

Ricerca di Sistema elettrico



Pareti responsive alle diverse condizioni climatiche esterne ed interne abili allo stoccaggio di energia termica: analisi numerica dei sottosistemi e dell'edificio, progettazione esecutiva, costruzione, realizzazione dei sottosistemi e test rig, analisi sperimentale (LA3.11)

O. Calò, F. A. Cancellara, R. Giannusso, D. Marano, D. A. Matera, P. Regina

PARETI RESPONSIVE ALLE DIVERSE CONDIZIONI CLIMATICHE ESTERNE ED INTERNE ABILI ALLO STOCCAGGIO DI ENERGIA TERMICA: ANALISI NUMERICA DEI SOTTOSISTEMI E DELL'EDIFICIO, PROGETTAZIONE ESECUTIVA, COSTRUZIONE, REALIZZAZIONE DEI SOTTOSISTEMI E TEST RIG, ANALISI SPERIMENTALE (LA3.11)

O. Calò, F. A. Cancellara, R. Giannusso, D. Marano, D. A. Matera, P. Regina (ENEA)

Con il contributo di: P. Sdringola (ENEA)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: *Decarbonizzazione*

Progetto: *Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica*

Linea di attività: 3.11

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: Paolo Sdringola, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: 19

Mese inizio effettivo: 19

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Indice

1	Risultati attesi	6
2	Risultati ottenuti.....	7
3	Prodotti attesi	8
4	Prodotti sviluppati	9
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	10
6	Sintesi delle attività svolte	11
7	Dettaglio delle attività svolte.....	12
7.1	Studio numerico e metodi di ottimizzazione dell'applicazione di involucri opachi responsivi a trasmittanza termica variabile e accumulo termico	12
7.2	Studio numerico e progetto di pannello per pareti perimetrali dotati di accumulo termico (freddo e caldo) basato su materiali a cambiamento di fase con e senza pannello ventilato.....	20
7.2.1	Accumulo integrato.....	20
7.2.2	Accumulo non integrato	31
7.3	Progetto del test rig sperimentale costituito da una porzione di circa 20 m ² di una unità immobiliare, realizzato con pareti responsive a trasmittanza termica variabile e dotate di accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase e impianto di climatizzazione	40
7.4	Progetto delle catene di misura e dei sistemi di controllo	51
7.5	Realizzazione dei manufatti (pannelli ventilati e pannelli per l'accumulo termico) e del test rig sperimentale	57
7.6	Esercizio sperimentale del test rig	65
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	69
9	Pubblicazioni scientifiche.....	70
10	Eventi di disseminazione	71

Indice delle figure

Figura 1 - Geometria edificio e modello	12
Figura 2 - Differenziale temperatura esterno/interno località B, C, D, E.	13
Figura 3 - Fabbisogno ideale climatizzazione estiva Gioia del Colle.....	13
Figura 4 - Fabbisogno di energia termica ideale località B, C, D, E.	14
Figura 5 - Temperatura radiante Milano, Pn 8 kW, PCM NO-6mm, ore funzionamento 09:00-15:00, 10:00-14:00	15
Figura 6 - Temperatura radiante Bari, Pn 8 kW, PCM NO-6mm, ore funzionamento 09:00-15:00, 10:00-14:00	16
Figura 7 - Temperatura radiante Milano, Pn 8 kW, ore funzionamento 09:00-15:00	16
Figura 8 - Temperatura radiante Bari, Pn 8 kW, ore funzionamento 09:00-15:00	17
Figura 9 - Temperatura radiante Milano, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 6 mm	17
Figura 10 - Temperatura radiante Bari, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 6 mm	18
Figura 11 - Flusso termico parete interna, Milano, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 10 mm	18
Figura 12 - Flusso termico parete interna, Bari, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 10 mm	19
Figura 13 - Flusso termico parete interna, 2 decade luglio, Milano, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 10 mm.....	19
Figura 14 - Flusso termico parete interna, 2 decade luglio, Bari, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 6 mm	19
Figura 15 - Flusso termico parete interna, 2 decade gennaio, Milano, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 10 mm.....	20
Figura 16 - Flusso termico parete interna, 2 decade gennaio, Bari, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 6 mm	20
Figura 17 - Sezione orizzontale parete multistrato con accumulo integrato e scambiatore....	22
Figura 18 - Cella elementare per le simulazioni.....	22
Figura 19 - Flusso termico periodo invernale PCM Rubitherm 6 mm	23
Figura 20 - Flusso termico periodo estivo PCM Rubitherm 6 mm	23
Figura 21 - Stato PCM- e PCM+. Rubitherm 6 mm. Periodo invernale ore 12:00	24
Figura 22 - Stato PCM- e PCM+. Rubitherm 6 mm. Periodo estivo ore 10:00	24
Figura 23 - Stato PCM- e PCM+. Rubitherm 6 mm. Periodo estivo ore 12:00	25
Figura 24 - Flusso termico periodo invernale PCM ENRG BLANKET 6 mm	25
Figura 25 - Flusso termico periodo estivo PCM ENRG BLANKET 6 mm	26

Figura 26 - Stato PCM- e PCM+. ENRG BLANKET 6 mm. Periodo invernale ore 12:00.....	26
Figura 27 - Stato PCM- e PCM+. ENRG BLANKET 6 mm. Periodo estivo ore 12:00.....	27
Figura 28 - Costruttivo accumulo planare integrato Rubitherm RT 22/25	28
Figura 29 - Costruttivo accumulo planare integrato Templock RT 22/25.....	29
Figura 30 - Costruttivo accumulo planare integrato Templock 22/25.....	30
Figura 31 - Modello geometrico adiabatico.....	32
Figura 32 - Modello geometrico con isolante	32
Figura 33 - Potenza termica scambiata sistema fase carica invernale adiabatico	33
Figura 34 - Salto termico fluido termovettore fase carica invernale adiabatico.....	33
Figura 35 - Indice liquefazione fase carica invernale adiabatico	34
Figura 36 - Mappa temperature fase carica invernale adiabatico.....	34
Figura 37 - Potenza termica scambiata sistema fase scarica estivo adiabatico	35
Figura 38 - Salto termico fluido termovettore fase scarica estivo adiabatico.....	35
Figura 39 - Indice liquefazione fase scarica estivo adiabatico	36
Figura 40 - Mappa temperature fase scarica estiva adiabatico.....	36
Figura 41 - Raffronto flussi termici fase carica invernale adiabatico/isolato	37
Figura 42 - Costruttivo accumulo planare non integrato Croda Therm 37/15	38
Figura 43 - Costruttivo accumulo planare non integrato Rubitherm 35HC / 11HC.....	39
Figura 44 - Prospetto Est parete di test.....	40
Figura 45 - Prospetto Ovest parete di test	40
Figura 46 - Planimetria dello stato di fatto.....	41
Figura 47- Planimetria dello stato di progetto.....	42
Figura 48 - Parte con accumulo termico, stato di progetto.....	43
Figura 49 - Parte con accumulo termico e trasmittanza termica variabile, stato di progetto .	44
Figura 50 - Parte a trasmittanza termica variabile, stato di progetto	45
Figura 51 - Funzionale termico, stato di progetto 1-2	46
Figura 52 - Funzionale termico, stato di progetto 2-2.....	47
Figura 53 - Planimetria termico 1-3.....	48
Figura 54 - Planimetria termico 2-3.....	49
Figura 55 - Planimetria termico 3-3	50
Figura 56 - Schema funzionale acquisizione dati test rig.....	52
Figura 57 - Strumentazione da campo planimetria test rig 1-4.....	53
Figura 58 - Strumentazione da campo planimetria test rig 2-4	54
Figura 59 - Strumentazione da campo planimetria test rig 3-4	55
Figura 60 - Strumentazione da campo planimetria test rig 4-4.....	56

Figura 61 - Architettura sistema di acquisizione e monitoraggio.....	57
Figura 62 - Pannelli ventilati	58
Figura 63 - Parete a trasmittanza termica variabile, Sud	59
Figura 64 - Parete a trasmittanza termica variabile ed accumulo integrato, Ovest	59
Figura 65 - Pannelli accumulo planari non integrati PCM Croda RT 15, RT 37.....	60
Figura 66 - Pannelli accumulo planari non integrati PCM Rubitherm RT 11 RT 35.....	61
Figura 67 - Pannelli accumulo planari integrati PCM Templock 22, 25	61
Figura 68 - Pannelli accumulo planari integrati PCM Rubitherm RT 22, 25.....	62
Figura 69 - Distribuzione impianto termico	62
Figura 70 - Interfaccia grafica principale	63
Figura 71 - Interfaccia grafica secondaria A	63
Figura 72 - Interfaccia grafica secondaria B	64
Figura 73 - Interfaccia grafica secondaria D.....	64
Figura 74 - Interfaccia grafica secondaria E	65
Figura 75 - Fase carica accumulo non integrato	66
Figura 76 - Fase scarica accumulo non integrato	66
Figura 77 - Perdite superficiali accumulo termico non integrato	67
Figura 78 - Fase carica/scarica accumulo integrato Templock.....	67
Figura 79 - Pannello parete in assetto ventilato scambi termici.....	68
Figura 80 - Pannello parete in assetto ventilato trasmittanza termica	68

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Caratteristiche termiche PCM Rubitherm RT22 HC	14
Tabella 2 - Caratteristiche termiche PCM Rubitherm RT25 HC.....	15
Tabella 3 - Casi considerati nelle simulazioni numeriche	22
Tabella 4 - Casi considerati nelle simulazioni numeriche.....	31

1 Risultati attesi

Lista dei risultati attesi come da capitolato vigente:

- Studio numerico e metodi di ottimizzazione dell'applicazione di involucri opachi responsivi a trasmittanza termica variabile e accumulo termico, in ordine alla riduzione di fabbisogni termici di riscaldamento e raffrescamento in edifici residenziali.
- Studio numerico e progetto di pannello per pareti perimetrali dotati di accumulo termico (freddo e caldo) basato su materiali a cambiamento di fase con e senza pannello ventilato: saranno valutate con metodi numerici le principali prestazioni termiche del pannello e definito il progetto esecutivo del sistema di accumulo integrabile in pareti opache.
- Progetto del test rig sperimentale costituito da una porzione di circa 20 m² di una unità immobiliare realizzato con pareti responsive a trasmittanza termica variabile e dotate di accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase e impianto di climatizzazione.
- Progetto delle catene di misura e dei sistemi di controllo.
- Realizzazione dei manufatti (pannelli ventilati e pannelli per l'accumulo termico) e del test rig sperimentale, costituito da una porzione di una unità immobiliare di circa 20 m².
- Esercizio sperimentale del test rig.

2 Risultati ottenuti

Lo studio numerico relativo all'applicazione delle tecnologie sviluppate nella linea di attività ha permesso di verificare la riduzione dei fabbisogni di energia termica per il raffrescamento e la capacità di disaccoppiare il fabbisogno termico per i servizi di riscaldamento e raffrescamento e la produzione di energia termica. Lo studio numerico ha visto l'applicazione, su di un edificio di riferimento unifamiliare di superficie in pianta di circa 100 m², delle pareti responsive; la modellazione ha visto l'impiego della suite EnergyPlus.

È stata effettuata la progettazione definitiva di sistemi di accumulo planari quali elementi di pareti perimetrali multistrato. La progettazione definitiva è stata preceduta dallo studio numerico del comportamento dell'accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase. L'accumulo termico (caldo/freddo) planare è stato sviluppato secondo due opzioni, integrato nel funzionamento della parete e non integrato. Nell'accumulo integrato esso è un componente attivo nel funzionamento della parete perimetrale contribuendo alla gestione dei flussi termici.

È stato redatto il progetto definitivo del test rig sperimentale costituito da un locale avente superficie in pianta di circa 20 m². Il progetto ha riguardato: le opere di coibentazione del locale; le opere relative alle pareti perimetrali con accumulo termico non integrato, con accumulo integrato, responsive a trasmittanza termica variabile, responsive e con accumulo integrato; le opere relative all'impianto termico per la climatizzazione estiva ed invernale basato su generatore a pompa di calore e dell'integrazione tra sottosistema di generazione, di accumulo e di emissione. Il progetto ha implementato diversi assetti di pareti multistrato in ordine a testare differenti realizzazioni del pannello ventilato ed accumulo.

È stato redatto il progetto delle catene di misura e dei sistemi di controllo. Sono state definite le catene di misura per la determinazione sperimentale delle caratteristiche termiche dei pannelli e per valutare la loro integrazione nella struttura costituente il test rig. Sono stati definiti sistemi di controllo dell'applicazione mediante strumentazione a basso costo, integrabili in sistemi complessi e connessi. Il sistema di acquisizione e controllo è stato integrato su architettura web in ordine ad una verifica e controllo dello stato da remoto.

Sono stati realizzati i pannelli planari per l'accumulo termico caldo/freddo nelle due tipologie principali integrato e non integrato. I pannelli sono stati realizzati con due diverse tipologie di materiali a cambiamento di fase inorganico ed organico e differenti modalità costruttive. Sono stati realizzati i pannelli ventilati. È stato allestito il test rig secondo il progetto definitivo sul locale di circa 20 m².

Sono iniziate le prove sperimentali delle pareti con accumulo con la verifica del funzionamento delle pareti con accumulo integrato (verifica disaccoppiamento termico, analisi energetica del sistema orario).

3 Prodotti attesi

Lista dei prodotti attesi come da capitolato vigente:

- Report tecnico, contenente la descrizione delle attività previste e i risultati ottenuti.
- Prototipo sperimentale di pareti responsive a trasmittanza termica variabile e dotate di accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase, installati in corrispondenza di un test rig dotato di sistemi di monitoraggio e controllo.

4 Prodotti sviluppati

Lista dei prodotti sviluppati nella LA:

- Report tecnico, in aderenza agli obiettivi dichiarati, comprendente una descrizione delle attività condotte e dei risultati raggiunti.
- Prototipo sperimentale di pareti responsive a trasmittanza termica variabile e dotate di accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase, installati in corrispondenza di un test rig dotato di sistemi di monitoraggio e controllo.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Lo scostamento della voce di spesa per strumenti e attrezzature (B) è causato dal mancato approvvigionamento di sistemi e strumenti dedicati al monitoraggio del prototipo dimostrativo. La verifica del funzionamento dell'involucro a trasmittanza termica variabile, delle pareti in assetto ventilato e delle pareti con accumulo integrato è stata realizzata con strumentazione ENEA. Lo scostamento nei costi di esercizio (C) si lega alla quantificazione finale delle spese per viaggi e missioni, rispetto a quanto inizialmente preventivato.

Tali scostamenti non hanno influenzato il raggiungimento degli obiettivi e dei risultati attesi dalla LA3.11.

6 Sintesi delle attività svolte

L'attività di progetto ha portato allo sviluppo di sistemi pareti perimetrali «responsive» in ordine ad ottenere una caratteristica quale la trasmittanza termica variabile e capace di assolvere alla funzione di accumulo termico per i servizi di riscaldamento e raffrescamento.

Riguardo le pareti a trasmittanza termica variabile ne è stato simulato l'impiego su di un edificio di riferimento ubicato in differenti zone climatiche, sono stati realizzati pannelli ventilati con scambio termico migliorati ed installati su di un locale per una copertura di circa 20 m² in ordine al raggiungimento di un TRL7.

Riguardo i sistemi di accumulo termico sono stati definiti, simulati e realizzati sistemi di accumulo termico (caldo/freddo) planari adatti ad essere realizzati congiuntamente a pareti perimetrali multistrato. L'attività ha portato allo sviluppo di due diversi concetti di accumulo: uno integrato nel funzionamento della parete e uno non integrato. Sono stati realizzati differenti prototipi per la verifica sperimentale, i quali sono stati installati sulle pareti di un locale. È stata effettuata una simulazione dell'impiego su di un edificio di riferimento ubicato in differenti zone climatiche.

7 Dettaglio delle attività svolte

Nella LA3.11 sono state realizzate le attività di simulazione e progettazione, che hanno portato alla realizzazione di diversi elementi prototipali di accumulo termico planari ed alla loro installazione su parte perimetrali multistrato. Sono stati realizzati elementi di pareti ventilabili abili alla realizzazione di pareti a trasmittanza termica variabile, tali elementi sono stati installati su pareti perimetrali multistrato. Le installazioni dei sopracitati elementi sono state effettuate su di un locale di circa 20 m². Sono stati progettati e realizzati l'impianto termico a pompa di calore e il sistema di acquisizione dati e controllo a completamento del locale.

7.1 Studio numerico e metodi di ottimizzazione dell'applicazione di involucri opachi responsivi a trasmittanza termica variabile e accumulo termico

Lo studio numerico relativo all'applicazione delle tecnologie sviluppate nella linea di attività ha permesso di verificare la riduzione dei fabbisogni di energia termica per il raffrescamento e la capacità di disaccoppiare il fabbisogno termico per i servizi di riscaldamento e raffrescamento e la produzione di energia termica. Lo studio numerico ha visto l'applicazione della suite EnergyPlus. Per la valutazione dell'effetto del clima sono state considerate 4 differenti località (Palermo, Bari, Gioia del Colle, Milano) appartenenti rispettivamente alle zone climatiche B, C, D, E. La tipologia edilizia è riconducibile ad una villetta singola costituita da una unità abitativa su pilotis di cui alla Figura 1. La superficie dell'involucro trasparente è stata fissata pari ad 1/8 della superficie del pavimento. Riguardo le caratteristiche termiche dell'involucro opaco e trasparente, le unità immobiliari, considerate come nuove costruzioni, rispettano i criteri minimi previsti dal DM 26/06/2015 "requisiti minimi" in particolare le caratteristiche termiche delle componenti dell'involucro opaco e trasparenti, le trasmittanze per le riqualificazioni (2021), ventilazione naturale, temperature interne di riferimento invernale ed estiva pari a 20°C e 26°C. I profili d'uso degli immobili sono tipici degli edifici residenziali (E.1).

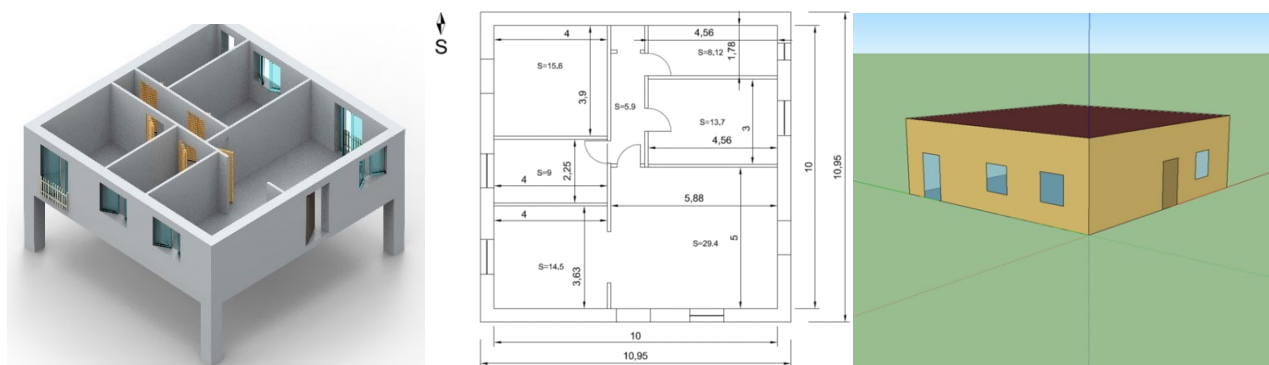


Figura 1 - Geometria edificio e modello

L'analisi della parte perimetrale a trasmittanza termica variabile è stata effettuata sfruttando una classe che consente di eliminare dalla parete perimetrale un materiale (isolante), in analogia al funzionamento reale della parete con ventilazione. La presenza della ventilazione è stata regolata da una "scheda" su base oraria (ore notturne). La Figura 2 riporta il differenziale della temperatura esterna rispetto alla temperatura interna (26°C) estiva per le località Milano (E), Gioia del Colle (D), Bari (C), Palermo (B). La Figura 3 riporta il fabbisogno di energia termica ideale per la climatizzazione estiva con pareti standard e con trasmittanza termica variabile attivata tra le ore 22.00-07.00. La Figura 4 riporta il fabbisogno di energia termica ideale per la

climatizzazione estiva in diverse località e differenti periodi di attivazione. La riduzione del fabbisogno raggiunge valori tra il 15-50%.

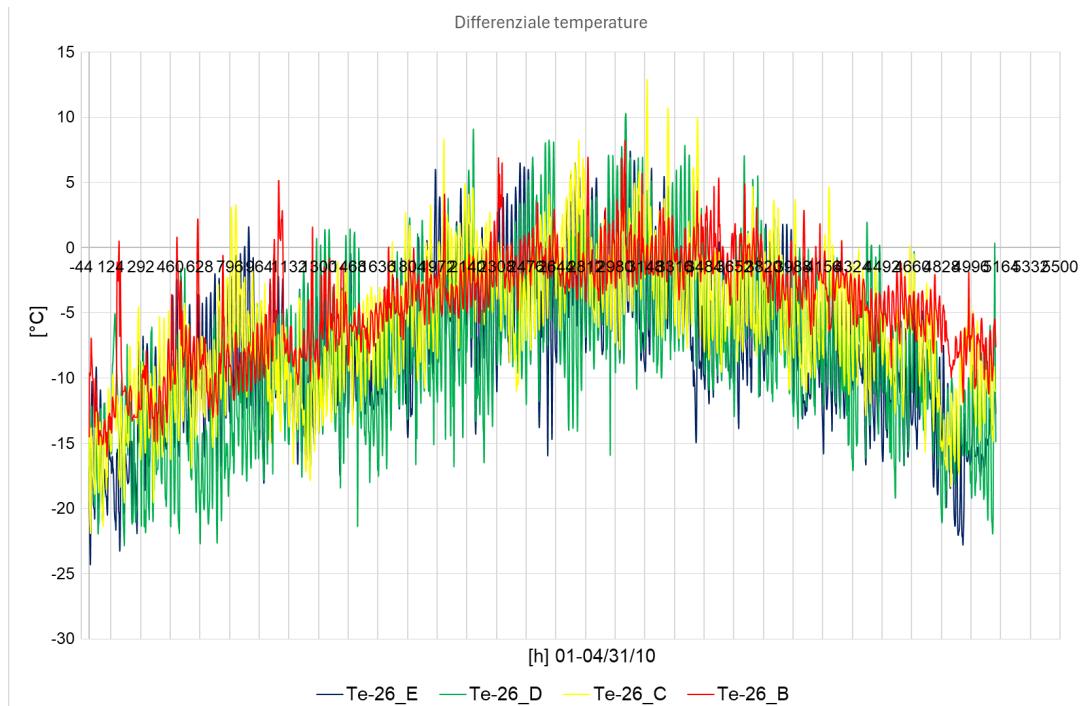


Figura 2 - Differenziale temperatura esterno/interno località B, C, D, E.

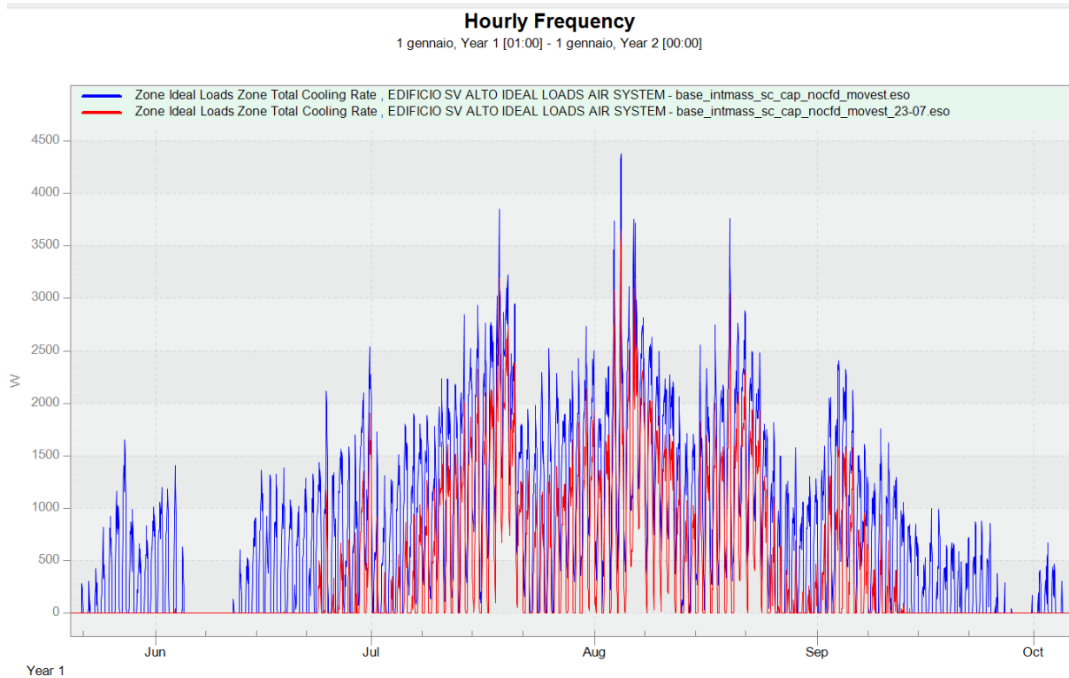


Figura 3 - Fabbisogno ideale climatizzazione estiva Gioia del Colle

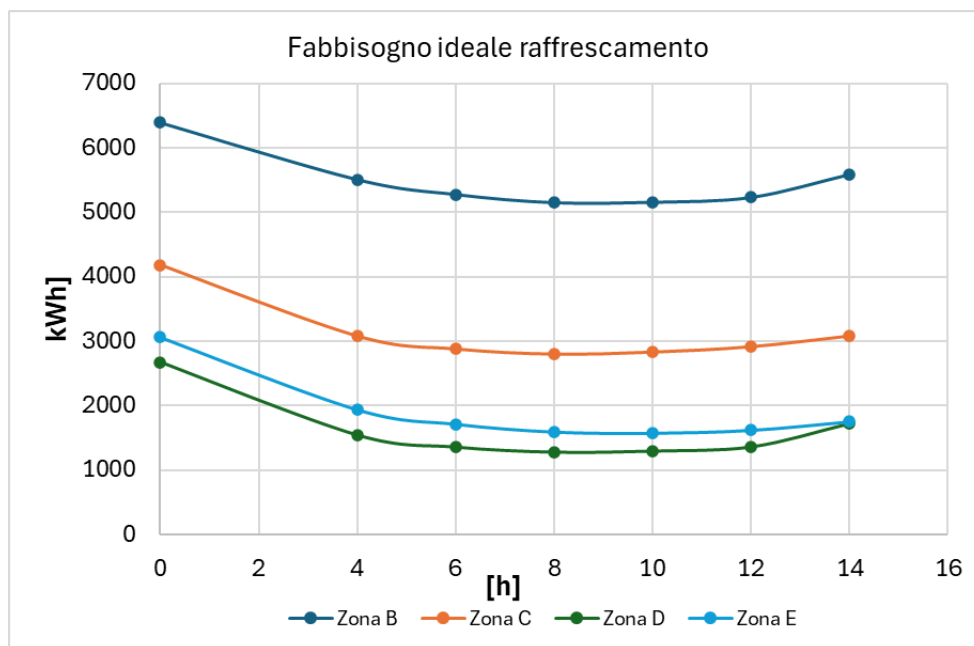


Figura 4 - Fabbisogno di energia termica ideale località B, C, D, E.

L'analisi delle pareti perimetrali con accumulo termico integrato nelle pareti è stata effettuata sfruttando: una classe che consente di implementare i materiali PCM per la costruzione di elementi costruttivi ed una classe per implementare l'emissione termica nelle stesse. L'impianto termico è stato completato con una pompa di calore idronica di capacità 8, 12, 16 kWt con COP ed EER rispettivamente 3.8 e 3.5, il suo funzionamento è stato schedato in diverse ore in due diversi periodi del giorno alternativi (diurno baricentrato sulle ore 12:00 e notturno baricentrato sulle 24:00). I PCM impiegati per l'accumulo termico sono stati: Rubitherm RT 22 e RT 25 di cui le principali caratteristiche sono riportate in Tabella 1 e Tabella 2. Il sottosistema di emissione impiega serpentine di diametro 6 e 10 mm passo 120 e 50 mm. La capacità di accumulo per spessori PCM tra 6 e 10 mm è pari a 33,82-56,36 kWh per RT 22 e 47,40-79 kWh per RT 25.

RT22HC	Typical Values	Units
Melting area (main peak: 22)	20-23	[°C]
Congeaing area (main peak: 22)	23-20	[°C]
Heat storage capacity $\pm 7,5\%$ (Combination of latent and sensible heat in a temperature range of 14 °C to 29 °C)	190	[kJ/kg]
	53	[Wh/kg]
Specific heat capacity	2	[kJ/kgK]
Density solid at 20 °C	0,76	[kg/l]
Density liquid at 50 °C	0,7	[kg/l]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(mK)]
Volume expansion	12,5	[%]
Max. operation temperature	50	[°C]

Tabella 1 - Caratteristiche termiche PCM Rubitherm RT22 HC

RT25HC	Typical Values	Units
Melting area (main peak: 25)	22-26	[°C]
Congealing area (main peak: 25)	26-22	[°C]
Heat storage capacity ± 7,5% (Combination of latent and sensible heat in a temperature range of 16 °C to 31 °C)	230	[kJ/kg]
	58	[Wh/kg]
Specific heat capacity	2	[kJ/kgK]
Density solid at 15 °C	0,88	[kg/l]
Density liquid at 40 °C	0,77	[kg/l]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(mK)]
Volume expansion	12,5	[%]
Max. operation temperature	65	[°C]

Tabella 2 - Caratteristiche termiche PCM Rubitherm RT25 HC

Le Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16, mostrano alcuni risultati dell'analisi che evidenziano la capacità di accumulo termico in relazione alla disconnessione dei carichi termici e dell'energia primaria, al soddisfacimento delle condizioni di confort interno, per i servizi di climatizzazione invernale ed estiva e per edifici realizzati in località con differenti climi. L'ottimizzazione risulta possibile variando periodi di accensione dell'impianto, potenza termica e superficie di accumulo.

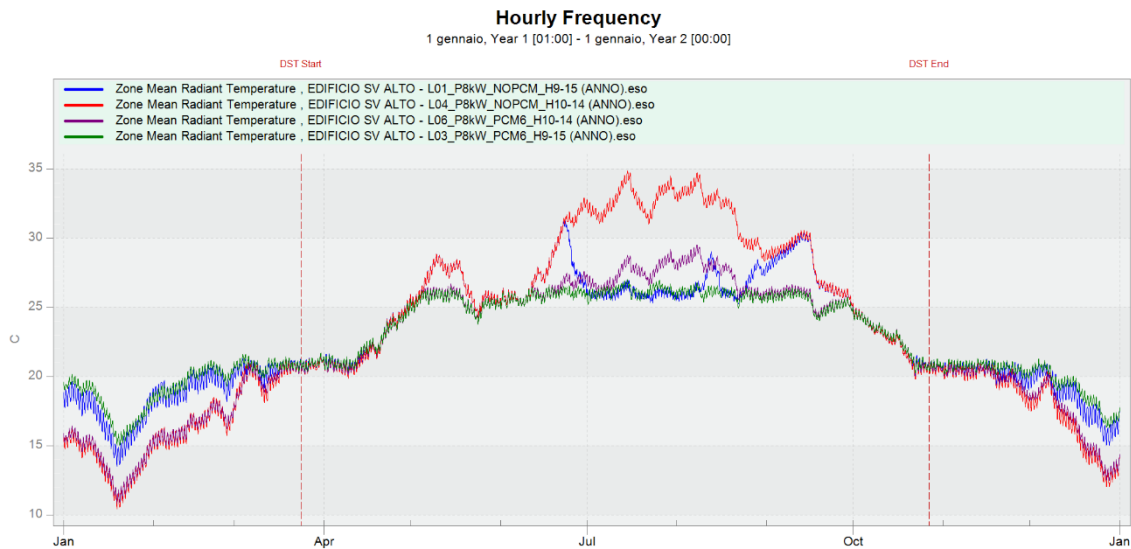


Figura 5 - Temperatura radiante Milano, Pn 8 kW, PCM NO-6mm, ore funzionamento 09:00-15:00, 10:00-14:00

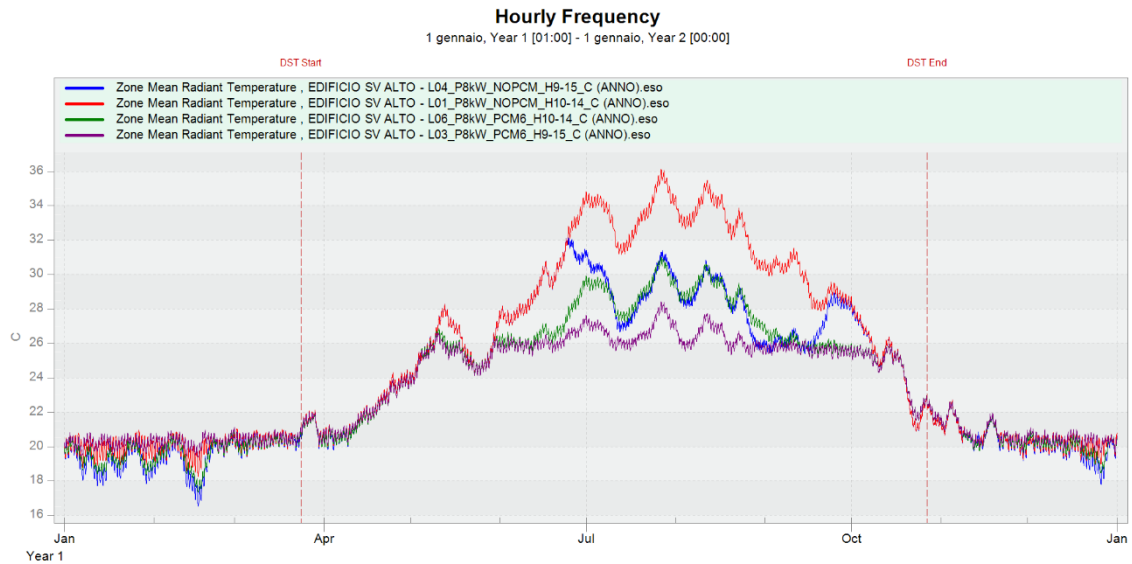


Figura 6 - Temperatura radiante Bari, Pn 8 kW, PCM NO-6mm, ore funzionamento 09:00-15:00, 10:00-14:00

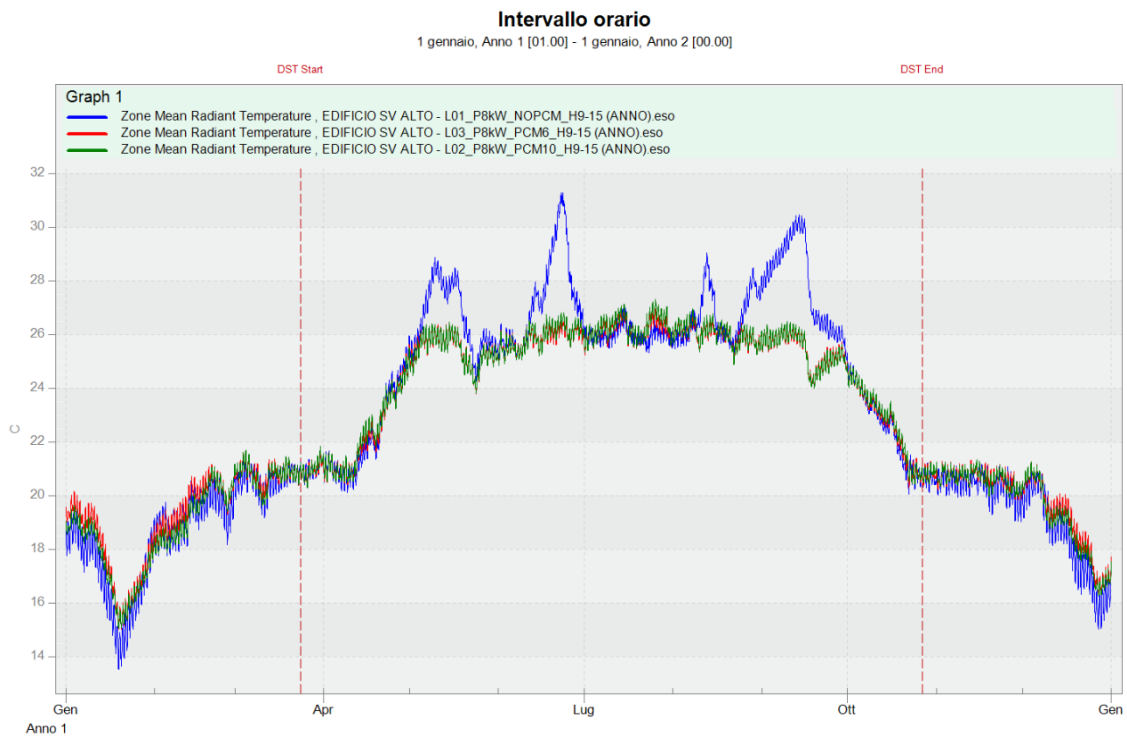


Figura 7 - Temperatura radiante Milano, Pn 8 kW, ore funzionamento 09:00-15:00

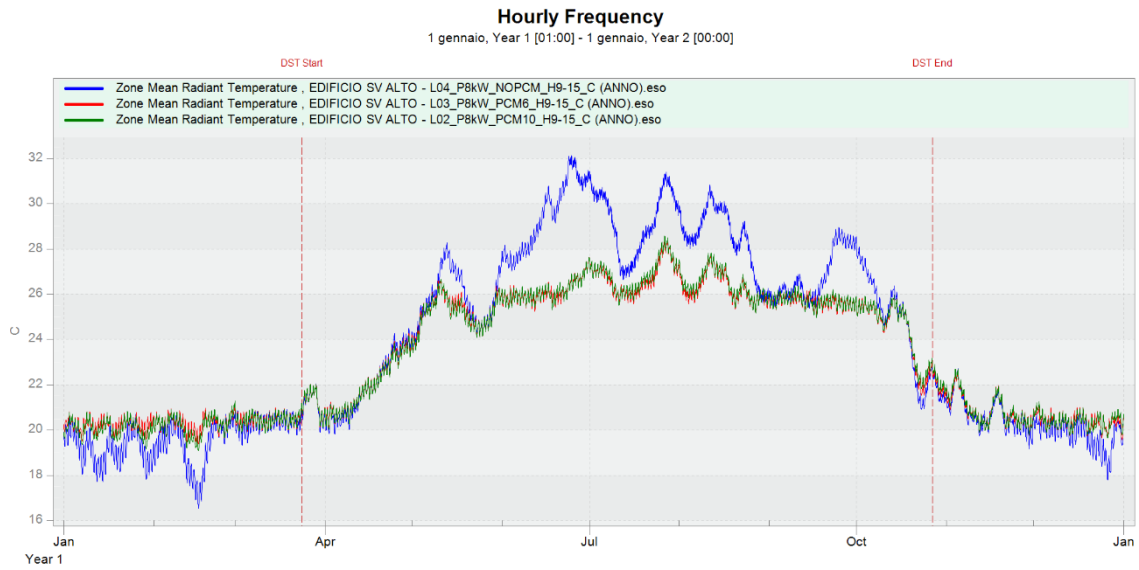


Figura 8 - Temperatura radiante Bari, Pn 8 kW, ore funzionamento 09:00-15:00

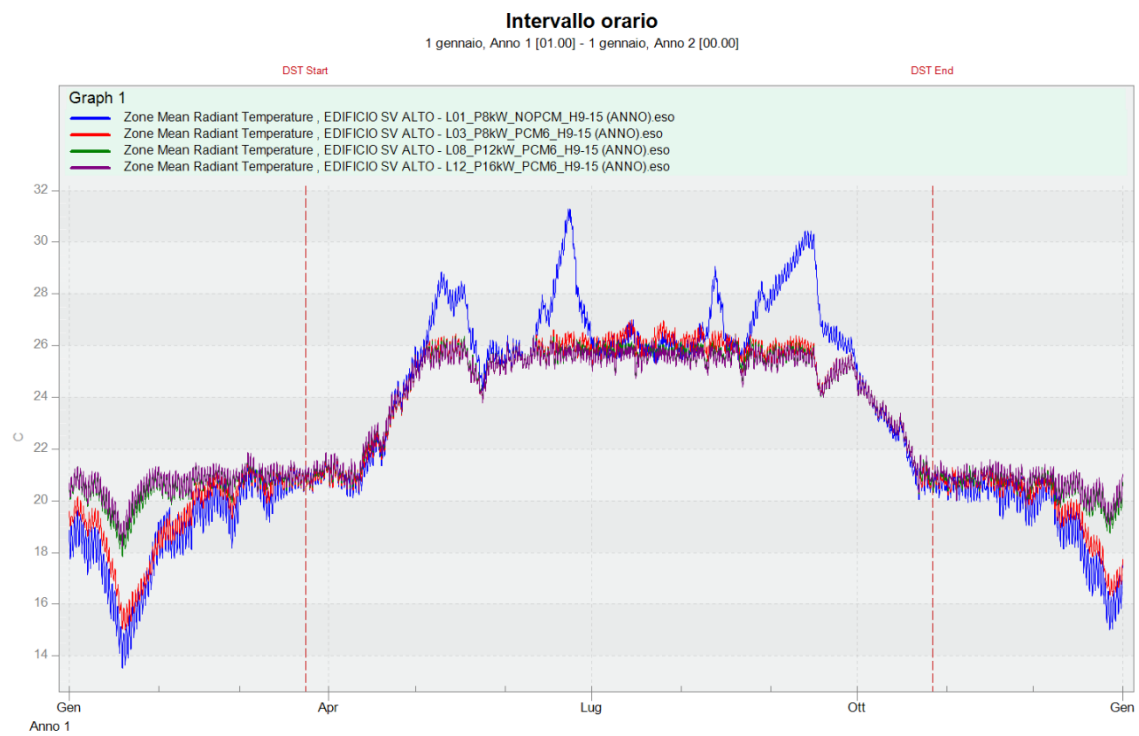


Figura 9 - Temperatura radiante Milano, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 6 mm

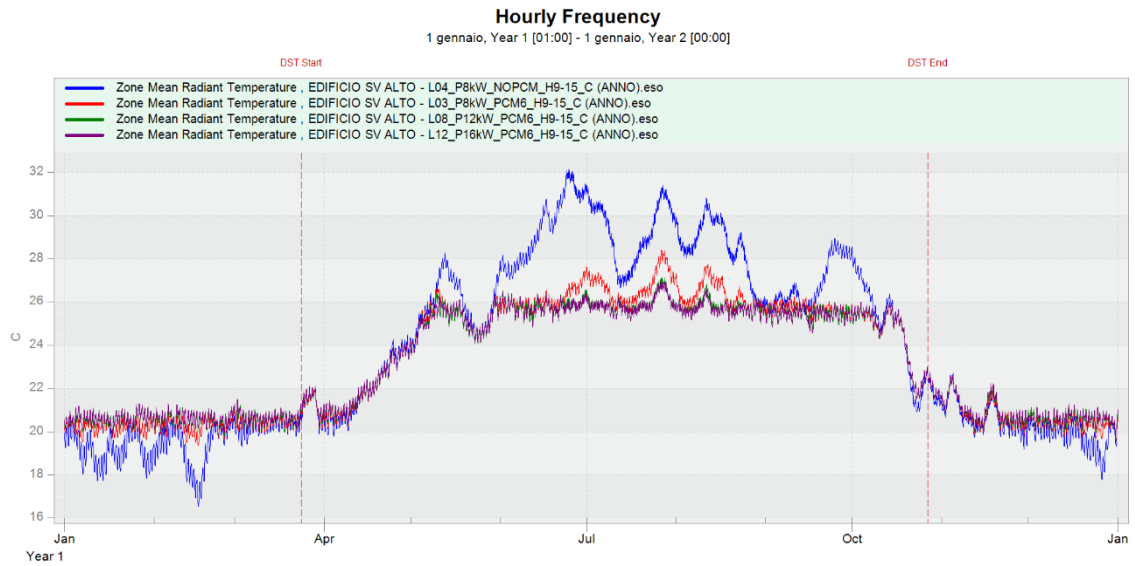


Figura 10 - Temperatura radiante Bari, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 6 mm

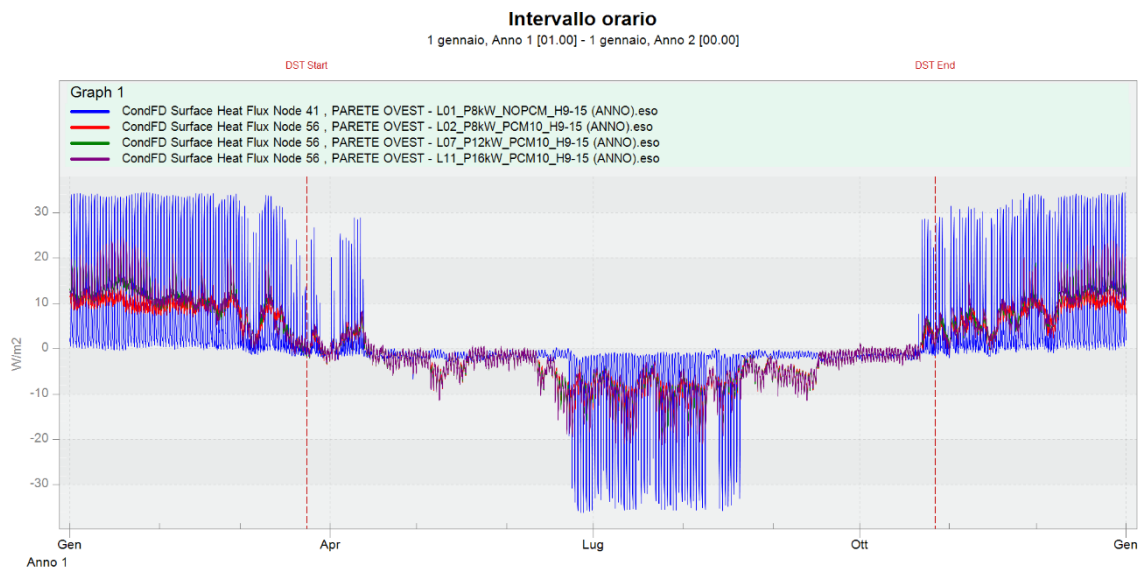


Figura 11 - Flusso termico parete interna, Milano, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 10 mm

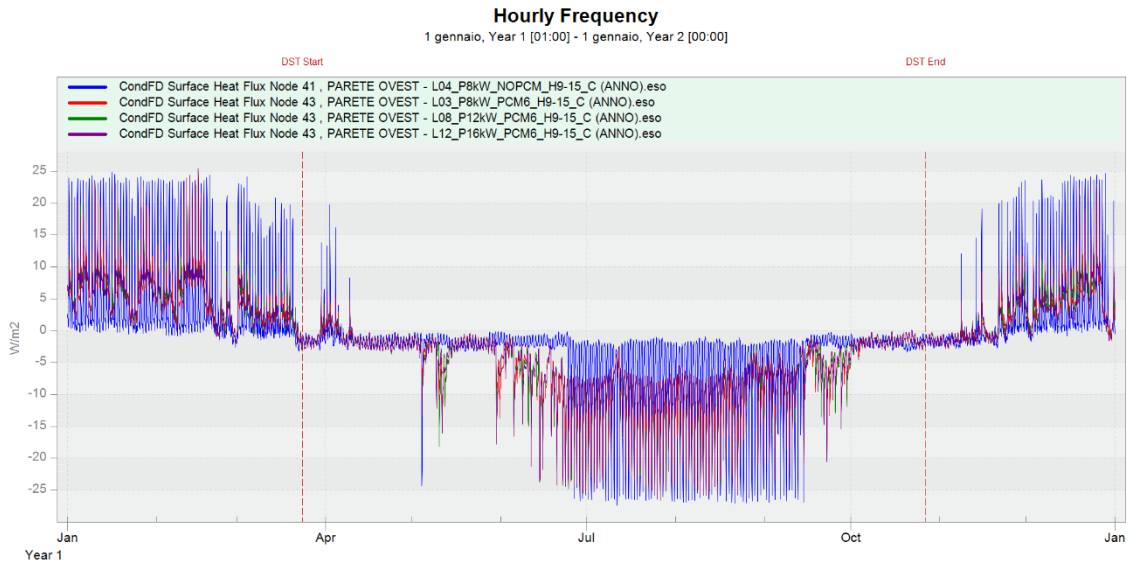


Figura 12 - Flusso termico parete interna, Bari, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 10 mm

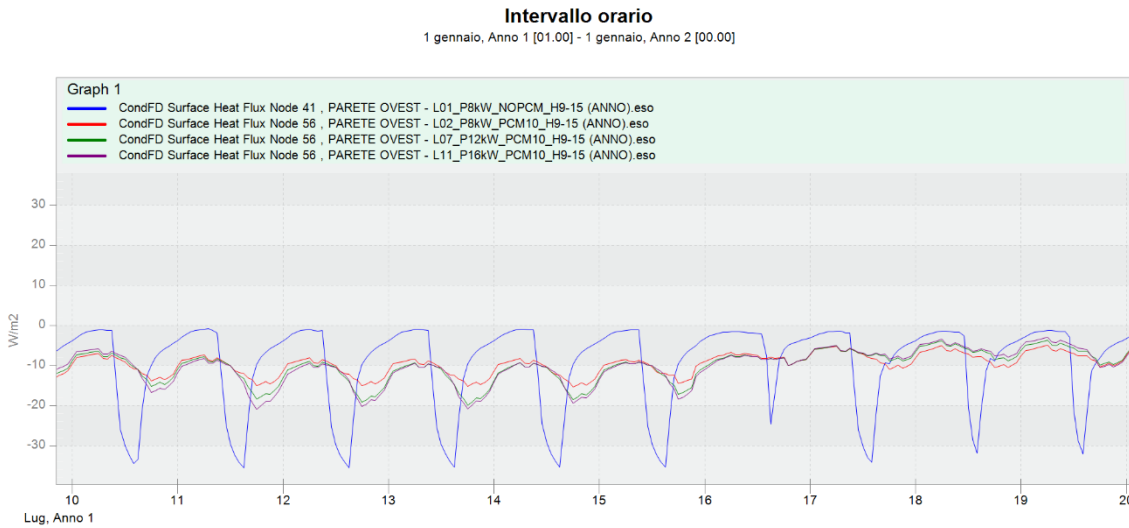


Figura 13 - Flusso termico parete interna, 2 decade luglio, Milano, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 10 mm

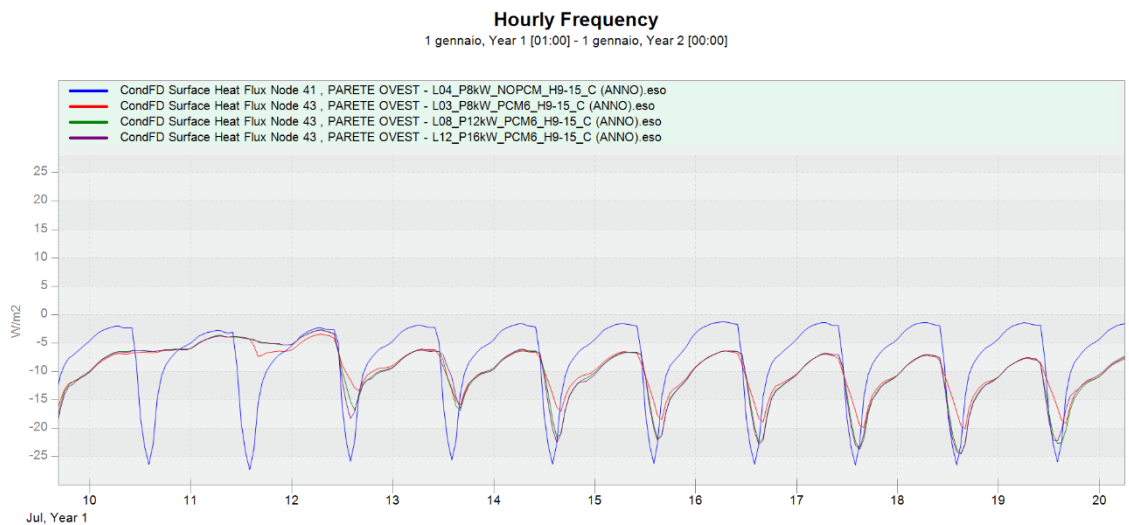


Figura 14 - Flusso termico parete interna, 2 decade luglio, Bari, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 6 mm

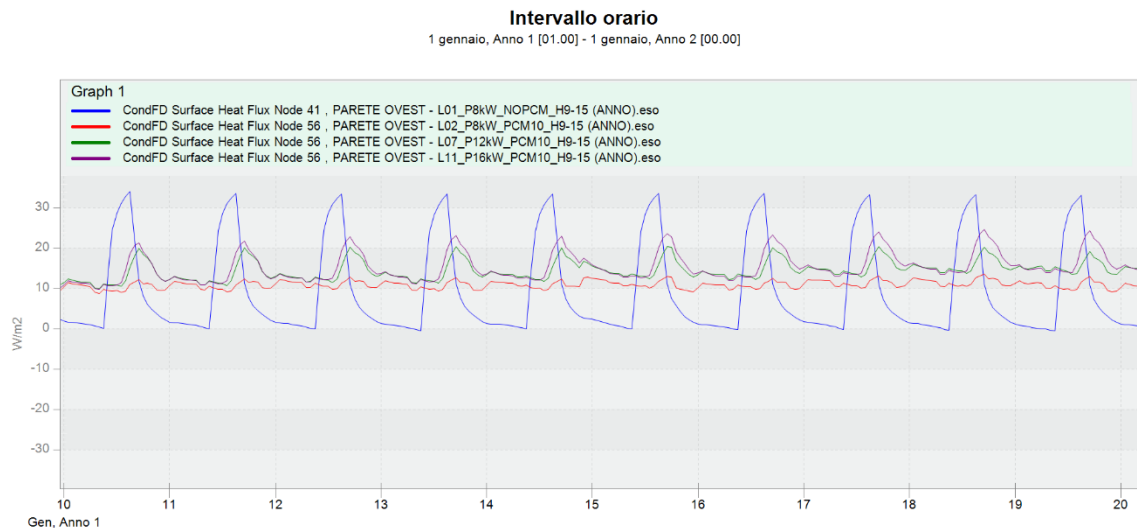


Figura 15 - Flusso termico parete interna, 2 decade gennaio, Milano, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 10 mm

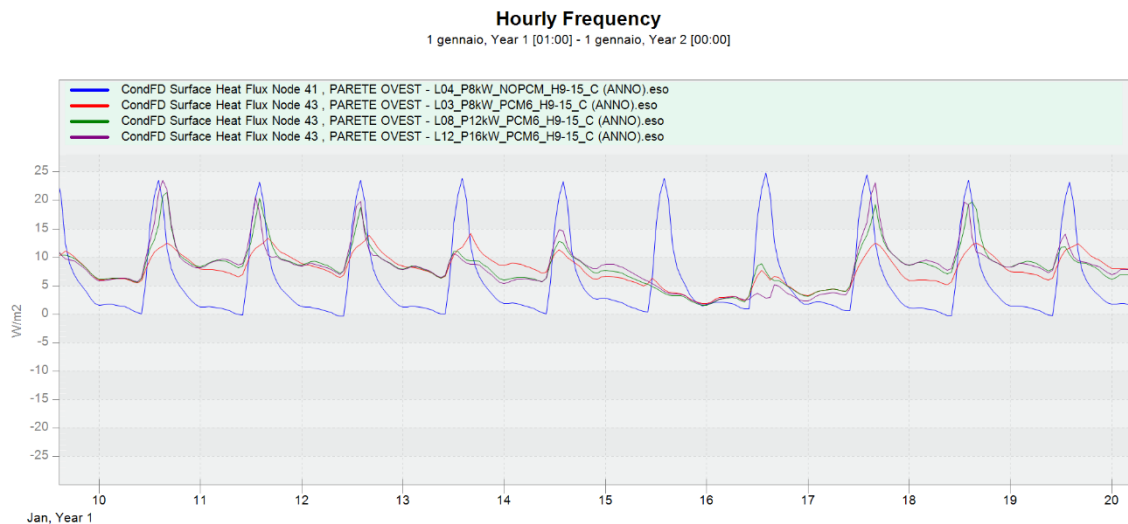


Figura 16 - Flusso termico parete interna, 2 decade gennaio, Bari, Pn 8-16 kW, ore funzionamento 09:00-15:00, PCM 6 mm

7.2 Studio numerico e progetto di pannello per pareti perimetrali dotati di accumulo termico (freddo e caldo) basato su materiali a cambiamento di fase con e senza pannello ventilato

L'attività ha portato allo sviluppo di due tipologie di accumulo termico (caldo/freddo) planari quali elementi costruttivi di una parte perimetrale multistrato, una integrata nel funzionamento della parete ed una non integrata.

7.2.1 Accumulo integrato

Nell'accumulo termico planare integrato, l'accumulo termico insieme allo scambiatore di calore sono parte attiva nei flussi termici della parete multistrato. Il comportamento è dipendente dalla composizione; l'analisi termica è stata effettuata con riferimento alla parete multistrato di cui alla Figura 17, costituita da: 15 centimetri di blocchi forati, materiale a cambiamento di fase (PCM) chiamato PCM- (a temperatura di fusione più bassa, per il periodo invernale), uno scambiatore di calore, materiale a cambiamento di fase PCM+ (a temperatura di fusione più alta, per il periodo estivo), uno strato di 8 cm di polistirene espanso, e uno strato

di 10 cm di tufo duro. Come scambiatori di calore possono essere impiegati differenti tipologie roll-bond, pillow plate, serpentine. Per mere ragioni di risorse di calcolo lo scambiatore di calore impiegato è a tubi paralleli con portate di fluido termovettore uguali ed equiverse.

La simulazione ha riguardato una cella elementare di tale parete allo scopo di ridurre le risorse necessarie al calcolo (due settimane di esecuzione per caso) impiegando la suite Abaqus. La Figura 18 riporta un esempio di cella elementare per la parete multistrato. Lo spazio tra scambiatore e PCM è riempito con una malta cementizia ad alta conducibilità termica. La temperatura dell'ambiente interno è stata imposta pari a 20 e 25 °C nel periodo invernale ed estivo rispettivamente. La temperatura dell'ambiente esterno è stata considerata variabile di ora in ora, prendendo in considerazione quattro giornate tipiche invernali ed estive nella città di Bari. Gli scambiatori integrati nella parete sono stati considerati attivi due ore al giorno, dalle ore 10 alle ore 12. Il fluido termovettore (acqua) all'ingresso dello scambiatore è stato considerato alla temperatura di 35 e 18 °C nel periodo invernale ed estivo rispettivamente. La campagna di simulazioni numeriche per la parete multistrato ha preso in esame: tipologia di PCM, spessore di PCM, passo e lunghezza dello scambiatore di calore, portata del fluido termovettore, temperature di mandata. Per ogni caso analizzato, i due PCM sono stati scelti ed ottimizzati per mitigare le dispersioni/rientranze termiche sia nella stagione invernale sia nella stagione estiva. I casi analizzati sono riportati nella Tabella 3. Nella simulazione sono stati analizzati il flusso termico dall'ambiente interno verso l'ambiente esterno, i cambiamenti di fase nei due PCM e la loro interazione nella stabilizzazione del flusso termico e nell'eventuale rilascio di caldo o freddo verso l'ambiente interno. Di seguito i risultati principali relativi ai casi A e B. Le Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, riportano il flusso termico misurato sulla parete interna nelle quattro giornate caratteristiche invernali ed estive in presenza ed assenza PCM per il caso A, le Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27 per il caso B. Il segno positivo indica un flusso termico che va da ambiente interno verso ambiente esterno e viceversa. I rettangoli in rosa e celesti rappresentano le ore di funzionamento degli scambiatori nei regimi invernale ed estivo.

Le Figura 21, Figura 22, Figura 23 e le Figura 26, Figura 27 mostrano la fase in cui si trova il materiale PCM- e PCM+ evidenziando il diverso stato e la percentuale di cambiamento di fase alle varie ore e per i due diversi regimi invernale ed estivo per i casi A e B.

Sulla base dei risultati è stato progettato il componente di accumulo termico planare costituito da un pannello "multilayer" modulare di dimensioni 60x60 cm costituito da una cornice che contiene uno scambiatore di calore posto tra due pannelli di materiale PCM- (accumulo caldo) PCM+ (accumulo freddo). Sono stati selezionati 4 diversi PCM e tre diversi scambiatori (rollbond, serpentina a spirale, tubi paralleli). Le Figura 28, Figura 29, Figura 30 mostrano i costruttivi.

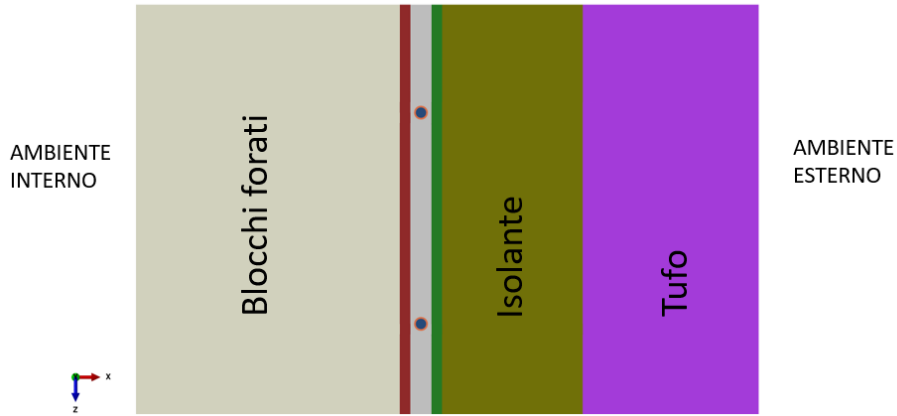


Figura 17 - Sezione orizzontale parete multistrato con accumulo integrato e scambiatore

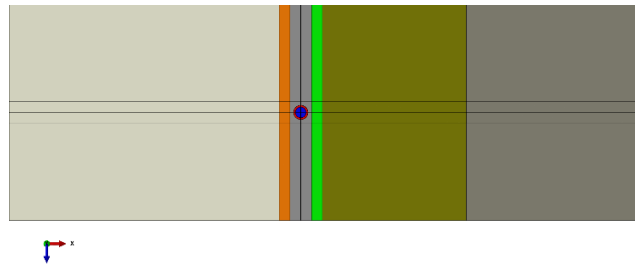


Figura 18 - Cella elementare per le simulazioni

Caso	Materiali PCM	Spessore PCM	Passo tubi $\varnothing 8 \times 1$ $L = 0.5$ m	Portata singolo tubo
A	ENRG BLANKET	6 mm	120 mm	0.005074393 kg/min (~16 tubi al m^2)
B	Rubitherm	6 mm	120 mm	0.005074393 kg/min (~16 tubi al m^2)
C	E-4E	6 mm	120 mm	0.005074393 kg/min (~16 tubi al m^2)
D	Rubitherm	10 mm	50 mm	Portata singolo tubo 0.01015 kg/min (~40 tubi al m^2)

Tabella 3 - Casi considerati nelle simulazioni numeriche

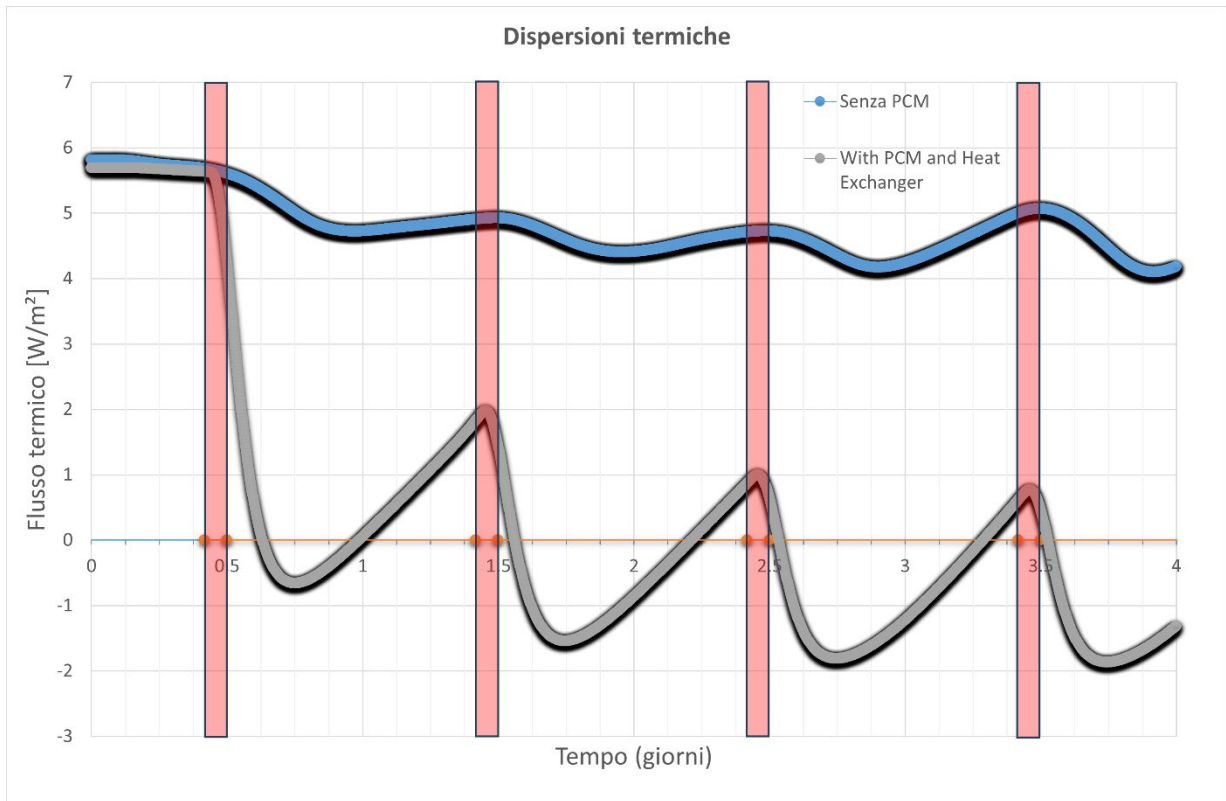


Figura 19 - Flusso termico periodo invernale PCM Rubitherm 6 mm

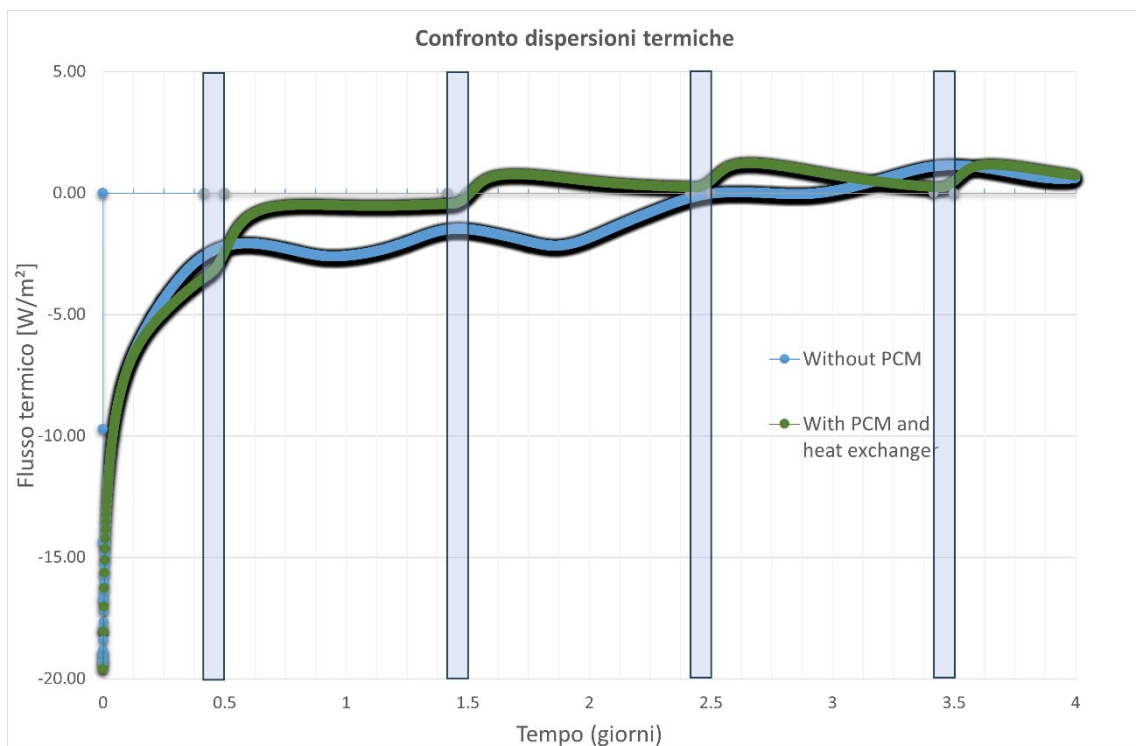


Figura 20 - Flusso termico periodo estivo PCM Rubitherm 6 mm

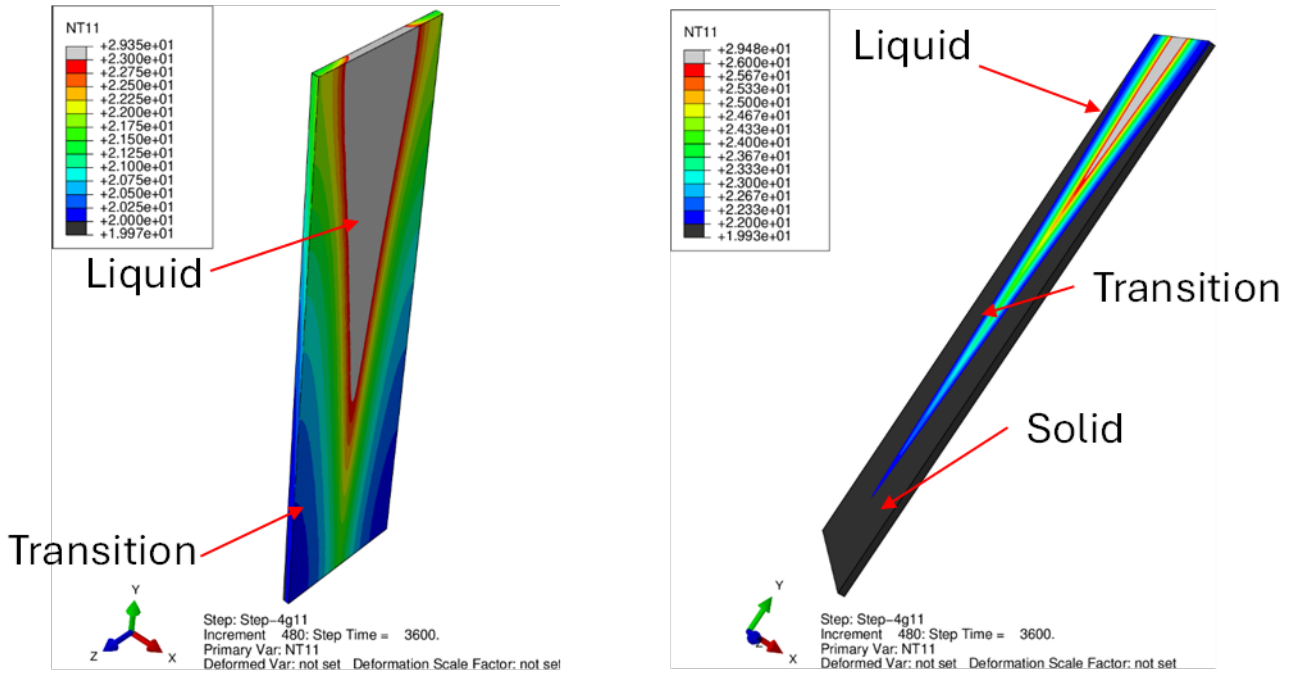


Figura 21 - Stato PCM- e PCM+. Rubitherm 6 mm. Periodo invernale ore 12:00

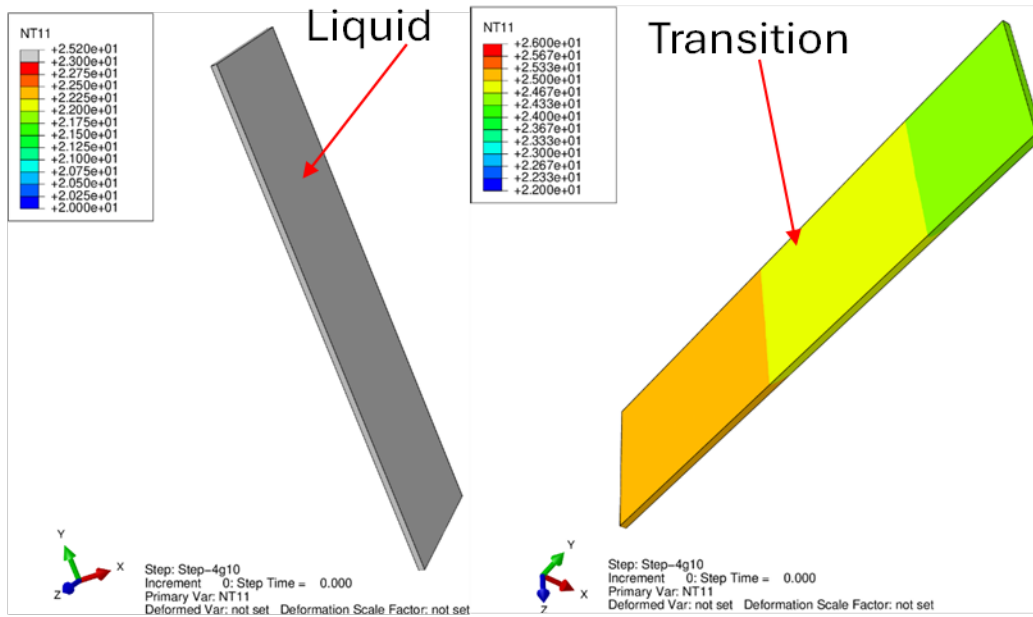


Figura 22 - Stato PCM- e PCM+. Rubitherm 6 mm. Periodo estivo ore 10:00

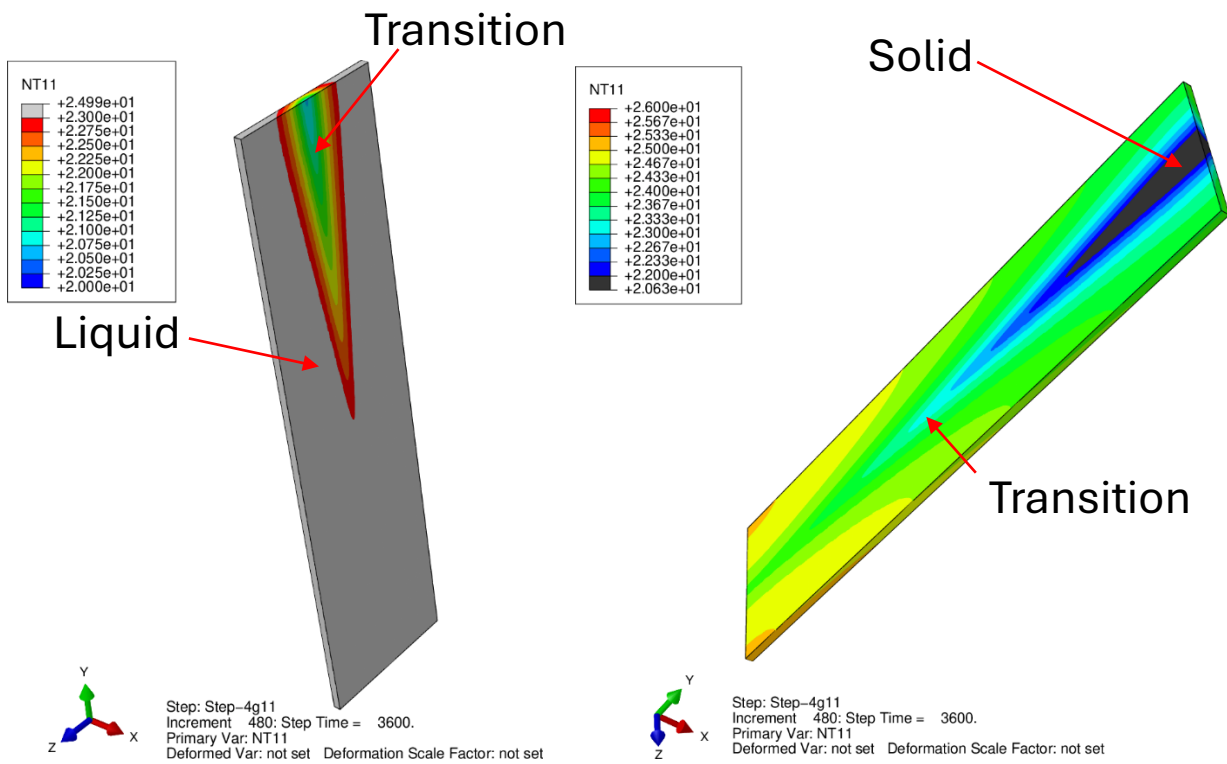


Figura 23 - Stato PCM- e PCM+. Rubitherm 6 mm. Periodo estivo ore 12:00

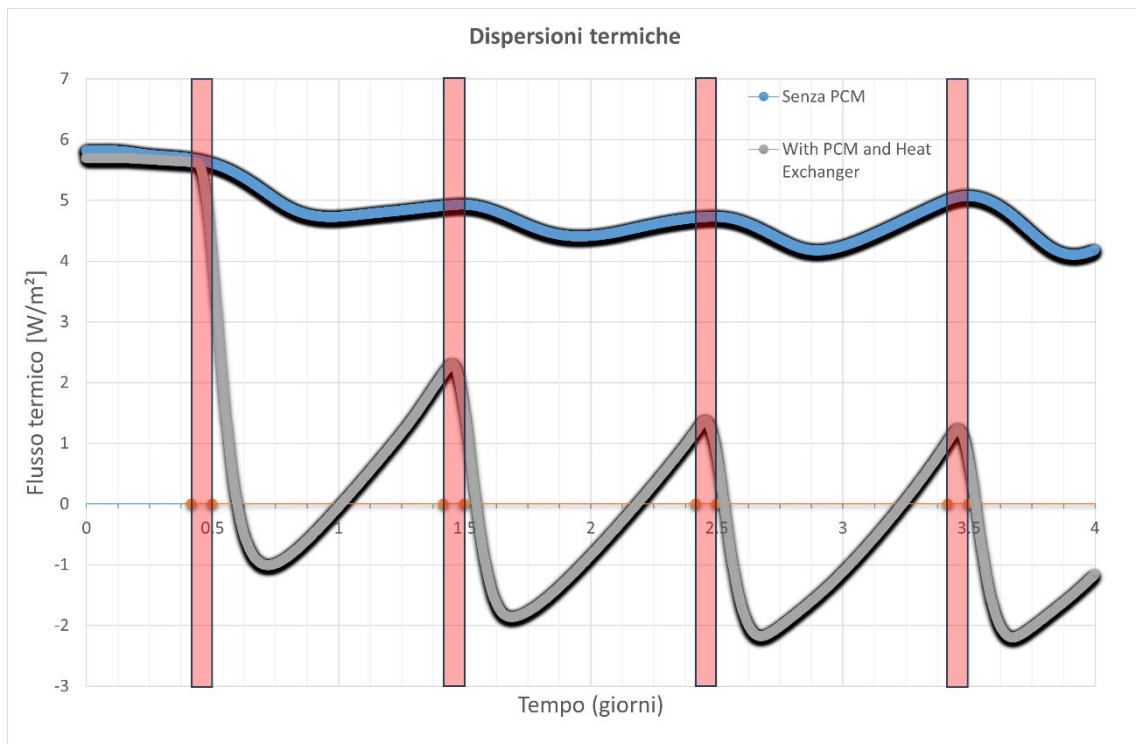


Figura 24 - Flusso termico periodo invernale PCM ENRG BLANKET 6 mm

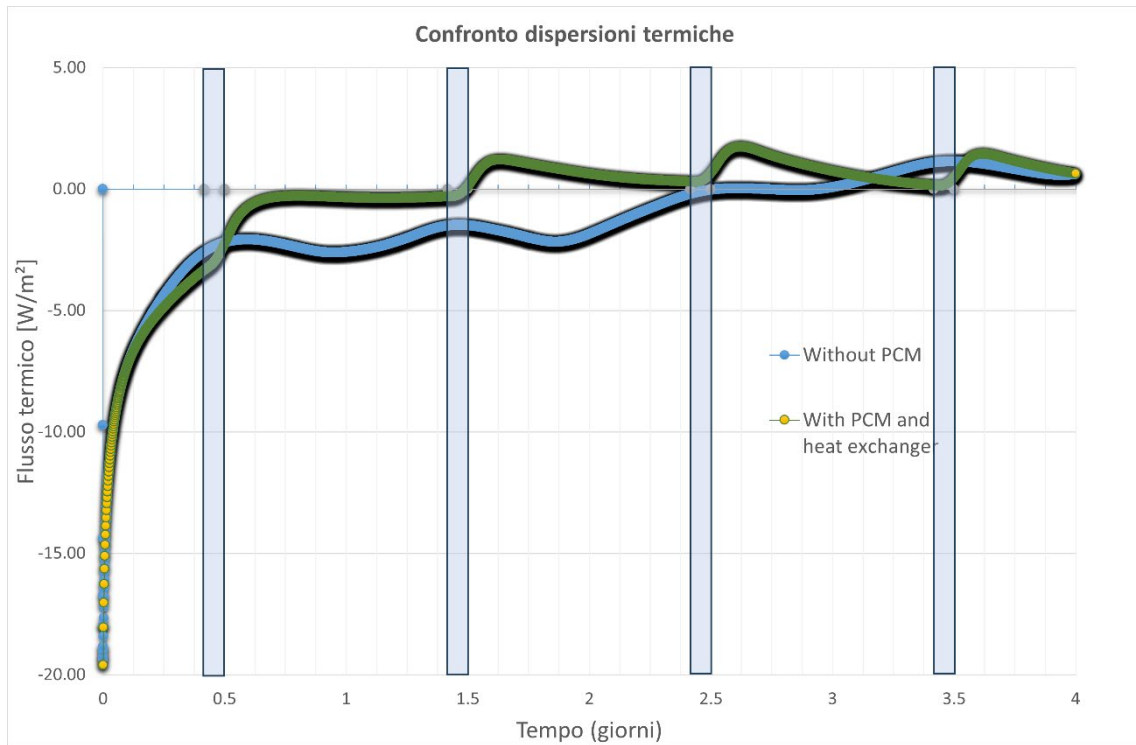


Figura 25 - Flusso termico periodo estivo PCM ENRG BLANKET 6 mm

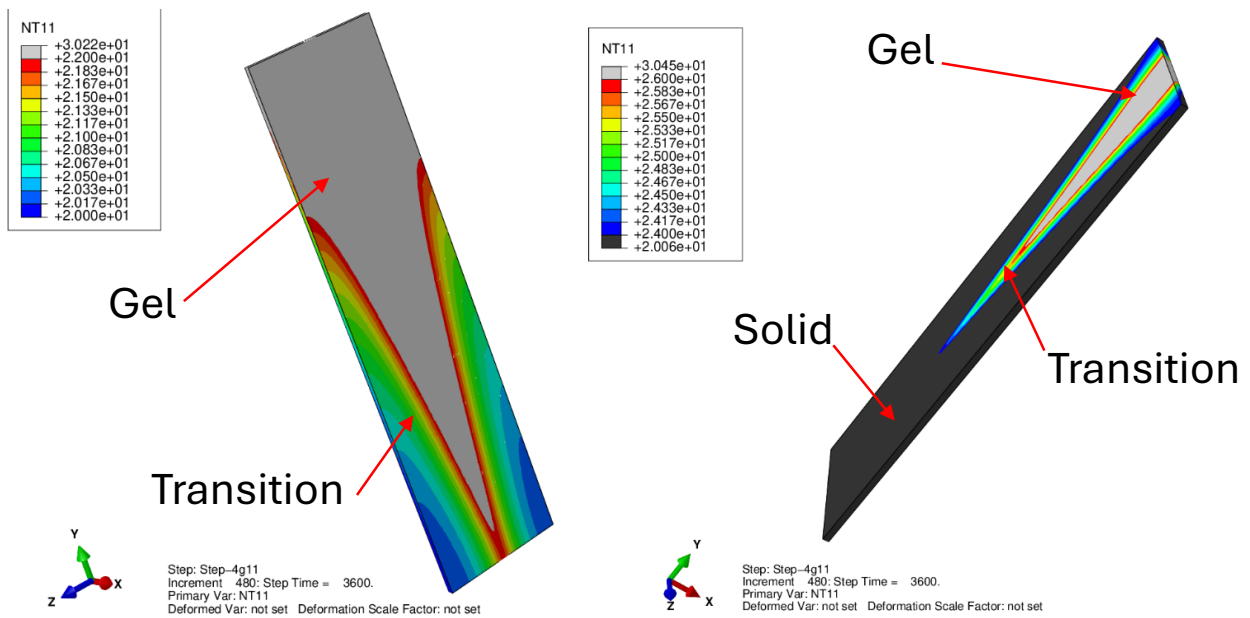


Figura 26 - Stato PCM- e PCM+. ENRG BLANKET 6 mm. Periodo invernale ore 12:00

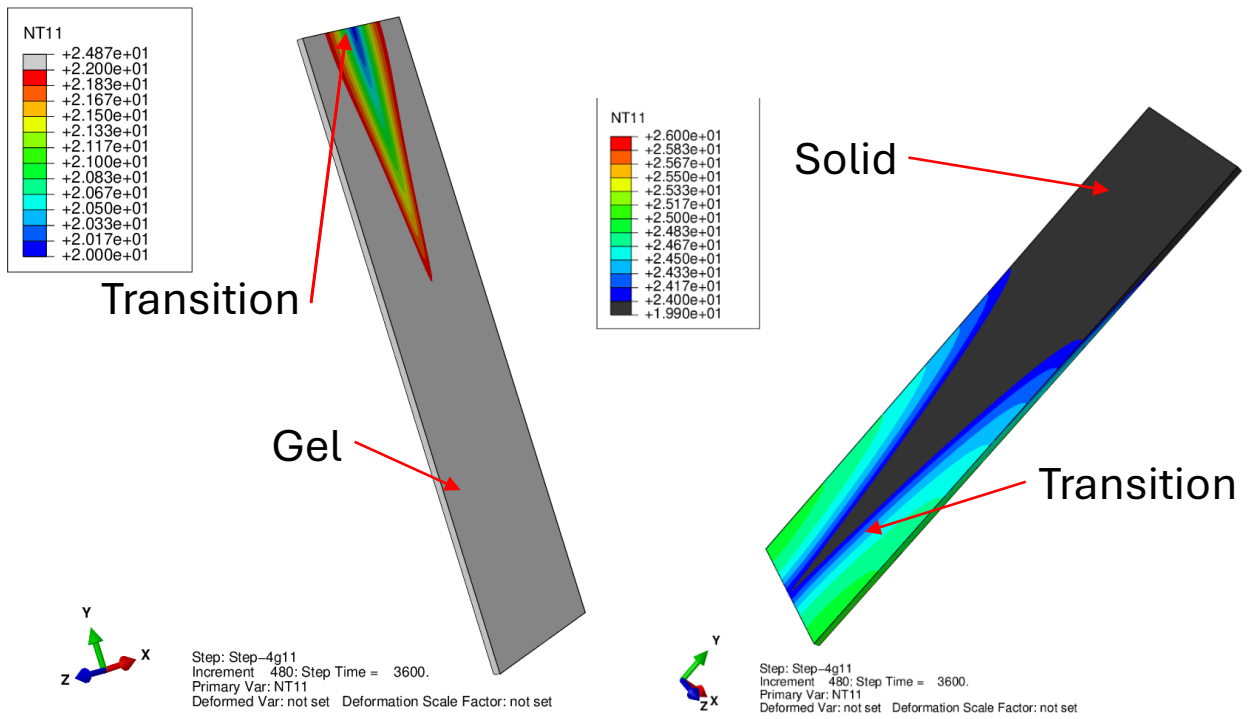


Figura 27 - Stato PCM- e PCM+. ENRG BLANKET 6 mm. Periodo estivo ore 12:00

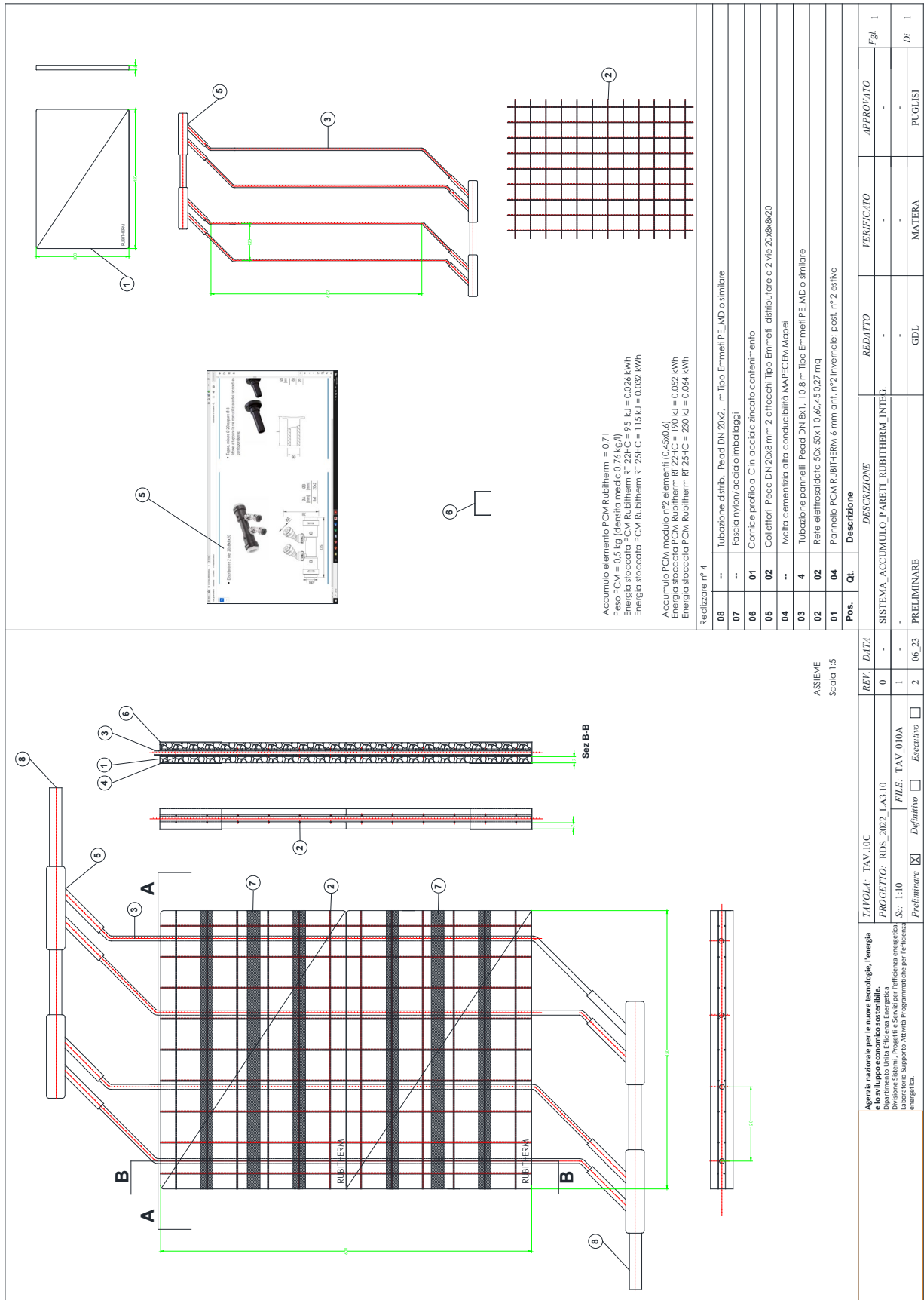


Figura 28 - Costruttivo accumulo planare integrato Rubitherm RT 22/25

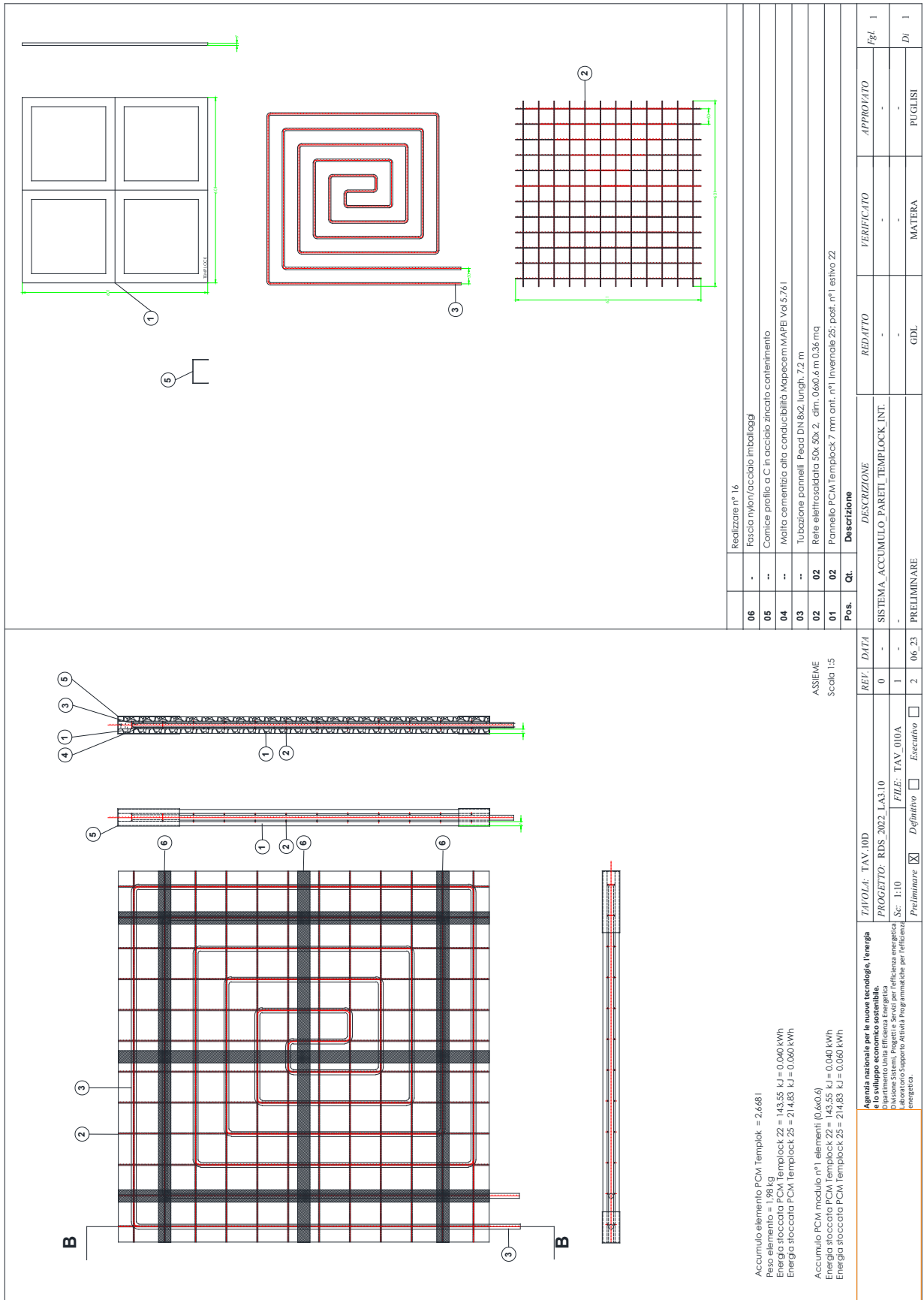


Figura 29 - Costruttivo accumulo planare integrato Templock RT 22/25

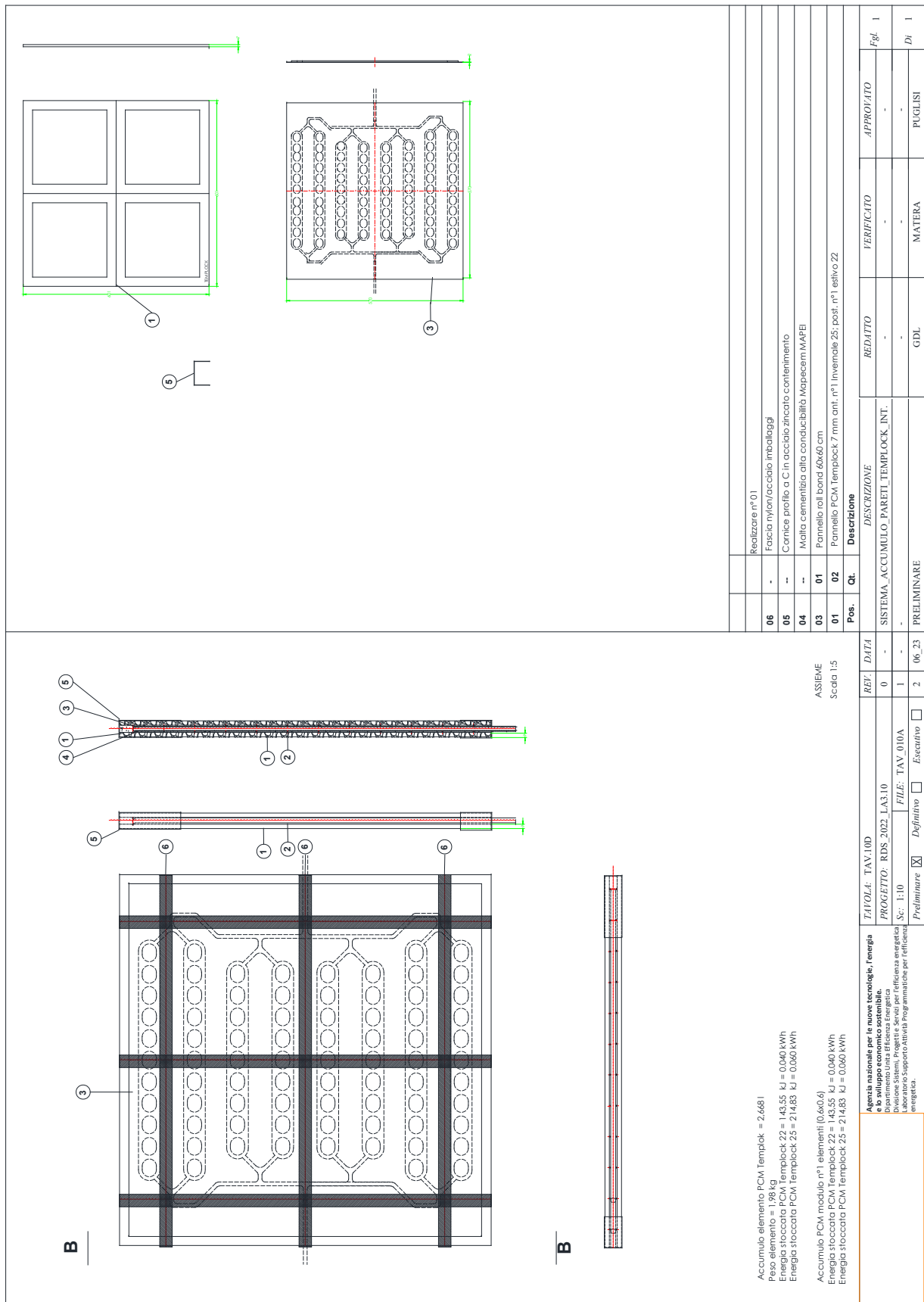


Figura 30 - Costruttivo accumulo planare integrato Templock 22/25-roll bond

7.2.2 Accumulo non integrato

Nell'accumulo termico planare non integrato, l'accumulo termico non è attivo nei flussi termici della parete multistrato. L'accumulo planare non integrato differisce sostanzialmente dall'accumulo integrato per l'inserimento di pannelli isolanti e per il materiale PCM impiegato. Il pannello simulato si basa su di un modulo di dimensioni 60x120 cm costituito da uno scambiatore inserito tra due pannelli PCM per accumulo caldo e freddo, il tutto racchiuso da pannelli di isolanti. Le Figura 31, Figura 32 riportano il modello geometrico adiabatico e isolato.

Il comportamento è dipendente dalla composizione; l'analisi termica è stata effettuata con riferimento alla seguente stratigrafia: isolante 20 mm, materiale a cambiamento di fase (PCM) (a temperatura di fusione alta, accumulo caldo), uno scambiatore di calore, materiale a cambiamento di fase PCM (a temperatura di fusione bassa, accumulo freddo) di dimensione 60x60 cm. Come scambiatori di calore possono essere impiegati differenti tipologie roll-bond, pillow plate, serpentine. Per mere ragioni di risorse di calcolo lo scambiatore di calore impiegato è a tubi paralleli con portate di fluido termovettore uguali ed equiverse annegati in malta cementizia. La Tabella 4 riporta i principali dati e condizioni al contorno. La simulazione è stata condotta con suite Comsol. Nella simulazione sono stati analizzati il flusso termico scambiato dal fluido termovettore, il salto termico del fluido termovettore, l'indice di liquefazione (frazione PCM cambiato fase). Le Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36 riportano potenza termica, salto termico, indice di liquefazione e la mappa di temperatura per carica invernale adiabatico. Le Figura 37, Figura 38, Figura 39, Figura 40 riportano potenza termica, salto termico, indice di liquefazione e la mappa di temperatura per scarica estiva adiabatica. La Figura 41 riporta il raffronto tra potenza scambiata nella fase di carica invernale tra assetto adiabatico ed assetto isolato. I dati raccolti hanno permesso di stimare il coefficiente di scambio termico dell'acqua nei tubi che è risultato pari a $248 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$.

Sulla base dei risultati è stato progettato il componente di accumulo termico planare non integrato costituito da un pannello "multilayer" modulare di dimensioni 60x120 cm costituito da una cornice che contiene uno scambiatore di calore posto tra due pannelli di materiale PCM (accumulo caldo), PCM (accumulo freddo). Sono stati selezionati 2 diversi PCM e scambiatore rollbond. Le Figura 42, Figura 43 mostrano i costruttivi.

	Materiali PCM	Spessore PCM	Passo tubi Ø8x1 L = 1.2 m	Portata	Tmandata
Caldo	Croda Therm 37	5-10-15 mm	100 mm	20-30 l/h	42°C
Freddo	Croda Therm 15	5-10-15 mm	100 mm	30 l/h	20°C

Tabella 4 - Casi considerati nelle simulazioni numeriche

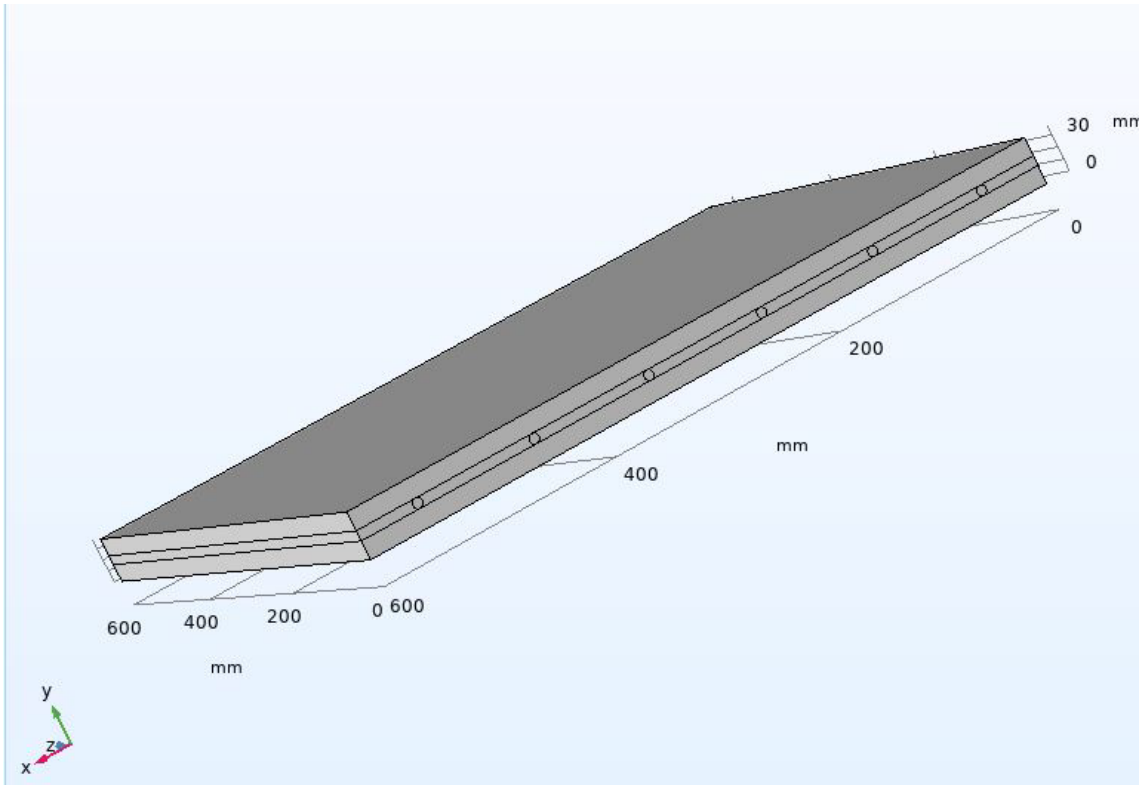


Figura 31 - Modello geometrico adiabatico

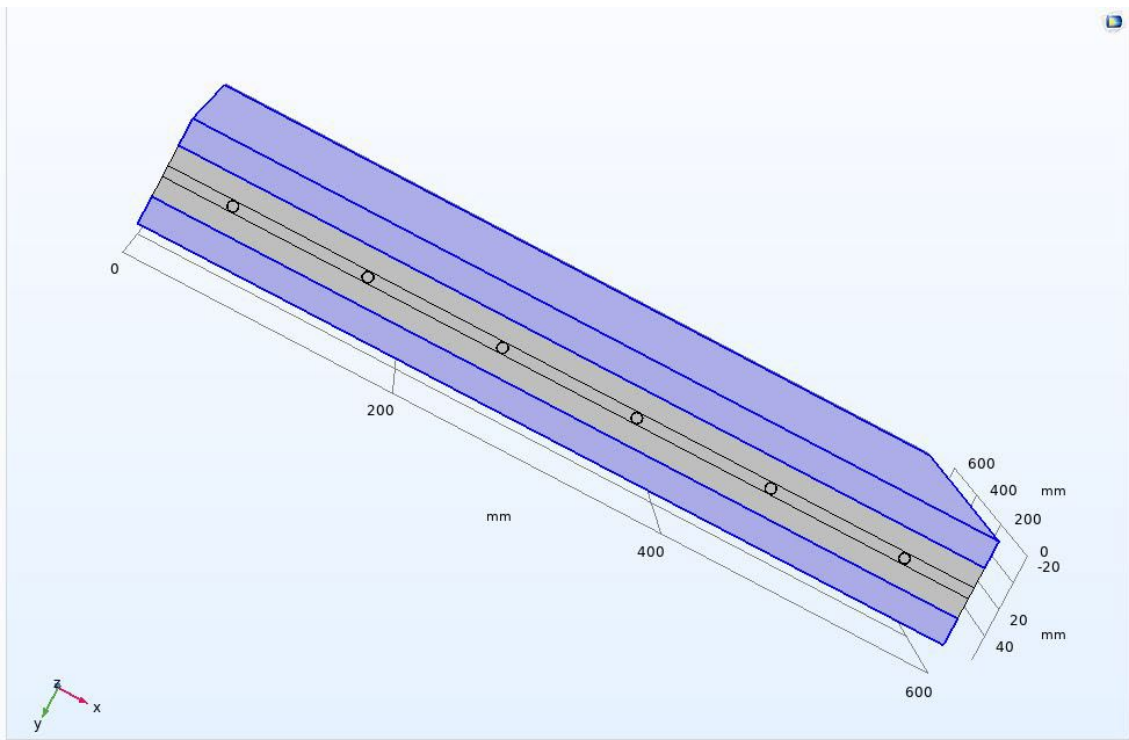


Figura 32 - Modello geometrico con isolante

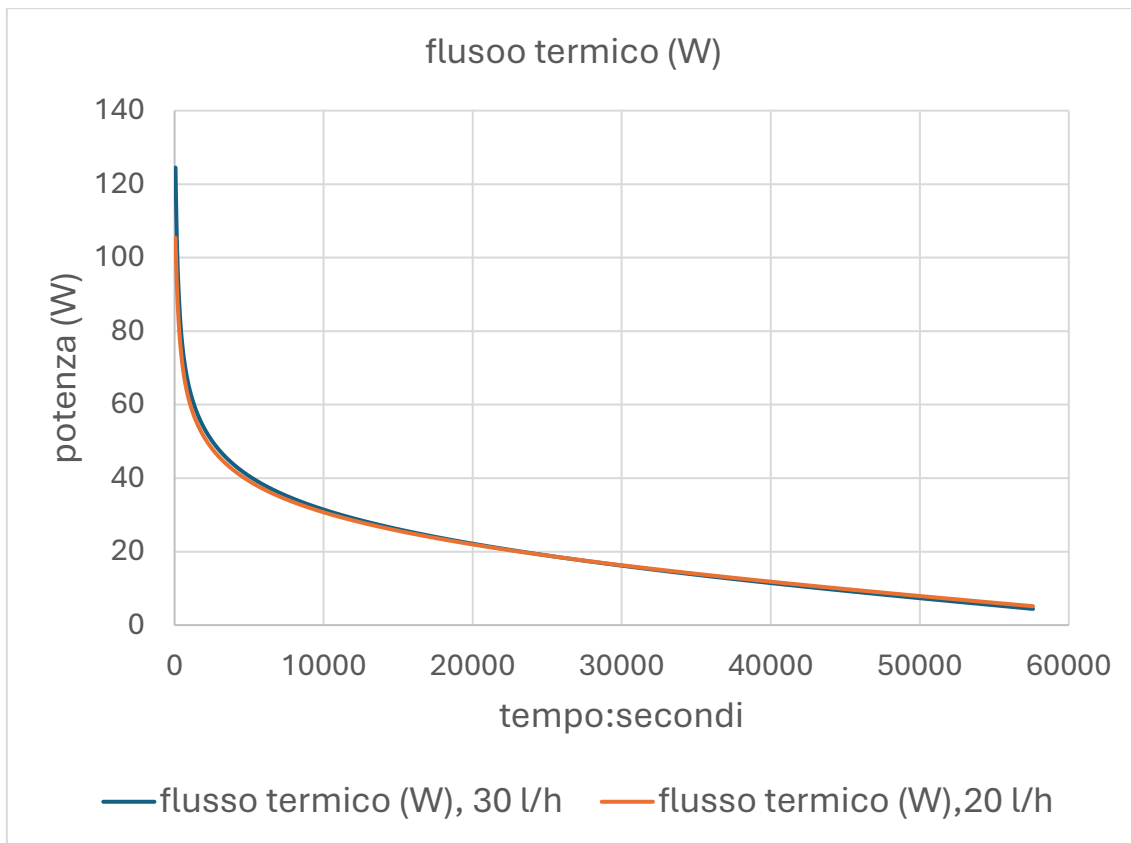


Figura 33 - Potenza termica scambiata sistema fase carica invernale adiabatico, 15 mm.

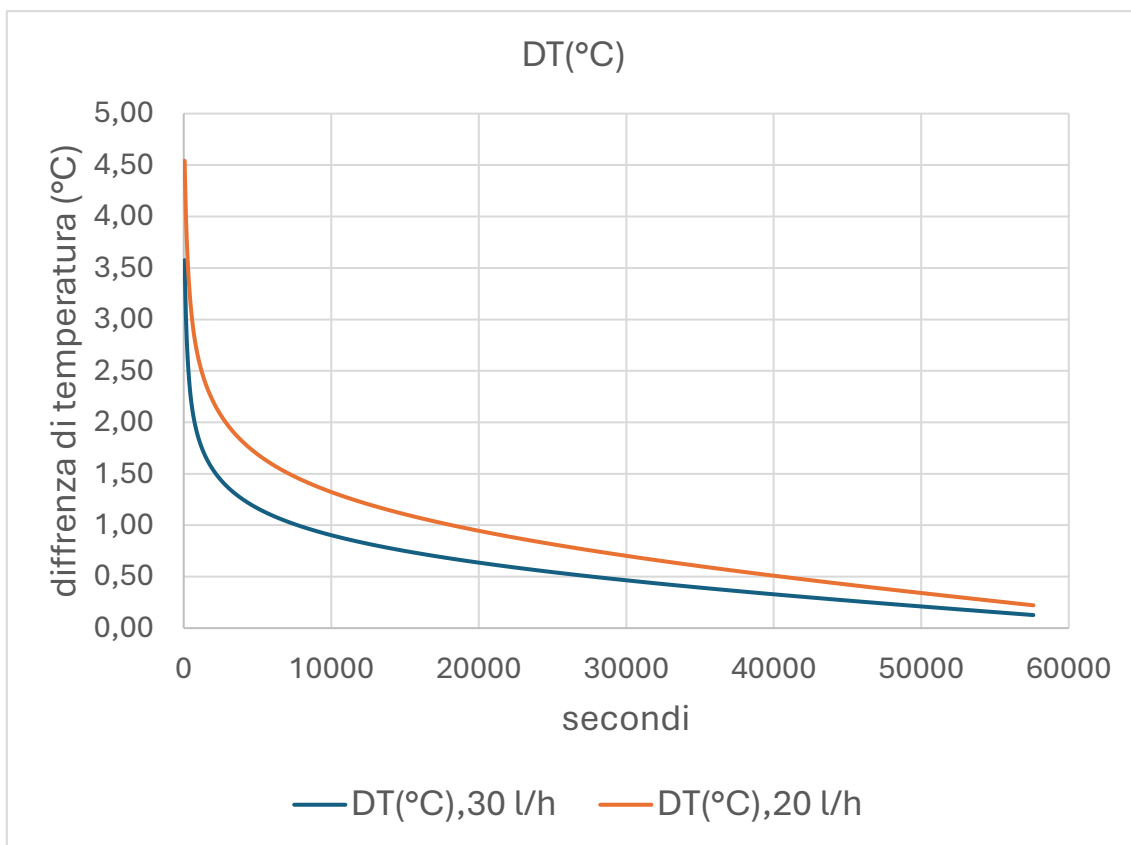


Figura 34 - Salto termico fluido termovettore fase carica invernale adiabatico, 15 mm

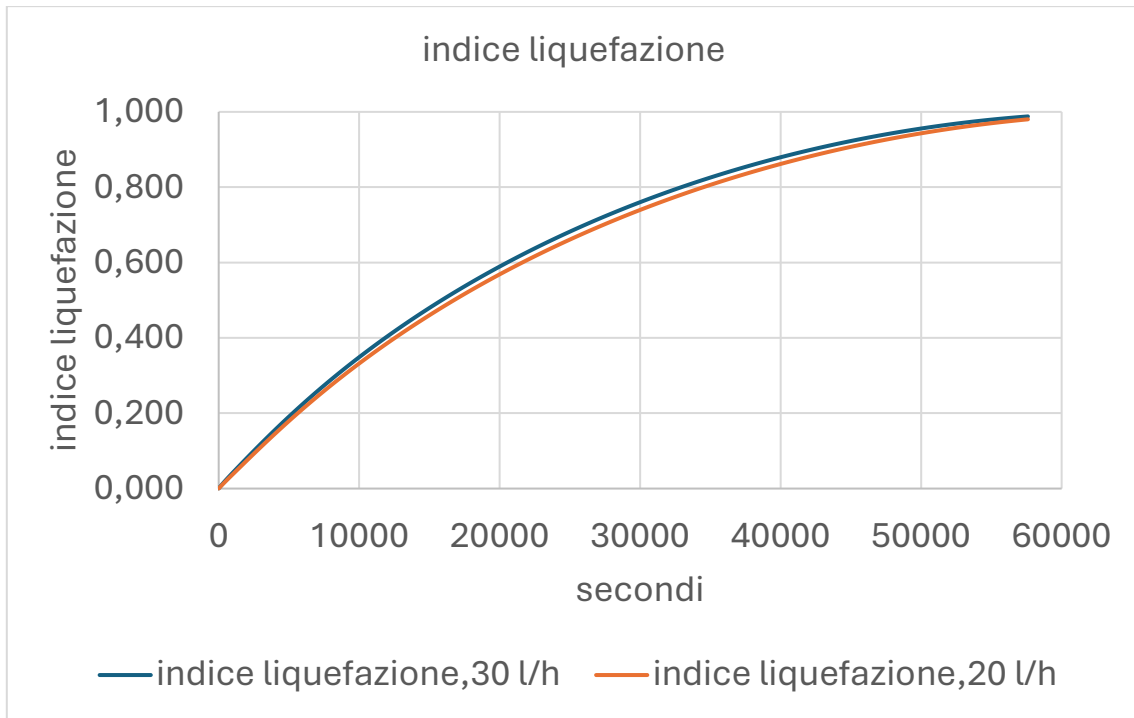


Figura 35 - Indice liquefazione fase carica invernale adiabatico, 15 mm

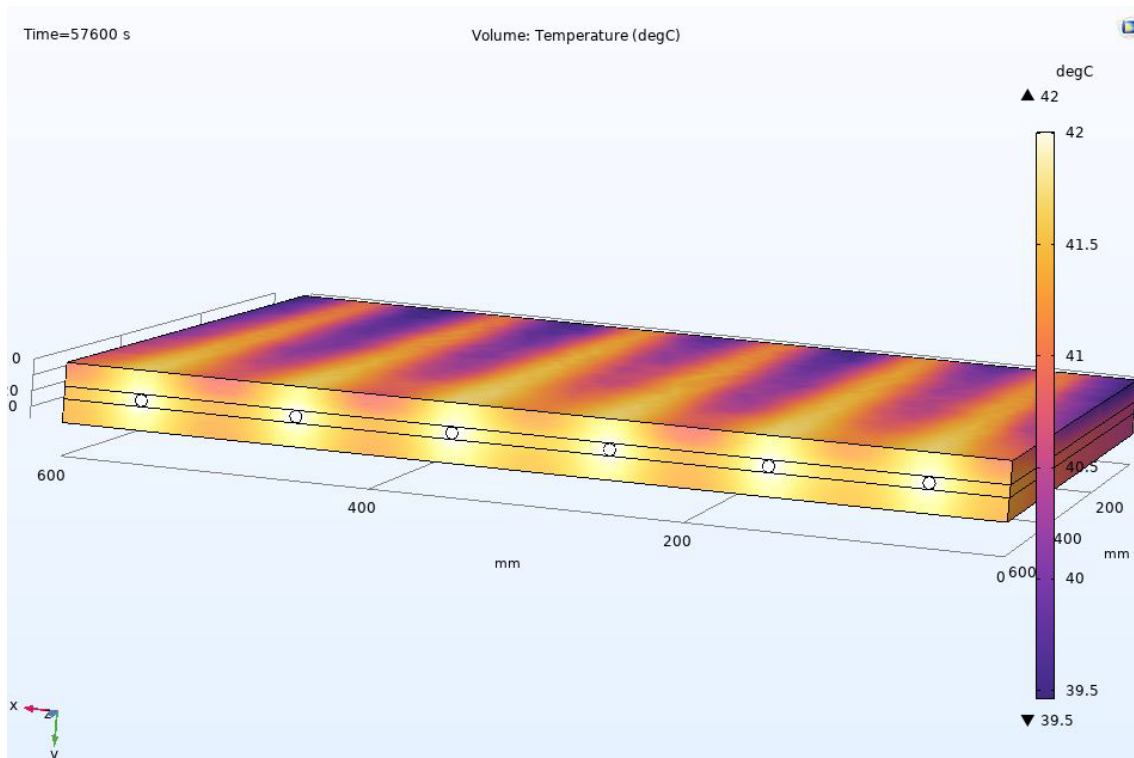


Figura 36 - Mappa temperature fase carica invernale adiabatico, 15 mm

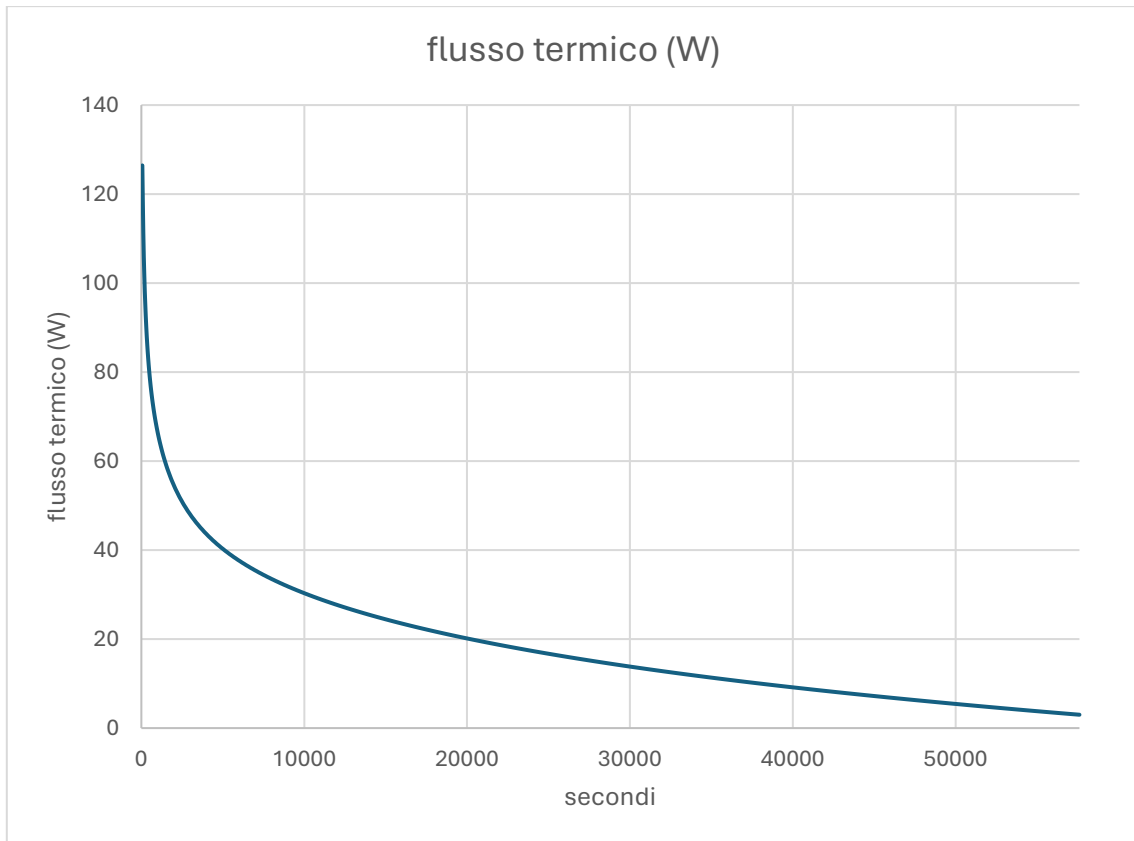


Figura 37 - Potenza termica scambiata sistema fase scarica estivo adiabatico, 15 mm

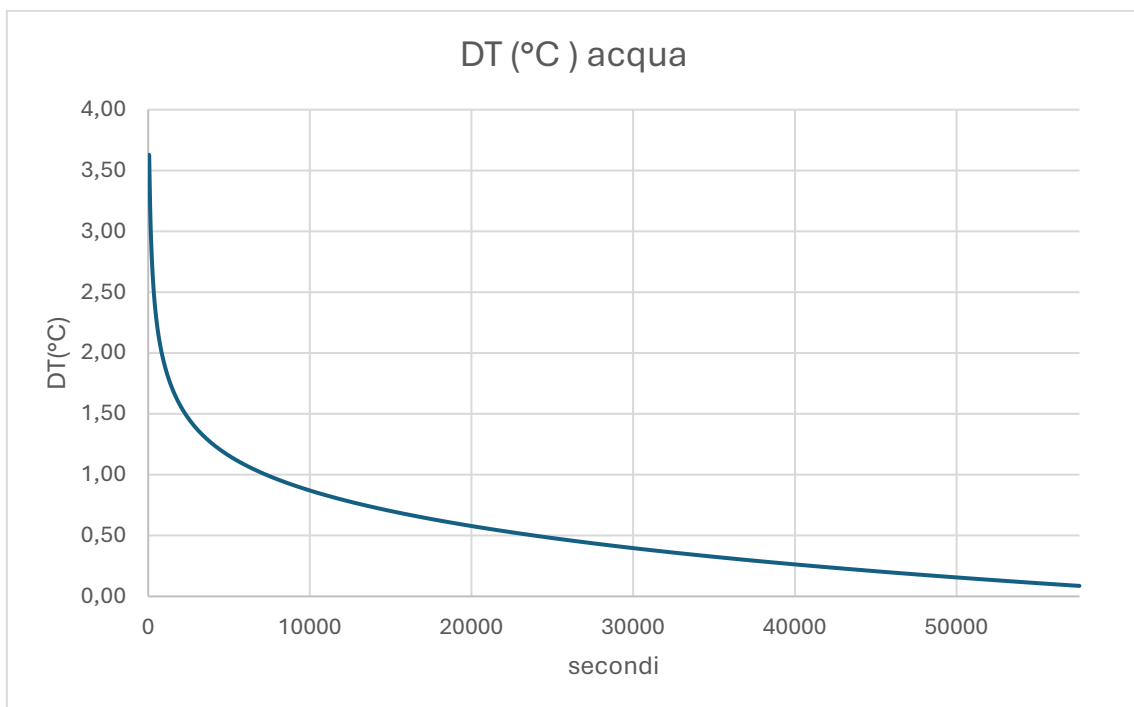


Figura 38 - Salto termico fluido termovettore fase scarica estivo adiabatico, 15 mm

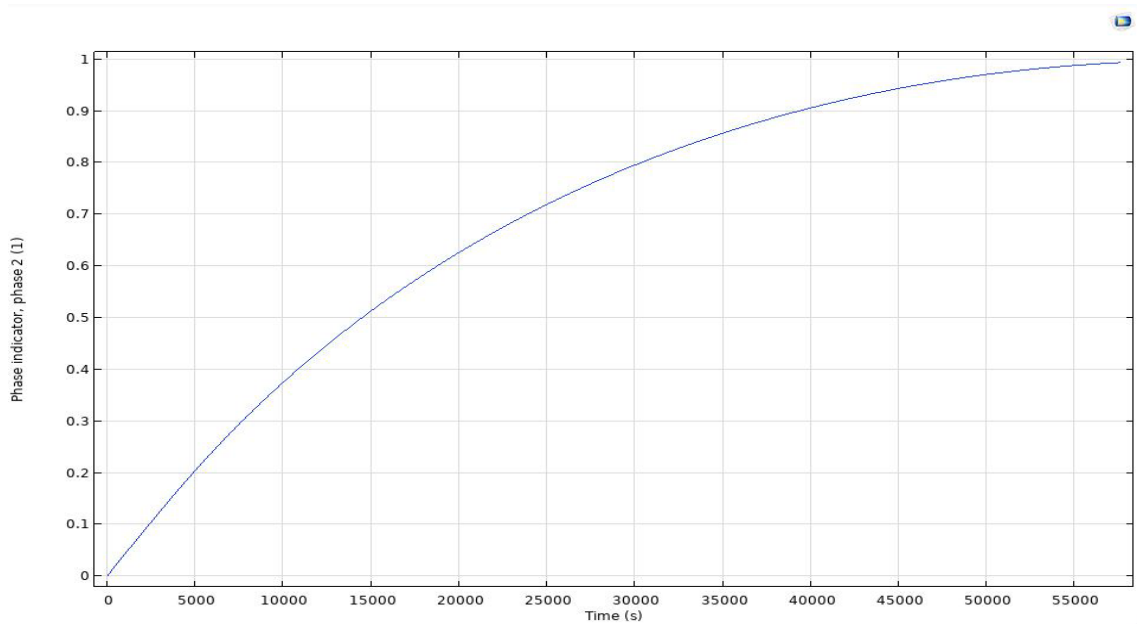


Figura 39 - Indice liquefazione fase scarica estivo adiabatico

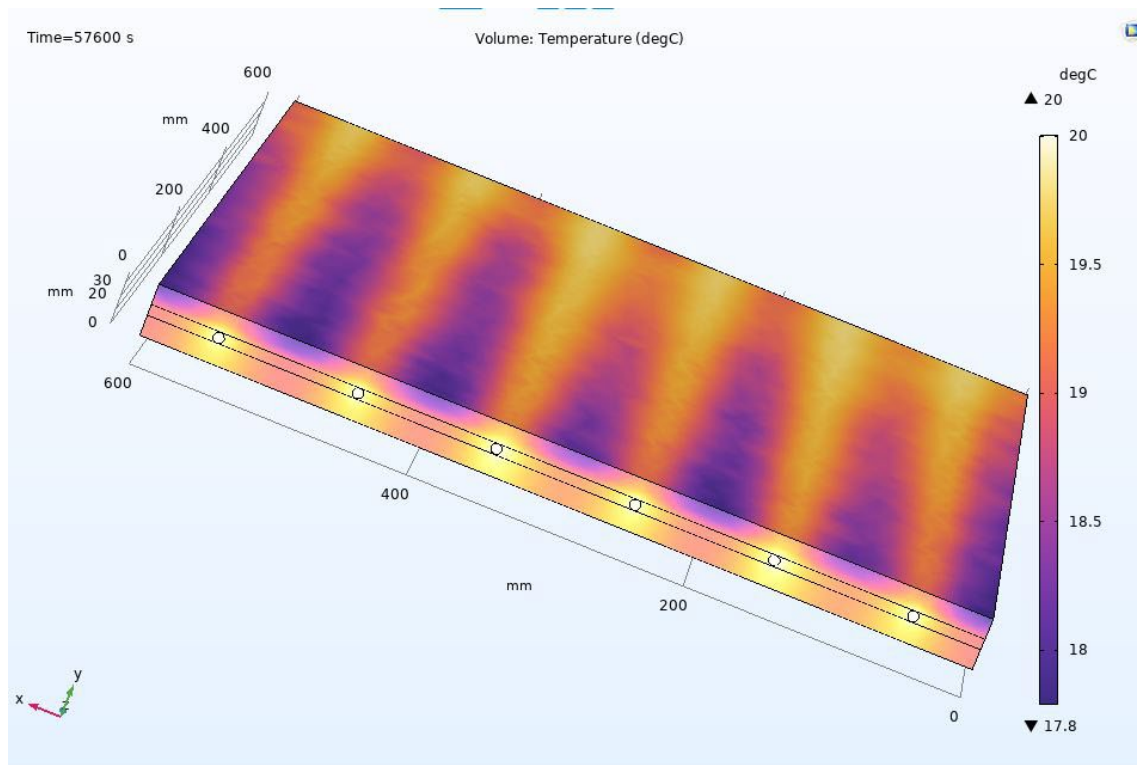


Figura 40 - Mappa temperature fase scarica estiva adiabatico, 15 mm

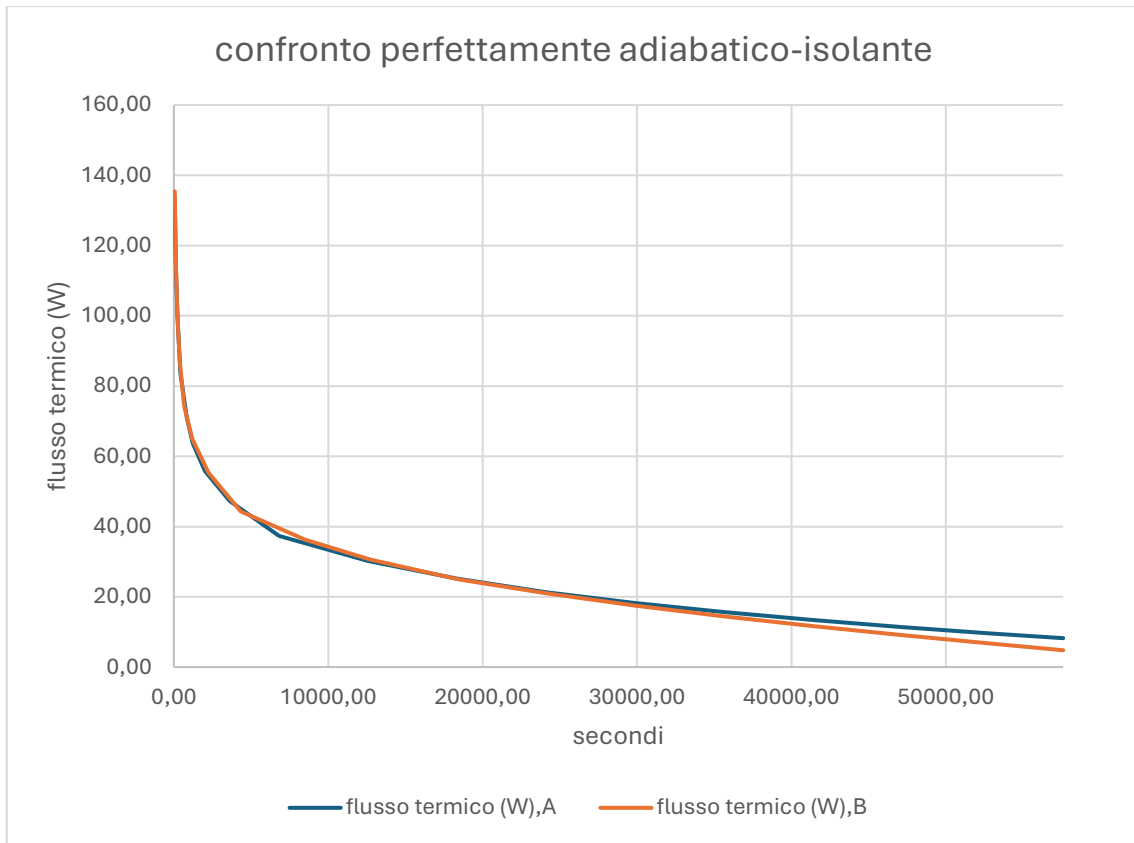


Figura 41 - Raffronto flussi termici fase carica invernale adiabatico/isolato, 15 mm

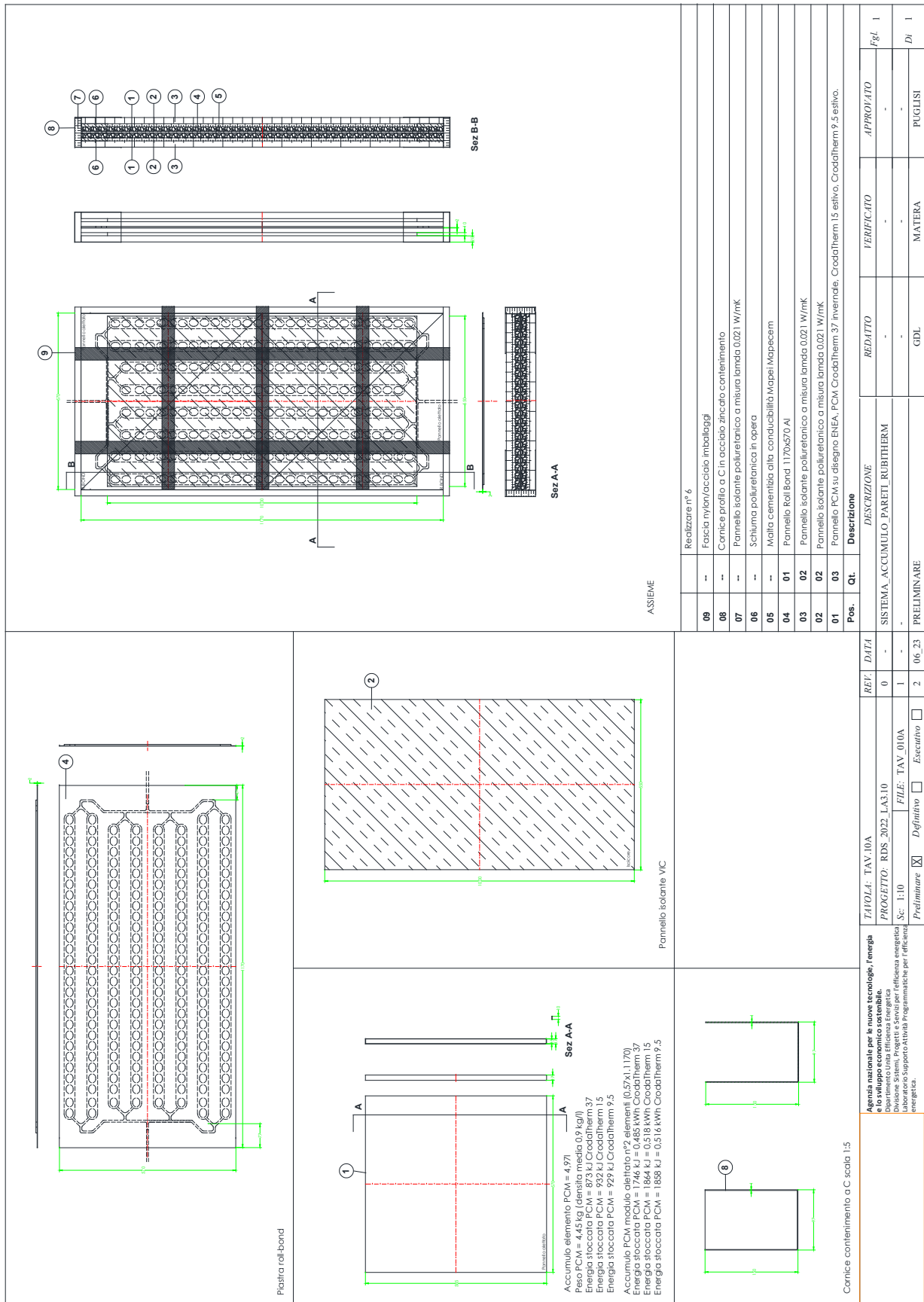


Figura 42 - Costruttivo accumulo planare non integrato Croda Therm 37/15

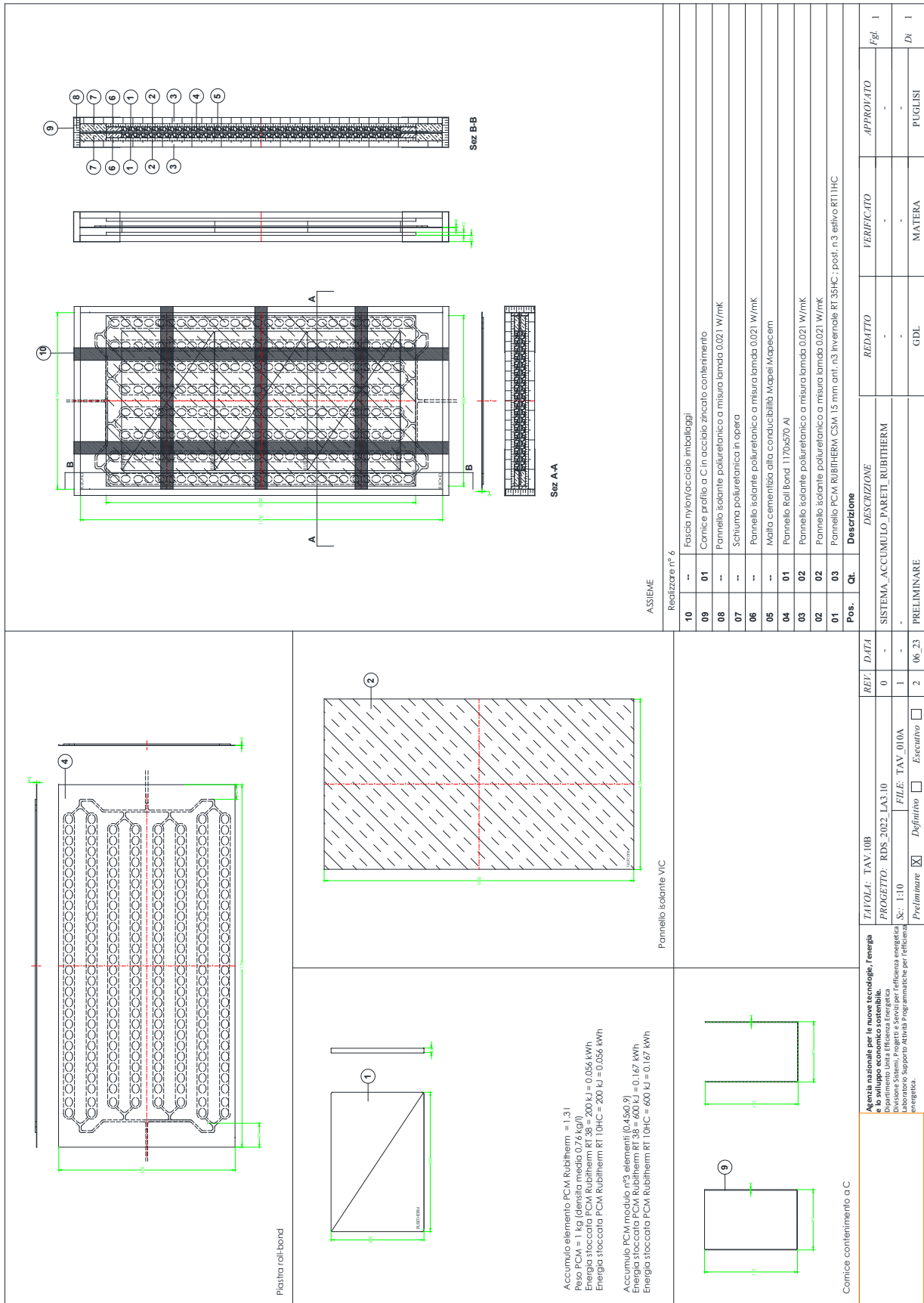


Figura 43 - Costruttivo accumulo planare non integrato Rubitherm 35HC / 11HC

7.3 Progetto del test rig sperimentale costituito da una porzione di circa 20 m² di una unità immobiliare, realizzato con pareti responsive a trasmittanza termica variabile e dotate di accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase e impianto di climatizzazione

Il test rig è stato realizzato in un locale esistente al piano attico di un edificio attualmente in uso al CCEI ENEA di BARI, ad uso deposito. Il locale presenta due aperture una per l'accesso dal vano scale ed una finestra rivolta a Ovest. Le Figura 44 e Figura 45 riportano i prospetti Est ed Ovest dell'edificio, mentre la planimetria dello stato di fatto è riportata nella Figura 46. La superficie in pianta è pari a 27 m², l'altezza è pari a 3.15 m. Le pareti con esposizione Est, Ovest e Sud perimetrali sono dedicate alla riqualificazione con mediante sistemi a trasmittanza termica variabile e/o con accumulo e misurano complessivamente 18 m. Il locale è stato caratterizzato ed effettuata un'analisi termica stazionaria e dinamica secondo UNI TS 11300 ed UNI EN ISO 52016. Le superfici esterne sono state coibentate per avere una struttura con ridotta capacità di scambio termico in linea con gli standard previsti dal D.M. 26/06/15 "Requisiti minimi". La Figura 47 riporta la planimetria di progetto dell'integrazione dei pannelli sperimentali. Le Figura 48, Figura 49, Figura 50 riportano il progetto costruttivo della realizzazione delle pareti sperimentali. Il test rig si completerà con l'impianto di riscaldamento e climatizzazione estiva azionato da una pompa di calore aria acqua a tecnologia inverter, utilizzabile per l'impiego ad alta temperatura. L'energia termica è distribuita mediante una rete di distribuzione orizzontale con tubazione in acciaio zincato/multistrato coibentata. La distribuzione comprenderà diversi circuiti idraulici per alimentare in maniera flessibile: terminale idronico per riscaldamento e climatizzazione estiva, accumulo termico a PCM non integrato nella parete; accumulo termico PCM integrato nella parete. La distribuzione permetterà anche l'alimentazione del terminale e dell'accumulo integrato da parte dell'accumulo non integrato in maniera alternativa alla pompa di calore. Le Figura 51, Figura 52 riportano lo schema funzionale dell'impianto termico, le Figura 53, Figura 54, Figura 55 le planimetrie della distribuzione.

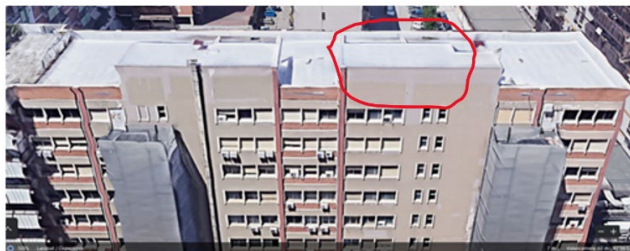


Figura 44 - Prospetto Est parete di test



Figura 45 - Prospetto Ovest parete di test

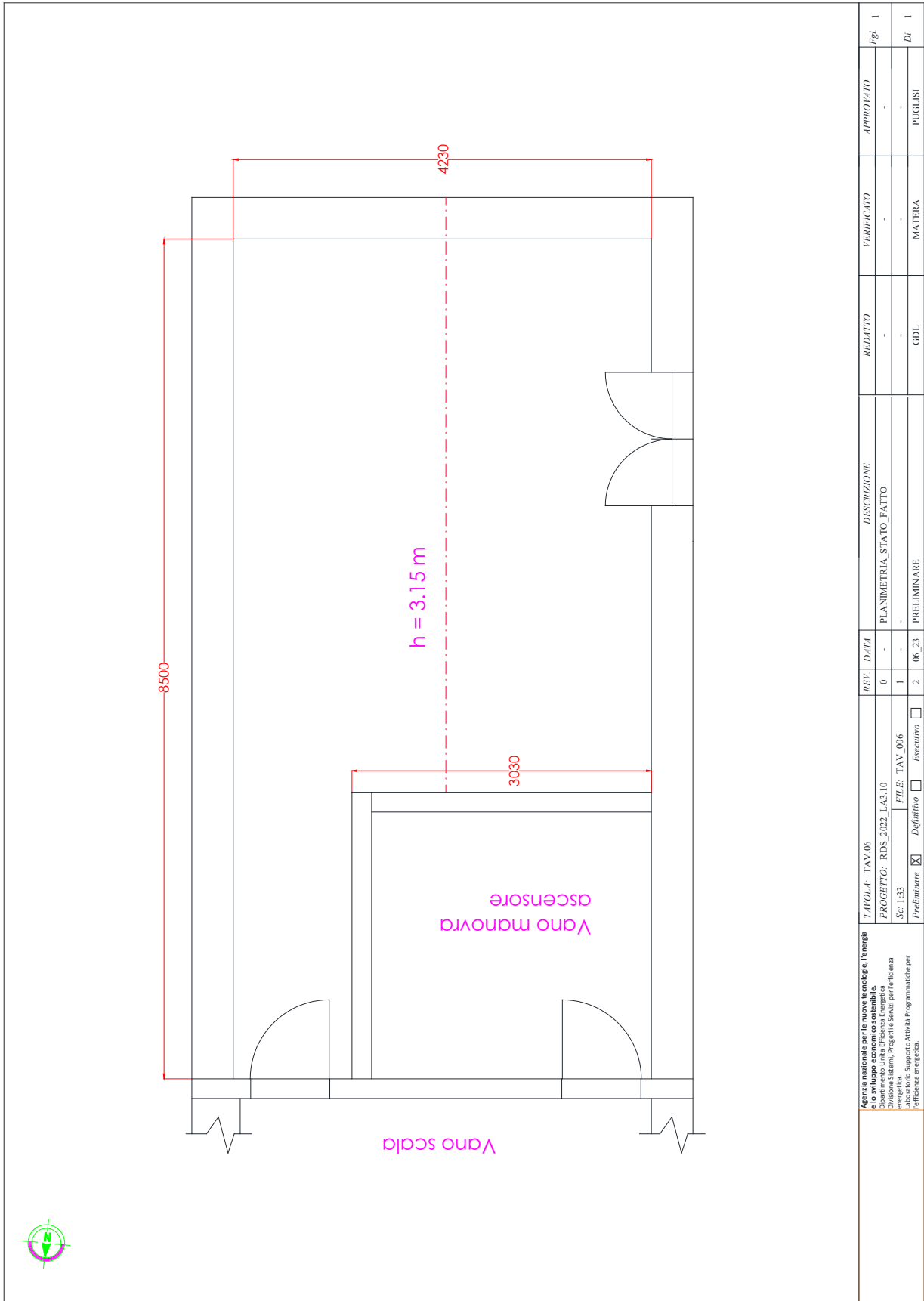
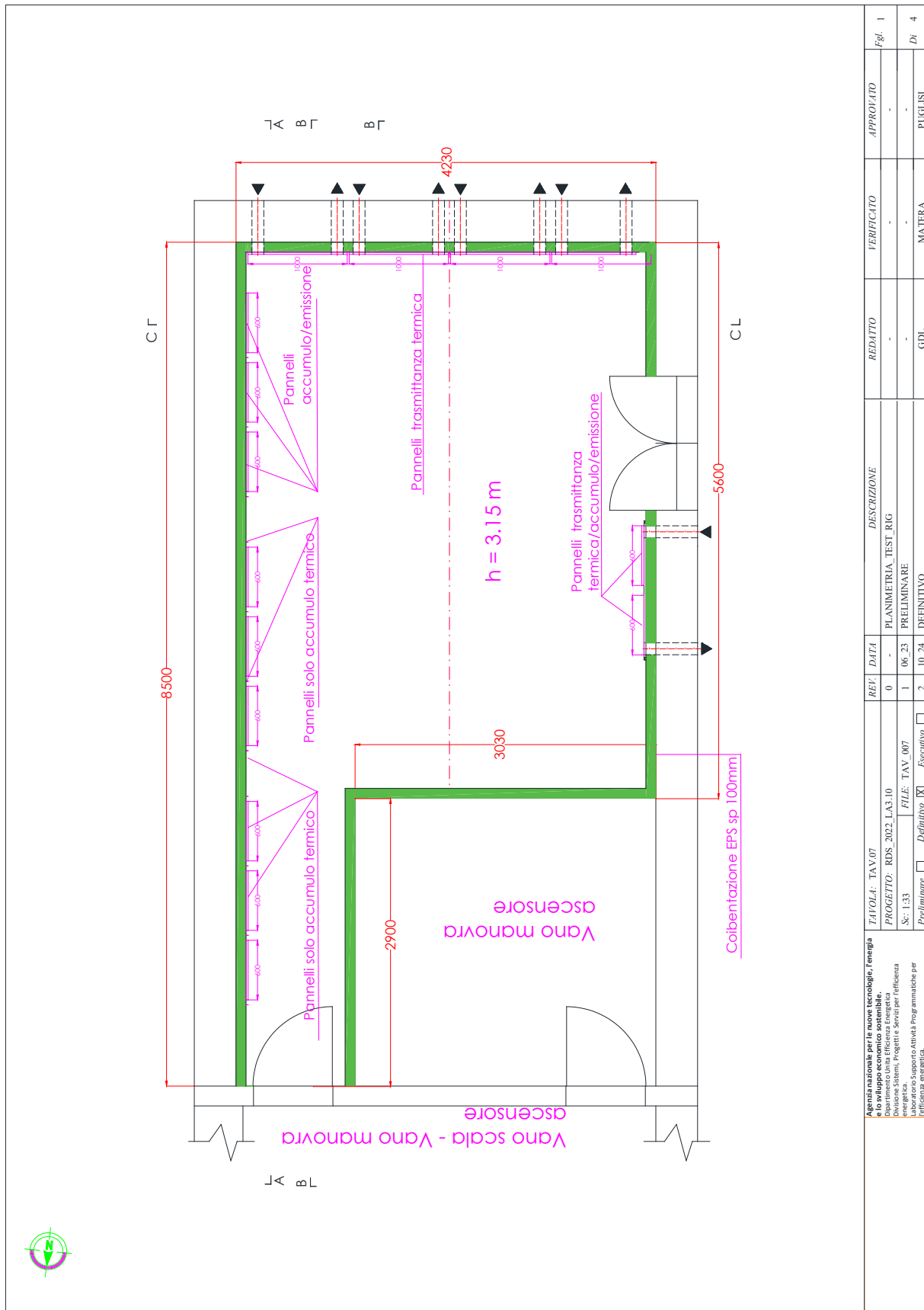


TAVOLA: TAV.06		REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	Fig. 1
PROGETTO: RDS_2022_LA3.10		0	-	PLANIMETRIA_STATO_FATTO	-	-	-	-
SC: 1.33		1	-		-	-	-	-
FILE: TAV_006		2	06_23	PRELIMINARE	GDL	MATERA	PUGLISI	Di 1
Definitivo <input type="checkbox"/> Esecutivo <input type="checkbox"/>								

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
 e lo sviluppo sostenibile
 Dipartimento Energia
 Divisione Sistemi, Progetti e Servizi per l'efficienza
 energetica
 Laboratorio Supporto Attività Programmatiche per
 l'efficienza energetica.

Figura 46 - Planimetria dello stato di fatto



REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	-	PLANIMETRIA TEST_RIG	-	-	-
1	06_23	PRELIMINARE	-	-	-
2	10_24	DEFINITIVO	GDL	MATERA	PUGLISI

TITOLI: TAV.07 PROGETTO: RDS_2022_LA3.10 SC: 133 FILE: TAV_007 Preliminare <input type="checkbox"/> Definitivo <input checked="" type="checkbox"/> Esecutivo <input type="checkbox"/>	Agenzia nazionale per la nuova tecnologia, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Dipartimento Unità Efficienza Energetica Divisione Sistemi, Progetti e Servizi per l'efficienza energetica Laboratorio Supporto Attività Programmatiche per l'efficienza energetica.
---	--

Figura 47 - Planimetria dello stato di progetto

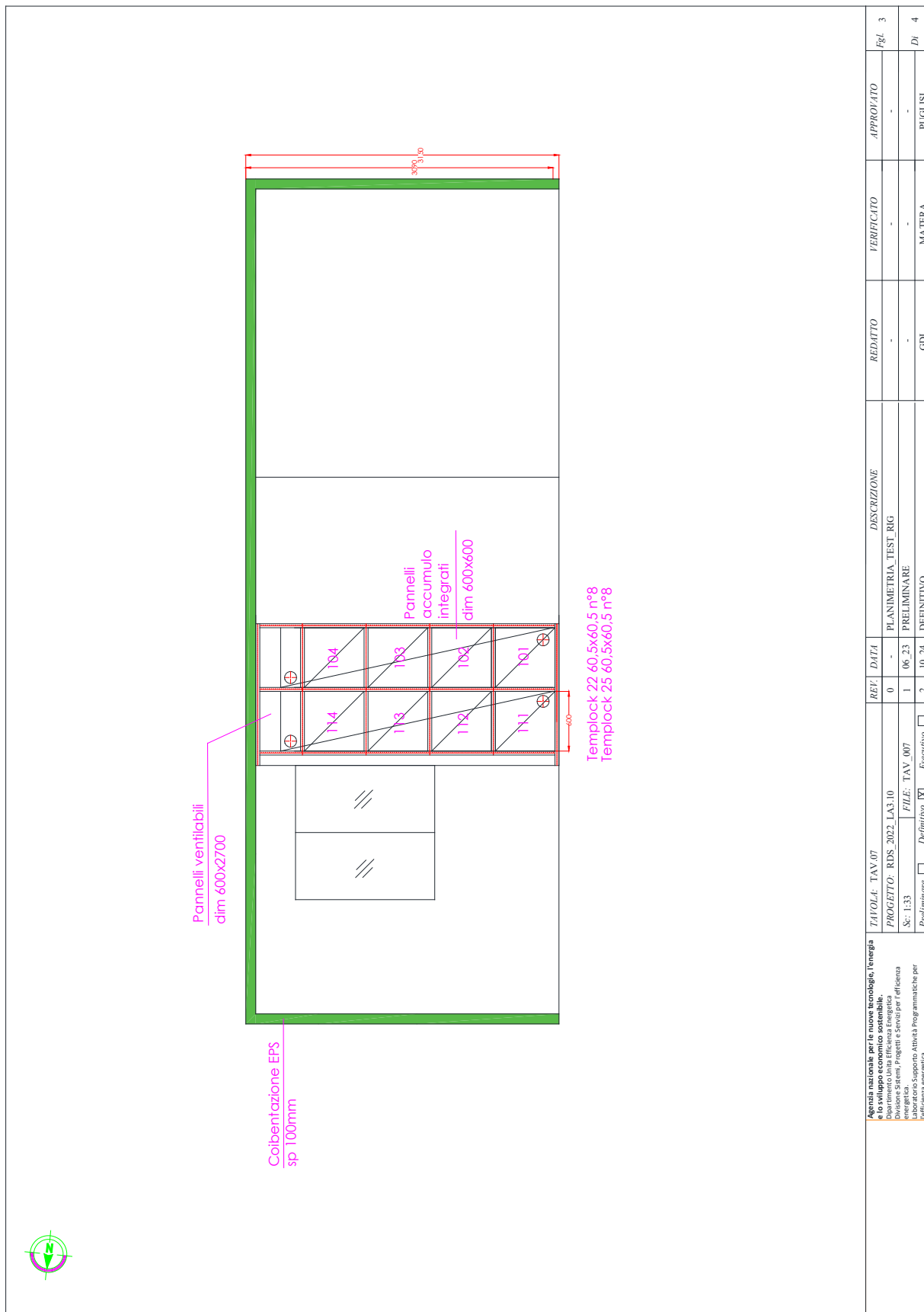


Figura 49 - Parete con accumulo termico e trasmittanza termica variabile, stato di progetto

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile Dipartimento Energia Divisione Sistemi, Progetti e Servizi per l'efficienza energetica Laboratorio Supporto Attività Programmatiche per l'efficienza energetica.		TAVOLA: TAV.07	REF. DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
PROGETTO: RDS_2022_LA3.10	FILE: TAV_007	0	-	PLANIMETRIA_TEST_RIG	-	-	-
SC: 1.33	<input type="checkbox"/> Preliminare <input checked="" type="checkbox"/> Definitivo <input type="checkbox"/> Esecutivo	1	06_23	PRELIMINARE	-	-	-
		2	10_24	DEFINITIVO	GDL	MATERA	PUGLISI

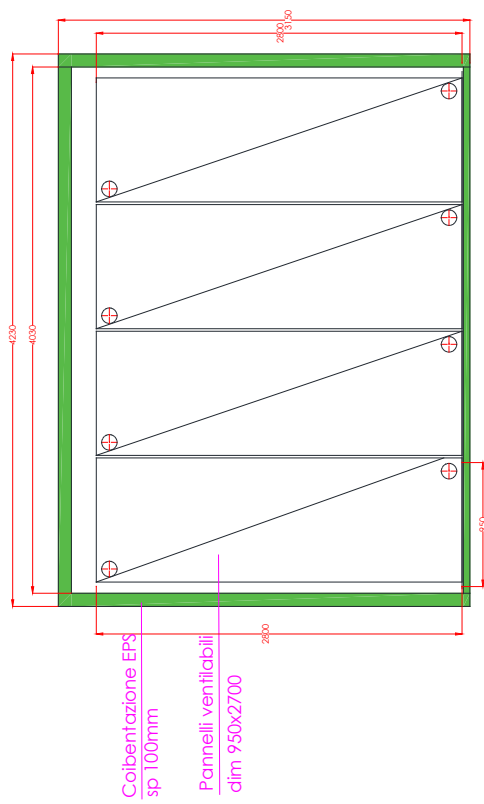


TAVOLA: TAV.07		REF:	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	Pg.
PROGETTO: RDS 2022 LA.3.10		0	-	PLANIMETRIA TEST RIG	-	-	-	3
Sc: 1:33		1	06_23	PRELIMINARE	-	-	-	
FILE: TAV_007		2	10_24	DEFINITIVO	GDI	MATERA	PUGLISI	4
Preliminare <input type="checkbox"/> Definitivo <input checked="" type="checkbox"/> Esecutivo <input type="checkbox"/>								

Agenda nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.
Divisione Sistemi, Progetti e Servizi per l'efficienza energetica.
Laboratorio Supporto Attività Programmatiche per l'efficienza energetica

Figura 50 - Parete a trasmittanza termica variabile, stato di progetto

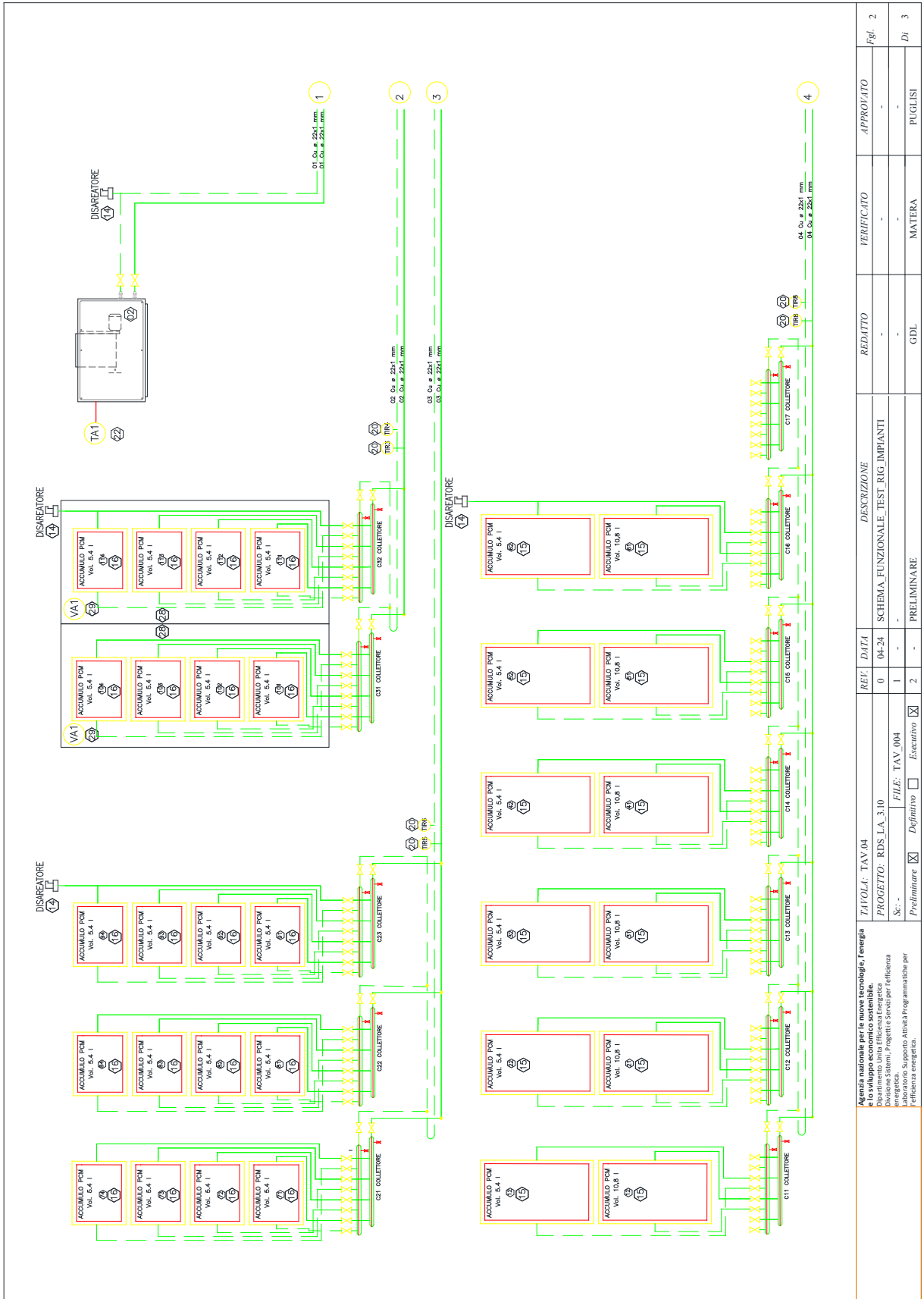


Figura 52 - Funzionale termico, stato di progetto 2-2

PROGETTO: RDS_LA_3.10	FILE: TAV_004	DESCRIZIONE	REDDITTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	04-24	SCHEMA FUNZIONALE TEST RIG IMPIANTI	-	-	Fig. 2
1	-	-	-	-	-
2	-	PRELIMINARE	GDL	MATERA	Di. 3

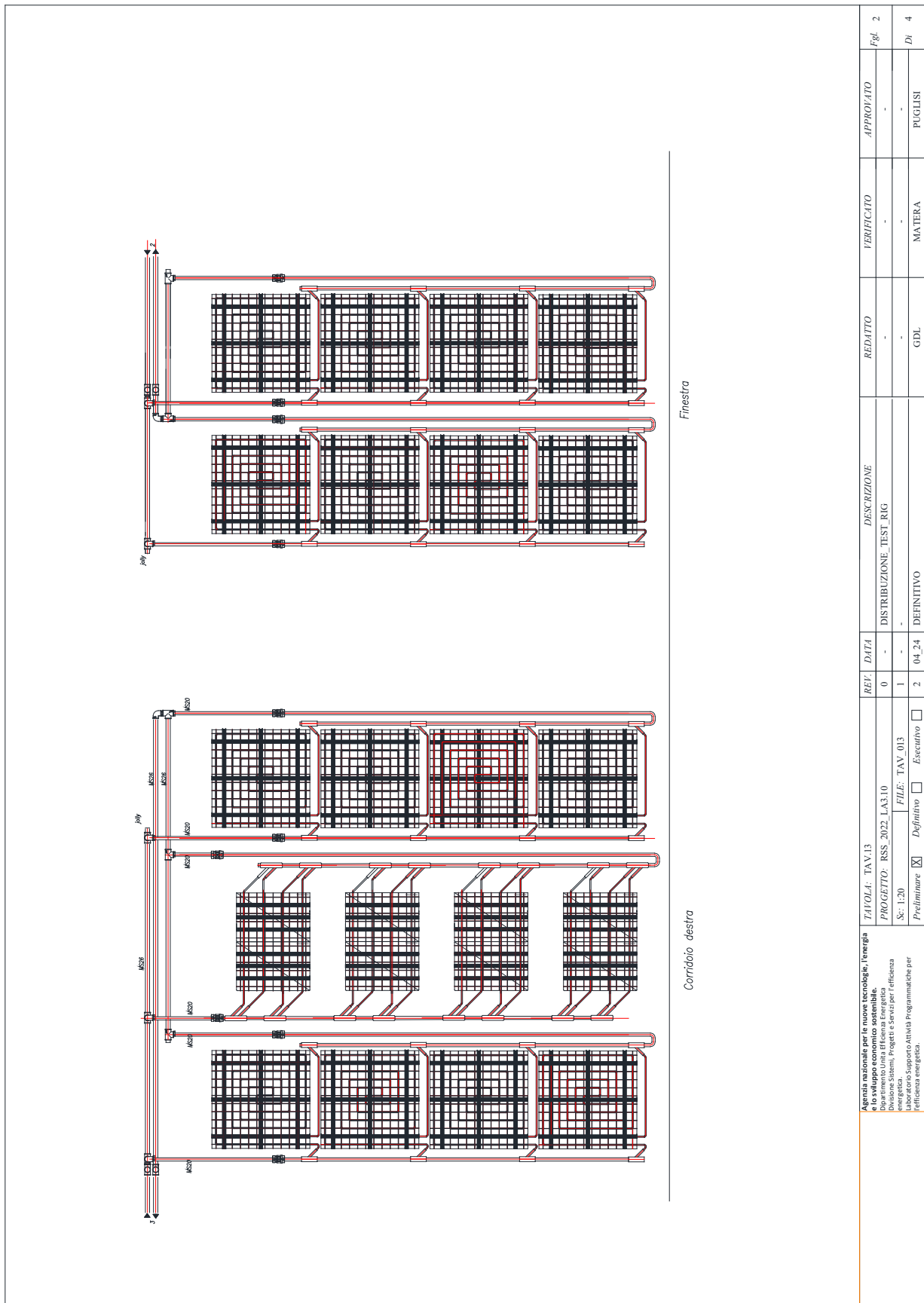


Figura 54 - Planimetria termico 2-3

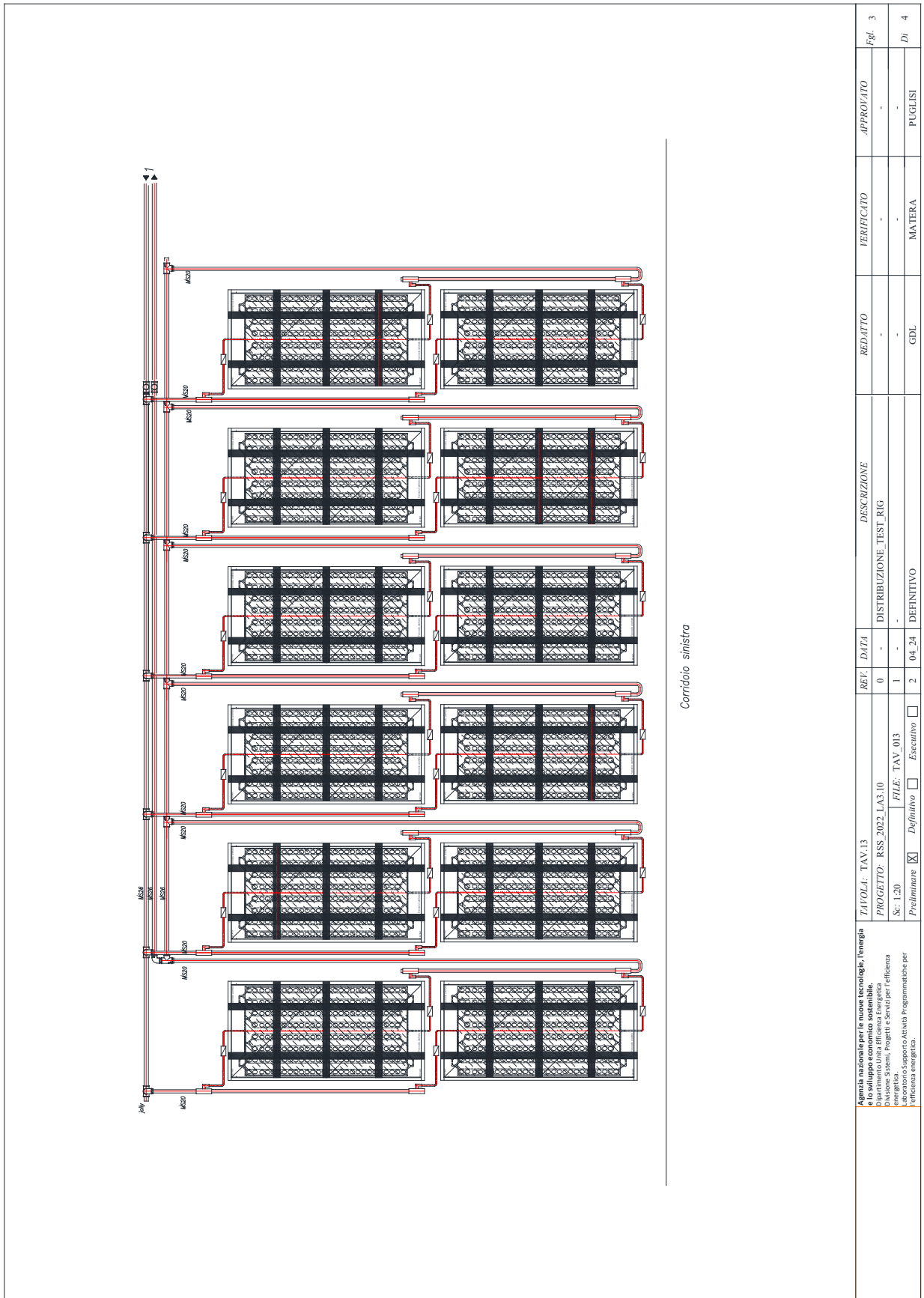


Figura 55 - Planimetria termico 3-3

7.4 Progetto delle catene di misura e dei sistemi di controllo

Il test rig è strumentato in funzione della verifica sperimentale delle condizioni di lavoro delle pareti perimetrali oggetto della sperimentazione, per la misura di flussi termici, trasmittanza termica, condizioni ambientali, condizionamento del locale, ecc. Il sistema di monitoraggio del test rig in cui le pareti perimetrali prevedono l'inserimento di pannelli per la ventilazione interna, accumulo termico integrato o meno, con riferimento alle catene di misura riportate nella Figura 56, comprende i seguenti sottosistemi:

1. Hardware per acquisizione dati: questo dispositivo gestisce i dati provenienti dai sensori e li registra per analisi e monitoraggio. Software di monitoraggio: consente di visualizzare, registrare e analizzare i dati provenienti dai sensori; il software può fornire grafici, report e avvisi per identificare eventuali anomalie o prestazioni non ottimali del sistema.
2. Strumentazione da campo riportate nelle planimetrie di cui alle Figura 57, Figura 58, Figura 59, Figura 60 costituita da:
 - a) sensori di temperatura: sono posizionati all'interno ed all'esterno della parete ventilata per rilevare e registrare le variazioni di temperatura in diverse zone o strati del sistema;
 - b) sensori di velocità dell'aria: sono installati per misurare la velocità e il flusso dell'aria all'interno del sistema di ventilazione della parete; questi sensori forniscono informazioni sulla quantità di aria che attraversa la parete e sulla sua distribuzione;
 - c) sensori di portata del fluido termovettore: sono installati sulle tubazioni di distribuzione del fluido termovettore;
 - d) sensori di flusso termico per la misura dei flussi termici presenti sulla parete e/o flussi secondari.

Le catene di misura del progetto saranno realizzate con il sistema di acquisizione la cui architettura è rappresentata nella Figura 61. Il sistema di acquisizione si basa su una serie di apparecchiature e schede di acquisizione che "dialogano" con la piattaforma a microcontrollore attraverso il protocollo Modbus, comunicando a livello fisico su un bus formato da una coppia di cavi, secondo le specifiche RS485. RS-485 e Modbus realizzano un sistema ampiamente utilizzato nel campo delle comunicazioni industriali.

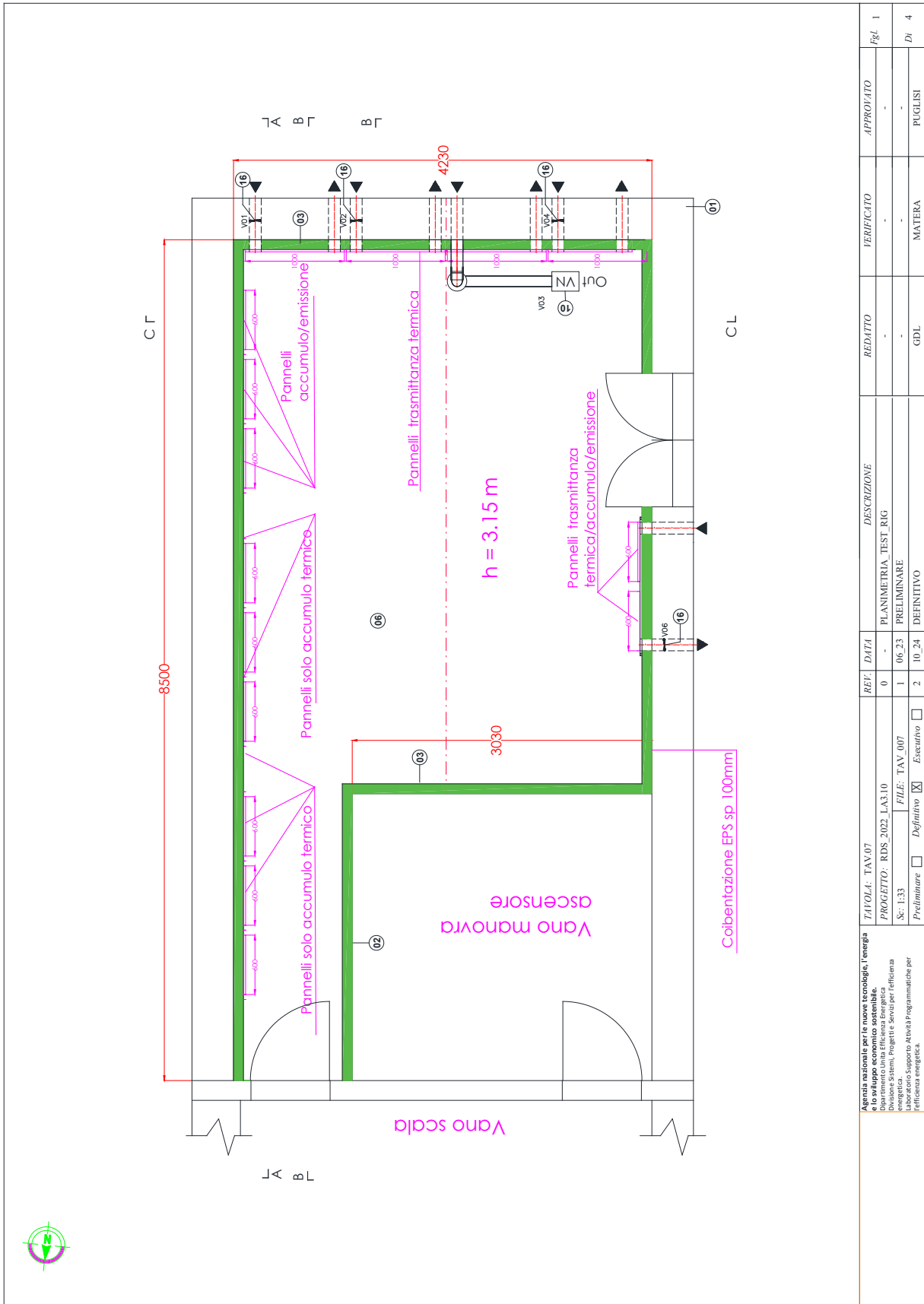
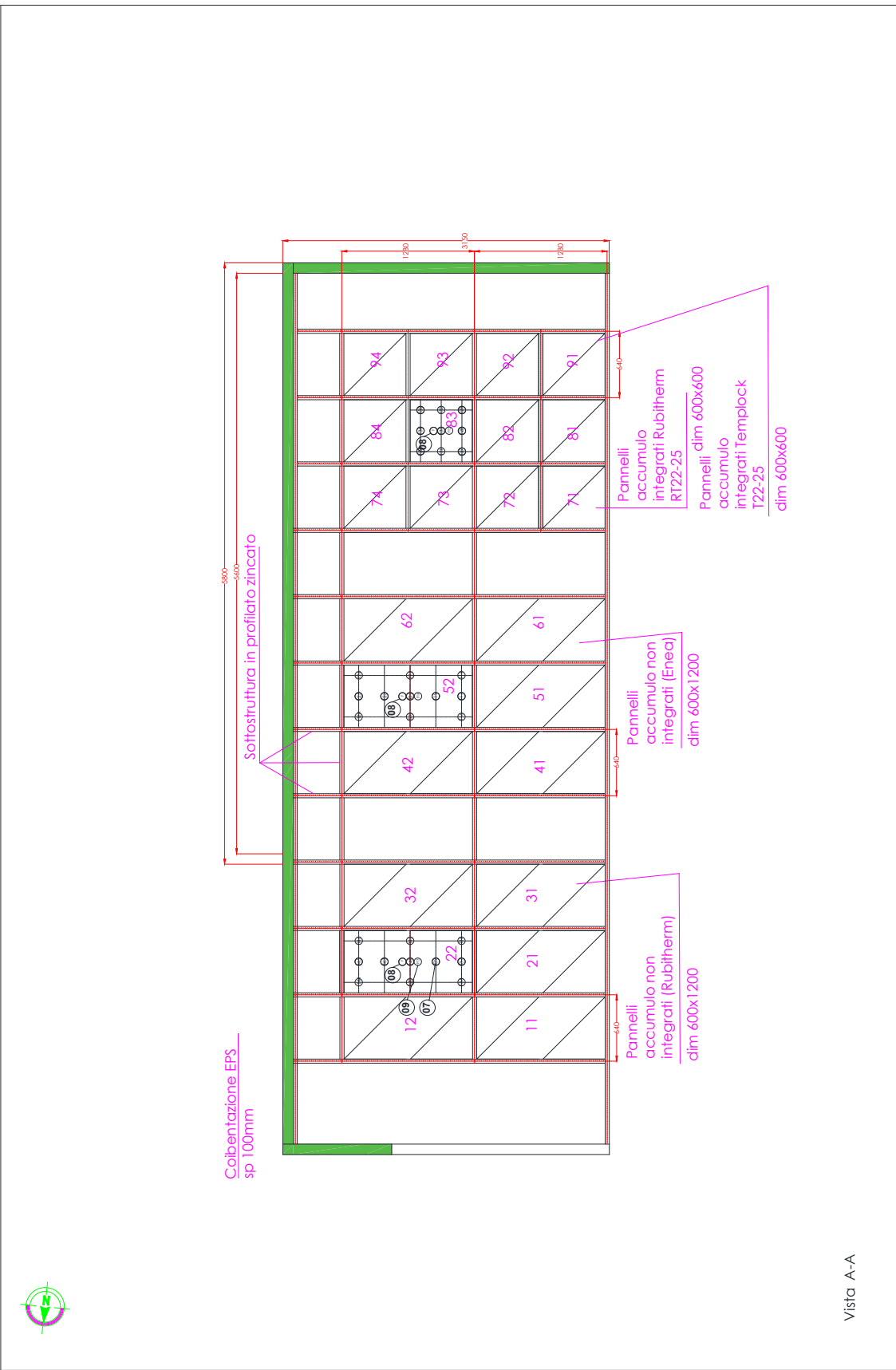


Figura 57 – Strumentazione da campo planimetria test rig 1-4

Agenzia specializzata per la nuova tecnologia, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile Dipartimento Unità Efficienza Energetica Divisione Sistemi - Progettazione Servizi per l'Efficienza Laboratorio Supporto Attività Programmatiche per l'efficienza energetica.		TITOLARI: TAV.07	REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
PROGETTO: RDS_2022_LA3.10 Sc: 1:33		FILE: TAV_007	0	-	PLANIMETRIA TEST_RIG	-	-	-
Preliminare <input type="checkbox"/> Definitivo <input checked="" type="checkbox"/> Esecutivo <input type="checkbox"/>			1	06.23	PRELIMINARE	GDL	MATERA	PUGLISI
			2	10.24	DEFINITIVO			
								Fig. 1
								Di. 4



Vista A-A

DESCRIZIONE	REDAITTO	VERIFICATO	APPROVATO	Fig. 2
DESCRIZIONE				
PLANIMETRIA TEST_RIG	-	-	-	
PRELIMINARE	-	-	-	DI_4
DEFINITIVO	GDL	MATERA	PUGLISI	

REF.	DATA	DESCRIZIONE
0	-	PLANIMETRIA TEST_RIG
1	06_23	PRELIMINARE
2	10_24	DEFINITIVO

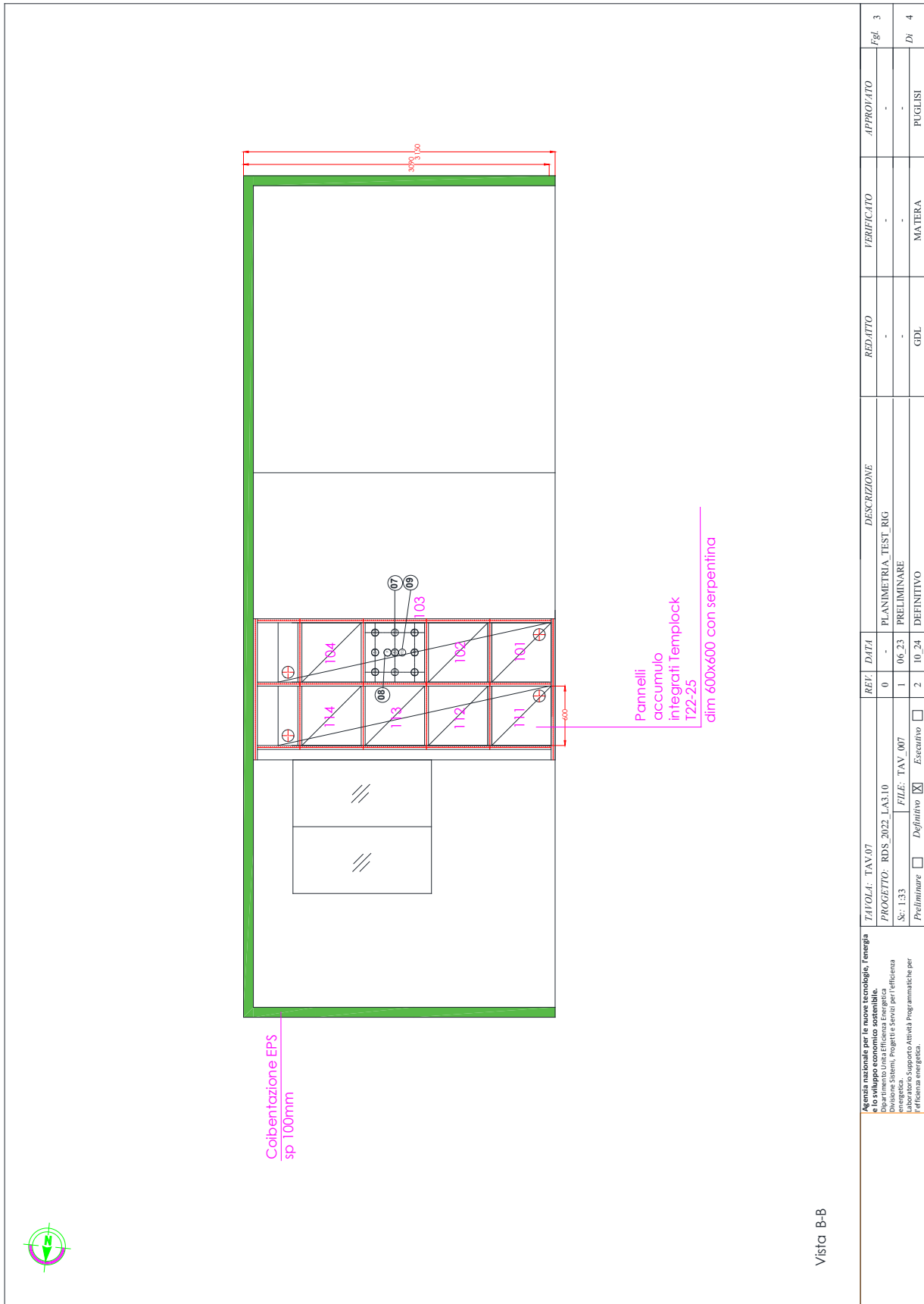
TITOLO:	TAV.07
TAV.07	TAV.07

PROGETTO:	FILE:
RDS_2022_LA3.10	TAV_007

PRELIMINARE	DEFINITIVO	ESECUTIVO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
 Dipartimento Unita Efficienza Energetica
 Divisione Sistemi, Progetti e Servizi per l'efficienza energetica
 Laboratorio Supporto Attività Programmatiche per l'efficienza energetica.

Figura 58 - Strumentazione da campo planimetria test rig 2-4

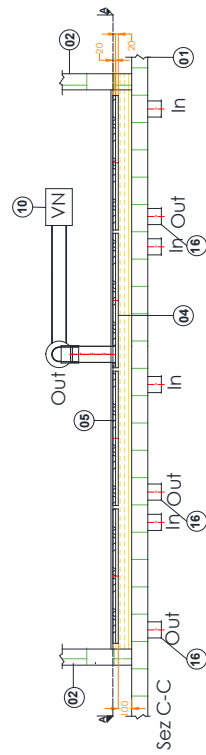
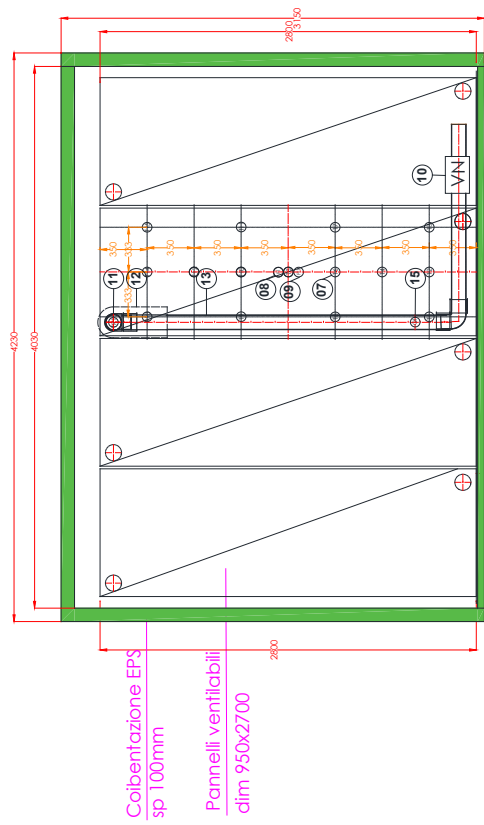


REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	Fig.
0	-	PLANIMETRIA TEST_RIG	-	-	-	3
1	06.23	PRELIMINARE	-	-	-	4
2	10.24	DEFINITIVO	GDL	MATERA	PUGLISI	

Titolo: TAV.07
 PROGETTO: RDS_2022_LA3.10
 Sc: 1:33
 Preliminare Definitivo Escavato

Servizi ingegneristici per la nuova tecnologia, l'energia
 e lo sviluppo sostenibile
 Dipartimento Unità Efficienza Energetica
 Divisione Sistemi, Progetti e Servizi per l'Efficienza
 Laboratorio Supporto Attività Programmatiche per
 l'Efficienza Energetica.

Figura 59 - Strumentazione da campo planimetria test rig 3-4



Vista C-C

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	Fgl.
0	-	PLANIMETRIA TEST_RIG	-	-	-	3
1	06_23	PRELIMINARE	-	-	-	4
2	10_24	DEFINITIVO	GDL	MATERA	PUGLISI	4

Agenda nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.
 Dipartimento per lo Sviluppo Economico e la Ricerca Industriale
 Divisione Sistemi, Progetti e Servizi per l'efficienza energetica e l'energia
 Preliminare Definitivo Esecutivo

TAVOLA: TAV.07
 PROGETTO: RDS_2022_LA3.10
 Sc: 1:33
 FILE: TAV_007

Figura 60 - Strumentazione da campo planimetria test rig 4-4

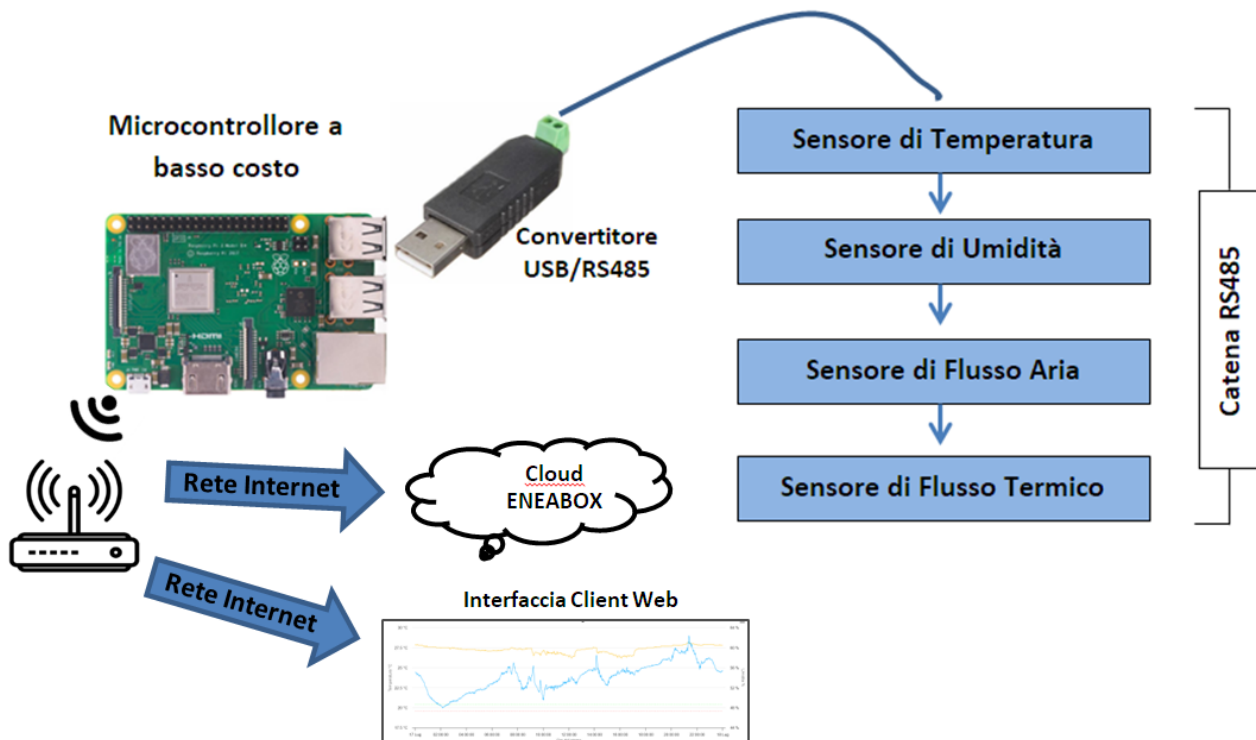


Figura 61 - Architettura sistema di acquisizione e monitoraggio

7.5 Realizzazione dei manufatti (pannelli ventilati e pannelli per l'accumulo termico) e del test rig sperimentale

Sono stati realizzati ed installati 6 pannelli ventilati con scambio termico migliorato (micro-alette) in lamiera zincata di cui 4 per la realizzazione dell'intera parete Sud a trasmittanza termica variabile e 2 per realizzare una porzione della parete Ovest a trasmittanza termica variabile e con accumulo integrato. Le Figura 62, Figura 63, Figura 64 riportano i pannelli e la realizzazione finale. Sono stati realizzati 12 pannelli di accumulo termico planare non integrato dim. 1.2x0,6 m, dei quali 6 con materiale PCM Croda RT 15/35 spessore 15 mm e 6 con materiale Rubitherm RT 11/35 spessore 10 mm. Le Figura 65, Figura 66 riportano alcune fasi realizzative e la realizzazione finale. Sono stati realizzati 12 pannelli di accumulo planari integrati dim. 0,6x0,6 m dei quali 6 con materiale Templock e 6 con materiale Rubitherm RT 22 e 25. Le Figura 67, Figura 68 riportano alcune fasi realizzative.

È stato realizzato l'impianto termico costituito da generatore a pompa di calore aria-acqua monoblocco Pn 7.5 kW, accumulo termico, collettore principale con due circuiti derivati a temperatura variabile, distribuzione per terminale di climatizzazione ed accumulo; la Figura 69 riporta la distribuzione principale.

Il test rig è stato strumentato con sensori di temperatura, flusso termico, portata fluido termovettore. È stato implementato il sistema di monitoraggio e controllo costituito essenzialmente da schede di acquisizione e controllo PID Seneca connesse tra di loro su bus RS485, nonché da interruttori Shelly connessi in wi-fi su router dedicato per l'attuazione di circolatori, ventilatori, pompe ed elettrovalvole. Le linee di acquisizione e controllo sono gestite attualmente da un sistema PC Windows. Su tale sistema viene eseguito codice Python, con il quale è possibile leggere in sequenza tutti i sensori (canali attuali 110, espandibili),

renderne disponibile in tempo reale i valori, attuare se necessario delle uscite, salvare ogni 60 secondi i dati acquisiti su csv. Il codice Python, inoltre, genera i dati in modo tale da poterli rendere disponibili al web server XAMPP installato ed in esecuzione sulla medesima macchina Windows. È possibile tramite interfaccia web accessibile su rete Enea (o dall'esterno tramite VPN ENEA), leggere da remoto i dati in tempo reale, cambiare parametri, attuare valvole, circolatori ecc. La configurazione attuale prevede inoltre, backup di sicurezza in tempo reale di tutto il setup software su sistema interno Enea Box, comprese le misure eseguite e salvate giornalmente su csv. I file csv vengono aggiornati ogni 60 secondi, h24, 7gg su7gg e catalogati, uno per ogni giorno, con riferimento al giorno di acquisizione. Le Figura 70, Figura 71, Figura 72, Figura 73, Figura 74 mostrano l'interfaccia di acquisizione e controllo.



Figura 62 - Pannelli ventilati



Figura 63 - Parete a trasmittanza termica variabile, Sud



Figura 64 - Parete a trasmittanza termica variabile ed accumulo integrato, Ovest



Figura 65 - Pannelli accumulo planari non integrati PCM Croda RT 15, RT 37



Figura 66 - Pannelli accumulo planari non integrati PCM Rubitherm RT 11 RT 35



Figura 67 - Pannelli accumulo planari integrati PCM Templock 22, 25



Figura 68 - Pannelli accumulo planari integrati PCM Rubitherm RT 22, 25



Figura 69 - Distribuzione impianto termico

Sistema di monitoraggio studio PCM

Clicca per accedere alla cartella misure (password: enea)

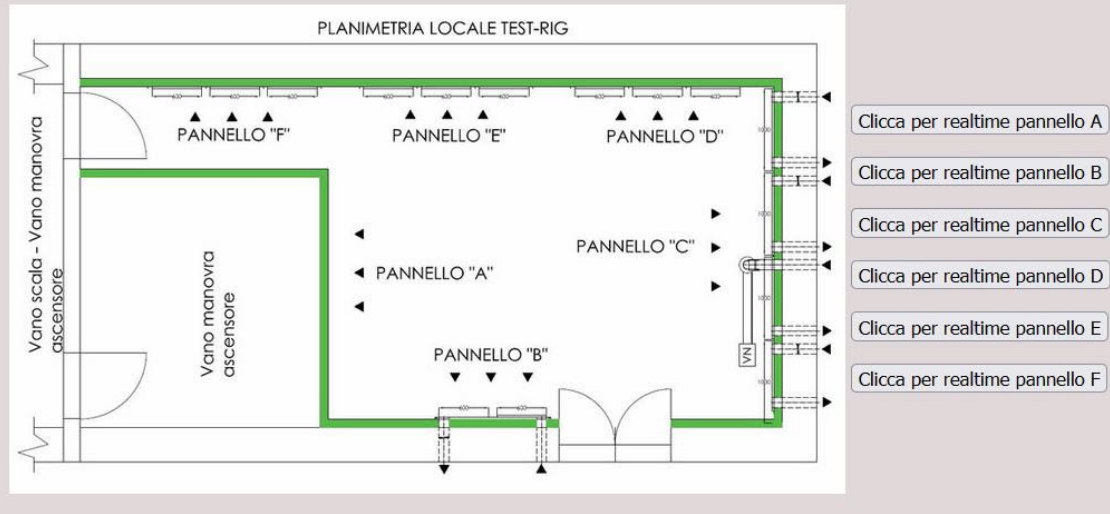


Figura 70 - Interfaccia grafica principale

PANNELLO A

PID1 (Linea fancoil)

m5_1 (Valore uscita PID1 per comando valvola miscelatrice): 10.00 V

m5_2 (Temperatura letta da termoresistenza PID1): 47.33 °C

m5_3 (Valore setpoint temperatura PID1): 90.00 °C

PID2 (Linea pannelli PCM)

m6_1 (Valore uscita PID2 per comando valvola miscelatrice): 0.00 V

m6_2 (Temperatura letta da termoresistenza PID2): 47.45 °C

m6_3 (Valore setpoint temperatura PID2): 42.50 °C

Figura 71 - Interfaccia grafica secondaria A

PANNELLO B

m1_1 DISABILITATO
 m1_2 DISABILITATO
 m1_3 (Velocità aria): 0.04 m/s
 m1_4 (Temperatura aria): 29.48 °C

 m2_1 (Tk1): 25.84 °C
 m2_2 (Tk2): 25.04 °C
 m2_3 (Tk3): 24.40 °C
 m2_4 (Tk4): 24.55 °C
 m2_5 (Tk5): 24.99 °C
 m2_6 (Tk6): 23.82 °C
 m2_7 (Tk7): 25.01 °C
 m2_8 (Tk8): 25.26 °C

m3_1 (Tk9): 26.38 °C
 m3_2 (Tk10): 26.63 °C
 m3_3 (Tk11): 24.67 °C
 m3_4 (Tk12): 25.44 °C
 m3_5 (TP1): 15.24 W/mq*
 m3_6 (TP2): 9.21 W/mq*
 m3_7 (Tk15): 24.66 °C
 m3_8 (Tk16): 26.15 °C

 m4_1 DISABILITATO
 m4_2 DISABILITATO
 m4_3 DISABILITATO
 m4_4 (Termoresistenza TR2): 25.81 °C

* Per valori positivi il calore va verso l'esterno dell'ambiente, per valori negativi il calore va verso l'interno dell'ambiente

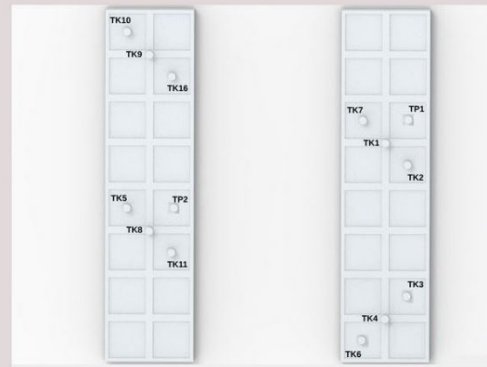


Figura 72 - Interfaccia grafica secondaria B

PANNELLO D

m12_1 (Tk41): 23.63 °C
 m12_2 (Tk42): 23.70 °C
 m12_3 (TP3): 11.35 W/mq*
 m12_4 (Tk44): 23.38 °C
 m12_5 (Tk45): 23.82 °C
 m12_6 (Tk46): 24.54 °C
 m12_7 (Tk47): 24.42 °C
 m12_8 (Tk48): 24.26 °C

 m13_1 (Tk49): 24.04 °C
 m13_2 (TP4): 11.31 W/mq*
 m13_3 (Tk51): 23.90 °C
 m13_4 (Tk52): 24.26 °C
 m13_5 (Tk53): 24.03 °C
 m13_6 (Tk54): 23.92 °C
 m13_7 (TP5): 11.40 W/mq*
 m13_8 (Tk56): 24.60 °C

m14_1 (Tk57): 23.90 °C
 m14_2 (Tk58): 23.69 °C

* Per valori positivi il calore va verso l'esterno dell'ambiente, per valori negativi il calore va verso l'interno dell'ambiente

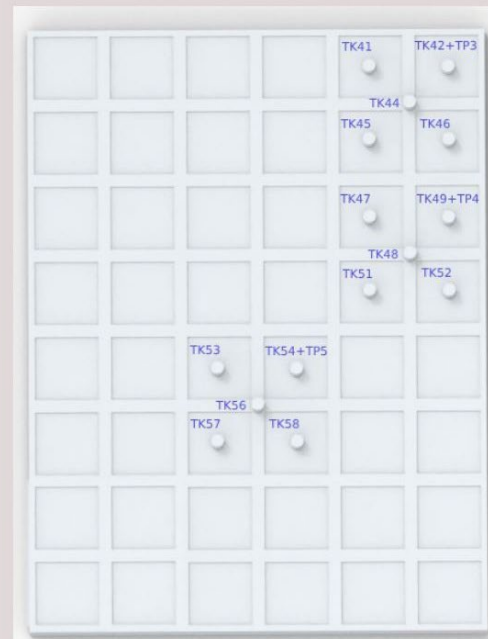


Figura 73 - Interfaccia grafica secondaria D

PANNELLO E

VARIE

m15_2 (TP7 - Termopila affogata pannello PCM accumulo): 16.77 W/mq

m15_3 (TP8 - Termopila affogata pannello PCM accumulo): 87.54 W/mq

m14_3 (Tk59 - Temperatura di ritorno* pannello accumulo PCM): 41.18 °C

m15_1 (Tk65 - Temperatura di mandata* pannello accumulo PCM): 43.16 °C

m14_6 (Tk62 - Temperatura pannello PCM accumulo): 27.47 °C

m14_7 (Tp6 - Termopila esterna pannello PCM accumulo): -8.35 W/mq**

* Riferiti alla fase di "carico termico" dei pannelli. In fase di "scarico termico" mandata e ritorno si invertono.

** Valori positivi indicano che il calore va dall'ambiente al pannello PCM

Valori negativi indicano che il calore va dal pannello PCM all'ambiente

Figura 74 - Interfaccia grafica secondaria E

7.6 Esercizio sperimentale del test rig

In maniera preliminare, essendo il test rig di nuova installazione, si è provveduto ad effettuare: test sull'impianto termico inerenti la tenuta dell'impianto termico; test di funzionalità di avviamento e circolazione flussi; test sull'impianto strumentale con la verifica delle catene di misura; avviamento dell'impianto termico.

L'esercizio sperimentale del test rig ha riguardato la caratterizzazione preliminare del sistema di accumulo integrato e non in base alle grandezze di governo quali temperatura di mandata, tempi di carica/scarica, portate del fluido termovettore in carica e scarica. Le Figura 75, Figura 76, Figura 77 sono relative alla carica e scarica di un accumulo non integrato (accumulo termico caldo) avente come materiale PCM il CrodaTherm RT 37: le condizioni di carico vedono una portata di alimentazione pari 62,5 l/h per pannello (250 l/h), temperatura di mandata 42 °C, tempo di carica circa 5:30 ore; le condizioni di scarico vedono una portata di scarico pari a 62.5 l/h per pannello (250 l/h), temperatura di scarico libera, l'utilizzatore è costituito da 16 pannelli di accumulo integrati Templock. La Figura 78 è relativa alla carica e scarica di un accumulo integrato (accumulo termico caldo) avente materiale PCM Templock 22-25: le condizioni di carico vedono una portata di alimentazione pari 32.5 l/h per pannello (260 l/h), temperatura di mandata 35 °C, tempo di carica circa 5:30 ore; le condizioni di scarico sono relative al raffreddamento naturale dei pannelli. La Figura 79 è relativa alla caratterizzazione del pannello ventilato in termini di flusso termico, portata di ventilazione e condizioni ambientali esterne ed interne; le temperature interne estive sono simulate previo riscaldamento del locale. La Figura 80 riporta il valore di trasmittanza termica della parete in funzione della portata di ventilazione normalizzata.

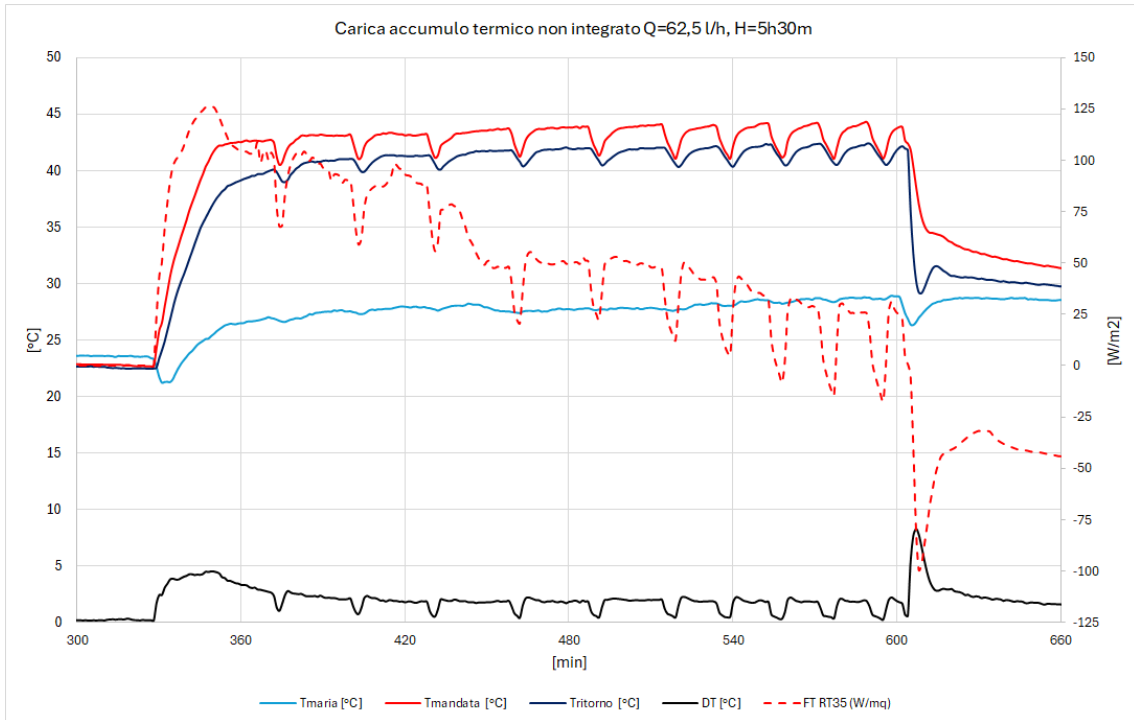


Figura 75 - Fase carica accumulo non integrato

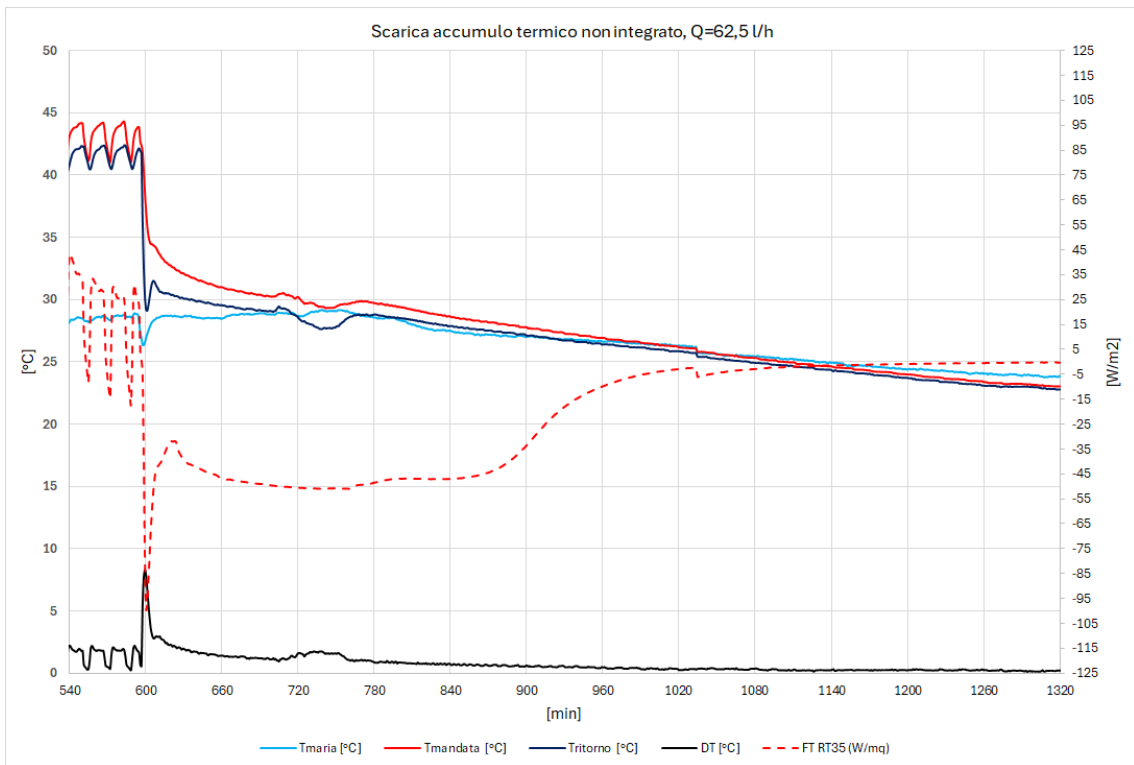


Figura 76 - Fase scarica accumulo non integrato

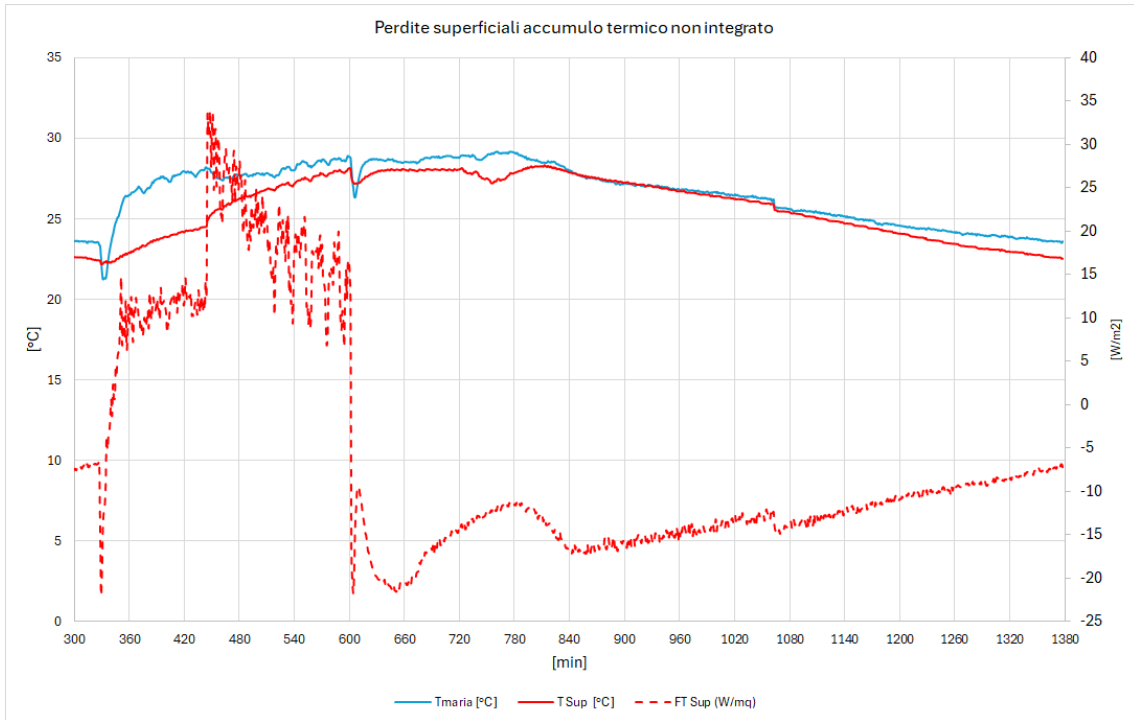


Figura 77 - Perdite superficiali accumulo termico non integrato

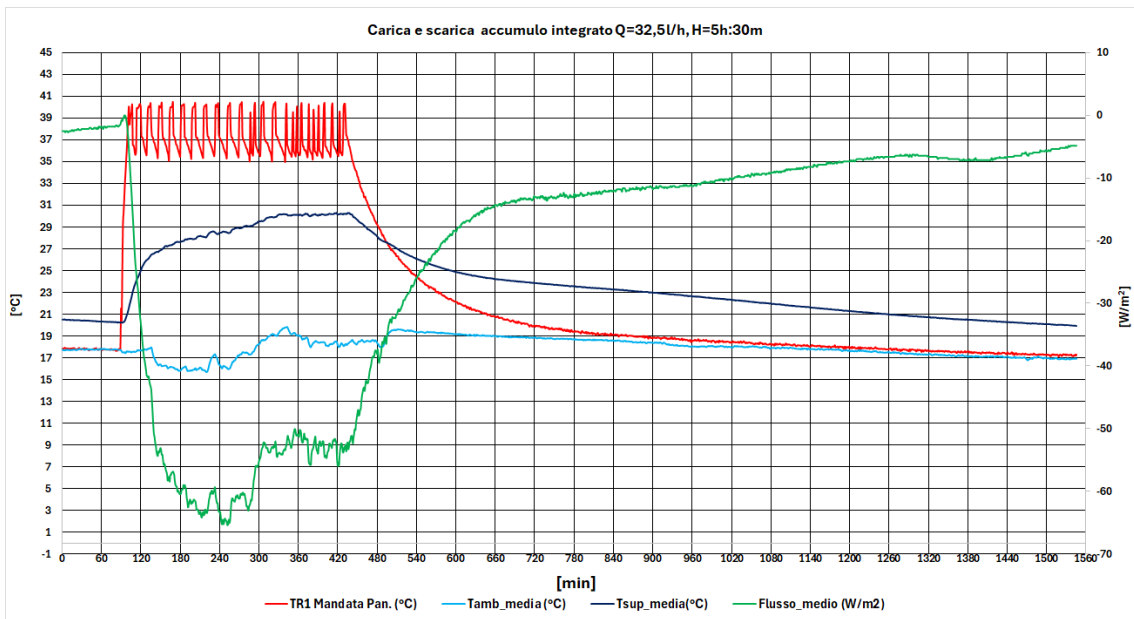


Figura 78 - Fase carica/scarica accumulo integrato Templock

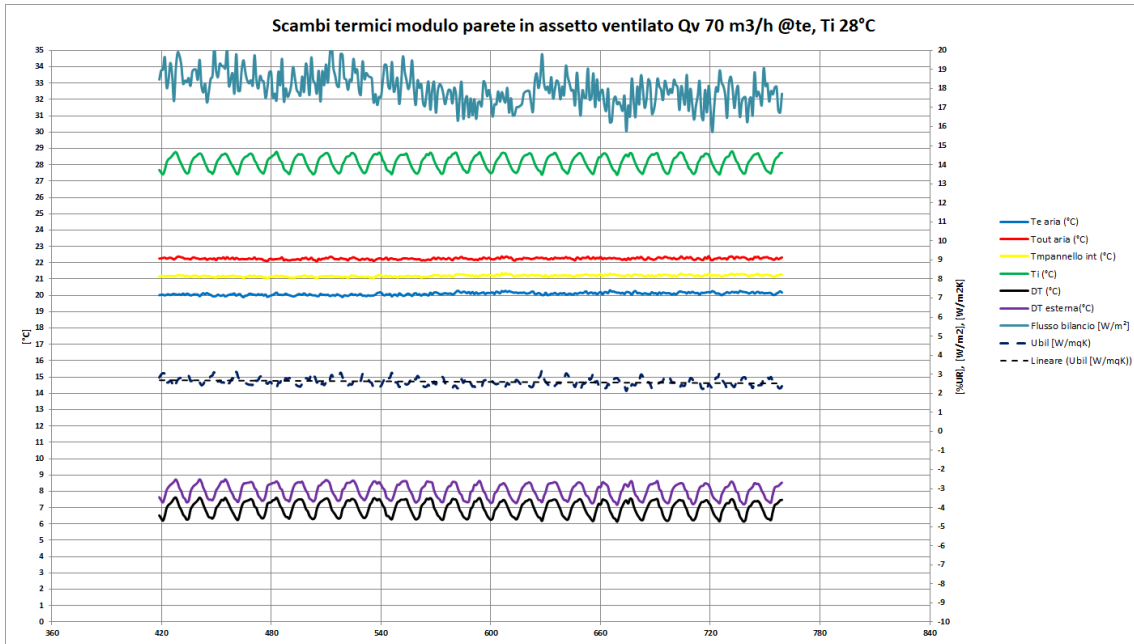


Figura 79 - Pannello parete in assetto ventilato scambi termici

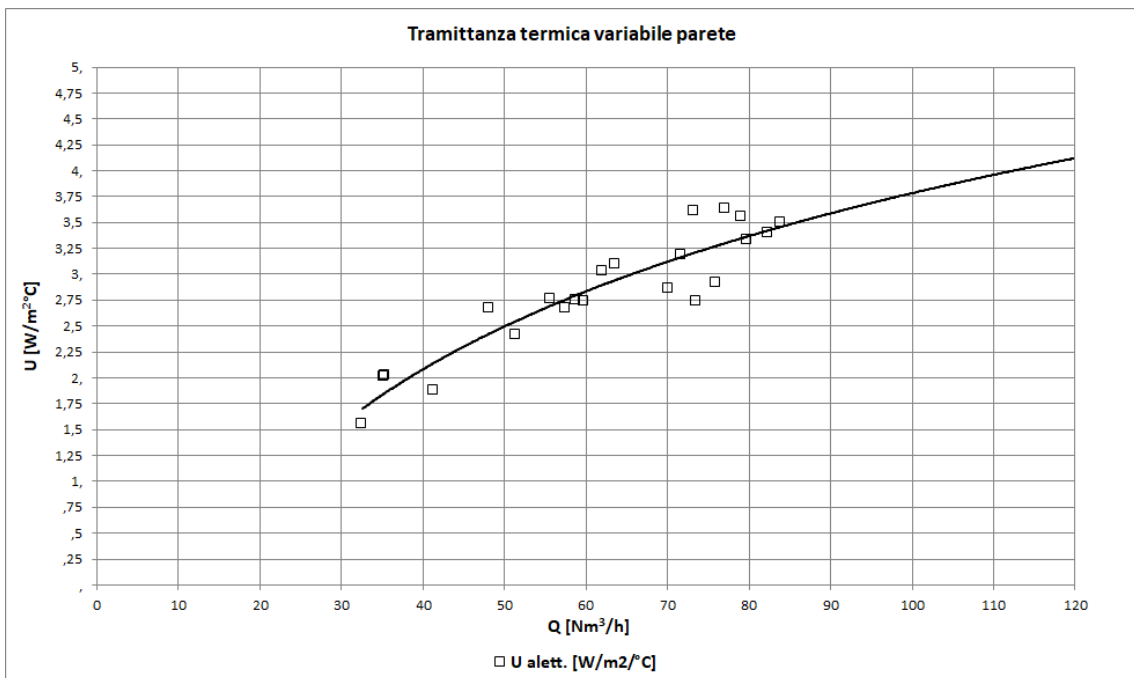


Figura 80 - Pannello parete in assetto ventilato trasmittanza termica

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

All'interno della LA3.11 il capitolato di progetto non prevede consulenze, né sono state utilizzate nel corso dello svolgimento della LA.

9 Pubblicazioni scientifiche

Non sono state al momento redatte pubblicazioni scientifiche.

10 Eventi di disseminazione

Elenco degli eventi di disseminazione risultanti dall'attività svolta nella LA3.11:

- F.A. Cancellara, O. Calò, R. Giammusso, D. Marano, D. A. Matera, P. Regina "Efficienza energetica nel campo residenziale: nuove soluzioni per l'involucro opaco" ROAD SHOW Humanizing Energy, Pinacoteca 900 Comune di Foggia, Foggia 24 settembre 2024.
- F.A. Cancellara, O. Calò, R. Giammusso, D. Marano, D. A. Matera, P. Regina "Efficienza energetica nel campo residenziale: nuove soluzioni responsive per l'involucro opaco", Convegno conclusivo del Progetto 1.5 del Piano Triennale di realizzazione 2022-2024 della Ricerca di Sistema elettrico nazionale (RdS) - Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica - Risultanze dei WP3 e WP4, Roma 27-28 novembre 2024.