

Riqualificazione di edifici pubblici e privati

Il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici attraverso il calcolo dinamico orario UNI EN ISO 52016

Alberto Boriani, ISNOVA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Consiglio Nazionale
Geometri e Geometri Laureati



AiCARR

ISNOVA

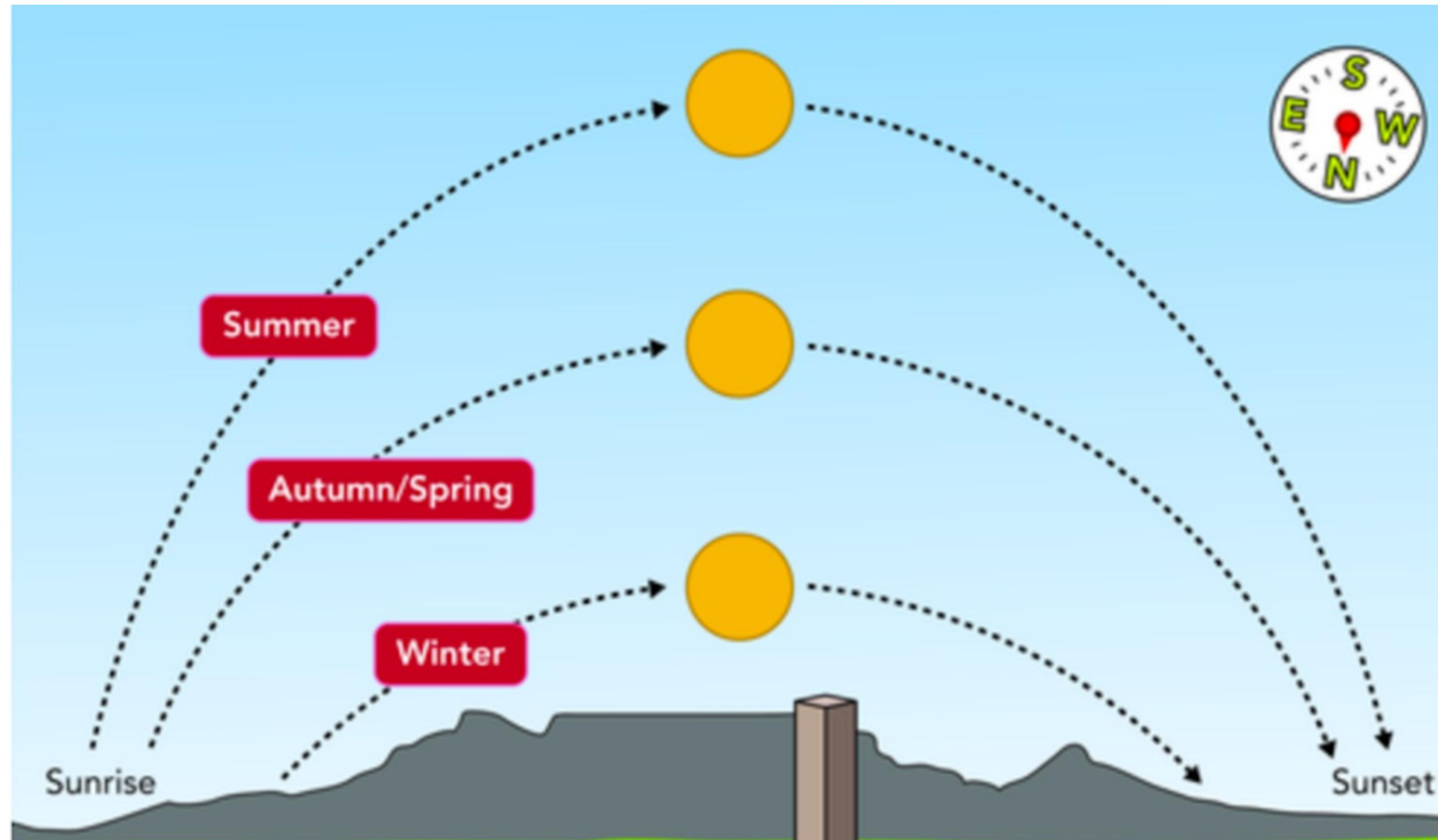
I metodi di calcolo mensili e orari

Quando si affronta il progetto di edifici con sistemi impiantistici complessi e carichi termici molto variabili – uffici, negozi, oltre che unità abitative – il progettista deve tenere conto di come variano realmente le condizioni d’uso degli impianti e gli stili di vita degli occupanti per raggiungere un adeguato comfort climatico e soddisfare al contempo standard energetici sempre più elevati.

I metodi di calcolo mensili e orari

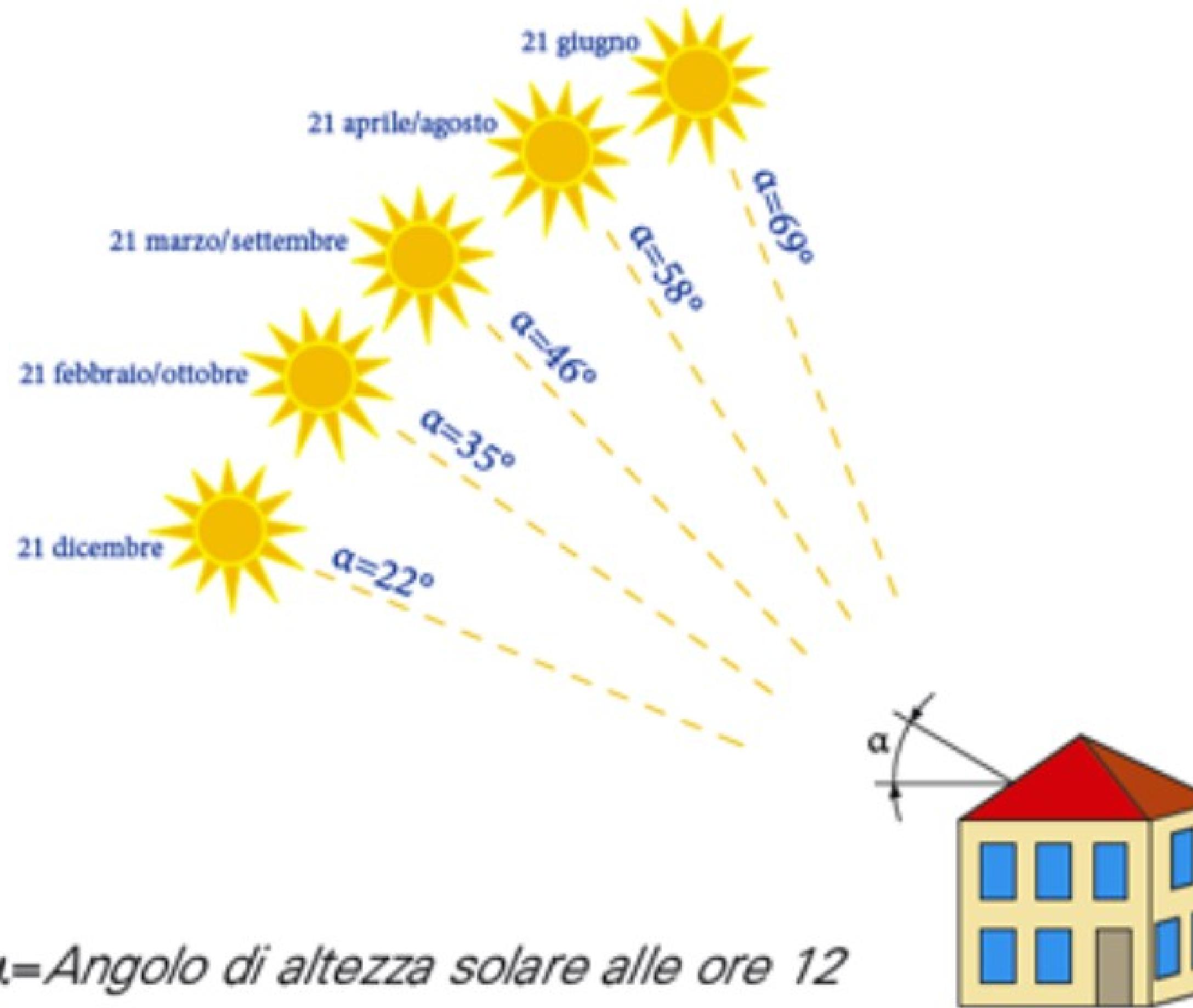
I metodi di calcolo adottati dalle attuali norme UNI TS 11300 sono definiti mensili quasi stazionari: si tratta di metodi efficaci per casi standard come la redazione dell'attestato di prestazione energetica o la determinazione degli indici di progetto ma mostrano tutti i loro limiti nei casi di progetto e diagnosi energetica appena descritti. Per questi casi solo un metodo di calcolo dinamico raffinato che sia comprensibile e replicabile offre risposte soddisfacenti.

I metodi di calcolo mensili e orari



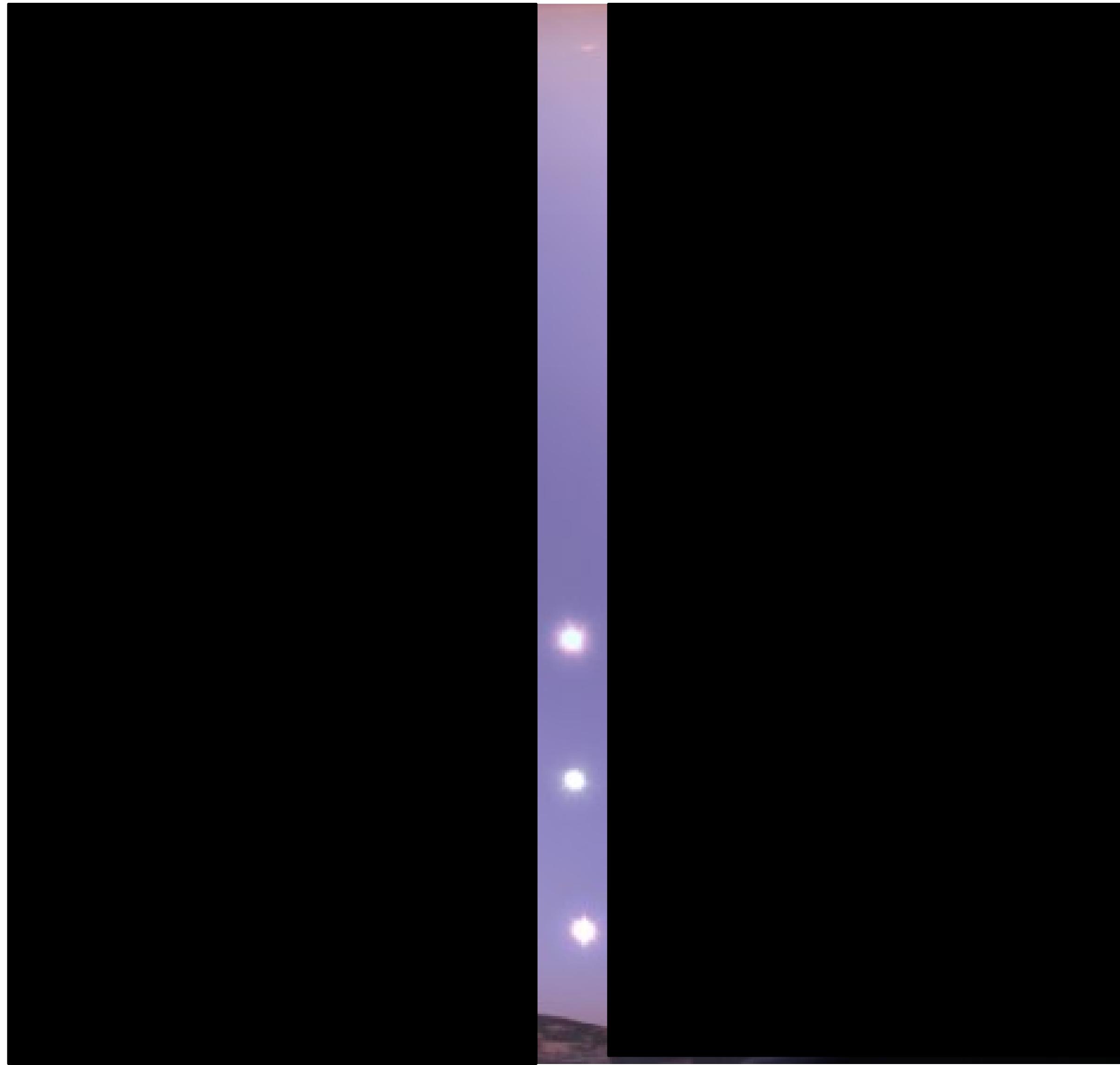
ISNOVA

I metodi di calcolo mensili e orari



ISNOVA

I metodi di calcolo mensili



ISNOVA

I metodi di calcolo orari



ISNOVA

INTRODUZIONE ALLA NORMA UNI EN ISO 52016

Condizioni al contorno:

Dati Climatici UNI 10349

Temperatura e apporti interni

UNI TS 11300-1

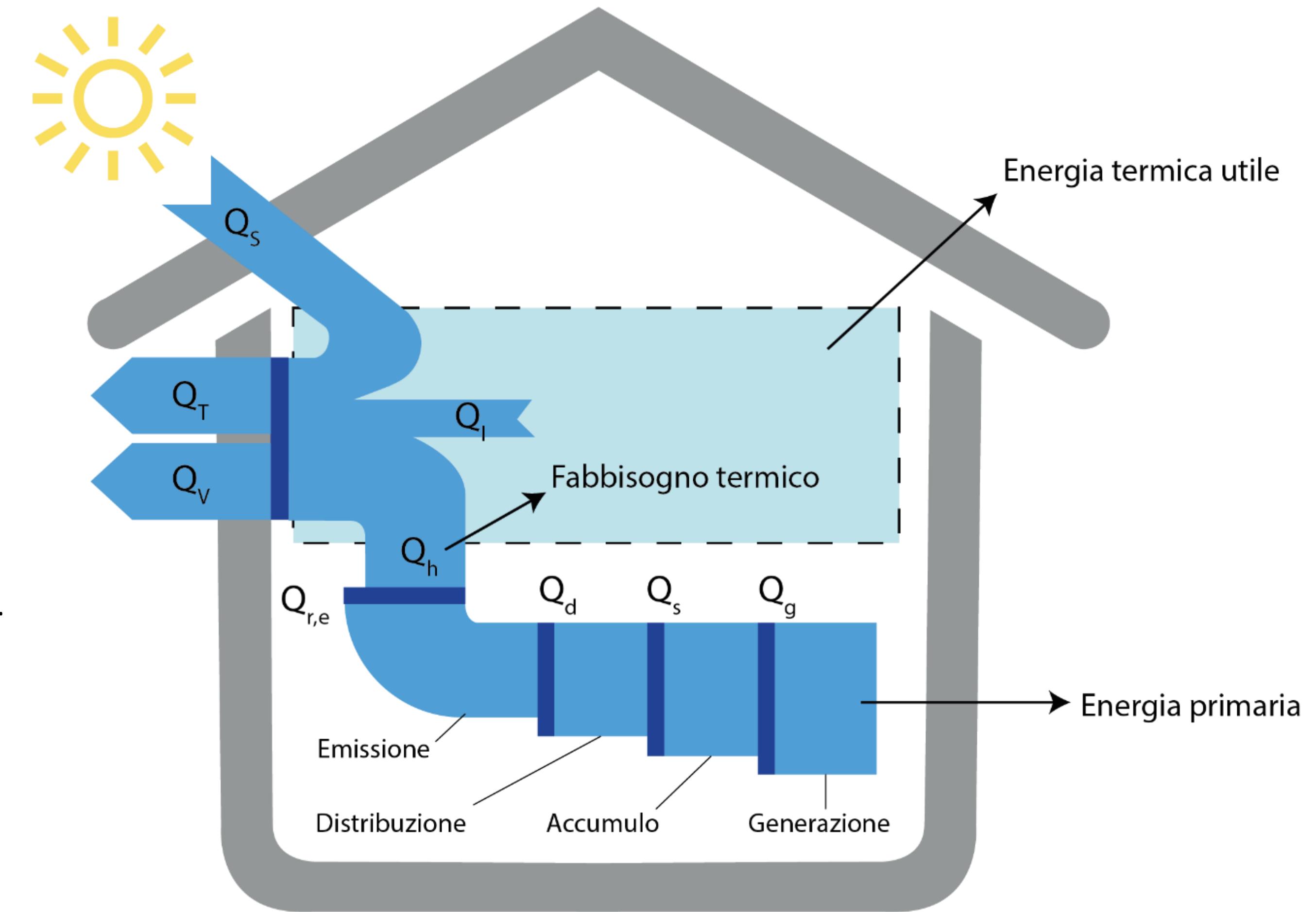
Bilancio energetico involucro:

Calcolo in regime quasi stazionario UNI TS 11300-1

Fabbisogno di energia primaria:

Calcolo degli impianti

UNI TS 11300-2-3-4-5-6



I metodi di calcolo semi stazionari e dinamici



Il metodo di calcolo semi-stazionario è una tecnica di analisi energetica che utilizza valori medi mensili per calcolare il fabbisogno energetico di un edificio, anziché considerare i cambiamenti continui di un'ora in ora. È una via di mezzo tra il calcolo stazionario (che utilizza valori stagionali) e quello dinamico (che simula ogni ora) e viene applicato in normative come la UNI TS 11300. Questo metodo considera un'irradianza solare media per mese e somma i contributi mensili per ottenere il fabbisogno annuale o stagionale. 

I metodi di calcolo semi stazionari e dinamici

❖ AI Overview

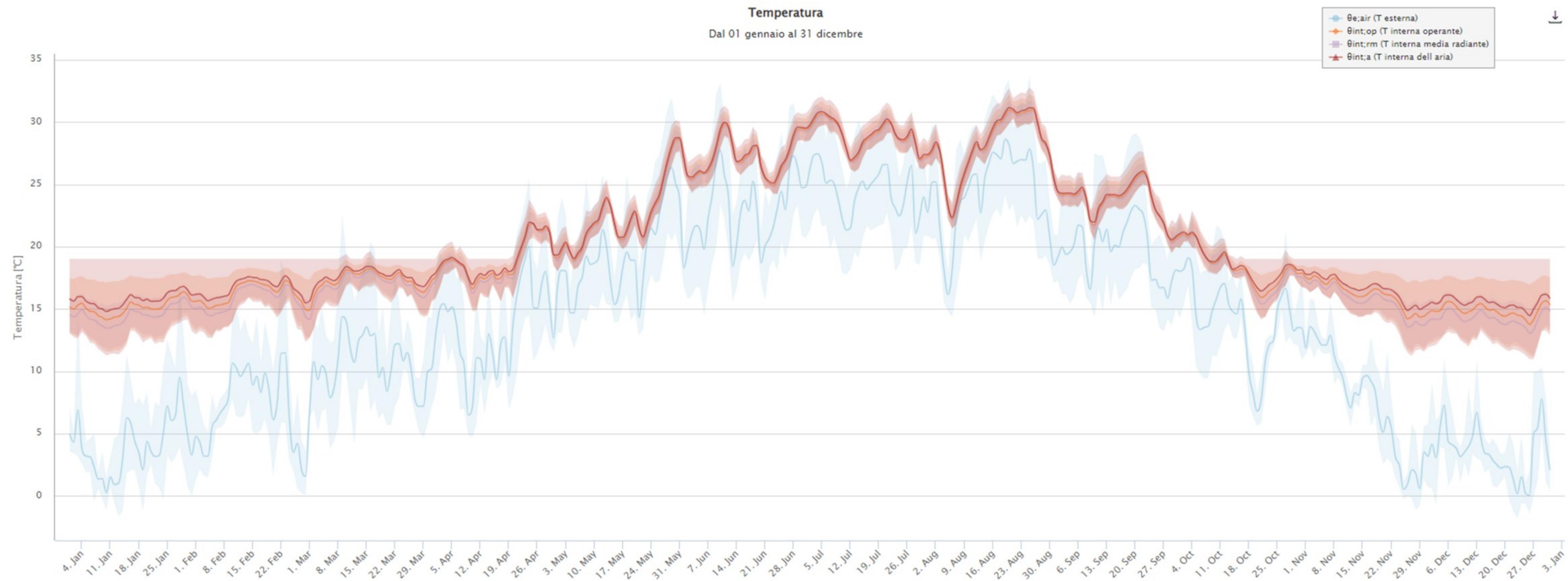
Il calcolo dinamico è un metodo di simulazione energetica che analizza le prestazioni di un edificio ora per ora, tenendo conto dell'interdipendenza tra i risultati di calcoli consecutivi e utilizzando dati climatici orari precisi. A differenza dei metodi stazionari, che si basano su medie mensili e calcoli indipendenti tra loro, il calcolo dinamico permette una rappresentazione più fedele del comportamento energetico reale dell'edificio-impianto nel tempo, simulando variazioni dovute a fattori come l'illuminazione, l'occupazione e l'uso degli impianti.

I metodi di calcolo semi stazionari e dinamici

Principi chiave:

- **Approccio temporale:** Discretizza il tempo in intervalli molto brevi (generalmente orari) per valutare i flussi energetici in tempo reale.
- **Fattore di memoria:** Il calcolo di un intervallo di tempo tiene conto dello stato termico degli intervalli precedenti, a differenza del calcolo stazionario che non ha memoria.
- **Simulazione dettagliata:** Permette di definire profili di occupazione, carichi interni, impostazioni degli impianti e condizioni di comfort in modo molto preciso, ora per ora, su base annuale.
- **Modello matematico:** Si basa su modelli fisici a parametri concentrati (RC), che simulano il comportamento termico di ogni elemento disperdente. 

I metodi di calcolo semi stazionari e dinamici



ISNOVA

I metodi di calcolo semi stazionari e dinamici

Profilo d'uso delle zone climatizzate

Zone-locali **Serramenti**

Edificio

- Unità immobiliare 01** --70°
 - Zona 01 E.1(1) [H·W]
 - Locale giorno 1 Su=23,1
 - Locale notte 1 Su=18,1
- Unità immobiliare 02** -
 - Zona 2 E.1(1) [H·W]
 - Locale notte 2 Su=17,1
 - Locale giorno 2 Su=23,1
- Unità immobiliare 03** -
 - Interno 3 vero E.1(1) [H·W]
 - Locale giorno 3 Su=23,1
 - Locale notte3 Su=18,1
- Unità immobiliare 04** -
 - Interno 4 E.1(1) [H·W]
 - Locale notte 4 Su=17,1
 - Locale giorno 4 Su=23,1

Profilo d'uso di: Interno 4

L **M** **M** **G** **V** **S** **D**

GENNAIO							FEBBRAIO							MARZO							APRILE							MAGGIO							GIUGNO						
L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D
					1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7							
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7	8	9							
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16							
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23							
25	26	27	28	29	30	31								29	30	31					26	27	28	29	30		24	25	26	27	28	29	30								
LUGLIO							AGOSTO							SETTEMBRE							OTTOBRE							NOVEMBRE							DICEMBRE						
					1	2	3	4		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7					
5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14							
12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19	11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21							
19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26	18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28							
26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30				25	26	27	28	29	30	31	29	30												
							30	31																																	

L **M** **M** **G** **V** **S** **D**

Salva TUTTI i Mercoledì **Programmazione solo per questo giorno** **Annulla** **Modifica**

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	19	19	19	19	OFF	19	19	19	19	OFF	OFF							
	OFF	OFF																						
	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	63,46	
	EXT	EXT																						
	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	0	0	0	0	0	0	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	273,8	
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,05	

Mostra/nascondi opzioni di calcolo

ISNOVA

INTRODUZIONE ALLA NORMA UNI EN ISO 52016

LA NORMA DI CALCOLO DINAMICO

21 giugno 2017

EN ISO 52016-1:2017 - *“Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures”*

Sostituisce:

EN ISO 13790:2008 - *“Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling”*

EN ISO 13792:2012 - *“Thermal performance of buildings - Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling - Simplified methods”*

EN ISO 13791:2012 - *“Thermal performance of buildings - Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling - General criteria and validation procedures”*

EN 15255:2007 - *“Energy performance of buildings - Sensible room cooling load calculation - General criteria and validation procedures”*

EN 15265:2007 - *“Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures”*

ISNOVA

INTRODUZIONE ALLA NORMA UNI EN ISO 52016

LA NORMA DI CALCOLO DINAMICO

Il **1° marzo 2018** è stata pubblicata in Italia la norma UNI EN ISO 52016:2018, in vigore in Europa.

Questa nuova normativa **abolisce completamente il metodo di calcolo stagionale, modifica il metodo di calcolo mensile** ed opera una radicale **riscrittura del metodo di calcolo orario** definendo un metodo di calcolo dinamico orario per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti.

Il metodo di calcolo dinamico orario garantisce risultati più attendibili perché tiene conto delle condizioni d'uso reali dell'edificio e inoltre, **è comprensibile, altamente riproducibile e trasparente**.

Le principali novità introdotte sono:

- Abolizione del metodo di calcolo stagionale
- Revisione del metodo di calcolo mensile
- Integrazione all'interno del gruppo di norme EPB come specificato nella norma ISO 52000-1
- Integrazione del calcolo dei carichi termici estivi ed invernali
- **Introduzione di un nuovo metodo di calcolo orario più affidabile e più chiaro da applicare.**

INTRODUZIONE ALLA NORMA UNI EN ISO 52016

VANTAGGI DEL CALCOLO DINAMICO

- un bilancio energetico estivo ed in invernale più realistico;
- una valutazione previsionale dei consumi di energia primaria;
- una valutazione dei parametri ambientali (temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria);
- una più corretta valutazione delle potenze termiche dei componenti sia in inverno che in estate;
- una valutazione più corretta degli effetti della radiazione solare, in quanto viene simulato il percorso solare ora per ora;
- una valutazione più corretta degli effetti dei sistemi di ombreggiamento o degli effetti delle ombre portate dagli altri edifici;
- una valutazione corretta degli apporti energetici dovuti ai componenti bioclimatici come serre o sistemi a guadagno diretto;
- una valutazione delle prestazioni energetiche di involucri particolari come facciate a doppia pelle o pareti ventilate.

UNI EN ISO 52016: LE STRUTTURE OPACHE

MODELLO DI CALCOLO R-C

Il metodo di calcolo dinamico della nuova norma EN ISO 52016 è basato su un modello a parametri concentrati RC (resistenza capacità) dove **ogni elemento disperdente** viene rappresentato tramite un circuito equivalente RC a parametri concentrati costituito da

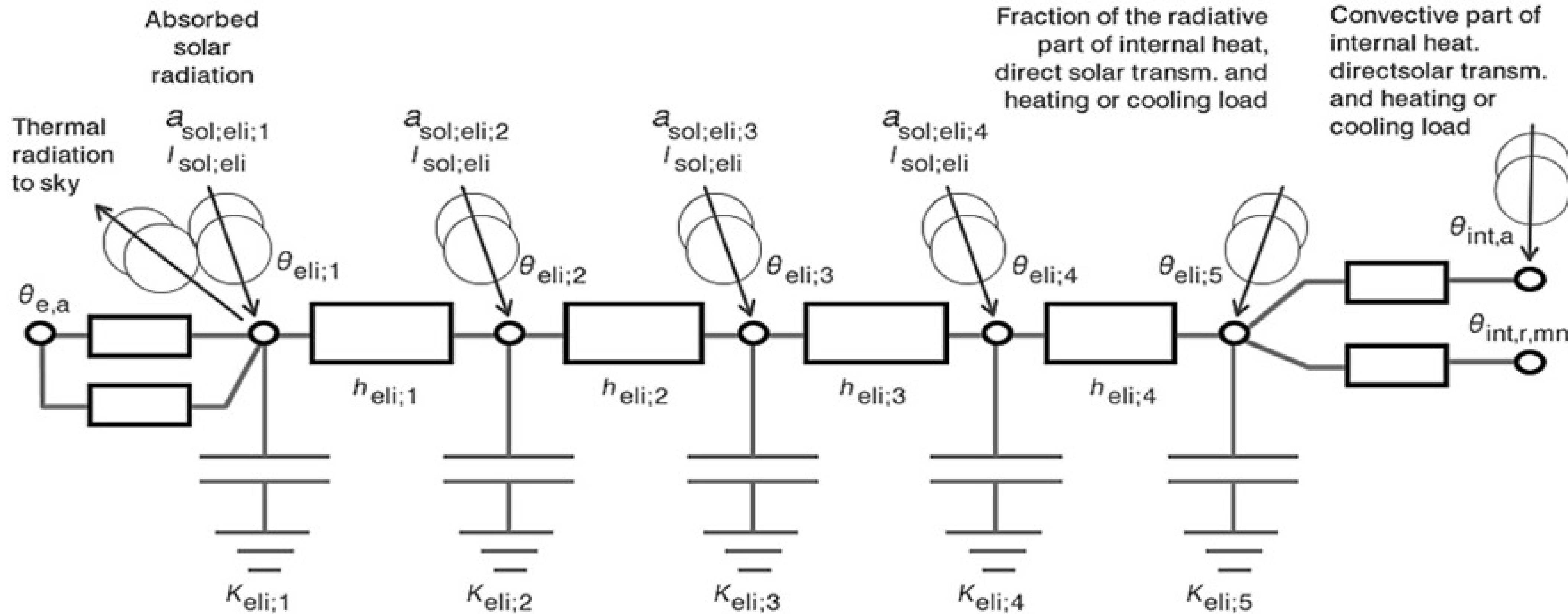
- 5 nodi.
- 4 resistenze.
- 5 condensatori.

A cui si aggiungono:

- 3 nodi per la temperatura dell'aria
- 2 resistenze convettive
- 2 resistenze radiative

UNI EN ISO 52016: LE STRUTTURE OPACHE

MODELLO DI CALCOLO R-C

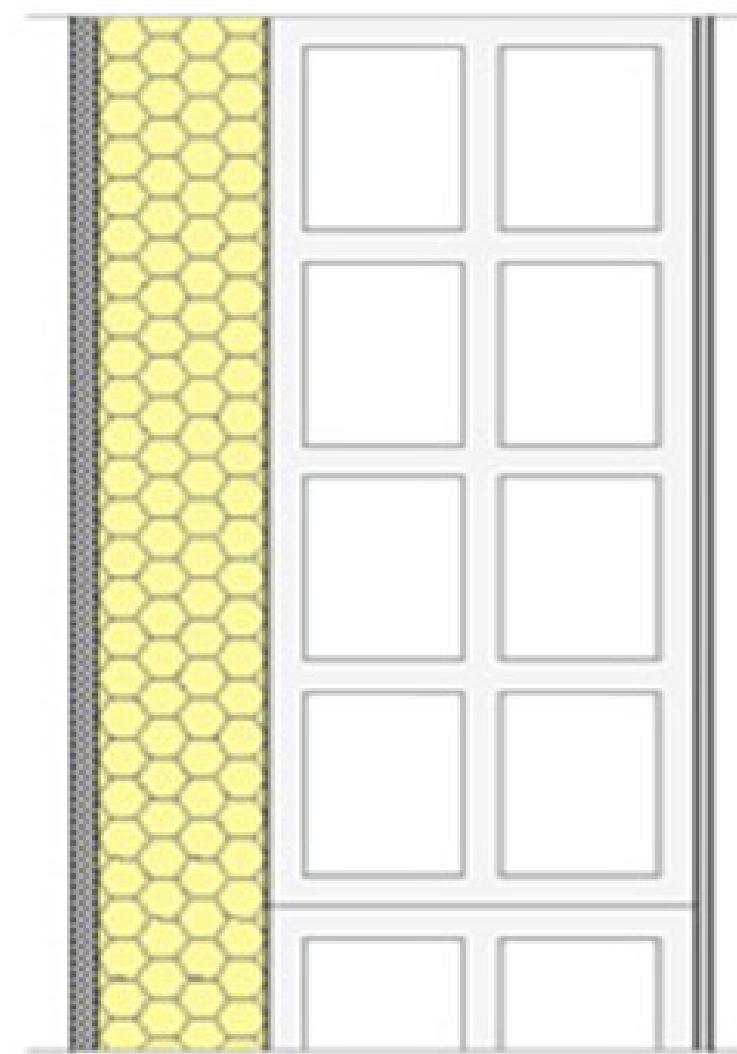


UNI EN ISO 52016: LE STRUTTURE OPACHE

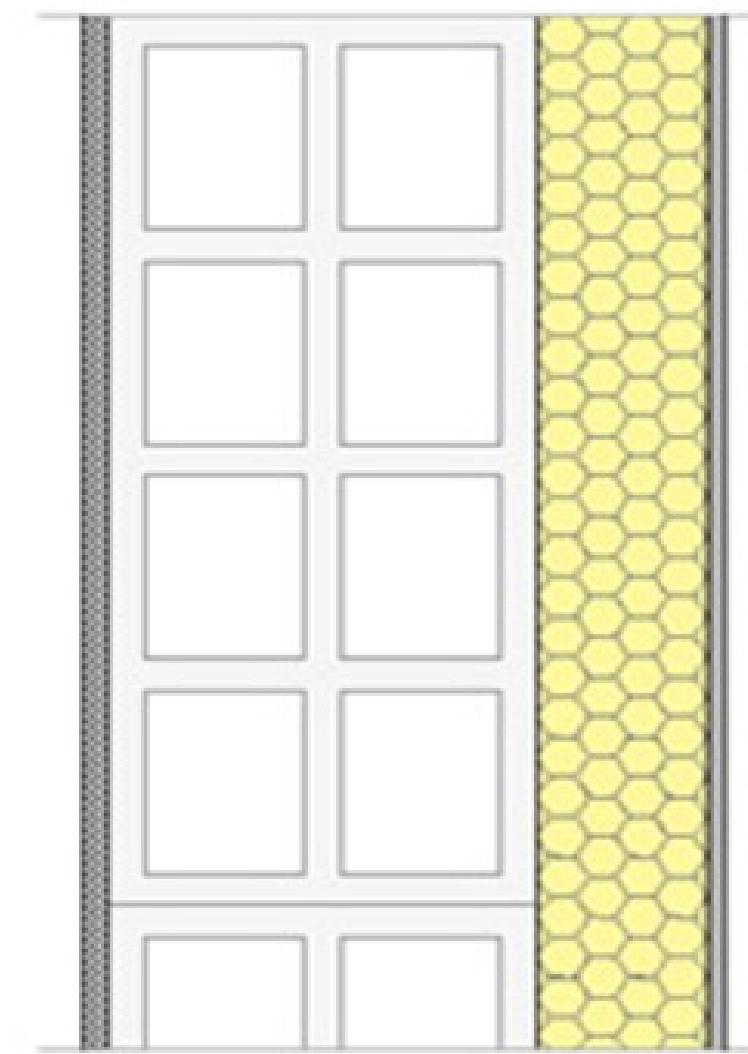
MODELLO DI CALCOLO R-C

Metodo per determinare i valori delle conduttanze $h_{eli:n}$ e delle capacità termiche specifiche $k_{eli;n}$ da attribuire al modello RC.

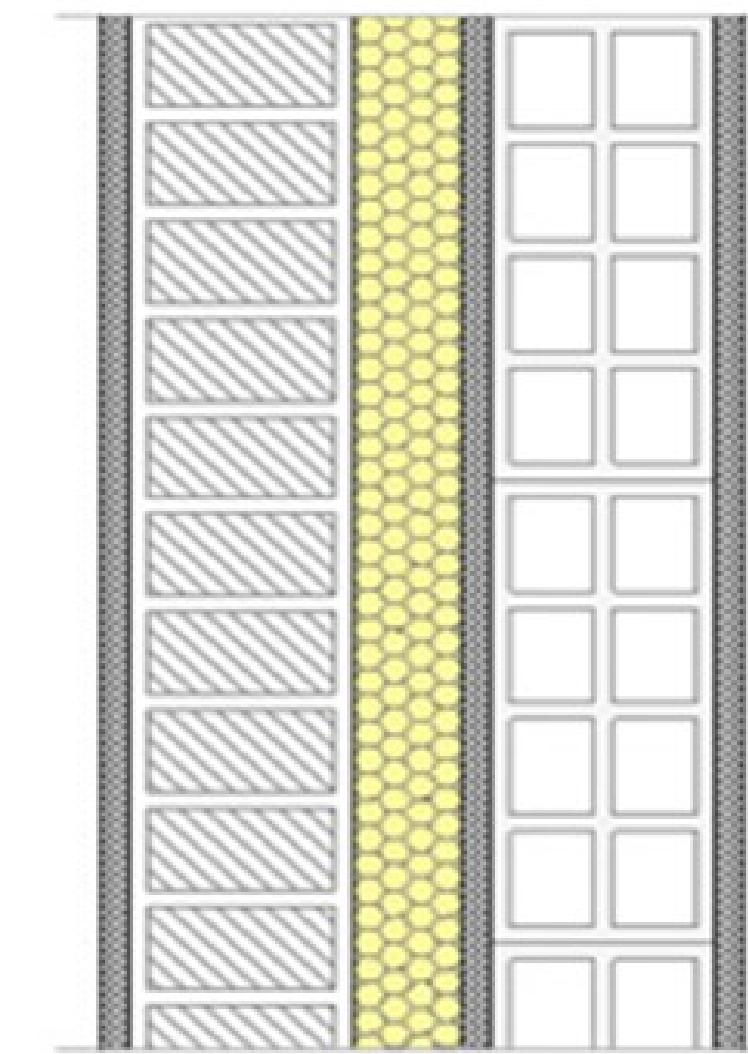
Sono previste 5 differenti casi di posizionamento della massa termica indicati nella norma



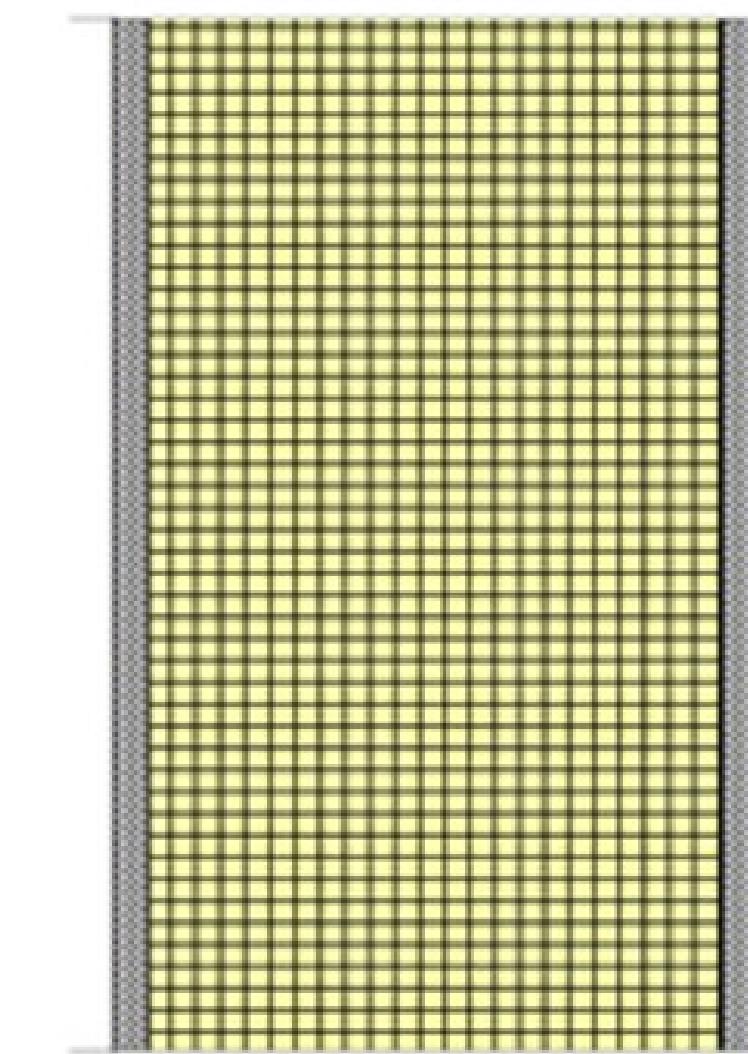
Tipo I



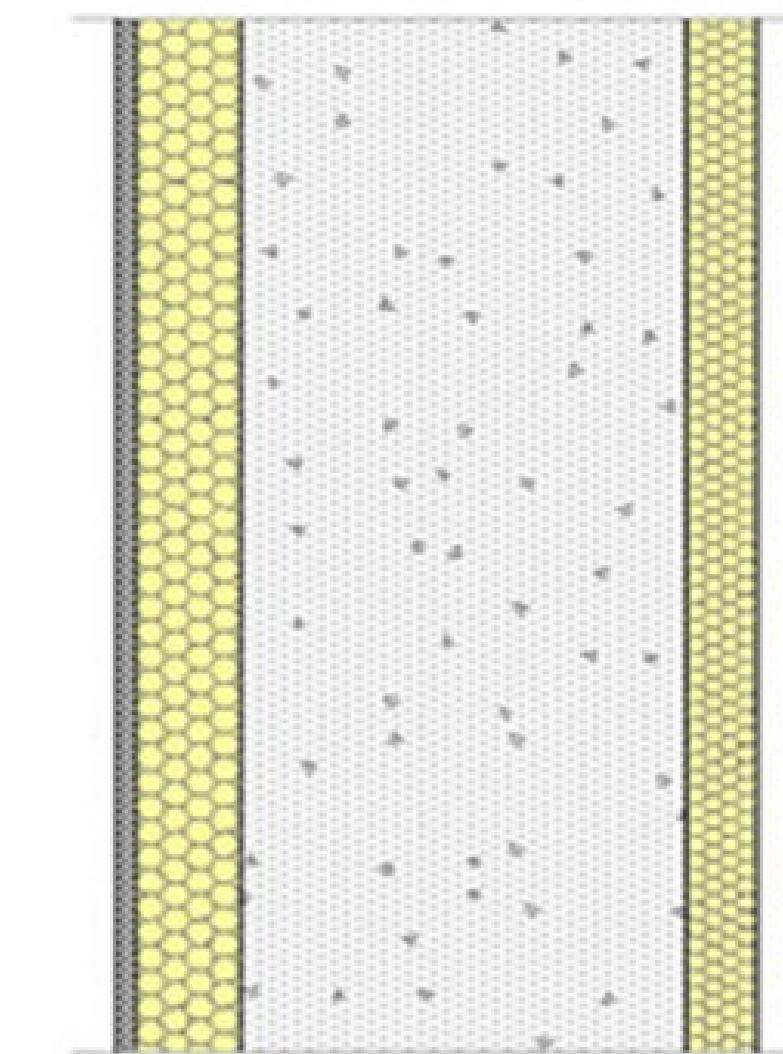
Tipo E



Tipo EI



Tipo D



Tipo M

UNI EN ISO 52016: LE STRUTTURE OPACHE

MODELLO DI CALCOLO R-C

1 Calcolo di R_{eli}

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

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

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

UNI EN ISO 52016: LE STRUTTURE OPACHE

MODELLO DI CALCOLO R-C
2 Calcolo di $k_{m,eli}$

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

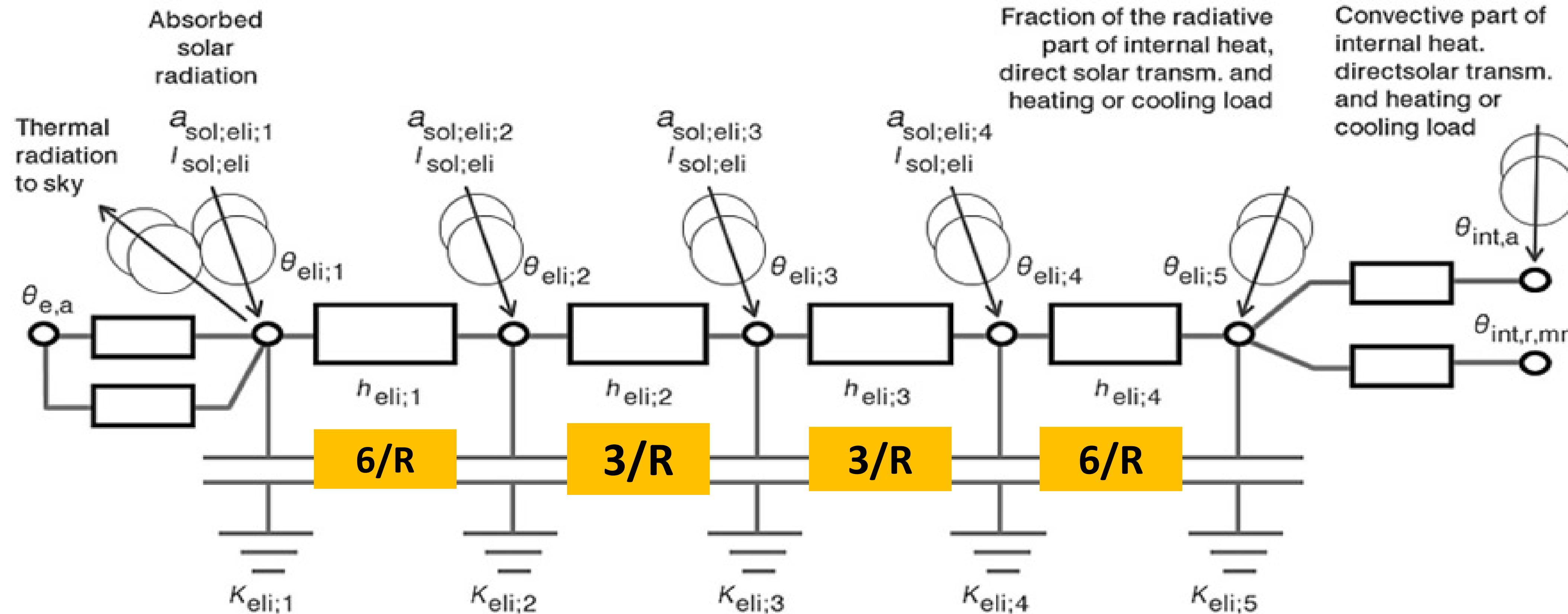
Thermal transmittance (U_{eli} - W/(m ² ·K))	0,224
Thermal resistance (R_{eli} - m ² ·K/W)	4,294
$1/R$ [W/(m ² ·K)]	0,223
$K_{m;eli}$ [J/(m ² ·K)]	306 000

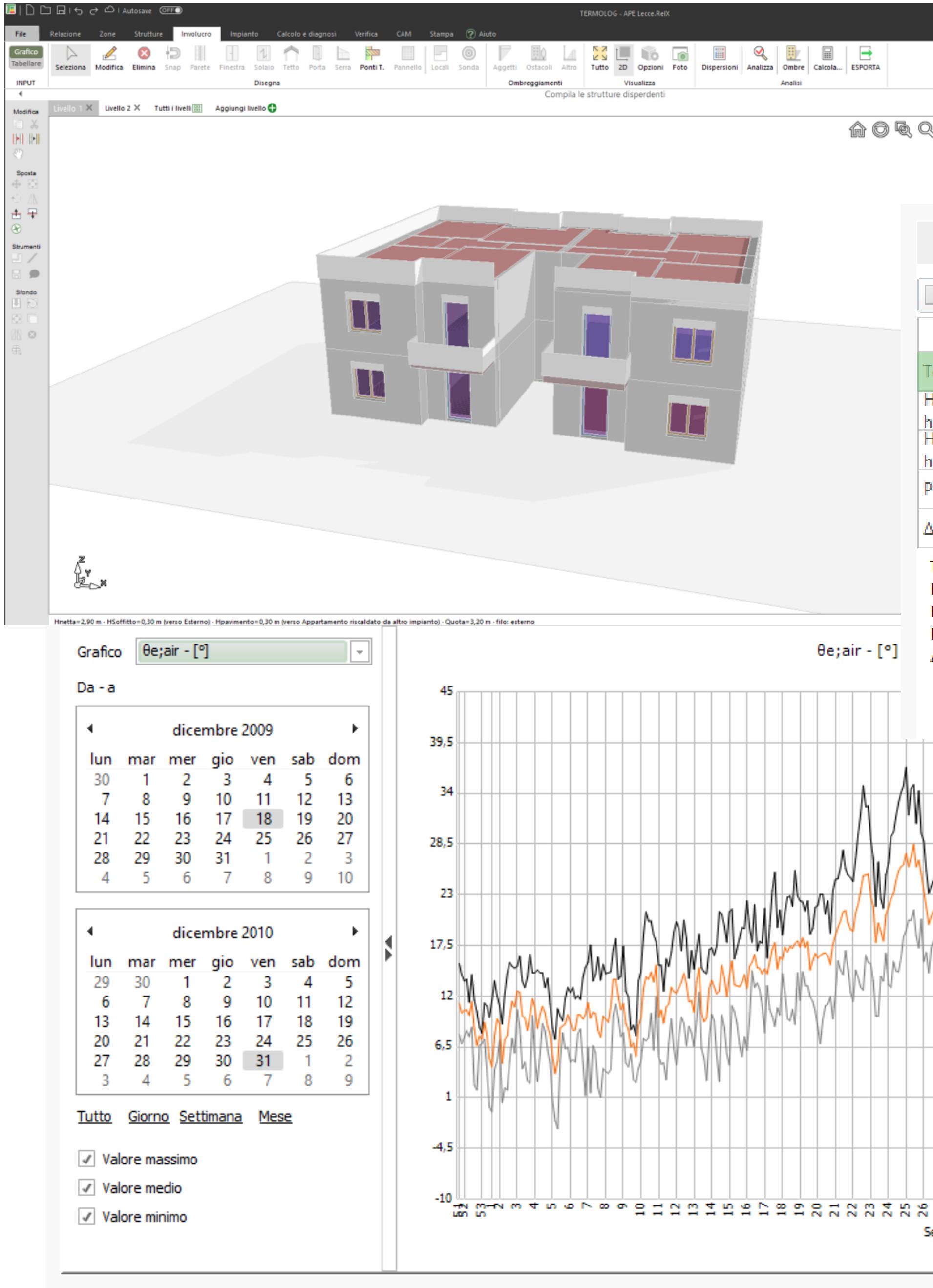
$$\begin{aligned} \kappa_{m;eli} &= 1700 \cdot 1050 \cdot 0,025 + 1400 \cdot 920 \cdot 0,19 + 30 \cdot 1500 \cdot 0,15 + 1600 \cdot 1050 \cdot 0,003 + 1600 \cdot 1050 \cdot 0,003 \\ &= 306175 \frac{J}{m^2 K} \end{aligned}$$

UNI EN ISO 52016: LE STRUTTURE OPACHE

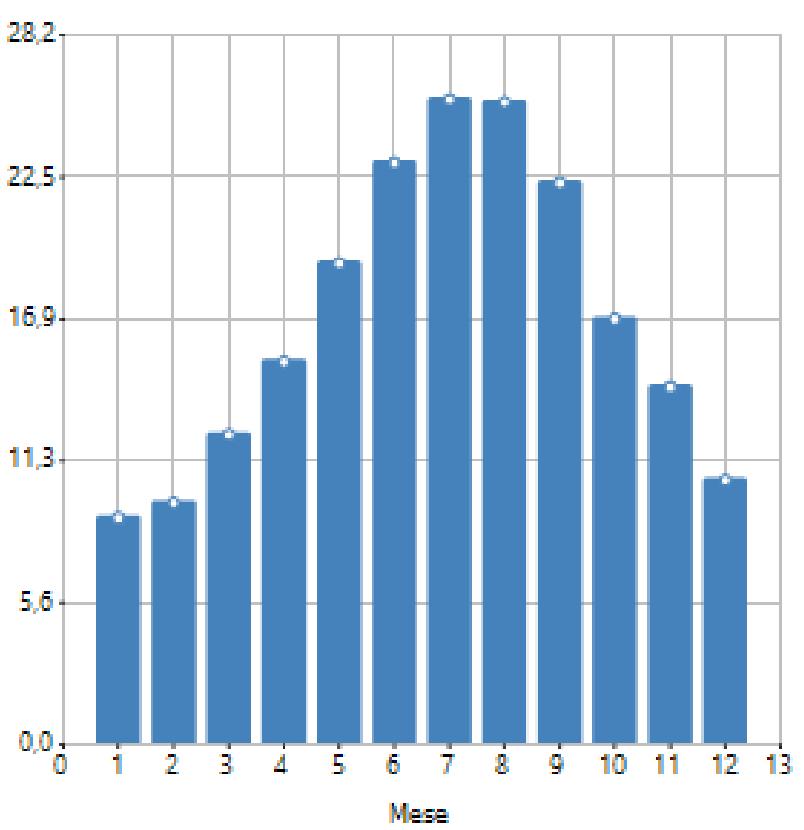
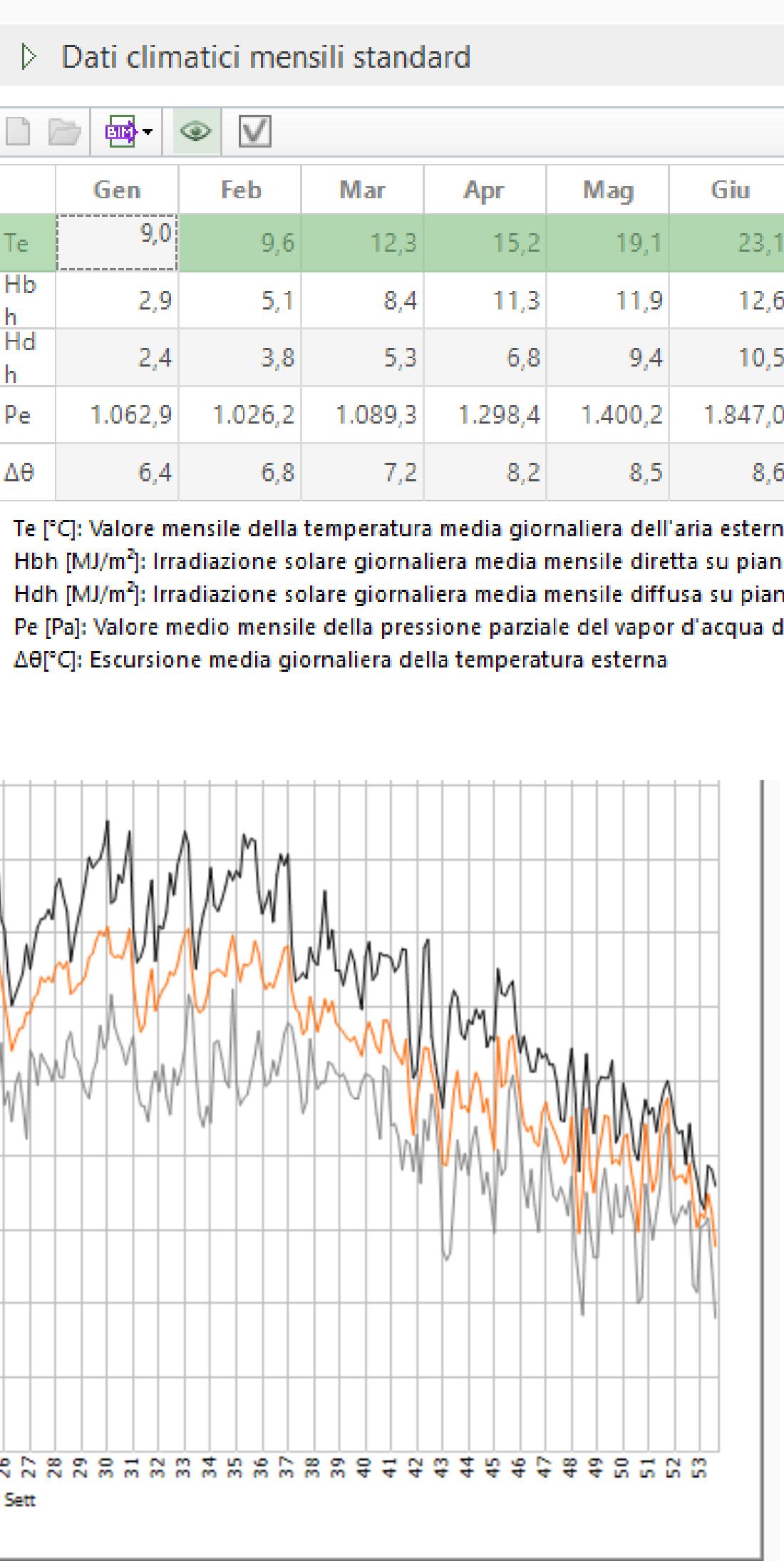
MODELLO DI CALCOLO R-C

In tutti i casi, indipendentemente dalla localizzazione della massa termica, la resistenza totale è suddivisa sulle conduttanze tra i nodi in questo modo



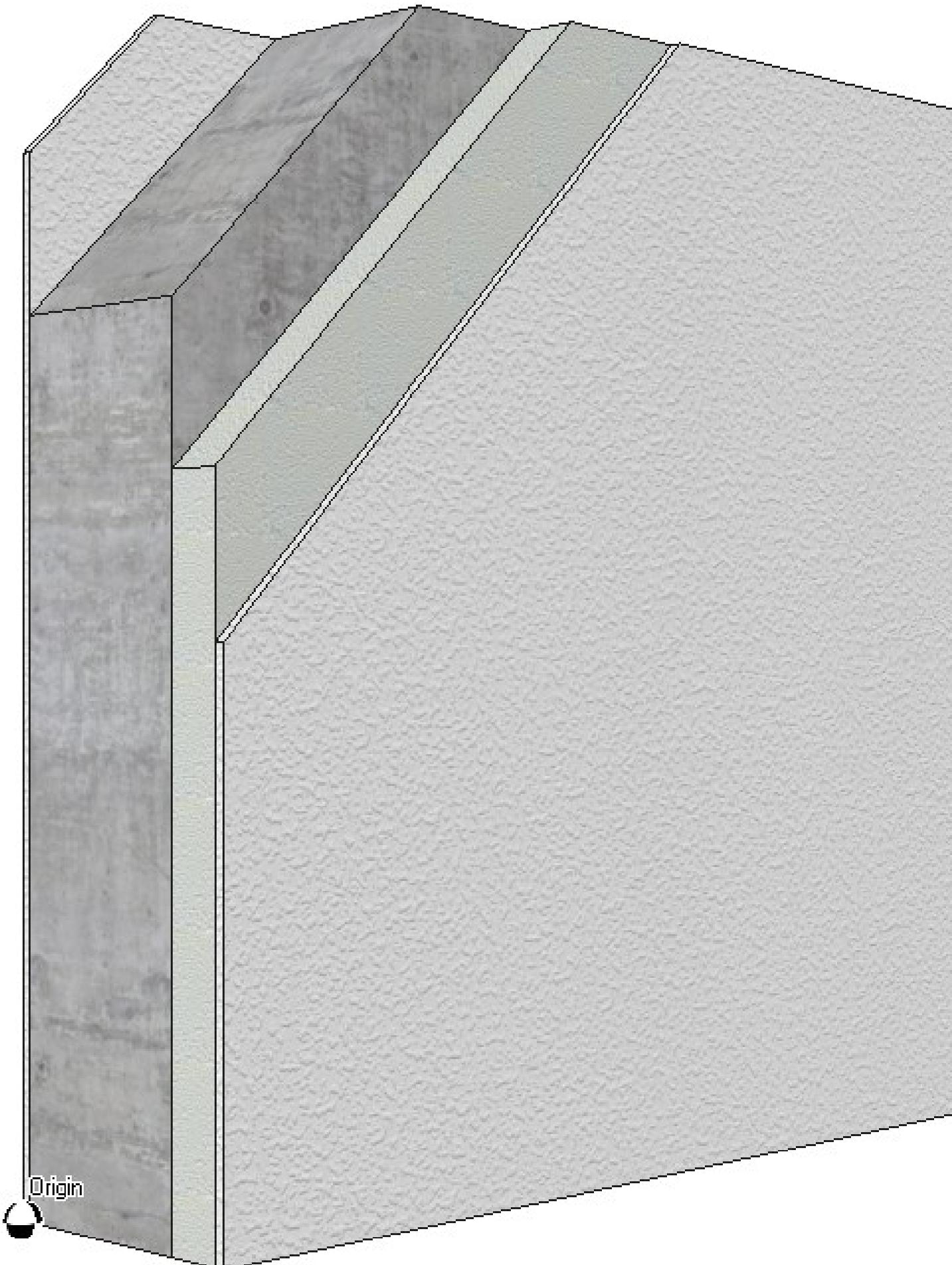


Nardò



ISNOVA

Nardò – cappotto esterno

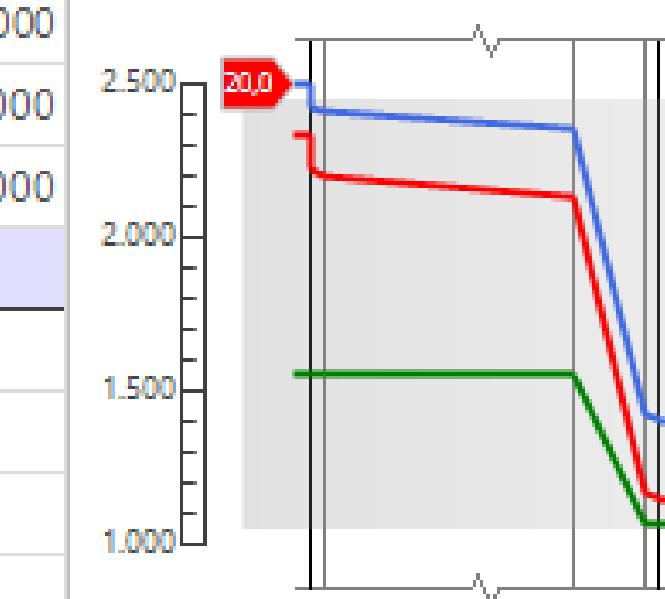


INTERNO

	Strati	Spessore [mm]	R [m ² ·K/W]	λ [W/m·K]	ρ [kg/m ³]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)		0,130	7,690	
A	Intonaco interno	20,0	0,029	0,700	1.400.000
B	Blocchi in pietra	360,0	0,150	2,400	2.500.000
C	Polistirene espanso estruso con pelle (30 kg/m ³)	100,0	2,778	0,036	30.000
D	Intonaco esterno	20,0	0,022	0,900	1.800.000
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)		0,040	25.000	

Temperatura Pressione P/T

Gennaio



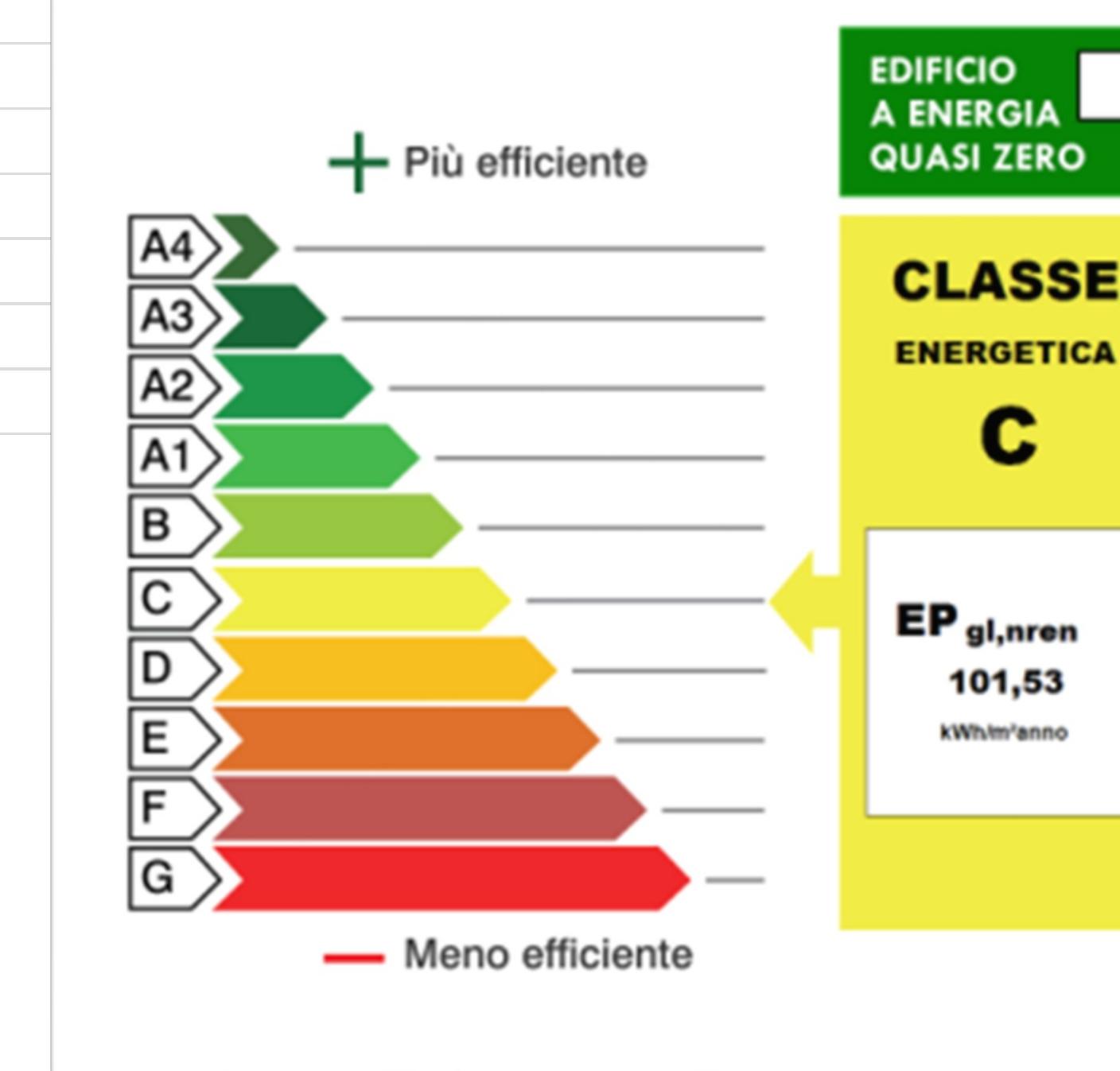
Temperatura [°C]
Pressione di vapore [Pa]
Pressione di saturazione [Pa]

Trasmittanza OK
 $0,318 < 0,400 \text{ W/m}^2\text{K}$
(Legge 10, Zona C, 2020)

Condensa superficiale assente
 $Frsi_{max} < Frsi$
 $0,731 < 0,924$ (Gennaio)

Condensa assente

Massa frontale
 $903 > 230 \text{ kg/m}^2$
Trasmittanza termica periodica
 $YIE = 0.02 \text{ W/m}^2\text{K} \leq 0.1$



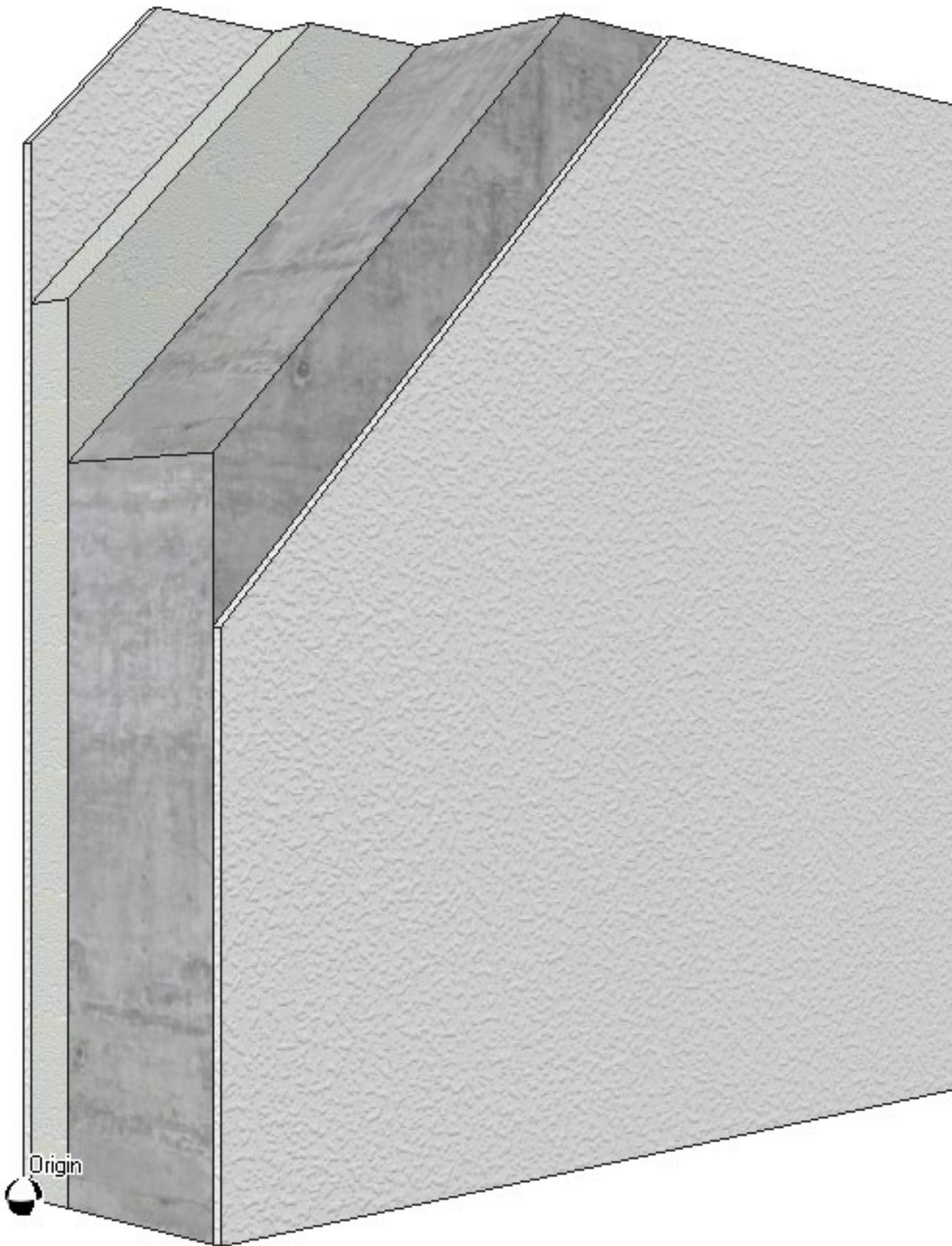
ISNOVA

Nardò

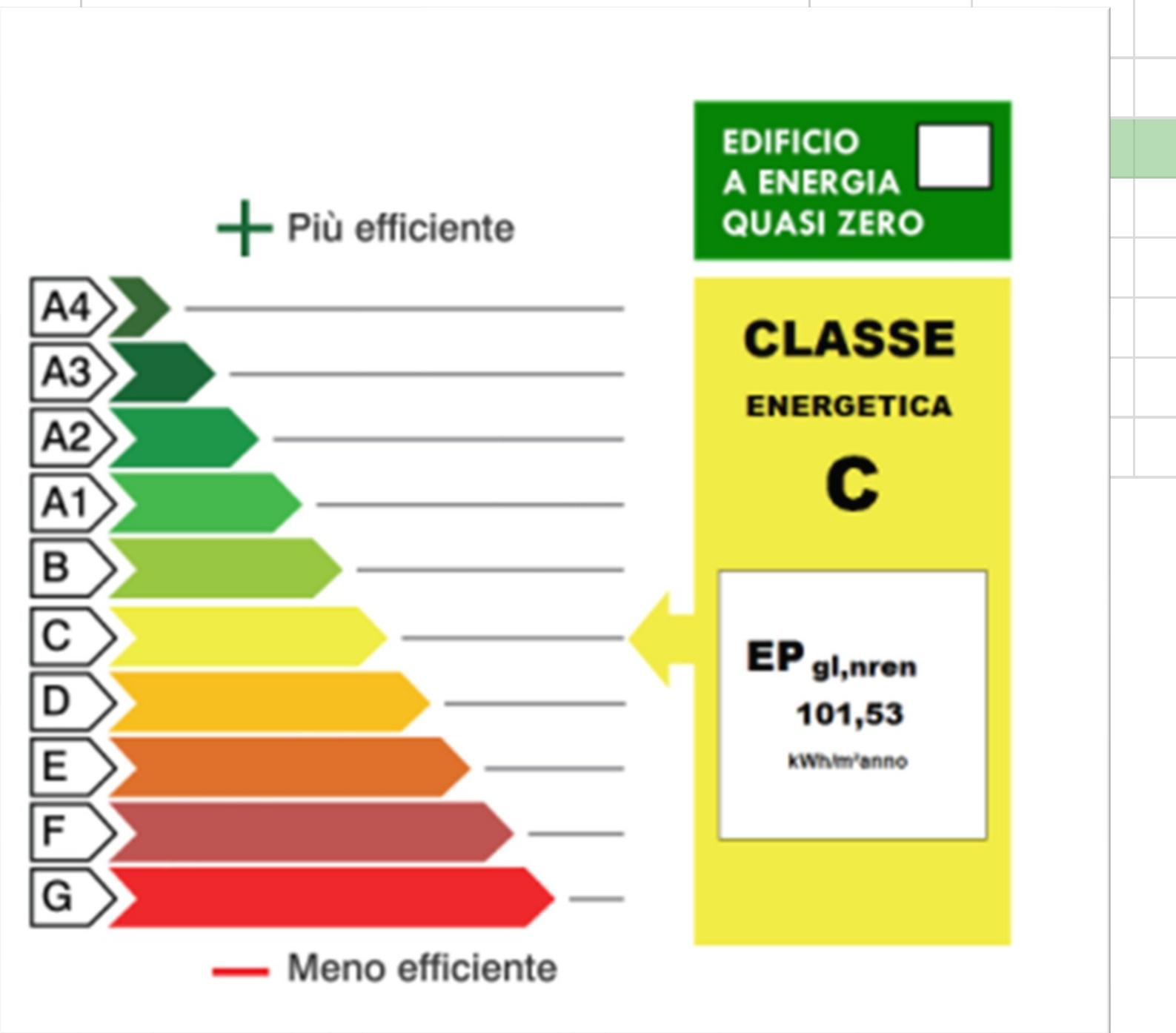
mese	Temperatura interna media radiante [°C]					Temperatura interna aria [°C]					Temperatura interna operante [°C]				
	max	min	avg	g.max	g.min	max	min	avg	g.max	g.min	max	min	avg	g.max	g.min
gennaio	17,2	12,4	14,4	17/01 13:00	26/01 07:00	17,7	11,9	14,4	17/01 13:00	26/01 07:00	17,5	12,2	14,4	17/01 13:00	26/01 07:00
febbraio	19,0	12,6	15,8	21/02 14:00	01/02 07:00	19,5	12,4	15,8	21/02 14:00	01/02 07:00	19,2	12,5	15,8	21/02 14:00	01/02 07:00
marzo	23,8	14,9	19,5	31/03 15:00	01/03 07:00	24,3	14,8	19,4	31/03 15:00	01/03 07:00	24,0	14,8	19,4	31/03 15:00	01/03 07:00
aprile	28,2	21,2	23,9	30/04 15:00	01/04 05:00	28,6	20,7	23,8	30/04 15:00	04/04 05:00	28,4	20,9	23,8	30/04 15:00	04/04 05:00
maggio	34,0	24,8	28,4	31/05 16:00	15/05 04:00	34,6	24,3	28,4	29/05 16:00	15/05 04:00	34,3	24,6	28,4	29/05 16:00	15/05 04:00
giugno	37,1	29,9	33,6	18/06 16:00	05/06 05:00	37,4	29,6	33,5	18/06 16:00	05/06 03:00	37,3	29,8	33,6	18/06 16:00	05/06 03:00
luglio	39,2	33,6	36,5	23/07 16:00	01/07 04:00	39,6	33,2	36,3	24/07 15:00	02/07 03:00	39,4	33,5	36,4	24/07 15:00	01/07 04:00
agosto	39,3	34,1	36,7	22/08 15:00	01/08 04:00	39,7	33,5	36,6	22/08 15:00	04/08 04:00	39,5	33,8	36,6	22/08 15:00	01/08 04:00
settembre	38,3	28,0	33,3	05/09 14:00	30/09 05:00	38,7	27,6	33,0	05/09 14:00	30/09 05:00	38,5	27,8	33,1	05/09 14:00	30/09 05:00
ottobre	31,9	21,3	26,4	03/10 14:00	31/10 06:00	32,4	20,8	26,2	03/10 14:00	31/10 06:00	32,1	21,1	26,3	03/10 14:00	31/10 06:00
novembre	24,9	16,9	20,9	05/11 12:00	24/11 06:00	25,3	16,3	20,8	02/11 13:00	24/11 06:00	25,1	16,6	20,9	05/11 12:00	24/11 06:00
dicembre	19,6	13,4	16,4	02/12 13:00	31/12 06:00	20,0	12,9	16,4	02/12 13:00	31/12 06:00	19,8	13,2	16,4	02/12 13:00	31/12 06:00

ISNOVA

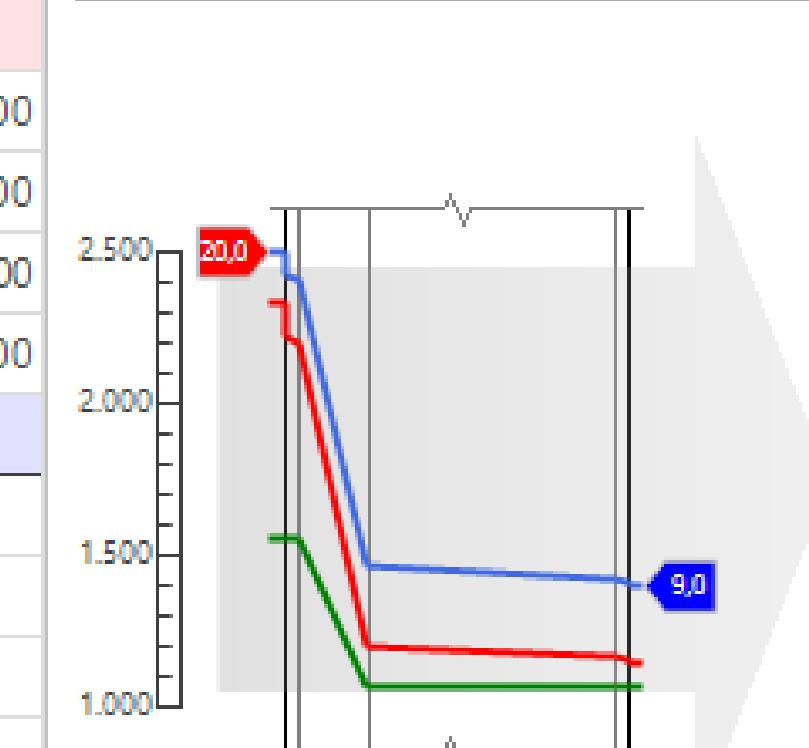
Nardò – Cappotto interno



INTERNO					
	Strati	Spessore [mm]	R [m²·K/W]	λ [W/m·K]	ρ [kg/m³]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)		0,130	7,690	
A	Intonaco interno	20,0	0,029	0,700	1.400.000
B	Polistirene espanso estruso con pelle (30 kg/m³)	100,0	2,778	0,036	30.000
C	Blocchi in pietra	360,0	0,150	2,400	2.500.000
D	Intonaco esterno	20,0	0,022	0,900	1.800.000
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)		0,040	25.000	



Temperatura	Pressione	P/T
Gennaio		



- Trasmittanza OK
 $0,318 < 0,400 \text{ W/m}^2\text{K}$
(Legge 10, Zona C, 2020)
- Condensa superficiale assente
 $\text{Fr}_{\text{si max}} < \text{Fr}_{\text{si}}$
 $0,731 < 0,924$ (Gennaio)
- Condensa assente
- Massa frontale
 $903 > 230 \text{ kg/m}^2$
Trasmittanza termica periodica
 $\text{YIE} = 0,03 \text{ W/m}^2\text{K} \leq 0,1$

ISNOVA

Nardò

mese	Temperatura interna media radiante [°C]					Temperatura interna aria [°C]					Temperatura interna operante [°C]				
	max	min	avg	g.max	g.min	max	min	avg	g.max	g.min	max	min	avg	g.max	g.min
gennaio	23,8	6,0	13,8	17/01 13:00	26/01 07:00	23,6	6,0	13,8	17/01 13:00	26/01 07:00	23,7	6,0	13,8	17/01 13:00	26/01 07:00
febbraio	27,0	7,5	16,4	07/02 13:00	26/02 08:00	26,7	7,6	16,3	07/02 14:00	26/02 08:00	26,8	7,6	16,3	07/02 13:00	26/02 08:00
marzo	31,8	11,3	21,1	31/03 15:00	10/03 06:00	31,4	11,3	21,0	31/03 15:00	10/03 06:00	31,6	11,3	21,1	31/03 15:00	10/03 06:00
aprile	35,9	17,6	25,1	30/04 15:00	16/04 07:00	35,6	17,6	24,9	30/04 15:00	16/04 07:00	35,7	17,6	25,0	30/04 15:00	16/04 07:00
maggio	44,2	19,0	30,1	29/05 16:00	15/05 04:00	44,0	19,0	29,9	29/05 16:00	15/05 04:00	44,1	19,0	30,0	29/05 16:00	15/05 04:00
giugno	43,9	23,0	34,2	13/06 15:00	05/06 05:00	43,8	23,1	34,0	13/06 16:00	05/06 05:00	43,8	23,0	34,1	13/06 16:00	05/06 05:00
luglio	45,9	25,3	36,8	17/07 16:00	28/07 05:00	45,7	25,3	36,7	17/07 16:00	28/07 05:00	45,8	25,3	36,7	17/07 16:00	28/07 05:00
agosto	47,1	27,4	36,9	08/08 16:00	01/08 05:00	46,9	27,4	36,8	08/08 16:00	01/08 05:00	47,0	27,4	36,9	08/08 16:00	01/08 05:00
settembre	43,9	22,2	31,3	05/09 14:00	26/09 06:00	43,7	22,4	31,2	05/09 14:00	26/09 06:00	43,8	22,3	31,2	05/09 14:00	26/09 06:00
ottobre	38,9	14,8	24,7	03/10 14:00	19/10 06:00	38,7	14,7	24,6	03/10 15:00	19/10 06:00	38,8	14,8	24,6	03/10 15:00	19/10 06:00
novembre	30,9	7,1	19,6	02/11 14:00	24/11 06:00	30,8	7,2	19,6	02/11 14:00	24/11 07:00	30,8	7,1	19,6	02/11 14:00	24/11 06:00
dicembre	23,4	8,1	15,6	02/12 13:00	31/12 07:00	23,1	8,0	15,6	02/12 13:00	31/12 07:00	23,3	8,1	15,6	02/12 13:00	31/12 07:00

ISNOVA