PARETI MULTISTRATO PER EDIFICI nZEB

Ing. Cristina Baglivo

Gli edifici a energia zero

innovazione
habitat
tecnologia
salvaguardia
edificio

Gli edifici sono responsabili del 40 % del consumo globale di energia nell'Unione. Il settore è in espansione, e ciò è destinato ad aumentarne il consumo energetico.

La riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra.

Gli edifici a energia zero

La gestione del fabbisogno energetico è un importante strumento che consente all'Unione di influenzare il mercato mondiale dell'energia e quindi la sicurezza dell'approvvigionamento energetico nel medio e lungo termine.

DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO
del 19 maggio 2010
sulla prestazione energetica nell'edilizia

È necessario predisporre interventi concreti al fine di realizzare il grande potenziale di risparmio energetico nell'edilizia e di ridurre l'ampio divario tra i risultati dei diversi Stati membri in questo settore.

DIRETTIVA EUROPEA 31/2010/UE

"Edifici a energia quasi zero"
futuro obbligo a partire

- **dal 2019 in poi per gli edifici pubblici**
- **dal 2021 in poi per tutti i nuovi edifici**

DEFINIZIONE

*"edificio che ha un rendimento **molto** elevato di energia ...[]. L'importo quasi pari a zero o molto basso di energia necessaria deve in misura molto significativa essere coperto da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia rinnovabile prodotta in loco o nelle vicinanze ".*

Riconoscendo la varietà nella costruzione di cultura e clima in tutta l'UNIONE EUROPEA, la direttiva **EPBD non prescrive** un **approccio uniforme** per l'attuazione di Edifici a energia zero e non descrive una metodologia di calcolo del bilancio energetico.

Per aggiungere flessibilità, richiede agli STATI MEMBRI di elaborare PIANI NAZIONALI specificamente progettati.

DIRETTIVA EUROPEA 31/2010/UE

È una **definizione estremamente aleatoria** che, lasciando spazio ad ampie possibilità, può dare origine ad incomprensioni in quanto:

1) **non definisce** una soglia precisa dei consumi energetici

2) si limita a stabilire "**l'eventualità**" di produrre in loco l'energia rinnovabile

3) non fa alcun riferimento alla **sostenibilità bio-ecologica** del processo edilizio, dei materiali e delle tecnologie costruttive impiegate.

PRESTAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO

Quantita' di energia necessaria per soddisfare il **fabbisogno energetico annuale** connesso ad uso normale dell' edificio, compresa l' energia utilizzata per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, la produzione di acqua calda e l' illuminazione.

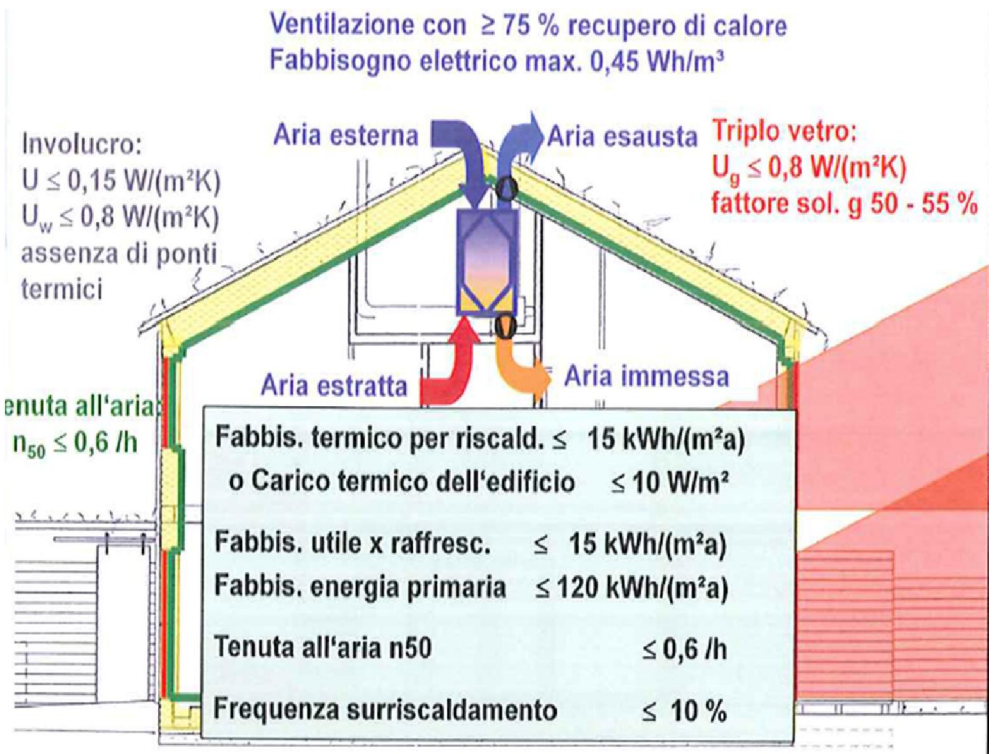
EVOLUZIONE DEGLI EDIFICI A BASSO CONSUMO:

LOW ENERGY HOUSE – CASE A BASSO CONSUMO

Tutti gli edifici con prestazioni energetiche sensibilmente migliori rispetto a quelle minime previste dalle regolamentazioni vigenti.
Per il nostro paese possiamo definire Low Energy House tutti gli edifici che hanno una classe energetica A rispetto alla classificazone nazionale.

PASSIVHAUS

I criteri da rispettare per ottenere la certificazione Passive House sono definiti dal **Passivhaus Institut di Darmstadt** (Germania).



EVOLUZIONE DEGLI EDIFICI A BASSO CONSUMO:

ZERO ENERGY BUILDING (ZEB)

Edifici in cui come risultato di un livello molto alto di rendimento energetico degli immobili, il consumo totale annuale di energia primaria dovrà essere uguale o inferiore alla produzione energetica ottenuta in loco con le energie rinnovabili.

PLUS ENERGY BUILDING

In questi edifici le prestazioni energetiche sono talmente spinte che l'energia prodotta è superiore a quella consumata. Si tratta di edifici in grado di dare un contributo energetico positivo al territorio.

DIRETTIVA EUROPEA 31/2010/UE

Le misure per il miglioramento delle prestazioni energetiche dovrebbero tenere conto delle **condizioni locali**, dell'ambiente termico interno e dell'efficacia sotto il profilo dei costi.

OBIETTIVI:

- Identificare una **comune definizione** e metodologia di valutazione **nZEB**
- Indirizzare gli attuali **strumenti di progettazione** perche' possono essere di supporto alla progettazione **nZEB**
- Definizione di **soluzioni progettuali** integrate utili per il raggiungimento **nZEB**

I principi che potrebbero essere adottati sono:

- **drastica riduzione dei consumi energetici** mediante un approccio progettuale basato sui criteri dell'architettura bioclimatica e della «progettazione passiva»;
- **fabbisogno energetico** interamente garantito da **fonti rinnovabili "on site";**
- **alta sostenibilità bio-ecologica** dell'intervento sulla base del **protocollo ITACA** ;

PROGETTAZIONE DI INVOLUCRI EDILIZI ALTAMENTE PERFORMANTI NEL CLIMA MEDITERRANEO

Definizione di una metodologia per la progettazione di pareti di tamponamento ad altissime prestazioni per edifici **nZEB nel clima Mediterraneo**, mediante analisi **multi-obiettivo**. La ricerca della stratigrafia ottimale è avvenuta mediante la comparazione di un **numero molto elevato di combinazioni** sia con i tipici materiali da costruzione, sia con materiali di ultima generazione, come i materiali naturali o derivanti da attività di recupero e riciclo.

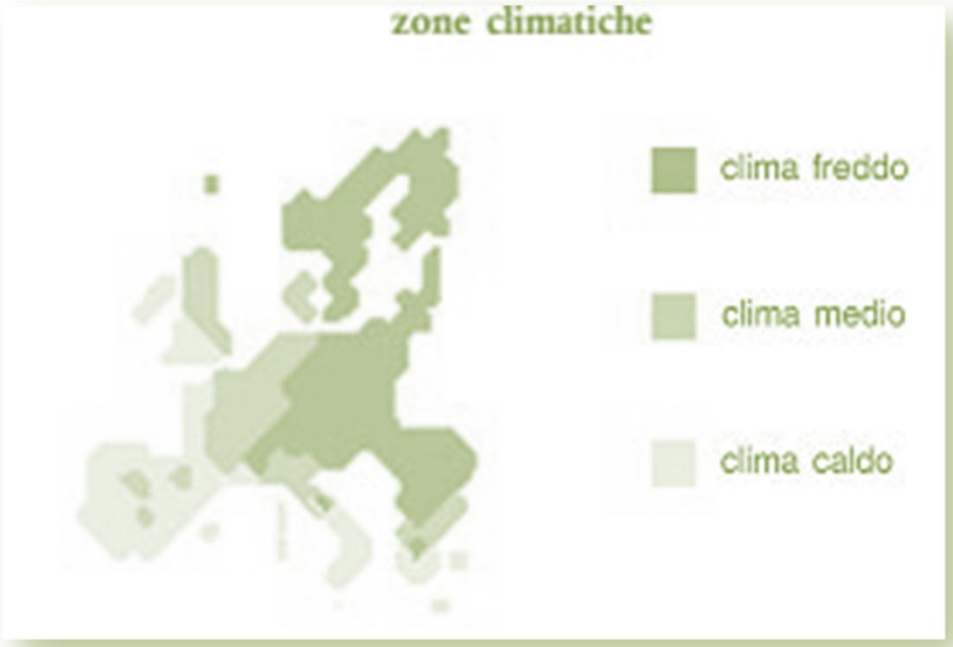
Analisi multi-obiettivo

La selezione dei materiali da costruzione è considerato un problema di <u>decisione multi obiettivo</u>.

MODEFRONTIER
Implementazione in Matlab della procedura di calcolo UNI EN ISO 13786
(Thermal performance of building components, Dynamic Thermal Characteristics, Calculation Methods)

- **il progettista** può scegliere la soluzione appropriata per il suo lavoro tra una serie di possibili configurazioni della parete esterna.
- permette un' **analisi dei costi.**
- è possibile effettuare un controllo sugli impatti ambientali del prodotto in termini di **LCA.**
- cambiando **input o objectives** è possibile utilizzare la metodologia su più fronti.

Edifici costruiti in zone climatiche continentali utilizzano tecniche di super isolamento, pareti multistrato leggere.



Gli edifici ad alta efficienza energetica costruiti in Europa adottano prevalentemente la tecnologia delle **pareti multistrato leggere** con materiali strutturali a bassa densità ed **isolanti termici ad elevato spessore** (anche 20-30 cm), a **basso peso specifico** e **bassa massa di accumulo**, per ottenere valori di **trasmittanza termica stazionaria molto bassi** (inferiori a 0,15 W/m^2K).

Un'ottima coibentazione termica riduce le dispersioni termiche garantendo al contempo temperature superficiali interne più elevate in inverno e più contenute d'estate.

Questa tipologia di involucro “iperisolata”, caratterizzata da una bassa massa termica e, quindi, da una limitata inerzia termica, non permette di “scaricare” adeguatamente nelle ore notturne il calore accumulato **innescando un processo di surriscaldamento**.

In zone climatiche calde e temperate, come l’area del **Bacino del Mediterraneo**, il sovraccarico termico risulta spesso irreversibile se non vi è, nella costruzione, un perfetto controllo delle fonti di irraggiamento solare (effetto serra) ed un’adeguata gestione degli apporti gratuiti di calore all’interno dell’edificio.

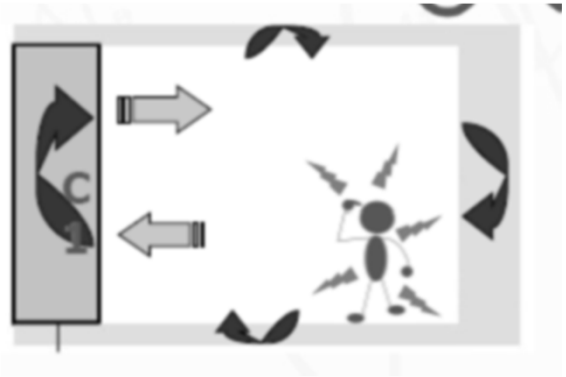
Con questa tipologia di involucro non è possibile sfruttare i benefici dei sistemi passivi di riscaldamento, vista la limitatezza e la mancanza di superfici dotate di massa di accumulo termico in grado di immagazzinare il calore quando necessario per poi distribuirlo agli spazi interni quando l’effetto del guadagno solare cessa.

Per edifici progettati in climi caldi l' aspetto fondamentale è la massa di accumulo, adeguata ammettenza e sufficiente **Cip**

Entra in gioco un'altra proprietà termica dinamica

CAPACITA' TERMICA AREICA INTERNA PERIODICA (C1) → **Fattore di inerzia**

- Capacità effettiva di accumulo di energia sul lato interno parete



La ricerca della **stratigrafia ottimale** è avvenuta mediante comparazione di un elevato numero di combinazioni con tipici materiali da costruzione e materiali di ultima generazione, materiali naturali o derivanti da attività di recupero e riciclo.

fibra di legno pannelli flessibili - rigidi
lana di legno
pannelli di sughero espansi
pannelli morbidi in fibre di cellulosa
fibre di kenaf - canapa - lino - cocco -mais
lana di pecora
granuli di perlite espansa
vermiculite espansa
vetro granulare espanso

calce cemento cellulare
vetro cellulare
isolante poliuretano espanso
isolante Multipor
polietilene espanso
pannelli di sughero espanso
malta di cemento

intonaco a calce idraulica
intonaco di calce e gesso
intonaco di gesso puro
intonaco premiscelato pronto

laterizio forato
Calcestruzzo
blocchi in cemento alleggerito con argilla espansa
mattone in terra cruda
bimattoni bolognesi
blocco21 fori
blocco svizzero
doppio uni
Neomoltifori
super 12*25*19
Biomattone
Tufo
Perlitech blocco termico
lecablocco fonoisolante

L'analisi è avvenuta tramite comparazione di proprietà termiche quali: la trasmittanza stazionaria, la tramittanza termica periodica, il fattore di attenuazione, lo sfasamento, Cip e altre variabili come il costo del pacchetto, la percentuale di materiali eco – compatibili e lo spessore totale.

OUTPUT	
Variabile	Descrizione
fd	fattore di attenuazione
sfas	sfasamento
Y	trasmittanza termica periodica
Cip	Capacità termica aerica lato interno
U	Trasmittanza stazionaria
Yii	Ammetenza termica lato interno
Yee	Ammetenza termica lato esterno
prezzo_mq	Costo del pacchetto al mq
perc_nat	Percentuale materiali eco - compatibili
Stot	Spessore totale
ms	massa superficiale totale (escluso intonaci)

Creazione database dei materiali da costruzione: proprietà termofisiche

Material	λ *(W/mK)*	c *(J/KgK)*	ρ *(kg/m³)*	*Thicknesses (mm)*
Air (cavity)				5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
Wood fiber panels flexible	0.038	2100	49.5	40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240
Wood fiber hardboard	0.039	2100	160	20 40 60 80 100 120 140 160
Wood wool	0.08	1800	385	25 35 50
Cork panels expanded	0.038	1900	120	10 20 30 40 50 60 80 100 120 140 160
Soft cellulose fibers panels	0.039	2150	40	30 40 50 60 80 100 120 140 160 180
Kenaf fiber	0.039	1700	50	20 30 40 50 60 80
Hemp fibers	0.03	2200	38	30 40 50 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240
Flax fiber	0.04	1550	30	40 60 80 100 120 140 160
Coconut fiber	0.043	1300	125	40
Sheep wool	0.037	1720	19.9	100 150
Granules of expanded perlite	0.045	837	92.5	5 7 10 15 20
Exfoliated vermiculite	0.057	787	85	2
Granulated cellular glass	0.08	850	190	150 190 260 390 520
Calcium silicate panels	0.045	1000	107.5	80 100 120 160 180 200 240 260 300
Cellular glass	0.06	850	140	40 60 80 100 120
Brick	0.327	1000	850	140
Block 21 holes	0.292	1000	930	120
Swiss block	0.232	1000	800	180
Double uni	0.299	1000	910	120
Brick super	0.265	1000	920	120
Tuff	0.336	1300	1215	110 150 180 200 250
Concrete Exp. Clay soundproofing	0.245	1000	1200	200
Lime and gypsum coat	0.35	836	1200	12.5
Insulating polyurethane foam	0.023	1255	36	20 30 40 50 60 70 80 90 100 120
Mineral Insulating	0.045	1300	115	50 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300
Polyethylene foam	0.048	2092	33	2 3 4 5 6 8 10 12 15 20 25 30
Pure gypsum coat	0.35	1090	1200	12.5
Cement mortar	1.4	836	2000	30
Ready mixed coat	0.14	836	1000	30
Hollow brick 8*25*25	0.4	837	775	80
Concrete	1.67	880	2200	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

IL PROTOCOLLO ITACA

Si è dato peso maggiore a materiali naturali o di riciclo con l' obiettivo di raggiungere un elevato punteggio sul Protocollo Itaca.

-1	**Prestazione inferiore allo standard** e alla pratica corrente.
0	**Prestazione minima accettabile** definita da norme vigenti o, se assenti, **livello di pratica corrente.**
1	**Lieve miglioramento della prestazione** rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente.
2	**Significativo miglioramento della prestazione** rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente.
3	**Notevole miglioramento della prestazione** rispetto alle norme vigenti e alla pratica corrente, ossia **migliore pratica.**
4	**Significativo incremento della prestazione della migliore pratica.**
5	**Prestazione considerevolmente avanzata** rispetto alla migliore pratica, di carattere **sperimentale.**

B.4 Materiali eco-compatibili

B.4.1 Riutilizzo delle strutture esistenti

B.4.6 Materiali riciclati/recuperati

B.4.7 Materiali da fonti rinnovabili

B.4.8 Materiali locali

B.4.9 Materiali locali per finiture

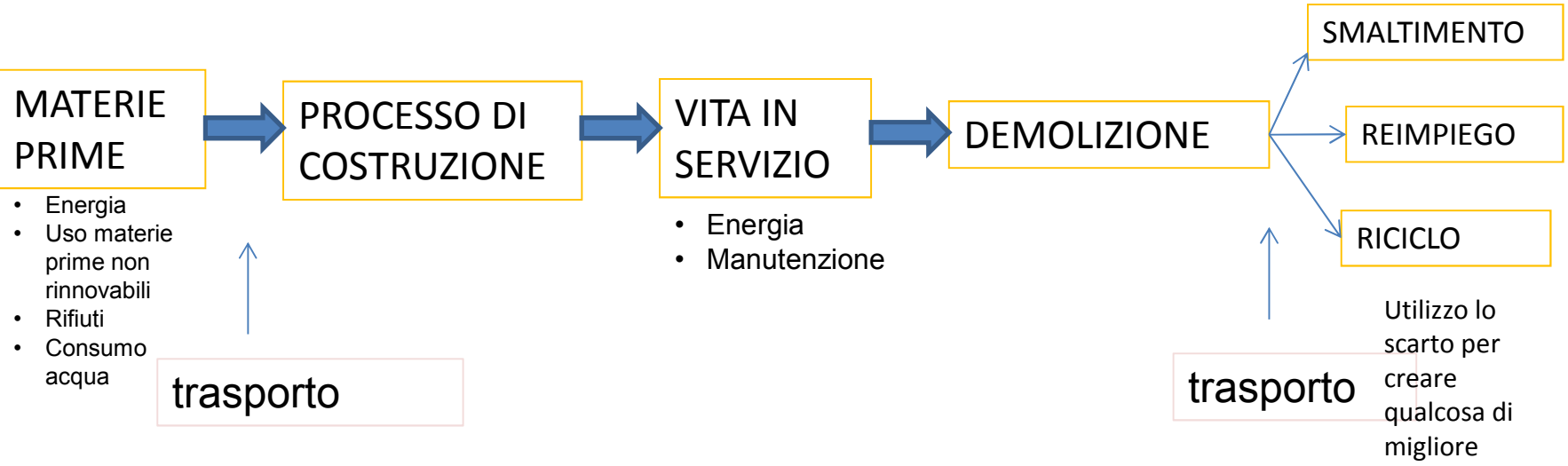
B.4.10 Materiali riciclabili e smontabili

B.4.11 Materiali biosostenibili

ATTENZIONE A:

BILANCIO ECOLOGICO: prospetto complessivo e comparato degli effetti, positivi e negativi, di un determinato prodotto sull' ambiente.

Analisi intero ciclo di vita del materiale: un prodotto nasce, cresce, si trasforma, invecchia e muore. In questo processo lascia dei segni sull' ambiente



Analisi fase di utilizzo: problema salubrità degli ambienti interni.

Creazione database dei materiali da costruzione: punteggio di eco-sostenibilità

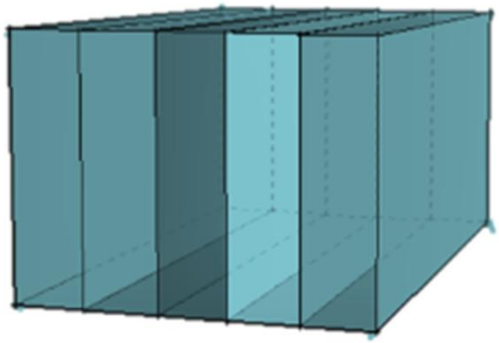
ISTITUTO PER L'INNOVAZIONE E TRASPARENZA DEGLI APPALTI E LA COMPATIBILITA' AMBIENTALE

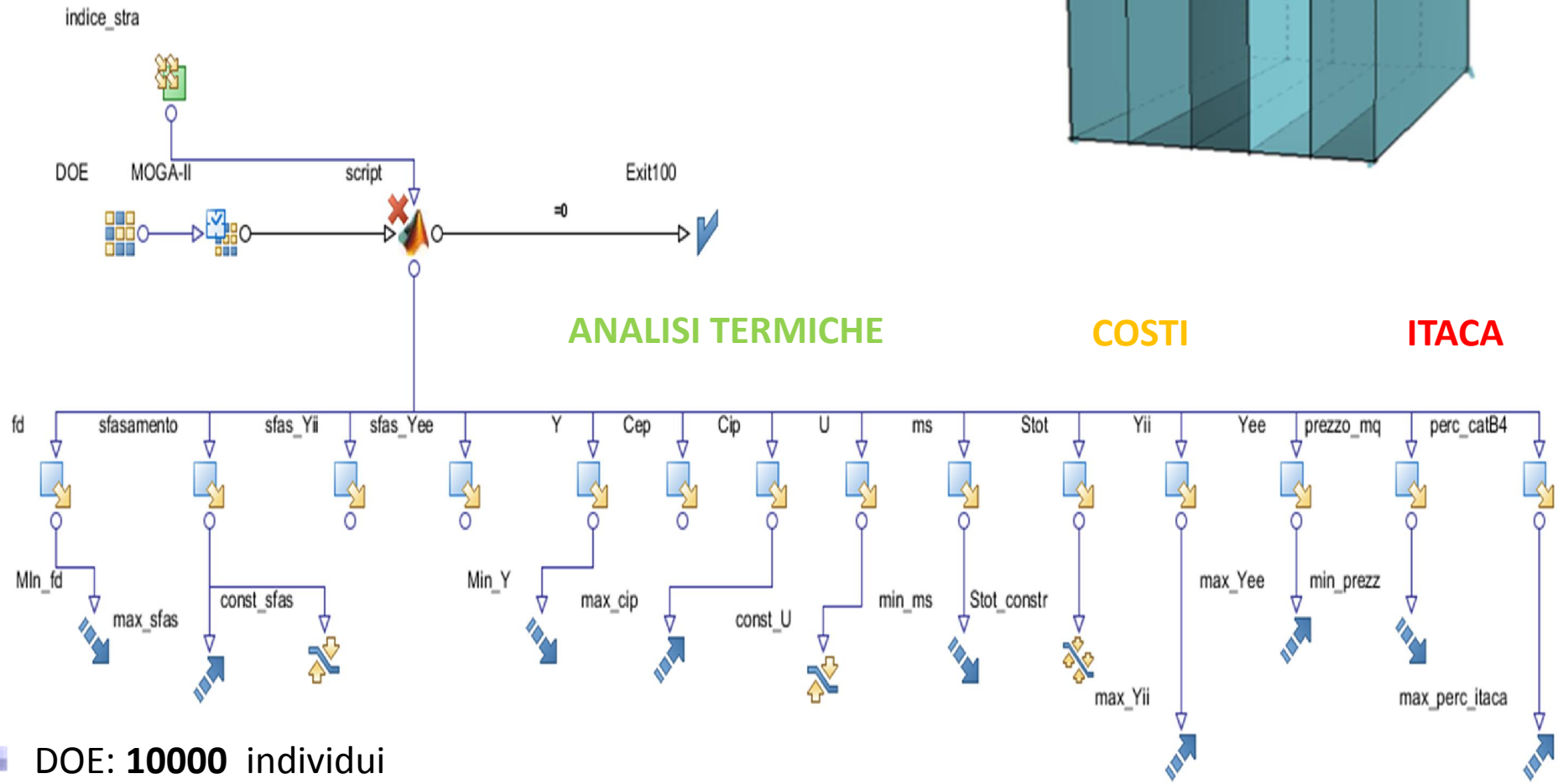
Material	*Reused/ recycled*	*From renewable sources*	*Local production (Heavy materials)*	*Local production (materials for finishing)*	*Eco-sustainable*
Wood fiber panels flexible	X	X			X
Wood fiber hardboard	X	X			X
Wood wool	X	X			X
Cork panels expanded	X	X			X
Soft cellulose fibers panels	X	X			X
Kenaf fiber	X	X			X
Hemp fibers	X	X			X
Flax fiber	X	X			X
Coconut fiber	X	X			X
Sheep wool	X	X			X
Granules of expanded perlite	X				X
Exfoliated vermiculite	X				X
Granulated cellular glass	X				X
Calcium silicate panels	X				X
Cellular glass	X				X
Brick			X		
Block 21 holes			X		
Swiss block			X		
Double uni			X		
Brick super			X		
Tuff			X		X

Creazione database dei materiali da costruzione: analisi costi

Material	*Thicknesses (mm)*	*Cost (€/m²)*	*Cost (€/m³)*
Wood fiber panels flexible	40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240		116
Wood fiber hardboard	20 40 60 80 100 120 140 160		130
Wood wool	25 35 50	18.6 23.1 31.9	
Cork panels expanded	10 20 30 40 50 60 80 100 120 140 160	10.30 13.30 17.70 23.60 29.50 35.40 47.20 59.00 70.80 82.60 94.40	
Soft cellulose fibers panels	30 40 50 60 80 100 120 140 160 180	5.95 7.70 9.65 11.55 14.65 16.75 20.05 23.45 26.80 30.15	
Kenaf fiber	20 30 40 50 60 80	8.10 12.15 16.20 20.25 24.30 32.40	
Hemp fibers	30 40 50 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240	4.5 5.75 7.15 8.55 9.9 11.75 13.25 15.35 17.65 19.8 22 24.2 26.25	
Flax fiber	40 60 80 100 120 140 160	6.02 9.02 12.05 15.15 18.18 21.21 24.24	
Coconut fiber	40	21.5	
Sheep wool	100 150	16.07 22.79	
Granules of expanded perlite	5 7 10 15 20		134
Exfoliated vermiculite	2		165.29
Granulated cellular glass	150 190 260 390 520	19.35 24.035 32.89 49.335 65.78	
Calcium silicate panels	80 100 120 160 180 200 240 260 300	58.23 62.14 65.68 73.55 77.36 81.16 101.45 111.59 131.63	
Cellular glass	40 60 80 100 120	35 46.98 52.3 67.47 78.31	
Brick	140	45	
Block 21 holes	120	9.6	
Swiss block	180	7.07	
Double uni	120	10.76	
Brick super	120	14.73	
Tuff	110 150 180 200 250	15.94 16.9 31.5 18.58 19.63	

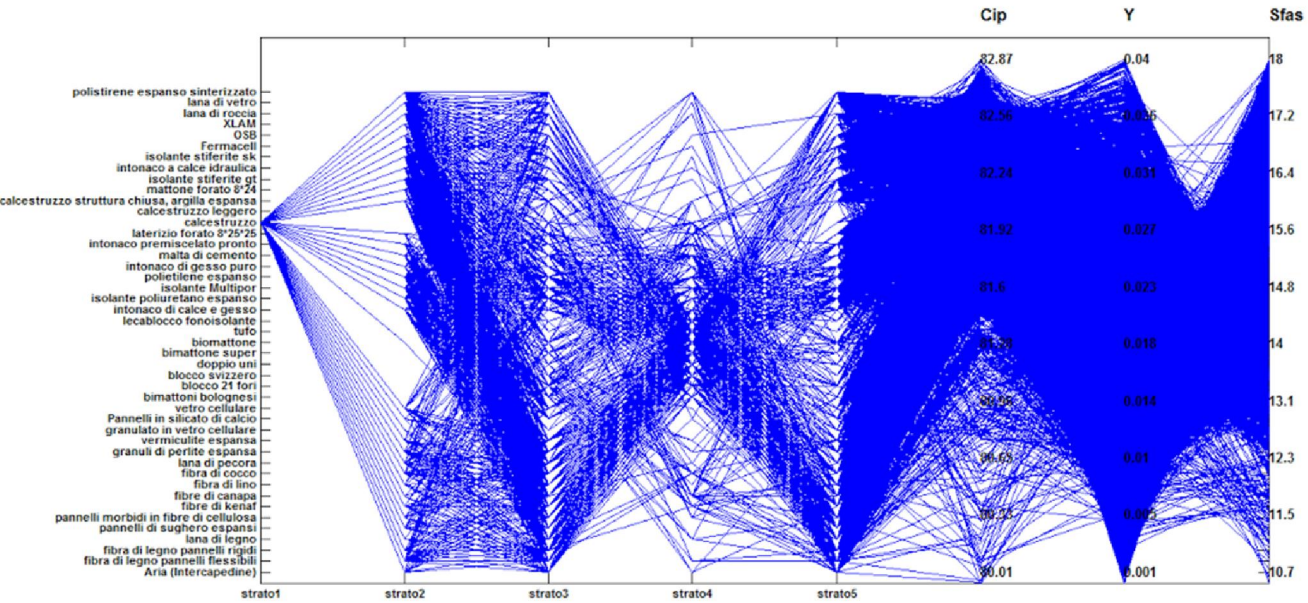
Diagramma di flusso: Modefroniter





- DOE: **10000** individui
- MOGA 2: 10 generazioni
- MOGA 2: 100 generazioni

RISULTATI

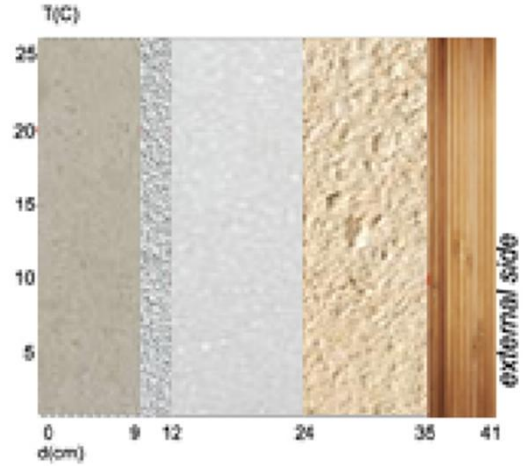


Tale analisi ha consentito di comparare un numero elevatissimo di combinazioni, scartando automaticamente le combinazioni meno performanti

Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4	Layer 5	U	Y_{12}	Y_{22}	Y_{11}	fd	Ms	Δt	k_1	k_2	d	Itaca	Cost
					W/m²K	W/m²K	W/m²K	W/m²K		Kg/m²	h	kJ/m²K	kJ/m2K	m	%	m²
Concrete 50 mm	Wood and hemp fiber panels. 7 50 mm	Cork panels expanded 40 mm	Granules of expanded perlite 10 mm	Polyester Fiber. 4 40 mm	0,276	0,144	1,344	4,972	0,520	128,825	7,878	70,231	20,427	0,190	77,700	42,640
Concrete 50 mm	Insulating polyurethane foam 70 mm	Wood and hemp fiber panels. 2 19 mm	Granules of expanded perlite 15 mm	Polyester Fiber. 4 40 mm	0,208	0,099	1,392	4,957	0,477	128,878	8,105	69,488	20,488	0,194	77,700	41,190
Concrete 70 mm	Polyethylene foam 8 mm	Wood and hemp fiber panels. 130 mm	Polyester Fiber. 9 50 mm	Polyurethane foam 140 mm	0,242	0,120	0,340	5,631	0,495	163,004	6,797	78,600	5,876	0,198	77,700	37,284
Concrete 100 mm	Wood and hemp fiber panels. 2 10 mm	Fiberglass 20 mm	Expanded polystyrene foam 20 mm	Hemp fibers 40 mm	0,335	0,144	0,405	5,960	0,430	225,160	5,669	82,658	6,496	0,190	77,700	56,800
Concrete 70 mm	Polyethylene foam 8 mm	Wood and hemp fiber panels. 130 mm	Air 50 mm	Polyurethane foam 140 mm	0,334	0,184	0,388	5,618	0,550	160,504	5,389	78,321	6,226	0,198	77,700	30,784
Concrete 40 mm	Sheep wool 100 mm	Polyethylene foam 8 mm	Polyethylene foam 2 mm	Wood and hemp fiber panels. 7 40 mm	0,241	0,186	0,406	4,401	0,774	92,120	3,907	61,378	6,646	0,190	77,700	26,813
Concrete 70 mm	Insulating polyurethane foam 80 mm	Wood and hemp fiber panels. 2 8 mm	Polyester Fiber. 7 24 mm	Polyethylene foam 5 mm	0,224	0,117	1,106	5,617	0,524	165,365	6,543	78,339	16,687	0,187	77,700	40,981
Concrete 50 mm	Hemp fibers 60 mm	Fiberglass 30 mm	OSB (Oriented Strand Board) 18 mm	Hemp fibers 40 mm	0,217	0,081	0,670	4,966	0,375	126,460	8,110	69,366	10,186	0,198	77,700	73,900
Concrete 70 mm	Polyethylene foam 8 mm	Wood and hemp fiber panels. 130 mm	Polyester Fiber. 8 40 mm	Polyurethane foam 140 mm	0,260	0,106	0,421	5,592	0,408	166,904	8,094	78,217	7,057	0,188	77,700	35,984
Concrete 70 mm	Hemp fibers 60 mm	Polyethylene foam 5 mm	Polyurethane foam 2 40 mm	Polyester Fiber. 8 20 mm	0,229	0,126	0,606	5,627	0,552	161,045	5,905	78,330	9,834	0,195	77,700	38,331
Concrete 40 mm	OSB (Oriented Strand Board) 25 mm	Polyurethane foam 170 mm	Air 5 mm	Wood and hemp fiber panels. 11 40 mm	0,227	0,150	0,305	5,022	0,660	107,970	4,932	69,367	5,188	0,180	77,700	66,210
Concrete 70 mm	Hemp fibers 80 mm	Polyethylene foam 5 mm	Polyethylene foam 10 mm	Polyester Fiber. 8 20 mm	0,270	0,151	0,656	5,614	0,559	160,735	5,737	78,262	10,713	0,185	77,700	22,014
Concrete 50 mm	Cork panels expanded 50 mm	Polyester Fiber. 4 40 mm	Granules of expanded perlite 15 mm	Polyester Fiber. 4 40 mm	0,284	0,098	1,321	4,963	0,346	138,588	10,120	69,567	19,452	0,195	77,700	47,910
Concrete 70 mm	Cork panels expanded 10 mm	Wood and hemp fiber panels. 130 mm	Wood fiber hardboard 60 mm	Polyethylene foam 12 mm	0,330	0,142	0,812	5,592	0,430	169,996	8,237	78,686	13,045	0,182	77,700	31,291
Concrete 100 mm	Cork panels expanded 10 mm	Soft cellulose fibers panels 40 mm	Wood and hemp fiber panels. 2 8 mm	Hemp fibers 40 mm	0,331	0,137	0,462	5,952	0,412	226,160	6,531	82,884	7,624	0,198	77,700	36,790
Concrete 70 mm	Polyester Fiber. 8 80 mm	Polyethylene foam 5 mm	Polyethylene foam 10 mm	Polyester Fiber. 8 20 mm	0,324	0,140	0,839	5,601	0,433	170,495	8,173	78,773	13,430	0,185	77,700	22,514
Concrete 70 mm	Polyethylene foam 8 mm	Cork panels expanded 60 mm	Air 5 mm	Polyurethane foam 140 mm	0,268	0,134	0,369	5,619	0,501	162,904	6,558	78,497	6,290	0,183	77,700	62,284
Cement mortar 30 m	Concrete 20 mm	Cork panels expanded 120 mm	Polyethylene foam 10 mm	Polyethylene foam 6 mm	0,271	0,146	0,675	4,764	0,538	118,928	7,444	67,321	11,083	0,186	88,800	76,649

Multi-criteria optimization analysis of external walls according to ITACA protocol for zero energy buildings in the Mediterranean climate

Output	Objectives	Constraints	Type
fd	MIN	< 0,11	-
Dt	MAX	< 20 h	-
Y_{12}	MIN	< 0.04 W/m^2K	-
k1	MAX	> 80 J/m^2K	Heavy
k1	MAX	> 60 J/m^2K	Medium
k1	MAX	> 60 J/m^2K	Light
U	-	< 0,4 W/m^2K	-
d	-	< 0,43 m	-
M_s	-	> 300 Kg/m^2	Heavy
M_s	-	[230-300] Kg/m^2	Medium
M_s	-	< 230 Kg/m^2	Light
Y_{11}	MAX	-	-
Y_{22}	MAX	-	-
% Itaca	MAX	-	-



Concrete

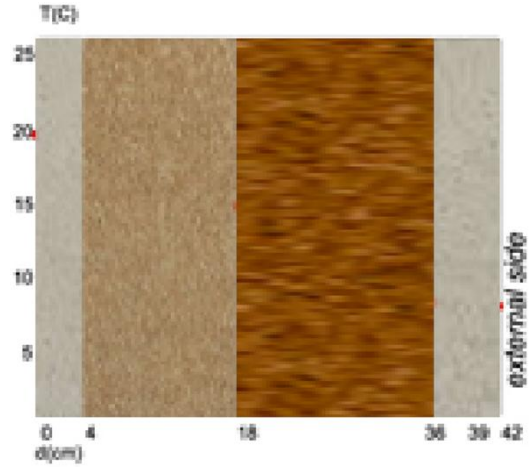
Cement mortar

Polyiurethane exp.

Tuff

XLAM

Ms 424.17 Kg/m2
k1 82,7 J/m^2K



Concrete

Hemp fiber

Wood and hemp fiber panels.12

Plaster

Cement mortar

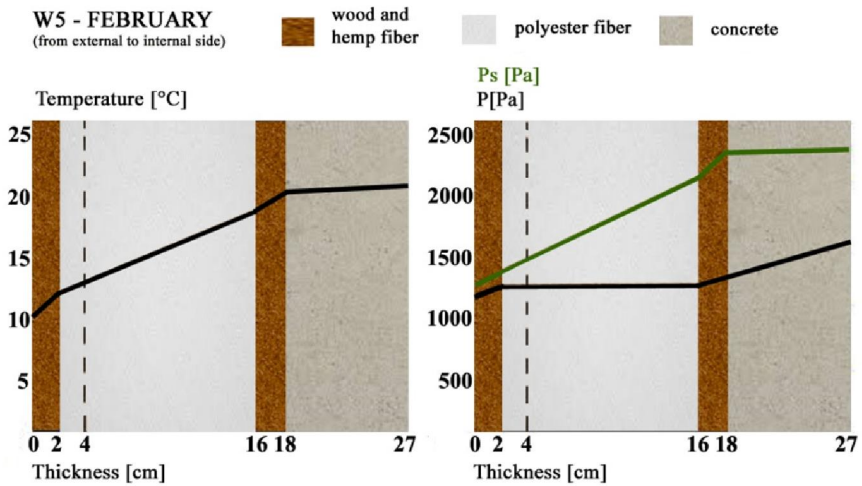
Ms 208.5 Kg/m2
k1 61,3 J/m^2K

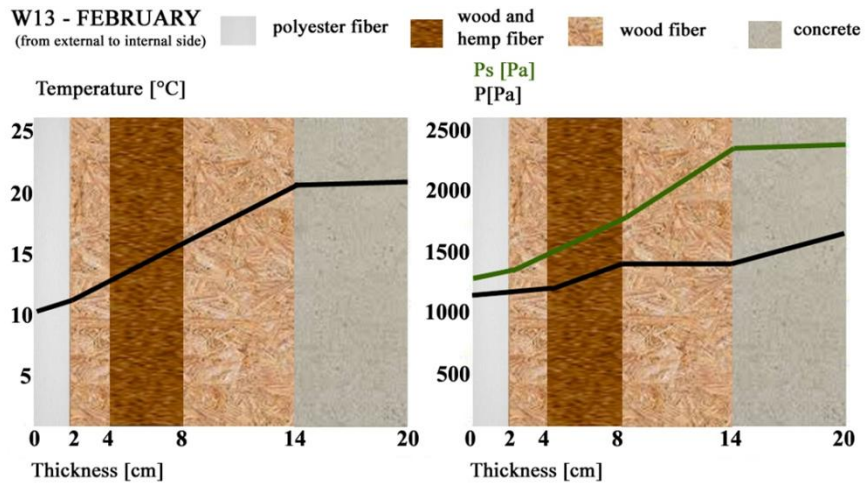
Design method of high performance precast external walls for WARM climate by multi-objective optimization analysis.

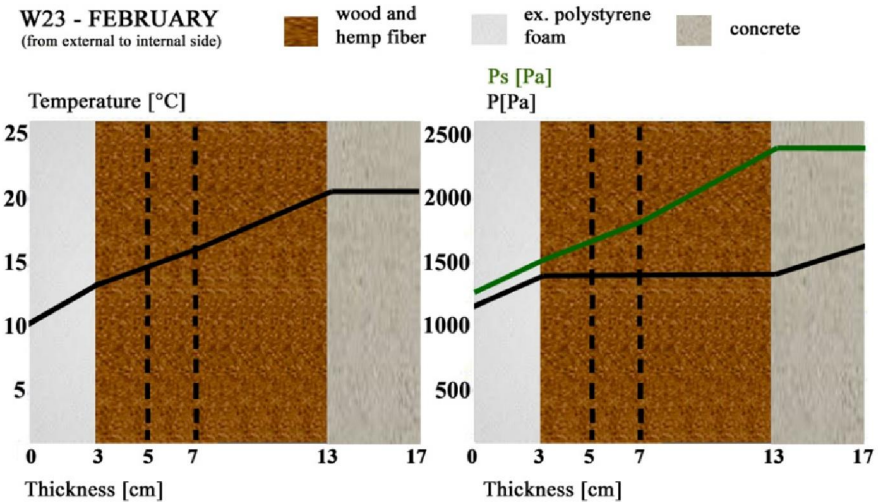
Output	Thick walls (d = 25-28 cm)		Thin walls (d= 18-20 cm)		Ultra-thin walls (d < 18 cm)	
	Objectives	Constraints	Objectives	Constraints	Objectives	Constraints
fd	↘	< 0,11	↘	< 0,11	↘	< 0,11
Dt	↗	< 20 h	↗	< 20 h	↗	< 20 h
Y_{12}	↘	< 0.04 W/m²K	↘	< 0.04 W/m²K	↘	< 0.04 W/m²K
k1	↗	> 70 J/m²K	↗	> 60 J/m²K	↗	> 50 J/m²K
U		< 0,4 W/m²K	-	< 0,4 W/m²K	-	< 0,4 W/m²K
d	-	0,20<d<0,28 m	-	0,18<d<0,20 m	-	< 0,18 m
M_s	↘		↘		↘	
Y_{11}	↗	-	↗	-	↗	-
Y_{22}	↗	-	↗	-	↗	-
% Itaca	↗	-	↗	-	↗	-
Cost	↘	-	↘	-	↘	-

Il progettista non ha una sola soluzione possibile ma un set di possibili configurazioni della parete di tamponamento, rappresentate sul fronte di Pareto dell'analisi multi-obiettivo.

Example of very high performance precast walls for WARM climate (Glaser check at February).







- Thick precast walls – W5
- Thin precast walls – W13
- Ultra-thin precast walls – W23

I risultati dimostrano che è sempre possibile raggiungere pareti esterne ad alte prestazioni con spessori limitati, inferiori a 40 centimetri, utilizzando materiali ecologici attualmente disponibili sul mercato, e raggiungere altissime prestazioni termiche dinamiche per climi caldi a basso costo.

Analisi dei costi
UN INVESTIMENTO CHE SI RIPAGA

Si ritiene fondamentale la **fase progettuale**.

Spessori di coibentazione più elevati potrebbero portare a costi maggiori.
Si predilige la messa in opera in cantiere dei vari materiali, per ovviare a spese di trasporto.

CONCLUSIONI

L'approccio progettuale per la definizione di un edificio **ZEB** è significativamente differente in base alla zona climatica, con particolare attenzione alla massa termica ed inerzia termica dell'involucro esterno. Una analisi di tipo **multi-obiettivo** è stata condotta al fine di ad ottenere diversi tipi di pareti esterne ad alta efficienza energetica per edifici **ZEB nel clima mediterraneo.**

I risultati hanno messo in evidenza come la massa superficiale dell'involucro esterno dell'edificio sia importante per ottenere le migliori prestazioni nei **climi caldi**. Tuttavia, si possono raggiungere prestazioni termiche elevate anche con masse superficiali e spessori minori, attraverso adeguate combinazioni dei materiali edili.

Il modello creato risulta flessibile ed adattabile ad ottimizzazioni mirate ad ottenere pareti altamente performanti in base alle esigenze dei differenti climi esistenti. Inoltre esso lascia ampio margine di personalizzazione ed ampliamento.

Infatti è possibile:

- testare nuovi materiali

- cambiare il numero di strati del pacchetto

- vincolare gli strati a scegliere uno o più set di materiali