

Università degli Studi di Napoli Federico II

**Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale**



CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E TERRITORIO

Presentazione della tesi di laurea

UTILIZZO DELLA RISORSA GEOTERMICA PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA

**Relatore:
Prof.
Francesco Calise**

**Candidato:
Nicola Ambrosino
Matricola N49000620**

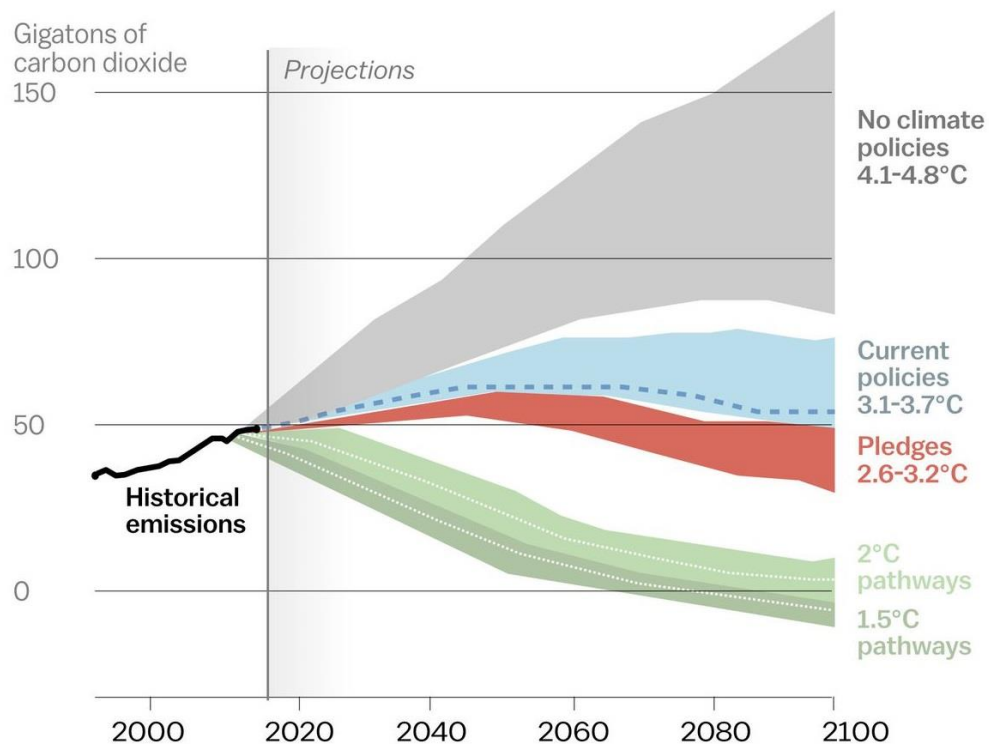
Anno Accademico 2018/2019

Sommario

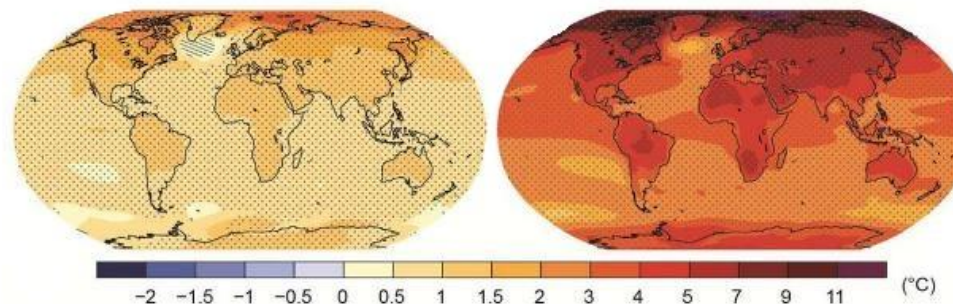
- ▶ **Quadro sui cambiamenti climatici e fonti energetiche rinnovabili**
- ▶ **Energia geotermica**
- ▶ **Uso indiretto**
- ▶ **Conclusioni**

I cambiamenti climatici

Scenari emissioni di CO2 al 2100



Variazione della temperatura superficiale media (1986-2005 e 2081-2100)



Eventi climatici estremi e variazione del clima di intere aree geografiche con conseguenze per milioni di persone

Andamento con politiche attuali

Riduzione emissioni di anidride carbonica del 45% entro il 2020

Andamento ottimistico

- Efficienza energetica
- Utilizzo di fonti alternative → Nucleare
- Incremento fonti rinnovabili

Le fonti energetiche rinnovabili

Risorsa solare

- ➔ Fotovoltaico
- ➔ Eolico
- ➔ Termico
- ➔ Biomasse



Risorsa acqua

- ➔ Idroelettrico
- ➔ Energia marina



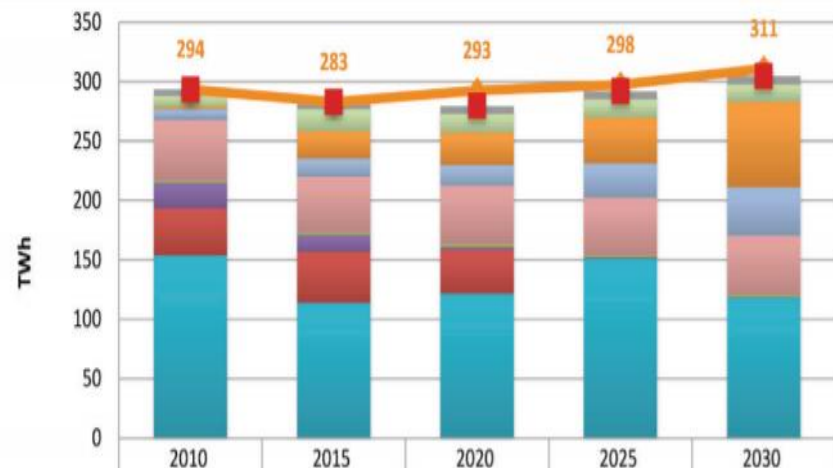
Risorsa termica naturale

- ➔ Geotermia



Le fonti energetiche rinnovabili

Evoluzione del mix di generazione elettrica al 2020 e 2030 (TWh). Scenario SEN



Fonte	2010	2015	2020	2025	2030
Geotermoel	5	6	7	7	7
Bioenergie	9	19	16	15	15
Fotovoltaico	2	23	27	38	72
Eolico	9	15	18	29	41
Idroelettrico	51	47	49	48	50
Rifiuti non rinnov.	2	2	2	2	2
Prodotti petroliferi	21	14	2	1	1
Carbone	40	43	37	0	0
Gas naturale	154	114	121	151	118
BASE	294	283	293	298	311
SEN	294	283	280	292	305

➔ Riduzione petrolio e carbone

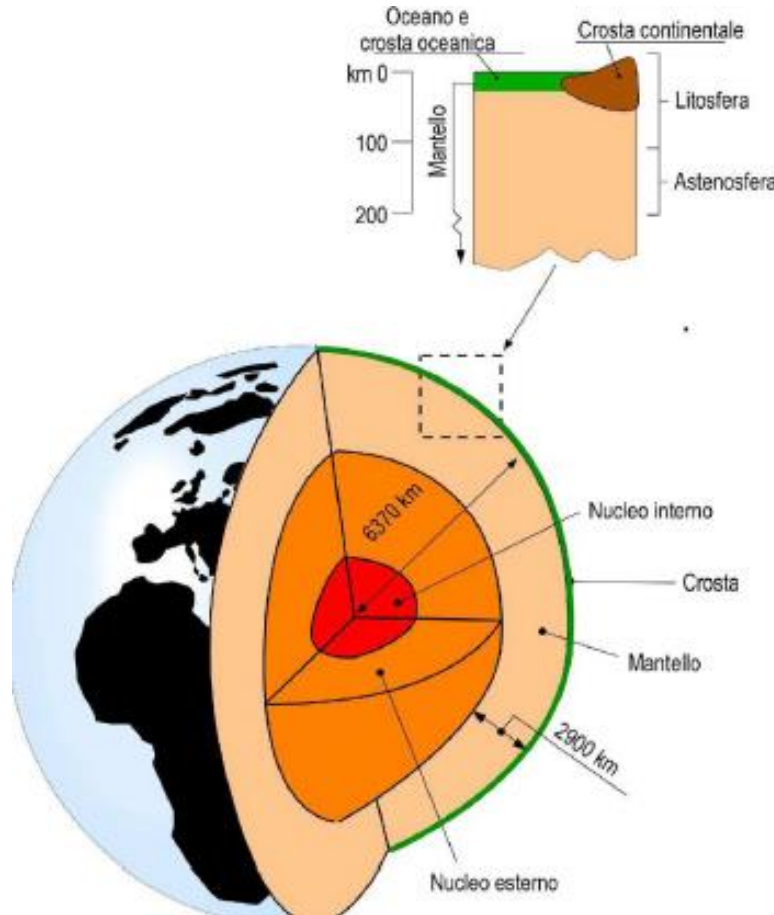
➔ Incremento energetico eolico e fotovoltaico ➔ Non programmabili

➔ Saturazione del potenziale idroelettrico economicamente sfruttabile

➔ Contributo geotermico e delle biomasse ➔ Programmabili

Il gradiente geotermico

Schema della struttura interna della Terra

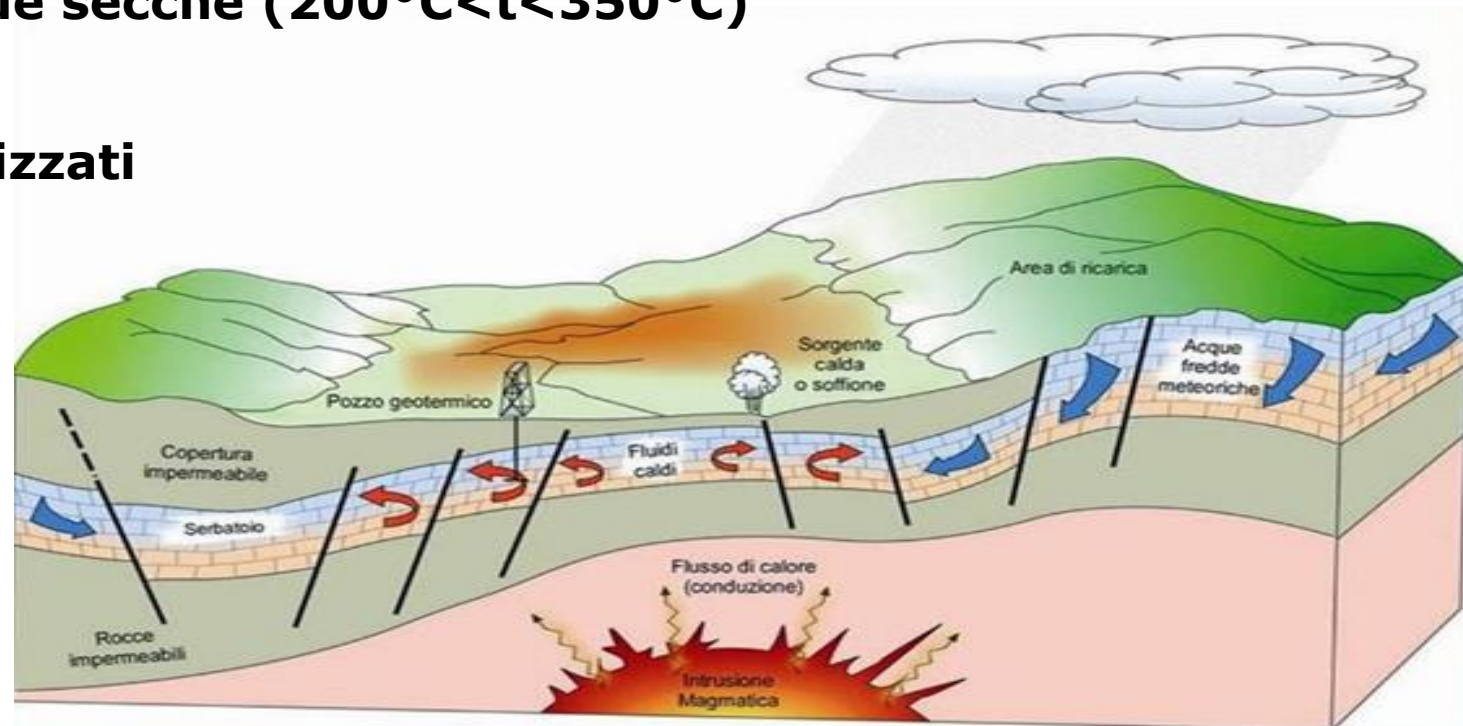


La temperatura nel sottosuolo cresce con la profondità. Mediamente si osserva un incremento della temperatura pari a:

$$\Delta T \cong 25 - 35 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{km}}$$

Classificazione della risorsa geotermica

- ➔ Sistemi idrotermali ($t > 100^{\circ}\text{C}$)
- ➔ Sistemi magmatici ($600^{\circ}\text{C} < t < 1400^{\circ}\text{C}$)
- ➔ Sistemi a rocce calde secche ($200^{\circ}\text{C} < t < 350^{\circ}\text{C}$)
- ➔ Sistemi geopressurizzati



Schema semplificato di un sistema idrotermale

Classificazione della risorsa geotermica

Classificazione delle risorse geotermiche in base alla temperatura (°C)

Risorse e T (°C)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Risorse a bassa entalpia	< 90	< 125	< 100	≤ 150	≤ 190
Risorse a media entalpia	90-150	125-225	100-200	-	-
Risorse ad alta entalpia	>150	> 225	> 200	> 150	> 190

Rif. T (°C): (a) Muffler and Cataldi (1978); (b) Hochstein (1990); (c) Benderitter and Cormy (1990); (d) Nicholson (1993); (e) Axelsson and Gunnlaugsson (2000)

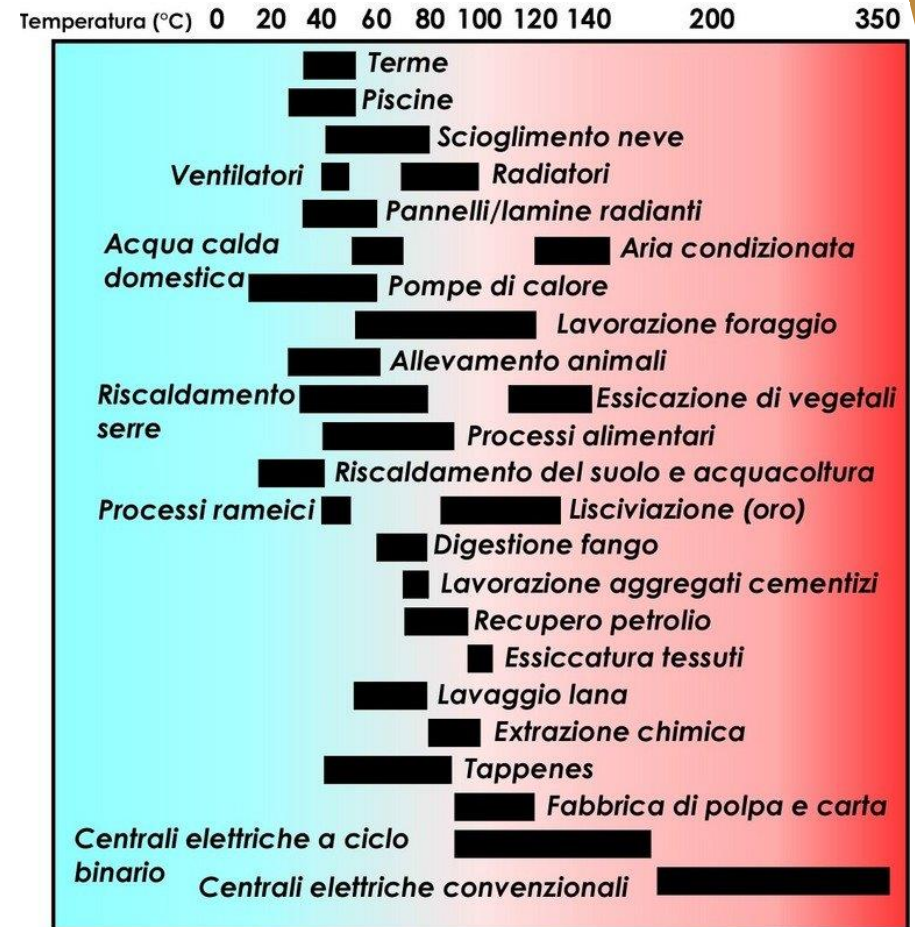
Utilizzi

↳ **Uso indiretto** → **Conversione geotermoelettrica**

↳ **Uso diretto**

- ↳ **Calore per usi agricoli**
- ↳ **Calore per usi industriali**
- ↳ **Calore per riscaldamento**

Diagramma di Lindal

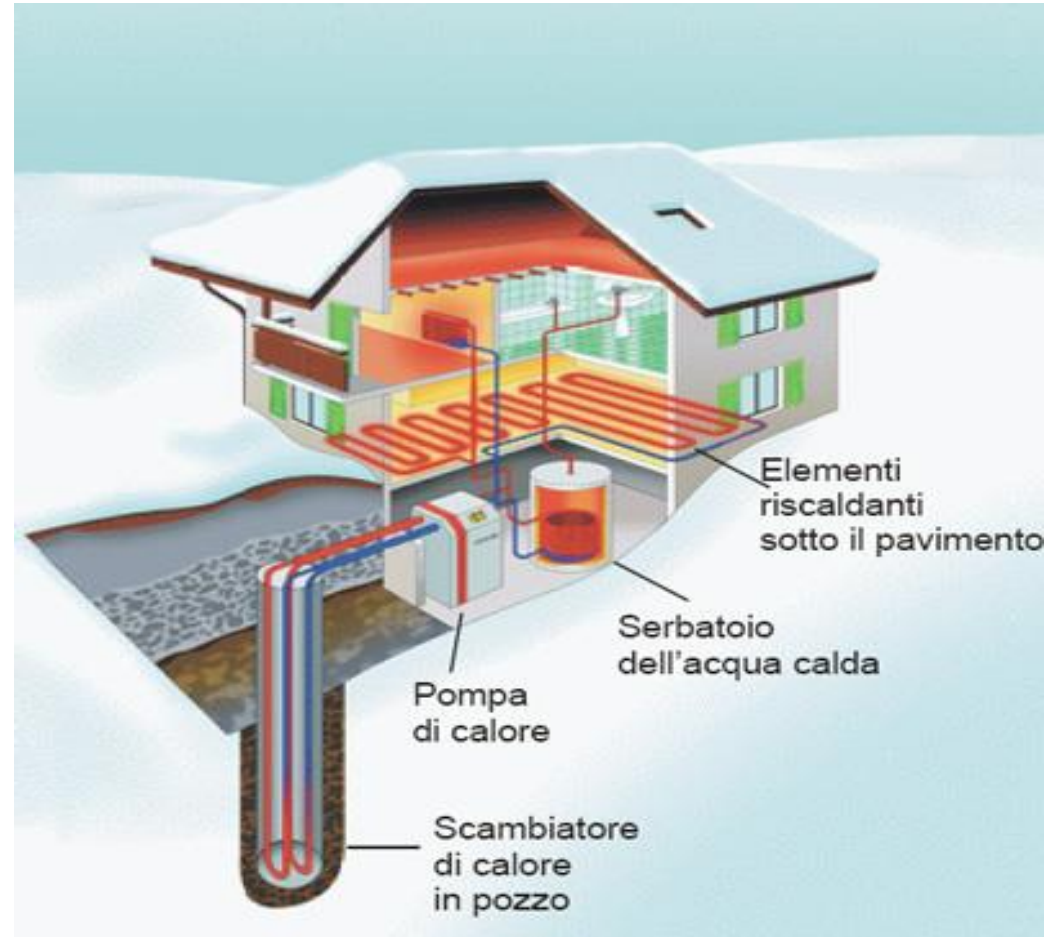


Energia geotermica per uso diretto

Condizionamento degli ambienti

Un impianto geotermico tradizionale è costituito principalmente da:

- ➔ sistema di captazione del calore in cui scorre un fluido termovettore
- ➔ pompa di calore
- ➔ sistema di accumulo e distribuzione del calore

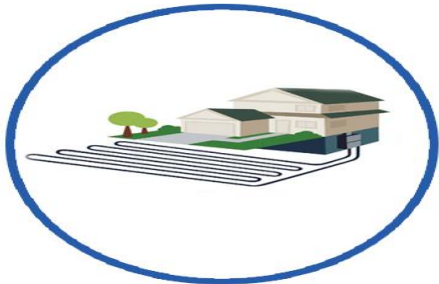


Sistemi a circuito chiuso e aperto

Sonde geotermiche verticali



Sonde geotermiche orizzontali



Sistemi open loop



Tipologia	VANTAGGI	SVANTAGGI	
Sonde geotermiche verticali	Sorgente a T°C costante	Costi perforazione	
	Efficienza stagionale	Elevate profondità (50m-250m)	
	Ingombro modesto e zero impatto ambientale		
Sonde geotermiche orizzontali	Impiantistiche semplici	Estese superfici di scavi	
	No perforazioni e rel. geologica	Efficienza ridotta per riscaldamento	
	Costi contenuti		
Acqua come sorgente termica	Utili per edifici medio-grandi	Verifica disponibilità acqua	
	Minor numero di perforazioni	Reimmissione di acqua in falda	
	Iter autorizzativo (in genere per tutte le tipologie)		Detriti ed incrostazioni specie per laghi, fiumi e mare
			Costi più elevati

Sistemi a circuito chiuso e aperto

Proprietà fisiche dei fluidi termovettori più comunemente utilizzati negli impianti geotermici a bassa entalpia.

Fluido	T_{cong} [°C]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	μ [10 ⁻³ Pas ⁻¹]	
			a 0°C	a 30°C
Acqua pura	0	0.59	1.79	0.80
Glicole propilenico 20%	-7	0.45	4.00	1.78
Glicole propilenico 30%	-12	0.42	7.00	2.37
Glicole etilenico 20%	-8	0.44	3.27	1.03
Glicole etilenico 30%	-16	0.42	4.38	1.30
CaCl ₂ 10%	-7	0.57	2.13	0.93
CaCl ₂ 20%	-20	0.54	3.12	1.54

Resa termica di alcune tipologie di suolo

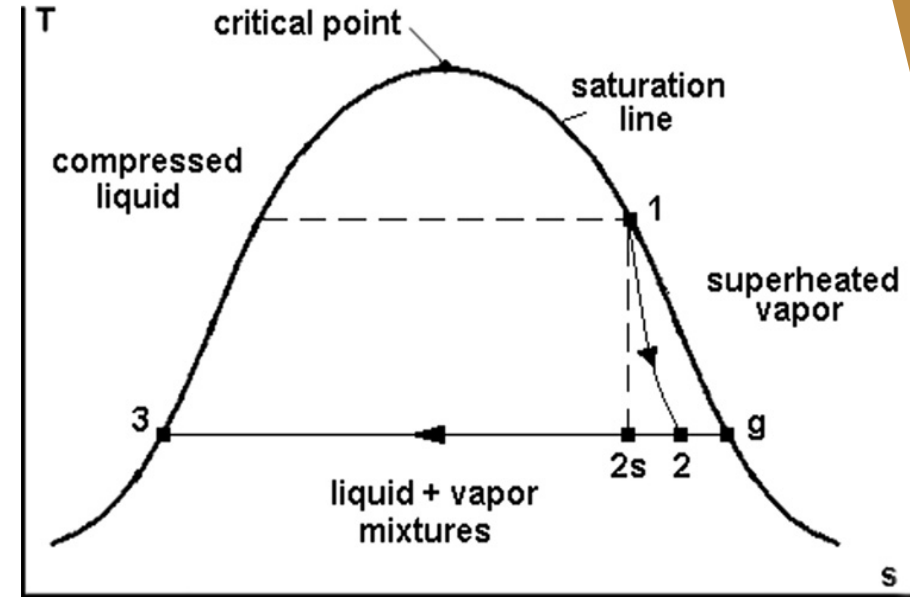
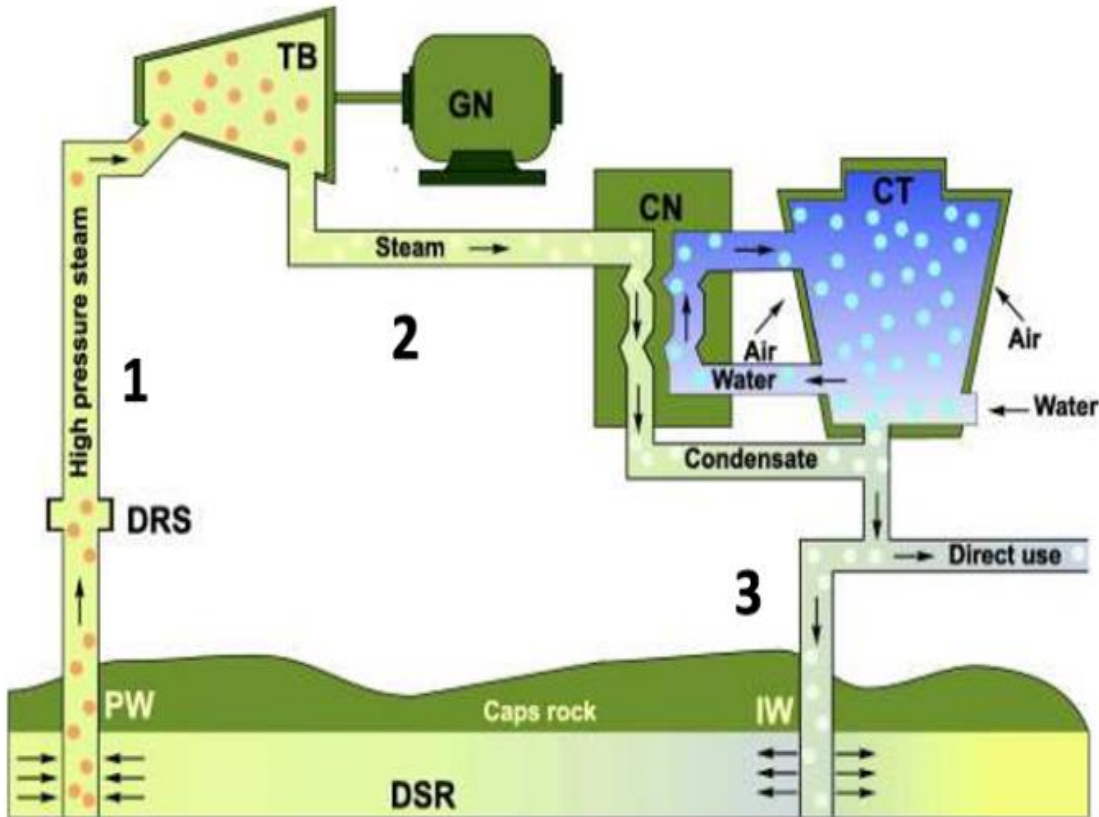
Tipo di suolo	resa termica	
	1.800 ore anno	2.400 ore anno
	Wm ⁻²	Wm ⁻²
terreno non coesivo secco	10	8
terreno coesivo umido	20÷30	16÷24
sabbia o ghiaia satura	40	32

Costi realizzazione di un impianto geotermico

dimensione immobile	potenza erogata impianto	potenza assorbita dalla rete elettrica	potenza assorbita dai pozzi geotermici	dimensione pozzi geotermici	costo pozzi geotermici	costo centrale termica	costo totale impianto
(m ² utili)*1	(kW)	(kW)	(kW)	(ml)	(€)*2	(€)	(€)
80/100	4,8	1,2	3,6	80	4.900	6.900	11.800
90/120	6,8	1,7	5,1	100	5.200	7.450	12.650
110/130	8,4	2	6,4	125	6.400	8.100	14.500
130/160	12,5	3,2	9,3	160	8.000	9.700	17.700
170/200	15,1	3,7	11,4	220	10.800	11.000	21.800
200/250	18,5	4,5	14	270	12.900	12.600	25.500
250/300	23	5,5	17,5	300	13.800	14.300	28.100

Energia geotermica per uso indiretto

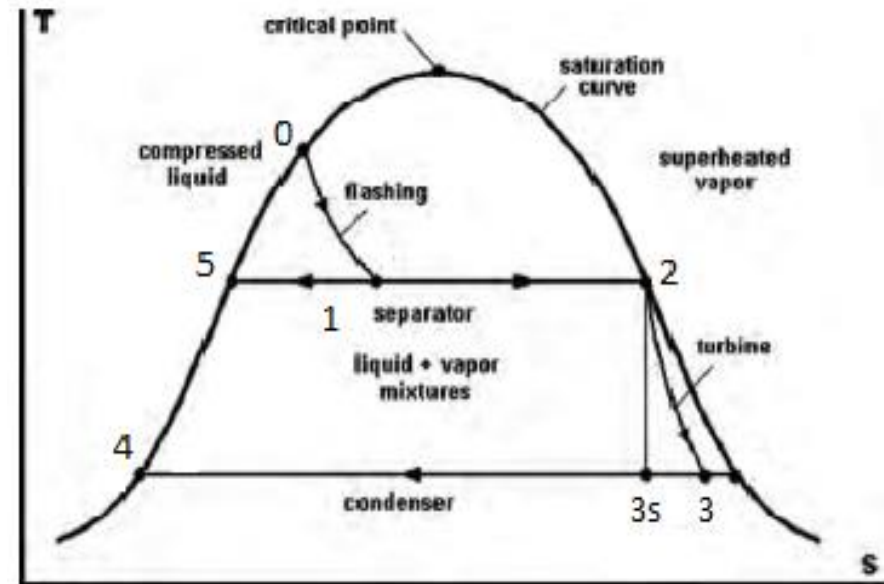
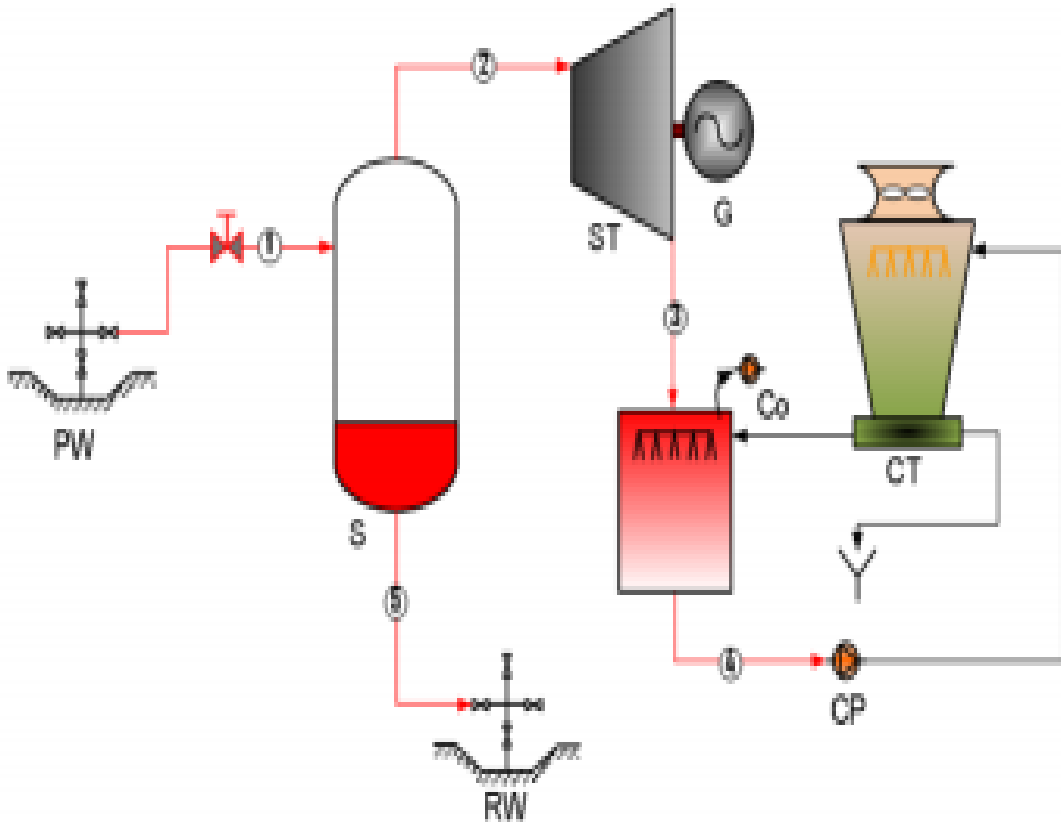
Impianti dry-steam



- ➔ **Rendimento exergetico del 50-65%**
- ➔ **Temperatura sorgente 250-600°C**
- ➔ **Impianti semplici e poco costosi**

Energia geotermica per uso indiretto

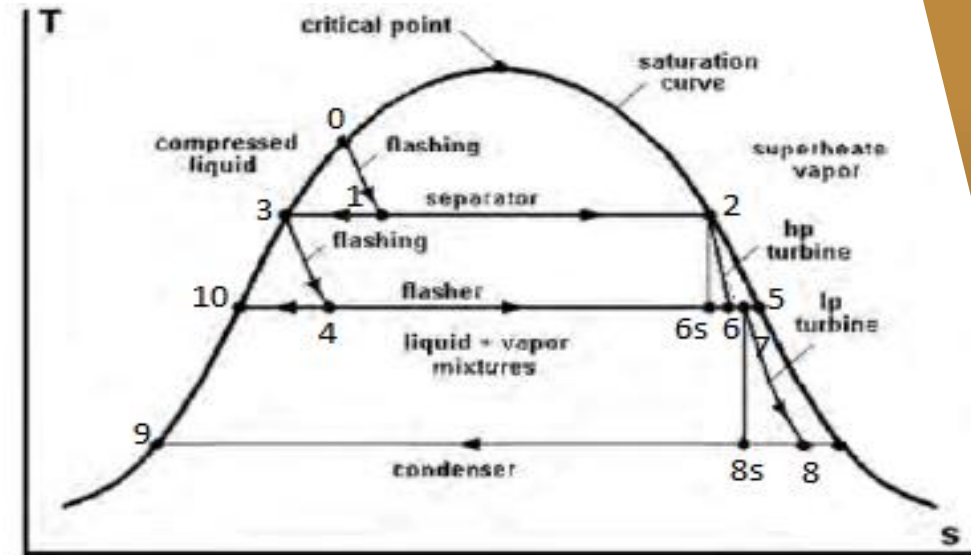
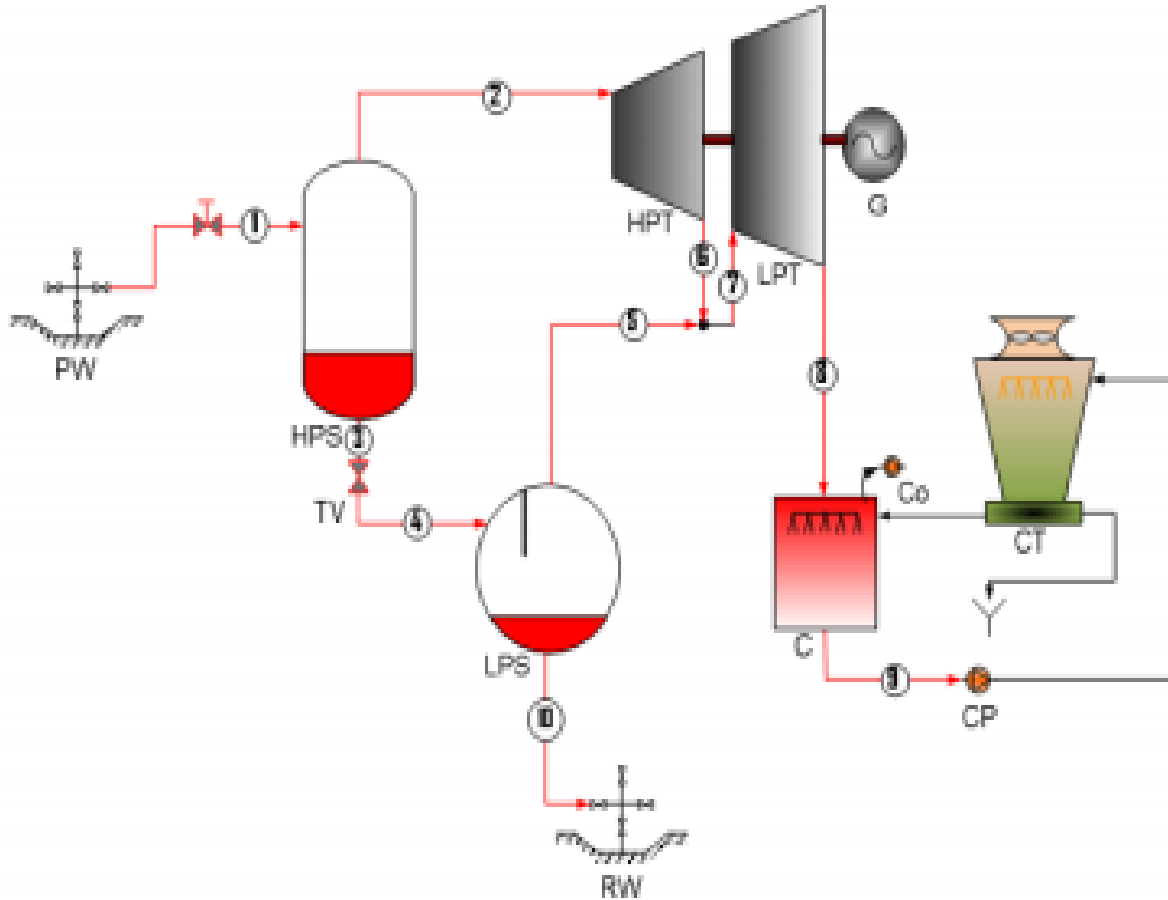
Impianti single-flash



- ➔ **Rendimento exergetico del 30-35%**
- ➔ **Taglie di impianto comprese tra qualche MW e 90 MW**
- ➔ **Temperatura sorgente 200-260°C**

Energia geotermica per uso indiretto

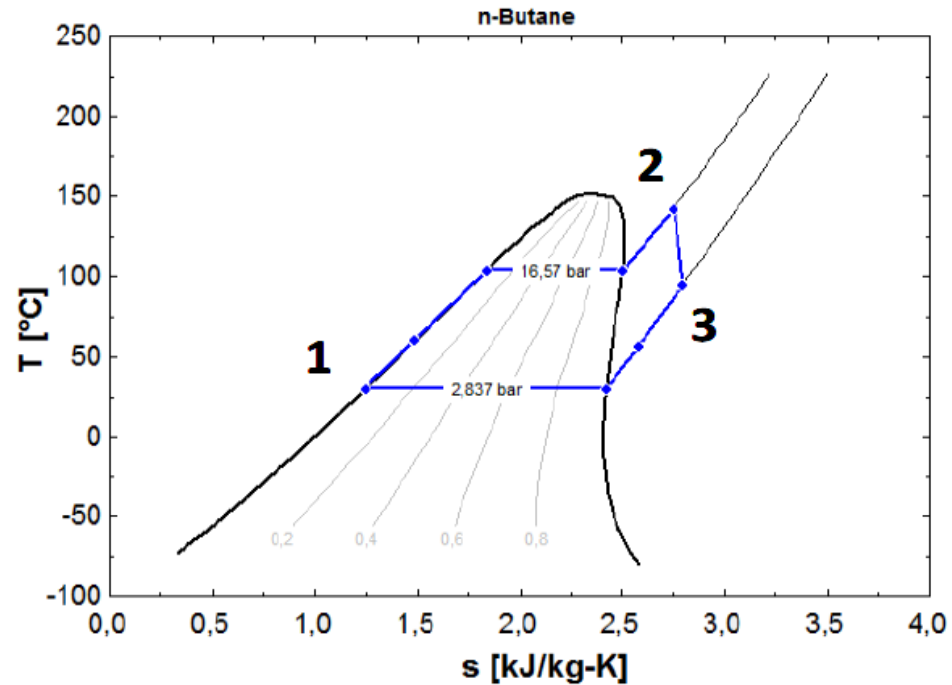
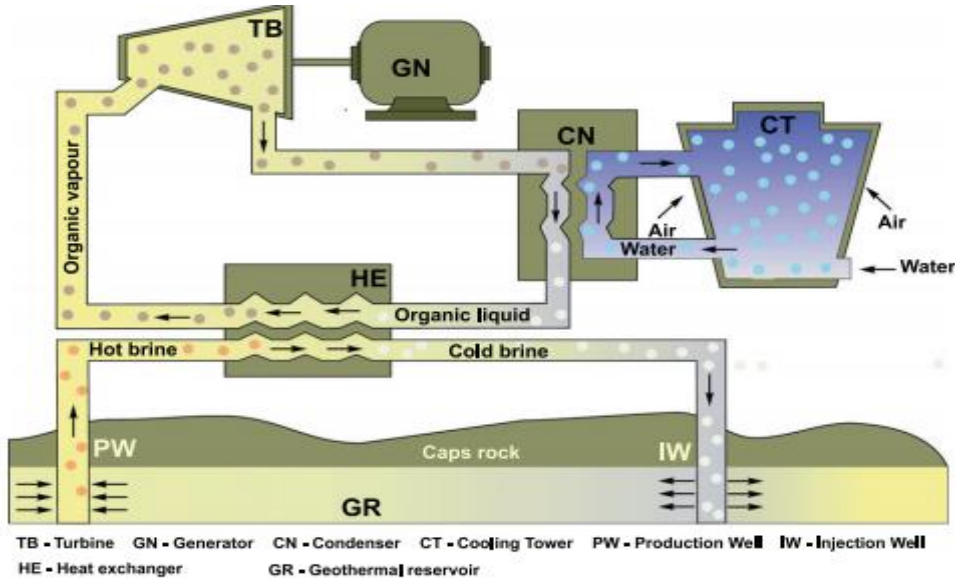
Impianti double-flash



- ➡ **Impianti più complessi e costosi**
- ➡ **Incremento della potenza del 15-25%**
- ➡ **Temperatura sorgente 240-320°C**
- ➡ **Rendimento exergetico del 35-45%**

Energia geotermica per uso indiretto

Impianti binari



➔ **Rendimento exergetico del 25-45%**

➔ **Taglie di impianto comprese tra poche centinaia di kW e alcuni MW**

➔ **Temperatura sorgente 125-165°C**

I fluidi organici

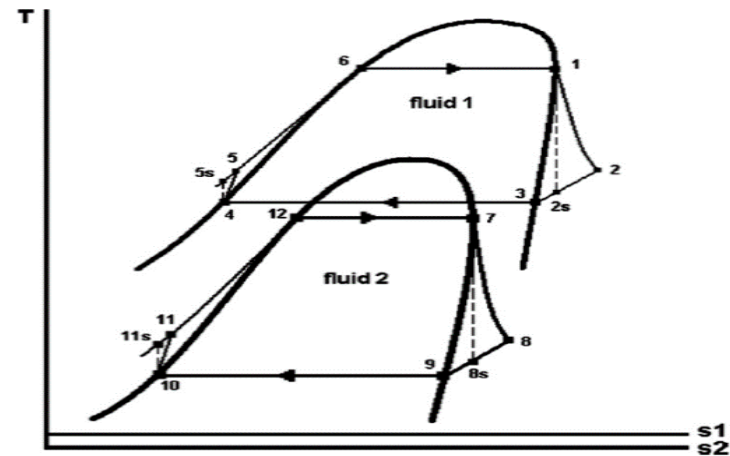
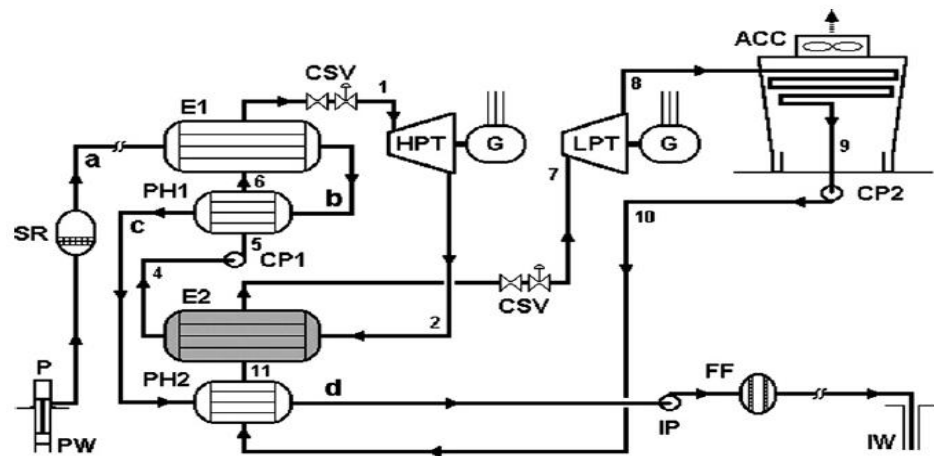
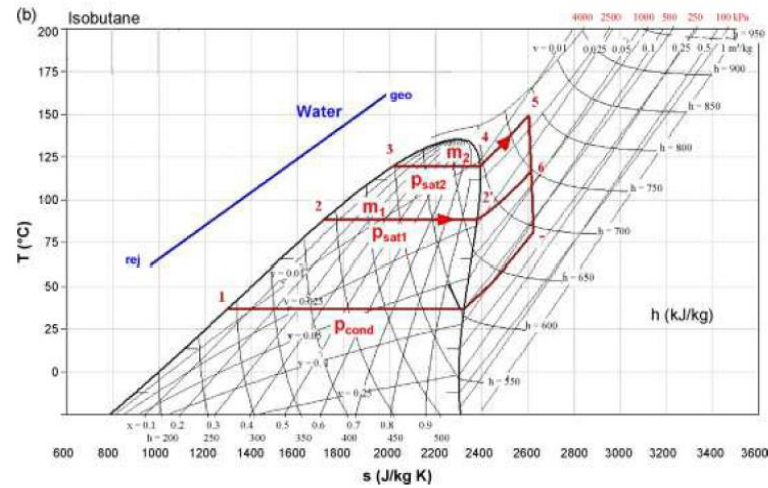
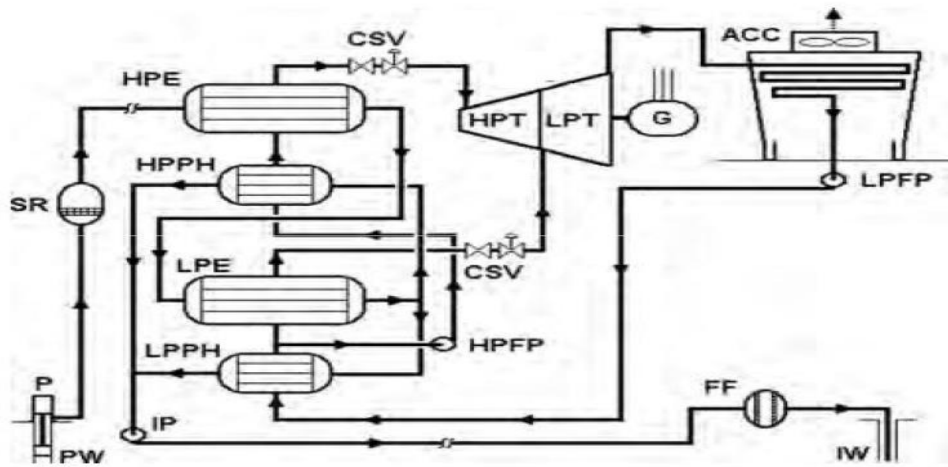
➔ **Riduzione del livello di temperatura all'evaporatore**

➔ **Non si forma acqua allo stato liquido nella turbina, con gravi danni erosivi**

➔ **Possibilità di usare pressioni massime più basse, con riduzione dei costi dei componenti che lavorano ad alte pressioni**

Energia geotermica per uso indiretto

Impianti binari a doppio livello di pressione e a doppio fluido



Energia geotermica per uso indiretto

Impianti ibridi

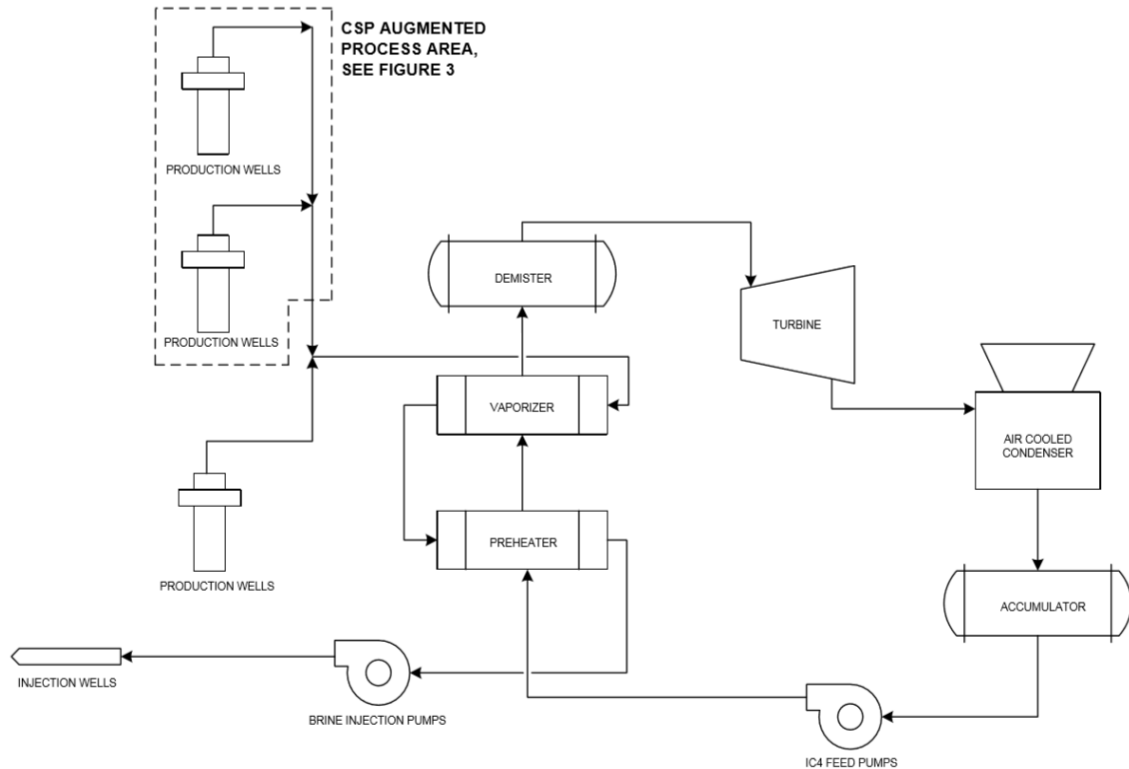
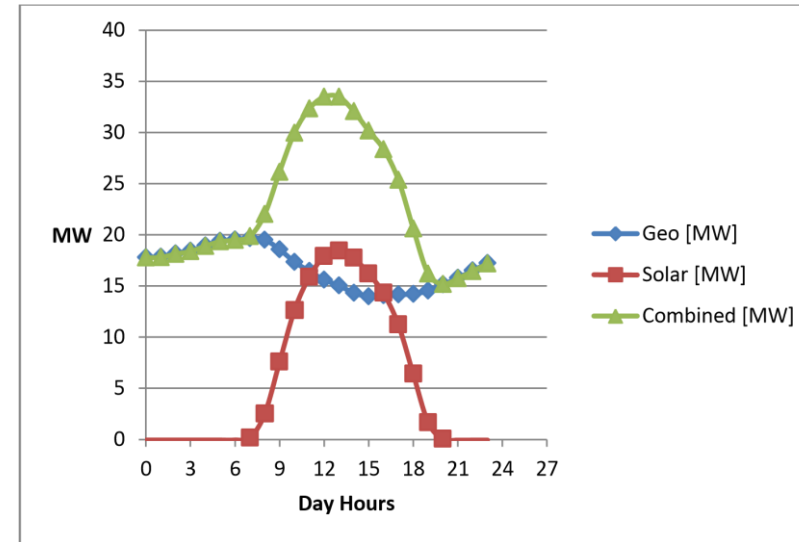


Diagramma semplificato del processo geotermico



Produzione media netta di energia geotermica e solare per un tipico giorno di primavera

➔ Colmare la riduzione di rendimento nei mesi estivi

➔ Incremento di produzione fino a 26 MW

Energia geotermica per uso indiretto

Impianti ibridi

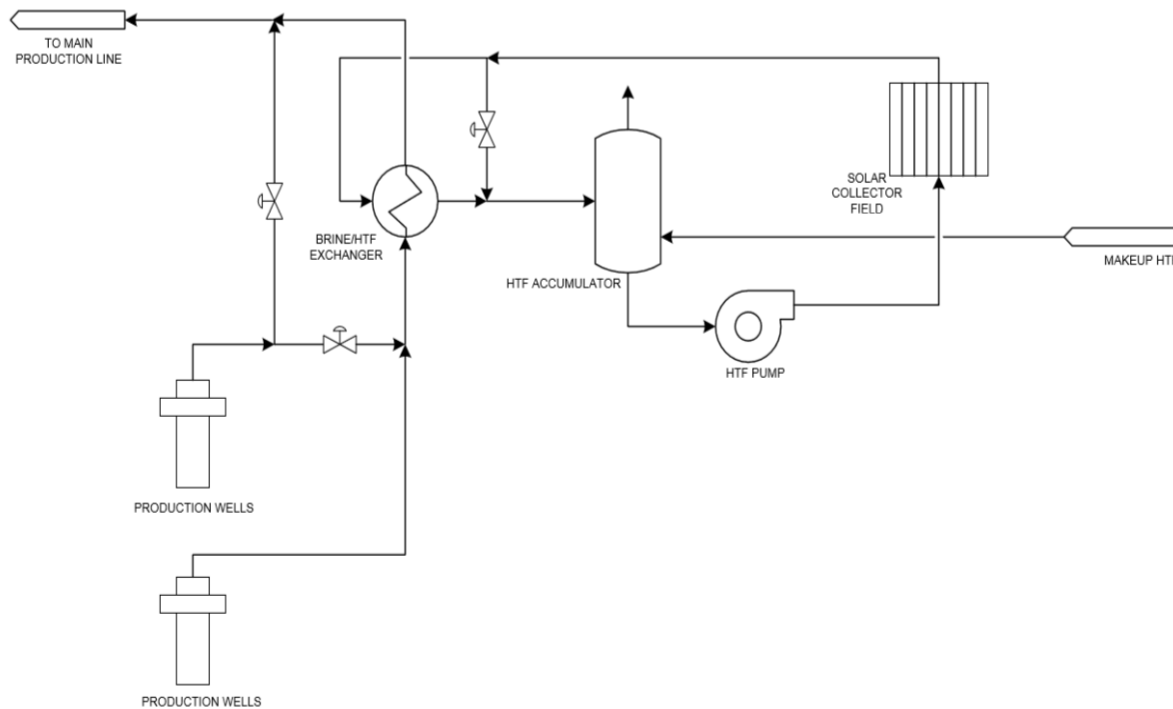


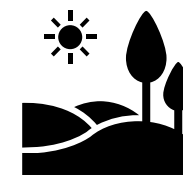
Diagramma semplificato del processo della sezione solare termica

- ➔ **Incremento temperatura del fluido geotermico**
- ➔ **Riduzione della perforazione di pozzi aggiuntivi**
- ➔ **Reimmissione nei pozzi della salamoia geotermica alla T°C originaria**
- ➔ **Riduzione depauperamento della risorsa geotermica**
- ➔ **Incremento di 3 milioni di kWh all'anno**

Combinazione delle tre tecnologie → 200 GWh di elettricità all'anno

Conclusioni

La risorsa geotermica può svolgere un ruolo fondamentale nella produzione di energia pulita, dato il basso impatto ambientale e la disponibilità costante.



Contributo importante nell'efficienza energetica di numerosissimi processi, in particolare nella produzione di energia elettrica data la sua programmabilità e sfruttando la cooperazione con altre fonti in sistemi ibridi.



Il suo sviluppo è contrastato dall'avversione sociale soprattutto legata ad una scarsa informazione e dai mancati incentivi da parte delle Istituzioni.



A geothermal landscape featuring cracked, dry earth in the foreground and several steam vents in the background. The sun is low in the sky, creating a warm, golden glow. The text "GRAZIE PER L'ATTENZIONE" is overlaid in the center.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE