



The Project is co-funded  
by the European Union Instrument  
for Pre-Accession Assistance



**LEGEND**

LOW ENTHALPY GEOTHERMAL ENERGY DEMONSTRATION



## La progettazione e i benefici economici

Geotermia a bassa entalpia: i fattori per lo sviluppo del mercato e della filiera  
Bologna, 14 novembre 2014

*Giorgio Pagliarini*

*Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Parma*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

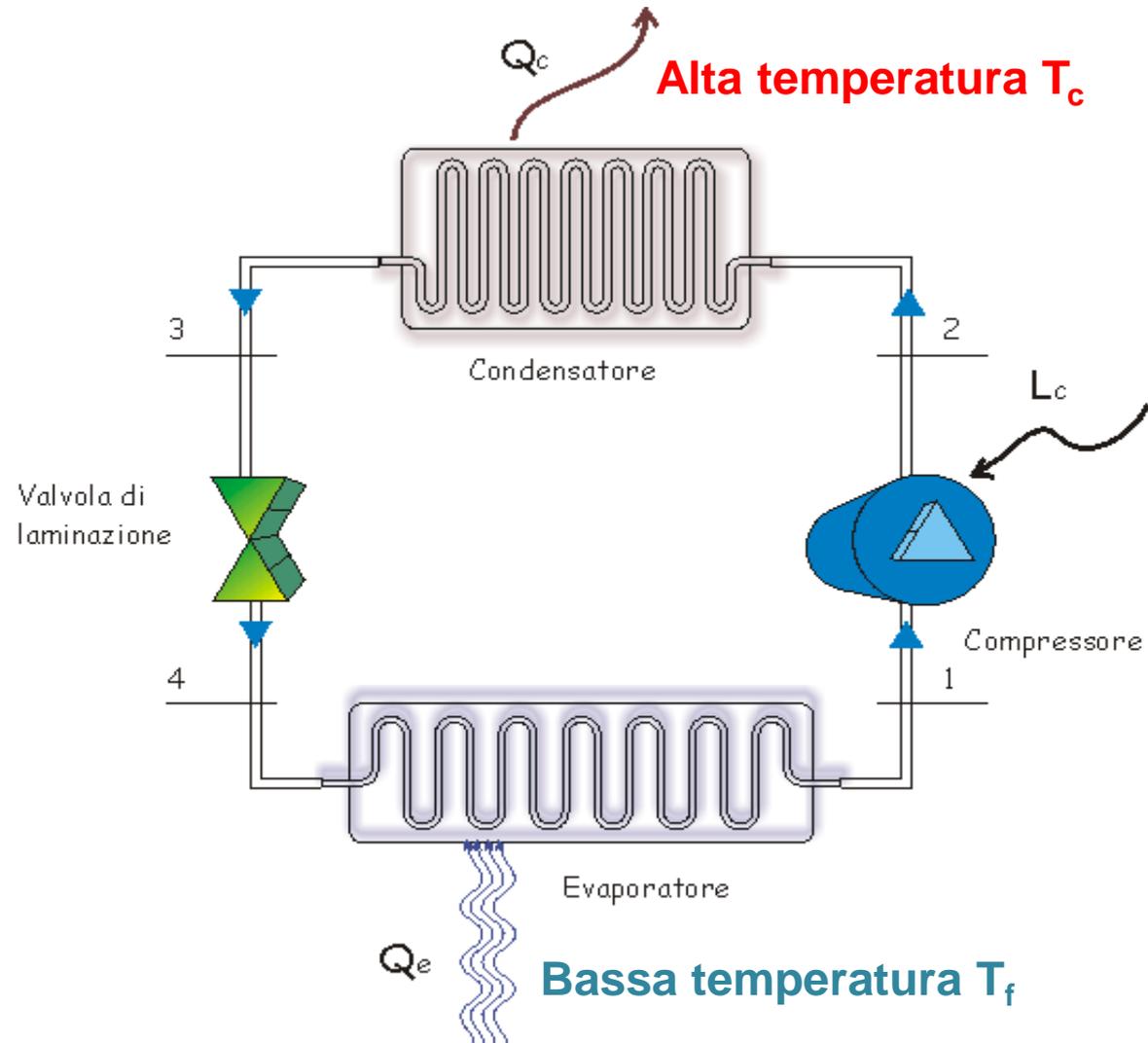
**Energia da fonti rinnovabili:** energia ... aerotermica, geotermica, idrotermica.

- energia aerotermica: l'energia estraibile dall'aria ambiente sotto forma di flusso di calore;
- energia geotermica: l'energia estraibile dal terreno sotto forma di flusso di calore;
- energia idrotermica: l'energia estraibile dalle acque sotto forma di flusso di calore.

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

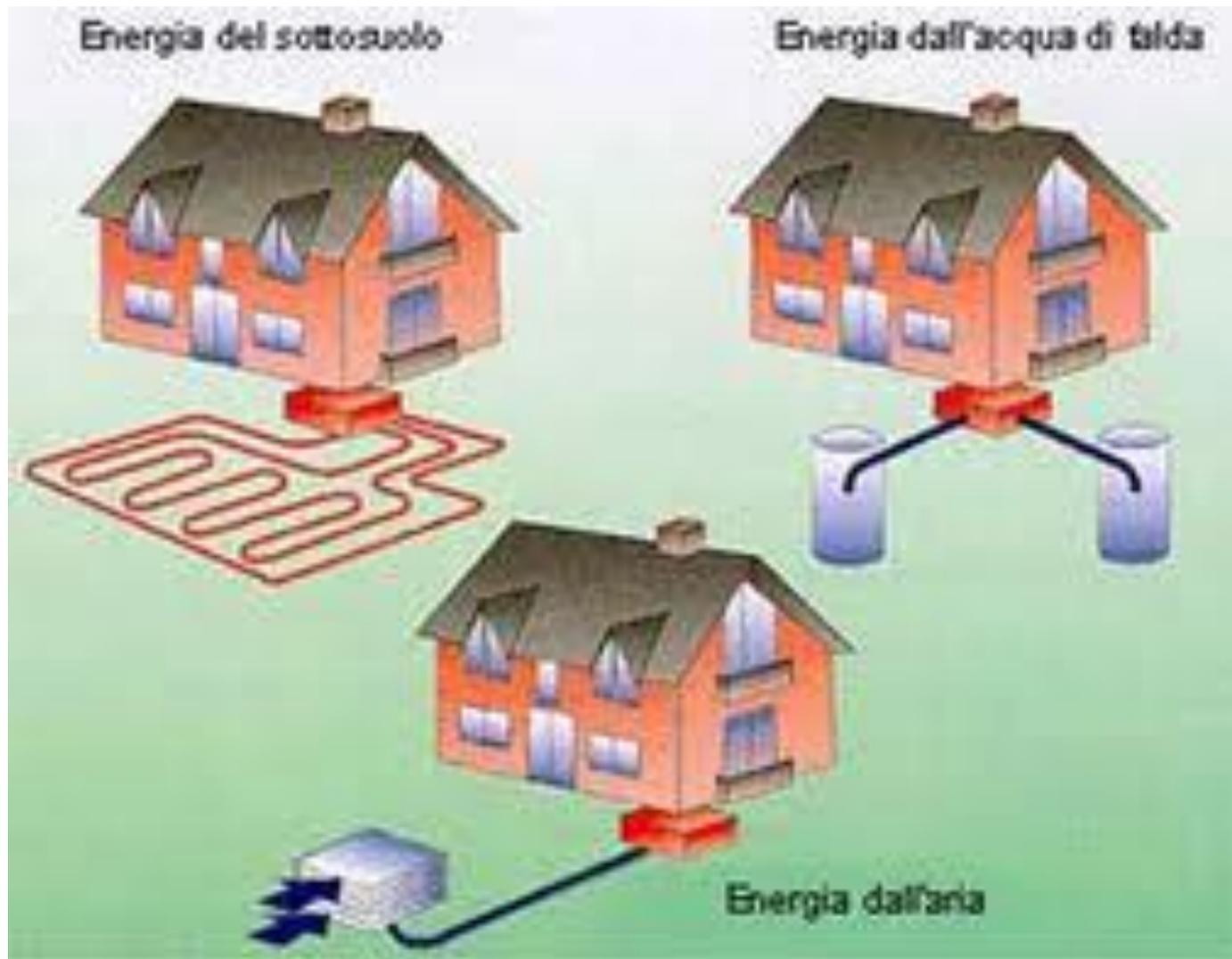
### Pompa di calore



Giorgio Pagliarini

# Geotermia a bassa entalpia

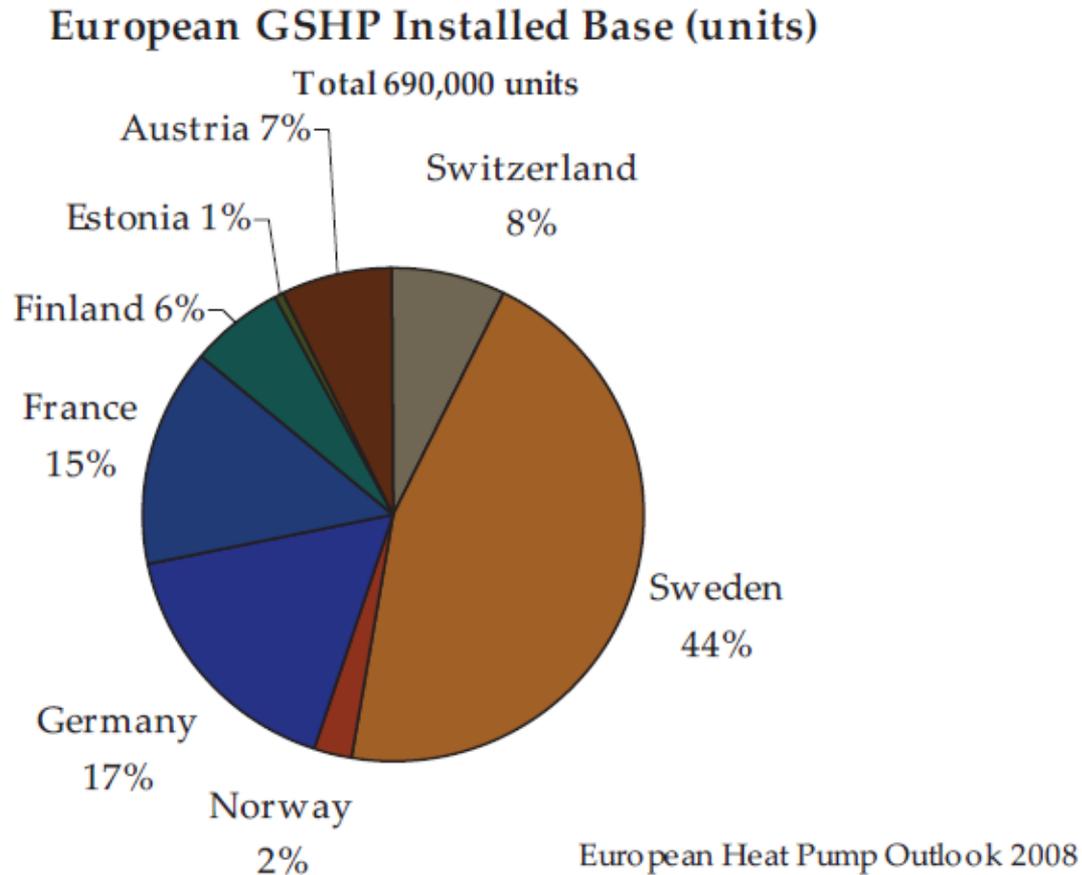
## La progettazione e i benefici economici



*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

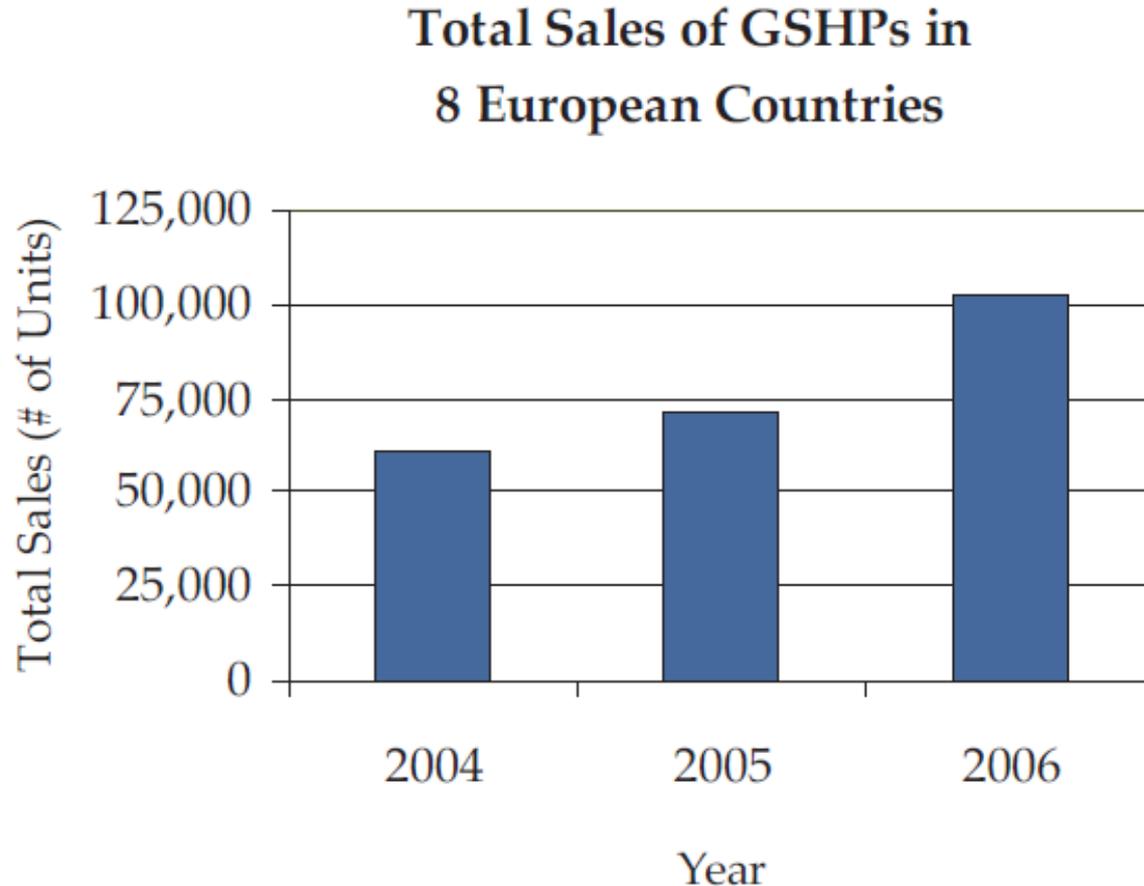
## La progettazione e i benefici economici



*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici



---

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

L'efficienza energetica di una pompa di calore elettrica è espressa dal coefficiente di prestazione (medio stagionale):

**COP**<sub>medio stagionale</sub> =

**Energia termica fornita dalla pompa di calore durante la stagione di riscaldamento**

---

**Energia elettrica consumata dalla pompa di calore durante la stagione di riscaldamento**

---

*Giorgio Pagliarini*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

Per la pompa di calore la quota di energia da fonte rinnovabile è:

$$[1 - (1/(SPF))]$$

dove SPF è il fattore di rendimento che, nel caso di pompa di calore elettrica, è espresso come segue, in funzione del COP:

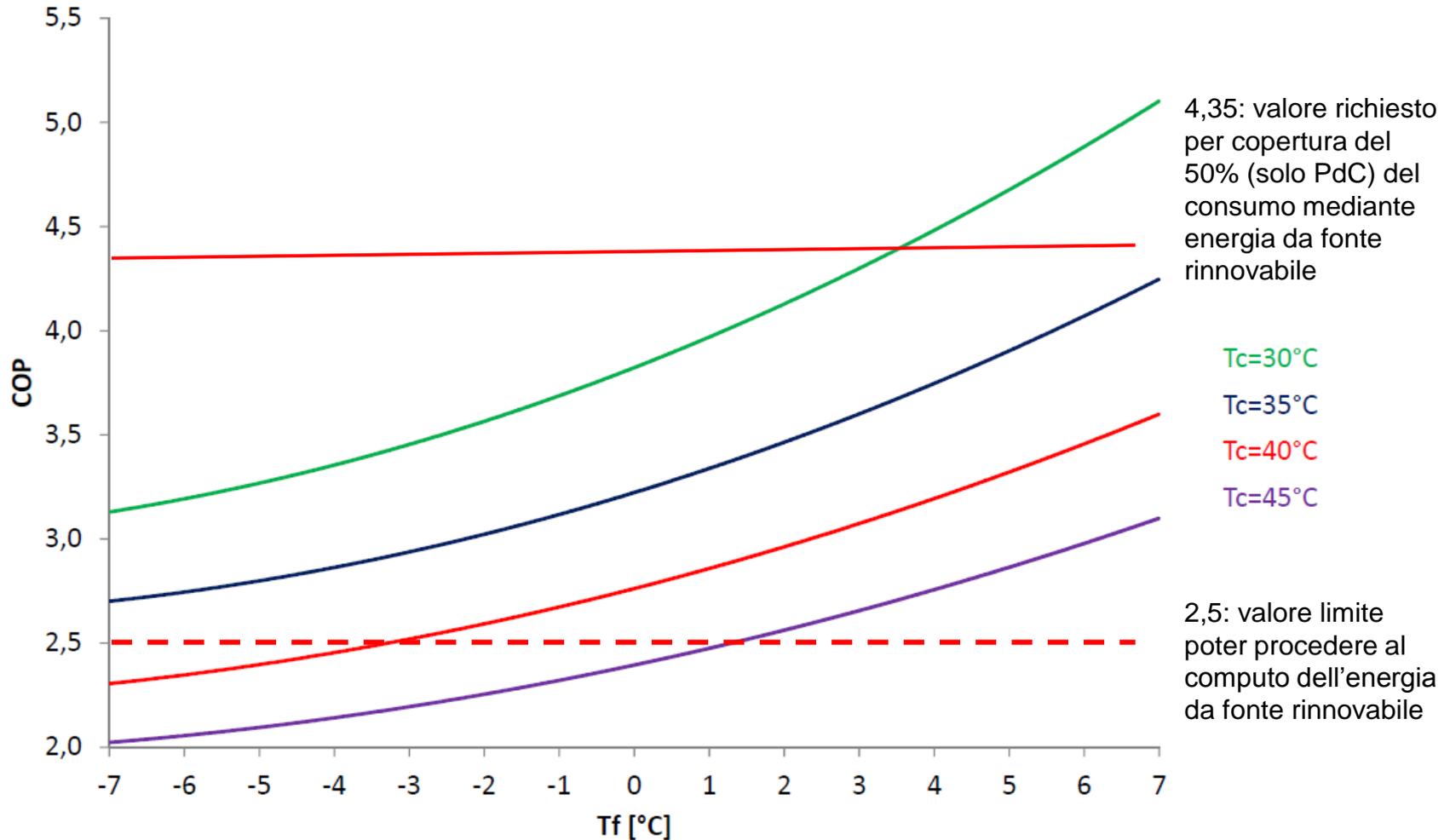
$$SPF = 0,46 \text{ COP}_{\text{medio stagionale}} = \frac{\text{Energia termica fornita dalla pompa di calore durante la stagione di riscaldamento}}{\text{Energia primaria consumata dalla pompa di calore durante la stagione di riscaldamento}}$$

Si procede al computo dell'energia da fonte rinnovabile solo se  $SPF > 1,15$   
(DGR 26 settembre 2011, N. 1366)

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

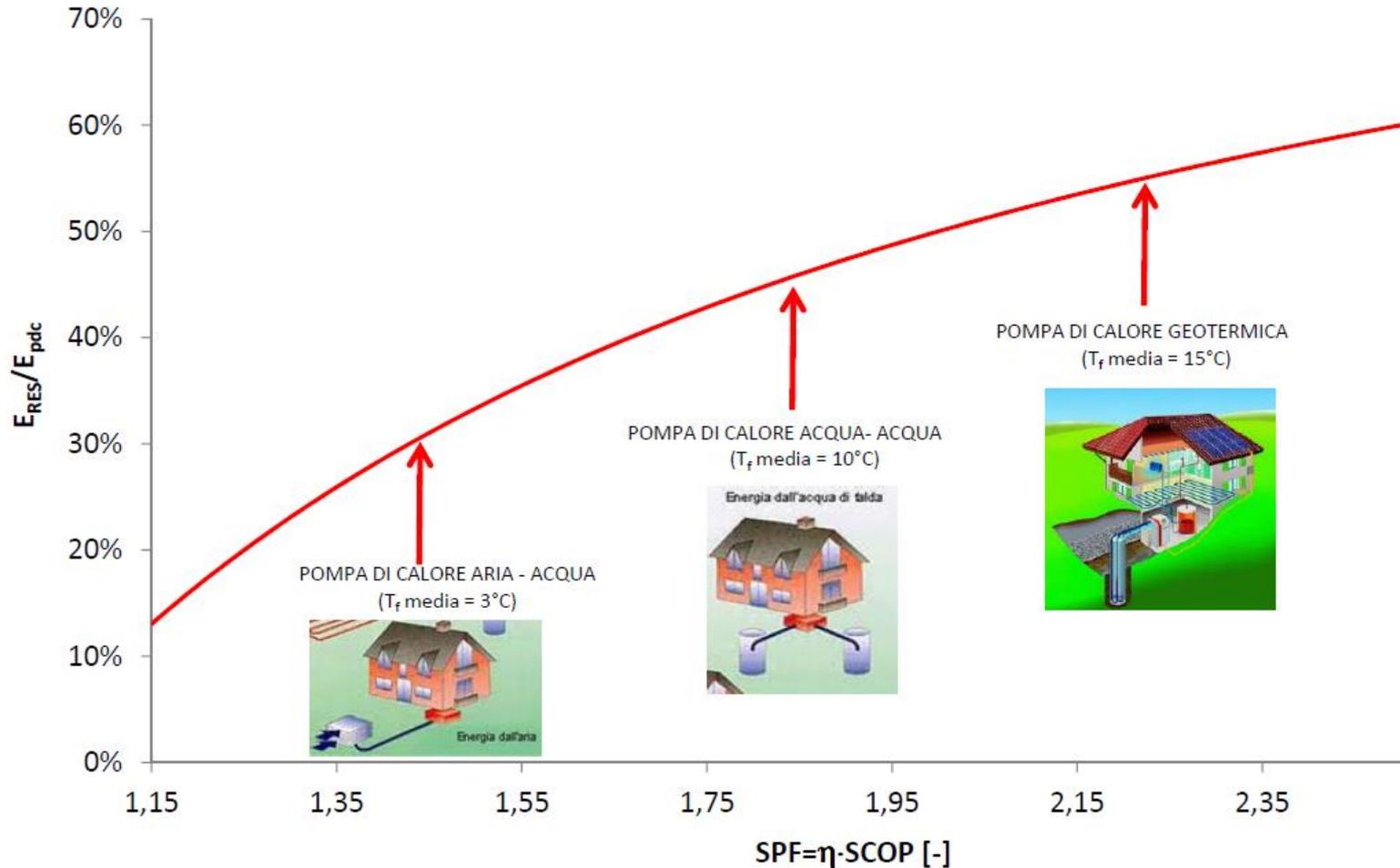
## La progettazione e i benefici economici



Giorgio Pagliarini

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici



Giorgio Pagliarini

# **Geotermia a bassa entalpia**

**La progettazione e i benefici economici**

## **Caso studio**

---

*Giorgio Pagliarini*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

### ✓ DATI GEOMETRICI

Volume lordo climatizzato: 1271.62 m<sup>3</sup>

Superficie utile energetica: 308 m<sup>2</sup>

Superficie disperdente: 846.68 m<sup>2</sup>

Rapporto S/V: 0.67 m<sup>-1</sup>

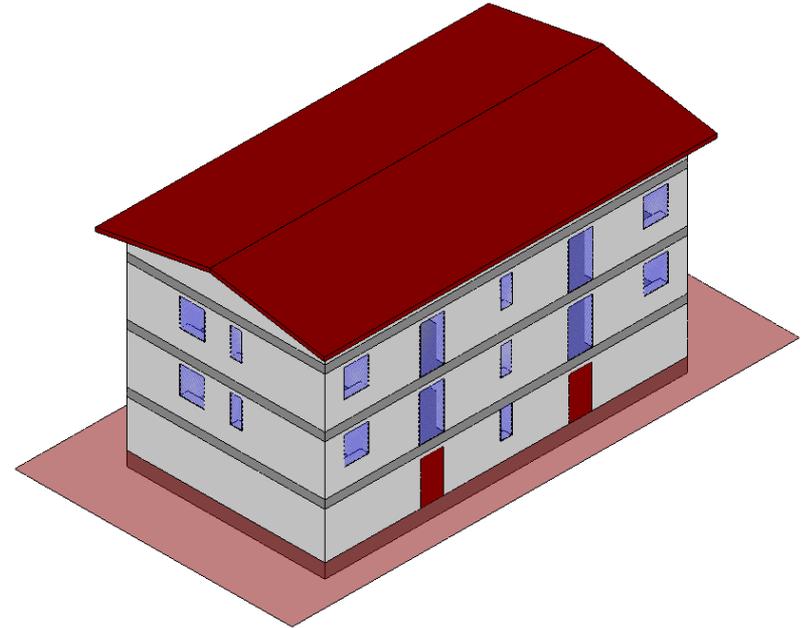
### ✓ DATI IMPIANTO

Tipologia: impianto centralizzato

Emissione: pannelli radianti a pavimento

Regolazione: climatica + ambiente On/Off

Distribuzione: potenza elettrica circolatore 300 W



---

*Giorgio Pagliarini*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

Fabbisogno di energia termica utile (kWh) che deve essere soddisfatto dal sottosistema di generazione (località Parma):

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr
$Q_h$	541	2707	4616	5193	3616	1729	275
$Q_{l,H,e}$	11	55	94	106	74	35	6
$Q_{l,H,rg}$	29	145	248	279	194	93	15
$Q_{l,H,d}$	12	59	101	114	79	38	6
$Q_{H,gn,out}$	593	2967	5060	5691	3963	1895	302

20471  
kWh

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

- Caldaia a gas a condensazione
- Pompa di calore aria-acqua + caldaia a gas a condensazione
- Pompa di calore geotermica + caldaia a gas a condensazione

**Costo gas: 1 €/Sm<sup>3</sup>**

**Costo ee: 0.22 €/kWh**

---

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

**Caldaia a gas a condensazione:  $\eta = 101\%$**

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Tot	Costo /anno
Caldaia (Sm <sup>3</sup> )	62	312	532	599	417	199	32	2154	2154
Ausiliari (kWh)	122	216	223	223	201	223	108	1317	290
Costo totale (€)									2444

---

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

La progettazione e i benefici economici

## Caso studio

### pompa di calore elettrica aria-acqua

Dati di targa della pompa di calore (COP)

	$T_c$ [°C]			
$T_f$ [°C]	30	35	40	45
-7	3.117	2.692	2.297	2.016
-2	3.610	3.056	2.623	2.281
2	4.083	3.431	2.932	2.536
7	5.115	4.257	3.608	3.107

Generatore ausiliario: caldaia a gas a condensazione

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

### Distribuzione dei BIN mensili per Parma

Mese	Temperatura [°C]																	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ott	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	16.00	24.00	33.00	42.00	48.00	51.00	49.00	43.00	35.00	26.00	18.00	11.00
Nov	19.00	36.00	59.00	85.00	105.00	113.00	105.00	85.00	59.00	36.00	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dic	124.00	110.00	83.00	53.00	28.00	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gen	85.00	58.00	34.00	17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Feb	90.00	90.00	81.00	66.00	48.00	32.00	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mar	25.00	36.00	49.00	61.00	72.00	79.00	81.00	78.00	70.00	59.00	46.00	34.00	23.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apr	0.00	0.00	6.00	9.00	12.00	16.00	20.00	24.00	27.00	30.00	32.00	32.00	31.00	29.00	25.00	21.00	17.00	13.00

### COP della pompa di calore nelle condizioni effettive di funzionamento

#### COP effettivi corretti per i BIN mensili

Mese	Temperatura [°C]																	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ott	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.72	3.84	3.97	4.11	3.39	3.38	3.33	3.24	3.08	2.80	2.33	1.52	
Nov	3.05	3.18	3.31	3.46	3.61	3.72	3.84	3.97	4.11	4.25	4.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dic	3.05	3.18	3.31	3.46	3.61	3.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gen	3.05	3.18	3.31	3.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Feb	3.05	3.18	3.31	3.46	3.61	3.72	3.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mar	3.05	3.18	3.31	3.46	3.61	3.72	3.84	3.97	3.31	3.32	3.30	3.25	3.15	2.98	0.00	0.00	0.00	0.00
Apr	0.00	0.00	3.31	2.75	2.77	2.78	2.79	2.78	2.77	2.73	2.67	2.58	2.44	2.24	1.95	1.53	0.92	

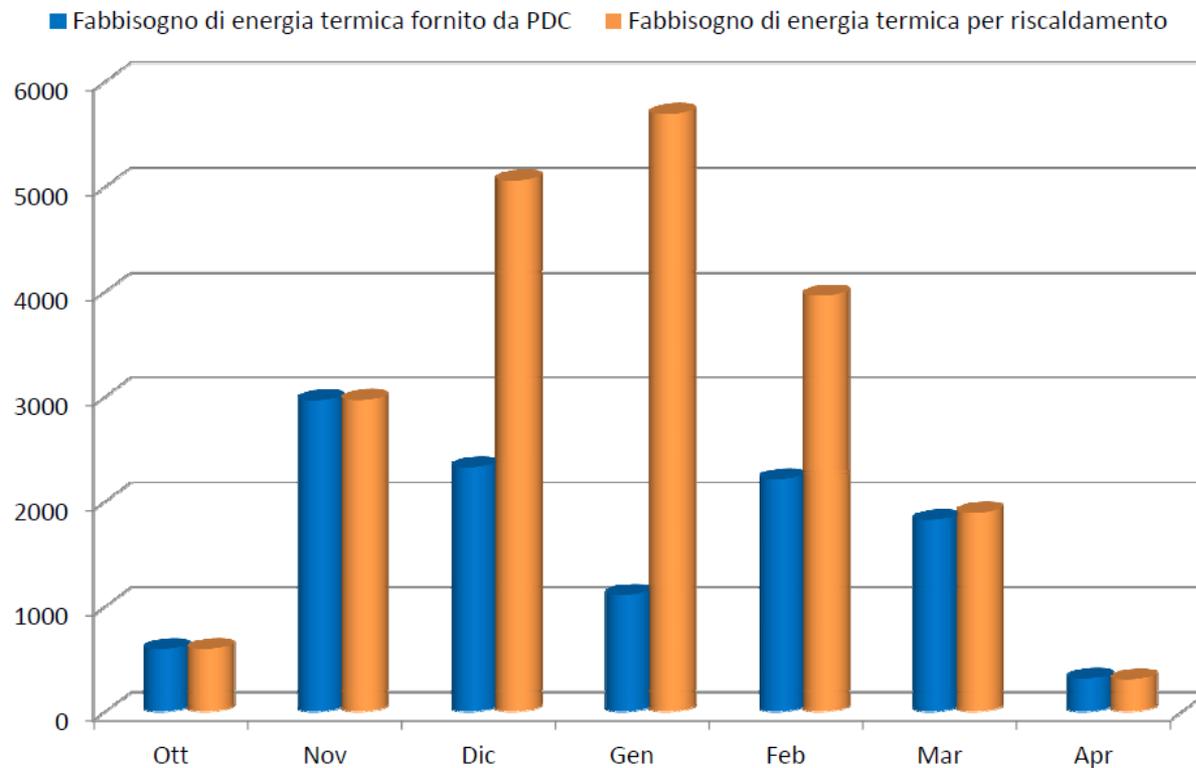
Giorgio Pagliarini

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

Fabbisogno di energia termica fornito dalla pompa di calore [kWh]



*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

Fabbisogno di energia termica fornito dalla pompa di calore

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr
Copertura fabbisogno	100%	100%	46%	19%	55%	96%	100%

**Copertura annuale: 55%**

Fabbisogno di energia termica richiesto al sistema di integrazione

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr
Integrazione [kWh]	0	0	2735	4580	1751	71	0

$$EP_i = \frac{19241}{308} = 62.47 \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{anno})]$$

---

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

### ➤ Pompa di calore elettrica aria - acqua

- ✓ Fabbisogno di energia primaria [kWh]

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Tot
PDC	377	1775	1562	762	1456	1138	260	7330
Caldaia	0	0	2708	4534	1734	71	0	9047
Ausiliari	266	470	485	485	438	485	235	2864
$Q_{p,H}$	643	2245	4755	5781	3628	1694	495	<b>19241</b>

*Per il calcolo dell'energia primaria è stato considerato un fattore di conversione di energia elettrica in energia primaria pari a 2.174.*

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

### Pompa di calore elettrica aria - acqua

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Tot	Costo/ anno
PDC (kWh)	173	816	718	351	670	523	120	3372	742
Caldaia (Sm3)	0	0	288	482	184	8	0	961	961
Ausiliari (kWh)	122	216	223	223	201	223	108	1317	290
Costo totale (€)									1993
Risparmio (€)									451 18%

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

La progettazione e i benefici economici

## Caso studio

### pompa di calore elettrica geotermica

Dati di targa della pompa di calore

$T_c$ [°C]	35	40	45
COP	5.590	4.919	4.840
Potenza termica	7.29	6.415	7.97

$T_f = 10^\circ\text{C}$

---

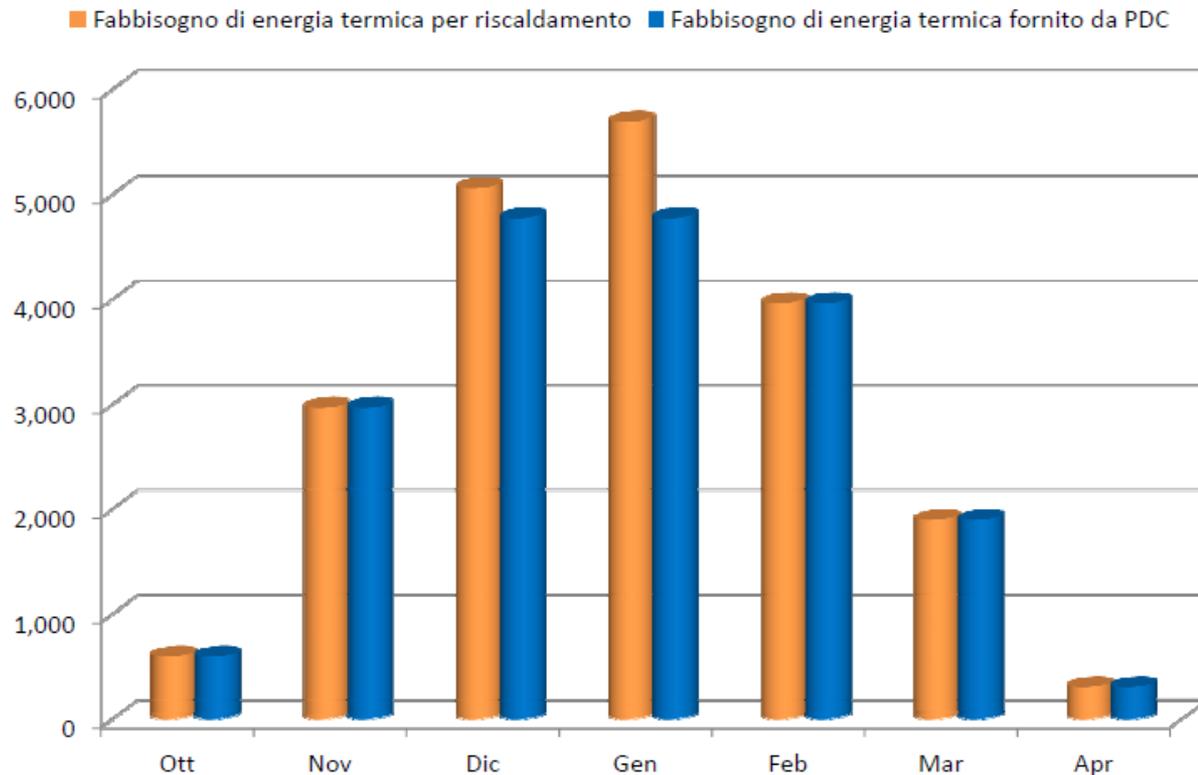
Giorgio Pagliarini

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

Fabbisogno di energia termica fornito dalla pompa di calore [kWh]



*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

Fabbisogno di energia termica fornito dalla pompa di calore

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr
Copertura fabbisogno	100%	100%	94%	84%	100%	100%	100%

**Copertura annuale: 94%**

Fabbisogno di energia termica richiesto al sistema di integrazione (caldaia)

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr
Integrazione [kWh]	0	0	287	918	0	0	0

$$EP_i = \frac{13012}{308} = 42.25 \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{anno})]$$

---

Giorgio Pagliarini

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

### ➤ Caso studio pompa di calore elettrica geotermica

#### ❑ Procedura di calcolo

- ✓ Fabbisogno di energia primaria [kWh]

	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Tot
PDC	441	1311	2109	2109	1751	837	311	8869
Caldaia	0	0	284	909	0	0	0	1193
Ausiliari	266	470	524	529	438	485	235	2947
$Q_{p,H}$	707	1,781	2,918	3,547	2,190	1,323	546	<b>13012</b>

*Per il calcolo dell'energia primaria è stato considerato un fattore di conversione di energia elettrica in energia primaria pari a 2.174.*

Giorgio Pagliarini

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

### Pompa di calore elettrica geotermica

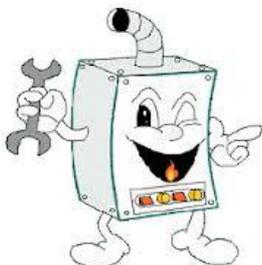
	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Tot	Costo /anno
PDC (kWh)	203	603	970	970	805	385	143	4080	898
Caldaia (Sm3)	0	0	30	97	0	0	0	127	127
Ausiliari (kWh)	122	216	223	223	201	223	108	1317	290
Costo totale (€)									1314
Risparmio (€)									1130 46%

---

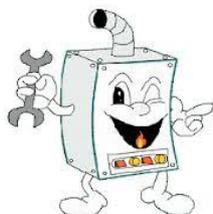
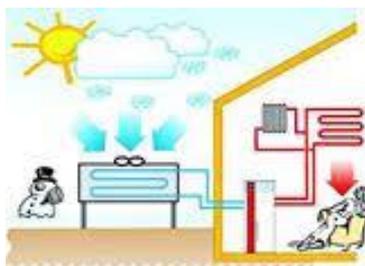
Giorgio Pagliarini

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici



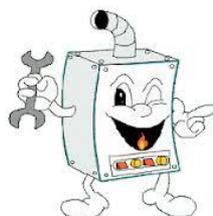
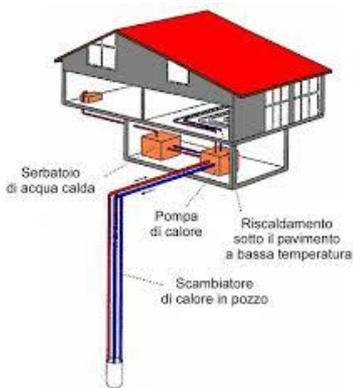
**Costo risorsa energetica 2444 €**



**- 18%**



**Costo risorsa energetica 1993 €**



**- 46%**



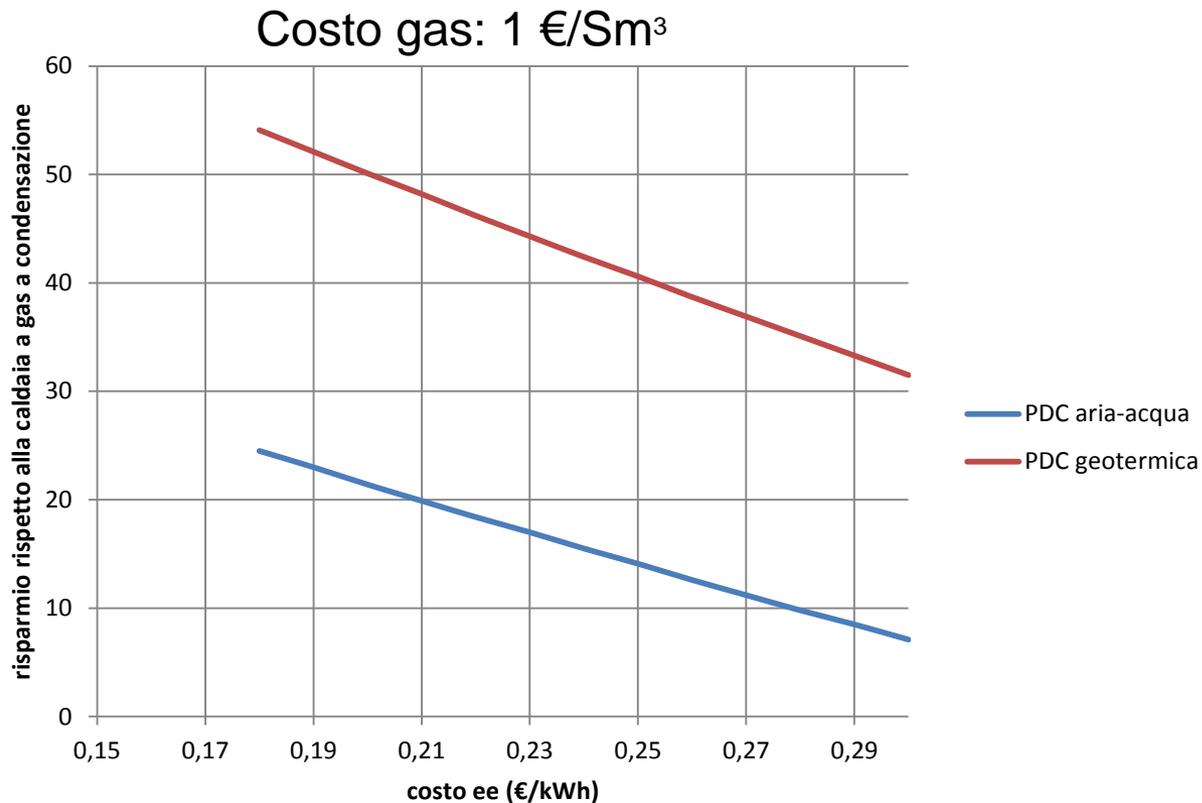
**Costo risorsa energetica 1314 €**

*Giorgio Pagliarini*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici



*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

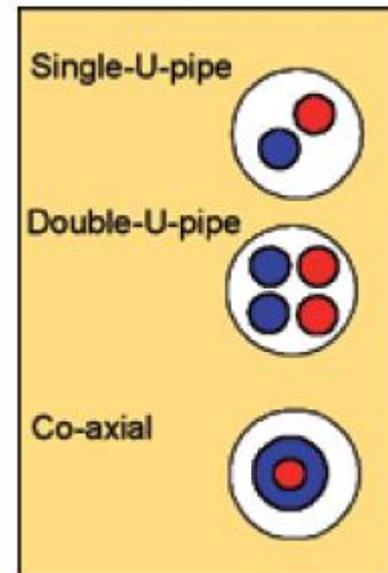
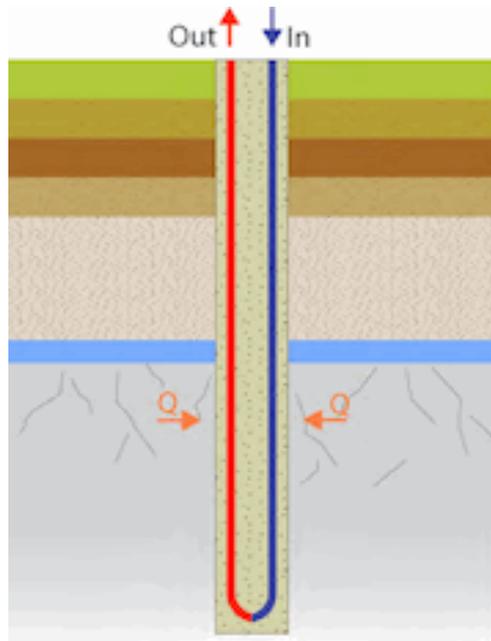
## La progettazione e i benefici economici

Costi impianto geotermico:

- Sonde geotermiche
- Pompa di calore
- Sistema di accumulo
- Sistema di emissione
- ...

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici



*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

<b>Sottosuolo</b>	<b>Rendimento [W/m]</b>
Sottosuolo cattivo (terreno asciutto)	20
Roccia o terreno umido	50
Roccia con alta conducibilità	70
Ghiaia, sabbia, asciutta	< 20
Ghiaia, sabbia, satura	55-65
Argilla, limo, umido	30-40
Roccia calcare	45-60
Arenaria	55-65
Granito	55-70
Gneiss	60-70

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

Potenza termica PDC geotermica:	6,415 kW
COP:	4,919
Potenza termica estratta dal terreno:	5,111 kW
Potenza specifica sonda geotermica:	40 W/m
Lunghezza sonda geotermica:	128 m
Costo unitario:	60 €/m
Costo totale sonda:	7666 €

---

*Giorgio Pagliarini*

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici

Il costo dell'apparato di scambio termico tra il fluido termovettore e l'ambiente freddo è critico per il costo complessivo dell'impianto

Potenza (kW)	PDC aria-acqua (€)	PDC acqua (di falda)-acqua (€)	PCD geot. (sonde verticali) (€)
5	7.000 – 10.000	13.000 – 14.000	15.000 – 20.000
10	8.000 – 11.000	15.000 – 17.000	20.000 – 24.000
15	12.000 – 15.000	18.000 – 22.000	24.000 – 28.000

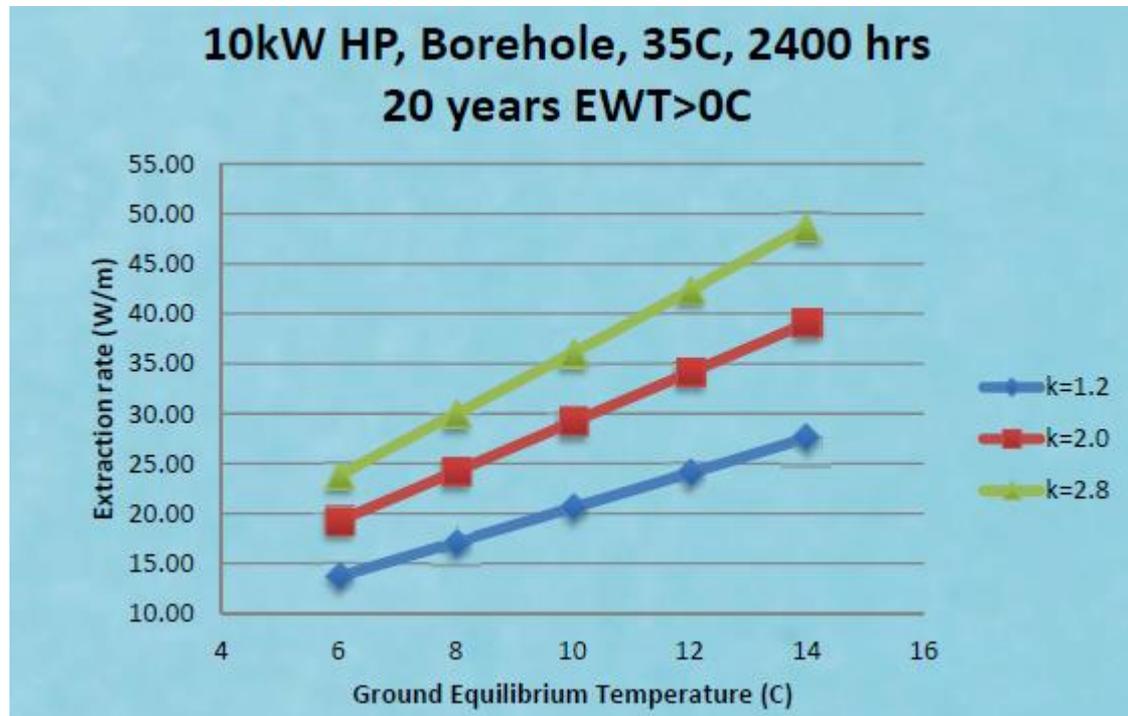
---

*Giorgio Pagliarini*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Geotermia a bassa entalpia

## La progettazione e i benefici economici



*Giorgio Pagliarini*

# **Geotermia a bassa entalpia**

**La progettazione e i benefici economici**

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

---

*Giorgio Pagliarini*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE