

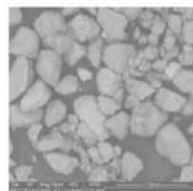
# CLIMATIZZAZIONE, FER E MATERIALI A CAMBIO DI FASE

14 dicembre 2021

## Fonti rinnovabili e pompe di calore: i limiti dello stoccaggio termico

- Calore sensibile, serbatoi e limiti volumetrici
- Calore latente: l'idea di CLIWAX

*Prof. Ing. Giorgio Pagliarini - Ing. Luca Cattani*




# Sistemi di Accumulo Energetico

- Il settore edilizio richiede un'elevata quantità d'energia
- Riduzione della disponibilità delle fonti fossili, variazione incontrollata dei prezzi e necessità di una politica ecosostenibile



diversificazione delle fonti primarie da utilizzare nella produzione energetica

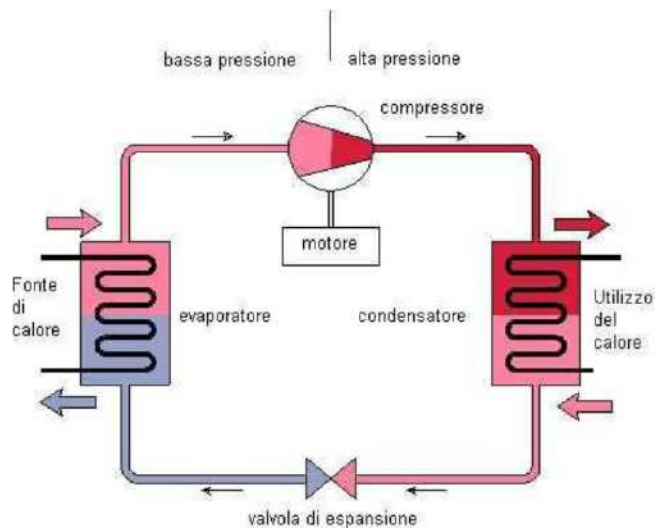
- Diffusione delle fonti rinnovabili  modifica tipologia di generazione di energia nella rete elettrica
- La rete deve essere in grado di garantire in ogni momento una fornitura di potenza ed energia all'utenza in relazione alla natura non programmabile della fonte rinnovabile



**Sistema d'accumulo**

# Sistemi di Accumulo Energetico

- Caso specifico del progetto Cliwax  pompe di calore



- Le pompe di calore multi-sorgente ottimizzano le prestazioni grazie allo sfruttamento controllato di aria, suolo e sole, in ragione delle rispettive temperature.

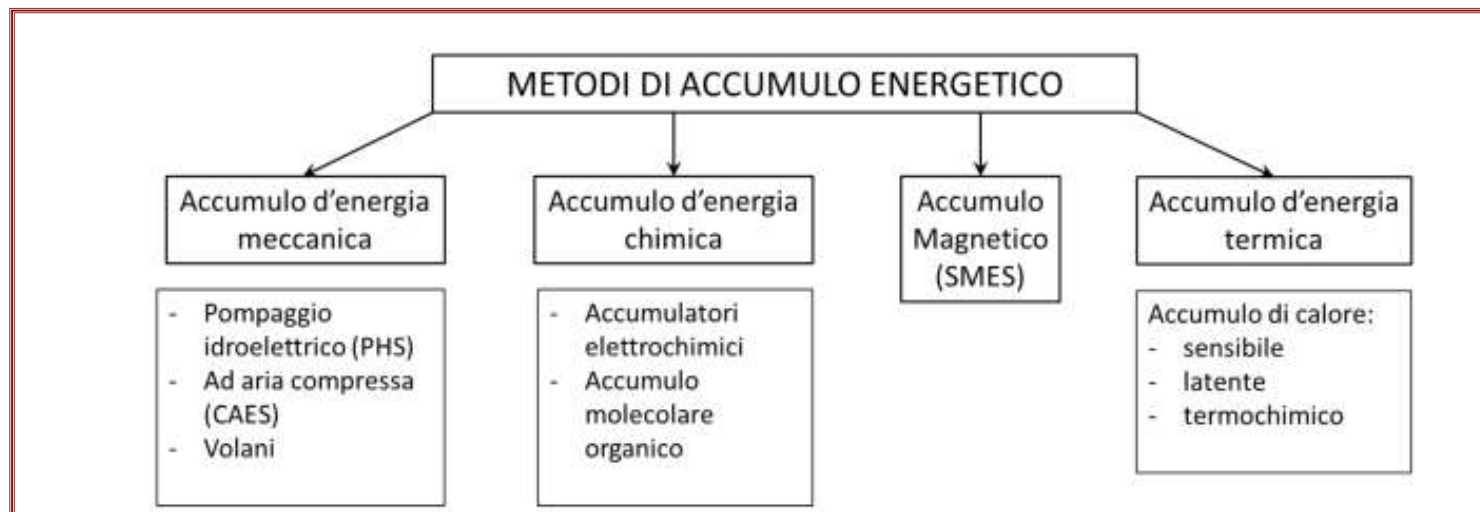
# Sistemi di Accumulo Energetico

- La disponibilità è generalmente non sincrona al fabbisogno di climatizzazione.
- L'accumulo energetico diviene quindi elemento strategico.
- L'accumulo d'energia consiste nello stoccaggio di una qualche forma d'energia che può essere poi utilizzata in un secondo momento quando richiesta.
- Possibili vantaggi:
  - semplifica la gestione dell'energia;
  - rende i sistemi più affidabili ed economici riducendo lo spreco d'energia;
  - consente un uso più differenziato dell'energia elettrica;
  - riduce il consumo di combustibili fossili;
  - permette l'installazione di macchine con potenze nominali minori, poiché non dimensionate per il massimo carico.

# Sistemi di Accumulo Energetico

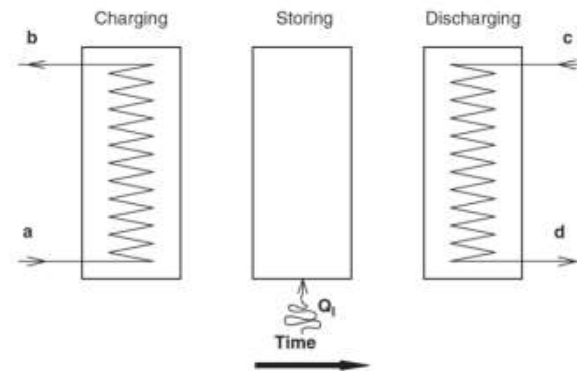
## Classificazione per forma di energia

- I sistemi d'accumulo vengono classificati in base alla forma d'energia utilizzata per l'immagazzinamento



# Sistemi di Accumulo Termico

- Realizzato attraverso una variazione di energia interna nel materiale
- Il potenziale applicativo di questa categoria è ampio
- Processo di accumulo termico è caratterizzato da tre fasi:
  - assorbire il calore;
  - conservare l'energia assorbita fino al momento della necessità;
  - rilasciare il calore assorbito.



# Sistemi di Accumulo Termico

## Classificazione per durata

- Gli accumuli termici possono essere suddivisi in breve, medio e lungo termine.
- L'accumulo a breve termine è caratterizzato da una durata misurabile in ore e viene anche detto stoccaggio giornaliero
- L'accumulo a medio e lungo termine è consigliato quando le dispersioni termiche o i carichi energetici stagionali possono essere utilizzati rispettivamente con un ritardo settimanale o mensile.
- L'accumulo a lungo termine, spesso riferito ad un accumulo stagionale o annuale, sfrutta la variazione climatica tra le stagioni.

# Sistemi di Accumulo Termico

## Classificazione per Temperature di lavoro

|   | TEMPERATURE                                     | APPLICAZIONI  | SORGENTI  |
|---|---|---|---|
| HTTES: accumulo termico ad alta temperatura | $T > 200^{\circ}\text{C}$                       | Generazione di potenza, riscaldamento edifici                                 | Centrali solari, impianti cogenerativi, cascami energetici (calore di scarto da processi industriali) |
| MTTES: accumulo termico a media temperatura | $100^{\circ}\text{C} < T < 250^{\circ}\text{C}$ | Buffering, riscaldamento degli ambienti, macchine frigorifere ad assorbimento | Solare termico a concentrazione, calore di scarto da processi industriali                             |
| LTTES: accumulo termico a bassa temperatura | $10^{\circ}\text{C} < T < 200^{\circ}\text{C}$  | Riscaldamento/raffrescamento edifici  | Collettori solari, impianti cogenerativi  |
| CTES: accumulo termico freddo               | $T < 10^{\circ}\text{C}$                        | Raffrescamento edifici, conservazione degli alimenti                          | Collettori solari, ghiaccio invernale   |



## Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

- L'accumulo dovuto ad un incremento o abbassamento della temperatura del materiale è detto calore sensibile.
- La sua efficacia dipende dal calore specifico del materiale e, se il suo volume è importante, dalla sua densità.
- Sistemi comunemente usati sono rocce, terreno o acqua.
- La quantità di calore immagazzinato nel materiale  $\Rightarrow Q = m \cdot cp \cdot \Delta T = \rho \cdot cp \cdot V \cdot \Delta T$
- A basse temperature  $\Rightarrow$  l'acqua è la migliore soluzione
- Nella scelta del materiale utilizzato per l'accumulo si considerano vari aspetti tra i quali la capacità termica, l'economicità e la velocità di rilascio ed assorbimento del calore.

# Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

- I materiali utilizzati per l'accumulo possono essere solidi o liquidi.

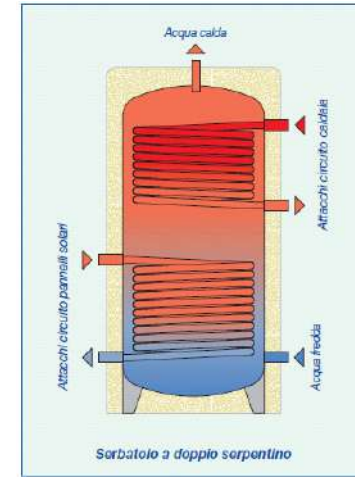
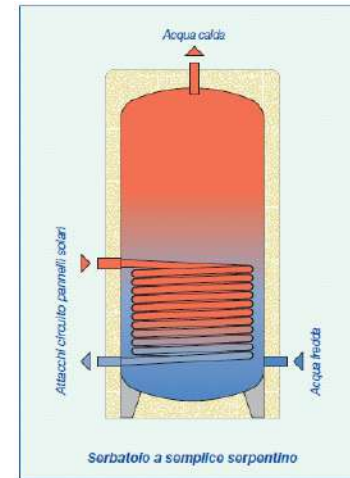
| MATERIALE      | DENSITÀ<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | CALORE SPECIFICO<br>[J/kgK] | CAPACITÀ VOLUMETRICA TERMICA<br>[10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup> K] |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------|--|
| Argilla        | 1458                            | 879                         | 1,28   |
| Mattone        | 1800                            | 837                         | 1,51   |
| Arenaria       | 2200                            | 712                         | 1,57   |
| Legno          | 700                             | 2390                        | 1,67   |
| Cemento        | 2000                            | 880                         | 1,76   |
| Vetro          | 2710                            | 837                         | 2,27   |
| Alluminio      | 2710                            | 896                         | 2,43   |
| Ferro          | 7900                            | 452                         | 3,57   |
| Acciaio        | 7840                            | 465                         | 3,68   |
| Terra ghiaiosa | 2050                            | 1840                        | 3,77   |
| Magnetite      | 5177                            | 752                         | 3,89   |
| Acqua          | 988                             | 4182                        | 4,17   |

# Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

- Gli accumuli più comuni sono quelli che utilizzano l'acqua in serbatoi per il riscaldamento, condizionamento dell'aria e altre applicazioni

## Configurazioni più utilizzate per i serbatoi ad Acqua

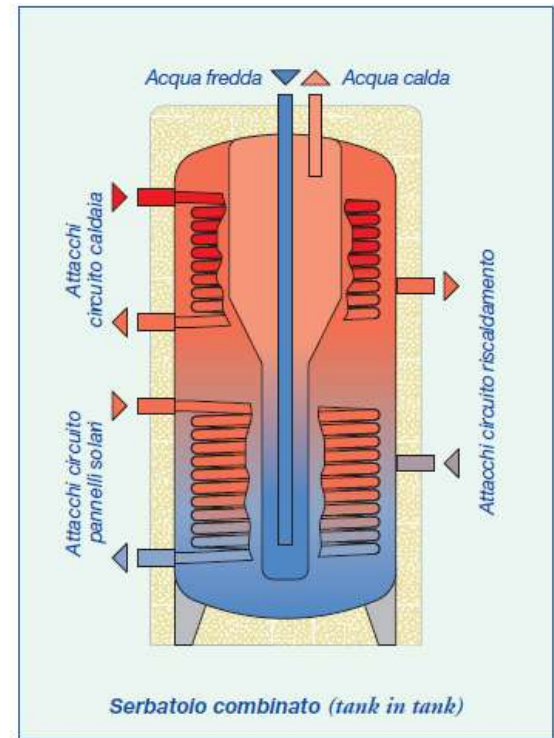
- Serbatoi a serpentine
  - Possono essere a semplice o a doppio serpentino.
  - Quelli a semplice serpentino servono solo ad accumulare calore.
  - Quelli a doppio serpentino servono anche per riscaldare l'acqua (se necessario) fino alla temperatura d'uso richiesta.
- Sono utilizzati in impianti di piccole e medie dimensioni.



# Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

## Configurazioni più utilizzate per i serbatoi ad Acqua

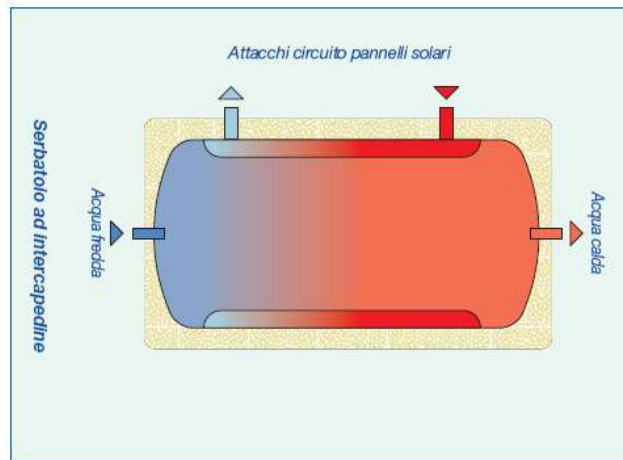
- Serbatoi “tank in tank”
- Sono serbatoi a doppio contenitore
- Il serbatoio grande contiene l’acqua che serve a far funzionare l’impianto di riscaldamento.
- Il serbatoio piccolo contiene l’acqua che serve ad alimentare l’impianto sanitario.
- Sono serbatoi utilizzati soprattutto in impianti di piccole e medie dimensioni.



# Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

## Configurazioni più utilizzate per i serbatoi ad Acqua

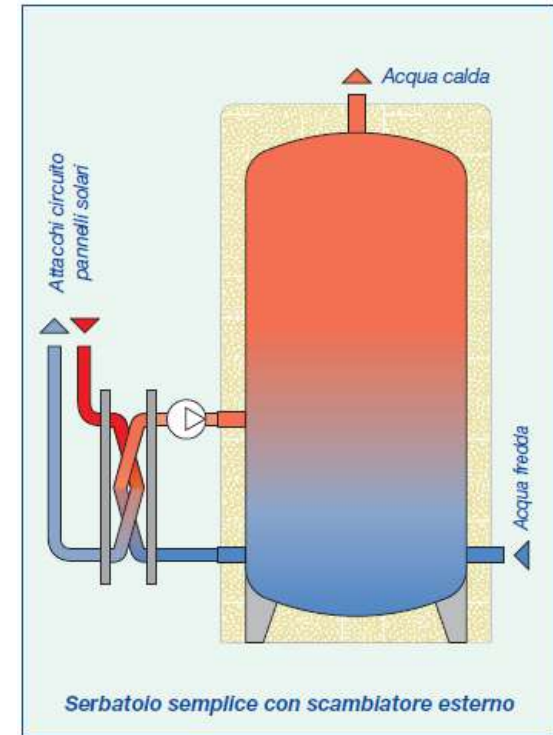
- Serbatoi ad intercapedine
  - Presentano in corrispondenza della loro superficie laterale, un'intercapedine entro cui può circolare il fluido caldo.
  - Sono utilizzati soprattutto in impianti di piccole dimensioni.



# Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

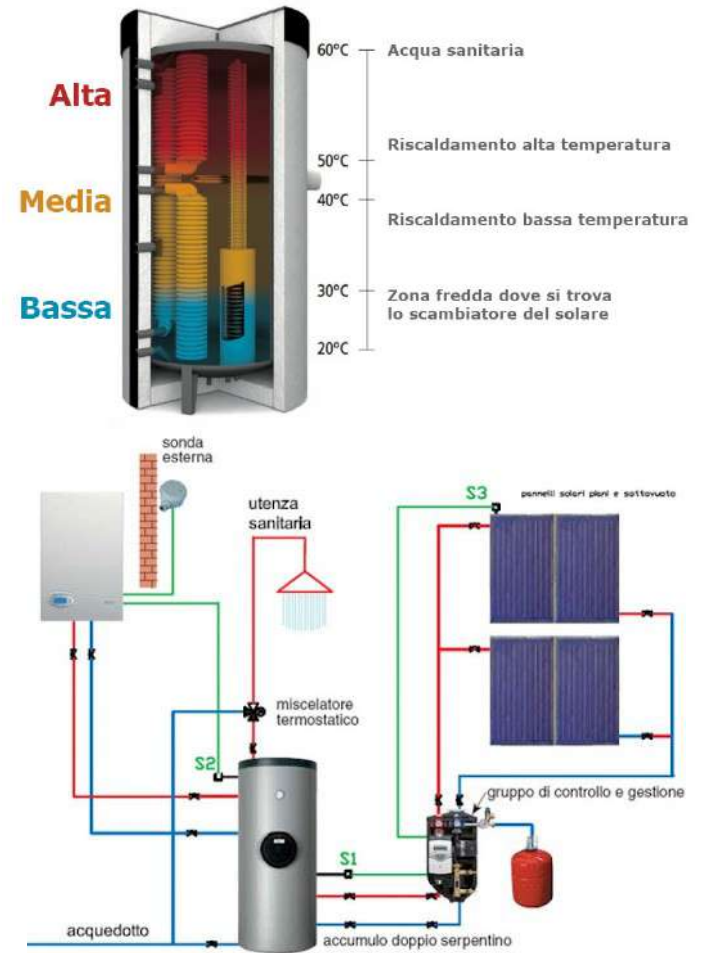
## Configurazioni più utilizzate per i serbatoi ad Acqua

- Serbatoi senza scambiatori di calore interni
  - Sono costituiti da semplici serbatoi di accumulo.
  - Lo scambio termico col fluido caldo è realizzato con scambiatori esterni a piastre o a fascio tubiero.
  - Sono utilizzati in impianti di medie e grandi dimensioni.



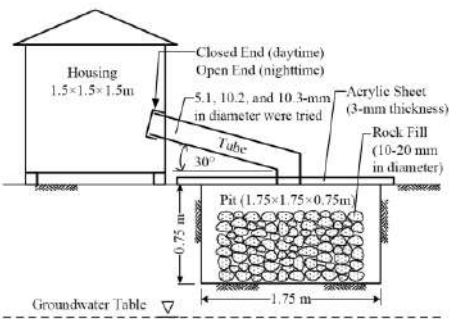
# Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

- Il caso più comune è quello dei serbatoi con serpentini. Alcuni requisiti da rispettare in fase di progettazione:
- Considerazioni geometriche:
  - un serbatoio stretto e alto;
  - Configurazione ingresso e uscita dell' acqua;
  - minimizzare il volume morto d'acqua.
- Considerazioni operative :
  - la differenza di temperatura di almeno di 5-10°C ;
  - velocità d'ingresso ed uscita deve essere bassa
- Altre considerazioni:
  - le caratteristiche dell'isolamento e dell'impermeabilizzazione del serbatoio devono rispettare certe specifiche per evitare perdite di calore e d'acqua

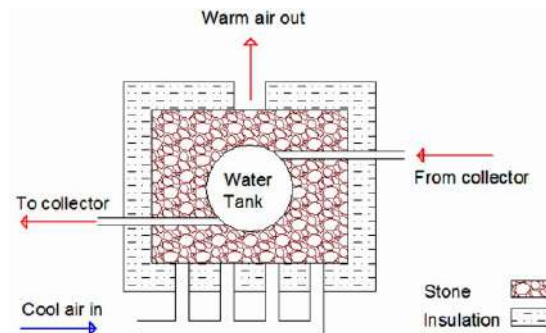


# Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

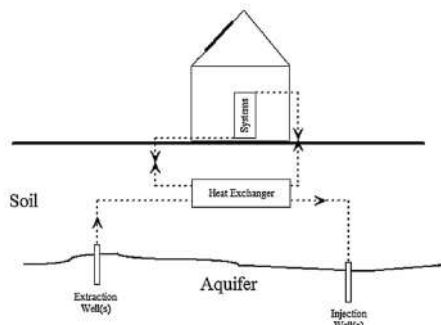
## Altre configurazioni



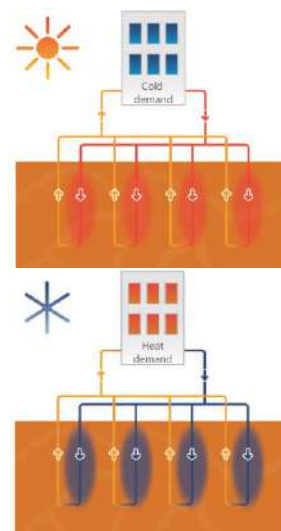
Sistema di accumulo di energia a rocce interrato



Sistema di accumulo misto acqua/rocce



Sistemi di accumulo basati sull'utilizzo di falde acquifere



Borehole Thermal Energy Storage

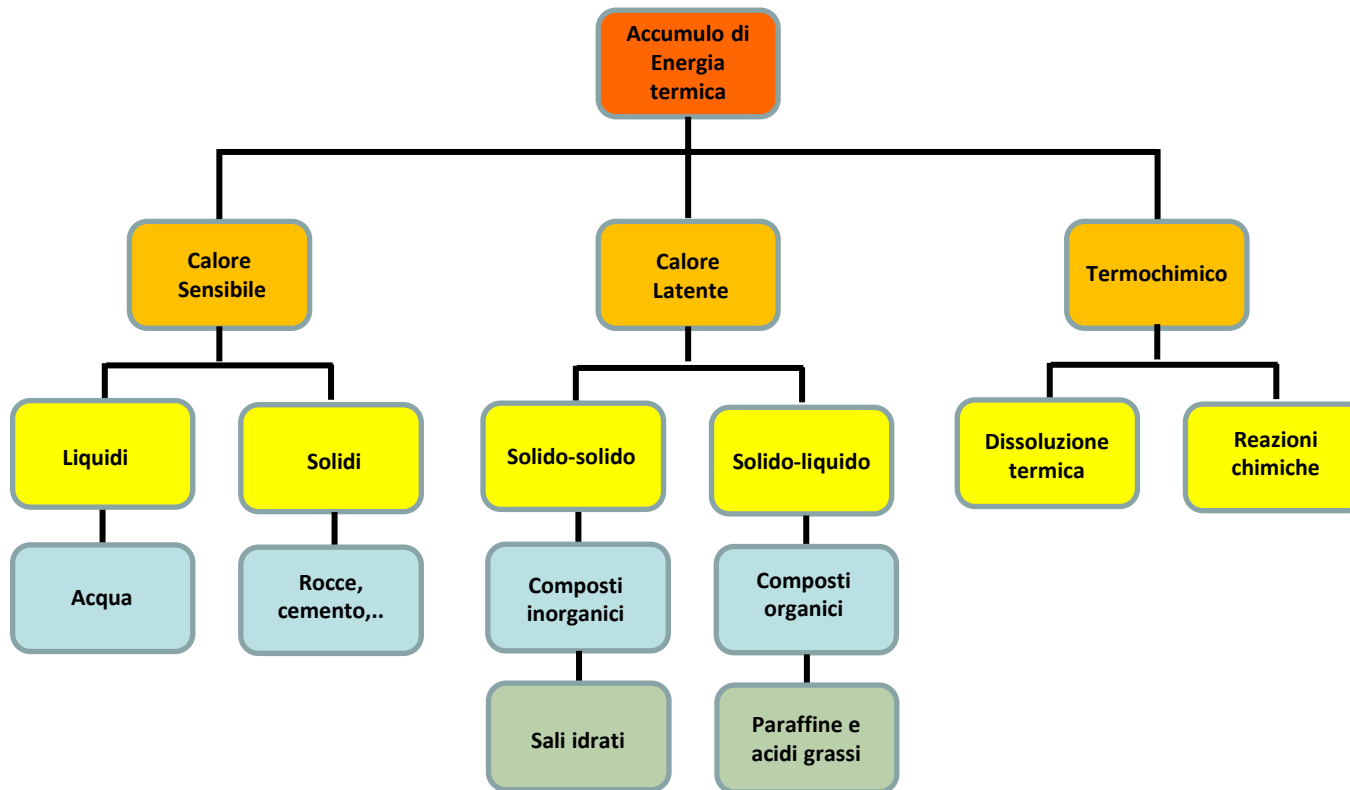


# Sistemi di Accumulo Termico – Calore Sensibile

## Limiti

- Come per tutti i sistemi tecnologici in commercio, anche in questo caso la soluzione dell'accumulo è accompagnata da limitazioni di tipo fisico/termodinamico e tecnologico
- Bassa densità di energia
- Problemi volumetrici
- Problemi di scarico e di perdite per dispersione verso l'ambiente
- Limitate proprietà dei materiali a disposizione
- Problemi strutturali

# Sistemi di Accumulo Termico – Alternative



# Sistemi di Accumulo Termico – Alternative

## Accumulo Termochimico

- Uso di reazioni chimiche endotermiche
- Basata su reazioni che comportano la rottura e la formazione di legami chimici, permettendo un elevato accumulo d'energia per unità di massa del materiale.
- Le reazioni devono essere reversibili così da permettere più cicli consecutivi.
- Il calore immagazzinato dipende dalla quantità di materiale, dal calore endotermico della reazione e dal grado di conversione.
- Il principale vantaggio di questo stoccaggio consiste nel possedere un'elevata densità di energia
- Elevato costo.

# Sistemi di Accumulo Termico – Alternative

## Calore Latente

- L'accumulo di calore latente avviene mediante il cambiamento di fase del materiale
- I materiali utilizzati in questa categoria vengono anche detti PCM (Phase Change Material).
- La capacità media di questi sistemi è data da:

$$Q = m \left[ C_{sp} (T_m - T_i) + a_m \Delta h_m + C_{lp} (T_f - T_m) \right]$$

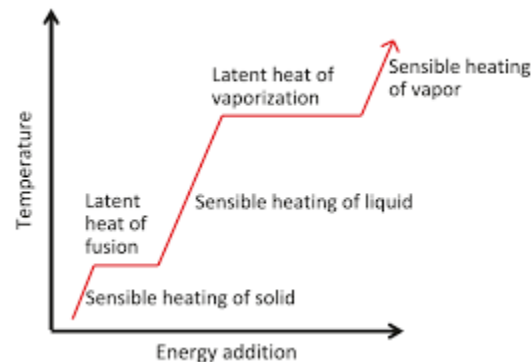
↙ T iniziale  
↙ Calore di fusione per unità di massa  
↑ T di fusione  
↑ Frazione fusa  
↑ T finale

- Il principale vantaggio è la sua elevata densità di energia immagazzinabile, molto maggiore rispetto a quella di un accumulo sensibile
- I PCM permettono di lavorare con differenze di temperatura molto piccole comportandone un uso più diffuso.

# Sistemi di Accumulo Termico – Alternative

## Calore Latente

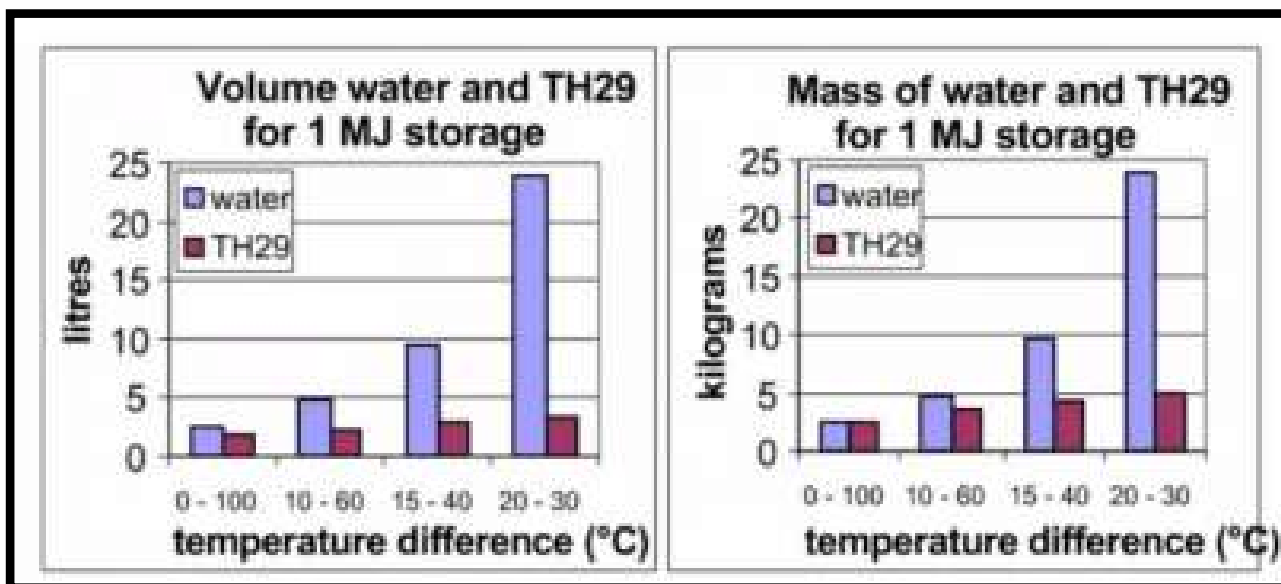
- L'esempio più comune di PCM è l'acqua.
- Di norma i PCM, a temperatura ambiente, sono allo stato solido e con l'aumentare della temperatura sopra una certa soglia fondono accumulando calore che sarà rilasciato durante il cambiamento di fase liquido-solido
- Se il PCM si trova nella propria fase liquida ad una temperatura maggiore della temperatura di fusione, la quantità di energia interna accumulata è maggiore della sola frazione sensibile, in quanto si deve considerare anche il calore di fusione.



# Sistemi di Accumulo Termico – Alternative

## Calore Latente

- A parità di energia interna immagazzinata, il PCM ha una temperatura inferiore e una densità di energia maggiore rispetto ad un accumulo che non contiene PCM, conseguentemente avrà minori perdite derivate dalla differenza di temperatura con l'esterno e occuperà un minor volume



# Sistemi di Accumulo Termico – CLIWAX



**L'IDEA DI CLIWAX:** propone il potenziamento dei sistemi di accumulo tradizionali (calore sensibile) attraverso l'integrazione di materiali a cambio di fase (calore latente).



La maggiore densità energetica consente un più elevato controllo della discontinuità di energie rinnovabili e modera l'asincronia rispetto al fabbisogno.

- L'accoppiamento impianto-PCM è proposto in Cliwax in due modalità:

Puntuale: entro schiume metalliche inserite in serbatoi di accumulo



Distribuito: nel rinfiacco di uno scambiatore geotermico (Flat-Panel)

# Sistemi di Accumulo Termico – CLIWAX

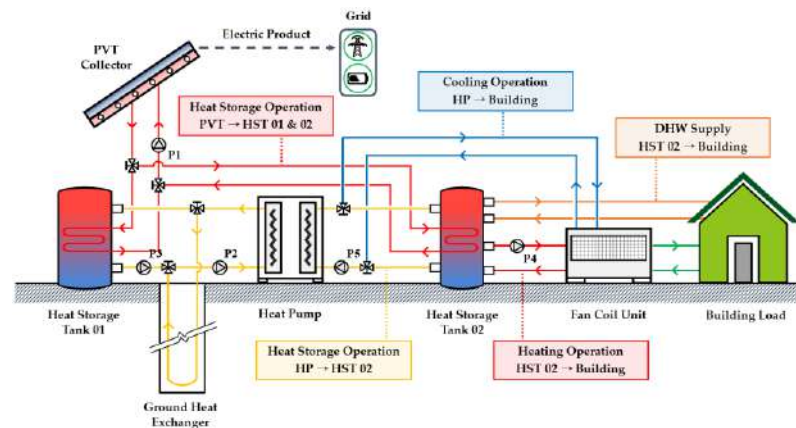


Rendere la tecnologia a pompa di calore multi-sorgente ancora più appetibile, in grado di decarbonizzare gli edifici civili, di ridurre le emissioni locali, di favorire una migliore qualità dell'aria in città



## OBIETTIVI DI CLIWAX:

- Ridurre potenza di picco dell'impianto servito;
- Migliorare l'efficienza complessiva;
- Incrementare il risparmio energetico;
- Aumentare la quota di energie rinnovabili;
- Aumentare la compattezza dei sistemi.







# GRAZIE PER L'ATTENZIONE



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE DI RICERCA INNOVATIVE  
EDUCAZIONE E CONTRIBUTIONE



UNIMORE InterMech  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA



cidea  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE  
PER L'ENERGIA E L'AMBIENTE