

LA VERA EFFICIENZA ENERGETICA PASSA DAL MASSETTO

Ricerca Studio sull'efficientamento di un impianto radiante
attraverso la corretta scelta del massetto.



Studio eseguito da KNAUF
in collaborazione con TEP SRL - TECNOLOGIA E PROGETTO

Il presente rapporto è riproducibile solo integralmente

0. PREMESSA	3
1. STUDIO E SINTESI DELLA LETTERATURA	6
2. DESCRIZIONE DEI MODELLI	10
Descrizione del modello	11
Descrizione dei parametri in ingresso nel modello di calcolo predittivo	11
3. RICERCA IN CAMPO	13
Descrizione dei campioni	14
Immagini dei campioni e delle misure	15
Protocollo prova regime stazionario	17
Protocollo prova regime variabile	19
Strumentazione in campo	19
Risultati di misura prima campagna di misura	20
Coerenza tra misure e calcoli predittivi	22
Conclusioni	27
Risultati di misura della seconda campagna di misura	28
Coerenza tra misure e calcoli predittivi	29
Conclusioni	31
4. CALCOLI PREDITTIVI	34
Premessa	35
Resa termica riscaldamento	35
Resa termica raffrescamento	36
Tempo di caricamento	37
Esempi di output	38
5. CONCLUSIONI	43
Maggiore resa	44
Migliore reattività	45
Esempio di calcolo su edificio	47
Risultati di calcolo	49
INDICE DELLE TABELLE E DELLE FIGURE	51
BIBLIOGRAFIA	53

0

PREMESSA

Ricerca e sviluppo sull'efficacia di prodotti KNAUF per i pannelli radianti

Premesso che:

- Knauf propone il prodotto FE 80 come massetto autolivellante a completamento del sistema di riscaldamento e raffrescamento a "pannelli radianti",
- FE 80, NE 425 E NE 499 rispetto ai prodotti tradizionali si differenziano per conduttività termica, riempimento completo degli interstizi di aria intorno al tubo e per il ridotto spessore,
- Tali positive differenze possono essere espresse in termini di "efficacia" da individuare e devalorizzare ai fini della commercializzazione del prodotto,
- Calcoli comparativi si possono realizzare in regime stazionario con valutazioni agli elementi finiti bidimensionali,
- Il tema "pannelli radianti" è oggetto di normativa tecnica con la quale confrontarsi: UNI EN12264 1, 2, 3 e 4 e UNI EN 15316-4-8 ecc...
- Tep ha a disposizione anche della strumentazione termografica e termoflussimetrica professionale e le adeguate qualifiche per l'utilizzo,

Il presente report è costituito dalle seguenti parti:

1. Studio e sintesi della letteratura (norme e fisica tecnica) per avere un linguaggio in accordo con la normativa vigente
2. Descrizione delle tipologie di impianto e massetti oggetto di studio
3. Descrizione della ricerca in campo realizzata e dei risultati di misura
4. Verifica della coerenza tra le misure e i calcoli predittivi
5. Valutazioni predittive per le diverse tipologie di massetto in riscaldamento e raffrescamento e in regime stazionario o transitorio
6. Valorizzazione dei risultati

Perchè?

Oggi, nel mondo della Termoidraulica, si parla moltissimo di efficienza energetica in relazione all'installazione di sistemi di riscaldamento a pavimento. Ogni informazione e studio in merito dimostra con estrema efficacia come tale soluzione costruttiva, ove ben progettata e realizzata, permetta concreti risparmi in termini di energia.

Nel 2016 è nata la norma UNI/TR 11619:2016 che classifica energeticamente i sistemi di riscaldamento a bassa inerzia calcolando l'indice di efficienza definito RSEE (Radiant System Energy Efficiency), che rappresenta un indicatore complessivo che coinvolge la stratigrafia, i componenti del sistema radiante, le logiche di regolazione e gli ausiliari.

In tutte queste valutazioni la "Componente Massetto" non viene mai "valutata" in maniera tecnica "di prestazione".

Di pari passo, nel mondo dell'edilizia, si sente parlare con sempre maggiore frequenza di massetti speciali per impianti radianti. Un mercato, quest'ultimo, con le teorie più disparate ... composte da massetti tradizionali fibrati, Autolivellanti ad alta conducibilità piuttosto che speciali additivi da aggiungere in loco. Molte di queste risultano essere prestazioni tecniche teoriche che spesso non possono essere riprodotte in cantiere.

Tutte queste caratteristiche però non vengono mai valutate in relazione all'effettiva modalità di applicazione e delle varie tipologie di sistemi di riscaldamento presenti a pavimento.

Questo studio, per la prima volta, ha voluto misurare in maniera scientifica e pratica **L'EFFETTIVA EFFICIENZA DI UN SISTEMA DI RISCALDAMENTO A PAVIMENTO** dove la "Componente MASSETTO" non solo è fondamentale ma, come potrete scoprire, rappresenta **l'elemento primario nella effettiva performance di un impianto radiante.**



riassumendo:

0. PREMESSA

Gli obiettivi del seguente studio sono riassumibili in 3 punti principali:

- **Analisi e confronto delle soluzioni** presenti sul mercato per la posa su impianto radiante in termini di prestazioni mediante prova di campo sperimentale
- **Verifica e calibrazione dei risultati** tra prova di campo e calcoli predittivi
- **Valutazione del contributo apportato dal massetto** sui sistemi radianti e valorizzazione dei benefici in termini di risparmio energetico



1

STUDIO E SINTESI DELLA LETTERATURA

Ricerca e sviluppo sull'efficacia di prodotti KNAUF per i pannelli radianti

GLI ATTUALI RIFERIMENTI NORMATIVI E DI LETTERATURA SUL TEMA RELATIVO AI PANNELLI RADIANTI AL LORO COMPORTAMENTO IN TERMINI DI RESA TERMICA SONO:

UNI EN 1264-1:2011

Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture -

Parte 1: Definizioni e simboli

UNI EN 1264-2: 2013

Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture -

Parte 2: Riscaldamento a pavimento: metodi per la determinazione della potenza termica mediante metodi di calcolo e prove

UNI EN 1264-3: 2011

Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture -

Parte 3: Dimensionamento

UNI EN 1264-4: 2009

Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture -

Parte 4: Installazione

UNI EN 1264-5: 2009

Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture -

Parte 5: Superfici per il riscaldamento e il raffrescamento integrate nei pavimenti, nei soffitti e nelle pareti - Determinazione della potenza termica

UNI EN 14037/1-5: 2016

Pannelli radianti sospesi a soffitto per riscaldamento e raffrescamento alimentati con acqua a temperatura minore di 120°C

UNI EN 14240: 2005

Ventilazione degli edifici - Soffitti freddi - Prove e valutazione (rating)

UNI EN ISO 11855/ 1: 2015

Progettazione dell'ambiente costruito - Progettazione, dimensionamento, installazione e controllo dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati -

Parte 1: Definizioni, simboli e criteri di benessere

UNI EN ISO 11855/ 2: 2015

Progettazione dell'ambiente costruito - Progettazione, dimensionamento, installazione e controllo dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati -

Parte 2: Determinazione della potenza di riscaldamento e di raffrescamento di progetto

UNI EN ISO 11855/ 3: 2015

Progettazione dell'ambiente costruito - Progettazione, dimensionamento, installazione e controllo dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati -

Parte 3: Progettazione e dimensionamento

UNI EN ISO 11855/ 4: 2015

Progettazione dell'ambiente costruito - Progettazione, dimensionamento, installazione e controllo dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati -

Parte 4: Dimensionamento e calcolo della potenza dinamica di riscaldamento e raffrescamento dei sistemi termo-attivi dell'edificio (TABS)

UNI EN ISO 11855/ 5: 2015

Progettazione dell'ambiente costruito - Progettazione, dimensionamento, installazione e controllo dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati -

Parte 5: Installazione

UNI/TR 11619: 2016

Sistemi radianti a bassa temperatura - Classificazione energetica

Le principali norme richiamate di seguito sono la UNI EN 1264 e UNI EN ISO 11855

Le norme si applicano a sistemi di riscaldamento e raffrescamento idronici in edifici residenziali, commerciali e industriali.

I metodi presentati nelle norme si applicano ai sistemi integrati in parete, nel pavimento o nel soffitto senza spazi d'aria intorno.

I metodi sono prevalentemente legati a valutazioni in regime stazionario per la determinazione del riscaldamento e raffrescamento.

Risultati dei calcoli sono la temperatura superficiale e l'uniformità della superficie riscaldata/raffrescata, il flusso areico termico nominale tra l'acqua e l'ambiente, il relativo salto termico nominale del fluido termovettore e il campo delle curve caratteristiche per la relazione tra flusso termico areico e relative variabili.

Metodologia di fondo per determinare la potenza di riscaldamento e raffrescamento

Una certa tipologia di superficie (pavimento, parete o soffitto) fornisce, ad una data temperatura superficiale media e temperatura dell'ambiente con cui è a contatto (temperatura operativa), lo stesso flusso di calore in qualsiasi spazio indipendentemente dal tipo di sistema annegato.



riassumendo:

1. STUDIO E SINTESI DELLA LETTERATURA

Le normative attuali non contemplano il massetto come elemento concorrente alla determinazione dell'efficienza energetica del sistema radiante.

Non esistono indicazioni specifiche per la posa su impianto radiante circa le caratteristiche più idonee per tale applicazione.



2

DESCRIZIONE DEI MODELLI

Ricerca e sviluppo sull'efficacia di prodotti KNAUF per i pannelli radianti

DESCRIZIONE DEL MODELLO

Le tipologie di strutture con pannelli radianti hanno i seguenti dati “fissi”:

- Struttura in c.a. di 20 cm con conduttività termica 2.3 W/mK
- Pannello isolante da 5 cm con conduttività termica 0.036 W/mK
- Tubazioni con passo 10 cm e diametro esterno da 17 mm e con conduttività 0.35 W/mK
- Assenza di rivestimento superficiale per rendere i risultati maggiormente rappresentativi per più casistiche

Le caratteristiche variabili riguardano:

- Spessore dello strato di massetto
- Conduttività termica dello strato di massetto
- Adesione alla tubazione (completa o al 70%)

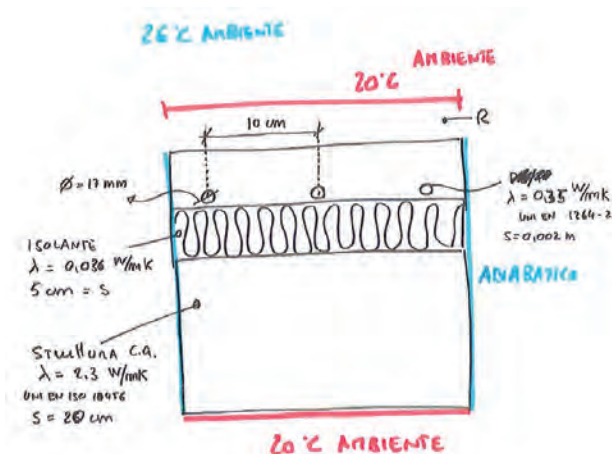


FIGURA 1: Schema descrittivo della sezione di calcolo predittivo in accordo con figura A2 della norma UNI EN 1264-2

DESCRIZIONE DEI PARAMETRI IN INGRESSO NEL MODELLO DI CALCOLO PREDITTIVO

Descritto il modello e le caratteristiche si identificano le variabili

		TIPOLOGIA DI MASSETTO				
		Massetto tradizionale	Autolivellante tradizionale	FE 80	NE 425	NE 499
Conduttività termica	W/mK	1.0-1.3	1.3	1.9	1.4	1.3
Spessore massetto ¹	m	0.045	0.03	0.03	0.02	0.01
Avvolgimento tubo	%	70%	100%	100%	100%	100%
Calore specifico	J/kgK	1000	1000	1200	1000	1000
Densità	kg/m ³	1600-2000	2000	2150	1800	1800

TABELLA 1: Parametri in ingresso

NOTA

I valori delle caratteristiche termiche indicati da Knauf sono relativi a prodotti premiscelati con produzione industriale e sono indicati da scheda tecnica. I parametri del massetto tradizionale sono invece maggiormente legati a dati di letteratura.

¹Spessore del massetto a partire dal tubo



riassumendo:

2. DESCRIZIONE DEI MODELLI

Per l'esecuzione dei test sono state individuate le soluzioni più comunemente utilizzate presenti sul mercato (sia in termini di tipologia di legante che di spessori di applicazione) per confrontarle alle soluzioni che propone Knauf. Di seguito si riportano le tipologie oggetto di studio: Pertanto si ha:

- Massetto tradizionale
- Autolivellante tradizionale
- FE80 KNAUF – alta resistenza meccanica ed altissima conducibilità termica
- NE425 KNAUF – altissima resistenza meccanica e spessori ridotti di applicazione
- NE499 KNAUF – altissima resistenza meccanica e spessori ridottissimi di applicazione

Sono stati volutamente esclusi dal seguente studio, il massetto tradizionale realizzato in cantiere e i massetti additivati, questo perché il livello di incertezza derivante da una cattiva messa in opera non può essere tenuto sotto controllo e adeguatamente modellato.

I parametri caratteristici e distintivi di un massetto idoneo su un sistema di riscaldamento a pavimento possono essere riassunti come di seguito:

- Capacità di adesione all'impianto
- Conducibilità termica
- Spessore del massetto

Fatte queste considerazioni, la scelta dei massetti è ricaduta sulle seguenti tipologie:

- Massetto tradizione premiscelato
- Autolivellante cementizio
- Autolivellante in anidride
- Livelline basso spessore



3

RICERCA IN CAMPO

Ricerca e sviluppo sull'efficacia di prodotti KNAUF per i pannelli radianti

Il tipo di ricerca non ha la valenza di prove di laboratorio certificate, ma è generalmente realizzata ai fini di una valorizzazione commerciale di quanto indicato "in teoria". La ricerca in campo è inoltre utile alla verifica di coerenza tra i risultati dei modelli di calcolo descritti dalla normativa e i risultati misurati in campo.

DESCRIZIONE DEI CAMPIONI

I campioni da realizzare in scala 1:1 sono complessivamente 5 ognuno costituito da una soluzione a spirale.

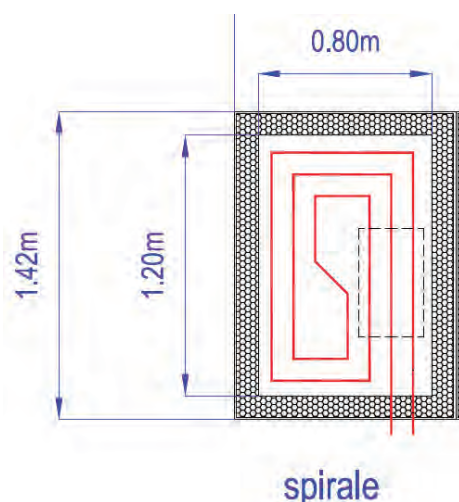


FIGURA 2: Ingombro del singolo modulo

Moduli

Passo dei tubi 10 cm, anello di guardia in isolamento termico da 10 cm di spessore di altezza pari alla struttura complessiva.

Durante la posa sarà necessario riprodurre in superficie l'area di 50x30 individuata in figura per monitorare in modo univoco un'area da correlare ai calcoli agli elementi finiti.

IMMAGINI DEI CAMPIONI E DELLE MISURE



FIGURA 3: Immagine dei campioni collegati al collettore 1° campagna



FIGURA 4: Immagine dei sensori e della posizione 1° campagna

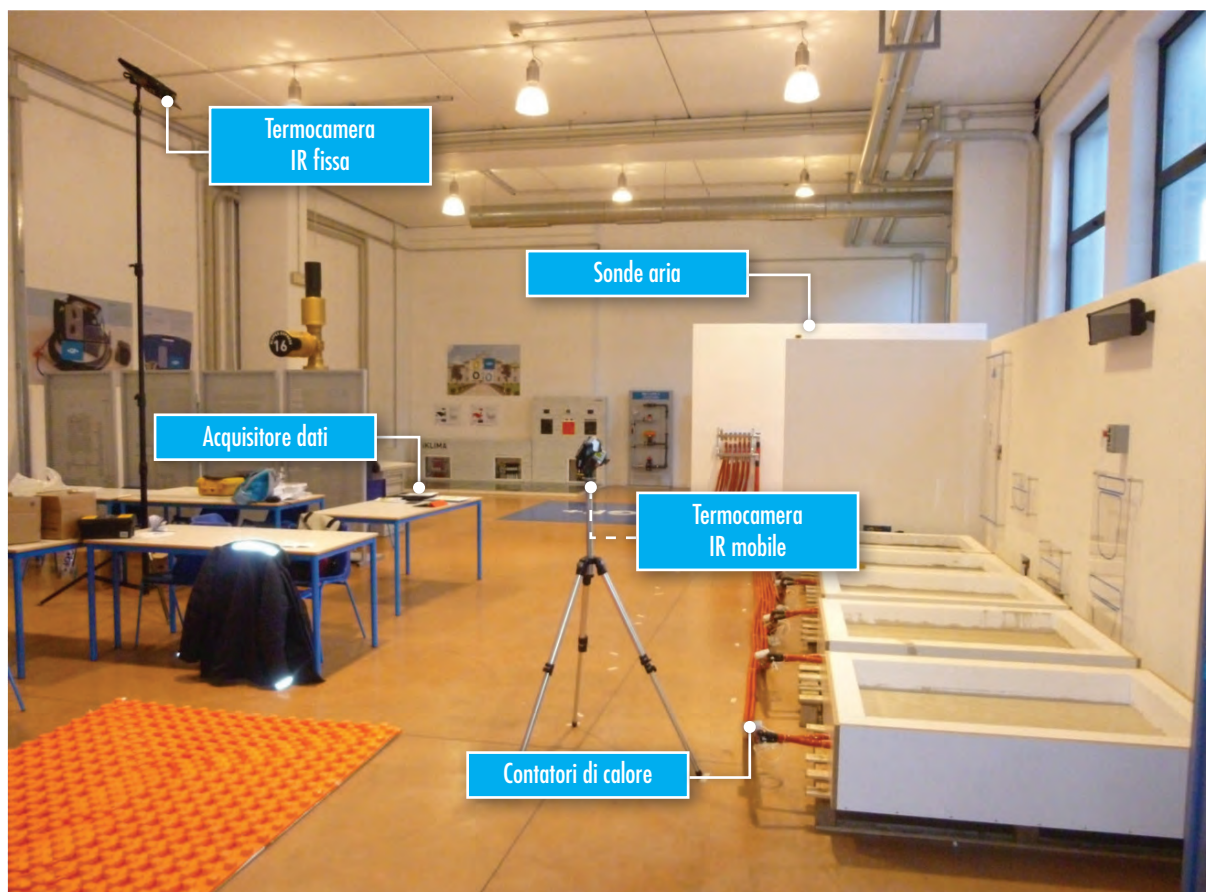


FIGURA 5: Immagine dei sensori e della posizione 2ª campagna

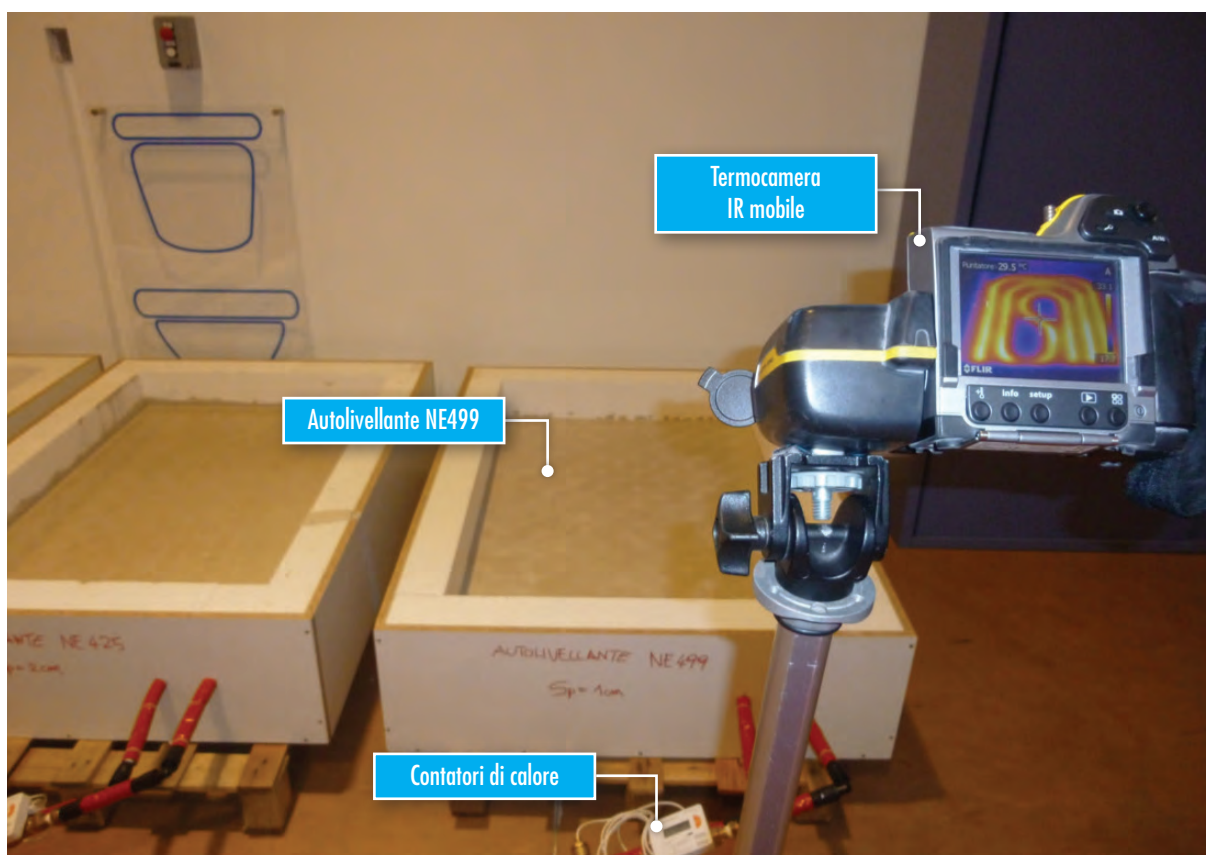


FIGURA 6: Immagine dei sensori e della posizione 2ª campagna

PROTOCOLLO PROVA REGIME STAZIONARIO

La resa termica del flusso di diversi sistemi radianti dipende, a parità di condizioni, dalla temperatura superficiale che si sviluppa sul sistema radiante. Per evidenziare quindi le differenze che sono presenti tra i diversi sistemi si propone di sviluppare il seguente protocollo di prova sperimentale per il regime stazionario.

Il circuito idraulico dovrà garantire una temperatura costante in ingresso alla tubazione. A seguito del caricamento della struttura si verificheranno le temperature superficiali nell'area di 50x30. Per simulare il regime stazionario sarà decisiva la modalità di regolazione della portata/temperatura del fluido. La UNI EN 1264-2:2013 indica le seguenti condizioni per il fluido termovettore:

- In caso di riscaldamento $\Delta T < 0.5 \text{ K}$
- In caso di raffreddamento $\Delta T < 0.3 \text{ K}$

Attività

- 1) Realizzazione del regime stazionario nei campioni ovvero mantenimento di una temperatura superficiale dei campioni costante $\sigma_{s,m}$ con una massima differenza di temperatura tra ambiente e superficie del campione di $\Delta T < 9 \text{ K}$.
- 2) Determinazione e monitoraggio della temperatura ambiente σ_i identica per i diversi campioni
- 3) Monitoraggio con sonde di temperatura a contatto e con indagini termografiche della temperatura superficiale in regime stazionario. La UNI EN 1264-2:2013 descrive i punti di misura e l'analisi dei valori medi ai fini della determinazione della temperatura media della superficie. La valutazione della temperatura media verrà realizzata grazie all'impiego di indagini termografiche.
- 4) Calcolo della resa termica dei vari campioni in relazione alle condizioni operative in accordo con indicazioni della UNI EN ISO 11855-2.

Dati da monitorare dal tempo t_0 al t_n

Valutazione al tempo t_{esimo}					
Campione	Temperatura ambiente σ_i [°C]	Temperatura superficiale puntuale $\sigma_{s,i}$ [°C]	Temperatura superficiale media $\sigma_{s,m}$ [°C]	Flusso calcolato [W/m²]	Flusso misurato q' [W/m²]
Tradizionale					
Autolivellante					
FE80					
NE 425					
NE 499					

TABELLA 2: Dati di monitoraggio

Temperatura ambiente σ_i :

la valutazione della temperatura ambiente è realizzata con termo igrometri registratori posizionati in vari punti al di sopra dei pannelli radianti e non influenzati direttamente dall'emissione dei pannelli radianti.

Temperatura superficiale puntuale $\sigma_{s,i}$:

la valutazione della temperatura superficiale puntuale è realizzata con termocoppie ed è propedeutica alla calibrazione dell'indagine termografica effettuata sull'area.

Temperatura superficiale media $\sigma_{s,m}$:

la valutazione della temperatura superficiale media è realizzata con indagine termografica sull'area oggetto di indagine opportunamente individuata e calibrata.

Flusso calcolato q :

sulla base della misura della $\sigma_{s,m}$ e della σ_i si determina il flusso in accordo con equazione [1] della norma UNI EN ISO 11855-2:2015:

$$q = 8.92 \cdot (\theta_{s,m} - \theta_i)^{1.1} \text{ W/m}^2$$

Ben rappresentato dalla figura dove:

X = differenza di temperatura media superficiale ($\sigma_{s,m} - \sigma_i$) in K

Y = flusso termico q W/m²

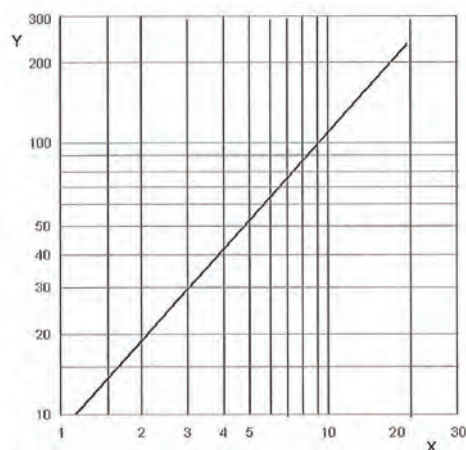


FIGURA 7: Curva caratteristica di base per i sistemi a pavimento in riscaldamento e sistemi a soffitto in raffreddamento

Flusso misurato q :

tra la strumentazione disponibile sono presenti anche termoflussimetri. Verrà misurato anche il valore di flusso. La misura tuttavia risentirà di possibili margini di errore poiché la sonda che misura il flusso, in caso di non omogeneità della temperatura superficiale, è condizionata dalla posizione.

PROTOCOLLO PROVA REGIME VARIABILE

La velocità di caricamento e scaricamento dei sistemi radianti e quindi delle capacità di adattarsi alle esigenze ambientali del comfort è un tema importante negli edifici con elevati livelli di isolamento termico. Per evidenziare il diverso comportamento dei diversi sistemi si è valutata la temperatura superficiale media $\sigma_{s,m}$ con identiche condizioni di caricamento a parità di temperatura e flusso del fluido termovettore.

Attività

- 1) Verifica dell'uniformità delle temperature superficiali dei diversi campioni al tempo t_0 .
- 2) Attivazione della circolazione del fluido termovettore con temperatura in ingresso e portata costanti per i diversi campioni (monitoraggio con contatori di calore).
- 3) Monitoraggio della temperatura ambiente σ_i e della temperatura superficiale media a intervalli di 5 minuti con sonde di temperatura e indagini termografiche durante un periodo di caricamento prefissato.

Dati da monitorare dal tempo t_0 al t_n

Valutazione al tempo $t_{i-esimo}$				
Campione	Temperatura ambiente σ_i [°C]	Temperatura superficiale puntuale $\sigma_{s,i}$ [°C]	Temperatura superficiale media $\sigma_{s,m}$ [°C]	Flusso calcolato [W/m²]
Tradizionale				
Autolivellante				
FE80				
NE 425				
NE 499				

TABELLA 3: Dati da monitorare

Strumentazione in campo

L'immagine riassume la strumentazione in campo per ogni campione:

- 2 sensori di temperatura superficiale (uno in corrispondenze del tubo e uno tra i tubi)
- 1 sonda di temperatura ambiente
- 1 contatore di calore

La strumentazione descritta misura e registra i dati con un intervallo scelto di 5 minuti (eventualmente modificabile).

Oltre all'andamento superficiale puntuale delle temperature è stato rilevato anche l'andamento della temperatura superficiale media di porzioni di campioni per mezzo di termocamera fissa e di termocamera mobile.

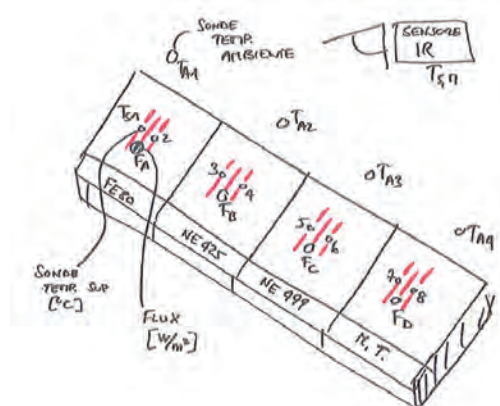


FIGURA 8: Strumentazione utilizzata durante il test per ogni singolo campione

RISULTATI DI MISURA PRIMA CAMPAGNA DI MISURA

La prima campagna di misura è stata condotta il 5 settembre 2018 e il protocollo impiegato è stato quello del regime variabile. Le condizioni di misura sono state 3:

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN ACCENSIONE
Accensione	Ore 10:36
Spegnimento	Ore 12:06
Intervallo grafico	1-19 (5 minuti a intervallo)
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	Circa 24 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Portata	Fissa 120 l/h
Temperatura ambiente	Da 23.9 a 24.3 °C

TABELLA 4: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in accensione

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN SPEGNIMENTO
Accensione	Ore 12:07
Spegnimento	Ore 13:55
Intervallo grafico	20-42 (5 minuti a intervallo)
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	Variabile 28-33 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	-
Portata	Fluido non in movimento
Temperatura ambiente	Da 24.3 a 24.7 °C

TABELLA 5: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in spegnimento

PROVA DI RAFFRESCAMENTO	IN SPEGNIMENTO
Accensione	Ore 13:56
Spegnimento	Ore 16:13
Intervallo grafico	43-69 (5 minuti a intervallo)
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	Variabile 26.7-28.4 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	15 °C
Portata	Fissa 120 l/h
Temperatura ambiente	Da 24.7 a 27.9 °C

TABELLA 6: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in spegnimento

Il seguente grafico riassume tutti le misure registrate. Per ogni campione sono presenti 3 misure: due di temperatura superficiale (le linee) e una di temperatura media superficiale (i punti). Oltre alle misure dei campioni è anche riportata la temperatura ambiente misurata con 6 termoigrometri (in azzurro).

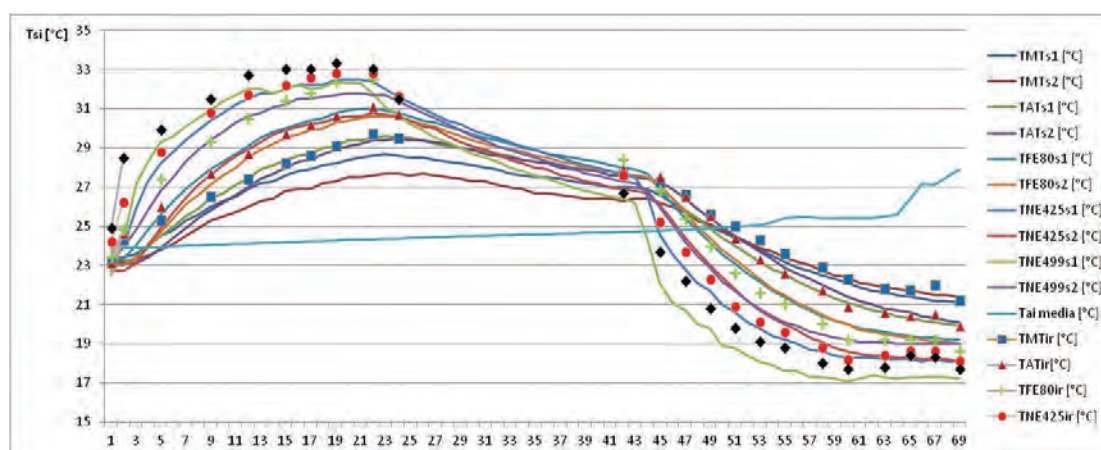


FIGURA 9: Misure di temperatura superficiale e dell'aria durante la prima campagna

Il seguente grafico riassume tutti le misure registrate. Per ogni campione sono presenti 3 misure: due di temperatura superficiale (le linee) e una di temperatura media superficiale (i punti). Oltre alle misure dei campioni è anche riportata la temperatura ambiente misurata con 6 termoigrometri (in azzurro).

Esempi di misure termografiche realizzate:

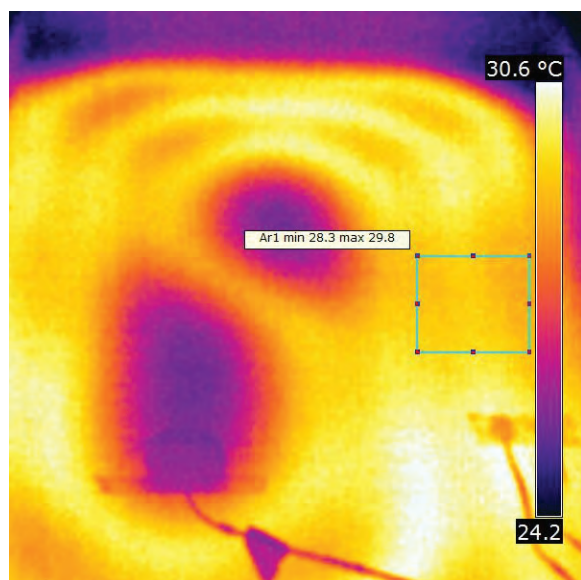


FIGURA 10: Ore 12:05 - Massetto tradizionale. Temperatura media area = 29.1 °C

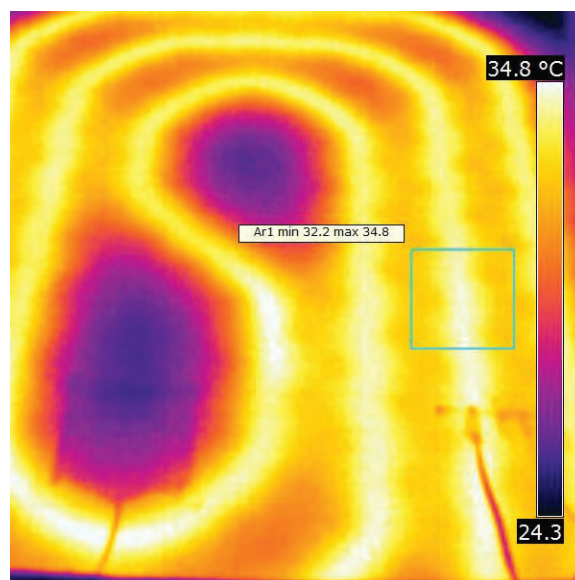


FIGURA 11: Ore 12:05 - NE499 Temperatura media area = 33.3 °C

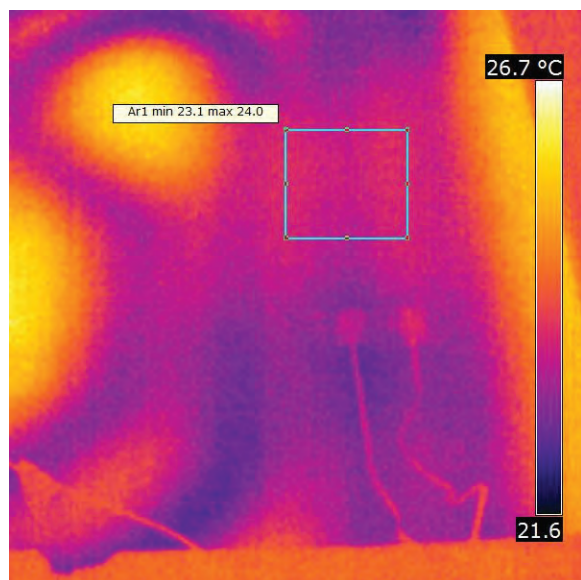


FIGURA 12: Ore 15:05 - Massetto tradizionale. Temperatura media area = 23.6 °C

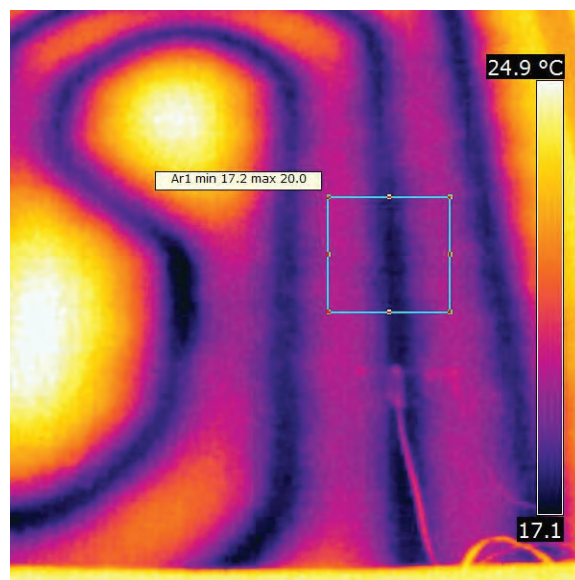


FIGURA 13: Ore 15:05 - NE499 Temperatura media area = 18.8 °C

COERENZA TRA MISURE E CALCOLI PREDITTIVI

Per ogni tipologia di massetto si è proceduto a calcolare, con software agli elementi finiti, il comportamento termico in condizioni al contorno simili a quelle monitorate. Si evidenziano i risultati per le diverse tipologie di massetto.

Massetto tradizionale

Dati al contorno per il calcolo:

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN ACCENSIONE
Periodo impostato di calcolo	1h30m
Intervallo grafico	1-19
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	24 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Temperatura ambiente	24 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra +4 e +1%

TABELLA 7: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione

PROVA DI RAFFRESCAMENTO	IN SPEGNIMENTO
Periodo impostato di calcolo	1h50m
Intervallo grafico	43-69
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	27,6 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	15 °C
Temperatura ambiente	25 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra -8 e -7%

TABELLA 8: Dati a contorno durante la prova di raffreddamento in spegnimento

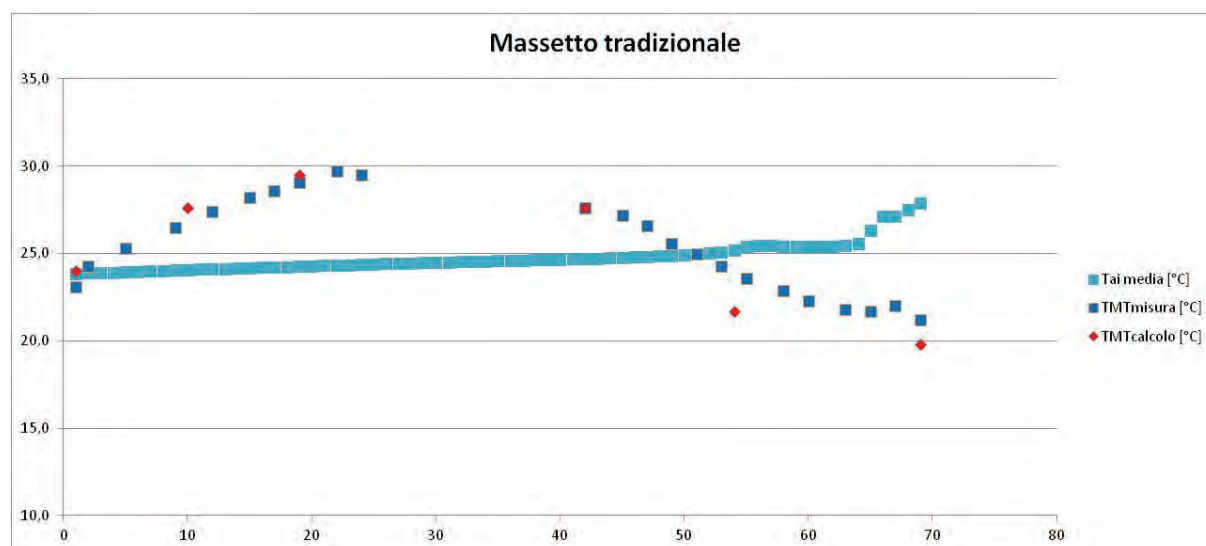


FIGURA 14: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

Autolivellante tradizionale

Dati al contorno per il calcolo:

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN ACCENSIONE
Periodo impostato di calcolo	1h30m
Intervallo grafico	1-19
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	24 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Temperatura ambiente	24 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra +1 e -2%

TABELLA 9: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione

PROVA DI RAFFRESCAMENTO	IN SPEGNIMENTO
Periodo impostato di calcolo	1h50m
Intervallo grafico	43-69
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	27,9 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	15 °C
Temperatura ambiente	25 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra -5 e -2%

TABELLA 10: Dati a contorno durante la prova di raffreddamento in spegnimento

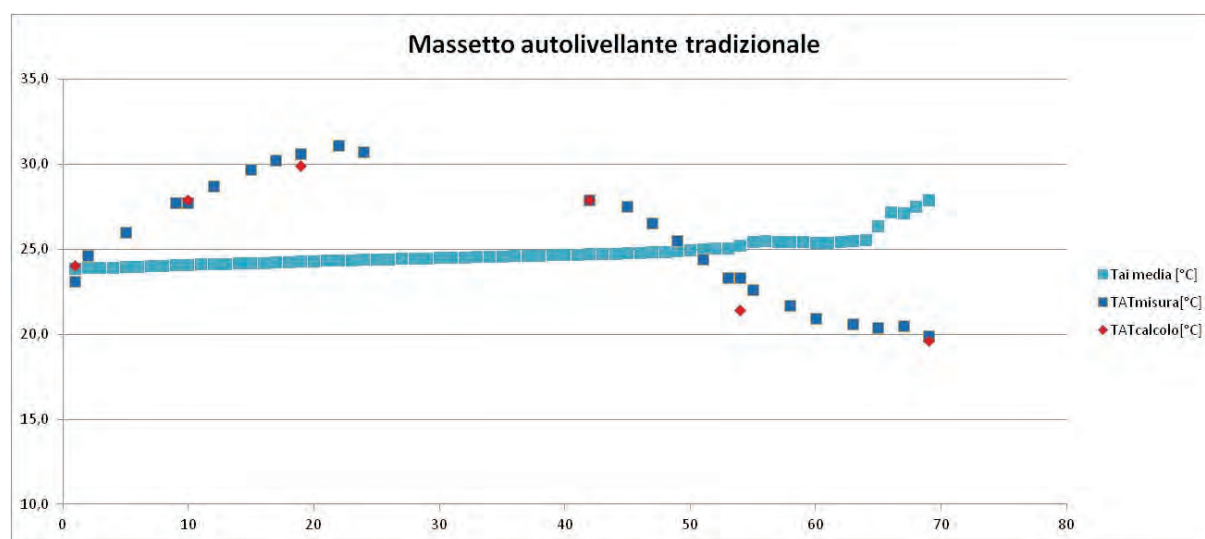


FIGURA 15: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

FE80

Dati al contorno per il calcolo:

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN ACCENSIONE
Periodo impostato di calcolo	1h30m
Intervallo grafico	1-19
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	24 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Temperatura ambiente	24 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra +3 e -1%

TABELLA 11: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione

PROVA DI RAFFRESCAMENTO	IN SPEGNIMENTO
Periodo impostato di calcolo	1h50m
Intervallo grafico	43-69
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	28,4 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	15 °C
Temperatura ambiente	25 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra -10 e -5%

TABELLA 12: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione

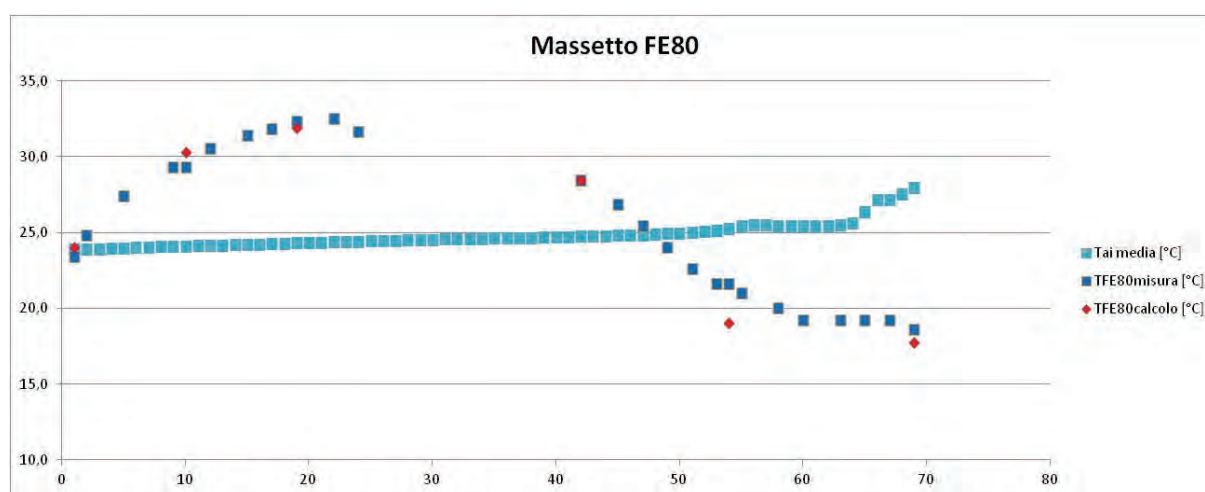


FIGURA 16: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

NE 425

Dati al contorno per il calcolo:

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN ACCENSIONE
Periodo impostato di calcolo	1h30m
Intervallo grafico	1-19
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	24 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Temperatura ambiente	24 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra +1 e -2%

TABELLA 13: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione

PROVA DI RAFFRESCAMENTO	IN SPEGNIMENTO
Periodo impostato di calcolo	1h50m
Intervallo grafico	43-69
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	27,6 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	15 °C
Temperatura ambiente	25 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra -7 e -2%

TABELLA 14: Dati a contorno durante la prova di raffreddamento in spegnimento

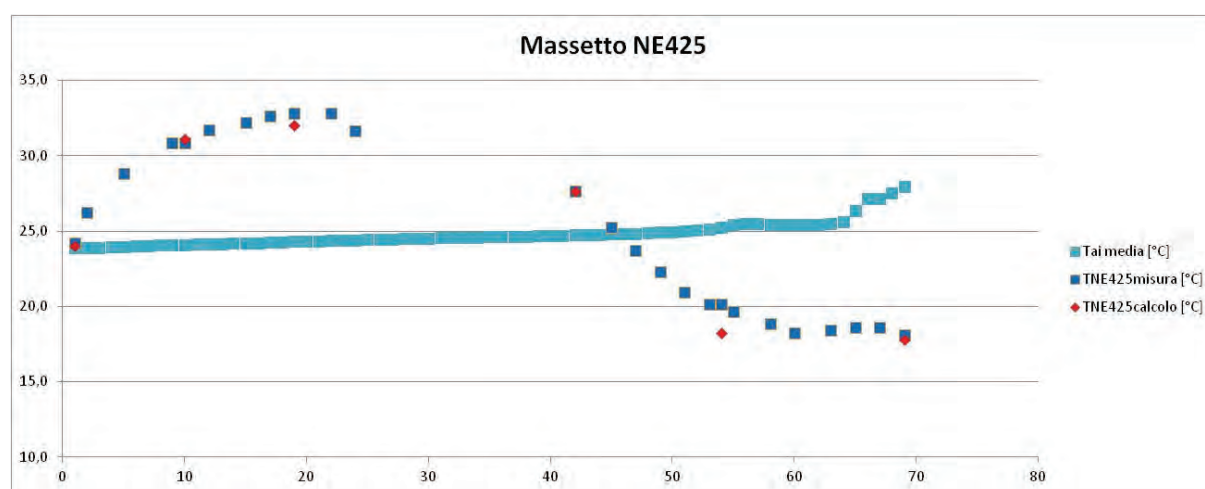


FIGURA 17: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

NE 499

Dati al contorno per il calcolo:

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN ACCENSIONE
Periodo impostato di calcolo	1h30m
Intervallo grafico	1-19
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	24 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Temperatura ambiente	24 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra +1 e -3%

TABELLA 15: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione

PROVA DI RAFFRESCAMENTO	IN SPEGNIMENTO
Periodo impostato di calcolo	1h50m
Intervallo grafico	43-69
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	26,7 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	15 °C
Temperatura ambiente	25 °C
Differenza percentuale tra dato misurato e calcolato	Compreso tra -5 e -1%

TABELLA 16: Dati a contorno durante la prova di raffreddamento in spegnimento

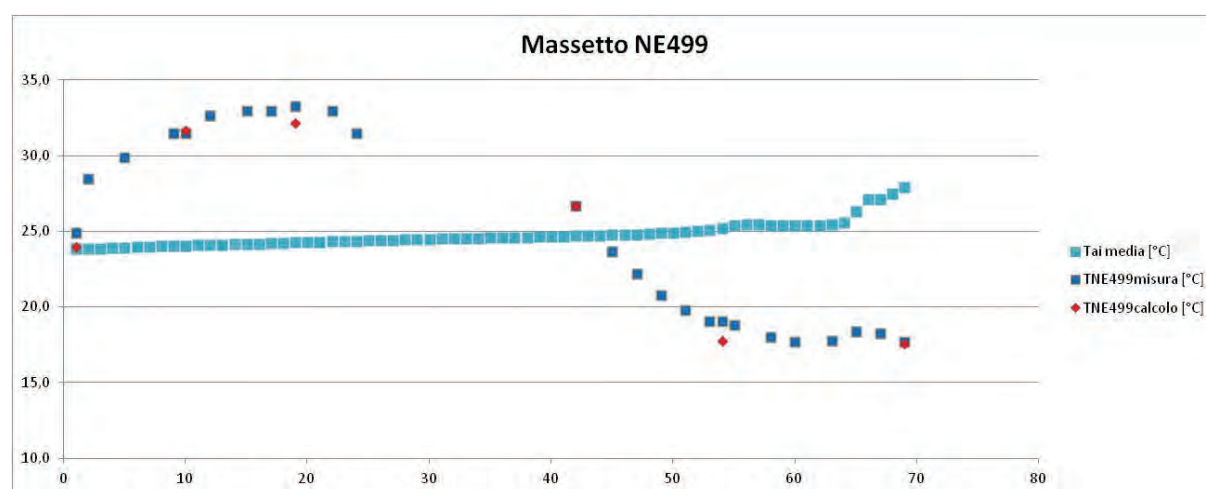


FIGURA 18: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

CONCLUSIONI

Si ritiene che i risultati dei modelli di calcolo, realizzati con software agli elementi finiti, considerate:

- le incertezze di misura;
- le incertezze dei dati tecnici termici caratterizzanti i materiali (calore specifico, lambda e densità);
- e quelle della non completa linearità delle condizioni al contorno;

siano coerenti con le misure realizzate. La tabella e il grafico riassumono le differenze percentuali tra i valori misurati e quelli calcolati al variare del tipo di massetto, del tipo di regime e del periodo analizzato.

	ΔT_{MT} [%]	ΔT_{AT} [%]	ΔT_{FE80} [%]	ΔT_{NE425} [%]	ΔT_{NE499} [%]
Riscaldamento 50'	4%	1%	3%	1%	1%
Riscaldamento 1h30'	1%	-2%	-1%	-2%	-3%
Riscaldamento 1h	-8%	-5%	-10%	-7%	-5%
Raffrescamento 2h15'	-7%	-2%	-5%	-2%	-1%

TABELLA 17: Differenze percentuali tra i valori misurati e quelli calcolati

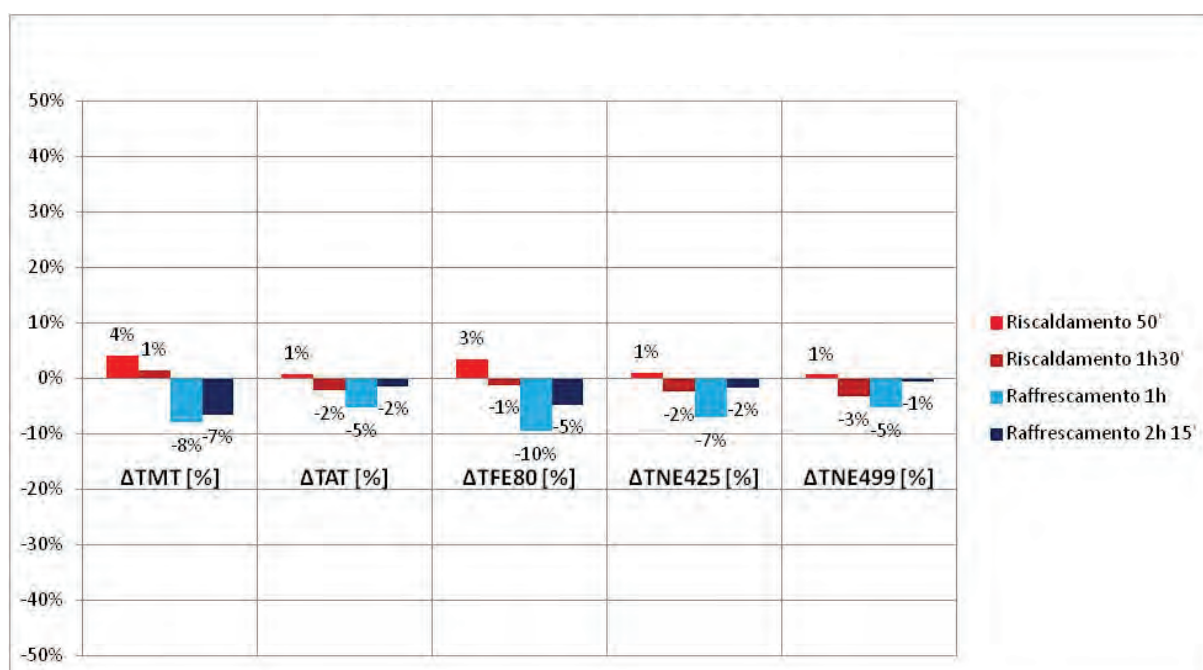


FIGURA 19: Differenza percentuale tra misura e calcolo

Dalle tabelle e del grafico si evince che gli scostamenti non superano il 10% e arrivano anche ad avvicinarsi al 1%.

Si è proceduto ad una seconda campagna per migliorare le condizioni iniziali per la prova di caricamento.

RISULTATI DI MISURA DELLA SECONDA CAMPAGNA DI MISURA

La seconda campagna di misura è stata condotta il 13 dicembre 2018 e il protocollo impiegato è stato quello del regime variabile. Le condizioni di misura sono state 2:

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN ACCENSIONE
Accensione	Ore 9:40
Spegnimento	Ore 11:04
Intervallo grafico	1-18 (5 minuti a intervallo)
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	Circa 18 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Portata	Fissa 120 l/h
Temperatura ambiente	Da 16.3 a 18.4 °C

TABELLA 18: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in accensione

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN SPEGNIMENTO
Accensione	Ore 11:04
Spegnimento	Ore 12:19
Intervallo grafico	19-33 (5 minuti a intervallo)
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	Variabile 26-32°C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	-
Portata	Fluido non in movimento
Temperatura ambiente	Da 18.0 a 18.4 °C

TABELLA 19: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in spegnimento

Il seguente grafico riassume tutti le misure registrate. Per ogni campione è presente una misura di temperatura media superficiale (i punti). Oltre alle misure dei campioni è anche riportata la temperatura ambiente media misurata con 6 termoigrometri (in azzurro).

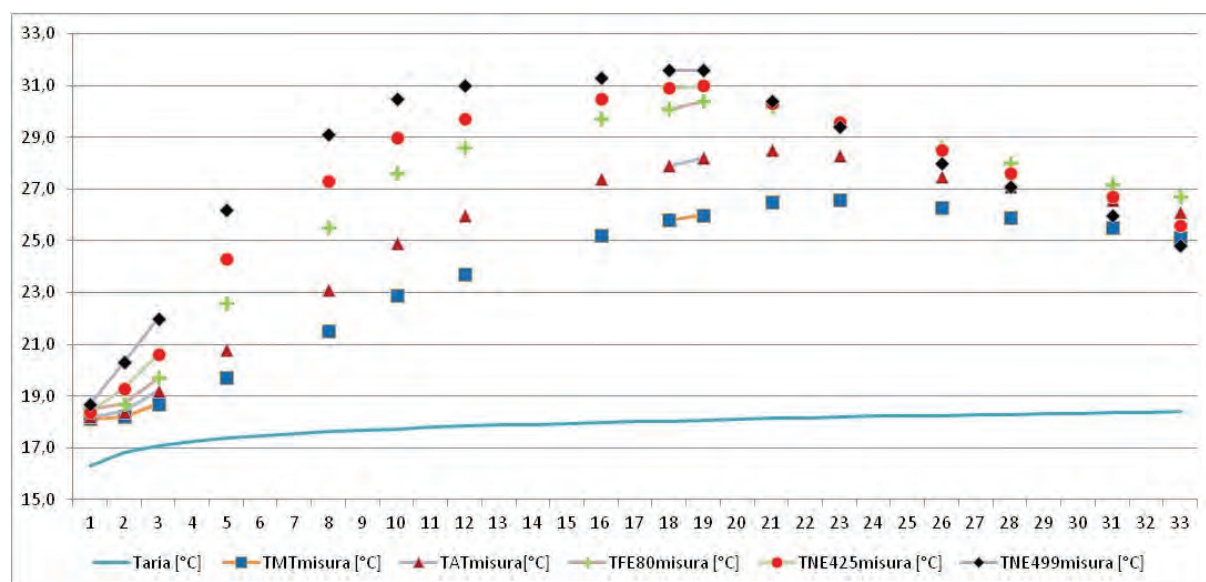


FIGURA 20: Misure di temperatura superficiale e dell'aria durante la 2ª campagna

COERENZA TRA MISURE E CALCOLI PREDITTIVI

Per ogni tipologia di massetto si è proceduto a calcolare, con software agli elementi finiti, il comportamento termico in condizioni al contorno simili a quelle monitorate. Si evidenziano i risultati per le diverse tipologie di massetto.

Dati al contorno per il calcolo:

PROVA DI RISCALDAMENTO	IN ACCENSIONE
Periodo impostato di calcolo	1h25m
Intervallo grafico	1-19
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	24 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Temperatura ambiente	24 °C

TABELLA 20: Dati al contorno

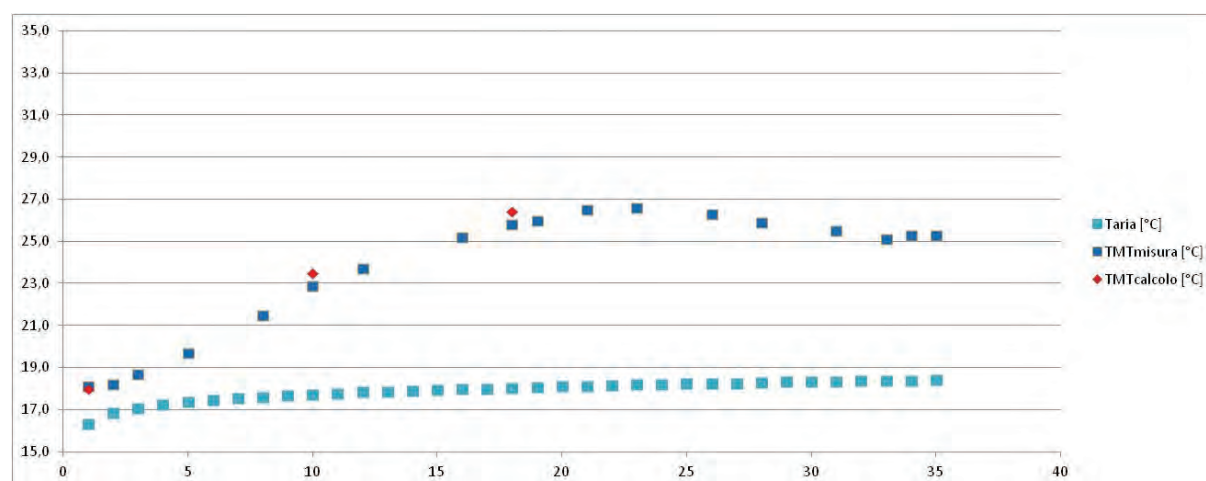


FIGURA 21: Massetto tradizionale MT - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

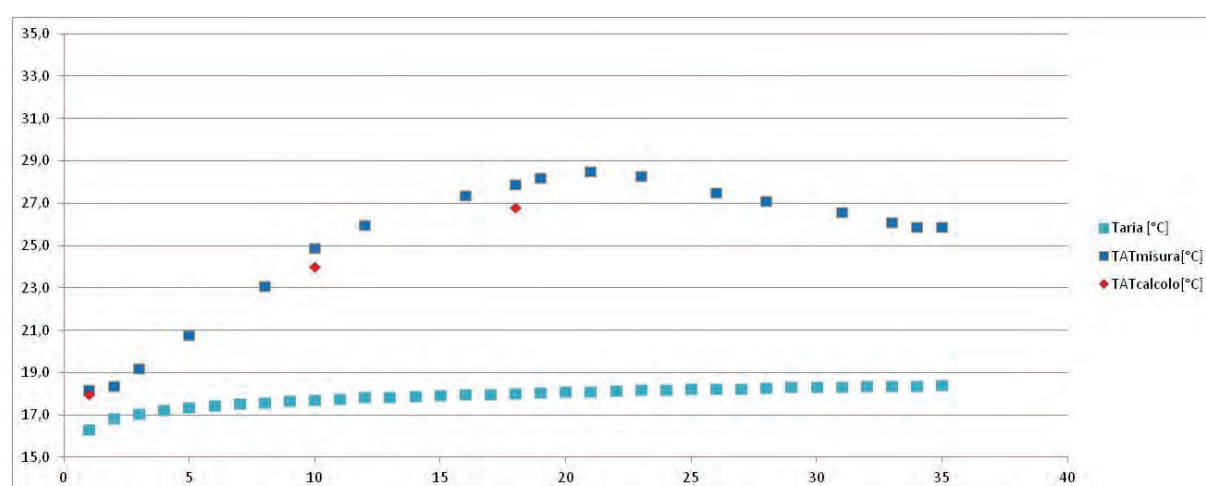


FIGURA 22: Massetto autolivellante tradizionale AT - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

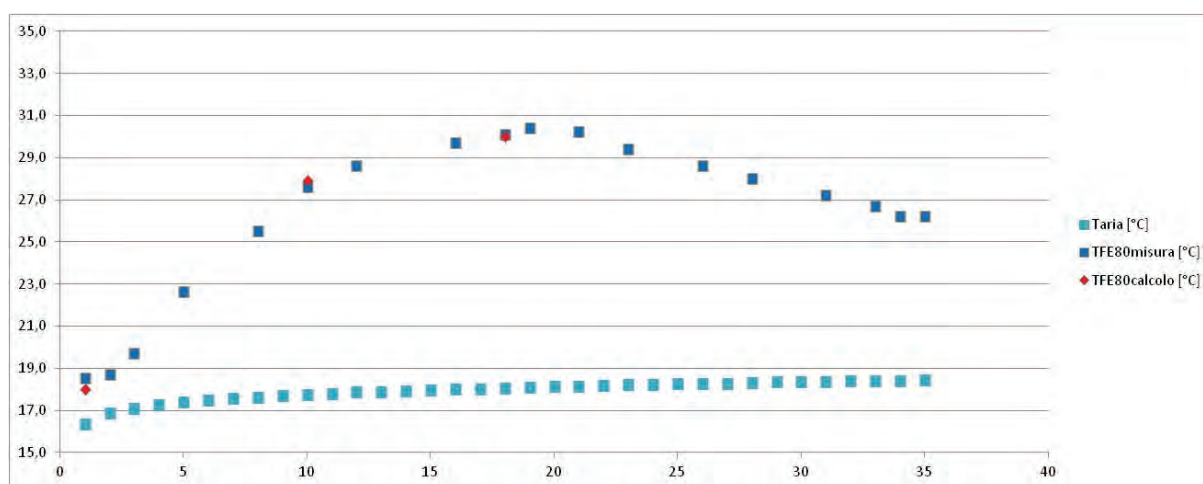


FIGURA 23: Massetto autolivellante FE80 - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

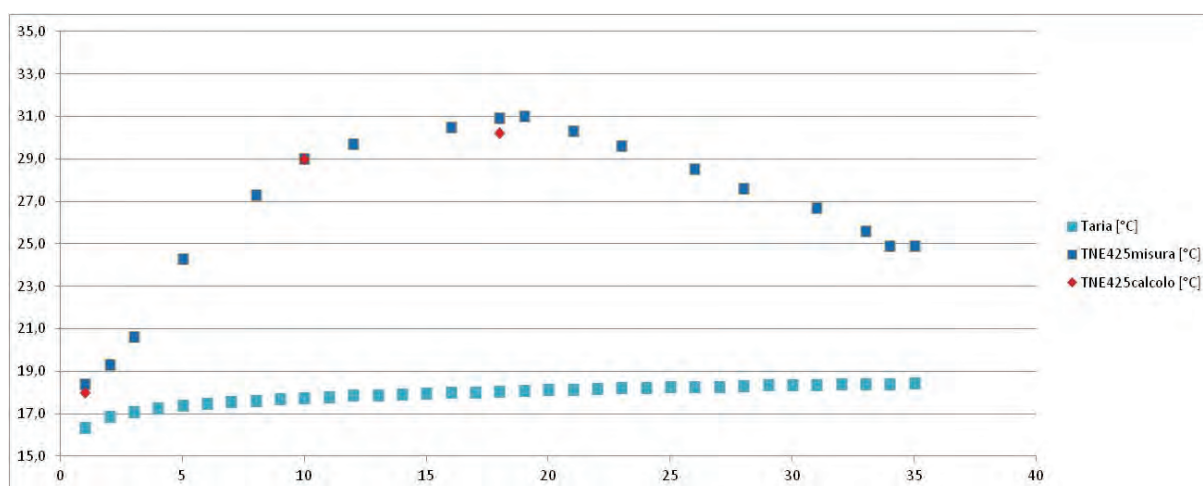


FIGURA 24: Massetto autolivellante NE425 - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

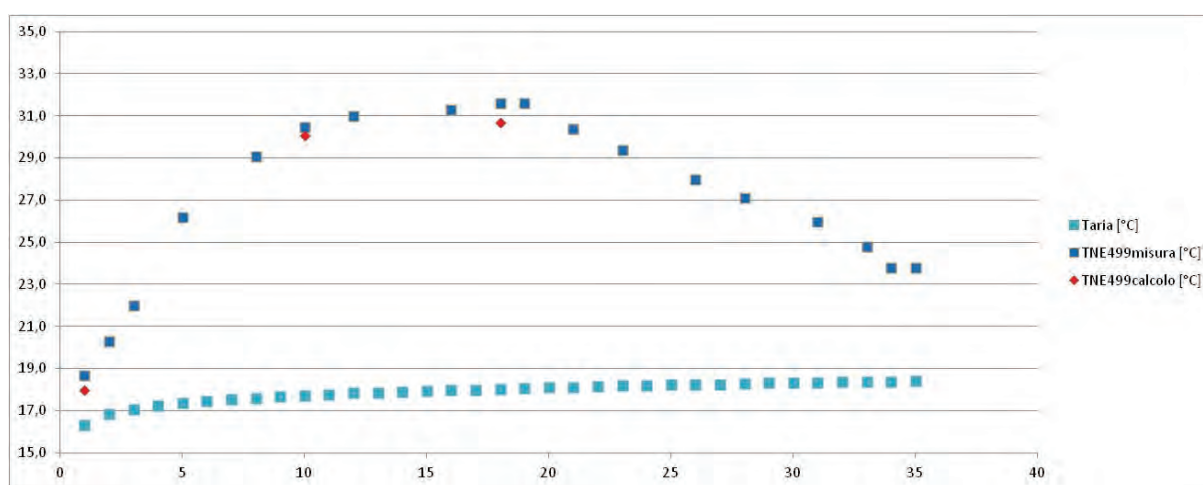


FIGURA 25: Massetto autolivellante NE499 - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)

CONCLUSIONI

Si ritiene che i risultati dei modelli di calcolo, realizzati con software agli elementi finiti, considerate

- le incertezze di misura,
- le incertezze dei dati tecnici termici caratterizzanti i materiali (calore specifico, λ e densità)
- e quelle della non completa linearità delle condizioni al contorno

siano coerenti con le misure realizzate. La tabella e il grafico riassumono le differenze percentuali tra i valori misurati e quelli calcolati al variare del tipo di massetto, del tipo di regime e del periodo analizzato.

	ΔT_{MT} [%]	ΔT_{AT} [%]	ΔT_{FE80} [%]	ΔT_{NE425} [%]	ΔT_{NE499} [%]
Riscaldamento 45'	3%	-4%	1%	0%	-1%
Riscaldamento 1h25'	2%	-4%	0%	-2%	-3%

TABELLA 21: Differenze percentuali tra i valori misurati e quelli calcolati

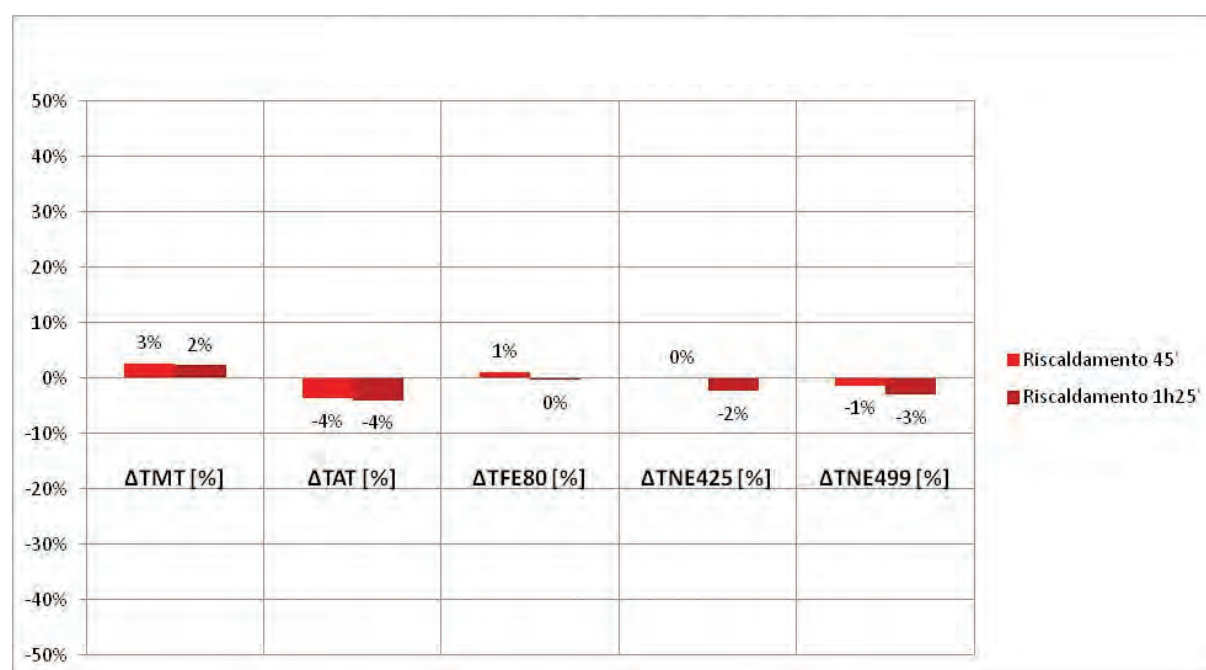


FIGURA 26: Differenza percentuale tra misura e calcolo

Dalle tabelle e del grafico si evince che gli scostamenti non superano il 4% e arrivano anche ad avvicinarsi a meno di 1%.

Essendo i modelli di calcolo molto coerenti con le misure, si procede nell'evidenziare i diversi comportamenti dei massetti sulla base dei modelli di calcolo.

Dati energetici

Durante la seconda campagna di misura è stata monitorata anche la quantità di energia termica ceduta al pannello dalle tubazioni con i contatori di calore.

L'energia ceduta ha come scopi:

- scaldare il massetto
- scaldare l'ambiente

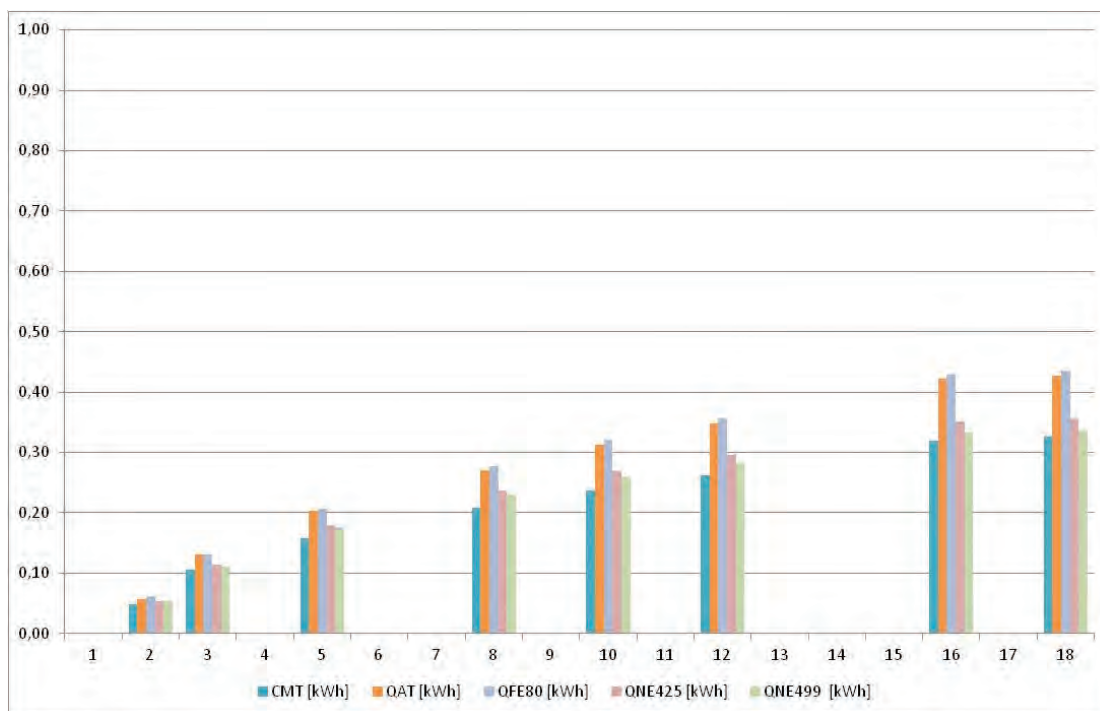


FIGURA 27: Energia ceduta dai diversi massetti

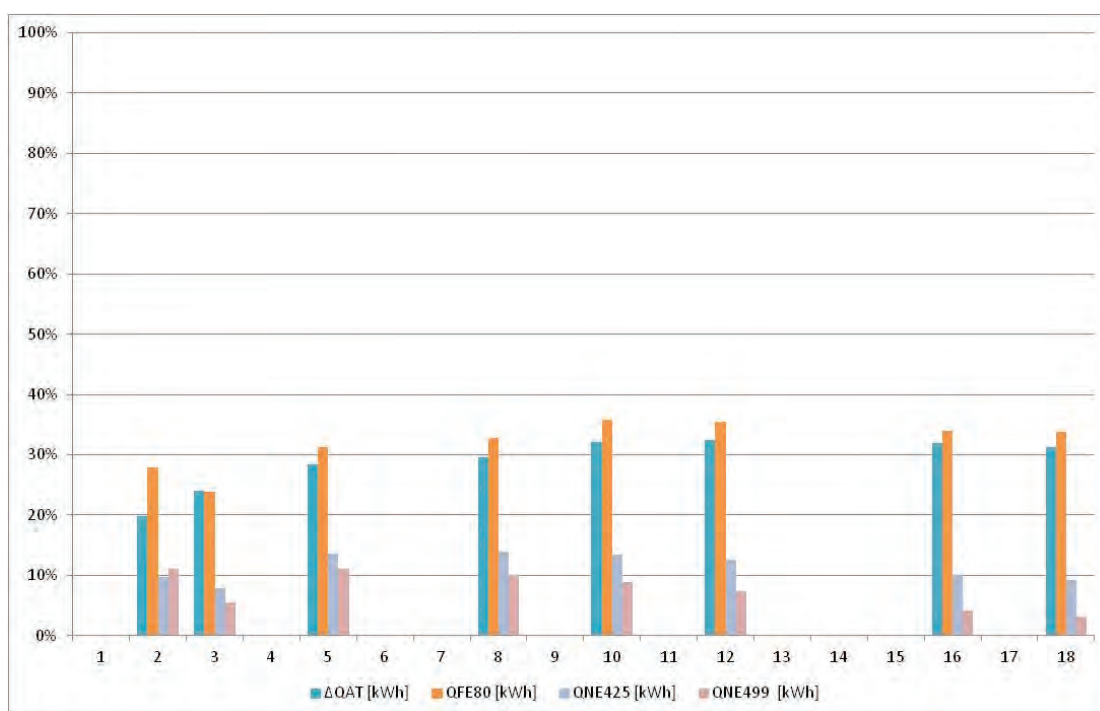


FIGURA 28: Differenza di energia ceduta dai diversi massetti rispetto al tradizionale in % a parità di portata e temperatura di mandato



riassumendo:

3. RICERCA IN CAMPO

I test effettuati ci hanno permesso di verificare 2 importanti temi legati alla scelta del massetto da applicare su impianto radiante:

- resa termica
- tempo di caricamento

Scegliendo soluzioni Knauf al posto di un massetto tradizionale si ottiene:

RESA

- fino al 27% di miglioramento della resa del sistema in caso di riscaldamento
- fino al 31% di miglioramento della resa del sistema in caso di raffrescamento

TEMPO DI CARICAMENTO

- fino all'86% di riduzione del tempo di caricamento



4

CALCOLI PREDITTIVI

Ricerca e sviluppo sull'efficacia di prodotti KNAUF per i pannelli radianti

PREMESSA

I calcoli sono stati eseguiti con software HEAT2 10.12.

Le condizioni al contorno ipotizzate sono:

- ambiente superiore a 20°C, resistenza superficiale 0,096 m²K/W (come da norma UNI EN 1264-2);
- ambiente inferiore a 20°C, resistenza linare 0,10 m²K/W (come da norma UNI EN ISO 6946).

RESA TERMICA RISCALDAMENTO

DATI DI CALCOLO	
Regime	Stazionario
Tipo di condizionamento	Riscaldamento
Risultato di calcolo	Temperatura superficiale media e flusso
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35-30 °C
Temperatura ambiente	20 °C

TABELLA 22: Dati di calcolo utilizzati durante la modellazione con software HEAT2 10.12

Risultati

Con 35 °C	Massetto tradizionale	Autolivellante tradizionale	FE 80	NE 425	NE 499
Temperatura superficiale media $\vartheta_{s,m}$ [°C]	29,1	29,4	31,3	31	31,2
Flusso calcolato q [W/m²]	101	105	128	125	127
Resa termica in variazione % rispetto al tradizionale		4%	27%	23%	26%

TABELLA 23: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 35° C

Risultati

Con 30 °C	Massetto tradizionale	Autolivellante tradizionale	FE 80	NE 425	NE 499
Temperatura superficiale media $\vartheta_{s,m}$ [°C]	26,1	26,3	27,5	27,3	27,5
Flusso calcolato q [W/m²]	65	68	82	79	82
Resa termica in variazione % rispetto al tradizionale		4%	26%	22%	26%

TABELLA 24: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 30° C

RESA TERMICA RAFFRESCAMENTO

DATI DI CALCOLO	
Regime	Stazionario
Tipo di condizionamento	Raffrescamento
Risultato di calcolo	Temperatura superficiale media e flusso
Temperatura di mandata del fluido termovettore	15-20 °C
Temperatura ambiente	26 °C

TABELLA 25: Dati di calcolo utilizzati durante la modellazione con software HEAT2 10.12

Risultati

Con 15 °C	Massetto tradizionale	Autolivellante tradizionale	FE 80	NE 425	NE 499
Temperatura superficiale media $\vartheta_{s,m}$ [°C]	19,3	19,1	17,6	17,9	17,8
Flusso calcolato q [W/m²]	72	75	93	89	90
Resa termica in variazione % rispetto al tradizionale		3%	28%	23%	25%

TABELLA 26: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 15° C

Risultati

Con 20 °C	Massetto tradizionale	Autolivellante tradizionale	FE 80	NE 425	NE 499
Temperatura superficiale media $\vartheta_{s,m}$ [°C]	22,4	22,2	21,4	21,6	21,5
Flusso calcolato q [W/m²]	37	39	48	46	47
Resa termica in variazione % rispetto al tradizionale		6%	31%	25%	28%

TABELLA 27: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 20° C

TEMPO DI CARICAMENTO

Condizione di riscaldamento

DATI DI CALCOLO	
Regime	Variabile
Tipo di condizionamento	Riscaldamento
Risultato di calcolo	Tempo - ore e minuti
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	14 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	35 °C
Temperatura ambiente	18 °C
Temperatura superficiale obiettivo	25-28

TABELLA 28: Dati di calcolo utilizzati durante la modellazione con software HEAT2 10.12

Risultati

	Massetto tradizionale	Autolivellante tradizionale	FE 80	NE 425	NE 499
Tempo con 25°C	1h15m	1h10m	35m	25m	15m
Variazione %		-7%	-53%	-67%	-80%
Tempo con 28°C	3h	2h	50m	35m	25m
Variazione %		-33%	-72%	-81%	-86%

TABELLA 29: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 25° C e 28° C

Condizione di raffrescamento

DATI DI CALCOLO	
Regime	Variabile
Tipo di condizionamento	Raffrescamento
Risultato di calcolo	Tempo - ore e minuti
Temperatura dei massetti e delle tubazioni	30 °C
Temperatura di mandata del fluido termovettore	15 °C
Temperatura ambiente	28 °C
Temperatura superficiale obiettivo	23-25

TABELLA 30: Dati di calcolo utilizzati durante la modellazione con software HEAT2 10.12

Risultati

	Massetto tradizionale	Autolivellante tradizionale	FE 80	NE 425	NE 499
Tempo con 25°C	40m	37m	18m	12m	7m
Variazione %		-8%	-55%	-70%	-83%
Tempo con 23°C	1h10m	55m	30m	18m	12m
Variazione %		-21%	-57%	-74%	-83%

TABELLA 31: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 25° C e 23° C

ESEMPI DI OUTPUT

Modello con massetto tradizionale

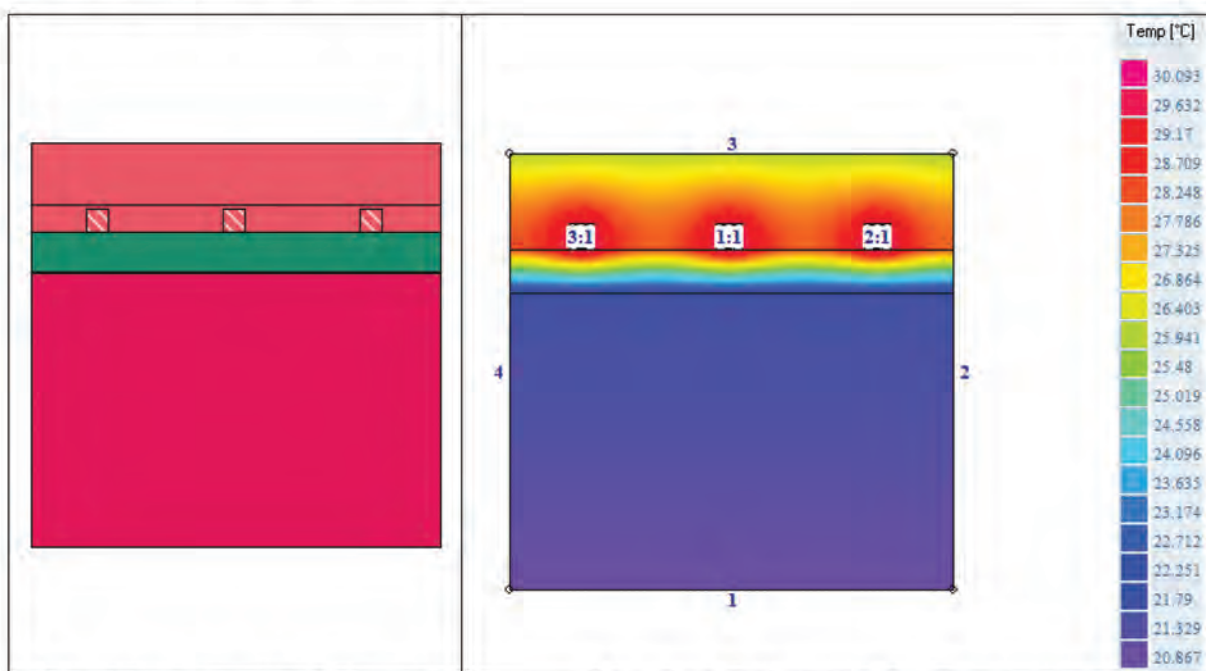


FIGURA 29: Descrizione geometrica e termica

FIGURA 30: Modello agli elementi finiti - Temperatura

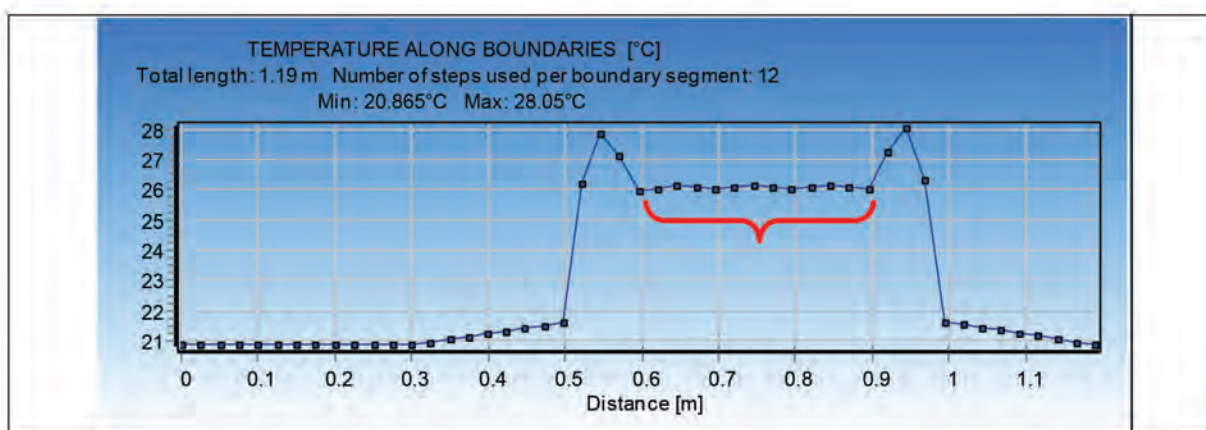


FIGURA 31: Andamento delle temperature sulla faccia superiore del modello

Modello con FE 80

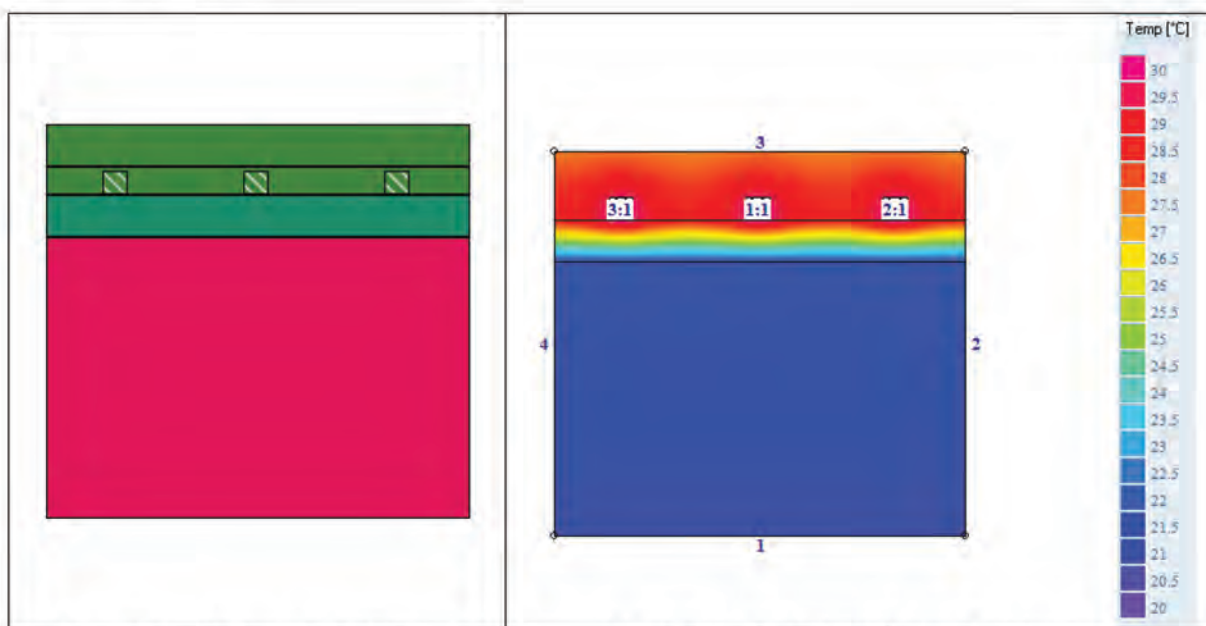


FIGURA 32: Descrizione geometrica e termica

FIGURA 33: Modello agli elementi finiti - Temperatura

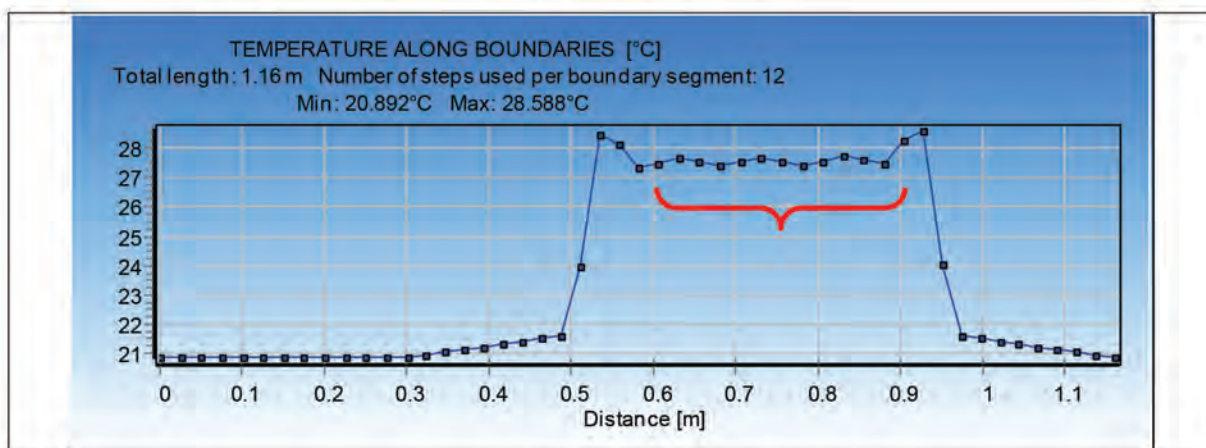


FIGURA 34: Andamento delle temperature sulla faccia superiore del modello

Modello con NE 425

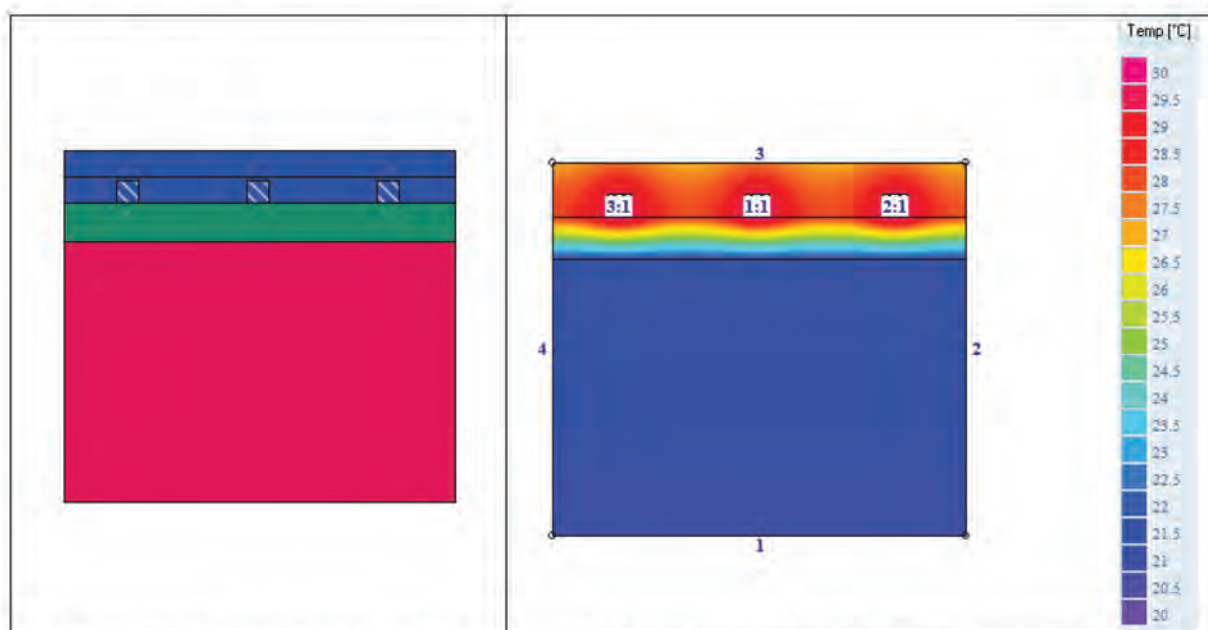


FIGURA 35: Descrizione geometrica e termica

FIGURA 36: Modello agli elementi finiti - Temperatura

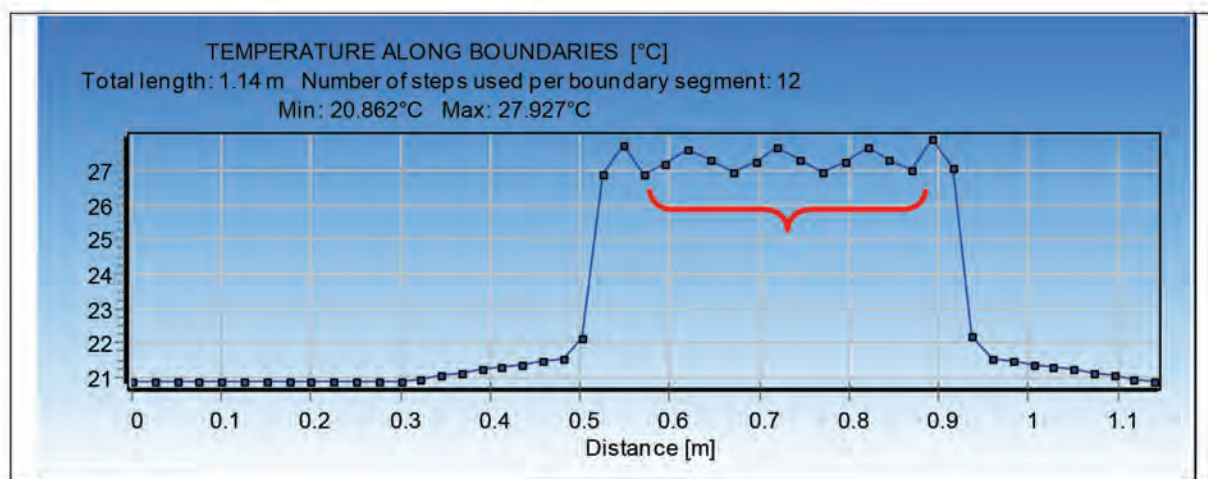


FIGURA 37: Andamento delle temperature sulla faccia superiore del modello

Modello con NE 499

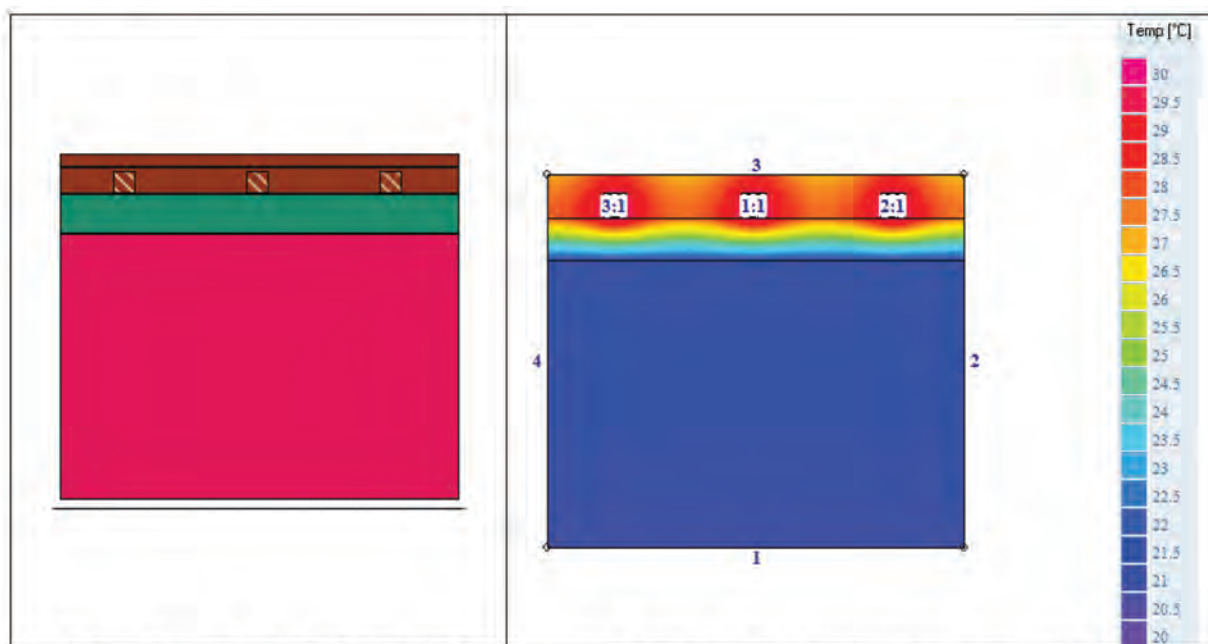


FIGURA 38: Descrizione geometrica e termica

FIGURA 39: Modello agli elementi finiti - Temperatura

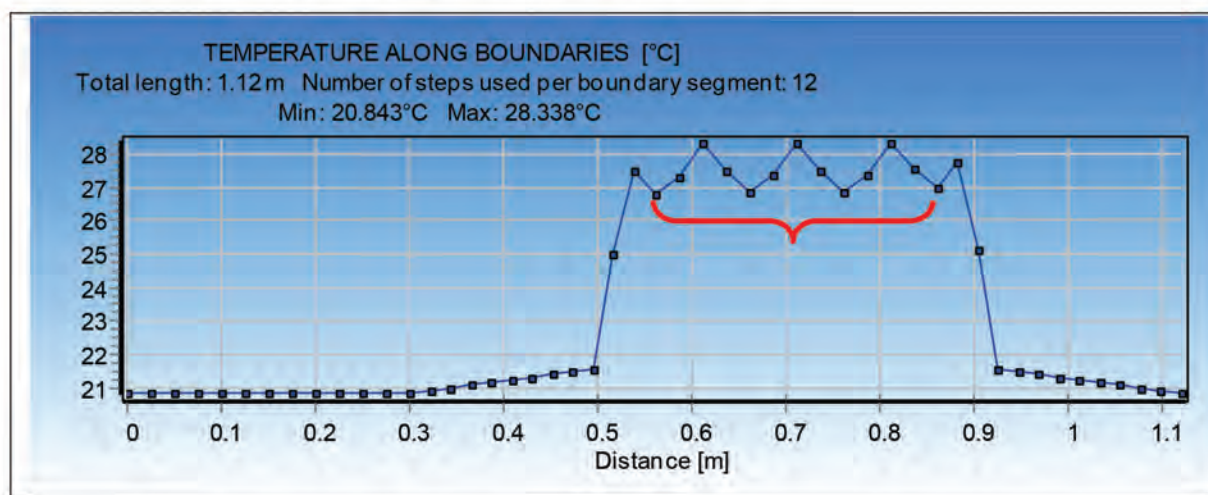


FIGURA 40: Andamento delle temperature sulla faccia superiore del modello



riassumendo:

4. CALCOLI PREDITTIVI

Attraverso software agli elementi finiti sono state modellate le stratigrafie sopra descritte.

Considerando le caratteristiche applicative è stato possibile determinare che per ogni soluzione i risultati ottenuti dalla prove di campo collimano con scarti inferiori al 4% con i calcoli predittivi.

Questo ha permesso di validare analiticamente il test sperimentale eseguito confermandone di fatto l'elevata attendibilità e replicabilità.

5

CONCLUSIONI

Ricerca e sviluppo sull'efficacia di prodotti KNAUF per i pannelli radianti



MAGGIORE RESA

I risultati dello studio hanno mostrato due aspetti dell'efficacia delle soluzioni a basso spessore per i pannelli radianti:

- **Maggiore resa (W/m^2)** dei pannelli data dalla temperatura superficiale maggiore; a parità di temperatura di mandata nei pannelli la capacità del pannello radiante di trasmettere energia è maggiore con i seguenti benefici:
 - Maggiore potenza termica installabile a parità di superficie calpestabile
 - Possibilità di non coprire parti di superfici oggetto di altri ingombri (letti, armadi, ecc.)
 - Possibilità di ridurre la temperatura di mandata (con maggiore efficienza dei generatori a condensazione o in pompa di calore)

La maggiore resa è principalmente un dato legato alla progettazione dell'impianto e quindi il beneficiario è il progettista termotecnico.

A titolo di esempio si riportano dei dati verosimili di scheda tecnica di pompa di calore per il servizio di riscaldamento aria-acqua per il residenziale di 6 kW di resa termica per evidenziare il beneficio di una riduzione della temperatura di mandata.

T mandata di 35°C				
Carico	100%		30%	
Ta	Hc	COP	Hc	COP
-7	5.38	2.82	1.84	3.12
-2	5.43	3.23	1.86	3.38
2	5.46	3.66	1.87	3.67
7	6.41	4.93	1.97	4.10
12	6.07	6.01	2.04	5.51

T mandata di 30°C				
Carico	100%		30%	
Ta	Hc	COP	Hc	COP
-7	5.43	3.27	0.03	0.03
-2	5.49	3.71	1.94	4.31
2	5.60	4.00	1.90	4.75
7	6.65	5.99	2.21	5.26
12	6.32	7.35	2.29	7.16

TABELLA 32: Variazione migliorativa del COP al variare della temperatura di mandata

In pieno utilizzo invernale, con temperatura esterna dell'aria di 2°C poter passare da una temperatura di mandata da 35°C a 30°C per esempio comporta un miglioramento del COP a carico 100% da 3.66 a 4.00 e a carico parziale da 3.67 a 4.75 con un aumento della resa termica. Un valore di COP più alto comporta minore fabbisogno energetico e quindi minore consumo elettrico.

La modellazione del sistema edificio-impianto potrà beneficiare di questo aspetto se ha impattato sulla riduzione della temperatura di mandata con conseguente migliore efficienza del generatore.

MIGLIORE REATTIVITÀ

- **Minore inerzia del massetto** del sistema radiante e quindi tempi di caricamento e scaricamento estremamente ridotti. I benefici:
 - **Maggiore efficienza dell'impianto**, minor consumo di energia poiché le perdite di "regolazione" sono inferiori. Poca energia viene sprecata per contenere la temperatura intorno al valore di set point. Quando l'impianto deve "smettere" di erogare energia è in grado di recepire questa informazione in tempi più rapidi rispetto al tradizionale.
 - **Maggiore reattività del sistema radiante**: poco tempo per caricarsi, poco tempo per raffreddarsi. Negli edifici ad uso saltuario e in quelli ben isolati termicamente, la pronta risposta all'esigenza di riscaldamento o raffrescamento rende l'ambiente più confortevole.

La minore inerzia del massetto e quindi la possibilità di migliorare il rendimento di regolazione (associato al tipo di regolazione - ambiente o di zona) è valorizzabile in termini di consumo e fabbisogno energetico nella variazione delle perdite di regolazione. Tale aspetto impatta sulla relazione ex-legge 10 e sui valori dell'attestato di prestazione energetica.

Il tema è l'inquadramento del massetto leggero come "sistema ad elevata inerzia".

Le perdite di regolazione rappresentano il fatto che la regolazione della temperatura non è ideale e quindi non si è in grado di ridurre immediatamente l'emissione del corpo scaldante a cause del tipo di regolazione e dell'inerzia del corpo scaldante.

I risultati ottenuti con la ricerca in campo e con i calcoli predittivi dello studio sono coerenti con le diverse capacità termiche in gioco per i diversi sistemi evidenziati dal seguente grafico:

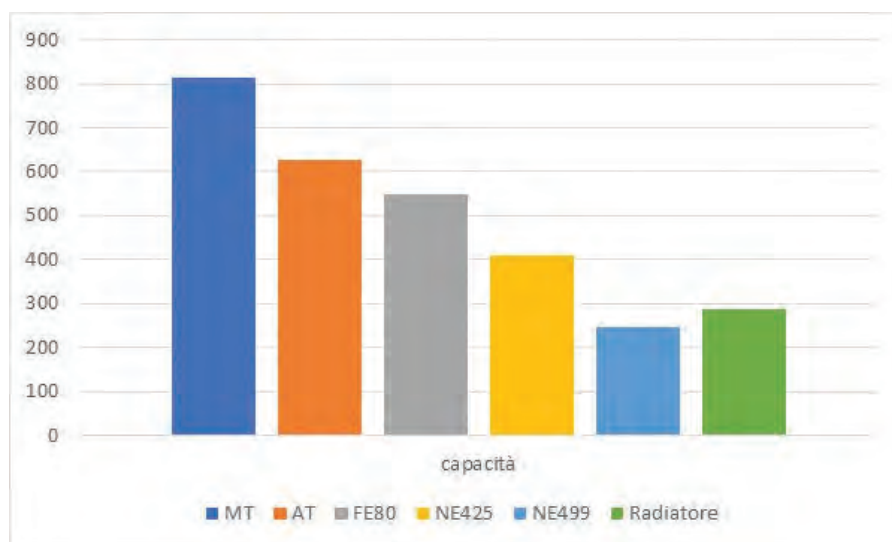


FIGURA 41: Valori di capacità termica complessiva [kJ/K] per una stanza di 9 m² di superficie e con radiatore di volume complessivo pari a 0,6 m³ x 0,08 m

I valori di rendimento di regolazione tabellari della norma UNI TS 11300-2 sono riferiti ai sistemi tradizionali dei pannelli radianti. La migliore "reattività" del sistema a basso spessore porta a due passaggi migliorativi: cambiamento del tipo di classificazione del sistema, da "ad elevata inerzia" a "bassa inerzia" e anche un possibile contenimento della banda di oscillazione.

Rendimenti di regolazione η_{reg}			
Tipo di regolazione	Caratteristiche della regolazione	Sistemi a bassa inerzia	Sistemi ad elevata inerzia
		Radiatori, convettori, ventilconvettori, strisce radianti ed aria calda	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente
Solo di zona	On Off	0.93	0.91
	P banda prop. 2 °C	0.94	0.92
	P banda prop. 1 °C	0.97	0.95
	P banda prop. 0.5 °C	0.98	0.96
Solo per singolo ambiente	On Off	0.94	0.92
	P banda prop. 2 °C	0.95	0.93
	P banda prop. 1 °C	0.98	0.97
	P banda prop. 0.5 °C	0.99	0.98
Zona + climatica	On Off	0.96	0.94
	P banda prop. 2 °C	0.96	0.95
	P banda prop. 1 °C	0.97	0.96
	P banda prop. 0.5 °C	0.98	0.97
Per singolo ambiente + climatica	On Off	0.97	0.95
	P banda prop. 2 °C	0.97	0.96
	P banda prop. 1 °C	0.98	0.97
	P banda prop. 0.5 °C	0.99	0.98

TABELLA 33: Estratto della tabella dei rendimenti di regolazione [Fonte: UNI/TS 11300-2, paragrafo 6.3, prospetto 20]

L'estratto della tabella porta quindi ad un miglioramento dell'efficienza dell'impianto di diversi punti percentuali a seconda del tipo di regolazione installata (se di zona o per singolo ambiente).

La maggiore reattività del sistema è invece valorizzabile in regime transitorio con valutazioni legate al calcolo in regime dinamico da realizzarsi al variare delle tecnologie del massetto ed evidenziando la differenza di comfort tra le diverse soluzioni nel mantenere la temperatura di set point evitando inutili surriscaldamenti interni.

ESEMPIO DI CALCOLO SU EDIFICIO:



FIGURA 42: Prospetto EST



FIGURA 43: Prospetto SUD

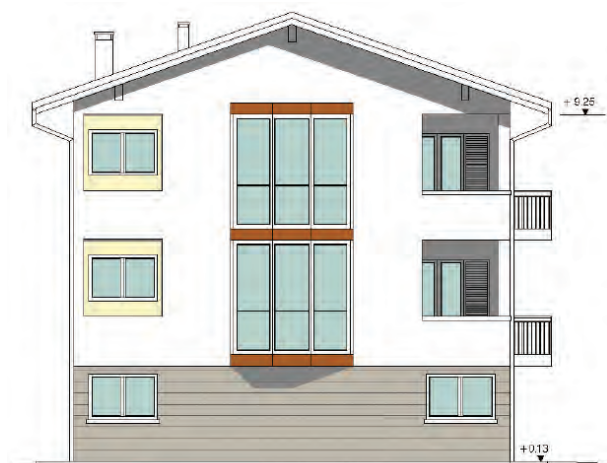


FIGURA 44: Prospetto OVEST



FIGURA 45: Prospetto NORD

Fabbricato costituito da due unità immobiliari servite da un sistema impiantistico di riscaldamento costituito da un generatore a pompa di calore aria-acqua che serve un impianto a pannelli radianti. La produzione di acqua calda sanitaria è centralizzata con un collettore solare che serve un accumulo integrato da un generatore a gas.

Le unità immobiliari sono posizionate al piano primo e al piano secondo. Il piano terra, il vano scala e il sottotetto non sono climatizzati.

L'edificio è ben isolato termicamente, ma i ponti termici sono stati affrontati in modo superficiale.

Caratteristiche termiche dei componenti opachi dell'involucro edilizio

Descrizione struttura	Massa sup. [kg/m ²]	U [W/m ² K]	C [kJ/m ² K]
M1 Parete	582,5	0,22	57,6
M2 Porta ingresso	0,0	1,80	1,0
M3 Parete	604,0	0,39	15,7
M4 Parete	583,5	1,39	63,4
M5 Parete	583,5	1,58	65,2
P1 solaio verso garage	370,5	0,23	42,1
P2 solaio tra appartamenti	369,5	0,43	42,7
P3 solaio verso sottotetto	228,0	0,23	62,6
P4 copertura in legno	49,6	1,98	17,2
M6 divisori interni	44,2	0,44	22,1

TABELLA 34: Caratteristiche dei componenti opachi

Caratteristiche termiche dei componenti finestrati (serramenti e vetri) dell'involucro edilizio

Descrizione struttura	Area [m ²]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]
F1	3,5	1,35	0,65
F2	2,1	1,47	0,65
F3	1,8	1,47	0,65
F4	1,1	1,52	0,65
F5	10,5	1,26	0,65
F6	2,2	1,49	0,65

TABELLA 35: Caratteristiche dei componenti finestrati

Caratteristiche termiche dei componenti dei ponti termici analizzati agli elementi finiti:

Codice	Descrizione	Ψ_e [W/mK]	F _p ponderazione
PT_1	Pianta: parete angolo parete esterno	-0,070	100%
PT_2	Pianta: parete angolo parete interno	0,120	100%
PT_3	Pianta: spalla serramento/spalla serramento	0,310	100%
PT_4	Pianta: spalla serramento/angolo	-0,147	100%
PT_5	Pianta: doppio angolo	-0,039	100%
PT_6	Pianta: spalla porta blindata/spalla porta blindata	0,230	100%
PT_7	Sezione: parete - trave - garage	0,300	100%
PT_8	Sezione: parete - balcone - garage	0,800	100%
PT_9	Sezione: parete - trave - parete	0,010	50%
PT_10	Sezione: parete - balcone - parete	0,750	50%
PT_11	Sezione: parete - trave - copertura	0,300	100%
PT_12	Sezione: soglia - trave - garage	0,322	100%
PT_13	Sezione: vettura serramento	0,250	100%
PT_14	Sezione: soglia - balcone - garage	0,322	100%
PT_15	Sezione: davanzale serramento	0,310	100%
PT_16	Sezione: muricci solaio copertura	0,210	100%
PT_17	Sezione: soglia - balcone - parete	0,720	50%

TABELLA 36: Caratteristiche dei componenti dei ponti termici

RISULTATI DI CALCOLO

Sono state realizzate due scenari in zona climatica E. La valutazione del COP medio della pompa di calore è stata realizzata con il metodo di calcolo della UNI TS 11300-4 (riferito a dati orari dell'aria esterna con i bin) e con valutazione ai carichi parziali per mezzo dei valori di scheda tecnica di f_{COP} in accordo con UNI EN 14825.

Il primo scenario è con edificio ben isolato termicamente ($H'T = 0.51 \text{ W/m}^2\text{K}$) e il secondo con edificio esistente mediamente isolato ($H'_T = 0.97 \text{ W/m}^2\text{K}$).

L'uso del pannello a basso spessore ha due impatti:

- miglioramento del rendimento di regolazione
- abbassamento della temperatura di mandata del generatore e quindi miglioramento del COP.

A seconda del valore di riduzione della temperatura di mandata il miglioramento energetico ha valori significativi (7-16%).

Risultati nel caso di un edificio ben isolato termicamente ($H'_T = 0.51 \text{ W/m}^2\text{K}$)

zona E	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,gn,out}$	$Q_{H,gn,in}$	COP medio
Ben isolato ($U_m = 0,51$)	kWh	kWh	kWhe	
Impianto tradizionale	12.017	13.052	4.009	3,26
Impianto radiante a bassa inerzia con temperatura di mandata di -2 °C	12.017	12.905	3.723	3,47
Impianto radiante a bassa inerzia con temperatura di mandata di -5 °C	12.017	12.905	3.348	3,85
Riduzione del fabbisogno		-2 °C	286	7,1%
Riduzione del fabbisogno		-5 °C	661	16,5%

Miglioramento del rendimento di regolazione ed abbassamento temperatura di mandata

TABELLA 37: Risultati nel caso di edificio ben isolato supponendo tre condizioni di impianto differenti

zona E	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,gn,out}$	$Q_{H,gn,in}$	COP medio
Esistente ($U_m = 0,97$)	kWh	kWh	kWhe	
Impianto tradizionale	27.442	30.110	8.305	3,63
Impianto radiante a bassa inerzia con temperatura di mandata di -2 °C	27.442	29.780	7.715	3,86
Impianto radiante a bassa inerzia con temperatura di mandata di -5 °C	27.442	29.780	6.923	4,30
Riduzione del fabbisogno		-2 °C	590	7,1%
Riduzione del fabbisogno		-5 °C	1.382	16,6%

Miglioramento del rendimento di regolazione ed abbassamento temperatura di mandata

TABELLA 38: Risultati nel caso di edificio mediamente isolato supponendo tre condizioni di impianto differenti



riassumendo:

5. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti sono riassumibili in 2 grandi vantaggi nella scelta delle soluzioni Knauf:

- Maggiore resa (W/m^2)
- Migliore reattività

Per contestualizzare i risultati ottenuti e quantificarli in termini di risparmio energetico sono stati modellati 2 edifici in zona climatica F con caratteristiche planimetriche e volumetriche tipiche di un edificio residenziale comune sul territorio italiano.

- edificio ben isolato (nuovo)
- edificio mediamente isolato (esistente)

Partendo dai rendimenti dell'impianto è possibile, scegliendo massetti Knauf per la posa su impianto radiante, agire su 2 rendimenti dell'impianto:

- miglioramento del rendimento di regolazione
- miglioramento del rendimento di generazione mediante abbassamento della temperatura di mandata del generatore e quindi miglioramento del COP

È possibile pertanto ottenere un risparmio energetico variabile **dal 7 al 16 %** calcolato come indice di prestazione energetica globale dell'edificio.

TABELLA 1: Parametri in ingresso	11
TABELLA 2: Dati di monitoraggio	17
TABELLA 3: Dati da monitorare	19
TABELLA 4: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in accensione	20
TABELLA 5: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in spegnimento	20
TABELLA 6: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in spegnimento	20
TABELLA 7: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione	22
TABELLA 8: Dati a contorno durante la prova di raffreddamento in spegnimento.....	22
TABELLA 9: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione	23
TABELLA 10: Dati a contorno durante la prova di raffreddamento in spegnimento	23
TABELLA 11: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione	24
TABELLA 12: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione	24
TABELLA 13: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione	25
TABELLA 14: Dati a contorno durante la prova di raffreddamento in spegnimento	25
TABELLA 15: Dati a contorno durante la prova di riscaldamento in accensione	26
TABELLA 16: Dati a contorno durante la prova di raffreddamento in spegnimento	26
TABELLA 17: Differenze percentuali tra i valori misurati e quelli calcolati	27
TABELLA 18: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in accensione	28
TABELLA 19: Risultati di misura durante la prova di riscaldamento in spegnimento.....	28
TABELLA 20: Dati al contorno	29
TABELLA 21: Differenze percentuali tra i valori misurati e quelli calcolati	31
TABELLA 22: Dati di calcolo utilizzati durante la modellazione con software HEAT2 10.12.....	37
TABELLA 23: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 35° C.....	35
TABELLA 24: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 30° C.....	35
TABELLA 25: Dati di calcolo utilizzati durante la modellazione con software HEAT2 10.12.....	36
TABELLA 26: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 15° C.....	36
TABELLA 27: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 20° C.....	36
TABELLA 28: Dati di calcolo utilizzati durante la modellazione con software HEAT2 10.12.....	37
TABELLA 29: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 25° C e 28° C.....	37
TABELLA 30: Dati di calcolo utilizzati durante la modellazione con software HEAT2 10.12.....	37
TABELLA 31: Risultati ottenuti supponendo una temperatura di mandata pari a 25° C e 23° C.....	37
TABELLA 32: Variazione migliorativa del COP al variare della temperatura di mandata	44
TABELLA 33: Estratto della tabella dei rendimenti di regolazione [Fonte: UNI/TS 11300-2, paragrafo 6.3, prospetto 20].....	46
TABELLA 34: Caratteristiche dei componenti opachi.....	48
TABELLA 35: Caratteristiche dei componenti finestrati.....	48
TABELLA 36: Caratteristiche dei componenti dei ponti termici	48
TABELLA 37: Risultati nel caso di edificio ben isolato supponendo tre condizioni di impianto differenti	49
TABELLA 38: Risultati nel caso di edificio mediamente isolato supponendo tre condizioni di impianto differenti	49

FIGURA 1: Schema descrittivo della sezione di calcolo predittivo in accordo con figura A2 della norma UNI EN 1264-2	11
FIGURA 2: Ingombro del singolo modulo	14
FIGURA 3: Immagine dei campioni collegati al collettore 1ª campagna	15
FIGURA 4: Immagine dei sensori e della posizione 1ª campagna	15
FIGURA 5: Immagine dei sensori e della posizione 2ª campagna	16
FIGURA 6: Immagine dei sensori e della posizione 2ª campagna	16
FIGURA 7: Curva caratteristica di base per i sistemi a pavimento in riscaldamento e sistemi a soffitto in raffrescamento	18
FIGURA 8: Strumentazione utilizzata durante il test per ogni singolo campione	19
FIGURA 9: Misure di temperatura superficiale e dell'aria durante la 1ª campagna	20
FIGURA 10: Ore 12:05 - Massetto tradizionale. Temperatura media area = 29.1 °C	21
FIGURA 11: Ore 12:05 - NE499. Temperatura media area = 33.3 °C	21
FIGURA 12: Ore 15:05 - Massetto tradizionale. Temperatura media area = 23.6 °C	21
FIGURA 13: Ore 15:05 - NE499. Temperatura media area = 18.8 °C	21
FIGURA 14: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	22
FIGURA 15: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	23
FIGURA 16: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	24
FIGURA 17: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	25
FIGURA 18: Grafico di confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	26
FIGURA 19: Differenza percentuale tra misura e calcolo	27
FIGURA 20: Misure di temperatura superficiale e dell'aria durante la 2ª campagna	28
FIGURA 21: Massetto tradizionale MT - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	29
FIGURA 22: Massetto autolivellante tradizionale AT - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	29
FIGURA 23: Massetto autolivellante FE80 - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	30
FIGURA 24: Massetto autolivellante NE425 - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	30
FIGURA 25: Massetto autolivellante NE499 - confronto tra valori misurati (in blu) e valori calcolati (in rosso)	30
FIGURA 26: Differenza percentuale tra misura e calcolo	31
FIGURA 27: Energia ceduta dai diversi massetti	32
FIGURA 28: Differenza di energia ceduta dai diversi massetti rispetto al tradizionale in % a parità di portata e temperatura di mandata	32
FIGURA 29: Descrizione geometrica e termica	38
FIGURA 30: Modello agli elementi finiti - Temperatura	38
FIGURA 31: Andamento delle temperature sulla faccia superiore del modello.....	38
FIGURA 32: Descrizione geometrica e termica	39
FIGURA 33: Modello agli elementi finiti - Temperatura	39
FIGURA 34: Andamento delle temperature sulla faccia superiore del modello.....	39
FIGURA 35: Descrizione geometrica e termica	40
FIGURA 36: Modello agli elementi finiti - Temperatura	40
FIGURA 37: Andamento delle temperature sulla faccia superiore del modello.....	40
FIGURA 38: Descrizione geometrica e termica	41
FIGURA 39: Modello agli elementi finiti - Temperatura	41
FIGURA 40: Andamento delle temperature sulla faccia superiore del modello.....	41
FIGURA 41: Valori di capacità termica complessiva [kJ/K] per una stanza di 9 m ² di superficie e con radiatore di volume complessivo pari a 0,6 m ² x 0,08 m ...	45
FIGURA 42: Prospetto EST	47
FIGURA 43: Prospetto SUD	47
FIGURA 44: Prospetto OVEST	47
FIGURA 45: Prospetto NORD	47

BIBLIOGRAFIA

1. M. De Carli, C. Peretti, **Q Tecnico 1 Approfondimenti per impianti radianti a bassa differenza di temperatura**. Ed. Consorzio Italiano Produttori Sistemi Radianti di Qualità, ottobre 2012
2. M. De Carli, C. Peretti, **Q Tecnico 2 Impianti radianti a bassa differenza di temperatura**. Ed. Edicom, ottobre 2013
3. **UNI EN 1264-2: 2013**, Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture; metodi per la determinazione della potenza termica mediante metodi di calcolo e prove
4. M. Borghi, V. Erba, A. Panzeri, R. Esposti, G. Galbusera, D. Petrone, **I materiali isolanti. Volume 1, Collana: l'isolamento termico e acustico**. Ed. da TEP srl, 3ª ed. Gennaio 2016
5. G. Roche, **La termografia per l'edilizia e l'industria**. Ed. Maggioli Editore, 2012
6. D. Lanzoni, **Termografia Le applicazioni sugli impianti elettrici e industriali**. Ed. Maggioli Editore, 2014
7. **Manuale tecnico. Sistemi idrotermosanitari**. Ed. GF Piping Systems
8. ANIMA, **Impianti termici - concetti innovativi della normativa vigente**. Ed. Assotermica
9. L. De Santoli, F. Mancini, **Progettazione degli impianti di climatizzazione**. Ed. Maggioli Editore, 2017
10. G. Alfano, M. Filippi, E. Sacchi, **Impianti di climatizzazione per l'edilizia**. Ed. Masson, 1997

[illegible]

[illegible]



Le nostre certificazioni



www.knauf.it

knauf@knauf.it

09/2019

SEGUICI SU:



Sede:
Castellina Marittima (PI)
Tel. 050 69211
Fax 050 692301

Stabilimento Sistemi a Secco:
Castellina Marittima (PI)
Tel. 050 69211
Fax 050 692301

Stabilimento Sistemi Intonaci:
Gambassi terme (FI)
Tel. 0571 6307
Fax 0571 678014

K-Centri:
Knauf Milano
Rozzano (MI)
Tel. 02 52823711

Knauf Pisa
Castellina Marittima (PI)
Tel. 050 69211

Tutti i diritti sono riservati ed oggetto di protezione industriale. Le modifiche dei prodotti illustrati, anche se parziali, potranno essere eseguite soltanto se esplicitamente autorizzate dalla società Knauf di Knauf S.r.l. S.a.s. di Castellina Marittima (PI) che, pertanto, non risponde di un eventuale uso improprio degli stessi. Tutti i dati forniti ed illustrati sono indicativi e la società Knauf si riserva di apportare in ogni momento eventuali modifiche che riterrà opportune, in conseguenza delle proprie necessità aziendali e dei procedimenti produttivi.