



Il progetto degli edifici nZEB

**Riqualificazione energetica e progetto con il
calcolo dinamico orario**

22 Maggio 2019 - Bari

Il metodo di calcolo dinamico orario della UNI EN ISO 52016

Prof. Pietro Stefanizzi
Dipartimento DICAR- Politecnico di Bari
pietro.stefanizzi@poliba.it

UNI EN ISO 52016-1:2018

Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo

Sostituisce:

UNI EN ISO 13790:2008 - *“Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”*

UNI EN ISO 13791:2012 - *“Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione - Criteri generali e procedure di validazione”*

UNI EN ISO 13792:2012 - *“Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione - Metodi semplificati”*

UNI EN 15255:2008 - *“Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del carico sensibile di raffrescamento di un ambiente - Criteri generali e procedimenti di validazione ”*

UNI EN 15265:2008 - *“Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici - Criteri generali e procedimenti di validazione”*

La norma UNI EN ISO 52016 è costituita da due parti:

UNI EN ISO 52016-1:2018

Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo

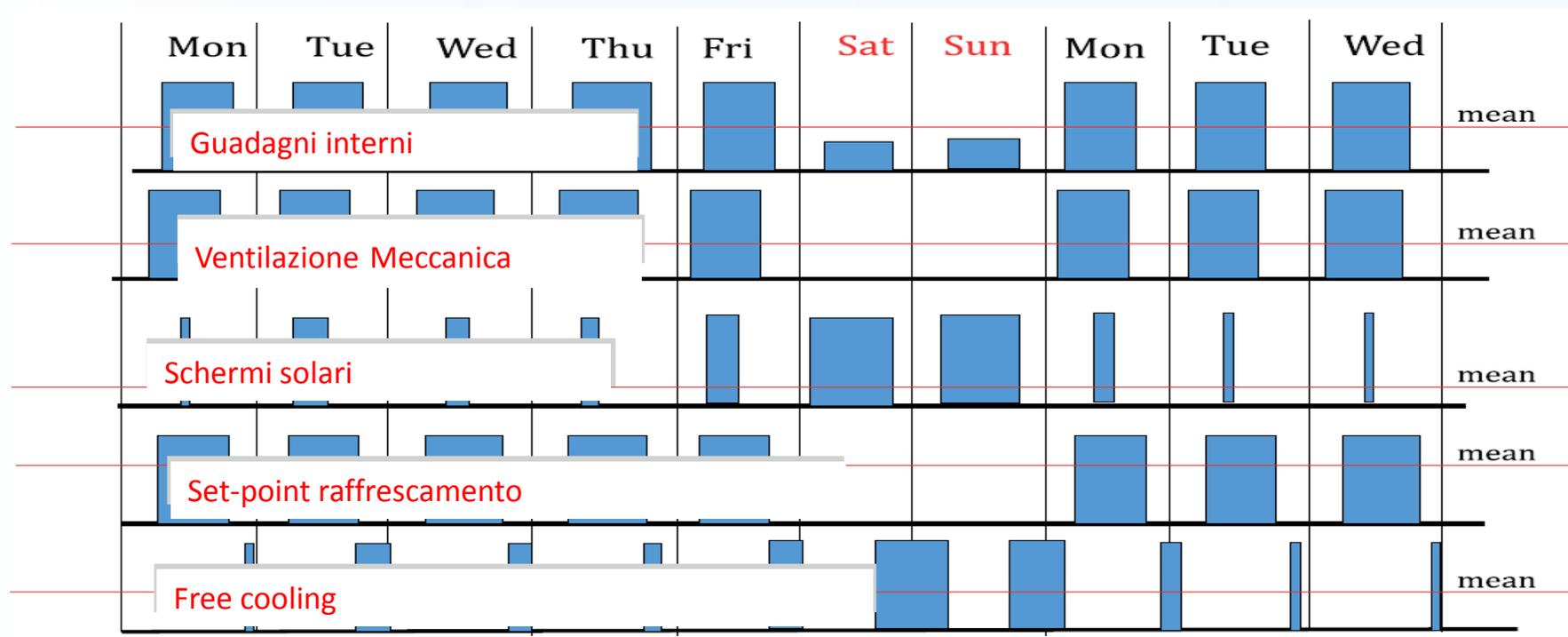
UNI CEN ISO/TR 52016-2:2018

Prestazioni energetiche degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 2: Spiegazione e giustificazione della ISO 52016-1 e della ISO 52017-1

PRINCIPALI DIFFERENZE INTRODOTTE DALLA 52016 RISPETTO ALLA 13790

- **Revisione** del metodo mensile per il calcolo della prestazione termica degli edifici con l'**esclusione del metodo stagionale**;
- **sostituzione** del metodo di calcolo orario semplificato con un metodo più diretto;
- **integrazione** nel calcolo con metodo orario del carico di riscaldamento e di raffrescamento incluso quello di energia termica latente.

Giustificazione del metodo orario rispetto al metodo mensile in UNI EN ISO 52016-1:2018



Per gli **edifici a basso consumo** energetico e gli **edifici con tecnologie interagenti dinamicamente**, il metodo mensile non è indicato.

A causa della necessità di introdurre diversi fattori di correzione o di regolazione, la trasparenza e la robustezza originarie del metodo mensile vanno perse.

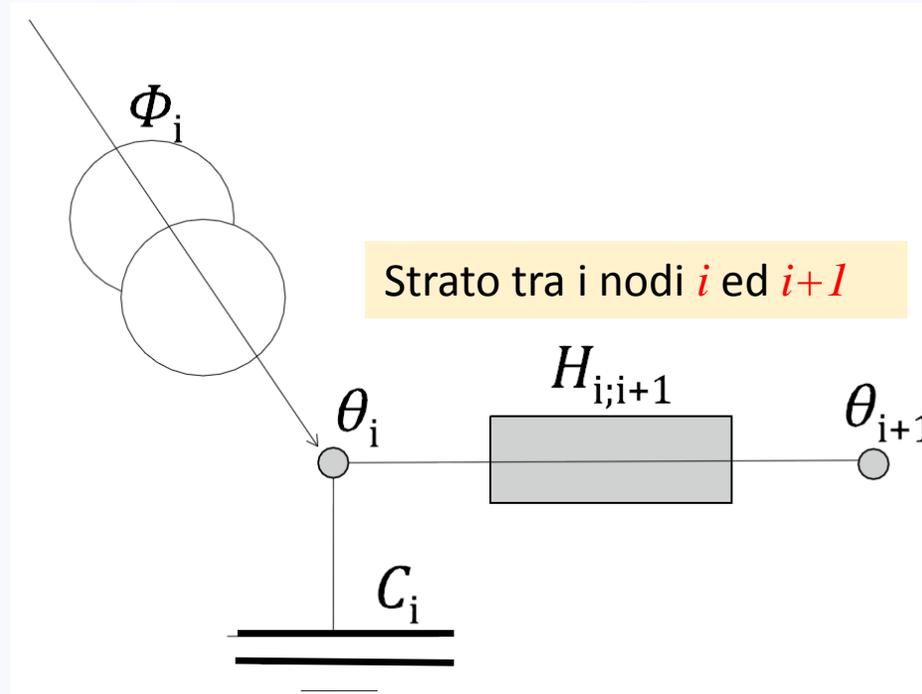
Esempi di rilevanti processi e tecnologie tipicamente dinamiche

- attenuazione notturna e **profili d'uso** (guadagni interni, ventilazione, schermi e tende);
- attenuazione nel fine settimana e profili d'uso (guadagni interni, ventilazione);
- **schermi** solari (fabbisogni per raffrescamento);
- schermi solari (fabbisogni per illuminazione);
- **ventilazione notturna** (free cooling);
- **recupero termico** (ventilazione), bypass;
- zonizzazione e scambio termico, ad es. con VRF e/o pompe di calore locali;
- limitata potenza di raffrescamento (Comfort cooling);
- sistemi edilizi termicamente attivi;
- unità ad aria per preraffrescamento/preriscaldamento.

La maggior parte di queste tecnologie è caratterizzata dal fatto che richiede assunzioni rispetto alla regolazione: orario, e/o giornaliero e/o stagionale. Il controllo può essere manuale, o automatizzato (o misto), locale o centrale (o misto (ad esempio BACS), con o senza retroazione).

Ciascun componente costruttivo viene modellato in una serie di nodi:

- 5 nodi (4 strati) per i componenti edilizi opachi;
- 2 nodi (1 strato) per le finestre e le porte.



Capacità termica concentrata nel nodo i :

$$C_i = \rho_i c_{pi} s_i \quad [J/(m^2K)] = \kappa_{pli;eli}$$

pli = strato i (pl=plane);

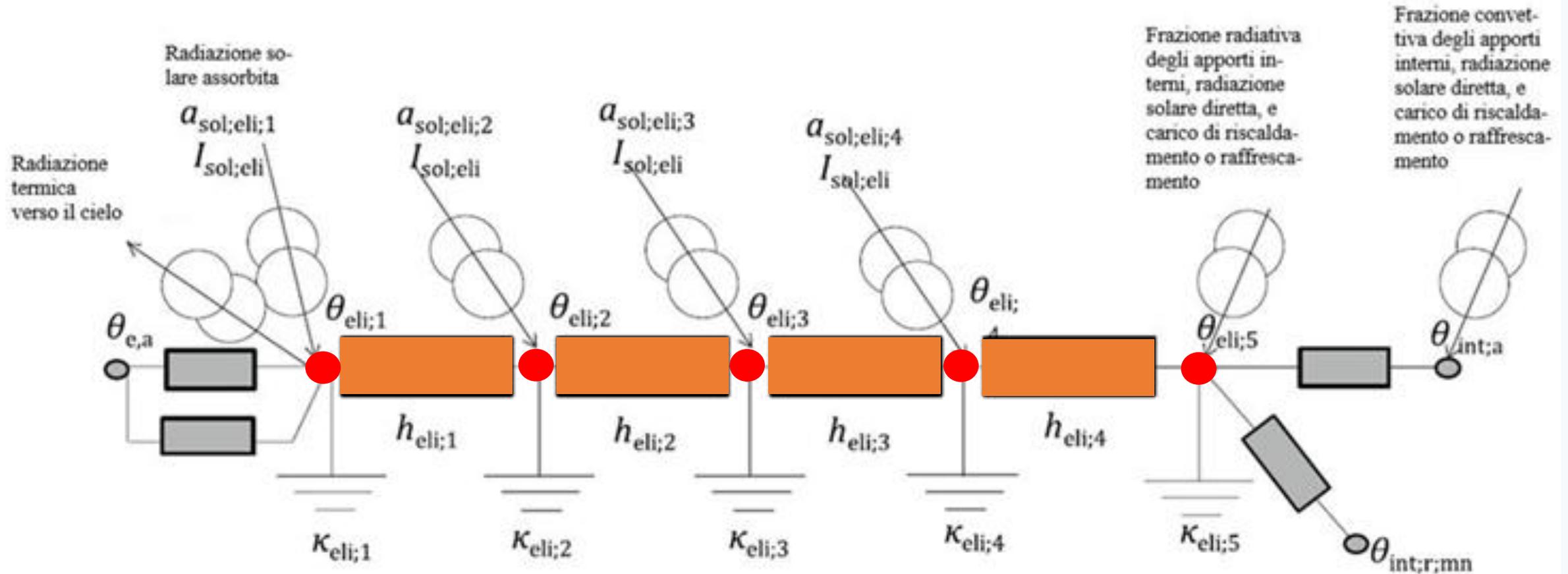
eli = elemento i (i -esimo componente di involucro)

Conduttanza termica dello strato tra i nodi i ed $i+1$:

$$H_{i;i+1} \quad [W/(m^2K)] = h_{pli;eli}$$

$$\frac{C_i}{\Delta t} \cdot (\vartheta_{i,t} - \vartheta_{i,t-1}) = H_{i;i} \cdot (\vartheta_{i,t} - \vartheta_{i+1,t}) + \Phi_{\ddagger i}$$

La parete opaca nella UNI EN ISO 52016-1:2018



La parete opaca nella ISO 52016-1:2017

Esempio

Table 10 — Construction element: Facade

Material	Thickness (cm)	Density (kg/m ³)	Thermal conductivity (W/(m·K))	Specific heat (J/(kg·K))
Plaster	2,5	1 700	0,85	1 050
Brick	19	1 400	0,61	920
XPS	15	30	0,038	1 500
Plaster	0,3	1 600	1,00	1 050
Final layer	0,3	1 600	0,87	1 050

Thermal transmittance (U_{eli} - W/(m ² ·K))	0,224
Thermal resistance (R_{eli} - m ² ·K/W)	4,294
1/R [W/(m ² ·K)]	0,223
$K_{m;eli}$ [J/(m ² ·K)]	306 000

$$R_{eli} = \frac{0,025}{0,85} + \frac{0,19}{0,61} + \frac{0,038}{0,15} + \frac{1,00}{0,003} + \frac{0,87}{0,003} = 4,294 \frac{m^2 K}{W}$$

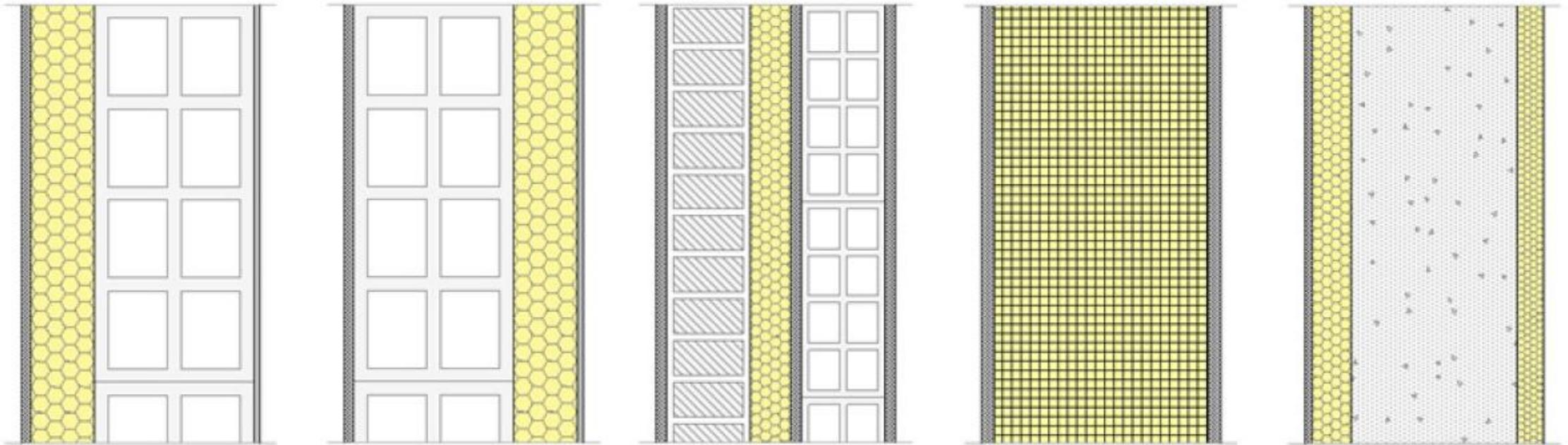
$$U_{eli} = \frac{1}{R_{eli} + 0,17} = 0,224 \frac{W}{m^2 K}$$

$$K_{m;eli} = 1700 \cdot 1050 \cdot 0,025 + 1400 \cdot 920 \cdot 0,19 + 30 \cdot 1500 \cdot 0,15 + 1600 \cdot 1050 \cdot 0,003 + 1600 \cdot 1050 \cdot 0,003$$

$$= 306175 \frac{J}{m^2 K}$$

5 Classi o Tipi di componente di involucro opaco in funzione della posizione della capacità termica

esterno ← → interno



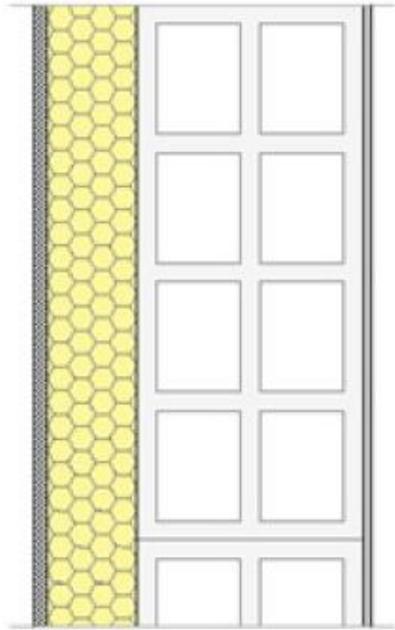
Tipo I

Tipo E

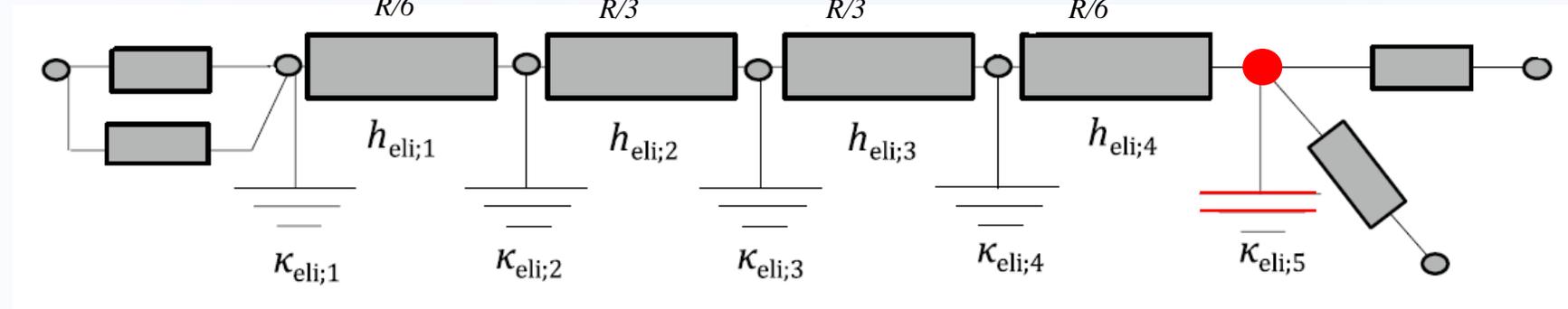
Tipo IE

Tipo D

Tipo M



Tipo I



Conduttanze tra il nodo *pli* ed il nodo *pli-1*

$$h_{pl4;eli} = h_{pl1;eli} = \frac{6}{R_{c;eli}}$$

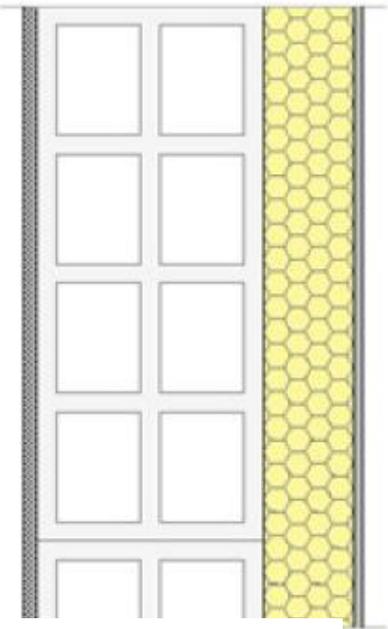
$$h_{pl2;eli} = h_{pl3;eli} = \frac{3}{R_{c;eli}}$$

$R_{c;eli}$ è la resistenza termica dell'elemento di involucro opaco *eli*

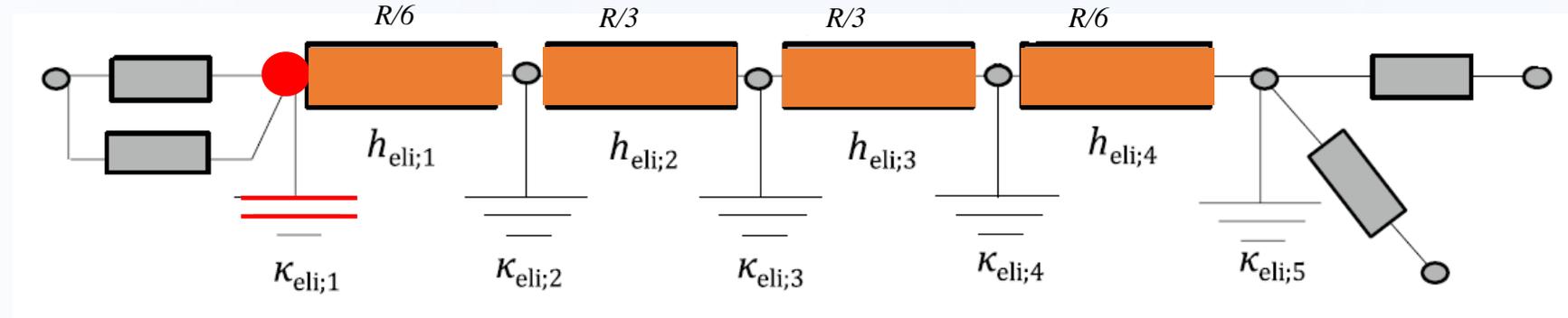
Capacità termica concentrata sul lato interno

$$K_{pl5;eli} = K_{m;eli}$$

$$K_{pl1;eli} = K_{pl2;eli} = K_{pl3;eli} = K_{pl4;eli} = 0$$



Tipo E



Conduttanze tra il nodo pli ed il nodo $pli-1$

$$h_{pl4;eli} = h_{pl1;eli} = \frac{6}{R_{c;eli}}$$

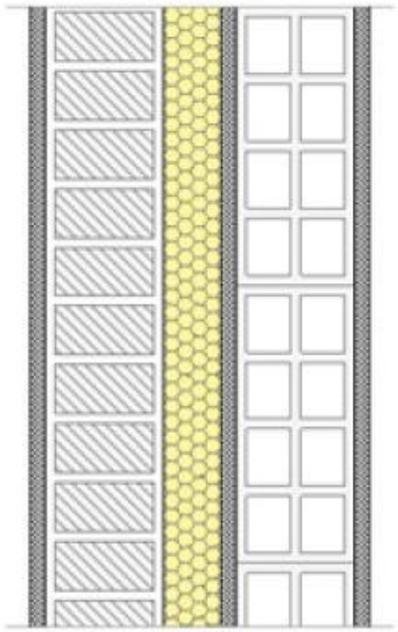
$$h_{pl2;eli} = h_{pl3;eli} = \frac{3}{R_{c;eli}}$$

$R_{c;eli}$ è la resistenza termica dell'elemento di involucro opaco eli

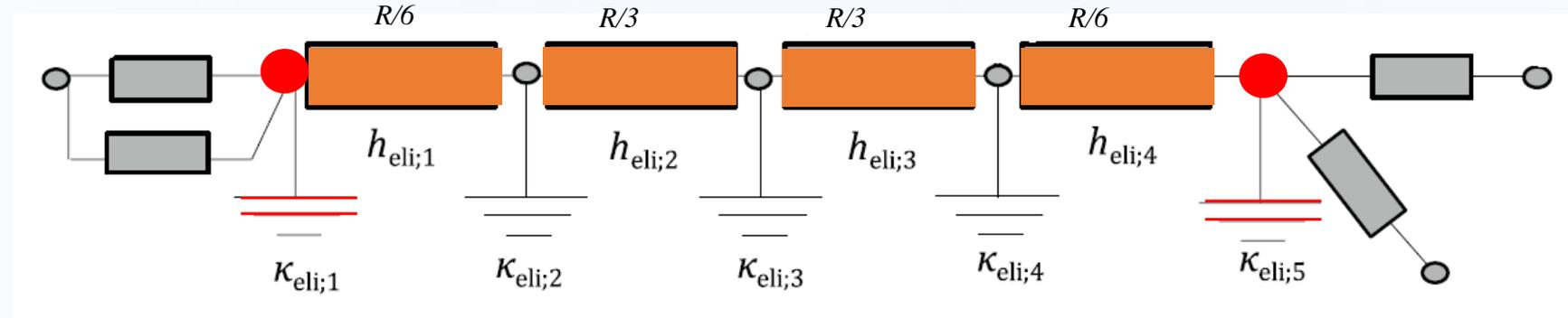
Capacità termica concentrata sul lato esterno

$$K_{pl1;eli} = K_{m;eli}$$

$$K_{pl2;eli} = K_{pl3;eli} = K_{pl4;eli} = K_{pl5;eli} = 0$$



Tipo IE



Conduttanze tra il nodo pli ed il nodo $pli-1$

$$h_{pl4;eli} = h_{pl1;eli} = \frac{6}{R_{c;eli}}$$

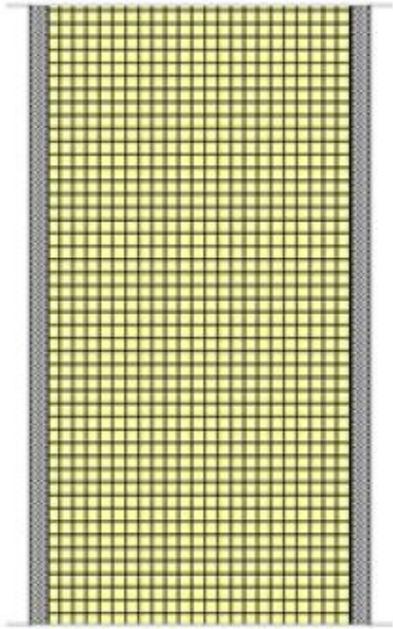
$$h_{pl2;eli} = h_{pl3;eli} = \frac{3}{R_{c;eli}}$$

$R_{c;eli}$ è la resistenza termica dell'elemento di involucro opaco eli

Capacità termica suddivisa sul lato interno e sul lato esterno

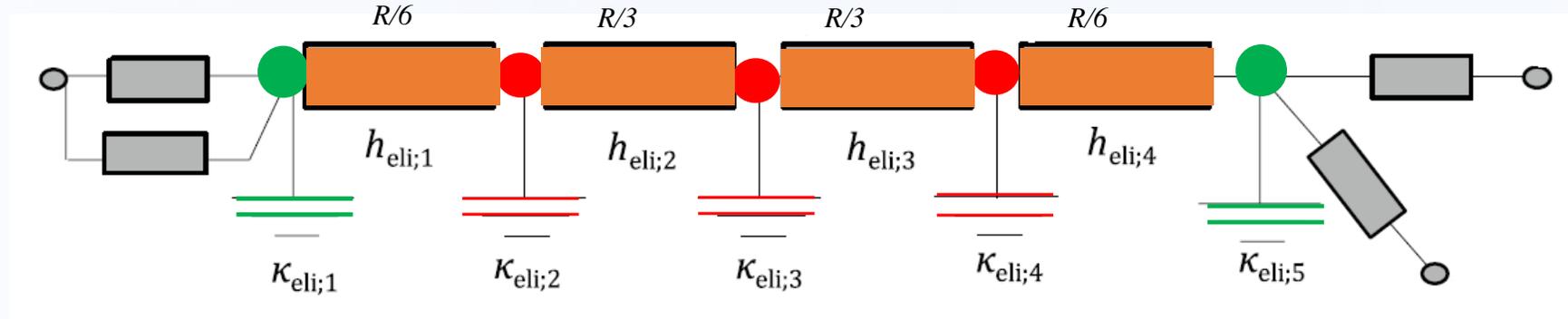
$$K_{pl1;eli} = K_{pl5;eli} = \frac{K_{m;eli}}{2}$$

$$K_{pl2;eli} = K_{pl3;eli} = K_{pl4;eli} = 0$$



Tipo D

Capacità termica equamente distribuita



Conduttanze tra il nodo *pli* ed il nodo *pli-1*

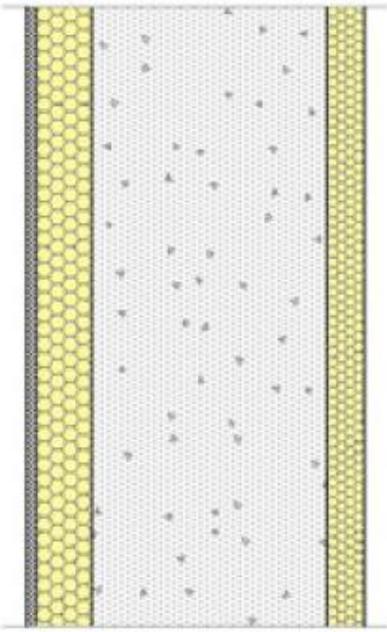
$$h_{pl4;eli} = h_{pl1;eli} = \frac{6}{R_{c;eli}}$$

$$h_{pl2;eli} = h_{pl3;eli} = \frac{3}{R_{c;eli}}$$

$R_{c;eli}$ è la resistenza termica dell'elemento di involucro opaco *eli*

$$K_{pl2;eli} = K_{pl3;eli} = K_{pl4;eli} = \frac{K_{m;eli}}{4}$$

$$K_{pl1;eli} = K_{pl5;eli} = \frac{K_{m;eli}}{8}$$

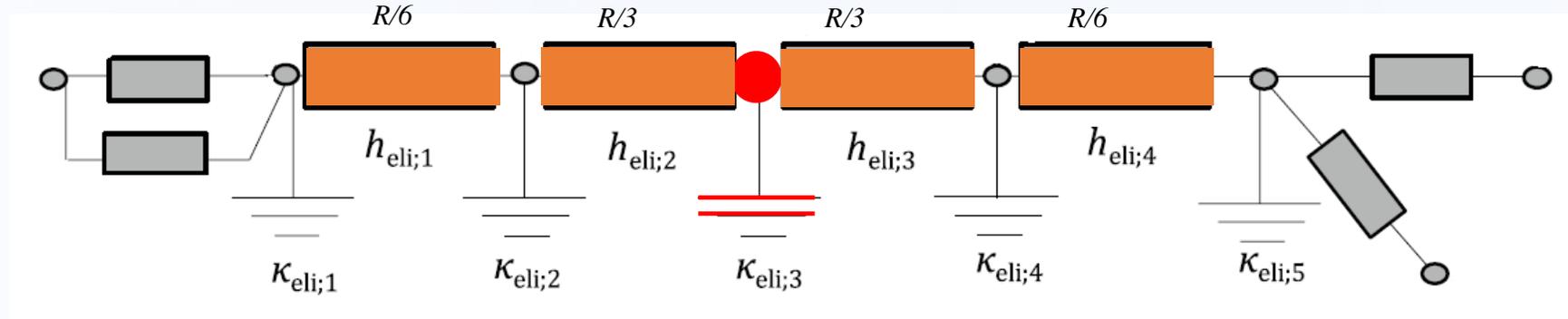


Tipo M

Capacità termica concentrata all'interno

$$K_{pl1;eli} = K_{pl2;eli} = K_{pl4;eli} = K_{pl5;eli} = 0$$

$$K_{pl3;eli} = K_{m;eli}$$



Conduttanze tra il nodo *pli* ed il nodo *pli-1*

$$h_{pl4;eli} = h_{pl1;eli} = \frac{6}{R_{c;eli}}$$

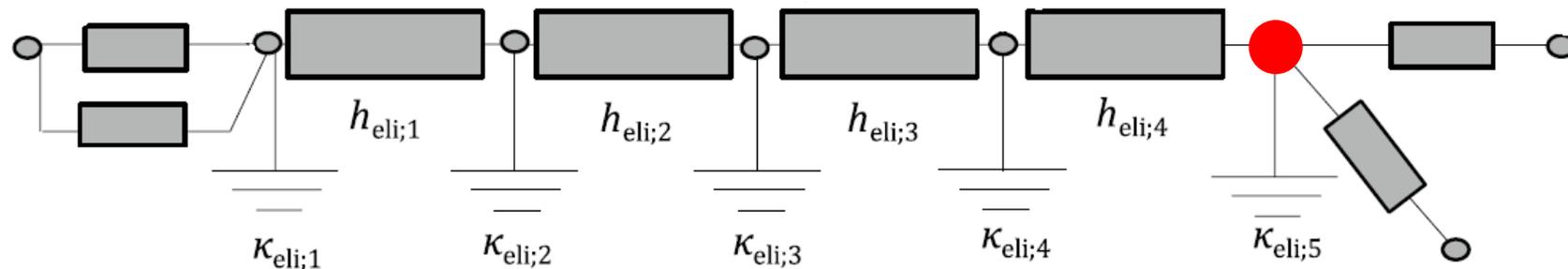
$$h_{pl2;eli} = h_{pl3;eli} = \frac{3}{R_{c;eli}}$$

$R_{c;eli}$ è la resistenza termica dell'elemento di involucro opaco *eli*

I componenti opachi di involucro vengono modellati con 4 strati e 5 nodi, mentre i serramenti con due nodi.

Bilancio di energia per il nodo superficiale prospiciente la zona di calcolo, all'ora t e per un intervallo di tempo Δt (=1 ora)

$$\begin{aligned}
 & -\left(h_{pli-1;eli} \cdot \theta_{pli-1;eli;t}\right) + \left[\frac{\kappa_{pli;eli}}{\Delta t} + h_{ci;eli} + h_{ri;eli} \cdot \sum_{elk=1}^{eln} \left(\frac{A_{elk}}{A_{tot}} \right) + h_{pli-1;eli} \right] \cdot \theta_{pli;eli;t} \\
 & - h_{ci;eli} \cdot \theta_{int;a;zt;t} - \sum_{elk=1}^{eln} \left(\frac{A_{elk}}{A_{tot}} \cdot h_{ri;eli} \cdot \theta_{pli;elk;t} \right) \\
 & = \frac{\kappa_{pli;eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli;eli;t-1} + \frac{1}{A_{tot}} \cdot \left[\left(1 - f_{int,c}\right) \cdot \Phi_{int;ztc;t} + \left(1 - f_{sol,c}\right) \cdot \Phi_{sol;ztc;t} + \left(1 - f_{H/C,c}\right) \cdot \Phi_{HC;ztc;t} \right]
 \end{aligned}$$

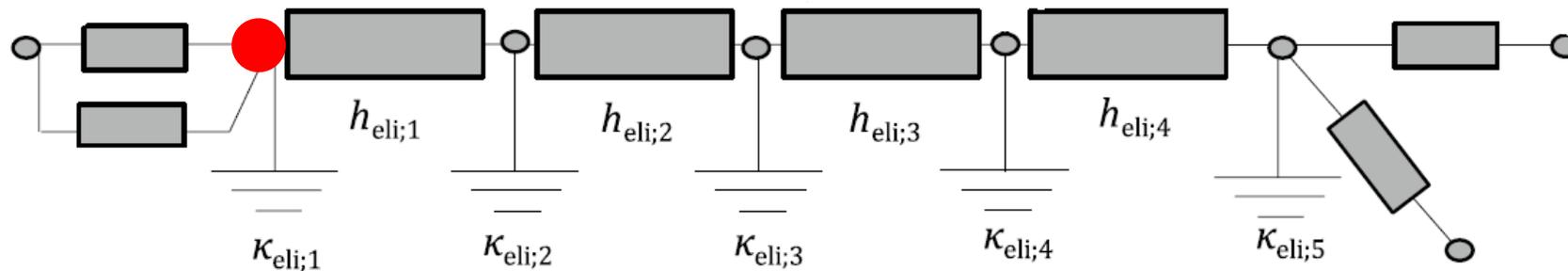


Bilancio di energia per il nodo superficiale a contatto con l'aria esterna, all'ora t e per un intervallo di tempo Δt (=1 ora)

$$\left(\frac{\kappa_{pli;eli}}{\Delta t} + h_{ce;eli} + h_{re;eli} + h_{pli;eli} \right) \cdot \theta_{pli;eli;t} - h_{pli;eli} \cdot \theta_{pli+1;eli;t}$$

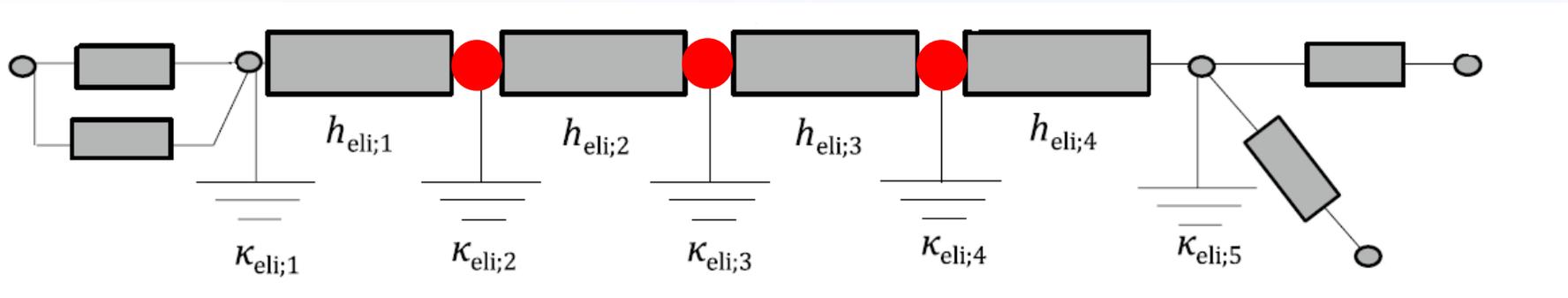
$$= \frac{\kappa_{pli;eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli;eli;t-1} + (h_{ce;eli} + h_{re;eli}) \cdot \theta_{e;t}$$

$$+ a_{sol;pli;eli} \cdot (I_{sol;dif;eli;t} + I_{sol;dir;eli;t} F_{sh;obst;eli;t}) - \Phi_{sky;eli;t}$$



Bilancio di energia per un nodo interno al componente (opaco), all'ora t e per un intervallo di tempo Δt (=1 ora)

$$-h_{pli-1;eli} \cdot \theta_{pli-1;eli;t} + \left[\frac{\kappa_{pli;eli}}{\Delta t} + h_{pli;eli} + h_{pli-1;eli} \right] \cdot \theta_{pli;eli;t} - h_{pli;eli} \cdot \theta_{pli+1;eli;t} = \frac{\kappa_{pli;eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli;eli;t-1}$$



Bilancio di energia per la zona ztc all'ora t e per un intervallo di tempo Δt (=1 ora)

$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{C_{\text{int};ztc}}{\Delta t} + \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci;eli}) + \sum_{vei=1}^{ven} H_{ve;vei;t} + H_{tr;tb;ztc} \right] \cdot \theta_{\text{int};a;ztc;t} - \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci;eli} \cdot \theta_{\text{pln};eli;t}) \\
 & = \frac{C_{\text{int};ztc}}{\Delta t} \cdot \theta_{\text{int};a;ztc;t-1} + \sum_{vei=1}^{ven} (H_{ve;vei;t} \cdot \theta_{\text{sup};vei;t}) + H_{tr;tb;ztc} \cdot \theta_{e;a;t} \\
 & + f_{\text{int},c} \cdot \Phi_{\text{int};ztc;t} + f_{\text{sol},c} \cdot \Phi_{\text{sol};ztc;t} + f_{\text{H/C},c} \cdot \Phi_{\text{HC};ztc;t}
 \end{aligned}$$

Carico (kg/s) per umidificazione ($G_{HU;ld;ztc;t}$) e per deumidificazione ($G_{DHU;ld;ztc;t}$):

$$G_{HU;ld;ztc;t} = \sum_k \left[\rho_a \cdot q_{V;k;t} \cdot (x_{set;min;ztc;t} - x_{a;sup,k;t}) \right] - G_{int;ztc;t} \\ + G_{abs;ztc;t} + \frac{\rho_a \cdot V_{int;a;ztc}}{\Delta t} \cdot (x_{set;min;ztc;t} - x_{int;a;ztc;t-1})$$

$$G_{DHU;ld;ztc;t} = - \sum_k \left[\rho_a \cdot q_{V;k;t} \cdot (x_{set;max;ztc;t} - x_{a;sup,k;t}) \right] + G_{int;ztc;t} \\ - G_{abs;ztc;t} - \frac{\rho_a \cdot V_{int;a;ztc}}{\Delta t} \cdot (x_{set;max;ztc;t} - x_{int;a;ztc;t-1})$$

with: $G_{DHU;ld;ztc;t} = \max(G_{DHU;ld;ztc;t}; 0)$

Il carico di umidità (kg/s) per umidificazione /deumidificazione si converte in carico latente (W) attraverso il calore di evaporazione (h_{we}):

$$\Phi_{\text{HU;ld;ztc;t}} = h_{\text{we}} \cdot G_{\text{HU;ld;ztc;t}}$$

$$\Phi_{\text{DHU;ld;ztc;t}} = h_{\text{we}} \cdot G_{\text{DHU;ld;ztc;t}}$$

Le equazioni sono risolte in forma matriciale.

Il **risultato del calcolo** è la temperatura di ciascun componente, compresa l'aria interna e (se presente) il carico di riscaldamento o raffrescamento.

Il numero di equazioni che descrivono gli elementi dell'edificio è: **5 x il numero di elementi opachi + 2 × il numero di finestre e porte.**

Il metodo orario copre **tre aree di applicazione:**

- a) calcolo del fabbisogno energetico;
- b) calcolo della temperatura interna;
- c) calcolo del carico di progetto per riscaldamento e raffrescamento.

Calcolo dei carichi sensibili di riscaldamento e di raffrescamento e delle temperature

Il periodo di calcolo effettivo è preceduto da un **periodo di inizializzazione** sufficientemente lungo da rendere trascurabile l'influenza delle temperature di ciascun nodo all'inizio del calcolo all'avvio del periodo di calcolo effettivo.

Il periodo di inizializzazione è costituito da **almeno due settimane prima del periodo effettivo**. Quindi per i calcoli annuali, a partire dal 1 ° gennaio, il calcolo deve essere preceduto almeno dal periodo 18 - 31 dicembre precedente al 1 ° gennaio.

Fabbisogni e carichi termici secondo UNI EN ISO 52016-1:2018

Opzioni di calcolo



Carico termico con impianto specifico

Edificio e impianto reali



Temperature di involucro (Free floating)

Edificio senza impianto



Carico termico con profilo ideale

Profilo ideale e potenza infinita



Carico termico ideale con profilo d'uso reale

Profilo reale e potenza infinita

Valuta la temperatura di set-point secondo:

calcolo ISO 52016 (utilizza temperatura operante)

calcolo ASHRAE 140 (utilizza temperatura dell'aria interna)

Assunzioni (1/3)

- la temperatura dell'aria è **uniforme** in tutta la stanza o zona;
- le varie superfici degli elementi della stanza o della zona sono **isotermiche**;
- la conduzione del calore attraverso gli elementi della stanza o della zona (escluso verso il terreno) è assunta come **monodimensionale**;
- la conduzione del calore verso il terreno attraverso gli elementi del locale è trattata come un flusso di calore equivalente monodimensionale secondo la norma ISO 13370;
- il contributo di **accumulo di calore dei ponti termici** (lineari o puntuali) viene trascurato;
- I **ponti termici** (lineari o puntuali) sono direttamente accoppiati termicamente alle temperature dell'aria interna ed esterna;
- le **intercapedini d'aria** all'interno dei componenti dell'involucro sono trattati come strati d'aria delimitati da due superfici isotermiche e parallele;
- gli effetti di accumulo di calore nei vari piani di un **elemento vetrato** vengono trascurati;

Assunzioni (2/3)

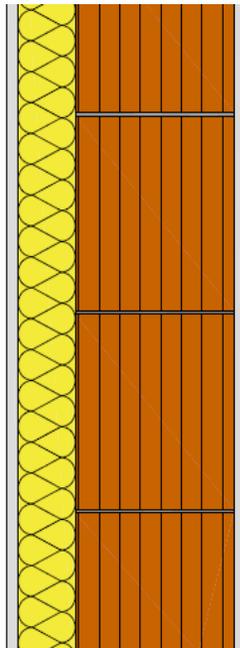
- l'**intensità di radiazione ad onde corte** assorbita da ciascun piano di un elemento vetrato viene trattata come un termine sorgente;
- la **zona termica** è considerata uno spazio chiuso delimitato dagli elementi di chiusura;
- le **proprietà termofisiche dei materiali** che compongono gli elementi della zona termica sono indipendenti dal tempo, ma variazioni delle proprietà dei componenti non sono escluse: ad es. tende solari mobili, persiane;
- l'**ambiente radiante esterno** (cielo escluso) si trova alla temperatura dell'aria esterna;
- la distribuzione spaziale della **radiazione solare** all'interno della stanza è uniforme e indipendente dal tempo;
- la distribuzione della **massa** in ogni costruzione è semplificata;
- le proprietà solari delle **finestre** non dipendono dall'angolo di incidenza;
- la **temperatura radiante media** viene calcolata come media ponderata delle temperature superficiali interne per l'area di ciascun componente.

Assunzioni (3/3)

- i **coefficienti di scambio termico convettivo sulla superficie esterna** dipendono dalla velocità e dalla direzione del vento, ma sono considerati tempo-invarianti;
- i **coefficienti di scambio termico convettivo sulla superficie interna** dipendono dalla direzione del flusso di calore e sono considerati tempo-invarianti;
- i **coefficienti di trasmissione del calore a onda lunga** sulle superfici esterne degli elementi del locale rispetto all'aria esterna sono considerati tempo-invarianti;
- la **scelta delle dimensioni utilizzate** per la determinazione del flusso di calore per trasmissione termica (dimensioni interne, dimensioni esterne o dimensioni interne complessive) deve essere mantenuta lungo tutta la procedura di valutazione della prestazione energetica dell'edificio.

Considerazioni sul metodo di calcolo della trasmissione del calore nell'involucro opaco secondo la UNI EN ISO 52016-1:2018

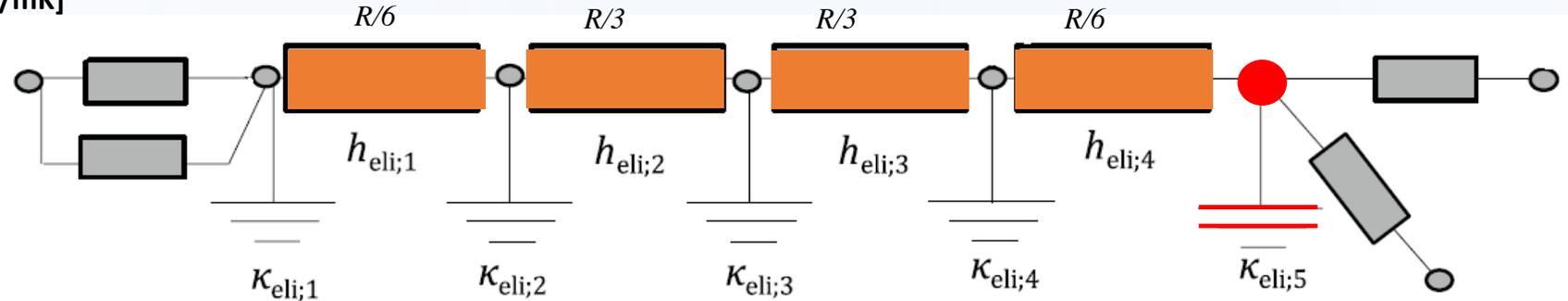
Confronto con la soluzione analitica



Tipo I

	s [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]	c [J/kgK]
1	0.005	1436	0.608	850
2	0.08	18	0.036	1450
3	0.3	693	0.319	836.8
4	0.015	1600	0.7	850

U = 0.297 [W/mK]



Capacità termica concentrata sul lato interno

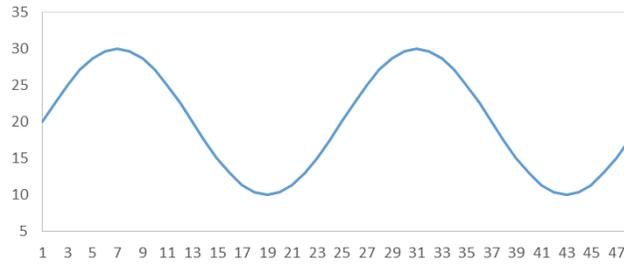
$$K_5 = 202,56 \frac{kJ}{m^2 K}$$

$$K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 0$$

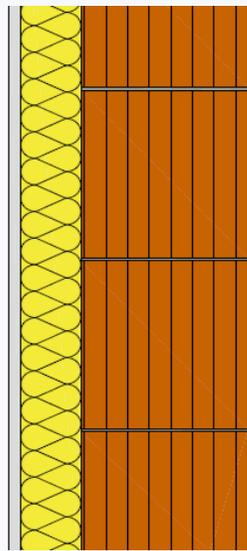
Conduttanze tra il nodo *i* ed il nodo *i-1*

$$h_1 = h_4 = \frac{6}{R}$$

$$h_2 = h_3 = \frac{3}{R} \quad R = 3,367 \frac{m^2 K}{W}$$



$$T_e = 20 + 10 \cdot \text{sen}(2\pi/24 \cdot \tau)$$



$$T_i = 20$$

Conduzione periodica stabilizzata in parete multistrato

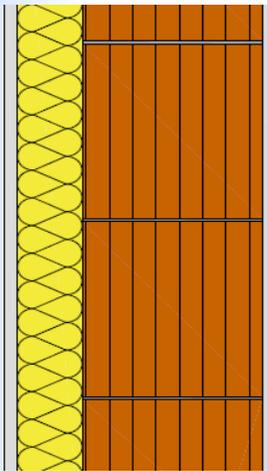
Flusso termico sulla faccia interna

$$\varphi_i = Y_{ie} \Delta\theta_e \text{sen}\left(\frac{2\pi}{24}(\tau - \psi)\right) \frac{W}{m^2}$$

Trasmittanza termica periodica: $Y_{ie} = 0,0461 \frac{W}{m^2 K}$

Semiampiezza oscillazione: $\Delta\theta_e = 10^\circ C$

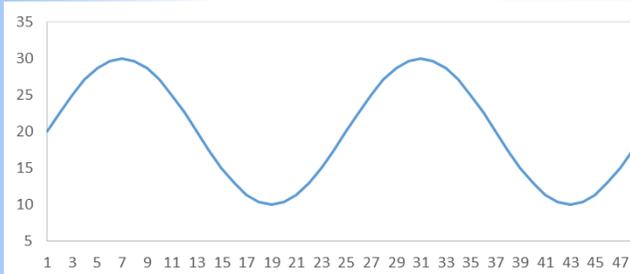
Sfasamento: $\psi = -10,94 \text{ ore}$



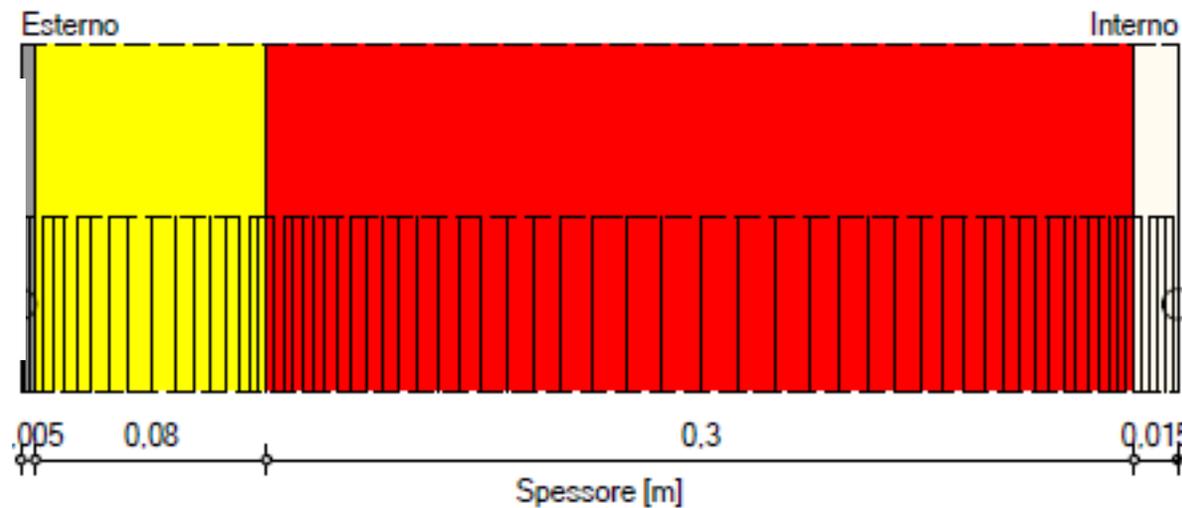
Tipo I



Metodo dei volumi finiti (70 → soluzione di 70 equazioni in 70 incognite ad ogni step temporale)

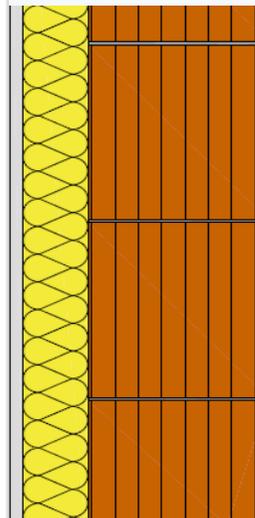
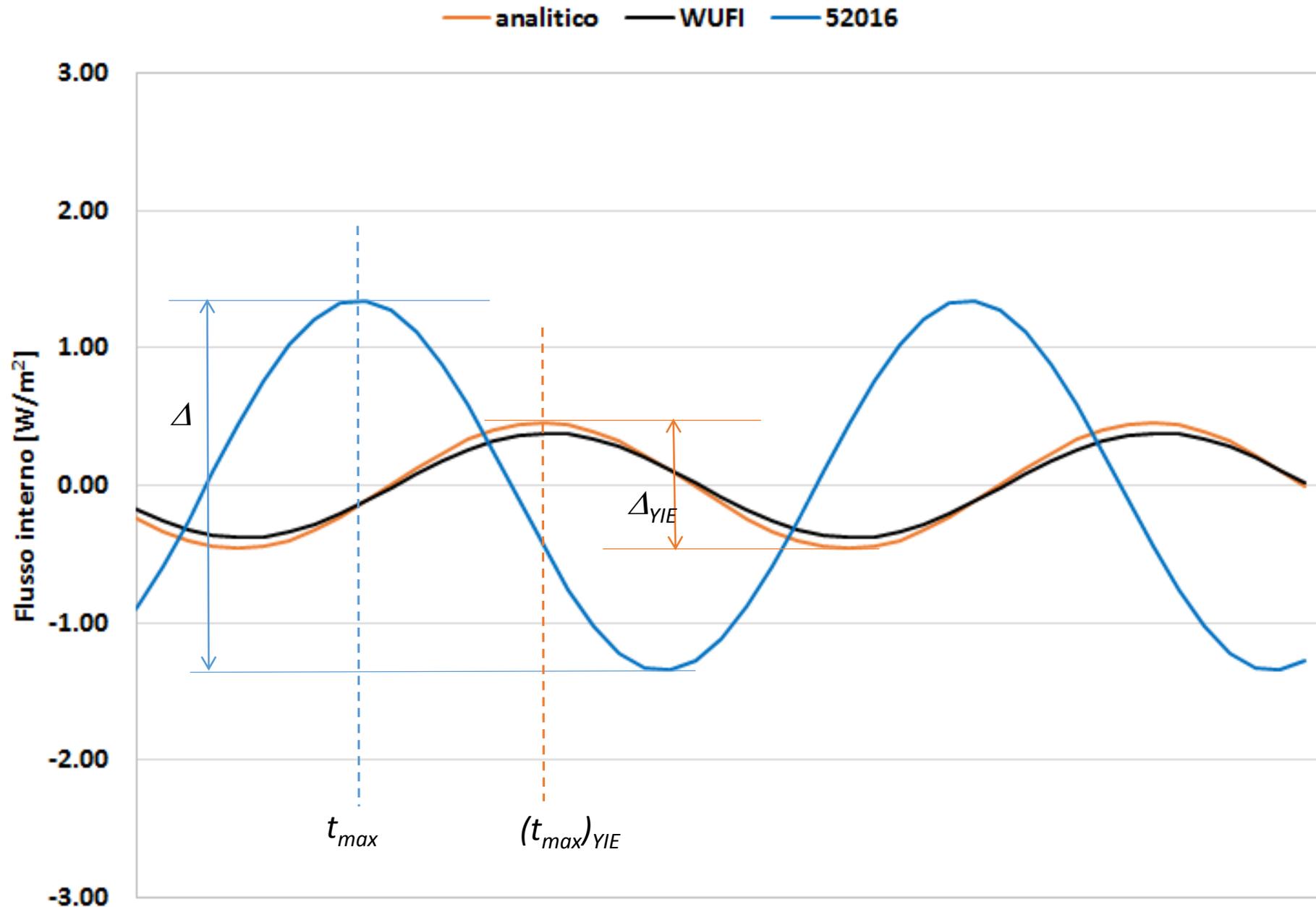


$$T_e = 20 + 10 \cdot \text{sen}(2\pi/24 \cdot \tau)$$



$$T_i = 20$$

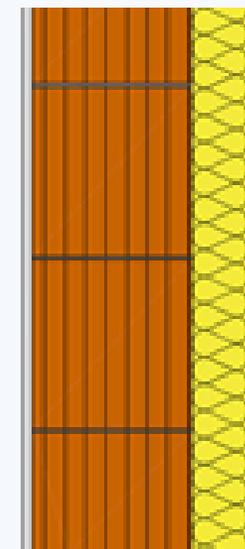
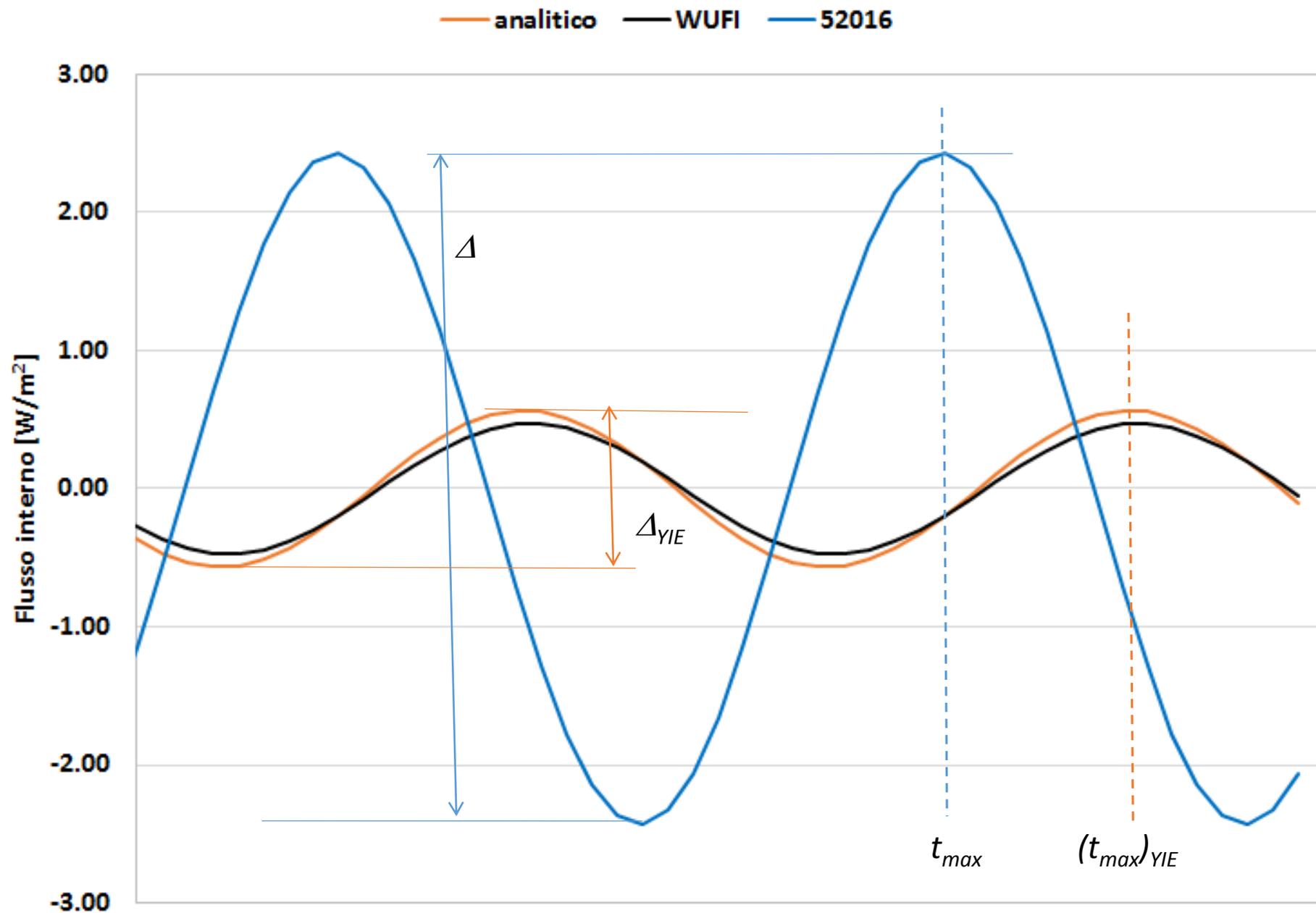
Rasatura minerale-EPS-Laterizio Alveolato 1.1.14-Intonaco di calce



Tipo I

$$\frac{\Delta - \Delta_{YIE}}{\Delta_{YIE}} = 1,92$$

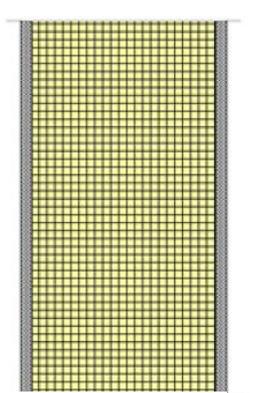
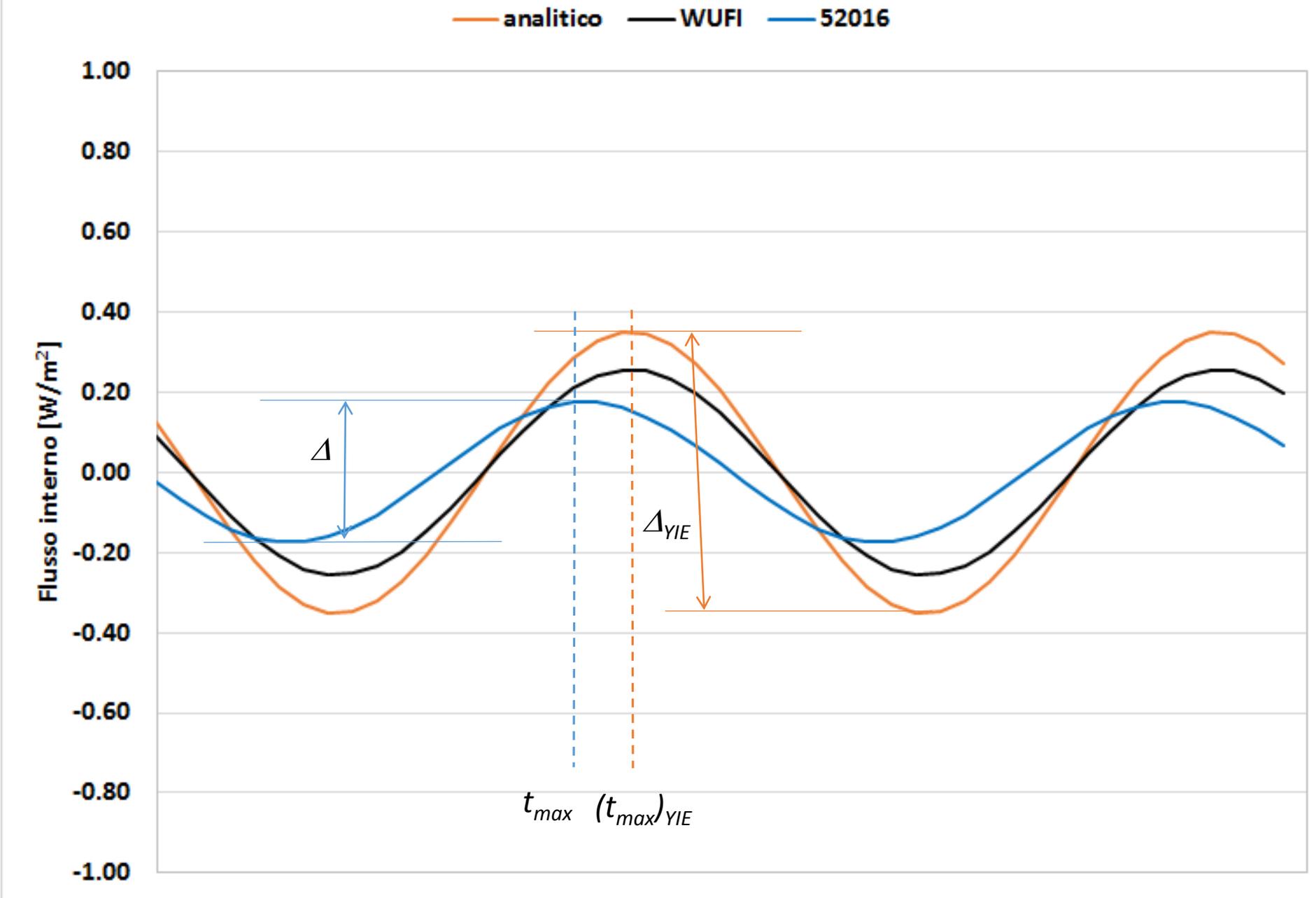
$$t_{max} - (t_{max})_{YIE} = -7 \text{ ore}$$



Tipo E

$$\frac{\Delta - \Delta_{YIE}}{\Delta_{YIE}} = -3,28$$

$$t_{max} - (t_{max})_{YIE} = -8 \text{ ore}$$



Tipo D

$$U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\frac{\Delta - \Delta_{YIE}}{\Delta_{YIE}} = -0,50$$

$$t_{max} - (t_{max})_{YIE} = -3 \text{ ore}$$

	UNI EN ISO 52016-1		WUFI	
	Ampiezza oscillazione, % $\frac{\Delta - \Delta_{YIE}}{\Delta_{YIE}} \cdot 100$	Sfasamento, ore $t_{max} - (t_{max})_{YIE}$	Ampiezza oscillazione, % $\frac{\Delta - \Delta_{YIE}}{\Delta_{YIE}} \cdot 100$	Sfasamento, ore $t_{max} - (t_{max})_{YIE}$
tipo E	328%	-8	-17%	1
tipo I	192%	-7	-17%	0
tipo D	-50%	-3	-27%	0

Draft standard

Commissione Tecnica	UNI/CT 202 Isolanti e isolamento – Metodi di calcolo e di prova (UNI/TS 11300-1)
Gruppo di Lavoro	-
Coordinatore	Vincenzo Corrado
Funzionario Tecnico	Anna Martino – martino@cti2000.it
Codice progetto	Non ancora disponibile
Codice norma	Appendice Nazionale UNI EN ISO 52016-1
Titolo	Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent head load - Part 1: Calculation procedures
Note	Testo da approvare nella riunione del 6 dicembre 2018

Table NA.10-bis — Chosen conversion method in modelling thermal nodes and related properties

Node number	Layer number	Node position	Areal thermal capacity $K_{pli;eli}$ [J/m ² K]	Internodes conductance $h_{pli;eli}$ [W/m ² K]
1	-	external surface	0	$1/[(R_{c;1;eli}/Ncn_1)/2]$
2	1	internal	$\rho_1 \cdot c_1 \cdot (d_1/Ncn_1)$	$1/(R_{c;1;eli}/Ncn_1)$
...
$1 + Ncn_1$	1	internal	$\rho_1 \cdot c_1 \cdot (d_1/Ncn_1)$	$1/[(R_{c;1;eli}/Ncn_1)/2 + (R_{c;2;eli}/Ncn_2)/2]$
...
pli	$j-1$	internal	$\rho_{j-1} \cdot c_{j-1} \cdot (d_{j-1}/Ncn_{j-1})$	$1/[(R_{c;j-1;eli}/Ncn_{j-1})/2 + (R_{c;j;eli}/Ncn_j)/2]$
$pli + 1$	j	internal	$\rho_j \cdot c_j \cdot (d_j/Ncn_j)$	$1/(R_{c;j;eli}/Ncn_j)$
...
$pli + Ncn_j$	j	internal	$\rho_j \cdot c_j \cdot (d_j/Ncn_j)$	$1/[(R_{c;j;eli}/Ncn_j)/2 + (R_{c;j+1;eli}/Ncn_{j+1})/2]$
...
$pln-1 = \sum_{j=1}^N Ncn_j + 1$	N	internal	$\rho_N \cdot c_N \cdot (d_N/Ncn_N)$	$1/[(R_{c;N;eli}/Ncn_N)/2]$
$pln = \sum_{j=1}^N Ncn_j + 2$	-	internal surface	0	-

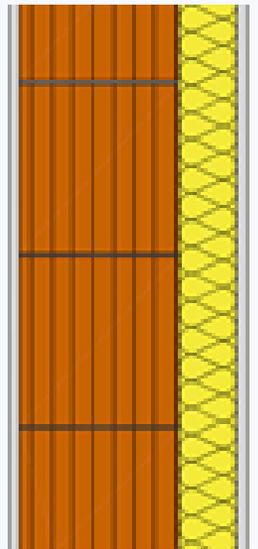
NOTE:

- a. For the j -th layer the Fourier number is defined as $Fo_j = \Delta t \cdot \lambda_j / (\rho_j \cdot c_j) / d_j^2$.
- b. The reference Fourier number (Fo_{ref}) is set at 0,5.
- c. The number of capacity nodes in the j -th layer is calculated as:

$$Ncn_j = \max \left\{ 1; \left\lfloor \sqrt{Fo_{ref} / Fo_j + 0,999999} \right\rfloor \right\}$$

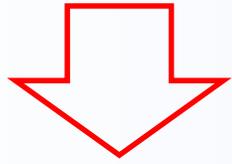
- d. The total number of capacity nodes is calculated as $\sum_{j=1}^N Ncn_j$
- e. The number of nodes (pln) is equal to the total number of capacity nodes plus two.
- f. ρ_j, c_j are respectively the mass density [kg/m^3] and the thermal capacity by unit of mass [$\text{J}/(\text{kg K})$] of the material of the j -th layer of the building element.
- g. $R_{c;j;eli}$ is the conductive resistance [$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$] of j -th layer of the building element, calculated as d_j/λ_j where d_j is the layer thickness [m], and λ_j is the layer material thermal conductivity [$\text{W}/(\text{m K})$].
- h. $\Delta x_j = d_j/Ncn_j$ is the thickness [m] of the portion of layer associated to each capacity node in the j -th layer of the building element.
- i. $\rho_j \cdot c_j \cdot \Delta x_j$ is the areal thermal capacity [$\text{J}/\text{m}^2 \text{K}$] associated to each capacity node in the j -th layer of the building element.
- j. $R_{c;j;eli}/Ncn_j$ is the conductive resistance [$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$] of the portion of layer associated to each capacity node in the j -th layer of the building element, calculated as $\Delta x_j/\lambda_j$.
- k. If an internal layer is an air gap, the areal thermal capacity $\kappa_{pli;eli}$ shall be zero and the internodes conductances are calculated as $h_{pli-1;eli} = h_{pli;eli} = h_a \cdot 2$, where h_a , in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, is the convective-radiative air layer conductance.

j	s [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	Numero di Fourier $ Fo_j = \frac{\lambda_j}{\rho_j c_j} \frac{\Delta t}{d_j^2}$	Numero di nodi $ Ncn_j = \max \left\{ 1; \left[\sqrt{\frac{Fo_{ref}}{Fo} + 0,999999} \right] \right\}$
1	0,015	1600	0,7	850	8,24	1
2	0,3	693	0,319	836,8	0,02	5
3	0,08	18	0,036	1450	0,78	1
4	0,005	1436	0,608	850	71,73	1

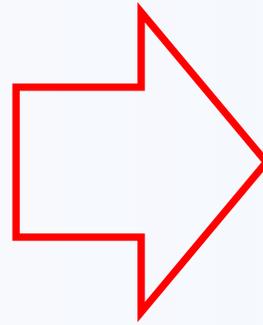


Tipo E

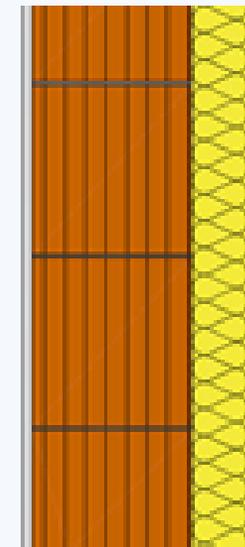
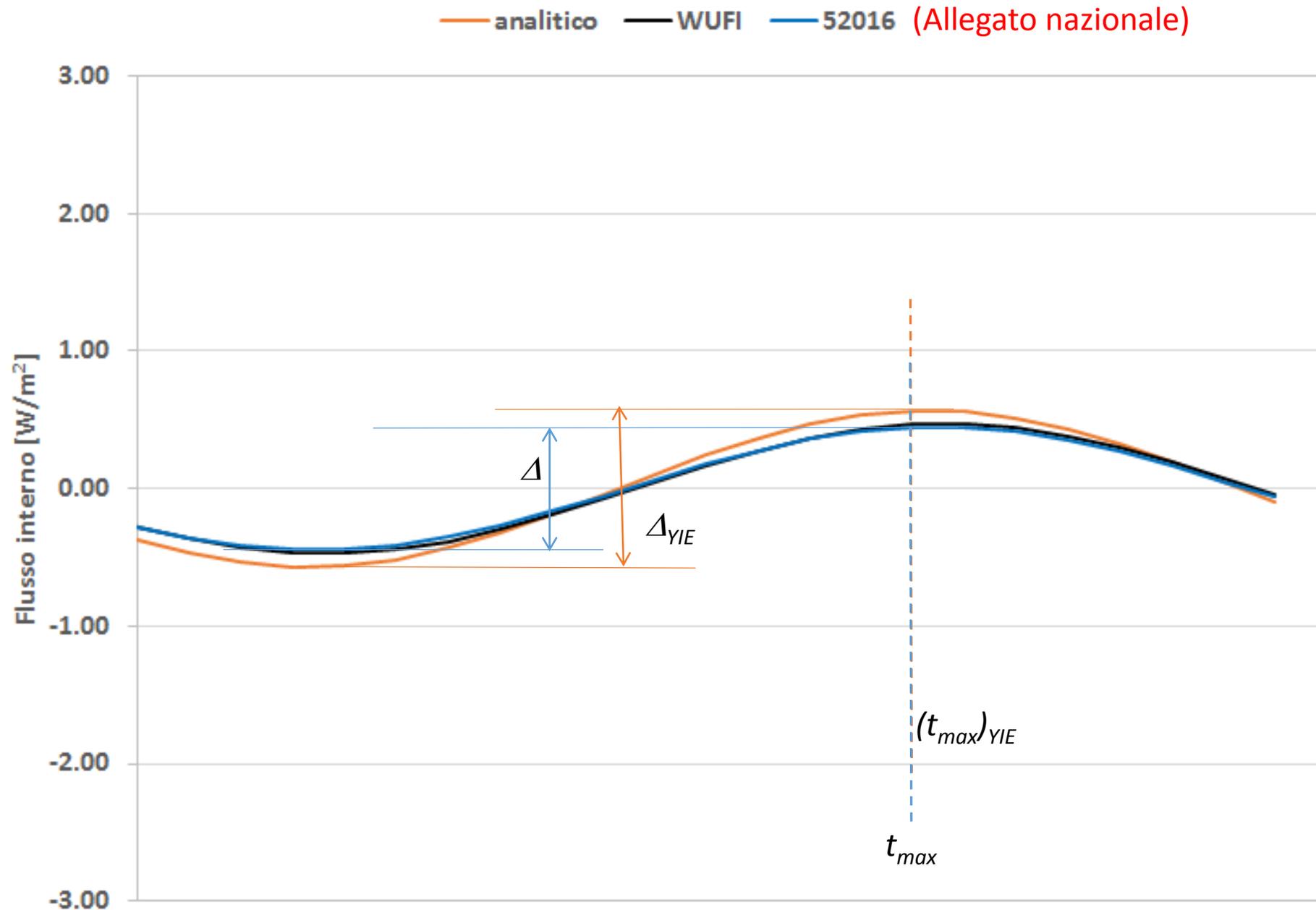
8+2=10 Nodi



10 equazioni in 10 incognite



- 1) $\left(\frac{k_1}{\Delta\tau} + h_e + h_1\right)\vartheta_{1,\tau} - h_1\vartheta_{2,\tau} = \frac{k_1}{\Delta\tau}\vartheta_{1,\tau-1} + h_e\vartheta_{e,\tau}$
- 2) $-h_1\vartheta_{1,\tau} + \left(\frac{k_2}{\Delta\tau} + h_2 + h_1\right)\vartheta_{2,\tau} - h_2\vartheta_{3,\tau} = \frac{k_2}{\Delta\tau}\vartheta_{2,\tau-1}$
- 3) $-h_2\vartheta_{2,\tau} + \left(\frac{k_3}{\Delta\tau} + h_3 + h_2\right)\vartheta_{3,\tau} - h_3\vartheta_{4,\tau} = \frac{k_3}{\Delta\tau}\vartheta_{3,\tau-1}$
- 4) $-h_3\vartheta_{3,\tau} + \left(\frac{k_4}{\Delta\tau} + h_4 + h_3\right)\vartheta_{4,\tau} - h_4\vartheta_{5,\tau} = \frac{k_4}{\Delta\tau}\vartheta_{4,\tau-1}$
- 5) $-h_4\vartheta_{4,\tau} + \left(\frac{k_5}{\Delta\tau} + h_5 + h_4\right)\vartheta_{5,\tau} - h_5\vartheta_{6,\tau} = \frac{k_5}{\Delta\tau}\vartheta_{5,\tau-1}$
- 6) $-h_5\vartheta_{5,\tau} + \left(\frac{k_6}{\Delta\tau} + h_6 + h_5\right)\vartheta_{6,\tau} - h_6\vartheta_{7,\tau} = \frac{k_6}{\Delta\tau}\vartheta_{6,\tau-1}$
- 7) $-h_6\vartheta_{6,\tau} + \left(\frac{k_7}{\Delta\tau} + h_7 + h_6\right)\vartheta_{7,\tau} - h_7\vartheta_{8,\tau} = \frac{k_7}{\Delta\tau}\vartheta_{7,\tau-1}$
- 8) $-h_7\vartheta_{7,\tau} + \left(\frac{k_8}{\Delta\tau} + h_8 + h_7\right)\vartheta_{8,\tau} - h_8\vartheta_{9,\tau} = \frac{k_8}{\Delta\tau}\vartheta_{8,\tau-1}$
- 9) $-h_8\vartheta_{8,\tau} + \left(\frac{k_9}{\Delta\tau} + h_9 + h_8\right)\vartheta_{9,\tau} - h_9\vartheta_{10,\tau} = \frac{k_9}{\Delta\tau}\vartheta_{9,\tau-1}$
- 10) $-h_9\vartheta_{9,\tau} + \left(\frac{k_{10}}{\Delta\tau} + h_i + h_9\right)\vartheta_{10,\tau} = \frac{k_{10}}{\Delta\tau}\vartheta_{10,\tau-1} + h_i\vartheta_{i,\tau}$

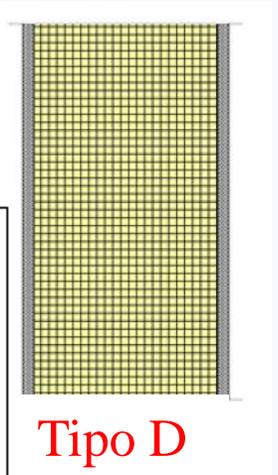


Tipo E

$$\frac{\Delta - \Delta_{YIE}}{\Delta_{YIE}} = -0,21$$

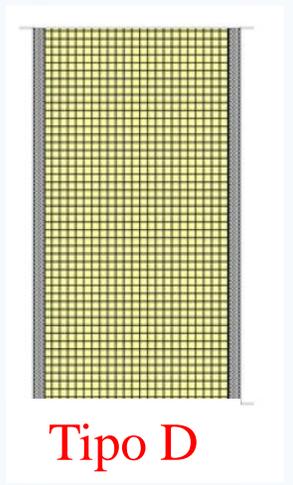
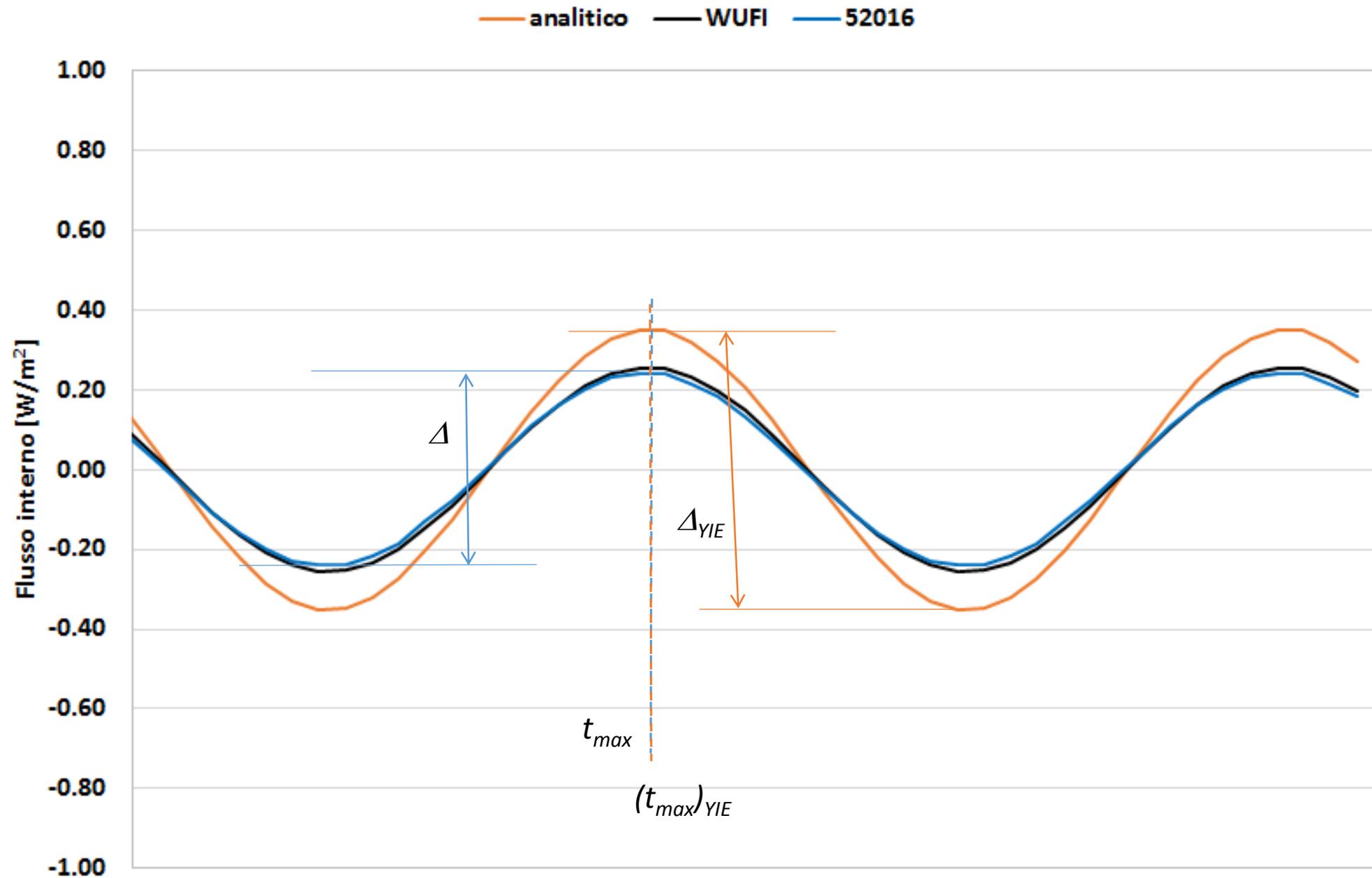
$$t_{max} - (t_{max})_{YIE} = 0 \text{ ore}$$

j	s [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	Numero di Fourier $ Fo_j = \frac{\lambda_j}{\rho_j c_j} \frac{\Delta t}{d_j^2}$	Numero di nodi $ Ncn_j = \max \left\{ 1; \left[\sqrt{\frac{Fo_{ref}}{Fo} + 0,999999} \right] \right\}$
1	0,005	1600	0,7	836,8	75,29	1
2	0,015	1200	0,33	1000	4,40	1
3	0,36	300	0,086	1000	0,01	8
4	0,015	1200	0,33	1000	4,40	1



Tipo D

Rasante – Intonaco di fondo – AAC – Intonaco di fondo



$$\frac{\Delta - \Delta_{YIE}}{\Delta_{YIE}} = -0,32$$

$$t_{max} - (t_{max})_{YIE} = 0 \text{ ore}$$

CONCLUSIONI

Il metodo di calcolo della UNI EN ISO 52016-1:2018 integrato con le Appendici nazionali può costituire uno **strumento di analisi dinamica affidabile e precisa**.

Il procedimento si presenta comunque complesso ed applicabile solo attraverso **software aggiornato e certificato**.

Il metodo orario consente analisi di prestazione energetica e comfort in edifici ad alte prestazioni (tipo **nZEB**) in presenza di sistemi di involucro ed impiantistici a comportamento fortemente dinamico.

Il metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016
non va utilizzato
per la verifica dei requisiti di legge e per l'APE

DM 26.6.2015 «Requisiti minimi»
(Allegato 1, par. 1.1 – lettera b)

- b) il fabbisogno energetico annuale globale si calcola come energia primaria per singolo servizio energetico, con **intervalli di calcolo mensile**. Con le stesse modalità si determina l'energia da fonte rinnovabile prodotta all'interno del confine del sistema. Il calcolo su base mensile si effettua con le metodologie di cui all'articolo 3, comma 1, del presente decreto;

DECRETO 11 ottobre 2017

Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.

(17A07439) (GU Serie Generale n.259 del 06-11-2017)

La temperatura operante estiva ($\theta_{o,t}$) si calcola secondo la procedura descritta dalla UNI 10375, con riferimento al giorno più caldo della stagione estiva (secondo UNI 10349 parte 2) e per l'ambiente dell'edificio destinato alla permanenza di persone ritenuto più sfavorevole (14) Lo scarto in valore assoluto (ΔT_i), che corrisponde al livello minimo di comfort da garantire nell'ambiente più sfavorevole, si valuta con la seguente formula:

$$\Delta T_i = |\vartheta_{o,t} - \vartheta_{rif}| < 4^\circ C$$

dove:

$$\vartheta_{rif} = (0.33 \cdot \vartheta_{est}) + 18.8$$

dove:

ϑ_{est} = temperatura esterna media del giorno più caldo secondo UNI 10349 parte 2.

 In alternativa i parametri sopra citati possono essere valutati con metodi di calcolo più accurati.

DECRETO 26 giugno 2015.

Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

3. Il Comitato Termotecnico Italiano – Energia e Ambiente, di seguito CTI, entro 90 giorni dall’emanazione delle norme EN a supporto della direttiva 2010/31/UE, predispone uno schema di norma tecnica nazionale e relative linee guida per il calcolo della prestazione energetica con metodo orario, semplificato sulla base di quanto definito nella norma UNI EN ISO 13790, al fine della sua eventuale introduzione nelle successive revisioni del presente decreto.

Sempre più spesso i bandi di gara che riguardano la **riqualificazione di edifici pubblici e privati**, richiedono e premiano l'impiego del metodo di **calcolo in regime dinamico** per la diagnosi energetica dell'immobile e il progetto di riqualificazione.

Grazie per l'attenzione