

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

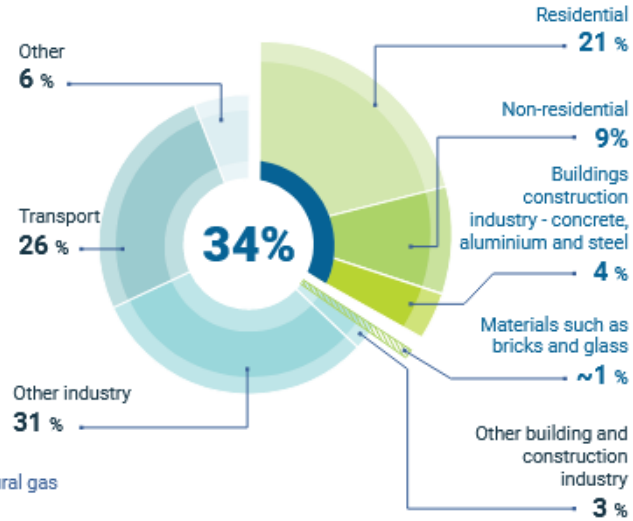
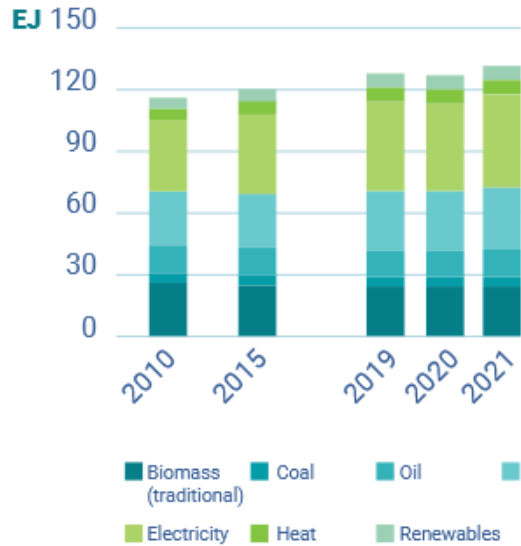
Relazione per la prova finale
***LE POMPE DI CALORE GEOTERMICHE
NEGLI EDIFICI DEL SETTORE TERZIARIO***

Tutor universitario: Prof. Angelo Zarrella

Laureando: *Enrico Pesce*

Padova, 13/11/2023

-1.5 °C



	2021 [PJ]
Gas	6812
Combustibili solidi	80
Petrolio e sottoprodotti	565
Rinnovabili	968
Geotermico	50
Eolico, solare e altre	500
Biocombustibili e RSU	1316
Nucleare	26
Altre fonti	1011
Totale	17406

Generazione di calore, per combustibile (mondo)
Fonte: EU *Statistical PocketBook 2023*

A sinistra: tipologie di combustibili usati per il riscaldamento negli edifici.

A destra: consumi finali dell'energia, con specifico focus sul settore degli edifici.

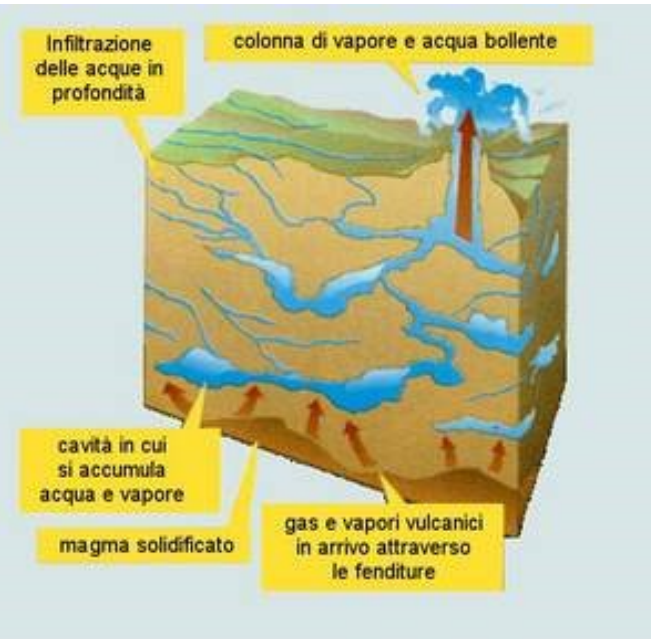
Fonte: 2022 *Global Status Report for Buildings and Construction*

Consumi finali di energia per settore, [Mtoe]

Fonte: EU *Statistical PocketBook 2023*

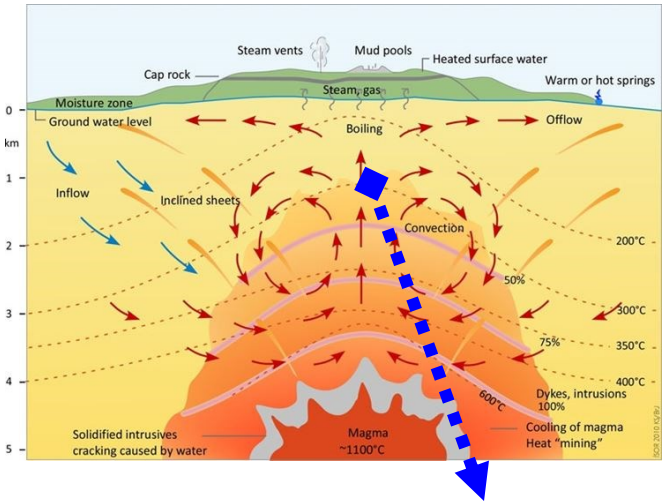
	Industria	Trasporti	Residenziale	Servizi	Agricoltura e pesca	Altri
EU27 2020	240,40	274,80	261,80	129,40	29,80	3,80
%	27,20%	31,10%	29,60%	14,60%	3,40%	0,40%
Belgio	10,58	8,53	8,59	4,54	0,90	0,03
Danimarca	7,01	6,88	7,86	2,96	0,65	0,05
Germania	55,87	52,30	58,77	28,77	3,61	0,05
Francia	27,22	42,69	42,21	21,99	4,56	0,84
Spagna	20,13	30,35	14,74	10,08	3,11	0,19
Svezia	11,10	6,85	7,88	4,26	0,60	1,47
Italia	25,28	35,29	32,03	17,46	3,01	0,14

- a. Presentazione del funzionamento delle pompe di calore geotermiche
- b. Analisi dei vantaggi e degli svantaggi dell'installazione di una pompa di calore
- c. Presentazione di alcuni casi reali di GSHP installate in edifici del settore terziario
- d. Presentazione di alcuni dati di dispositivi presenti sul mercato, e confronto tra loro



Modalità di trasmissione del calore geotermico: per conduzione e attraverso le acque di falda.

Fonti: Bernardi R.; *Department of the Environment, Climate and Communication* (Irlanda)



www.dii.unipd.it

RISORSE GEOTERMICHE

**A BASSA ENTALPIA
($T < 90\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

Uso diretto del calore geotermico

**A MEDIA ENTALPIA
($90\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

**AD ALTA ENTALPIA
($T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

**GRADIENTE
GEOTERMICO**

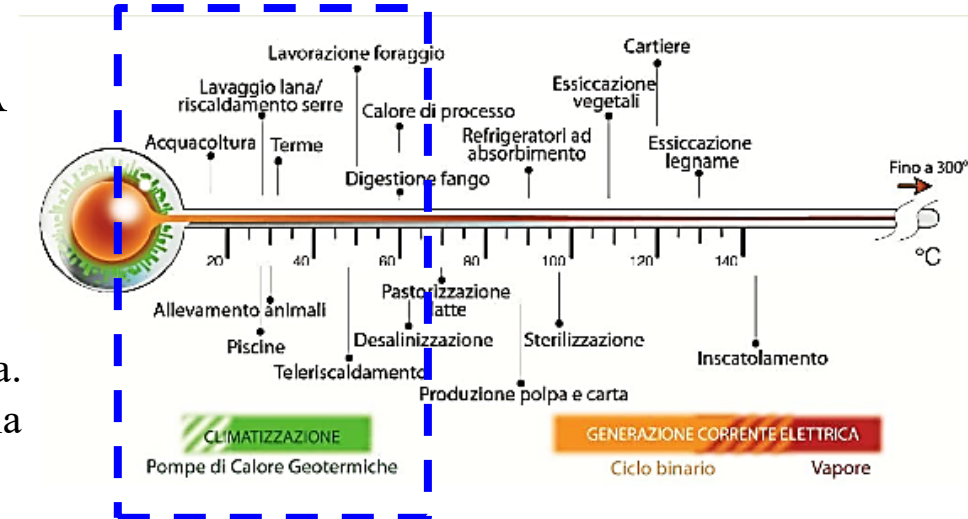
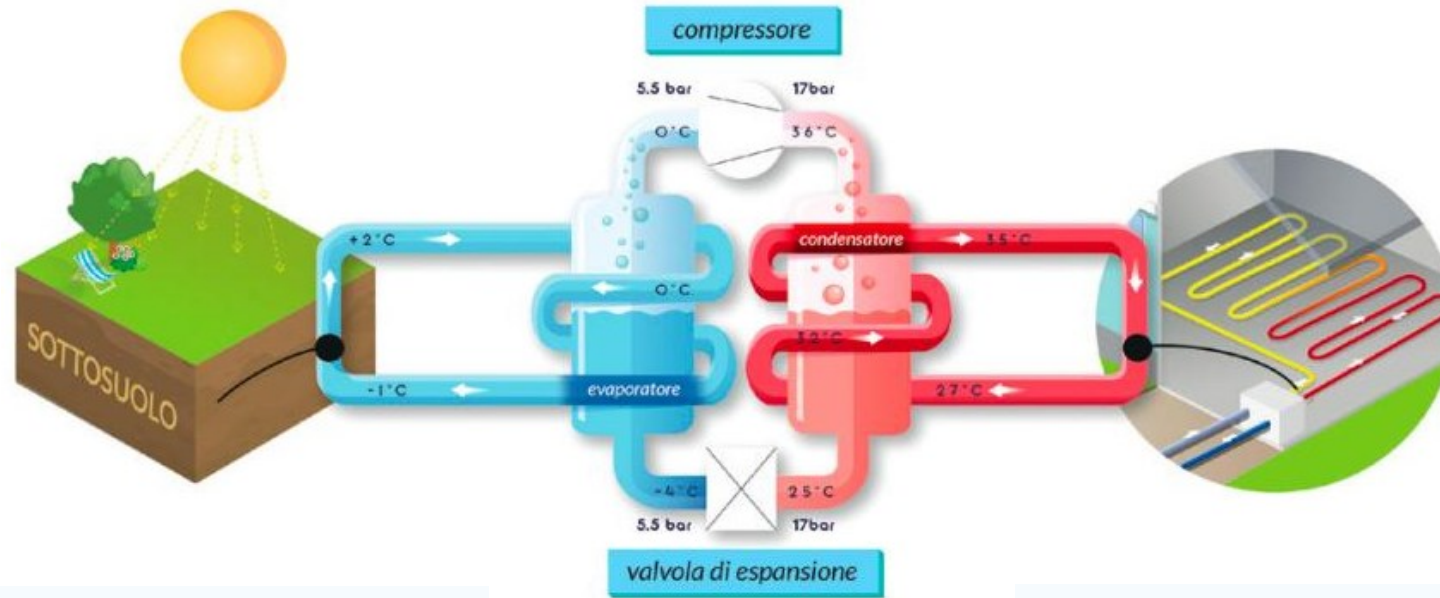


Fig. 6: Diagramma di Lindal, implementato con la produzione di energia elettrica. Vengono riportati gli usi della risorsa geotermica a seconda della temperatura della risorsa.

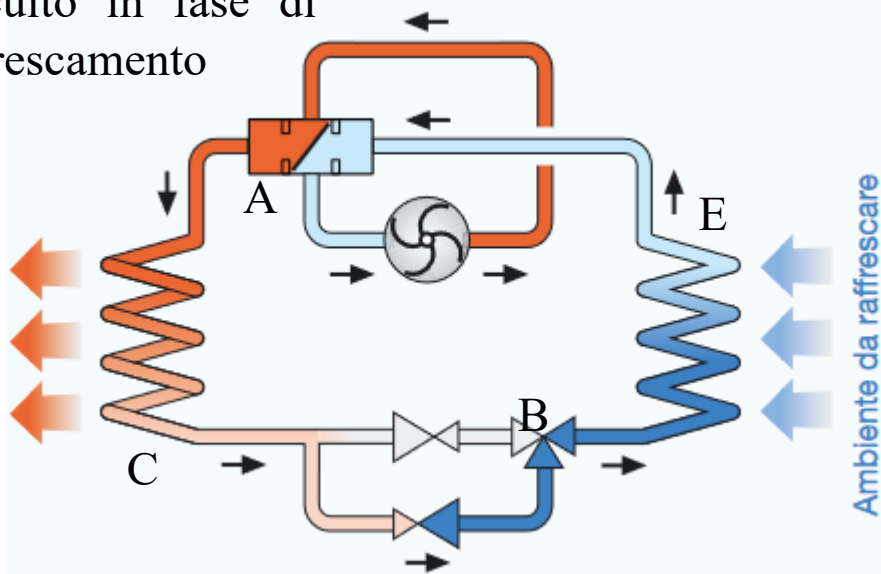
Fonti: D. Montanari, CNR IGG Progetto Vigor



Circuito di una pompa di calore.
Fonti: ENEA, BRGM
Caleffi

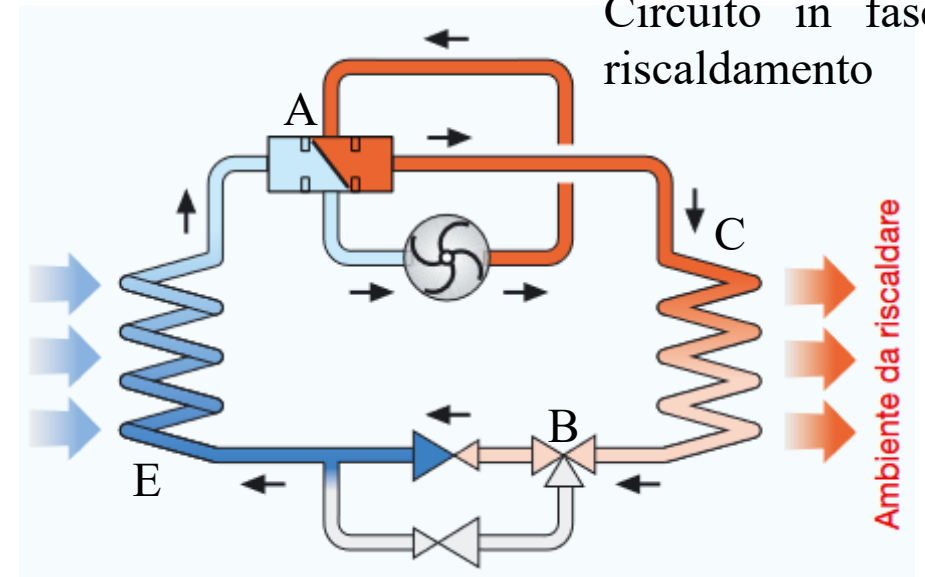
www.dii.unipd.it

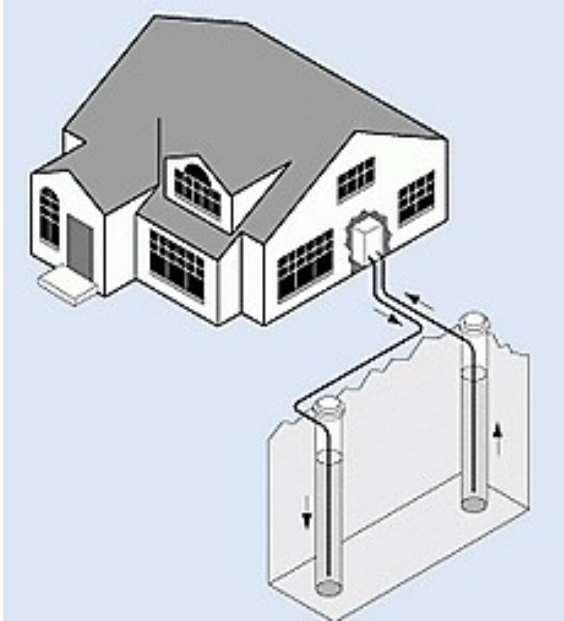
Circuito in fase di
raffrescamento



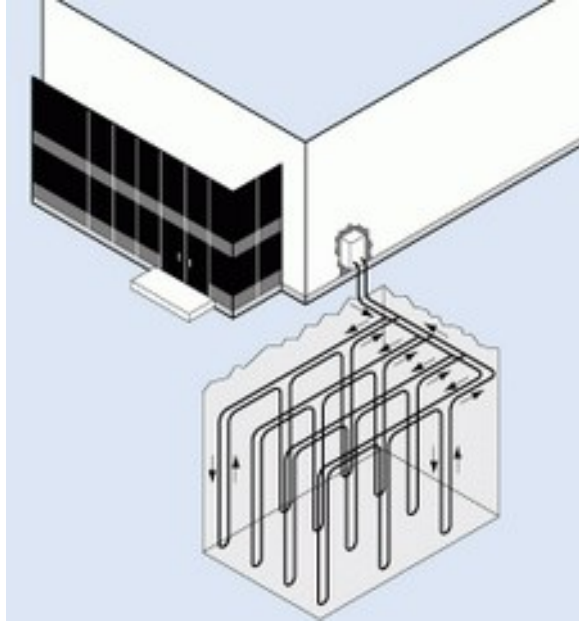
A: Valvola a 4 vie
B: Valvola a 3 vie
C: Condensatore
E: Evaporatore

Circuito in fase di
riscaldamento

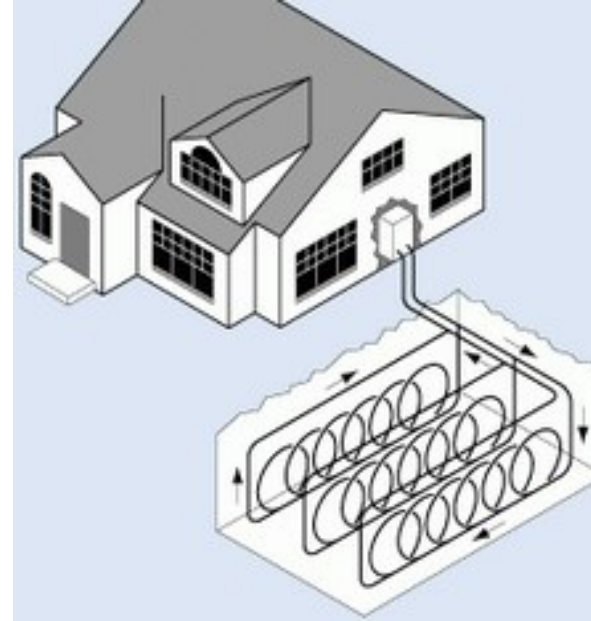




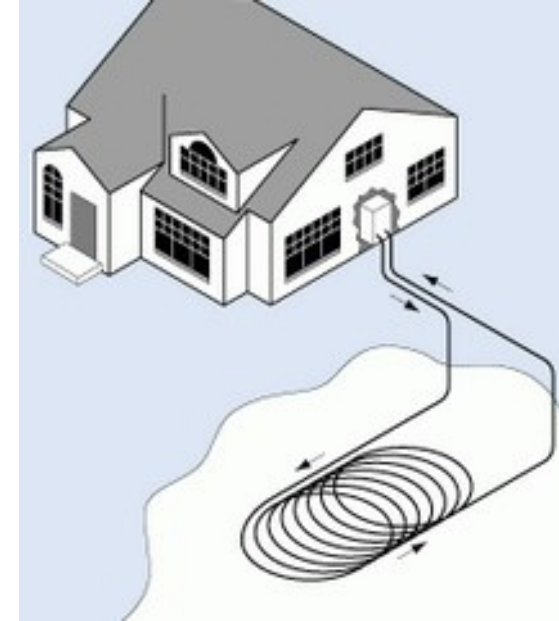
Circuito aperto



Circuito chiuso a sonde verticali



Circuito chiuso a sonde orizzontali



Circuito chiuso a sonde immerse



Palo di una geostruttura

$$COP = \frac{|Q_{hot}|}{W_e} = \frac{T_{HOT}}{T_{HOT} - T_{COLD}}$$

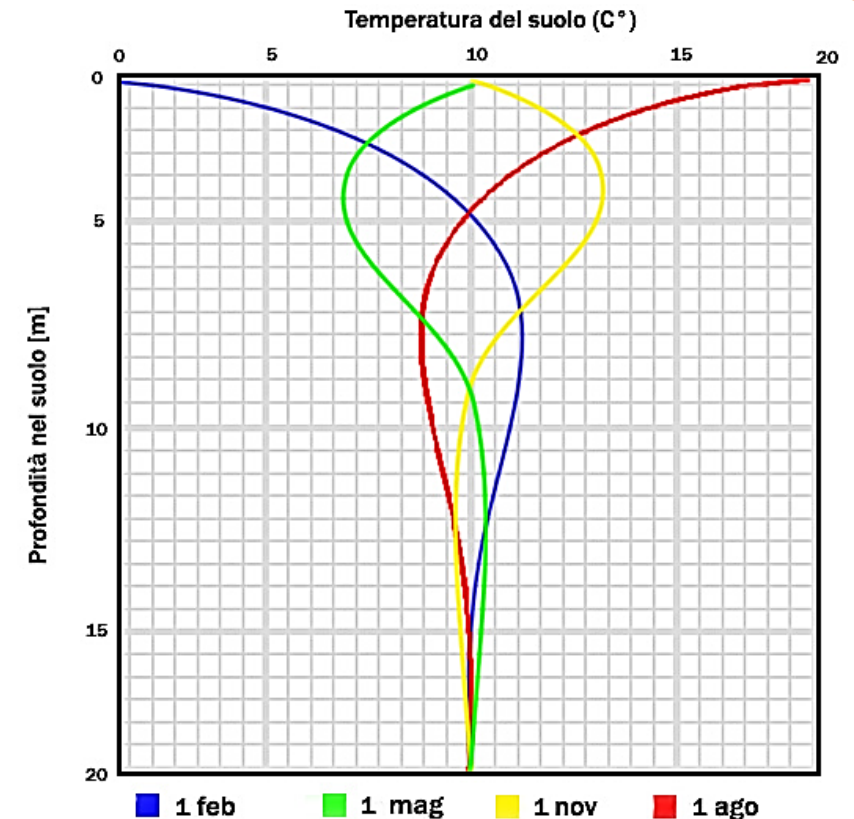
$$EER = \frac{|Q_{ref}|}{W_e} = \frac{T_{COLD}}{|T_{HOT} - T_{COLD}|}$$

VANTAGGI

- Prestazioni costanti (T=cost)
- Zero emissioni
- Costi di esercizio contenuti
- Minore manutenzione
- Durata nel tempo
- Assenza di combustione
- Impatto architettonico basso
- Flessibilità di adattamento
- Possibilità di utilizzo in qualsiasi luogo
- Rinnovabile

SVANTAGGI

- Costi di installazione elevati
- Progettazione complessa
- Burocrazia
- Ground Resource Test



Andamento delle temperature del suolo in diversi mesi nell'anno.

Fonte: Expoclima



- Mestre
- 25.600 m²
- 100% riscaldamento invernale
- 42% raffrescamento estivo
- 4 PdCG: 97 kWf; 104 kWt
- COP=4.19; EER=4.68
- 60 sonde verticali, 110 m di profondità:
356 kW (riscaldamento); 211 kW
(raffrescamento)
- Temperatura dell'acqua: 7 °C e 45 °C



- Zagabria
- 380 m²
- Riscaldamento invernale
- Raffrescamento estivo
- PdCG: 25 kWf; 30 kWt
- COP=2.72; EER=4.12
- 6 sonde verticali, 100 m di profondità
- Pompa di calore a due cicli



- Monselice (Padova)
- 75.000 m²
- 1300 sonde verticali, 25 m (geostrutture)
- 3 PdCG: 500 kWf; 450 kWt
- COP=4.5; EER=5
- Temperatura dell'acqua: 7 °C e 45 °C

- Mansfield (Nottinghamshire)
- 140.000 m²
- 100% riscaldamento invernale (5 MWt)
- 90% raffrescamento estivo (5.4 MWt prodotti)
- 42 PdCG
- COP ed EER tra 4 e 7
- Sonde immerse



- Padova
- 17.600 m²
- 60 sonde verticali, 120 m, 4 tubi, 32 mm
- 2 PdCG: 161 kWf; 210 kWt
- Richieste: 800 kWt e 1200 kWf
- Temperatura dell'acqua: 7 °C e 45 °C

- Ancona
- 14.730 m²
- Circuito aperto: acqua di mare
- 3 PdCG: 730 kWt; 680 kWf
- COP=4.87; EER=4.53
- Accorgimenti



- Karlstad
- 10.000 m²
- 4 PdCG: 42 kW



- Serralunga D'Alba
- 3.712 m²
- 12 sonde verticali, 150 m, 4 tubi, 32 mm
- 2 PdCG: 80 kW
- COP=4.89



- La Rioja (Spagna)
- 100 m, sonde verticali
- Per il processo enologico



- Corsico
- 304 sonde verticali, 125 m
- 1.5 MW
- Parma
- 1.6 MW
- 272 sonde verticali, 150 m

Modello F1345-40	
Potenza nominale P_h	40 kW
Potenza elettrica P_e	8.88 kW
COP	4.51
Refrigerante	R407C
Massa [kg]	2x2.4
Dimensioni ⁴ [mm]	600x620x1800
Peso [kg]	352
Temperatura di mandata massima fornita dal compressore	65 °C
Temperatura di ritorno massima	58 °C
Sonde orizzontali, lunghezza raccomandata del collettore ⁵ [m]	4x500 – 6x500
Sonde verticali, profondità di scavo utile raccomandata ⁵ [m]	4x170 – 5x200

Modello F1345-60	
Potenza nominale P_h	57.7 kW
Potenza elettrica P_e	14.1 kW
COP	4.10
Refrigerante	R410A
Massa [kg]	2x2.4
Dimensioni ⁴ [mm]	600x620x1800
Peso [kg]	353
Temperatura di mandata massima fornita dal compressore	65 °C
Temperatura di ritorno massima	58 °C
Sonde orizzontali, lunghezza raccomandata del collettore ⁵ [m]	6x450 – 8x450
Sonde verticali, profondità di scavo utile raccomandata ⁵ [m]	6x150 – 8x180

Modello Mega Eco ^{XL}	
Potenza nominale P_h	50.3 kW
Potenza elettrica P_e	11 kW
COP	4.55
Refrigerante	R454B
Massa [kg]	8.8
Dimensioni ¹¹ [mm]	900x849x1744
Peso [kg]	485
Temperatura di mandata massima fornita dal compressore	65 °C

Modello Mega ^{XL}	
Potenza nominale P_h	52 kW
Potenza elettrica P_e	11 kW
COP	4.71
Refrigerante	R410A
Massa [kg]	9
Dimensioni ⁷ [mm]	900x849x1744
Peso [kg]	487
Temperatura di mandata massima fornita dal compressore	65 °C

Dal catalogo NIBE (a sinistra)
Dal catalogo Thermia (sopra)

Modello WRE H	052
Potenza nominale P_h	53.1 kW
Potenza elettrica P_e	14.1 kW(Ri) 11.1 kW (Ra)
Potenza frigorifera P_f	47.1 kW
COP	3.76
EER	4.25
Dimensioni ⁶ [mm]	1640x948x975
Temperatura acqua utenza	40/45 °C
Refrigerante	R410A

Modello WLE H	052
Potenza nominale P_h	52.0 kW
Potenza elettrica P_e	14.1 kW(Ri) 11.6 kW (Ra)
Potenza frigorifera P_f	44.9 kW
COP	3.70
EER	3.87
Dimensioni ⁷ [mm]	1640x948x975
Temperatura acqua utenza	40/45 °C
Refrigerante	R454B

Modello WRE H	746
Potenza nominale P_h	833 kW
Potenza elettrica P_e	197 kW (Ri) 157 kW (Ra)
Potenza frigorifera P_f	747 kW
COP	4.24
EER	4.74
Dimensioni ⁶ [mm]	3330x1168x2300
Temperatura di mandata massima fornita dal compressore	40/45 °C
Refrigerante	R410A

Modello WLE H	746
Potenza nominale P_h	825 kW
Potenza elettrica P_e	199 kW (Ri) 167 kW (Ra)
Potenza frigorifera P_f	700 kW
COP	4.15
EER	4.19
Dimensioni ⁷ [mm]	3330x1168x2300
Temperatura di mandata massima fornita dal compressore	40/45 °C
Refrigerante	R454B

Cataloghi
Galletti (a sinistra)
Catalogo
HiRef (a destra)

Modello XSB	041H
Potenza nominale P_h	53.5 kW
Potenza elettrica P_e	14.2 kW
Potenza frigorifera P_f	39.8 kW
COP	3.78
EER	2.81
Dimensioni ¹⁰ [mm]	1174x772x1930
Temperatura acqua utenza	40/45 °C
Refrigerante	R410A (in alternativa: R454B)

Modello XSA	061H
Potenza nominale P_h	69.3 kW
Potenza elettrica P_e	15.4 kW
Potenza frigorifera P_f	54.3 kW
COP	4.49
EER	3.52
Dimensioni ⁹ [mm]	1174x772x1930
Temperatura acqua utenza	40/45 °C
Refrigerante	R410A

Modello XSB	706H
Potenza nominale P_h	838.3 kW
Potenza elettrica P_e	211.5 kW
Potenza frigorifera P_f	626.7 kW
COP	3.87
EER	2.96
Dimensioni ⁶ [mm]	3820x1085x2040
Temperatura di mandata massima fornita dal compressore	40/45 °C
Refrigerante	R410A (in alternativa: R454B)

Modello XSA	484H
Potenza nominale P_h	534.8 kW
Potenza elettrica P_e	132 kW
Potenza frigorifera P_f	407.1 kW
COP	4.05
EER	3.08
Dimensioni ⁶ [mm]	2374x877x1990
Temperatura di mandata massima fornita dal compressore	40/45 °C
Refrigerante	R410A

- a. Edifici: storici e di nuova costruzione;
- b. Potenza disponibili molto diverse;
- c. Costi di installazione molto elevati, costi di esercizio ridotti;
- d. Abbinamento con altre tecnologie;
- e. Efficienze molto elevate, consumi molto ridotti;
- f. Tecnologia rinnovabile e a zero emissioni;
- g. Impatto visivo nullo;
- h. Sistema sicuro, installabile anche in edifici come ospedali, musei, scuole e altri luoghi in cui sono richieste affidabilità e sicurezza;
- i. Diffusione.