

MANUALE DI UTILIZZO DEL SOFTWARE GEA 1

Milano, 27 febbraio 2024
Documento basato sulla versione GEA 1.0.0



TECNOLOGIA E PROGETTO

Via Lanzone 31, 20123 Milano (MI)
P. IVA e C. F. 10429290157

INTRODUZIONE.....	3
Modelli di calcolo e database	3
Attivazione del software	3
La suite dei software	4
1. MENU GENERALE	5
(A) Progetto	5
(B) Archivio	5
Nota generale	5
2. SCELTA DEL SISTEMA RADIANTE.....	6
(A) Sistema radiante	7
(B) Dati delle caratteristiche del sistema radiante.....	7
(C) Dati di carico delle singole curve	7
(D) Grafico delle curve caratteristiche	7
3. LOCALI E SISTEMI RADIANTI	8
(A) Gestione di locali.....	8
(B) Importa informazioni dei locali	8
(C) Dati generali di impostazione del progetto.....	9
(D) Sistema radiante e curva caratteristica.....	9
(E) Dati di calcolo del sistema radiante	10
(F) Finalizzazione del dimensionamento dei circuiti	10
(G) Gestione dei singoli locali	11
4. I COLLETTORI DEI CIRCUITI	12
(A) Realizzazione dei collettori.....	12
(B) Gestione dei collettori.....	12
(C) Dati di progetto dei collettori.....	12
5. TUBAZIONI DI DISTRIBUZIONE	13
Logica di modellazione	13
(A) Descrizione delle tubazioni.....	14
(B) Associazione dei tratti di tubi	14
(C) Perdite localizzate	14
APPENDICE A. CALCOLO ELEMENTI FINITI	15
Modulo avanzato di GEA	16
(A) Descrizione sistema radiante	16
(B) Inserimento e modifica dei dati	16
(A) Fonti di dati	18
(B) Materiale in uso.....	18
(C) Modello agli elementi finiti	18
(A) Curve	20
(B) Risultati di calcolo	20
(A) Immagine della distribuzione di temperatura	21
(B) Risultati numeri	21
(C) Confini di calcolo.....	21
(D) Altri risultati	21
Risultati di flusso termico	22
Risultati di temperatura superficiale	22
APPENDICE B. ESEMPIO DI SISTEMA.....	23
BIBLIOGRAFIA.....	27

Tutti i diritti sono riservati

Questo documento è realizzato da Tep Srl ed è aggiornato alla data riportata in copertina.

Nessuna parte del presente manuale può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di Tep Srl.

INTRODUZIONE

GEA 1 è il software sviluppato da TEP srl per la valutazione delle curve caratteristiche dei sistemi radianti con metodo computazionali e per il dimensionamento dei sistemi radianti. Il software si basa su modelli di calcolo conformi alle norme vigenti ed è allineato alle modalità di progetto definite a livello nazionale dai dispositivi legislativi.

Modelli di calcolo e database

GEA implementa i modelli di calcolo forniti dalle seguenti norme:

UNI EN 1264-1	Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e raffrescamento integrati nelle strutture – Parte 1: definizioni e simboli
UNI EN 1264-2	Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e 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	Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture - Parte 3: Dimensionamento
UNI EN ISO 11855-1	Progettazione dell'ambiente costruito - Sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati - Parte 1: Definizioni, simboli e criteri di benessere
UNI EN ISO 11855-2	Progettazione dell'ambiente costruito - Sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati - Parte 2: Determinazione della potenza di riscaldamento e di raffrescamento di progetto
EN ISO 11855-3	Building environment design - Embedded radiant heating and cooling systems - Part 3: Design and dimensioning
ISO 18566-1	Building environment design - Design, test methods and control of hydronic radiant heating and cooling panel systems - Part 1: Vocabulary, symbols, technical specifications and requirements
ISO 18566-2	Building environment design - Design, test methods and control of hydronic radiant heating and cooling panel systems - Part 1: Vocabulary, symbols, technical specifications and requirements
ISO 18566-3	Building environment design - Design, test methods and control of hydronic radiant heating and cooling panel systems - Part 3: Design of ceiling mounted radiant panels

Le informazioni presenti negli archivi di GEA sono ricavate dalle seguenti fonti:

UNI 10351:2021	Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto
UNI 10355:1994	Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.
UNI EN ISO 10456:2008	Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto
UNI EN ISO 6946	Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo
UNI TR 11552	Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici - Parametri termo fisici

Attivazione del software

Alla prima installazione del software le opzioni sono:

- Versione a tempo (30 giorni), attivazione completa e gratuita per provare il software prima dell'acquisto.

- Sito TEP srl, attiva la versione riservata agli utenti che acquistano il software tramite il portale e-commerce di TEP (opzione al momento non disponibile).

Le modalità di attivazione di ogni opzione sono descritte nelle relative schermate. Una volta attivato il software il numero di giorni rimanenti e la tipologia di attivazione sono riportate sulla copertina del software al momento dell'avvio.

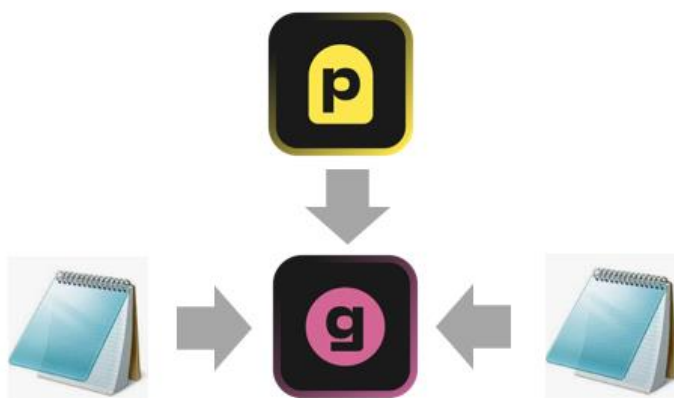
È possibile aggiornare l'attivazione cliccando su ATTIVA dalla copertina del software.



La suite dei software

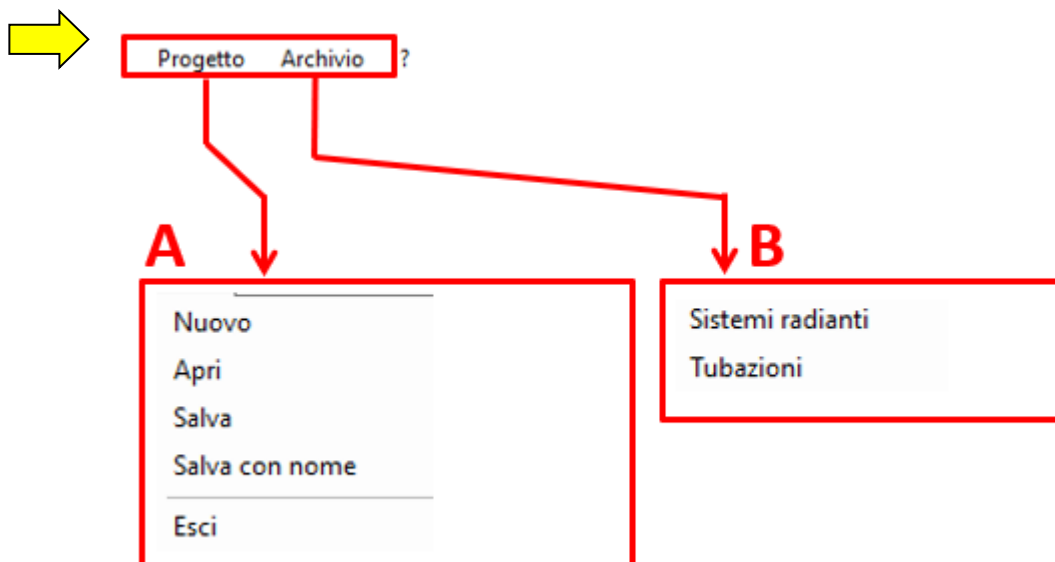
Il software GEA può essere utilizzato in autonomia ma anche in coordinamento con gli altri software della suite TEPsrl.

Le strutture opache (pareti, coperture e solai) che ospitano sistemi radianti possono essere già state descritte con il software PAN. Salvandole nel database condiviso dei software per essere richiamate. I carichi realizzati con altri software in accordo con UNI EN 12831 esportabili in formato xcel possono essere caricati direttamente in GEA.



1. MENÙ GENERALE

Dal menu generale si può accedere ai comandi di gestione del progetto (A) e alle funzioni di archivio e gestione del database del software (B).



(A) Progetto

Dalla voce "Progetto" si accede ai comandi standard (nuovo, apri, salva, ecc.) per la gestione del file .gea contenente il progetto dei sistemi radianti analizzati e del dimensionamento di un impianto per un insieme di locali.

Il file .gea può essere archiviato in cartelle locali o in cloud e può essere aperto solo dal software GEA.

(B) Archivio

I comandi presenti riguardano l'archiviazione dei sistemi radianti e delle tubazioni nel database

Nota generale

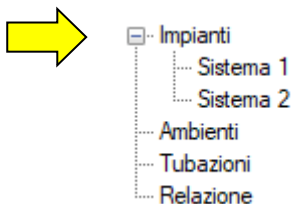
GEA è caratterizzato da schermate con finestre dove poter realizzare scelte e da spazi editabili o meno. Quando le finestre sono colorate di giallo chiaro sono editabili.

2. SCELTA DEL SISTEMA RADIANTE

La schermata “Sistema radiante” è visualizzata al lancio del software ed è richiamabile cliccando sulla prima voce del menu ad albero.

Lo scopo della schermata è quello di selezionare dall’archivio le tipologie di sistemi radianti con le quali si vuole realizzare le simulazioni di progetto.

Nella fase di progettazione si possono scegliere più tipologie di sistemi radianti.



La schermata “Dati climatici esterni” presenta le informazioni climatiche della località selezionata (A). I dati visualizzati riportano alcune informazioni generali, come la temperatura di progetto, la zona climatica e i gradi giorno (B), i riferimenti normativi selezionabili per la scelta dei dati (C) e i valori climatici mensili e orari sottoforma tabellare o grafica (D).

A

	Sistema radiante	D_int [mm]	Rugosità del tubo	R_0 [m²K/W]	R_u [m²K/W]	Δ_j [°C]	Δ_u [°C]					
▶ 1	Sistema 1	13	bassa	0,29	3,71	20,0	5,0	Definisci	Duplica	Elimina	Salva	Aggiungi nuovo
2	Sistema 2	13	bassa	0,23	3,71	20,0	5,0	Definisci	Duplica	Elimina	Salva	Aggiungi da archivio

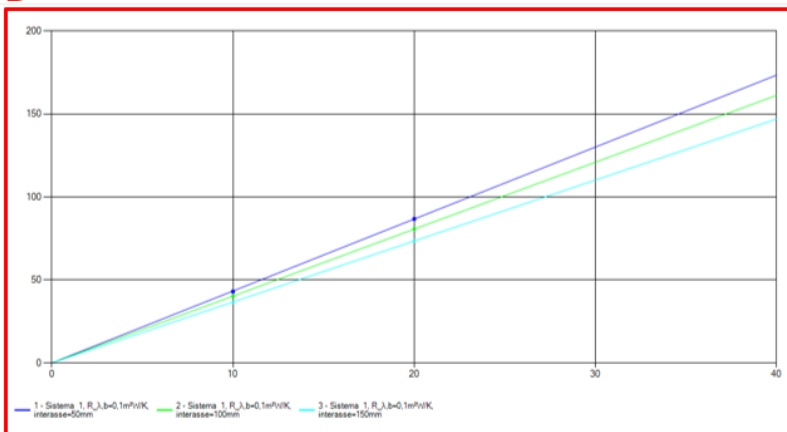
B

Riscaldamento / Raffrescamento							
Sistema 1							
Appunti	R_0 [m²K/W]	Interscambio [mm]	Calcola	R_0 [W/m²K]	S_min 20°C	S_max 35°C	Zona
1	0,1	50	Calcola	4,33	97,2	162,0	Ebena
2	0,1	100	Calcola	4,03	96,6	161,0	Ebena
3	0,1	150	Calcola	3,67	94,0	156,7	Ebena

C

R_0=0.1m²K/W interscambio=50mm						
Appunti	ST [K]	R_0 [m²K/W]	S_u [W/m²K]	Temp.max [°C]	Zona	
1	10,0	42,97	6,54	24,0	Ebena	
2	20,0	95,71	9,14	28,0	Ebena	

D



(A) Sistema radiante

È possibile alimentare questa tabella selezionando dall'archivio quale tipologia di sistema radiante si vuole impiegare nel progetto.

Scelto il sistema radiante è necessario editare alcune informazioni aggiuntive:

- diametro interno delle tubazioni dei sistemi in mm; l'informazione ha un impatto sulla velocità del fluido e sulle perdite di carico;
- rugosità del tubo che influenza le perdite di carico distribuite;
- resistenza termica dei materiali al di sopra della tubazione R_0 in m^2K/W (parametro che influenza il calcolo della portata reale)
- resistenza termica dei materiali al di sotto della tubazione R_u in m^2K/W (parametro che influenza il calcolo della portata reale)
- temperatura dell'aria dell'ambiente da riscaldare θ_i in $^{\circ}C$ (parametro che influenza il calcolo della portata reale)
- temperatura dell'aria dell'ambiente da non riscaldare θ_u in $^{\circ}C$ (parametro che influenza il calcolo della portata reale)

(B) Dati delle caratteristiche del sistema radiante

Per poter descrivere la curva caratteristica di un sistema radiante è necessario conoscere il coefficiente lineare K_H . La curva caratteristica descrive il rapporto tra la potenza termica specifica q di un sistema e la differenza di temperatura richiesta tra fluido termovettore e l'ambiente $\Delta\theta_H$. Per semplificazione, la potenza termica specifica è proporzionale alla differenza di temperatura:

$$q = K_H \times \Delta\theta_H$$

Il gradiente è il coefficiente di trasmissione del calore equivalente determinato in conformità alle UNI EN 1264-2.

Il campo delle curve caratteristiche di un sistema di riscaldamento a pavimento con un passo dei tubi T (espresso in mm) deve contenere almeno le curve caratteristiche per i valori di resistenza termica:

- $R_{\lambda,B} = 0 \text{ m}^2K/W$
- $R_{\lambda,B} = 0.05 \text{ m}^2K/W$
- $R_{\lambda,B} = 0.10 \text{ m}^2K/W$
- $R_{\lambda,B} = 0.15 \text{ m}^2K/W$

Se possibile non devono essere usati valori di $R_{\lambda,B} > 0.15 \text{ m}^2K/W$.

Oltre i valori di resistenza termica dello strato superficiale e di interasse è necessario che i sistemi riportino anche i valori di carico massimo che il sistema è in grado di erogare con temperatura superficiale massima di $29 \text{ }^{\circ}C$ (per le aree occupate) e di $35 \text{ }^{\circ}C$ per le aree periferiche.

(C) Dati di carico delle singole curve

Per poter studiare la singola curva caratteristica di un sistema radiante è necessario avere i dati di carico termico in relazione al ΔT [K] tra ambiente e temperatura media del fluido.

Dove:

- q_0 = potenza termica specifica W/m^2 verso ambiente da riscaldare
- q_0 = potenza termica specifica W/m^2 verso ambiente da non riscaldare
- $\Delta\theta_H$ = differenza di temperatura tra fluido termovettore (di riscaldamento) e ambiente
- $T_{sup,max}$ = temperatura superficiale massima associata alla condizioni indicata

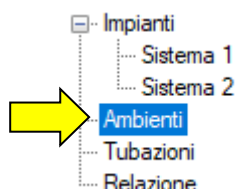
(D) Grafico delle curve caratteristiche

Il grafico riassume graficamente i dati descritti nei punti precedenti. L'immagine del grafico mostra come il sistema radiante cambia la propria capacità di riscaldamento al variare dell'interasse dei tubi, della resistenza termica del rivestimento superficiale e della differenza di temperatura tra ambiente e fluido termovettore.

3. LOCALI E SISTEMI RADIANTI

La schermata “Ambienti” consente il dimensionamento dell’impianto con sistemi radianti dell’unità immobiliare/edificio oggetto di studio.

La definizione di tali valori si basa sulla scelta della tipologia dei dati noti (A) e porta a identificare i valori critici per la verifica del rischio muffa (B) e i dati climatici medi mensili (C).



C

B Locali

Importa locali

Locale più sfavorito: CUCINA Salto termico: 5 K Temperatura di mandata θ_V : 41,1 °C

Associa a tutti i locali: Sistema radiante: Sistema 1 Curva caratteristica: 1

A

Aggiungi locale	Descrizione locale	Area attiva [m ²]	Carico [W]	Potenza aggiuntiva [W]	Carico specifico [W/m ²]	Temp. interna [°C]	Sistema radiante	Curva caratteristica	R _{s,b} [m ² K/W]	Interasse [mm]
▶ 1	CAMERA 1	17,2	1.278	0	74,3	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
2	CAMERA 2	11,7	608	0	52,1	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
3	BAGNO 2	4,0	472	0	118,0	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
4	CAMERA 3	12,8	725	0	56,6	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
5	CAMERA 4	16,9	1.124	0	66,6	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
6	CUCINA	29,7	2.376	0	80,1	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
7	BAGNO 1	3,0	633	400	77,7	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
8	LAVANDERIA	16,8	1.688	400	76,5	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
9	SOGGIORNO/PRANZI	37,1	2.656	0	71,6	20,0	Sistema 1	1	0,1	50
10	CORRIDOIO	18,7	664	0	35,6	20,0	Sistema 1	1	0,1	50

D

(A) Gestione di locali

Per il progetto dell’impianto radiante è necessario descrivere tutti gli ambienti che dovranno ospitare i sistemi radianti.

È possibile inserire manualmente ogni singolo locale grazie al bottone “Aggiungi locale” editando le seguenti informazioni:

- **Descrizione del locale** in modo che sia univocamente riconosciuto
- **Area attiva** corrispondente all’area calpestabile in m² che può ospitare la posa di un sistema radiante;
- **Carico** in W ovvero la potenza di progetto che deve essere garantita al locale secondo le indicazioni di progetto (in accordo con la norma UNI EN 12831);
- **Temperatura dell’aria** interna di set point in °C

(B) Importa informazioni dei locali

Per accelerare l’alimentazione della tabella è possibile importare un file in formato .xcel con le informazioni di progetto del singolo locale così descritte cliccando il bottone “Importa locali”.

Il file deve essere realizzato secondo lo standard descritto nell'immagine:

	A	B	C	D	E	F	G
1	Unità immobiliare	Zona termica	Area calpestabile [m ²]	Carico [W]	Temperatura interna [°C]		
2	APP.1	APP.1	88,9	2837	20		
3	APP.2	APP.2	88,9	2873	20		
4	APP.4	APP.4	88,9	4871	20		
5	APP.3	APP 3. BAGNO	10,8	563	20		
6	APP.3	APP 3. CAMERA 1	15,5	932	20		
7	APP.3	APP 3. CAMERA 2	18,4	1082	20		
8	APP.3	APP 3. CORRIDOIO	6,0	281	20		
9	APP.3	APP 3. CUCINA	17,3	958	20		
10	APP.3	APP 3. SOGGIORNO	18,3	1146	20		
11							
12							

I dati che vengono importati sono quelli delle colonne B, C, D ed E.

Il software LETO 6, che implementa la costruzione dei carichi di progetto in accordo con la norma UNI EN 12831, esporta direttamente queste informazioni nel formato che GEA è in grado di leggere.

(C) Dati generali di impostazione del progetto

Una volta elencati tutti i locali del progetto vengono richieste le informazioni principali come da procedura di dimensionamento descritta nelle norme di progetto dei sistemi radianti.

La procedura prevede di:

- Individuare il **“locale più sfavorito”** ovvero il locale in il carico termico areico W/m² maggiore. Nell'individuare questo locale non sono da considerare i bagni. La selezione del locale “colorerà” di arancione nella tabella lo stesso.
- Indicare il **“salto termico”** di progetto del fluido termovettore. Il valore è la differenza tra la temperatura di mandati di progetto e quella di ritorno. Per i sistemi radianti e con generatori a pompa di calore per il servizio di riscaldamento questo valore è generalmente ipotizzato pari a 5 °C.
- Scegliere il **“sistema radiante”** tra quelli individuati in precedenza come possibili sistemi da impiegare e selezionare la **“curva caratteristica”** specifica di quel sistema. Generalmente ad un sistema individuato corrispondono diverse curve caratteristiche dipendenti dalla variazione dell'interasse tra le tubazioni (T in mm). La procedura suggerisce di scegliere come prima curva caratteristica quella adatta al maggior carico, ovvero la curva con l'interasse minore. Questa prima selezione viene associata a tutti i locali come selezione di default.

(D) Sistema radiante e curva caratteristica

Una volta selezionati il sistema radiante e la curva caratteristica da associare a tutti i locali è possibile procedere per singolo locale modificando la scelta. Il corretto impiego di questa possibile selezione passa dall'aver scelto il sistema radiante e dal modificare la curva caratteristica in relazione al tipo di carico e al passo delle tubazioni. Teoricamente la modifica della curva si rivela necessaria quanto il singolo locale oggetto di studio ha un carico termico che si differenzia in modo significativo da quello più sfavorito.

Una volta descritti i locali e scelto il sistema radiante, il passo delle tubazioni e il delta T di progetto, il software procede per ogni locale al calcolo dei parametri necessari al corretto dimensionamento dei sistemi radianti.

E								F					G		
Aggiungi locale	Descrizione locale	R _{l,b} [m ² K/W]	Interasse [mm]	Δθh [K]	Salto termico σ [K]	Portata teorica [kg/h]	Portata reale [kg/h]	Numero circuiti	Portata circuito [kg/h]	Lunghezza circuito [m]	Velocità [m/s]	Perdita di carico_unit [mm c.a.]	Perdite di carico [mm c.a.]		
1	CAMERA 1	0,1	50	17,1	7,4	148,6	168,4	3	56,1	114,7	0,118	2,5	287,0	Duplica	Elimina
2	CAMERA 2	0,1	50	12,0	5,2	100,0	115,7	1	115,7	233,6	0,243	9,1	2.125,5	Duplica	Elimina
3	BAGNO 2	0,1	50	27,2	4,1	100,0	111,3	1	111,3	80,0	0,235	7,9	634,5	Duplica	Elimina
4	CAMERA 3	0,1	50	13,1	6,2	100,0	115,0	1	115,0	256,4	0,242	9,0	2.298,4	Duplica	Elimina
5	CAMERA 4	0,1	50	15,4	10,3	93,7	106,8	2	53,4	169,8	0,112	2,3	390,2	Duplica	Elimina
6	CUCINA	0,1	50	18,5	5,0	408,2	461,0	4	115,3	149,3	0,243	8,8	1.298,3	Duplica	Elimina
7	BAGNO 1	0,1	50	17,9	2,0	100,0	113,1	1	113,1	60,0	0,238	8,5	509,4	Duplica	Elimina
8	LAVANDERIA	0,1	50	17,6	6,5	170,2	192,7	3	64,2	112,3	0,135	3,2	354,6	Duplica	Elimina
9	SOGGIORNO/PRANZ.	0,1	50	16,5	8,4	270,7	307,3	5	61,5	149,3	0,129	2,9	436,1	Duplica	Elimina
10	CORRIDOIO	0,1	50	8,2	5,7	100,0	119,3	2	59,6	186,5	0,125	2,0	374,9	Duplica	Elimina

(E) Dati di calcolo del sistema radiante

Per ogni locale sulla base del carico termico specifico e del tipo di sistema radiante il software calcola in modo analitico i seguenti parametri:

- **Δθ_H** = la differenza di temperatura tra fluido e ambiente. Il valore deriva dal tipo di sistema radiante e curva caratteristica scelti e dal carico specifico del singolo locale.
- **Salto termico σ [K]** differenza tra temperatura di mandata e ritorno del singolo circuito. Nel locale più sfavorito corrisponde al salto termico di progetto impostato, negli altri locali cambia in relazione a quanto il carico termico differisce da quello più sfavorito e dall'eventuale modifica del passo delle tubazioni del sistema. Il software evidenzia in rosso se il valore supera in 10 °C.
- **Portata teorica in kg/h:** valore di portata associata al singolo locale derivante dal carico e dal salto termico σ. È chiamata portata teorica poiché è valutata solo sulla parte di calore che viene ceduto all'ambiente oggetto di studio ed è quindi teorica.
Attenzione: è possibile editare il valore di portata teorica modificando manualmente i parametri. L'azione non è prevista dalla normativa. Nel caso si editi il valore ma si voglia poi tornare al valore originario calcolato dal software è necessario digitare "0".
- **Portata reale in kg/h:** valore di portata che deve essere considerata in fase di progetto per il dimensionamento dei circuiti, delle tubazioni e dei circolatori. La portata reale è la somma della portata teorica con quella derivante dalla quantità di calore che viene ceduto dal sistema radiante all'ambiente non oggetto di riscaldamento. Il valore della portata reale è influenzato dai valori di resistenza termica e di temperatura degli ambienti indicati all'atto della scelta del sistema radiante.

(F) Finalizzazione del dimensionamento dei circuiti

Le scelte progettuali portano a un valore di portata reale per singolo locale. Il software ipotizza per ogni locale in default un solo circuito. Il valore di portata e il numero di circuiti (insieme alle informazioni che caratterizzano il locale già inserite) influenzano i successivi risultati di calcolo: lunghezza del circuito, velocità del fluido, perdite di carico unitarie e perdite di carico distribuite di tutto il circuito). Ognuno di questi parametri è soggetto a dei vincoli di buona prassi di progettazione. La modifica del numero di circuiti al servizio del singolo locale ha impatto su questi aspetti.

Nello specifico:

- La "**portata circuito**" in kg/h è il valore di portata associata ad ogni circuito presente nel locale ovvero è la portata reale diviso il numero di circuiti.
- La "**lunghezza circuito**" associata ad ogni circuito presente nel locale è un valore derivante dall'area attiva del locale, dal numero di circuiti e dall'interasse delle tubazioni del sistema radiante.

- La “**velocità**” in m/s è funzione della portata e dell’area interna della tubazione derivante dal diametro interno. La velocità influenza le perdite di carico della tubazione. A parità di portata e di tubazione, dividere il locale in più circuiti genera una riduzione di velocità e quindi minori perdite di carico.
- Le “**perdite di carico unitarie**” in mm c.a./m sono valutate sulla base di equazioni analitiche e dipendono dalla rugosità e dal materiale della tubazione e della velocità del fluido. Il valore è editabile in quanto il progettista può disporre di dati del produttore delle tubazioni da inserire manualmente.
- Le “**perdite di carico**” in mm c.a. sono il prodotto della lunghezza del circuito per la perdita di carico unitaria. Questo parametro è centrale per il dimensionamento dei circuiti stessi e per il dimensionamento dei circolatori.

La tabella riassume alcune indicazioni di buona prassi progettuale per i sistemi radianti [Fonte 3].

Descrizione	Valori di riferimento
Temperatura massima del fluido termovettore in circolazione dei pannelli	= < 45 °C
Salto di temperatura di progetto (differenza tra temperatura dell’acqua in ingresso e in uscita dal pannello)	< 10 °C
La portata massima di un pannello per tubi con Di = 16 mm	< 200-220 l/h
La lunghezza della tubazione costituente un singolo pannello massima (lunghezza circuito)	< 120 – 150 m
La velocità del fluido termovettore	0.1 – 0.5 m/s
La perdita di carico per circuito	< 3,50 m c.a.

(G) Gestione dei singoli locali

I bottoni “duplica” ed “elimina” si spiegano da soli.

4. I COLLETTORI DEI CIRCUITI

Ogni volta descritti in modo completo tutti i circuiti presenti nei diversi locali è possibile raggrupparli in collettori dedicati. Il collettore può raccogliere circuiti di uno o più locali a seconda dei criteri progettuali del progettista.

La sezione di descrizione dei collettori è così rappresentata:

A		C							B	
Aggiungi	Descrizione	Locali	Area [m ²]	Carico [W]	Numero circuiti	Lunghezza tubi [m]	Portata [kg/h]	Perdita di carico max [mm c.a.]	un gruppo per ogni locale	
1	Collettore 2	LAVANDERIA	16,8	1.688	3	336,8	189,9	345,6	Modifica	Elimina
2	Collettore 9	CAMERA 1, CAMERA 2, BAGNO 2, BAGNO 1, LAVANDERIA	52,7	4.679	9	1.054,6	690,9	2.072,8	Modifica	Elimina
3	Collettore 14 16	CAMERA 3, CAMERA 4, CUCINA, SOGGIORNO/PRANZO, CORRIDOIO	115,1	7.545	14	2.133,0	1.117,0	2.241,2	Modifica	Elimina

(A) Realizzazione dei collettori

È possibile realizzare il numero di collettori che si preferisce cliccando il bottone “**Aggiungi**”. I circuiti che vengono associati al collettore descritto sono selezionabile in relazione al locale che servono. L’immagine mostra un esempio di selezione. Il software **non effettua controlli sulla selezione**: se l’operatore erroneamente associa un locale a più collettori, i risultati non sono coerenti.

(B) Gestione dei collettori

È possibile modificare ed eliminare i singoli collettori realizzati con i bottoni dedicati. Il bottone “un gruppo per ogni locale” genera in modo automatico un collettore dedicato ad ogni singolo locale.

(C) Dati di progetto dei collettori

Ogni collettore ospita i dati di progetto derivanti dai locali (e dai circuiti del sistema radiante) associati al collettore: nomi dei locali, area attiva, carico termico, numero di circuiti, lunghezza complessiva dei tubi, portata e perdita di carico massima.

Nello specifico i dati rilevanti sono:

- Il “**numero di circuiti**” è il numero di derivazioni in mandata e ritorno che il collettore deve garantire. Questo dato ha un impatto sulla dimensione geometrica del collettore.
- La “**lunghezza dei tubi**” è un dato utile alla realizzazione del computo metrico.
- La “**portata**” in kg/h è un dato utile al successivo dimensionamento delle tubazioni di adduzione di mandata e ritorno del collettore. È infatti la somma delle portate reali dei singoli circuiti serviti dal collettore.

La “**perdita di carico max**” in mm c.a. è il valore della maggiore perdita di carico che si sviluppa nel circuito più sfavorito idraulicamente servito da quel collettore. Il valore è rilevante ai fini del dimensionamento della prevalenza del circolatore.

5. TUBAZIONI DI DISTRIBUZIONE

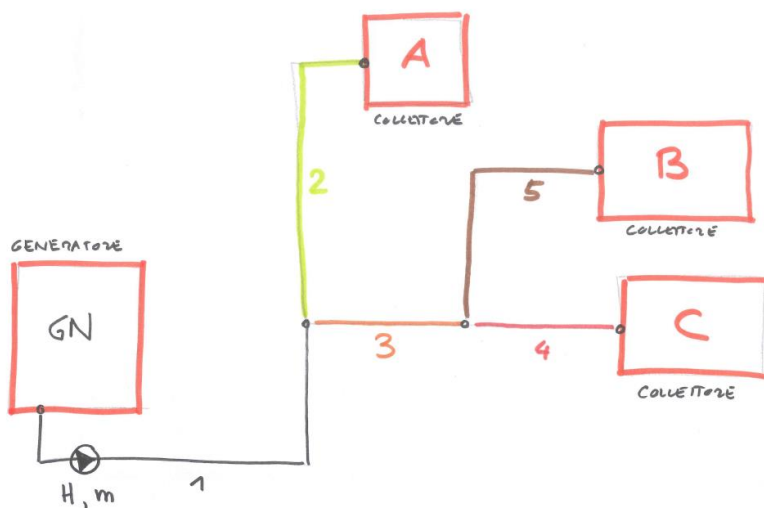
Premesso che il software GEA nasce per il calcolo e dimensionamento dei sistemi radianti per il servizio di riscaldamento. La progettazione arriva fino a determinare il numero di collettori e le caratteristiche. Si è scelto di aggiungere a quanto descritto anche un dimensionamento semplificato delle tubazioni che dalla centrale termica arrivano ai collettori per rendere complete le informazioni progettuali.

Il software nasce per la progettazione di edifici unifamiliari o per condomini di piccole dimensioni. Le logiche, la fruibilità e la modellazione sono quindi pensate per impianti non complessi. Il dimensionamento descritto non è infatti caratterizzato da processi di bilanciamento.

Logica di modellazione

Una volta descritti i singoli locali con i propri sistemi radianti divisi in circuiti e raggruppati in collettori, è possibile procedere nel dimensionamento delle tubazioni che (in mandata e ritorno) servono i singoli collettori.

La logica di GEA è molto semplice e descritta dall'esempio seguente:



Schematizzazione circuito al servizio dei collettori (per semplicità le due tubazioni di andata e ritorno sono schematizzate come una sola).

Il progetto determina per ogni collettore (A, B e C) la portata in kg/h e la perdita di carico massima del circuito più sfavorito. Queste informazioni (con l'aggiunta di eventuali perdite di carico concentrate) sono da impiegare per il dimensionamento dei tratti singoli di tubazioni che servono i collettori. Nell'immagine questi tratti sono numerati con 2, 5 e 4. Il dimensionamento avviene quindi per mezzo della scelta del tipo di tubo e della verifica della velocità del fluido unitamente alle perdite di carico unitarie e distribuite derivanti.

Una volta determinata la tubazione si assegna il tratto descritto al tratto che lo precede.

Seguendo l'immagine in esempio:

- Il tratto 5 viene assegnato al tratto 3
- Il tratto 4 viene assegnato al tratto 3

Prima di procedere all'assegnazione del tratto 2 è bene dimensionare correttamente il tratto 3.

Associando il tratto 5 e 4 al tratto 3 si sommano le portate dei due tratti e si verifica quale dei due tratti è maggiormente sfavorito in termini di perdite di carico e tiene conto della maggiore perdita di carico. Dimensionata correttamente la tubazione 3, si procede nell'associare questa e la 2 al tratto 1 arrivando a determinare per il circolatore la prevalenza e la portata di progetto. Le perdite concentrate da aggiungere in ogni tratto possono essere associate al tratto stesso.

La logica descritta è presente nella sezione del software dedicata.

A

Tubazioni di progetto									
Aggiungi tubazione	Descrizione	Rugosità	Materiale	Tipo tubo	Diametro interno [mm]				
▶ 1	PEX 32x3	bassa	Plastico	32 mm	33			Duplica	Elimina
2	PEX 26x3	bassa	Plastico	25 mm	26			Duplica	Elimina
3	PEX 20x2	bassa	Plastico	20 mm	20			Duplica	Elimina
4	PEX 18x2	bassa	Plastico	20 mm	20			Duplica	Elimina

B

Tratti di tubazione												
Aggiungi tratto	Descrizione	Tubazione	Perdita di carico in uscita [mm_c.a.]	Portata [kg/h]	Temperatura media acqua [°C]	D _J [mm]	Velocità acqua [m/s]	Perdita di carico unitaria [mm_c.a./r]	Lunghezza [m]	Perdita di carico [mm_c.a.]	Perdite localizzate [mm_c.a.]	Tratto in entrata
1	Tratto 1	PEX 26x3	345,6	189,9	37,6	26	0,100	0,8	16,0	12,5	3,0	4
▶ 2	Tratto 2	PEX 26x3	2.072,8	501,1	38,4	26	0,264	4,3	10,0	42,6	59,1	4
3	Tratto 4	PEX 32x3	2.241,2	1.117,0	36,1	33	0,365	5,6	15,0	84,7	44,9	5
4	Tratto 3	PEX 32x3	2.174,5	690,9	38,2	33	0,226	2,4	5,0	12,1	0,0	5
5	Tratto 5	PEX 32x3	2.370,7	1.807,9	36,9	33	0,591	13,1	4,0	52,2	0,0	

C

Perdite localizzate				
Tratto 2	Tratto 2	Descrizione	Coefficienti K	Perdita localizzata [mm_c.a.]
Raccordo a T (Passaggi col separatore)		▶ 1 Raccordo a T (Separatore di flusso)	5,80	20,5
		2 Gomito 90°	5,15	18,2
		3 Raccordo a T (Separatore di flusso)	5,80	20,5

Unità di misura della perdita di carico
 mm c.a.
 hPa = mBar

(A) Descrizione delle tubazioni

Per prima cosa è necessario indicare quali tipologie di tubo si vuole verificare per il progetto. La tubazione è individuata dalla descrizione e dalle caratteristiche che hanno un impatto sul progetto: rugosità e materiale (per le perdite di carico unitarie) dimensioni del tubo e del diametro interno per la valutazione della velocità media.

(B) Associazione dei tratti di tubi

In questa parte sono presenti le informazioni iniziali derivanti dal calcolo dei collettori che caratterizzeranno le tubazioni dedicata ai singoli collettori. Per poter compilare questa parte il progettista deve avere delineato lo schema del circuito. In questa parte infatti si associano i circuiti ai tratti precedenti determinando le caratteristiche che portano a dimensionarli.

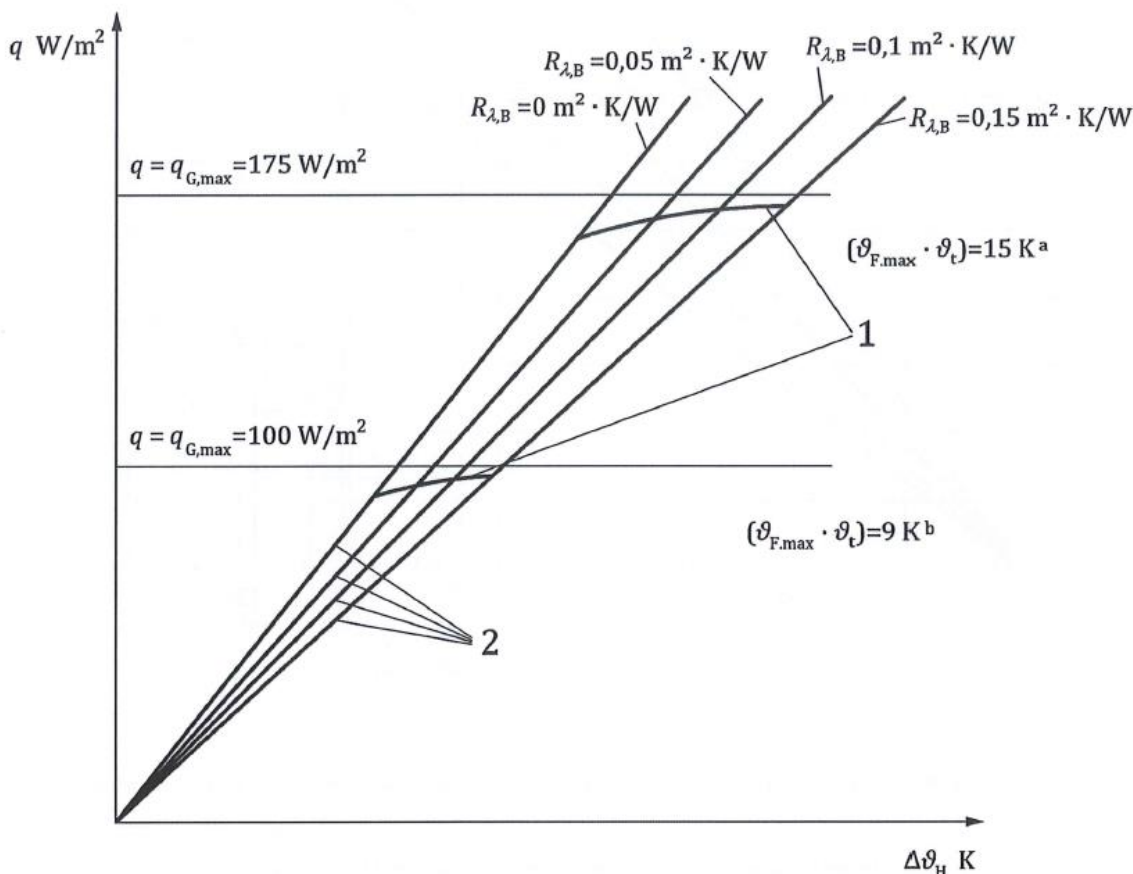
(C) Perdite localizzate

Al singolo tratto di circuito possono essere associate le perdite di carico concentrate presenti.

APPENDICE A. CALCOLO ELEMENTI FINITI

Tre le diverse possibilità di valutazione della potenza di riscaldamento e raffrescamento per sistemi radianti è presente quella che prevede la possibilità di utilizzare programmi di calcolo agli elementi finiti o alle differenze finite. In questi casi i risultati del programma di calcolo sono da validare in accordo con le indicazioni dell'Appendice D della norma UNI EN ISO 11855-2.

Esempio di curva caratteristica con interasse fisso al variare del rivestimento superficiale:



Dove:

- asse delle Y: q = potenza termica specifica W/m²
- asse delle X: $\Delta\theta_H$ = differenza di temperatura tra fluido termovettore (di riscaldamento) e ambiente
- 1: a indicare le "curve limite"
- b: a indicare per le "aree occupate"
- a: a indicare per le "zone perimetrali"

L'esempio di "curva" evidenzia le informazioni utili alla progettazione:

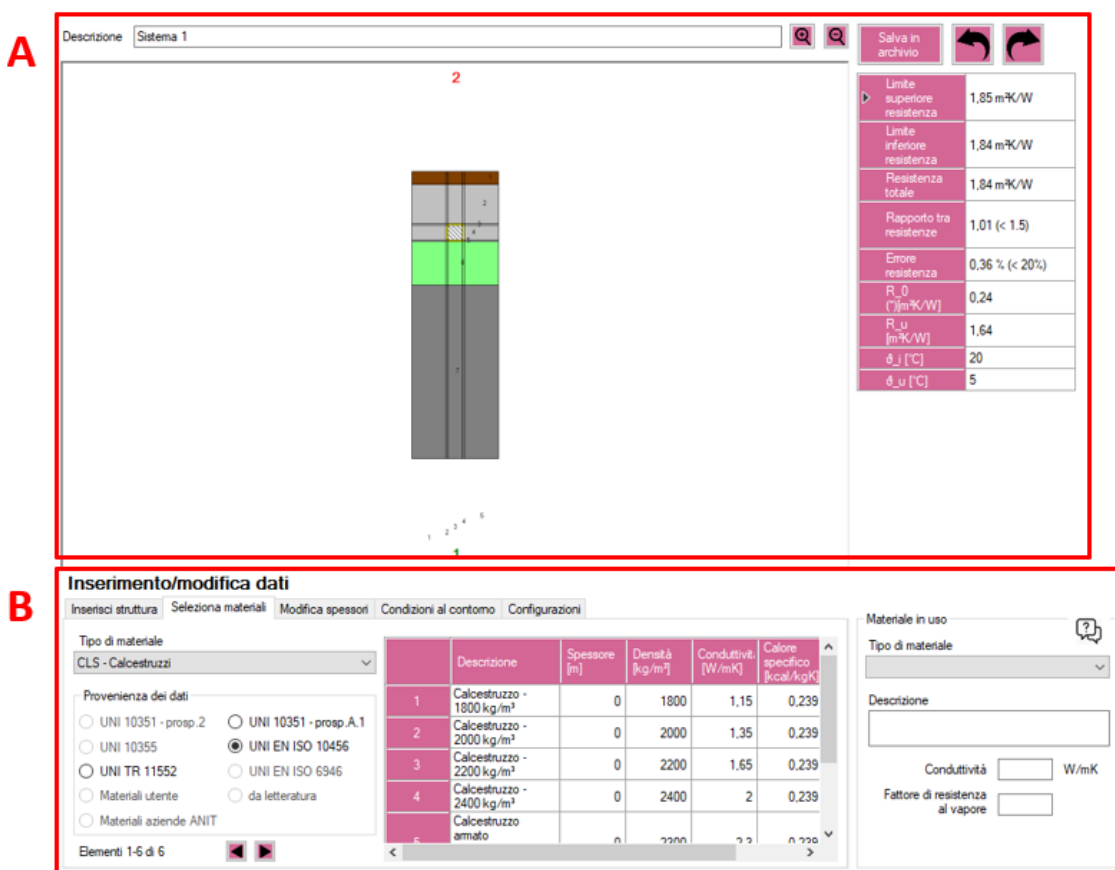
- valori di potenza in funzione della resistenza termica del rivestimento del pavimento $R_{\lambda,B}$
- valori massimi in corrispondenza del limite fisiologico di temperatura del pavimento di 29 °C ovvero con $\Delta T = 9$ K (29-20 °C) per aree occupate e con $\Delta T = 15$ K per aree perimetrali (35 °C)
- $q_{G,max}$ potenza massima

Modulo avanzato di GEA

GEA ha un modulo di calcolo agli elementi finiti con sorgente di calore che consente di modellare in autonomia il sistema radiante scelto nella stratigrafia di progetto per costruire le curve caratteristiche del sistema. Il modulo di GEA è stato studiato per agevolare il calcolo delle curve.

Realizzato infatti un modulo di sistema radiante si può rapidamente modificare la resistenza termica del rivestimento e l'interasse delle tubazioni per ottenere diverse curve caratteristiche.

Il modulo è caratterizzato da un'interfaccia tipica dei software agli elementi finiti. Per gli utilizzatori dei software sviluppati da TEP srl, l'ambiente risulta familiare poiché derivata dal motore di calcolo e dalle logiche di modellazione del software IRIS per i ponti termici degli edifici.



La schermata che ospita la produzione delle informazioni in ingresso della simulazione del sistema radiante è così composta:

(A) Descrizione sistema radiante

La parte superiore della schermata riproduce in scala corretta i vari elementi del sistema radiante. Il modello è rappresentato in sezione (di profondità 1 metro) o pianta. I confini laterali sono adiabatici, i confini superiori e inferiori sono disperdenti verso gli ambienti indicati.

La tabella laterale riassume alcune informazioni che caratterizzano il sistema riassumendo anche le condizioni al contorno ipotizzate (emergono dopo la realizzazione del calcolo).

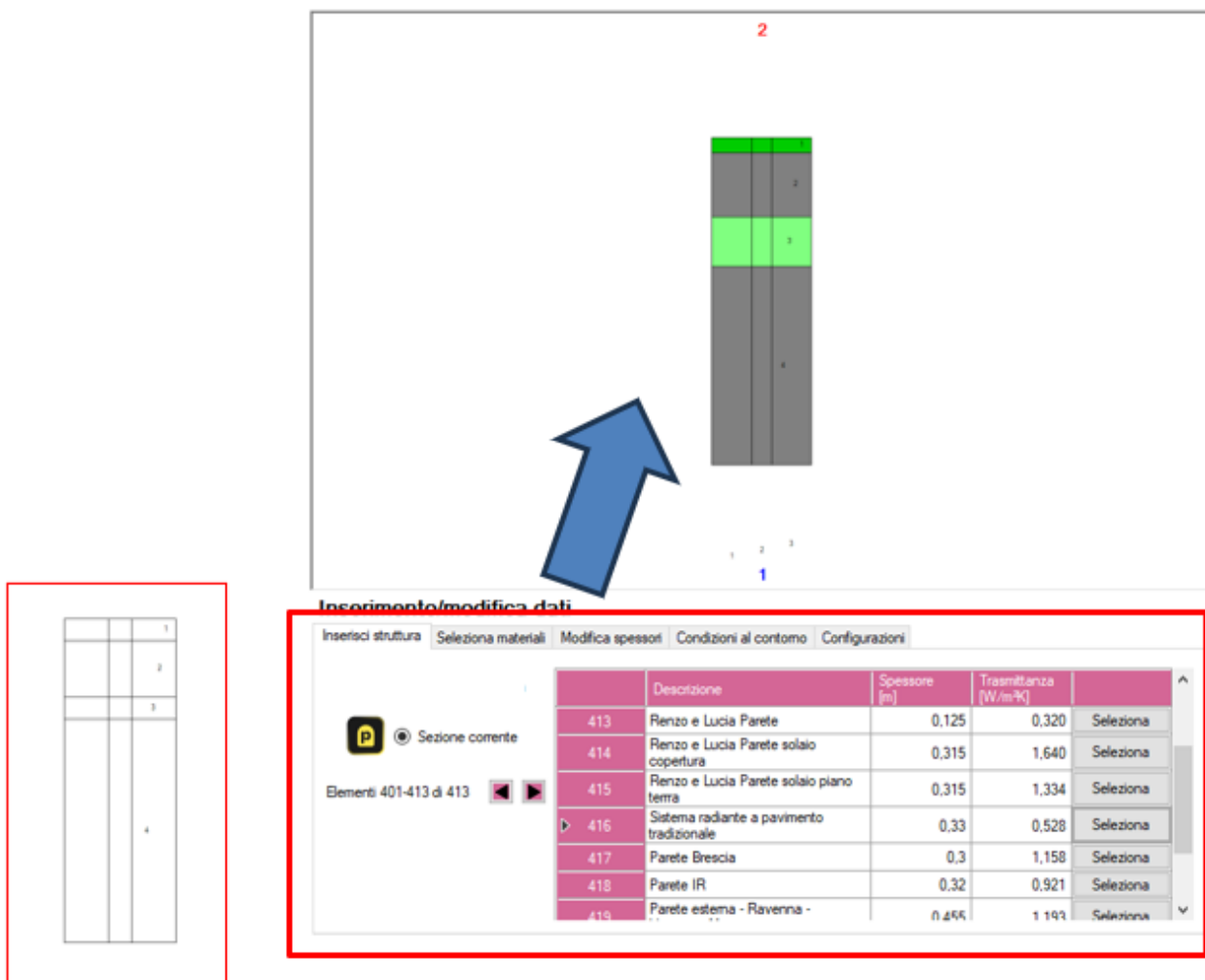
(B) Inserimento e modifica dei dati

La parete inferiore permette la modellazione del sistema con le informazioni relative alla geometria e caratterizzazione termica dei materiali, le condizioni al contorno e le diverse configurazioni di calcolo. Segue una descrizione dettagliata di ogni parte.

Inserisci struttura

Come descritto in precedenza è possibile importare nella modellazione di sistemi radianti delle strutture già realizzate con il software PAN dedicato ai calcoli delle strutture opache (pareti, coperture e solaio).

Per richiamare una struttura già realizzata e salvata in archivio da PAN è sufficiente selezionarla dall'elenco che compare. L'elenco è realizzato per richiamare tutte le strutture salvate nel tempo. Per evitare tempi di caricamento troppo lunghi vengono caricati gruppi di strutture realizzati in ordine cronologico di 50 elementi.

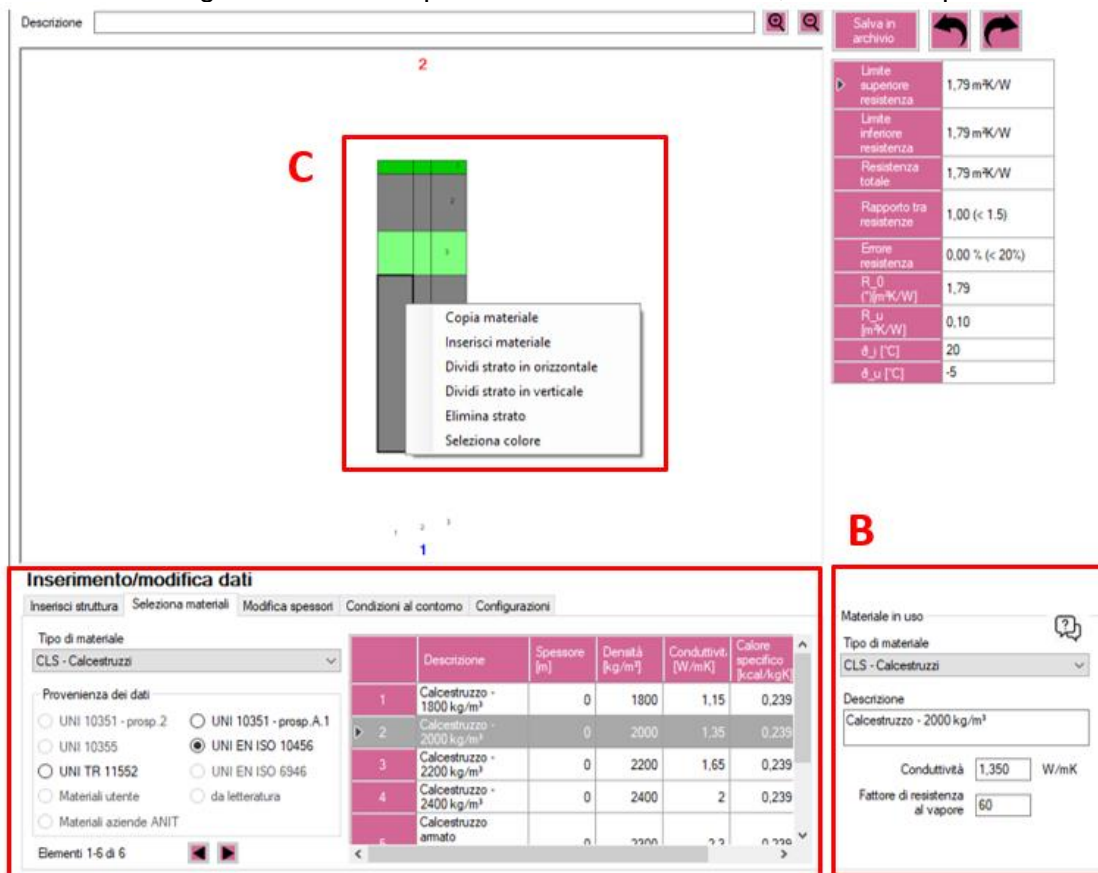


Una volta inserita una struttura ogni strato viene descritto con la geometria e la conduttività dei materiali usati. È possibile modificare, eliminare o aggiungere strati alla struttura importata. Non è possibile estendere le modifiche alla struttura originaria realizzata con PAN.

Questa modalità di realizzazione delle strutture del sistema radiante è una possibilità, non è un obbligo. L'utente può procedere nel modellare il proprio sistema radiante senza avere il software PAN e senza dover aver già realizzato la struttura.

Selezione materiali

In questa sezione è possibile caratterizzare la struttura e il sistema radiante con i materiali di conduttività termica adeguata. I materiali possono essere selezionati, inseriti e copiati.



(A) Fonti di dati

È possibile selezionare una tendina intitolata “Tipo di materiale” che divide i materiali per macrocategoria. Selezionando la categoria si attivano nel riquadro sottostante le fonti possibili e l’operatore può scegliere da quale di essa attingere le informazioni sul prodotto presenti nella tabella a destra.

(B) Materiale in uso

Una volta scelte la categoria, il tipo di fonte e il tipo di prodotto le informazioni compaiono nella finestra intitolata “Materiale in uso”. La categoria influenza la colorazione dello strato (che può essere successivamente modificata), la descrizione è editabile e la conduttività (anch’essa editabile e modificabile) influenza i risultati di calcolo. Il fattore di resistenza a vapore non influenza i risultati.

(C) Modello agli elementi finiti

L’immagine della struttura mostra se tutti i materiali sono stati caratterizzati. Ad ogni quadratino presente nel modello deve corrispondere un valore di conduttività termico. Se un quadrato non viene compilato, verrà considerato come una sorgente interna da considerare come una tubazione. Le opzioni di modifica/integrazione e gestione di ogni strato sono intuitive: è possibile modificare il materiale, copiarlo in altre posizioni, dividere lo strato verticalmente e orizzontalmente un numero infinito di volte...ecc

Attenzione: per poter realizzare un tubo in una stratigrafia completa è necessario selezionare un quadrato all’interno della stratigrafia ed “eliminare” lo strato. In questo modo il quadrato assumerà un retino diagonale che lo caratterizzerà come “tubazione”.

Modifica spessori

In questa sezione è possibile caratterizzare la struttura e il sistema radiante con gli spessori corretti potendo modificare i valori lungo l’asse delle X (A) e delle Y (B).

Inserimento/modifica dati

Inserisci struttura Selezione materiali **Modifica spessori** Condizioni al contorno Configurazioni

A

	1	2	3
Spessore [m]	0,04	0,02	0,04

B

	Spessore [m]
1	0,015
2	0,065
3	0,025
4	0,025
5	0,2

D

Diametro interno tubo: 16 mm

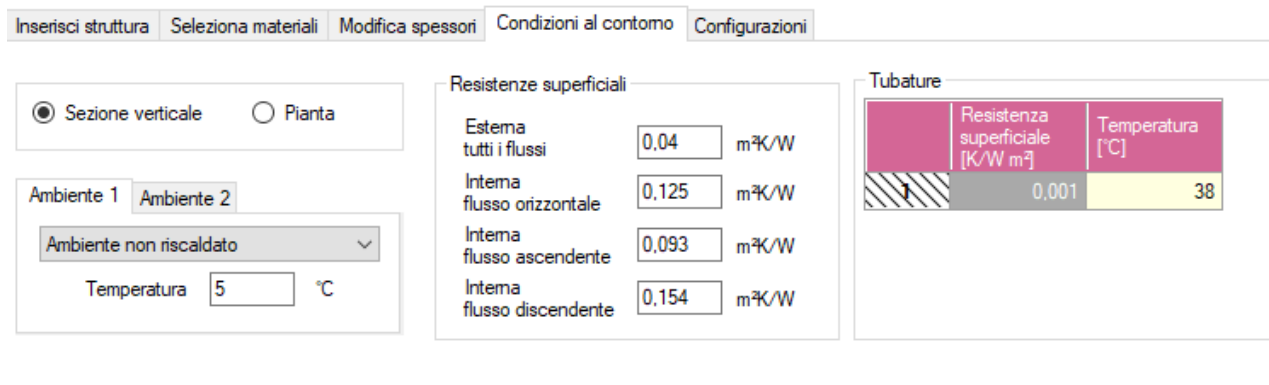
Lato del quadrato equivalente (stesso perimetro): 12,57 mm

In presenza di un tubo (C) è attivo anche il riquadro D che consente di modificare in modo automatico il modello applicando alla geometria un lato equivalente del quadrato che simula un perimetro di pari lunghezza rispetto a quello calcolato correttamente con la dimensione geometrica si cerchio della tubazione reale. Il software infatti non simula le curve ma solo spezzate.

Condizioni al contorno

Il calcolo agli elementi finiti richiede anche di specificare le temperature degli ambienti ai confini della struttura e la temperatura del fluido all'interno della tubazione.

Oltre queste informazioni è necessario anche indicare le resistenze liminari corrispondenti alla condizione di calcolo.



La schermata permette di selezionare il tipo di struttura e propone di conseguenza delle resistenze liminari derivanti dalla normativa.

Configurazioni

Definite le condizioni al contorno è possibile sviluppare il calcolo sul modello definito costruendone la curva caratteristica. Nella sezione configurazioni si possono realizzare i calcoli agli elementi finiti e si può procedere alla valutazione rapida del comportamento di quel sistema radiante modificandone resistenza termica del rivestimento superficiale e/o interasse.



(A) Curve

La sezione "Curve" consente di predisporre diversi modelli di sistema radiante basati su quello precedentemente descritto modificando direttamente e rapidamente la resistenza superficiale R o e/o l'Interasse. Generalmente si tende a costruire sistemi radianti caratterizzati dalla stessa resistenza superficiale e ai quali si modifica l'interasse delle tubazioni. Una volta selezionate le caratteristiche che si vogliono studiare si procede al calcolo (B).

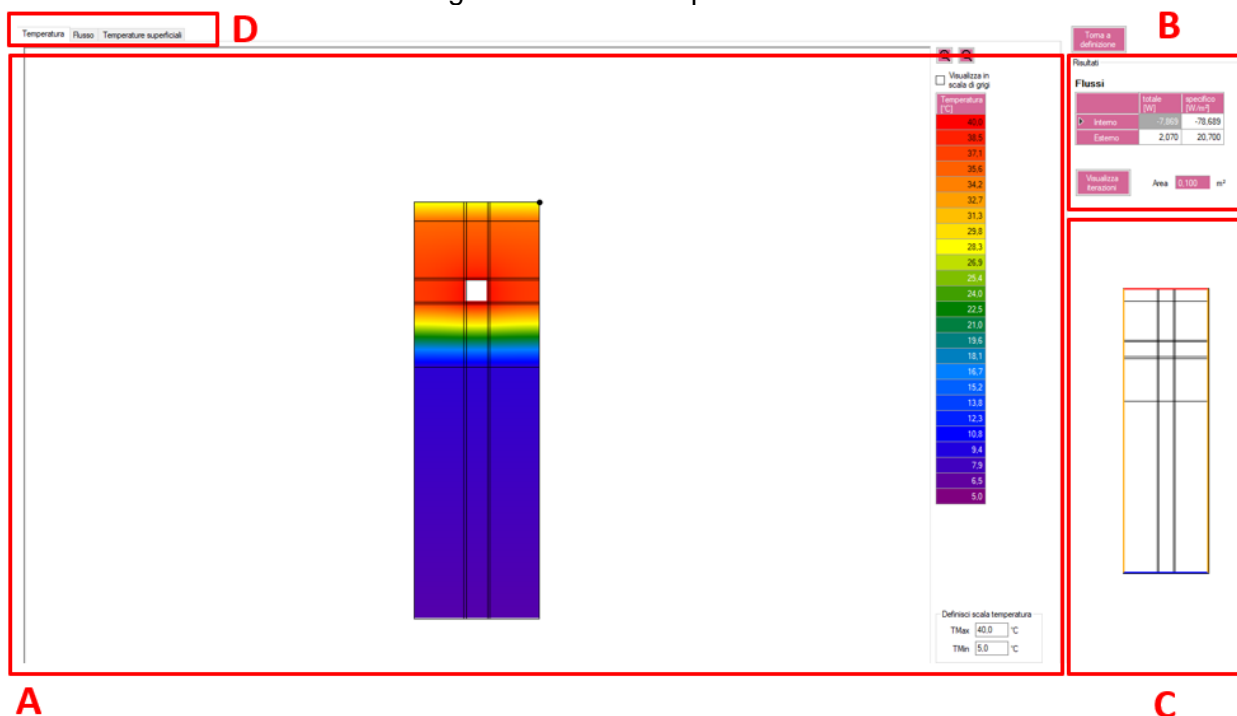
(B) Risultati di calcolo

Ad ogni curva è associabile una serie di calcoli con temperature del fluido all'interno delle tubazioni differenti. Ai fini della realizzazione della curva caratteristica è sufficiente la realizzazione di due punti, tuttavia può essere utile realizzare anche più calcoli per individuare con precisione a quale carico di progetto corrisponde la temperatura massima superficiale di 29 °C.

Per ogni simulazione da condurre è necessario imporre la temperatura del fluido. Impostata la temperatura si clicca il bottone "Calcola" e il software procede nella simulazione agli elementi finiti. Conclusa la simulazione vengono mostrati in tabella i risultati: carico termico q_0 verso l'ambiente da riscaldare, carico termico q_u verso l'ambiente da non riscaldare e Tsup_max temperatura superficiale massima verso l'ambiente da riscaldare. È possibile visualizzare i risultati della simulazione cliccando su "Visualizza". Il bottone Calcola tutti consente di velocizzare il calcolo di più simulazioni.

Visualizzare i risultati

La schermata dei risultati di una singola simulazione riporta:



(A) Immagine della distribuzione di temperatura

L'immagine riporta la distribuzione interna e superficiale della temperatura. La scala è riportata a destra e può essere modificata a piacimento. Il cursore del mouse può essere impiegato per interrogare l'immagine. Ad ogni quadrato è associato un valore di temperatura.

(B) Risultati numeri

La tabella riporta i valori di flusso termico delle due superfici risultato di calcolo. Il valore di flusso viene anche espresso riferito all'area unitaria ovvero calcolato in riferimento ai m² di area rappresentati dal modello e indicati.

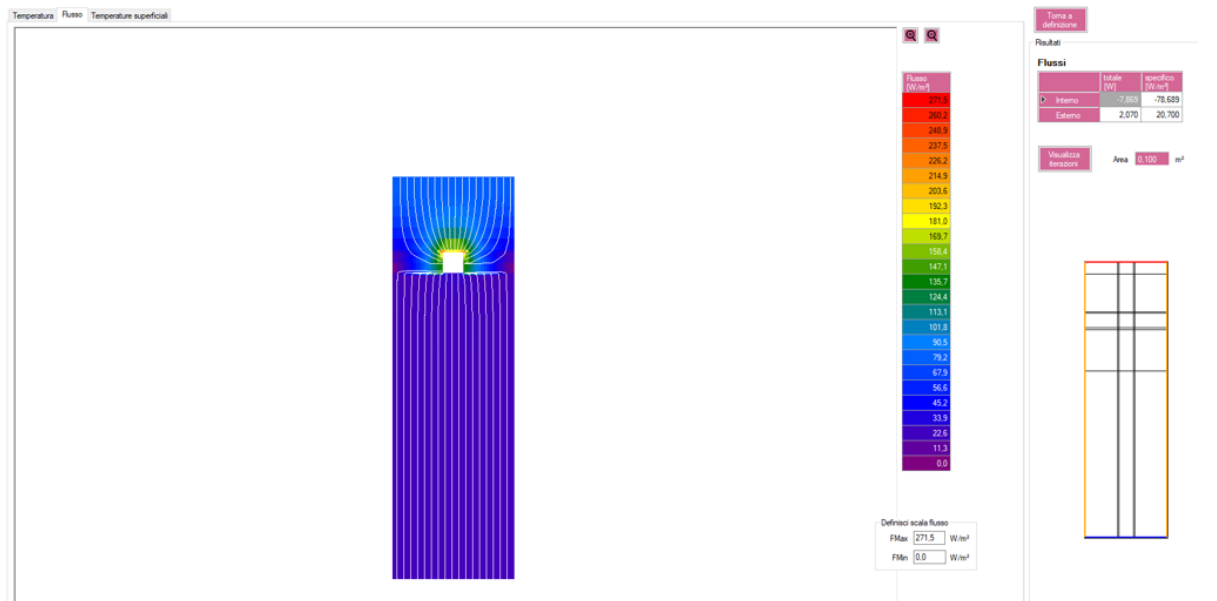
(C) Confini di calcolo

In rosso verso l'ambiente considerato riscaldato, in verde non riscaldato, in blu esterno e in giallo i confini adiabatici.

(D) Altri risultati

Oltre alla schermata dell'immagine della temperatura è possibile selezionare anche i risultati grafici di flusso termico e di temperatura superficiale.

Risultati di flusso termico



Risultati di temperatura superficiale



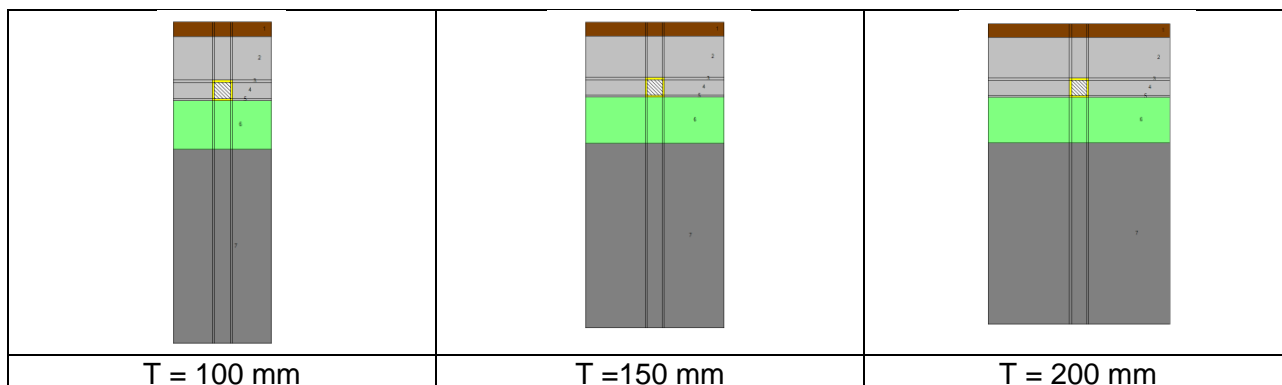
Una volta realizzate le simulazioni è possibile produrre la curva caratteristica del sistema radiante (vedi capitolo 2).

APPENDICE B. ESEMPIO DI SISTEMA

Nel software è descritto il seguente esempio di valutazione agli elementi finiti: sistema a pavimento con tubazioni integrate nello strato di diffusione del calore tipo A1.

La struttura non ha lo strato di isolamento al calpestio e non ospita l'eventuale strato per il passaggio impianti (elettrici e sanitari). Il tubo è semplificato con sezione quadrata.

Per l'esercizio di progettazione si fissa il valore di $R_t = 0,1$ e si valutano le curve caratteristiche al variare dell'interasse tra le tubazioni.



Descrizione geometrica e delle condizioni al contorno per la simulazione

SPESSORI					
spessore tubo			20	mm	
diametro tubo esterno			17	mm	
interasse tubi		T	100	mm	

Orizzontale	[mm]	[m]	Verticale	[mm]	[m]
1	40	0,0400	1	8	0,0080
2	2	0,0020	2	45	0,0450
3	17	0,0170	3	2	0,0020
4	2	0,0020	4	17	0,0170
5	40	0,0400	5	2	0,0020
6		0,0000	6	50	0,0500
			7	200	0,2000
			8		0,0000
			9		0,0000
			10		0,0000
					0,252

MATERIALI			
		W/mK	Spessori
solaio	c.a.	2,3	20 cm
strato isolante	isolante	0,036	5 cm
massetto	cls alleggerito	1,3	4,5 cm
tubo	PP	0,35	20 mm
rivestimento	legno	0,15	8 mm - 23 mm

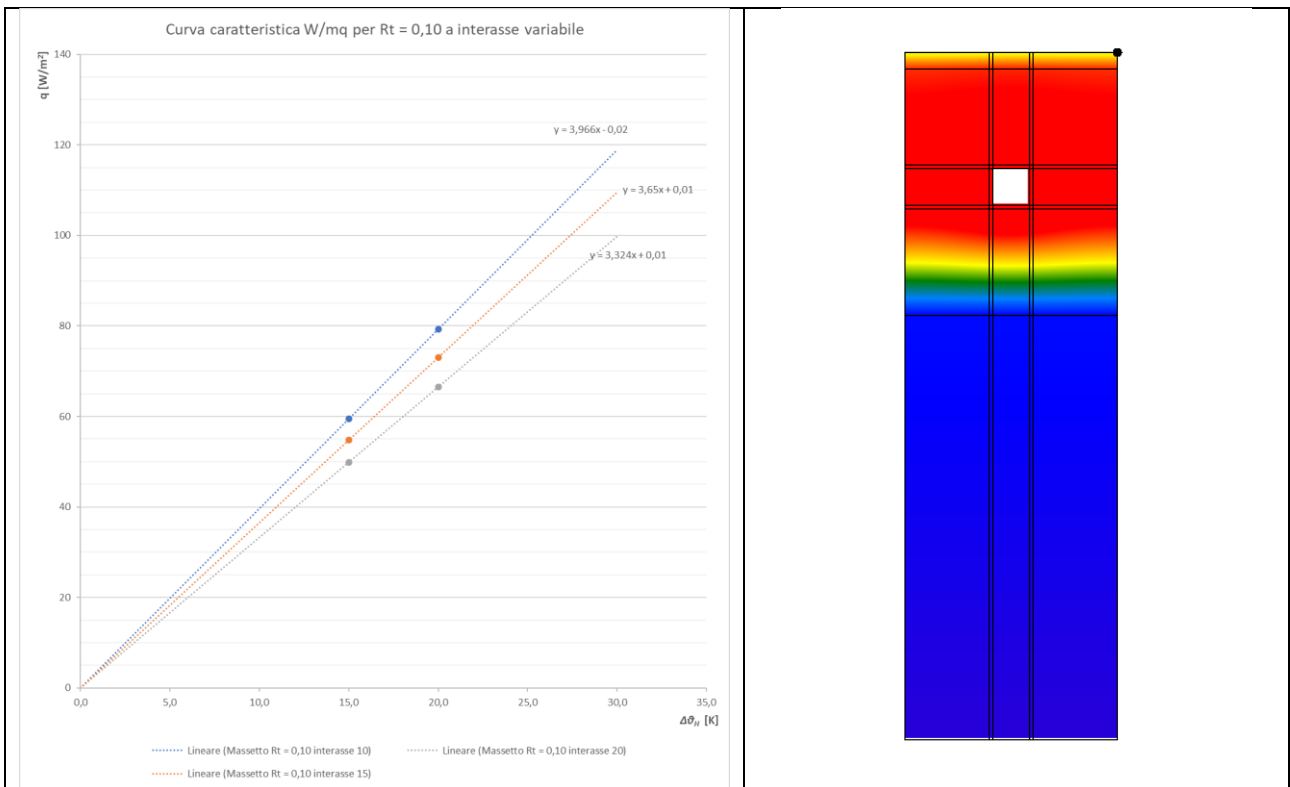
CONDIZIONI AL CONTERNO			
Ambiente 1	non riscaldato	20	°C
Ambiente 2	riscaldato	20	°C

Sezione		verticale
Resistenze superficiali		
Esterna		0,096
Interna flusso orizzontale		0,125
Interna flusso ascendente		0,093
Interna flusso discendente		0,154

Cavità 1	R superficiale	T °C
	0,0001	35 e 40 °C

Si ricorda che il valore di temperatura ipotizzato è il valore che mediamente si verifica all'interno del massetto nel circuito analizzato e derivante dalla temperatura di mandata e di ritorno e dalle caratteristiche del massetto.

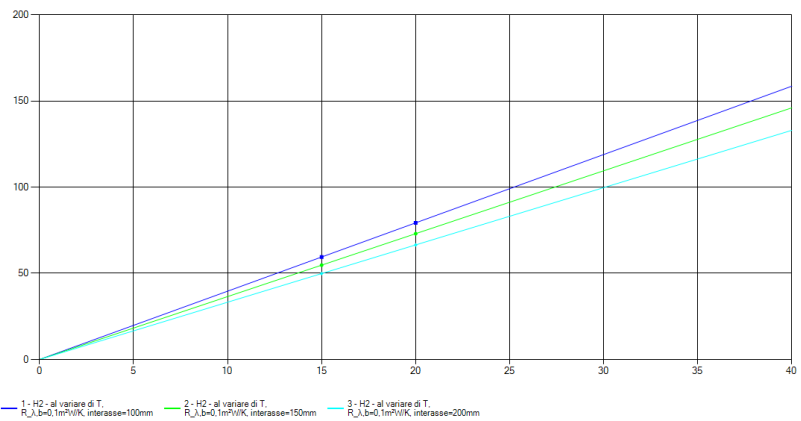
Costruzione della curva caratteristica studiando almeno due condizioni di temperatura del fluido al variare della resistenza termica del massetto.



Riscaldamento Raffrescamento

H2 - al variare di T							
Aggiungi	R _f , b [m²K/W]	Interasse [mm]	Calcola	KH [W/m²K]	q _{max} 20°C	q _{max} 35°C	Elimina
1	0,1	100	Calcola	3,96	96,4	150,7	Elimina
2	0,1	150	Calcola	3,65	94,5	157,5	Elimina
3	0,1	200	Calcola	3,32	90,8	151,3	Elimina

D _f , b=0,1m²K/W, interasse=100mm					
Aggiungi	L [K]	q ₀ [W/m²]	q ₀ [W/m²]	Temp.max [°C]	Elimina
1	20,0	79,30	11,08	27,4	Elimina
2	15,0	59,47	8,31	25,6	Elimina



DATI PER CALCOLI

Valori indicativi per dimensionamento di un impianto radiante [Fonte: 3]

Ambiente	Servizio	Limite di temperatura superficiale °C	Coefficiente liminare α_{ai} W/m ² K	Potenza specifica massima W/m ²
Pavimento zona occupata	Riscaldamento	29 °C	10.8	97
	Raffrescamento	19 °C (valore indicativo)	6.5	
Pareti	Riscaldamento	40 °C	8	160
	Raffrescamento	Limite $\theta_{Dp,R0}$ °C	8	
Soffitto	Riscaldamento	33 °C	6.5	85
	Raffrescamento	Limite $\theta_{Dp,R0}$ °C	10.8	
Pavimento: bagni e simili	Riscaldamento	33 °C	10.8	124
	Raffrescamento			
Pavimento: aree perimetrali	Riscaldamento	35 °C	10.8	162
	Raffrescamento	19 °C	7	49

Si propongono dati di letteratura riportati dalla norma UNI EN 11855-2 in appendice E.

Materiali	λ Conduttività termica W/mK
Tubazioni in PB (polibutilene)	0.22
Tubazioni PP (polipropilene)	0.22
Tubazioni in PE-X (polietilene reticolato) (HDX, MDX)	0.35
PE-RT (polietilene con resistenza alle alte temperature)	0.35
Tubazioni in acciaio	52
Rivestimento in PVC (cloruro di polivinile) con aria inclusa	0.15
Rivestimento in PVC (cloruro di polivinile) senza aria inclusa	0.20
Dispositivo conduttivo in alluminio	200
Dispositivo conduttivo in acciaio	52
Massetto cementizio	1.2
Massetto in anidride	1.2
Cemento (2400 kg/m ³)	1.9
Pannelli in cartongesso	0.25
Intonaco di calce	0.7
Rivestimento per pannelli industriali	0.7
Massetto in asfalto	0.9
Piastrelle in legno	0.4
Legname (lastre in truciolato)	0.15

Valori per intercapedini d'aria chiuse per la valutazione agli elementi finiti, con indicazioni in conduttività equivalente, da usare senza alterare successivamente lo spessore della cavità di aria.

Valori di resistenza termica R [m²K/W] dell'aria									
Flusso	Spessore dello strato d'aria in [mm]								
	5	10	20	40	60	80	100	150	200
Orizzontale	0.116	0.154	0.174	0.181	0.180	0.179	0.177	0.174	0.172
Ascendente	0.132	0.164	0.177	0.184	0.188	0.189	0.190	0.191	0.192
Discendente	0.135	0.182	0.220	0.248	0.260	0.266	0.270	0.276	0.278

Altri dati per rivestimenti [Fonte 3]

Materiale	Spessore [mm]	λ Conduttività termica [W/mK]	Resistenza termica R_{λ,b} [m²K/W]
Piastrelle in ceramica	10	1	0.01
PVC	3	0.2	0.01
Parquet a mosaico	8	0.21	0.038
Parquet a listelli	16	0.21	0.08
Parquet multistrato	11-14	0.09-0.12	0.03-0.15
Laminato	9	0.17	0.05

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]	Presentazioni corso sistema radianti –Corso ANIT 2022-2023 – ing. Clara Peretti
[4]	Esercitazione corso sistemi radianti Corso ANIT – 2023 – ing. Alessandro Panzeri
[5]	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
[6]	L. De Santoli, F. Mancini, Progettazione degli impianti di climatizzazione. Ed. Maggioli Editore, 2017
[7]	G. Alfano, M. Filippi, E. Sacchi, Impianti di climatizzazione per l'edilizia. Ed. Masson, 1997