



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.



dipartimento di architettura
via quartieri 8, 44121 Ferrara, Italia



UNINDUSTRIA FERRARA

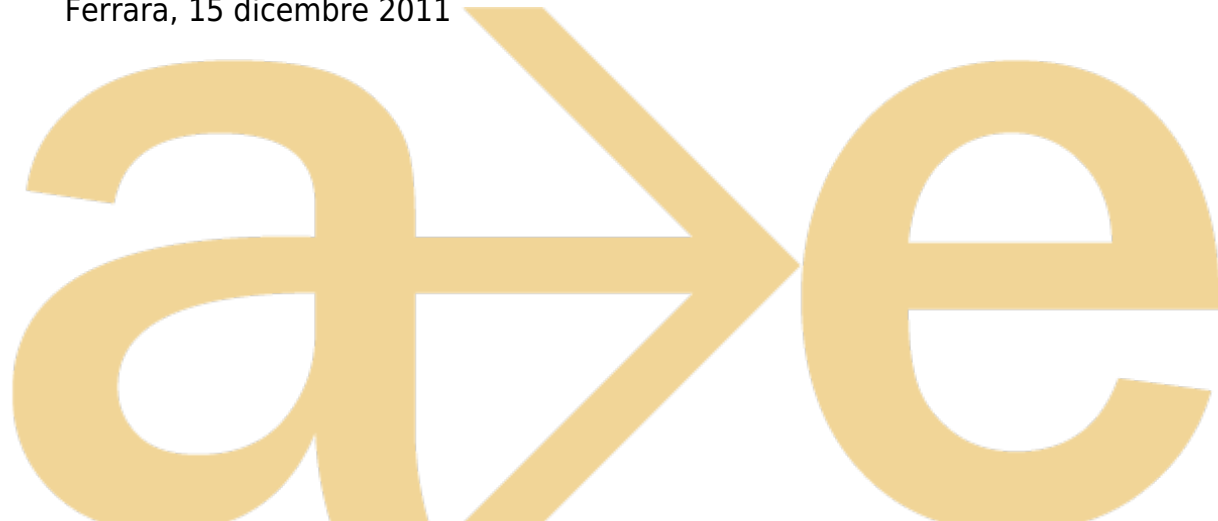
Le pompe di calore: la produzione del calore con sistemi ad elevata efficienza

Dott. Ing. Roberto Capra

Sezione "Energia" - Centro Ricerche Architettura>Energia

Risparmio energetico in edilizia | Esigenze ed opportunità degli edifici passivi nelle nuove costruzioni e nelle ristrutturazioni

Ferrara, 15 dicembre 2011



- Cos'è e come funziona una pompa di calore.
- Tipologie di pompe di calore.
- Efficienza di una pompa di calore.
- Utilizzo delle pompe di calore
- Abbinamento delle pompe di calore ai sistemi fotovoltaici

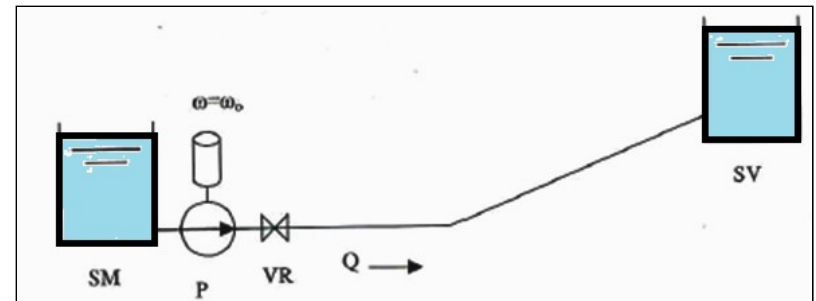
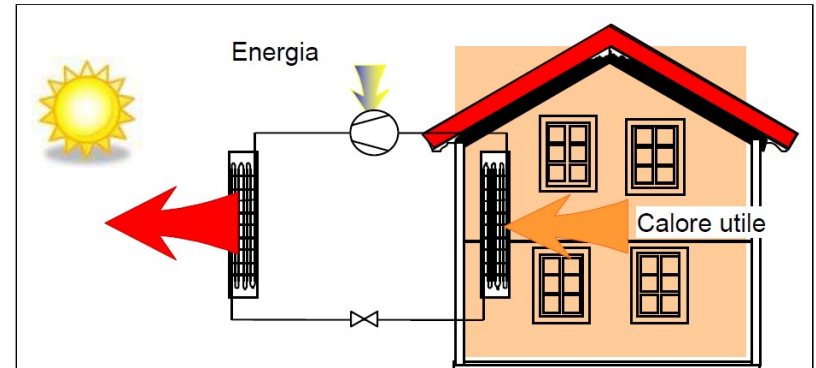
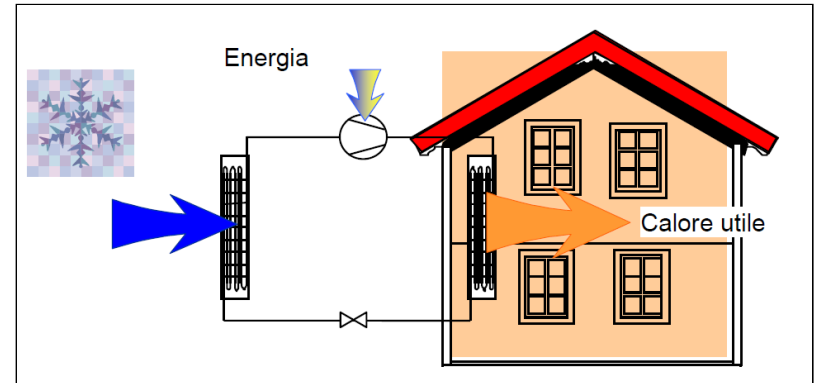
COS'E' E COME FUNZIONA LA POMPE DI CALORE

La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da una sorgente a bassa temperatura ad un serbatoio a temperatura più alta. Tale calore può essere utilizzato per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria.

La pompa di calore deve il suo nome al fatto che essa provvede a trasportare del calore da un livello inferiore a un livello superiore di temperatura, invertendo il flusso naturale del calore che in natura, come noto, fluisce da un livello (temperatura) più alto ad uno più basso.

La PDC per eseguire questo trasferimento di calore, in accordo con il secondo principio della termodinamica, necessita di un input esterno che può essere fornito sotto forma di lavoro (energia meccanica) o calore (energia termica).

La funzione della pompa di calore può quindi essere paragonata a quella di una pompa per l'acqua posta tra due bacini collegati tra loro ma posizionati a quote diverse.



Le pompe di calore: la produzione del calore con sistemi ad elevata efficienza energetica.

Dott. Ing. Roberto Capra

RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA | L'edificio passivo alla base delle nuove costruzioni | Ferrara, 15 dicembre 2011

FONTE : GSE

TIPOLOGIA POMPE DI CALORE

La prima distinzione che viene fatta sulle pompe di calore dipende proprio dal modo con cui viene loro fornita l'energia per il loro funzionamento: **meccanica** nel ciclo comunemente detto a **compressione**, **termica** nel ciclo indicato ad **assorbimento**.

◆ Pompe di Calore a compressione azionate da:

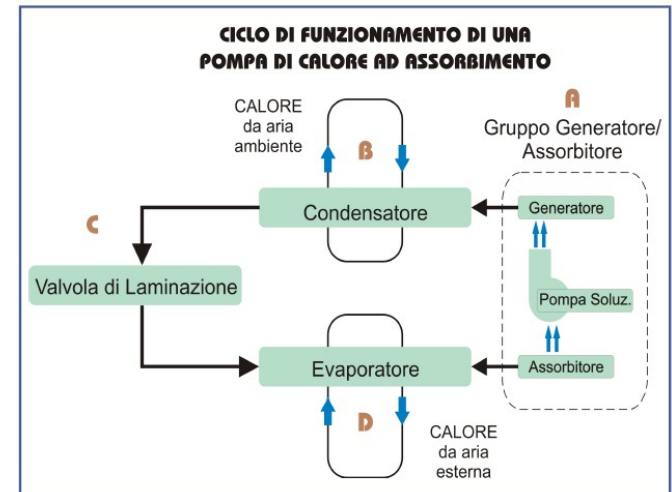
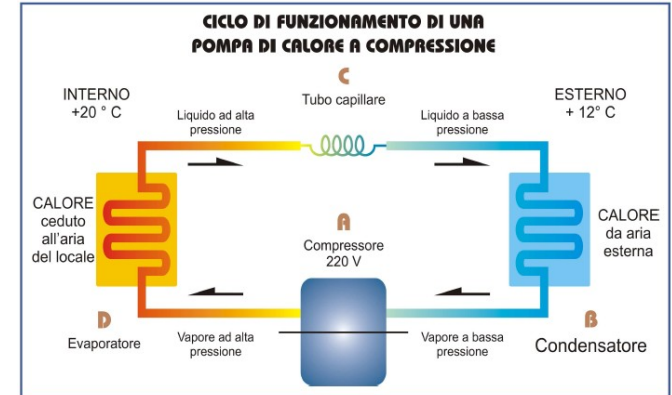
⇒ motore elettrico

⇒ motore endotermico

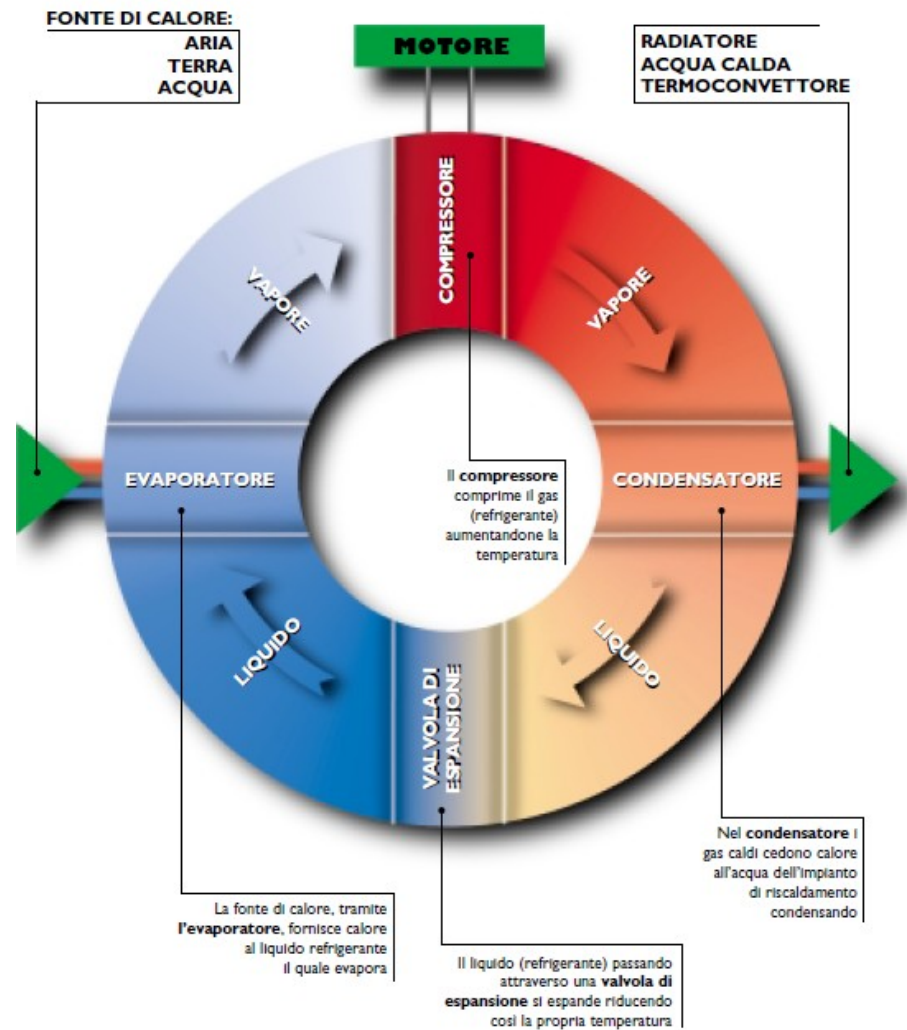
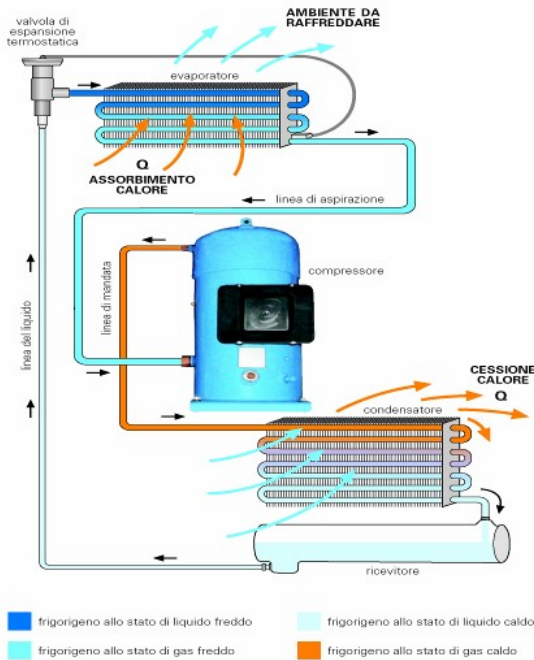
◆ Pompe di Calore ad assorbimento alimentate:

⇒ a gas

⇒ a fluidi caldi.

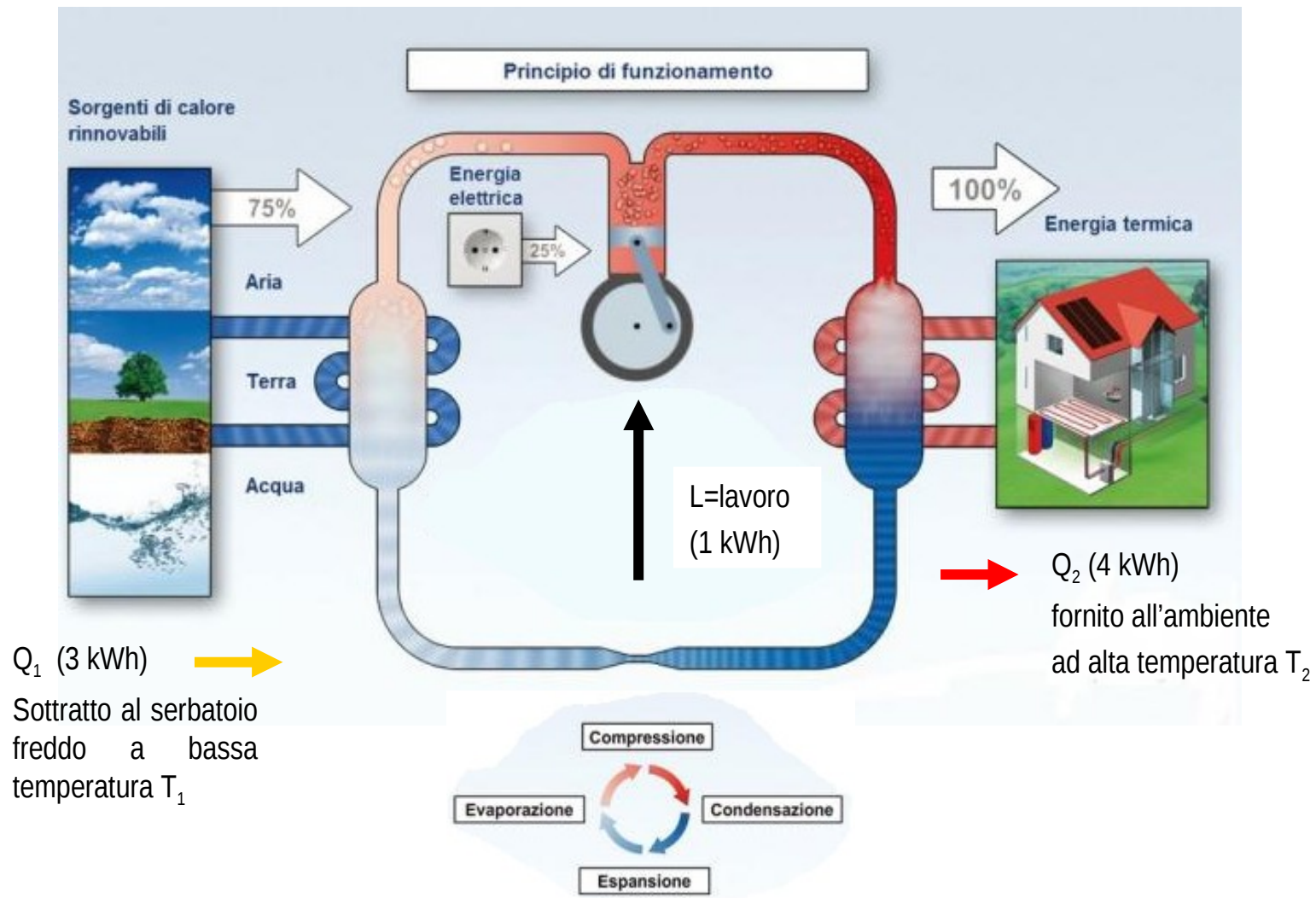


LE POMPE DI CALORE ELETTRICHE A COMPRESSIONE DI GAS



Fase	Nome fase	Processo
1	Compressione	Il fluido di lavoro viene portato ad alta pressione e si riscalda, assorbendo calore (mediante passaggio da energia meccanica a energia termica)
2	Condensazione	Il fluido di lavoro passando dallo stato di vapore a quello di liquido cede il calore assorbito al fluido vettore
3	Espansione	Il fluido di lavoro abbassa la propria pressione e temperatura
4	Evaporazione	Il fluido di lavoro assorbe calore dall'esterno ed evapora

COME FUNZIONA LA POMPA DI CALORE ELETTRICA



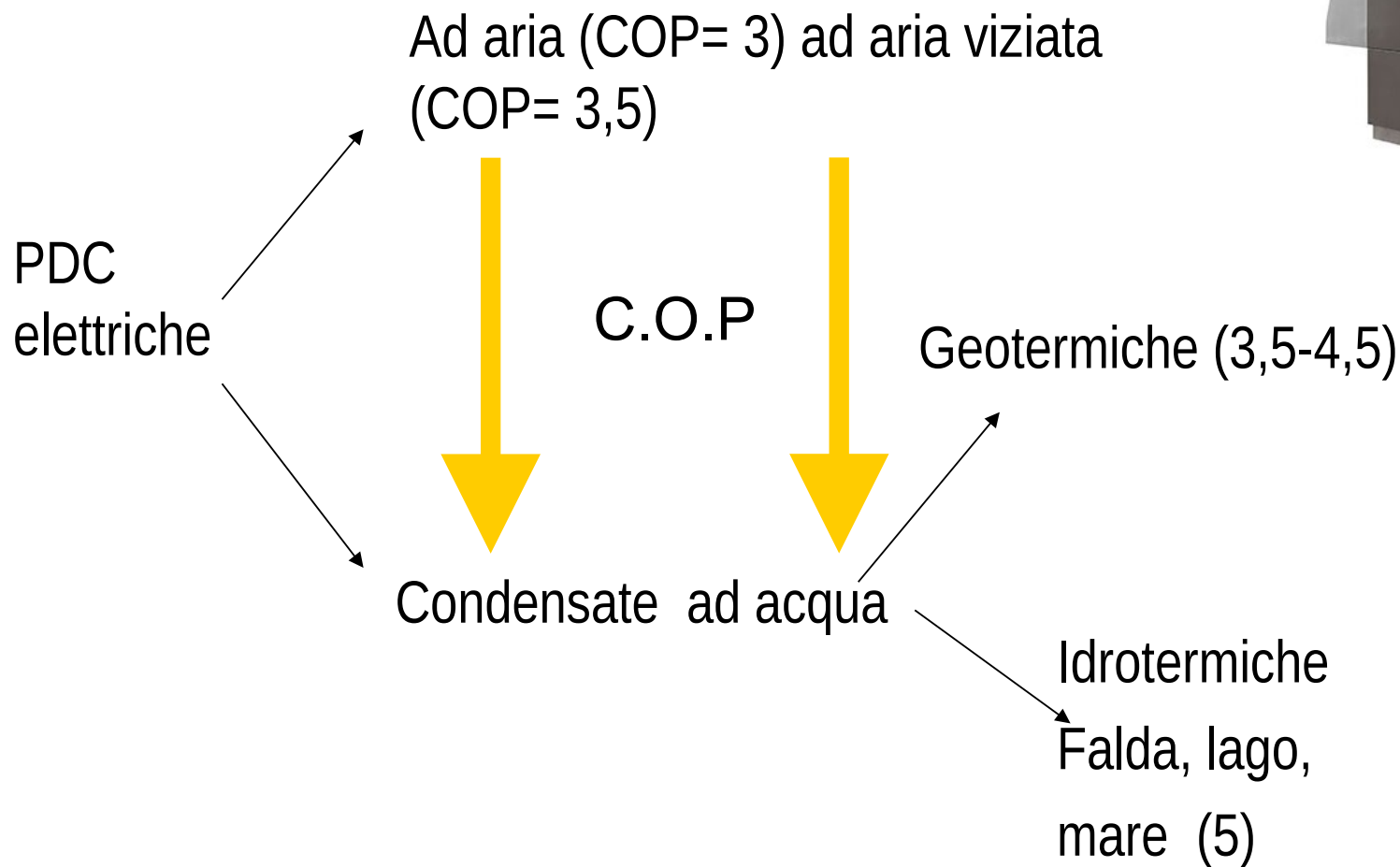
L'efficienza di una pompa di calore è rappresentata dal coefficiente di prestazione C.O.P. (Coefficient of Performance), inteso come il rapporto tra l'energia termica resa al corpo da riscaldare e l'energia elettrica consumata.

$$\text{C.O.P.} = Q_2 / L$$

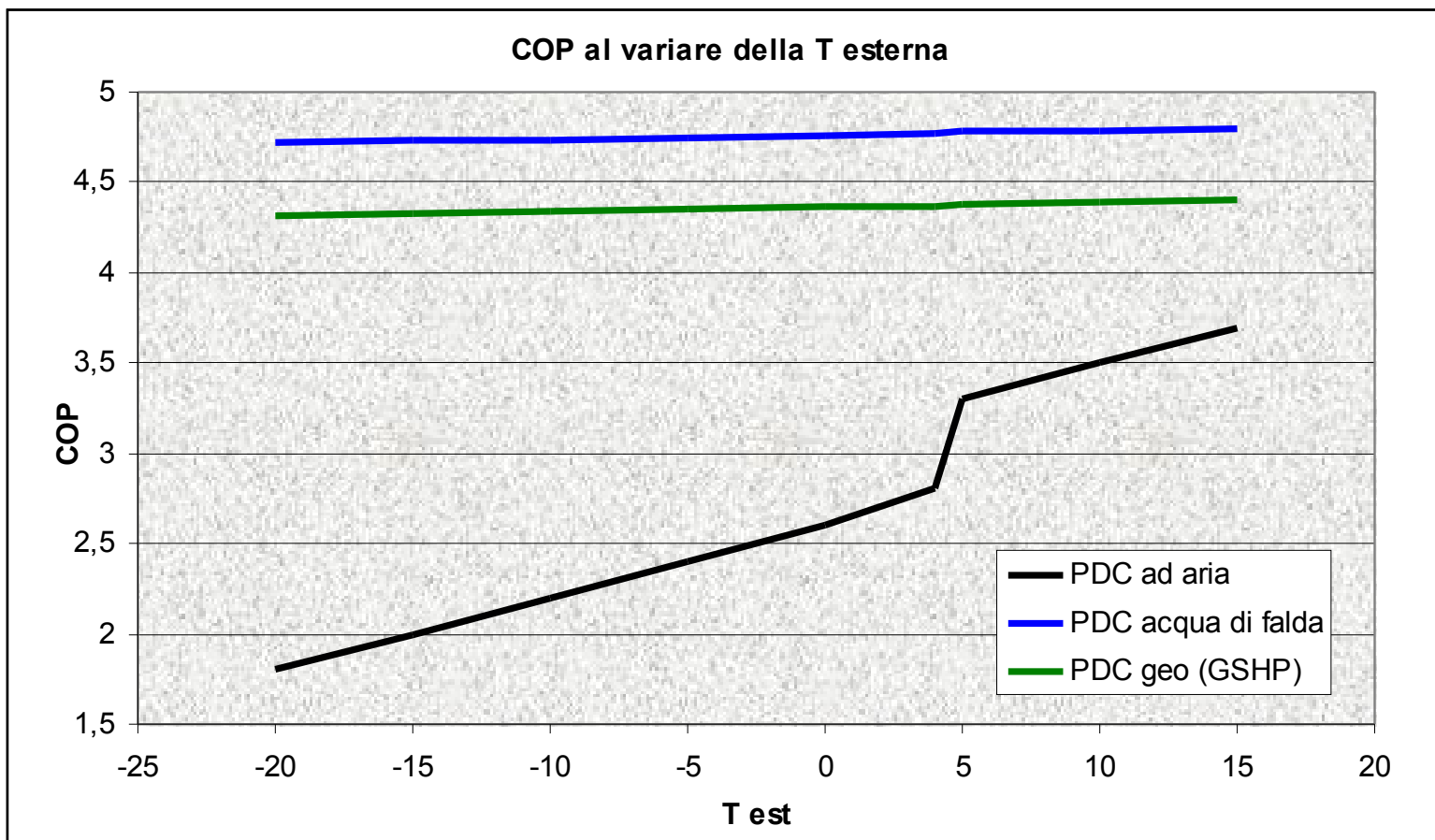
$$\text{COP}_{(\text{Teorico Carnot})} = T_2 / (T_2 - T_1)$$

- È funzione della temperatura della sorgente fredda e dell'impianto adottato
- È funzione del gas refrigerante (R407, R410)
- È funzione del tipo di macchina (scambiatori,compressori, ventilatori,etc)

EFFICIENZA POMPE DI CALORE ELETTRICHE



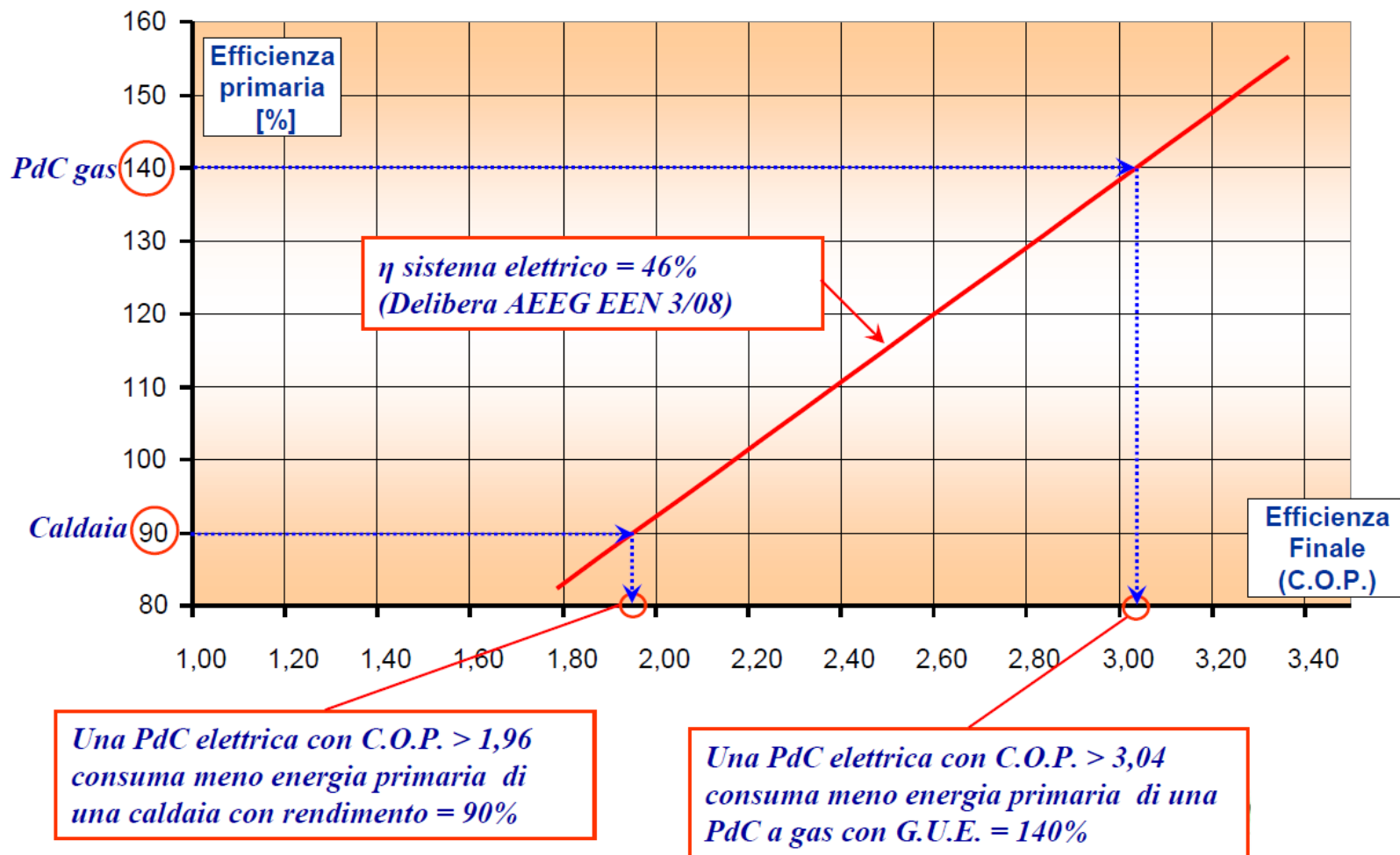
LA VARIAZIONE DEL COP CON LA TEMPERATURA ESTERNA: LO SCOP



Efficienza stagionale

$$SCOP = \left[\frac{\text{Calore Utile}}{\text{Energia}} \right]_{\text{Stagione di riscaldamento}}$$

EFFICIENZA POMPE DI CALORE VERSUS RENDIMENTO CALDAIE



CLASSIFICAZIONE SORGENTI DI CALORE: ARIA, ACQUA, TERRENO

La Direttiva 2009/28/CE assimila a fonte rinnovabile l'energia termica trasferita dall'ambiente esterno dalle pompe di calore come:

"energia aerotermica": energia accumulata nell'aria ambiente sotto forma di calore

"energia idrotermica": energia immagazzinata nelle acque superficiali sotto forma di calore (falde acquifere, laghi, fiumi, mare)

"energia geotermica": energia immagazzinata sotto forma di calore sotto la crosta terrestre

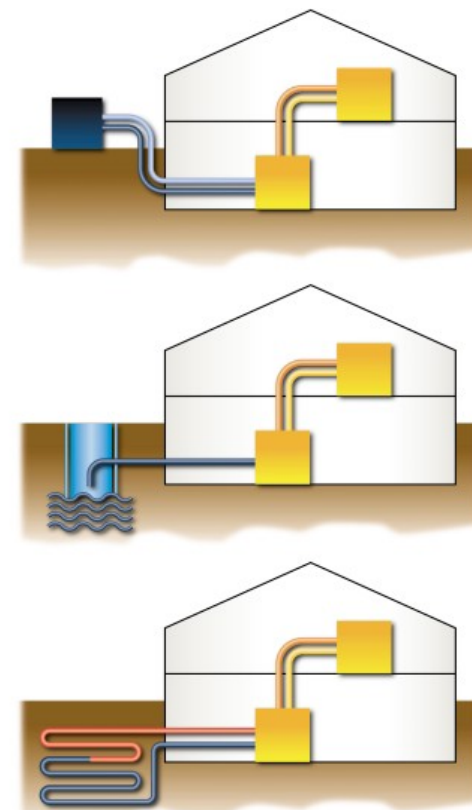
PDC AEROTERMICHE



PDC IDROTERMICHE



PDC GEOTERMICHE



CONFRONTO FRA SORGENTI DI CALORE

SORGENTE PRO / CONTRO

SORGENTE	PRO / CONTRO
ARIA	<ul style="list-style-type: none">– Disponibilità elevata– Praticità d'uso– Prestazioni energetiche variabili– Rumore e ingombro
ACQUA	<ul style="list-style-type: none">– Temperatura più idonea e più costante dell'aria– Disponibilità variabile– Costo delle opere di prelievo e scarico– Vincoli normativi per prelievo e scarico
TERRENO	<ul style="list-style-type: none">– Temperatura più idonea dell'aria– Disponibilità elevata– Tecnologia poco diffusa– Costo di realizzazione del campo geotermico



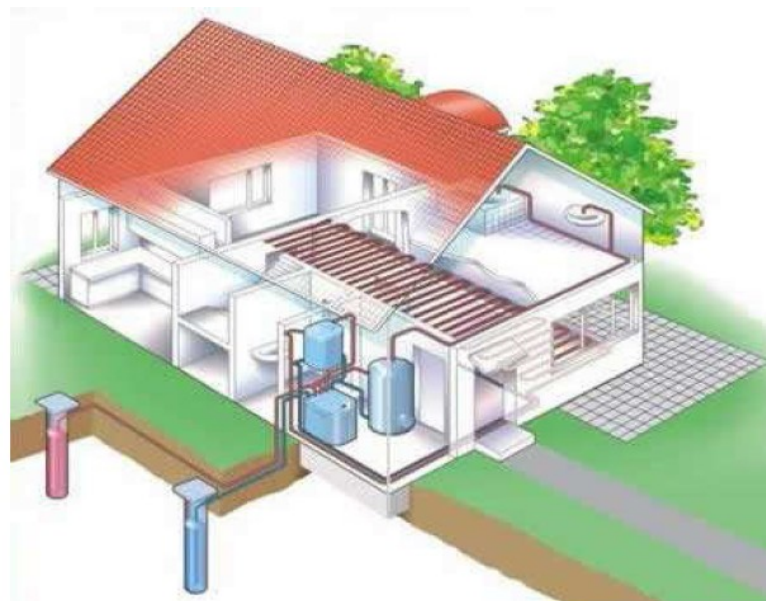
➤ **Prestazione non influenzata dal tipo di clima (COP quasi costante)**

➤ **Taglie medio/grandi**

➤ **Prestazione elevata, ma variabile con l'incidenza dei consumi ausiliari (dal 15 a oltre il 25 %)* a causa di:**

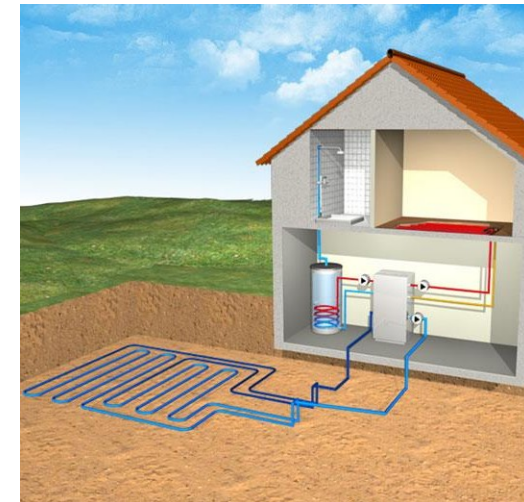
- falda acquifera troppo profonda
- circuiti di distribuzione dell'acqua emunta troppo estesi
- conduzione impropria degli impianti di sollevamento

➤ **Iter autorizzativo complesso o installazione non fattibile per vincoli sanitari sull'utilizzo delle falde**



POMPE DI CALORE GEOTERMICHE: GENERALITA'

- **Prestazione non influenzata dal tipo di clima (COP quasi costante) soprattutto per le SGV**
- **Taglie medio/grandi**
- **Prestazione elevata, ma attenzione alla persistenza nel tempo del potenziale geotermico per le SGV**
- **Consumi degli ausiliari = 12 % ca. (inferiori a quelli di impianti con sollevamento d'acqua")**
- **Iter autorizzativo relativamente semplificato**
- **Costi d'installazione del campo geotermico elevati soprattutto per le SGV**



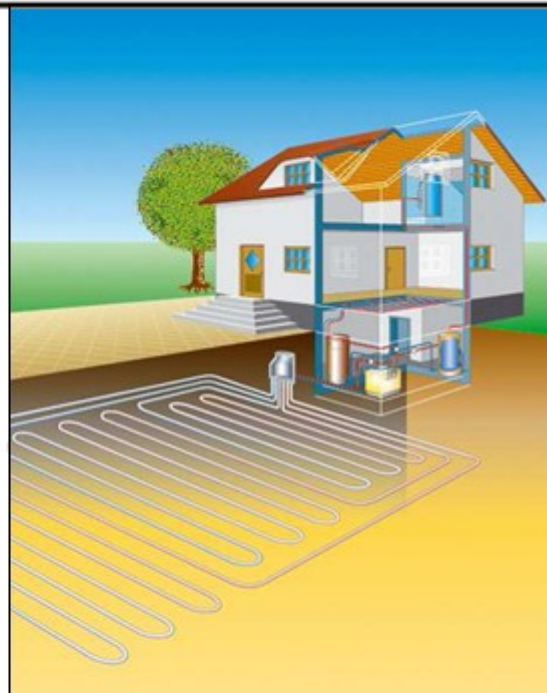
Fasci di tubi orizzontali

Tubi interrati fino a 3 m di profondità

Riscaldamento, acqua calda, raffreddamento

Influenza della meteo, richiede grandi superfici

=> sempre meno impiegato



Per il riscaldamento:
20 – 30 W/m²

- ▶ Massimo impiego di superficie
- ▶ Minore costo
- ▶ Piccoli edifici
- ▶ Temp. variabile

POMPE DI CALORE GEOTERMICHE: LE SONDE VERTICALI

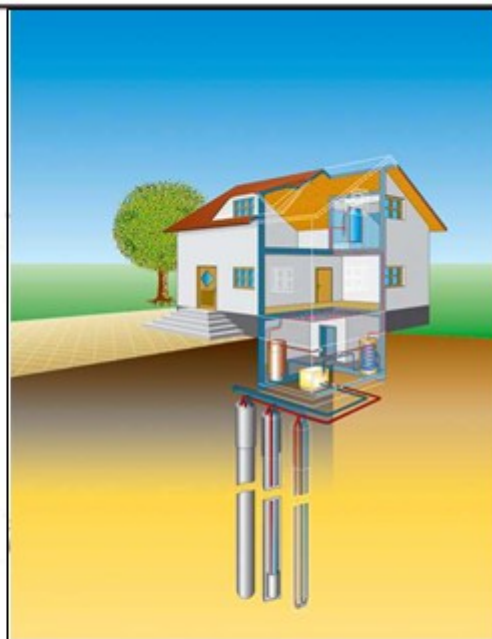
Sonde geotermiche

Lunghezza: 20 – 300 m

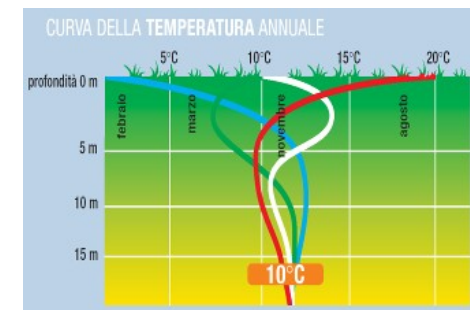
Riscaldamento, acqua calda, raffreddamento

Dimensionamento:

- geologia locale, tipo di terreno
- acqua sotterranea
- uso, tipo di sistema
- ecc.

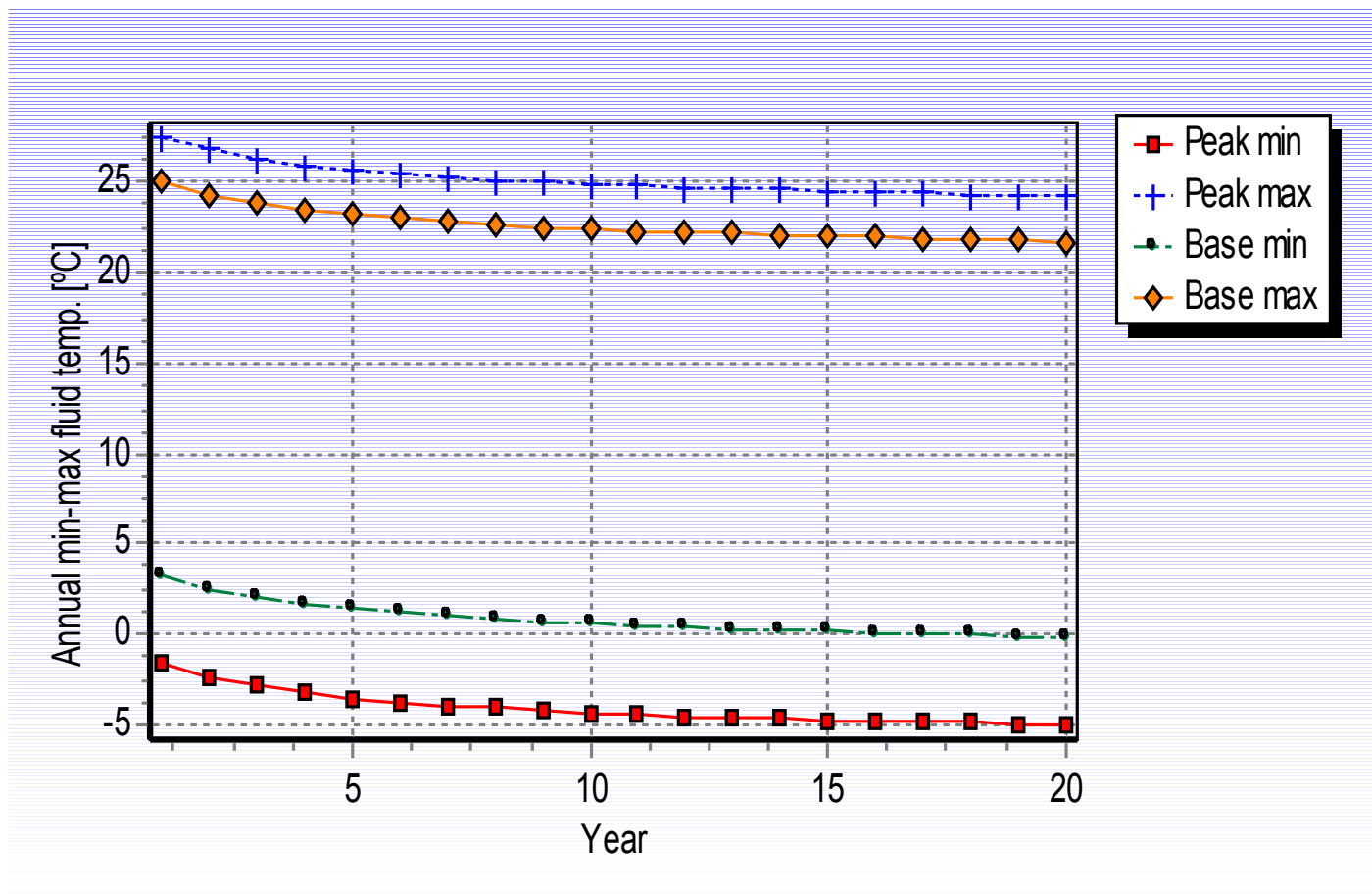


Per il riscaldamento:
20 – 70 W/m



- ▶ Più costoso
- ▶ poco impiego di spazio
- ▶ Elevata efficienza

POMPE DI CALORE GEOTERMICHE: LE SONDE VERTICALI



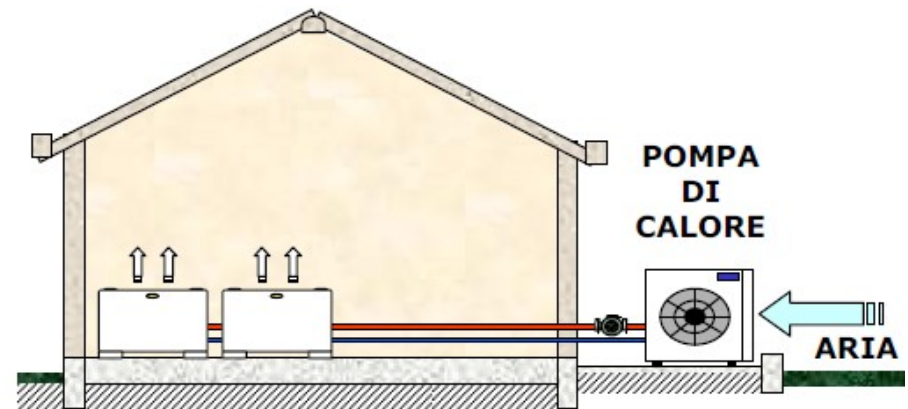
Le pompe di calore: la produzione del calore con sistemi ad elevata efficienza energetica.

Dott. Ing. Roberto Capra

RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA | L'edificio passivo alla base delle nuove costruzioni | Ferrara, 15 dicembre 2011

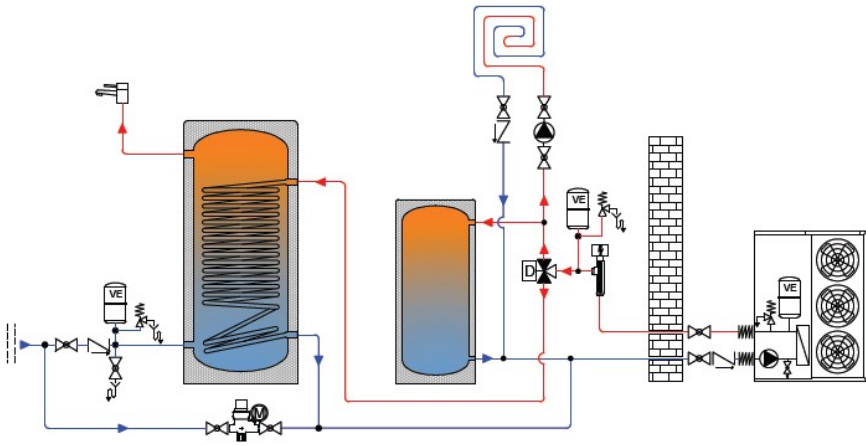
POMPE DI CALORE AD ARIA: GENERALITA'

- **Prestazione influenzata dal tipo di clima** (COP degrada al diminuire fortemente dalla temperatura esterna)
- Poiché la resa della PDC diminuisce al diminuire della temperatura **richiede il funzionamento di tipo bivalente**
- **Tutte le taglie** (locale singolo, appartamento, edificio)
- **Bassi consumi ausiliari anche per la presenza di sistemi ad inverter**



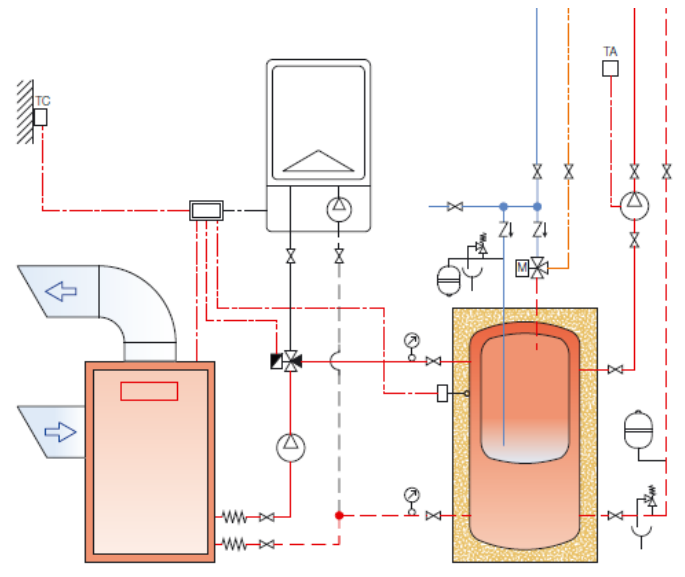
POMPE DI CALORE AD ARIA: IMPIANTI BIVALENTI

Con resistenza elettrica
per impianti domestici
(bivalente mono energia)



FONTE : ROSSATO GROUP

Con caldaia per impianti grandi
(bivalente multi energia)



Le pompe di calore: la produzione del calore con sistemi ad elevata efficienza energetica.

Dott. Ing. Roberto Capra

RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA | L'edificio passivo alla base delle nuove costruzioni | Ferrara, 15 dicembre 2011

FONTE : CALEFFI

POMPE DI CALORE AD ARIA: EVOLUZIONE TECNOLOGICA

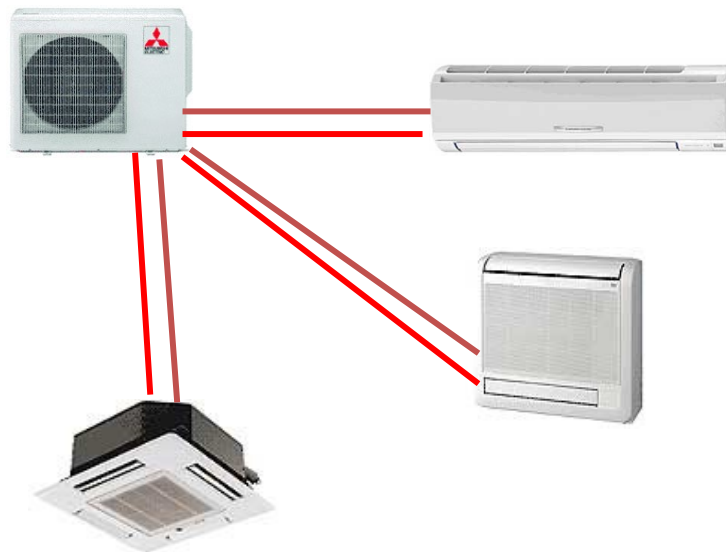
Miglioramento della efficienza energetica con le nuove pompe di calore ad aria COP elevati anche in condizioni climatiche severe

Technical specifications

Airpro		AW 10				AW 20			
Refrigerant		R404A/2400 g				R404A/4000 g			
Voltage	V	3 x 400				3 x 400			
Maximum current	A	7,8				14			
Starting current	A	38				101			
Circuit breaker	A	3 x 10				3 x 16			
Dimensions (H x W x D)	mm	882/952 x 1210 x 600				1212/1282 x 1210 x 600			
Weight	kg	150				185			
Outdoor temperature	°C	7	0	-15	-25	7	0	-15	-25
Supply water temperature		35 °C				35 °C			
Input power	kW	2,58	2,46	2,21	2,11	5,20	5,07	4,72	4,35
Output power	kW	9,84	8,33	5,56	4,40	20,70	17,80	12,21	9,73
COP		3,80	3,40	2,50	2,10	4,00	3,50	2,60	2,20
Supply water temperature		50 °C				50 °C			
Input power	kW	3,37	3,25	2,96	2,82	6,69	6,50	6,20	5,70
Output power	kW	9,89	8,86	6,10	4,83	19,66	17,39	12,83	10,56
COP		2,90	2,70	2,10	1,70	2,90	2,70	2,10	1,90

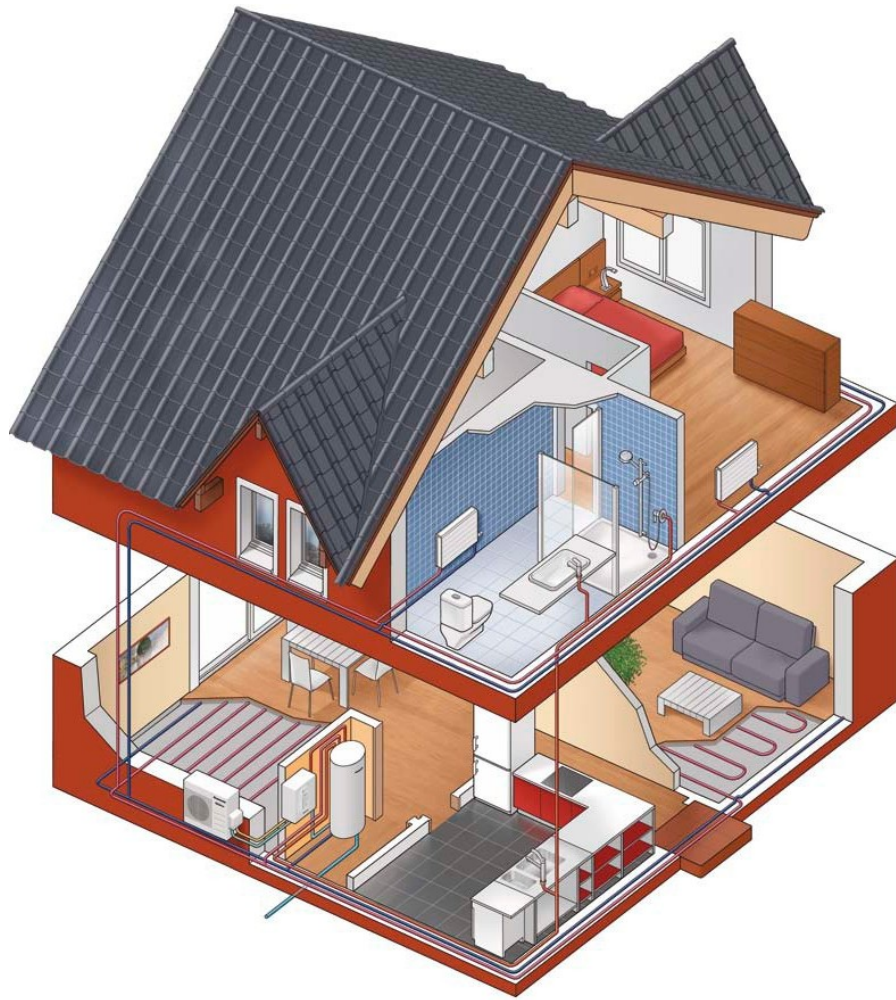
LE POMPE DI CALORE: SISTEMI AD ESPANSIONE DIRETTA

La distribuzione del calore all'interno del locale da riscaldare può avvenire diversi modi:



⇒ sistemi ad espansione diretta, il fluido di lavoro scambia calore con l'aria del locale (Split sistem) sfruttano come sorgente l'aria

LE POMPE DI CALORE: SISTEMI IDRONICI



FONTE : DAIKIN

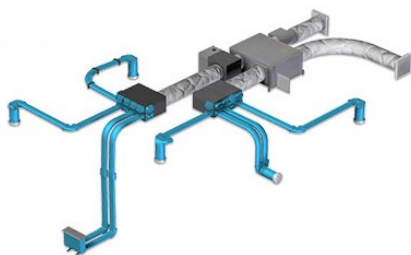
⇒ sistemi idronici, il fluido di lavoro scambia calore con acqua, che a sua volta è usata per la distribuzione a terminali locali (fan coil, sistemi radianti, unità trattamento aria) e/o produzione acqua calda sanitaria, possono sfruttare come sorgente l'aria, l'acqua, il terreno



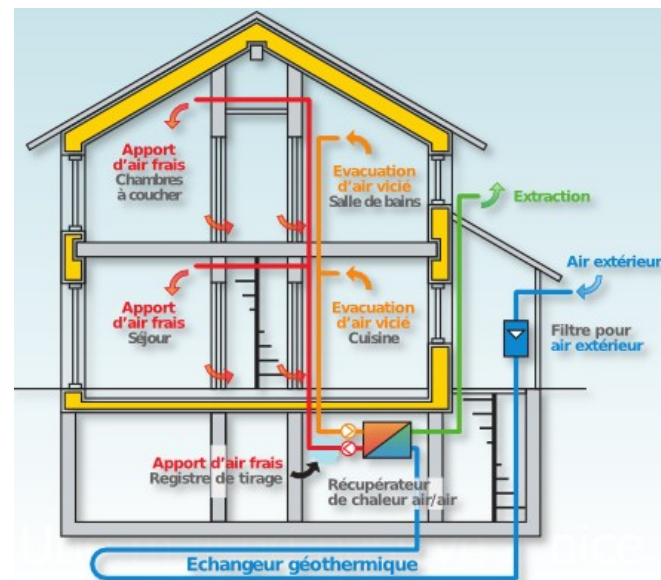
FONTE : VALSIR

LE PDC LA VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA E/O PER IL RISCALDAMENTO

⇒ sistemi ad aria viziata, il fluido di lavoro scambia calore dell'aria da espellere con l'aria che verrà immessa nei locali tramite canali e bocchette e/o produzione acqua calda sanitaria

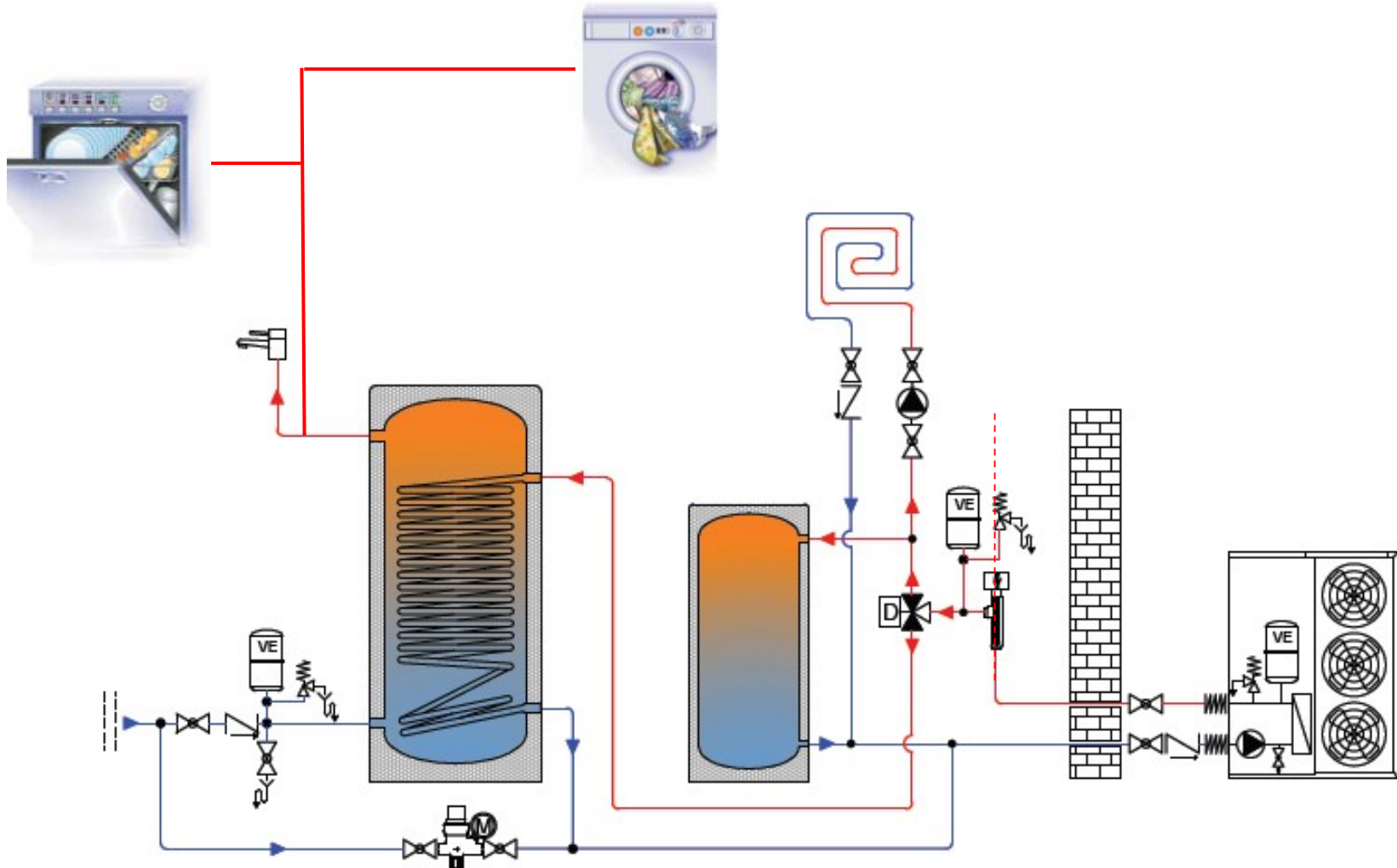


Negli edifici caratterizzati da un indice di prestazioni energetica dell'involucro < 10 kWh/mq anno, il riscaldamento si potrebbe fare realizzare solamente con un impianto di VMC preferibilmente accoppiato ad un Pozzo canadese



FONTE : CLIVET

POMPE DI CALORE ED ELETTRODOMESTICI: RISPARMIO ENERGETICO

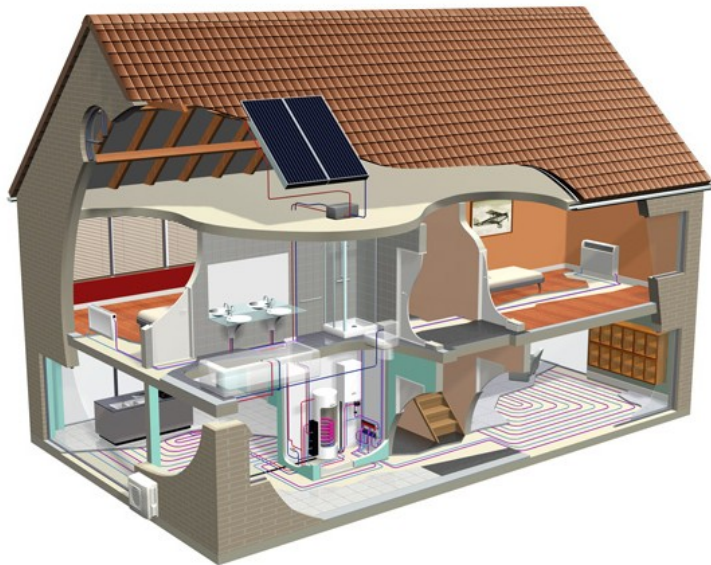
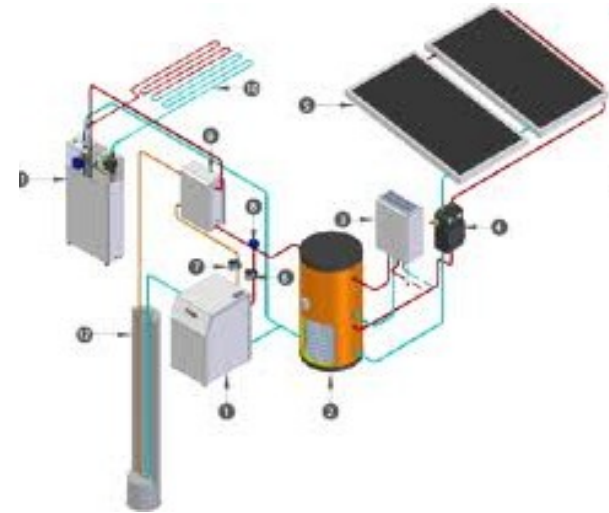


Le pompe di calore: la produzione del calore con sistemi ad elevata efficienza energetica.

Dott. Ing. Roberto Capra

RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA | L'edificio passivo alla base delle nuove costruzioni | Ferrara, 15 dicembre 2011

Accumulo del calore stagionale
con sonde geotermiche



Integrazione per ACS con solare
termico

TARIFFE ELETTRICHE

In seguito all'introduzione delle tariffe biorarie conviene far funzionare le PDC durante il periodo notturno soprattutto per la produzione di ACS.

DOPPIO CONTATORE

Per le utenze domestiche con pompa di calore e consumi elettrici annui superiori ai 4.500—5000 kWh, la soluzione che attualmente può garantire un risparmio sensibile sui costi di esercizio è l'installazione del doppio contatore che consiste nel richiedere un secondo contatore in grado di conteggiare separatamente i consumi della pompa di calore dagli usi elettrici obbligati. In questo caso, la tariffa applicata alla pompa di calore è diversa da quella utilizzata per gli usi obbligati.



POMPE DI CALORE ED ENERGIA SOLARE: FOTOVOLTAICO

l'energia elettrica necessaria al funzionamento delle pompe di calore puo' essere prodotta tramite sistemi fotovoltaici migliorando notevolmente l'indice di prestazione energetica del fabbricato fino a rendere l'edificio totalmente passivo.



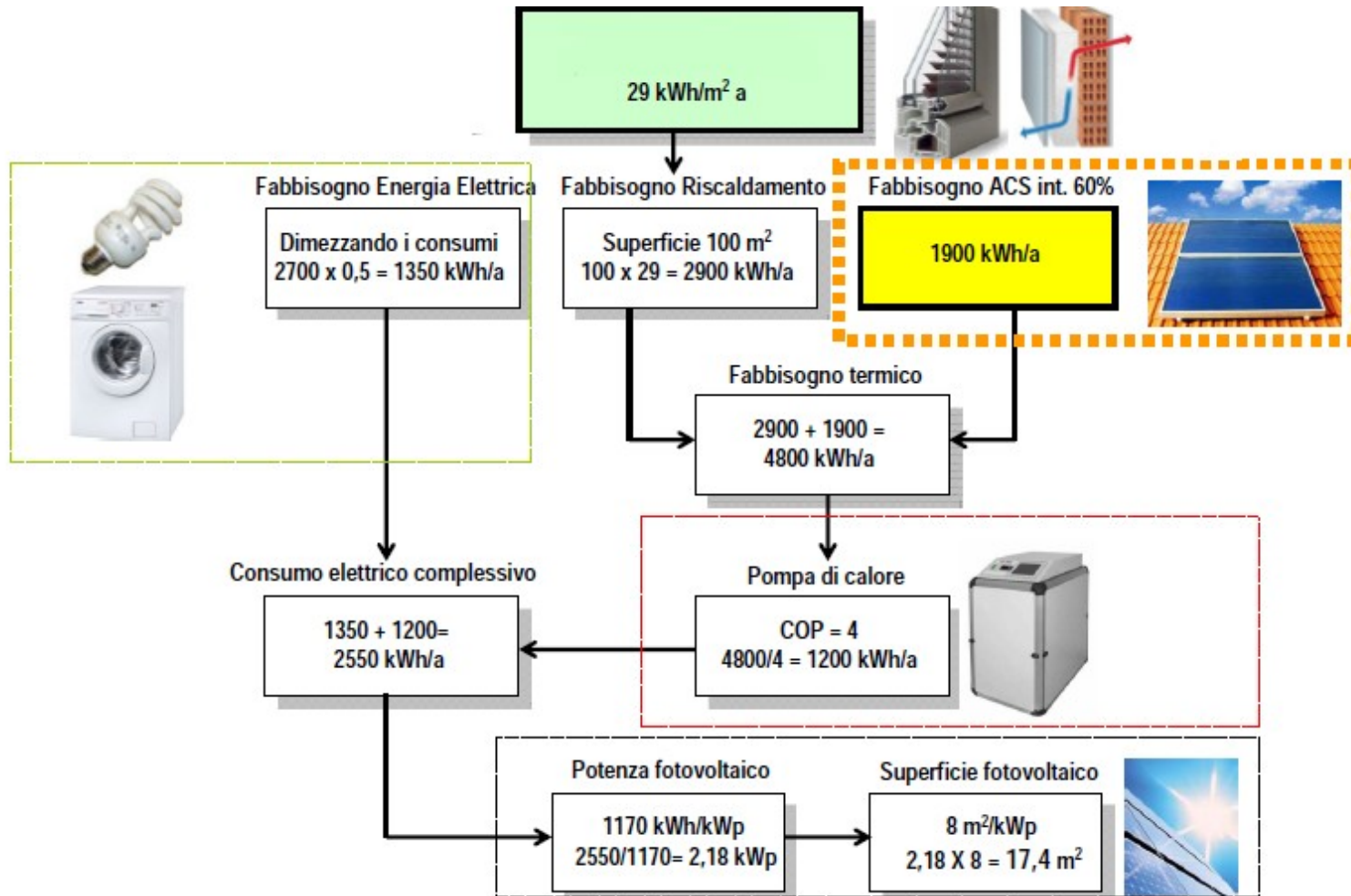
COLLETTORI PV



COLLETTORI PV E SOLARI TERMICI INTEGRATI



ESEMPIO DI CALCOLO SEMPLIFICATO: PDC E PV



Le pompe di calore: la produzione del calore con sistemi ad elevata efficienza energetica.

Dott. Ing. Roberto Capra

RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA | L'edificio passivo alla base delle nuove costruzioni | Ferrara, 15 dicembre 2011

Grazie per la cortese attenzione

roberto.capra@unife.it

robertocapra62@hotmail.com

Università di Ferrara
Dipartimento di Architettura

Indirizzo | Via Ghiara, 36 | 44121 Ferrara

E-mail | ae@unife.it

Tel./fax | +39 0532 29 36 31

Web | ww.unife.it/centro/architetturaenergia



architettura>energia

centro ricerche facoltà architettura ferrara