



HtTB - THERMal Bridge

IL CALCOLO AGLI ELEMENTI FINITI DEI PONTI TERMICI

MC4SOFTWARE ITALIA SRL

NOVEMBRE 2021

SOMMARIO

INTRODUZIONE	1
1 PULSANTI DELLA BARRA PRINCIPALE	2
2 ARCHIVIO MATERIALI	3
2.1 Dati Generali	5
2.2 Caratteristiche del Materiale	8
3 INPUT DELLA GEOMETRIA IN AUTOCAD.....	9
3.1 Disegno della sezione del ponte termico	10
3.2 Associazione dei materiali	11
3.3 Estrazioni delle condizioni al contorno	12
3.4 Modifica delle condizioni al contorno.....	13
3.5 Individuazione delle strutture per il calcolo degli psi	15
3.6 Calcolo FEM.....	16
4 GESTIONE ARCHIVI THERMAL BRIDGE.....	18
4.1 Archivio MC4.....	18
4.2 Archivio utente.....	19
4.3 Importo da altro lavoro.....	19
4.4 Archivio di progetto.....	20
4.4.1 Nuovo ponte termico.....	20
4.4.2 Geometria del ponte termico	22
4.4.3 Modifica dei materiali	22
4.4.4 Modifica condizioni al contorno.....	23
5 RISULTATI A VIDEO.....	24
5.1 Visualizzazione grafica dei risultati	26
6 MODIFICA DELLA GEOMETRIA DI UN PONTE TERMICO	29

INTRODUZIONE

Il modulo può essere installato in AutoCAD Full (completo di funzionalità 3D) come plugin, oppure essere indipendente da AutoCAD e dotato di motore grafico AutoCAD OEM.

In ognuna delle due configurazioni non vi sono differenze in quanto com'è noto AutoCAD OEM è una versione di AutoCAD prodotta e commercializzata da Autodesk, specificatamente per produttori di software, che possono quindi produrre l'applicazione incorporando il motore grafico AutoCAD.

AutoCAD è quindi l'ambiente in cui si esegue l'input della geometria del ponte termico da studiare. Come vedremo, si utilizzeranno oggetti nativi AutoCAD come linee, archi, polilinee etc. ed oggetti creati da MC4, funzionali alla descrizione dei parametri di calcolo.

Il solutore agli elementi finiti utilizzato è THERM, programma freeware prodotto da Lawrence Berkeley National Laboratory della University of California, che tramite l'interfaccia a linea di comando viene invocato in background in modo del tutto trasparente all'utente.

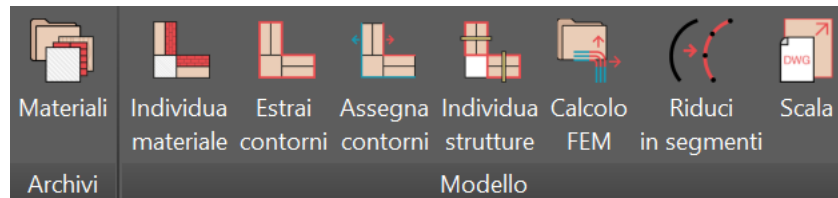
THERMal Bridge è quindi un preprocessore ed un post processore.

Il preprocessore prepara le aree dei materiali ed i contorni e li invia a THERM, invoca il calcolo e riceve i risultati che utilizza per calcolare gli psi del ponte termico e per determinare l'eventuale formazione di muffa sulla superficie dei componenti edilizi che concorrono a formare il ponte termico stesso.

Il programma può essere acquistato come prodotto a sé oppure come modulo all'interno di Mc4Suite assieme ad altre funzionalità.

In entrambi i casi, le funzionalità sono identiche quindi non distingueremo le due versioni.

1 PULSANTI DELLA BARRA PRINCIPALE



Archivio materiali: Apre l'archivio dei materiali disponibili



Individua materiale: crea un contorno chiuso a partire da entità geometriche piane e vi associa un materiale



Estrai contorni: crea una condizione al contorno adiabatica per ogni segmento del perimetro esterno del ponte termico



Assegna contorni: Modifica la condizione al contorno



Individua strutture: traccia una linea perpendicolare tra due contorni contrapposti in corrispondenza della quale calcola la trasmittanza della struttura formata dai materiali che incrocia



Calcolo FEM: Apre la form di gestione dei ponti termici all'interno della quale, tra le altre cose, si esegue il calcolo FEM



Riduci in segmenti: trasforma una curva in 30 segmenti



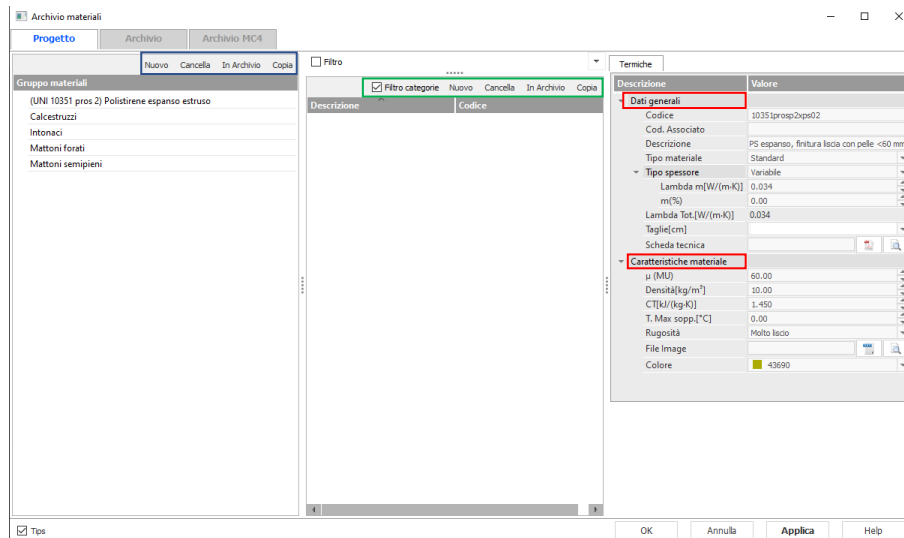
Scala: Imposta l'equivalenza tra unità di disegno di AutoCAD e dimensione reale delle geometrie di base

Legenda Moduli Mc4Suite

Modulo di Mc4Suite	HTCad				■ NoiseCad
Sottomoduli	Ⓔ Calcolo energetico	Ⓒ Carichi termici	Ⓓ Pannelli radianti	⒫ Impianti idronici	

2 ARCHIVIO MATERIALI

L'apposito pulsante apre l'archivio dei materiali all'interno del quale, premendo il pulsante [help](#), si può accedere all'help relativo.



In riferimento all'immagine, nella parte sinistra della finestra è visualizzata la lista delle categorie di materiali presenti in archivio.

Evidenziando un singolo gruppo di materiali, nella colonna centrale della maschera, sono visualizzati i materiali ad esso appartenenti.

Evidenziando a sua volta un singolo materiale, nella scheda **Termiche**, vengono visualizzate le relative caratteristiche.

È possibile eseguire una ricerca di un dato materiale sia per **Codice** che per **Descrizione**, come si evince dalle opzioni del menu a che si ha in corrispondenza del campo **“Nel Campo”**.

Una volta selezionato il tipo di ricerca occorre digitare il testo o il codice nel box sottostante quello precedente, ossia quello etichettato come **“Testo”**.

È possibile aggiungere nell'archivio materiali sia una nuova **Categoria** che un nuovo **Materiale**.

I tasti per la gestione delle categorie sono quelli evidenziati in **blu** nell'immagine precedente.

- **Nuovo:** Permette di creare una nuova categoria; la quale avrà un nome generico, occorrerà poi rinominarla opportunamente.
- **Cancella.** Cancella la categoria precedentemente selezionata.
- **In Archivio.** Copia nell'*Archivio utente* la categoria selezionata con tutti i materiali in essa contenuti.

I tasti evidenziati in **verde** nell'immagine precedente sono quelli per la gestione delle categorie.

- **Filtro categorie.** Togliendo il segno di spunta dal check box si ha la visualizzazione contemporanea di tutti i materiali in archivio, apponendo il segno di spunta invece si vedono solo i materiali appartenenti alla categoria selezionata.

- **Nuovo.** Permette di creare una nuova materiale; il quale avrà un nome generico, occorrerà poi rinominarlo opportunamente.
- **Cancella.** Cancella il materiale precedentemente selezionato.
- **In Archivio.** Copia nell'*Archivio utente* il materiale selezionato.
- **Copia.** Crea una copia del materiale selezionato.

Nella parte destra della finestra sono riportate le proprietà dei vari materiali.

Esse sono separate in due pagine, a seconda che si tratti delle proprietà **Termiche** o relative all'**Acustica** (qualora attiva come funzionalità in Mc4Suite).

2.1 Dati Generali

Codice. Codice alfanumerico per una rapida descrizione del materiale.

E **Cod. Associato.** In presenza di un materiale a spessore fisso permette di specificare il codice di un materiale a spessore variabile

Descrizione. In questo campo l'utente deve inserire la descrizione estesa del materiale.

E C **Tipo materiale.** In questo campo si specifica la tipologia di materiale tra quelli presenti ovvero *Standard, Intonaco, Eterogenei, Gas, Vetro, Resiliente, Fibroso, Kit*. Selezionando la voce Eterogenei e cliccando sul tasto posto all'estremità del campo si attiverà la maschera di composizione del materiale (vedi figura successiva).

1. Tipo Materiale: Eterogenei

La sezione della parete va suddivisa, in accordo con la norma **UNI 6946**, in una griglia, di cui ogni componente è termicamente omogeneo. Questa griglia è composta da un certo numero di strati (perpendicolari al flusso termico) che in figura sono indicati come d_1, d_2, \dots e di frazioni di area della parete A_a, A_b, \dots ecc.. Nella prima riga della griglia occorre specificare lo spessore degli n strati, mentre nella prima colonna occorre inserire la percentuale di area coperta da quegli strati di materiali in riferimento ad una area unitaria (ciò implica che la somma delle sezioni di area deve essere uguale a 100).

Materiale eterogeneo

Numero di sezioni: 0 Numero di strati: 0

$\Sigma A_i = 100$

		Strati[cm]				
		d1	d2	d3	d4	d5
Sezioni%	.	0	0	0	0	0
	A1	0	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0
	A3	0	0	0	0	0
	A4	0	0	0	0	0

Conduktività termica [W/m·K] degli strati j-esimi di ciascuna sezione [W/(m·K)]

0.0000 Tutto Risultati

Calcola Rt' = 0.000

Rt'' = 0.000

RT = 0.000

OK Cancel

Negli altri campi della griglia occorre inserire la conduttività termica, λ [W/m·K], dei corrispondenti componenti omogenei. Al termine dell'inserimento occorre premere il tasto **Calcola** per aggiornare il valore della resistenza termica "RT" calcolata. Alla pressione del tasto **OK** la maschera si chiude, e si torna alla maschera di definizione delle caratteristiche del materiale, dove saranno stati compilati automaticamente i campi: **Cond. [W/(m²K)]** (uguale all'inverso della resistenza termica calcolata) e **Spes.[cm]** (uguale alla somma degli spessori dei singoli strati).

2. Tipo Materiale: Gas

Per quanto riguarda invece la scelta **Gas**, occorre sempre cliccare sul pulsante posto affianco al campo per accedere alla maschera che permette il calcolo corretto della Resistenza Termica in funzione della emissività delle due superfici (vedi figura sottostante):

Intercapedini d'aria

Le affermazioni sottostanti sono vere

L'intercapedine d'aria è limitata da due facce effettivamente parallele e perpendicolari alla direzione del flusso e con una emissività non minore di 0.8

Il suo spessore (nella direzione del flusso termico) è minore del 10% delle altre due dimensioni

Non c'è scambio d'aria con l'ambiente interno

Calcolo secondo UNI EN ISO 6946:1999 App.

Spessore[cm] 0.0000

Senso del flusso termico Ascendente

Sezioni % Non ventilata

Emissività emisferiche delle superfici che delimitano

Epsilon 1 0.00 ...

Epsilon 2 0.00 ...

Temperatura della parete per calcolare il coefficiente del corpo nero

Temperatura[°C] 0.0

Hro[W/(m²·K)] 4.62

Risultati

R[(m²·K)/W] 0.000

Calcola

OK Cancel

Compilare i dati richiesti e premere **Calcola** per ottenere il risultato.

La scelta **Intonaco** è importante quando il programma calcola la massa superficiale della parete ai fini della verifica di Legge, in quanto l'intonaco deve essere escluso da tale calcolo. **Fibroso, Resiliente, Kit** assumono significato solo per la verifica acustica della struttura nella quale il materiale è presente.

EC
R **Lambda m [W/(m·K)]**. In questo campo si introduce il valore della conduttività, valida per materiali omogenei (es. calcestruzzo, intonaco, ecc.) corrispondente alla conduttività indicativa di riferimento λ_m definita dalla norma UNI 10351;

EC
R **m(%)**. Nel campo si inserisce il valore della maggiorazione percentuale (il parametro m descritto dalla norma UNI 10351) da applicare al valore di conduttività specificato nel campo precedente in modo da tener conto delle effettive condizioni di esercizio, del contenuto di umidità, dell'invecchiamento, dell'effetto della manipolazione, della installazione eseguita a regola d'arte e delle tolleranze sullo spessore.

EC
R **Cond. [W/(m²·K)]**: questo campo appare solo se si seleziona *Fisso* come *Tipo di spessore*; occorre introdurre il valore della conduttanza unitaria C , valida per materiali non omogenei (es. mattoni forati, blocchi da solaio, ecc.).

EC **Spes. [cm]** Questo campo appare solo se si seleziona *Fisso* come *Tipo di spessore*; rappresenta il valore dello spessore dello strato di materiale, da introdurre esclusivamente per materiali non omogenei.

Nota: La grandezza Conduttanza unitaria, **Cond. [W/(m²·K)]**, si utilizza sempre per strati di materiale eterogeneo di spessore noto. Pertanto, qualora venga compilato il campo **Cond.**, è necessario compilare anche il campo **Spes. [cm]**. Nel caso invece di materiali omogenei, si dovrà compilare esclusivamente il campo **Lambda**, e non il campo **Spes. [cm]**.

Taglie [cm]. Questo campo appare solo se si seleziona l'opzione *Variabile* come *Tipo di spessore*; esso permette di inserire gli spessori, o taglie, dei materiali fibrosi e resilienti; selezionando il pulsante si accede ad un menu in cui è possibile aggiungere il valore dei singoli spessori corrispondenti alle taglie del materiale; esclusivamente ai fini acustici, per i materiali resilienti, oltre agli spessori, occorre specificare i corrispondenti valori di *Rigidità dinamica S' [MN/m³]*.

Scheda tecnica. Permette di associare alla struttura un documento (in formato pdf, doc o rtf) che ne descriva le caratteristiche tecniche; tale file, per poter essere caricato dal programma, dev'essere posizionato nella cartella **C:\ProgramData\Mc4Software\Mc4Suite 2017A\full\databases\AssociateFiles**. L'associazione avviene mediante l'icona apposita tramite il quale si accederà direttamente alla cartella suindicata.

2.2 Caratteristiche del Materiale

E μ (**Mu**). Valore del fattore di resistenza igroscopica μ (definito nella norma UNI EN ISO 13788).

E
C **Densità**[kg/m³]. Digitare in questo campo la massa volumica ρ del materiale, espressa in kg/m³.

E
C **CT**[kJ/(kg·K)]. Capacità termica massica della struttura, da esprimersi in [kJ/(kg·K)].

R **T. Max sopportabile**[°C] In tale campo l'utente deve indicare la massima temperatura sopportabile dal materiale quando soggetta ad un flusso termico, dovuto, ad esempio, ad un impianto termico a pannelli radianti; il software effettua la verifica che la temperatura raggiunta dal materiale sia inferiore al valore digitato in questo campo, in caso contrario viene restituito un warning.

C **Rugosità**: in questo campo si può definire la rugosità del materiale scegliendo tra una delle opzioni presenti nell'apposito menu a tendina. Il parametro viene impiegato nell'ambito del calcolo dei carichi termici secondo ASHRAE.

File Image: tramite questa voce è possibile associare al nuovo materiale inserito una rappresentazione grafica, che verrà visualizzata nel riquadro posto sotto la sezione Termiche. I disegni da associare ai nuovi materiali possono essere realizzati utilizzando il programma Paint o qualunque altro software grafico in grado di produrre file in formato .bmp. Le bitmap devono essere realizzate nelle seguenti dimensioni:

- per materiali il cui spessore può variare, disegnare il modulo base di dimensioni 8x8 pixel;
- per materiali con spessore fisso, impostare un bitmap le cui dimensioni in pixel corrispondono alle dimensioni reali in cm moltiplicate per 3 (es. materiale di dimensioni 20 cm per 30 cm. Il disegno viene realizzato in un bitmap di dimensioni 60x90 pixel);

Colore: in questo campo si definisce il colore con cui saranno colorate le aree dei materiali per il calcolo FEM

3 INPUT DELLA GEOMETRIA IN AUTOCAD

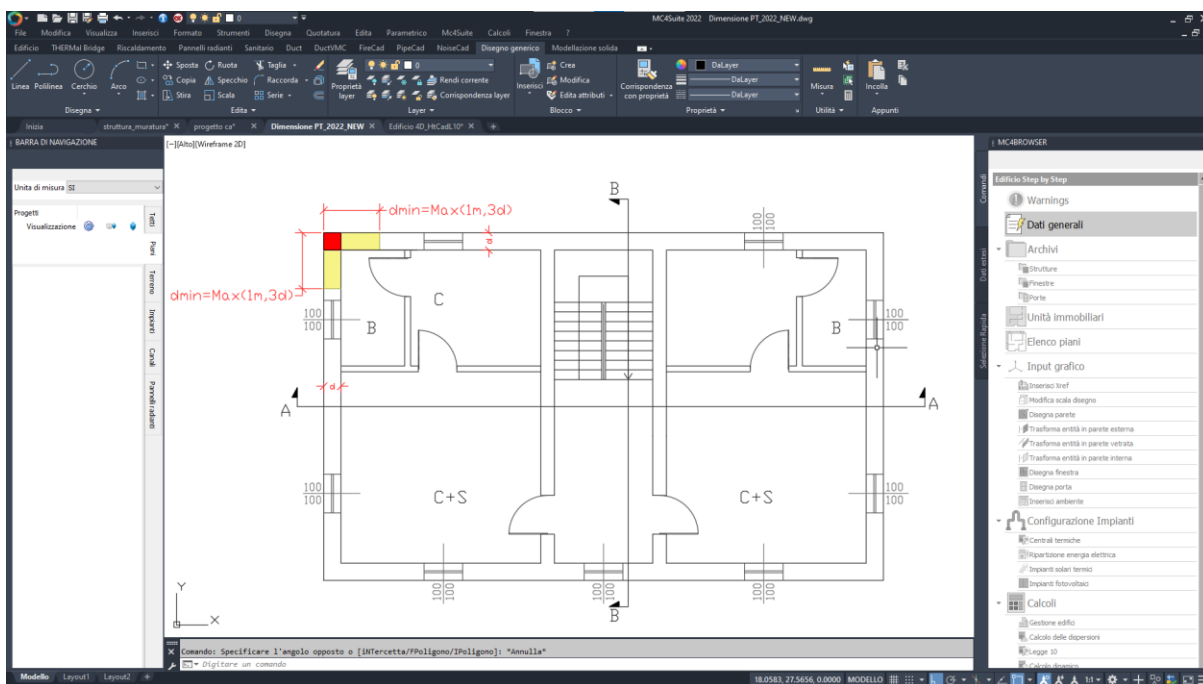
Come detto in premessa THERMal Bridge (TB) usa THERM come solutore **FEM**. THERM è uno strumento di analisi del trasferimento di calore agli elementi finiti bidimensionale (2D).

La metodologia richiede l'input dei poligoni rappresentanti aree omogenee dei materiali che il flusso di calore attraversa.

I lati dei poligoni confinanti devono essere sovrapposti esattamente come richiesto all'algorithmo di generazione automatica dei mesh presente in THERM.

La norma UNI EN ISO 10211 definisce i limiti geometrici del ponte termico sul quale effettuare il calcolo numerico. Il calcolo viene svolto su una parte dell'involucro che comprende il giunto e una distanza dal giunto pari al **massimo tra 1 m e tre volte lo spessore della parete laterale**.

La distanza minima garantisce di considerare all'interno del modello di ponte termico i **flussi termici distorti**, nelle adiacenze del nodo, e quelli monodimensionali attraverso le pareti laterali in prossimità dei piani di taglio.



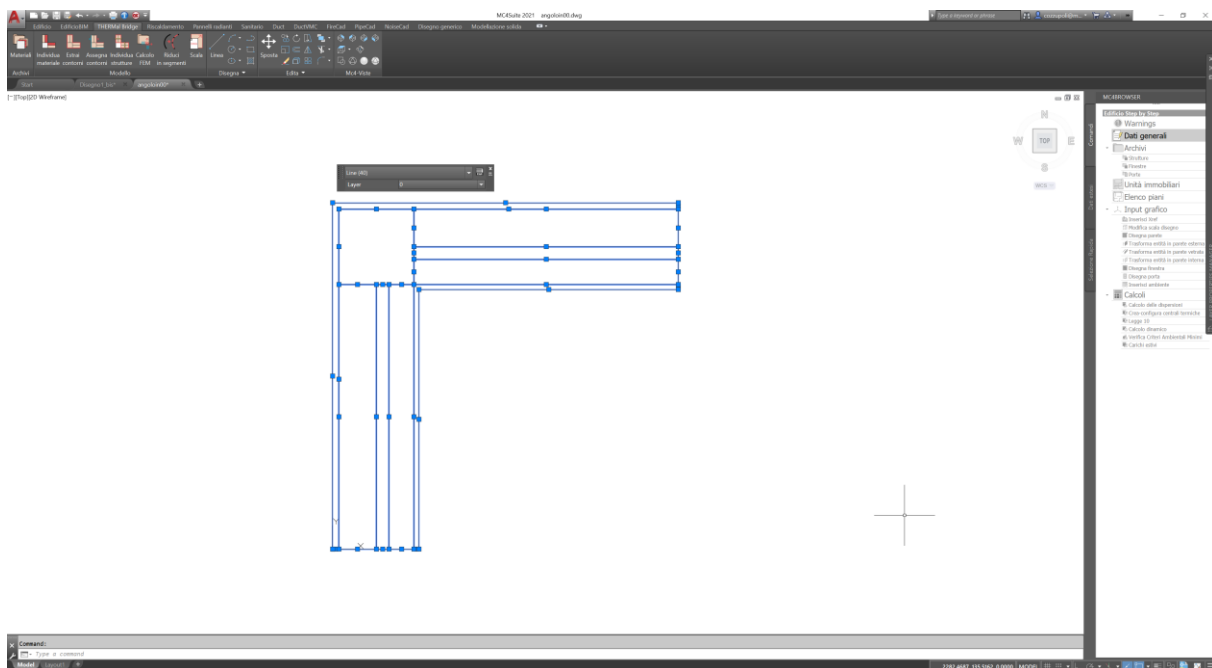
Il flusso termico risente della presenza del ponte termico entro un'area limitata. Infatti allontanandosi dal nodo è ovvio che il flusso di calore torna ad essere **unidimensionale**.

3.1 Disegno della sezione del ponte termico


Il disegno della sezione di base deve essere eseguito utilizzando sempre delle linee o delle polilinee bidimensionali aperte in modo da non avere dei lati sovrapposti.

Gli eventuali lati curvilinei della sezione devono essere ridotti a linee utilizzando il comando “Riduci in segmenti”.

Nota: La filosofia di input di **THERMal Bridge** differisce notevolmente da quella richiesta da **THERM** quando si importa il disegno da AutoCAD. Infatti, **THERM** legge polilinee chiuse da file DXF quindi i lati in comune delle aree dei materiali debbono essere disegnati sovrapposti. In **THERMal Bridge** al contrario si deve disegnare la sezione con semplici linee o polilinee aperte lasciando al programma l'onere di costruire i poligoni da passare a **THERM**. La scelta semplifica notevolmente l'input ed elimina radicalmente gli errori di mancata sovrapposizione dei lati in comune.



3.2 Associazione dei materiali

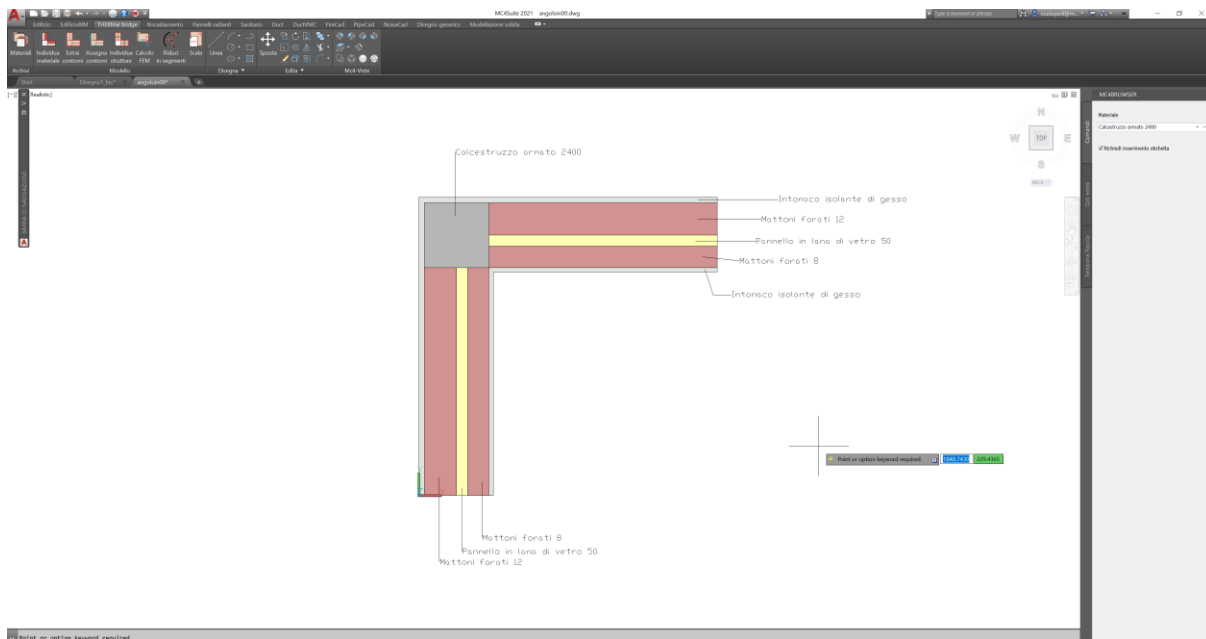
I poligoni contenenti i materiali vengono generati da TB tramite il comando  “**Individua materiale**”. Il comando richiede di selezionare un materiale dalla barra laterale e di selezionare un punto all’interno di un’area chiusa.

L’individuazione del poligono avviene tramite un algoritmo proprio di TB che consente di individuare il poligono chiuso anche con zoom molto ristretti dove parti delle linee non sono visibili, ovvero di segnalare i punti dove l’area non è chiusa.


Se l’area risulta chiusa viene evidenziata con il disegno in rosso dei contorni altrimenti in corrispondenza della prima linea che non ha un punto coincidente con uno dei punti di un’altra linea viene disegnato un marker.

Selezionando il punto il programma genera il poligono colorandolo con il colore assegnato al materiale. Se si è spuntata l’opzione di posizionare l’etichetta del materiale il programma richiede i punti della multi direttrice.

Durante questo comando il programma seleziona la modalità di visualizzazione “Ombreggiata” di AutoCAD in modo da permettere la visualizzazione del colore del poligono individuato.



3.3 Estrazioni delle condizioni al contorno

Il comando  “**Estrai contorni**” crea per ogni segmento del perimetro esterno del ponte termico una condizione al contorno adiabatica.

Richiede la selezione in finestra dei poligoni creati con il comando “Individua materiali”.

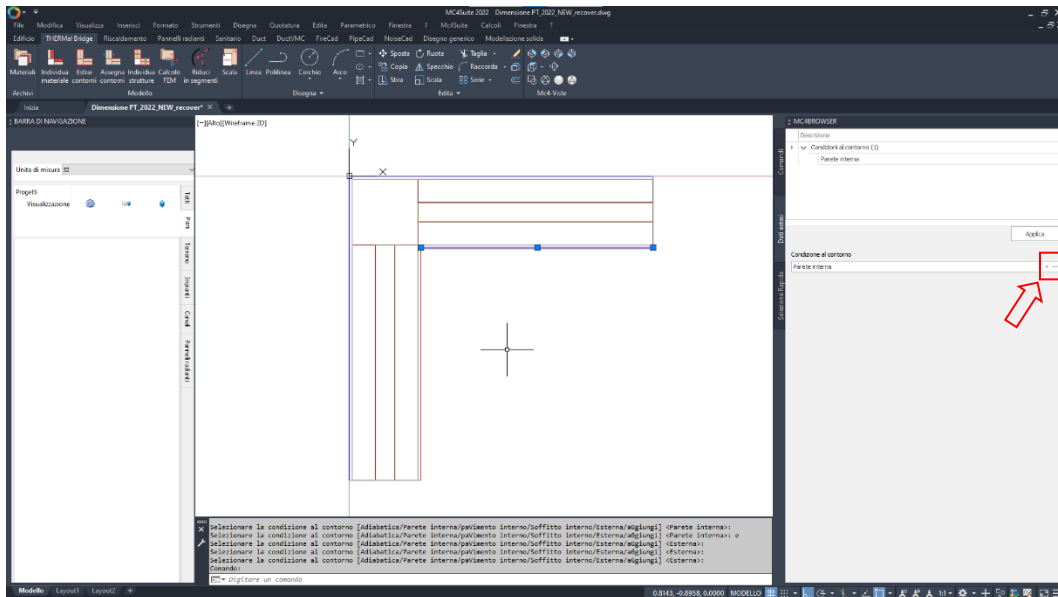
Il comando non cancella eventuali condizioni al contorno già presenti.

Nel caso si fossero precedentemente estratte le condizioni al contorno e, in seguito alla modifica dell’input, fosse richiesta una nuova estrazione, **le condizioni al contorno presenti nell’area interessata alla modifica vanno rimosse manualmente altrimenti il calcolo FEM fallisce.**

3.4 Modifica delle condizioni al contorno

L'unica modifica ammessa su una condizione al contorno è il tipo. Il programma mette a disposizione i tipi di condizione al contorno più comune e consente di crearne quante necessarie.

Per accedere alla modifica delle condizioni al contorno è necessario selezionare un confine e nella sidebar **Dati Estesi** cliccare sull'icona [...] che si trova accanto al menu a tendina delle condizioni di contorno.



Condizioni al contorno

Elimina Aggiungi

Descrizione	Condizione al contorno	B	Temperatura [°C]	H [W/(m²...]	Colore
Adiabatica	Adiabatica	-	-	0.00	152; 152; 152
Parete interna	Interna	-	Da locale	7.70	255; 0; 0
Pavimento interno	Interna	-	Da locale	5.90	255; 0; 0
Soffitto interno	Interna	-	Da locale	10.00	255; 0; 0
Esterna	Esterna	-	Da località	25.00	0; 0; 255
▾ Vano scala	Altro locale	Ambiente con tre pareti esterne (per esempio vani scala este...	4.00	7.70	Orange
*					


OK Cancel

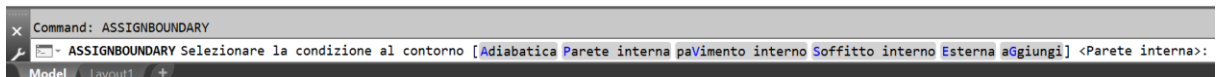
La tabella permette di definire i nuovi tipi di condizione. I campi hanno il seguente significato:

- 1) **Descrizione:** la descrizione della condizione al contorno
- 2) **Condizione al contorno:** può assumere i valori Adiabatica, Interna, Esterna e Altro locale

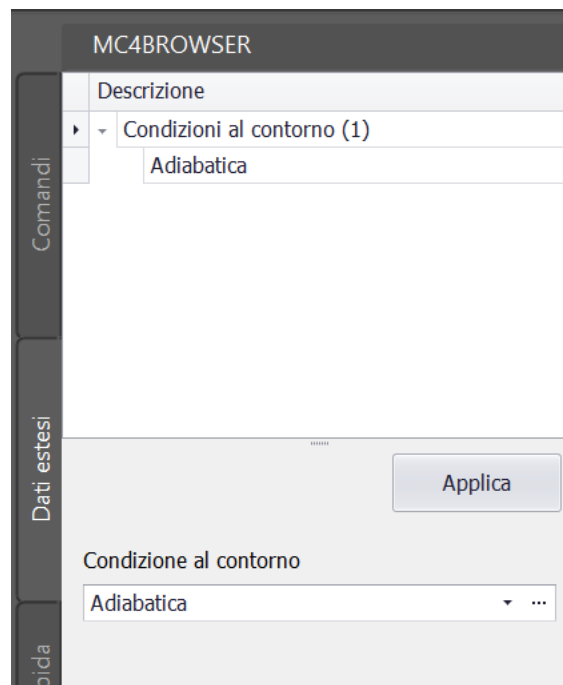
- 3) **B:** nel caso di Condizione verso altro locale è possibile indicare il B forfettario come suggerito dalla UNI TS 11300 parte 1. Il valore è utilizzato per calcolare la temperatura del locale confinante.
- 4) **Temperatura:** Può essere un valore numerico oppure una referenza ad altra condizione:
 - a. –: Non scambiante
 - b. Da locale: viene presa la temperatura interna definita sul ponte termico (vedi Calcolo FEM)
 - c. Da località viene presa la temperatura esterna del mese di calcolo della località (vedi Calcolo FEM)
- 5) **H:** è l'adduttanza del film d'aria sulla superficie della condizione
- 6) **Colore:** serve ad individuare visivamente la condizione sul disegno

È possibile modificare il tipo di condizione al contorno in due modi:

- 1) Tramite il comando  **“Assegna contorni”** questa è la modalità comando di AutoCAD e mostra nella barra del comando i tipi di condizioni disponibili e l'opzione aggiungi che visualizza la forma di input per la creazione di nuovi tipi. Una volta scelta la condizione viene assegnata all'elemento selezionato. Per facilitare la selezione il comando attiva la visualizzazione degli spessori linea in quanto le condizioni al contorno sono create con uno spessore in modo da essere appunto visualizzate in rilievo rispetto alle aree dei materiali



- 2) Tramite la palette dei **Dati estesi** del contorno che si attiva alla selezione dello stesso. Per operare in questa modalità è consigliato attivare gli spessori linea dalla palette dei comandi della barra di stato di AutoCAD



3.5 Individuazione delle strutture per il calcolo degli psi

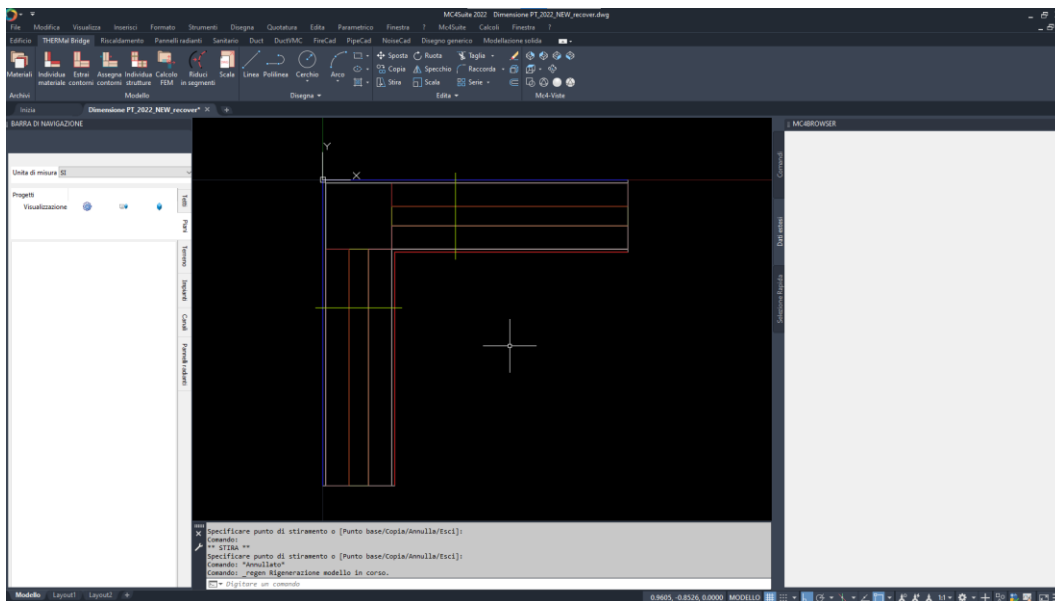
Il calcolo degli psi avviene per differenza tra il flusso di calore calcolato con il metodo FEM e le dispersioni delle strutture senza considerare il ponte termico.

È quindi necessario che il programma possa individuare i materiali che compongono tali strutture.

Al lancio del comando viene richiesto di selezionare una condizione al contorno interna e la specularla esterna o verso altro locale.

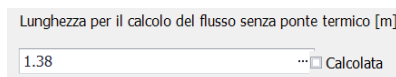
Nota: non è possibile assegnare due strutture differenti per due condizioni al contorno contigue e codirezionali.

La corretta assegnazione della stratigrafia della struttura è evidenziata da una linea di colore **gialloverde**.



Il calcolo degli psi utilizza la lunghezza delle condizioni al contorno che nella maggior parte dei casi viene calcolata correttamente dal programma.

Potrebbero presentarsi dei casi in cui la lunghezza sia calcolata in modo non preciso. Per questi casi, una volta assegnata la struttura selezionando la condizione al contorno è possibile assegnare la lunghezza esatta anche utilizzando lo strumento per acquisire la misura esatta:

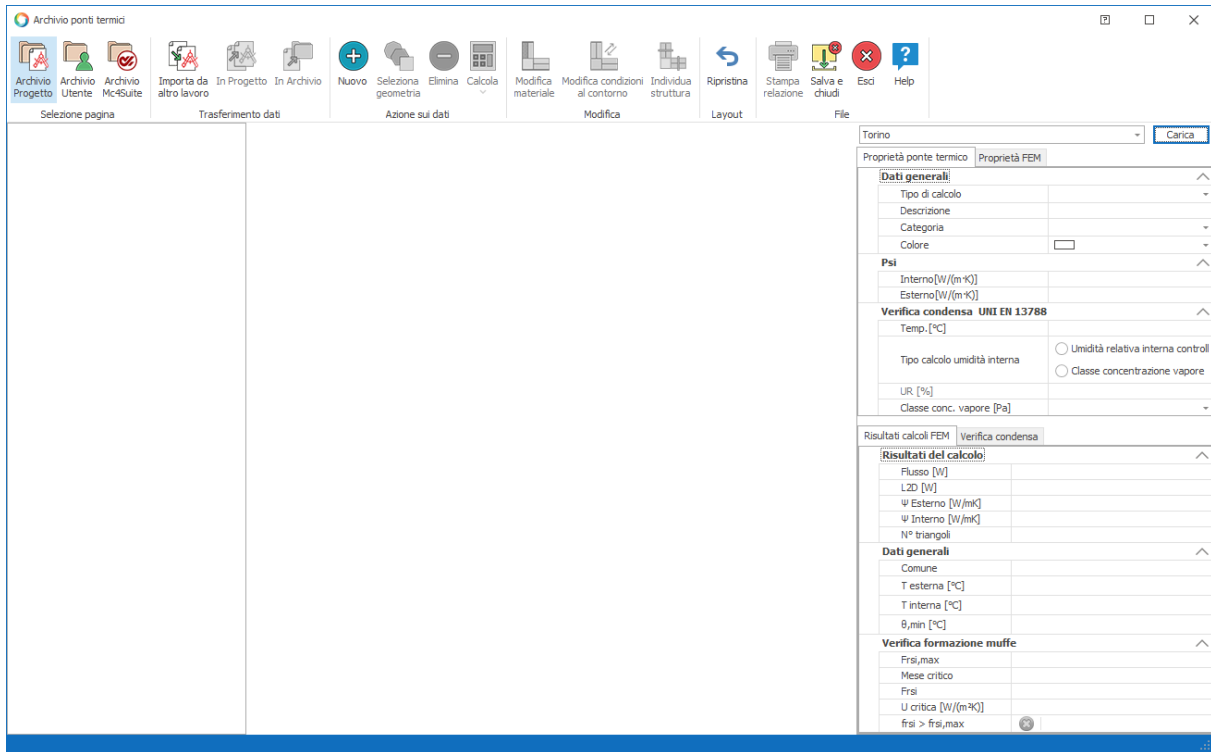


3.6 Calcolo FEM

Attivando il comando **Calcolo FEM** si apre la form di gestione dei ponti termici.

Alcuni dati sono utilizzati solo nel caso in cui il modulo sia integrato con la Suite.

Nella descrizione dei campi sarà evidenziato tale aspetto.



Pulsanti della barra principale



Archivio di progetto: attiva la vista dei ponti termici elaborati in questo progetto



Archivio utente: attiva la vista dei ponti termici elaborati ed archiviati dall'utente



Archivio MC4: attiva la vista dei ponti termici forniti con il programma ed elaborati da MC4



Importa da altro lavoro: permette l'importazione di tutti o alcuni ponti termici elaborati in altri progetti



In progetto: pulsante attivo nelle viste Archivio utente ed Archivio MC4 e permette di copiare i ponti termici archiviati nel progetto



In archivio: copia il ponte termico selezionato nell'archivio utente



Nuovo: crea un nuovo ponte termico



Modifica geometria: chiede la selezione degli oggetti disegnati in AutoCAD sui quali opererà il calcolo



Calcolo:



Calcola = Esegue il calcolo del singolo ponte termico per tutti i mesi;



Calcola solo mese critico = Esegue il calcolo del singolo ponte termico del solo mese critico;



Calcola tutti = Esegue il calcolo di tutti i ponti termici presenti in Progetto del solo mese critico.



Modifica materiale: permette di sostituire un materiale



Modifica condizioni al contorno: permette la modifica del tipo di condizione



Individua struttura: permette di individuare le strutture per il calcolo degli psi



Stampa relazione: stampa la relazione tecnica



Salva e chiudi: salva le eventuali modifiche e chiude la form



Esce senza salvare: chiude la form senza eseguire il salvataggio dei dati previa conferma



Help: visualizza queste pagine

4 GESTIONE ARCHIVI THERMaI BRIDGE

Per la gestione degli archivi si usano i primi sei pulsanti della barra principale.

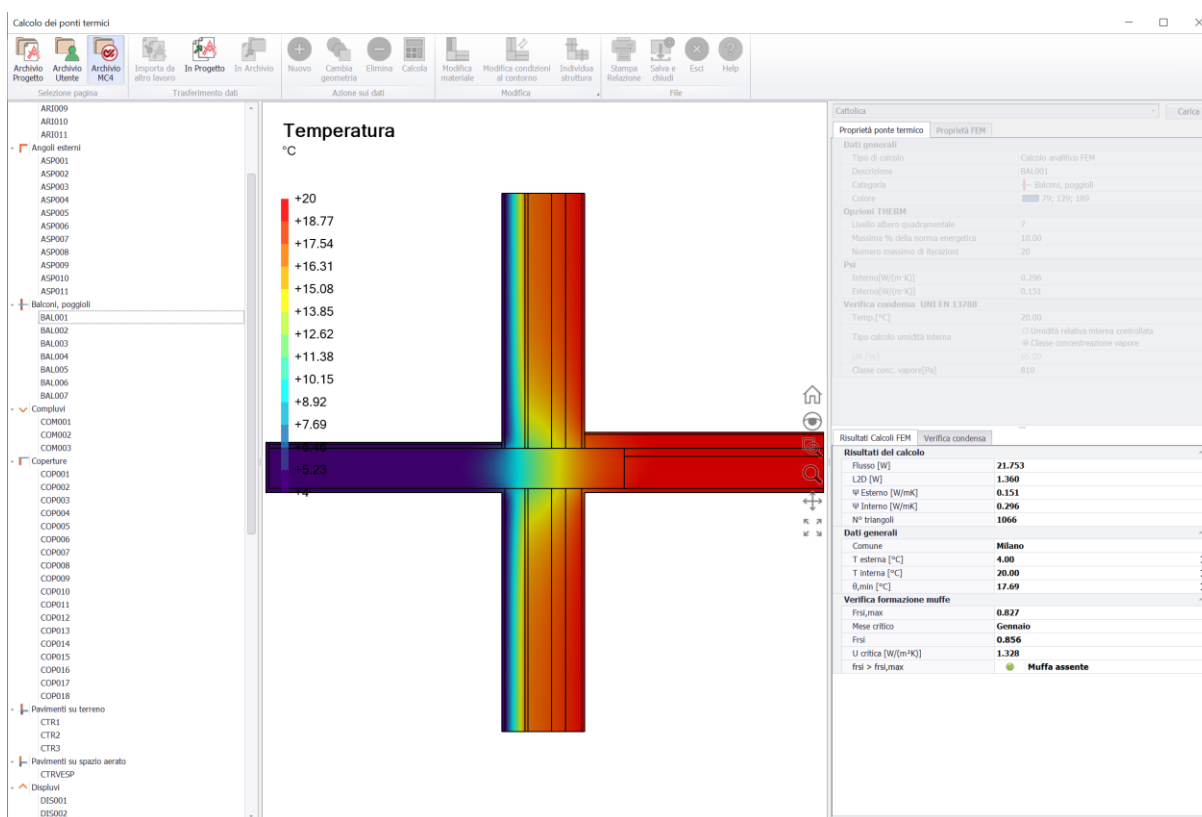
Ogni archivio è un file DWG nel quale oltre ai dati grafici sono salvati i dati numerici dei ponti termici.

Quello di progetto oltre ai ponti termici può contenere anche tutto il progetto di Mc4Suite mentre gli altri due contengono solo i dati numerici e grafici dei ponti termici.

Quando THERMaI Bridge è integrato nella Suite funge da archivio dei ponti termici ed è quindi consigliato calcolare i ponti termici nello stesso file del progetto per garantire continuità con la modifica eventuale dei materiali da costruzione impiegati nelle strutture. **In questa modalità il programma deve lavorare con la medesima scala del progetto principale.**

4.1 Archivio MC4

Il programma viene distribuito con 99 ponti termici calcolati con il metodo FEM.



I ponti termici presenti in questo archivio possono essere trasferiti in progetto e customizzati.

Per la modifica della geometria si rimanda al paragrafo “Modifica della geometria di un ponte termico”.

La via più veloce per adattare un ponte termico dell’archivio MC4 ad un progetto reale è quella di sostituire i materiali che lo compongono mantenendo inalterata la geometria.

Essendo il calcolo di tipo stazionario (steady state) modificare la resistenza dei materiali è sufficiente per adattare il ponte termico al progetto.

Nel caso in cui il ponte termico da adattare presentasse gli stessi materiali del ponte termico di archivio ma con alcuni spessori di essi diversi è possibile creare un nuovo materiale che abbia un lambda adeguato in modo da ottenere la nuova resistenza desiderata. **Ricordiamo che la resistenza è data dal rapporto dello spessore per il lambda.**

Quando si copia un ponte termico da un archivio al progetto la località potrebbe non coincidere con quella utilizzata per archiviare il ponte termico. In questo caso, il programma avverte che è necessario ricalcolare i ponti termici con località di origine diversa dalla località di progetto.

4.2 Archivio utente

È identico all'archivio MC4 con la sola differenza che non viene ricoperto nel caso di aggiornamento del programma. Il popolamento di questo archivio avviene tramite il pulsante In Archivio quando è attiva la pagina Archivio di progetto.

4.3 Importo da altro lavoro

Come accennato i dati sono salvati nel file **DWG** quindi anche un altro lavoro rappresenta un archivio al pari degli altri. Il comando apre la seguente form:

Importazione ponti termici da altro lavoro

Nome del file DWG da cui importare i ponti termici
C:\Users\pino\Documents\Edificio 4D_Originale_termico_grafico.dwg

Elenco ponti termici da importare

Descrizione	Importa	
Giunzione pareti-copertura	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine
Angolo	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine
Giunzione pareti-solai interpiano (senza balconi)	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine
Giunzione parete interna-parete esterna	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine
Pilastro in parete	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine
Giunzione pareti-pavimento su terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine
Giunzione serramento-parete	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine
Giunzione pareti-solai interpiano (con balconi)	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine
Pilastro d'angolo	<input checked="" type="checkbox"/>	Nessuna Immagine

Annulla Importa

Per default i ponti termici presenti nel lavoro selezionato sono tutti selezionati.

Deselezionare quelli che non interessano e premere Importa


4.4 Archivio di progetto

In questa pagina si creano i nuovi ponti termici che dopo essere stati calcolati possono essere archiviati nell'archivio utente. Quando vi si accede per la prima volta è richiesto di selezionare la località di progetto, nel caso in cui la località non sia già stata scelta nella form dei dati generali. Una volta scelta la località di progetto si accendono i pulsanti operativi quando non vi è ancora alcun ponte termico nell'archivio. Le operazioni possibili in questa situazione sono la creazione di un nuovo ponte termico da zero o l'importazione di un ponte termico da un altro archivio come visto precedentemente.

4.4.1 Nuovo ponte termico

Questa operazione richiede che sia stata disegnata la geometria del ponte termico utilizzando i comandi esposti nei paragrafi "Input della geometria in AutoCAD".

Il pulsante Nuovo ponte termico crea un nuovo ponte termico e consente di compilare i campi descrittivi del ponte termico:

Roma		Carica
Proprietà ponte termico Proprietà FEM		
Dati generali ^		
Tipo di calcolo	Calcolo analitico FEM v	
Descrizione	Pilastro angolo	
Categoria	 Angoli esterni v	
Colore	<input type="text"/> v	
Opzioni THERM ^		
Livello albero quadramentale	8	▲▼
Massima % della norma energetica	10.00	▲▼
Numero massimo di iterazioni	20	▲▼
Psi ^		
Interno[W/(m·K)]	0.000	
Esterno[W/(m·K)]	0.000	
Verifica condensa UNI EN 13788 ^		
Temp.[°C]	20.00	
Tipo calcolo umidità interna	<input type="radio"/> Umidità relativa interna controllata <input checked="" type="radio"/> Classe concentrazione vapore	
UR [%]	65.00	
Classe conc. vapore[Pa]	810	v

Descrizione dei campi:

1) **Tipo di calcolo:** sono disponibili tre opzioni:

a. **Dati noti**

Nel caso in cui si abbiano dei calcoli eseguiti con programmi di terze parti si possono compilare i campi relativi agli psi ed alla condensa senza eseguire alcun calcolo. Questa opzione ha senso solo quando il programma è integrato nella Suite e il form viene utilizzato come mero archivio.

- b. **Abaco**
È una modalità che, come la precedente, ha senso solo per il programma integrato. Essa permette di calcolare gli **psi** dei ponti termici ma non la temperatura superficiale ai fini della verifica della formazione di muffa.
 - c. **Calcolo analitico FEM**
Questa modalità è attiva solo nel caso in cui si è in possesso del modulo **THERMal Bridge** ed è quella che permette di effettuare il calcolo agli elementi finiti.
- 2) **Descrizione:** descrizione del ponte termico
 - 3) **Categoria:** la categoria permette di identificare i ponti termici automaticamente nel disegno del progetto di mc4suite, la classificazione del ponte termico nel calcolo in modalità Abaco e l'ordinamento della lista laterale per tipologie omogenee
 - 4) **Colore:** è il colore con cui sarà colorato il simbolo di ponte termico nell'input grafico del fabbricato
- 5) **Opzioni THERM**
- a. **Livello albero quadramentale:** aumenta o diminuisce il livello di meshing. Il valore va da 1 a 9 con 1 che produce mesh molto larghe e 9 che produce mesh molto fitte. Il valore consigliato da THERM è 6 ma noi consigliamo 8 per avere una migliore precisione nel disegno delle isoterme.
 - b. **Massima % della norma energetica.** È il livello di precisione di calcolo. Un livello 10% corrisponde ad uno scostamento inferiore all'uno per cento tra una iterazione ed un'altra (valore consigliato da THERM ed ampiamente sufficiente per soddisfare i requisiti della UNI EN 10211 che richiede una precisione del 2%).
 - c. **Numero massimo di iterazioni:** se la percentuale di errore viene superata THERM ricalcola il mesh per quell'area infittendola questo campo dice a THERM quante volte deve riprovare.
- 6) **Psi:** sono valori calcolati nel caso di tipo calcolo Analitico o Abaco mentre nel caso di valori noti è l'utente che compila i due campi
 - 7) **Calcolo della condensa:** blocco di campi che descrivono l'ambiente interno per il calcolo della condensa:
 - a. **Temp.:** Temperatura interna degli ambienti. È il valore che assumono le condizioni al contorno definite come Interno.
 - b. **Tipo calcolo umidità interna:** è possibile calcolare l'umidità relativa interna del locale o imponendola e quindi considerandola controllata oppure utilizzando le concentrazioni di vapore come descritto nel UNI EN 13788.
 - c. Nel caso di calcolo con le concentrazioni di vapore deve essere inserita la pressione di vapore in Pascal. I valori proposti dalla casella di selezione sono quelli della UNI EN 13788.

4.4.2 Geometria del ponte termico

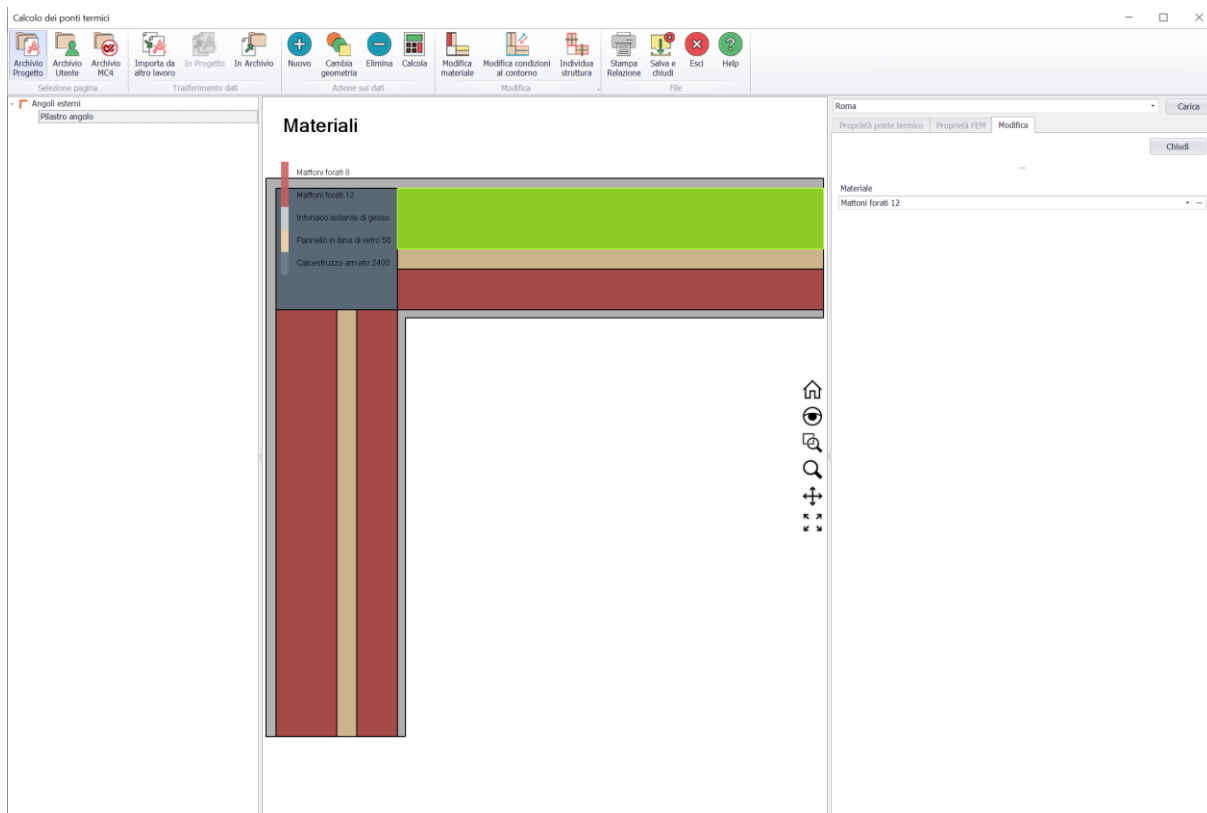
Permette di assegnare o di riassegnare la geometria del ponte termico. Richiede la selezione degli oggetti creati tramite **AutoCAD**.

Gli elementi minimi da selezionare sono le aree dei materiali e le condizioni al contorno. Queste ultime, possono anche essere tutte adiabatiche in quanto all'interno della form è possibile cambiarne il tipo.

Non è strettamente necessario individuare le strutture in ambiente AutoCAD in quanto esse possono essere individuate all'interno della form.

4.4.3 Modifica dei materiali

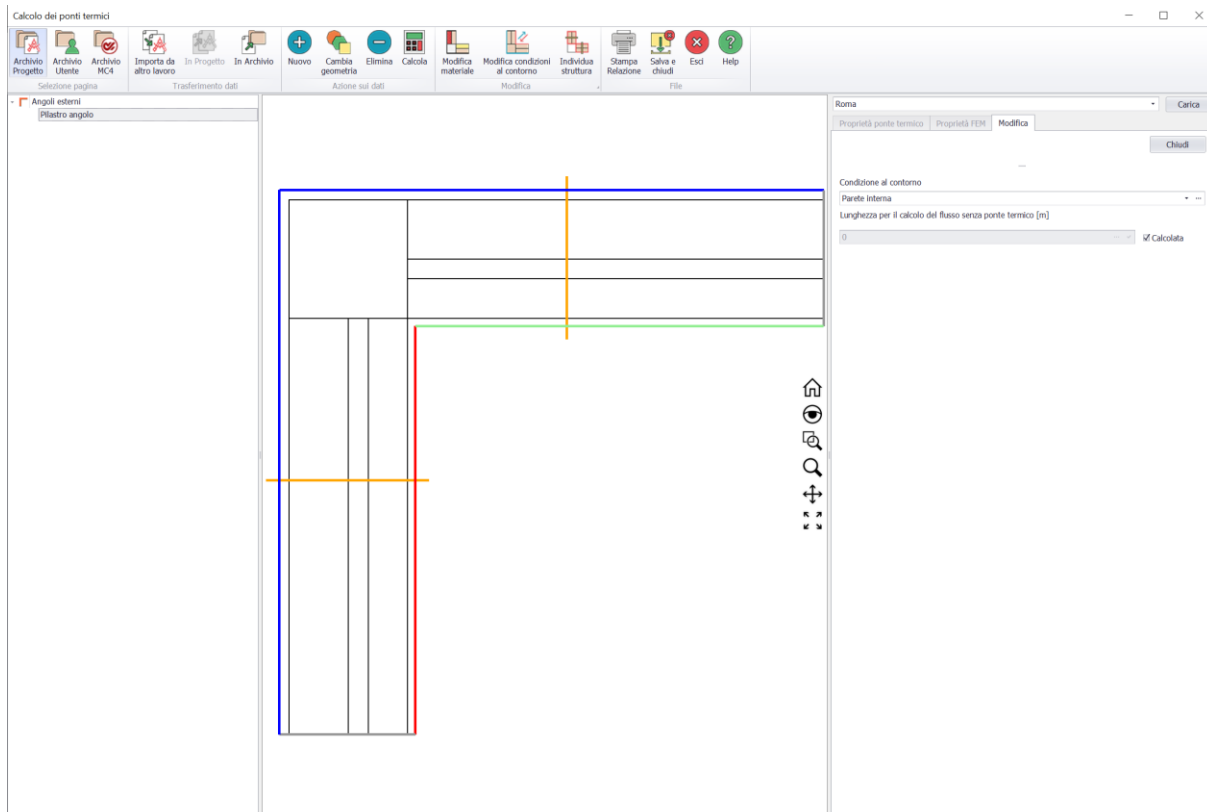
Attivando il comando e selezionando un'area si attiva la seguente modalità:



Selezionando un altro materiale dalla casella di selezione esso viene immediatamente assegnato all'area selezionata. L'operazione annulla i calcoli eventualmente effettuati in precedenza. Per uscire dal comando bisogna premere il tasto **Chiudi**.

4.4.4 Modifica condizioni al contorno

La modalità imposta la vista della finestra nel seguente modo:



Come si può vedere la modalità è del tutto equivalente al comando AutoCAD visto in precedenza. La differenza consiste nel fatto che appena selezionata la nuova condizione essa viene applicata al contorno. Per uscire dal comando utilizzare il pulsante **Chiudi**.

Individua struttura

Anche questo comando funziona esattamente come il suo omologo in AutoCAD l'utente deve selezionare la condizione al contorno interna e quella speculare esterna o verso altro locale.

Se una struttura fosse già stata individuata per quella coppia di condizioni essa viene sostituita dalla nuova.

Calcoli


L'esecuzione dei calcoli avviene previo check della coerenza dell'input.

Eventuali errori di input vengono controllati prima di avviare il calcolo FEM; qualora il calcolo non andasse a buon fine, il programma restituisce il messaggio di errore di THERM.

5 RISULTATI A VIDEO

A calcolo terminato è possibile visualizzare i risultati di calcolo numericamente e graficamente.

I risultati numerici sono visualizzati nelle pagine **Risultati calcolo FEM** e **Verifica condensa**:

Risultati Calcoli FEM		Verifica condensa	
Risultati del calcolo			
Flusso [W]		16.325	
L2D [W]		1.370	
Ψ Esterno [W/mK]		0.154	
Ψ Interno [W/mK]		0.301	
N° triangoli		5807	
Dati generali			
Comune		Roma	
T esterna [°C]		8.08	▲▼
T interna [°C]		20.00	▲▼
θ,min [°C]		15.84	▲▼
Verifica formazione muffe			
Frsi,max		0.682	
Mese critico		Gennaio	
Frsi		0.651	
U critica [W/(m²K)]		2.451	
f _{Rsi} > f _{Rsi,max}			Muffa presente

Descrizione dei valori riportati:

- 1) **Flusso [W]**: flusso termico calcolato come $L_{2D} \times (T_i - T_e)$
Dove:
 T_i = temperatura lato interno
 T_e = temperatura lato esterno
- 2) **L_{2D} [W/mK]**: coefficiente di scambio termico nel modello bidimensionale come definito dalla UNI EN 10211. È definito come $U_f \times l$
Dove:
 U_f = U Factor interno
 l = lunghezza interna
- 3) **Ψ Esterno/Interno [W/mK]**: Coefficiente di trasmissione termica lineica. Calcolata come differenza tra $\psi = L_{2D} - \sum_i (U_i \times l_i)$.
Dove:
 U_i = trasmittanza della parete *i* esima
 l_i = lunghezza della parete *i* esima (misurata all'interno o all'esterno)
- 4) **θ_{min} [°C]**: temperatura minima calcolata sul lato interno (temperatura di calcolo del F_{Rsi})
- 5) **F_{Rsi,max}**: è il fattore di temperatura alla temperatura superficiale minima accettabile
- 6) **F_{Rsi}**: fattore di temperatura a θ_{min} come definito dalla UNI EN 13788
- 7) **f_{Rsi} > f_{Rsi,max}**: verifica formazione di muffa

Risultati Calcoli FEM		Verifica condensa			
Mese	Ti[°C]	Te[°C]	Tsi[°C]	Tacc[°C]	Verifica
Gennaio	20.00	8.08	15.84	16.21	✘
Febbraio	20.00	9.08	0.00	14.11	✘
Marzo	20.00	11.48	0.00	15.44	✘
Novembre	20.00	12.68	0.00	15.41	✘
Dicembre	20.00	8.68	0.00	15.76	✘

La tabella riporta i valori delle temperature per il calcolo di f_{Rsi} ed $f_{Rsi,max}$ per il mese di calcolo critico gli altri mesi al momento non vengono considerati e la temperatura superficiale rimane pertanto a 0.

Si ricorda che il calcolo di f_{Rsi} è dato da:

$$f_{Rsi} = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e}$$

mentre $f_{Rsi,max}$ è calcolato con:

$$f_{Rsi,max} = \frac{T_{acc} - T_e}{T_i - T_e}$$

Verifica del rischio formazione muffa

Si procede quindi al confronto tra il valore di f_{Rsi} calcolato per lo specifico ponte termico con il valore di $f_{Rsi,max}$ del mese critico:

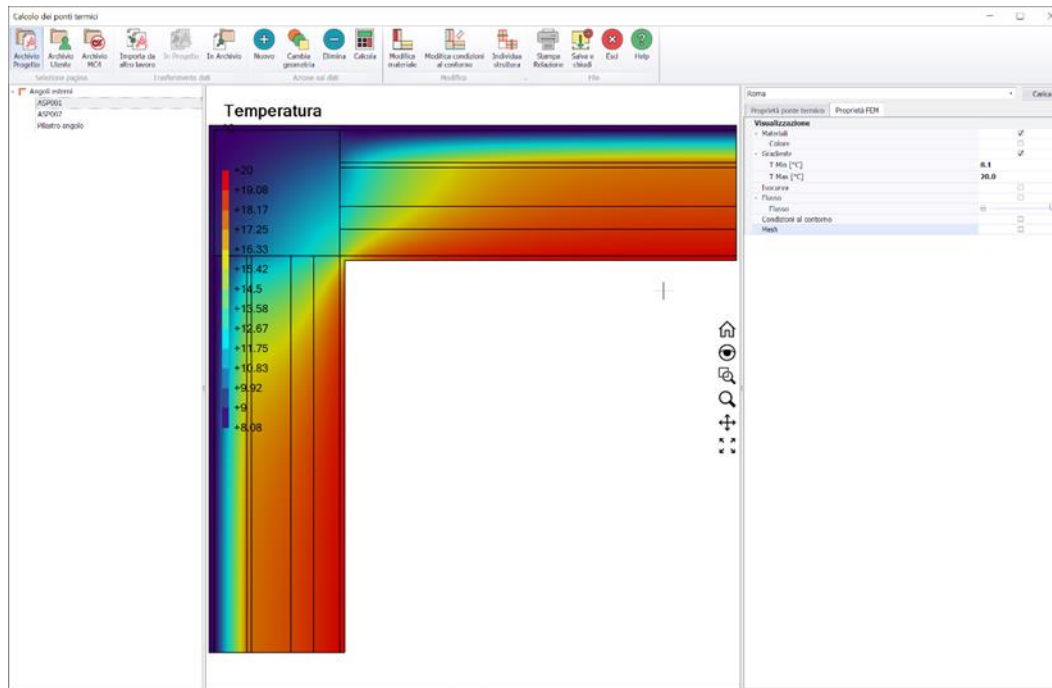
se $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,max}$ non si ha rischio formazione muffa nel ponte termico;

se $f_{Rsi} < f_{Rsi,max}$ si ha rischio formazione muffa nel ponte termico;

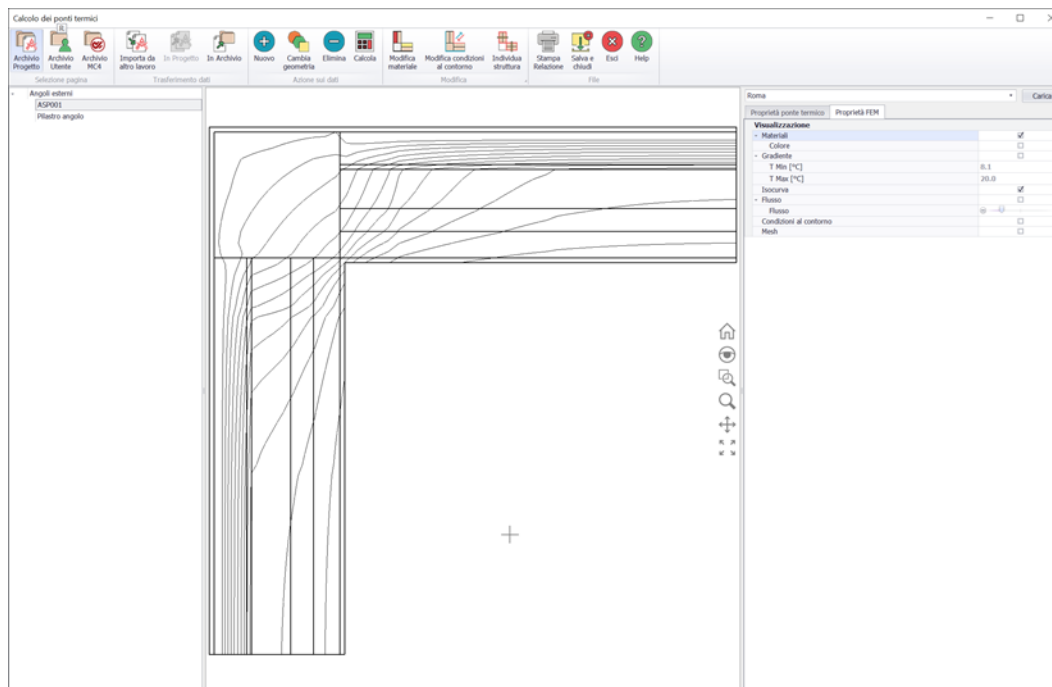
5.1 Visualizzazione grafica dei risultati

I segni di spunta nella finestra laterale accendono e spengono le informazioni relative:

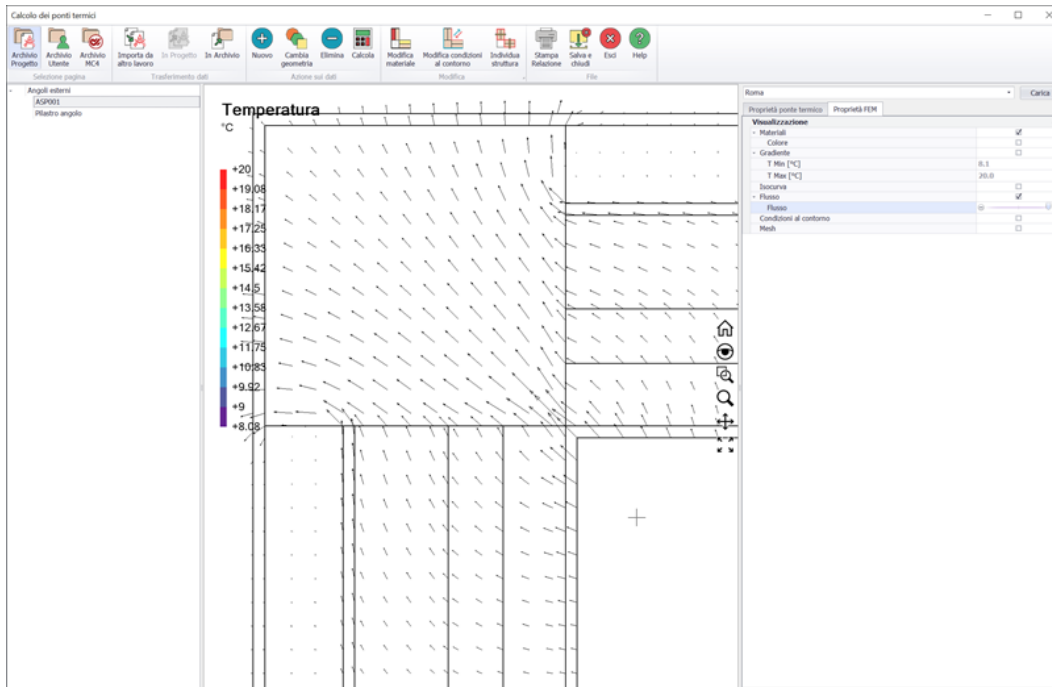
- **Gradiente:** visualizza il gradiente termico calcolato sulla mappa delle temperature dei nodi in una scala che va da T_{\min} a T_{\max}



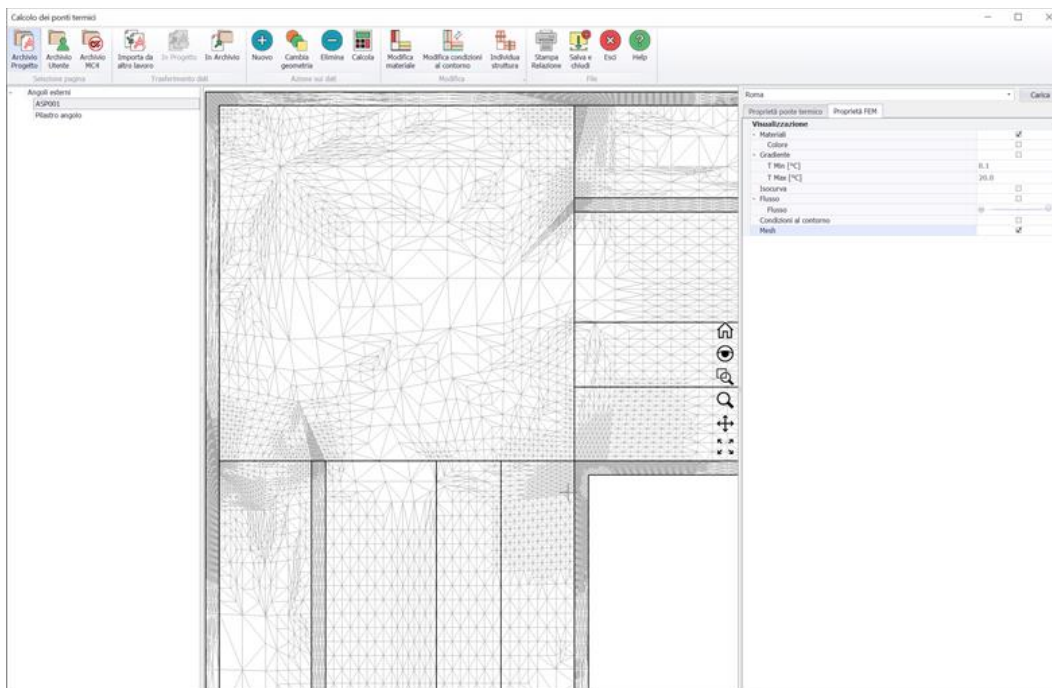
- **Isocurva:** disegna una curva che passa per tutti i punti alla stessa temperatura



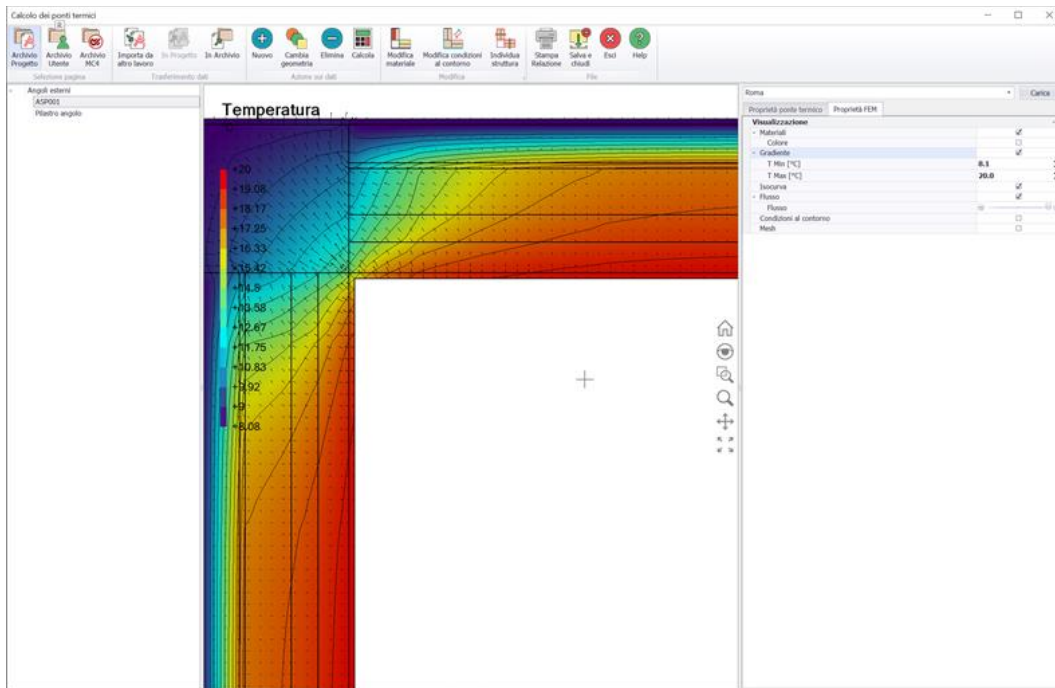
- **Flusso:** mostra i vettori del flusso termico il cui modulo è proporzionale alla quantità di calore che passa in quel punto. La dimensione del disegno dei vettori è regolato dalla barretta di scorrimento



- **Mesh:** visualizza il mesh di calcolo finale.



È possibile, inoltre, accendere più opzione che saranno visualizzate in sovrapposizione.



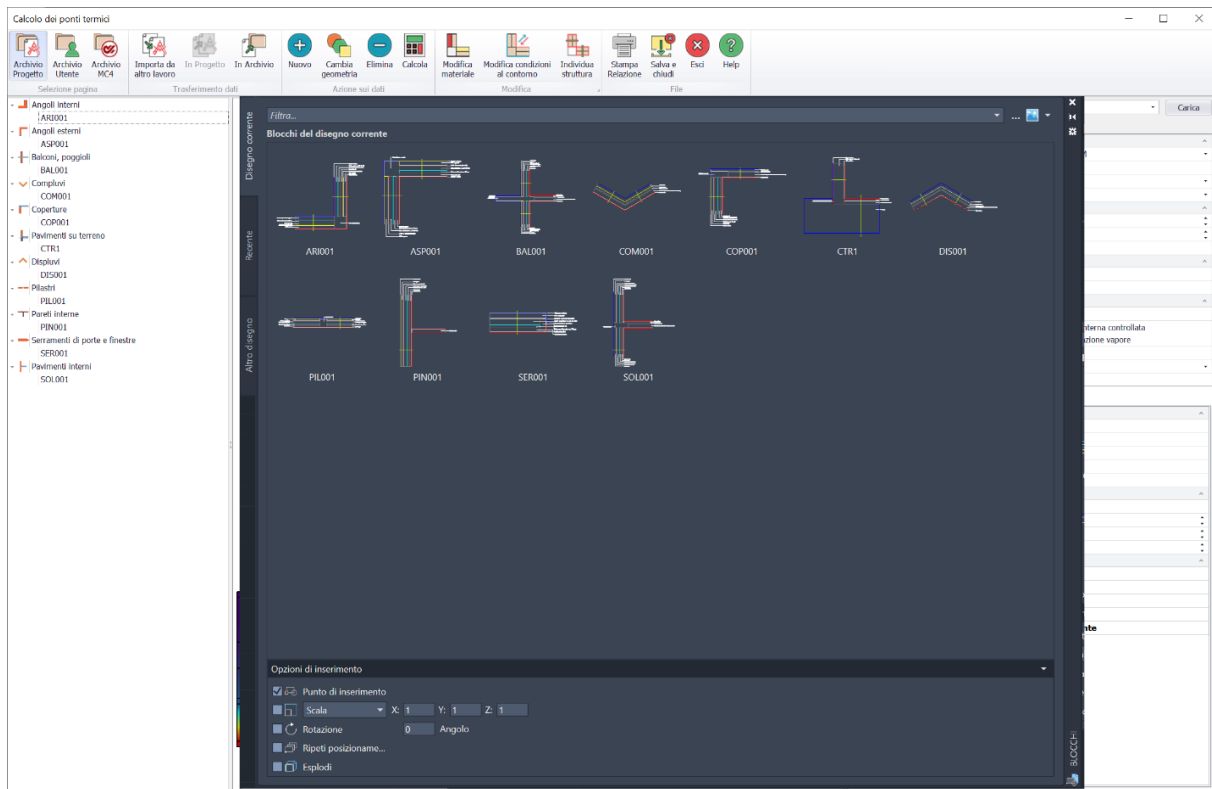
6 MODIFICA DELLA GEOMETRIA DI UN PONTE TERMICO

Quando si importa un ponte termico dall'archivio o da un altro lavoro potrebbe nascere l'esigenza di modificarne la geometria.

La geometria "catturata" tramite il comando **seleziona/cambia geometria** è memorizzata in un blocco di AutoCAD.

Il programma crea un blocco AutoCAD che ha per nome lo stesso nome del ponte termico e quando è archiviato trasferisce dal progetto all'archivio insieme al ponte termico il blocco.

Lo stesso avviene quando si trasferisce il ponte termico dall'archivio o da un lavoro esterno nel progetto.



Come si vede in figura, per ogni ponte termico esiste un blocco che contiene la geometria dello stesso.

Si è scelto di non inserire nel disegno la referenza al blocco del ponte termico ma l'utente può inserire uno o più blocchi esploderli e modificarne la geometria.

A modifica avvenuta, si può riattivare la forma di calcolo e sostituire la geometria al ponte termico il cui blocco è stato modificato.

L'esplosione del blocco inserito genera le aree di materiali con le quali era stato creato il ponte termico.

Per modificare un'area è consigliato esploderla per ottenere le linee anche se l'operazione farà perdere il materiale associato all'area.