



Ricerca di Sistema elettrico

# Realizzazione di un prototipo ottimizzato di accumulo termico modulare a calore latente

Adio Miliozzi, Daniele Nicolini, Raffaele Liberatore

REALIZZAZIONE DI UN PROTOTIPO OTTIMIZZATO  
DI ACCUMULO TERMICO MODULARE A CALORE LATENTE

Adio Miliozzi, Daniele Nicolini, Raffaele Liberatore

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: 1

Progetto di ricerca: 1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico, power to gas, e relative interfacce con le reti

Pacco di lavoro: 2 Accumulo termico

Linea di Attività: LA2.15 Caratterizzazione prototipo ottimizzato, progettazione preliminare e analisi costi di sistema di più elementi

Responsabile del Progetto: Giulia Monteleone, ENEA

Responsabile del Pacco di Lavoro: Raffaele Liberatore, ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 TUBO DI SCAMBIO TERMICO.....	6
3 IL CONTENITORE.....	8
4 LA STRUMENTAZIONE DI MISURA.....	9
5 LA COIBENTAZIONE.....	10
6 IL PROTOTIPO LH02 COMPLETO.....	12
7 CONCLUSIONI.....	13
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	13
ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	13

## Sommario

Nell'ambito della linea di attività LA2.15 del 2021 relativa alla "Caratterizzazione prototipo ottimizzato, progettazione preliminare e analisi costi di sistema di più elementi", è stato realizzato un nuovo prototipo di elemento base di accumulo termico a calore latente denominato ENEA-TES-LH02. Tale attività rientra nel WP2 "Accumulo termico" del Progetto "Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti", afferente all'Accordo di Programma ENEA-MiSE 2019-2021.

Durante la linea di attività LA2.7 dello scorso anno, il 2020, si è ottimizzato e dimensionato il nuovo dispositivo ENEA-TES-LH02 per accumulo termico a calore latente (con PCM), in configurazione "tube&shell". Successivamente, si sono prodotti il progetto di massima e le specifiche tecniche necessari per la sua realizzazione.

In questo documento, anche attraverso una serie di immagini, è stato descritto il lavoro finalizzato alla realizzazione del prototipo ENEA-TES-LH02 di un sistema LHTES. Tale elemento, opportunamente coibentato e strumentato, è stato consegnato dalla ditta realizzatrice (la Nuova Steim di Narni/Terni) presso i laboratori dell'ENEA Casaccia.

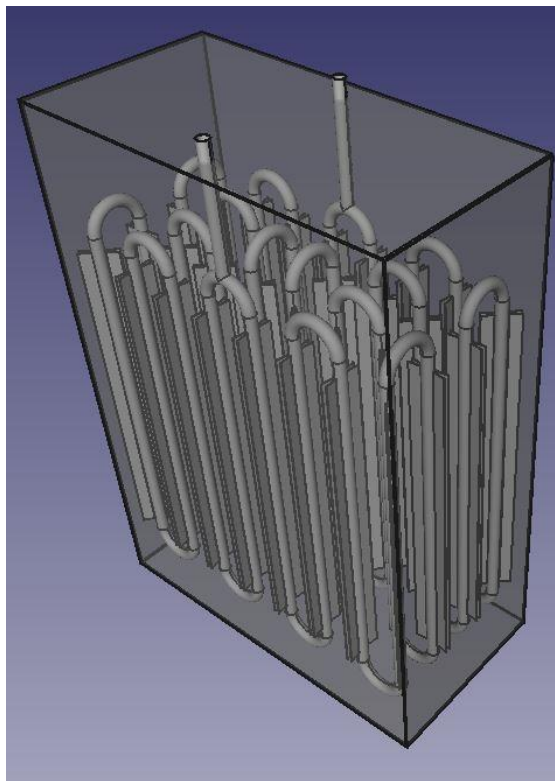
Il prototipo sarà collegato all'impianto sperimentale Solteca3 dove, dopo essere stato caricato con circa 300 kg di PCM, sarà oggetto delle prove sperimentali programmate in questa stessa linea di attività, utilizzando l'impianto sperimentale Soltec3, e tese alla sua completa caratterizzazione termica.

## 1 Introduzione

Il lavoro qui descritto è stato realizzato all'interno della linea di attività LA2.15 del 2021 relativa alla "Caratterizzazione prototipo ottimizzato, progettazione preliminare e analisi costi di sistema di più elementi". Tale attività rientra nel WP2 "Accumulo termico" del Progetto "Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti", afferente all'Accordo di Programma ENEA-MiSE 2019-2021.

Durante la linea di attività LA2.7 dello scorso anno, il 2020, si è ottimizzato e dimensionato un nuovo dispositivo per accumulo termico a calore latente (con PCM), in configurazione "tube&shell", denominato ENEA-TES-LH02 [1]. Successivamente, si sono prodotti il progetto di massima e le specifiche tecniche necessari per la sua realizzazione [2].

In questo documento verrà descritto il lavoro finalizzato alla realizzazione del prototipo LH02, effettuata dalla ditta Nuova STEIM di Narni (TR). Detto prototipo sarà, quindi, installato e caratterizzato termicamente in ENEA Casaccia utilizzando l'impianto sperimentale Soltec3.



**Figura 1- Disegno progettuale del prototipo ENEA-TES/LH02 da circa 20 kWh: tubi di scambio termico alettati all'interno di un contenitore**

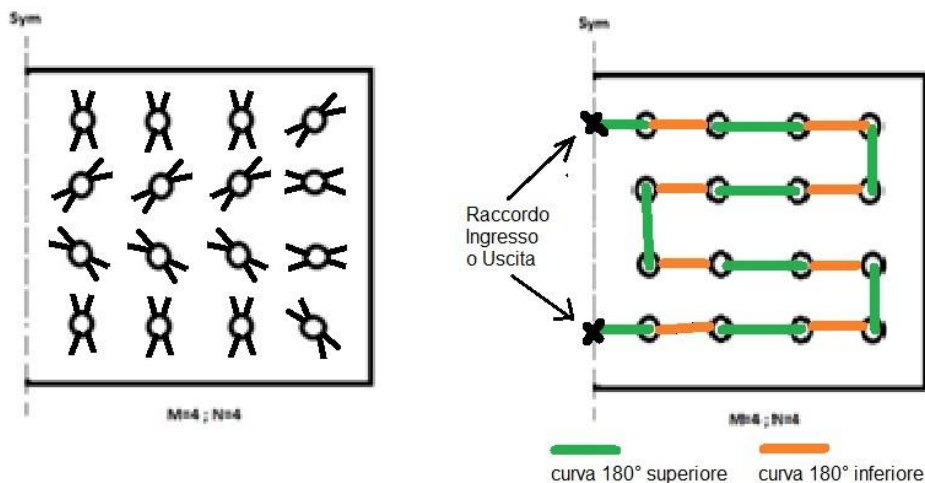
## 2 Tubo di scambio termico

Il tubo di scambio termico interno al prototipo LH02 è costituito da due serpentine in acciaio AISI 304L poste in parallelo. Le dimensioni del tubo sono di 20 mm di diametro e 2 mm di spessore.

Ogni serpentina occupa metà del volume del contenitore finale ed è costituita da 16 tubi rettilinei alettati di lunghezza 600 mm, le cui estremità non sono alettate per una lunghezza di 50 mm per parte, e da una serie di raccordi a 180° e raggio di curvatura 80 mm. Il tubo alettato avrà 4 alette in AISI304L di altezza 20 mm e spessore 1 mm.

Tutti i materiali utilizzati sono di provenienza Europa-Italia con certificati in accordo alle norme EN-10204 3.1. Le tolleranze costruttive sono in accordo alle norme TEMA R.

In **Figura 2** sono mostrati gli schemi per la disposizione dei tubi alettati e dei loro raccordi utilizzati per la realizzazione dello scambiatore.



**Figura 2-** Schema della disposizione dei tubi alettati e delle loro connessioni per il prototipo ENEA-TES/LH02.

In **Figura 3** vengono mostrate diverse fasi di assemblaggio dello scambiatore, dalla realizzazione dei singoli tubi alettati, a quello di parte di una serpentina all'assemblaggio dello scambiatore completo.

Infine, in **Figura 4** è possibile vedere la fase di verifica della tenuta idraulica, effettuata sullo scambiatore, tramite aria in pressione a 10 bar.



**Figura 3- Fasi di assemblaggio dello scambiatore del prototipo ENEA-TES/LH02: i) realizzazione dei singoli tubi alettati; ii) realizzazione di parte di una serpentina; iii) assemblaggio dello scambiatore completo.**



**Figura 4- Prototipo ENEA-TES/LH02. Prova di tenuta idraulica a 10 bar.**

### 3 Il contenitore

Il contenitore del prototipo LH02 è un componente in AISI 304L con la forma di un parallelepipedo di dimensioni 865x725x355mm e spessore 3 mm, che conterrà lo scambiatore di calore ed il PCM (caricato successivamente). Tali dimensioni, per necessità costruttive, si discostano leggermente da quelle di progetto (900x640x320mm).

Lo scambiatore di calore è centrato e sostenuto attraverso i tubi di ingresso ed uscita dello stesso e da due astine (e connesso tubolare) solidarizzati con la chiusura superiore, rimovibile, del prototipo (Figura 5).



Figura 5- Scambiatore di calore alloggiato all'interno del contenitore.

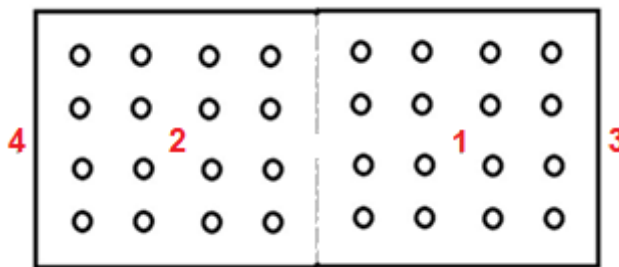
La chiusura superiore del contenitore è dotata di due fori, attraverso i quali passano i cavi delle termocoppie interne, e due sportelli dotati di maniglia (rimovibili anche essi), utilizzabili per il caricamento del PCM (Figura 6). Esso, inoltre, è dotato di due golfari utili al suo sollevamento e posizionamento.



Figura 6- Prototipo ENEA-TES/LH02. A sinistra: parte superiore del contenitore con sportelli dotati di maniglia (uno mancante), per il caricamento del PCM e due golfari per il sollevamento e posizionamento. Sopra: dettaglio dello sportello superiore.

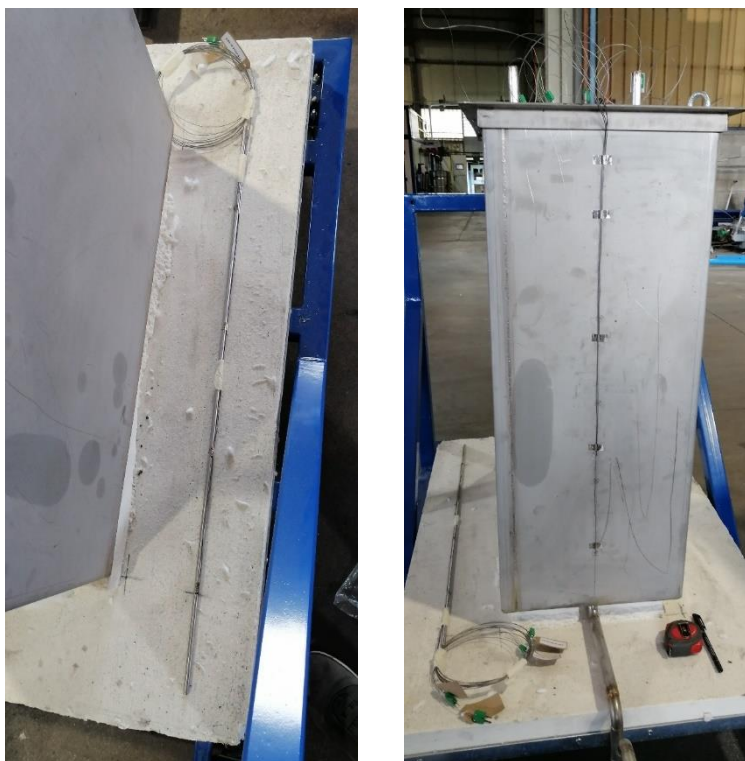
## 4 La strumentazione di misura

Per il controllo e la verifica delle temperature del PCM e del contenitore sono state applicate 8 termocoppie di tipo K classe 1 internamente al contenitore ed altrettante sulla sua parete esterna, secondo lo schema riportato in **Figura 7**. Per ognuna delle 4 posizioni sono uniformemente distribuite in altezza le 16 termocoppie (8 interne, posizioni 1-2, e 8 esterne, posizioni 3 e 4).



**Figura 7- Prototipo ENEA-TES/LH02: schema di posizionamento sul contenitore ed al suo interno di 16 termocoppie di tipo K classe 1 (4 per ogni posizione).**

In **Figura 8** sono mostrate, a sinistra, una delle due astine con 4 termocoppie che sono state posizionate all'interno del contenitore e, a destra, una delle due file di termocoppie posizionate su una parete del contenitore. Le astine interne sono vincolate al tappo superiore, da cui fuoriescono i relativi cavi.

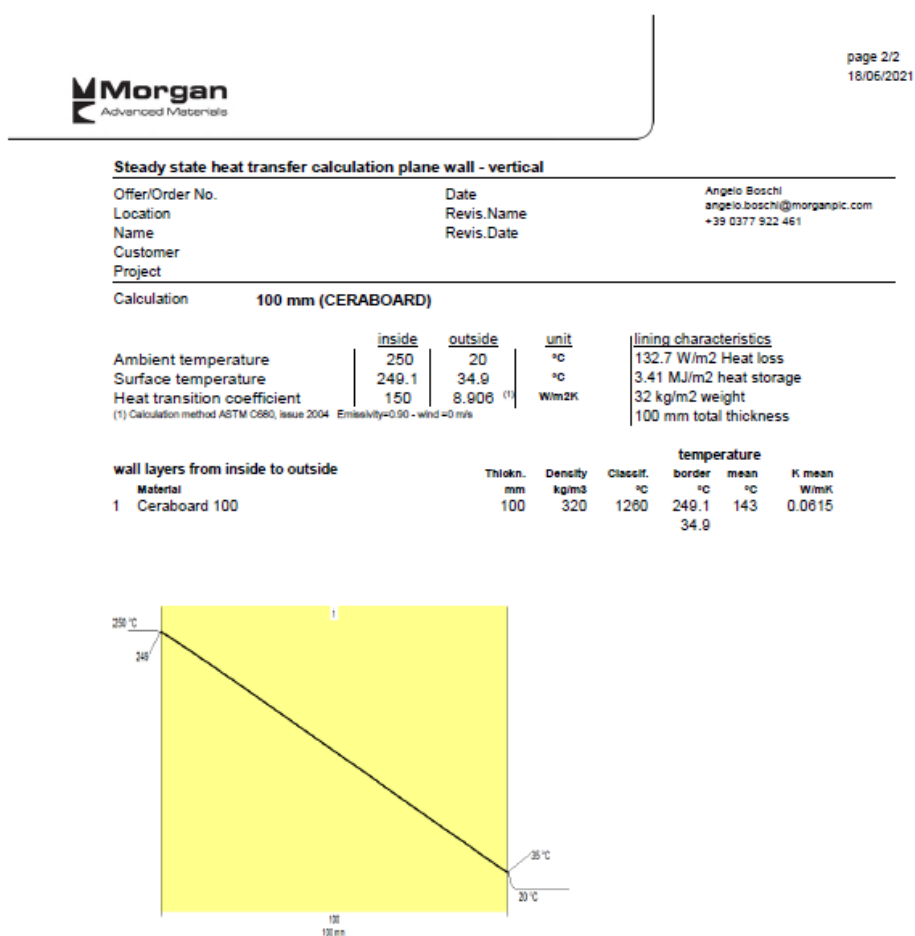


**Figura 8- Prototipo ENEA-TES/LH02: a sinistra, una delle due astine con termocoppie da posizionare internamente al contenitore; a destra, fila di termocoppie posizionate su una parete del contenitore (una seconda fila è sul lato opposto).**

## 5 La coibentazione

Il prototipo LH02 è stato infine coibentato per limitare le perdite termiche. I materiali utilizzati sono della ditta Morgan Advanced Materials.

Per il fondo è stata utilizzata una doppia lastra di Ceraboard 100 (FIREMAT RCF-L 320 kg/m<sup>3</sup>) da 50 mm, per un totale di 100 mm ed una resistenza termica di circa 1.6 m<sup>2</sup>-°C/W (vedi [Figura 9](#)).



**Figura 9- Foglio di calcolo relativo a 100 mm di Ceraboard 100 a 250°C**

Invece, per le superfici laterali ed il coperchio si sono utilizzati quattro strati di Firemat Marine Plus blanket 96 (FIRE MASTER 607 96 kg/m<sup>3</sup>) da 50 mm, per un totale di 200 mm ed una resistenza termica di circa 4.6 m<sup>2</sup>-°C/W (vedi [Figura 10](#)). La superficie esterna della coibentazione è protetta con un foglio di alluminio.

Sulla base delle dimensioni del prototipo e dei bilanci termici mostrati si deduce che le perdite ad una temperatura media di 250°C sono valutabili in circa 120 W, ovvero equiparabili ad una perdita del 15%/giorno della capacità termica del prototipo (circa 20 kWh).

In [Figura 11](#) sono mostrate le varie fasi di predisposizione della coibentazione.

**Steady state heat transfer calculation plane wall - vertical**

Offer/Order No.	Date	Angelo Boschi
Location	Revis.Name	angelo.boschi@morganpic.com
Name	Revis.Date	+39 0377 922 461
Customer		
Project		

Calculation **200 mm (FIREMASTER)**

	inside	outside	unit	lining characteristics
Ambient temperature	250	20	°C	49.2 W/m2 Heat loss
Surface temperature	249.7	26.3	°C	2.168 MJ/m2 heat storage
Heat transition coefficient	150	7.862 <sup>(1)</sup>	W/m2K	19.2 kg/m2 weight
				200 mm total thickness

(1) Calculation method ASTM C680, issue 2004 Emissivity=0.90 - wind =0 m/s

Material	Thickn. mm	Density kg/m3	Classif. °C	temperature		K mean W/mK
				border °C	mean °C	
1 FireMaster Marine Plus 96	200	96	1200	249.7	149	0.0434
				26.3		

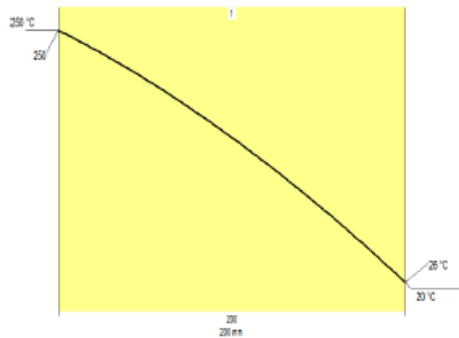


Figura 10- Foglio di calcolo relativo a 200 mm di Firemat Marine Plus blanket 96 a 250°C

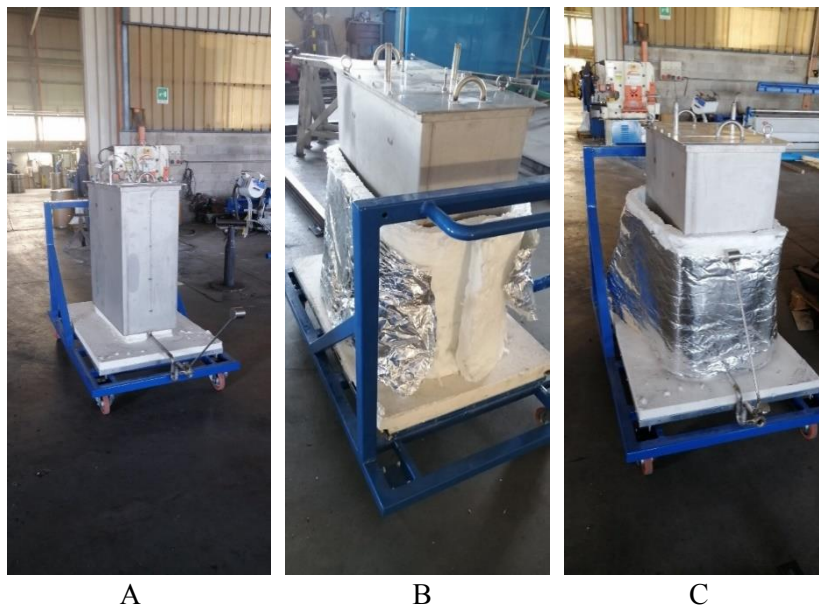


Figura 11- Fasi di coibentazione del prototipo ENEA-TES/LH02: A) coibentazione del fondo con lastre di Ceraboard 100; B) coibentazione delle restanti superfici con strati di Firemat Marine Plus; C) chiusura di queste ultime con fogli di alluminio.

## 6 Il prototipo LH02 completo

Il prototipo LH02 è stato completato e consegnato in ENEA Casaccia dalla Nuova Steim s.r.l. alla fine di Luglio 2021 (Figura 12).

Esso consta principalmente di;

- Un tubo di scambio interno in acciaio inox a doppia serpentina con tubi alettati;
- Un contenitore esterno in acciaio inox comprendente:
  - o Due sportelli superiori per l'inserimento del PCM;
  - o Due golfari per il sollevamento e trasporto del componente;
  - o Una uscita per i cavi delle termocoppie interne;
  - o Una uscita inferiore (fondo) con valvola a congelamento e chiusura a sportello, per l'eventuale svuotamento del PCM in caso di necessità.
- 16 termocoppie di tipo K, 8 interne ed 8 esterne, posizionate, a gruppi di 4, in corrispondenza di 4 differenti quote del prototipo;
- Una coibentazione, differente per il fondo ed il resto delle superfici, atta a limitare le perdite di calore del prototipo (120W);
- Due sezioni di misura dotate di termocoppie K e termoresistenze PT100, per la misura delle temperature di ingresso ed uscita del fluido termovettore.



Figura 12- Prototipo ENEA-TES/LH02.

## 7 Conclusioni

In questo documento, attraverso una serie di immagini, è stata documentata la realizzazione del nuovo prototipo di elemento base ENEA-TES-LH02 di un sistema LHTES.

Tale elemento, opportunamente coibentato e strumentato, è stato consegnato dalla ditta realizzatrice (la Nuova Steim di Narni/Terni) presso i laboratori dell'ENEA Casaccia.

Il prototipo sarà collegato all'impianto sperimentale Solteca3 dove, dopo essere stato caricato con circa 300 kg di PCM, sarà oggetto delle prove sperimentali programmate in questa stessa linea di attività e tese alla sua completa caratterizzazione termica.

## Riferimenti bibliografici

- 1 Adio Miliozzi, Daniele Nicolini, Analisi numerica e analisi tecnico-economica del dispositivo di accumulo termico a calore latente finalizzate alla sua ottimizzazione, Rds/PTR2020/183, ENEA
- 2 Adio Miliozzi, Daniele Nicolini, Raffaele Liberatore, Dimensionamento e progettazione di un prototipo ottimizzato di accumulo termico modulare a calore latente, Rds/PTR2020/184, ENEA

## Abbreviazioni ed acronimi

PCM	Materiale a cambiamento di fase (Phase Change Material)
TES	Accumulo di energia termica (Thermal Energy Storage)
LHTES	TES a calore latente (Latent Heat Thermal Energy Storage)