

KLIMAHOUSE 2007

CONVEGNO FAST

Prestazioni estive dell'involucro edilizio: soluzioni innovative per la progettazione

Il ruolo dell'isolamento nel comportamento termico dell'edificio durante la stagione estiva

Ing. Matteo Serraino

Dipartimento di Energetica

Politecnico di Torino



Sommario

- La legislazione nazionale (D.Lgs 192/05) e locale (allegati energetico-ambientali ai regolamenti edilizi) in materia di raffrescamento
- Le caratteristiche termiche dinamiche di involucro
- Confronto tra soluzioni tecnologiche differenti:
 - Attenuazione, sfasamento e massa efficace delle strutture
 - Calcolo della temperatura dell'aria all'interno degli ambienti non climatizzati
 - Calcolo del carico frigorifero negli ambienti climatizzati
- Indicazioni per la redazione di una legislazione energetica sul raffrescamento



Il D.Lgs 192/05 ed il raffrescamento

- Ambiti di applicazione: categorie E1, E2, E3, E4, E7:
 - **Controllo solare**: verifica della presenza e dell'efficacia di elementi di schermatura delle superfici vetrate
 - Zone climatiche: A, B, C, D in cui il valor medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione, sia maggiore o uguale a 250 W/m^2 :
 - **massa superficiale** superiore a 230 kg/m^2
 - **materiali innovativi** che permettano di contenere le oscillazioni di temperatura negli ambienti in funzione dell'irraggiamento solare (documentazione e certificazione dei materiali)



Allegato energetico-ambientale al regolamento edilizio: Torino (requisiti volontari incentivati)

- **Accumulo termico:**

- coefficiente di sfasamento delle pareti

- ≥ 9 h (livello 1)
- ≥ 10 h (livello 2)

- coefficiente di sfasamento delle coperture

- ≥ 10 h (livello 1)
- ≥ 11 h (livello 2)

- **Controllo della radiazione solare:**

- ombreggiamento degli elementi trasparenti $> 70\%$
verificato alle ore 11, 13, 15, 17 del 21/07

Allegato energetico-ambientale al regolamento edilizio: Firenze

- Il valore massimo della **temperatura operante** dell'ambiente più sfavorito calcolata in assenza di impianti di climatizzazione non deve superare il valore massimo della temperatura esterna
- Realizzazione di:
 - **tetti ventilati**
 - **tetti verdi**
- Evitare l'ingresso della radiazione solare diretta in estate mediante l'uso di aggetti o **schermature** che non ne impediscano l'ingresso in inverno



Provvedimenti locali: Emilia Romagna

- Il **fattore di inerzia termica**, che misura “*l’attitudine del contorno opaco di uno spazio ad accumulare calore e a riemetterlo lentamente e con ritardo verso lo spazio stesso*”, deve essere maggiore di $1,5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ di pavimento
- L’**ombreggiamento** degli elementi trasparenti deve essere superiore all’80% con verifica alle ore 11, 13, 15, 17 del 21/07



Flusso termico per trasmissione

Riferimenti normativi:

EN ISO 13786 Caratteristiche termiche dinamiche

UNI 10375 Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti

$$\Phi/A = U (T_{e,m} - T_i) + f_a U (T_{e,t-\varphi} - T_{e,m})$$

Parametri termofisici di involucro:

U: trasmittanza [W/(m² K)]

f_a: fattore di attenuazione [-]

φ: sfasamento [h]

Condizioni al contorno di temperatura:

T_i: Temperatura dell'aria interna

T_{e,m}: Temperatura sole-aria media giornaliera: $T_{e,t} = T_{ae,t} + (\alpha I_t / h_e)$

T_{e,t-φ}: Temperatura sole-aria all'ora t-φ

Parete senza capacità termica: f_a = 1 ; φ = 0

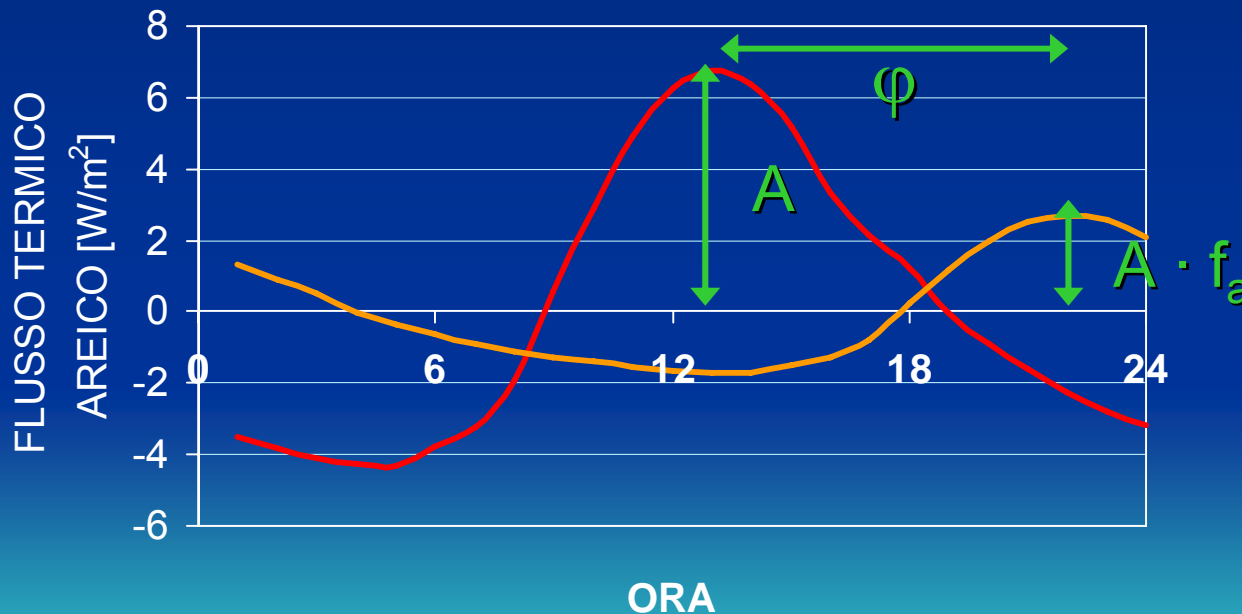
$$\Phi/A = U (T_{e,t} - T_i)$$

Il significato di attenuazione e sfasamento

$$\Phi/A = U (T_{e,m} - T_i) + f_a U (T_{e,t-\varphi} - T_{e,m})$$

U: funzione di spessore (**s**), conducibilità (**λ**)

f_a , **φ** : funzione di spessore (**s**), conducibilità (**λ**),
calore specifico (**c**), densità (**ρ**)



Attenuazione:

Riduzione dei picchi di potenza

Sfasamento:

Flussi termici in ingresso nelle ore serali quando la ventilazione può contribuire al raffrescamento

— SENZA CAPACITA' TERMICA
— CON CAPACITA' TERMICA

Riduzione del flusso termico scambiato per trasmissione

$$\Phi/A = f_a U (T_{e,t-\varphi} - T_{e,m}) + U (T_{e,m} - T_i)$$

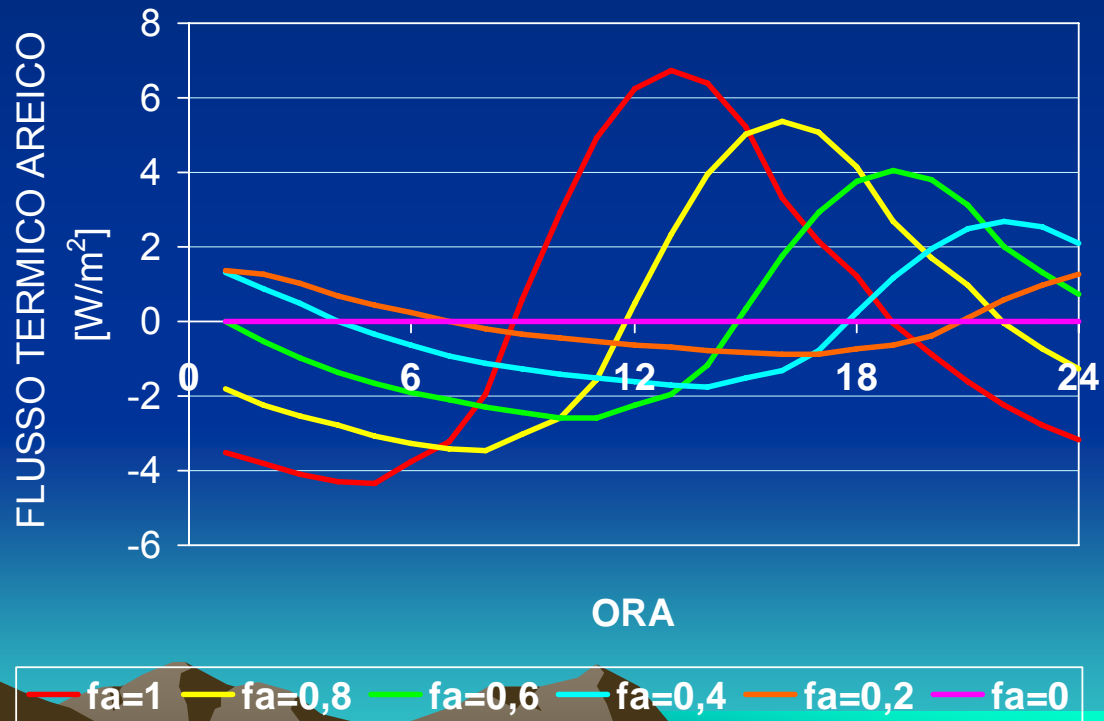
Riduzione del fattore di attenuazione

Bassi valori di trasmittanza offrono un contributo positivo sia in estate che in inverno

Attenuazione e sfasamento sono correlati

Riduzione della trasmittanza

Aumento dello sfasamento



Retrofit: isolante a bassa o alta diffusività termica ($\alpha = \lambda/\rho c$)?

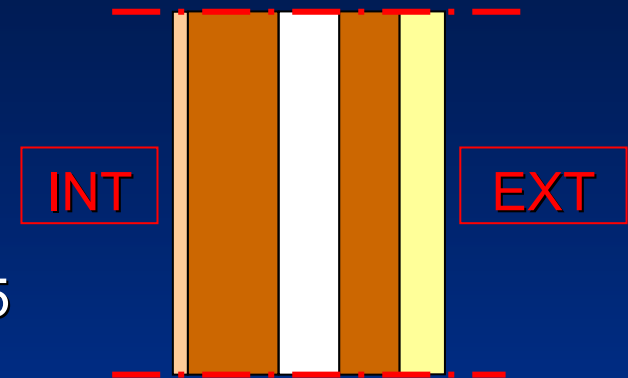
Parete esistente ($U=1,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; $f_a=0,46$; $\varphi=8 \text{ h}$):

Muratura a cassavuota in laterizio faccia a vista

Intervento di isolamento dall'esterno:

rispetto di $U_{\text{LIM}}= 0,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, secondo DLgs 192/05

Località: Genova. Zona climatica: D



Lana di roccia:

$\lambda=0,045 \text{ W/(m K)}$; $\rho=70 \text{ kg/m}^3$; $c=840 \text{ J/(kg K)}$

$\alpha = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

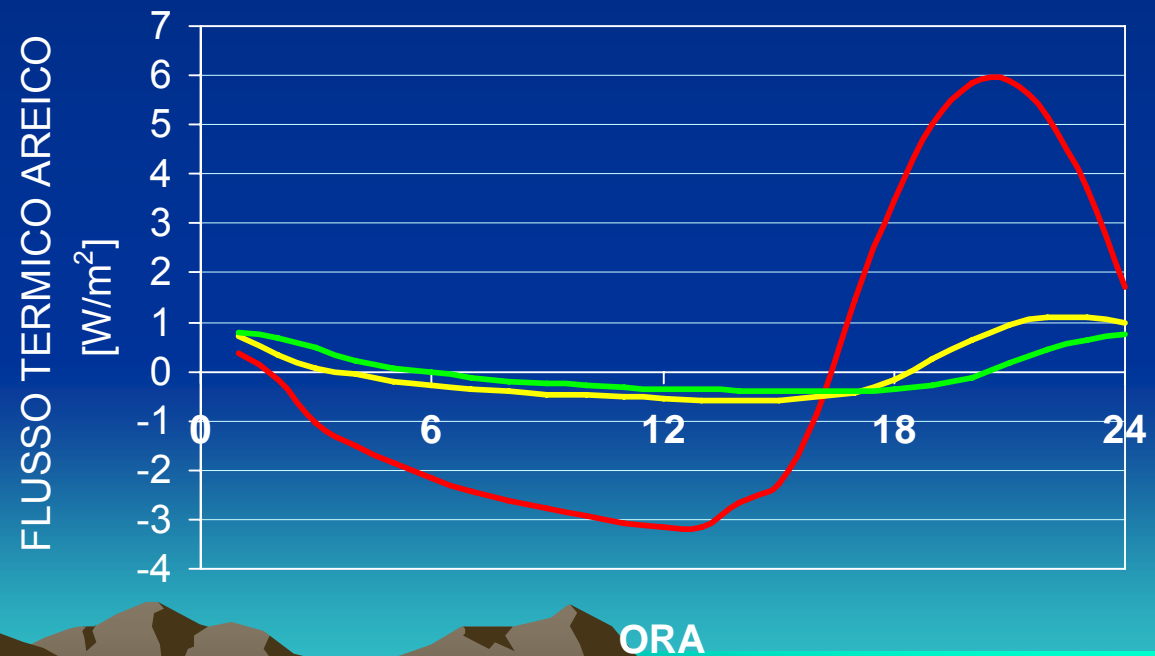
$f_a=0,2$; $\varphi=10 \text{ h}$

Lana di legno:

$\lambda=0,065 \text{ W/(m K)}$; $\rho=400 \text{ kg/m}^3$; $c=2100 \text{ J/(kg K)}$

$\alpha = 7,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

$f_a=0,14$; $\varphi=12 \text{ h}$



— CASO BASE — LANA DI ROCCIA — LANA DI LEGNO

Retrofit: l'importanza della località

Parete esistente ($U=1,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; $f_a=0,46$; $\varphi=8 \text{ h}$):

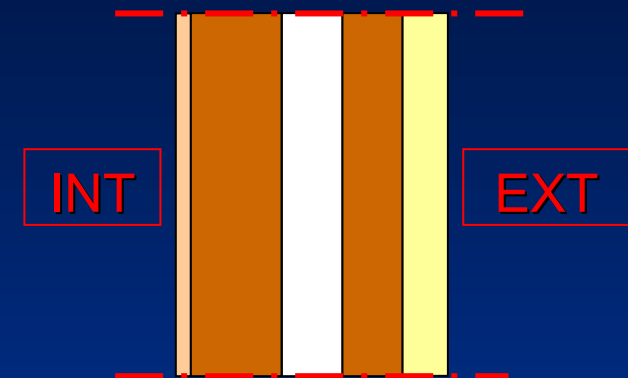
Muratura a cassavuota in laterizio faccia a vista

Località: **Genova**

$T_{ae,m} = 26,5 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{ae,max} = 29,9 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta T_{ae,max} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$

Località: **Foggia**

$T_{ae,m} = 26,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{ae,max} = 33,9 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta T_{ae,max} = 13 \text{ }^\circ\text{C}$



Lana di legno:

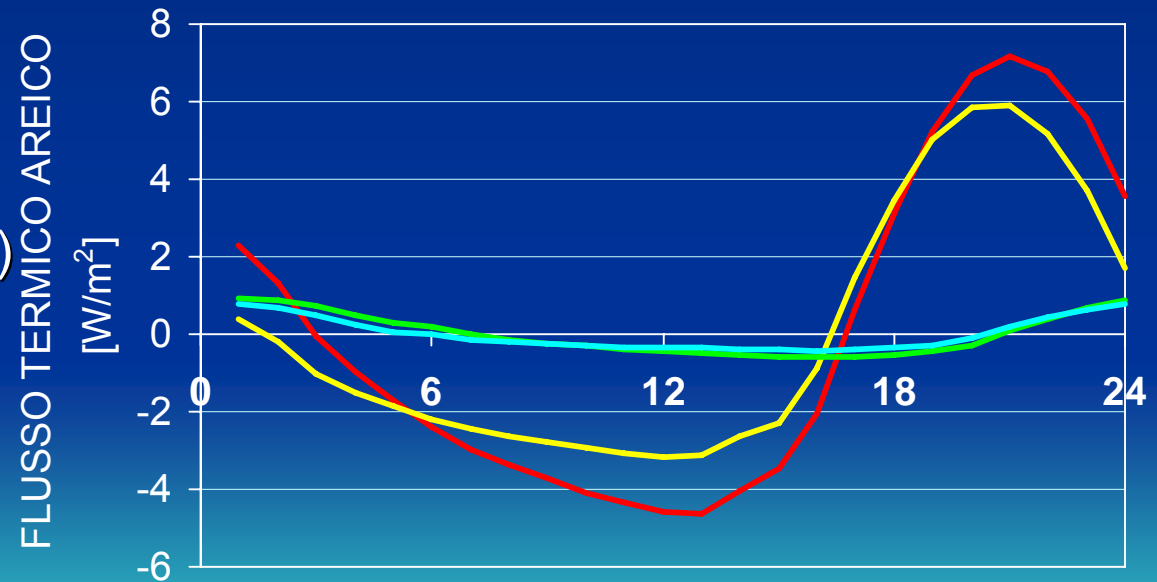
$s=7 \text{ cm}$; $\lambda=0,065 \text{ W/(m K)}$;

$\rho=400 \text{ kg/m}^3$; $c=2100 \text{ J/(kg K)}$

Parete isolata:

$f_a=0,15$; $\varphi=12 \text{ h}$;

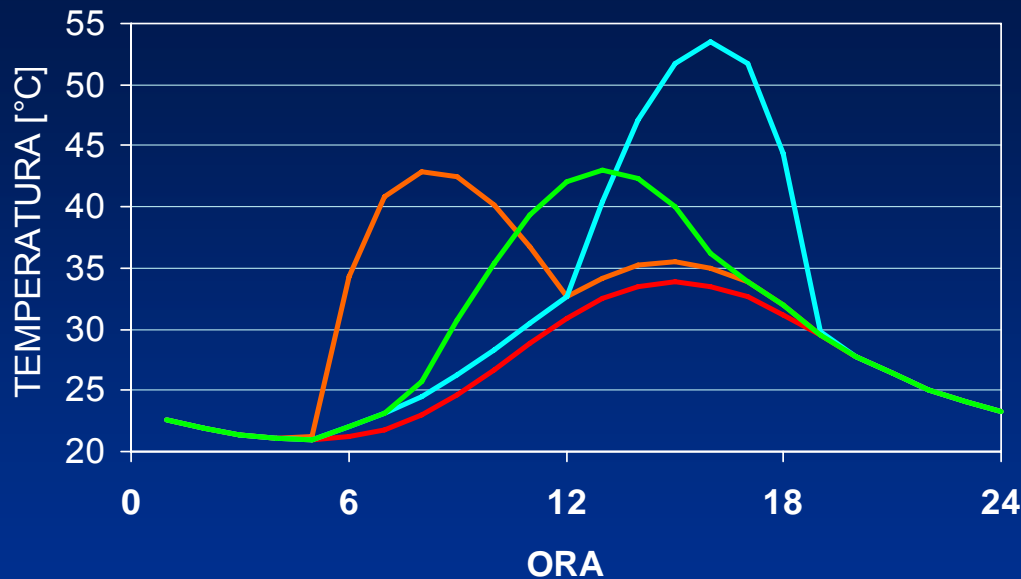
$U=0,49 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$



ORA

— FG base — GE base — FG isolato — GE isolato

Retrofit: l'importanza dell'orientamento della parete



Località: **Foggia**

$T_{ae,m} = 26,6 \text{ °C}$; $T_{ae,max} = 33,9 \text{ °C}$;
 $\Delta T_{ae,max} = 13 \text{ °C}$

Parete esistente ($U=1,16$
 $\text{W/m}^2 \text{ K}$; $f_a=0,46$; $\varphi=8 \text{ h}$):
 Muratura a cassavuota in
 laterizio faccia a vista

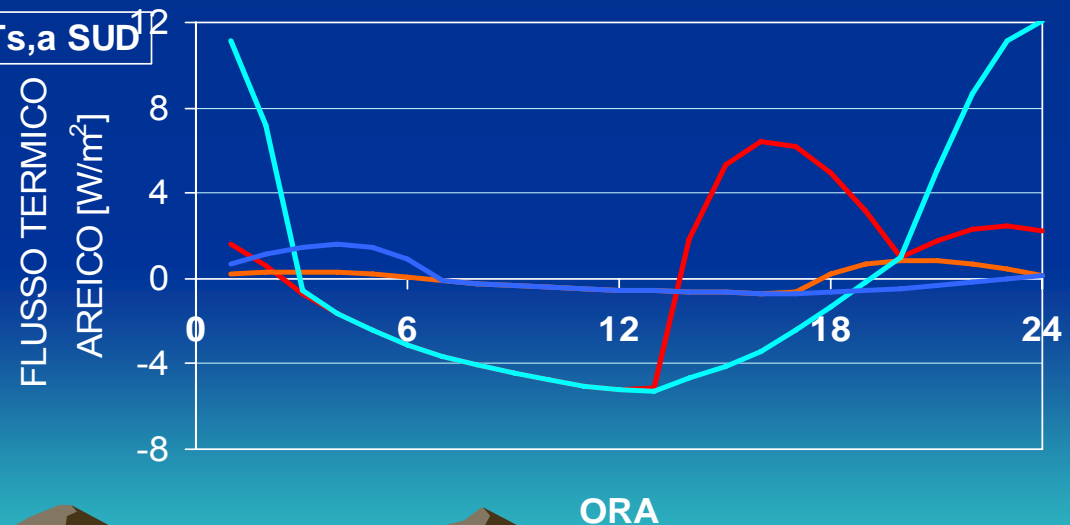
— T_{aria} — $T_{s,a \text{ EST}}$ — $T_{s,a \text{ OVEST}}$ — $T_{s,a \text{ SUD}}$

Lana di legno:

$s=7 \text{ cm}$; $\lambda=0,065 \text{ W/(m K)}$;
 $\rho=400 \text{ kg/m}^3$; $c=2100 \text{ J/(kg K)}$

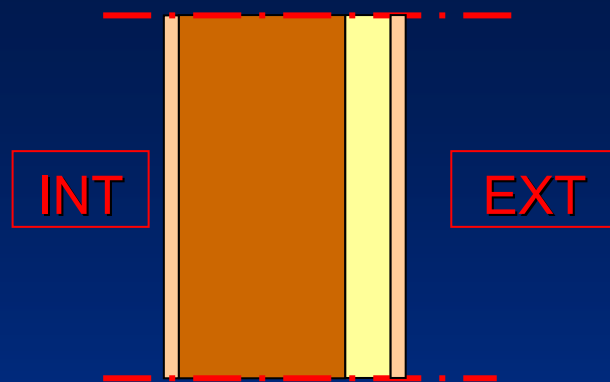
Parete isolata:

$f_a=0,15$; $\varphi=12 \text{ h}$;
 $U=0,49 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$



— EST base — EST isolato
 — OVEST base — OVEST isolato

Nuova costruzione: due esempi a confronto



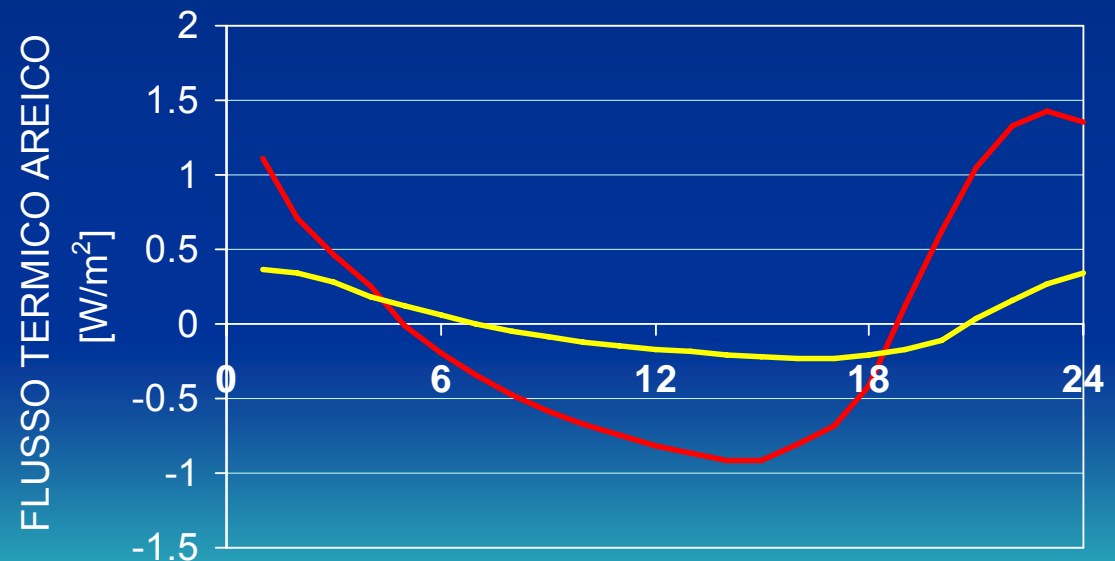
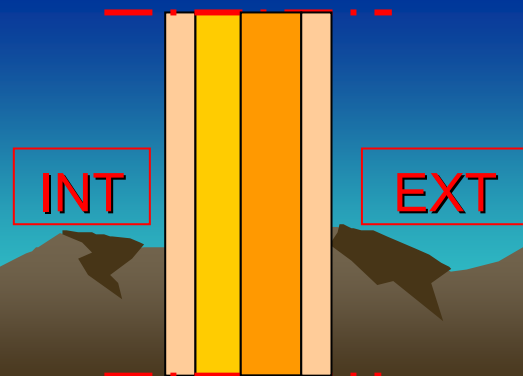
Parete tradizionale:

$m_s=230 \text{ kg/m}^2$; $f_a=0,24$; $\varphi=10 \text{ h}$;
 $U=0,45 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

Parete in laterizio alveolato da 25 cm e densità di 700 kg/m^3 , isolata con 5 cm di lana di roccia, intonacata su entrambi i lati

Parete leggera: $m_s=87 \text{ kg/m}^2$;
 $f_a=0,15$; $\varphi=12 \text{ h}$; $U=0,18 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

Parete stratificata a secco costituita da pannelli in fibra di vetro e lana di legno. Finiture in lastre in cartongesso



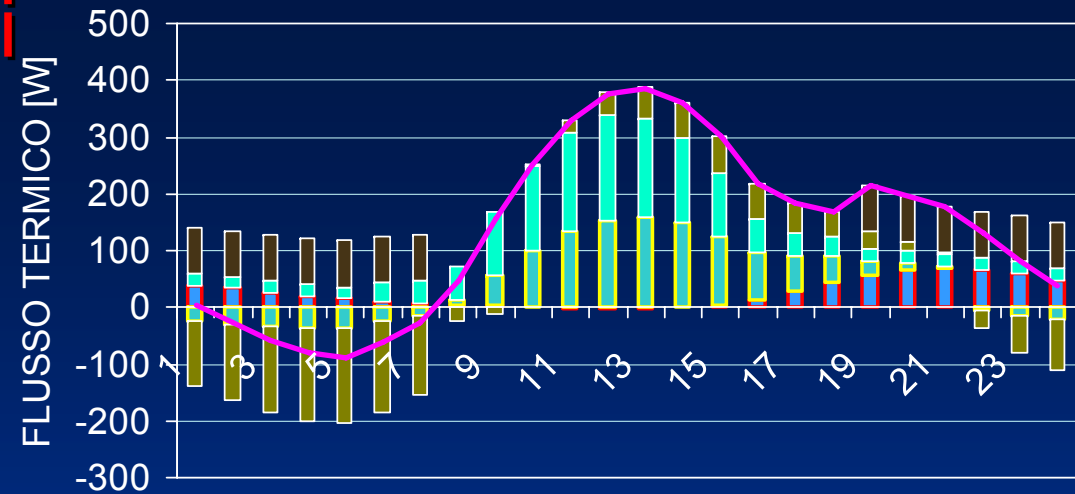
— TRADIZIONALE — LEGGERA

Calcolo del carico di condizionamento

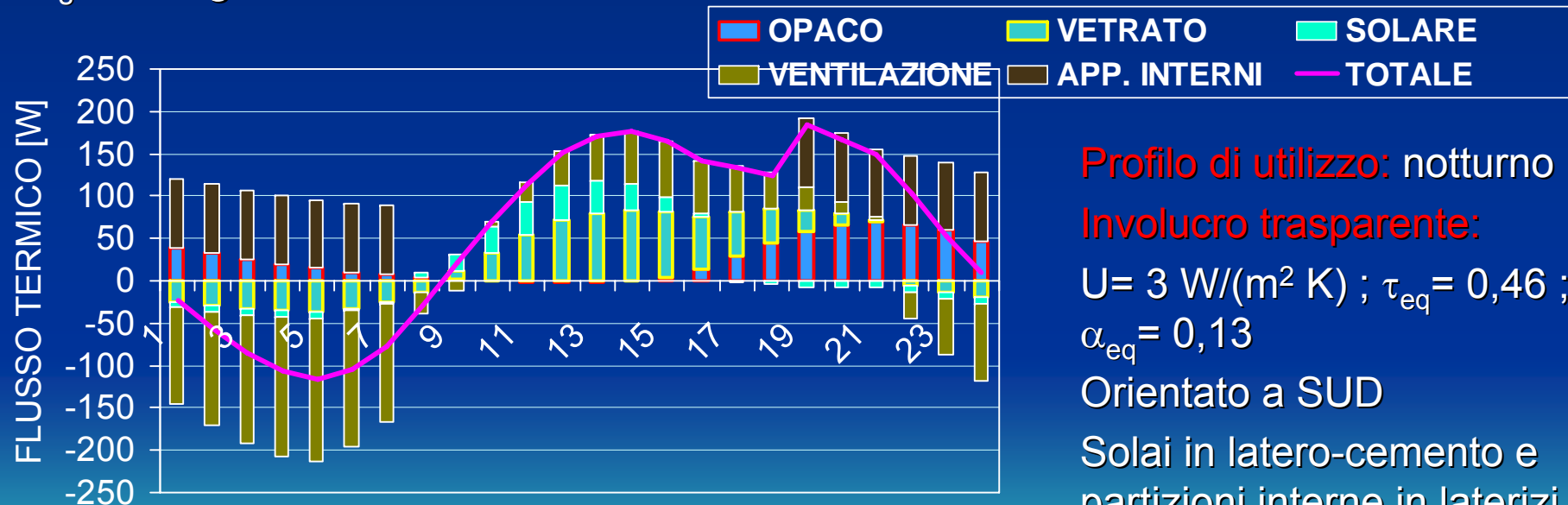
Località: Foggia. $T_{ae,m} = 26,6 \text{ } ^\circ\text{C}$;
 $T_{ae,max} = 33,9 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\Delta T_{ae,max} = 13 \text{ } ^\circ\text{C}$

Ambiente: $3,6 \times 4,5 \times 3 \text{ m}$

Involucro opaco: $\alpha = 0,4$; $\varphi = 8 \text{ h}$;
 $f_a = 0,46$; $U = 1,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$;
 $m_s = 268 \text{ kg}/\text{m}^2$



SENZA SCHERMI



CON SCHERMI

Profilo di utilizzo: notturno

Involucro trasparente:

$U = 3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$; $\tau_{eq} = 0,46$;

$\alpha_{eq} = 0,13$

Orientato a SUD

Solai in latero-cemento e
 partizioni interne in laterizi
 forati

Fattore di superficie interno
 medio: $F_{sm} = 0,67$

OPACO VETRATO SOLARE
 VENTILAZIONE APP. INTERNI TOTALE

Calcolo del carico di condizionamento

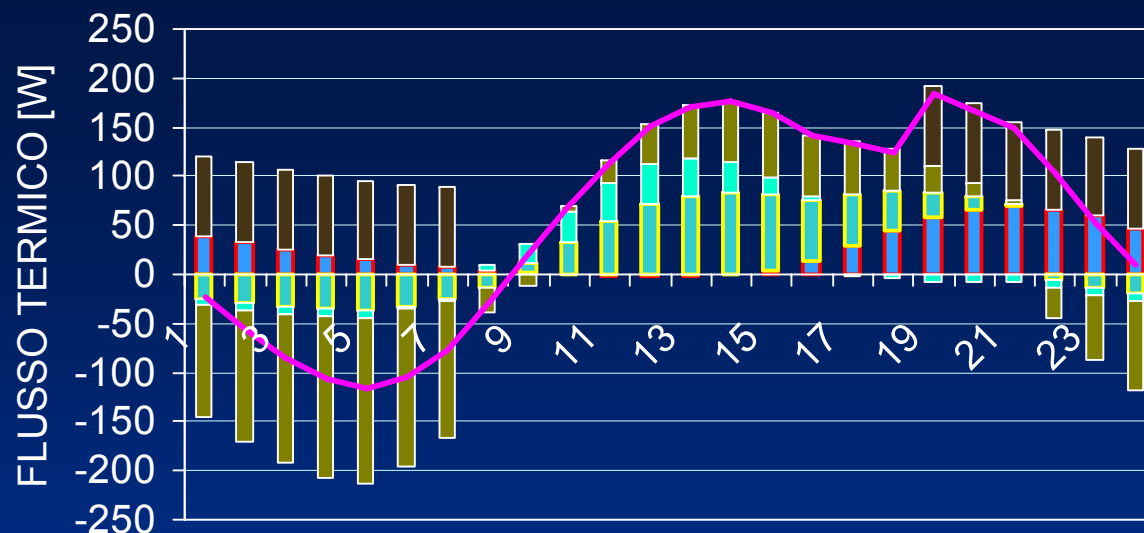
Involucro opaco non isolato tradizionale:

$\alpha=0,4$; $\varphi=8$ h ; $f_a=0,46$;

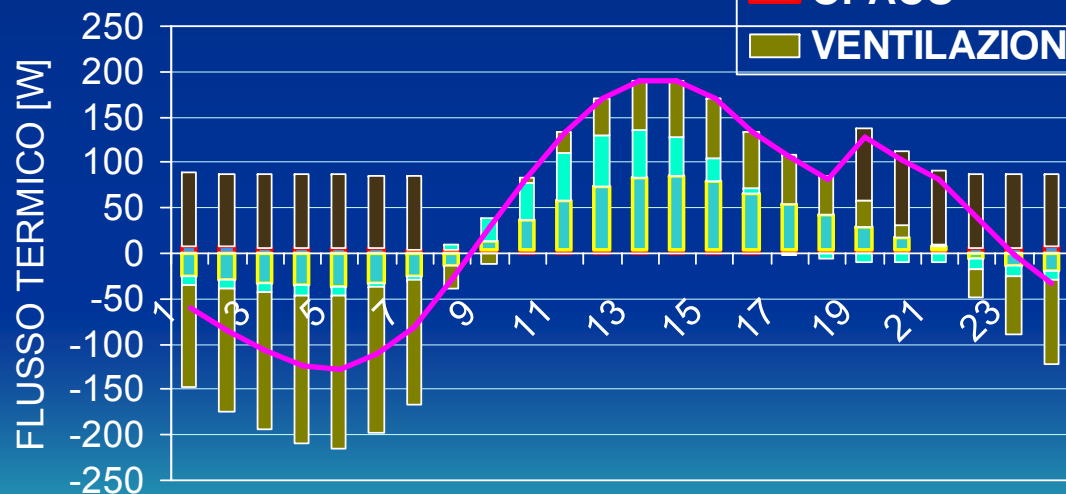
$U=1,16$ W/(m² K) ;

$m_s=268$ kg/m²

Fattore di superficie interno medio: $F_{sm} = 0,67$



INVOLUCRO TRADIZIONALE NON COIBENTATO



INVOLUCRO LEGGERO ISOLATO



Involucro opaco leggero isolato:

$\alpha=0,4$; $\varphi=12$ h ; $f_a=0,15$; $U=0,18$ W/(m² K) ;

$m_s=87$ kg/m²

Fattore di superficie interno medio: $F_{sm} = 0,7$

Calcolo delle temperature in ambiente non climatizzato (UNI 10375)

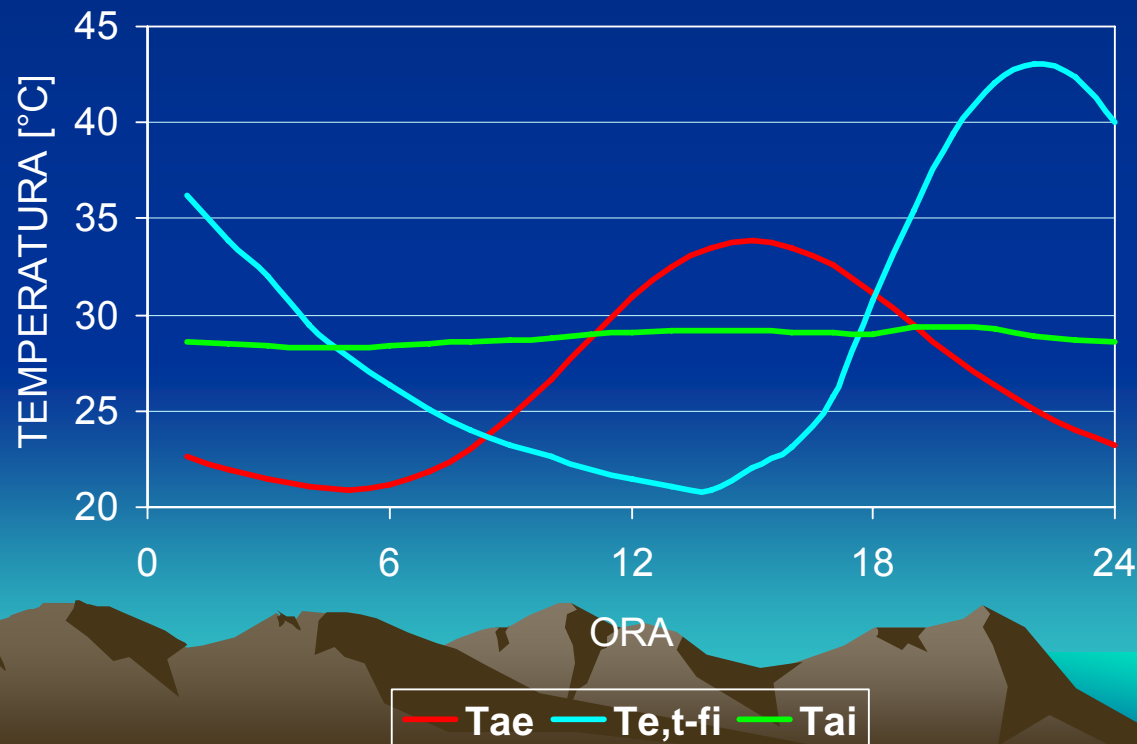
T_{ae}: Temperatura dell'aria esterna

T_{e,t-fi}: Temperatura sole aria esterna sfasata di φ ore rispetto al momento t

T_{ai}: Temperatura dell'aria interna

Parete leggera isolata: ($U=0,18$ W/m² K; $f_a=0,15$; $\varphi=12$ h)

Finestre schermate: (ombreggiamento del 70%)



Indicazioni per la redazione di legislazioni energetiche

- Necessità di definire delle prescrizioni in relazione:
 - alle condizioni climatiche
 - Temperatura e radiazione solare
 - Gradi-giorno o gradi-ora estivi
 - alle destinazioni d'uso (diversità di apporti interni)
- Possibilità di differenziazione sulla base di parametri di forma / dimensione della costruzione (S/V)?



L'approccio prestazionale

- Limitazione delle potenze installate
 - Riduzione del picco di richiesta di potenza elettrica per raffrescamento (rischio di black-out)
- Limitazione dell'energia consumata
 - Riduzione del consumo di energia derivante da fonti non rinnovabili
- Mantenimento di condizioni di comfort negli ambienti
 - Temperatura minima in ambienti condizionati
 - Temperatura massima in ambienti non condizionati



L'approccio prescrittivo

- Limiti sui fattori di ombreggiamento delle schermature
- Limiti sulla capacità di accumulo termico
 - dell'involucro:
 - Massa frontale
 - Fattore di attenuazione e sfasamento
 - delle strutture interne:
 - Fattore di smorzamento superficiale



Conclusioni

- **ASPETTI NORMATIVI:**
 - Approccio prescrittivo: semplicità di calcolo e verificabilità
 - Approccio prestazionale: i limiti sono direttamente posti sugli obiettivi
- **ASPETTI TECNICI:**
 - L'isolamento riveste un ruolo non trascurabile nel comportamento termico estivo, ma meno fondamentale del caso invernale
 - In un'ottica di ottimizzazione delle risorse gli interventi prioritari sono:
 - controllo solare
 - ventilazione
 - elevata capacità termica e isolamento delle strutture

Necessità di mettere in atto, nel più breve tempo possibile, delle prescrizioni normative, inizialmente anche semplici, per poi affinare il metodo in corso d'opera sulla base dei risultati ottenuti



CONVEGNO FAST

Prestazioni estive dell'involucro edilizio: soluzioni innovative per la progettazione

Il ruolo dell'isolamento nel comportamento termico dell'edificio durante la stagione estiva

Ing. Matteo Serraino

Dipartimento di Energetica

Politecnico di Torino

