



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di laurea: Scienze ambientali e Protezione Civile
A.A.2020/2021

**Analisi teorico-sperimentale indoor e outdoor del
comportamento energetico di un prototipo di solar
pond a gradiente salino implementato con PCM**

Tesi di: Marco Pezzuto
Relatore: Paolo Principi

INTRODUZIONE SUL SOLAR POND

Il solar pond è un sistema termoalino che acquisisce la radiazione solare e l'accumula sotto forma di energia termica ad elevate temperature garantendo un accumulo stagionale a temperatura quasi costante. L'analisi è stata effettuata su un lago solare non convettivo: caratterizzato da una stratificazione salina, in cui i moti convettivi della zona più profonda, dovuti al riscaldamento dell'acqua a contatto con il fondo più caldo per l'assorbimento della radiazione solare, vengono ostacolati nella risalita alla superficie all'interfaccia tra la zona di fondo e quella intermedia. Riducendo così la dispersione termica dal pelo libero della soluzione all'atmosfera e determinando una maggiore temperatura di accumulo. Contemporaneamente a causa dell'elevate temperature raggiunte, si amplificano i fenomeni di doppia diffusione, termica e salina, che vanno ad alterare la stabilità, minando l'integrità dell'interfaccia tra le due zone.

La struttura di un solar pond a gradiente salino è caratterizzata da tre strati sovrapposti costituiti da una soluzione di sale in acqua a diverse percentuali di salinità e più precisamente a partire dal fondo:

- LCZ è uno strato costituito da una soluzione omogenea e satura (ai massimi valori di temperatura) di cloruro di sodio NaCl;
- NCZ è uno strato caratterizzato da un gradiente lineare di salinità che aumenta con la profondità;
- UCZ (upper convective zone) è caratterizzata dall'assenza di sale quindi, in teoria si dovrebbe presentare come acqua dolce.

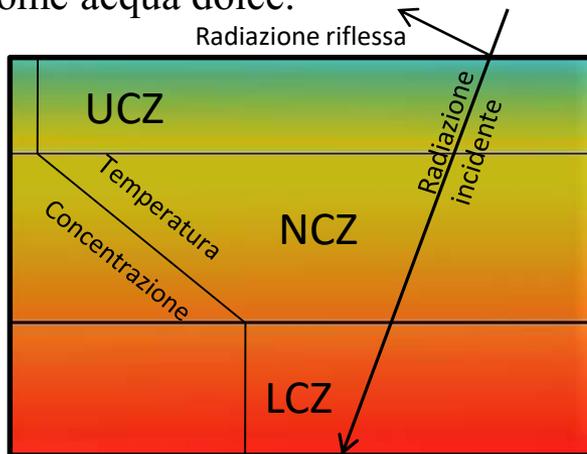


Figura 1. Struttura del solar pond

Tecnologia da applicare	SOLAR POND	COLLETTORE SOLARE
Caratteristiche		
Rendimento	Peggioro	Migliore
Accumulo termico	Migliore	Peggioro
Dispersioni di calore	Migliore	Peggioro

GENERALITÀ SUI PCM

L'uso dei PCM è considerato uno dei migliori metodi per l'accumulo di energia termica. Le più importanti proprietà dei PCM sono: un alto valore di calore latente, buona stabilità e basso costo. La principale proprietà limitante è la bassa conduttività termica la quale riduce le prestazioni energetiche, causando a volte una non completa fusione del PCM stesso.

I PCM che sono stati sviluppati hanno degli elevati calori latenti, così facendo i PCM inizialmente accumulano calore sottoforma di calore sensibile fino alla loro temperatura di fusione. Successivamente raggiunta quest'ultima, il PCM comincia a diventare liquido, mantenendo la temperatura costante e accumulando calore latente, sottraendo energia termica dall'ambiente (aumentando anche la capacità termica). In figura 2, si evidenzia l'andamento teorico delle temperature nel tempo di un sistema con e senza PCM, raggiungendo con il PCM una temperatura finale del sistema inferiore al sistema di riferimento.

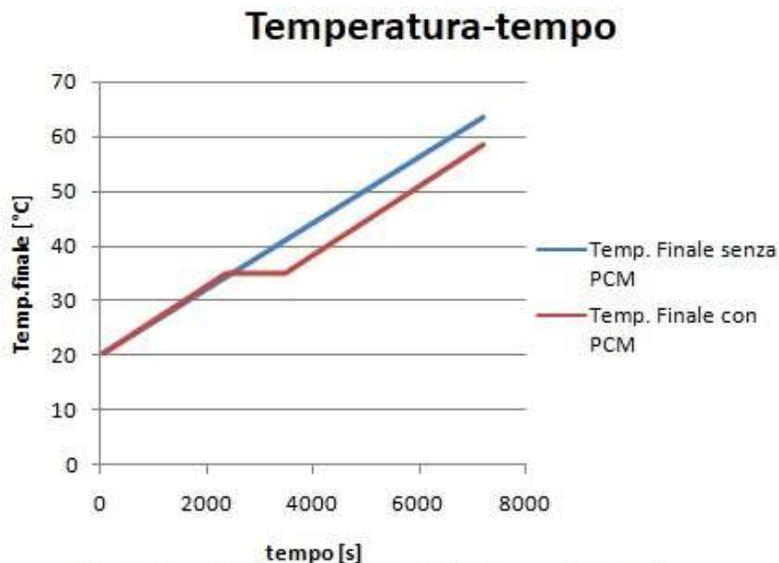


Figura 2. andamento teorico delle temperature nel tempo con e senza PCM

Caratteristiche fisiche del PCM RT-35	
Intervallo di fusione	29-36 [°C]
Capacità termica specifica	2 [kJ/kg*K]
Densità solida	0,86 [kg/l]
Densità liquida	0,77 [kg/l]
Conduttività termica	0,2 [W/m*K]
Espansione del volume	12,5 [%]
Calore latente	250000 [J/kg]

PCM e SOLAR POND

Sfruttando le potenzialità del PCM nel solar pond si ottengono diversi vantaggi:

- Sempre una soluzione di acqua e sale avrà una minore capacità di accumulo termico di un'analogha massa di PCM di analoga massa totale. Quindi, il calore assorbito a parità di massa dalla soluzione e dal PCM sono diversi con un maggiore valore per il PCM.
- il PCM accumula in più il calore senza aumentare di temperatura (elevata capacità termica), mantenendo il sistema più freddo (a temperature più basse), questo comporta che i flussi del moto convettivo hanno una forza inferiore mantenendo quindi una maggiore stabilità dell'interfaccia. Riducendo inoltre le dispersioni.
- Il PCM abbassando la temperatura diminuisce la velocità di risalita della soluzione, essendo più densa la soluzione (fenomeno della termoalina).
- Inoltre il PCM va a diminuire i fenomeni doppio diffusivi (diffusione di calore e di sale), diminuendo l'ascensione delle particelle di sale e del calore , stabilizzando il sistema.



Figura 3. Tubi di PCM nel solar pond indoor



Figura 4. Tubi di PCM nel solar pond outdoor

ANALISI INDOOR

L'analisi indoor è stata condotta con lo scopo di visualizzare otticamente l'alterazione dell'interfaccia causata dai moti convettivi che si presentano nel solar pond. Inoltre sono stati valutati aspetti relativi alla realizzazione della tipica stratificazione (utilizzando il metodo Zangrando), infine sono stati valutati calcoli sulla capacità di accumulo termico con e senza PCM.

Le tecniche ottica utilizzata è quella shadowgrafica Schlieren che permette di sottolineare a livello ottico l'assetto della stratificazione attraverso l'evidenziazione delle interfacce (in particolare l'interfaccia LCZ-NCZ come in figura 8). A seguito di ciò, si sono voluti stabilire e verificare, i vantaggi apportati dall'aggiunta di PCM relativi alla stabilità dell'interfaccia e all'accumulo di calore. La sperimentazione è stata effettuata prendendo un acquario di grandezza 39,3x22,2x24cm. L'acquario è stato riempito con soluzione di acqua e sale e divisa in 3 regioni, la LCZ di altezza 8cm, la NCZ alta 10cm mentre la UCZ alta 2cm. Per valutare i vantaggi apportati dall'uso di PCM:

- è stata scelta la paraffina RT35 prodotta dalla ditta tedesca Rubitherm che ha temperatura di passaggio di stato liquido-solido di 35°C;

- Il PCM è stato introdotto all'interno della soluzione di acqua e sale inserendolo all'interno di tubi cilindrici di plexyglass che hanno permesso attraverso la trasparenza, di verificare il processo di fusione (come in figura 3). Le dimensioni di questi cilindri sono: lunghezza 7cm e larghezza 3,5cm. I cilindri sono stati riempiti con PCM e sono stati chiusi con dei tappi quadrati di misura 3,5x3,5 ricavati da una lastra di plexyglass.

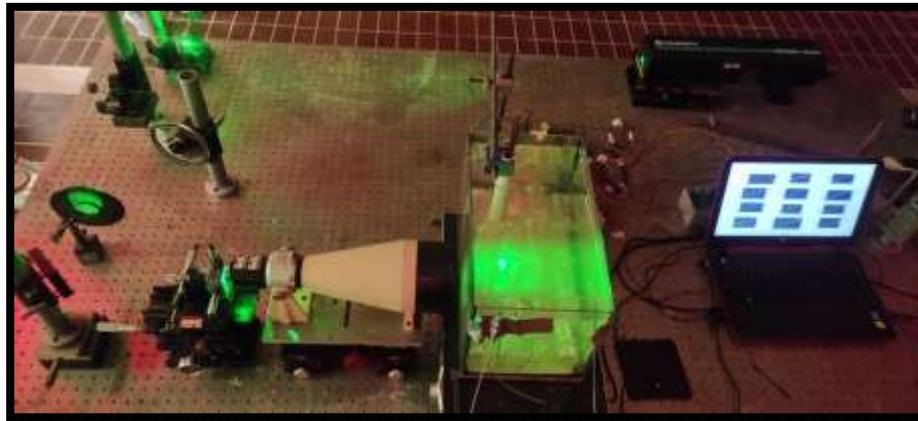
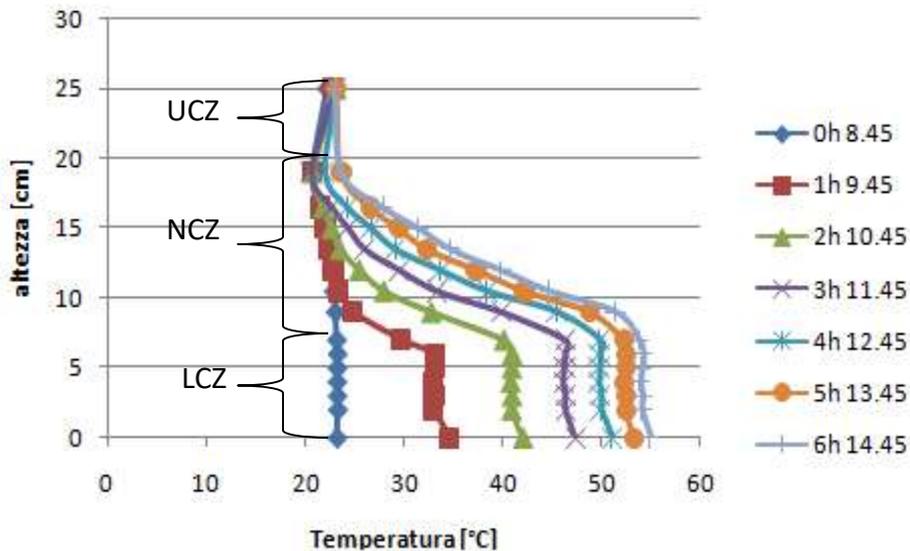


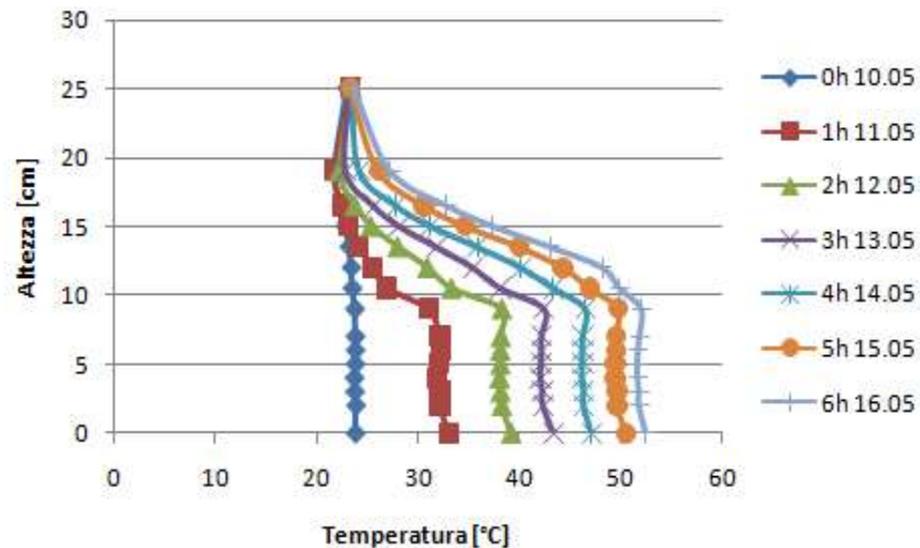
Figura 5. sistema di lenti, diffusore e laser

RISULTATI ANALISI INDOOR

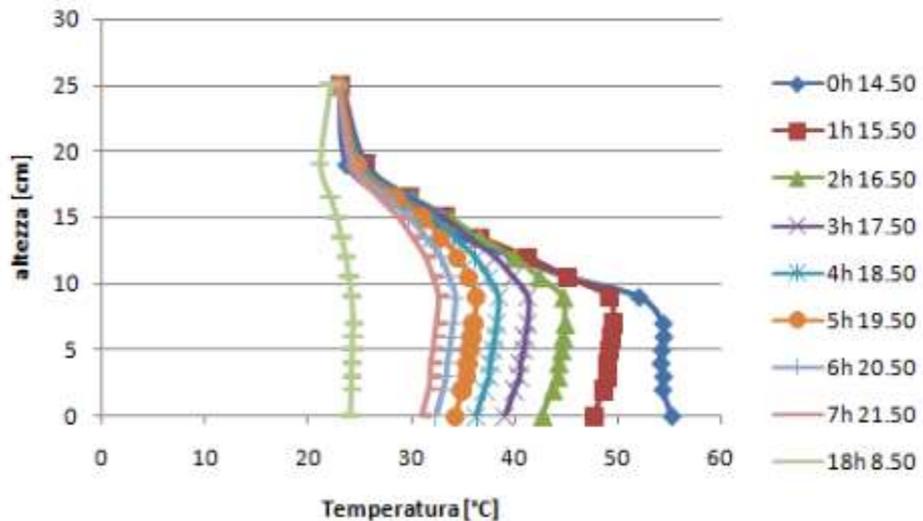
Riscaldamento senza PCM



Riscaldamento con PCM



Raffreddamento senza PCM



Raffreddamento con PCM

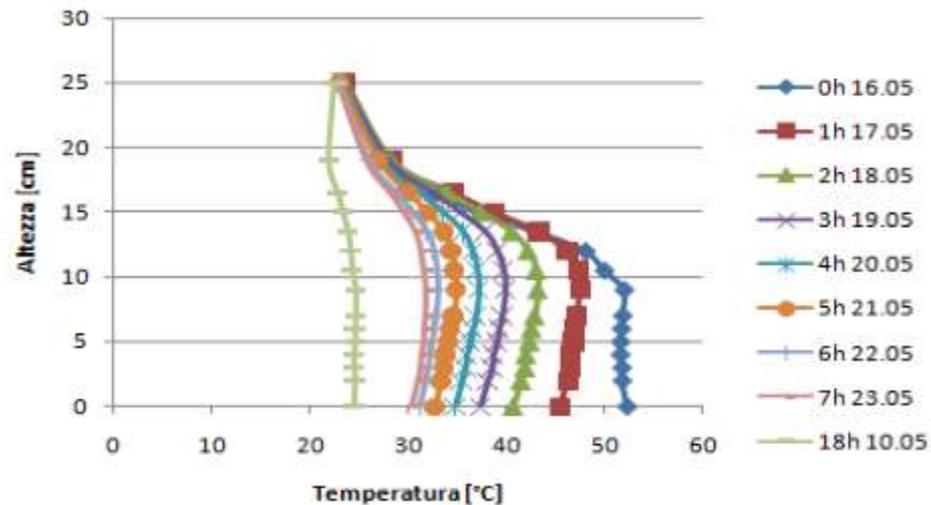


Figura 6. Grafici di riscaldamento e raffreddamento con e senza PCM

RISULTATI ANALISI INDOOR

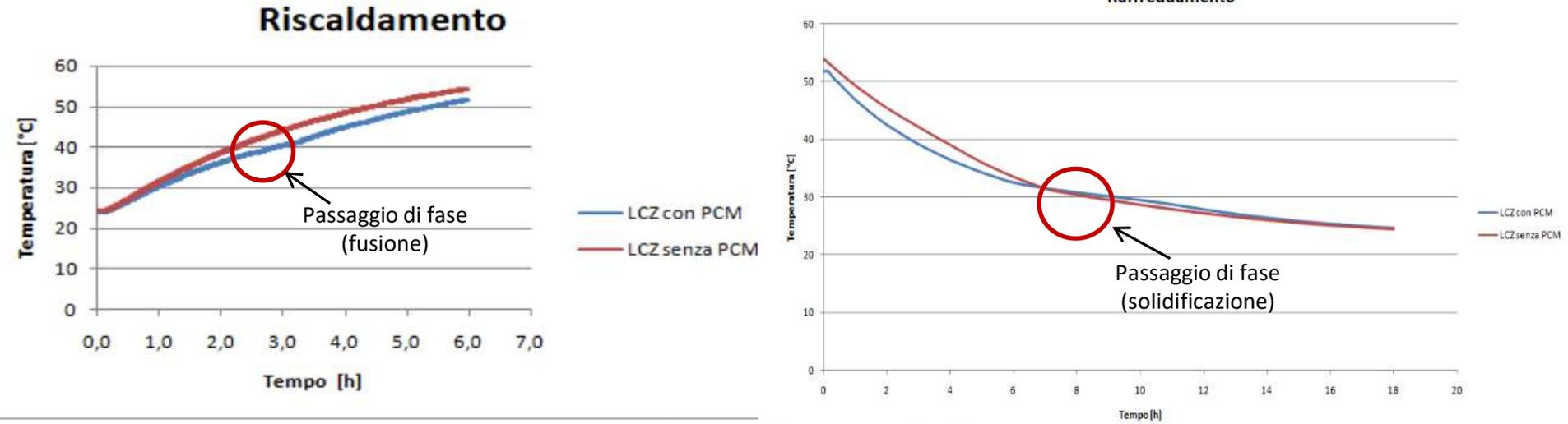
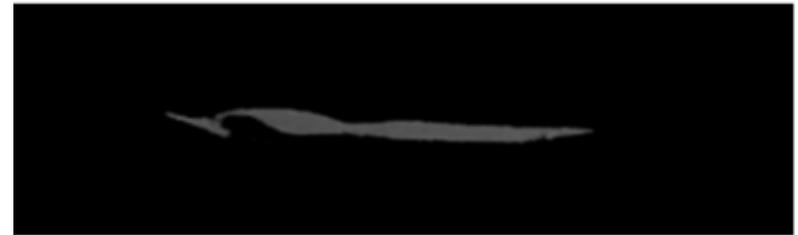


Figura 7. Grafici di riscaldamento e raffreddamento con PCM



0 secondi



1 secondo



1,5 secondi



2 secondi

Figura 8. Rottura dell'interfaccia LCZ-NCZ

ANALISI OUTDOOR

L'analisi outdoor è un'analisi comparativa effettuata con l'obiettivo di confrontare il comportamento energetico del solar pond senza il PCM con quello con il PCM, sotto la contemporanea azione dei parametri ambientali, valutando così i vantaggi apportati dalla presenza del PCM.

La sperimentazione è stata effettuata valutando il comportamento energetico dei due prototipi nell'ambiente outdoor (non controllato) con un'esposizione alla radiazione solare di una settimana, così da valutare l'evoluzione della temperatura in profondità, nelle varie fasi del giorno delle due stratificazioni con e senza PCM.

L'indagine è stata eseguita a partire da un contenitore di dimensioni $28 \times 77 \times 57$. Il contenitore è stato riempito con una soluzione di NaCl e acqua caratterizzata da tre regioni: LCZ -NCZ-UCZ di altezza rispettivamente pari a 13-13-2cm.

Anche in questo caso per valutare i vantaggi apportati dall'introduzione di PCM, in funzione delle particolari temperature dell'aria caratterizzanti il mese di giugno, è stata scelta la paraffina RT35 prodotta dalla ditta tedesca Rubitherm che ha temperatura di passaggio di stato liquido-solido di 35°C .

Il PCM è stato posizionato sul fondo della LCZ dopo esser stato inserito tubi metallici sigillati di lunghezza pari a 60cm e diametro interno di 4,2cm.



Figura 9. Solar pond senza PCM



Figura 10. Solar pond con PCM

RISULTATI ANALISI OUTDOOR

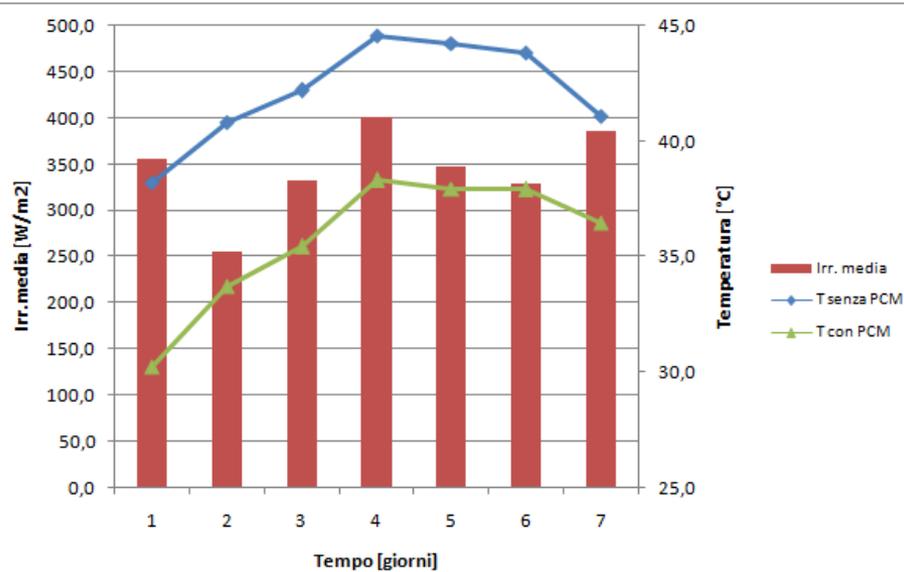


Figura 11. Correlazione tra irr.media e T media nel tempo

Il grafico di figura 12, mostra l'andamento della temperatura della soluzione sul fondo dei due prototipi nel tempo in giorni. Anche in questo caso si nota un andamento più o meno costante. Infatti il solar pond con il PCM ha una temperatura sempre più bassa rispetto a quello senza PCM. Inoltre la notte il solar pond con il PCM, tende a raggiungere sempre la stessa temperatura media quasi in coincidenza con la sua temperatura di solidificazione. In questo caso mantenendosi più freddo, le dispersioni sono minori.

I risultati numerici dei parametri di comportamento dei due prototipi sono stati registrati dal sistema di monitoraggio inseriti in un software che ha permesso la loro visualizzazione attraverso diagrammi. Nel grafico in figura 11, sono state correlate l'irradianza media della radiazione solare con le temperature medie nel tempo a 0cm dal fondo.

Innanzitutto si nota che la temperatura del solar pond con il PCM è sempre più bassa rispetto a quello senza il PCM. Inoltre si verifica la relazione tra l'irradianza media della radiazione e la temperatura. Maggiore è l'irradianza media maggiore è la temperatura media giornaliera.

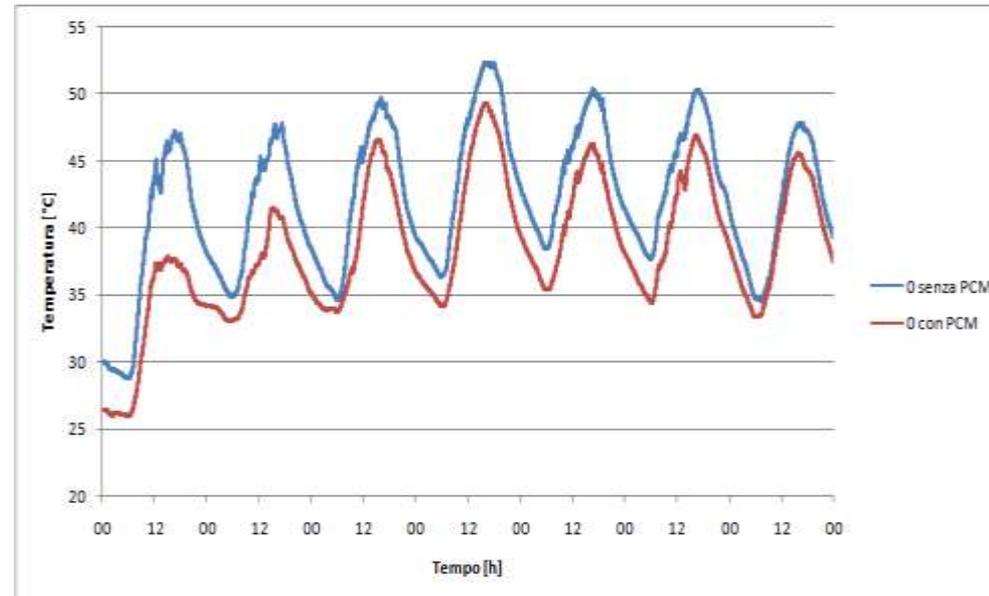


Figura 12. Andamento delle temperature nel tempo

CONCLUSIONI

Confrontando sperimentalmente due solar pond rispettivamente uno con il PCM e uno senza, sono state verificate le proprietà dovute dal comportamento del PCM stesso. Infatti sia in ambiente indoor (controllato) che in ambiente outdoor (non controllato), la temperatura media del solar pond con il PCM è sempre minore rispetto a quella senza il PCM.

Tale caratteristica permette di garantire e confermare tutti quei vantaggi relativi alla stabilità, all'accumulo termico riducendo di conseguenza le dispersioni termiche, migliorando le prestazioni energetiche di tale tecnologia.

Pertanto, l'uso integrato della tecnologia del solar pond con i materiali in passaggio di fase, rappresentano una via innovativa nel settore delle fonti rinnovabili (come l'energia solare), per migliorare l'accumulo termico aumentando il risparmio energetico.



Figura 13. Solar pond analizzato

RIASSUNTO

Il solar pond è una tecnologia che trova applicazione nel settore dell'accumulo termico a lungo termine, rappresentando inoltre una soluzione al raggiungimento di obiettivi nazionali e internazionali nell'ambito delle fonti rinnovabili, e nella riduzione dell'uso dei combustibili fossili. Lo scopo della sperimentazione effettuata, è stato quello di sottolineare i maggiori vantaggi apportati dall'inserimento di materiali in passaggio di fase nei solar pond. L'analisi è stata condotta inizialmente con tecniche indoor, in ambiente controllato, con un riscaldamento effettuato dal fondo in modo regolabile, così da simulare l'assorbimento della radiazione solare e il trasferimento del calore per convezione e conduzione alla massa di acqua e sale.

Successivamente l'analisi è stata eseguita con tecniche outdoor quindi in un ambiente non controllato (per una settimana), così da verificare che i risultati relativi ai parametri analizzati nel solar pond indoor siano confrontabili con quello outdoor.

In entrambe le situazioni è stato notato un miglioramento dal punto di vista energetico con l'uso dei materiali in passaggio di fase. Le evidenze di ciò sono state tratte dal fatto che sia indoor che outdoor la temperatura del solar pond integrato con il PCM è minore, riducendo così le dispersioni e i fenomeni della doppia diffusione, aumentando la stabilità e ottenendo così un miglioramento nell'accumulo termico. La stabilità è stata valutata anche qualitativamente nel solar pond indoor, mediante un'analisi ottica. Nel solar pond con il PCM è stata notata una minore forza nella risalita dei moti convettivi, evidenziando una maggiore difficoltà nell'alterazione dell'interfaccia. Per quanto riguarda l'analisi outdoor, il gradiente di temperatura è stato correlato alla radiazione solare per evidenziare come questa incide sull'andamento delle temperature e sull'efficienza energetica, verificando così la relazione tra queste.