



**ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE**

Soluzioni progettuali per interventi di efficientamento energetico sugli edifici

Marsico Nuovo 05/12/2019

Arch. Francesca Margiotta



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Agenzia per la
Coesione Territoriale*

ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

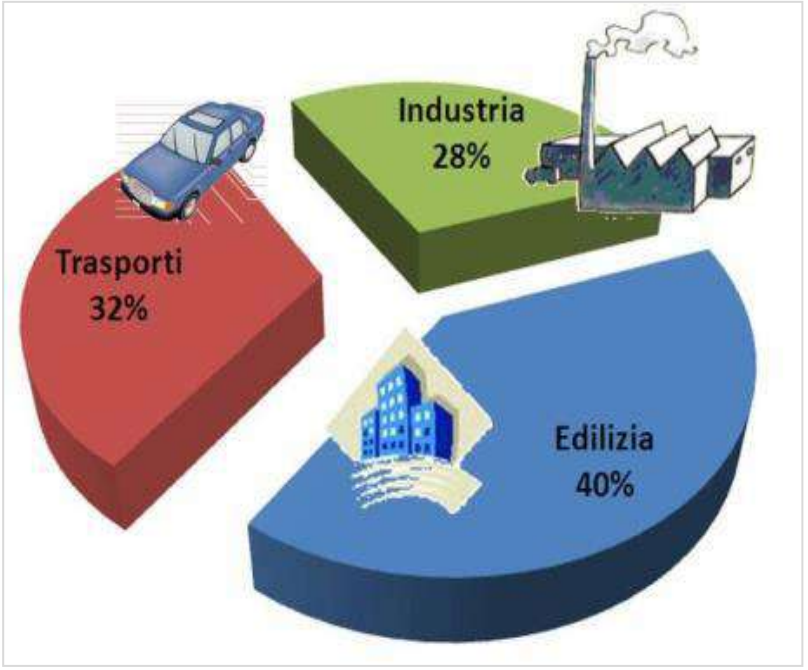


**GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020**

Impieghi finali di energia

La conservazione e la riqualificazione degli **edifici esistenti**, di *importanza storica e monumentale* e *non*, è un tema rilevante e strategico in ambito nazionale, europeo ed internazionale.

Questo è ancora più vero in ambito energetico dato che il patrimonio edilizio esistente copre circa il 40% degli impieghi finali nazionali di energia. Il rimanente 60% è impiegato per circa il 28% dal settore industriale e per circa il 32% dal settore trasporti.



Consumi energetici

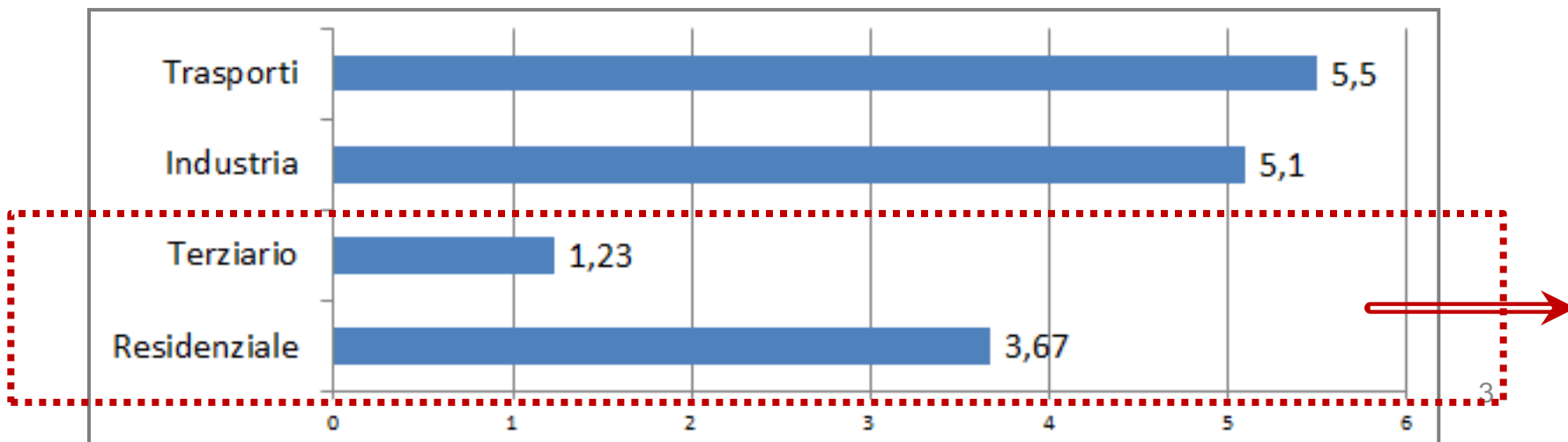
48,4 Mtep Consumo energetico finale (anno 2017)

Di cui:

32,5 Mtep Residenziale

15,9 Mtep Terziario

Risparmio di energia finale atteso al 2020 per settore (Mtep/a)



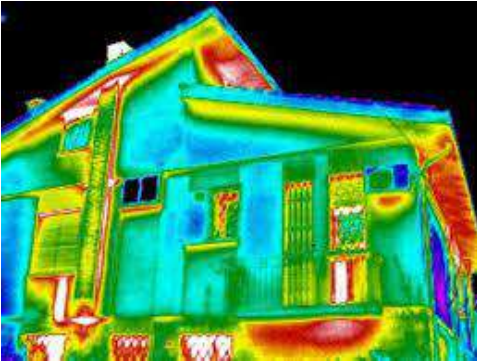
Consumi energetici



Consumo medio:

Residenziale: 110 kWh/m²a

Terziario: 80 ÷ 170 kWh/m²a

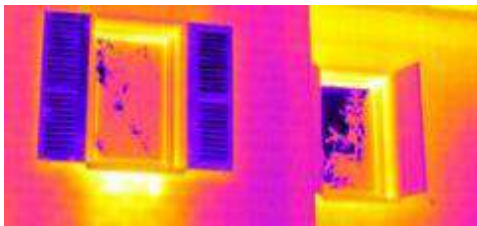


Gli **edifici** hanno un grosso potenziale di efficientamento e risparmio energetico

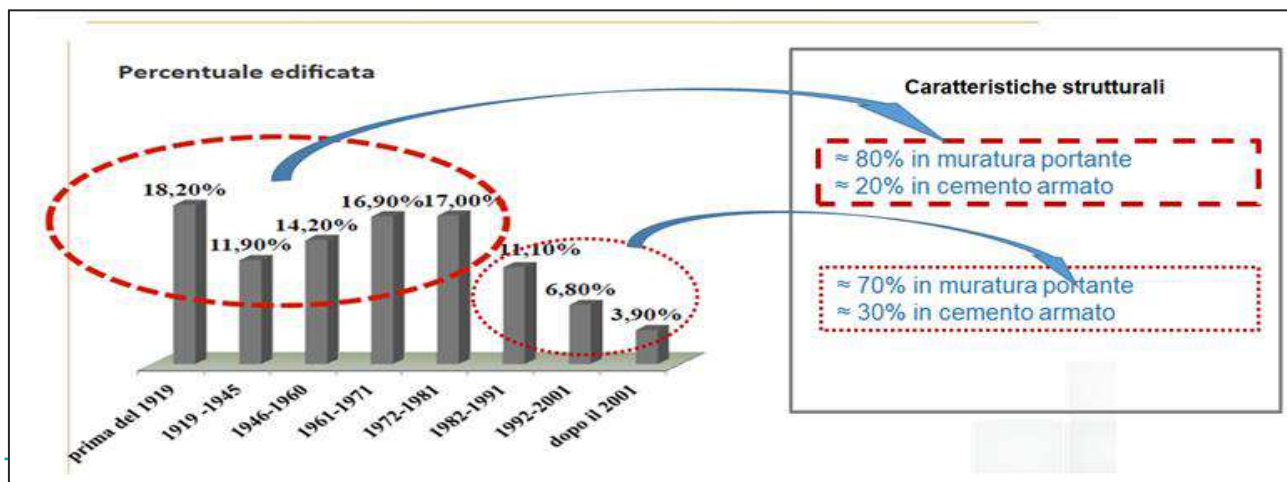
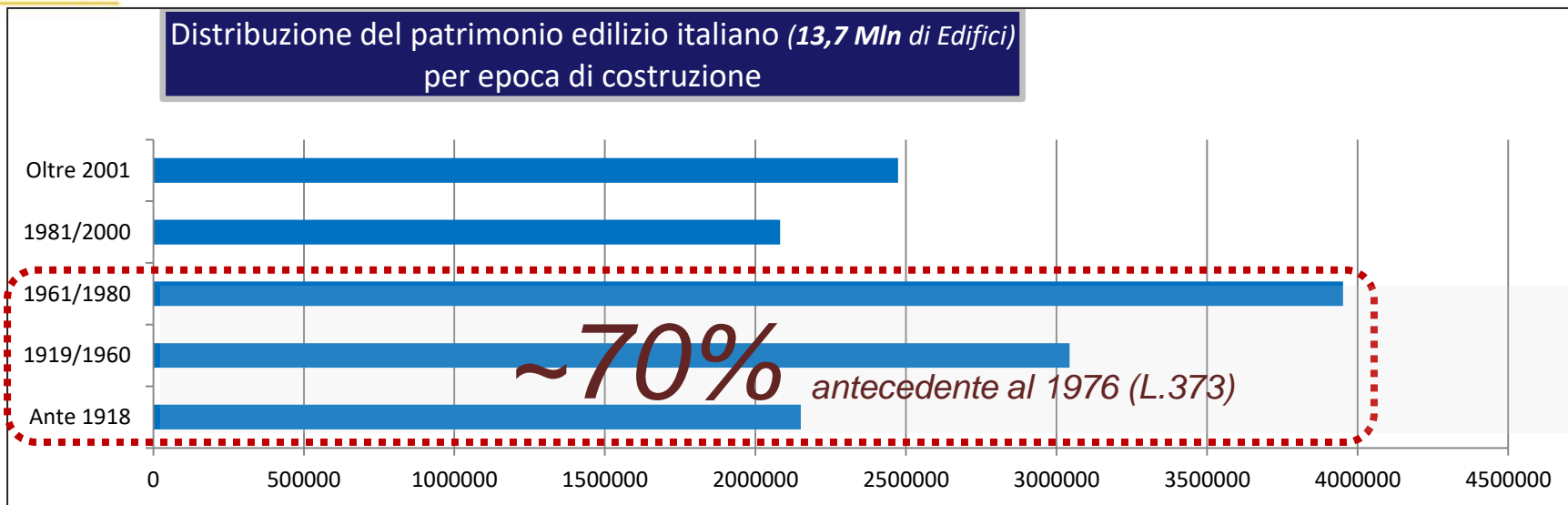


Strumenti più efficaci per raggiungere gli obiettivi di:

- minimizzare i consumi
- migliorare il comfort interno
- aumentare la sostenibilità ambientale

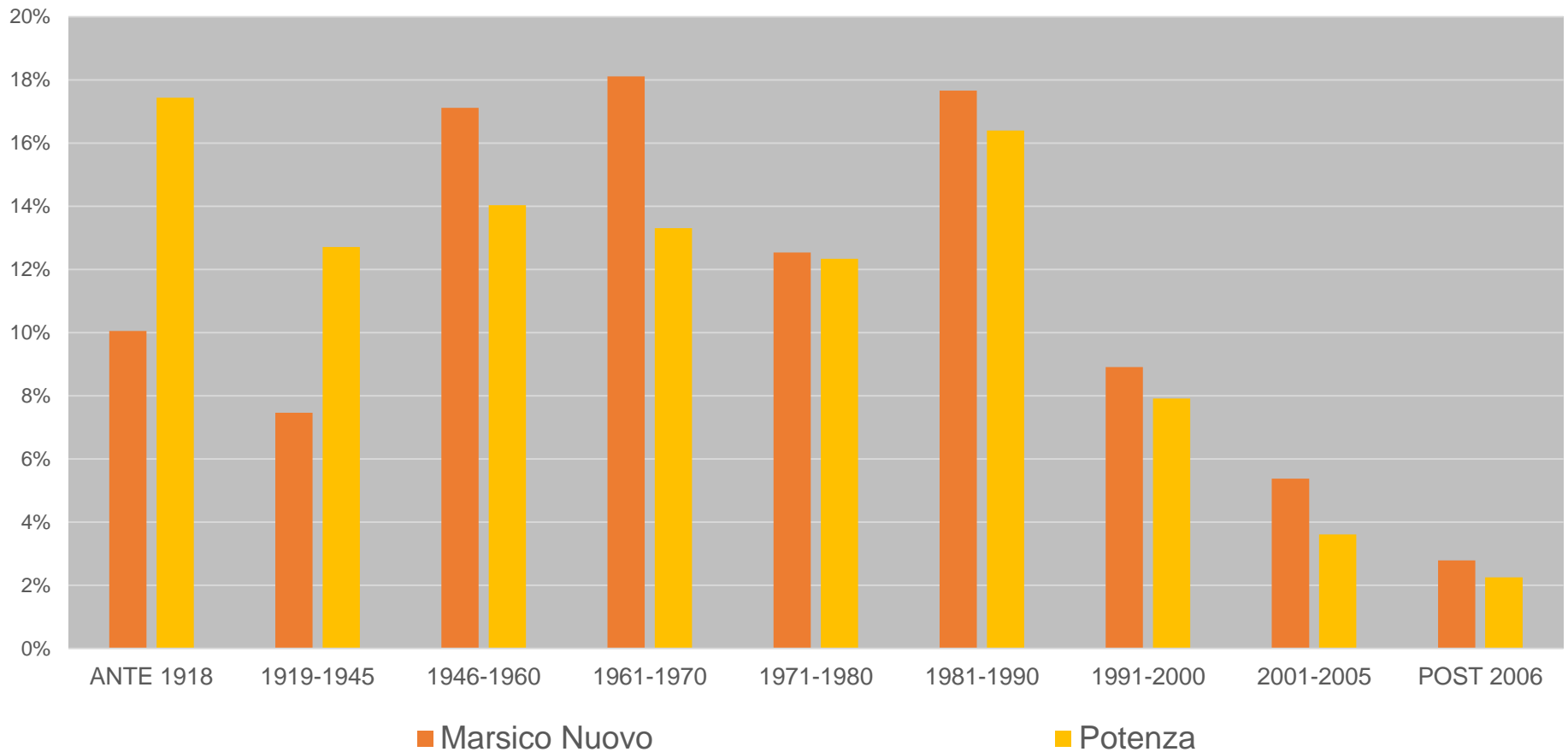


Patrimonio edilizio italiano

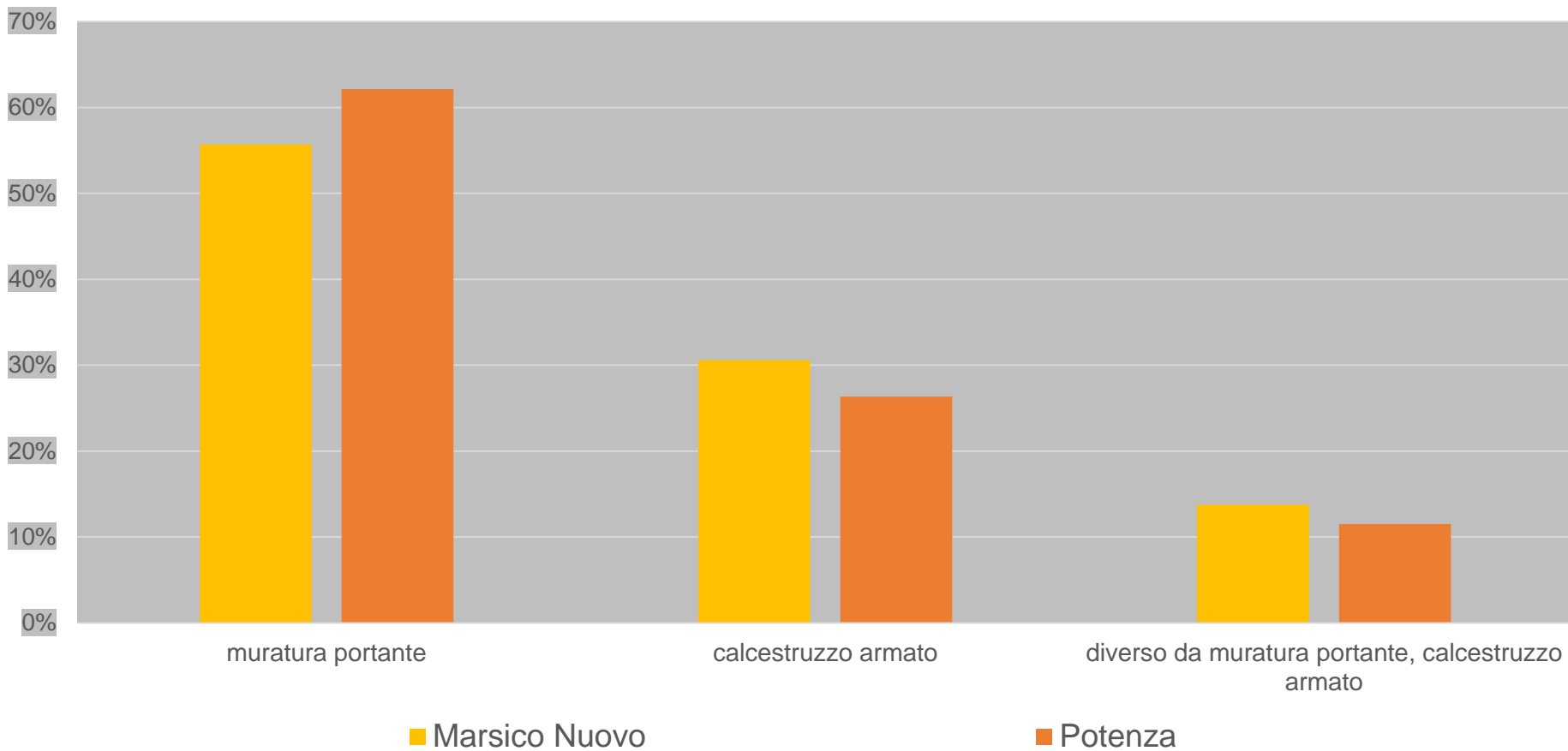


Parco residenziale - Censimento 2011

Distribuzione edifici per epoca di costruzione



Caratteristiche costruttive degli edifici residenziali



Caratteristiche costruttive

<https://it.climate-data.org/europa/italia/basilicata/marsico-nuovo-114918/>

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
TEMPERATURE MEDIE ESTERNE	4,1	4,7	6,5	9,5	13,8	17,7	20,4	20,7	17,7	13,1	9,1	5,9
TEMPERATURA INTERNA	20	20	20	20	26	26	26	26	26	20	20	20
DELTA (Ti-Te)	15,9	15,3	13,5	10,5	12,2	8,3	5,6	5,3	8,3	6,9	10,9	14,1

NOVEMBRE - DELTA (Ti-Te): 10,9 °C

Pareti vs esterno		muri in pietra intonacati sulle due facce	muri in mattoni di tufo intonacati sulle due facce	muri in mattoni forati intonacati sulle due facce	muri in blocchi cavi in cls intonacati	muri in cls intonacato su due facce	muri in c.a. intonacato su due facce
		2103,57	1346,73	1628,16	1715,61	1828,50	2585,34
SOFFITTI e PAVIMENTI	Pavimento	1937,15	1937,15	1937,15	1937,15	1937,15	1937,15
Solai in laterizio armato	Soffitto	2305,50	2305,50	2305,50	2305,50	2305,50	2305,50
		6346,22					
Infissi	Semplice con telaio di metallo	2068,70	2068,70	2068,70	2068,70	2068,70	2068,70
		10523,26	9766,42	10047,85	10135,30	10248,19	11005,03
	Semplice con telaio di legno	1724,41	1724,41	1724,41	1724,41	1724,41	1724,41
		10178,97	9422,13	9703,56	9791,01	9903,90	10660,74
	Telaio di metallo no TT e vetri doppi	1205,01	1205,01	1205,01	1205,01	1205,01	1205,01
		9659,57	8902,73	9184,16	9271,61	9384,50	10141,34
	Telaio di legno e vetri doppi	860,72	860,72	860,72	860,72	860,72	860,72
		9315,28	8558,44	8839,87	8927,32	9040,21	9797,05
	Telaio metallo TT e doppi vetri	816,20	816,20	816,20	816,20	816,20	816,20
		9270,76	8513,92	8795,35	8882,80	8995,69	9752,53
	Doppio telaio legno e doppi vetri	688,58	688,58	688,58	688,58	688,58	688,58
		9143,14	8386,30	8667,73	8755,18	8868,07	9624,91
Ventilazione-infiltrazione: 0,3 r/h - p_ac_a 0,34		324,36	324,36	324,36	324,36	324,36	324,36
Apporti interni		648,72	648,72	648,72	648,72	648,72	648,72
Apporti solari		1135,26	1135,26	1135,26	1135,26	1135,26	1135,26

Bilancio di energia

Il bilancio di energia sull'involucro edilizio include quindi:

in uscita

- dispersioni termiche per trasmissione dall'ambiente interno riscaldato verso quello esterno o verso spazi non riscaldati, $Q_o = Q_{H,tr}$
- dispersioni termiche per infiltrazioni e/o ventilazione dall'ambiente interno riscaldato verso quello esterno o verso spazi non riscaldati, $Q_{H,ve}$

in ingresso

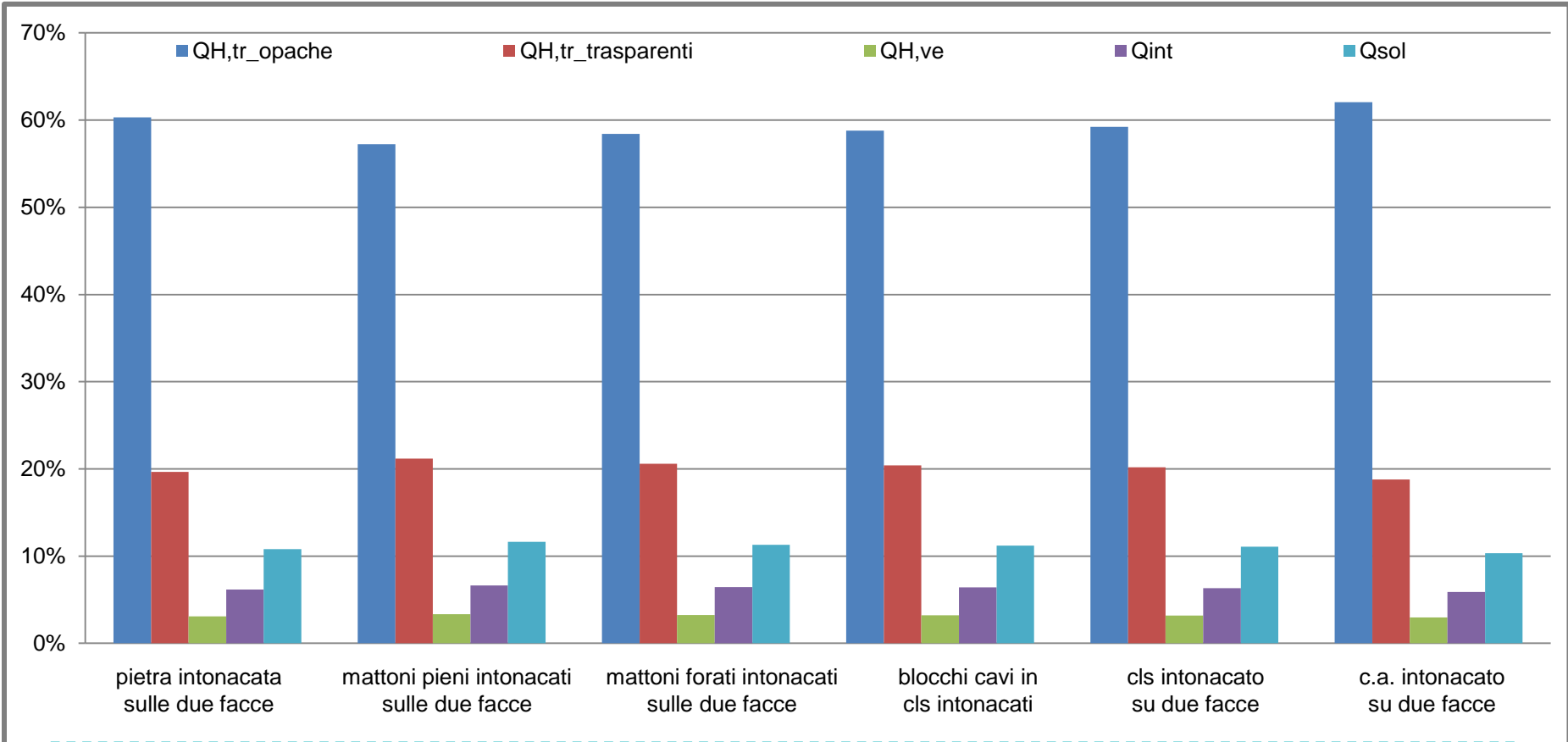
- apporto di calore fornito dal sistema di riscaldamento, $Q_{risc} = Q_{H,nd}$
- apporti di calore gratuiti dovuti alle sorgenti interne, Q_{int}
- apporti di calore gratuiti legati alla radiazione solare, Q_{sol}

Sempre in relazione all'intervallo temporale $\Delta\theta$ si ha quindi:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} - Q_{int} - Q_{sol}$$

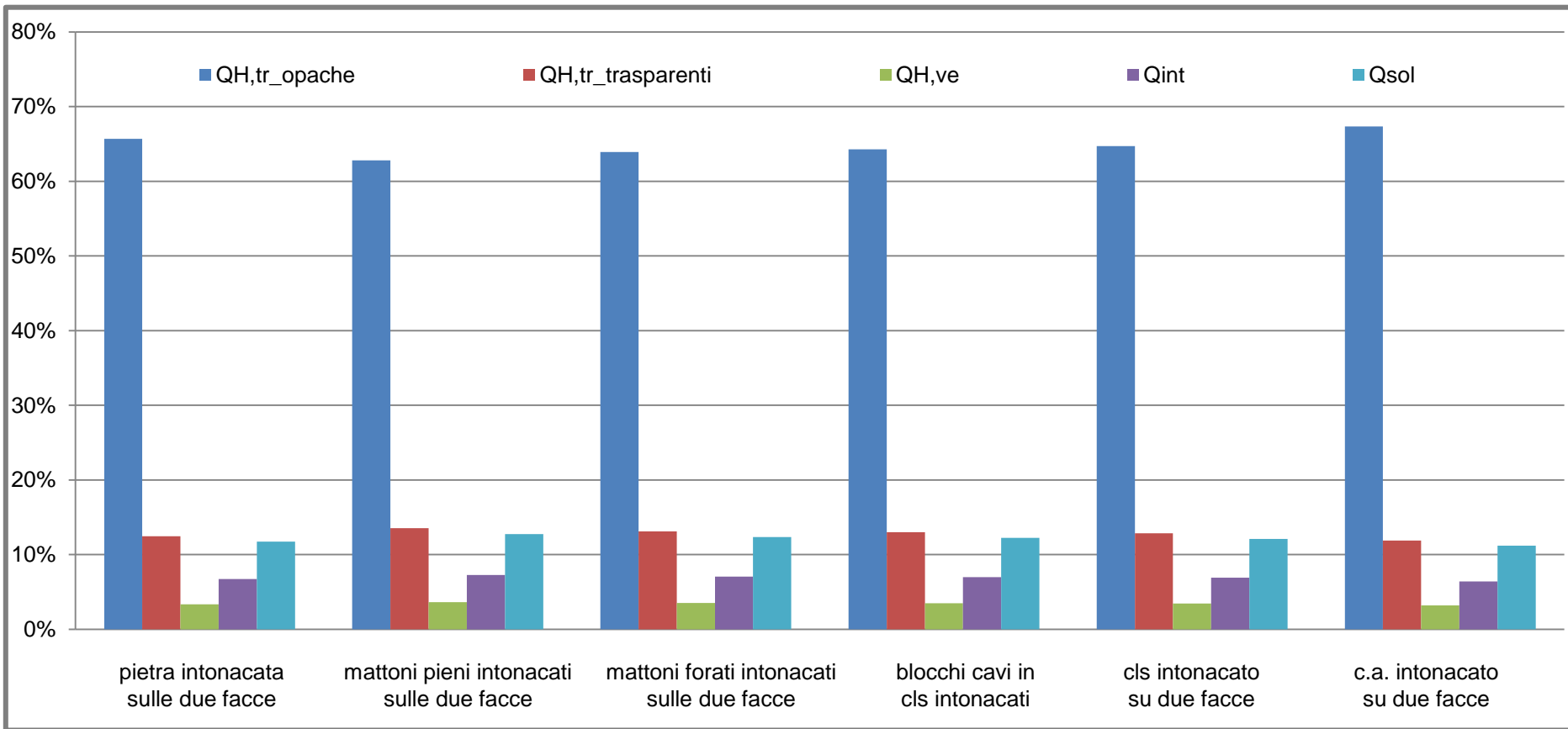
Prestazione energetica involucro

Muratura portante (1,2,3,4,5,6), soffitti e pavimenti in laterizio – infissi vetro singolo e telaio metallo



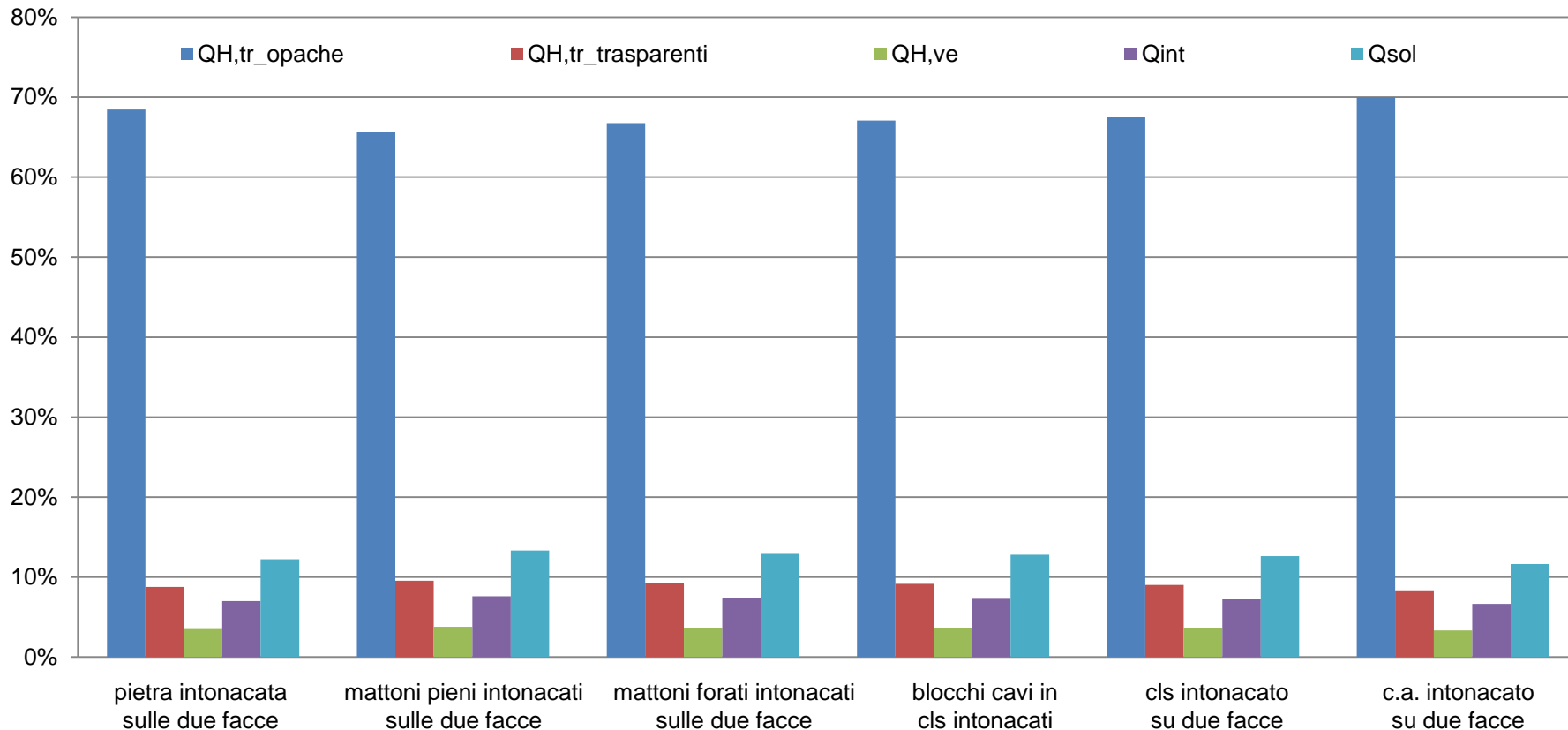
Prestazione energetica involucro

Muratura portante (1,2,3,4,5,6), soffitti e pavimenti in laterizio – infissi vetro doppio e telaio metallo NoTT



Prestazione energetica involucro

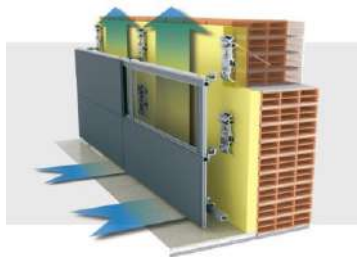
Muratura portante (1,2,3,4,5,6), soffitti e pavimenti in laterizio – infissi vetro doppio e telaio metallo TT



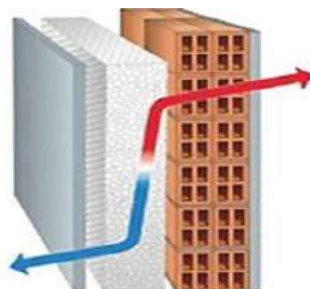
... soluzioni tecniche e scelte progettuali



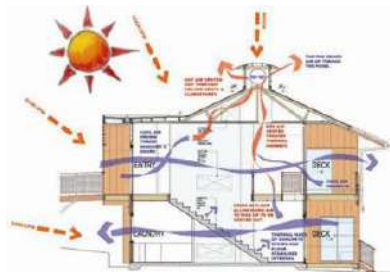
Fonti rinnovabili



Pareti ventilate



Capacità termica



Ventilazione



Pareti vetrate



Sistemi di ombreggiamento

... soluzioni tecniche e scelte progettuali

Componenti chiave della progettazione energetica

FORMA

Superfici
Volumi,
Rapporto S/V,
Orientamento,
Ombreggiatura

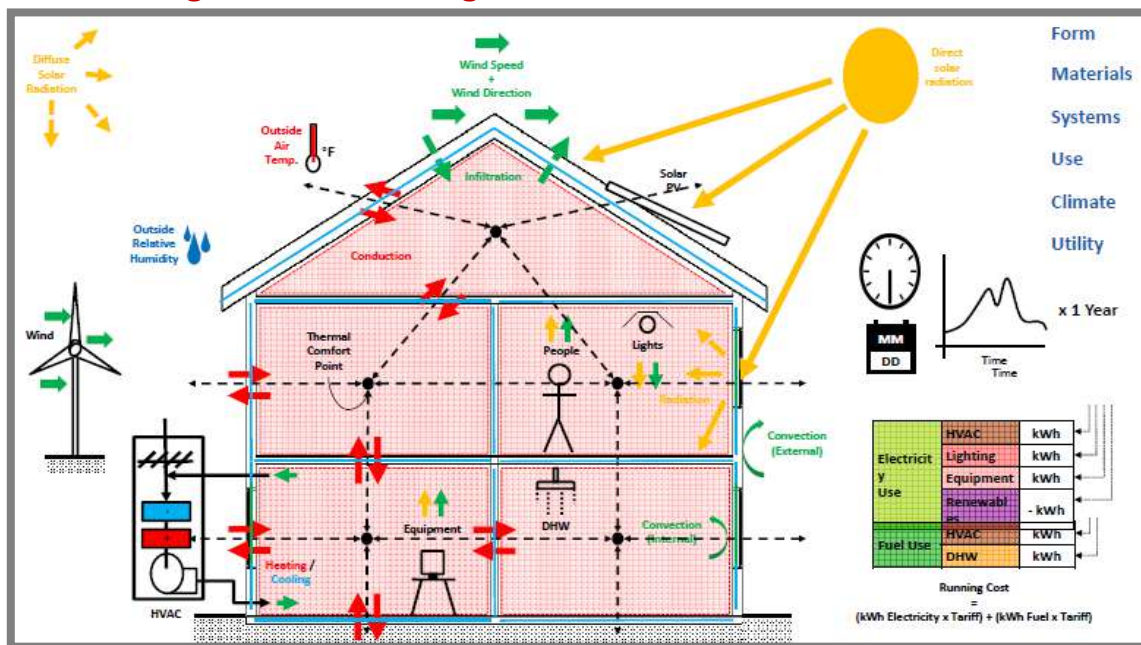
MATERIALI

Conducibilità termica
Massa termica
Capacità termica
Ermeticità
Controllo solare

IMPIANTI

Impianti termici
Impianti elettrici
Fonti rinnovabili
Sistemi di controllo
Sistemi di monitoraggio

Progettazione integrata e simulazioni dinamiche



Metodologie di calcolo

Metodi di calcolo **stazionari** (convenzionali): **limiti principali**

- **inefficacia** quando i sistemi da progettare assumono un consistente grado di complessità.
- **impossibilità** di valutare contemporaneamente interazioni tra edifici
 - sistemi di generazione dell'energia,
 - utenze variabili,
 - condizioni climatiche variabili,
 - presenza di fonti rinnovabili,
 - variabilità dei prezzi delle fonti fossili e
 - vincoli normativi ed economico-finanziari.

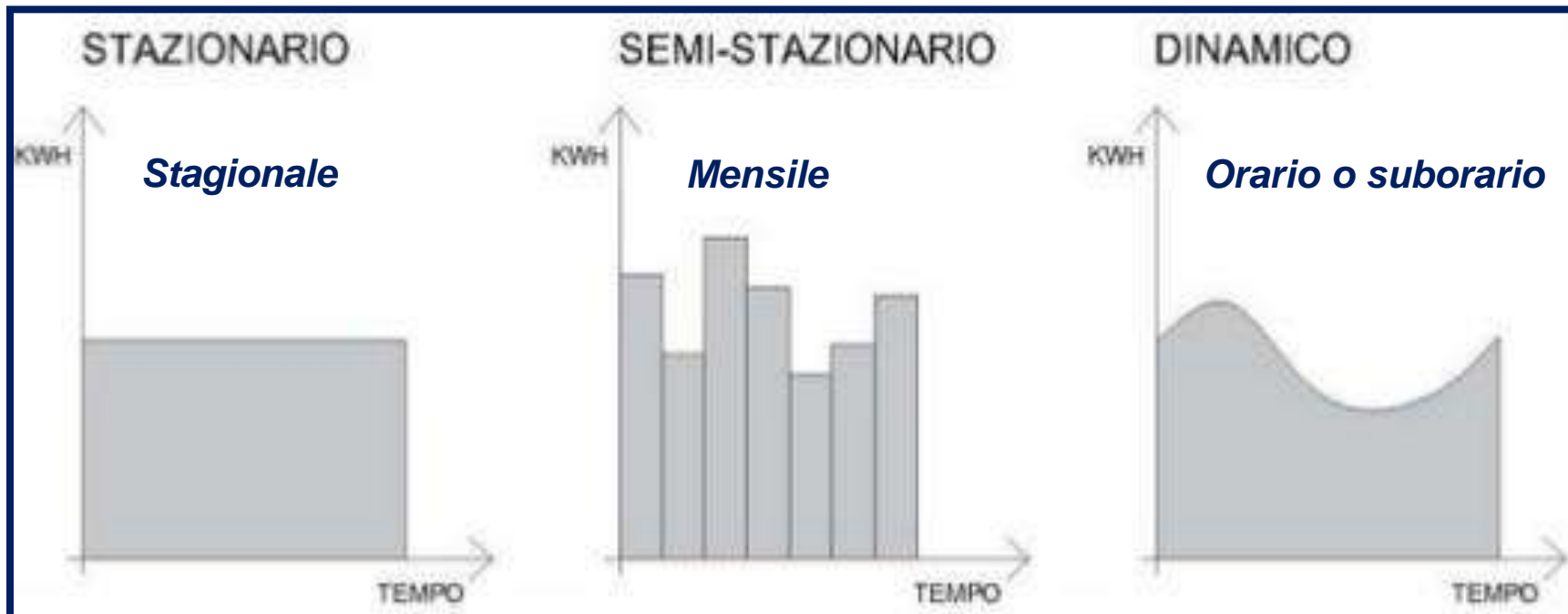
Metodi di calcolo **dinamici**: perché?

Possibilità di valutare:

- il comportamento degli **impianti** al variare del carico termico ed elettrico dell'edificio, della modalità di gestione degli impianti e del comportamento degli occupanti
- **l'integrazione** di più tecnologie ad alta efficienza energetica (fonti rinnovabili, cogenerazione, solar cooling, etc) in funzione delle caratteristiche meteo del sito, della disponibilità e costo delle fonti energetiche e delle richieste del territorio (**approccio sistemico e integrato**).

Metodologie di calcolo

Differenze tra intervalli temporali di calcolo:

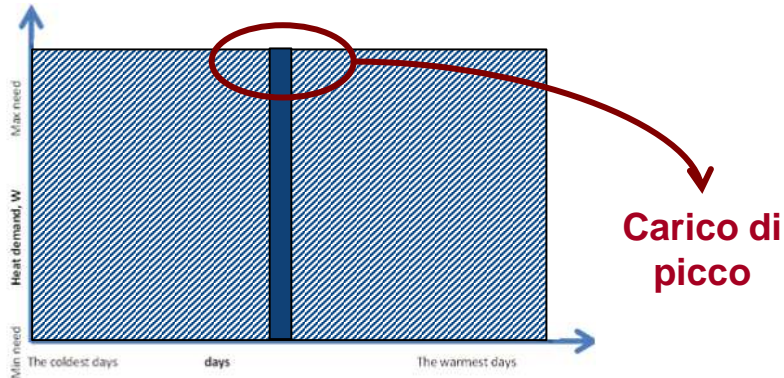


Metodologie di calcolo

Modelli stazionari: dimensionamento di sistemi e componenti in funzione di:


- “temperatura esterna di progetto”
- profilo di carico del giorno più critico

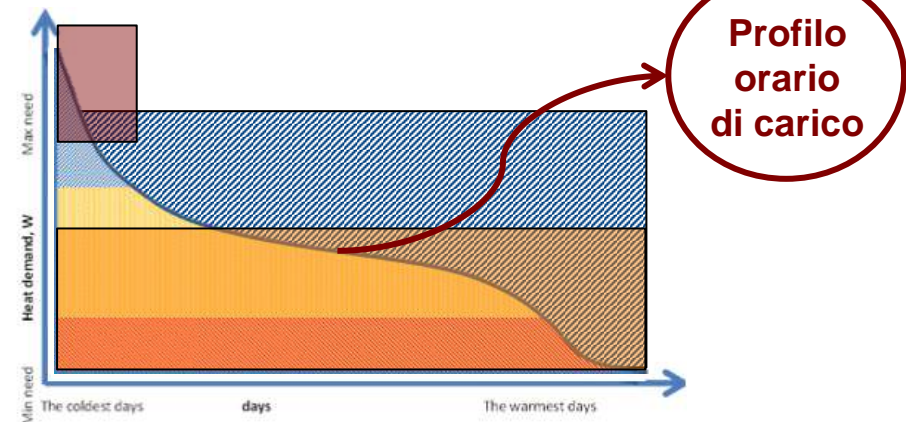
SVANTAGGI: impossibilità di analizzare i comportamenti del sistema impiantistico al di fuori delle condizioni di progetto!



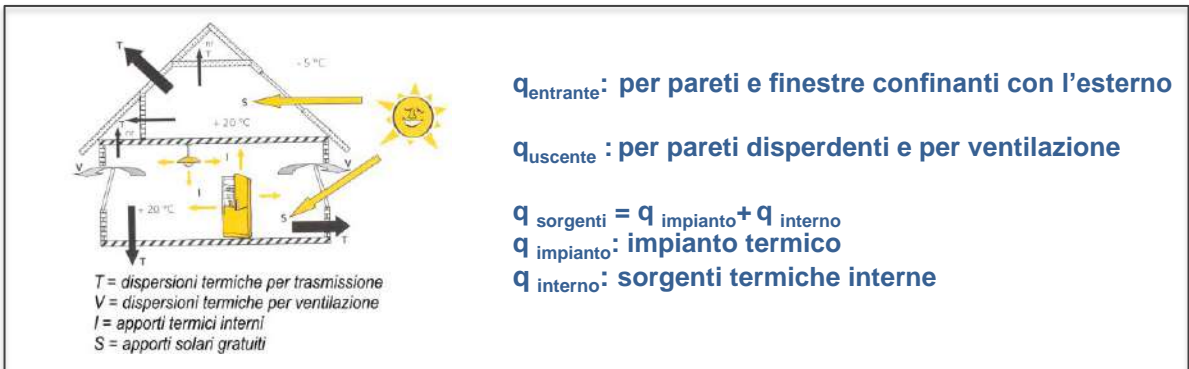
Rischio di **sovradimensionamento** dell'impianto o di operare in condizioni lontane da quelle di ottimo!

Metodi dinamici: valutazione del comportamento dei sistemi di generazione al variare del carico termico ed elettrico dell'edificio in funzione:

- delle caratteristiche meteo del sito, 
- della disponibilità e costo delle fonti energetiche,
- del comportamento delle utenze (occupanti, illuminazione, apparecchiature),
- della modalità di gestione degli impianti.



$$q_{\text{entrante}} + q_{\text{sorgenti}} - q_{\text{uscente}} = \text{Accumulo termico}$$

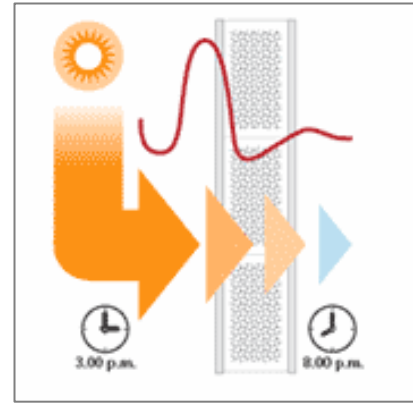
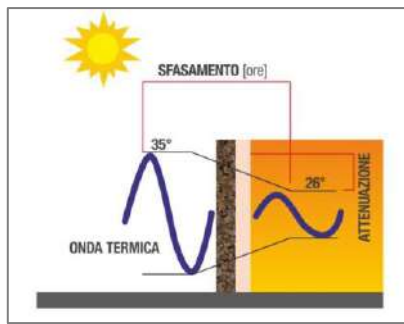


$$\text{Accumulo_termico} = \sum_i m_i c_i \frac{dT_i(t)}{dt}$$

$m_i c_i$ è la **capacità termica** elementi presenti nell'edificio

ACCUMULO TERMICO → **VOLANO TERMICO**

Studio dei **transitori** del sistema edificio impianto:
 aspetto fondamentale per tener conto delle **rientranze di calore** (particolarmente in regime estivo) (variabilità del verso dei flussi termici scambiati con l'ambiente esterno).



Inerzia termica

Al fine di limitare il fabbisogno per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, è opportuno verificare il comportamento “inerziale” della chiusura.

L' "INERZIA TERMICA" è

l'attitudine della parete a ridurre (smorzamento) e ritardare (sfasamento) l'effetto di sollecitazioni dinamiche sul carico termico dell'ambiente

Si distingue tra sollecitazioni termiche **ESTERNE** ed **INTERNE**

sul lato esterno del componente

- variazione giornaliera della temperatura esterna
- variazione giornaliera della radiazione incidente sul componente

sul lato interno del componente

- radiazione solare attraverso i vetri
- occupazione, apporti interni
- intermittenza impianto di riscaldamento/raffrescamento

Parametri termici dinamici

Lo strumento al quale la legislazione energetica nazionale fa riferimento per il calcolo dei **parametri termici dinamici**, è la norma **UNI EN ISO 13786**. Tale norma è basata sul metodo delle ammettenze e propone un modello di calcolo semplificato delle prestazioni termiche dinamiche del componente edilizio opaco, ipotizzando una sollecitazione termica di tipo sinusoidale, con periodo di 24 ore (regime periodico stabilizzato).

I principali parametri utilizzati per la caratterizzazione dinamica dei componenti, sono:

- *la capacità termica areica interna*
- *la trasmittanza termica periodica*
- *il fattore di attenuazione*
- *lo sfasamento termico*

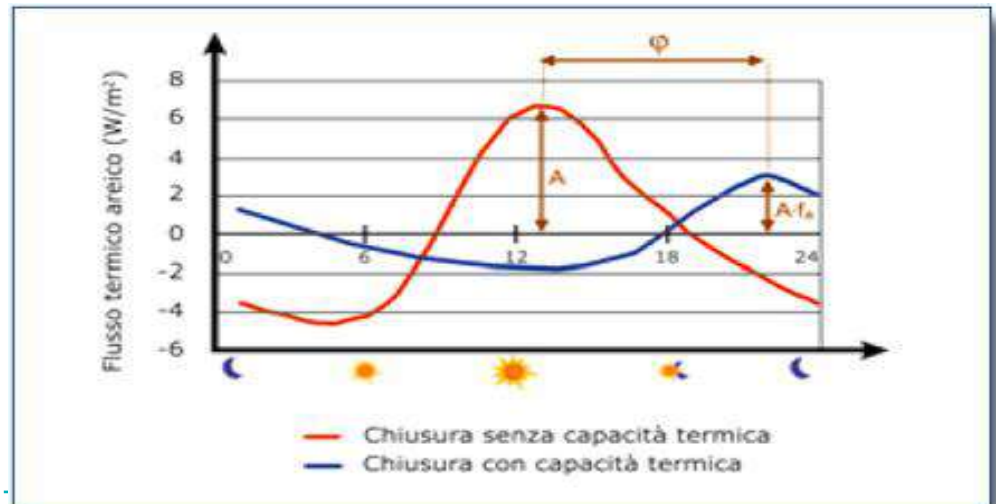
La **capacità termica** areica interna esprime l'**attitudine del componente opaco in esame ad accumulare calore quando sottoposto ad una sollecitazione termica dinamica sulla sua faccia interna**, ed è calcolata secondo l'equazione

Capacità termica

– Il **fattore di attenuazione f_a** è uguale al rapporto fra il massimo flusso della parete capacitiva ed il massimo flusso della parete a massa termica nulla; esso dunque qualifica la riduzione di ampiezza dell'onda termica nel passaggio dall'esterno all'interno dell'ambiente attraverso la struttura in esame (Figura 1). **Indica la differenza di temperatura e dunque la capacità di una struttura d'involucro di attenuare l'ampiezza d'onda del flusso termico, nel suo passaggio dall'ambiente esterno a quello interno, producendo una riduzione della temperatura esterna.**

– Il **coefficiente di sfasamento Φ** (espresso in ore) rappresenta il ritardo temporale del picco di flusso termico della parete capacitiva rispetto a quello istantaneo, nel passaggio dall'esterno all'interno dell'ambiente attraverso la struttura in esame (Figura 1). **Indica il tempo, espresso in ore, che l'onda termica esterna impiega a produrre un effetto sensibile di aumento della temperatura superficiale nella sua parte interna; indica la capacità di una struttura d'involucro di creare una differenza di fase d'onda del flusso termico, nel suo passaggio dall'ambiente esterno a quello interno, producendo un ritardo nel tempo degli effetti termici esterni, espresso in ore.**

Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$Fa < 0,15$	ottime	I
$12 \geq S > 10$	$0,15 \leq Fa < 0,30$	buone	II
$10 \geq S > 8$	$0,30 \leq Fa < 0,40$	medie	III
$8 \geq S > 6$	$0,40 \leq Fa < 0,60$	sufficienti	IV
$6 \geq S$	$0,60 \leq Fa$	mediocri	V



Capacità termica

Fattore di attenuazione

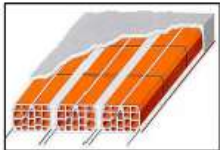
► I valori sono compresi fra 0 e 1 in cui il valore minimo indica il totale accumulo di calore e il valore massimo indica l'assenza di accumulo e pertanto una minor capacità dissipativa



murature in laterizio con isolamento intercapedine

$$0,1 < f < 0,2$$

→ Ottimo valore per la fase estiva



solai in laterocemento

$$0,1 < f < 0,2$$

→ Ottimo valore per la fase estiva



solai di copertura in legno

$$0,8 < f < 0,9$$

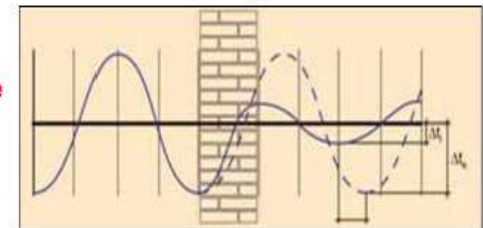
→ Scarso valore per la fase estiva

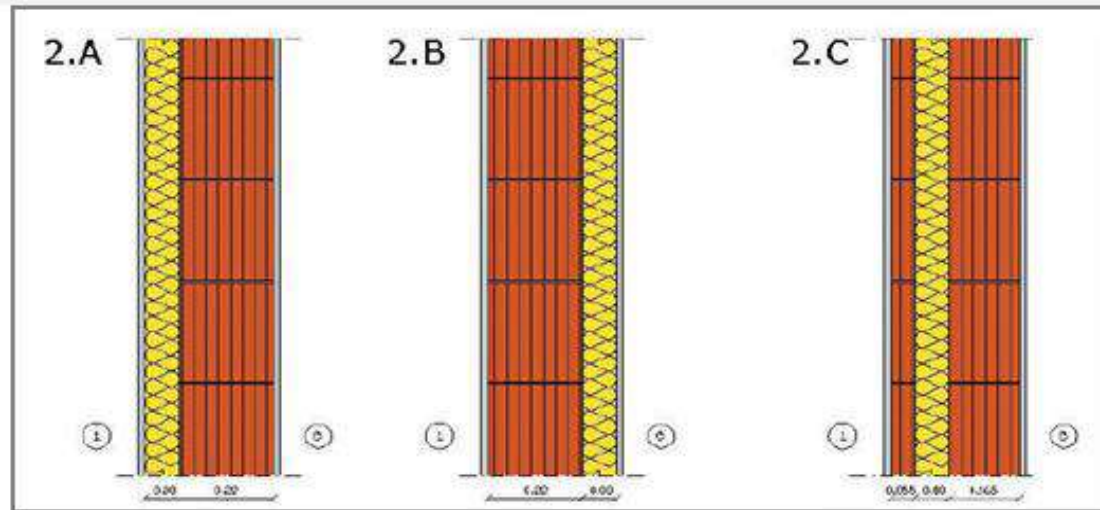
Lo sfasamento

- E' il tempo (ore) che serve all'onda termica per fluire dall'esterno all'interno attraverso una stratigrafia (orizzontale o verticale)
- Maggiore è lo sfasamento, più lungo sarà il tempo di passaggio del calore all'interno dell'edificio e dunque maggiore "schermatura" nella stagione estiva
- E' la differenza di tempo che intercorre tra l'ora in cui si ha la massima temperatura all'esterno e l'ora in cui si ha la massima temperatura all'interno

Sfasamento "consigliato" pari a 8-12 ore
Per un buon comfort termico

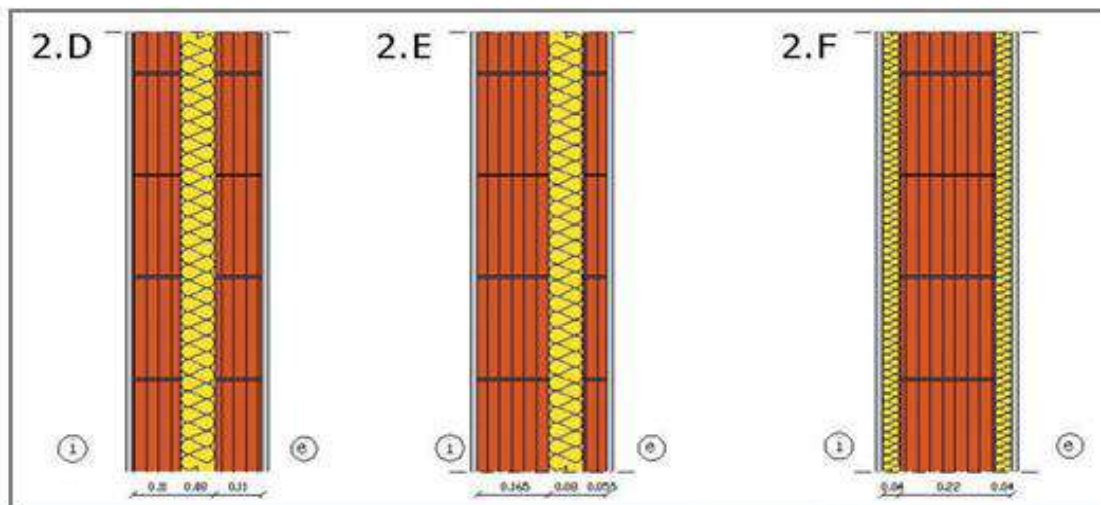
Parametro che privilegia caratteristiche massive dei materiali con maggiori capacità di accumulo termico



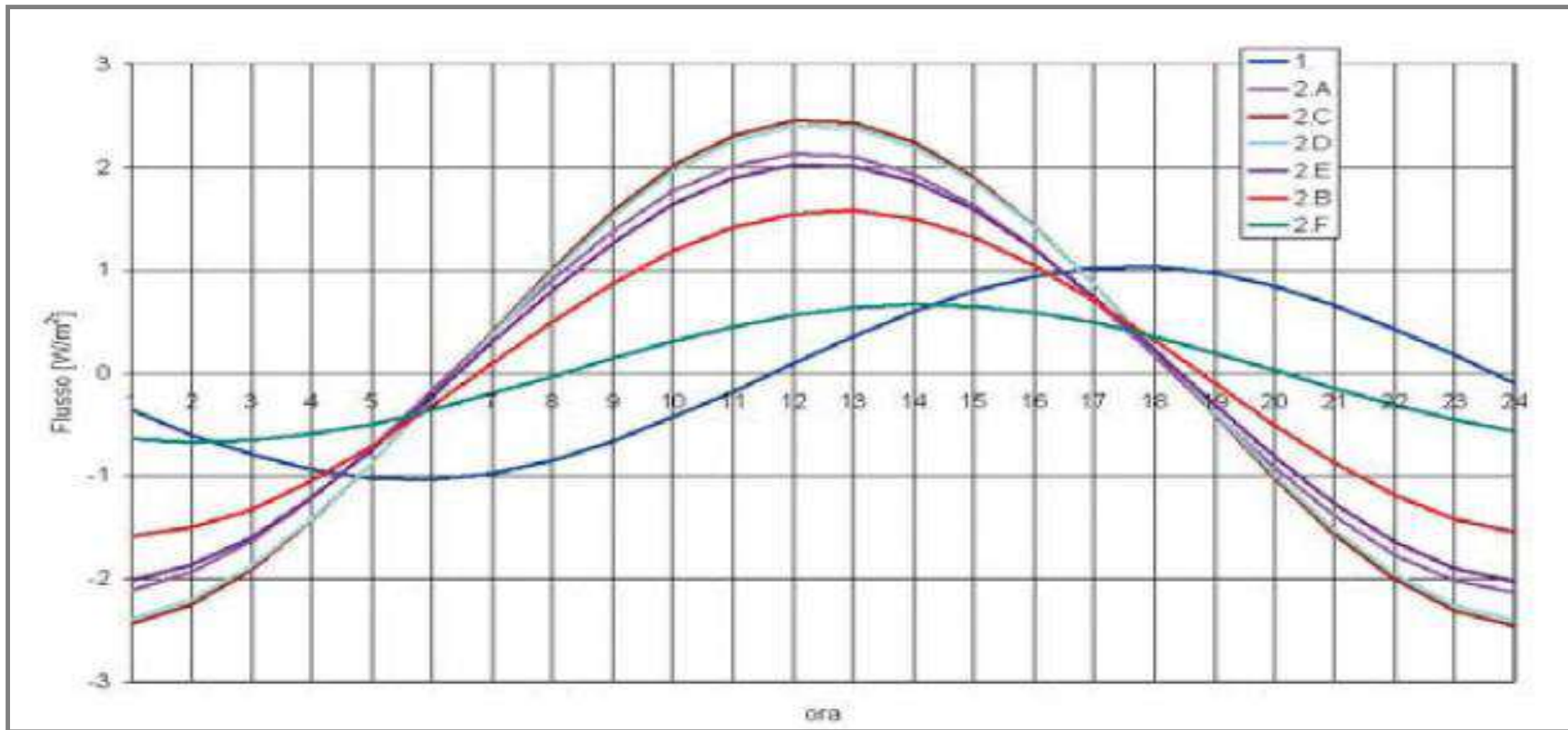


Caratteristiche in comune:

- Spessore di 33 cm
- Massa superficiale di 210 kg/m²
- Trasmittanza termica stazionaria di 0,4 W/m²K



EN ISO 13786:2008



Verifica della Trasmittanza termica periodica

D.M. 26/06/2015

- Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.
- Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.

Massa superficiale M_s (calcolata secondo la definizione dell'All.A del Dlgs 192/05 come massa superficiale della parete opaca compresa la malta dei giunti ed esclusi gli intonaci) **sia superiore di 230 kg/m^2**

Valori limite trasmittanza termica periodica

$(Y_{i,e}) \text{ W/m}^2\text{K}$

	D.P.R. 59/2009	D.M. 26/06/2015
Pareti opache verticali (ad eccezione di quelle nel quadrante N-O/N/N-E):	$Y_{i,e} \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{i,e} \leq 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
Pareti opache orizzontali ed inclinate:	$Y_{i,e} \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{i,e} \leq 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Zone interessate alla verifica $Y_{i,e}$
- Zone non interessate alla verifica $Y_{i,e}$

Edifici ricadenti nelle località del territorio nazionale con valore di Irradianza (I) > 290 W/m^2 esclusa zona climatica F:




Parametri: il DM requisiti definisce, oltre agli indici di prestazione energetica, anche i seguenti parametri e coefficienti:

- H'_T = coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente espresso in kW/m²K
- $A_{sol,est} / A_{sup\ utile}$ = area solare equivalente estiva per unità di superficie utile
- η_H = efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale
- η_W = efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria
- η_W = efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità)


Verifiche « Qualità media »

Prestazione energetica invernale dell'involucro:

$1 * Ep_{H,nd,limite} (2019/21) < Ep_{H,nd} \leq 1,7 * Ep_{H,nd,limite} (2019/21)$	MEDIA	
--	-------	---

Indice di prest. termica utile per il riscaldamento (kWh/m²) dell'edificio di riferimento, ipotizzando che in esso siano installati elementi edilizi che rispettino i requisiti minimi di legge in vigore dal 2019/2021

Prestazione energetica estiva dell'involucro:

$A_{sol,est} / A_{sup\ utile} \leq 0,03$	$Y_{IE} > 0,14$	MEDIA	
$A_{sol,est} / A_{sup\ utile} > 0,03$	$Y_{IE} \leq 0,14$		

Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile

Trasmittanza termica periodica (UNI EN ISO 13786/2008)

(da Tab 3 e Tab 4 Allegato 1 Linee Guida Nazionali)

Arch. PhD Francesca Margiotta
francesca.margiotta@enea.it



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Agenzia per la
Coesione Territoriale*

ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



**GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020**