

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale
«Impianti solari ibridi con stoccaggio
termico: analisi e confronto tra tecnologie»

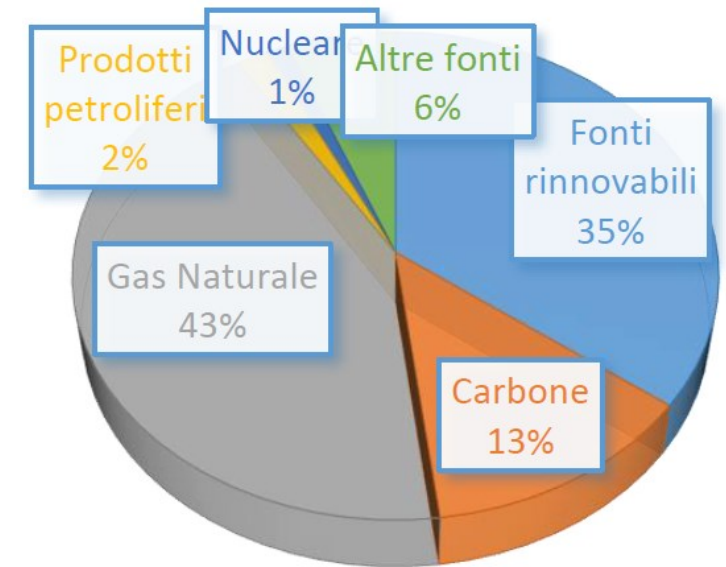
Tutor universitario: Prof. Sergio Rech

Laureanda: *Emma Beda*

Matricola: 2006195

Padova, 11/07/2024

- La temperatura media del pianeta è aumentata di 1°C rispetto ai livelli preindustriali: tendenza osservata dal 2000 ad oggi, con previsione di +1.5°C tra il 2030 e 2050.
- I cambiamenti climatici sono attribuiti principalmente alle emissioni di gas serra: il principale tra questi, l'anidride carbonica, proviene in gran parte dal settore energetico.
- La transizione energetica è necessaria per ridurre le emissioni e raggiungere la decarbonizzazione: passaggio da un mix energetico incentrato sui combustibili fossili a uno a basse o a zero emissioni di carbonio.



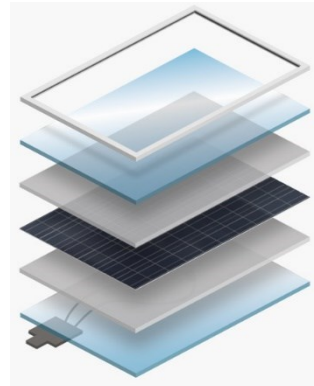
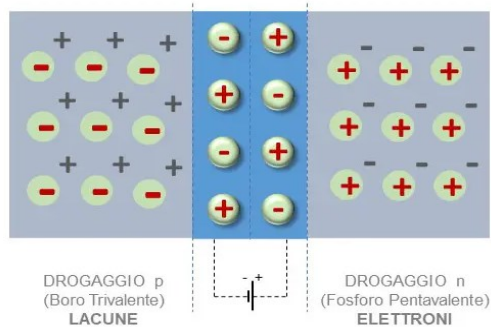
Composizione del mix medio nazionale utilizzato per la produzione di energia elettrica nel sistema elettrico italiano nel 2010

- Analizzare e confrontare le tecnologie di stoccaggio termico negli impianti solari ibridi.
- Esaminare i principi di funzionamento e le caratteristiche tecniche di ciascuna tecnologia.
- Valutare i vantaggi e le limitazioni in termini di efficienza energetica, costi e sostenibilità ambientale.
- Identificare la migliore configurazione di sistema solare ibrido con accumulo termico.



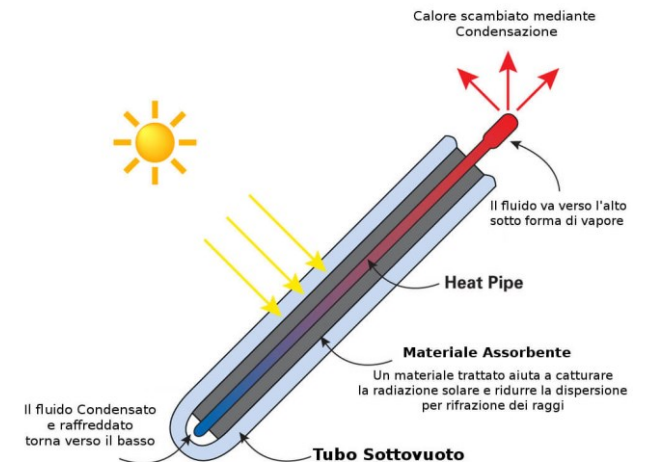
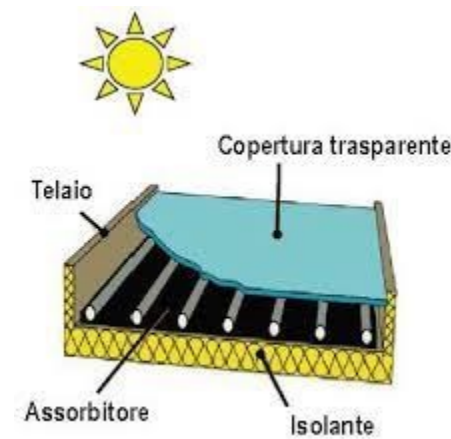
Pannelli solari fotovoltaici

- I pannelli fotovoltaici convertono l'energia solare direttamente in energia elettrica.
- Elemento principale: la cella fotovoltaica in Silicio.
- L'efficienza dei pannelli è influenzata dall'irradianza e dalla temperatura: viene prodotta più energia con intensa illuminazione solare e a temperature più basse.
- Efficienza che varia tra 8,5% e 25%



Collettori solari termici

- I collettori solari termici convertono l'energia della radiazione solare globale in energia termica.
- Utilizzano un fluido termovettore per accumulare e trasportare il calore catturato.
- Principali tipologie: collettori piani e collettori a tubi sottovuoto.
- Efficienza influenzata dalla capacità di limitare le perdite di calore verso l'esterno.



Pannelli solari ibridi

- I pannelli ibridi termo-fotovoltaici (PVT) combinano pannelli fotovoltaici e termici in un unico sistema.
- Principio di funzionamento: raffreddamento del pannello con recupero di calore.
- Maggiore efficienza (60%) rispetto ai pannelli fotovoltaici (15%) e ai pannelli termici (55%) tradizionali.

Vantaggi:

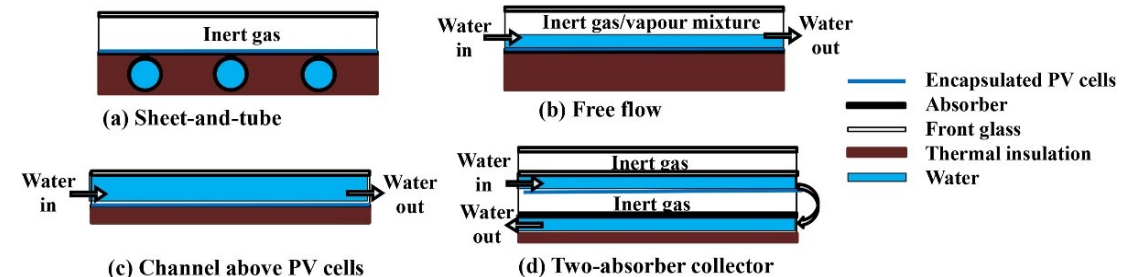
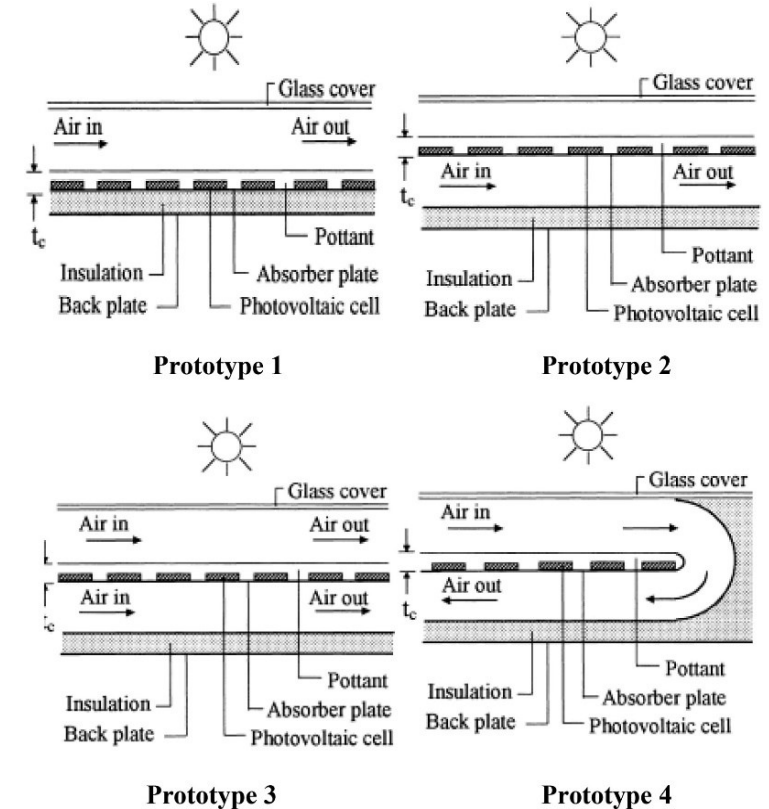


- Uso efficiente dello spazio e versatilità applicativa.
- Utilizzo più efficiente dell'energia disponibile.

Svantaggi:



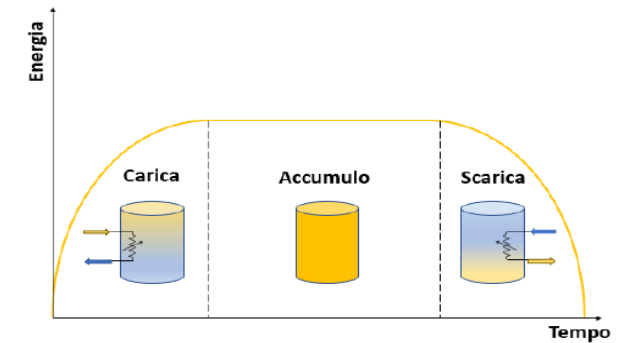
- Costo maggiore.
- Progettazione: malfunzionamento nel collettore solare può compromettere il funzionamento del modulo fotovoltaico.



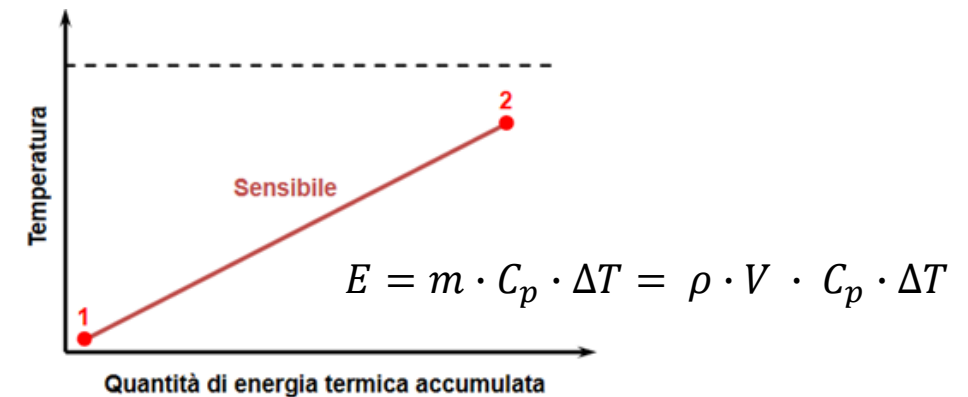
- Sistemi PVT con stoccaggio di energia termica (**TES**)
 - Accumulo di calore sensibile (SHS)
 - Accumulo di calore latente (LHS)
 - Accumulo di calore termochimico (TCS)
- Sistemi PVT con pompa di calore (**SAHP**)

1. Accumulo di calore sensibile

- Si basa sul cambiamento di temperatura dei materiali;
- Tecnologia consolidata, già ampiamente diffusa;
- Si classificano in base allo stato fisico dei materiali (liquido/solido);
- L'accumulo di calore sensibile a base d'acqua è la soluzione TES più comunemente usata a basse temperature per il riscaldamento dell'acqua o degli ambienti.



Principio di funzionamento dei sistemi TES

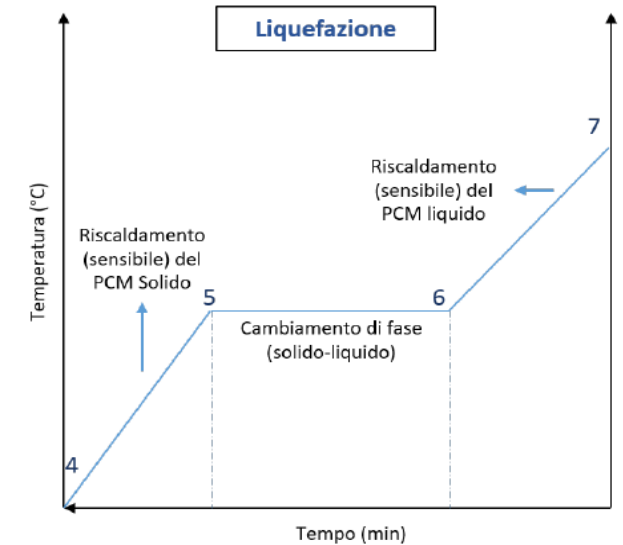


Curva caratteristica dei sistemi SHS

2. Accumulo di calore latente

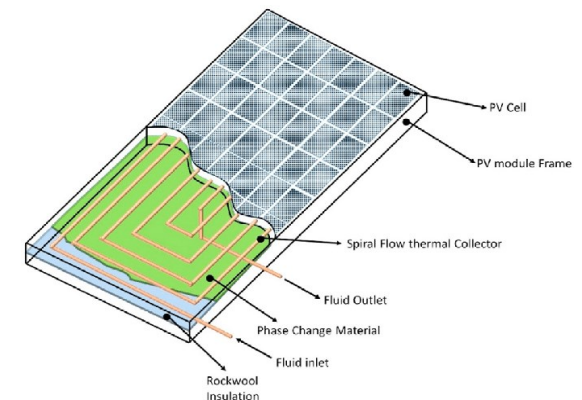
- Si basa sul cambiamento di fase dei materiali (PCM, *Phase Change Materials*);
- Presentano densità energetica maggiore con riduzione di pesi e volume richiesti per immagazzinare energia;
- Capacità di mantenere temperature costanti;
- I materiali a cambiamento di fase (PCM) sono classificati in organici, inorganici ed eutettici;
- I PCM possono essere integrati direttamente nei pannelli, per ottimizzarne le prestazioni sia termiche che elettriche.

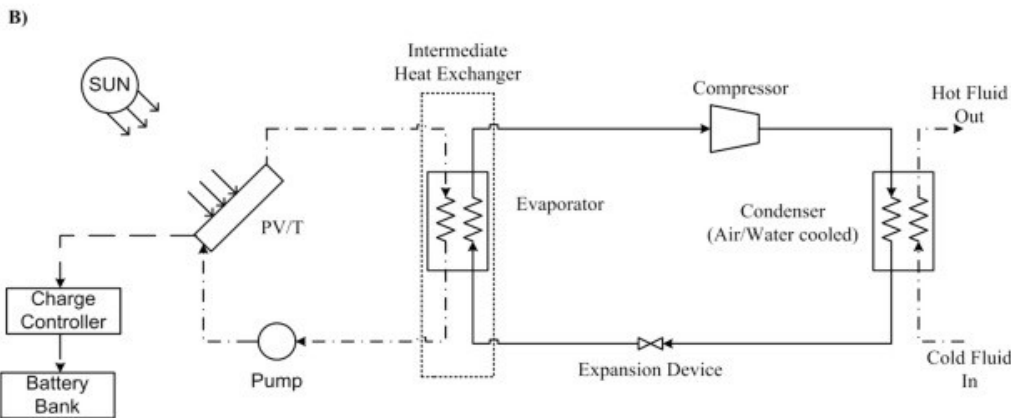
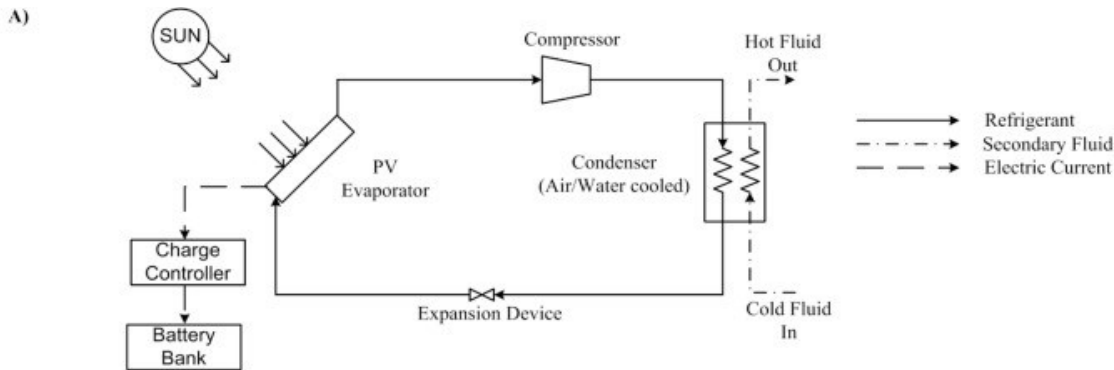
Transizione di fase da solido a liquido



$$Q = m \cdot [(c_p \cdot \Delta T)_{sensibile} + H + (c_p \cdot \Delta T)_{sensibile}]$$

Esempio di PVT-PCM

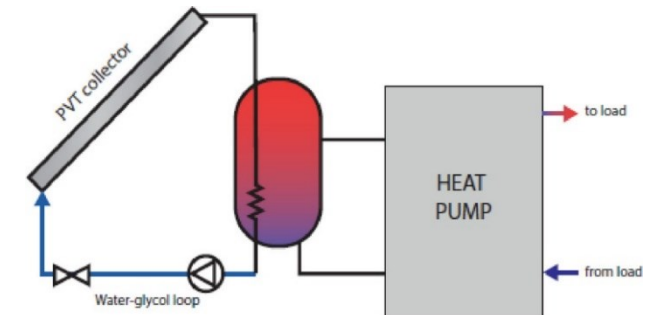
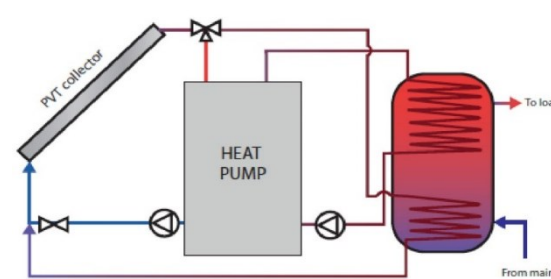




- L'inclusione dello stoccaggio termico è consigliata per mitigare gli effetti delle variazioni dell'intensità solare. Il più usato è il serbatoio di accumulo di acqua calda.

3. Solare termo-fotovoltaico con pompa di calore

- I sistemi PVT possono fornire una fonte di calore per la pompa di calore, migliorando il COP (coefficiente di prestazione);
- I PVT-SAHP (*Solar Assisted Heat Pump*) possono essere classificati in due tipi: a espansione diretta (A) e ad espansione indiretta (B);





Efficienza energetica

Performance economica

Sostenibilità ambientale

PVT-SAHP

Il COP_{sys} mostra un miglioramento del 6,9%, rispetto al COP della sola pompa di calore

- LCC: costo ciclo di vita
- Costo per unità di potenza termica: 1000-3500 €/kW_t

- EBPT (tempo di recupero di energia): tra 2 e 5 anni
- EROI (energia restituita): tra 8 e 12

PVT con SHS

- Efficiente a basse temperature, ma limitato in capacità;
- 50-90%

Con acqua (più diffusa per il basso costo): 0,1-10 €/kWh con capacità 10-50 kWh

Contribuisce a ridurre le emissioni di CO₂ grazie a fonti di energia rinnovabile

PVT con LHS

- Alta densità energetica e lunga durata di stoccaggio
- 75-90%

Costo più alto 10-50 €/kWh, ma capacità maggiore 50-150 kWh

I PCM di origine biologica sono facilmente smantellabili

- L'adozione di sistemi di stoccaggio termico efficienti riduce la dipendenza dai combustibili fossili;
- La tecnologia migliore dipende dalle condizioni operative specifiche. Non esiste una soluzione universale: le prestazioni variano in base alle esigenze e ai vincoli operativi (fattori tecnici, climatici, di progettazione,...);
- Importanza di continuare la ricerca e lo sviluppo nel campo degli impianti solari ibridi;
- Le tecnologie innovative come i sistemi solari ibridi con stoccaggio termico danno un contributo significativo alla transizione energetica globale e alla mitigazione dei cambiamenti climatici.

