

## Progetto CLIWAX



*Materiali a cambiamento di fase  
nell'immagazzinamento energetico: nuova edilizia  
sostenibile*

Francesco Barbieri – Intermech-Mo.Re.

Bologna, 16 ottobre 2020

TekneHub 



UNIMORE InterMech  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MOCCONA E FRANCO EMILIA

LaRCo 

# Laboratorio INTERMECH–Mo.Re.

Centro Interdipartimentale per la Ricerca Applicata e i Servizi nel Settore della Meccanica Avanzata e della Motoristica

- promuove e coordina studi e ricerche intersettoriali nel campo della Meccanica Avanzata e della Motoristica e svolge le attività di ricerca correlate (anche nei settori ICT, Materiali e Superfici, Meccatronica, Design Industriale)
- offre alle imprese servizi specialistici di ricerca industriale sul tema della **progettazione e sviluppo di nuovi prodotti e processi industriali**
- orienta le proprie attività al **trasferimento tecnologico**, accompagnando le realtà aziendali più intraprendenti e attente allo sviluppo tecnologico verso la creazione di innovazione

◀ **TECNOPOLO DI MODENA**  
Campus del Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”

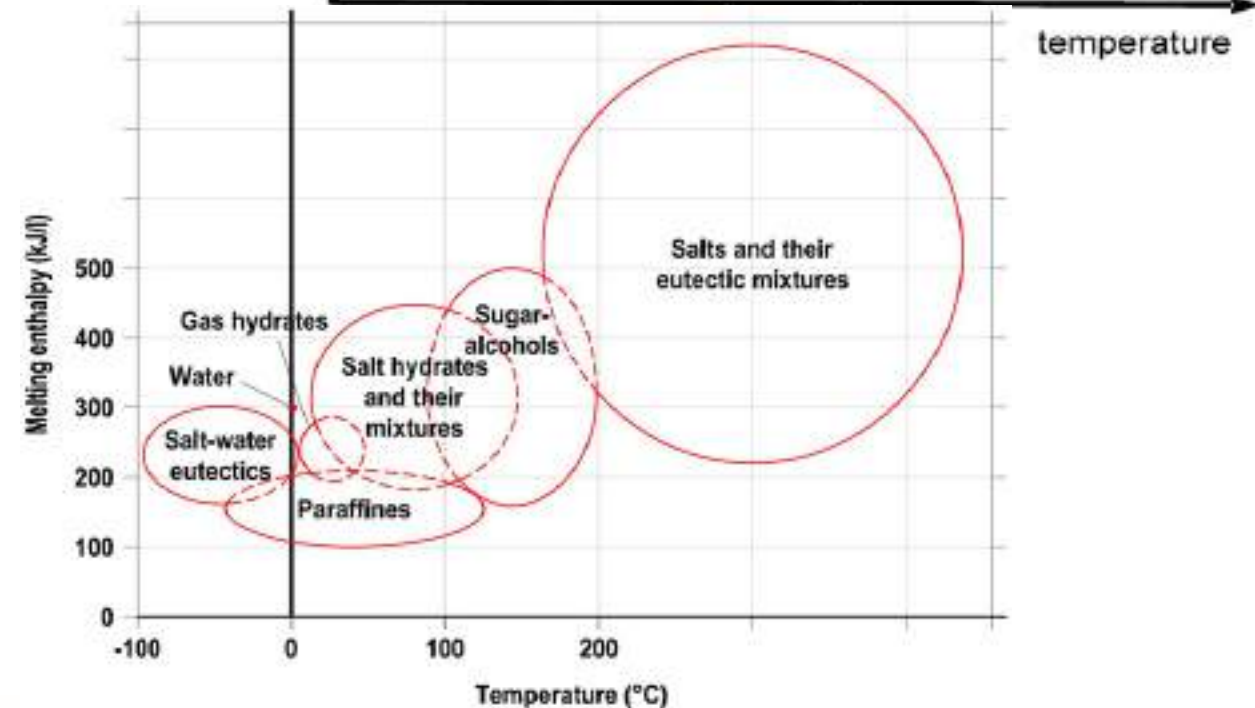
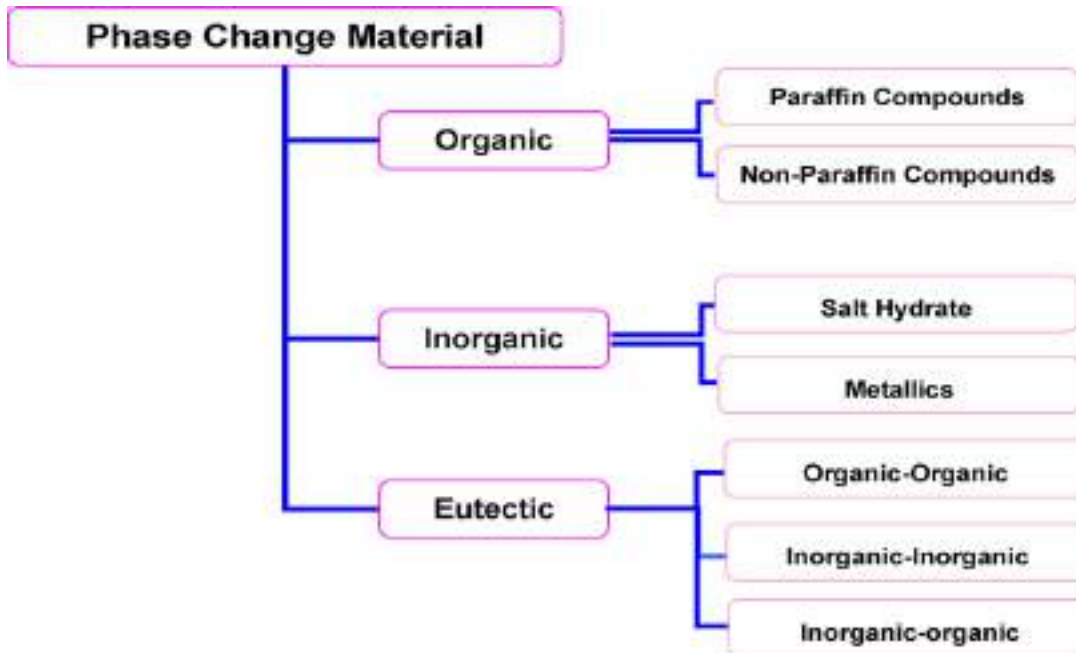
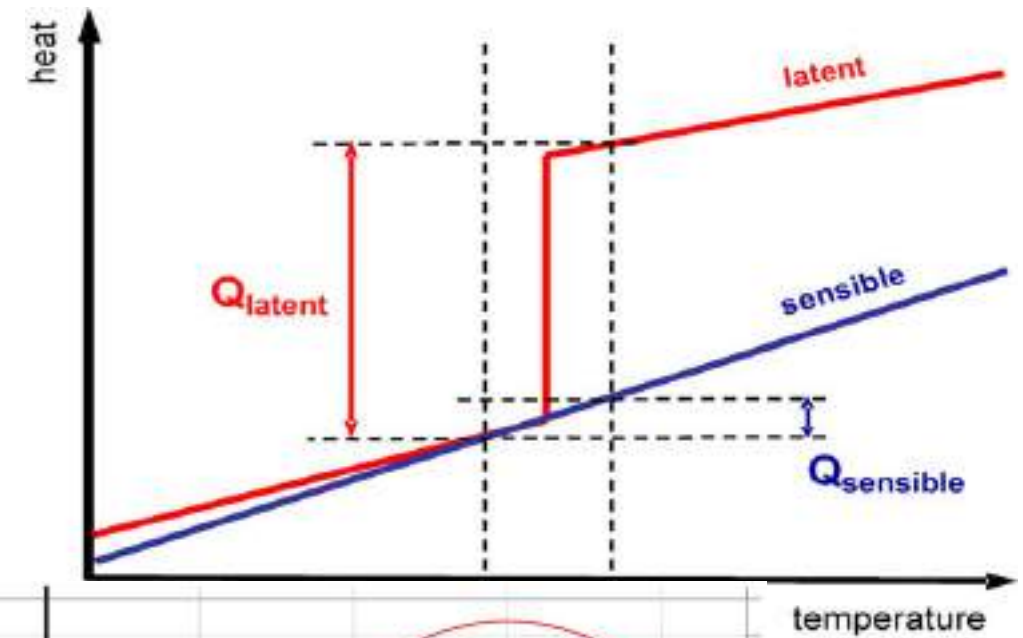
**TECNOPOLO DI REGGIO EMILIA** ▶  
Capannone19 Area Ex Officine Reggiane



# PCM: Phase Change Materials

Materiali caratterizzati da alti valori di **calore latente** associato alla transizione di fase, in genere tra **stato liquido e stato solido**.

Sono ideali per applicazioni in cui si necessita di **accumulo** di grandi quantità di **energia termica** o **gestione** di **fonti energetiche discontinue**.



# Piano delle attività: **ruoli previsti**

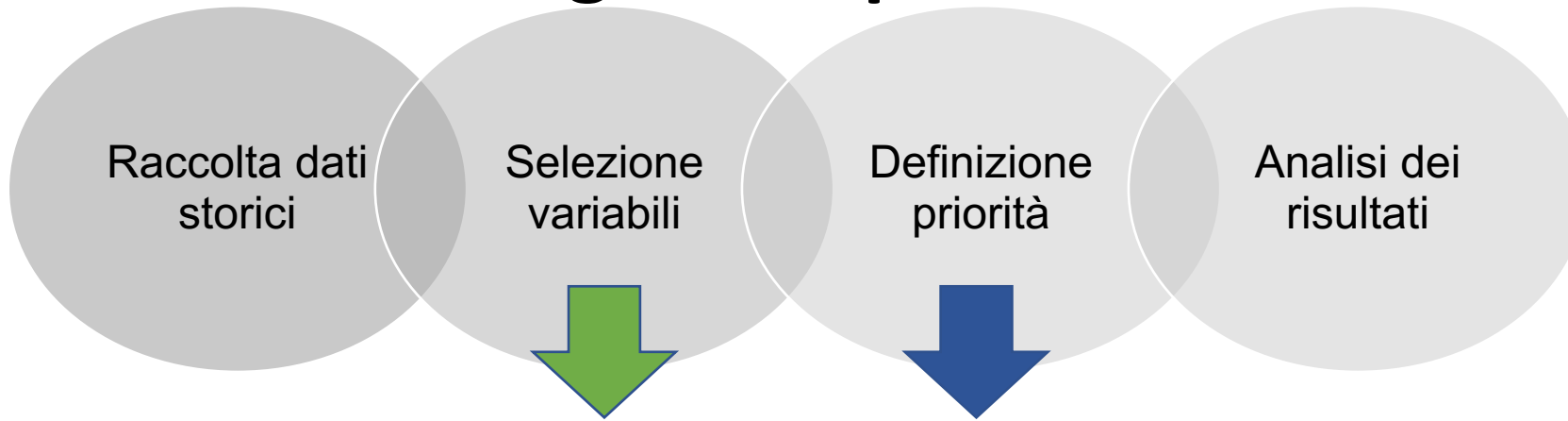
- **COORDINATORE DELLA FASE n. 1 : SELEZIONE DEI PCM**

- ✓ a. definizione delle **esigenze prestazionali** dei PCM in relazione al tipo di applicazione (impianto, geotermico), alla funzione (estiva, invernale), all'impatto ambientale (geotermico);
- ✓ b. composizione da letteratura del **quadro di riferimento** dei **PCM potenzialmente adeguati e disponibili in commercio**, con particolare attenzione alla possibilità di impiego di materie prime seconde (MPS);
- ✓ c. **valutazione comparata e selezione dei PCM** ritenuti ottimali per tipo di applicazione, in relazione ai caratteri termofisici, compatibilità ambientale, costo, lavorabilità, reperibilità e ad altri aspetti ritenuti rilevanti (**M1**);
- ✓ d. **valutazione sperimentale delle prestazioni** dei PCM selezionati per verificare le proprietà attese (temperatura e calore latente di fusione/solidificazione).

- **FASE n. 2 : TECNOLOGIE**

- ✓ c. **Selezione dei migliori abbinamenti PCM-tecnologia** studiando l'accoppiamento tra materiale e parametri di processo.

# Design of Experiments



Unità di misura	Variabili considerate	Obiettivo	Importanza
Categorica	Classe PCM	/	/
€/kg	Prezzo	minimizzare	4
°C	Melting point	target	5
kJ/kg	Calore latente	massimizzare	5
W/(m*K)	Conducibilità termica	massimizzare	5
kg/m <sup>3</sup>	Densità	massimizzare	4
kJ/(kg*K)	Calore specifico	massimizzare	5
Adimensionale	Rischio Ambientale	minimizzare	1 o 5

**INDICE DI DESIDERABILITÀ**

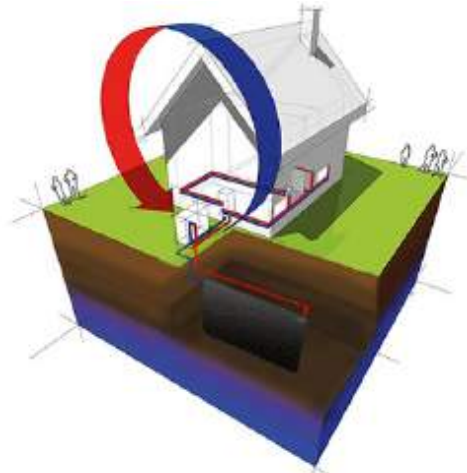
Indica la **qualità globale della risposta** rispetto alle specifiche richieste. E' la media pesata, in funzione dell'importanza, dei modelli statistici generati per ogni risposta

**Ha valore compreso tra 0 e 1**



# Fase 1 – a Esigenze Prestazionali

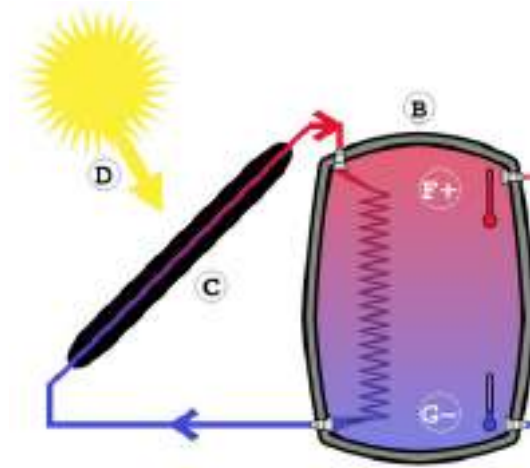
TekneHub 



**Scambiatore geotermico  
superficiale**

**Contenitore HDPE** 25-30°C  
4-10°C

**Miscelazione diretta** 25-30°C  
4-10°C



**Serbatoio termico**

**Accumulo Polifunzionale** 70-80°C

**Acqua Calda Sanitaria** 45-50°C

**Accumulo Defrost** 30°C

# Fase 1 – b – composizione letteratura

Database usati :



- ECHA (European Chemical Agency): <https://echa.europa.eu/it/home>



- PubChem: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>



- Matweb: <http://www.matweb.com/>



- ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/>

Totale materiali  
esaminati= 150

Consultate **MSDS** (Material Safety Data Sheets) ove disponibili

- Considerati **solo** materiali con **disponibilità commerciali**
- **Scartati** materiali con: **dati insufficienti** (Es: numero di cicli), **criticità sanitarie**, **criticità ambientali**.

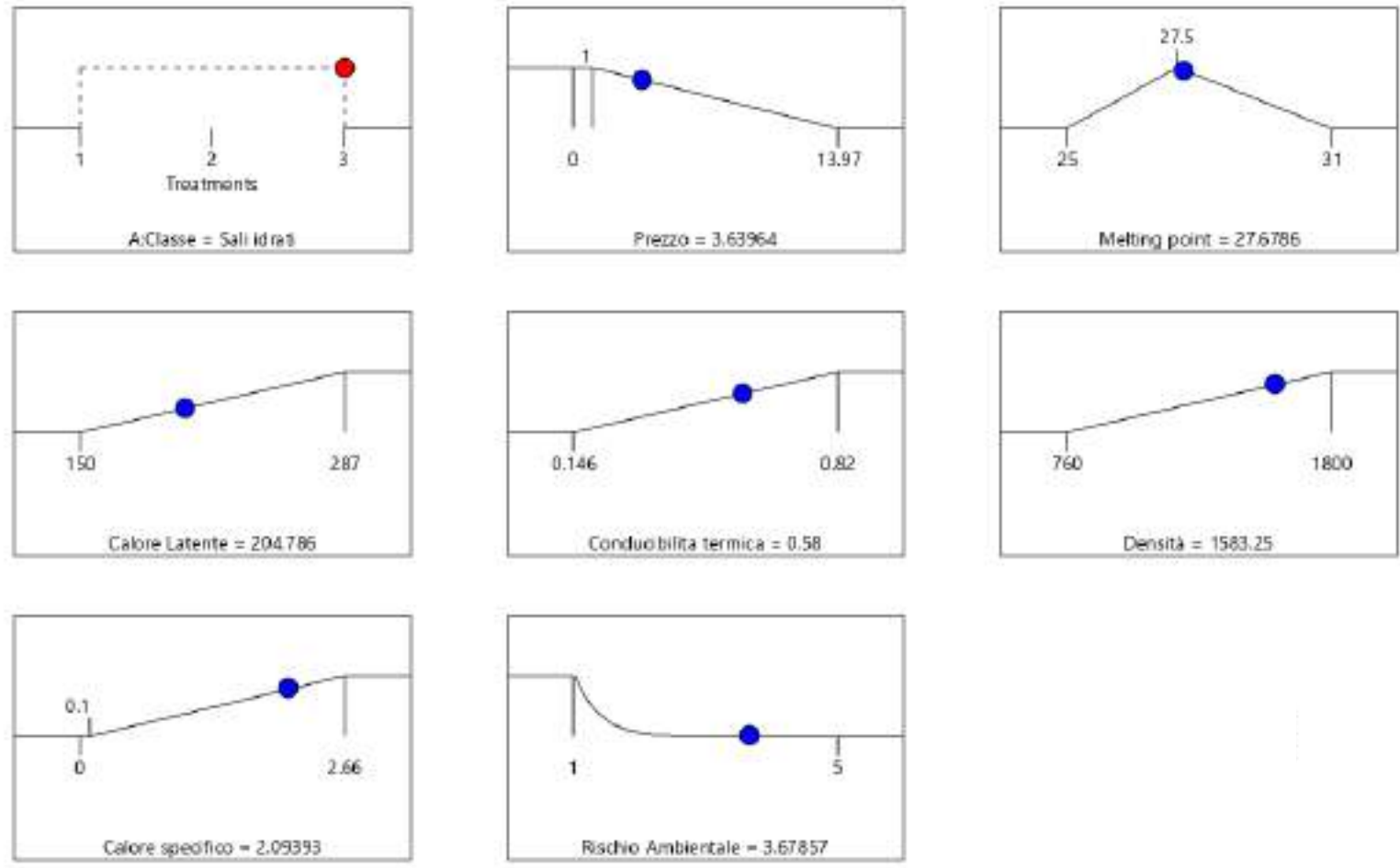
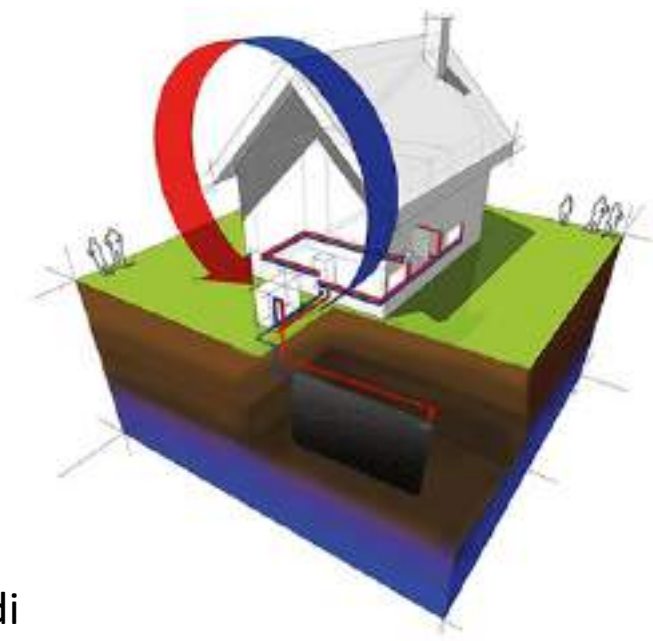


InterMech



# Fase 1c – Comparazione

Esempio: Scambiatore geotermico superficiale 25-30°C



Numero di materiali considerati= 36

## Candidati migliori

Classe	Temperatura cambio fase
Organico	27 °C
Organico	28 °C
Paraffina	28 °C

Contenitore HDPE

Desiderability = 0.476  
(solution 1 out of 3)

Direct Mixing

Desiderability = 0.131  
(solution 1 out of 3)





# Fase 1 a-c: materiali migliori

Applicazione	Classe PCM
Scambiatore geotermico superficiale (4-6°C)	Organico
	Organico
	Organico
Scambiatore geotermico superficiale (25-30°C)	Organico
	Organico
	Paraffina
Serbatoio Termico Defrost (30°C)	Sale Idrato
	Organico
	Organico
Serbatoio termico ACS (45-50°C)	Sale Idrato
	Organico
	Organico
Serbatoio termico Accumulo Polifunzionale (70-80°C)	Organico
	Sale Idrato
	Organico

# Fase 1 – d Valutazione sperimentale dei PCM scelti

## *Obiettivi:*

Valutazione tramite **DSC** delle proprietà termiche di **PCM commerciali**

## **A) Valutazione preliminare della Calorimetria differenziale a scansione (DSC) come metodo di misura**

### *Pro*

**Alta precisione, errore contenuto**  
(10 % entalpia, 0.2 K Tm)

**Affidabilità in condizioni idonee di misura**  
(m campione, velocità riscaldamento)

### *Contro*

**scarsa rappresentatività campioni**  
(m campioni: 100-120 mg)

metodo usato prevalentemente con  
**PCM organici**

## **B) Valutazione delle proprietà dei PCM puri**

# Fase 1 – d Valutazione sperimentale dei PCM scelti

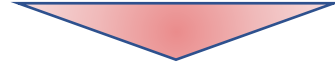
## B) Valutazione delle proprietà dei PCM puri: esempio con sale idrato

Esecuzione piano di misure basato su

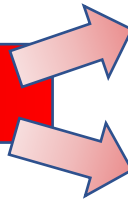


massa di campione  
velocità di riscaldamento

Calcolo di temperature caratteristiche e calore latente del PCM



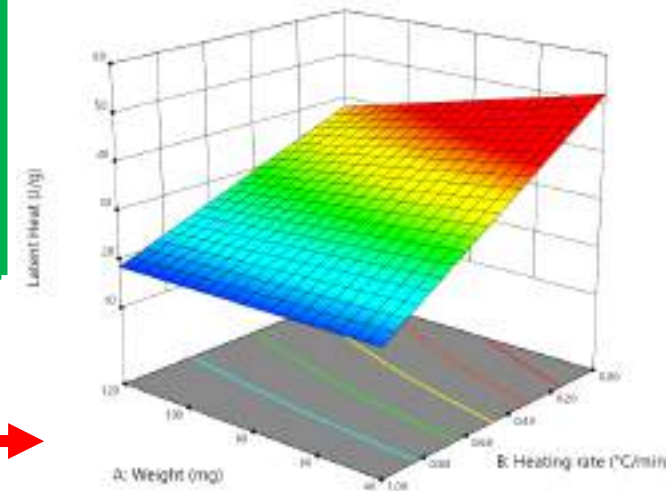
Analisi statistica (ANOVA) dei dati



Le temperature caratteristiche sono indipendenti da

Il calore latente dipende da

Generazione di una funzione descrittiva del calore latente



### Conclusioni

- I parametri **DSC non influenzano le temperature** caratteristiche del PCM, al contrario del calore latente
- Il **calore latente** è influenzato in particolare dalla **velocità di riscaldamento**

# Fase 2c – Selezione dei migliori abbinamenti PCM-Tecnologia

PCM
Sali Idrati
Eutettici Inorganici
Paraffine
Acidi Grassi
Esteri Acidi Grassi
Eutettici Organici
Alcoli
PEGs
Carbonati Oleochimici



Analisi statistica di compatibilità in base a  
**criteri definiti con TekneHub**

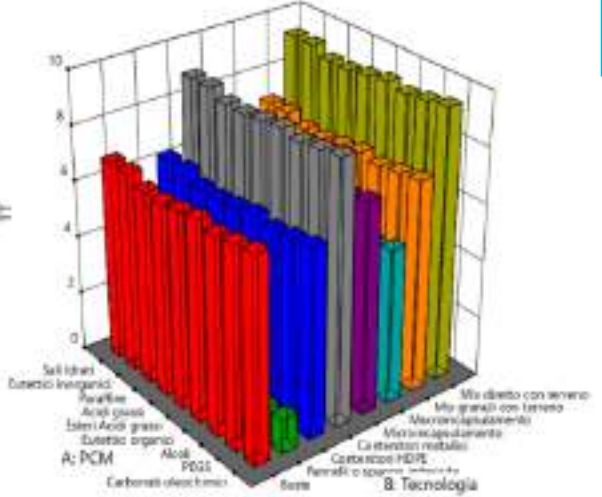


Tecnologie
Buste
Contenitori metallici
Contenitori in plastica
Pannelli imbevuti
Mixing con granuli
Macroincapsulati
Microincapsulati
Mixing diretto

Compatibilità
Ecocompatibilità
Densità tec.
Trasmittanza termica
Convenienza economica di produzione
Convenienza economica di installazione

Generazione di modelli e validazione tramite ANOVA

Interazione PCM-Tecnologie per ogni criterio  
Funzione di desiderabilità per ogni PCM



## Conclusioni

- **Tipologia PCM e tecnologia** influenzano separatamente i criteri di compatibilità, ma **non mostrano alcuna sinergia**
- I PCM **organici** primeggiano per (Eco) **Compatibilità**
- **Performance tecnica ed economica** sono **massime** per le tecnologie basate sul **contatto diretto PCM-terreno**

# Conclusioni

- È stato creato un **database** delle sostanze disponibili come **potenziali PCM** tenendo conto sia della **letteratura scientifica**, sia di **dati di prodotti commerciali**
- Per ogni **range di temperatura** e **applicazione** sono state proposte **diverse sostanze** tramite l'uso del **metodo DoE** (Analisi dei dati storici), analizzando e comparando caratteri termofisici, costo, reperibilità e compatibilità ambientale.
- La **DSC** è stata **validata** come **strumento per la misura delle proprietà dei PCM**, analizzando sperimentalmente le proprietà di questi ultimi (temperatura di transizione di fase, calore latente).
- L'**analisi** e confronto delle **categorie di PCM** e **tecnologie applicative** ha mostrato quali **criteri** predominano nella **scelta dell'accoppiamento** tra materiale e tipologia applicativa



# Grazie per l'attenzione



InterMech

