

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

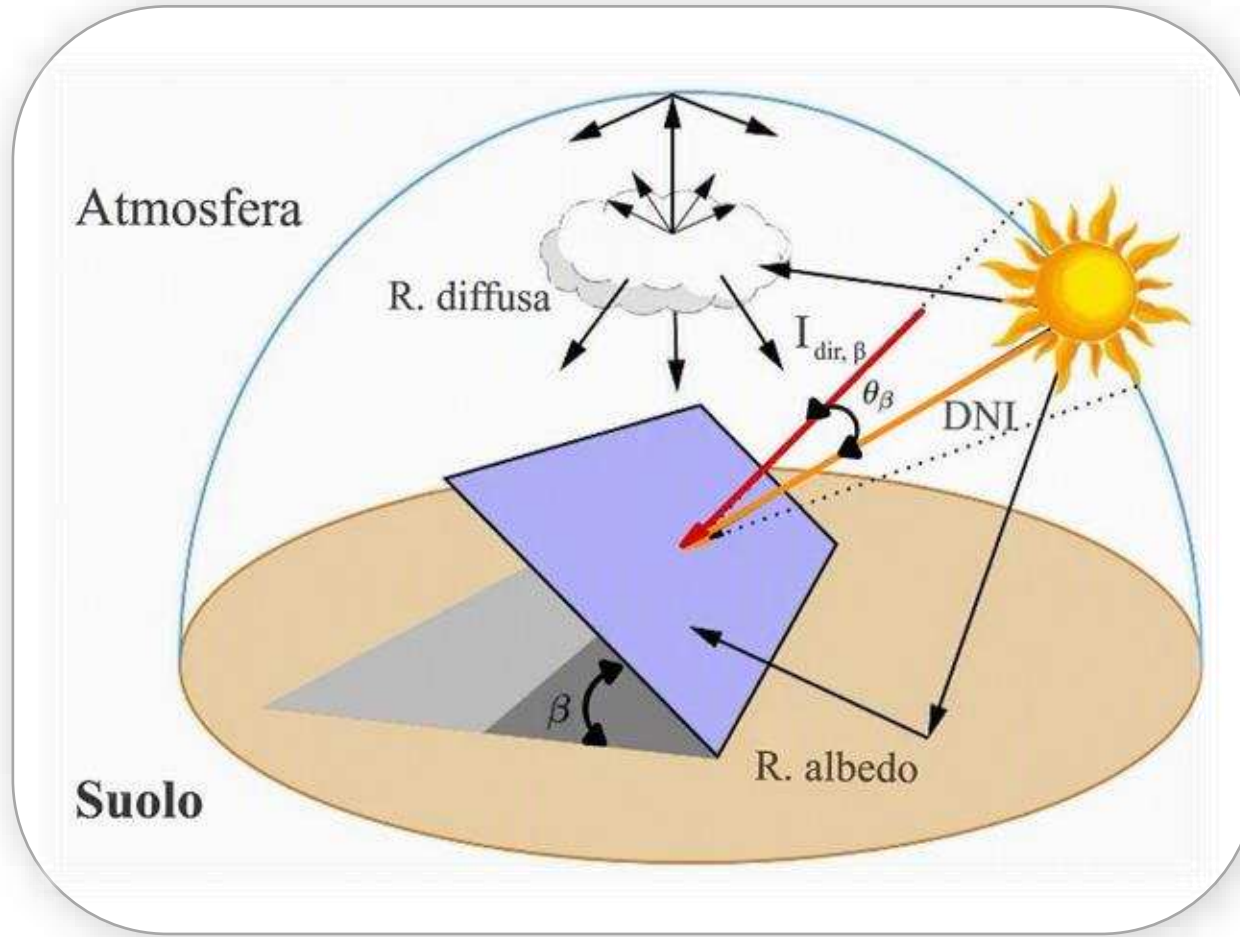
Relazione per la prova finale

«Sistemi a concentrazione solare (CSP): principi di intercettazione termica e tecnologie di conversione termo-meccanica»

Tutor universitario: Prof.ssa Manuela Campanale

Laureanda: *Nadia Scardina*

Padova, 22/09/2026



- **Costante solare**

$$I_0 \approx 1376 \text{ W/m}^2$$

- **Irradianza solare globale incidente su una superficie**

$$I_{tot} = I_{dir} + I_{diff} + I_{alb}$$

- **Irradianza diretta su superficie inclinata**

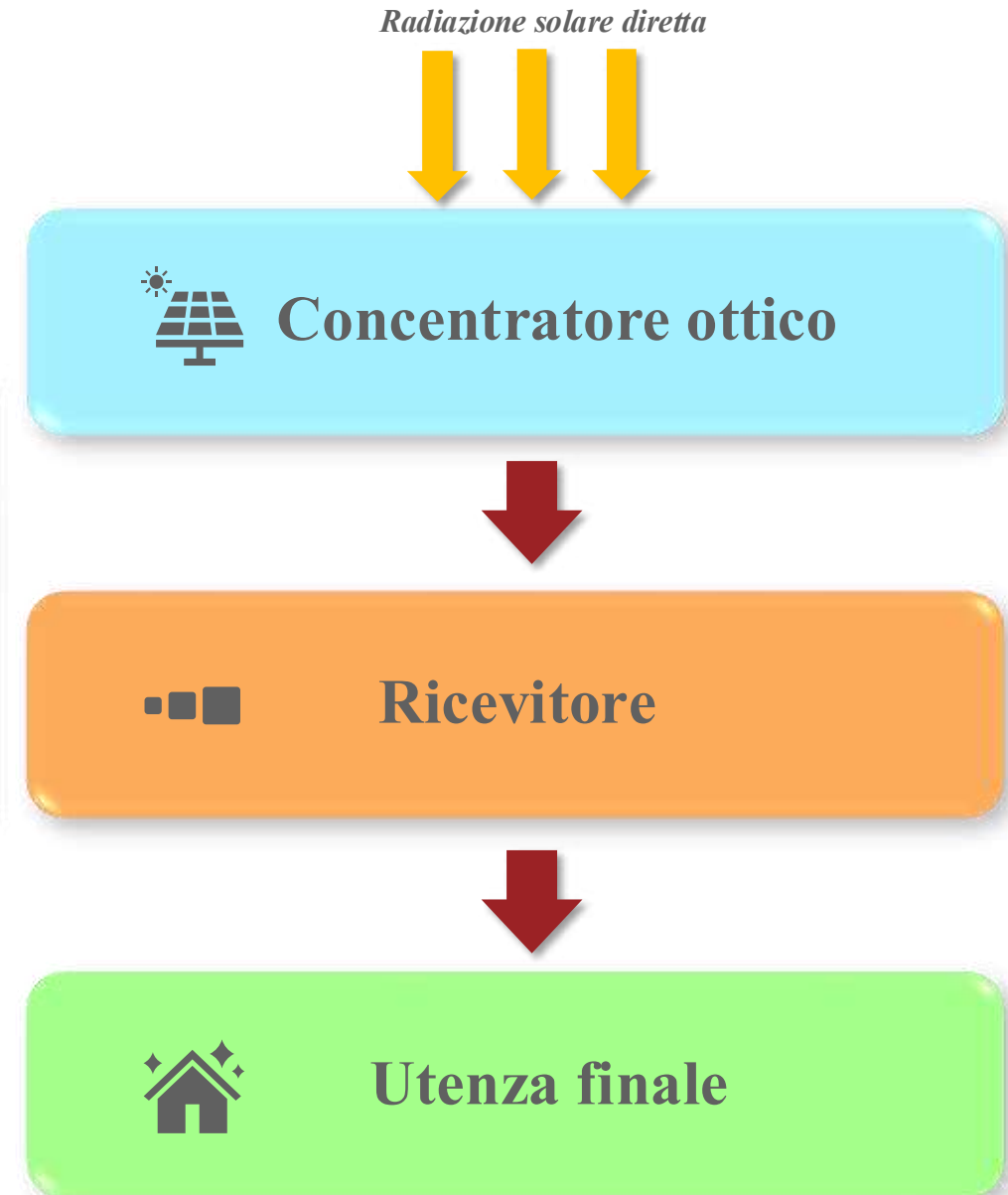
$$I_{dir, \beta} = DNI \cdot \cos \theta_\beta$$



- **L'assedio di Siracusa (212 a. C.):** prima applicazione storica della concentrazione solare



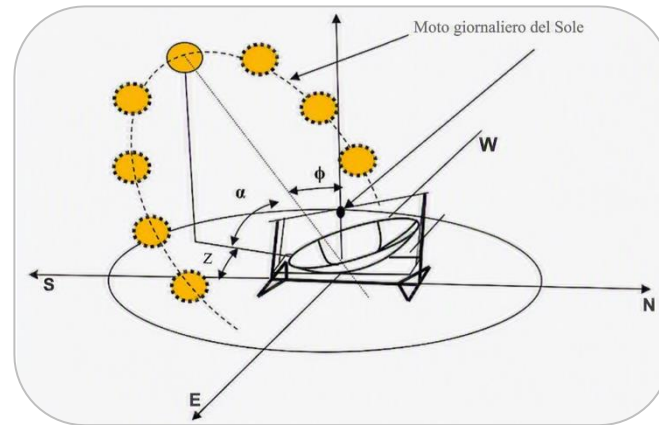
- **Dal mito alla tecnica:** lo stesso principio di intercettazione ottica governa i sistemi solari a concentrazione (CSP)



Puntamento a singolo asse

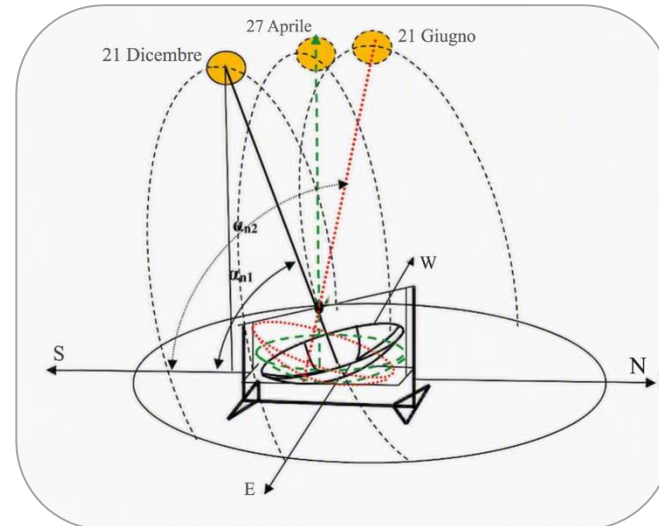
▪ Assetto Nord-Sud:

- Tracciamento solare giornaliero
- Massima captazione annua
- Picchi di captazione estivi



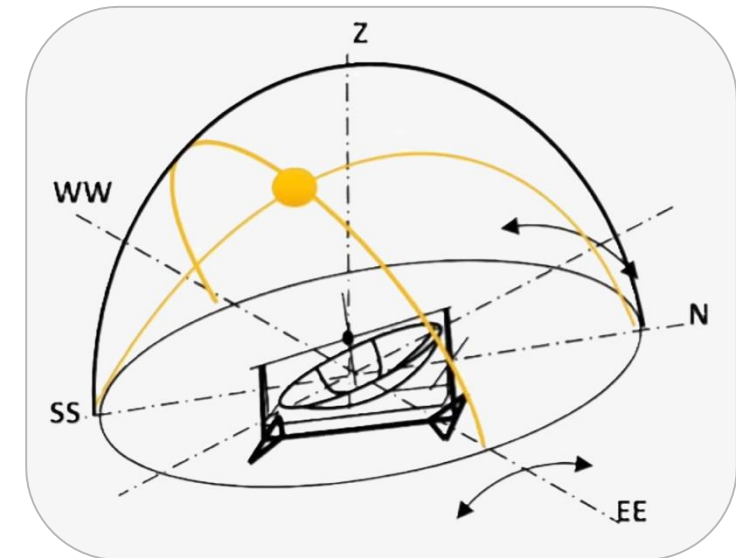
▪ Assetto Est-Ovest:

- Tracciamento solare stagionale
- Captazione annua inferiore
- Assenza di picchi di captazione



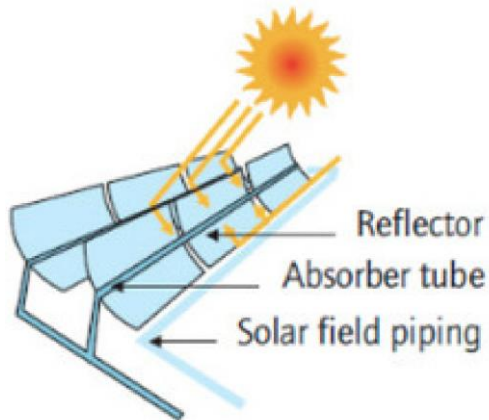
Puntamento biassiale

- Integrazione dei due moti di tracciamento
- Incidenza perpendicolare continua



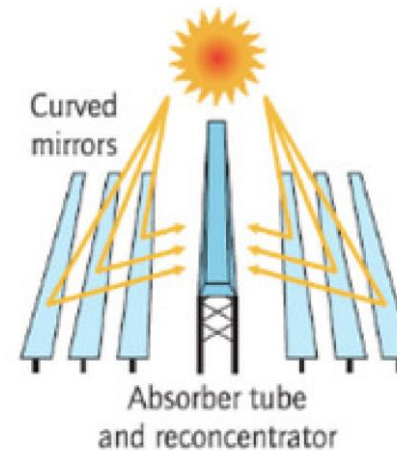
Collettori parabolici lineari, PT

- Specchi lineari a sezione parabolica
- Ricevitore sulla linea focale
- Puntamento a singolo asse



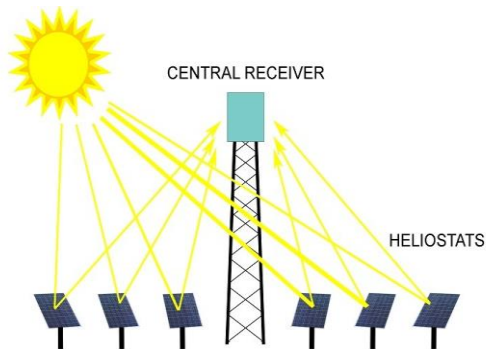
Collettori lineari Fresnel, FR

- File di specchi piani complanari
- Ricevitore sopraelevato
- Puntamento a singolo asse



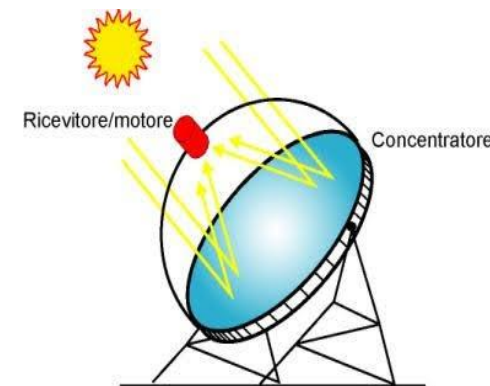
Sistemi a torre solare, ST

- Vasto campo di eliostati
- Ricevitore sulla sommità di una torre
- Puntamento biassiale



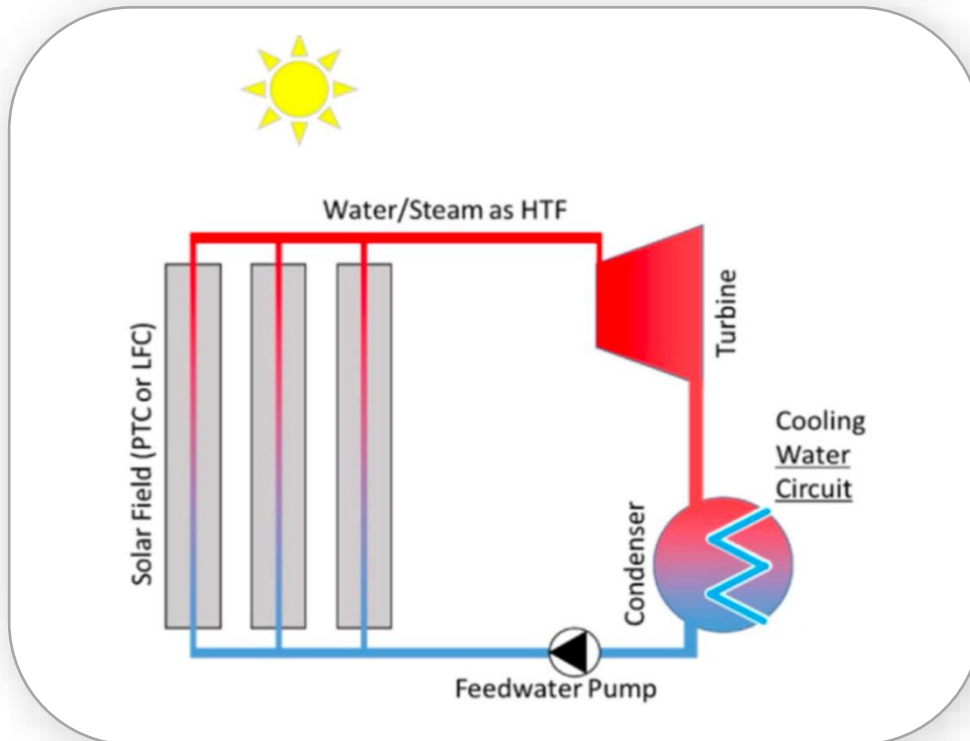
Dischi parabolici, SD

- Specchi concavi di sezione parabolica
- Ricevitore sul fuoco della sezione
- Puntamento biassiale



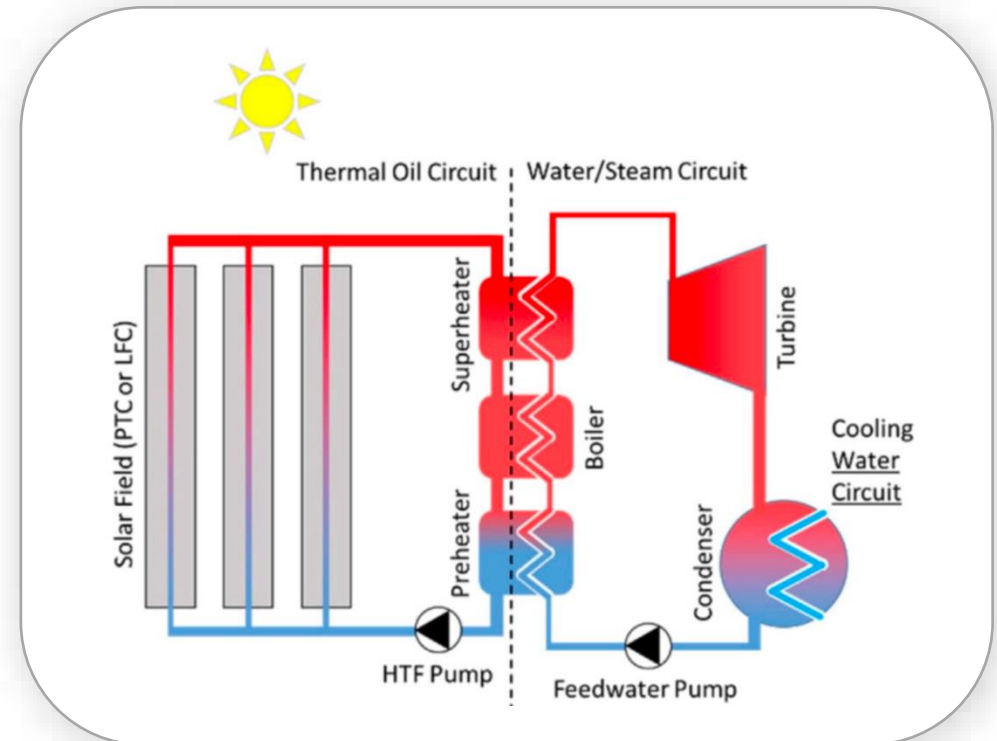
Generazione diretta (DSG)

- Evaporazione diretta di H_2O
- Il fluido termovettore assolve alla funzione di fluido operativo



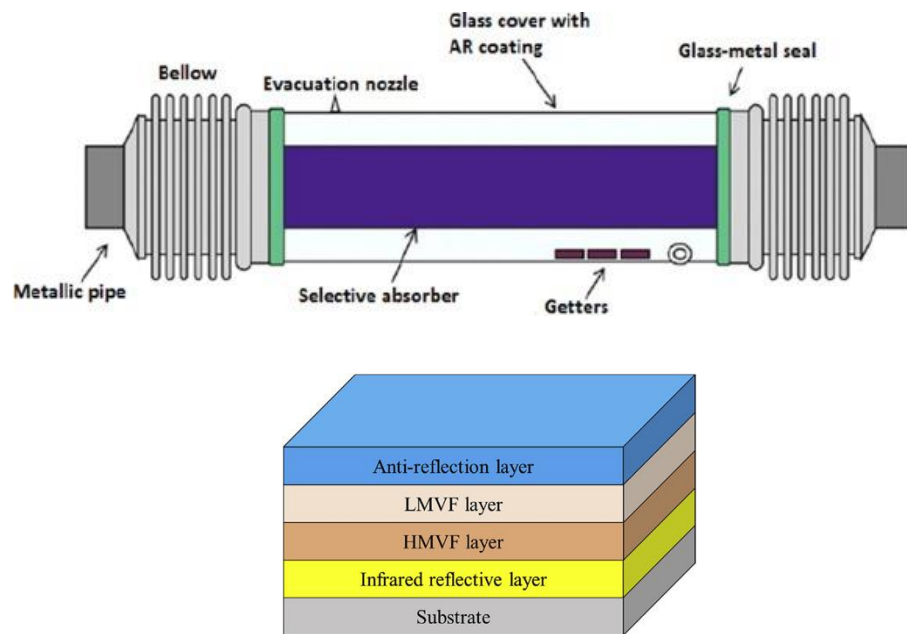
Generazione indiretta

- Impiego di fluidi termovettori dedicati (oli diatermici, sali fusi, metalli liquidi, gas)
- Scambiatore di calore interposto tra il campo solare e il circuito acqua-vapore



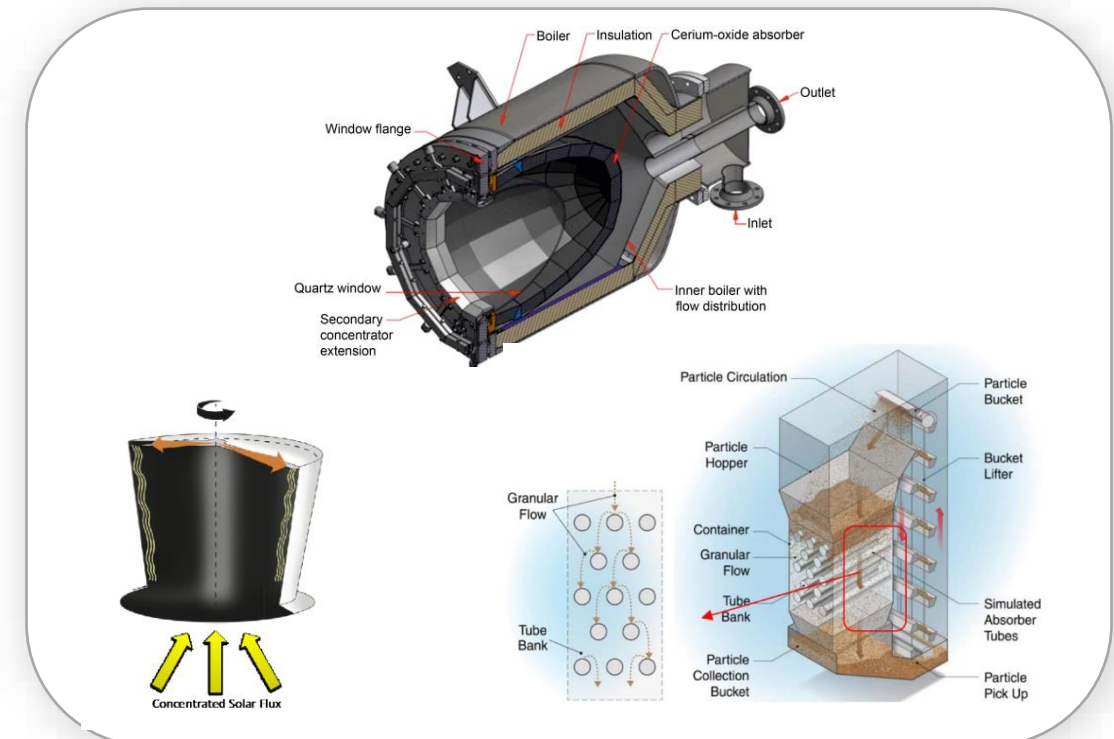
Ricevitori lineari

- Tubi assorbitori evacuati con rivestimenti selettivi per temperature superiori a 300 °C
- Strutture portanti condivise nei PT
- Strutture portanti indipendenti nei FR

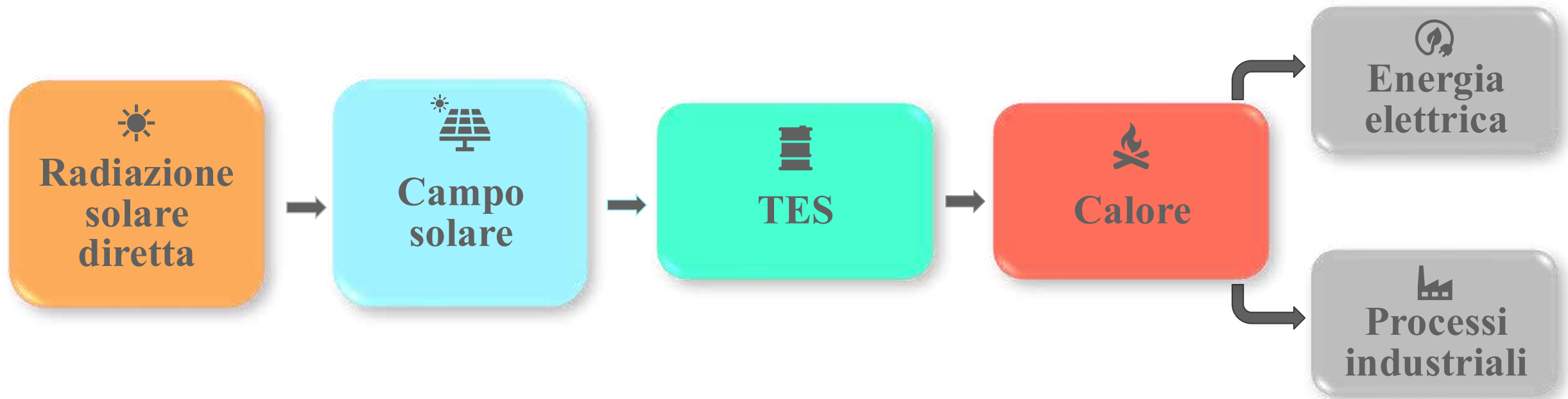


Ricevitori puntuali

- Ricevitori a gas, a liquido o a particelle solide
- Strutture portanti condivise nei SD
- Strutture portanti indipendenti nelle ST



I sistemi di accumulo termico (**TES**) compensano l'intermittenza della fonte solare, immagazzinando energia captata dai collettori per garantire **continuità operativa** ed elevata **flessibilità** dell'impianto anche in totale assenza di irraggiamento diretto



Temperatura operativa:

- HTTES: $> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$
- MTES: $120\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

Principio chimico-fisico:

- SHTES: calore sensibile
- LHTES: calore latente
- TCES: calore di reazione

Durata dell'accumulo:

- A breve termine: alcune ore
- A lungo termine: settimane
- Stagionale: diversi mesi

▪ **Rapporto di concentrazione:** $C = \frac{A_c}{A_r} = \frac{h_c \cdot l_c}{\pi \cdot d_r \cdot l_c} = \frac{h_c}{\pi \cdot d_r}$

▪ **Bilancio energetico:**

$$DNI \cdot A_c \cdot \cos \theta = q_{utile} + q_{p.ottiche} + q_{p.irraggiamento} + q_{p.convezione}$$

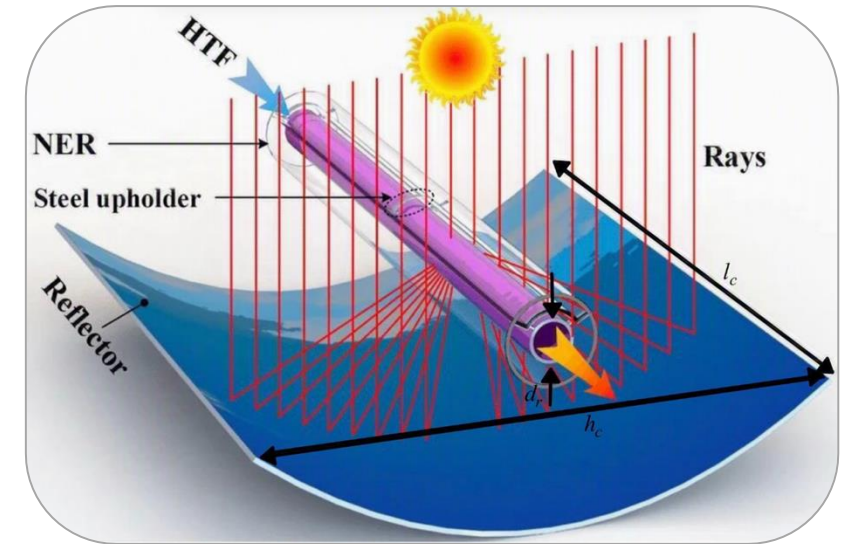
$$q_{p.convezione} = A_r \cdot h \cdot (T_{ric} - T_{amb})$$

$$q_{p.irraggiamento} = A_r \cdot \varepsilon_{ric} \cdot \sigma \cdot (T_{ric}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\eta_{termico,c} = \frac{q_{utile}}{DNI \cdot A_c \cdot \cos \theta - q_{p.ottiche}} = \frac{q_{utile}}{q_{utile} + q_{p.irraggiamento} + q_{p.convezione}}$$

$$\eta_{conversione} = \eta_{ottico,c} \cdot \eta_{termico,c}$$

$$q_{utile} = DNI \cdot A_c \cdot \cos \theta \cdot \eta_{conversione}$$



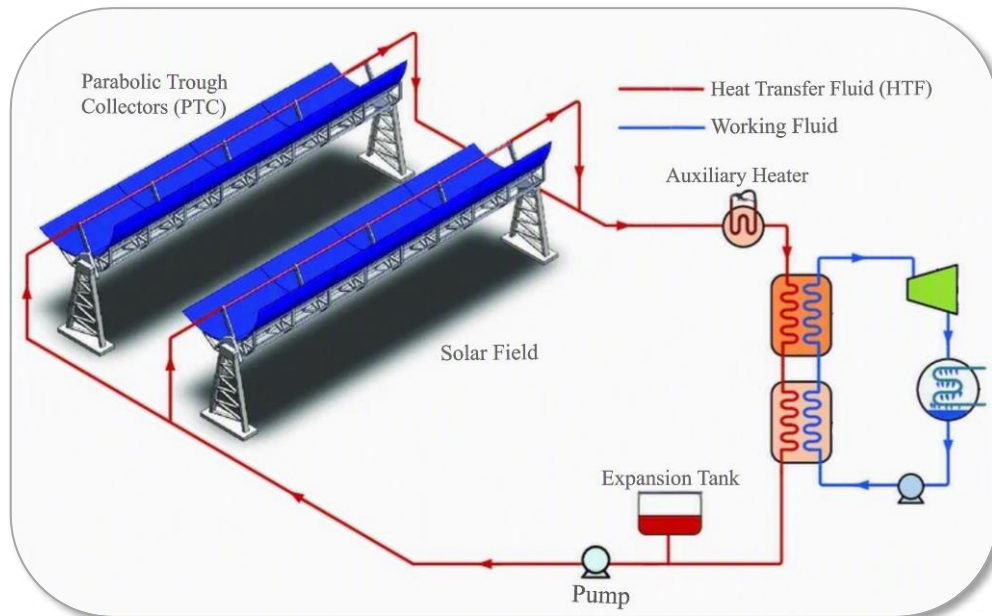
$$\eta_{ottico,c} = \gamma_{col} \cdot \rho_{con} \cdot \tau_{tubo} \cdot \alpha_{ric} \approx 0,78$$

$$q_{p.ottiche} = DNI \cdot A_c \cdot \cos \theta \cdot (1 - \eta_{ottico,c})$$

La **potenza termica utile** prodotta trova impiego nei **processi industriali** (80 °C – 240 °C)

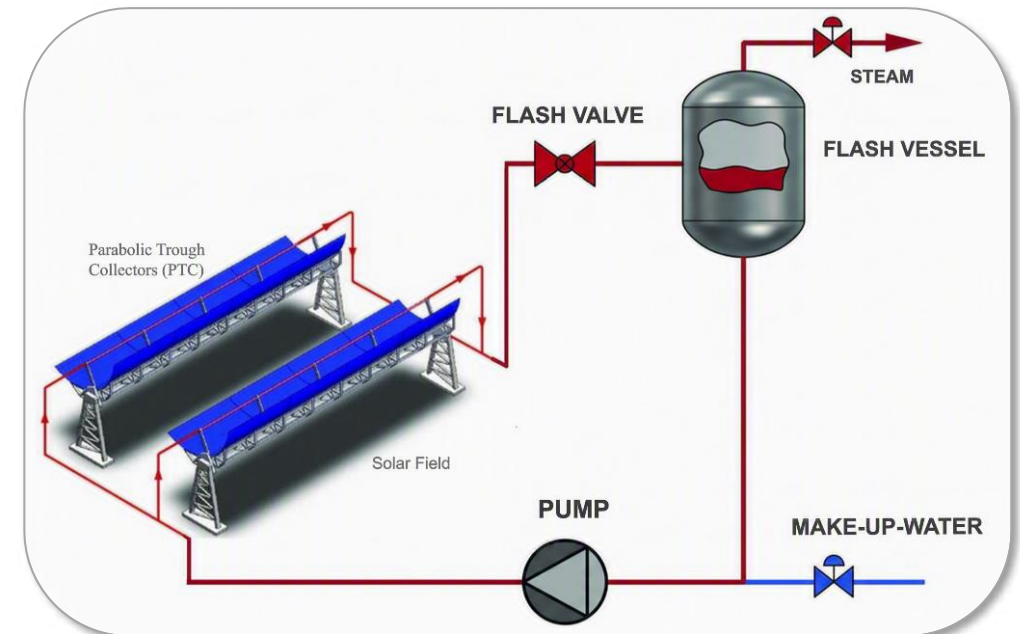
Generatore di vapore solare

- Circolazione del fluido termovettore nel campo solare
- Generazione di vapore tramite scambiatore di calore esterno



Sistema a flash

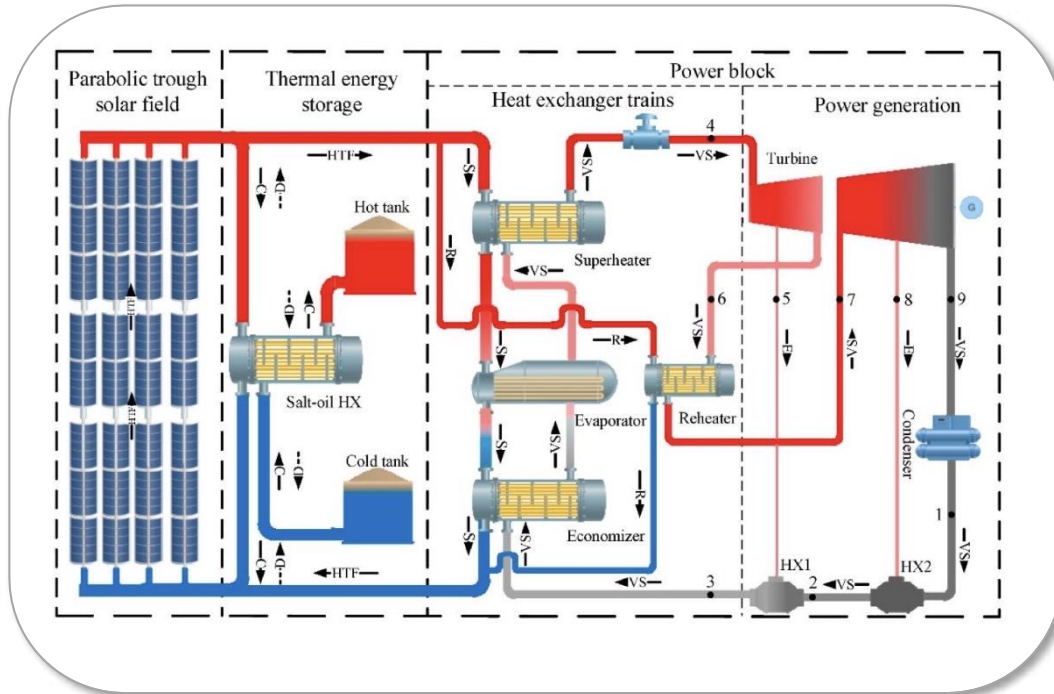
- Evaporazione parziale di H_2O tramite valvola di laminazione
- Separazione delle fasi e ricircolo della frazione liquida



La **potenza termica utile** prodotta trova impiego nella **generazione di potenza elettrica**

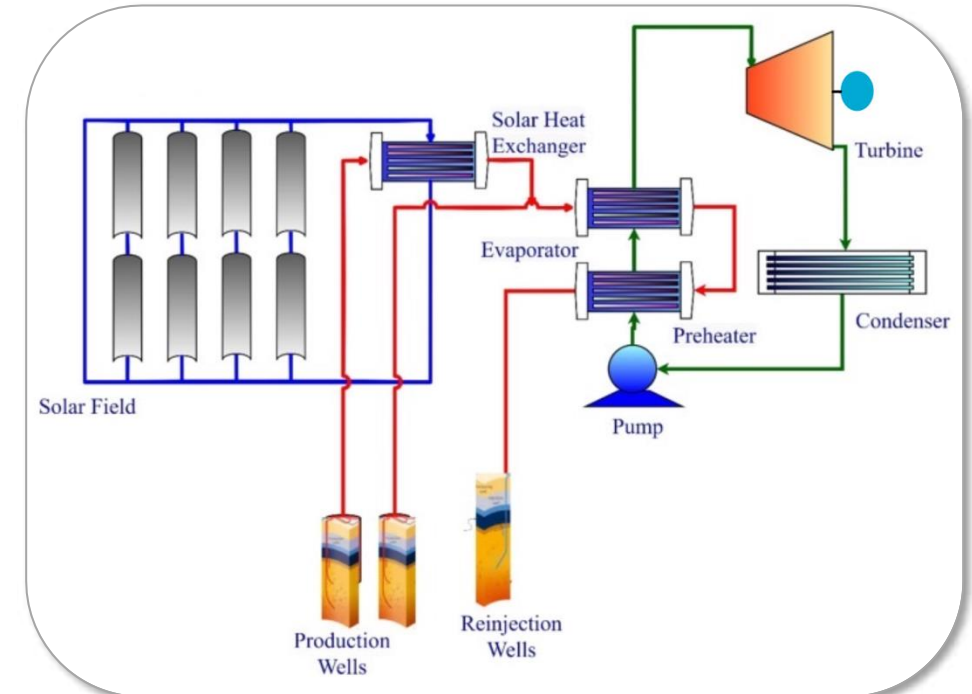
Impianti solari a ciclo Rankine

- Continuità operativa garantita da TES e riscaldatore a gas ausiliario
- Necessità di ricircolo notturno dei sali fusi



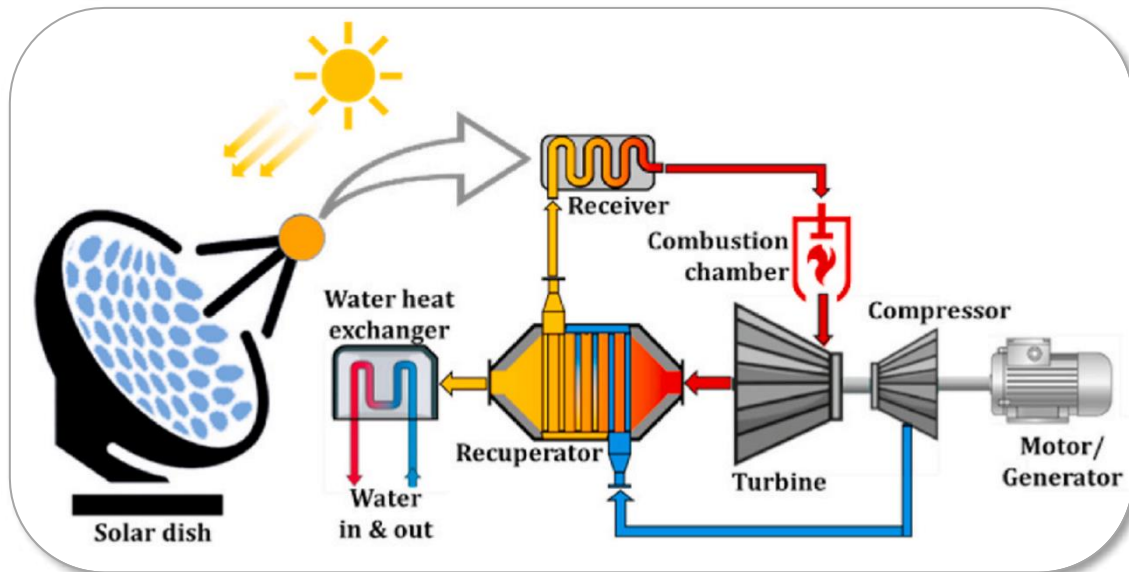
Impianti ibridi geotermico-solari

- Integrazione solare nel ciclo ORC geotermico con incremento entalpico del fluido in ingresso in turbina



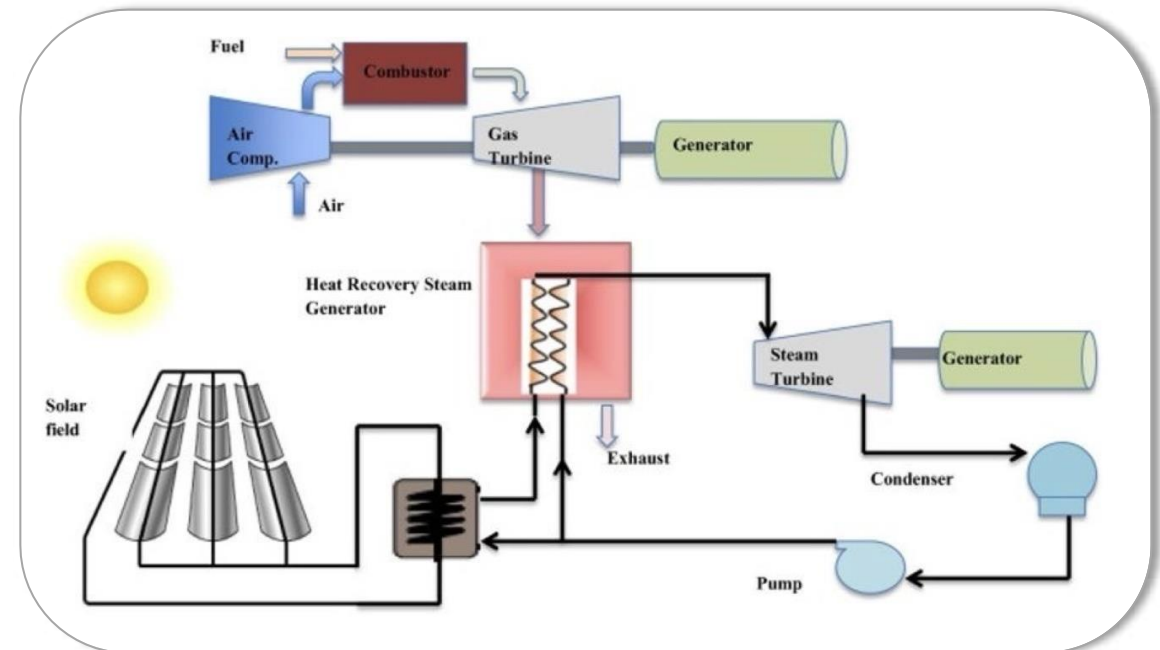
Microturbine solari

- Integrazione tra disco parabolico e microturbina
- Preriscaldamento dell'aria compressa a monte della camera di combustione
- Soluzione strategica per la generazione distribuita



Cicli combinati solari integrati (ISCC)

- Integrazione del campo solare in un impianto a ciclo combinato gas-vapore
- Sinergia tra la programmabilità del fossile e la sostenibilità del solare



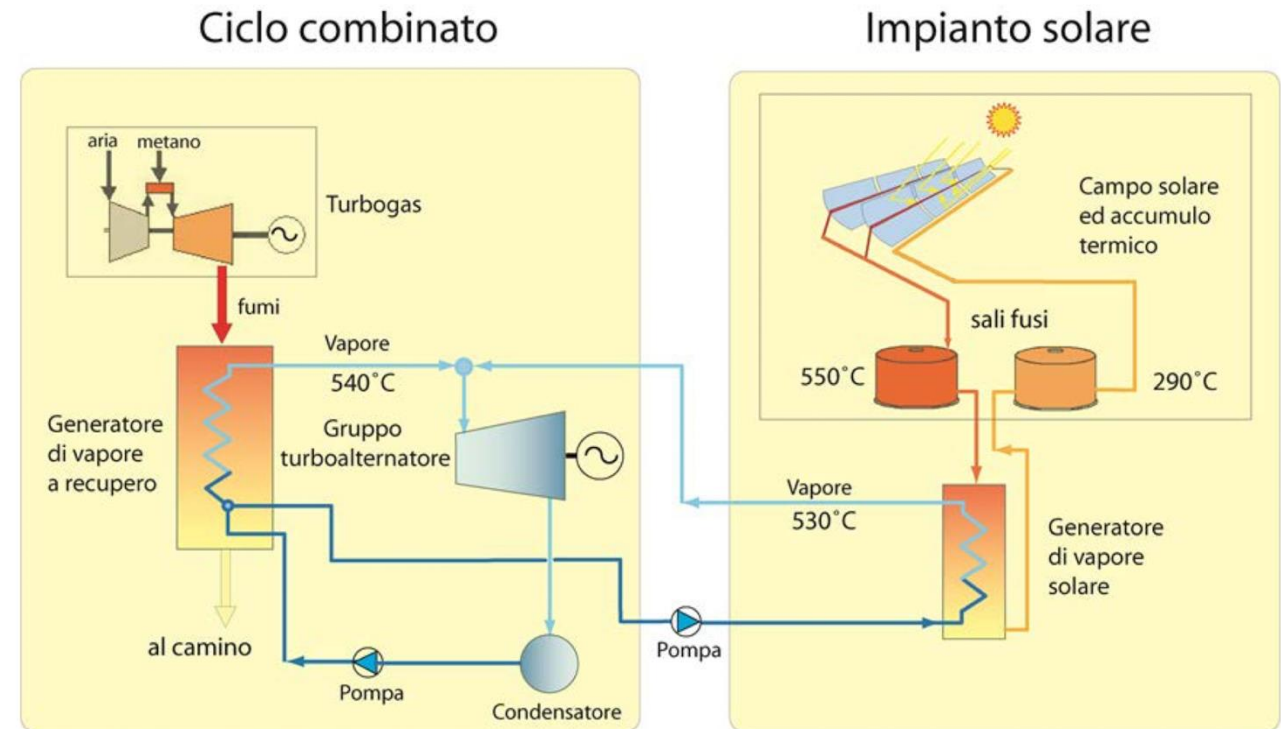
Un'eccellenza italiana nello sviluppo degli impianti **ISCC** è la **Centrale Archimede** situata a Priolo Gargallo (SR)

Innovazioni

- Primo impianto CSP integrato in un ciclo combinato a gas preesistente
- Primo utilizzo di sali fusi (NaNO_3 e KNO_3) sia come fluido termovettore sia come mezzo di accumulo

Parametri e prestazioni

- Capacità dell'impianto solare centrale: 5 MW
- Efficienza globale di conversione in energia elettrica netta: 15,6 %
- Risparmio annuo: 2.100 tep
- Riduzione emissioni CO_2 : 3.250 t/a



↔ Vantaggi operativi

- ✓ **Temperature:** valori superiori rispetto ai collettori solari tradizionali
- ✓ **Efficienza:** dispersioni termiche minime per la ridotta superficie di scambio del ricevitore
- ✓ **Versatilità:** impiego trasversale in molteplici processi industriali

⚙️ Limiti e criticità

- ✗ **Oneri di investimento:** elevati costi per la realizzazione degli impianti
- ✗ **Occupazione del suolo:** estese superfici necessarie per l'installazione del campo solare
- ✗ **Gestione dei fluidi:** rischio di corrosione e solidificazione dei fluidi termovettori e di accumulo

- I sistemi solari a concentrazione si affermano come tecnologia chiave per il settore energetico italiano, offrendo soluzioni efficaci in diversi ambiti applicativi

Potenziale
solare del
Mezzogiorno

Economia
Circolare e
Transizione
Energetica

Autonomia
Strategica

Riqualificazione
industriale