagionale: taglia maggiore ⇔ più ore di esercizio a carico parziale, con conseguente penalizzazione dell'efficienza. Ovviamente, il secondo aspetto è particolarmente rilevante in assenza di sistemi di regolazione efficienti (ovvero, in caso di parzializzazione con funzionamento ON/OFF, oppure strozzamento del compressore, etc.).

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 20 di 50

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

## DIMENSIONAMENTO



Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 21 di 50

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

## DIMENSIONAMENTO

Viceversa, l'uso di inverter permette di regolare la velocità del compressore, e quindi la potenza frigorifera, senza penalizzare il COP della macchina, in un ampio intervallo di valori della potenza richiesta, limitando la parzializzazione di tipo dissipativo a poche ore di funzionamento, caratterizzate, tra l'altro, da una bassa richiesta di energia e quindi da una minore incidenza sul consumo complessivo stagionale.

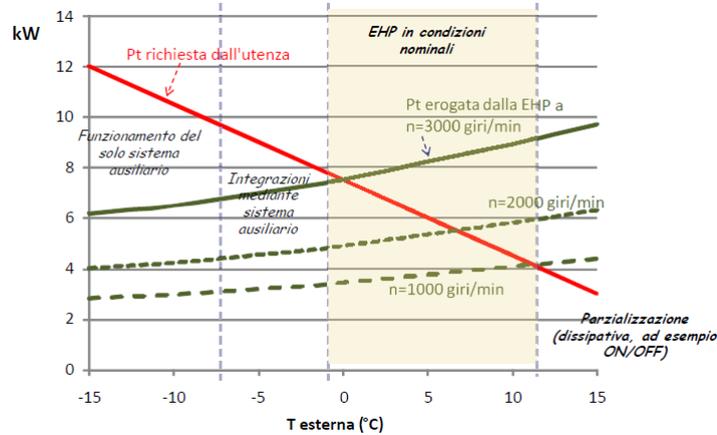
Risultati simili possono ottenersi con la suddivisione della potenza installata su più macchine, oppure con l'uso di gruppi con più compressori.

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 22 di 50

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

## DIMENSIONAMENTO



(\*) Dispositivo elettronico in grado di convertire corrente continua (DC) in corrente alternata (AC) oppure di modificare la frequenza della corrente in uscita rispetto a quella in ingresso, e quindi, se collocato a monte di un motore elettrico, di modificarne la velocità di rotazione (ad ex., per motore sincrono:  $n = (60 \cdot f / p)$ , dove  $p$  è il numero di coppie di poli)

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 23 di 50

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

## DIMENSIONAMENTO

## METODO DETTAGLIATO (UNI-TS 11300)

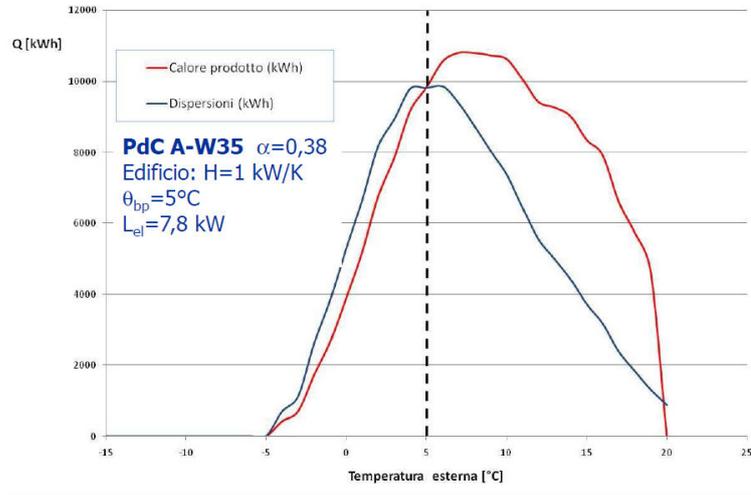
1. Si suddivide il periodo di calcolo in intervalli di tempo da usare per il calcolo, in base ad opportune fasce di temperatura indicate dalla norma ("bin" - rif. EN 15316-4-2; di solito, l'intervallo è di 1 °C)
2. Si ripartisce ogni intervallo di calcolo fra i modi di funzionamento (riscaldamento, sanitario, misto)
3. Si precede al calcolo dell'impianto, dell'energia richiesta e delle temperature della sorgente esterna, per ogni intervallo di calcolo definito
4. Nel caso delle pompe di calore, si valuta l'energia erogabile dalla macchina (il saldo va attribuito al sistema di backup: caldaie od altri generatori di calore)
5. Si valuta il COP per ogni intervallo, tenendo conto:
  - delle temperature delle sorgenti (sorgente fredda e fluido termovettore)
  - del fattore di carico della macchina
 (a tale scopo, si usano, se disponibili, i dati del costruttore, o in alternativa i modelli illustrati nel seguito, con riferimento al caso delle pompe di calore)
6. Si calcola l'energia primaria richiesta per ogni intervallo di tempo.
8. Si moltiplicano i risultati di ogni singolo bin per il rispettivo numero di ore e si calcola la sommatoria => fabbisogno complessivo di energia primaria.

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 24 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**DIMENSIONAMENTO**

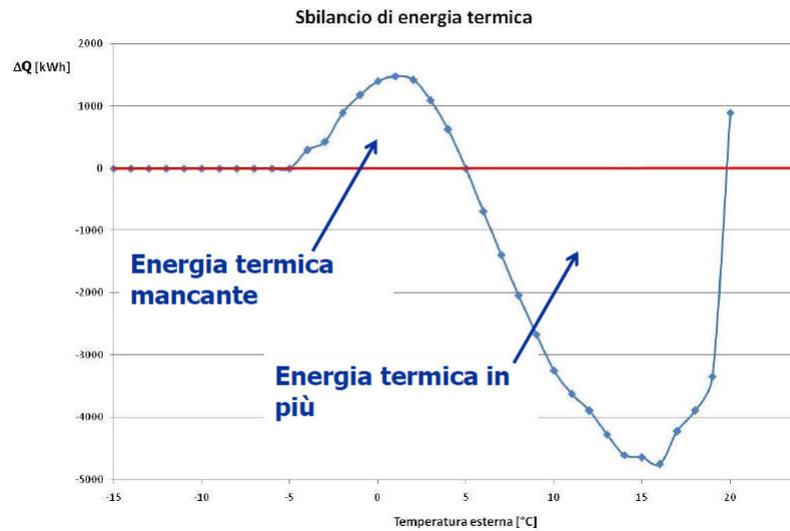


Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 25 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**DIMENSIONAMENTO**



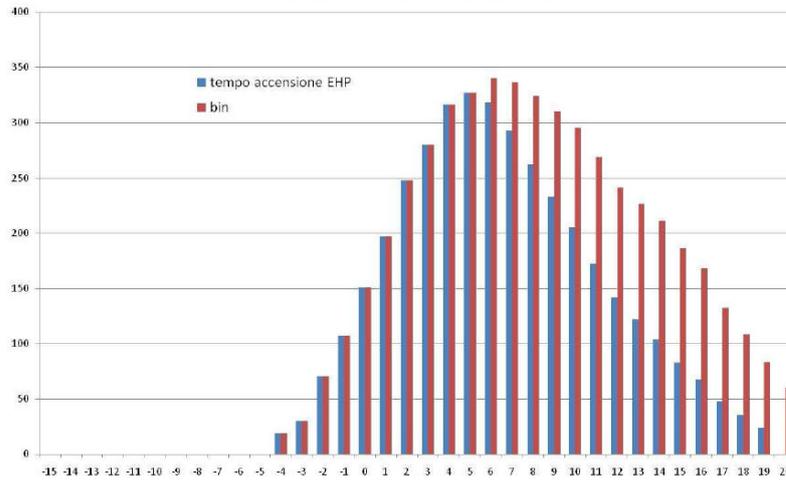
Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 26 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**DIMENSIONAMENTO**

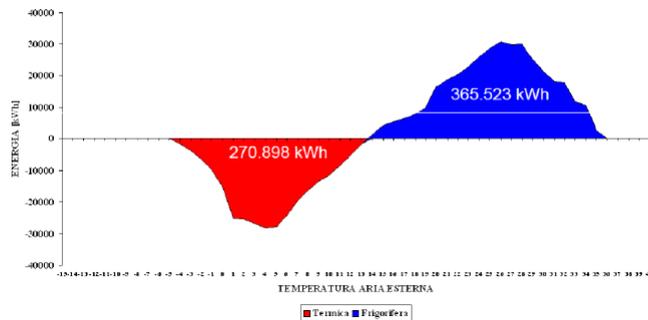
Ore di funzionamento della EHP vs bin



Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

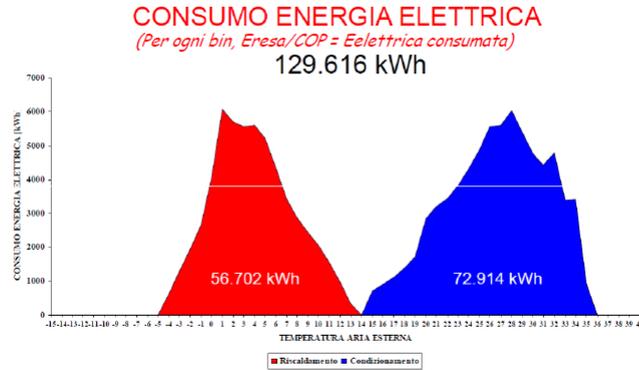
**DIMENSIONAMENTO**

**ENERGIA TOTALE RICHIESTA**  
*(per ogni BIN, si moltiplica la potenza per il numero di ore)*  
**636.421 kWh**



Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**DIMENSIONAMENTO**



Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 29 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**DIMENSIONAMENTO**

Calcolo del COP medio stagionale di pompe di calore e macchine frigorifere: esempio numerico

**CALCOLO RINNOVABILI**

$$SPF_{PdC} = \frac{E_{PdC}}{EE_{PdCC}} = \frac{270.898}{56.702} = 4,78$$

$$E_{Ren} = E_{PdC} \left( 1 - \frac{1}{SPF_{PdC}} \right) = 270.898 \left( 1 - \frac{1}{4,78} \right) = 214.225 kWh$$

Fabbisogno Totale [kWh]		636.421
Prodotta PdC [kWh]	270.898	
SPFPdc	4,78	
Rinnovabile Totale [kWh]		214.225
Percentuale en. rinnovabile		33,7%

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 30 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

### GHP - CARATTERISTICHE

Principale peculiarità: cogenerazione (aumento di efficienza mediante recupero del calore di scarto del motore primo)

Classificazione:

- modelli a recupero diretto: maggiore efficienza nell'utilizzo del calore di scarto (direttamente inviato all'utenza)
- modelli a recupero indiretto: in riscaldamento, il calore di scarto del motore viene usato per preriscaldare l'aria esterna usata come sorgente termica all'evaporatore, permettendo di innalzare la T di evaporazione quindi minore efficienza, ma utilizzo di unità interne "a due tubi", identiche a quelle delle macchine elettriche (e quindi meno costose da produrre)

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 31 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

### GHP - VANTAGGI

- Alta efficienza in climi rigidi, per la disponibilità di una sorgente termica (reflui del motore primo) a media/alta temperatura, indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne
- Ottimo comportamento in defrosting (uso dei reflui termici per lo sbrinamento dell'evaporatore, per le macchine a recupero diretto; per quelle a recupero indiretto, l'esigenza di defrosting non si verifica praticamente mai)
- Elevata efficienza ai carichi parziali, senza necessità di inverter (regolazione del numero di giri del motore, ad efficienza praticamente inalterata)

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 32 di 50

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**GHP - LIMITI**

- Ingombro e peso leggermente maggiori, per quanto comunque molto contenuti, rispetto a quelli delle EHP di pari potenzialità, a causa del motore alternativo;
- maggiori esigenze di manutenzione specialistica, soprattutto per il motore alternativo;
- maggiori problemi di rumorosità;
- maggiore impatto ambientale a livello locale, a causa dei gas di scarico del motore;
- minore disponibilità sul mercato;
- costi ancora superiori rispetto alle EHP di pari potenzialità

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**AHP - CARATTERISTICHE**

Le pompe di calore ad assorbimento (AHP) costituiscono una possibile alternativa ai sistemi frigoriferi a compressione di vapore perché possono utilizzare refrigeranti naturali, non necessitano di compressori e richiedono energia termica (da fonti tradizionali, rinnovabili o da cascami termici). L'applicazione delle AHP è frequente nella climatizzazione degli edifici proprio in virtù di queste caratteristiche.

Il cuore di una pompa di calore ad adsorbimento consiste in uno o più "letti adsorbenti" costituiti da materiale solido poroso in grado di assorbire reversibilmente vapore refrigerante (acqua) e scambiarlo con un condensatore ed un evaporatore. L'energia asportata a bassa temperatura (5-10°C) durante il processo di evaporazione rappresenta l'effetto utile durante il funzionamento come refrigeratore, il calore di condensazione e quello prodotto durante l'assorbimento rappresentano l'effetto utile a media temperatura (50-60°C) durante il funzionamento come pompa di calore.

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**AHP- VANTAGGI**

- uso di fluidi ecocompatibili (ODP = GWP = 0)
- possibilità di impiego di energia termica (anche reflui oppure energia da fonte rinnovabile) invece che elettrica nella refrigerazione;
- macchine statiche, affidabili e relativamente silenziose;
- sistemi molto efficienti a carico parziale (se muniti di modulazione dell'input termico);
- elevate efficienze nel funzionamento in pompa di calore e/o nel funzionamento come macchina frigorifera con recupero termico del calore di condensazione ed assorbimento

## Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

**AHP- LIMITI**

- efficienze relativamente basse nel funzionamento in chiller (ovviamente in caso di sistemi a fiamma diretta: se si usano reflui termici o fonti rinnovabili, l'input termico è "gratuito") (nei modelli a pompa di calore l'efficienza media è però interessante);
- necessità (per sistemi ad H<sub>2</sub>O/LiBr) di torre di raffreddamento;
- esigenze di manutenzione specialistica;
- costi ancora abbastanza elevati.

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

### VRV/VRF - CARATTERISTICHE

- ❑ Sistemi ad espansione diretta (assenza di fluido termovettore intermedio quindi miglioramento del COP (a parità di ogni altra condizione)).
- ❑ Regolazione della potenza frigorifera mediante modulazione della portata volumetrica del refrigerante (compressore ad inverter), che espande direttamente negli ambienti da servire.
- ❑ Il sistema è infatti formato da una unità esterna, dotata di compressore e di batteria di scambio in grado di funzionare indifferentemente da condensatore e da evaporatore, a cui sono collegate, mediante tre tubi (o due) una serie di unità interne dotate di ventilatore, batteria di scambio, valvola termostatica elettronica e valvola di deviazione a cassetto.
- ❑ Ogni unità interna ha una valvola di controllo del refrigerante (controllo individuale molto efficiente della capacità termofrigorifera, attraverso il controllo del flusso di refrigerante per ogni singola unità).

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 37 di 50

Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche

### VRV (Variable Refrigerant Volume) / VRF (Variable Refrigerant Flow)

- ❑ Quando tutte le unità interne lavorano in raffreddamento, il sistema si comporta come un normale multisplit: l'unità esterna funge da condensatore, quelle interne da evaporatore e vengono utilizzate solamente due delle tre tubazioni.
- ❑ Qualora parte delle unità interne debbano lavorare in riscaldamento, ma il carico predominante sia quello in raffreddamento, si attua il recupero di energia termica: il vapore surriscaldato in uscita dal condensatore viene inviato parte all'unità esterna, che funge ancora da condensatore, e parte alle unità interne in riscaldamento, attraverso il terzo tubo dell'impianto.
- ❑ Le batterie delle unità interne lavorano anch'esse da condensatore ed il liquido ad alta pressione in uscita da esse viene inviato, assieme a quello proveniente dalla batteria dell'unità esterna, alle batterie delle altre unità interne con funzione di evaporatore.

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 38 di 50

**Pompe di calore: generalità, tipologie, caratteristiche****VRV (Variable Refrigerant Volume) / VRF (Variable Refrigerant Flow)**

- Quando i carichi sono contrapposti, ma la predominanza è in riscaldamento, vi è il recupero di energia frigorifera. Il vapore surriscaldato in uscita dal compressore viene inviato esclusivamente alle batterie delle unità interne, con funzione di condensatore. Il liquido attraversa le valvole termostatiche, con riduzione di pressione, e viene inviato parte alla batteria dell'unità esterna, che funge da evaporatore, e parte alle batterie delle unità in raffreddamento, per poi ricongiungersi, attraverso la terza tubazione, sulla linea di aspirazione del compressore.
- Quando, infine, tutte le unità interne lavorano in pompa di calore, il sistema torna a funzionare come un normale multisplit, impiegando due soli tubi con la batteria esterna in funzione di evaporatore e le batterie interne in funzione di condensatore.

**Pompe di calore: la norma UNI/TS 11300 parte 4****VETTORI ENERGETICI E TIPOLOGIE DI GENERATORI**

La TS si applica a PdC a compressione di vapore azionate da motore elettrico sia a pompe di calore ad assorbimento utilizzando come fonti di energia: l'aria, il terreno o le acque (superficiali e di falda) e impiegate quali generatori termici per i servizi di riscaldamento e produzione ACS tramite fluidi termovettori aria e acqua.

La classificazione è effettuata dalla TS sugli impianti utilizzando PdC in relazione al: tipo di fonte energetica sfruttata, tipo di sorgente fredda, tipo di servizio, vettori energetici e tipologie di generatori, tipo di fluido termovettore.

**Pompe di calore: la norma UNI/TS 11300 parte 4**
**SISTEMI A PdC – LA NORMA**

Fonte di energia	Tipologia fonte di energia sfruttata	Modalità di estrazione
Aria esterna	Rinnovabile "aerotermica"	Raffreddamento e deumidificazione dell'aria esterna
Aria interna	Non rinnovabile se proveniente da sistemi impieganti energie fossili, ad esclusione dell'aria di espulsione	Raffreddamento e deumidificazione dell'aria interna di espulsione in sistemi di recupero
Roccia	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Terreno	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Acqua di falda	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Acqua di mare	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acqua di lago	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acqua di fiume	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acque di risulta e liquami di processi tecnologici	Non rinnovabile	Raffreddamento acque e/o liquami di processo
Liquami urbani	Assimilabile a rinnovabile	Raffreddamento liquami urbani

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 41 di 50

**Pompe di calore: la norma UNI/TS 11300 parte 4**
**VETTORI ENERGETICI E TIPOLOGIE DI GENERATORI**

- Monovalenti (tutto il fabbisogno termico è coperto dalla pompa di calore)
- Bivalenti monoenergetici: una quota del fabbisogno termico stagionale è coperto da P.d.C. e una quota di integrazione è fornita da un generatore ausiliario che utilizza lo stesso vettore energetico della P.d.C.
- Bivalenti bienergetici: quando il fabbisogno termico stagionale è coperto da P.d.C. e da un generatore ausiliario che utilizza un vettore energetico diverso dalla P.d.C.
- E elettrica per le P.d.C. a compressione di vapore
- Combustibili gassosi e liquidi per le P.d.C. ad assorbimento a fuoco diretto

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 42 di 50

## Pompe di calore: la norma UNI/TS 11300 parte 4

**METODO DI CALCOLO DELLA PRESTAZIONE DELLA P.d.C.**

- Potenza termica utile erogata
- Potenza richiesta in ingresso solo per la funzione riscaldamento, la COP o GUE (potenza erogata / potenza richiesta)
- Coefficiente correttivo del COP e delGUE ai carichi parziali
- Prestazioni a pieno carico (CR5=1) determinate secondo le norme tecniche pertinenti
- Prestazioni a fattore di carico climatico (PLR6≠1)

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 43 di 50

## Esempio di calcolo

**ESEMPIO DI CALCOLO**

Palazzina ad uso residenziale (E.1.1) composta da 12 unità immobiliari localizzata a Bologna (2259 GG) Zona Climatica E

## DATI GEOMETRICI

Volume lordo climatizzato	3169,18	m <sup>3</sup>	
Superficie utile energetica	758,98	m <sup>2</sup>	
Superficie disperdente	1200,23	m <sup>2</sup>	
Rapporto S/V	0,38	m <sup>-1</sup>	
Superfici di coperta (Sq)	253	m <sup>2</sup>	

## REQUISITI MINIMI: VALORI LIMITE

Indice EP <sub>i</sub>	50,73	kWh/m <sup>2</sup> anno	
Indice EP <sub>acs</sub>	11,55	kWh/m <sup>2</sup> anno	
Indice EP <sub>tot</sub>	62,28	kWh/m <sup>2</sup> anno	LIMITE DA RISPETTARE

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 44 di 50

## Esempio di calcolo

## ESEMPIO DI CALCOLO

Copertura FER per ACS	50%		LIMITE DA RISPETTARE
Copertura FER per Risc+acs	35%	<i>In vigore dal 30maggio 2012 al 31 dicembre 2014</i>	LIMITE DA RISPETTARE

(P) Potenza minima kW<sub>elettrici</sub> da FER

P = n.°unità immobiliari =	12	kW	LIMITE DA RISPETTARE
----------------------------	----	----	----------------------

$$P = Sq/50 = 253/50 = 5,06 \text{ kW}$$

## CONFIGURAZIONE IMPIANTISTICA

Usi energetici: riscaldamento ed acqua calda sanitaria  
 Impianto termico centralizzato, con contabilizzazione del calore per ogni U.I. con produzione combinata riscaldamento ed acqua calda sanitaria.

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 45 di 50

## Esempio di calcolo

## POMPA DI CALORE A GAS (Aria-Acqua)

Funzionamento monovalente: temperatura bivalente pari a -5°C

## RISCALDAMENTO

Mese	Giorni	Q <sub>in,gn,out</sub> [kWh]	Q <sub>in,gn,out PdC</sub> [kWh]	Q <sub>in,d,aux</sub> [kWh]	Q <sub>in,gn,pdC</sub> [kWh]	Q <sub>p,ren</sub> [kWh]	GUE
gennaio	31	7094	7094	37.2	5255	1839	1.35
febbraio	28	3846	3846	33.6	2807	1039	1.37
marzo	31	876	876	37.2	639	237	1.37
aprile	30	5	5	18	4	1	1.38
maggio	31	-	-	-	-	-	-
giugno	30	-	-	-	-	-	-
luglio	31	-	-	-	-	-	-
agosto	31	-	-	-	-	-	-
settembre	30	-	-	-	-	-	-
ottobre	31	58	58	20.4	42	16	1.38
novembre	30	2533	2533	36	1876	657	1.35
dicembre	31	6063	6063	37.2	4525	1538	1.34
<b>TOTALI</b>	<b>365</b>	<b>20475</b>	<b>20475</b>	<b>220</b>	<b>15148</b>	<b>5327</b>	<b>1.35</b>

## ACQUA CALDA SANITARIA

Mese	Giorni	Q <sub>W,gn,out</sub> [kWh]	Q <sub>W,gn,out PdC</sub> [kWh]	Q <sub>W,aux</sub> [kWh]	Q <sub>W,gn,pdC</sub> [kWh]	Q <sub>p,ren</sub> [kWh]	GUE
gennaio	31	1649	1649	12.4	1221	427	1.35
febbraio	28	1489	1489	11.2	1111	378	1.34
marzo	31	1649	1649	12.4	1203	445	1.37
aprile	30	1596	1596	12	1156	439	1.38
maggio	31	1649	1649	12.4	1178	471	1.40
giugno	30	1596	1596	12	1124	472	1.42
luglio	31	1649	1649	12.4	1153	496	1.43
agosto	31	1649	1649	12.4	1153	496	1.43
settembre	30	1596	1596	12	1124	472	1.42
ottobre	31	1649	1649	12.4	1186	463	1.39
novembre	30	1596	1596	12	1165	431	1.37
dicembre	31	1649	1649	12.4	1212	436	1.36
<b>TOTALI</b>	<b>365</b>	<b>19413</b>	<b>19413</b>	<b>146</b>	<b>13987</b>	<b>5427</b>	<b>1.39</b>

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 46 di 50

**Esempio di calcolo**
**POMPA DI CALORE A GAS (Aria-Acqua)**

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale	$Q_{p,i} = 15148 + 220/0,46 =$	<b>15626</b>	[kWh/anno]	
Fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria	$Q_{p,acs} = 13987 + 146/0,46 =$	<b>14304</b>	[kWh/anno]	
Fabbisogno di energia primaria totale	$Q_{p,iner,tot} = 15626 + 14304 =$	<b>29930</b>	[kWh/anno]	
Quantità di energia da fonte energetica rinnovabile	$Q_{p,ren} = 5327 + 5427 =$	<b>10754</b>	[kWh/anno]	Valore da riportare nell'attestato
Indice di prestazione energetica	$EP_{tot} = 29930 / 758,98 =$	<b>39,43</b>	[kWh/m <sup>2</sup> anno]	Classe A
Valore <i>minore</i> dell'indice di prestazione energetica minimo	$EP_{tot,lim} =$	<b>62,28</b>	[kWh/m <sup>2</sup> anno]	Requisito rispettato
Verifica copertura 50% ACS	$QR_{acs} = 5427 / (5427 + 14304) =$	<b>27,50%</b>		Requisito <i>non</i> rispettato
Copertura da fonti energetiche rinnovabili	$QR = 100 \cdot Q_{p,ren} / Q_p = 10754 / (10754 + 29930) =$	<b>26,43%</b>		
Verifica rispetto requisiti DGR 1366/2011 Allegato 2 punto 23) <sup>3</sup>	$62,28 * [1/2 + ((26,43\% / 35\%) + (0/12)) / 4] = 42,89$	$EP_{tot} = 39,43 < 42,89$		Requisito rispettato

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 47 di 50

**Esempio di calcolo**
**POMPA DI CALORE A GAS + SOLARE TERMICO**

 Stessa pompa a gas dell'esempio precedente  
 Pannelli solari termici a tubi sotto vuoto (14,7 m<sup>2</sup>) (inclinazione: 25°; azimuth 0°)

**RISCALDAMENTO**

Mese	Giorni	Q <sub>tr, en, out</sub> [kWh]	Q <sub>tr, en, out</sub> PdC [kWh]	Q <sub>tr, en, out</sub> sol [kWh]	Q <sub>tr, aux</sub> [kWh]	Q <sub>tr, en, sol</sub> [kWh]	GUE	fH (%)	Q <sub>tr, en, PdC</sub> [kWh]	Q <sub>p, ren</sub> [kWh]
gennaio	31	7094	6813	281	37,2	75	1,35	4	5047	2047
febbraio	28	3846	3395	451	33,6	65	1,34	12	2534	1312
marzo	31	876	511	365	37,2	70	1,37	42	373	503
aprile	30	5	0	5	18	35	1,38	100	0	5
maggio	31	-	-	0	-	-	1,40	0	-	-
giugno	30	-	-	0	-	-	1,42	0	-	-
luglio	31	-	-	0	-	-	1,43	0	-	-
agosto	31	-	-	0	-	-	1,43	0	-	-
settembre	30	-	-	0	-	-	1,42	0	-	-
ottobre	31	58	13	45	20,4	33	1,39	77	9	49
novembre	30	2533	2270	263	36	64	1,37	10	1657	876
dicembre	31	6063	5806	257	37,2	89	1,36	4	4269	1794
<b>TOTALI</b>	<b>365</b>	<b>20475</b>	<b>18808</b>	<b>1667</b>	<b>220</b>	<b>431</b>	<b>1,35</b>	<b>8</b>	<b>13889</b>	<b>6586</b>

**ACQUA CALDA SANITARIA**

Mese	Giorni	Q <sub>w, en, out</sub> [kWh]	Q <sub>w, en, out</sub> PdC [kWh]	Q <sub>w, en, out</sub> sol [kWh]	Q <sub>w, aux</sub> [kWh]	Q <sub>w, en, sol</sub> [kWh]	Q <sub>w, en, PdC</sub> [kWh]	fW (%)	Q <sub>p, ren</sub> [kWh]
gennaio	31	1649	1614	35	12,4	75	1196	2	453
febbraio	28	1469	1343	146	11,2	65	1002	10	467
marzo	31	1649	1012	636	12,4	70	739	39	915
aprile	30	1596	229	1367	12	72	166	86	1430
maggio	31	1649	41	1608	12,4	75	29	98	1620
giugno	30	1596	0	1596	12	70	0	100	1596
luglio	31	1649	0	1649	12,4	75	0	100	1649
agosto	31	1649	0	1649	12,4	75	0	100	1649
settembre	30	1596	193	1402	12	70	136	88	1460
ottobre	31	1649	649	1000	12,4	75	467	61	1182
novembre	30	1596	1446	150	12	70	1055	9	540
dicembre	31	1649	1607	42	12,4	75	1181	3	467
<b>TOTALI</b>	<b>365</b>	<b>19416</b>	<b>8134</b>	<b>11280</b>	<b>146</b>	<b>867</b>	<b>5971</b>	<b>58,10</b>	<b>13444</b>

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 48 di 50

## Esempio di calcolo

## POMPA DI CALORE A GAS + SOLARE TERMICO

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale	$Q_{p,i} = 13889 + (220 + 431) / 0,46 =$	<b>15304</b>	[kWh/anno]	
Fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria	$Q_{p,acs} = 5971 + (146 + 867) / 0,46 =$	<b>8173</b>	[kWh/anno]	
Fabbisogno di energia primaria totale	$Q_{p,nrer,tot} = 15304 + 8173 =$	<b>23477</b>	[kWh/anno]	
Quantità di energia da fonte energetica rinnovabile	$Q_{p,ren} = 6586 + 13444 =$	<b>20030</b>	[kWh/anno]	Valore da riportare nell'attestato
Indice di prestazione energetica	$EP_{tot} = 23477 / 758,98 =$	<b>30,93</b>	[kWh/m <sup>2</sup> anno]	Classe A
Valore <i>minore</i> dell'indice di prestazione energetica minimo	$EP_{tot,lim} =$	<b>62,28</b>	[kWh/m <sup>2</sup> anno]	Requisito rispettato
Verifica copertura 50% ACS	$QR_{acs} = 13444 / (13444 + 8173) =$	<b>62,19%</b>		Requisito rispettato
Copertura da fonti energetiche rinnovabili	$QR = 100 \cdot Q_{p,ren} / Q_p = 20030 / (20030 + 23487) =$	<b>46,02%</b>		Requisito rispettato

Prestazioni energetiche edifici – Contributo PdC

Ing. Dario Vannini 49 di 50



*Grazie  
per  
l'attenzione...*

*...e restiamo in contatto!*



**Ing. Dario Vannini**  
vannini.studio@gmail.com



Questa presentazione è messa a disposizione sulla base dei termini della licenza Creative Commons Public License, Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate 2.5 Versione italiana