POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

PR.I.M.E3: Sottosistema Coibentazione Edifici

Original
PR.I.M.E3: Sottosistema Coibentazione Edifici / Grosso, M., Azzolino, M.C., Piccablotto, G., Taraglio, R.. - ELETTRONICO. - (2014).

Availability:
This version is available at: 11583/2572746 since:

Publisher:

Published
DOI:

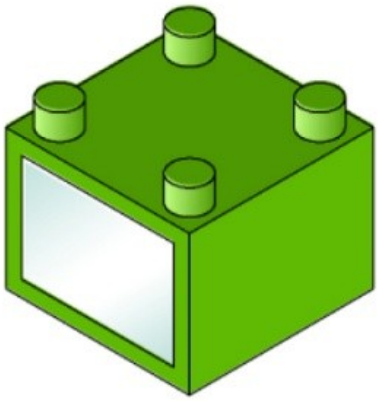
Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

08 November 2026



PR.I.M.E^3

PRocedure **I**nnovative per **M**oduli **E**dilizi **E**nergeticamente efficienti ed **E**cocompatibili

BANDO EFFICIENZA ENERGETICA IN AREE URBANE
M.A.T.T.M. Ministero dell'**A**mbiente e della **T**utela del **T**erritorio e del **M**are
CIG: **3334672263** CUP: **F81C07000110003**

SOTTOSISTEMA COIBENTAZIONE EDIFICI

Responsabile Unità Operativa Politecnico di Torino: Prof. Arch. Mario Grosso

Coordinatore Gruppo di Lavoro: arch. Maria Cristina Azzolino

Gruppo di Lavoro:
arch. Maria Cristina Azzolino,
arch. Gabriele Piccablotto,
arch. Rossella Taraglio

*f.to il responsabile:*_____

Torino, 30/12/2013

Indice

1. Introduzione
2. Metodologia d'analisi e località climatiche di riferimento
3. Selezione e test dei materiali isolanti CORMATEX
4. Calcolo della prestazione energetica dell'involucro dei moduli edilizi
   4.1. Chiusura verticale opaca
   4.2. Chiusure orizzontali opache e solaio intermedio
   4.3. Ponti termici
   4.4. Chiusura trasparente
5. Fabbisogni di energia per la climatizzazione invernale ed estiva e la produzione di ACS
   5.1 Modulo singolo
   5.2 Modulo aggregato (in linea
6. Impatto ambientale del Sottosistema Coibentazione
   6.1 Risparmi energetici
   6.2 Riduzione di emissioni di CO_2
   6.3 Utilizzo di materia prima-seconda.

ALLEGATO

Limiti da DPR n. 59 del 02/04/2009, D.Lgs n. 192 del 19/08/2005

1. Introduzione

Il principale obiettivo della ricerca PRIME3, per quanto riguarda il sottosistema Coibentazione, è la verifica della potenzialità, in termini di risparmio energetico e riduzione dell'impatto ambientale, di elementi isolanti termici dell'involucro innovativi, composti da materiali di scarto del processo produttivo tessile e del pneumatico, destinati a diventare rifiuti.

Tali elementi sono ricavati da processi di trasformazione realizzati dal partner di PRIME3 CORMATEX (si veda la relazione specifica) e garantiscono prestazioni funzionali paragonabili a quelle di prodotti termo isolanti esistenti sul mercato, come certificato dalle prove di conducibilità termica e trasmissione del vapore condotte nell'ambito della ricerca (si veda la documentazione allegata al rapporto CORMATEX). Tale risultato rappresenta una forte incentivazione alla loro diffusione – sia in sostituzione di prodotti attualmente utilizzati, sia individuando nuove applicazioni – con importanti benefiche ricadute sul sistema ambientale globale, in quanto consente di sottrarre alcuni materiali di scarto dal ciclo dei rifiuti, riportandoli sul mercato con un importante valore aggiunto.

Il presente rapporto conclusivo riporta – dopo un sintetico inquadramento della problematica degli interventi di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel contesto italiano – i risultati delle verifiche effettuate sui materiali isolanti CORMATEX e i calcoli delle prestazioni energetiche dell'involucro, e del sistema edificio-impianto, sia per il modulo PRIME3 singolo, sia per quello aggregato in linea, nell'ipotesi d'impiego dei materiali suddetti.

1.1 Contesto energetico italiano e europeo

Il riscaldamento copre oltre due terzi dei consumi energetici complessivi del settore residenziale in Italia, che sono stabili nel tempo (Fig. 1) [ENEA, 2013]. L'isolamento termico è la strategia più efficace per ridurre tali consumi.

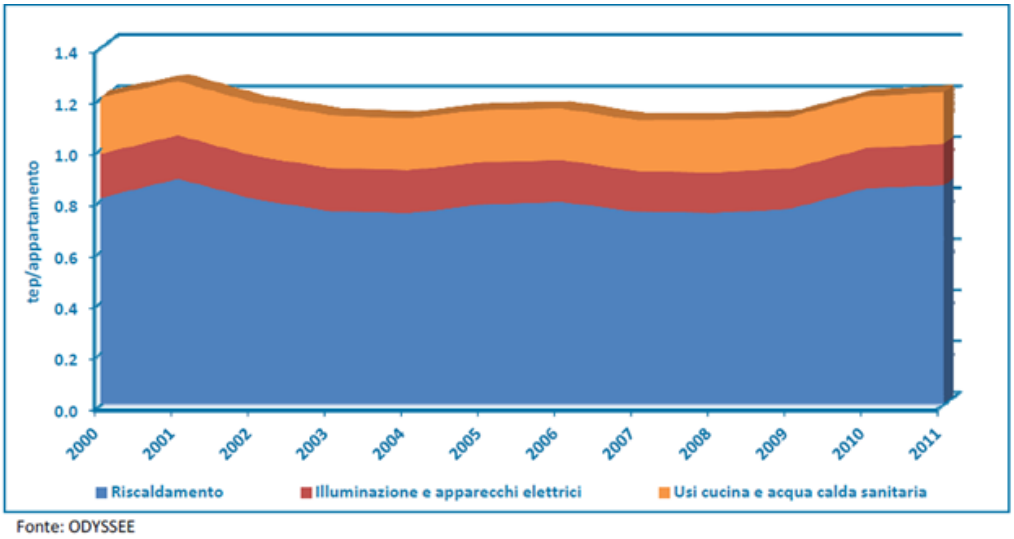


Fig. 1 – Consumo energetico nel residenziale per tipologia (tep/appartamento), anni 2000-2011

Nel panorama europeo gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia: essi rappresentano, quindi, un settore chiave sul quale si sta intervenendo con provvedimenti e misure che, anche se efficaci, necessitano di maggiori e più puntuali indirizzi. Nella Direttiva 2010/31/UE il Consiglio Europeo sottolinea la necessità di un impegno molto più incisivo da parte degli Stati membri per incrementare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di conseguire una riduzione dei consumi del 20% in questo settore entro il 2020, obiettivo difficile da perseguire stando ai risultati raggiunti finora. La Direttiva, oltre a promuovere l'utilizzo di fonti energetiche alternative, impone agli Stati membri di fissare dei requisiti energetici minimi che dovranno essere soddisfatti dai produttori di componenti edilizi al fine di raggiungere livelli ottimali di prestazione in funzione dei costi. I risultati della ricerca PRIME3 contribuiscono a tale scopo, attraverso l'implementazione di tecnologie innovative d'isolamento termico con l'utilizzo di materiali riciclati, a basso costo di produzione.

Le politiche energetiche italiane, e quelle europee più in generale, sono state mirate in questi anni all'ottimizzazione dell'involucro edilizio per ridurre i consumi principalmente durante la stagione fredda. In tal senso, la tecnica di efficientamento energetico più utilizzata è quella che tende a rendere l'edificio il più adiabatico possibile, vale a dire, a fare in modo che il calore accumulato all'interno, grazie all'impianto di riscaldamento, non sia disperso verso l'esterno con conseguente aumento delle ore di funzionamento dell'impianto stesso e di combustibile utilizzato. Ciò è ottenuto attraverso un aumento del livello di isolamento termico [ENEA, 2013].

Questa tecnica, tuttavia, deve essere utilizzata a fronte di analisi climatiche accurate: infatti, mentre per le zone climatiche E e F è sempre efficace, lo è di meno per la zona climatica D e può non esserlo nelle zone A, B e C, in cui le condizioni climatiche della stagione estiva, e anche di quelle intermedie, rendono necessaria l'applicazione di tecniche di raffrescamento per realizzare condizioni di comfort all'interno degli ambienti abitati.

In tale ottica, l'obiettivo di trovare il giusto equilibrio per l'efficienza energetica negli edifici, tenendo conto delle esigenze invernali e estive è perfettamente coerente con il programma e i risultati di PRIME3, in cui l'ambito di studio della coibentazione è associato a quella della ventilazione naturale e del raffrescamento passivo/ibrido – che ha avuto un peso ancora più rilevante.

1.2 Risparmi da interventi di efficientamento energetico degli edifici in Italia

La Direttiva 2002/91/CE per l'incremento dell'efficienza energetica degli edifici è stata recepita dl Governo Italiano attraverso il Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, entrato in vigore l'8 ottobre 2005.

Con questo provvedimento è stata costituita una cornice normativa all'interno della quale le Regioni possono esplicitare le loro competenze, sviluppare le specificità e cogliere le opportunità proprie dei loro contesti climtici e socio-economici. Il Decreto ha apportato forti novità rispetto al quadro legislativo preesistente, in particolare nella metodologia progettuale, nelle prescrizioni minime, nell'ispezione degli impianti, nonché nell'introduzione della certificazione energetica degli edifici. La tab. 1 sintetizza i risultati relativi all'attuazione del D.Lgs 192/05, grazie al quale sono stati conseguiti risparmi energetici per un ammontare pari a circa 27.000 GWh/anno.

Tab. 1 – Risparmi energetici derivanti dall'attuazione del D.Lgs 192/05 (GWh/anno), anni 2005-2012

Tipologia	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2005-2012
Residenziale	110	523	500	388	290	232	219	168	2.431
Non residenziale	-	219	223	479	360	465	404	351	2.501
Sostituzione impianti termici	-	3.142	3.218	2.960	2.905	3.024	3.388	3.381	22.019
TOTALE	110	3.884	3.941	3.827	3.555	3.721	4.011	3.900	26.951

Fonte: Elaborazione ENEA

Le prescrizioni del D.Lgs 192/05 risultano, tuttavia, oggi superate dalle indicazioni della nuova Direttiva 2010/31/UE sopra citata (non ancora convertita in Legge dal Parlamento italiano), che si pongono come obiettivo la realizzazione di nuovi edifici a energia quasi-zero entro il 2020.

In tale ottica, per stimare il contributo di un'ulteriore riduzione dei consumi energetici, e del relativo impatto ambientale, di interventi di efficientamento energetico degli edifici più efficaci di quelli prescritti dal D. Lgs 192/05, l'ENEA ha effettuato un'analisi di scenario su nuove costruzioni e ampliamenti, stimando il differenziale tra i minori consumi dei fabbricati energeticamente efficienti rispetto a quelli che rispettano i requisiti minimi imposti dal DL 19/05/2005 n. 192 [ENEA, 2013].

Nel caso del settore residenziale, la superficie utile abitabile (sia dei nuovi fabbricati, sia degli ampliamenti di fabbricati con abitazioni), per la quale è stato rilasciato il permesso di costruire (Tab. 1), è stata suddivisa in tre differenti categorie di consumo, associando, quindi, a ognuna di esse un risparmio energetico unitario rispetto al *benchmark* (rappresentato dai requisiti del DL), attraverso il quale desumere il risparmio complessivo.

Tab. 1 – Permessi di costruire: fabbricati residenziali e ampliamenti, anni 2005-2012.

Anno	Fabbricati Nuovi		Ampliamenti con abitazioni	
	Abitazioni (numero)	Superficie utile abitabile (m^2)	Abitazioni (numero)	Superficie utile abitabile (m^2)
2005	278.602	20.479.027	27.104	2.169.149
2006	261.455	19.143.787	28.436	2.272.912
2007	250.271	18.383.339	26.431	2.086.441
2008	191.783	14.268.787	23.263	1.859.979
2009	141.587	10.703.097	18.867	1.540.195
2010	119.409	9.366.218	9.298	781.441
2011 *	112.570	9.163.218	8.908	712.970
2012 *	84.307	6.831.217	-	-

* Dati provvisori.

Ipotizzando un risparmio alto (60 kWh/m^2) per il 6% della superficie complessiva, medio (35 kWh/m^2) per il 9% di essa e minimo (20 kWh/m^2) per il restante 85%, ne consegue un risparmio energetico complessivo di 2.431 GWh/anno per il periodo 2005-2012 (Tab. 2).

Tab. 2 – Risparmi energetici per fabbricati residenziali (GWh/anno), anni 2005-2012

Tipologia	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2005-2012
Fabbricati nuovi	100	468	449	343	253	214	203	152	2.183
Ampliamenti	11	56	51	45	36	18	16	16	248
TOTALE	110	523	500	388	290	232	219	168	2.431

Fonte: Elaborazione ENEA

Analogamente, per il settore terziario, al volume dei nuovi fabbricati e degli ampliamenti, desunti dalle statistiche ISTAT sui permessi di costruire (Tab. 3), è stato associato un risparmio energetico unitario pari a 2,3 kWh/m^3 per il periodo 2006-2007, 5 kWh/m^3 per il periodo 2008-2009 e 7 kWh/m^3 per il periodo 2010-2012.

Tab. 3 - Permessi di costruire: fabbricati non residenziali e ampliamenti, anni 2006-2012

Anno	Fabbricati Nuovi			Ampliamenti	
	Numero	Volume (m^3 v/p)	Superficie (m^2)	Volume (m^3 v/p)	Superficie (m^2)
2006	19.351	111.995.040	18.654.669	33.145.370	5.503.600
2007	16.198	117.839.214	19.165.421	29.839.066	4.964.234
2008	15.235	112.957.187	17.724.225	32.379.093	5.192.081
2009	12.658	85.132.207	13.662.473	24.117.110	3.798.887
2010	13.255	79.747.435	12.999.846	18.808.561	2.987.773
2011 *	12.186	67.388.239	11.042.694	18.169.047	2.941.271
2012 **	-	-	12.141.030	-	-

* Dati provvisori.
** Dato provvisorio e comprensivo anche degli ampliamenti.
Fonte: ISTAT

Il risparmio energetico complessivo nel periodo 2006-2012, per il settore non residenziale, è pari a 2.501 GWh/anno (Tab. 4), dei quali tre quarti circa derivano dai settori dell'industria e dell'agricoltura.

Tab. 4 – Risparmi energetici in fabbricati non residenziali (GWh/anno), anni 2006-2012.

Settore	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2006-2012
Industria e agricoltura	154	158	345	256	334	282	245	1.773
Terziario e altro	66	66	134	104	131	122	106	728
TOTALE	219	223	479	360	465	404	351	2.501

Fonte: Elaborazione ENEA

A titolo indicativo, ipotizzando l'impatto che potrebbe derivare dalla diffusione della tecnica d'isolamento e dei sistemi di climatizzazione passiva/ibrida, proposti dal progetto PRIME^3, nell'ordine del 10% del complesso di interventi per l'efficientamento energetico degli edifici in Italia, il risparmio energetico annuo ottenibile sarebbe di 243 GWh, per il settore residenziale, e di 250 GWh, per quello non residenziale.

2. Metodologia d'analisi e località climatiche di riferimento

2.1 Metodologia

L'analisi energetica in regime stazionario è stata condotta, sia sul modulo singolo, sia su quello aggregato (in linea), utilizzando il software Termolog EpiX3 di Logical Soft, conforme alla normativa tecnica e a quanto prescritto dal D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59.

Detta analisi è stata svolta secondo le seguenti fasi:

a. selezione di tre località di riferimento, rappresentative del campo di variazione delle zone climatiche italiane;
b. valutazione delle caratteristiche termofisiche dei materiali isolanti forniti dalla CORMATEX e selezione di alcuni tipi con prestazioni di resistenza termica migliori, al fine di verificarne, con test di laboratorio, la conducibilità termica e la resistenza alla diffusione del vapore;
c. definizione, in sinergia con il partner IN.GE.CO., delle stratigrafie relative alle chiusure opache, trasparenti e partizioni strutturali orizzontali interne, con la collocazione ottimale del materiale isolante, anche tenendo conto delle prestazioni acustiche;
d. calcolo, tramite il software Termolog, dei parametri termofisici delle chiusure e partizioni interne (trasmittanza termica , trasmittanza termica periodica, condensa superficiale, condensa interstiziale), al fine di verificarne i rispetto dei limiti di legge, per le località selezionate;
e. calcolo, tramite il software Termolog, dell'indice di prestazione energetica invernale, nelle ipotesi di serra chiusa e serra aperta;
f. calcolo, tramite il software Termolog, dell'indice di prestazione energetica estiva, nell'ipotesi di serra aperta;
g. valutazione del risparmio energetico ottenibile, sia per il riscaldamento, sia per il raffrescamento, rispetto ai limiti di legge;
h. valutazione delle emissioni di gas serra (CO_2-equivaente) evitate, in relazione al risparmio energetico calcolato.

Il processo di analisi e verifica è stato di tipo interattivo, con continui feed-back dalle fasi di progettazione dei componenti d'involucro – svolti dai partner AE.C..I. e IN.GE.CO. – a quelle di calcolo, al fine di realizzare le soluzioni ottimali, tenendo conto non solamente delle prestazioni energetiche, ma anche di quelle strutturali, funzionali, di montaggio e di risparmio dei materiali.

2.2 Selezione delle località di riferimento

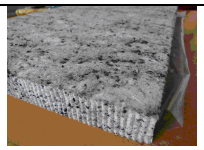
Le località di riferimento selezionate sono le seguenti:

a. Torino, zona climatica E, in rappresentanza dei climi dell'Italia settentrionale (padano-alpini);
b. Roma, zona climatica D, in rappresentanza dei clima dell'Italia centrale (tirreno-appenninici);
c. Messina, zona climatica B, in rappresentanza dei climi dell'Italia meridionale (tirreno-insulari).

3. Selezione e test dei materiali isolanti CORMATEX

I materiali presi in considerazione, prodotti con tecnologia CORMATEX, sono elencati e illustrati in Tab. 5, con le loro caratteristiche termofisiche, determinate in precedenza da test commissionati dalla CORMATEX stessa.

Tab. 5 – Parametri termofisici dei materiali isolanti CORMATEX

Tipologia prodotto CORMATEX		Spessore (mm)	Massa frontale (kg/m^2)	Densità (kg/m^3)	Conduttività termica, λ (W/m K)	Resistenza termica, R (m^{2}K/W)
1) SHODDY + PU FOAM Aspetto: Pannello fibroso multicolore Composizione: - 65% Fibre rigenerate di tessuti - 20% Poliuretano - 15% Poliestere biocomponente		25	1.25	50	0.0340	0.740
2) TIRE CORD WASTE Aspetto: pannello fibroso grigio Composizione: - 80% Materiale riciclato da pneumatico - 20% Poliestere bicomponente		32	3.8	118	0.0410	0.744
3) REGENERATED FIBRE FROM CLOTHES Aspetto: Pannello fibroso multicolore Composizione: - 80% Fibre rigenerate di tessuti - 20% Poliestere bicomponente		50	2.3	46	0.0469	0.039
4) PU FOAM AND LATEX WASTE Aspetto: pannello fibroso multicolore Composizione: - 55% Lattice riciclato - 35% Schiuma di poliuretano riciclato - 10% Polistirene		100	4.0	40	0.0418	2.190
5) PAPER WASTE Aspetto: pannello fibroso multicolore Composizione: - 90% Carta riciclata - 10% Poliestere bicomponente		90	3.9	43	0.0459	1.890
6) HEMP AND HEMP STALKS Aspetto: pannello fibroso Composizione: - 55% Fibra di canapa - 30% Stelo della Canapa - 15% Poliestere bicomponente		15	1.5	100	0.0383	0.3
7) CARCASS Aspetto: pannello fibroso Composizione: - 85% Carcass - 20 % Poliestere bicomponente		90	4.5	50	0.0468	1.82

Tra i materiali descritti e elencati in Tab. 5, si sono scelti il 2 e il 4, in funzione delle caratteristiche di conducibilità e densità, ma modificandone spessore e densità:
2) "PU-LATEX 37-70"
4) "PFU 240-11"

Su campioni di detti materiali si è proceduto a verifiche con test di laboratorio (si veda il rapporto CORMATEX), per la rideterminazione più accurata della conducibilità termica e per la misura del fattore di resistenza al vapore, quest'ultimo non disponibile da test precedenti.

I parametri termofisici dei materiali testati sono indicati in Tab. 6.

Tab. 6 – Parametri termofisici dei materiali CORMATEX selezionati e testati

Tipologia prodotto CORMATEX		Spessore **(mm)**	Massa frontale **(kg/m^2)**	Densità **(kg/m^3)**	Conduttività termica, λ **(W/m K)**	Resistenza termica, R **(m^{2}K/W)**	Resistenza vapore μ (-)
ii) PU-LATEX 37-70 (da PU FOAM AND LATEX WASTE) Aspetto: pannello agglomerato di colore base giallo chiaro-beige Composizione: - 10% Lattice riciclato - 45% Schiuma di poliuretano riciclato - 25% Poliestere bicomponente - 20% Fibre tessili riciclate		70	2.6	37	0.0385	1.791	11.3
i) PFU 240-11 (da TIRE CORD WASTE) Aspetto: pannello fibroso grigio Composizione: - 90% Materiale riciclato da pneumatico - 10% Poliestere bicomponente		11	2.6	240	0.0460	0.245	10

Il materiale PU-LATEX 37-70 è stato utilizzato sotto forma di pannello, in strati sovrapposti in funzione dello spessore richiesto e confinato da lastre in alluminio con funzione strutturale, nelle chiusure opache orizzontali e della partizioni strutturali orizzontali.

Il materiale PFU 240-11 è stato utilizzato sia sotto forma di pannello, anch'esso in strati sovrapposti in funzione dello spessore richiesto e confinato da lastre in alluminio, sia in forma granulare all'estradosso della piastra portante del solaio intermedio e di chiusura inferiore.

4. Calcolo della prestazione energetica dell'involucro dei moduli edilizi

4.1 Chiusura opaca verticale

La verifica termoigrometrica della chiusura opaca verticale del modulo edilizio (Fig. 2) è stata effettuata secondo la stratigrafia desunte dall'elaborato grafico PRIME3_AR_C_05350.

I materiali isolanti utilizzati sono:

- pannello CORMATEX PFU 240-11;
- pannello in poliuretano in lastre.

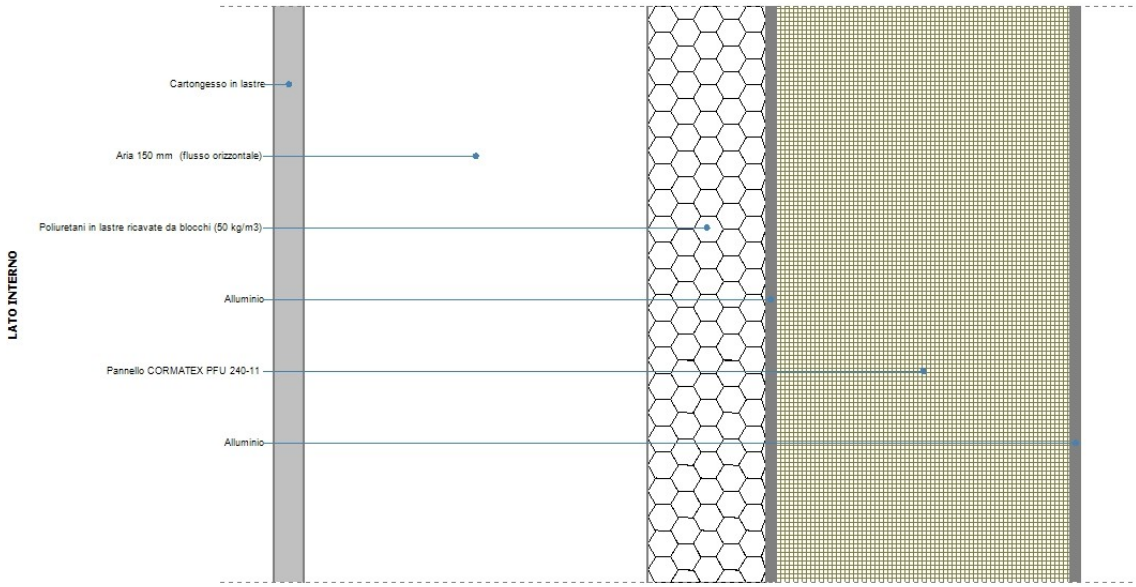


Fig. 2 – Stratigrafia della chiusura verticale opaca

I dati tipologici e dimensionali della chiusura, utilizzati nel calcolo, sono indicati in Tab. 7.

Le proprietà termiche della chiusura sono valutate in base alla UNI EN ISO 6946 (Tab. 8).

Tab. 7 – Dati tipologici e dimensionali della chiusura verticale opaca: PARETE PRIME3 240_2013

Tipologia:	Parete	Disposizione:	Verticale
Verso:	Esterno	Spessore:	410,0 mm
Trasmittanza U:	0,179 W/(m^{2}K)	Resistenza R:	5,588 (m^{2}K)/W
Massa superf.:	80 Kg/m^2	Colore:	Medio
Area:	- m^2		

Tab. 8 – Parametri termofisici della chiusura verticale opaca: PARETE PRIME3 240_2013

	Strato	*Spessore s* [mm]	*Conduttività λ* [W/(mK)]	*Resistenza R* [(m²K)/W]	*Densità ρ* [Kg/m³]	*Capacità termica C* [kJ/(kgK)]	*Fattore μa* [-]	*Fattore μu* [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-	-
A	Cartongesso in lastre	15,0	0,210	0,071	900	1,30	8,7	8,7
B	Aria 150 mm (flusso orizzontale)	175,0	0,830	0,211	1	1,00	1,0	1,0
C	Poliuretani in lastre ricavate da blocchi (50 kg/m3)	60,0	0,032	1,875	50	1,60	100,0	100,0
D	Alluminio	5,0	220,000	0,000	2.700	0,23	999.999,0	999.999,0
E	Pannello CORMATEX PFU 240-11	150,0	0,046	3,261	240	1,00	10,0	10,0
F	Alluminio	5,0	220,000	0,000	2.700	0,23	999.999,0	999.999,0
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-	-
	TOTALE	410,0		5,588				

Conduttanza unitaria superficiale interna: 7,690 W/(m²K)	Resistenza unitaria superficiale interna: 0,130 (m²K)/W
Conduttanza unitaria superficiale esterna: 25,000 W/(m²K)	Resistenza unitaria superficiale esterna: 0,040 (m²K)/W

In Tab. 9, si confrontano i risultati ottenuti in relazione ai valori limite individuati dalla normativa per le tre località di riferimento, Torino, Roma e Messina.

Tab. 9 – Confronto dei dati di output del calcolo con i limiti dei normativa per le tre località di riferimento.

	Risultato di calcolo	**Località**		
		Torino (zona E)	**Roma (zona D)**	**Messina (zona B)**
Trasmittanza termica, U (W/m²K)	0,179	verificato	verificato	verificato
Trasmittanza termica periodica, Y_{IE} (W/m²K)	0,064	verificato	verificato	verificato
Condensa superficiale	-	verificato	verificato	verificato
Condensa interstiziale	-	verificato	verificato	verificato

4.2 Chiusura opaca orizzontale

La verifica termoigrometrica della chiusura opaca orizzontale è stata effettuata per i seguenti orizzontamenti:

- chiusura orizzontale superiore (tetto verde), con stratigrafia da elaborato grafico PRIME3_AR_C_05560;
- chiusura orizzontale inferiore, con stratigrafia da elaborato grafico PRIME3_AR_C_05570.

4.2.1. Chiusura opaca orizzontale superiore

La stratigrafia della chiusura orizzontale superiore (tetto verde) è illustrata in Fig. 3.

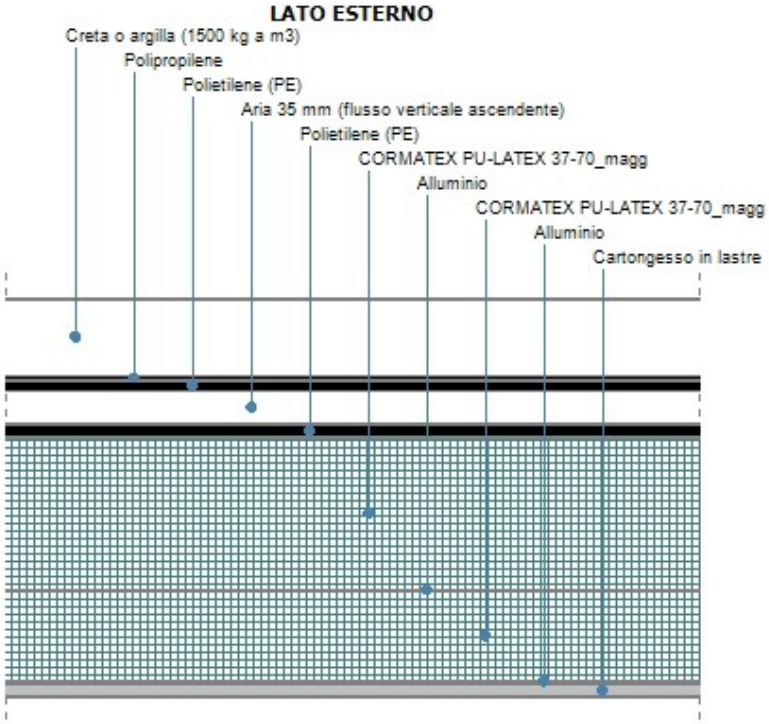


Fig. 3 - Stratigrafia della chiusura opaca orizzontale superiore (tetto verde)

I dati tipologici e dimensionali della chiusura opaca, utilizzati nel calcolo, sono indicati in Tab. 10.

Le proprietà termiche della chiusura opaca sono valutate in base alla UNI EN ISO 6946 (Tab.11) .

Tab. 10 - dati tipologici e dimensionali della chiusura opaca orizzontale superiore (tetto verde)

Tipologia:	Copertura	Disposizione:	Orizzontale
Verso:	Esterno	Spessore:	422,0 mm
Trasmittanza U:	0,162 W/(m^2K)	Resistenza R:	6,172 (m^2K)/W
Massa superf.:	165 Kg/m^2	Colore:	Medio
Area:	- m^2		

Tab. 11 – Parametri termofisici della chiusura opaca orizzontale superiore (tetto verde)

	Strato	*Spessore s* [mm]	*Conduttività λ* [W/(mK)]	*Resistenza R* [(m^{2}K)/W]	*Densità ρ* [Kg/m^3]	*Capacità termica C* [kJ/(kgK)]	*Fattore μ_a* [-]	*Fattore μ_u* [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,100	-	-	-	-
A	Cartongesso in lastre	15,0	0,210	0,071	900	1,30	8,7	8,7
B	Alluminio	3,0	220,000	0,000	2.700	0,23	999.999,0	999.999,0
C	CORMATEX PU-LATEX 37-70_magg	94,0	0,045	2,089	37	1,00	11,3	11,3
D	Alluminio	3,0	220,000	0,000	2.700	0,23	999.999,0	999.999,0
E	CORMATEX PU-LATEX 37-70_magg	160,0	0,045	3,556	37	1,00	11,3	11,3
F	Polietilene (PE)	15,0	0,350	0,043	950	2,30	54.054,1	54.054,1
G	Aria 35 mm (flusso verticale ascendente)	35,0	0,220	0,159	1	1,00	1,0	1,0
H	Polietilene (PE)	10,0	0,350	0,029	950	2,30	54.054,1	54.054,1
I	Polipropilene	7,0	0,220	0,032	910	1,80	10.000,0	10.000,0
J	Creta o argilla (1500 kg a m3)	80,0	1,500	0,053	1.200	2,09	50,0	50,0
	Adduttanza esterna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,040	-	-	-	-
	TOTALE	422,0		6,172				

Conduttanza unitaria superficiale interna: 10,000 W/(m^{2}K)	Resistenza unitaria superficiale interna: 0,100 (m^{2}K)/W
Conduttanza unitaria superficiale esterna: 25,000 W/(m^{2}K)	Resistenza unitaria superficiale esterna: 0,040 (m^{2}K)/W

4.2.1. Chiusura opaca orizzontale inferiore

La stratigrafia della chiusura orizzontale superiore (tetto verde) è illustrata in Fig. 4.

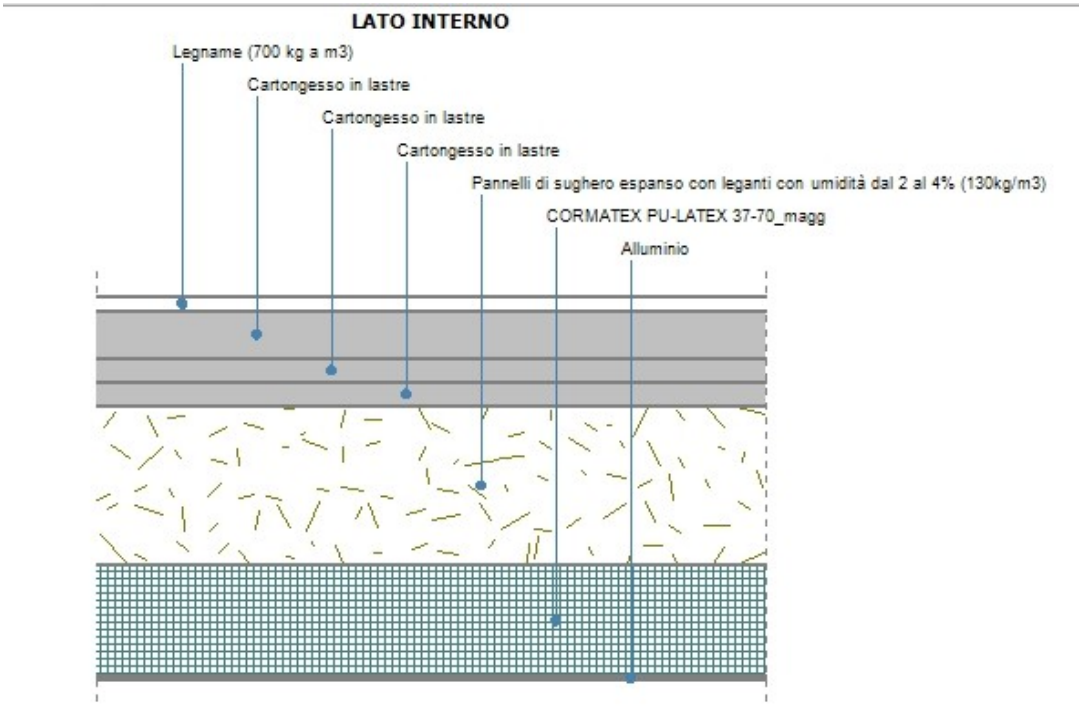


Fig. 4 - - Stratigrafia della chiusura opaca orizzontale inferiore

I dati tipologici e dimensionali della chiusura opaca, utilizzati nel calcolo, sono indicati in Tab. 12.

Le proprietà termiche della chiusura opaca sono valutate in base alla UNI EN ISO 6946 (Tab. 13).

Tab. 12 - Dati tipologici e dimensionali della chiusura opaca orizzontale inferiore.

Tipologia:	Pavimento		Disposizione:	Orizzontale
Verso:	Zona non riscaldata		Spessore:	324,0 mm
Trasmittanza U:	0,170 W/(m^{2}K)		Resistenza R:	5,877 (m^{2}K)/W
Massa superf.:	110 Kg/m^2		Colore:	Chiaro
Area:	- m^2			

Tab. 13 – Parametri termofisici della chiusura opaca orizzontale inferiore

	Strato	*Spessore* s [mm]	*Conduttività* λ [W/(mK)]	*Resistenza* R [(m^{2}K)/W]	*Densità* ρ [Kg/m^3]	*Capacità termica.* C [kJ/(kgK)]	*Fattore* μa [-]	*Fattore* μu [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-	-
A	Legname (700 kg a m3)	12,0	0,180	0,067	700	1,60	200,0	50,0
B	Cartongesso in lastre	40,0	0,210	0,190	900	1,30	8,7	8,7
C	Cartongesso in lastre	20,0	0,210	0,095	900	1,30	8,7	8,7
D	Cartongesso in lastre	20,0	0,210	0,095	900	1,30	8,7	8,7
E	Granulato di sughero + CORMATEX PFU 240-11	135,0	0,045	3,000	130	2,00	4,0	9,5
F	CORMATEX PU-LATEX 37-70_magg	94,0	0,045	2,089	37	1,00	11,3	11,3
G	Alluminio	3,0	220,000	0,000	2.700	0,23	999.999,0	999.999,0
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-	-
	TOTALE	324,0		5,877				

Conduttanza unitaria superficiale interna: 5,880 W/(m^{2}K)	Resistenza unitaria superficiale interna: 0,170 (m^{2}K)/W
Conduttanza unitaria superficiale esterna: 5,880 W/(m^{2}K)	Resistenza unitaria superficiale esterna: 0,170 (m^{2}K)/W

4.3 Partizione orizzontale strutturale

Il calcolo della trasmittanza termica unitaria della partizione orizzontale strutturale interpiano è stato effettuato sulla base della stratigrafia ricavata dall'elaborato grafico PRIME3_AR_C_05550 (Fig. 5).

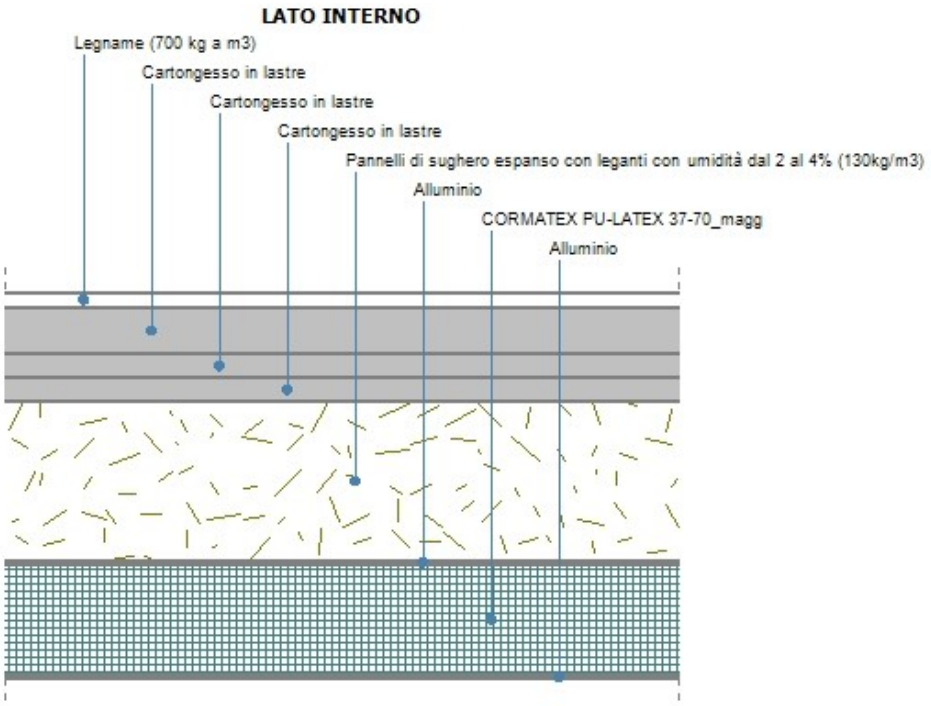


Fig. 5 – Stratigrafia della partizione orizzontale strutturale interpiano

I dati tipologici e dimensionali della partizione orizzontale strutturale sono indicati in Tab. 14.

Le proprietà termiche della partizione orizzontale sono valutate in base a UNI EN ISO 6946 (Tab. 15).

Tab. 14 - Dati tipologici e dimensionali della partizione orizzontale strutturale interpiano.

Tipologia:	Pavimento	Disposizione:	Orizzontale
Verso:	Locale interno alla zona	Spessore:	327,0 mm
Trasmittanza U:	0,170 W/(m^2K)	Resistenza R:	5,877 (m^2K)/W
Massa superf.:	118 Kg/m^2	Colore:	Chiaro
Area:	- m^2		

Tab. 15 - Dati tipologici e dimensionali della partizione orizzontale strutturale interpiano

	Strato	*Spessore s* [mm]	*Conduttività λ* [W/(mK)]	*Resistenza R* [(m^2K)/W]	*Densità ρ* [Kg/m^3]	*Capacità termica C* [kJ/(kgK)]	*Fattore μa* [-]	*Fattore μu* [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-	-
A	Legname (700 kg a m3)	12,0	0,180	0,067	700	1,60	200,0	50,0
B	Cartongesso in lastre	40,0	0,210	0,190	900	1,30	8,7	8,7
C	Cartongesso in lastre	20,0	0,210	0,095	900	1,30	8,7	8,7
D	Cartongesso in lastre	20,0	0,210	0,095	900	1,30	8,7	8,7
E	Granulato di sughero + CORMATEX PFU 240-11	135,0	0,045	3,000	130	2,00	4,0	9,5
F	Alluminio	3,0	220,000	0,000	2.700	0,23	999.999,0	999.999,0
G	CORMATEX PU-LATEX 37-70_magg	94,0	0,045	2,089	37	1,00	11,3	11,3
H	Alluminio	3,0	220,000	0,000	2.700	0,23	999.999,0	999.999,0
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-	-
	TOTALE	327,0		5,877				

Conduttanza unitaria superficiale interna: 5,880 W/(m^2K)	Resistenza unitaria superficiale interna: 0,170 (m^2K)/W
Conduttanza unitaria superficiale esterna: 5,880 W/(m^2K)	Resistenza unitaria superficiale esterna: 0,170 (m^2K)/W

In Tab. 16, si confrontano i risultati ottenuti in relazione ai valori limite individuati dalla normativa per le tre località di riferimento, Torino, Roma e Messina.

Tab. 16 – Confronto dei dati di output del calcolo con i limiti dei normativa per le tre località di riferimento.

Chiusura opaca orizzontale superiore: tetto verde

	Risultato di calcolo	Località		
		Torino (zona E)	Roma (zona D)	Messina (zona B)
Trasmittanza termica, U (W/m^{2}K)	0,162	verificato	verificato	verificato
Trasmittanza termica periodica, Y_{IE} (W/m^{2}K)	0,070	verificato	verificato	verificato
Condensa superficiale	-	verificato	verificato	verificato
Condensa interstiziale	-	verificato	verificato	verificato

Chiusura opaca orizzontale inferiore su vespaio

	Risultato di calcolo	Località		
		Torino (zona E)	Roma (zona D)	Messina (zona B)
Trasmittanza termica, U (W/m^{2}K)	0,170	verificato	verificato	verificato
Trasmittanza termica periodica, Y_{IE} (W/m^{2}K)	0,024	verificato	verificato	verificato
Condensa superficiale	-	verificato	verificato	verificato
Condensa interstiziale	-	verificato	verificato	verificato

Partizione orizzontale strutturale interpiano

	Risultato di calcolo	Località		
		Torino (zona E)	Roma (zona D)	Messina (zona B)
Trasmittanza termica, U (W/m^{2}K)	0,170	verificato	verificato	verificato

4.4 Ponti termici

Con riferimento alla norma UNI EN ISO 14683:2008 “Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento”, sono stati adottati i valori di trasmittanza termica lineica indicati in Fig. 6.

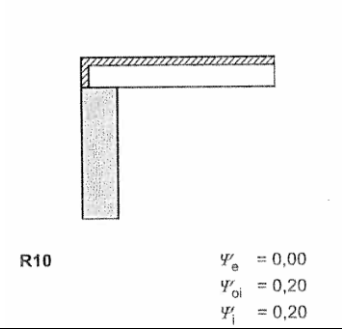
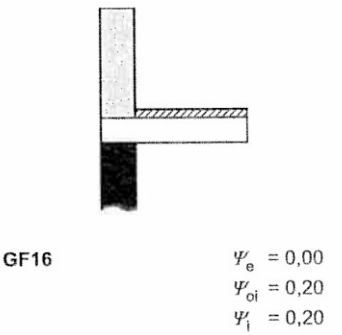
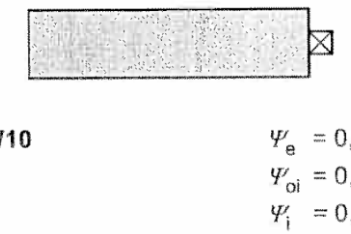
Tipo di connessione	Disegno	Trasmittanza termica lineica Ψ_e [W/mK]
Tamponatura esterna – copertura	 R10 $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,20$ $\Psi_i = 0,20$	0,00
Tamponatura esterna – chiusura orizzontale inferiore su locale areato	 GF16 $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,20$ $\Psi_i = 0,20$	0,00
Tamponatura esterna - serramento	 W10 $\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$	0,10

Fig. 6 - Tipologia di ponti termici e relativo valore del coefficiente di trasmissione termica lineica

4.5 Chiusure trasparenti

I dati di input relativi alle chiusure trasparenti, ipotizzati per il calcolo del fabbisogno energetico utile (involucro), sono i seguenti.

Per le chiusure trasparenti perimetrali del modulo:

a. trasmittanza termica telaio, U_f = 2,4 W/m^{2}K (telaio metallico con taglio termico) da UNI 11300-1:2008 prospetto C.2;

b. trasmittanza termica vetro
   - soluzione 1) U_g = 1,1 W/m^{2}K (vetro doppio bassoemissivo con argon, 6-16-4); fattore solare g = 0,40
     La soluzione 1 è adottata per le località di progetto Roma e Messina.
   - soluzione 2) U_g = 0,6 W/m^{2}K (vetro triplo con doppia camera); fattore solare g = 0,61
     La soluzione 2 è adottata per la località di progetto Torino.

c. trasmittanza termica lineica distanziatore Ψ_g = 0,08 W/mK (vetrata doppia basso emissiva, telaio in metallo con taglio termico, distanziatore plastico) da UNI EN ISO 10077-1:2007, prospetto E.2

Per la parete vetrata esterna della SERRA:

d. trasmittanza termica telaio, U_f = 2,4 W/m^{2}K (telaio metallico con taglio termico) da UNI 11300-1:2008 prospetto C.2;

e. trasmittanza termica vetro, U_g = 0,7 W/m^{2}K (vetro triplo bassoemissivo con argon, 4-14-4-14-4); fattore solare 0,63;

f. trasmittanza termica lineica distanziatore Ψ_g = 0,08 W/mK (vetrata doppia basso emissiva, telaio in metallo con taglio termico, distanziatore plastico) da UNI EN ISO 10077-1:2007, prospetto E.2

Il calcolo è stato effettuato considerando i serramenti privi di schermature esterne.

5. Fabbisogni di energia per la climatizzazione invernale ed estiva e la produzione di ACS

I fabbisogni d'energia per la climatizzazione invernale e estiva del modulo edilizio sono valutati secondo le seguenti modalità:

- calcolo dei fabbisogni d'energia netta (o "ideale", come definita dalla norma UNI/TS 11300-1, comprendente gli scambi termici attraverso l'involucro e gli apporti interni) in regime semi-stazionario, utilizzando il programma di calcolo *Termolog*;
- calcolo dei fabbisogni d'energia primaria per riscaldamento, tramite l'applicazione di un determinato rendimento medio stagionale d'impianto (incluso il fattore di conversione per la fonte energetica utilizzata) alle quantità d'energia netta;
- valutazione come nullo il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS, nell'ipotesi della copertura totale con sistemi di recupero di calore e fonti rinnovabili;
- determinazione della riduzione potenziale dei fabbisogni d'energia netta per la climatizzazione estiva, sulla base di un'ipotesi di riduzione derivante dall'applicazione del sistema di raffrescamento ventilativo ibrido.

Sono state individuate, quali località di riferimento per il calcolo rappresentative di zone climatiche diverse (D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993):

Torino [zona climatica E]
Roma [zona climatica D]
Messina [zona climatica B]

Si riportano nel seguito i risultati ottenuti nelle seguenti configurazioni:
- Modulo singolo (50m^2)
- Edificio in linea (aggregazione di n. 16 moduli da 70 m^2)

Il calcolo del fabbisogno energetico utile invernale ed estivo è stato effettuato considerando il contributo della serra solare nelle due condizioni d'uso:
- chiusa, per il periodo invernale;
- aperta, per il periodo estivo.

5.1 Modulo singolo

Il calcolo del fabbisogno energetico per il modulo singolo è stato effettuato con riferimento agli elaborati grafici:
PRIME3_AR_B_02300
PRIME3_AR_B_03300

Per quanto riguarda i dati di input:

i valori di trasmittanza termica delle chiusure verticali e orizzontali sono riportati ai punti 4.1, 4.2, 4.3 della presente relazione;

i dati riepilogativi delle chiusure trasparenti sono riportati nella Tab. 17.

Tab. 17 – dati dimensionali e termofisici delle chiusure trasparenti

Codice serramento	Orientamento	Quantità	Area [m^2]	Trasmittanza termica [W/m^2K]	
				TO	RM-ME
F1. 150x60	SUD	1	0,90	1,662	1,951
PF1. 446x220	SUD	1	9,81	1,024	1,443
F2. 90x180	EST	1	1,62	1,383	1,728
F2. 90x180	NORD	1	1,62	1,383	1,728
PF2. 215x220	NORD	1	4,73	1,226	1,607
Serra modulo verticale (180x270)	SUD	4	19,44	1,136	1,136
Serra modulo verticale (180x270)	OVEST	1	4,86	1,136	1,136
Serra modulo verticale (180x270)	EST	1	4,86	1,136	1,136
Serra modulo orizzontale (180x240)	-	3	12,96	1,156	1,156

5.1.1. Fabbisogno di energia netta per la climatizzazione invernale e estiva

Si riportano, nelle Tabb. 18 e 19, i risultati delle simulazioni effettuate secondo diverse configurazioni di progetto.

Tab. 18 – Dati delle simulazioni del fabbisogno di energia netta per la climatizzazione invernale e estiva.

Modulo singolo (50 m^2) – TORINO						
Caso studio	**Superficie utile [m^2]**	**Superficie lorda disperdente [m^2]**	**Volume lordo riscaldato [m^3]**	**S/V [m^{-1}]**	**Ep$_{inv}$ [kWh/m^{2}anno]**	**Ep$_{estivo}$ [kWh/m^{2}anno]**
SERRA SOLARE chiusa	49,3	243,6	217,1	1,122	25,99	111,74
SERRA SOLARE aperta					49,45	51,43

Modulo singolo (50 m^2) – ROMA						
Caso studio	**Superficie utile [m^2]**	**Superficie lorda disperdente [m^2]**	**Volume lordo riscaldato [m^3]**	**S/V [m^{-1}]**	**Ep$_{inv}$ [kWh/m^{2}anno]**	**Ep$_{estivo}$ [kWh/m^{2}anno]**
SERRA SOLARE chiusa	49,3	243,6	217,1	1,122	15,15	103,22
SERRA SOLARE aperta					30,57	54,12

Modulo singolo (50 m^2) – MESSINA						
Caso studio	**Superficie utile [m^2]**	**Superficie lorda disperdente [m^2]**	**Volume lordo riscaldato [m^3]**	**S/V [m^{-1}]**	**Ep$_{inv}$ [kWh/m^{2}anno]**	**Ep$_{estivo}$ [kWh/m^{2}anno]**
SERRA SOLARE chiusa	49,3	243,6	217,1	1,122	5,13	125,18
SERRA SOLARE aperta					12,45	67,81

dove:

Ep$_{inv}$: Indice di fabbisogno energetico utile invernale [kWh/m^{2}anno]

Ep$_{estivo}$: Indice di fabbisogno energetico utile estivo [kWh/m^{2}anno]

Tab. 19 - Riepilogo del fabbisogno energetico netto per la climatizzazione invernale per le tre località

Modulo singolo (50 m^2)					
Località	**Superficie utile [m^2]**	**Superficie lorda disperdente [m^2]**	**Volume lordo riscaldato [m^3]**	**S/V [m^{-1}]**	**Ep$_{inv}$ [kWh/m^{2}anno]**
Torino	49,3	243,6	217,1	1,122	25,99
Roma					15,15
Messina					5,13

5.1.2. Fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale e produzione di ACS – classificazione energetica

I fabbisogni d'energia primaria per la climatizzazione invernale sono stati determinati considerando un impianto basato sull'applicazione di sistemi di distribuzione del calore a bassa temperatura (pavimenti o pareti radianti) e a bassa inerzia (sistema a secco), con regolazione PID di zona.

La produzione dell'energia termica avviene attraverso una pompa di calore geotermica a sonde verticali.

Il rendimento medio stagionale ipotizzato, comprendente il fattore di conversione a energia primaria dell'energia elettrica (secondo il mix energetico italiano), è pari a: $\eta_{G,H} = 1{,}481$

Per quanto riguarda l'impianto di produzione dell'Acqua Calda Sanitaria, i moduli sono dotati di collettori solari termici e di un sistema di recupero di calore sulle acque di scarico. La combinazione dei due dispositivi rende la produzione di ACS completamente indipendente da fonti fossili. E' quindi considerata una copertura da fonti rinnovabili pari al 100% del fabbisogno.

I risultati del calcolo e la relativa classificazione energetica sono riportati in Tab. 20..

Tab. 20 – Classificazione energetica del modulo edilizio singolo per le tre località di riferimento

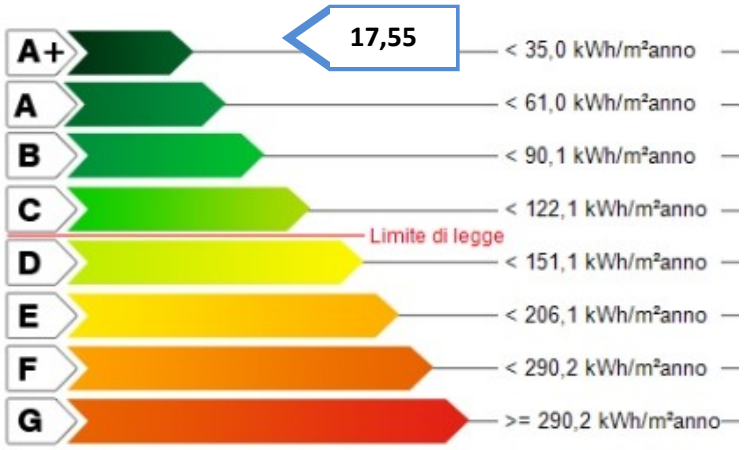
Località	**$\eta_{G,H}$** [-]	**$\eta_{G,w}$** [-]	**Ep_{gl}** [kWh/m^{2}anno]	**Classe Energetica globale nazionale**	**Limiti di classe** (*) [kWh/m^{2}anno]
Torino	1,481	-	17,55	A+	A+ < 35,0
Roma			10,23	A+	A+ < 26,1
Messina			3,46	A+	A+ < 19,1

dove
$\eta_{G,H}$: rendimento medio globale stagionale dell' impianto di riscaldamento
$\eta_{G,w}$: rendimento medio globale stagionale ACS
Ep_{gl}: Indice di prestazione energetica globale [kWh/m^{2}anno]

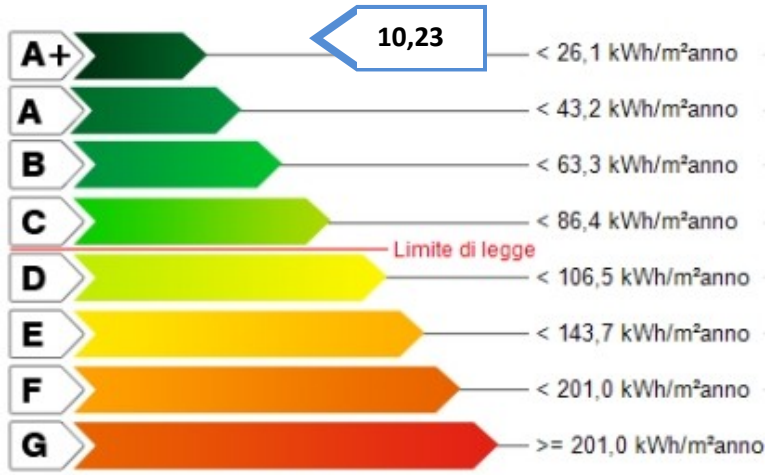
Nota:
(*) Limiti di classe con riferimento al Decreto Ministeriale 26/6/2009 – Ministero dello Sviluppo Economico Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (G.U. 10/7/2009 n. 158 – in vigore dal 25/7/2009).

La collocazione del dato relativo all'indice di prestazione energetica globale, per le tre località considerate, nel caso del modulo con S/V = 1,122 [m-1], rispetto ai limiti delle classi nazionali, di cui al DM sopra citato, sono rappresentate nei grafici di Fig. 7.

Torino:



Roma:



Messina:

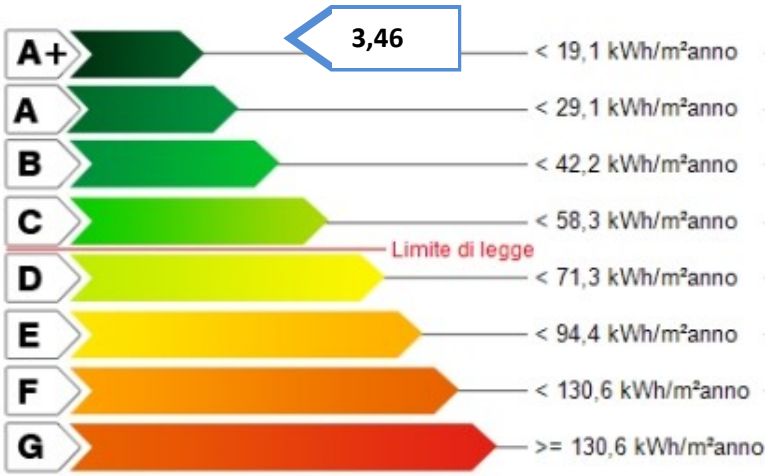


Fig. 7 – Diagrammi indicanti la classificazione energetica del modulo singolo e i limiti di legge

5.1.3. Riduzione potenziale dei fabbisogni d'energia netta per la climatizzazione estiva

La ricerca PRIME3 include, come descritto nella relazione sul sottosistema "Ventilazione Naturale Controllata e Raffrescamento Passivo", un sistema di raffrescamento passivo/ibrido d'involucro, denominato "H-NAC-wall", in grado di ridurre notevolmente i fabbisogni di raffrescamento, attraverso l'applicazione di tecniche quali: il raffrescamento microclimatico tramite ventilazione naturale controllata a estrazione per effetto camino; il raffrescamento evaporativo; il desiccant cooling alimentato da fonti solari.

Il sistema di certificazione energetica attualmente in vigore non permette di valutare questi effetti con un metodo normalizzato, per cui si è stimato il potenziale di riduzione del fabbisogno d'energia netta per climatizzazione estiva, dovuto ai suddetti sistemi, utilizzando il software Design Simulation Package V3, basato sul modello Energy + (si veda la relazione specifica). Inoltre, va segnalato che i calcoli, riportati nel § 5.1.1., dei fabbisogni di energia netta per climatizzazione estiva non considerano gli effetti delle schermature mobili (tendaggi) previsti nelle dotazioni dell'edificio, schermature che, specialmente sul fronte della serra, possono far variare significativamente i valori ottenuti in questo calcolo.

Si è ipotizzato, pertanto, un fattore di riduzione (F_{rid}) del 50% delle quantità di energia netta calcolate, in regime semi-stazionario, utilizzando il programma Termolog (Ep_{estivo} al § 5.1.1.); tale valore F_{rid} corrispondente, in misura cautelativa, al potenziale contributo dei dispositivi sopra citati.

Si riportano, in Tab. 21, i fabbisogni d'energia netta per la climatizzazione estiva, così determinati, per le tre località di riferimento, con la verifica del soddisfacimento dei limiti posti dal DPR n. 59 del 02/04/2009.

Tab. 21 – Fabbisogno di energia netta per la climatizzazione estiva del modulo singolo, ridotto per effetto delle tecnologie di raffrescamento passivo/ibrido e limiti di legge.

Località	**Ep_{estivo}** [kWh/m^{2}anno]	**F_{rid}** **[%]**	**$Ep_{estivo\text{-}corr}$** [kWh/m^{2}anno]	**Limiti di legge** [kWh/m^{2}anno]
Torino	51,43	50.0	25,71	$Ep_{estivo} \leq 30$
Roma	54,12		27,06	$Ep_{estivo} \leq 30$
Messina	67,81		33,90	$Ep_{estivo} \leq 40$

5.2 Edificio in linea

Il calcolo del fabbisogno energetico per il modulo aggregato (aggregazione di n. 16 moduli da 70 m^2) è stato effettuato con riferimento agli elaborati grafici:
PRIME3_Linea

Per quanto riguarda i dati di input:
I valori di trasmittanza termica delle chiusure verticali e orizzontali sono riportati ai punti 4.1, 4.2, 4.3 della presente relazione;
i dati relativi alle chiusure trasparenti sono riepilogati nella tab. 22.

Tab. 22 – Dati riepilogativi delle chiusure trasparenti per il calcolo del fabbisogno energetico del modulo aggregato

Codice serramento	**Orientamento**	**Quantità**	**Area [m^2]**	**Trasmittanza termica** [W/m^2K]	
				TO	**RM-ME**
F1. 150x60	SUD	16	14,40	1,662	1,951
F2. 90x180	EST	4	6,48	1,383	1,728
F2. 90x180	OVEST	4	6,48	1,383	1,728
F2. 90x180	NORD	16	25,92	1,383	1,728
PF1. 446x220	SUD	16	156,99	1,024	1,443
PF2. 215x220	NORD	16	75,68	1,226	1,607
Serra modulo verticale (160x270)	SUD	48	207,37	1,167	1,167
Serra modulo verticale (160x270)	OVEST	16	69,12	1,167	1,167
Serra modulo verticale (160x270)	EST	16	69,12	1,167	1,167
Serra modulo orizzontale (160x240)	-	8	30,72	1,186	1,186

5.2.1. Fabbisogno di energia netta per la climatizzazione invernale e estiva del modulo aggregato

Nelle tabb. 23 e 24, sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate secondo diverse configurazioni.

Tab. 23 – Risultati delle simulazioni effettuate per il calcolo del fabbisogno di energia netta del modulo aggregato in diverse configurazioni di progetto.

Edificio in linea – TORINO						
Caso studio	**Superficie utile [m^2]**	**Superficie lorda disperdente [m^2]**	**Volume lordo climatizzato [m^3]**	**S/V [m^{-1}]**	**Ep_{inv} [kWh/m^2anno]**	**Ep_{estivo} [kWh/m^2anno]**
SERRA SOLARE chiusa	1154,40	2372,6	4278,96	0,554	10,26	70,82
SERRA SOLARE aperta					31,60	16,68
Edificio in linea – ROMA						
Caso studio	**Superficie utile [m^2]**	**Superficie lorda disperdente [m^2]**	**Volume lordo riscaldato [m^3]**	**S/V [m^{-1}]**	**Ep_{inv} [kWh/m^2anno]**	**Ep_{estivo} [kWh/m^2anno]**
SERRA SOLARE chiusa	1154,40	2372,6	4278,96	0,554	6,37	62,59
SERRA SOLARE aperta					20,57	16,71
Edificio in linea – MESSINA						
Caso studio	**Superficie utile [m^2]**	**Superficie lorda disperdente [m^2]**	**Volume lordo riscaldato [m^3]**	**S/V [m^{-1}]**	**Ep_{inv} [kWh/m^2anno]**	**Ep_{estivo} [kWh/m^2anno]**
SERRA SOLARE chiusa	1154,40	2372,6	4278,96	0,554	1,82	75,07
SERRA SOLARE aperta					8,53	23,44

dove:

Ep_{inv}: Indice di fabbisogno energetico utile invernale [kWh/m^2anno]

Ep_{estivo} : Indice di fabbisogno energetico utile estivo [kWh/m^2anno]

Tab. 24 - Dati riepilogativi del fabbisogno energetico netto per la climatizzazione invernale

Edificio in linea					
Località	**Superficie utile [m^2]**	**Superficie lorda disperdente [m^2]**	**Volume lordo riscaldato [m^3]**	**S/V [m^{-1}]**	**Ep_{inv} [kWh/m^2anno]**
Torino	1154,40	2372,6	4278,96	0,554	10,26
Roma					6,37
Messina					1,82

5.2.2. Fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale e produzione di ACS – classificazione energetica

La configurazione impiantistica per il calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e la produzione di ACS è analoga a quella descritta per il modulo singolo (§ 5.1.2).

I risultati del calcolo e la relativa classificazione energetica sono riportati in Tab. 25.

Tab. 25 – Classificazione del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale del modulo aggregato

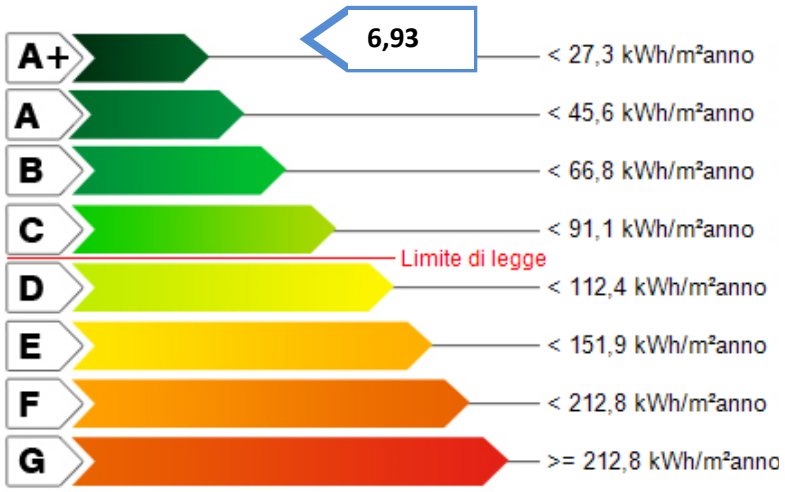
Località	**$\eta_{G,H}$** [-]	**$\eta_{G,w}$** [-]	**Ep_{gl}** [kWh/m^{2}anno]	**Classe Energetica globale nazionale**	**Limiti di classe** (*) [kWh/m^{2}anno]
Torino	1,481	-	6,93	A+	A+ < 27,3
Roma			4,30	A+	A+ < 20,3
Messina			1,23	A+	A+ < 15,3

dove
$\eta_{G,H}$: rendimento medio globale stagionale dell' impianto di riscaldamento
$\eta_{G,w}$: rendimento medio globale stagionale ACS
Ep_{gl}: Indice di prestazione energetica globale [kWh/m^{2}anno]

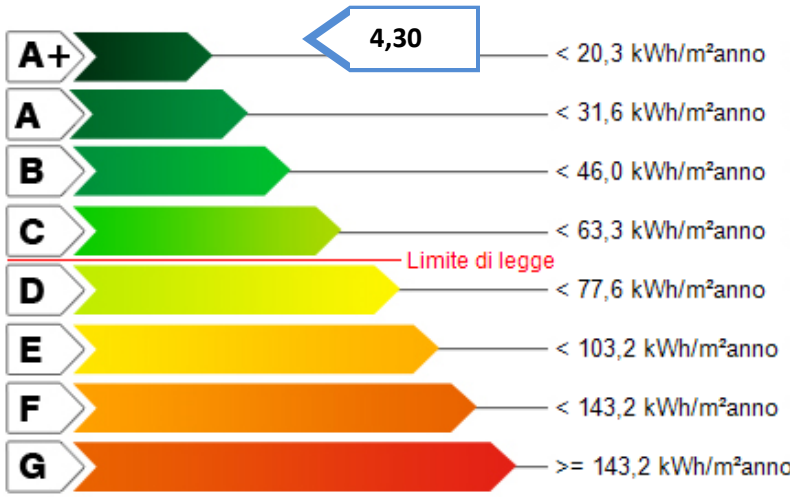
Nota:
(*) Limiti di classe con riferimento al Decreto Ministeriale 26/6/2009 – Ministero dello Sviluppo Economico Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (G.U. 10/7/2009 n. 158 – in vigore dal 25/7/2009).

La collocazione del dato relativo all'indice di prestazione energetica globale, per le tre località considerate, nel caso del modulo con S/V = 0,554 [m-1], rispetto ai limiti delle classi nazionali, di cui al DM sopra citato, è rappresentata nei grafici di Fig. 8.

Torino:



Roma:



Messina:

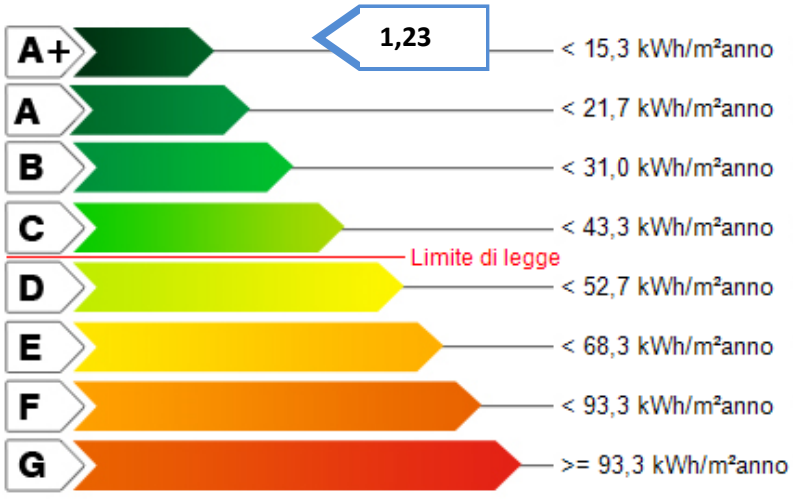


Fig. 8 – Classificazione energetica del modulo aggregato e limiti di legge

5.2.3. Riduzione potenziale dei fabbisogni d'energia netta per la climatizzazione estiva

Il dato dei fabbisogni d'energia netta per la climatizzazione estiva del modulo aggregato, per le tre località di riferimento, soddisfa i limiti posti dal DPR n. 59 del 02/04/2009 (Tab. 26) .

Tab. 26 – Verifica del soddisfacimento dei limiti di legge per il fabbisogno d'energia netta per la climatizzazione estiva (modulo aggregato)

Località	**Ep_{estivo}** [kWh/m^{2}anno]	**Limiti di legge** [kWh/m^{2}anno]	**Differenza con i limiti di legge** [kWh/m^{2}anno]
Torino	16,68	$Ep_{estivo} \leq 30$	-13,32
Roma	16,71	$Ep_{estivo} \leq 30$	-13,29
Messina	23,44	$Ep_{estivo} \leq 40$	-16,56

Ipotizzando, come per il modulo singolo, un fattore di riduzione (F_{rid}) del 50% delle quantità di energia netta calcolate, in regime semi-stazionario, utilizzando il programma Termolog (Ep_{estivo} al § 5.2.1.), corrispondente, in misura cautelativa, al potenziale contributo della tecnologia di raffrescamento passivo/ibrido d'involucro, si ha un'ulteriore riduzione potenziale del fabbisogno di energia netta per la climatizzazione estiva (Tab. 27).

Tab 27 – Potenziale di riduzione del fabbisogno di climatizzazione estivo, ipotizzando l'itegrazione delle tecnologie del Sottosistema VNRP

Località	**Ep_{estivo}** [kWh/m^{2}anno]	**F_{rid}** **[%]**	**$Ep_{estivo-corr}$** [kWh/m^{2}anno]	**Differenza con i limiti di legge** [kWh/m^{2}anno]
Torino	16,68	50.0	8,34	- 21,66
Roma	16,71		8,35	-21,65
Messina	23,44		11,72	-28,28

6. Impatto ambientale del Sottosistema Coibentazione

L'impatto ambientale del progetto PRIME^3, per quanto concerne i risultati emersi dall'attività del Sottosistema Coibentazione, integrando anche quelli del Sottosistema Ventilazione Naturale e Raffrescamento Passivo (VNRP), si può stimare valutando:

a. i risparmi energetici ottenibili dal confronto tra fabbisogno di energia per la climatizzazione dei moduli edilizi e quelli desumibili dalle indicazioni di legge;

b. la riduzione delle emissioni di gas serra, espresse in termini di CO2-equivalente evitata;

c. la riduzione dell'impiego di materia prima per l'isolamento, derivante dall'utilizzo di materia prima seconda, quale si configura quella dei materiali CORMATEX, interamente prodotti da riciclaggio di scarti industriali.

6.1 Risparmi energetici

I risparmi di energia primaria ottenibili con l'applicazione delle tecnologie di conservazione energetica valutate nel presente rapporto (isolamento con materiale isolante CORMATEX), integrate da quelle studiate e testate nel Sottosistema Ventilazione Naturale e Raffrescamento Passivo (VNRP), sono calcolati confrontando i dati di calcolo con i valori limiti di legge. Nel caso dei fabbisogni per la climatizzazione estiva, dove il confronto è fra energie nette, la differenza è trasformata in energia primaria applicando il medesimo valore di rendimento utilizzato per la climatizzazione invernale (trattandosi del medesimo impianto a pompa di calore).

Tali differenze (ΔEp) rappresentano i risparmi energetici annui potenziali, sia per il modulo singolo (Tab. 28a), sia per quello aggregato (Tab 28b), nelle tre località di riferimento.

Tab. 28a – Potenziale di risparmio energetico del modulo singolo PRIME^3

Località	**Sup. Utile Pavimento**	**ΔEp_{inv}**	**ΔEp_{estivo}**	**ΔEp_{tot}**	
	[m2]	[kWh/m^{2}anno]	[kWh/m^{2}anno]	[kWh/m^{2}anno]	[kWh/anno]
Torino	49,3	133,45	4,29	137,74	6790,58
Roma		96,27	2,94	99,21	4891,05
Messina		67,8	6,10	73,90	3643,27

Tab. 28b – Potenziale di risparmio energetico del modulo aggregato PRIME^3

Località	**Sup. Utile Pavimento**	**ΔEp_{inv}**	**ΔEp_{estivo}**	**ΔEp_{tot}**	
	[m2]	[kWh/m^{2}anno]	[kWh/m^{2}anno]	[kWh/m^{2}anno]	[kWh/anno]
Torino	1154,40	105,47	13,32	118,79	137131,18
Roma		73,30	13,29	86,59	99959,50
Messina		51,47	16,56	68,03	78533,83

6.2 Riduzione delle emissioni di CO_2

L'indice di de-carbonizzazione, misurato in tonnellate di CO_2-equivalente/anno, rappresenta la quantità di gas serra climalteranti potenzialmente evitati, nella gestione e uso del modulo PRIME^3, per effetto delle tecnologie di conservazione energetica applicate e sopra descritte.

Per effettuare il calcolo, i valori di ΔEp riportati nelle Tabb. 28 sono stati moltiplicati per il valore d'emissione di CO_2-eq/anno per unità energetica – riferito all'energia elettrica, in quanto è previsto un impianto di climatizzazione a pompa di calore – al fine di determinare l'ammontare complessivo di CO_2 evitata.

La tab. 29 illustra i dati calcolati sia per il modulo singolo, sia per quello aggregato, nelle tre località di riferimento.

Tab. 29 – Potenziale di emissioni di gas serra evitate dei moduli PRIME^3

Località	**ΔEp_{tot}** [kWh/anno]		**CO_2-eq evitata** [kg/anno]		
	Modulo singolo	Modulo aggregato	[kg/kWh]	Modulo singolo	Modulo aggregato
Torino	6790,58	137131,18	0,617 (*)	4189,79	84609,94
Roma	4891,05	99959,50		3017,78	61675,01
Messina	3643,27	78533,83		1154,92	48455,37

(*) UNI EN 15603:2008 – Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica, Annex E.

6.3 Utilizzo di materia prima-seconda

L'analisi del ciclo di vita (LCA) dei prodotti isolanti della CORMATEX esula dal programma di PRIME^3, per cui non è possibile quantificare l'impatto dell'introduzione di tali materiali in termini di riduzione dell'energia incorporata e del consumo di risorse di materia prima.

Tuttavia, trattandosi di materiali interamente riciclati, si può ragionevolmente affermare che la riduzione complessiva di tali impatti, scontando un minimo di energia per la lavorazione dei materiali di scarto con i macchinari CORMATEX, si avvicini al 90% rispetto a processi produttivi dei materiali isolanti di origine sintetica più diffusi nel mercato, a parità di prestazioni termiche.

ALLEGATO

LIMITI DA DPR n. 59 del 02/04/2009, D.Lgs n. 192 del 19/08/2005

Trasmittanza termica delle strutture opache verticali

TABELLA 2.1	**Strutture opache verticali** Valori limite della trasmittanza termica U espressa in W/m^{2}K		
Zona climatica	**Dall' 1 gennaio 2006**	**Dall' 1 gennaio 2008**	**Dall' 1 gennaio 2010**
A	0.85	0.72	0.62
B	0.64	0.54	0.48
C	0.57	0.46	0.40
D	0.50	0.40	0.36
E	0.46	0.37	0.34
F	0.44	0.35	0.33

Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate

TABELLA 3.1	**Coperture** Valori limite della trasmittanza termica U espressa in W/m^{2}K		
Zona climatica	**Dall' 1 gennaio 2006**	**Dall' 1 gennaio 2008**	**Dall' 1 gennaio 2010**
A	0.80	0.42	0.38
B	0.60	0.42	0.38
C	0.55	0.42	0.38
D	0.46	0.35	0.32
E	0.43	0.32	0.30
F	0.41	0.31	0.29

Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate

TABELLA 3.2	**Pavimenti verso locali non riscaldati o esterno** Valori limite della trasmittanza termica U espressa in W/m^{2}K		
Zona climatica	**Dall' 1 gennaio 2006**	**Dall' 1 gennaio 2008**	**Dall' 1 gennaio 2010**
A	0.80	0.74	0.65
B	0.60	0.55	0.49
C	0.55	0.49	0.42
D	0.46	0.41	0.36
E	0.43	0.38	0.33
F	0.41	0.36	0.32

Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti

TABELLA 4.a	**Chiusure trasparenti** Valori limite della trasmittanza termica U espressa in W/m^{2}K		
Zona climatica	**Dall' 1 gennaio 2006**	**Dall' 1 gennaio 2008**	**Dall' 1 gennaio 2010**
A	5.5	5.0	4.6
B	4.0	3.6	3.0
C	3.3	3.0	2.6
D	3.1	2.8	2.4
E	2.8	2.4	2.2
F	2.4	2.2	2.0

TABELLA 4.b	**Vetri** Valori limite della trasmittanza termica U espressa in W/m^{2}K		
Zona climatica	**Dall' 1 gennaio 2006**	**Dall' 1 gennaio 2008**	**Dall' 1 gennaio 2010**
A	5.0	4.5	3.7
B	4.0	3.4	2.7
C	3.0	2.3	2.1
D	2.6	2.1	1.9
E	2.4	1.9	1.7
F	2.3	1.7	1.3

Trasmittanza termica divisori

Verificare che: $U_{divisorio} \leq 0.8$ W/m^{2}K

- per tutti i divisori (verticali e orizzontali) di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti;

Inerzia involucro opaco

Verificare che (ad esclusione della zona F) per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione $I_{m,s} \geq 290$ W/m^2 :

Per le pareti opache verticali ad eccezione di quelle nel quadrante Nord-ovest/Nord/Nord-Est:

- la massa superficiale Ms (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
- o in alternativa che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (Y_{IE}) sia inferiore a 0,12 W/m²K

Per tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate:

- che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (Y_{IE}) sia inferiore a 0,20 W/m²K

Indice Prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio ($Epe_{involucro}$)

Verificare che $Epe_{invol} \leq Epe_{invol,\ limite}$

$Epe_{invol,\ limite}$ è pari a:

Per gli edifici residenziali di cui alla classe E1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme:

- 40 kWh/m^2 anno nelle zone climatiche A e B
- 30 kWh/m^2 anno nelle zone climatiche C, D, E, e F

Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale

Edifici residenziali della classe E1, esclusi collegi, conventi, case di pena, e caserme

TABELLA 1.3	**EP_i limite dal 1 gennaio 2010 [kWh/m^2 anno]**									
	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	<600 GG	601 GG	900 GG	901 GG	1400 GG	1401 GG	2100 GG	2101 GG	3000 GG	>3000 GG
≤ 0.2	8.5	8.5	12.8	12.8	21.3	21.3	34	34	46.8	46.8
≥ 0.9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116