

1 Introduzione

Il presente rapporto ha come oggetto la valutazione numerica del contributo dato dall'aggiunta di un ciclo termico per interni in termini di risparmio energetico per la climatizzazione invernale in un caso tipo, richiesta al laboratorio Certimac di Faenza (RA) dalla ditta "Tecnostuk S.r.l." (Rif. 2-a, 2-b).

La valutazione è stata sviluppata con una procedura ad hoc basata sulle specifiche contenute al Rif. 2-c, che definisce le modalità di applicazione nazionale della norma di cui al Rif. 2-d. I valori di conducibilità del prodotto fanno riferimento ai risultati sperimentali contenuti in Rif. 2-h e alle successive valutazioni numeriche di cui al Rif. 2-i.

Al fine di generalizzare quanto più possibile i dati di risparmio in termini energetici ed economici e svincolarsi così dalle molteplici variabili legate al sito (fascia climatica, orientazione), alla morfologia dell'edificio, alla presenza di parti trasparenti, ecc. si è concentrato il calcolo su di una superficie opaca omogenea di riferimento con area pari a 1 m².

2 Riferimenti

- a. Preventivo: Prot. 17275/lab del 24/10/2017.
- b. Conferma d'ordine: mail del 27/11/2017.
- c. Norma UNI/TS 11300-1:2014. Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- d. Norma UNI EN ISO 13790:2008. Prestazione energetica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
- e. Norma UNI EN 6946:2008. Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo.
- f. Norma UNI EN 1745:2012. Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici di progetto.
- g. Norma UNI EN ISO 13789:2008. Prestazione energetica degli edifici. Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione. Metodo di calcolo.
- h. Rapporto di prova SQM_412_2017 del 30/01/2018: "Determinazione sperimentale della conducibilità termica (Norma UNI EN 1745 e ASTM E 1530) di un ciclo termico per interni prodotto dalla ditta "Tecnostuk S.r.l.", Bellusco (MB)
- i. Rapporto di prova SQM_415_2017 del 30/01/2018: "Valutazione numerica del contributo alla trasmittanza termica di parete opaca verticale di un ciclo termico per interni rivestimento murario (UNI EN ISO 6946) prodotto dalla ditta "Tecnostuk S.r.l.", Bellusco (MB).
- j. Norma UNI 10349:1994. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 2 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

3 Oggetto della prova

Il calcolo è stato effettuato in via comparativa su una muratura tipo, definita sulla base delle situazioni più comuni riscontrabili nel patrimonio edilizio esistente riconducibile agli anni '60-'70. Nello specifico, si è preso come riferimento un muro a due teste formato da mattoni pieni in laterizio, giunti di malta orizzontali e verticali e intonaco interno ed esterno a base di calce e gesso (Figura 1).

Sul sistema di tipo tradizionale si valuta la variazione di prestazione termica dovuta alla presenza del prodotto ciclo termico posto internamente ed esternamente alla muratura al fine di valutarne il potenziale applicativo nei casi di riqualificazione di edifici esistenti. Le valutazioni sono da ritenersi valide entro i limiti di accuratezza dati dai metodi di calcolo presenti nelle normativa vigenti e solo ed esclusivamente per le configurazioni considerate.

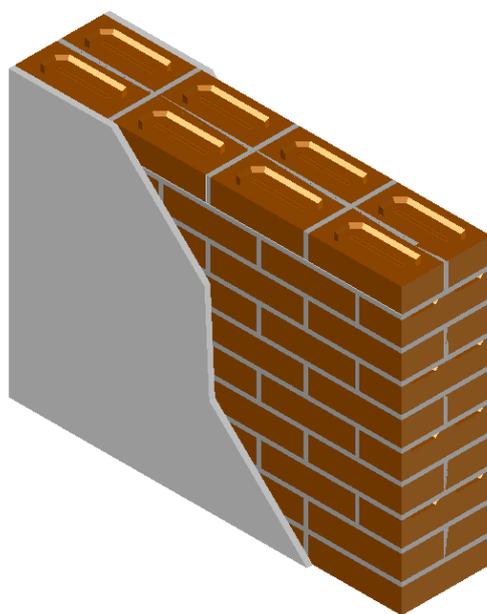


Figura 1. Spaccato assonometrico di Muratura "Tradizionale".

Per quanto riguarda i valori termici della muratura nel suo complesso, sia con l'applicazione del prodotto che senza di esso, si fa riferimento a quanto contenuto al Rif. 2-i, che opera valutazioni numeriche in accordo alle normative al Rif. 2-e e Rif. 2-f.

I valori termici calcolati, fanno riferimento allo stato secco (dry) e non alla condizione di progetto (wet) in quanto l'obiettivo del calcolo è effettuare un'analisi comparativa senza indagare i valori assoluti di performance, da cui decade l'importanza dei valori di progetto per i quali occorre tener conto anche dell'umidità presente all'interno delle strutture.

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 3 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

4 Metodologia di calcolo

4.1 Dati di Input

Sulla base delle indicazioni fornite dal committente e delle ipotesi fatte, si sono sviluppati i calcoli considerando le seguenti ipotesi. Per lo stato di fatto si considera una muratura a due teste in mattoni pieni in laterizio con giunti di malta verticali e orizzontali e intonaci interno ed esterno a base di calce e gesso. Per lo strato aggiuntivo di prodotto applicato internamente si considera una conducibilità termica media valutata a 10°C pari a **0.062 W/mK** e corrispondente ad uno spessore nominale medio di **4 mm** (Rif.2-e).

Per la muratura, come esposto al Rif. 2-i, si assume una trasmittanza complessiva pari a **1.484 W/m²K** per la situazione di partenza e **1.184 W/m²K** per quella con l'applicazione del prodotto. Il calcolo è stato eseguito su una porzione ideale di muratura opaca omogenea di superficie pari ad un **1 m²**, considerando il flusso di calore stazionario e ad essa ortogonale e trascurando gli effetti di bordo e i pot termici.

4.2 Condizioni al contorno

Le dispersioni termiche vengono valutate considerando la muratura posta tra due ambienti, quello interno a **20°C** e quello esterno a temperatura variabile a seconda della località considerata e del periodo dell'anno. In Tabella 1 si riportano le località considerate (una per ognuna delle fasce climatiche in cui è suddiviso il territorio nazionale) e le temperature medie mensili assunte per il calcolo (desunte dal Rif. 2-j o da letteratura).

Mese	Porto Empedocle Fascia A	Agrigento Fascia B	Napoli Fascia C	Pordenone Fascia D	Bologna Fascia E	Cuneo Fascia F
Gennaio	11.6	10.4	10.5	2.3	2.1	1.1
Febbraio	11.5	10.8	10.6	4.4	4.6	2.9
Marzo	12.7	12.7	13.2	8.1	9.4	6.9
Aprile	14.7	15.6	16	12.1	14.2	11.3
Maggio	18.5	19.4	19.5	15.7	18.2	14.8
Giugno	22.2	24.1	24.1	18.4	22.9	19.4
Luglio	24.7	26.9	26.7	21.5	25.4	21.9
Agosto	25.1	26.5	26.5	21.2	24.9	21
Settembre	23.1	24	23.8	18.3	21.2	17.7
Ottobre	19.6	19.9	19.6	12.9	14.9	11.7
Novembre	16	15.9	15.5	7.4	8.7	6.2
Dicembre	13	12.2	12.1	3.8	4	2.5

Tabella 1. Temperature medie mensili assunte per le località considerate [°C]

Per ogni fascia climatica è stato assunto come periodo di riscaldamento quello riportato al Rif. 2-c ovvero:

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 4 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

- Fascia A: 1 dicembre – 15 marzo
- Fascia B: 1 dicembre – 31 marzo
- Fascia C: 15 novembre – 31 marzo
- Fascia D: 1 novembre – 15 aprile
- Fascia E: 15 ottobre – 15 aprile
- Fascia F: 5 ottobre – 22 aprile

4.3 Metodologia di Calcolo

Il calcolo è stato portato a termine sulla base di quanto fissato dalle norme ai Riff. 2-c e 2-d.

Dal momento che la valutazione numerica viene eseguita su un caso di riferimento e non su un edificio specifico, come accennato al Par.1, sono stati tralasciati i seguenti contributi al fabbisogno energetico complessivo: dispersioni verso il terreno, dispersioni verso ambienti non climatizzati, dispersioni verso ambienti climatizzati a temperatura diversa. Sono inoltre stati trascurati i contributi dati dalle perdite di calore attraverso elementi trasparenti, ponti termici, così come le perdite per ventilazione. Analogamente non sono stati considerati gli apporti gratuiti dati dall'energia solare o dall'utilizzo degli spazi.

In altre parole si considera il solo contributo di scambio termico per trasmissione verso l'esterno per una porzione di muratura tipo in quanto tutti gli altri fattori (ampiezza e posizionamento delle aperture finestrate, ponti termici, orientamento ecc.) sono difficilmente standardizzabili e nella maggioranza dei casi influenti per i fini del presente rapporto. Un apporto gratuito o una maggiore dispersione che si ripropongono invariati in entrambi gli scenari non comportano infatti alcun aggravio o alleggerimento economico delle spese di riscaldamento se valutate in maniera comparativa.

Per quanto esposto, il coefficiente globale di scambio termico assume la forma (1), in accordo a quanto stabilito al Rif. 2-g.

$$H_{tr,adj} = H_D = A \cdot U \quad (1)$$

Viene inoltre valutato l'extra flusso termico ($\phi_{r,mn}$) dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste del componente edilizio, mediato sul tempo. Per la valutazione, operata in accordo al Rif. 2-c e al Rif. 2-d, è stata assunta una emissività pari 0.9 per l'intonaco. La superficie viene considerata verticale e senza elementi ombreggianti, per cui il fattore di forma F_r assume il valore 0.5.

Lo scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento per ogni mese è quindi dato da (2), considerando le temperature espresse al par. 4.2 e la durata t del mese considerato.

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 5 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t + (F_r \phi_{r,mn}) \cdot t \quad (2)$$

Per ogni fascia climatica si computano i contributi limitatamente al periodo di accensione esplicitato al par. 4.2.

5 Valutazione del contributo del ciclo multistrato ai consumi energetici totali

Sulla base di quanto precedentemente esposto è possibile valutare lo scambio termico totale per trasmissione durante l'arco dell'anno nelle differenti località esemplificative del territorio italiano. I risultati complessivi sono riportati in Tabella 2 mentre i risultati parziali per singolo mese sono visibili in Figura 2.

Oggetto del calcolo	Porto Empedocle Fascia A	Agrigento Fascia B	Napoli Fascia C	Pordenone Fascia D	Bologna Fascia E	Cuneo Fascia F
Tal quale (kWh)	33.08	40.71	43.29	89.66	88.77	101.02
con prodotto applicato (kWh)	25.41	31.35	33.27	69.98	69.13	78.93

Tabella 2. Scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento in kWh caso di prodotto applicato internamente ed esternamente alla parete

Per poter stimare l'impatto economico della riduzione dei consumi nei singoli casi è necessario prendere in considerazione il costo da sostenere per la produzione dei kWh termici necessari. La variabile più significativa ad influenzare questo costo è certamente la modalità di produzione dello stesso. Verranno analizzate pertanto differenti opzioni:

- caldaia autonoma a gas metano
- impianto centralizzato a gasolio
- stufa o caldaia a pellet
- pompa di calore elettrica

Per ognuna di queste sono stati assunti in via semplificativa dei parametri di riferimento necessari alla determinazione di un costo, riassunti in Tabella 3. Questi parametri rappresentano necessariamente una semplificazione rispetto alle numerose variabili offerte dalla complessità tecnologica disponibile sul mercato che non sono riassumibili con un singolo valore.

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 6 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

Tipo di generazione termica	Costo unitario	Potere calorifico	Rendimento ¹²	kWh termici	€ / kWh
Caldaia autonoma a metano³	0.785 – 0.820 €/m ³	9.6 kWh/m ³	0.85	8.16	0.096 – 0.100
Caldaia centralizzata a gasolio²	1.120 – 1.130 €/l	10 kWh/m ³	0.85	8.50	0.132 – 0.133
Stufa o caldaia a pellet²	0.296 – 0.304 €/kg	4.8 kWh/kg	0.85	4.08	0.073 – 0.075
Pompa di calore elettrica⁴	0.1844 €/kWh	1 kWh	3	3	0.062

Tabella 3. Scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento in kWh

¹ Il dato rappresenta il rendimento globale di impianto, ovvero il prodotto dei rendimenti di generazione, distribuzione, emissione e regolazione. È stato considerato un valore di riferimento standard

² Per l'energia elettrica il dato rappresenta il coefficiente di prestazione (COP) medio della pompa di calore. Il dato assunto si riferisce ad una ipotetica situazione media

³ Dati da www.centroconsumatori.it riferiti a due scenari di consumo, pari ad un consumo annuale rispettivamente di 7000 kWh e 15000 kWh | situazione marzo 2015

⁴ Dati da www.autorita.energia.it per una famiglia con 3 kW di potenza impegnata e 2700 kWh di consumo annuo | situazione luglio 2015

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 7 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

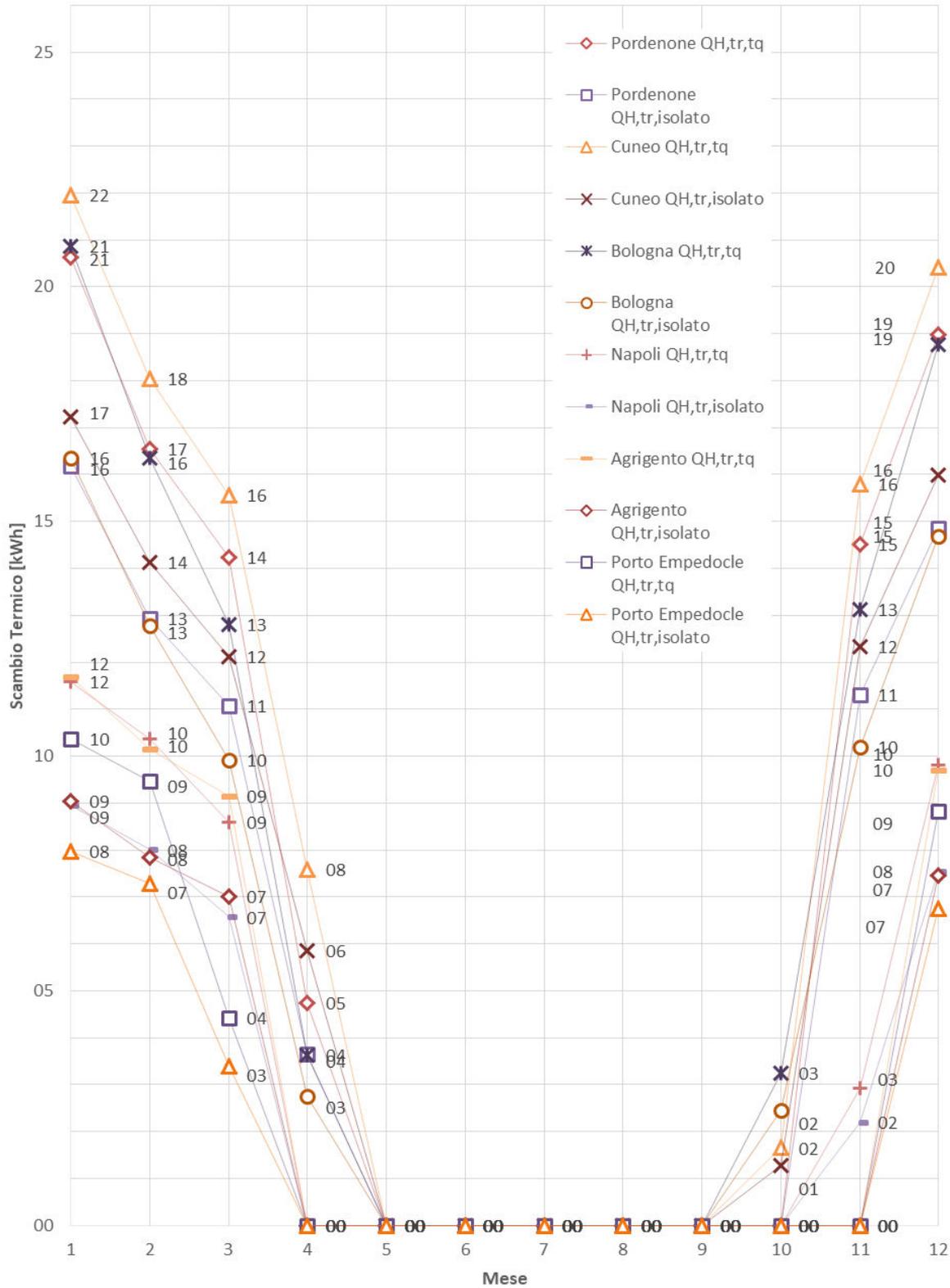


Figura 2. Scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento in kWh

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 8 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

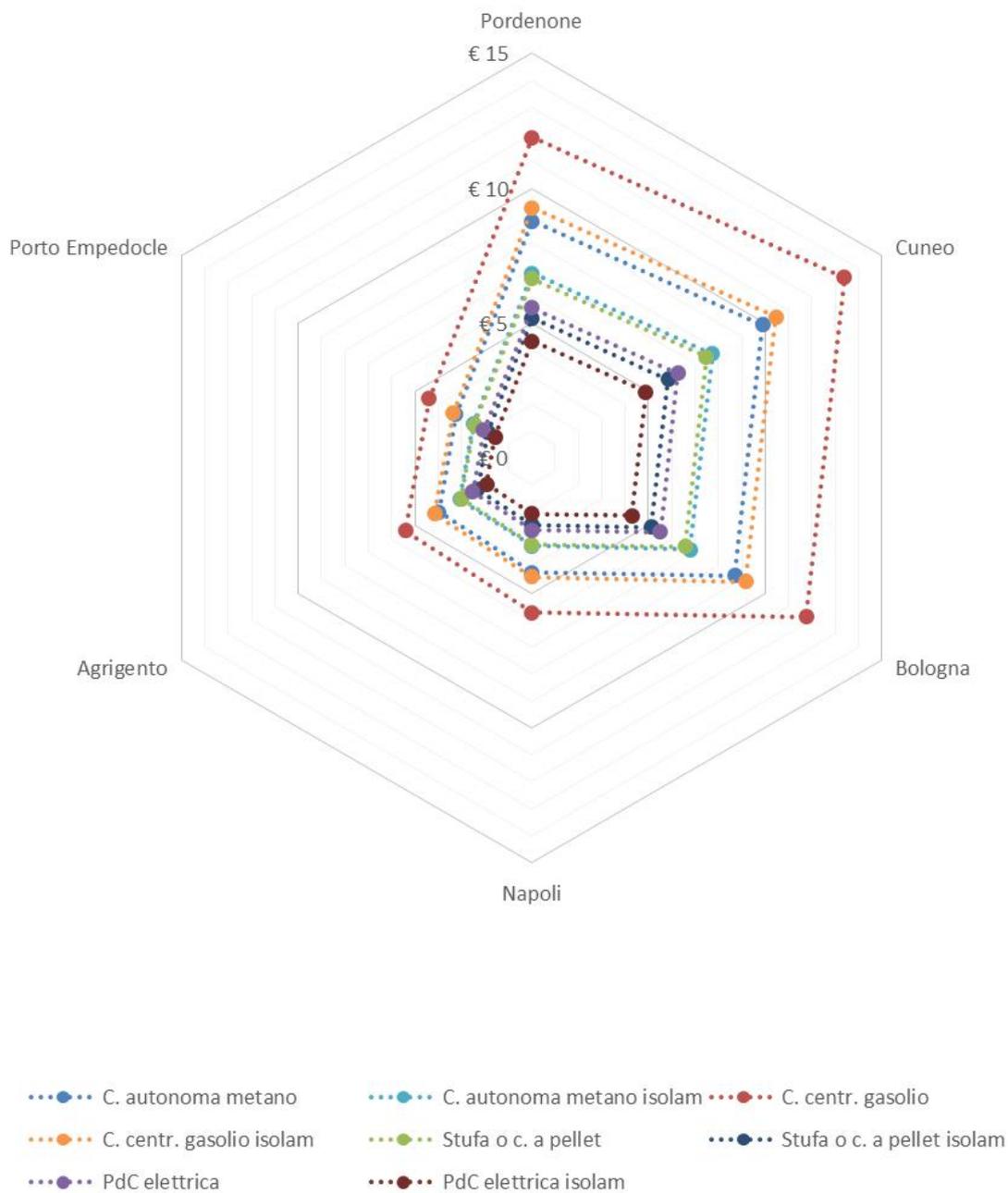


Figura 3. Spesa stimata per m² di superficie di parete a diretto contatto con l'esterno in € suddivisa per città e per tipologia di impianto di generazione termica

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 9 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

Ovviamente questi dati mirano a fornire un quadro complessivo dello scenario ipotizzato a livello nazionale e pertanto vengono necessariamente operate delle semplificazioni che possono discostarsi in maniera percentuale rilevante da quanto avviene nel caso specifico di applicazione reale del prodotto, sia dal punto di vista delle condizioni climatiche reali e dalle temperature interne e modalità di uso degli ambienti effettiva, sia dal punto di vista del costo effettivo dell'energia prodotta e dell'efficienza dell'impianto.

Dalla spesa individuata per lo scenario di partenza e per quello con applicazione del prodotto nei vari casi, è possibile stimare il risparmio ottenibile a seguito dell'applicazione del prodotto, mostrato in Tabella 4.

Metodo di riscaldamento	Porto Empedocle Fascia A	Agrigento Fascia B	Napoli Fascia C	Pordenone Fascia D	Bologna Fascia E	Cuneo Fascia F
Caldiaia autonoma a metano ⁵	0.75	0.92	0.98	1.93	1.92	2.16
Caldiaia centralizzata a gasolio ²	1.02	1.24	1.33	2.61	2.60	2.93
Stufa o caldaia a pellet ²	0.57	0.69	0.74	1.46	1.45	1.63
Pompa di calore elettrica ⁶	0.48	0.58	0.62	1.22	1.22	1.37

Tabella 4. Risparmi derivanti dall'applicazione del prodotto in €/m²-ann, con prodotto applicato internamente ed esternamente alla parete

6 Conclusioni

Le valutazioni presentate nel rapporto di prova mirano a fornire un quadro generale del risparmio ottenibile in seguito all'applicazione del prodotto sul lato interno ed esterno di una parete opaca verticale avente le caratteristiche presentate nel rapporto stesso. Il risparmio viene quantificato per m² di parete e in funzione di 6 differenti profili climatici (uno per ogni zona climatica) e di diversi impianti di generazione termica.

Il rapporto si propone di dare un'idea indicativa del risparmio ottenibile, non potendo trascurare, per una stima corretta, parametri non generalizzabili a livello nazionale e propri del singolo edificio, quali numero e disposizione di aperture finestrate, ponti termici, ventilazione, e ogni altro contributo che modifichi i consumi totali lungo l'arco dell'anno.

⁵ Dati da www.centroconsumatori.it riferiti a due scenari di consumo, pari ad un consumo annuale rispettivamente di 7000 kWh e 15000 kWh | situazione marzo 2015

⁶ Dati da www.autorita.energia.it per una famiglia con 3 kW di potenza impegnata e 2700 kWh di consumo annuo | situazione luglio 2015

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 10 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018

I risparmi individuati passano da **1.02 €/m²** per località a clima più caldo (Porto Empedocle – Zona A) e impianti con caldaia centralizzata a gasolio fino a **2.93 €/m²** per località a clima più rigido (Cuneo – Zona F) e sempre nel caso di impianti centralizzati a gasolio.

Questi valori risultano comunque conservativi rispetto alle valutazioni effettuate secondo il metodo di calcolo fornito dalla normativa vigente. L'applicazione del prodotto anche nelle zone dell'involucro a più alta dispersione, come i ponti termici, fornisce un contributo percentualmente più rilevante che quindi innalza i risparmi e migliora anche il comfort abitativo interno, riducendo il rischio di formazione di condensa e muffe.

7 Lista di distribuzione

ENEA	Archivio	1 copia
CertiMaC	Archivio	1 copia
Committente	Tecnostuk S.r.l.	1 copia

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 11 di 11
	Ing. Giulia De Aloysio, PhD	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SQM_416_2018