

Università degli Studi di Genova



Scuola Politecnica
Dipartimento di Architettura e Design
Corso di Laurea magistrale in Architettura

TESI DI LAUREA:

Isolamento degli edifici: determinazione dello spessore ottimale alla luce della normativa vigente

Relatori:

Prof. Ing. Stefano Bergero

Prof. Ing. Paolo Cavalletti

Candidata:
Veronica Papetti

Anno Accademico 2018/2019



INDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 0. INTRODUZIONE | 4 |
| 1. RICHIAMI DI FISICA TECNICA | 5 |
| 1.1 TRASMISSIONE DEL CALORE | 5 |
| 1.2 CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI | 6 |
| 1.3 DISPERSIONI TERMICHE | 7 |
| 1.4 GRADI GIORNO | 8 |
| 1.5 RISPARMIO ANNUO DI ENERGIA IN FONTE PRIMARIA PREVISTO CON UN INTER- VENTO DI EFFICIENZA ENERGETICA..... | 11 |
| 2. MATERIALI ISOLANTI | 13 |
| 2.1 CARATTERISTICHE GENERALI DEI MATERIALI ISOLANTI | 13 |
| 2.2 TIPOLOGIE E CLASSIFICAZIONI DEI MATERIALI ISOLANTI | 16 |
| 2.2.1 CARATTERISTICHE SPECIFICHE DEI MATERIALI ISOLANTI UTILIZZATI NELL'INDAGINE | 17 |
| 2.2.2 Tabella riepilogativa dei materiali isolanti con relative caratteristiche prin- cipali e valori indicati | 28 |
| 3. ISOLAMENTO TERMICO | 29 |
| 3.1 SISTEMI DI ISOLAMENTO | 29 |
| 3.2 SISTEMI DI ISOLAMENTO A CAPPOTTO | 31 |
| 3.2.1 INDICAZIONI GENERALI..... | 31 |
| 3.2.2 STRUTTURA DEL SISTEMA..... | 31 |
| 3.2.3 FISSAGGIO | 32 |
| 3.2.4 CONDIZIONI FONDAMENTALI | 32 |
| 3.2.5 REQUISITI DEI PANNELLI ISOLANTI PER I SISTEMI A CAPPOTTO | 33 |
| 3.2.6 REALIZZAZIONE IN OPERA DEL SISTEMA | 33 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4. INDAGINE | 35 |
| 4.1 INDAGINE PRELIMINARE: I MATERIALI ISOLANTI DELLA NORMATIVA UNI 10351 | 35 |
| 4.2 INDAGINE PRELIMINARE: I MATERIALI ISOLANTI IN COMMERCIO | 41 |
| 5.MURATURE | 52 |
| 5.1 MURATURA IN PIETRA | 52 |
| 5.1.1 ANDAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI DELLA NORMATIVA UNI 10351 | 53 |
| 5.1.2 ANDAMENTO PERCENTUALE DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI DELLA NORMATIVA UNI 10351..... | 57 |
| 5.1.3 ANDAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI IN COMMERCIO | 62 |
| 5.1.4 ANDAMENTO PERCENTUALE DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI IN COMMERCIO..... | 67 |
| 5.1.5 RTRASMITTANZE LIMITE | 74 |
| 5.1.6 DETERMINAZIONE DELLO SPESSORE OTTIMALE | 82 |
| 5.2 MURATURA A CASSA VUOTA | 87 |
| 5.2.1 ANDAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI DELLA NORMATIVA UNI 10351 | 88 |
| 5.2.2 ANDAMENTO PERCENTUALE DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI DELLA NORMATIVA UNI 10351..... | 92 |
| 5.2.3 ANDAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI IN COMMERCIO | 97 |
| 5.2.4 ANDAMENTO PERCENTUALE DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI IN COMMERCIO..... | 101 |
| 5.2.5 RTRASMITTANZE LIMITE | 108 |
| 5.2.6 DETERMINAZIONE DELLO SPESSORE OTTIMALE | 122 |
| 6. CONCLUSIONI | 131 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| NORMATIVE DI RIFERIMENTO..... | 137 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 137 |
| SITOGRAFIA..... | 138 |

0. INTRODUZIONE

Quando si parla di edifici, da oltre una decina d'anni, una delle componenti più importanti per poterli valutare è l'isolamento termico, ovvero quel sistema costruttivo utile a ridurre il flusso termico scambiato attraverso una parete e quindi utile per difendere dal freddo invernale l'involucro edilizio, contenendo il calore al suo interno. per isolare un edificio vengono utilizzati materiali isolanti con elevate prestazioni a livello di resistenza al passaggio del calore, ma non tutti hanno le stesse caratteristiche nelle diverse zone climatiche del territorio italiano.

lo scopo della tesi è quello di individuare in base alle diverse zone climatiche quale sia l'isolante migliore, che, in base al suo diverso spessore, riesca ad apportare ad un risparmio economico ed energetico ulteriore rispetto a quello che si otterrebbe rispettando i limiti di legge imposti.

1. RICHIAMI DI FISICA TECNICA

Nella costruzione di un edificio la scelta dell'isolamento giusto presuppone una conoscenza generale di alcuni elementi di fisica tecnica trattati in forma semplice nei paragrafi che seguono. Questi elementi aiutano a comprendere meglio i processi e i meccanismi che comportano un risparmio energetico ed i vantaggi dell'isolamento termico in questione.

1.1 TRASMISSIONE DEL CALORE

La trasmissione del calore è un fenomeno spontaneo durante il quale il calore, essendo una fonte di energia, passa da un punto ad una temperatura più alta verso un altro ad una temperatura più bassa. La trasmissione avviene a causa della sola differenza di temperatura, senza l'ausilio di un valore meccanico aggiunto, e cessa nel momento in cui viene raggiunta la condizione di equilibrio termico.

Le modalità di trasmissione del calore sono: *conduzione*, *convezione* ed *irraggiamento*. Nella *conduzione* il trasferimento di energia si verifica all'interno di corpi solidi o fluidi in quiete, nei quali il calore si trasmette per contatto diretto tra le particelle che costituiscono la materia a livello microscopico; questo fenomeno viene descritto in termini matematici dall'equazione di Fourier:

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{dT}{dn} S$$

dQ/dt = quantità di calore che attraversa la superficie S nell'intervallo di tempo dt

λ = la conduttività termica del materiale attraversato dal flusso di calore [W/mK]

dT/dn = variazione della temperatura lungo la direzione normale alla superficie dS

Nella *convezione* il trasferimento di energia avviene tra una superficie solida ed un fluido adiacente in movimento rispetto ad essa e la relazione che consente di determinare il calore trasmesso è definita dalla legge di Newton:

$$Q = \alpha S (T_1 - T_2) t$$

α = coefficiente di adduzione termica [W/m²K]

S = superficie dell'elemento interessata dallo scambio termico convettivo [m²]

$T_1 - T_2$ = differenza di temperatura tra quella superficiale della parete, e quella del fluido d'aria [°C]

Nell'*irraggiamento* il trasferimento di energia avviene attraverso l'emissione e l'assorbimento di onde elettromagnetiche da parte della materia ma, a differenza delle prime due, non richiede la presenza di un mezzo materiale, ma può avvenire anche nel

vuoto.

La quantità di calore diffusa da un corpo ad una certa temperatura, per unità di superficie e di tempo è descritta dalla legge di Stefan- Boltzman:

$$Q(T) = \varepsilon(T)\sigma T^4$$

T = temperatura del corpo

σ = costante di Boltzman = $5.67 \cdot 10^{-8} [W/m^2K^4]$

ε = emissività della superficie del corpo

1.2 CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI

La *trasmissione termica*, o coefficiente di scambio termico globale di una parete, è il flusso termico trasmesso per unità di superficie e per unità di differenza di temperatura attraverso la parete stessa.

$$U = \frac{\varphi}{A (T_i - T_e)}$$

U = trasmissione termica [W/m^2K]

F = flusso termico attraverso la parete [W]

A = area della parete [m^2]

T_1, T_2 = temperature superficiali [K]

Si può considerare come una grandezza caratteristica della parete ed esprime l'attitudine della stessa a trasmettere calore.

La *conducibilità termica* di un materiale omogeneo invece è la proprietà termofisica che esprime l'attitudine di un materiale a trasmettere il calore per conduzione; quindi si può considerare come il flusso termico, che si trasmette attraverso uno strato di materiale di spessore unitario, avente sezione unitaria e sottoposto ad una differenza di temperatura unitaria.

$$\lambda = \frac{\varphi L}{A (T_1 - T_2)}$$

λ = conducibilità termica [W/mK]

L = spessore della parete [m]

φ = flusso termico attraverso la parete [W]

A = area della parete [m^2]

T_1, T_2 = temperature superficiali [K]

Importante è sapere che a conducibilità elevata il materiale in questione è da considerarsi un buon conduttore di calore, in caso contrario invece un buon isolante termico.

La *resistenza termica*, infine, indica la capacità di uno strato di materiale ad opporsi al flusso di calore ed è inversamente proporzionale alla conducibilità termica del materiale stesso e inversamente proporzionale allo spessore dello strato di materiale.

$$R = \frac{L}{\lambda}$$

R = resistenza termica della parete

L = spessore dello strato della parete [m]

λ = conducibilità termica [W/mK]

Inoltre, la resistenza termica di una parete composta da più strati sarà la somma delle resistenze termiche di ciascun strato.

$$R = R_{si} + \sum_{j=1}^N \frac{L_j}{\lambda_j} + R_{se}$$

Dove R_{si} e R_{se} sono i valori delle resistenze termiche superficiali riportati in Tabella 7 della norma UNI EN ISO 6946:2017

Alla luce di queste nozioni base si può riconsiderare la *trasmissione termica* di una parete come il reciproco della resistenza termica equivalente specifica della parete stessa, ovvero:

$$U = \left(R_{si} + \sum_{j=1}^N \frac{L_j}{\lambda_j} + R_{se} \right)^{-1}$$

1.3 DISPERSIONI TERMICHE

L'energia dispersa attraverso l'involucro di un edificio dipende da una serie di meccanismi di scambio termico che interagiscono e si sovrappongono tra loro.

La normativa UNI/TS 11300 si occupa di valutare il fabbisogno energetico proponendo una semplificazione del problema grazie ad una equazione di bilancio energetico semi stazionario medio mensile:

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} (Q_{int} + Q_{sol})$$

$Q_{H,nd}$ = fabbisogno di energia termica necessario per mantenere la temperatura di progetto durante il riscaldamento

$Q_{H,tr}$ = scambio termico per trasmissione

$Q_{H,ve}$ = scambio termico per ventilazione

$\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti energetici gratuiti

Q_{int} = apporti gratuiti interni

Q_{sol} = apporti gratuiti solari

Nello specifico riporto la formulazione dello scambio termico per trasmissione perché le dispersioni, attraverso l'involucro edilizio, dipendono dalla trasmittanza termica, dall'ampiezza in m^2 , dal salto termico tra interno ed esterno e dalla durata temporale; e sono proprio questi i parametri sui quali ha senso intervenire.

$$Q_{H,tr} = \sum_i (U_i A_i) \Delta T t$$

U_i = trasmittanza termica dell'i-esimo componente dell'involucro calcolata in accordo con la norma UNI EN 6946 per gli elementi opachi e con la norma UNI EN ISO 10077-1 per gli elementi trasparenti [W/m^2K]

A_i = superficie disperdente lorda del componente [m^2]

ΔT = differenza di temperatura tra quella media mensile dell'ambiente esterno e quella interna della zona riscaldata [$^{\circ}C$]

t = durata del periodo di riscaldamento [s]

1.4 GRADI GIORNO

I gradi giorno sono un'unità di misura fittizia utilizzata per definire le zone climatiche di una determinata località, e sono intesi come la somma di tutti i giorni, in un periodo annuale prestabilito di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura degli ambienti interni, convenzionalmente fissata a $20^{\circ}C$, e la temperatura media esterna giornaliera.

$$GG = \sum_{j=1}^n (T_0 - T_e)$$

n = numero di giorni del periodo convenzionale di riscaldamento

T_0 = temperatura ambientale convenzionale

T_e = temperatura media esterna giornaliera tale per cui $T_e < T_0$

Nel prospetto 6 della norma UNI/TS 11300-1:2014 viene stabilita una durata convenzionale della stagione di riscaldamento in funzione della zona climatica, dipendente dai gradi giorno, della località in questione; inoltre il regime di funzionamento dell'impianto di climatizzazione è considerato continuo, senza

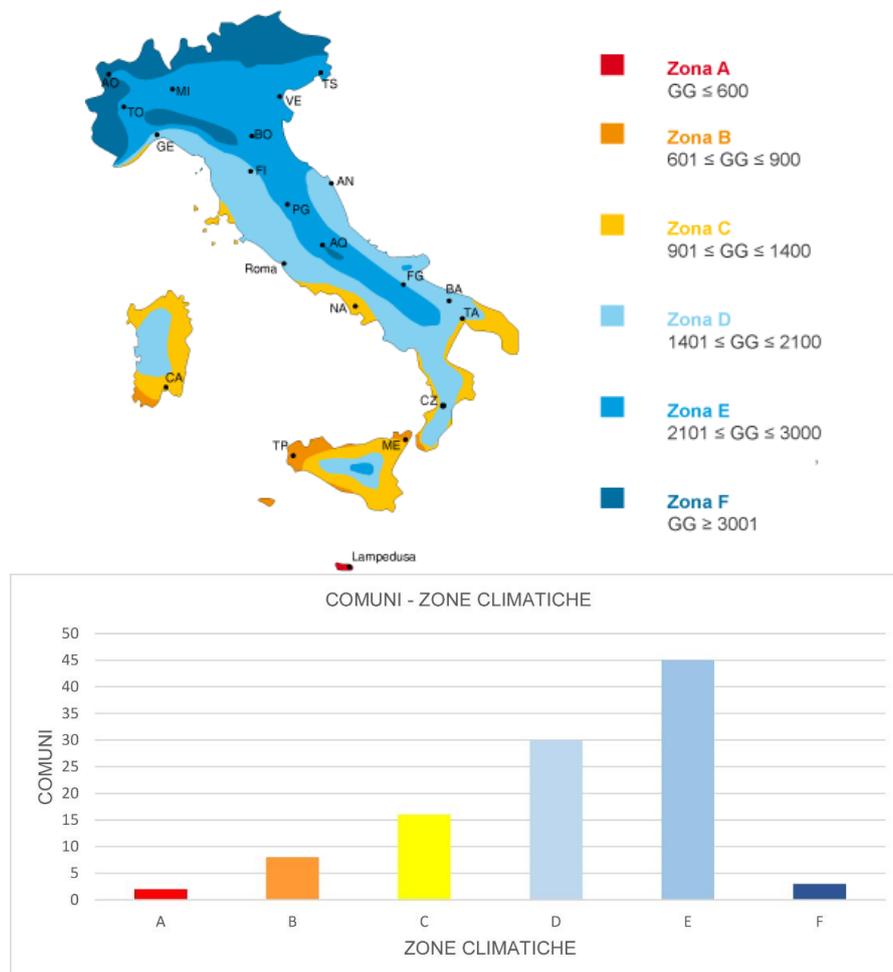
attenuazione o spegnimento.

in funzione dei gradi giorno sono state definite le fasce climatiche del territorio italiano e i limiti massimi riguardanti il periodo annuale di funzionamento dell'impianto termico, ovvero la durata giornaliera di attivazione.

È interessante notare che fra i comuni italiani come Sestriere si hanno valori di gradi giorno che superano i 3000, nello specifico 5165 GG, mentre nei comuni insulari di Lampedusa e Linosa si hanno i valori più bassi, inferiori a 600, ovvero 568 GG.

| ZONA CLIMATICA | PERIODO DI ACCENSIONE | | ORARIO CONSENTITO | GR |
|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | INIZIO | FINE | | |
| A | 01-dic | 15-mar | 6 | 105 |
| B | 01-nov | 31-mar | 8 | 151 |
| C | 15-nov | 31-mar | 10 | 136 |
| D | 01-nov | 15-apr | 12 | 166 |
| E | 15-ott | 15-apr | 14 | 182 |
| F | nessuna limitazione | nessuna limitazione | nessuna limitazione | nessuna limitazione |

Qui sotto vengono riportati i grafici che illustrano dove sono collocate geograficamente le zone climatiche in Italia, e il rapporto tra i numeri di comuni di cui ne fanno parte e la loro appartenenza:



| ZONE CLIMATICHE | | | | | |
|--------------------|-----------------|-----------|---------------|---------------|---------|
| A | B | C | D | E | F |
| LAMPEDUSA E LINOSA | AGRIGENTO | IMPERIA | GENOVA | ALESSANDRIA | CUNEO |
| PORTO EMPEDOCLE | CATANIA | LATINA | LA SPEZIA | AOSTA | BELLUNO |
| | CROTONE | BARI | SAVONA | ASTI | TRENTO |
| | MESSINA | BENEVENTO | FORLI | BERGAMO | |
| | PALERMO | BRINDISI | ANCONA | BIELLA | |
| | REGGIO CALABRIA | CAGLAIRI | ASCOLI PICENO | BRESCIA | |
| | SIRACUSA | CASERTA | FIRENZE | COMO | |
| | TRAPANI | CATANZARO | GROSSETO | CREMONA | |
| | | COSENZA | LIVORNO | LECCO | |
| | | LECCE | LUCCA | LODI | |
| | | NAPOLI | MACERATA | MILANO | |
| | | ORISTANO | MASSA C | NOVARA | |
| | | RAGUSA | PESARO | PADOVA | |
| | | SALERNO | PISA | PAVIA | |
| | | SASSARI | PISTOIA | SONDRIO | |
| | | TARANTO | PRATO | TORINO | |
| | | | ROMA | VARESE | |
| | | | SIENA | VERBANIA | |
| | | | TERNI | VERCELLI | |
| | | | VITERBO | BOLOGNA | |
| | | | AVELLINO | BOLZANO | |
| | | | CALTANISSETTA | FERRARA | |
| | | | CHIETI | GORIZIA | |
| | | | FOGGIA | MODENA | |
| | | | ISERNIA | PARMA | |
| | | | MATERA | PIACENZA | |
| | | | NUORO | PORDENONE | |
| | | | PESCARA | RAVENNA | |
| | | | TERAMO | REGGIO EMILIA | |
| | | | VIBO VALENTIA | RIMINI | |
| | | | | ROVIGO | |
| | | | | TREVISO | |
| | | | | TRIESTE | |
| | | | | UDINE | |
| | | | | VENEZIA | |
| | | | | VERONA | |
| | | | | VICENZA | |
| | | | | AREZZO | |
| | | | | PERUGIA | |
| | | | | FROSINONE | |
| | | | | RIETI | |
| | | | | CAMPOBASSO | |
| | | | | ENNA | |
| | | | | L'AQUILA | |
| | | | | POTENZA | |

COMUNI

1.5 RISPARMIO ANNUO DI ENERGIA IN FONTE PRIMARIA PREVISTO CON UN INTERVENTO DI EFFICIENZA ENERGETICA

In un involucro edilizio ogni intervento di qualificazione energetica su un generico elemento opaco o finestrato produce come effetto la riduzione della sua trasmittanza U . Dato un elemento opaco di superficie nota A , se definiamo con ΔU la generica variazione di trasmittanza dovuta all'intervento effettuato (espressa in W/m^2K) e con ΔT la differenza di temperatura tra le due facce dell'elemento, la potenza termica che non viene dispersa attraverso l'elemento stesso è data da:

$$\Delta\Phi = \Delta U \cdot \Delta T \cdot A \text{ [W]}$$

Se consideriamo che

$$\Delta T = (GG/GR) \cdot R \cdot f$$

Dove:

ΔU = variazione di trasmittanza [W/m^2K]

ΔT = differenza di temperatura [$^{\circ}C$]

A = superficie [m^2]

GG = gradi giorno della località dove sorge l'edificio in cui viene effettuato l'intervento;

GR = durata in giorni del periodo di riscaldamento;

R = fattore di correzione della differenza di temperatura in funzione del tipo di elemento opaco;

$R = 1$ se l'elemento opaco o finestrato divide un ambiente riscaldato dall'esterno;

$R = 0.5$ se l'elemento opaco divide un ambiente riscaldato da uno non riscaldato;

$R = 0.8$ se l'elemento opaco divide un ambiente riscaldato dal terreno o da un ambiente non riscaldato e ventilato;

f = fattore di correzione che tiene conto del valore della temperatura interna media.

Si consiglia per gli edifici residenziali $f = 0,9$, e per tutti gli altri casi da $0,4$ a $0,8$.

l'energia risparmiata come fonte primaria durante tutto il periodo del riscaldamento si ottiene dalla formula:

$$Q_{pr} = \frac{\Delta Q_a}{\eta_g}$$

della quale la dispersione termica ΔQ_a si ottiene dall'espressione

$$\Delta Q_a = \frac{(\Delta\Phi \cdot 24 \cdot GR)}{1000} = GG \cdot f \cdot R \cdot \Delta U \cdot \frac{A}{1000} \text{ [kWh]}$$

η_g è rendimento globale medio stagionale del sistema edificio-impianto, ed è definito come il rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche, calcolato con riferimento al

periodo annuale di esercizio.

La sua determinazione è frutto del rapporto dei singoli rendimenti di: produzione (η_e), distribuzione (η_{rg}), regolazione (η_d), ed emissione (η_{gc}) ricavati rispettivamente dai valori riportati nei prospetti 17, 20, 21(a, b, c, d, e), e 23 (a, b, c, d, e) della normativa UNI/TS 11300-2

Nel caso in cui non sia semplice il reperimento dei dati necessari al calcolo analitico del rendimento globale medio stagionale, o nel caso in cui ne servano dei dati approssimativi, viene considerato un valore che varia tra 0,60 e 0,80.

2. MATERIALI ISOLANTI

In una edilizia efficiente dal punto di vista energetico, i materiali isolanti occupano un ruolo fondamentale. Negli ultimi dieci anni, l'importanza dei materiali isolanti è cresciuta continuamente, e con essa anche l'offerta di materiali isolanti con diverse caratteristiche e possibilità di applicazione.

Questi tipi di materiali hanno lo scopo di isolare termicamente e acusticamente ambienti e oggetti al fine di ottenere il comfort in quella determinata circostanza.

2.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ISOLANTI

Con i materiali isolanti oggi disponibili è possibile soddisfare pressoché tutti i requisiti richiesti nei campi più diversi. Non esiste però alcun materiale isolante che soddisfi alla perfezione qualsiasi parametro ecologico e che magari sia pure costoso.

La proprietà più importante dei materiali isolanti è senza dubbio la bassa conduttività termica, ma ne esistono altre molto importanti quali:

Massa volumica: è definita come il rapporto tra la massa di un materiale e il volume che essa occupa, ed influenza in modo fondamentale le caratteristiche termiche di un materiale isolante. Una bassa massa volumica apparente è solitamente correlata ad una porosità elevata o a un elevato volume di cavità e risulta pertanto una riduzione della conduttività, quindi un migliore effetto termoisolante del materiale.

Conduttività: è definita come un parametro che misura l'attitudine di un materiale a lasciarsi attraversare dal calore, quindi materiali con un alto valore di conduttività sono 'buoni' conduttori, mentre quelli con un basso valore di conduttività sono 'cattivi' conduttori, ovvero isolanti.

La maggioranza dei materiali isolanti è caratterizzata da una conduttività compresa tra 0,030 e 0,050 W/mK che, in questo intervallo, può essere definita buona. Ottime conduttività sono evidenziate da materiali con valori inferiori a 0,030 W/mK, mentre i valori intorno a 0,06 o superiori a 0,070 W/mK possono essere considerati mediocri o relativamente elevati.

È da considerare come questa caratteristica sia condizionata da altri fattori fondamentali di un materiale quali: materiale costituente, massa volumica apparente, forma fisica, contesto di umidità e temperatura, e gas contenuti nelle porosità del materiale.

Resistenza termica: è definita come la difficoltà del calore nell'attraversare un corpo. Tanto è maggiore la resistenza termica di un elemento, tanto maggiore risulta la prestazione di isolamento termico dello strato. La somma di tutte le resistenze termiche degli strati dell'elemento, comprese le resistenze liminari, tra la superficie del componente e l'ambiente interno ed esterno, è la cosiddetta resistenza termica totale

R_{tot} del componente, ed indica la resistenza che quel determinato elemento oppone al flusso di calore.

Trasmittanza termica: è definita come la tendenza di un elemento allo scambio di energia, ovvero l'inverso della resistenza termica totale e indica la potenza che attraversa una superficie quando i due ambienti che separa sono caratterizzati da una differenza di temperatura.

Calore specifico: indica la quantità di calore necessaria per innalzare di un grado la temperatura di un'unità di massa di un materiale; maggiore è il calore specifico, maggiore è il calore che il materiale può accumulare, perché quest'ultimo dipende fortemente dalla struttura e dalla densità del materiale.

Stabilità dimensionale e dilatazione termica: sono caratteristiche che assicurano la stabilità dei materiali isolanti in definite condizioni di temperatura, umidità e sollecitazioni meccaniche e termiche. Queste caratteristiche vengono illustrate direttamente dai produttori dei singoli materiali, e devono rispettare i requisiti minimi proposti dalle norme di legge.

Resistenza alla diffusione del vapore: esprime l'attitudine di un materiale a resistere al passaggio del flusso di vapore che è presente nell'aria, nei materiali e nei componenti edilizi. Questo è possibile grazie al coefficiente di resistenza μ , che è pari al rapporto adimensionale tra la permeabilità al vapore dell'aria in quiete e la permeabilità al vapore del materiale.

Nella sezione 'Proprietà igrotermiche' della norma UNI EN ISO 10456 'Materiali e prodotto per l'edilizia' sono riportati i valori tabulati di μ per i principali materiali da costruzione e per i materiali isolanti.

Solitamente i materiali isolanti a base di fibre sono molto permeabili ed hanno una resistenza alla diffusione solo minimamente più elevata dell'aria. Le plastiche espanse rigide oppongono invece una resistenza superiore, che tuttavia non porta ad alcuna differenza nelle strutture più diffuse. Una posizione particolare tra i materiali isolanti è occupata dal vetro espanso, che con un valore μ 'infinito' viene considerato impermeabile al vapore.

Assorbimento idrico: è quella caratteristica di un materiale che tendenzialmente si cerca di evitare in qualsiasi forma nei materiali isolanti. L'acqua possiede una conduttività circa 20 volte più elevata dell'aria, dunque l'assorbimento idrico comporta sempre un incremento della conduttività.

I materiali isolanti nella maggior parte dei casi non sono igroscopici, quindi non assorbono umidità dall'aria in grande quantità, infatti vengono lavorati in modo tale da evitare il più possibile questo fenomeno. In ogni caso, si deve evitare la posa in opera di materiali isolanti che contengono umidità, in quanto vengono spesso associati a

strati che bloccano o riducono il passaggio di umidità, e che impediscono quindi un'eventuale asciugatura.

resistenza a compressione: descrive la sollecitazione massima alla quale si giunge al cedimento del materiale, e di questa ne è stato impostato un limite di compressione secondo il quale il materiale può ridurre il suo spessore del 10%.

resistenza a flessione e trazione: è la capacità di un materiale, sottoposto a sollecitazioni meccaniche rispetto al piano della lastra, di non cedere.

rigidità dinamica: è la proprietà che definisce la potenziale elasticità di uno strato isolante; più è bassa migliore è la prestazione di isolamento dal rumore da calpestio, ma non solo, perché è una caratteristica importante anche per gli strati esterni e le pareti divisorie tra le stanze delle abitazioni.

resistività al flusso d'aria: è un parametro che permette di determinare correlazioni tra la struttura del materiale e alcune sue proprietà acustiche, perché i materiali isolanti che vengono impiegati per isolare acusticamente devono ridurre la propagazione del rumore.

Reazione al fuoco: è quella caratteristica che consente di determinare le classi di appartenenza di quel determinato materiale. La normativa relativa alla protezione antincendio di ogni Paese stabilisce che gli edifici siano realizzati in modo da prevenire l'insorgere di un incendio e la diffusione di fiamme e fumo al fine di ridurre i pericoli per la vita e la salute di persone e animali. Ne conseguono per i materiali isolanti requisiti specifici che riguardano lo sviluppo di fiamme, la loro trasmissione, lo sviluppo di fumo e lo sgocciolio di parti incandescenti.

2.2 TIPOLOGIE E CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI ISOLANTI

I materiali termoisolanti vengono classificati rispetto alla materia prima di cui sono composti, e principalmente in base alla sua origine: inorganica (minerale) e organica. All'interno dei due gruppi, i materiali isolanti si articolano in funzione della lavorazione della materia prima originaria in materiali naturali e sintetici.

Nei prodotti 'naturali' la materia prima rimane invariata. Se la materia prima originaria viene invece modificata nella sua composizione attraverso una lavorazione speciale, venendo quindi prodotta o assemblata attraverso processi tecnologici, si parla di materiali sintetici.

Alcuni materiali isolanti naturali contengono quantità relativamente elevate di additivi come i sali ignifughi, gli impregnanti, le fibre protettive o i leganti, che non sono di origine naturale ma che devono risultare inferiori al 25% del materiale.

Qui sotto vengono riportati i principali materiali isolanti della normativa UNI 10351 e, nello specifico, quelli abilitati all'utilizzo nei cappotti termici.

| I MATERIALI ISOLANTI |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UNI 10351; marcatura CE obbligatoria o volontaria |
| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI |
| ISOLANTE |
| LANA DI VETRO pannello |
| LANA DI VETRO feltro |
| LANA DI VETRO pannello a fibre parzialmente oreintate |
| VETRO CELLULARE pannelli |
| LANA DI ROCCIA pannello |
| LANA DI ROCCIA pannello a doppia intensità |
| LANA DI ROCCIA feltro rivestito da un lato con carta kraft |
| LANA DI ROCCIA sfusa da insufflaggio |
| CALCIO SILICATO pannello in idrato di silicato di calce |
| ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI |
| ISOLANTE |
| SCHIUMA FENOLICA pannelli |
| POLIETILENE ESPANSO pannelli |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS S |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 50 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 70 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 80 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 100 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 120 -EPS 150 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 200 -EPS250 |
| POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO pannello a celle chiuse, espanso con CO ₂ , senza pelle |
| POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO pannello a celle chiuse, espanso con CO ₂ , finitura liscia con pelle e spessore ≤ 60mm |
| POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO pannello a celle chiuse, espanso con CO ₂ , finitura liscia con pelle e spessore 60mm < spessore ≤ 120 mm |
| POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO pannello a celle chiuse, espanso con CO ₂ , finitura liscia con pelle e spessore > 120 mm |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO pannello con rivestimenti flessibili o rigidi impermeabili ai gas |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO pannello con rivestimenti flessibili permeabili a gas di spessore ≤ 80mm |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO pannello con rivestimenti flessibili permeabili a gas di spessore 80 mm < spessore ≤ 120 mm |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO pannello con rivestimenti flessibili permeabili a gas di spessore >120mm |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO schiuma poliuretana applicata a spruzzo o per colata percentuale di celle chiuse >90%, priva di rivestimenti |

| ISOLANTI TERMICI INORGANICI NATURALI |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISOLANTE |
| ARGILLA ESPANSA sfusa in granuli |
| ARGILLA ESPANSA frantumata |
| VERMICULITE in forma granulare |
| PERLITE ESPANSA in granuli di grossa granulometria |
| PERLITE ESPANSA pannello |
| ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI |
| ISOLANTE |
| LANA DI LEGNO pannello monostrato di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland |
| SUGHERO ESPANSO pannello |
| FIBRE DI LEGNO pannello |
| LANA DI PECORA feltro |
| CELLULOSA in fiocchi |
| FIBRE DI CANAPA – KENAF pannelli |

MATERIALI ISOLANTI PER
CAPPOTTO TERMICO

2.2.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ISOLANTI UTILIZZATI NELL'INDAGINE

Alla luce della completa e schematica classificazione dei materiali isolanti, in seguito, verranno riportate le principali caratteristiche di quelli utilizzati nell'indagine svolta; ovvero di quei materiali che vengono utilizzati nell'applicazione di 'cappotti termici'.

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI:

LANA DI VETRO:



Produzione: la lana di vetro è costituita da una serie di materiali fusi insieme, a temperature che variano dai 1300 ai 1500 °C, e sono: vetro riciclato per l'80%, silice, sabbia, calcare, carbonato di sodio e boro.

Il prodotto ottenuto viene successivamente trasportato in una centrifuga dove avviene la produzione delle fibre vere e proprie; queste vengono successivamente legate con resine termoindurenti e convogliate su nastri trasportatori. Il successivo passaggio in un forno porta alla polimerizzazione delle resine, e i manufatti ottenuti possono dunque essere accoppiati con eventuali rivestimenti ottenendo dei prodotti finiti pronti alla fase di taglio, finitura e imballaggio.

Applicazione: grazie alle sue proprietà viene utilizzata in diversi campi quali: l'utilizzo per l'isolamento termico e acustico nelle intercapedini delle pareti, nell'isolamento esterno a cappotto, nei solai per isolare i sottotetti, e per isolare dal freddo un soffitto in legno.

Caratteristiche e proprietà generali: la lana di vetro è un prodotto naturale con eccellenti proprietà termoisolanti e fisiche in quanto è resistente al fuoco, all'invecchiamento, non è assorbente, è chimicamente neutra, flessibile, leggera e semplice da lavorare.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: oltre l'80% delle materie usate sono di riciclo e vengono utilizzate come materie prime e non necessitano di mescolanze con altri materiali fungicidi, insetticidi o additivi ignifughi; la sua composizione rende questo materiale riciclabile al 100% poiché i suoi frammenti ricavanti dallo smaltimento di costruzioni possono essere nuovamente fusi e riutilizzati.

Dal punto di vista sanitario, secondo diversi studi, non c'è una correlazione tra le lane minerali e l'aumento di tumori ai polmoni o altre malattie dell'apparato respiratorio, ma un suo contatto diretto e continuativo può provocare irritazione agli occhi, alla pelle e al sistema respiratorio. Alla luce di questo durante il suo utilizzo nei lavori di costruzione o ristrutturazione è consigliabile attuare delle precauzioni.

LANA DI ROCCIA:



Produzione: la produzione della lana di roccia ha inizio con la frantumazione e macinazione di materiale roccioso che verrà successivamente compresso in bricchette e fuso alla temperatura di circa 1500°C nell'apposito 'cubilotto', un tipo di altoforno.

La roccia fusa viene prima ridotta in fibre e impregnata di sostanze idrorepellenti, mentre successivamente viene indurita a 270°C per poter essere tagliata in pannelli.

Applicazione: essendo una lana minerale, come la lana di vetro, presenta le stesse e molteplici possibilità di applicazione come: l'utilizzo per l'isolamento termico e acustico nelle intercapedini delle pareti, nell'isolamento esterno a cappotto, nei solai per isolare i sottotetti, e per isolare dal freddo un soffitto in legno.

Caratteristiche e proprietà generali: la lana di roccia grazie alla sua struttura in fibre naturali risulta un materiale altamente drenante e ideale per l'isolamento termico e acustico; le sue fibre limitano al minimo l'assorbimento d'acqua e di umidità rendendo il materiale anche un ottimo resistente al fuoco, poiché non contribuisce né allo sviluppo né alla propagazione di incendi.

Inoltre, le sue fibre minerali garantiscono una buona traspirabilità alle pareti, rendendole inattaccabili da insetti, muffe e funghi e garantendone una stabilità nel tempo.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: questo tipo di materiale è caratterizzato da una fibrosità a trama fine, perciò può rilasciare sostanze che possono essere respirate e dannose per l'uomo. Queste microfibre minerali rilasciate, vengono classificate nelle cosiddette polveri sottili, che non sono cancerogene, ma ugualmente irritanti per le vie respiratorie, per la pelle e per la vista.

CALCIO SILICATO:



Produzione: i pannelli a base di calcio silicato vengono prodotti solo con elementi naturali come: ossido di calcio, silice e fibre di cellulosa. Questi materiali vengono mescolati in un impasto che passa in autoclave e, dopo un lungo periodo sotto pressione ad alte temperature, il composto saturo d'acqua passa all'essiccazione dove perde circa il 75% del suo peso.

Ottenuta una schiuma rigida, a celle aperte e finemente porosa, viene successivamente tagliata in lastre e impermeabilizzata con saponi metallici o siliconati.

Applicazione: per le loro caratteristiche i silicati di calcio vengono utilizzati preferibilmente per gli isolamenti interni, ma un loro utilizzo è possibile anche negli isolamenti esterni e nei cappotti.

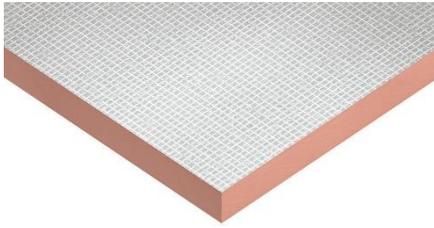
Caratteristiche e proprietà generali: I pannelli a base di silicato di calcio garantiscono un clima dell'ambiente confortevole grazie all'assorbimento dell'umidità ambientale in eccesso; impediscono la formazione di muffe e batteri per via della sua elevata alcalinità; permettono di eliminare tutti i ponti termici senza alterare la traspirabilità dell'edificio; garantiscono nel tempo un notevole risparmio energetico, e resistono a temperature superiori a 1000° C.

Inoltre, sono materiali anti invecchianti, resistenti alla putrefazione, agli insetti e ai roditori e presentano una certa stabilità di forma.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: Per la produzione di questo materiale isolante non vengono impiegati propellenti, additivi organici o fibre minerali, perciò l'inquinamento ambientale provocato dalla relativa produzione riguarda soprattutto il consumo di energia necessario per il processo in autoclave, perché gran parte dell'acqua necessaria per il processo produttivo viene condotta in un circuito chiuso. Per quanto riguarda la sua riciclabilità il prodotto in sé può essere riutilizzato solo parzialmente e il resto è considerato una maceria edile e pertanto è possibile conferire in discarica i resti e gli scarti.

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI:

SCHIUMA FENOLICA:



Produzione: le materie prime per la produzione di questa schiuma sono le resine fenoliche ed il pentano come agente espandente; le prime vengono mescolate con lo schiumogeno ed un indurente per successivamente procedere con il farle espandere in un processo continuo per la realizzazione di materiale in bobine. Il materiale

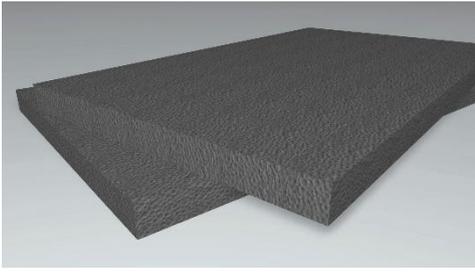
risulta viscoso ma verrà poi rivestito con del materiale in tessuto vitreo, al fine di ottenere il prodotto finito in seguito alla fase di indurimento e asciugatura.

Applicazione: i pannelli in schiuma fenolica si prestano bene per impieghi su coperture, come isolamento sui travetti, su terrazze e sotto le coperture, ma possono essere utilizzati anche sotto i massetti e come isolanti per esterni come per la posa di sistemi a cappotto.

Caratteristiche e proprietà: il pannello in schiuma fenolica ha molteplici caratteristiche: è resistente agli agenti chimici, agli insetti e roditori, è in grado di mantenere le proprie caratteristiche negli ambienti caldi e freddi, ha elevate prestazioni di conducibilità termica, non è affetta da infiltrazioni d'aria, è resistente all'umidità e al vapore acqueo, è in grado di resistere nel tempo e difficilmente produce fiamma, infatti in caso di incendio viene rilasciata formaldeide e ne resta un residuo simile che continua a bruciare al lungo.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: per questo tipo di resine fenoliche non è ancora possibile fare affermazioni fondate sui relativi aspetti ecologici e di riciclo.

POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS):



Produzione: il polistirene espanso sinterizzato è composto da atomi di carbonio e idrogeno e si realizza grazie ad un processo industriale nel quale dal petrolio si ricavano delle piccole perle trasparenti di polistirene alle quali viene aggiunto pentano, un idrocarburo che funge da gas espandente.

Mettendo in contatto le perle ottenute con il vapore acqueo a temperatura superiore ai 90°C, il pentano in esse contenuto le fa espandere fino a 20-50 volte il loro volume. In questo processo si forma, all'interno delle perle espanse di polistirene, una struttura a celle chiuse che trattengono al proprio interno l'aria, impedendone i moti convettivi e conferiscono così al polistirene espanso le sue eccellenti proprietà di isolante termico. La sinterizzazione è il processo di saldatura delle perle di polistirene espanso che, sottoposte nuovamente all'azione del vapore acqueo, si uniscono fra di loro fino a formare un blocco omogeneo di materiale espanso. Quest'ultimo, dopo un'ulteriore essiccazione, viene tagliato in lastre o in profilati.

Applicazione: i pannelli in polistirene espanso sinterizzato vengono utilizzati soprattutto come isolamento per il rumore da calpestio e per i sistemi di isolamento a cappotto, ma anche per le applicazioni sollecitate a compressione, per l'isolamento controterra, per quello interno e del tetto.

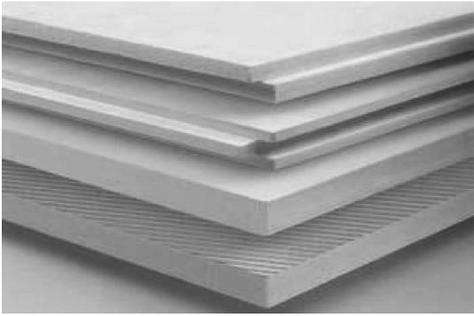
Caratteristiche e proprietà: ha una conducibilità termica ridotta grazie alla sua struttura cellulare chiusa, formata per il 94% di aria, e ciò gli consente di essere un ottimo isolante termico; è traspirante e permeabile al vapore acqueo ma impermeabile all'acqua.

Per quanto riguarda il suo comportamento al fuoco invece si infiamma a circa 450°C e la fiamma si propaga poi spontaneamente se vi è sufficiente apporto di ossigeno; proprio per questo in edilizia si utilizza con opportuni additivi che ne garantiscono una ritardata propagazione di fiamma per sopperire alla natura combustibile di questo materiale.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: il polistirene espanso sinterizzato EPS è privo di nutrienti in grado di sostenere la crescita di funghi, batteri o altri microrganismi, inoltre è atossico perché non contiene né clorofluorocarburi né idroclorofluorocarburi; infatti gli imballi in EPS conferiti in discarica non inquinano né il terreno né l'atmosfera.

Caratteristica importante di questo materiale è anche la sua riciclabilità: esso infatti può essere macinato e poi mescolato a polistirene espanso vergine per produrre nuovi imballi e componenti di alleggerimento per l'edilizia.

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO (XPS):



Produzione: il polistirene espanso estruso è composto da polistirene sotto forma di granulato vergine e riciclato e diversi additivi e gas espandenti. Come per la produzione del polistirene espanso, lo stirene grezzo viene prodotto in diversi stadi dal petrolio. Il polistirene liquido viene poi estruso con propellenti e successivamente pressato attraverso ugelli a fessura

larga formando delle lastre.

Applicazione: il polistirene estruso viene spesso utilizzato nell'isolamento termico di strutture in cui è richiesta un'elevata resistenza meccanica, soprattutto in solai, pareti, coperture piane e inclinate, e tetti rovesci.

Caratteristiche e proprietà: il polistirene espanso estruso grazie alla sua struttura, alle sue prestazioni e caratteristiche tecniche, presenta numerosi vantaggi tra cui un alto grado di isolamento e resistenza all'umidità, una buona elasticità, un'alta resistenza alla compressione e alla fiamma, che consentono di ottenere un ottimo materiale isolante in grado di soddisfare qualunque esigenza.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: un grosso problema sotto l'aspetto ecologico di questo materiale è la presenza di propellenti a base di CFC presenti nei polistireni già installati poiché fino al 1993 erano ancora leciti. Questi propellenti vengono rilasciati lentamente dal materiale e possono danneggiare l'individuo.

Per quanto riguarda lo smaltimento del polistirene estruso non si hanno ad oggi informazioni su un riciclaggio specifico ma solo metodi di riciclaggio generali di sostanze e prodotti chimici simili.

Alla luce di queste informazioni si può dire che il 'vecchio' XPS deve essere smaltito a parte e che il taglio del pannello di questo materiale va operato in un luogo aperto perché potrebbe provocare uno sprigionamento di stirene e di altri prodotti di scomposizione dannosi per l'uomo.

POLIURETANO ESPANSO RIGIDO:



Produzione: il poliuretano espanso rigido è un polimero reticolato termoindurente che viene prodotto dalla reazione di polioli e poliisocianati, in presenza di un agente espandente (generalmente idrocarburi, CO₂ o altre miscele) e di altri additivi.

Nel corso della reazione che porta le materie prime dallo stato liquido a quello solido del polimero finale, la schiuma manifesta elevate proprietà di adesione a

quasi tutti i tipi di supporti; caratteristica questa fondamentale per lo sviluppo e l'industrializzazione di moltissimi prodotti: dai pannelli isolanti con rivestimenti flessibili, a quelli sandwich autoportanti per la prefabbricazione e l'industria del freddo, ai frigoriferi commerciali e domestici, ai boiler, ecc.

Applicazione: il poliuretano espanso rigido viene utilizzato soprattutto per l'isolamento termico in edilizia e per l'isolamento di caldaie, tubazioni e boiler.

Caratteristiche e proprietà: i poliuretani espansi rigidi sono caratterizzati da conduttività molto basse ed elevata resistenza a compressione; inoltre possiedono una buona resistenza ai solventi contenuti nelle colle e nei materiali bituminosi.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: il problema inerente il riciclaggio e gli eventuali danno sanitari per l'uomo sono simili a quelli elencati per il polistirene poiché parte dei prodotti utilizzati per la realizzazione di questo materiale derivano dal petrolio, inoltre sono presenti in alcuni i propellenti a base CFC, ancora leciti fino al 1993, che inglobati all'interno dei pori fuoriescono lentamente.

Per questo materiale di nuova realizzazione c'è da dire che dopo il montaggio non ci sono pericoli per la salute umana, ma solo durante il taglio, momento nel quale infatti è opportuno munirsi di coperture al fine di evitare di inalare le polveri. Quindi il rischio di eventuali esposizioni a veleni e i relativi rischi si limitano esclusivamente alla fase produttiva.

Per l'aspetto ecologico è da considerare il complesso processo di produzione che richiede un cospicuo dispendio di energia, che può essere anche dalle 10 alle 40 volte superiore rispetto alla produzione, per esempio, di una lana di pecora.

ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI:

LANA DI LEGNO:



Produzione: nella fase preliminare della produzione della lana di legno le fibre lignee di abete rosso vengono sottoposte ad un trattamento mineralizzante che lascia invariate le caratteristiche del prodotto ma ne annulla i processi di deterioramento biologico. Successivamente si unisce come se fosse un impasto il 65% di fibre lignee con il 35% di carbonato di calcio e cemento Portland, che servono da collante per le fibre, al fine di ottenere un prodotto che, dopo un

processo di pressatura, risulta compatto, resistente e duraturo.

Applicazione: i pannelli in lana di legno vengono utilizzati per correggere ponti termici in punti nevralgici come pilastri, architravi, elementi a sbalzo, per l'isolamento di pareti interne ed esterne, tetti, solai.

Caratteristiche e proprietà: la composizione della lana di legno attribuisce ai suoi pannelli capacità di isolamento termico, leggerezza, elasticità, resistenza all'acqua e al gelo, resistenza a flessione e compressione.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: la lana di legno è considerata un isolante naturale e sostenibile sia per la provenienza del legno sia per i prodotti che la costituiscono, che non sono nocivi per la salute dell'uomo; inoltre il processo produttivo produce ridotte emissioni in atmosfera e minori consumi di energia rispetto a qualsiasi altro isolante.

SUGHERO ESPANSO:



Produzione: il sughero espanso viene prodotto esclusivamente in versione pura, ovvero la corteccia della quercia da sughero viene prima macinata per poi riporre il granulato ottenuto all'interno di un serbatoio per cuocerlo a pressione con vapore acqueo alla temperatura di circa 370°C. Durante questo processo il sughero si espande del circa 20, 30% e si lega grazie alla propria resina, senza l'aggiunta di altre sostanze.

Applicazione: i campi di applicazione del sughero espanso si limitano all'isolamento termico interno ed esterno di pareti, coperture e solai.

Caratteristiche e proprietà: il sughero ha buone proprietà di isolamento termico e acustico, inoltre è molto leggero, elastico ed ha un'elevata resilienza; infatti resiste a carichi elevati, all'invecchiamento, alla marcescenza e non viene attaccato da roditori o insetti.

Inoltre, è importante sapere che se non sono applicati additivi, il sughero espanso è normalmente un materiale infiammabile.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: essendo un materiale organico naturale può essere ritrasformato in granuli di sughero o in nuovi pannelli o per alleggerire il terreno e, non contendo additivi organici o sintetici, al fine del ciclo di impiego, il suo compostaggio è possibile senza problemi.

Dal punto di vista sanitario non presenta alcun tipo di problema e lo stesso vale per il dispendio di energia durante la produzione, che risulta molto basso.

FIBRE DI LEGNO:



Produzione: i pannelli in fibre di legno vengono realizzati con legno di abete rosso o di pino che viene frantumato e scomposto in fibre di legno fini mediante procedimenti termici e meccanici. Successivamente si ha la loro pressatura, intreccio e infeltrimento con l'aggiunta di allume che gli conferisce la stabilità

necessaria senza dover aggiungere altri leganti.

Per rendere infine i pannelli in fibre di legno resistenti all'umidità vengono addizionate alcune sostanze idrofobizzanti.

Applicazione: i pannelli in fibra di legno si utilizzano per l'isolamento di intercapedini di strutture in legno e muratura, cappotti, coperture inclinate, piane, rivestimenti interni e solai.

Caratteristiche e proprietà: i pannelli in fibra di legno hanno buone caratteristiche termoisolanti e termoacustiche. Sono materiali porosi con un'elevata capacità termica, regolano l'umidità, e mostrano una buona resistenza a muffe e parassiti.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: per quanto riguarda l'aspetto ecologico, le materie prime per la composizione del materiale sono disponibili in misura illimitata, inoltre i pannelli possono essere lavorati per produrre nuovi materiali isolanti oppure designati al compostaggio.

Questo materiale isolante è conforme ai requisiti richiesti per un prodotto ecologico e rappresenta un'alternativa valida ai materiali isolanti in plastica o in fibra minerale.

Nella produzione di questo materiale l'inquinamento ambientale viene ridotto al minimo grazie alla circolazione in circuiti chiusi, ma il consumo di energia durante questo processo è relativamente alto.

FIBRE DI CANAPA:



Produzione: le piante di canapa, una volta raccolte vengono ridotte in fibra e successivamente lavorate con l'aggiunta di fibre di poliestere e materiali ignifughi. Con processi meccanici e di termolegatura si ottengono i pannelli senza l'utilizzo di acqua e prodotti chimici al fine di ottenere un prodotto estremamente naturale.

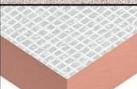
Applicazione: le fibre di canapa vengono utilizzate in diverse modalità al fine di ottenere pannelli per l'isolamento termico di pareti interne ed esterne, pannelli per la tamponatura ed il riempimento di cavità, pannelli fonoisolanti anti-calpestio sotto il pavimento, frammenti di canapa sfusi per il riempimento isolante tra i legni di imbottitura.

Caratteristiche e proprietà: la fibra di canapa è estremamente resistente allo strappo e all'umidità; inoltre presenta una capacità di accumulo del calore migliore rispetto a quella degli altri isolanti a base di fibre minerali come la lana di vetro o di roccia. Grazie all'assenza nella composizione di proteine e alla presenza, invece, di sostanze amare è da considerarsi come un buon resistente contro la putrefazione, parassiti, roditori e muffe.

Se il materiale viene sottoposto ad un trattamento impregnante a base di soda, fosfato di ammonio o di Sali di boro può raggiungere una classe di infiammabilità 2.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: per l'aspetto sanitario ed ecologico è un ottimo materiale poiché le sue buone caratteristiche gli consentono di utilizzare il prodotto aggiungendo poche sostanze nocive che possono essere inalate dall'uomo. Inoltre, la canapa dopo essere stata smontata può essere riutilizzata e conferita al compostaggio se sono ovviamente state eliminate le fibre di poliestere presenti nel materiale.

2.2.2 Tabella riepilogativa dei materiali isolanti con relative caratteristiche principali e valori indicativi

| CATEGORIA | | ISOLANTE | λ (w/mk) | DISPONIBILITA' DELLE MATERIE PRIME | FABBISOGNO ENERGETICO DURANTE LA PRODUZIONE | INQUINAMENTO AMBIENTALE DURANTE LA PRODUZIONE | RICICLAGGIO | MISURE PRECAUZIONALI DURANTE IL MONTAGGIO |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|
| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI |  | LANA DI VETRO | 0,035 - 0,037 | ABBONDANTE | MEDIO | MEDIO | RIMONTABILE | GUANTI, MASCHERINA, PARAPOLVERE |
| |  | LANA DI ROCCIA | 0,035 - 0,045 | ABBONDANTE | MEDIO | MEDIO | RIMONTABILE | GUANTI, MASCHERINA, PARAPOLVERE |
| |  | CALCIO SILICATO | 0,045 | ABBONDANTE | ELEVATO | NON INDICATO | RARAMENTE POSSIBILE | MASCHERINA PARAPOLVERE DURANTE IL TAGLIO |
| ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI |  | SCHIUMA FENOLICA | 0,022 | LIMITATA | ELEVATO | ELEVATO | RARAMENTE POSSIBILE | EVITARE FORMAZIONE DI POLVERE DURANTE IL |
| |  | POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS | 0,040 - 0,033 | LIMITATA | ELEVATO | ELEVATO | RARAMENTE POSSIBILE | AERARE IN CASO DI TAGLIO A FILO CALDO |
| |  | POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS | 0,035 - 0,038 | LIMITATA | MOLTO ELEVATO | MOLTO ELEVATO | RARAMENTE POSSIBILE | AERARE IN CASO DI TAGLIO A FILO CALDO |
| |  | POLIURETANO ESPANSO RIGIDO | 0,023 - 0,035 | LIMITATA | ELEVATO | MOLTO ELEVATO | RARAMENTE POSSIBILE | EVITARE FORMAZIONE DI POLVERE DURANTE IL |
| ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI |  | LANA DI LEGNO | 0,065 - 0,09 | ABBONDANTE | BASSO | BASSO | RIMONTABILE | NESSUNA |
| |  | SUGHERO ESPANSO | 0,04 - 0,043 | RIPRODUCIBILE | ELEVATO | BASSO | RIMONTABILE | NESSUNA |
| |  | FIBRE DI LEGNO | 0,038 - 0,043 | RIPRODUCIBILE | ELEVATO | MEDIO | RIMONTABILE | EVITARE FORMAZIONE DI POLVERE DURANTE IL |
| |  | FIBRE DI CANAPA | 0,040 - 0,038 | RIPRODUCIBILE | BASSO | BASSO | RIMONTABILE | NESSUNA |

3. ISOLAMENTO TERMICO

Il benessere fisico di un individuo all'interno di un ambiente dipende dal comfort termico, i cui fattori principali sono la temperatura dell'aria e la temperatura di irradiazione.

La prima, all'interno di un locale, viene garantita dal riscaldamento, mentre la seconda dipende dalle temperature delle superfici degli elementi strutturali che circondano la persona.

Alla luce di questo, l'isolamento termico ha lo scopo di influire direttamente sulle temperature delle superfici, quindi quanto migliore sarà l'isolamento tanto migliori saranno anche le temperature delle superfici delle pareti e di conseguenza del clima stesso dell'ambiente in questione.

Per il periodo di riscaldamento, in genere, si ha la sensazione di provare un calore gradevole quando la temperatura delle pareti circostanti e quella dell'aria hanno circa la stessa temperatura dell'individuo e quindi se le temperature delle superfici medie non lo consentono è necessario aumentarle.

Un altro obiettivo dell'isolamento è senza dubbio la riduzione dei consumi delle risorse energetiche, necessarie al riscaldamento e raffrescamento degli edifici, riducendo l'inquinamento atmosferico dovuto all'emissione di gas inquinanti derivati da processi di combustione di fonti energetiche di origine fossile; questo comporta, per esempio nelle ristrutturazioni, un possibile risparmio energetico del 20-25% nel caso di edifici unifamiliari, e del 30-35% nei condomini.

3.1 SISTEMI DI ISOLAMENTO

L'isolamento termico può essere realizzato posizionando i pannelli sul lato esterno o interno della parete oppure nell'intercapedine della doppia muratura.

Isolamento interno: questa soluzione viene utilizzata soprattutto nei casi dove non sia possibile intervenire nella facciata dell'edificio, oppure quando la stessa abbia una morfologia tale da rendere difficile la sua lavorazione a causa, per esempio, di un grande numero di volumi sporgenti come logge o balconi.

Questa soluzione permette di migliorare le prestazioni di coibentazione dell'involucro, ma non lo protegge in modo completo dalla formazione dei ponti termici; infatti è possibile eliminarli solo negli spigoli verticali e nei giunti tra serramenti e pareti.

Altra caratteristica negativa di questo intervento è la diminuzione del volume utile dell'edificio, infatti durante la scelta del tipo di isolante da utilizzare si sceglie preferibilmente quello che presenta le più alte caratteristiche termoisolanti e i minori spessori.

Alla luce delle caratteristiche principali dell'isolamento interno si può intuire come gli unici vantaggi possano essere: la semplicità di posa in opera, la comodità di poterlo applicare ad una singola unità abitativa, stanza o parete in particolare, e il costo, che

sarà sicuramente ridotto rispetto alla posa di un eventuale cappotto esterno.

Isolamento nell'intercapedine: questa soluzione viene effettuata soprattutto in quelle abitazioni costruite lasciando un vuoto all'interno dei muri che separano gli ambienti interni dall'esterno. Inserendo del materiale isolante all'interno di questa cavità si ottiene un miglioramento della resistenza termica della parete stessa, innalzando la temperatura media radiante delle pareti perimetrali e ottenendo un miglioramento del comfort termico degli occupanti.

Questo tipo di isolamento è semplice da realizzare ed ha un costo di installazione ridotto rispetto ai tipi di isolamento ma, riduce l'inerzia termica delle pareti e aumenta le sollecitazioni igrometriche della cortina esterna rischiando di provocare condensa e aumento di ponti termici.

I metodi di applicazione di questo sistema sono due: l'insufflaggio, ovvero la bucatatura delle pareti e il successivo inserimento dell'isolante in forma sfusa, e l'inserimento di pannelli rigidi di materiale isolante come il polistirene, poliuretano e fibra minerale.

Isolamento esterno, a cappotto: è una soluzione di isolamento termico che prevede il posizionamento di pannelli all'esterno dell'edificio eliminando così i ponti termici e con essi la formazione di condensa, muffe e macchie. I muri svolgono la funzione di accumulo di calore per poi cederlo lentamente, riducendo quindi le ore di funzionamento dell'impianto di riscaldamento e migliorando l'inerzia termica anche nelle stagioni più calde e soleggiate; inoltre, limitando le dilatazioni termiche, riducono i movimenti interstrutturali degli edifici evitando così il generarsi di fessurazioni.

Tra i vantaggi di questo sistema abbiamo: un rivestimento uniforme della superficie esterna, un buon controllo e addirittura la possibile eliminazione dei ponti termici, la limitazione delle dispersioni termiche, la formazione di condensa superficiale che può causare umidità e muffe, la mancata riduzione degli spazi interni, come si verifica per esempio nell'isolamento interno, e lo sfruttamento dell'inerzia termica delle parti sul lato interno dell'edificio.

I soli svantaggi, invece, di questo sistema sono l'alterazione dei prospetti esterni dell'edificio e l'interazione con il suo comportamento igrometrico.

3.2 SISTEMI DI ISOLAMENTO TERMICO A CAPPOTTO

3.2.1 INDICAZIONI GENERALI

Il sistema di isolamento a cappotto appena descritto è definito a livello europeo con l'acronimo di ETICS, *External Thermal Insulation Composite Systems* e significa "Sistema di Isolamento Termico a Cappotto". Questo si basa su determinati comportamenti termoigrometrici, meccanici e fisici presupponendo delle regole tecniche, produttive, applicative e progettuali ben definite.

Per quanto riguarda la certificazione di questo specifico sistema non si basa su una sola marcatura CE dei materiali che lo costituiscono, perché appunto essendo un prodotto complesso è formato da diversi strati di diversi materiali, ciascuno con la propria marcatura CE.

Il documento di riferimento per i sistemi di isolamento a cappotto, di recente pubblicazione, è il rapporto tecnico UNI/TR 11715 che definisce le condizioni generali di utilizzo e le modalità di messa in opera dei sistemi di isolamento termico dall'esterno denominati ETICS; nello specifico grazie all'EOTA, *European Organization for Technical Approval*, sono presenti le linee guida, denominate ETAG 004, che descrivono i processi e le prove alle quali devono essere sottoposti gli elementi del sistema, al fine di ottenere un attestato di idoneità tecnica, dal nome ETA, *European Technical Approval*. Questi requisiti descritti servono a dare una garanzia di sicurezza nell'utilizzo e nella durabilità del prodotto.

3.2.2 STRUTTURA DEL SISTEMA:

Il sistema di isolamento a cappotto (ETICS) è costituito da più strati funzionali e le prestazioni del sistema dipendono in maniera sostanziale dalle prestazioni dei singoli componenti, schematizzati secondo UNI/TR 11715, che sono: il collante, il materiale isolante, i tasselli (se necessari), l'intonaco di fondo, l'armatura, l'intonaco di finitura, e i vari accessori.

Nello specifico la stratigrafia è la seguente:

1- colla/strato di collante

(eventuale fissaggio meccanico aggiuntivo con tassellatura)

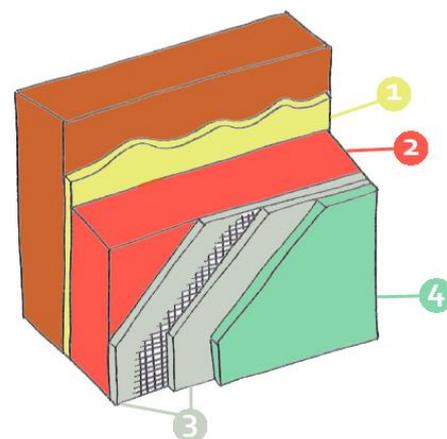
- fissaggio al supporto per sopportare carichi
- carico verticale (peso proprio)
- carico orizzontale (spinta/depressione del vento)

2- materiale isolante

- isolamento termico invernale ed estivo

3- intonaco di base (con rete di rinforzo)

- assorbimento di tensioni superficiali e sollecitazioni



meccaniche

-tensioni igrotermiche

-urti

4- intonaco di finitura

- protezione da agenti atmosferici (pioggia, raggi, UV ...)

- elemento estetico

-superficie

-colore

-struttura

3.2.3 FISSAGGIO

I metodi di fissaggio del sistema ETICS vengono definiti nella norma ETAG 004 e si dividono in due macrocategorie: i sistemi incollati e i sistemi con fissaggio meccanico. I primi sono sistemi solamente incollati sull'intera superficie, in fasce o in punti specifici; oppure possono essere sistemi incollati con l'ausilio anche di fissaggi meccanici aggiuntivi, che servono principalmente per fornire stabilità fino alla completa asciugatura dell'adesivo per evitare un possibile rischio di distacco.

I secondi, invece, sono sistemi fissati meccanicamente con adesivi che hanno valenza supplementare, poiché il carico è distribuito esclusivamente dai fissaggi; oppure sono sistemi con fissaggio esclusivamente meccanico, senza l'ausilio di eventuali collanti.

3.2.4 CONDIZIONI FONDAMENTALI

Esistono sei requisiti essenziali, *Essential Requirements*, appartenenti alla Direttiva CE 89/106, che consistono in condizioni fondamentali da applicare in edilizia, e regolano questi ambiti:

Resistenza meccanica: secondo la quale l'opera deve essere costruita in modo che non si verifichino crolli di parti o dell'intera costruzione, deformazioni gravi, o danni in altre parti dell'opera.

Sicurezza in caso d'incendio: secondo la quale l'intervento deve essere concepito in modo che la capacità portante dell'edificio possa garantire un periodo di tempo determinato, che la propagazione del fuoco e del fumo siano limitate, che gli occupanti dell'edificio possano evacuare facilmente, e che sia presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso.

Igiene, salute e ambiente: secondo la quale l'intervento deve essere costruito in modo da non compromettere la salute degli occupanti con eventuali sviluppi di gas tossici, radiazioni, inquinamento dell'acqua, o formazione di umidità su parti dell'edificato.

Sicurezza durante l'uso: secondo la quale l'edificio deve essere costruito in modo che non provochi incidenti.

Protezione contro il rumore: secondo la quale l'edificio deve essere edificato in modo che il rumore causato dagli occupanti non comprometta la loro salute.

Risparmio energetico e dispersione termica: secondo la quale l'edificio e i gli impianti al suo interno siano pensati al fine di ottenere un fabbisogno energetico moderato.

3.2.5 REQUISITI DEI PANNELLI ISOLANTI PER I SISTEMI A CAPPOTTO

Il materiale isolante è un importante componente del sistema ETICS, pertanto la sua marcatura CE è fondamentale per l'immissione dei prodotti sul mercato edile ma, pur rappresentando la 'carta d'identità' del prodotto, non è sufficiente per il riconoscimento dei requisiti minimi di prestazioni specifici per l'applicazione del Sistema a Cappotto e, quindi, non può da sola attestare l'idoneità dei pannelli isolanti a tale applicazione.

È l'azienda produttrice di quel determinato materiale isolante a garantire l'idoneità del proprio prodotto al fine di poterlo utilizzare in questi sistemi, e per fare questo può far riferimento alla linea guida europea relativa ai Sistemi a Cappotto ETAG 004, che fissa alcuni requisiti minimi che i pannelli isolanti devono rispettare.

3.2.6 REALIZZAZIONE IN OPERA DEL SISTEMA (LE METODOLOGIE)

In una *prima fase di preparazione del collante*, la distribuzione di questa può avvenire sul supporto con il metodo di incollaggio a cordolo perimetrale e punti centrali o a tutta superficie, l'importante che tra la lastra isolante e il supporto non passi aria, e che la lastra sia fissata uniformemente alla superficie del supporto al fine di evitare un effetto camino o a cuscino.

Nel primo metodo a cordolo perimetrale si distribuisce la colla nel perimetro appunto dello strato isolante e in due o tre punti sempre dello stesso, in modo che premendo sul pannello si abbia una copertura minima di collante del 40%.

Nel secondo metodo a tutta superficie invece la colla viene applicata con una spatola dentata e coprirà l'intera superficie dell'area.

L'*incollaggio delle lastre isolanti* segue una precisa regola che vede la disposizione delle stesse sfalsate una sull'altra, perfettamente accostate e applicate dal basso verso l'alto. È importante considerare che non ci devono essere fughe visibili e che è necessario, nel caso, riempirle con dell'isolante dello stesso tipo appositamente tagliato su misura. Dopo la fase di incollaggio è necessario verificare che non ci siano irregolarità per quanto riguarda la superficie delle lastre, perché è fondamentale riuscire a mantenere uno spessore uniforme al fine di poter successivamente applicare l'intonaco di fondo; quindi nel caso in cui non fosse così si procede con delle livellature o con l'applicazione

di un sufficiente spessore di rasatura di compensazione.

A questo punto a seconda del tipo di materiale isolante, del suo spessore, della massa superficiale del sistema completo, dell'altezza dell'edificio, dei supporti se intonacati, si valuta se applicare o no anche una tassellatura.

Riguardo il *metodo della tassellatura*, innanzitutto bisogna verificare che il supporto sia realizzato o predisposto in modo da garantire una adesione durevole tra la lastra isolante e la parete tramite fissaggio meccanico; dopodiché si passa alla progettazione del sistema di tassellatura in base al tipo di supporto, al numero minimo di tasselli secondo la normativa, allo schema di posa e alla presenza o meno di elementi speciali in facciata.

L'*intonaco di fondo* viene applicato a mano o a macchina negli spessori indicati dal produttore e, successivamente, gli viene inserita la *rete in fibra di vetro* dall'alto verso il basso, in verticale o orizzontale ma sempre posizionata al centro o nel terzo esterno dell'intonaco di fondo e successivamente ricoperta con la rasatura con il metodo 'fresco su fresco'.

Dopo aver lasciato indurire l'intonaco di fondo si applica il *rivestimento di finitura*, che deve avere uno spessore di almeno 1,55mm a struttura piena e di 2mm se di struttura rigata.

4. INDAGINE

Lo studio verte sullo stimare se l'investimento in un maggiore isolamento termico sia vantaggioso dal punto di vista puramente economico.

L'isolamento termico può infatti essere inteso come un investimento di denaro: il denaro investito per l'isolamento termico dà un rendimento sotto forma di risparmio di spese di riscaldamento. Inoltre, un maggiore isolamento garantisce soprattutto un valore aggiunto all'edificio, ottimizzando appunto i guadagni energetici ed offrendo il massimo comfort abitativo con spese di gestione ridotte.

Investendo maggiormente nell'isolamento si otterrà così la riduzione delle spese di costruzione, un valore di trasmittanza minore, un risparmio sulle spese di riscaldamento, e si eviteranno così le emissioni inquinanti.

4.1 INDAGINE PRELIMINARE: I MATERIALI ISOLANTI DELLA NORMATIVA UNI 10351

L'indagine parte dal ricercare i principali isolanti termici utilizzati nei cappotti termici a partire dalla normativa UNI 10351 di Giugno 2015, *Materiali e prodotti per edilizia, Proprietà termoigrometriche, Procedura per la scelta dei valori di progetto*, che fornisce il metodo per il reperimento dei valori, dei materiali isolanti per l'edilizia, di riferimento per conduttività termica, resistenza al passaggio del vapore e calore specifico dei materiali da costruzione in base all'epoca di installazione.

Nello specifico la norma integra quanto non presente nella normativa UNI EN ISO 10456:2008, che specifica i metodi per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto per i materiali e i prodotti per l'edilizia termicamente omogenei, e rimanda a disposizioni contenute in altre pubblicazioni come per esempio le normative di riferimento dei prodotti successivamente elencati:

UNI EN 13162: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di lana minerale (MW) ottenuti in fabbrica*

UNI EN 13163: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica*

UNI EN 13164: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polistirene estruso (XPS) ottenuti in fabbrica*

UNI EN 13165: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di poliuretano espanso rigido (PU) ottenuti in fabbrica*

UNI EN 13166: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di resine fenoliche espanse (PF) ottenuti in fabbrica*

UNI EN 13167: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di vetro cellulare (CG) ottenuti in fabbrica*

UNI EN 13168: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di lana di legno (WW) ottenuti in fabbrica*

UNI EN 13169: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di perlite espansa (EPB) ottenuti in*

fabbrica

UNI EN 13170: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di sughero espanso ottenuti in fabbrica (ICB)*

UNI EN 13171: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di fibre di legno (WF) ottenuti in fabbrica*

UNI EN 14063-1: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di aggregati leggeri di argilla espansa realizzati in situ - Parte 1: Specifiche per i prodotti sfusi prima della messa in opera*

UNI EN 14315-1: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) spruzzati e formati in situ - Parte 1: Specifiche per il sistema espanso rigido a spruzzo prima dell'installazione*

UNI EN 14316-1: *Isolanti termici per edilizia - Isolamento termico realizzato in situ con prodotti di perlite espansa (EP) - Parte 1: Specifiche per i prodotti legati e sfusi prima della messa in opera*

UNI EN 14317-1: *Isolanti termici per edilizia - Isolamento termico realizzato in situ con prodotti di vermiculite espansa (EV) - Parte 1: Specifiche per i prodotti legati e sfusi prima della messa in opera*

UNI EN 14318-1: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) formati in situ per iniezione - Parte 1: Specifiche per il sistema espanso rigido per iniezione prima dell'installazione*

UNI EN 16069: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polietilene espanso (PEF) ottenuti in fabbrica - Specificazione*

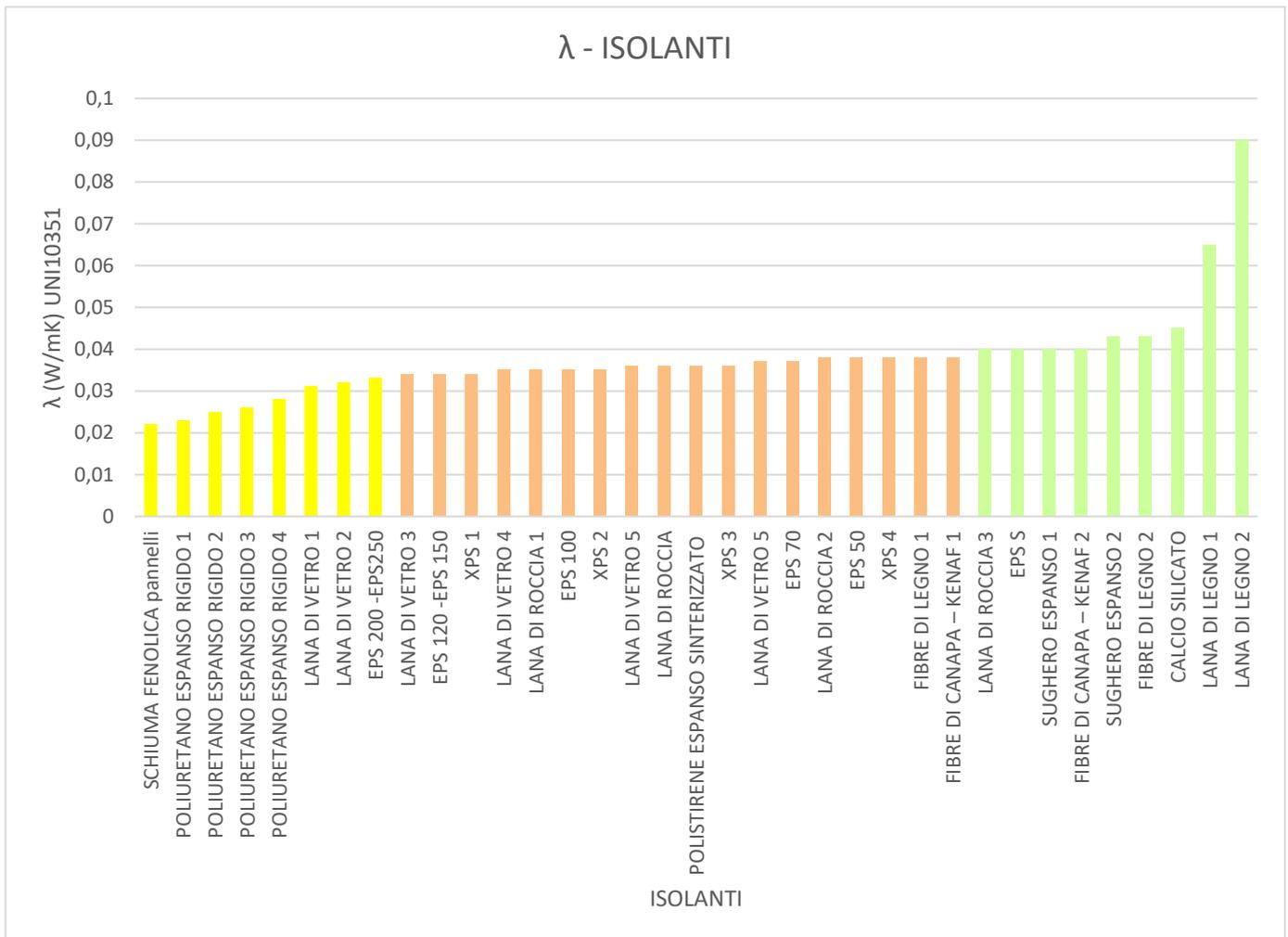
Successivamente riporto la tabella riepilogativa dei materiali isolanti appartenenti alla normativa di riferimento citata e, specificatamente colorati di giallo, quelli utilizzati nell'indagine poiché adibiti all'utilizzo nei cappotti termici.

| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI | | | |
|------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------|
| ISOLANTE | NORMA DI PRODOTTO | densità (kg/m ³) | λD (w/mK) |
| LANA DI VETRO pannello | UNI EN I3162 | 20 | 0,035 |
| LANA DI VETRO pannello | UNI EN I3162 | 25 | 0,034 |
| LANA DI VETRO pannello | UNI EN I3162 | 30-40 | 0,032 |
| LANA DI VETRO pannello | UNI EN I3162 | 50-85 | 0,031 |
| LANA DI VETRO feltro | UNI EN I3162 | 12 | 0,04 |
| LANA DI VETRO pannello a fibre parzialmente orientate | UNI EN I3162 | 75 | 0,036 |
| LANA DI VETRO pannello a fibre parzialmente orientate | UNI EN I3162 | 80-100 | 0,037 |
| VETRO CELLULARE pannelli | UNI EN 13167 | 130-150 | 0,06 |
| VETRO CELLULARE pannelli | UNI EN 13167 | 170 | 0,048 |
| LANA DI ROCCIA pannello | UNI EN 13162 | 40-100 | 0,035 |
| LANA DI ROCCIA pannello a doppia intensità | UNI EN 13162 | 110 | 0,036 |
| LANA DI ROCCIA pannello a doppia intensità | UNI EN 13162 | 150 | 0,038 |
| LANA DI ROCCIA pannello a doppia intensità | UNI EN 13162 | 165 | 0,04 |
| LANA DI ROCCIA feltro rivestito da un lato con carta Kraft | UNI EN 13162 | 22 | 0,042 |
| LANA DI ROCCIA sfusa da insufflaggio | UNI EN 13162 | | 0,045 |
| CALCIO SILICATO pannello in idrato di silicato di calce | MARCATURA CE VOLONTARIA | 100-115 | 0,045 |
| ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI | | | |
| SCHIUMA FENOLICA pannelli | UNI EN 13166 | | 0,022 |
| POLIETILENE ESPANSO pannelli | | 30 | 0,033 |
| POLIETILENE ESPANSO pannelli | | 40 | 0,039 |
| POLIETILENE ESPANSO pannelli | | 60 | 0,043 |
| POLIETILENE ESPANSO pannelli | | 80 | 0,045 |
| POLIETILENE ESPANSO pannelli | | 100 | 0,048 |
| ISOLANTE | NORMA DI PRODOTTO | densità (kg/m ³) | λD (w/mK) |

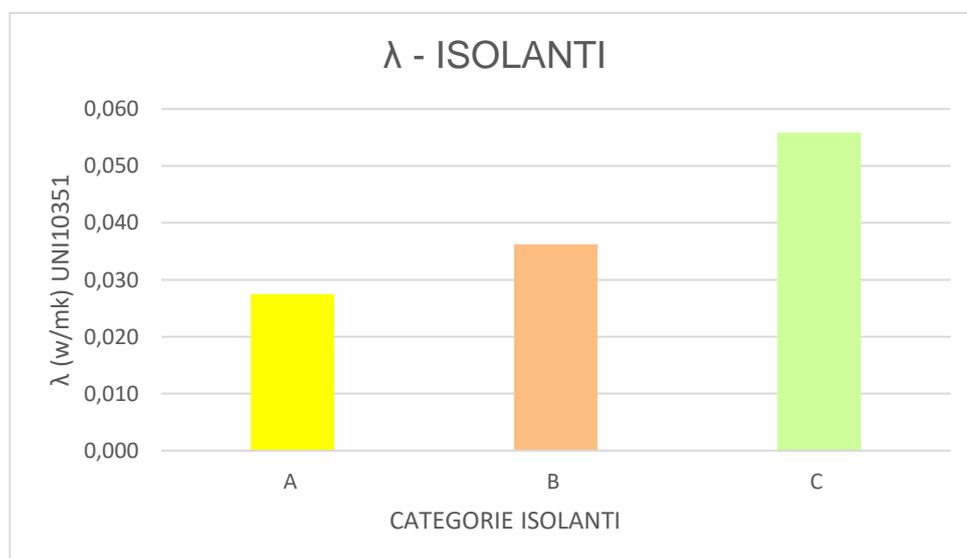
| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS S | UNI EN 13163 | | 0,04 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 50 | UNI EN 13163 | | 0,038 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 70 | UNI EN 13163 | | 0,037 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 80 | UNI EN 13163 | | 0,036 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 100 | UNI EN 13163 | | 0,035 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 120 -EPS 150 | UNI EN 13163 | | 0,034 |
| POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS 200 -EPS250 | UNI EN 13163 | | 0,033 |
| POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO pannello a celle chiuse, espanso con CO2, senza pelle | UNI EN 13164 | | 0,035 |
| POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO pannello a celle chiuse, espanso con CO2, finitura liscia con pelle e spessore ≤ 60mm | UNI EN 13164 | | 0,034 |
| POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO pannello a celle chiuse, espanso con CO2, finitura liscia con pelle e spessore 60mm < spessore ≤ 120 mm | UNI EN 13164 | | 0,036 |
| POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO pannello a celle chiuse, espanso con CO2, finitura liscia con pelle e spessore > 120 mm | UNI EN 13164 | | 0,038 |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO pannello con rivestimenti flessibili o rigidi impermeabili ai gas | UNI EN 13165 | | 0,023 |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO pannello con rivestimenti flessibili permeabili a gas di spessore ≤ 80mm | UNI EN 13165 | | 0,028 |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO pannello con rivestimenti flessibili permeabili a gas di spessore 80 mm < spessore ≤ 120 mm | UNI EN 13165 | | 0,026 |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO pannello con rivestimenti flessibili permeabili a gas di spessore >120mm | UNI EN 13165 | | 0,025 |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO schiuma poliuretanicata applicata a spruzzo o per colata percentuale di celle chiuse >90%, priva di rivestimenti | UNI EN 14315-1 e UNI EN 1418-1 | 30-50 | 0,028 |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO schiuma poliuretanicata applicata a spruzzo o per colata percentuale di celle chiuse >90%, priva di rivestimenti | UNI EN 14315-1 e UNI EN 1418-1 | >50 | 0,029 |
| POLIURETANO ESPANSO RIGIDO schiuma poliuretanicata applicata a spruzzo o per colata percentuale di celle chiuse >90%, priva di rivestimenti | UNI EN 14315-1 e UNI EN 1418-1 | <30 | 0,035 |

| ISOLANTI TERMICI INORGANICI NATURALI | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------|
| ISOLANTE | NORMA DI PRODOTTO | densità (kg/m ³) | λD (w/mK) |
| ARGILLA ESPANSA sfusa in granuli | UNI EN 14063 | 700 | 0,11 |
| ARGILLA ESPANSA sfusa in granuli | UNI EN 14063 | 480 | 0,1 |
| ARGILLA ESPANSA sfusa in granuli | UNI EN 14063 | 380 | 0,09 |
| ARGILLA ESPANSA sfusa in granuli | UNI EN 14063 | 330 | 0,09 |
| ARGILLA ESPANSA frantumata | UNI EN 14063 | 600 | 0,1 |
| ARGILLA ESPANSA frantumata | UNI EN 14063 | 350 | 0,07 |
| VERMICULITE in forma granulare | UNI EN 14317-1 | 80-100 | 0,057 |
| PERLITE ESPANSA in granuli di grossa granulometria 1-5 mm, confezionata in sacchi di polietilene | UNI EN 14316-1 | 80-120 | 0,048 |
| PERLITE ESPANSA pannello | UNI EN 13169 | 150 | 0,05 |
| ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI | | | |
| LANA DI LEGNO pannello monostrato di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento portland | UNI EN 13168 | 400 | 0,065 |
| LANA DI LEGNO pannello monostrato mineralizzata con magnesite ad alta temperatura | UNI EN 13168 | 400 | 0,09 |
| SUGHERO ESPANSO pannello | UNI EN 13170 | 110-130 | 0,04 |
| SUGHERO ESPANSO pannello | UNI EN 13170 | 140-160 | 0,043 |
| FIBRE DI LEGNO pannello | UNI EN 13171 | 50 | 0,038 |
| FIBRE DI LEGNO pannello | UNI EN 13171 | 160 | 0,039 |
| FIBRE DI LEGNO pannello | UNI EN 13171 | 150-170 | 0,043 |
| LANA DI PECORA feltro | MARCATURA CE VOLONTARIA | 14-18 | 0,04 |
| CELLULOSA in fiocchi | MARCATURA CE VOLONTARIA | | 0,04 |
| FIBRE DI CANAPA – KENAF pannelli | MARCATURA CE VOLONTARIA | 30 | 0,04 |
| FIBRE DI CANAPA – KENAF pannelli | | | |

Già da questa prima ricerca preliminare si può vedere come variano i materiali isolanti a seconda della loro conducibilità termica λ :



Dividendo i materiali in 3 categorie principali a seconda dei valori medi della loro conducibilità avremmo una situazione del genere



4.2. INDAGINE PRELIMINARE: I MATERIALI ISOLANTI IN COMMERCIO

Una volta definiti i principali materiali isolanti, della normativa, utilizzati nei sistemi a cappotto termico, se ne sono scelti i principali di ogni categoria esistenti realmente in commercio e quindi i loro fornitori reali.

Qui sotto ne riporto le caratteristiche principali, utili all'indagine: gli spessori, i prezzi al m², le densità (ove indicate), le conducibilità termiche, e le loro normative di riferimento.

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO

ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|---------------|
| 0,04 | 7,84 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,05 | 9,8 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,06 | 11,24 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,08 | 14,99 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,1 | 18,74 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,12 | 22,7 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,14 | 26,28 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,16 | 29,98 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,18 | 33,78 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,2 | 37,47 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |
| 0,22 | 49,47 | | | 0,034 | UNI EN 1 2667 |

KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|-------------------------|
| 0,04 | 10,44 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,05 | 13,05 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,06 | 15,63 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,08 | 20,55 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,1 | 25,44 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,12 | 30,39 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,14 | 34,89 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,16 | 39,44 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,18 | 45,78 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,2 | 50,85 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,22 | 55,9 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |
| 0,24 | 60,97 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - EN 12667 |

| GRUPPO IVAS LANA DI VETRO | | | | | |
|----------------------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|------------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,04 | 14,89 | 75 | | 0,036 | EN 12667 - 12939 |
| 0,05 | 18,6 | 75 | | 0,036 | EN 12667 - 12939 |
| 0,06 | 22,32 | 75 | | 0,036 | EN 12667 - 12939 |
| 0,08 | 29,78 | 75 | | 0,036 | EN 12667 - 12939 |
| 0,1 | 37,2 | 75 | | 0,036 | EN 12667 - 12939 |
| 0,12 | 44,64 | 75 | | 0,036 | EN 12667 - 12939 |

| KNAUF F: EKO VETRO M | | | | | |
|-----------------------------|------------------|------------------------------|-------------|-----------|--------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,04 | 3,7 | 21 | UNI EN 1602 | 0,035 | UNI EN 13162 |
| 0,05 | 4,05 | 21 | UNI EN 1602 | 0,035 | UNI EN 13162 |
| 0,06 | 5,11 | 21 | UNI EN 1602 | 0,035 | UNI EN 13162 |
| 0,075 | 6,11 | 21 | UNI EN 1602 | 0,035 | UNI EN 13162 |
| 0,1 | 8,49 | 21 | UNI EN 1602 | 0,035 | UNI EN 13162 |

| LANA DI ROCCIA | | | | | |
|------------------------------------|------------------|------------------------------|--------------|-----------|----------------------|
| ROCKWOOL: Frontrock (RP-PT) | | | | | |
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,02 | 5,77 | | | 0,039 | UNI EN 1 2667, 12939 |
| 0,03 | 8,66 | 165 | UNI EN 1 602 | 0,039 | UNI EN 1 2667, 12939 |
| 0,04 | 10,31 | 135 | UNI EN 1 602 | 0,039 | UNI EN 1 2667, 12939 |
| 0,05 | 12,89 | 135 | UNI EN 1 602 | 0,039 | UNI EN 1 2667, 12939 |

| WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm RL30 | | | | | |
|---------------------------------------------|------------------|------------------------------|----------------|-----------|-----------------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,04 | 13,26 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,05 | 16,44 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,06 | 19,8 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,08 | 26,34 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,1 | 32,88 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,12 | 39,27 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,14 | 45,84 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,15 | 49,17 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,16 | 52,38 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,18 | 58,92 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |
| 0,2 | 65,46 | 88 | UNI EN 1 31 62 | 0,041 | EN 1 2667 - EN 1 2939 |

| KNAUF: SMARTWALL SC1 | | | | | |
|-----------------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|----------------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,04 | 11,47 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,05 | 14,32 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,06 | 17,16 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,08 | 22,58 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,1 | 27,93 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,12 | 33,36 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,14 | 38,3 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,16 | 43,29 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,18 | 50,25 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,2 | 55,84 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,22 | 61,43 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,24 | 67,01 | alta densità | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |

| KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL | | | | | |
|---------------------------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|----------------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,04 | 10,44 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,05 | 13,05 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,06 | 15,63 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,08 | 20,55 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,1 | 25,44 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,12 | 30,39 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,14 | 34,89 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,16 | 39,44 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,18 | 45,78 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,2 | 50,85 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,22 | 55,9 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |
| 0,24 | 60,97 | | | 0,035 | UNI EN 13162 - 12667 |

CALCIO SILICATO**FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO**

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|-----------|--------------|-----------|
| 0,05 | 25,61 | | | 0,045 | |
| 0,06 | 31,89 | | | 0,045 | |
| 0,08 | 39,99 | | | 0,045 | |
| 0,1 | 51,98 | | | 0,045 | |
| 0,12 | 62,28 | | | 0,045 | |
| 0,14 | 72,63 | | | 0,045 | |
| 0,16 | 83,01 | | | 0,045 | |
| 0,18 | 88,97 | | | 0,045 | |
| 0,2 | 99,96 | | | 0,045 | |
| 0,22 | 109,96 | | | 0,045 | |
| 0,24 | 119,96 | | | 0,045 | |
| 0,26 | 130,05 | | | 0,045 | |
| 0,28 | 139,95 | | | 0,045 | |
| 0,3 | 149,94 | | | 0,045 | |

GRIGOLIN: GRIGOPOR

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|-----------|--------------|-----------|
| 0,06 | 410,97 | 100 - 115 | | 0,045 | |
| 0,08 | 418,18 | 100 - 115 | | 0,045 | |
| 0,1 | 418,18 | 100 - 115 | | 0,045 | |
| 0,12 | 418,18 | 100 - 115 | | 0,045 | |
| 0,14 | 418,18 | 100 - 115 | | 0,045 | |
| 0,16 | 418,18 | 100 - 115 | | 0,045 | |
| 0,18 | 418,18 | 100 - 115 | | 0,045 | |
| 0,2 | 418,18 | 100 - 115 | | 0,045 | |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI
SCHIUMA FENOLICA

| WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022 | | | | | |
|----------------------------------------------|------------------|------------------------------|---------------------|-----------|-------------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,02 | 19,87 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,03 | 23,27 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,04 | 30,87 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,05 | 38,58 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,06 | 46,31 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,07 | 53,91 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,08 | 61,74 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,09 | 69,94 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,1 | 77,07 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,12 | 92,51 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,14 | 107,84 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,16 | 123,25 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,18 | 138,69 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |
| 0,2 | 154,02 | 35 | UNI EN 1 31 66:2003 | 0,021 | UNI EN 13166:2003 |

POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS

| FASSA BORTOLO: LASTRA ISOLANTE IN EPS 100 | | | | | |
|--------------------------------------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,02 | 2,66 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,03 | 3,96 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,04 | 5,29 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,05 | 6,61 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,06 | 7,93 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,07 | 9,27 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,08 | 10,57 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,09 | 11,89 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,1 | 13,21 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,11 | 14,53 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,12 | 15,85 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,13 | 17,17 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,14 | 18,5 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,15 | 19,82 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,16 | 21,13 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,17 | 23,76 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,18 | 23,78 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,2 | 26,41 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,21 | 27,74 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,22 | 29,06 | | | 0,036 | UNI EN 12667 |
| 0,24 | | | | 0,036 | UNI EN 12667 |

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS**K-FOAM C-ULTRAGRIP SE**

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| 0,02 | 8,62 | | | 0,032 | UNI EN 13164 |
| 0,03 | 10,59 | | | 0,032 | UNI EN 13164 |
| 0,04 | 14,12 | | | 0,032 | UNI EN 13164 |
| 0,05 | 17,65 | | | 0,034 | UNI EN 13164 |
| 0,06 | 21,18 | | | 0,034 | UNI EN 13164 |
| 0,08 | 28,24 | | | 0,035 | UNI EN 13164 |
| 0,1 | 35,3 | | | 0,035 | UNI EN 13164 |
| 0,12 | 48,72 | | | 0,036 | UNI EN 13164 |
| 0,14 | 56,84 | | | 0,037 | UNI EN 13164 |
| 0,16 | 64,96 | | | 0,037 | UNI EN 13164 |
| 0,18 | | | | 0,038 | UNI EN 13164 |
| 0,2 | | | | 0,038 | UNI EN 13164 |

POLIURETANO ESPANSO RIGIDO**STIFERITE: STIFERITE CLASS SK**

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| 0,02 | 8,1 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,03 | 10,12 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,04 | 12,51 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,05 | 14,78 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,06 | 17,17 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,07 | 19,49 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,08 | 21,91 | | | 0,026 | UNI EN 13165 |
| 0,09 | 24,22 | | | 0,026 | UNI EN 13165 |
| 0,1 | 26,78 | | | 0,026 | UNI EN 13165 |
| 0,12 | 31,54 | | | 0,025 | UNI EN 13165 |
| 0,14 | 36,21 | | | 0,025 | UNI EN 13165 |
| 0,16 | 43,4 | | | 0,025 | UNI EN 13165 |
| 0,18 | 48,83 | | | 0,025 | UNI EN 13165 |
| 0,2 | 53,62 | | | 0,025 | UNI EN 13165 |

| ISOSTIF: ISOCAP 8 | | | | | |
|--------------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,02 | 7,99 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,03 | 10,06 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,04 | 12,45 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,05 | 14,54 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,06 | 16,9 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,07 | 20,15 | | | 0,028 | UNI EN 13165 |
| 0,08 | 22,15 | | | 0,026 | UNI EN 13165 |
| 0,09 | 24,5 | | | 0,026 | UNI EN 13165 |
| 0,1 | 27,04 | | | 0,026 | UNI EN 13165 |
| 0,11 | 30,28 | | | 0,026 | UNI EN 13165 |
| 0,12 | 32,2 | | | 0,025 | UNI EN 13165 |
| 0,14 | 37,04 | | | 0,025 | UNI EN 13165 |
| 0,16 | 41,72 | | | 0,025 | UNI EN 13165 |

| ISOLPARMA: RF3 | | | | | |
|-----------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,02 | 7,15 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,03 | 9,15 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,04 | 11,37 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,05 | 13,5 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,06 | 15,74 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,07 | 17,96 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,08 | 20,13 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,09 | 22,35 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,1 | 25,07 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,12 | 29,46 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |
| 0,14 | 33,95 | | | 0,022 | UNI EN 13165 |

**ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI
LANA DI LEGNO**

| BUILDING CONSTRUCTION gamma CELENIT: CELENIT N | | | | | |
|---------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,015 | 8,93 | | | 0,065 | UNI EN 13168 |
| 0,02 | 9,89 | | | 0,065 | UNI EN 13168 |
| 0,025 | 11,3 | | | 0,065 | UNI EN 13168 |
| 0,03 | 11,94 | | | 0,065 | UNI EN 13168 |
| 0,035 | 13,26 | | | 0,065 | UNI EN 13168 |
| 0,04 | 14,44 | | | 0,065 | UNI EN 13168 |
| 0,05 | 16,6 | | | 0,065 | UNI EN 13168 |
| 0,075 | 23,63 | | | 0,065 | UNI EN 13168 |

SUGHERO ESPANSO

| BIOTECNO: Corkpan | | | | | |
|--------------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
| 0,01 | 10,3 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,02 | 13,3 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,03 | 17,7 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,04 | 23,6 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,05 | 29,5 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,06 | 35,4 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,08 | 47,2 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,1 | 59 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,12 | 70,8 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,14 | 82,6 | 110/130 | | 0,04 | |
| 0,16 | 94,4 | 110/130 | | 0,04 | |

BIOTECNO: Tecnowood Cap

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| 0,03 | | 210 | | 0,045 | UNI EN 13171 |
| 0,04 | | 210 | | 0,045 | UNI EN 13171 |
| 0,05 | | 210 | | 0,045 | UNI EN 13171 |
| 0,06 | 24 | 210 | | 0,045 | UNI EN 13171 |
| 0,08 | 31 | 210 | | 0,045 | UNI EN 13171 |
| 0,1 | 39 | 210 | | 0,045 | UNI EN 13171 |

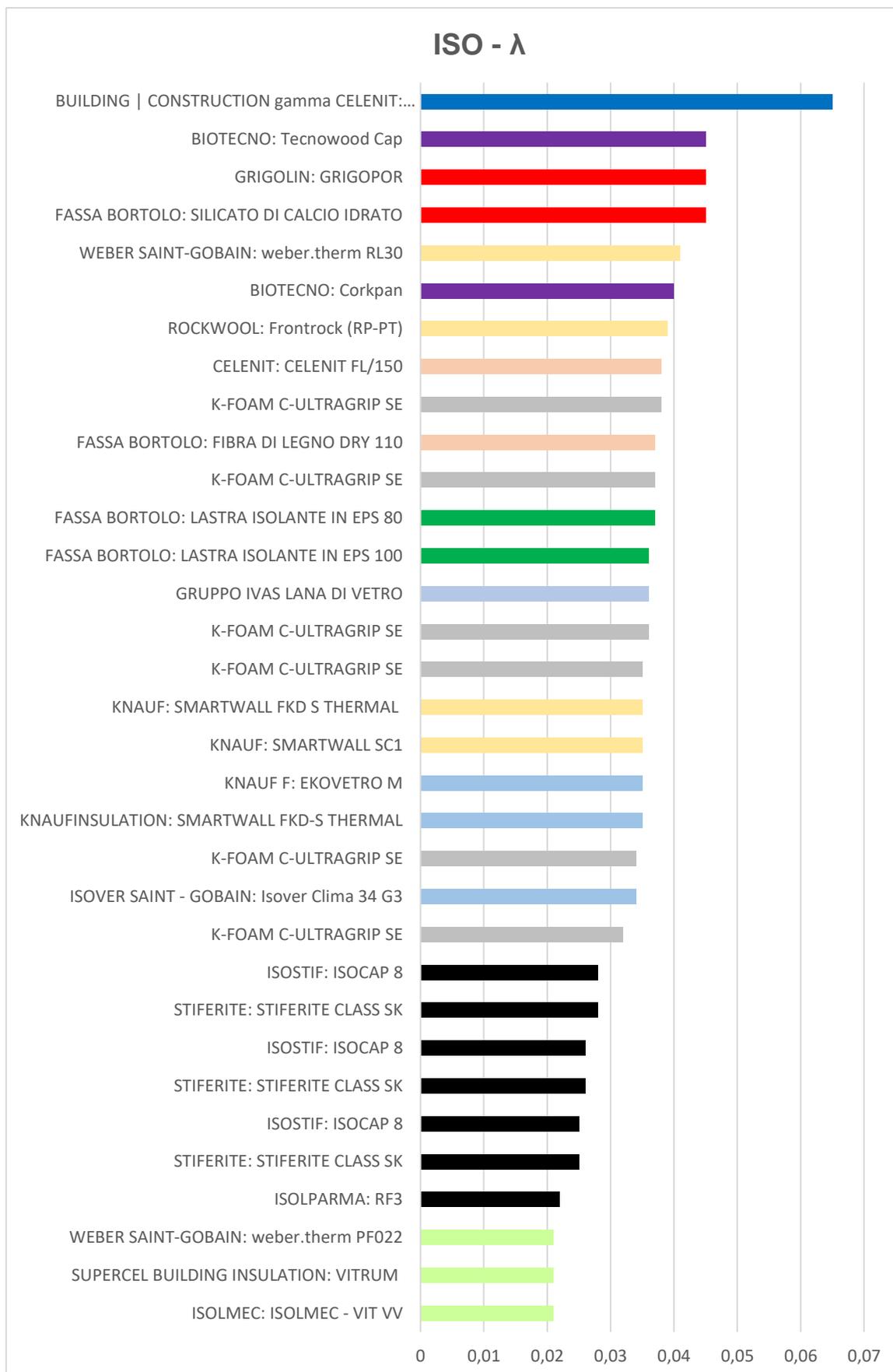
FIBRE DI LEGNO**CELENIT: CELENIT FL/150**

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|--------------|-----------|-----------|
| 0,02 | 5,9 | 160 | UNI EN 13171 | 0,038 | |
| 0,04 | 12,01 | 160 | UNI EN 13171 | 0,038 | |
| 0,06 | 17,62 | 160 | UNI EN 13171 | 0,038 | |
| 0,08 | 23,69 | 160 | UNI EN 13171 | 0,038 | |
| 0,1 | 29,82 | 160 | UNI EN 13171 | 0,038 | |
| 0,12 | 37,2 | 160 | UNI EN 13171 | 0,038 | |
| 0,14 | 43,46 | 160 | UNI EN 13171 | 0,038 | |
| 0,16 | 49,59 | 160 | UNI EN 13171 | 0,038 | |

FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110

| d (m) | €/m ² | densità (kg/m ³) | Normativa | λD (w/mk) | Normativa |
|-------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 0,06 | 32,8 | | | 0,037 | |
| 0,08 | 43,71 | | | 0,037 | |
| 0,1 | 54,63 | | | 0,037 | |
| 0,12 | 65,59 | | | 0,037 | |
| 0,14 | 76,5 | | | 0,037 | |
| 0,16 | 87,42 | | | 0,037 | |
| 0,18 | 98,33 | | | 0,037 | |
| 0,2 | 109,25 | | | 0,037 | |
| 0,22 | 120,16 | | | 0,037 | |
| 0,24 | 131,18 | | | 0,037 | |

In base anche alla categoria di appartenenza, grazie al grafico in seguito, si può notare il livello di conducibilità termica λ di ogni singolo materiale esistente in commercio, preso in esame:



LEGENDA:

| ISO | CATEGORIA ISO |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ISOLMEC: ISOLMEC - VIT VV | SCHIUMA FENOLICA |
| SUPERCEL BUILDING INSULATION: VITRUM | SCHIUMA FENOLICA |
| WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022 | SCHIUMA FENOLICA |
| ISOLPARMA: RF3 | POLIURETANO ESPANSO RIGIDO |
| STIFERITE: STIFERITE CLASS SK | POLIURETANO ESPANSO RIGIDO |
| ISOSTIF: ISOCAP 8 | POLIURETANO ESPANSO RIGIDO |
| STIFERITE: STIFERITE CLASS SK | POLIURETANO ESPANSO RIGIDO |
| ISOSTIF: ISOCAP 8 | POLIURETANO ESPANSO RIGIDO |
| STIFERITE: STIFERITE CLASS SK | POLIURETANO ESPANSO RIGIDO |
| ISOSTIF: ISOCAP 8 | POLIURETANO ESPANSO RIGIDO |
| K-FOAM C-ULTRAGRIP SE | POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | LANA DI VETRO |
| K-FOAM C-ULTRAGRIP SE | POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS |
| KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL | LANA DI VETRO |
| KNAUF F: EKOVETRO M | LANA DI VETRO |
| KNAUF: SMARTWALL SC1 | LANA DI ROCCIA |
| KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL | LANA DI ROCCIA |
| K-FOAM C-ULTRAGRIP SE | POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS |
| K-FOAM C-ULTRAGRIP SE | POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS |
| GRUPPO IVAS LANA DI VETRO | LANA DI VETRO |
| FASSA BORTOLO: LASTRA ISOLANTE IN EPS 100 | POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS |
| FASSA BORTOLO: LASTRA ISOLANTE IN EPS 80 | POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS |
| K-FOAM C-ULTRAGRIP SE | POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS |
| FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110 | FIBRE DI LEGNO |
| K-FOAM C-ULTRAGRIP SE | POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS |
| CELENIT: CELENIT FL/150 | FIBRE DI LEGNO |
| ROCKWOOL: Frontrock (RP-PT) | LANA DI ROCCIA |
| BIOTECNO: Corkpan | SUGHERO ESPANSO |
| WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm RL30 | LANA DI ROCCIA |
| FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO | CALCIO SILICATO |
| GRIGOLIN: GRIGOPOR | CALCIO SILICATO |
| BIOTECNO: Tecnowood Cap | SUGHERO ESPANSO |
| BUILDING CONSTRUCTION gamma CELENIT: CELENIT N | LANA DI LEGNO |

5. MURATURE

Dopo aver scelto i materiali da utilizzare nell'indagine e illustrato le loro caratteristiche principali, considero due murature differenti scelte dalla normativa UNI/TR 11552 dell'Ottobre 2014, *Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici*, che fornisce i principali parametri termofisici dei componenti opachi dell'involucro maggiormente utilizzati negli edifici esistenti.

Le due murature scelte sono: una parete in pietra, ed una muratura a cassa vuota.

5.1 MURATURA IN PIETRA

La prima parete considerata è quella in pietra, così generalmente descritta nel paragrafo 5.3 della normativa:

| Strato | d [cm] | ρ [kg/m ³] | c [J/(kg K)] | λ [W/m K] | R [m ² K/W] |
|---------------------|--------|-----------------------------|--------------|-------------------|------------------------|
| 1 Intonaco interno | 2 | 1400 | 1000 | 0,700 | - |
| 2 Blocchi in pietra | 40-100 | 2500 | 1000 | 2,400 | - |
| 3 Intonaco esterno | 2 | 1800 | 1000 | 0,900 | - |

Considerando abitazioni residenziali, salvo casi particolari, la temperatura interna t_a è fissata per legge a 20 °C. Anche la temperatura minima esterna stagionale t_e o temperatura esterna di progetto per le diverse località è stabilita dalla *legge n° 10 del 1991 e del Regolamento d'applicazione n. 412 del 1993* e, secondo questa, a Genova risulta 0°C.

Inoltre, ricavando dal paragrafo 5.2 della norma UNI EN ISO 6946:2008, *Componenti ed elementi per edilizia, Resistenza termica e trasmittanza termica, metodo di calcolo*, le resistenze termiche superficiali

| | Direzione del flusso termico | | |
|----------|------------------------------|-------------|-------------|
| | Ascendente | Orizzontale | Discendente |
| R_{si} | 0,10 | 0,13 | 0,17 |
| R_{se} | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

otteniamo i nostri valori che saranno per la nostra parete orizzontale $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ ed $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$

5.1.1 ANDAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI DELLA NORMATIVA UNI 10351

Definendo le caratteristiche componenti della parete in pietra ottengo questi valori, e soprattutto, la mia resistenza totale delle resistenze superficiali e dei singoli strati.

| PARETE IN PIETRA | | | | | |
|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| DESCRIZIONE STRATI | d (m) | λ (w/mk) | R (m ² • K/W) | U (W/m ² • K) | ϕ (W/m ²) |
| Rsi | | | 0,13 | | |
| INTONACO INTERNO | 0,02 | 0,7 | 0,029 | | |
| BLOCCHI IN PIETRA | 0,4 | 2,4 | 0,167 | | |
| INTONACO ESTERNO | 0,02 | 0,9 | 0,022 | | |
| Rse | | | 0,04 | | |
| TOT | 0,44 | | 0,387 | 2,58 | 51,6 |

Successivamente applico strati di isolante, che vanno da 0.02 m a 0.24 m di spessore, di ogni singolo materiale isolante, precedentemente scelto per essere utilizzato nel cappotto, a questa muratura.

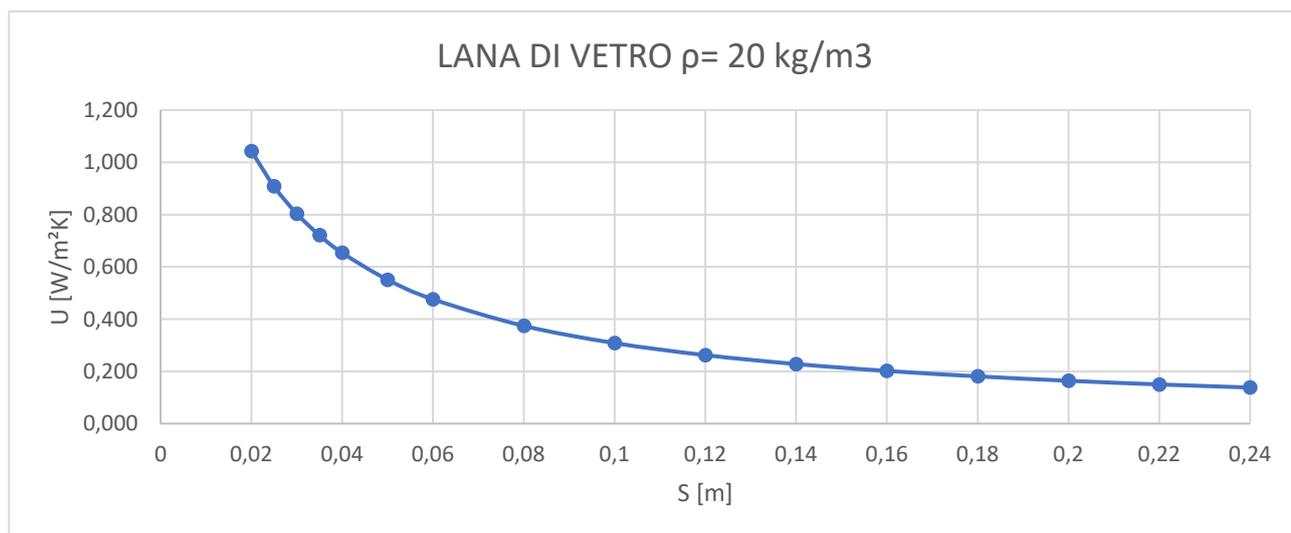
Inizialmente dalle varie stratigrafie del materiale ne ricavo le caratteristiche come in esempio:

| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI | | | | | |
|----------------------------------------------|-------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| ISOLANTE | d (m) | densità (kg/m ³) | λ (w/mk) UNI10351 | R (m ² K/W) | C (W/m ² K) |
| LANA DI VETRO pannello | 0,02 | 20 | 0,035 | 0,571 | 1,75 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,025 | 20 | 0,035 | 0,714 | 1,40 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,03 | 20 | 0,035 | 0,857 | 1,17 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,035 | 20 | 0,035 | 1,000 | 1,00 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,04 | 20 | 0,035 | 1,143 | 0,88 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,05 | 20 | 0,035 | 1,429 | 0,70 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,06 | 20 | 0,035 | 1,714 | 0,58 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,08 | 20 | 0,035 | 2,286 | 0,44 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,1 | 20 | 0,035 | 2,857 | 0,35 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,12 | 20 | 0,035 | 3,429 | 0,29 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,14 | 20 | 0,035 | 4,000 | 0,25 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,16 | 20 | 0,035 | 4,571 | 0,22 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,18 | 20 | 0,035 | 5,143 | 0,19 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,2 | 20 | 0,035 | 5,714 | 0,18 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,22 | 20 | 0,035 | 6,286 | 0,16 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,24 | 20 | 0,035 | 6,857 | 0,15 |

Successivamente applicando queste stratigrafie alla nostra parete in pietra ottengo nuovi valori di Resistenza e le nostre trasmittanze relative a quel determinato spessore:

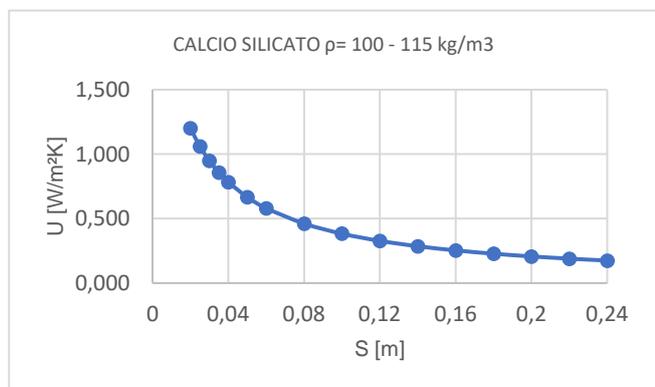
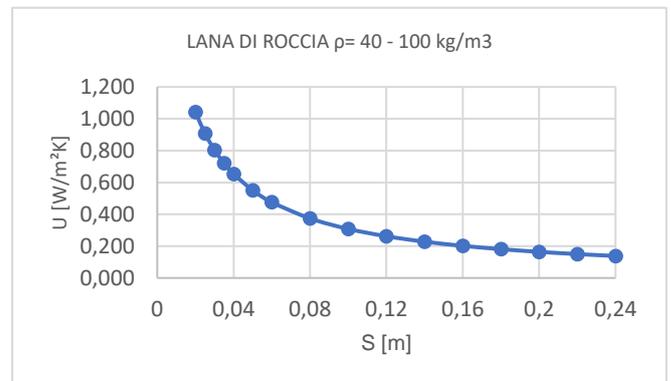
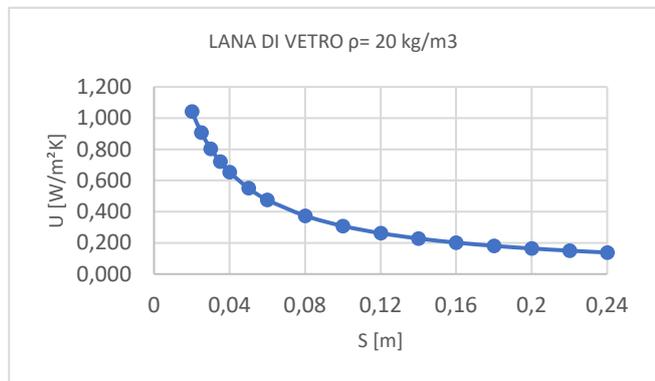
| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI | | | | |
|----------------------------------------------|-------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| ISOLANTE + PARETE PIETRA | d (m) | R (m ² K/W) | U (W/m ² K) | φ (W/m ²) |
| LANA DI VETRO pannello | 0,02 | 0,959 | 1,043 | 20,859 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,025 | 1,102 | 0,908 | 18,154 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,03 | 1,245 | 0,804 | 16,070 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,035 | 1,387 | 0,721 | 14,416 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,04 | 1,530 | 0,653 | 13,070 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,05 | 1,816 | 0,551 | 11,013 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,06 | 2,102 | 0,476 | 9,516 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,08 | 2,673 | 0,374 | 7,482 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,1 | 3,245 | 0,308 | 6,164 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,12 | 3,816 | 0,262 | 5,241 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,14 | 4,387 | 0,228 | 4,559 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,16 | 4,959 | 0,202 | 4,033 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,18 | 5,530 | 0,181 | 3,616 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,2 | 6,102 | 0,164 | 3,278 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,22 | 6,673 | 0,150 | 2,997 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,24 | 7,245 | 0,138 | 2,761 |

A questo punto si può notare attraverso dei grafici come la Trasmittanza diminuisca linearmente all'aumentare dello spessore:

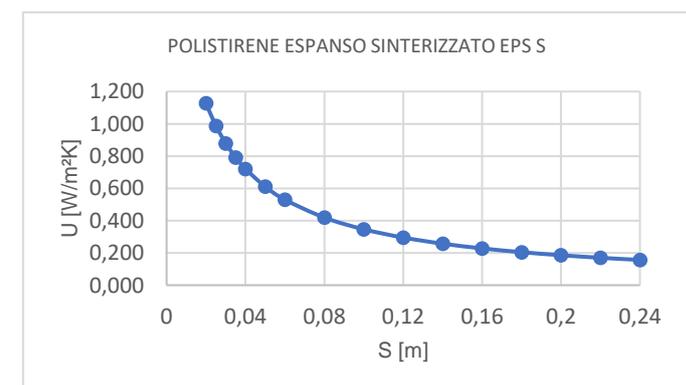
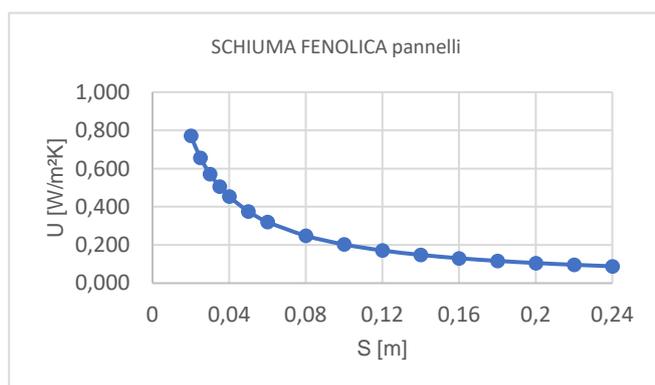
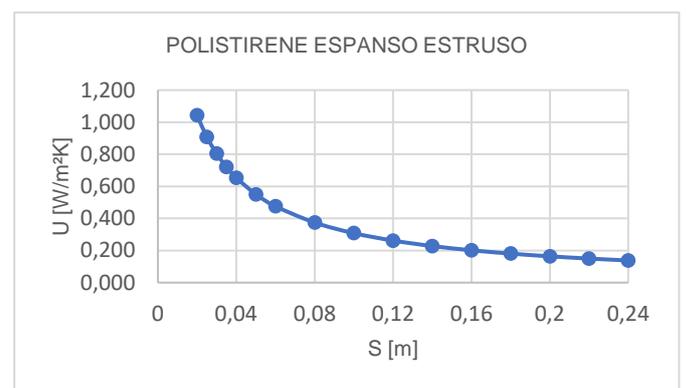
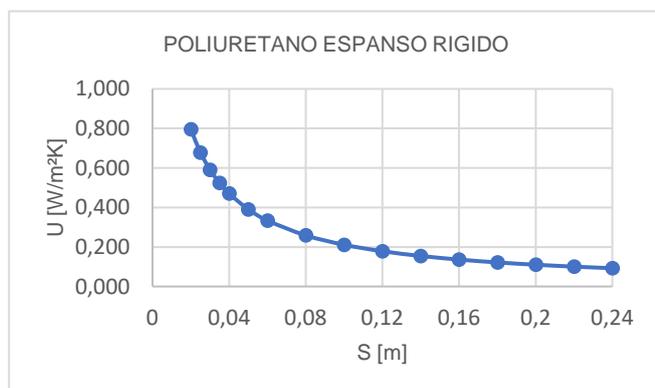


Così facendo riesco ad individuare tutti i comportamenti della Trasmittanza in relazione ai diversi spessori di tutti i materiali isolanti presi in considerazione, di cui ne riporto i principali per ogni categoria:

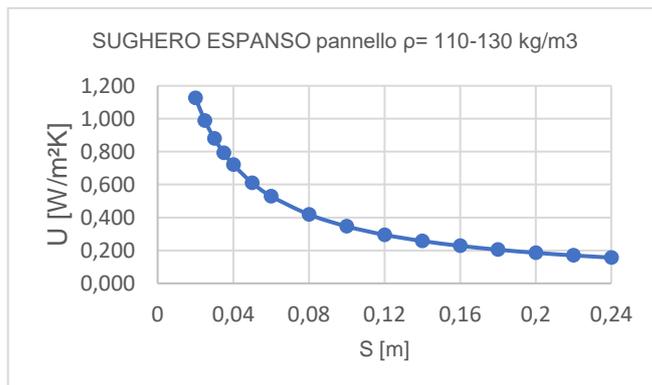
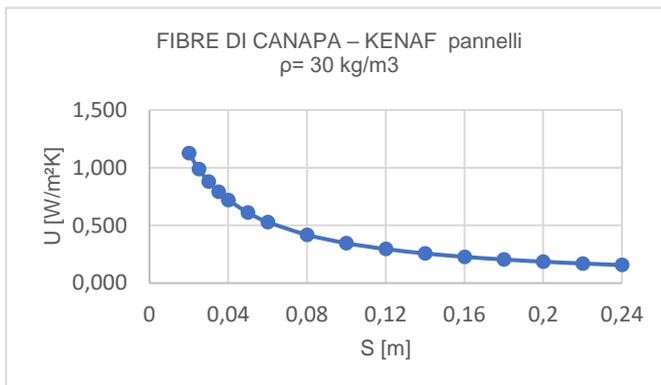
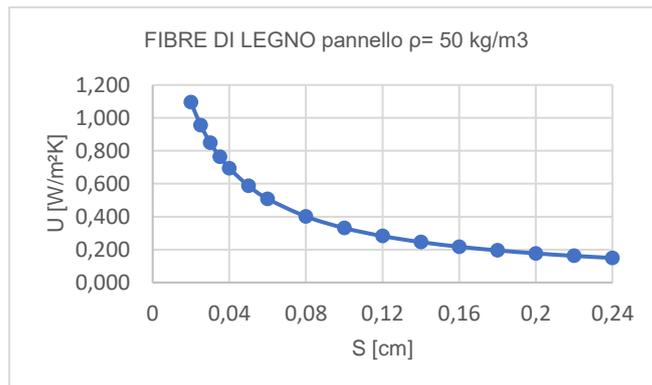
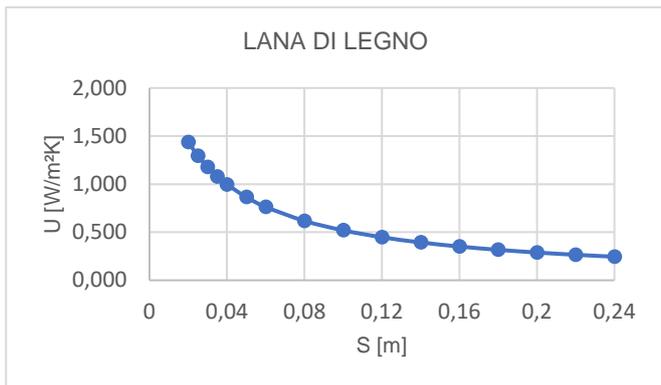
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI



ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI



ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI



5.1.2 ANDAMENTO PERCENTUALE DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI DELLA NORMATIVA UNI 10351

In una seconda fase dell'indagine si è cercato di ottenere l'andamento in percentuale della Trasmittanza a seconda del diverso spessore dell'isolante utilizzato, e di verificarne una soglia oltre la quale non abbia senso continuare ad aumentarne lo spessore poiché la trasmittanza, dopo questa, visibilmente non decresce particolarmente.

Il metodo considera:

$$U_1 = \frac{1}{R_{old} + \frac{S_{is}}{\lambda_{is}}}$$

$$U_2 = \frac{1}{R_{old} + \frac{S_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{\Delta S}{\lambda_{is}}}$$

dove:

R_{old} = è la Resistenza della parete in pietra [m²K/W]

S_{is} = è lo strato dell'isolante preso in considerazione [m]

λ_{is} = è la conducibilità termica dello strato di isolante preso in considerazione [W/mK]

ΔS = è l'aggiunta di uno strato di spessore dell'isolante [m]

e stabilisce quel limite in percentuale, di cui si è parlato, al 15%:

$$\frac{\Delta U}{U_1} 100 \leq 15\%$$

Dove:

$\Delta U = U_2 - U_1$, ovvero la differenza delle due trasmittanze trovate [W/m²K]

Quindi, ad esempio, prendo in considerazione: un materiale isolante

| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI | | | | |
|----------------------------------------------|--------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| ISOLANTE | d (cm) | λ (w/mk) UNI10351 | R (m ² K/W) | C (W/m ² K) |
| LANA DI VETRO pannello | 0,02 | 0,035 | 0,571 | 1,75 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,025 | 0,035 | 0,714 | 1,40 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,03 | 0,035 | 0,857 | 1,17 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,035 | 0,035 | 1,000 | 1,00 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,04 | 0,035 | 1,143 | 0,88 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,05 | 0,035 | 1,429 | 0,70 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,06 | 0,035 | 1,714 | 0,58 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,08 | 0,035 | 2,286 | 0,44 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,1 | 0,035 | 2,857 | 0,35 |

| ISOLANTE | d (cm) | λ (w/mk) UNI10351 | R (m ² K/W) | C (W/m ² K) |
|------------------------|--------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| LANA DI VETRO pannello | 0,12 | 0,035 | 3,429 | 0,29 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,14 | 0,035 | 4,000 | 0,25 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,16 | 0,035 | 4,571 | 0,22 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,18 | 0,035 | 5,143 | 0,19 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,2 | 0,035 | 5,714 | 0,18 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,22 | 0,035 | 6,286 | 0,16 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,24 | 0,035 | 6,857 | 0,15 |

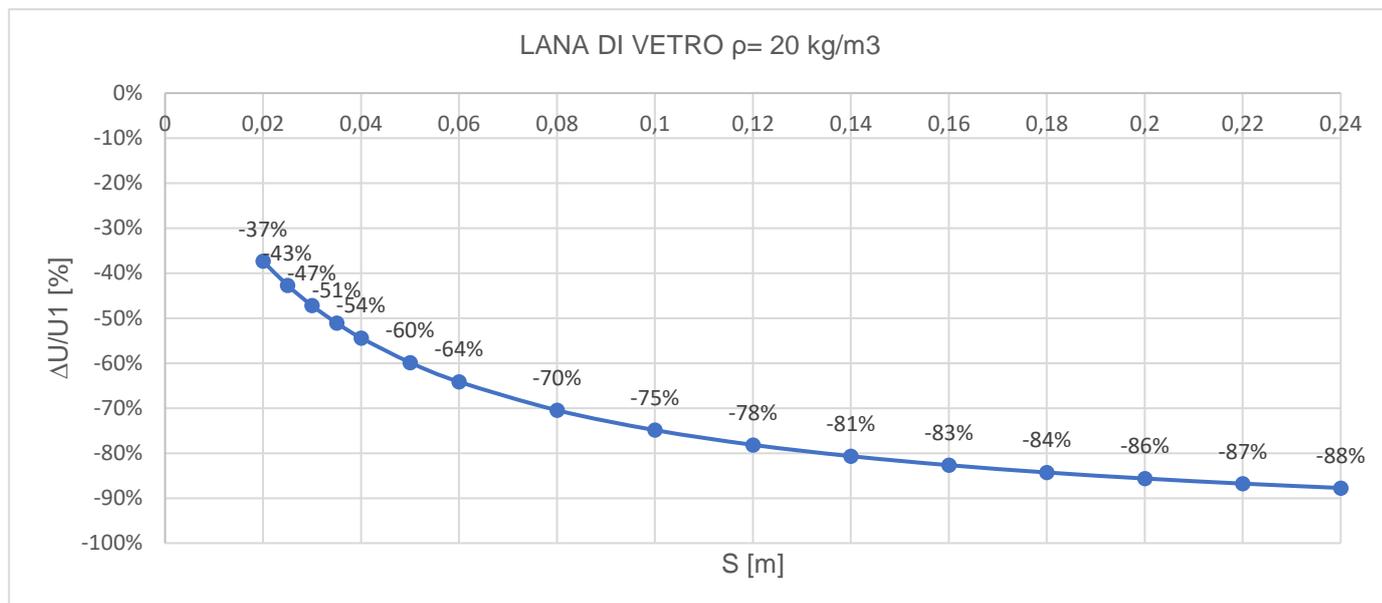
e la Resistenza totale della parete in pietra.

| PARETE IN PIETRA | R (m ² K/W) |
|-------------------|------------------------|
| R _{si} | 0,13 |
| INTONACO INTERNO | 0,029 |
| BLOCCHI IN PIETRA | 0,167 |
| INTONACO ESTERNO | 0,022 |
| R _{se} | 0,04 |
| TOT | 0,387 |

Procedo con le formulazioni precedentemente illustrate

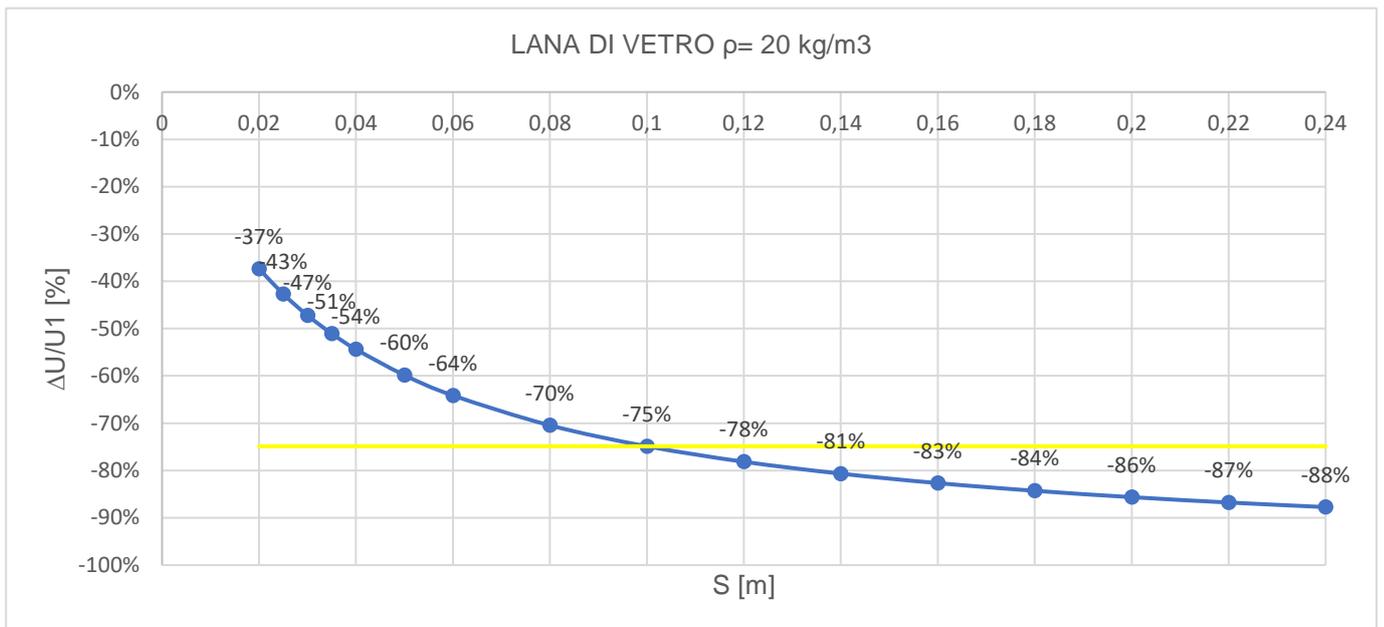
| U1(W/m ² K) | U2(W/m ² K) | ($\Delta U/U1$)100 (%) |
|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1,04 | 0,65 | -37% |
| | 0,60 | -43% |
| | 0,55 | -47% |
| | 0,51 | -51% |
| | 0,48 | -54% |
| | 0,42 | -60% |
| | 0,37 | -64% |
| | 0,31 | -70% |
| | 0,26 | -75% |
| | 0,23 | -78% |
| | 0,20 | -81% |
| | 0,18 | -83% |
| | 0,16 | -84% |
| | 0,15 | -86% |
| | 0,14 | -87% |
| | 0,13 | -88% |

Ottingo il grafico dove si può notare l'andamento negativo in percentuale della Trasmittanza dell'isolante preso in considerazione applicato alla parete in pietra.



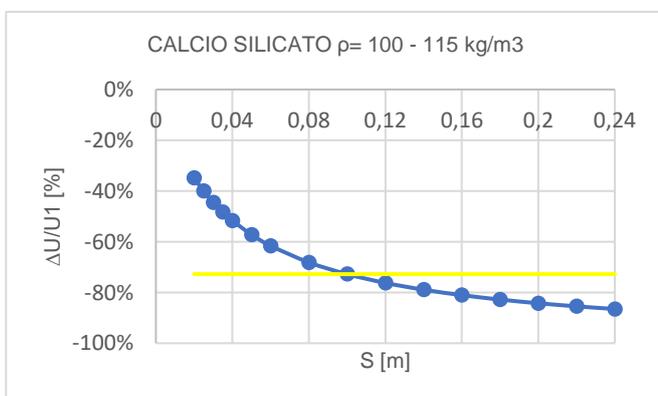
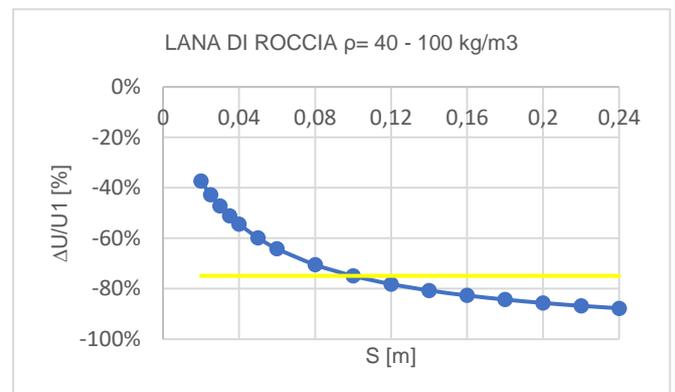
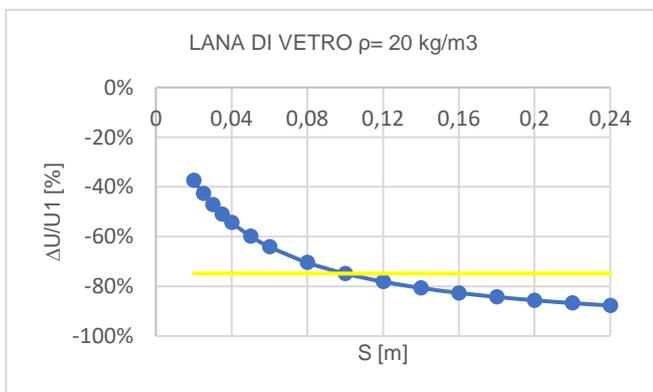
Infine, si è individuato in quale punto dello spessore la Trasmittanza di quel determinato isolante non decresca per più del 15% e lo si è rappresentato nel grafico:

| Δs (m) | $\Delta\%$ | $\Delta\% < -15\%$ |
|----------------|------------|--------------------|
| 0,02-0,24 | -50% | |
| 0,025-0,24 | -45% | |
| 0,03-0,24 | -41% | |
| 0,035-0,24 | -37% | |
| 0,04-0,24 | -33% | |
| 0,05-0,24 | -28% | |
| 0,06-0,24 | -24% | |
| 0,08-0,24 | -17% | |
| 0,1-0,24 | -13% | -13% |
| 0,12-0,24 | -10% | -10% |
| 0,14-0,24 | -7% | -7% |
| 0,16-0,24 | -5% | -5% |
| 0,18-0,24 | -3% | -3% |
| 0,2-0,24 | -2% | -2% |
| 0,22-0,24 | -1% | -1% |
| 0,24-0,24 | 0% | 0% |

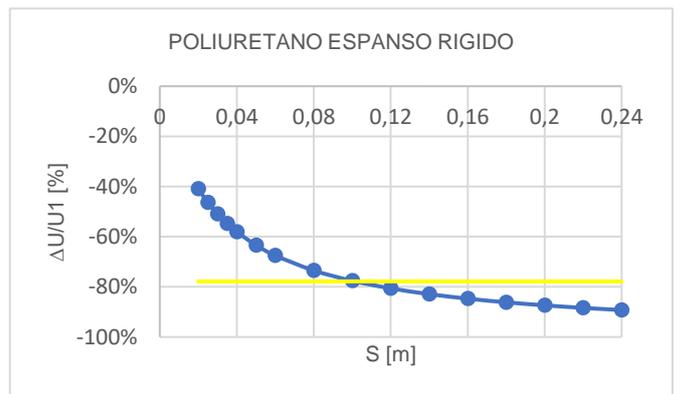
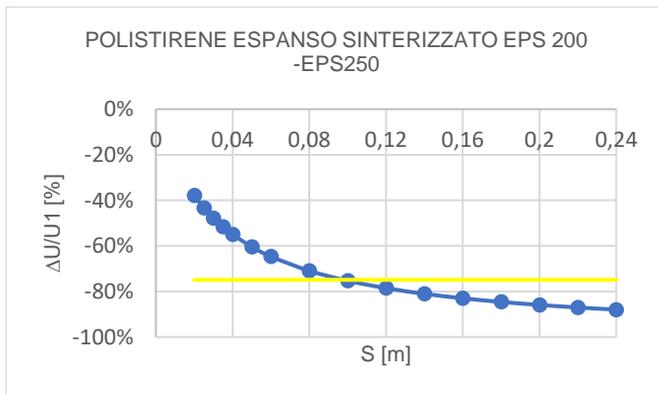
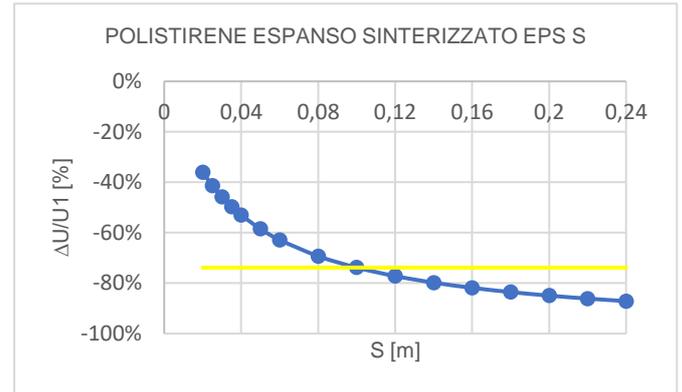
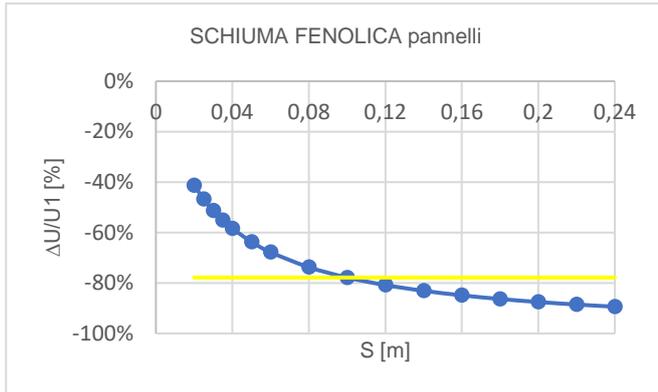


Così facendo si sono individuate tutte le ipotetiche trasmittanze limite di ogni materiale isolante in relazione alla parete in pietra considerata, di cui ne riporto i principali per ogni categoria, dove generalmente $0.1\text{m} - 0.24\text{m} < 15\%$:

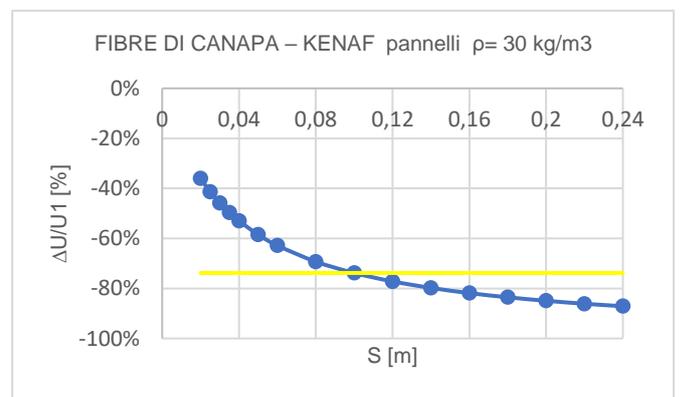
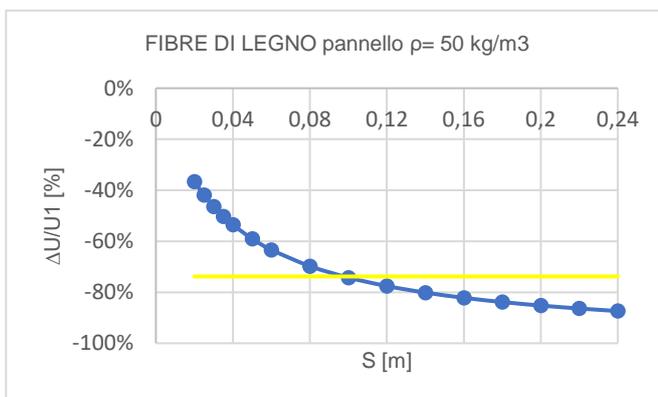
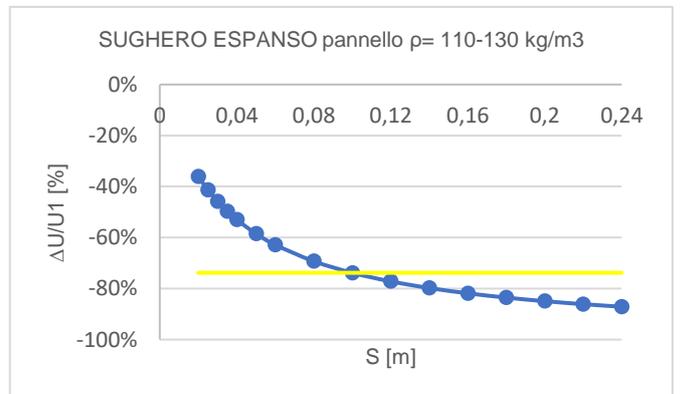
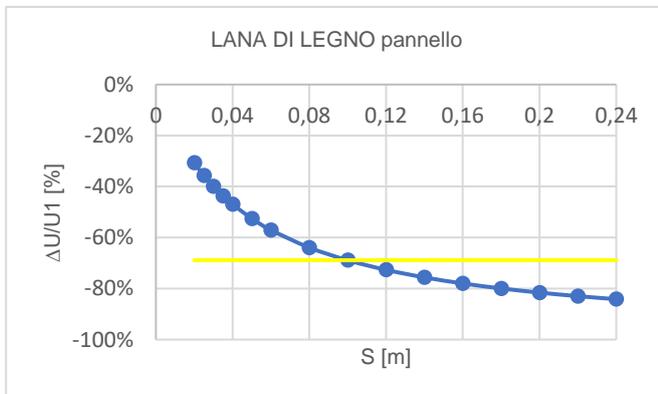
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI



ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI



ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI



5.1.3 ANDAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI IN COMMERCIO

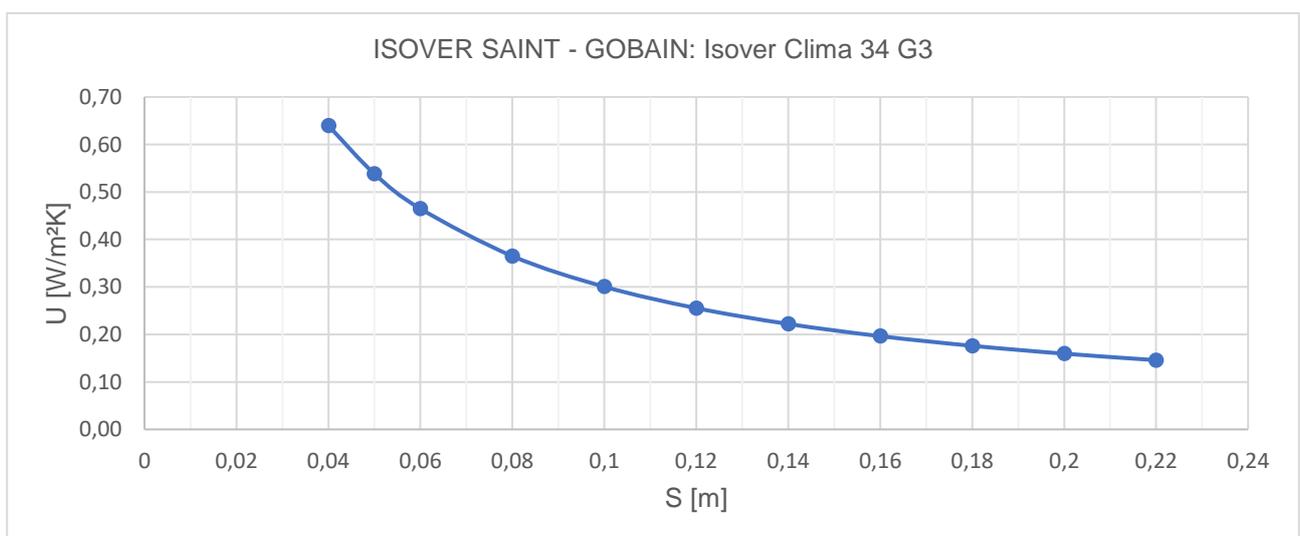
Considerando, come è stato fatto precedentemente con i materiali della normativa UNI 10351, la stessa parete con le stesse caratteristiche di Resistenze superficiali interne ed esterne, applico a questa i materiali isolanti presenti in commercio, precedentemente elencati nel cap. 7.1.1

Applicando quindi gli strati di isolante, proposti dai fornitori, ricavo le nuove caratteristiche della parete come in esempio:

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO

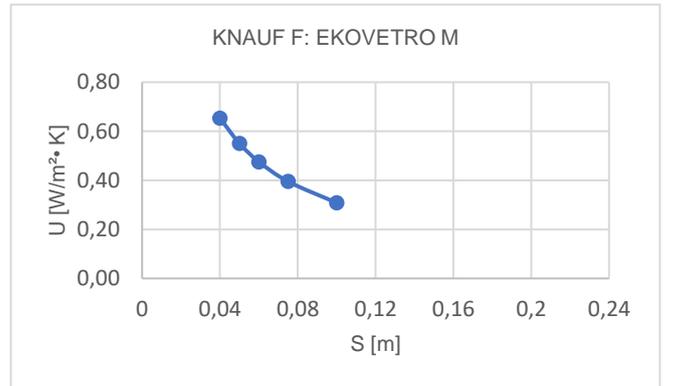
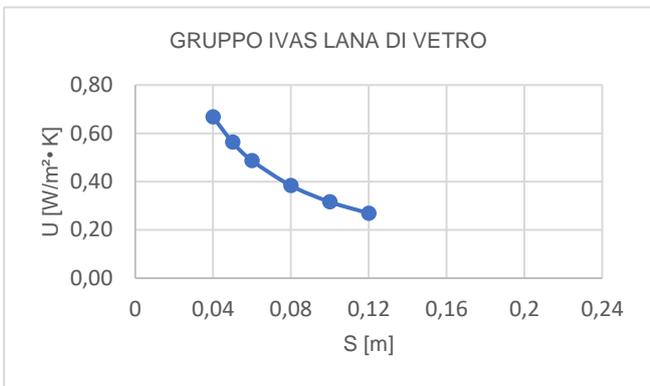
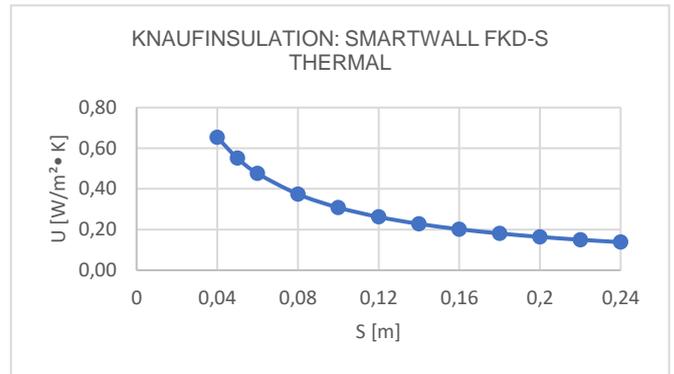
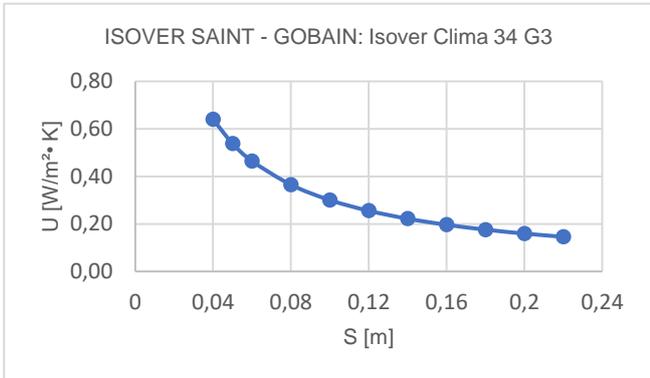
| ISOLANTE + PARETE IN PIETRA | R (m ² K/W) | U (W/m ² K) | φ (W/m ²) |
|-------------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 1,563 | 0,64 | 12,792 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 1,858 | 0,54 | 10,767 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 2,152 | 0,46 | 9,295 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 2,740 | 0,36 | 7,299 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 3,328 | 0,30 | 6,009 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 3,916 | 0,26 | 5,107 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 4,505 | 0,22 | 4,440 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 5,093 | 0,20 | 3,927 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 5,681 | 0,18 | 3,520 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 6,269 | 0,16 | 3,190 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3 | 6,858 | 0,15 | 2,916 |

A questo punto si può notare attraverso dei grafici come la Trasmittanza diminuisca linearmente all'aumentare dello spessore, anche in questi materiali:

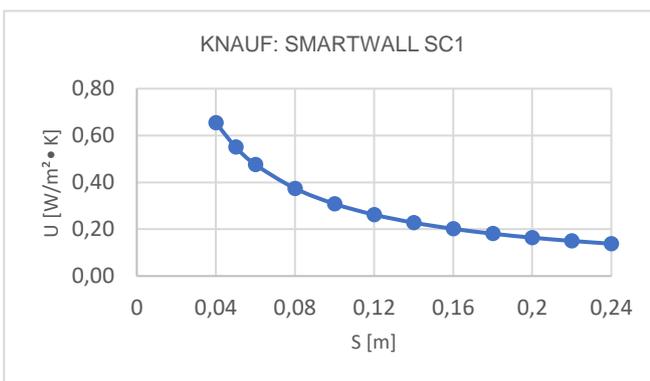
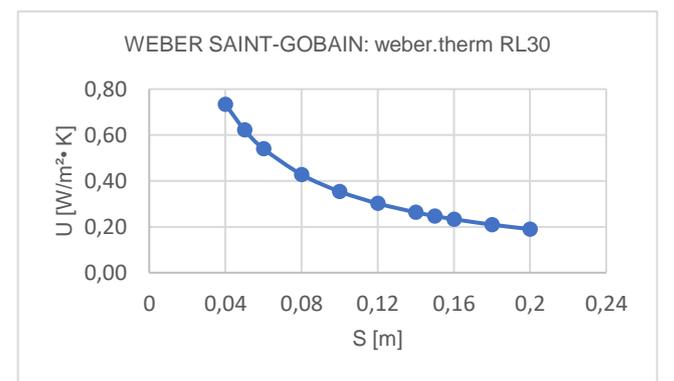
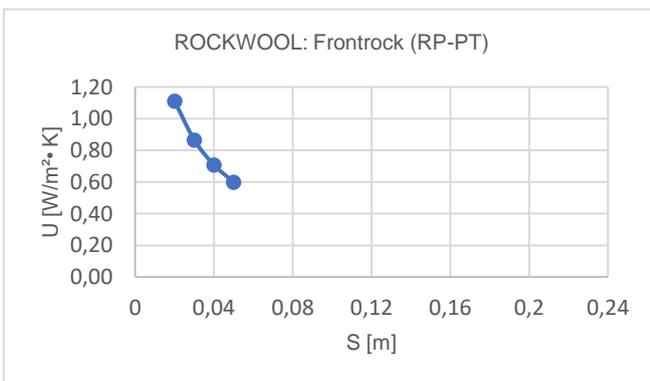


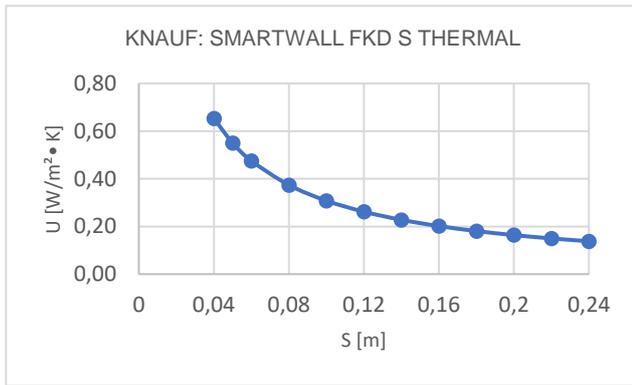
Così facendo riesco ad individuare tutti i comportamenti della Trasmittanza in relazione ai diversi spessori di tutti i materiali isolanti in commercio presi in considerazione:

**ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI
LANA DI VETRO**

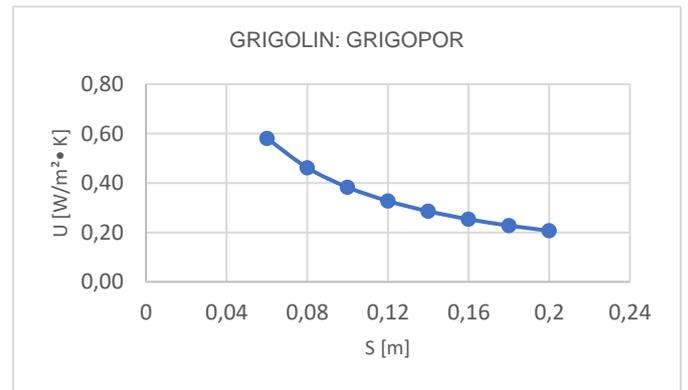
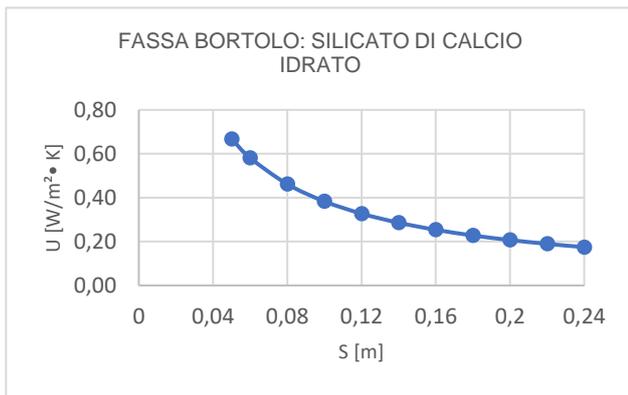


LANA DI ROCCIA

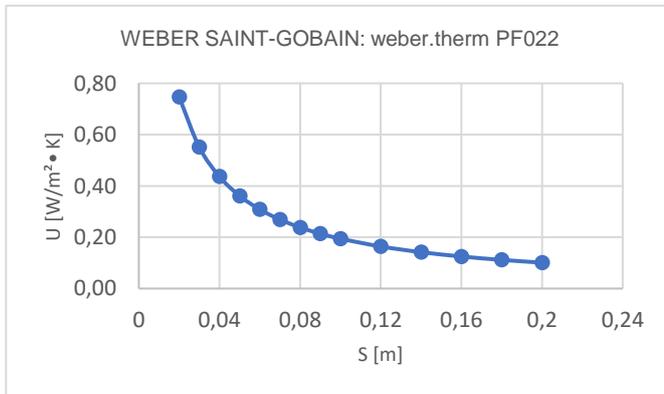




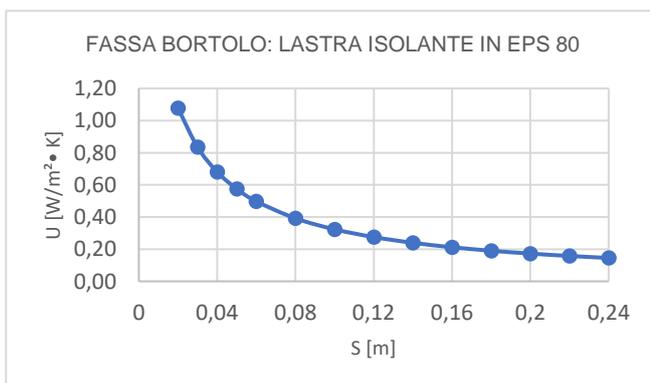
CALCIO SILICATO



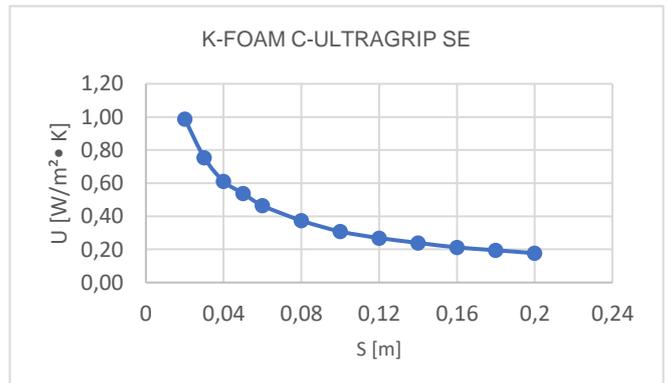
ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI SCHIUMA FENOLICA



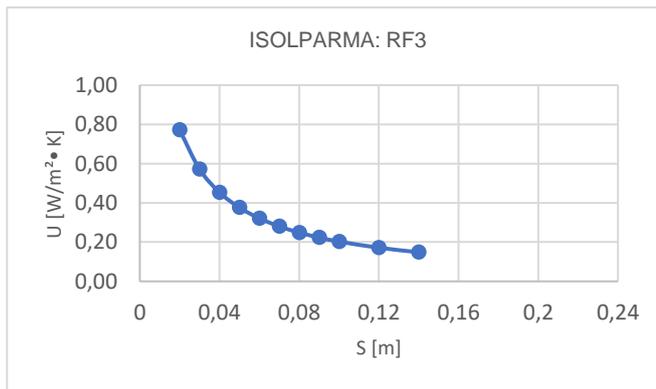
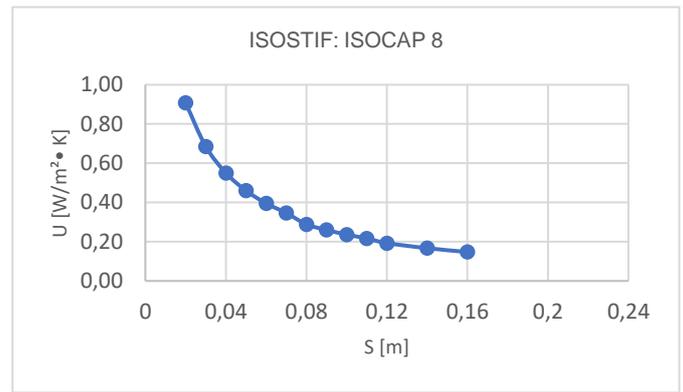
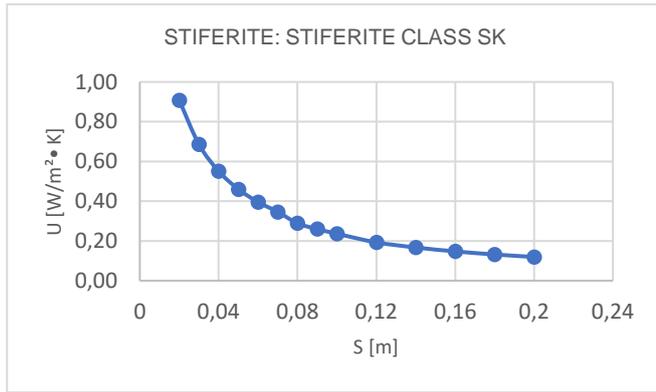
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS



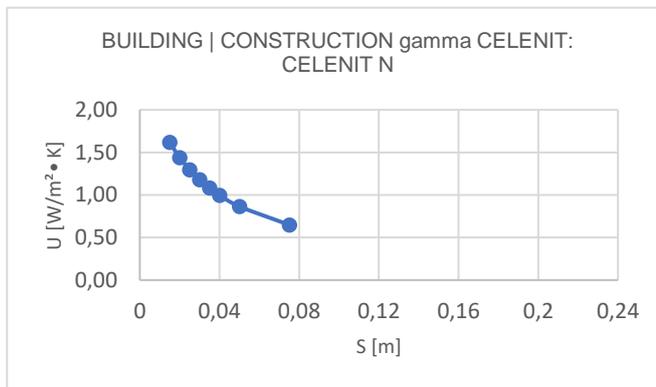
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS



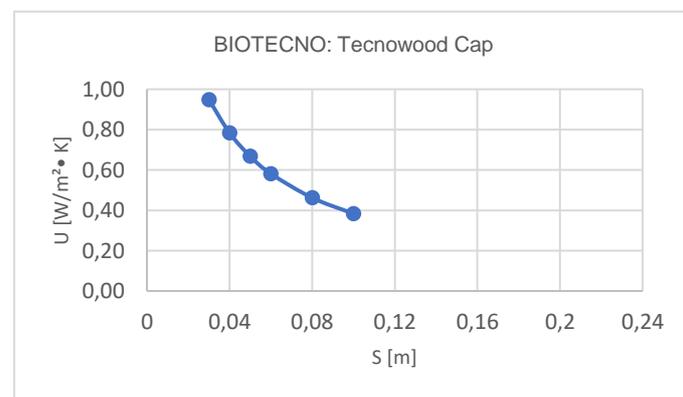
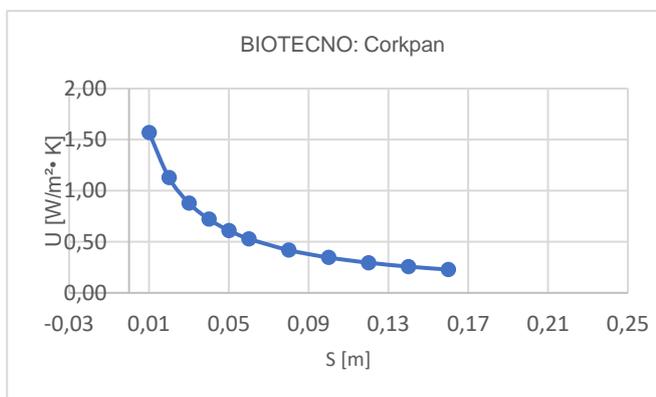
POLIURETANO ESPANSO RIGIDO



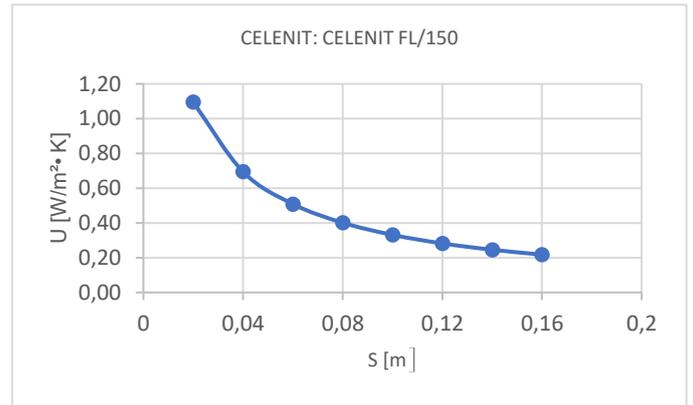
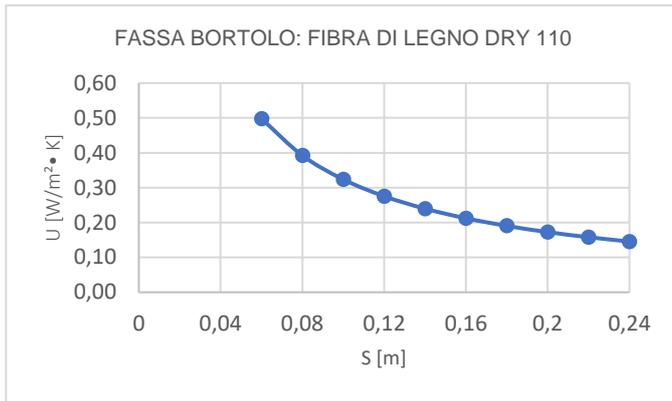
ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI LANA DI LEGNO



SUGHERO ESPANSO



FIBRE DI LEGNO



5.1.4 ANDAMENTO PERCENTUALE DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI IN COMMERCIO

Applicando le medesime regole descritte nel paragrafo 7.1.2 del capitolo 7, ottengo l'andamento in percentuale della Trasmittanza a seconda del diverso spessore dell'isolante utilizzato, e di conseguenza ottengo quello spessore oltre il quale non abbia senso continuare ad aumentare poiché la trasmittanza, dopo questo, visibilmente non decresce particolarmente.

Alla luce di questo, come esempio, prendo in considerazione: un materiale presente in commercio

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO

| ISOLANTE | d (m) | λD (w/mk) | R (m ² K/W) |
|-------------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,04 | 0,034 | 1,176 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,05 | 0,034 | 1,471 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,06 | 0,034 | 1,765 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,08 | 0,034 | 2,353 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,1 | 0,034 | 2,941 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,12 | 0,034 | 3,529 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,14 | 0,034 | 4,118 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,16 | 0,034 | 4,706 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,18 | 0,034 | 5,294 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,2 | 0,034 | 5,882 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,22 | 0,034 | 6,471 |

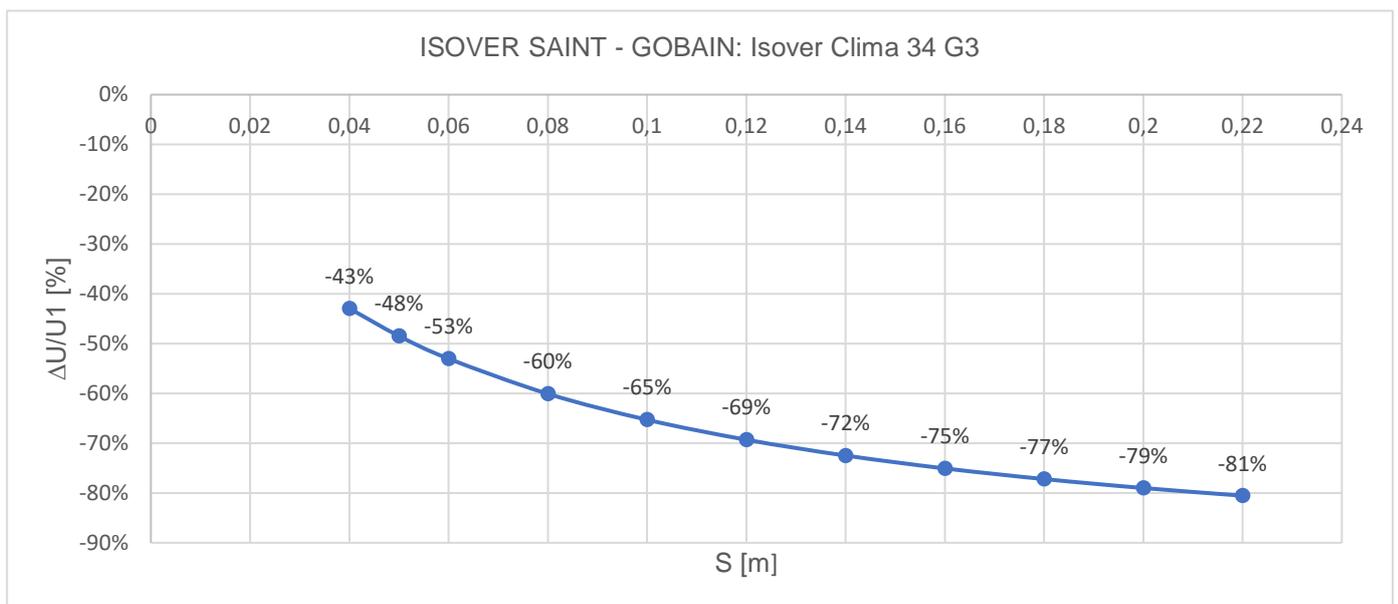
e la Resistenza totale della parete in pietra.

| PARETE IN PIETRA | R (m ² K/W) |
|-------------------|------------------------|
| Rsi | 0,13 |
| INTONACO INTERNO | 0,029 |
| BLOCCHI IN PIETRA | 0,167 |
| INTONACO ESTERNO | 0,022 |
| Rse | 0,04 |
| TOT | 0,387 |

Procedo con le formulazioni precedentemente illustrate nel paragrafo 7.1.2

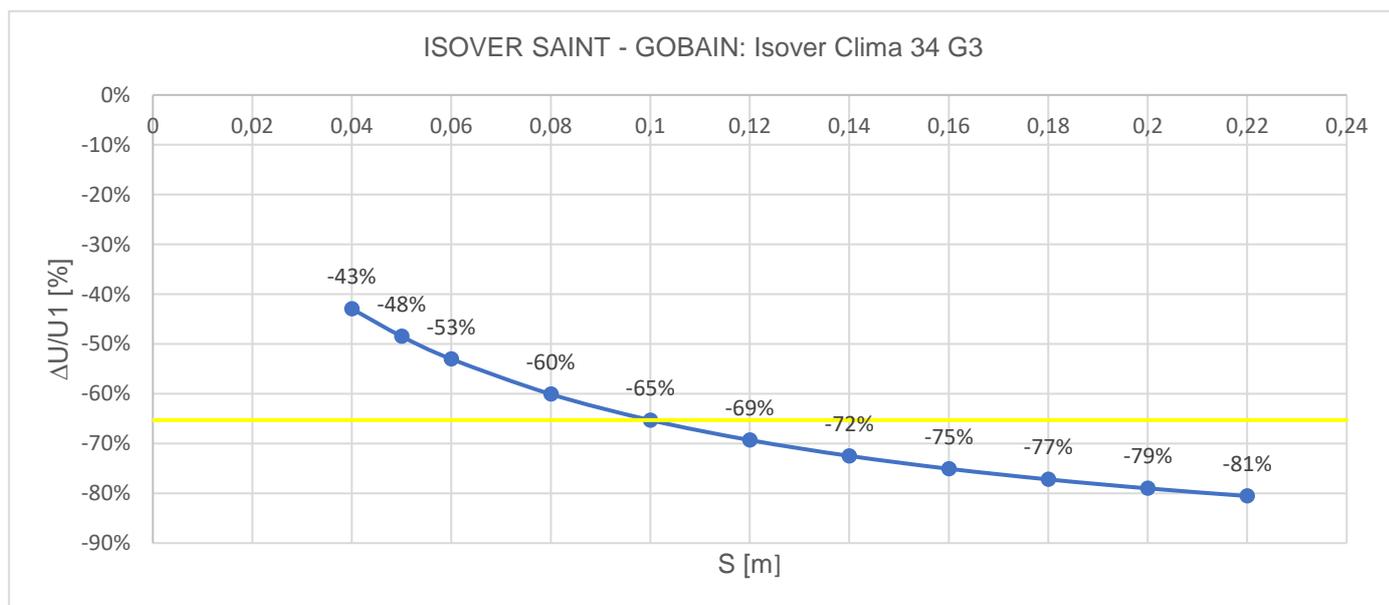
| U1(W/m ² K) | U2(W/m ² K) | ($\Delta U/U1$)100 (%) |
|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 0,64 | 0,36 | -43% |
| | 0,33 | -48% |
| | 0,30 | -53% |
| | 0,26 | -60% |
| | 0,22 | -65% |
| | 0,20 | -69% |
| | 0,18 | -72% |
| | 0,16 | -75% |
| | 0,15 | -77% |
| | 0,13 | -79% |
| | 0,12 | -81% |

Ottingo il grafico dove si può notare l'andamento negativo in percentuale della Trasmittanza dell'isolante in commercio preso in considerazione applicato alla parete in pietra.



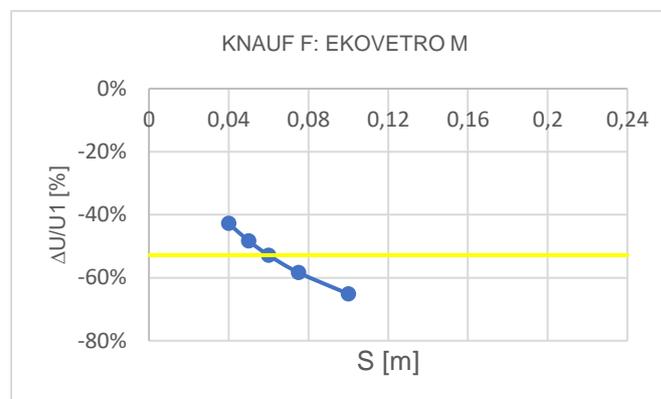
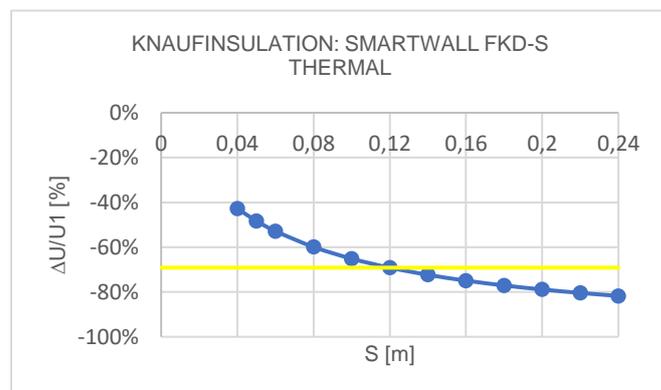
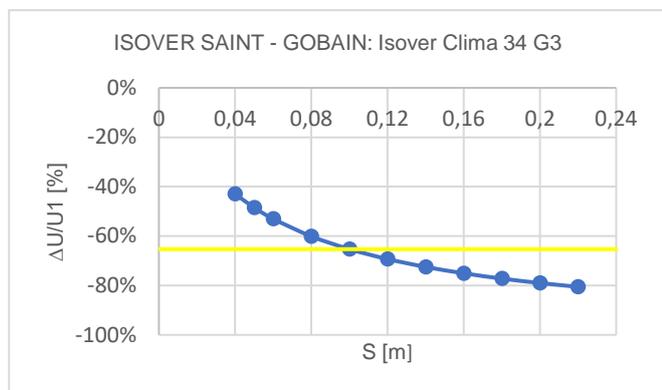
Infine, si è individuato in quale punto dello spessore la Trasmittanza di quel determinato isolante non decresca per più del 15% e lo si è rappresentato nel grafico:

| Δs (cm) | $\Delta\%$ | $\Delta\% < -15\%$ |
|-----------------|------------|--------------------|
| 0,04-0,22 | -38% | |
| 0,05-0,22 | -32% | |
| 0,06-0,22 | -28% | |
| 0,08-0,22 | -20% | |
| 0,01-0,22 | -15% | -15% |
| 0,12-0,22 | -11% | -11% |
| 0,14-0,22 | -8% | -8% |
| 0,16-0,22 | -5% | -5% |
| 0,18-0,22 | -3% | -3% |
| 0,20-0,22 | -2% | -2% |
| 0,22-0,22 | 0% | 0% |

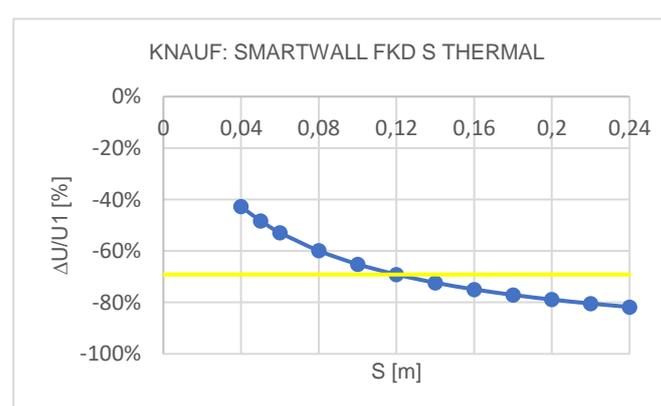
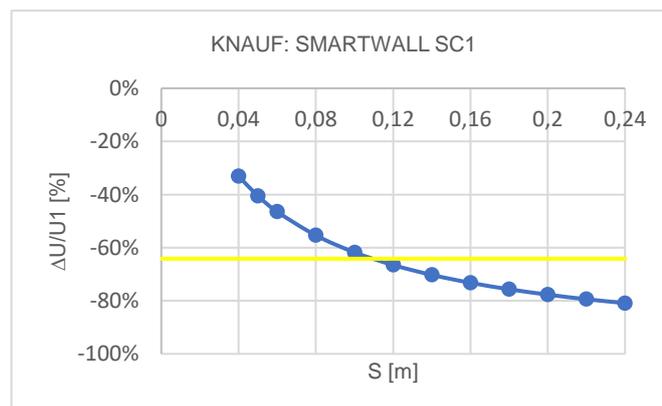
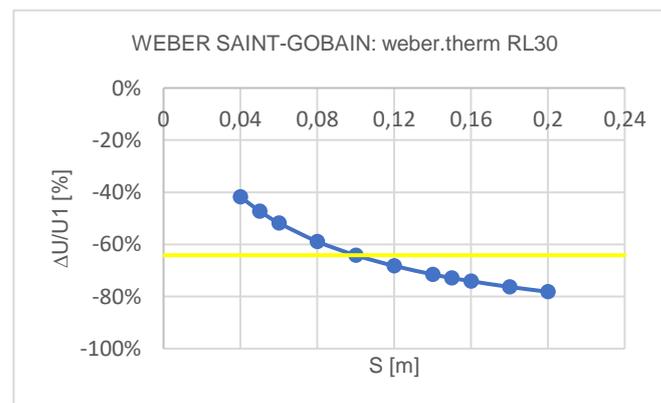
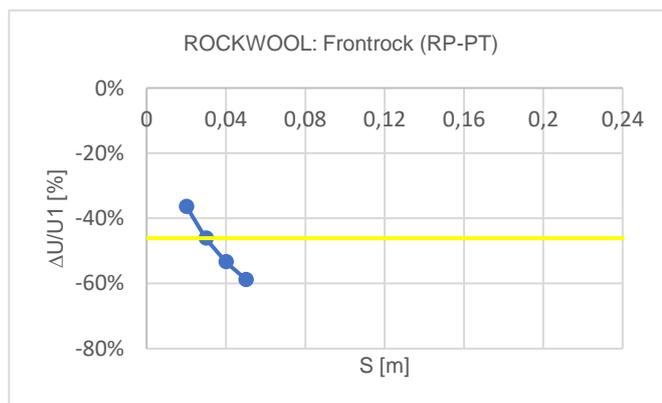


Così facendo si sono individuate tutte le ipotetiche trasmittanze limite di ogni materiale isolante in relazione alla parete in pietra considerata:

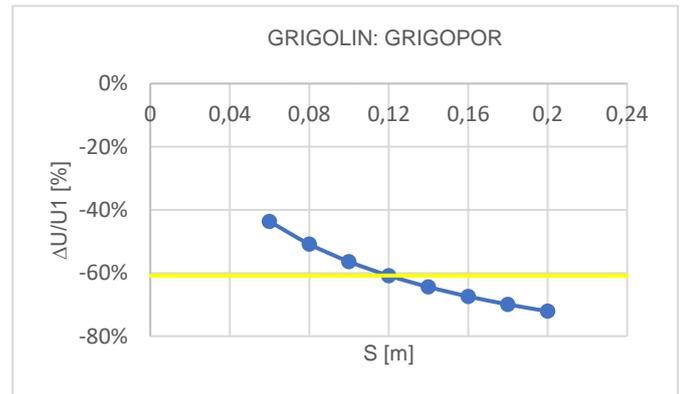
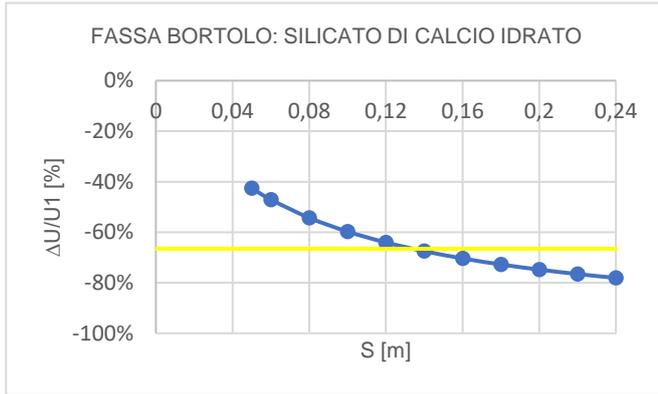
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO



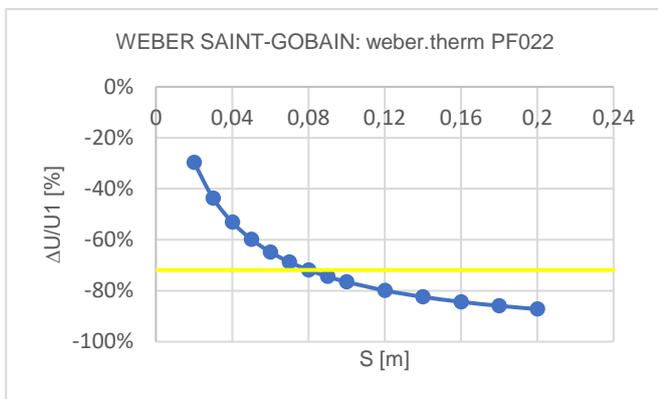
LANA DI ROCCIA



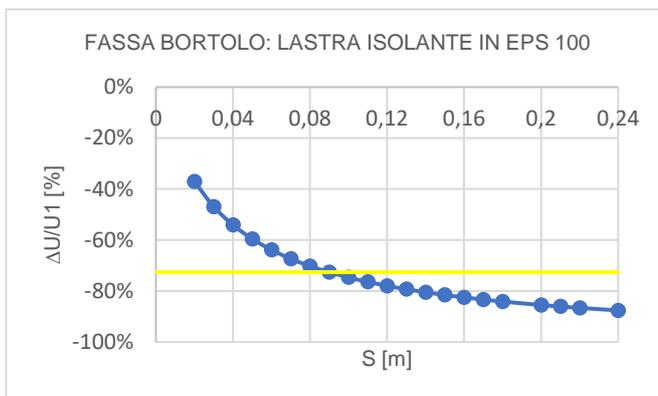
CALCIO SILICATO



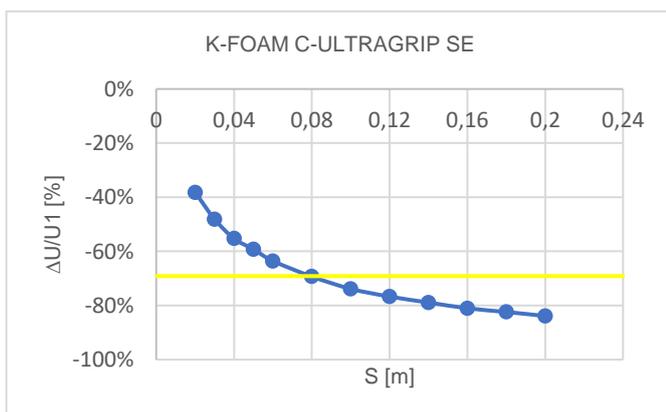
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI SCHIUMA FENOLICA



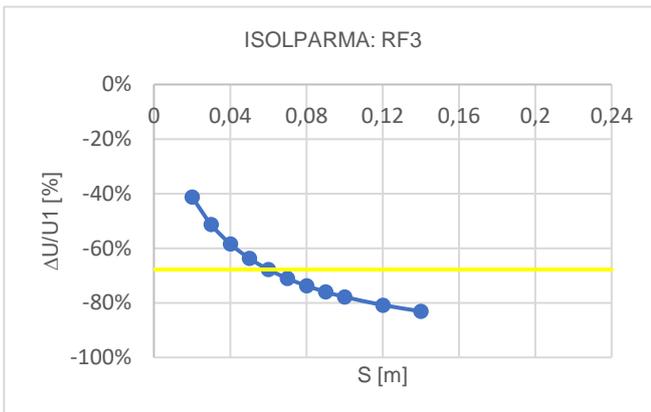
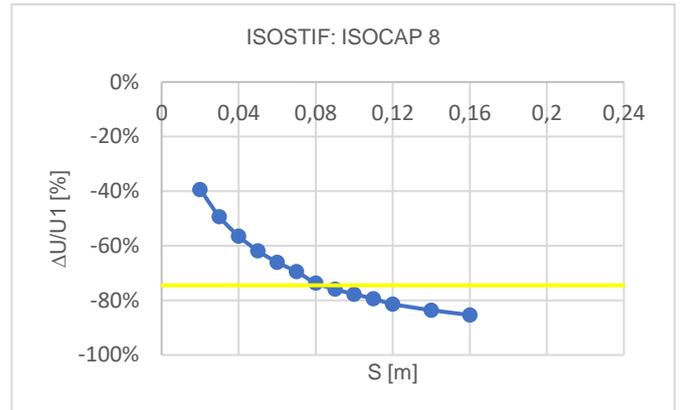
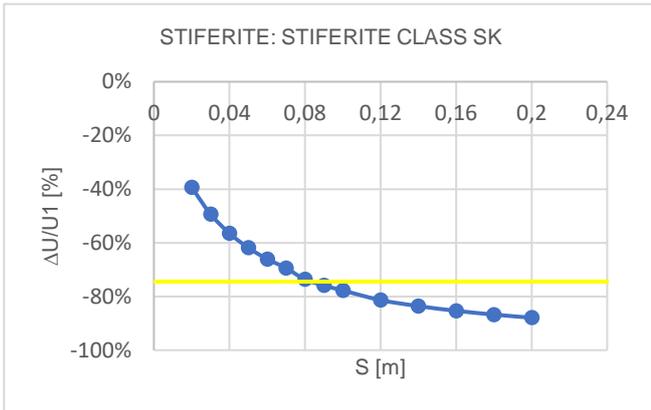
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS



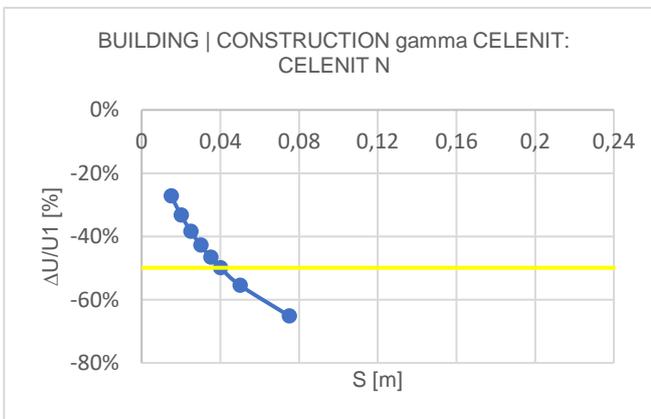
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS



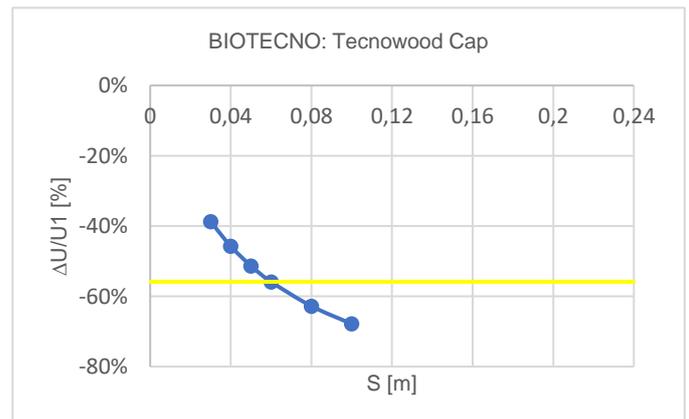
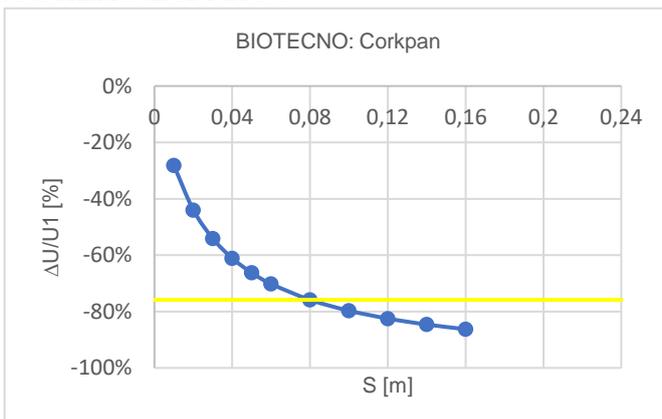
POLIURETANO ESPANSO RIGIDO



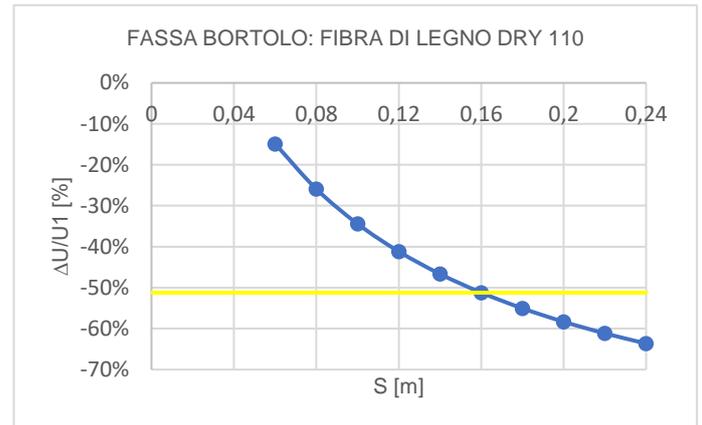
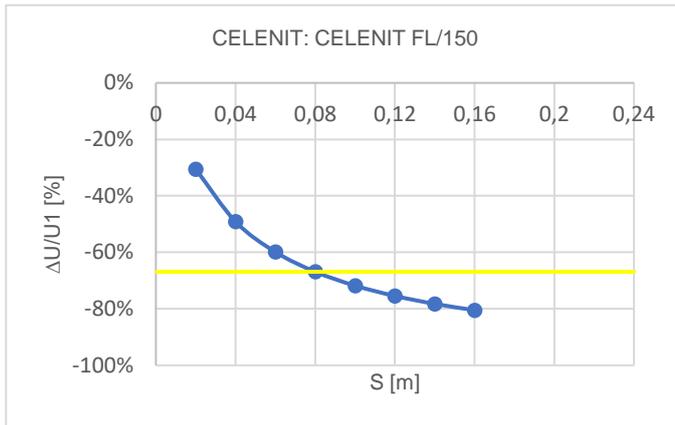
ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI LANA DI LEGNO



SUGHERO ESPANSO



FIBRE DI LEGNO



5.1.5 TRASMITTANZE LIMITI

A riguardo della trasmittanza termica sono previste delle norme principali di riferimento, che sono: la normativa UNI EN ISO 6946:2008, per il calcolo della trasmittanza termica, ed il Decreto Legislativo 311/2006 (*Disposizioni correttive ed integrative al DLgs 19 agosto 2005, n.192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*) per la riduzione delle dispersioni dell'involucro attraverso il fissaggio di valori limite di trasmittanza termica sia, per le strutture opache, che per quelle trasparenti.

Successivamente il 26 giugno 2015 vennero emessi dal Ministero dello Sviluppo Economico tre nuovi decreti, al fine di inserire nuovi parametri più rigorosi rispetto a quelli del decreto del 2006.

A merito di quest'ultimo decreto vennero quindi prefissati i valori limiti della trasmittanza termica, nel caso che ci interessa, di interventi di riqualificazione energetica in una tabella riepilogativa dove sono illustrati sia i parametri in vigore dal 1° ottobre 2015, sia quelli più stringenti che entreranno in vigore nel 1° gennaio 2021.

| ZONA CLIMATICA | U _{rif} [W/ m ² K] | |
|----------------|----------------------------------------|---------------------|
| | Dal 1° ottobre 2015 | Dal 1° gennaio 2021 |
| A-B | 0,45 | 0,4 |
| C | 0,4 | 0,36 |
| D | 0,36 | 0,32 |
| E | 0,3 | 0,28 |
| F | 0,28 | 0,26 |

Inoltre, sono stati considerati anche i valori limiti del Decreto 26 gennaio 2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici, per accedere alle detrazioni fiscali, ovvero i valori di trasmittanza termica limite delle strutture opache verticali.

| LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 [W/ m ² K] |
| ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| A | 0,54 |
| B | 0,41 |
| C | 0,34 |
| D | 0,29 |
| E | 0,27 |
| F | 0,26 |

Una volta apprese le trasmittanze termiche limiti di tutte le zone climatiche degli edifici esistenti, e quelle utili per accedere alle detrazioni fiscali ho voluto compararle con i valori limiti di trasmittanza termica oltre i quali, a mio parere, non abbia senso continuare ad aumentare uno spessore di isolante, poiché la trasmittanza dopo questo non decresce particolarmente.

Il risultato dell'indagine individua la soglia secondo la quale ci può essere una convenienza data da una trasmittanza limite di quel specifico isolante inferiore rispetto a quelle di legge, e quindi individuare gli spessori che possano indurre ad un risparmio non soltanto energetico ma anche monetario.

Prendo come esempio esplicativo, in zona climatica D, la lana di vetro *SMARTWALL FKD-S THERMAL* di cui il produttore è *KNAUFINSULATION*

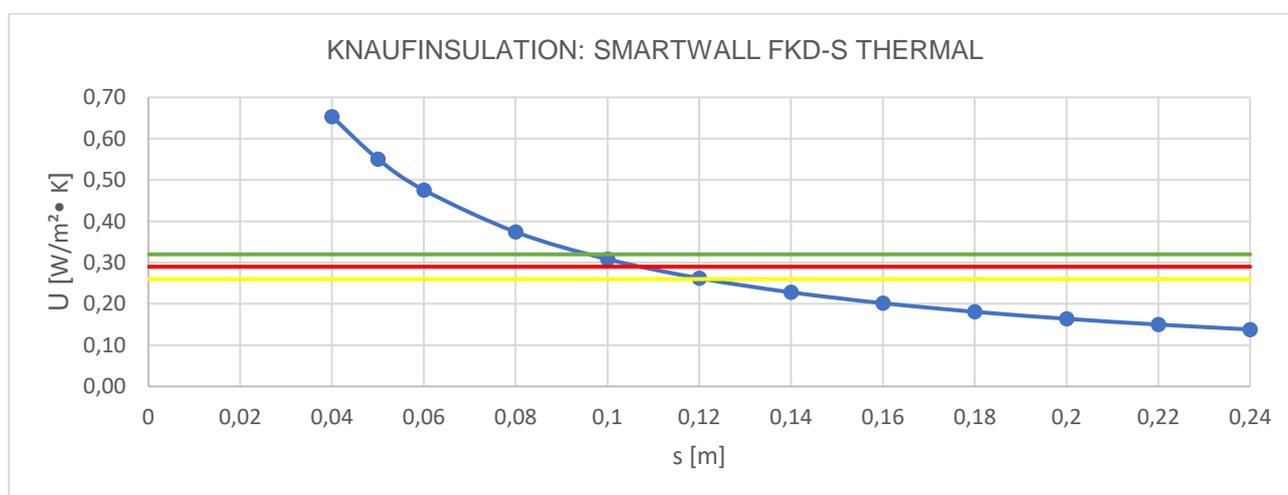
Noi sappiamo che in zona D valgono le seguenti trasmittanze limiti di legge:

| ZONA CLIMATICA | Urif [W/ m ² K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 [W/ m ² K] |
| | 2015 | 2021 | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| D | 0,36 | 0,32 | D | 0,29 |

Aggiungo la trasmittanza limite precedentemente cercata per questo materiale:

| |
|---------------------|
| U _{limite} |
| 0,26 |

Ne ricavo una situazione per la quale noto che la mia trasmittanza limite è inferiore rispetto a quella di legge e quella utile per ottenere la detrazione fiscale.



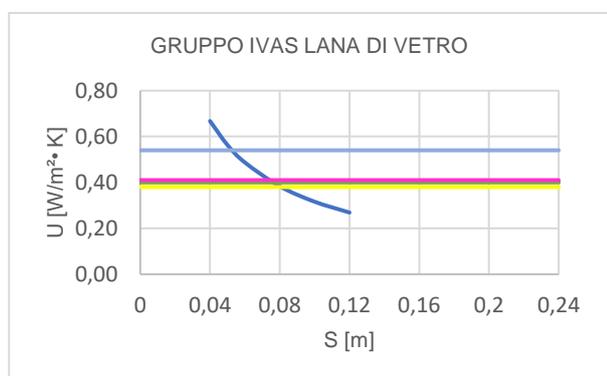
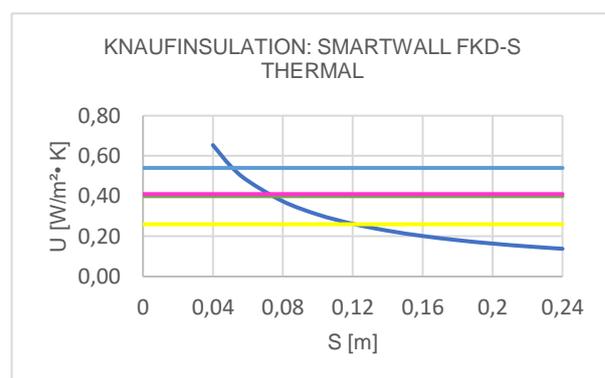
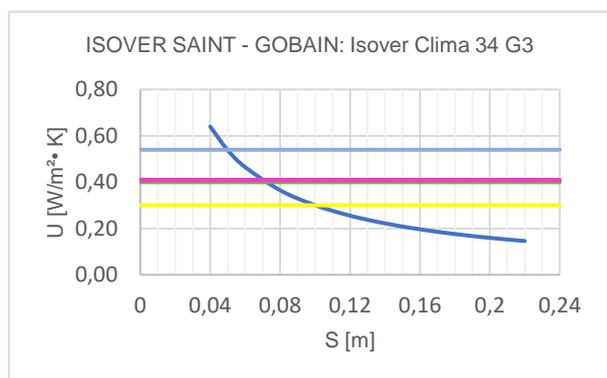
Quindi posso dire che questo isolante applicato ad una parete in pietra riesca ad apportare un risparmio energetico e monetario aggiuntivo rispetto a quello che già si avrebbe utilizzandolo nei limiti proposti dalla normativa vigente.

Qui sotto riporto i materiali isolanti che apportano un esito positivo, relativi alla zona A-B:

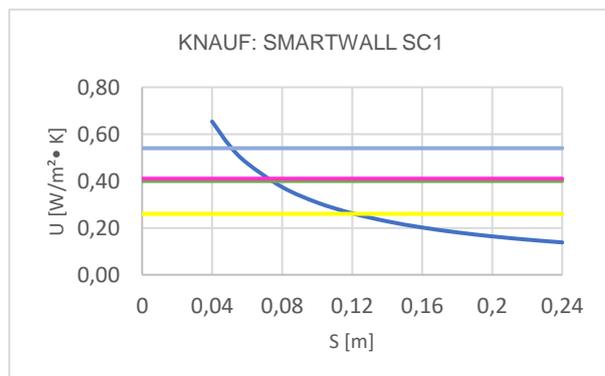
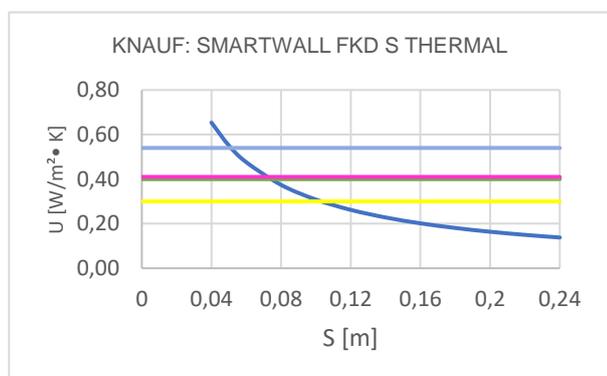
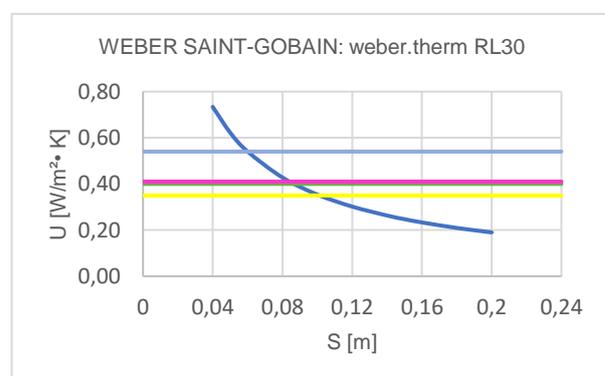
| ZONA CLIMATICA | Urif [W/m ² K] | |
|----------------|---------------------------|----------------|
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio |
| | 2015 | 2021 |
| A-B | 0,45 | 0,4 |

| LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 |
| ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| A | 0,54 |
| B | 0,41 |

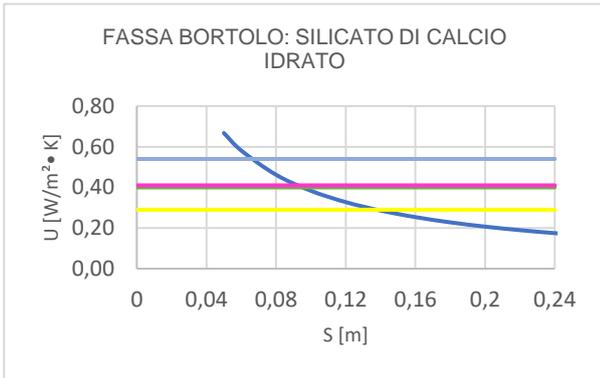
LANA DI VETRO



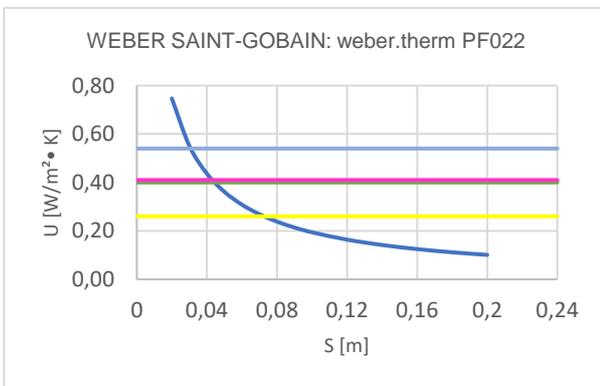
LANA DI ROCCIA



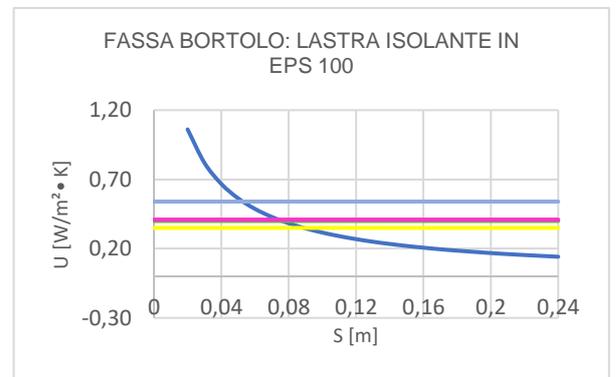
CALCIO SILICATO



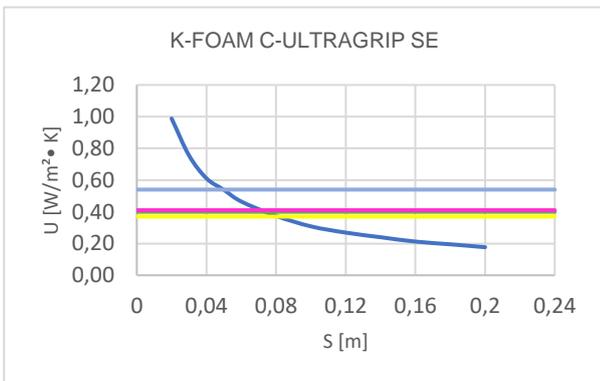
SCHIUMA FENOLICA



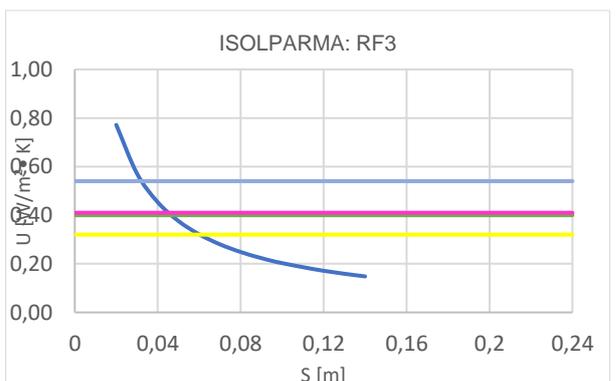
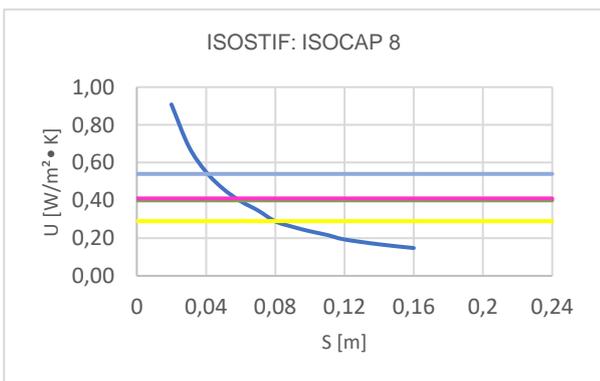
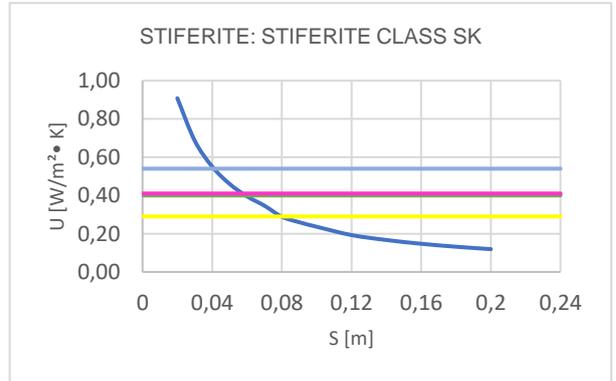
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS



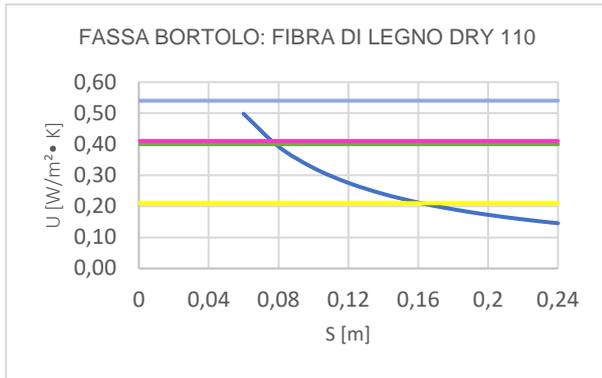
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS



POLIURETANO ESPANSO RIGIDO



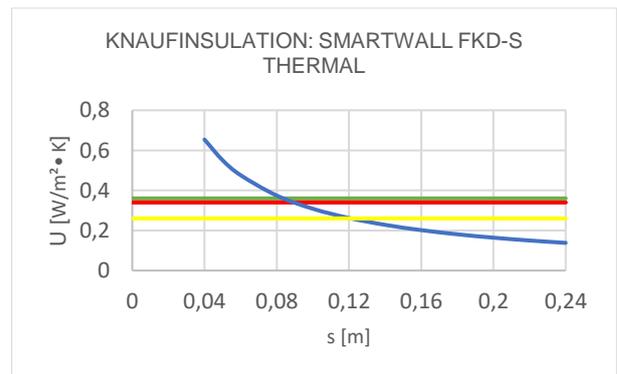
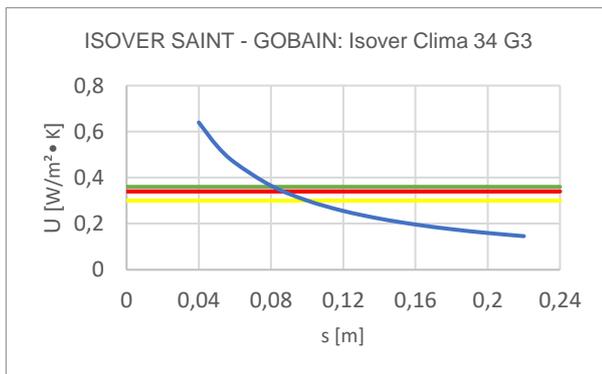
FIBRE DI LEGNO



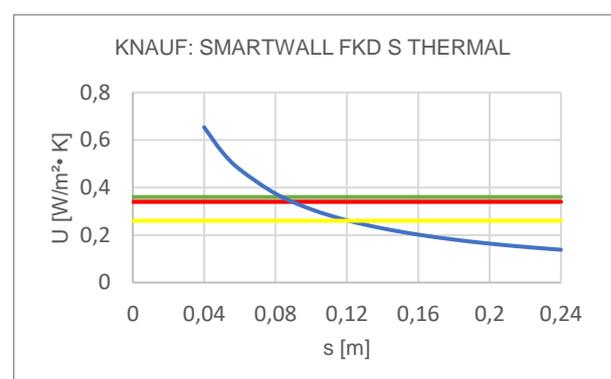
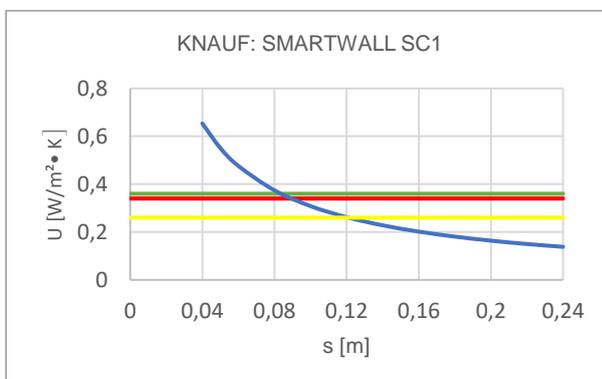
Qui sotto riporto i materiali isolanti che apportano un esito positivo, relativi alla zona C:

| ZONA CLIMATICA | Urif [W/m ² K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 |
| | 2015 | 2021 | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| C | 0,4 | 0,36 | C | 0,34 |

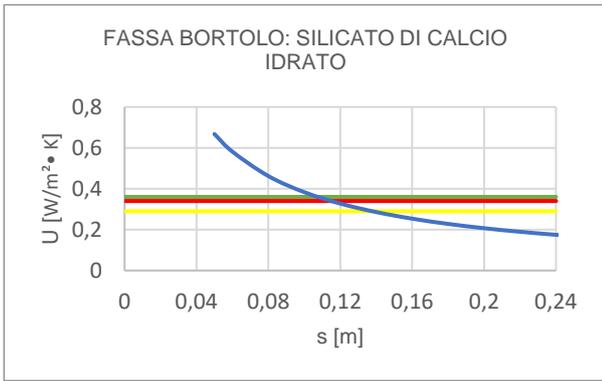
LANA DI VETRO



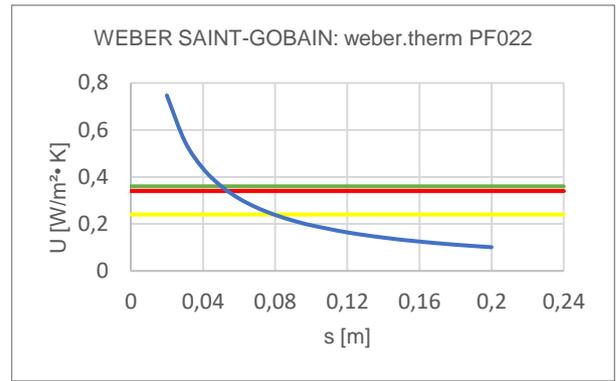
LANA DI ROCCIA



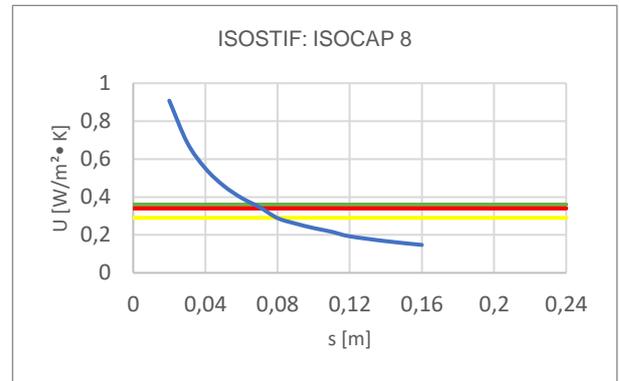
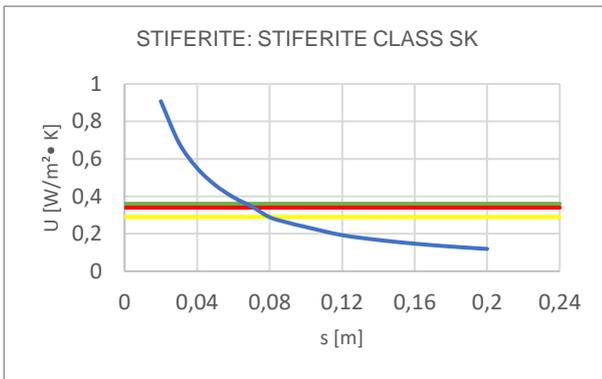
CALCIO SILICATO



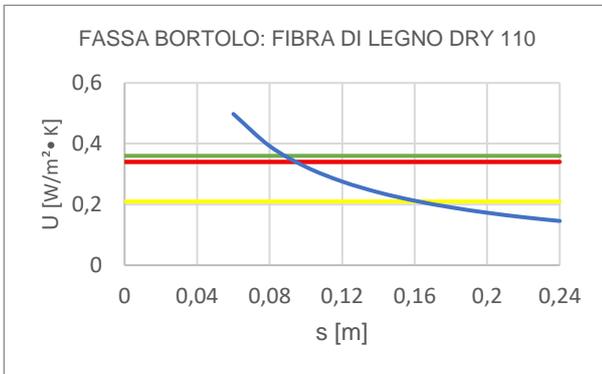
SCHIUMA FENOLICA



POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO



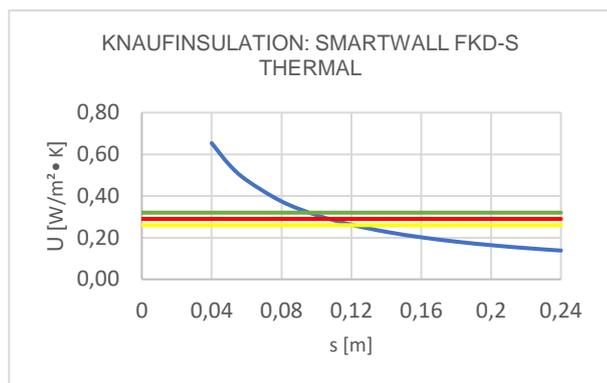
FIBRE DI LEGNO



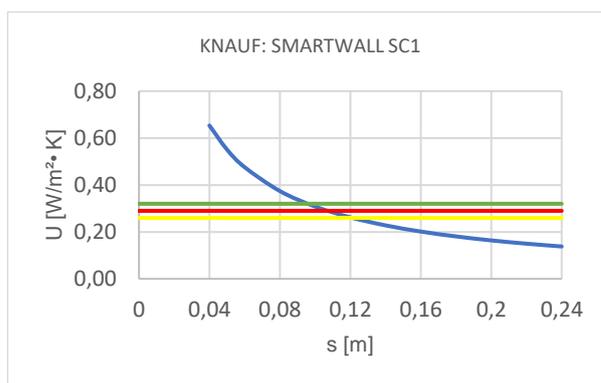
Qui sotto riporto i materiali isolanti che apportano un esito positivo, relativi alla zona D:

| | | Urif [W/m ² K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------------------------|--|
| ZONA CLIMATICA | | | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 | |
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI | |
| D | 0,36 | 0,32 | D | 0,29 | |

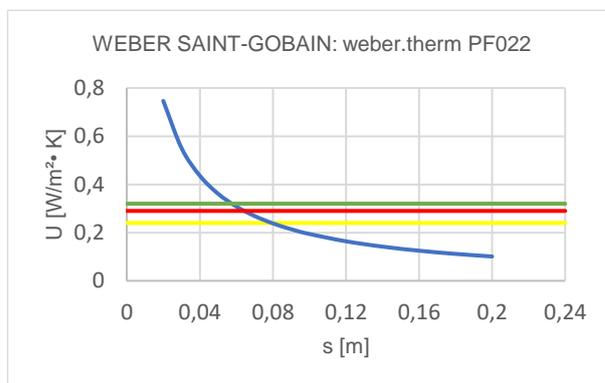
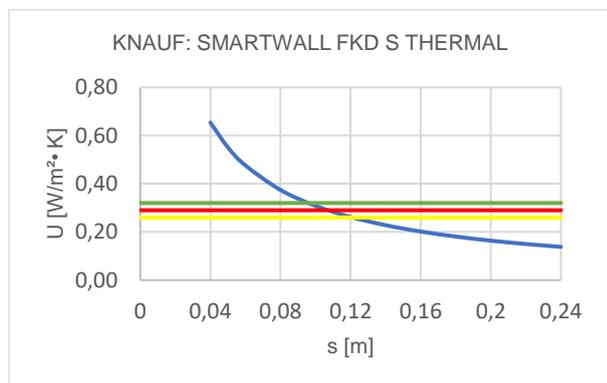
LANA DI VETRO



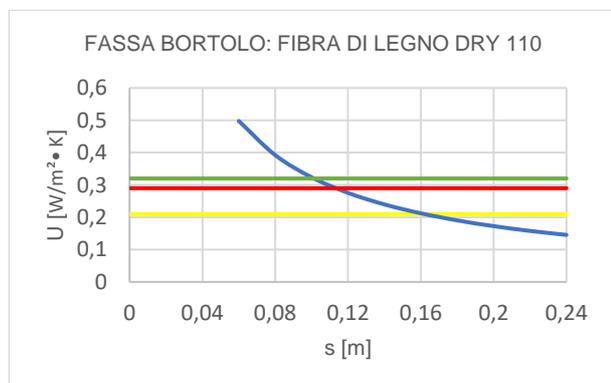
LANA DI ROCCIA



SCHIUMA FENOLICA



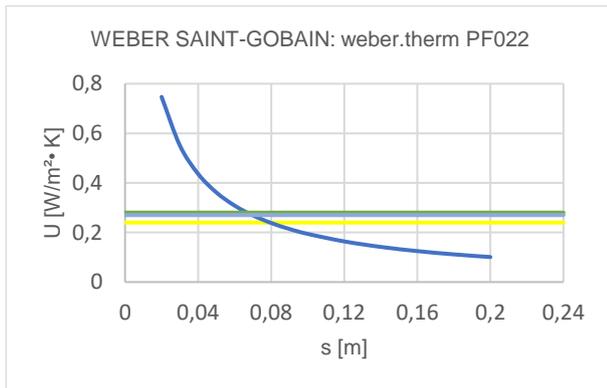
FIBRE DI LEGNO



Qui sotto riporto l'unico materiale isolante che apporta un esito positivo, relativo alla zona E:

| ZONA CLIMATICA | Urif [W/m ² K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 |
| | 2015 | 2021 | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| E | 0,3 | 0,28 | E | 0,27 |

SCHIUMA FENOLICA



Non si hanno esiti positivi, invece, per la zona F.

5.1.6 DETERMINAZIONE DELLO SPESSORE OTTIMALE

Una volta ricavati gli andamenti delle trasmittanze in funzione degli spessori, con le relative percentuali e trasmittanze limiti di legge, successivamente si è voluto calcolare in base alle diverse zone climatiche l'energia primaria risparmiata, il relativo risparmio economico all'anno, ed infine il periodo di tempo necessario per poter avere un ritorno a livello economico rispetto all'investimento iniziale, avendo, per l'appunto, applicato quel determinato spessore di isolante termico alla parete in pietra presa in considerazione.

Per ogni zona climatica si sono considerati tre rendimenti globali medi stagionali approssimativi η_g : 0,6, 0,7, e 0,8.

Inoltre, si sono considerati invariabili: il fattore di correzione della differenza di temperatura in funzione del tipo di elemento opaco, poiché quest'ultimo divide un ambiente riscaldato dall'esterno, e quindi sarà $R = 1$, e il fattore di correzione che tiene conto del valore della temperatura interna media, che sarà per gli edifici residenziali $f = 0,9$.

Prendendo ad esempio, come materiale isolante, la lana di vetro *SMARTWALL FKD-S THERMAL*, della casa produttrice *KNAUFINSULATION*, e procedo con l'indagine:

si è scelta, per questo esempio, una zona climatica D

| ZONA CLIMATICA | GG | MEDIA GG |
|----------------|-------------|----------|
| D | 1400 - 2100 | 1750 |

| ZONA CLIMATICA | PERIODO DI ACCENSIONE | | ORARIO CONSENTITO | GR |
|----------------|-----------------------|--------|-------------------|-----|
| | INIZIO | FINE | | |
| D | 01-nov | 15-apr | 12 | 166 |

E un rendimento globale medio stagionale $\eta_g = 0.7$

Procedo inizialmente con il definire i dati necessari per l'indagine relativi alla zona climatica presa in considerazione

| ZONA CLIMATICA | MEDIA GG | GR | A (m ²) | R | f | η_g | ΔT |
|----------------|----------|-----|---------------------|---|-----|----------|------------|
| ZONA D | 1750 | 166 | 1 | 1 | 0,9 | 0,7 | 9,487952 |

dove:

$$\Delta T = (GG/GR) \cdot R \cdot f$$

per poi proseguire con il riportare i dati relativi all'isolante e alla parete in pietra

| d (m) | €/m² | Uiso (W/m²• K) | Uold parete (W/m²• K) | ΔU (W/m²• K) |
|--------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| 0,04 | 10,44 | 0,65 | 2,58 | 1,93 |
| 0,05 | 13,05 | 0,55 | | 2,03 |
| 0,06 | 15,63 | 0,48 | | 2,11 |
| 0,08 | 20,55 | 0,37 | | 2,21 |
| 0,1 | 25,44 | 0,31 | | 2,28 |
| 0,12 | 30,39 | 0,26 | | 2,32 |
| 0,14 | 34,89 | 0,23 | | 2,36 |
| 0,16 | 39,44 | 0,20 | | 2,38 |
| 0,18 | 45,78 | 0,18 | | 2,40 |
| 0,2 | 50,85 | 0,16 | | 2,42 |
| 0,22 | 55,9 | 0,15 | | 2,43 |
| 0,24 | 60,97 | 0,14 | | 2,45 |

Dove:

d = spessore dell'isolante termico

€/m² = prezzo dell'isolante al m²

Uiso = trasmittanza relativa l'isolante termico

Uold parete = trasmittanza relativa la parete in pietra

ΔU = differenza della trasmittanza tra la parete in pietra e l'isolante termico

Infine, definisco i valori di: potenza termica che non viene dispersa, dispersione termica, energia primaria risparmiata, risparmio monetario annuo, e gli anni che ci vorranno al fine di ottenere un ritorno a livello economico rispetto all'investimento iniziale.

| ΔQh (W/m²) | ΔQa (kWh) | Qpr (kWh) | € risp/ANNO | ANNI |
|------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------|
| 18,31 | 72,94 | 104,20 | 10,42 | 1,00 |
| 19,28 | 76,83 | 109,76 | 10,98 | 1,19 |
| 20,00 | 79,66 | 113,80 | 11,38 | 1,37 |
| 20,96 | 83,51 | 119,29 | 11,93 | 1,72 |
| 21,59 | 86,00 | 122,85 | 12,29 | 2,07 |
| 22,02 | 87,74 | 125,35 | 12,53 | 2,42 |
| 22,35 | 89,03 | 127,19 | 12,72 | 2,74 |
| 22,60 | 90,03 | 128,61 | 12,86 | 3,07 |
| 22,79 | 90,81 | 129,73 | 12,97 | 3,53 |
| 22,96 | 91,45 | 130,65 | 13,06 | 3,89 |
| 23,09 | 91,98 | 131,41 | 13,14 | 4,25 |
| 23,20 | 92,43 | 132,04 | 13,20 | 4,62 |

A questo punto risulta interessante vedere quanto isolante in termini di spessore si possa ancora aggiungere al fine di ottenere una trasmittanza utile, nei limiti descritti nel paragrafo 7.1.4, inferiore ai limiti di legge definiti e che infine apporti un risparmio energetico e monetario ulteriore rispetto a quello che già si avrebbe rispettando i limiti di legge.

Individuo quegli isolanti dove si può aggiungere almeno circa 0,02 m di spessore, e ne definisco il suo risparmio specifico per quel determinato isolante termico.

Nel caso preso in considerazione si possono aggiungere ancora 0,02 m di isolante, e quindi utilizzare direttamente uno spessore di 0,12 m che rispetto a quello di 0,1 m, che si sarebbe utilizzato per rientrare nella trasmittanza limite di legge, mi fa risparmiare in più:

| ΔQ_h (W/m ²) | ΔQ_a (kWh) | Q _{pr} (kWh) | € risp/ANNO | ANNI |
|----------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------|------|
| 0,44 | 1,74 | 2,49 | 0,25 | 0,35 |

Seguendo lo stesso procedimento, per ogni zona climatica con rendimento globale medio stagionale $\eta_g = 0.7$, ho individuato la differenza di spessore tra il limite convenzionale imposto, < del 15%, e le altre due trasmittanze limite riferite al minimo imposto dalla legge e al valore minimo che consente di ottenere una detrazione fiscale del 65%. Quindi si sono individuati gli spessori che si possono ancora aggiungere rispetto a quelli riferiti ai due limiti di legge e che non oltrepassino la soglia di trasmittanza utile, precedentemente definita.

Otterrò dei casi nei quali lo spessore da aggiungere consentirà allo stesso modo di rispettare sia le trasmittanze limite di legge che le trasmittanze limite utili alla detrazione fiscale; e casi che propongono due soluzioni possibili dove si avrà per entrambe un risparmio economico e monetario ma solo con una delle due si potrà avere accesso alla detrazione fiscale.

ZONA A-B

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI

LANA DI VETRO:

ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3

| d agg (m) | $\Delta \Phi_h$ (W/m ²) | $\Delta \Phi_a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Q _{pr} (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,33 | 0,84 | 1,19 | 0,12 | 0,78 | 0,5 |

KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta \Phi_h$ (W/m ²) | $\Delta \Phi_a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Q _{pr} (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,58 | 1,45 | 2,07 | 0,21 | 2,05 | 1,33 |

LANA DI ROCCIA:

KNAUF: SMARTWALL SC1

| d agg (m) | $\Delta \Phi_h$ (W/m ²) | $\Delta \Phi_a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Q _{pr} (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,58 | 1,45 | 2,07 | 0,21 | 2,24 | 1,45 |

KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,58 | 1,45 | 2,07 | 0,21 | 2,05 | 1,33 |

CALCIO SILICATO:**FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO**

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,50 | 1,26 | 1,80 | 0,18 | 4,31 | 2,8 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI**SCHIUMA FENOLICA****WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022**

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,03 | 0,63 | 1,59 | 2,28 | 0,23 | 4,84 | 3,14 |

POLIURETANO ESPANSO RIGIDO**STIFERITE: STIFERITE CLASS SK**

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,55 | 1,38 | 1,97 | 0,20 | 0,92 | 0,59 |

ISOSTIF: ISOCAP 8

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,55 | 1,38 | 1,97 | 0,20 | 1,04 | 0,67 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI**FIBRE DI LEGNO****FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110**

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,08 | 0,93 | 2,33 | 3,33 | 0,33 | 9,14 | 5,94 |

ZONA C**ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI****LANA DI VETRO:****KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL**

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,35 | 1,15 | 1,64 | 0,16 | 0,54 | 0,35 |

LANA DI ROCCIA:**KNAUF: SMARTWALL SC1**

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,35 | 1,15 | 1,64 | 0,16 | 0,59 | 0,38 |

KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,35 | 1,15 | 1,64 | 0,16 | 0,54 | 0,35 |

CALCIO SILICATO:

FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,32 | 1,03 | 1,48 | 0,15 | 1,13 | 0,73 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI**SCHIUMA FENOLICA:**

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,03 | 0,94 | 3,06 | 4,37 | 0,44 | 2,52 | |
| 0,02 | 0,53 | 1,74 | 2,48 | 0,25 | 1,68 | 1,09 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI**FIBRE DI LEGNO:**

FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,06 | 0,85 | 2,77 | 3,96 | 0,40 | 3,57 | 2,32 |

ZONA D**ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI****LANA DI VETRO:**

KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,44 | 1,74 | 2,49 | 0,25 | 0,35 | 0,2 |

LANA DI ROCCIA:

KNAUF: SMARTWALL SC1

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,44 | 1,74 | 2,49 | 0,25 | 0,39 | 0,25 |

KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,44 | 1,74 | 2,49 | 0,25 | 0,35 | 0,2 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI**SCHIUMA FENOLICA:**

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,01 | 0,29 | 1,15 | 1,65 | 0,16 | 0,56 | 0,36 |
| 0,02 | 0,66 | 2,64 | 3,78 | 0,38 | 1,11 | |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI**FIBRE DI LEGNO:**

FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,60 | 2,39 | 3,41 | 0,34 | 1,56 | 1,01 |
| 0,06 | 1,06 | 4,21 | 6,02 | 0,6 | 2,35 | |

5.2 MURATURA A CASSA VUOTA

La seconda parete considerata è quella in muratura a cassa vuota in laterizio forato, così generalmente descritta nel paragrafo 5.5 della normativa UNI/TR 11552 dell'Otto-ottobre 2014, *Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici*.

| Strato | d [cm] | ρ [kg/m ³] | c [J/(kg K)] | λ [W/m K] | R [m ² K/W] |
|------------------------|----------|-----------------------------|--------------|-------------------|--------------------------------------------|
| 1 Intonaco interno | 2 | 1400 | 1000 | 0,700 | - |
| 2 Mattoni forati | 8 12 | 800 | 1000 | - | 0,200 ^{a)} 0,310 ^{a)} |
| 3 Intercapedine d'aria | 2,5/30 | - | - | - | 0,180 ^{b)} |
| 4 Mattoni forati | 12 25 | 800 | 1000 | - | 0,310 ^{a)} 0,890 ^{a)} |
| 5 Intonaco esterno | 2 | 1800 | 1000 | 0,900 | - |

Considerando, come per la parete in pietra, abitazioni residenziali, la temperatura interna t_a è fissata per legge a 20 °C. Anche la temperatura minima esterna stagionale t_e o temperatura esterna di progetto per le diverse località è stabilita dalla *legge n° 10 del 1991 e del Regolamento d'applicazione n. 412 del 1993* e, secondo questa, a Genova risulta 0°C.

Inoltre, ricavando dal paragrafo 5.2 della norma UNI EN ISO 6946:2008, *Componenti ed elementi per edilizia, Resistenza termica e trasmittanza termica, metodo di calcolo*, le resistenze termiche superficiali

| | Direzione del flusso termico | | |
|----------|------------------------------|-------------|-------------|
| | Ascendente | Orizzontale | Discendente |
| R_{si} | 0,10 | 0,13 | 0,17 |
| R_{se} | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

otteniamo i nostri valori che saranno per la nostra parete orizzontale $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ ed $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$

5.2.1 ANDAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI DELLA NORMATIVA UNI 10351

Una volta definiti i valori costituenti la muratura a cassa vuota in laterizio forati, ottengo la resistenza totale delle resistenze superficiali e dei singoli strati.

| MURATURA A CASSA VUOTA | | | | | |
|------------------------|------------|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| DESCRIZIONE STRATI | d (m) | λ (w/mk) | R (m ² • K/W) | U (W/m ² • K) | ϕ (W/m ²) |
| Rsi | | | 0,13 | | |
| INTONACO INTERNO | 0,02 | 0,7 | 0,029 | | |
| MATTONI FORATI | 0,08 | | 0,2 | | |
| INTERCAPEDINE | 0,16 | | 0,18 | | |
| MATTONI FORATI | 0,12 | | 0,31 | | |
| INTONACO ESTERNO | 0,02 | 0,9 | 0,022 | | |
| Rse | | | 0,04 | | |
| TOT | 0,4 | | 0,911 | 1,098 | 21,959 |

Successivamente applico strati di isolante, che vanno da 0.02 m a 0.24 m di spessore, di ogni singolo materiale isolante, precedentemente scelto per essere utilizzato nel cappotto, a questa muratura.

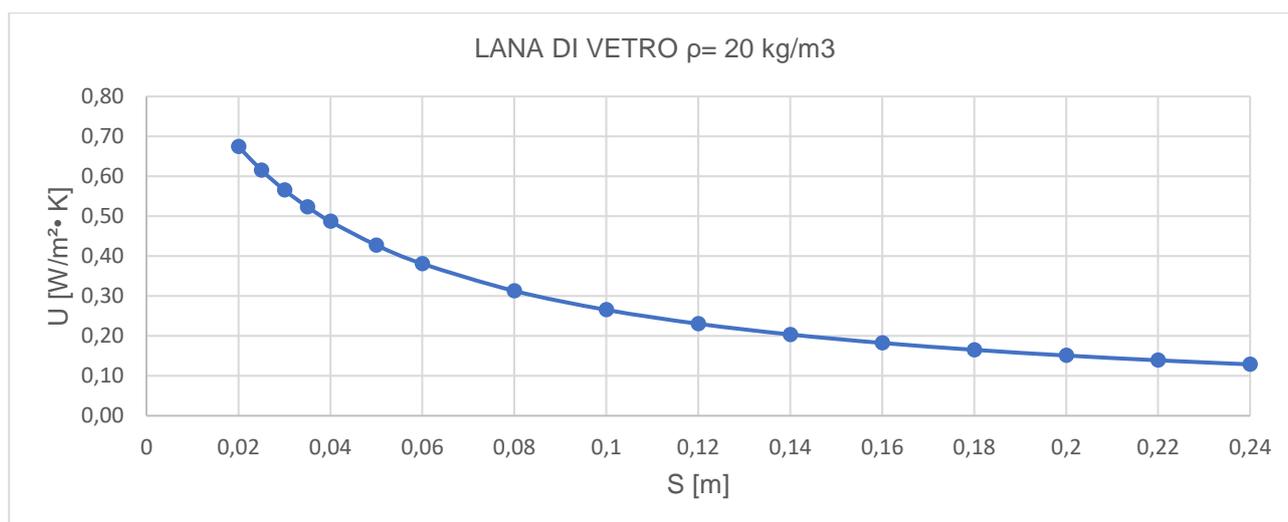
Inizialmente dalle varie stratigrafie del materiale ne ricavo le caratteristiche come in esempio:

| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI | | | | | |
|---------------------------------------|--------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| ISOLANTE | d (cm) | densità (kg/m ³) | λ (w/mk) UNI10351 | R (m ² K/W) | C (W/m ² K) |
| LANA DI VETRO pannello | 0,02 | 20 | 0,035 | 0,571 | 1,75 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,025 | 20 | 0,035 | 0,714 | 1,40 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,03 | 20 | 0,035 | 0,857 | 1,17 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,035 | 20 | 0,035 | 1,000 | 1,00 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,04 | 20 | 0,035 | 1,143 | 0,88 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,05 | 20 | 0,035 | 1,429 | 0,70 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,06 | 20 | 0,035 | 1,714 | 0,58 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,08 | 20 | 0,035 | 2,286 | 0,44 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,1 | 20 | 0,035 | 2,857 | 0,35 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,12 | 20 | 0,035 | 3,429 | 0,29 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,14 | 20 | 0,035 | 4,000 | 0,25 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,16 | 20 | 0,035 | 4,571 | 0,22 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,18 | 20 | 0,035 | 5,143 | 0,19 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,2 | 20 | 0,035 | 5,714 | 0,18 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,22 | 20 | 0,035 | 6,286 | 0,16 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,24 | 20 | 0,035 | 6,857 | 0,15 |

Successivamente applicando queste stratigrafie alla nostra muratura ottengo nuovi valori di Resistenza e le nostre trasmittanze relative a quel determinato spessore:

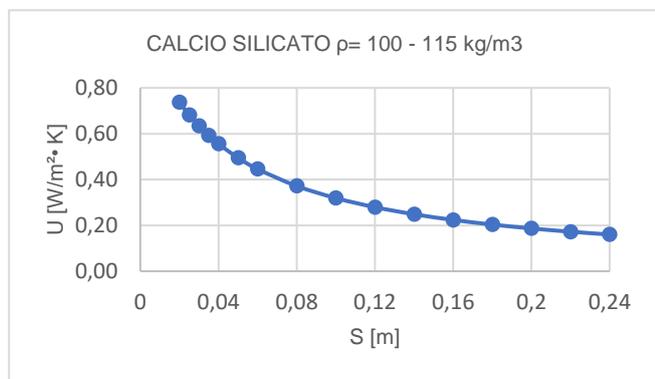
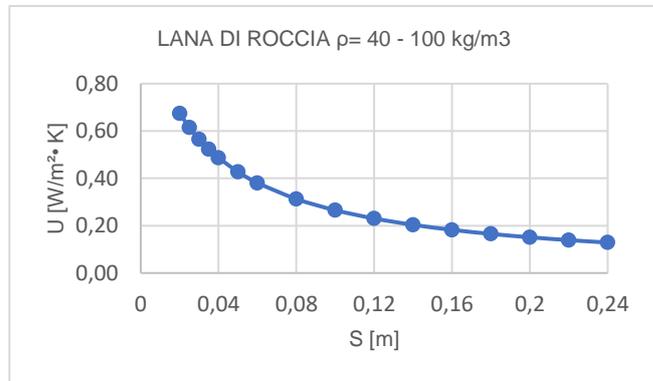
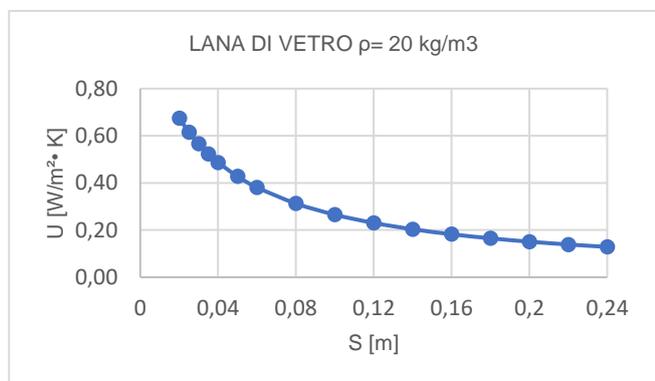
| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI | | | | |
|----------------------------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| ISOLANTE + MURATURA CASSA VUOTA | d (cm) | R (m ² • K/W) | U (W/m ² • K) | φ (W/m ²) |
| LANA DI VETRO pannello | 0,02 | 1,482 | 0,675 | 13,493 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,025 | 1,625 | 0,615 | 12,307 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,03 | 1,768 | 0,566 | 11,313 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,035 | 1,911 | 0,523 | 10,467 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,04 | 2,054 | 0,487 | 9,739 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,05 | 2,339 | 0,427 | 8,549 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,06 | 2,625 | 0,381 | 7,619 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,08 | 3,197 | 0,313 | 6,257 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,1 | 3,768 | 0,265 | 5,308 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,12 | 4,339 | 0,230 | 4,609 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,14 | 4,911 | 0,204 | 4,073 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,16 | 5,482 | 0,182 | 3,648 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,18 | 6,054 | 0,165 | 3,304 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,2 | 6,625 | 0,151 | 3,019 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,22 | 7,197 | 0,139 | 2,779 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,24 | 7,768 | 0,129 | 2,575 |

A questo punto si può notare attraverso dei grafici come la Trasmittanza diminuisca linearmente all'aumentare dello spessore:

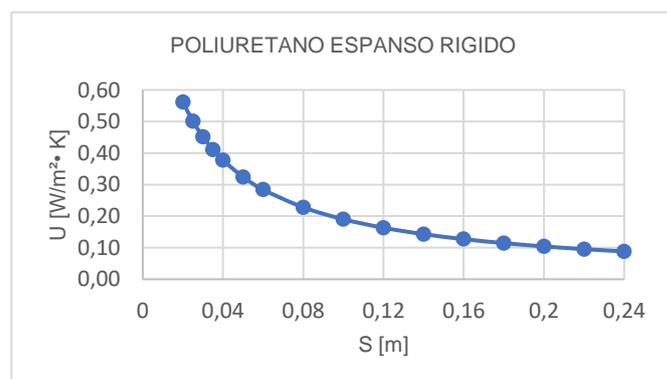
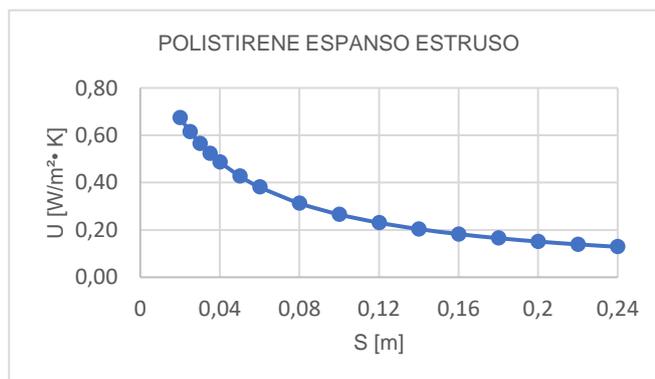
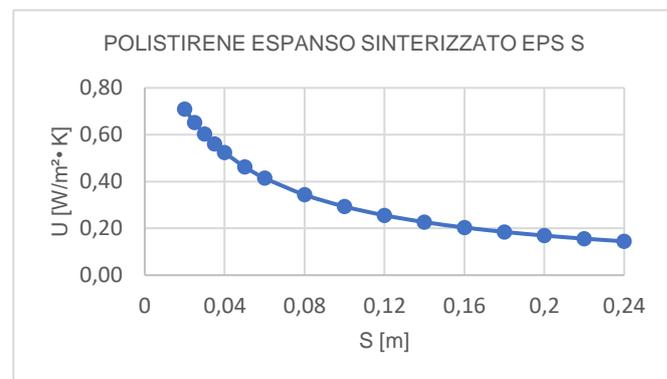
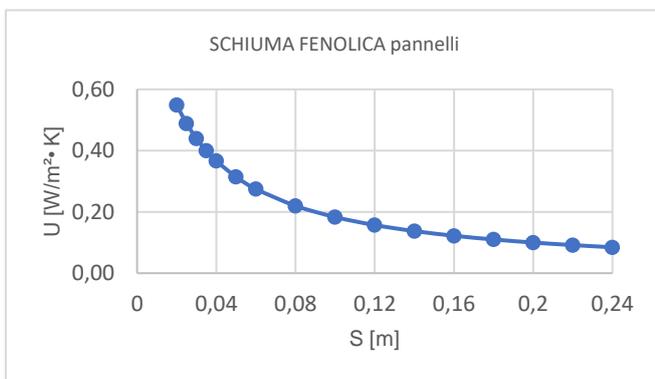


Così facendo riesco ad individuare tutti i comportamenti della Trasmittanza in relazione ai diversi spessori di tutti i materiali isolanti presi in considerazione, di cui ne riporto i principali per ogni categoria:

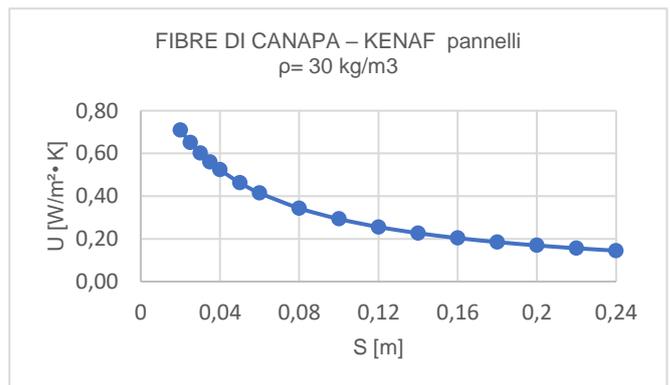
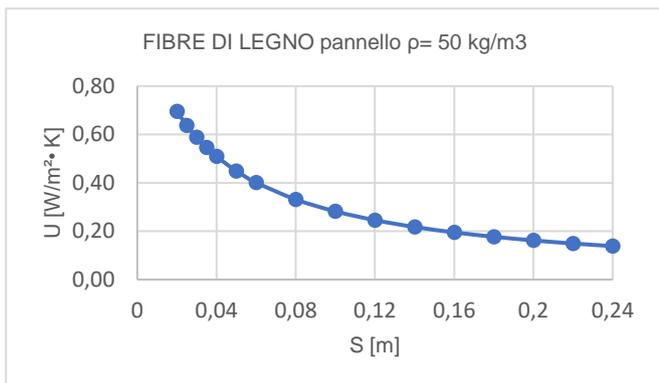
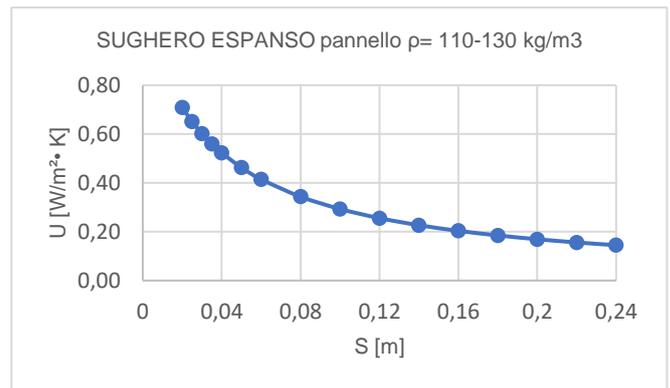
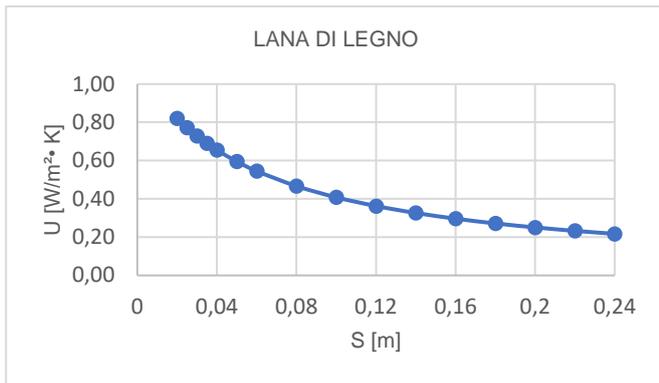
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI



ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI



ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI



5.2.2 ANDAMENTO PERCENTUALE DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPES- SORE DEI MATERIALI DELLA NORMATIVA 10351

In una seconda fase dell'indagine si è cercato di ottenere l'andamento in percentuale della Trasmittanza a seconda del diverso spessore dell'isolante utilizzato, e di verificarne una soglia oltre la quale non abbia senso continuare ad aumentarne lo spessore poiché la trasmittanza, dopo questa, visibilmente non decresce particolarmente.

Il metodo considera:

$$U_1 = \frac{1}{R_{old} + \frac{S_{is}}{\lambda_{is}}}$$

$$U_2 = \frac{1}{R_{old} + \frac{S_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{\Delta S}{\lambda_{is}}}$$

dove:

R_{old} = è la Resistenza della parete in pietra [m²K/W]

S_{is} = è lo strato dell'isolante preso in considerazione [m]

λ_{is} = è la conducibilità termica dello strato di isolante preso in considerazione [W/mK]

ΔS = è l'aggiunta di uno strato di spessore dell'isolante [m]

e stabilisce quel limite in percentuale, di cui si è parlato, al 15%:

$$\frac{\Delta U}{U_1} 100 \leq 15\%$$

Dove:

$\Delta U = U_2 - U_1$, ovvero la differenza delle due trasmittanze trovate [W/m²K]

Quindi, ad esempio, prendo in considerazione: un materiale isolante

| ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI | | | | |
|----------------------------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| ISOLANTE + MURATURA CASSA VUOTA | d (cm) | R (m²• K/W) | U (W/m²• K) | ϕ (W/m²) |
| LANA DI VETRO pannello | 0,02 | 1,482 | 0,675 | 13,493 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,025 | 1,625 | 0,615 | 12,307 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,03 | 1,768 | 0,566 | 11,313 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,035 | 1,911 | 0,523 | 10,467 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,04 | 2,054 | 0,487 | 9,739 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,05 | 2,339 | 0,427 | 8,549 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,06 | 2,625 | 0,381 | 7,619 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,08 | 3,197 | 0,313 | 6,257 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,1 | 3,768 | 0,265 | 5,308 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,12 | 4,339 | 0,230 | 4,609 |

| ISOLANTE + MURATURA CASSA VUOTA | d (cm) | R (m ² • K/W) | U (W/m ² • K) | ϕ (W/m ²) |
|---------------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| LANA DI VETRO pannello | 0,14 | 4,911 | 0,204 | 4,073 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,16 | 5,482 | 0,182 | 3,648 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,18 | 6,054 | 0,165 | 3,304 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,2 | 6,625 | 0,151 | 3,019 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,22 | 7,197 | 0,139 | 2,779 |
| LANA DI VETRO pannello | 0,24 | 7,768 | 0,129 | 2,575 |

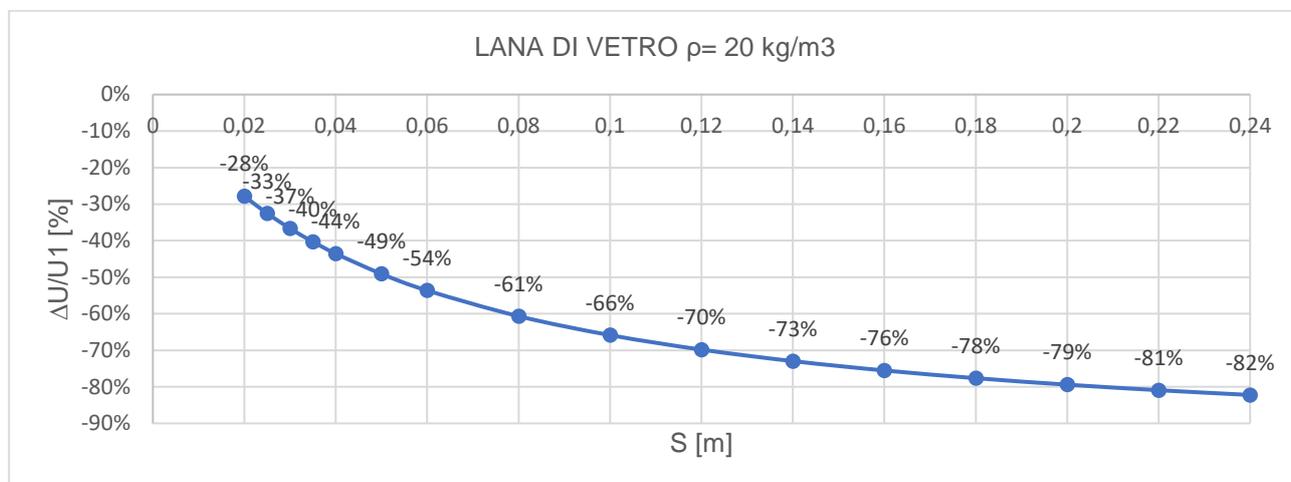
e la Resistenza totale della muratura a cassa vuota

| MURATURA A CASSA VUOTA | R (m ² K/W) |
|------------------------|------------------------|
| Rsi | 0,13 |
| INTONACO INTERNO | 0,029 |
| MATTONI FORATI | 0,2 |
| INTERCAPEDINE | 0,18 |
| MATTONI FORATI | 0,31 |
| INTONACO ESTERNO | 0,022 |
| Rse | 0,04 |
| TOT | 0,911 |

Procedo con le formulazioni precedentemente illustrate:

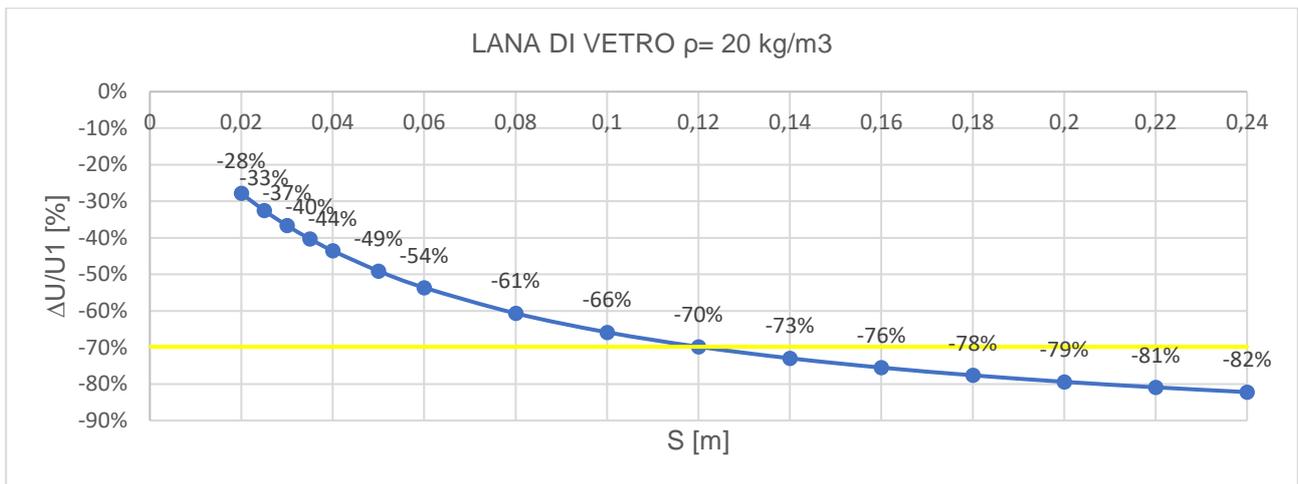
| U1 (W/ m ² K) | U2 (W/ m ² K) | (ΔU/U1) 100 (%) |
|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| 0,67 | 0,49 | -28% |
| | 0,46 | -33% |
| | 0,43 | -37% |
| | 0,40 | -40% |
| | 0,38 | -44% |
| | 0,34 | -49% |
| | 0,31 | -54% |
| | 0,27 | -61% |
| | 0,23 | -66% |
| | 0,20 | -70% |
| | 0,18 | -73% |
| | 0,17 | -76% |
| | 0,15 | -78% |
| | 0,14 | -79% |
| | 0,13 | -81% |
| | 0,12 | -82% |

Ottingo il grafico dove si può notare l'andamento negativo in percentuale della Trasmittanza dell'isolante preso in considerazione applicato alla muratura a cassa vuota in laterizio forato.



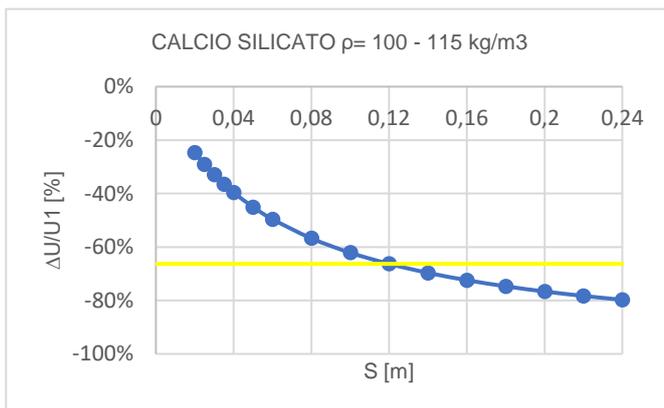
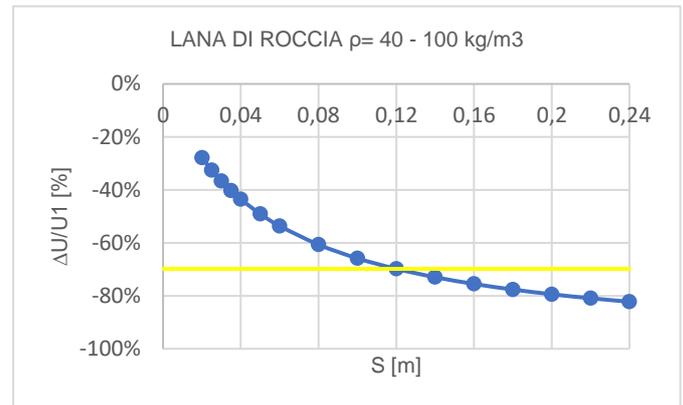
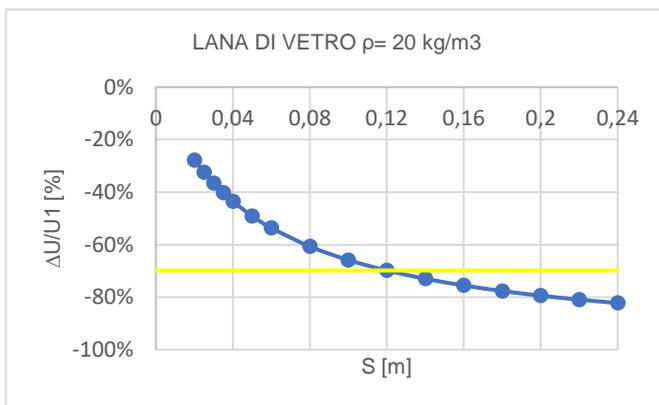
Infine, si è individuato in quale punto dello spessore la Trasmittanza di quel determinato isolante non decresca per più del 15% e lo si è rappresentato nel grafico:

| Δs (m) | Δ% | Δ%<-15% |
|------------|------|---------|
| 0,02-0,24 | -54% | |
| 0,025-0,24 | -50% | |
| 0,03-0,24 | -46% | |
| 0,035-0,24 | -42% | |
| 0,04-0,24 | -39% | |
| 0,05-0,24 | -33% | |
| 0,06-0,24 | -29% | |
| 0,08-0,24 | -22% | |
| 0,1-0,24 | -16% | |
| 0,12-0,24 | -12% | -12% |
| 0,14-0,24 | -9% | -9% |
| 0,16-0,24 | -7% | -7% |
| 0,18-0,24 | -5% | -5% |
| 0,2-0,24 | -3% | -3% |
| 0,22-0,24 | -1% | -1% |
| 0,24-0,24 | 0% | 0% |

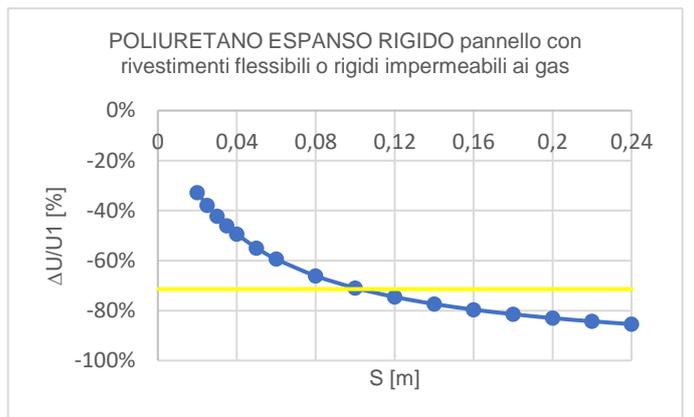
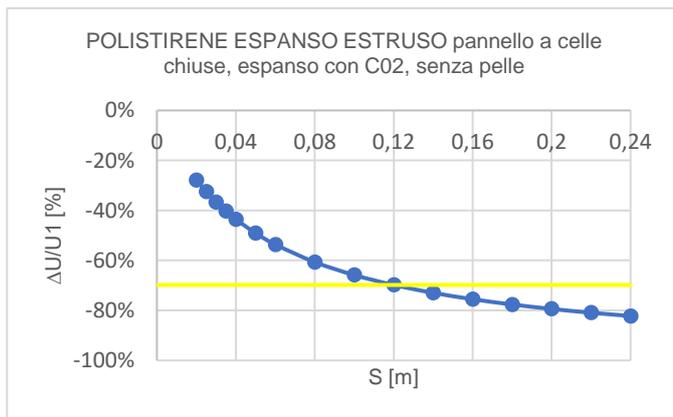
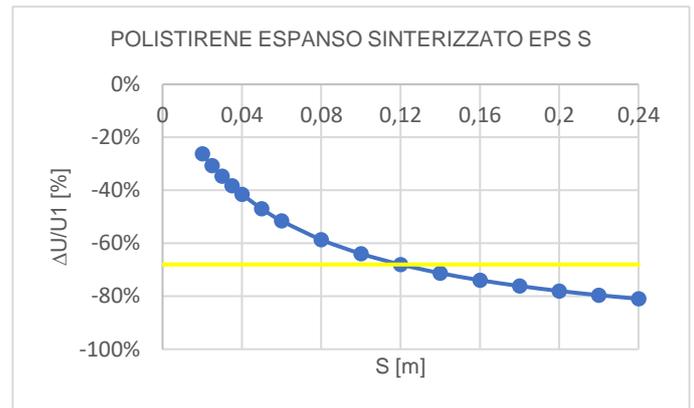
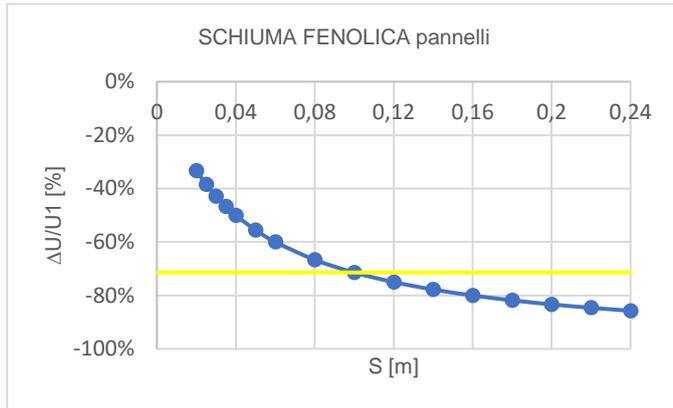


Così facendo si sono individuate tutte le ipotetiche trasmittanze limite di ogni materiale isolante in relazione alla muratura considerata, di cui ne riporto i principali per ogni categoria:

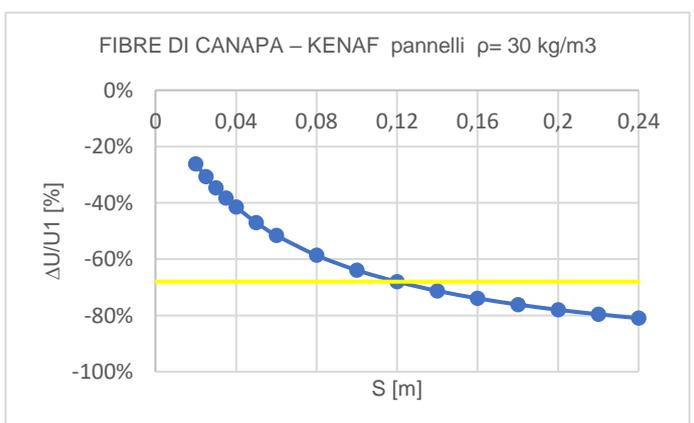
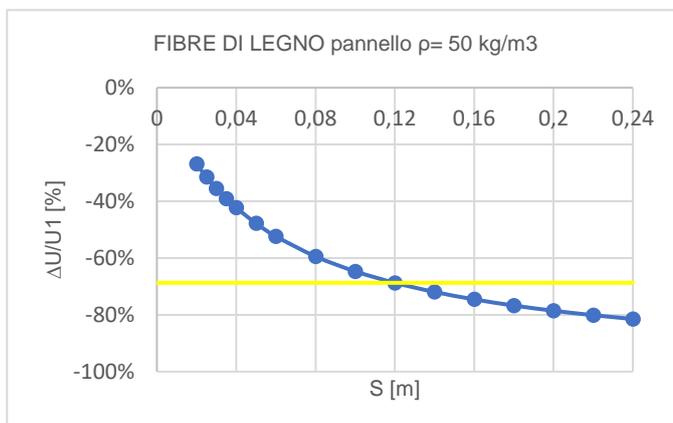
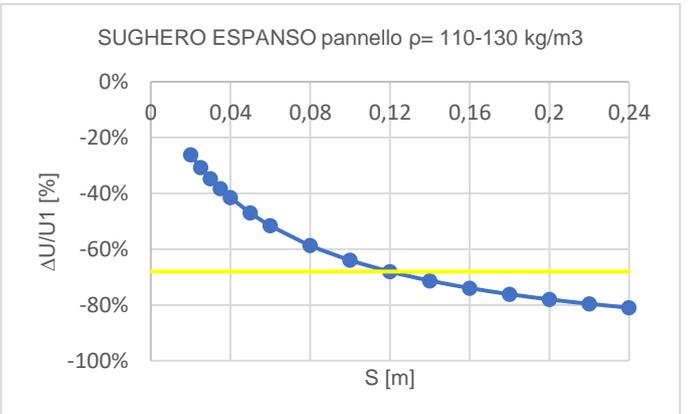
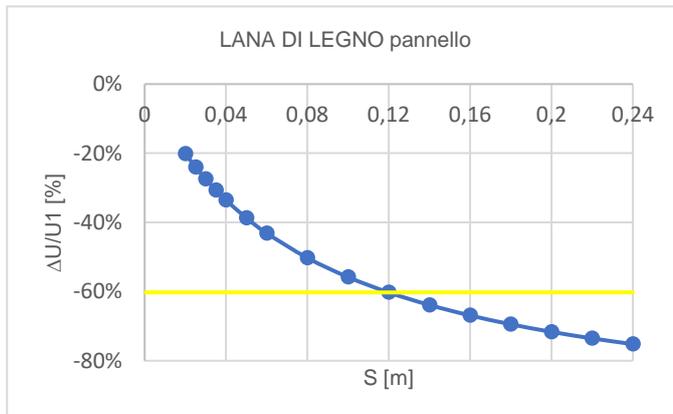
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI



ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI



ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI



5.2.3 ANDAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI IN COMMERCIO

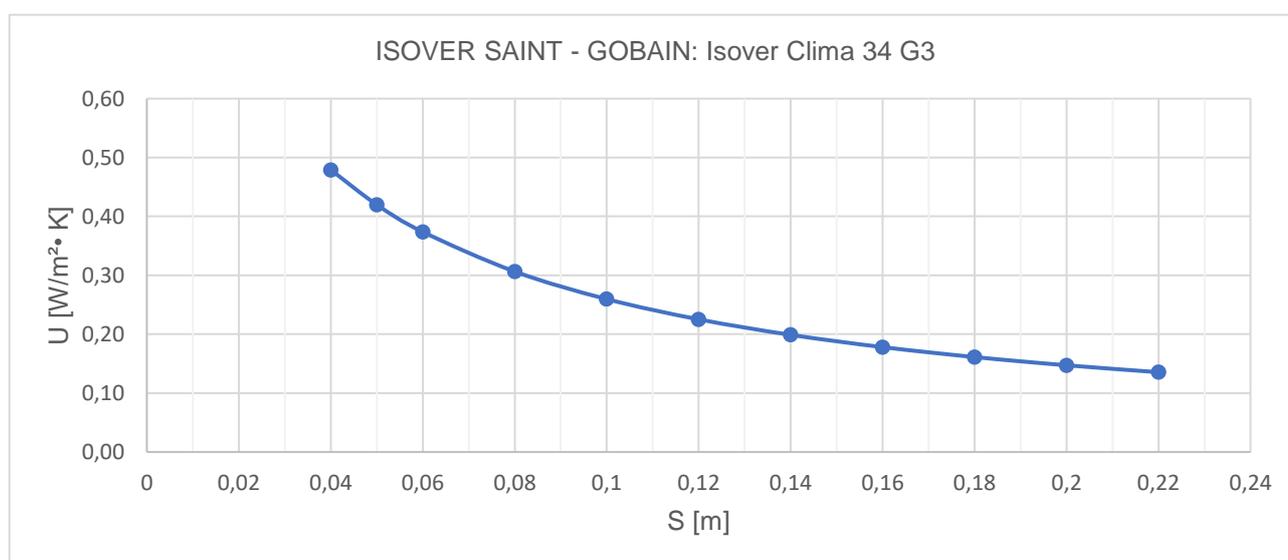
Applicando le medesime regole descritte nel paragrafo 7.1.2 del capitolo 7, ottengo l'andamento in percentuale della Trasmittanza a seconda del diverso spessore dell'isolante utilizzato, e di conseguenza ottengo quello spessore oltre il quale non abbia senso continuare ad aumentare poiché la trasmittanza, dopo questo, visibilmente non decresce particolarmente.

Alla luce di questo, come esempio, prendo in considerazione: un materiale presente in commercio

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO

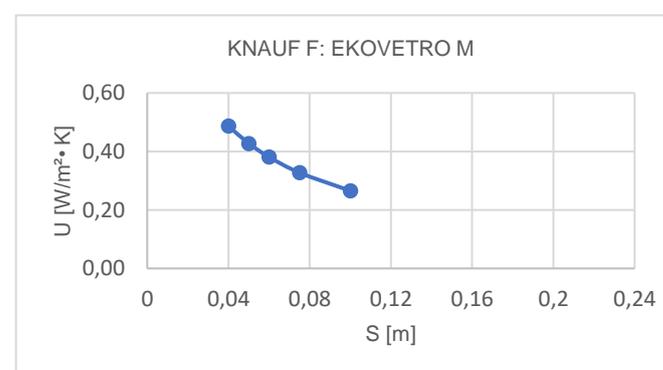
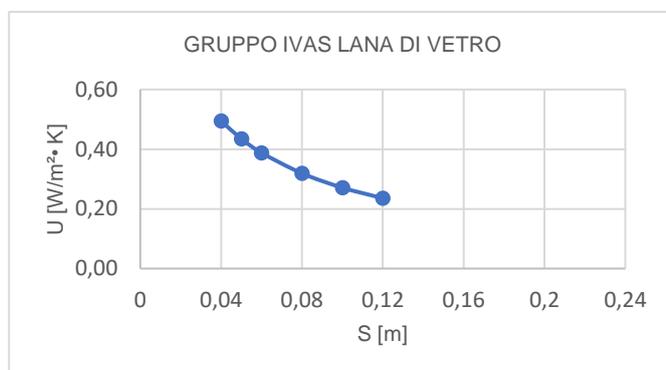
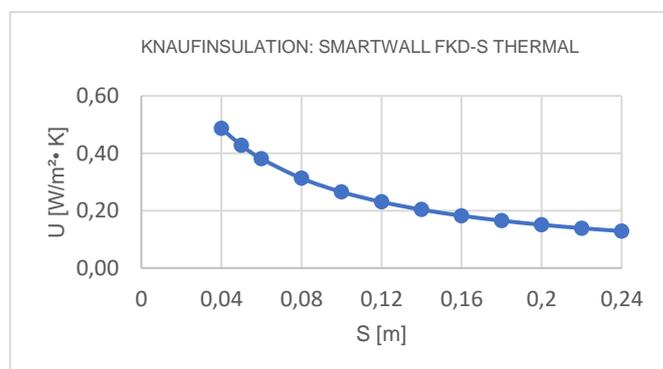
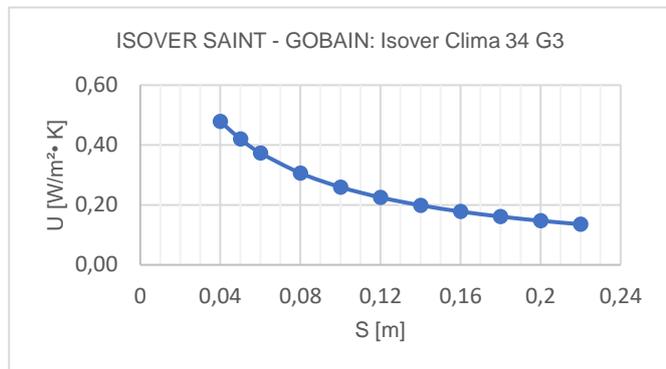
| ISOLANTE + PARETE IN MURATURA | R (m ² • K/W) | U (W/m ² • K) | φ (W/m ²) |
|-------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 2,087 | 0,48 | 9,582 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 2,381 | 0,42 | 8,398 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 2,675 | 0,37 | 7,475 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 3,264 | 0,31 | 6,128 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 3,852 | 0,26 | 5,192 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 4,440 | 0,23 | 4,504 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 5,028 | 0,20 | 3,977 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 5,617 | 0,18 | 3,561 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 6,205 | 0,16 | 3,223 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 6,793 | 0,15 | 2,944 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 7,381 | 0,14 | 2,710 |

A questo punto si può notare attraverso dei grafici come la Trasmittanza diminuisca linearmente all'aumentare dello spessore, anche in questi materiali:

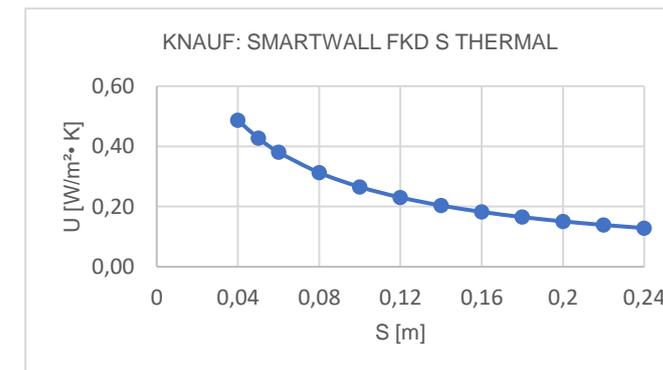
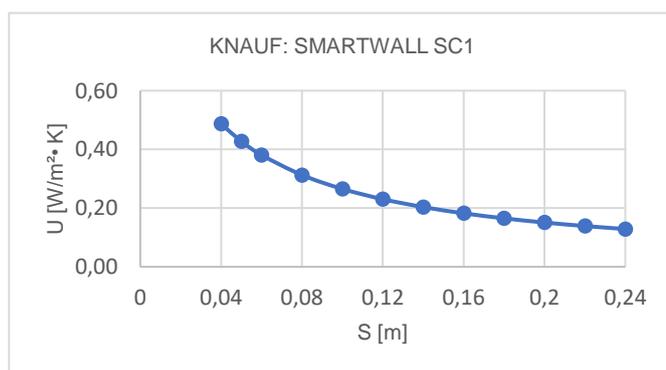
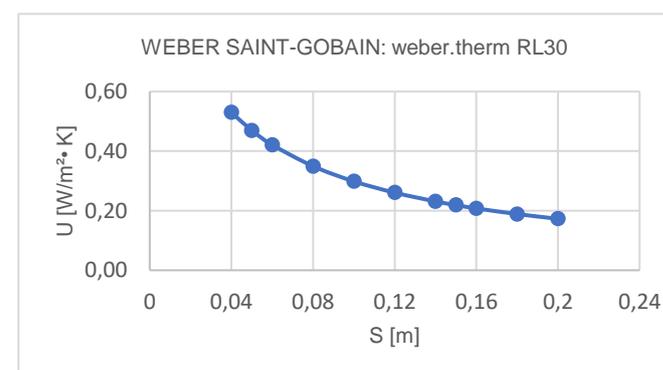
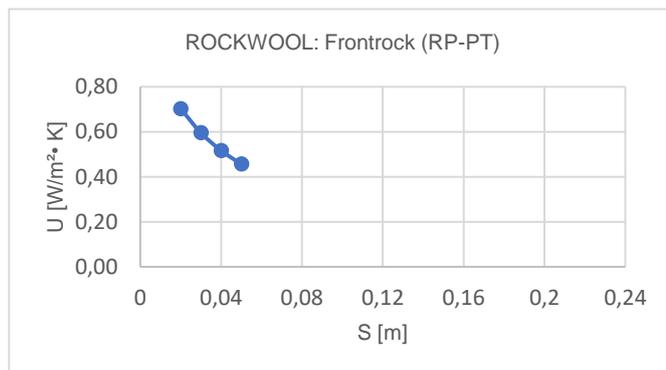


Così facendo riesco ad individuare tutti i comportamenti della Trasmittanza in relazione ai diversi spessori di tutti i materiali isolanti in commercio presi in considerazione:

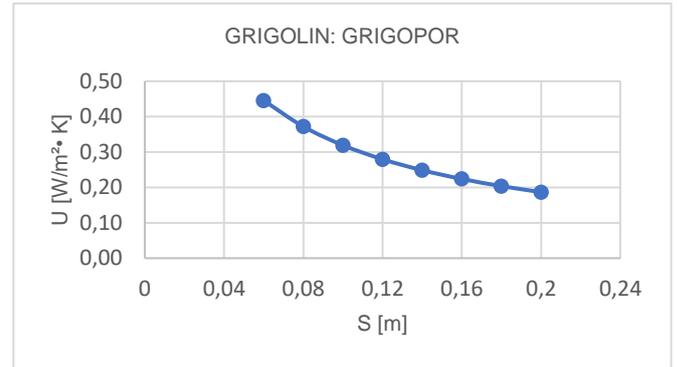
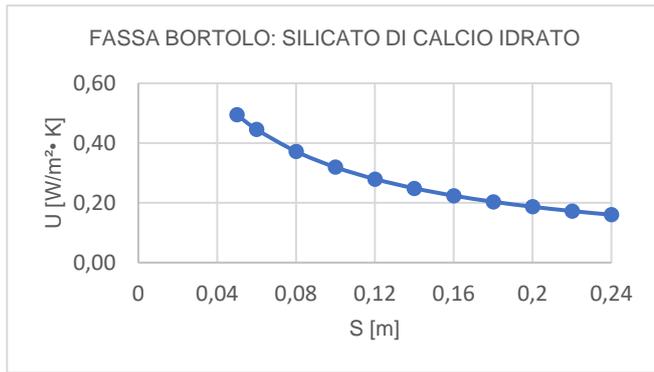
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO



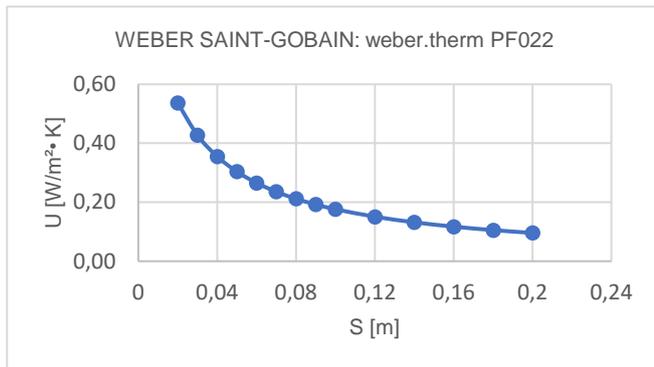
LANA DI ROCCIA



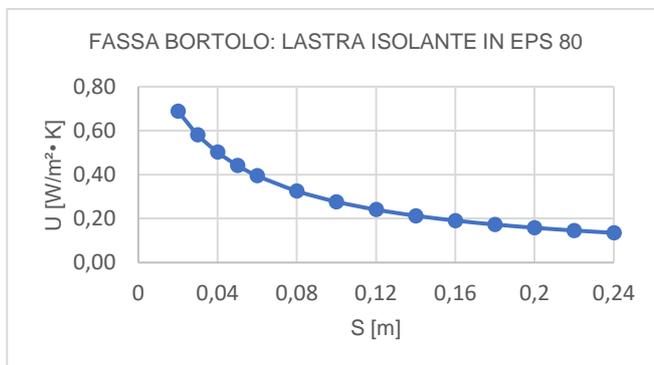
CALCIO SILICATO



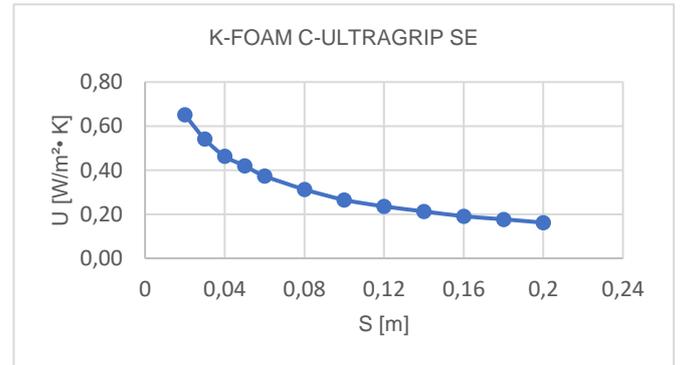
ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI SCHIUMA FENOLICA



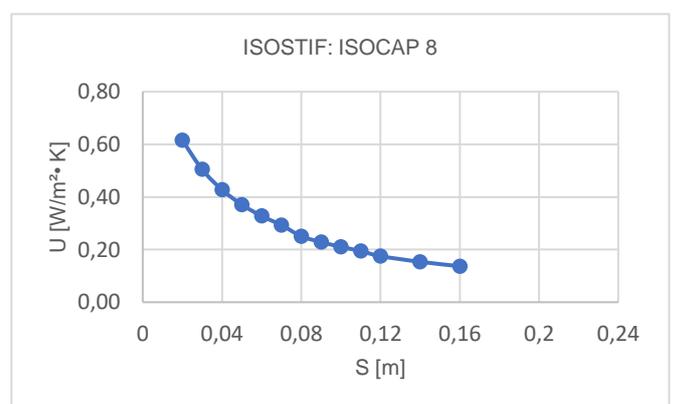
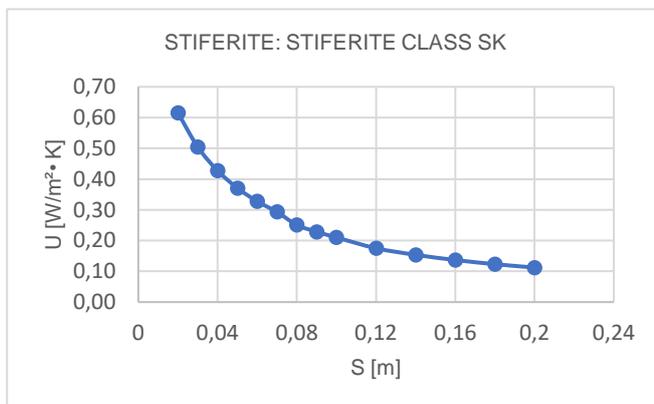
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS

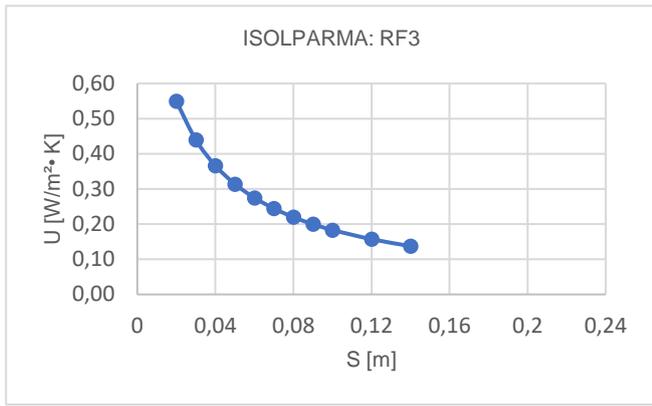


POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS

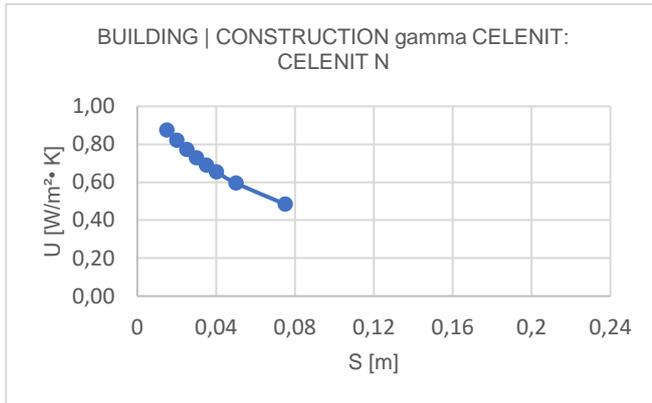


POLIURETANO ESPANSO RIGIDO

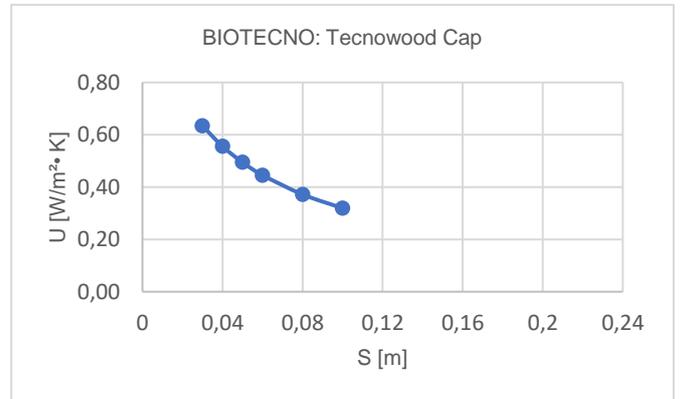
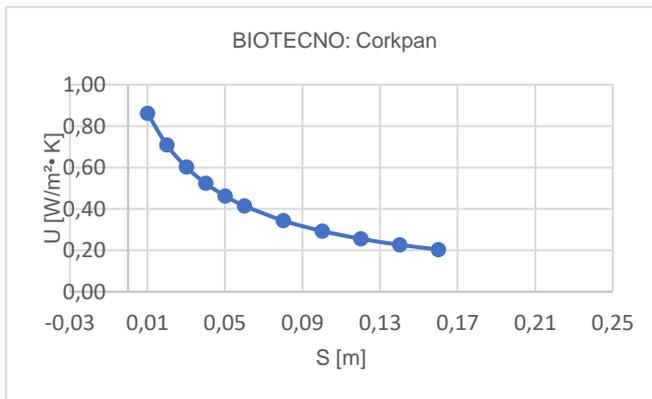




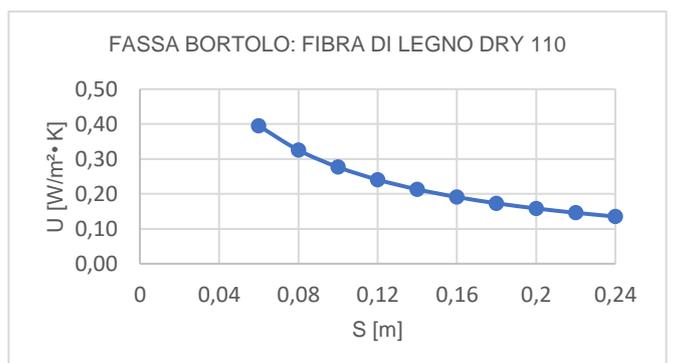
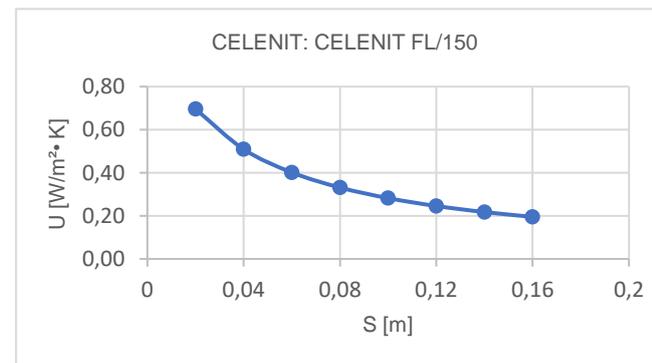
**ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI
LANA DI LEGNO**



SUGHERO ESPANSO



FIBRE DI LEGNO



5.2.4 ANDAMENTO PERCENTUALE DELLA TRASMITTANZA IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DEI MATERIALI IN COMMERCIO

Applicando le medesime regole descritte nel paragrafo 7.1.2 del capitolo 7, ottengo l'andamento in percentuale della Trasmittanza a seconda del diverso spessore dell'isolante utilizzato, e di conseguenza ottengo quello spessore oltre il quale non abbia senso continuare ad aumentare poiché la trasmittanza, dopo questo, visibilmente non decresce particolarmente.

Alla luce di questo, come esempio, prendo in considerazione: un materiale presente in commercio

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO

| ISOLANTE | d (m) | λD (w/mk) | R (m ² K/W) |
|-------------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,04 | 0,034 | 1,176 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,05 | 0,034 | 1,471 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,06 | 0,034 | 1,765 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,08 | 0,034 | 2,353 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,1 | 0,034 | 2,941 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,12 | 0,034 | 3,529 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,14 | 0,034 | 4,118 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,16 | 0,034 | 4,706 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,18 | 0,034 | 5,294 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,2 | 0,034 | 5,882 |
| ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3 | 0,22 | 0,034 | 6,471 |

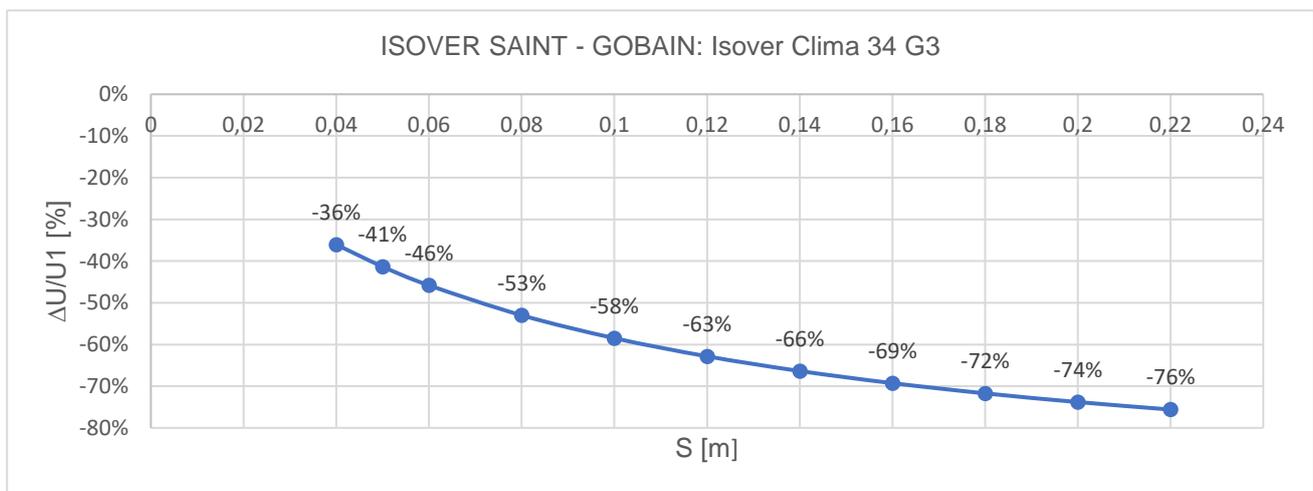
e la Resistenza totale della parete in pietra.

| MURATURA A CASSA VUOTA | R (m ² K/W) |
|------------------------|------------------------|
| R _{si} | 0,13 |
| INTONACO INTERNO | 0,029 |
| MATTONI FORATI | 0,2 |
| INTERCAPEDINE | 0,18 |
| MATTONI FORATI | 0,31 |
| INTONACO ESTERNO | 0,022 |
| R _{se} | 0,04 |
| TOT | 0,911 |

Procedo con le formulazioni precedentemente illustrate nel paragrafo 7.1.2

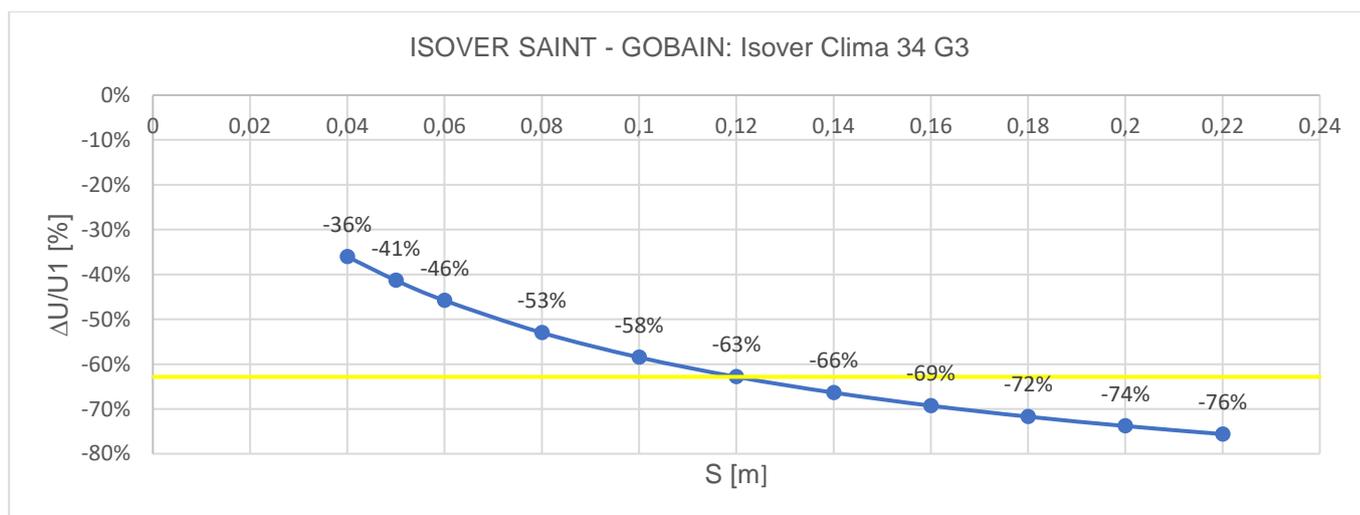
| U1 (W/ m ² K) | U2 (W/ m ² K) | ($\Delta U/U1$) 100 (%) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0,48 | 0,31 | -36% |
| | 0,28 | -41% |
| | 0,26 | -46% |
| | 0,23 | -53% |
| | 0,20 | -58% |
| | 0,18 | -63% |
| | 0,16 | -66% |
| | 0,15 | -69% |
| | 0,14 | -72% |
| | 0,13 | -74% |
| | 0,12 | -76% |

Otengo il grafico dove si può notare l'andamento negativo in percentuale della Trasmittanza dell'isolante in commercio preso in considerazione applicato alla muratura a cassa vuota in mattoni forati.



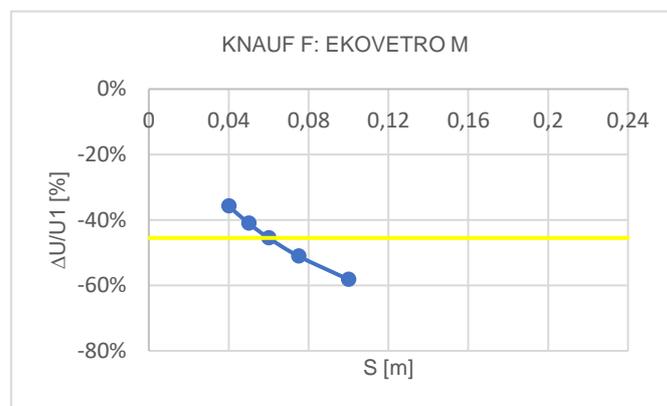
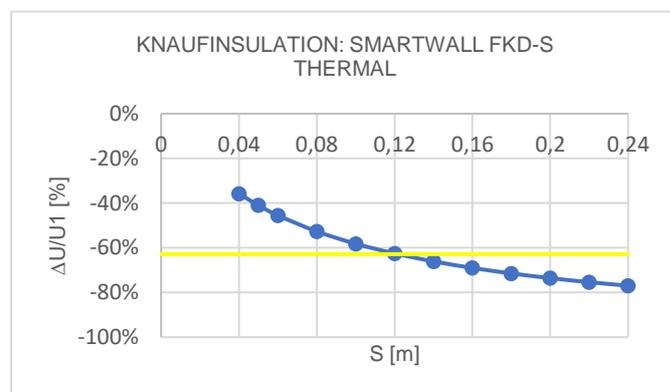
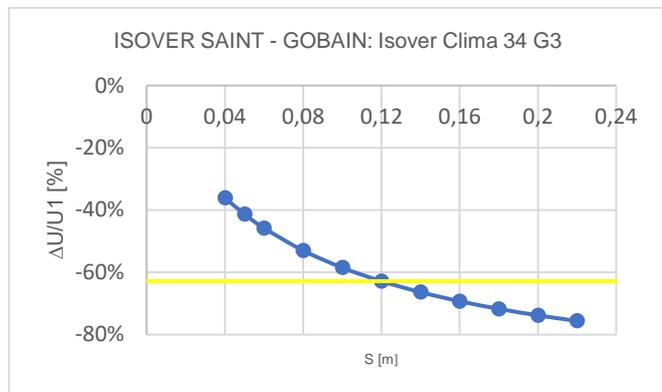
Infine, si è individuato in quale punto dello spessore la Trasmittanza di quel determinato isolante non decresca per più del 15% e lo si è rappresentato nel grafico:

| Δs (cm) | $\Delta\%$ | $\Delta\% < -15\%$ |
|-----------------|------------|--------------------|
| 0,04-0,22 | -40% | |
| 0,05-0,22 | -34% | |
| 0,06-0,22 | -30% | |
| 0,08-0,22 | -23% | |
| 0,01-0,22 | -17% | |
| 0,12-0,22 | -13% | -13% |
| 0,14-0,22 | -9% | -9% |
| 0,16-0,22 | -6% | -6% |
| 0,18-0,22 | -4% | -4% |
| 0,2-0,22 | -2% | -2% |
| 0,22-0,22 | 0% | 0% |

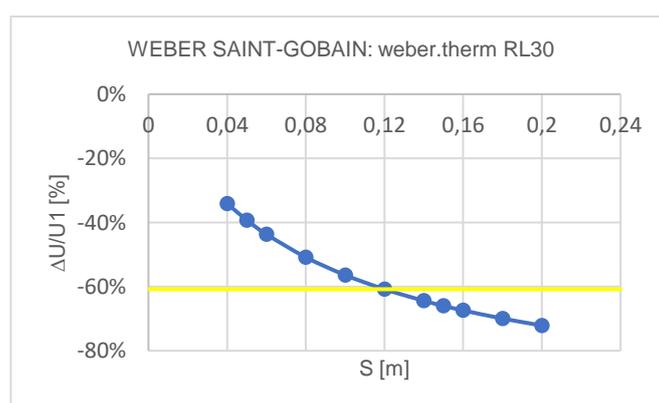
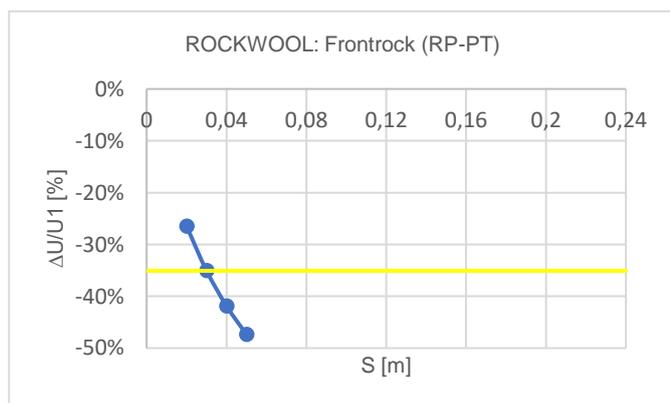


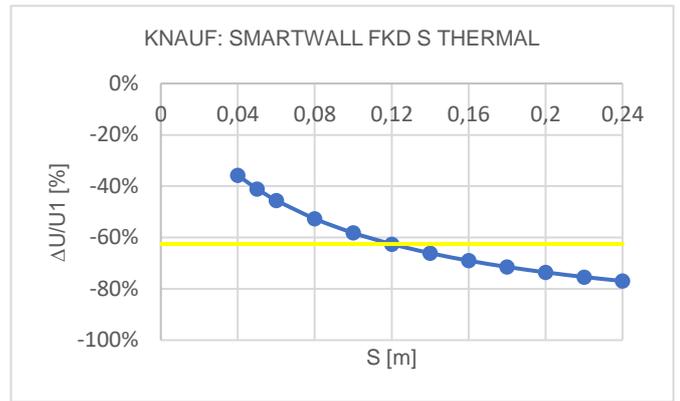
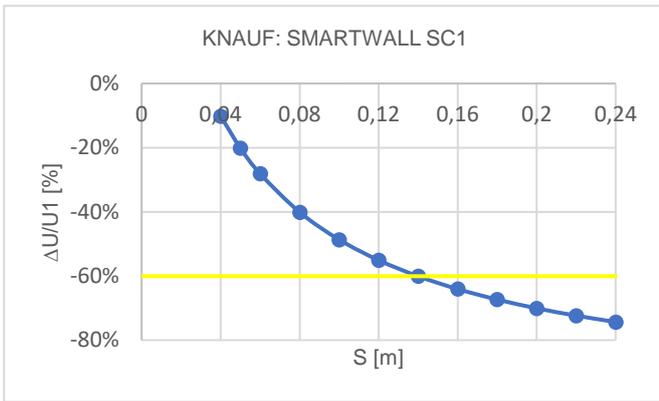
Così facendo si sono individuate tutte le ipotetiche trasmittanze limite di ogni materiale isolante in relazione alla parete in pietra considerata:

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO

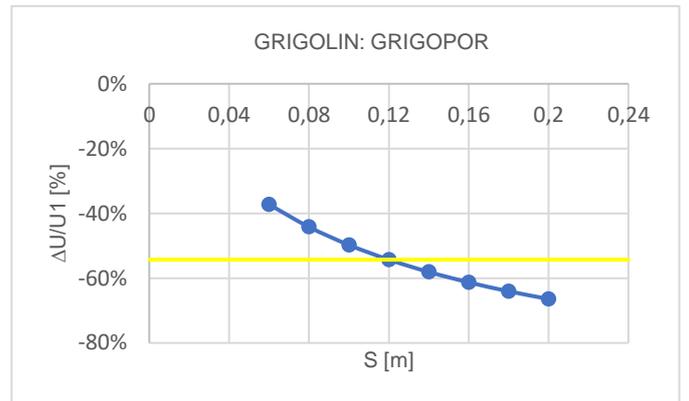
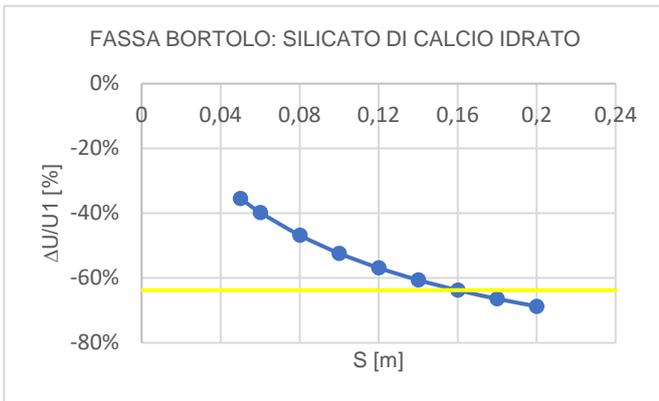


LANA DI ROCCIA

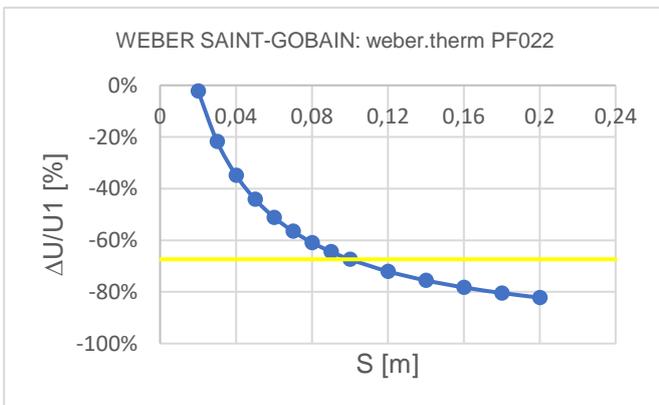




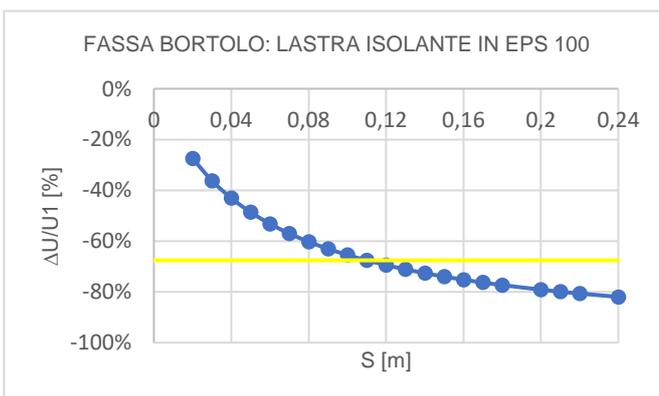
CALCIO SILICATO



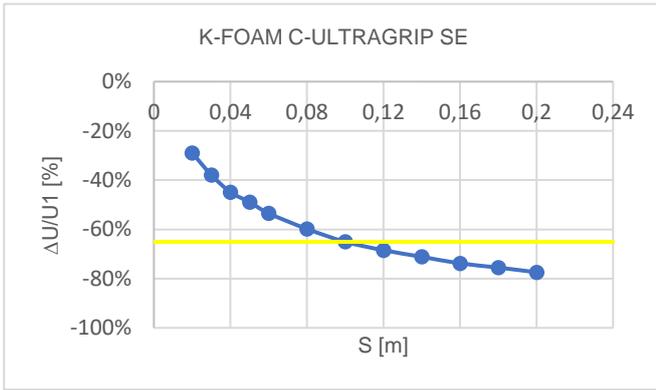
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI SCHIUMA FENOLICA



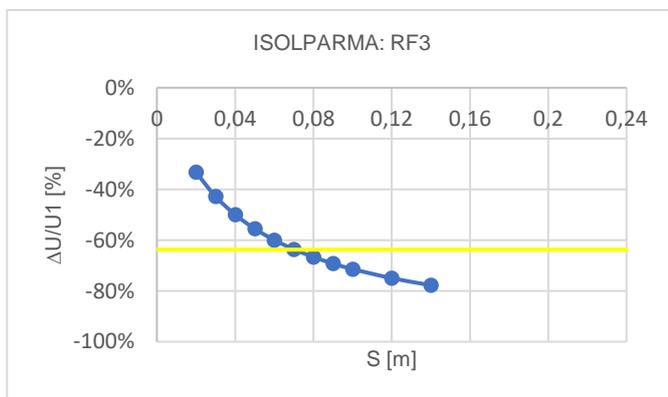
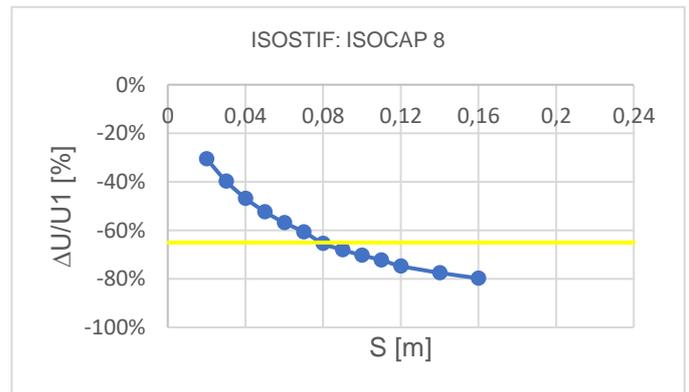
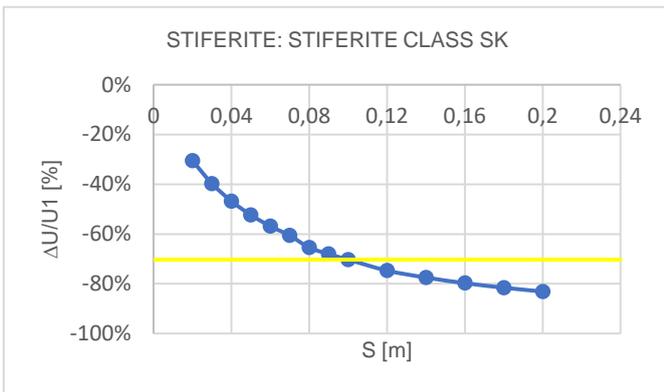
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS



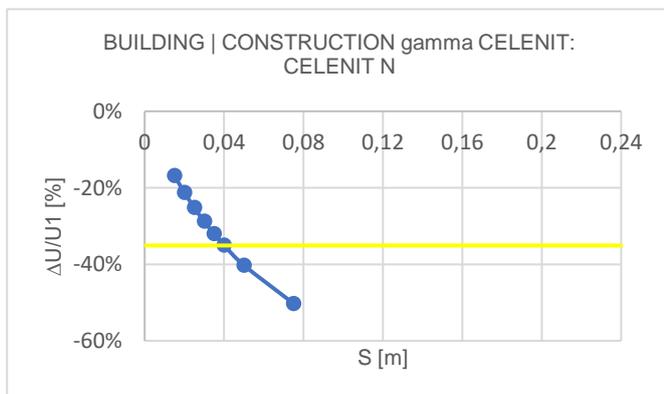
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS



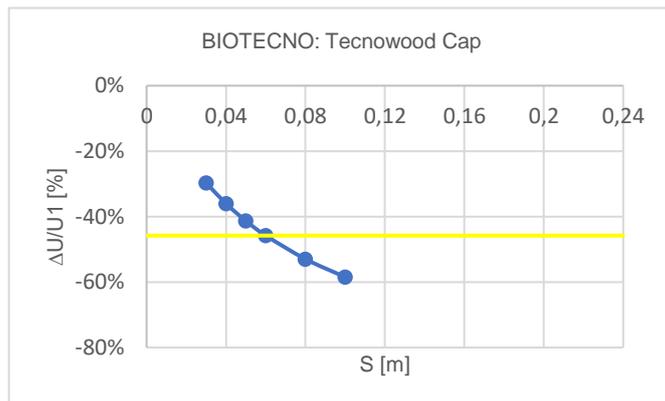
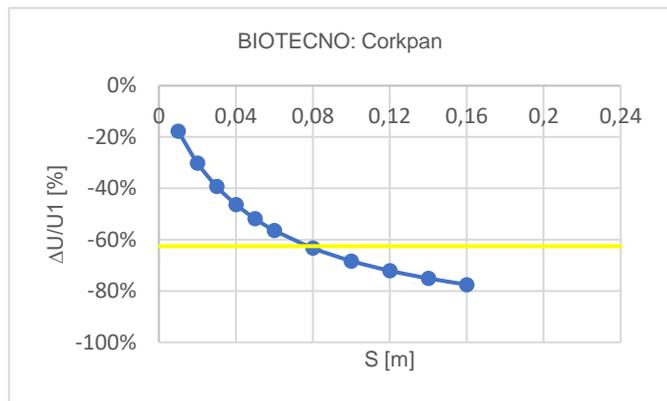
POLIURETANO ESPANSO RIGIDO



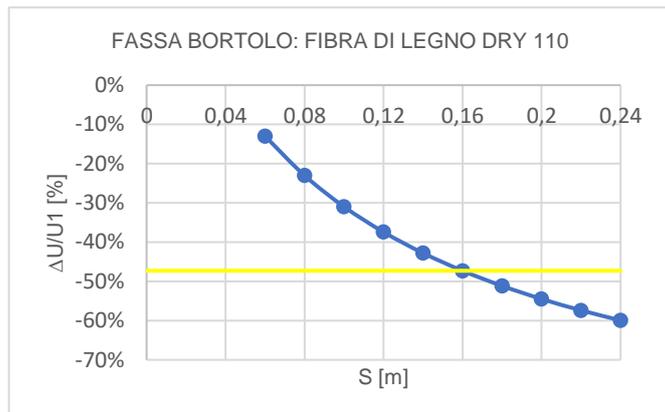
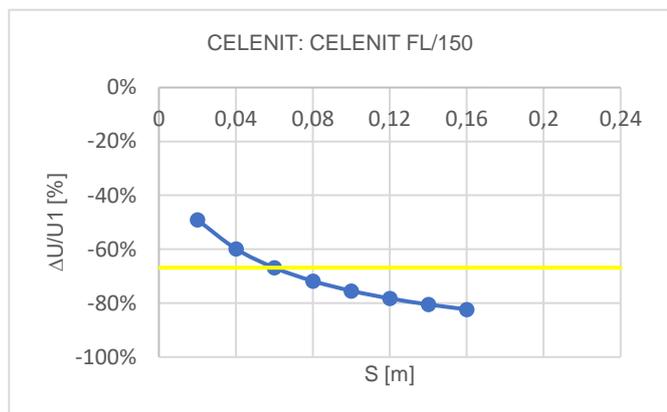
ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI LANA DI LEGNO



SUGHERO ESPANSO



FIBRE DI LEGNO



5.2.5 TRASMITTANZE LIMITI

Una volta apprese, nel capitolo 7.1.5, le trasmittanze termiche limiti di tutte le zone climatiche degli edifici esistenti, e quelle utili per accedere alle detrazioni fiscali ho voluto compararle con i valori limiti di trasmittanza termica oltre i quali, a mio parere, non abbia senso continuare ad aumentare uno spessore di isolante, poiché la trasmittanza dopo questo non decresce particolarmente.

Il risultato dell'indagine individua la soglia secondo la quale ci può essere una convenienza data da una trasmittanza limite di quel specifico isolante inferiore rispetto a quelle di legge, e quindi individuare gli spessori che possano indurre ad un risparmio non soltanto energetico ma anche monetario.

Prendo come esempio esplicativo, in zona climatica D, la lana di vetro *SMARTWALL FKD-S THERMAL* di cui il produttore è *KNAUFINSULATION*

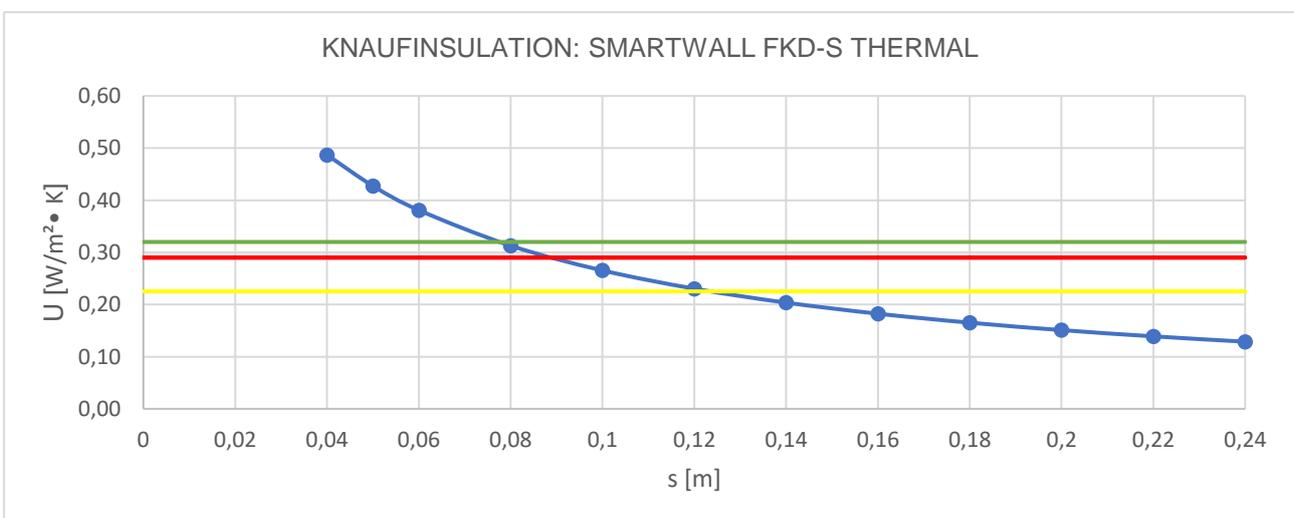
Noi sappiamo che in zona D valgono le seguenti trasmittanze limiti di legge:

| ZONA CLIMATICA | Urif [W/ m ² K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 [W/ m ² K] |
| | 2015 | 2021 | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| D | 0,36 | 0,32 | D | 0,29 |

Aggiungo la trasmittanza limite precedentemente cercata per questo materiale:

| |
|---------------------------|
| U_{limite} |
| 0,23 |

Ne ricavo una situazione per la quale noto che la mia trasmittanza limite è inferiore rispetto a quella di legge e quella utile per ottenere la detrazione fiscale.



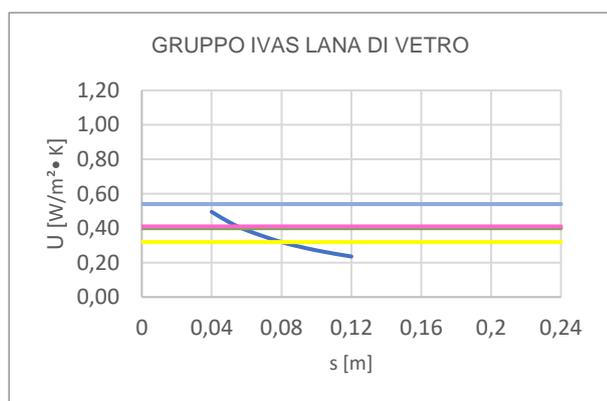
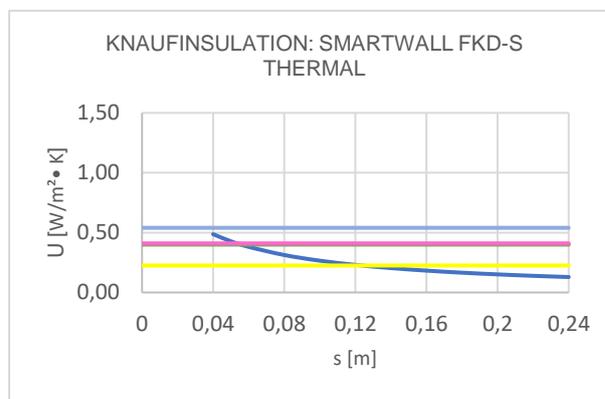
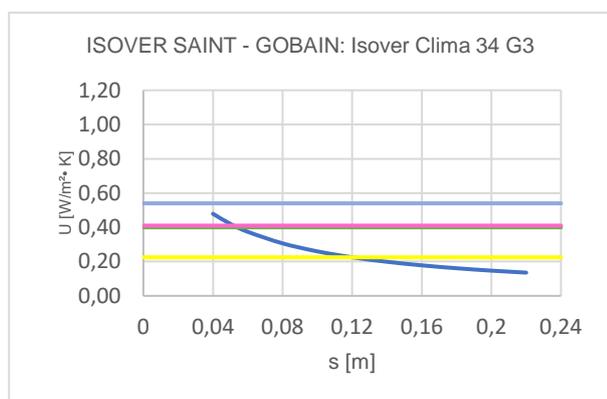
Quindi posso dire che questo isolante applicato ad una parete in pietra riesca ad apportare un risparmio energetico e monetario aggiuntivo rispetto a quello che già si avrebbe utilizzando nei limiti proposti dalla normativa vigente.

Qui sotto riporto i materiali isolanti che apportano un esito positivo, relativi alla zona A-B:

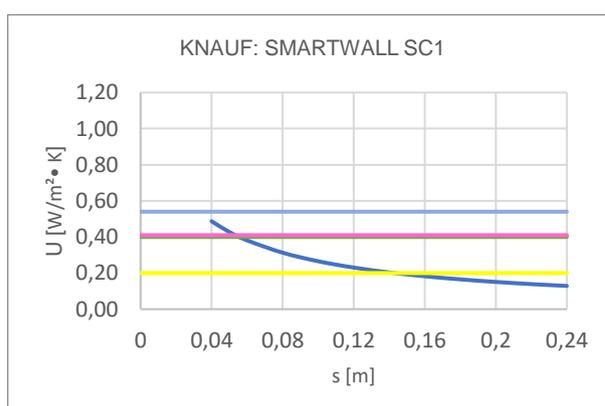
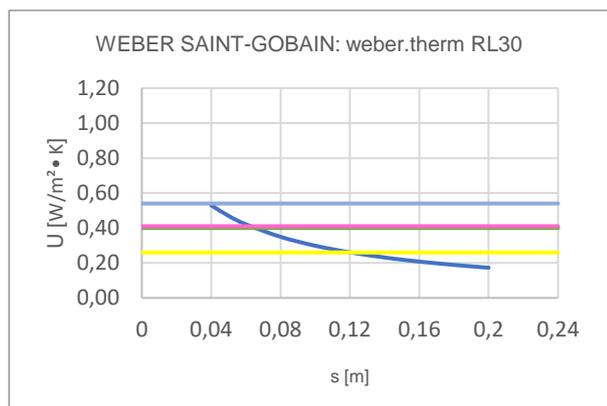
| ZONA CLIMATICA | Urif [W/m ² K] | |
|----------------|---------------------------|----------------|
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio |
| | 2015 | 2021 |
| A-B | 0,45 | 0,4 |

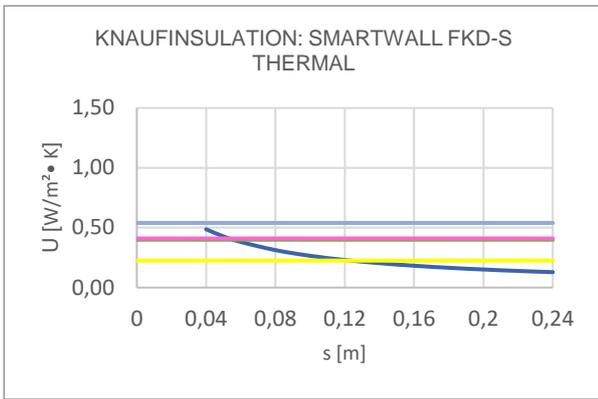
| LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 |
| ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| A | 0,54 |
| B | 0,41 |

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO

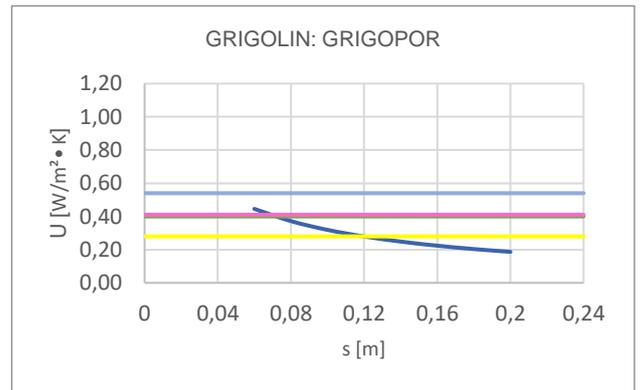
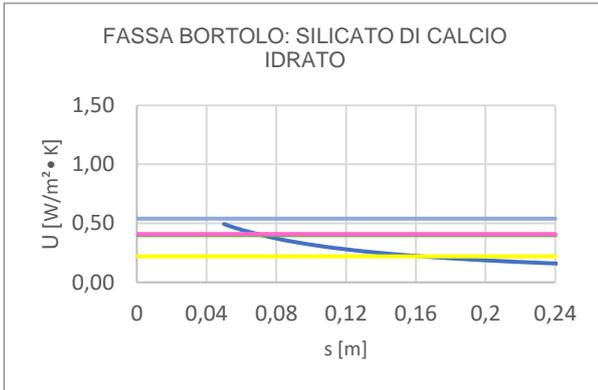


LANA DI ROCCIA

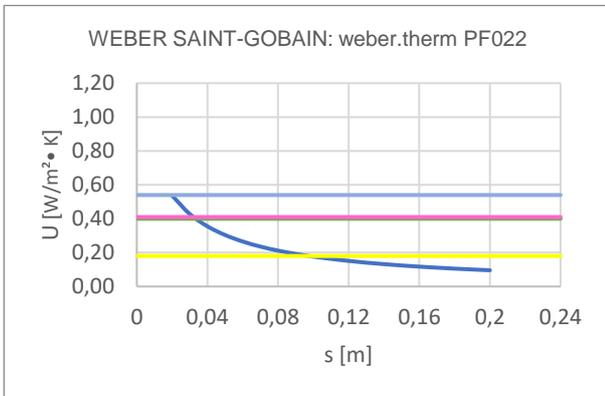




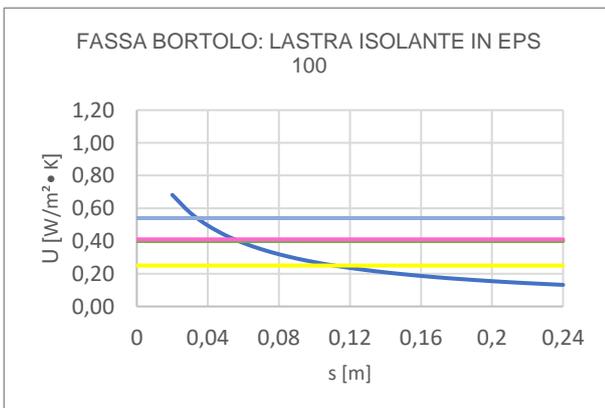
CALCIO SILICATO



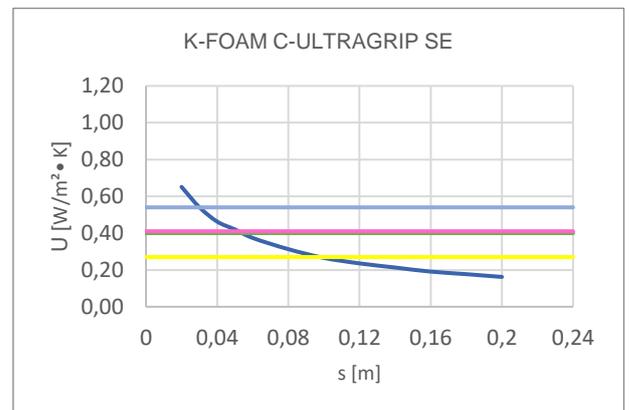
**ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI
SCHIUMA FENOLICA**



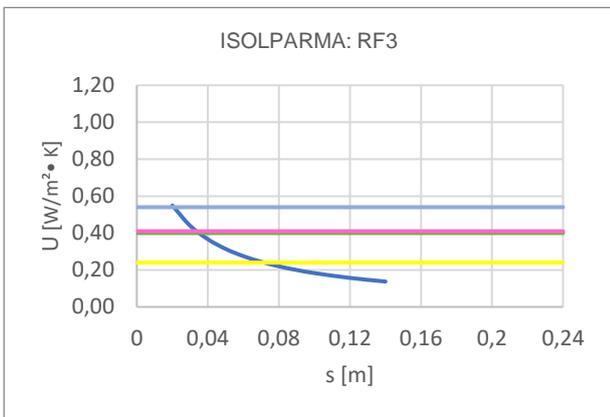
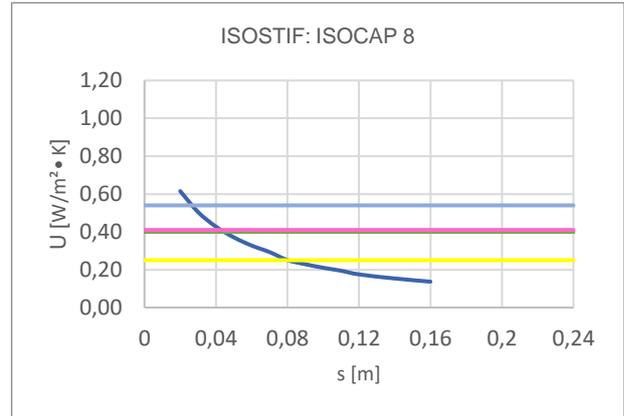
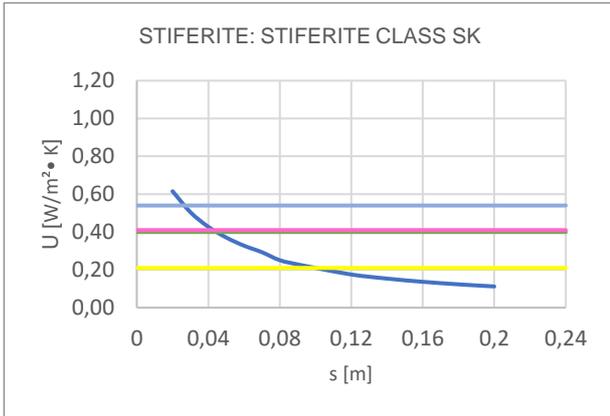
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS



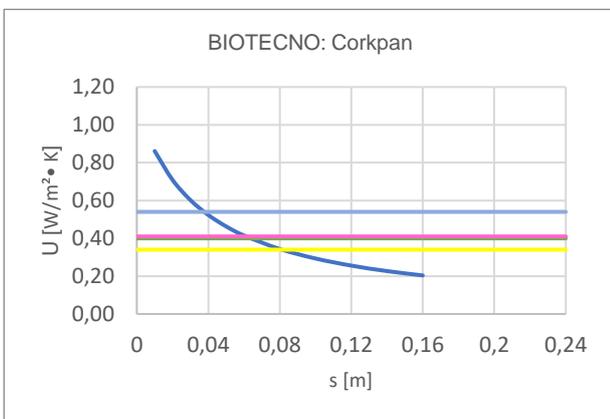
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS



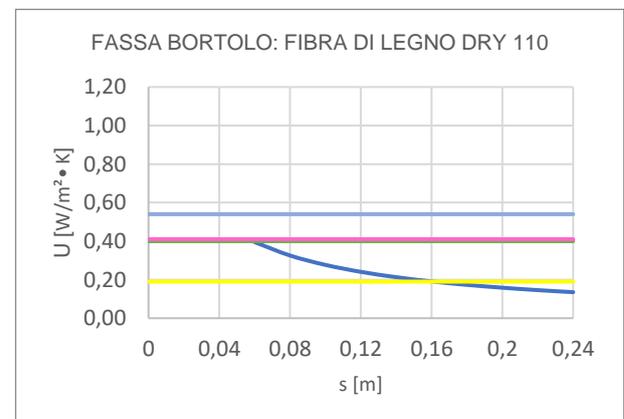
POLIURETANO ESPANSO RIGIDO



SUGHERO ESPANSO



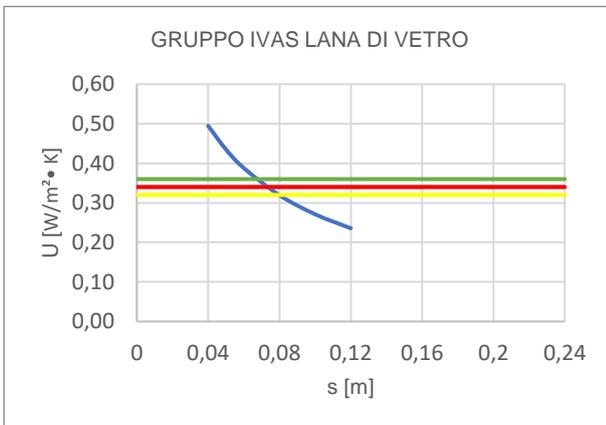
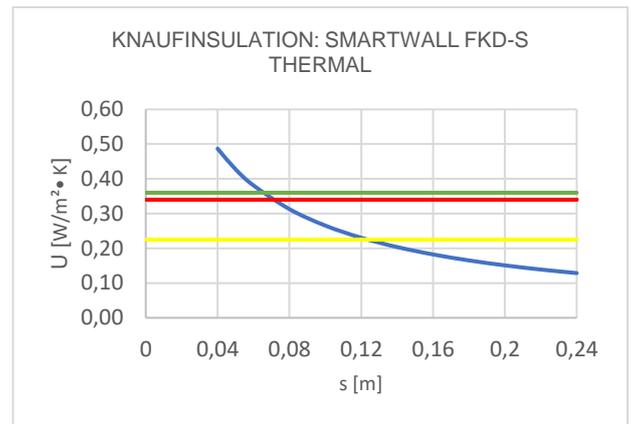
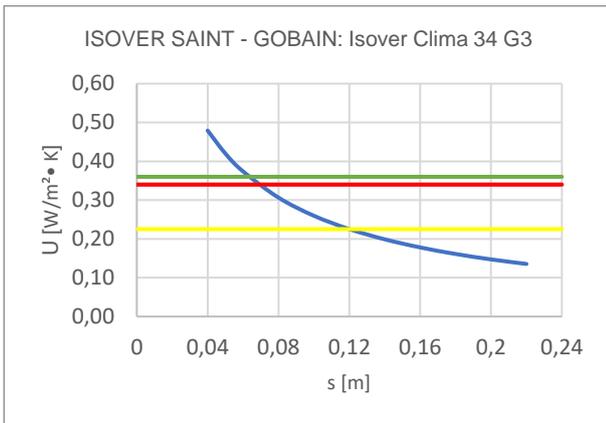
FIBRE DI LEGNO



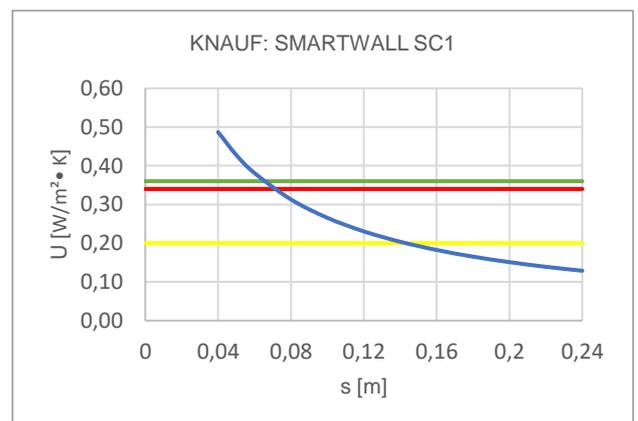
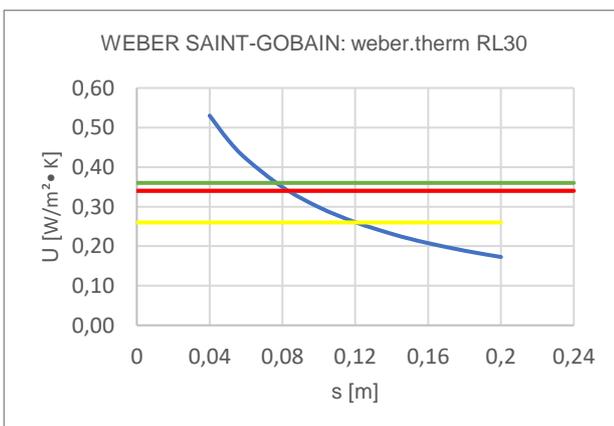
Qui sotto riporto i materiali isolanti che apportano un esito positivo, relativi alla zona C:

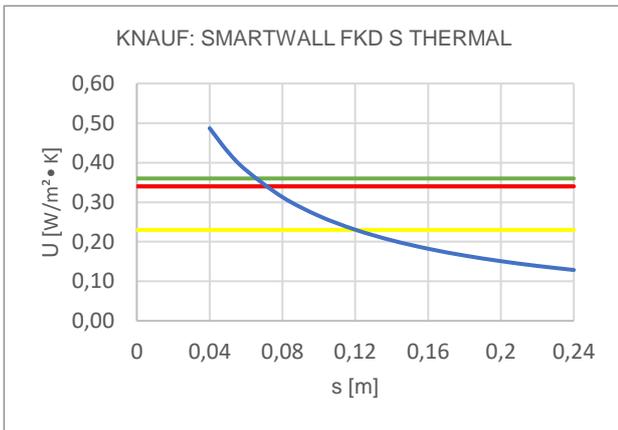
| | | Urif [W/m ² K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|--|---------------------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| | | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 |
| ZONA CLIMATICA | | 2015 | 2021 | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| C | | 0,4 | 0,36 | C | 0,34 |

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO

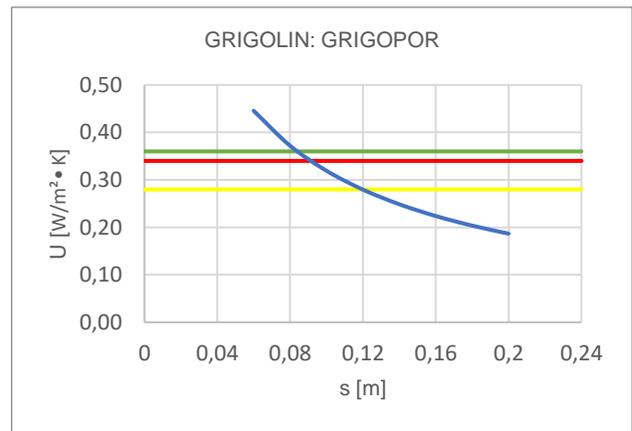
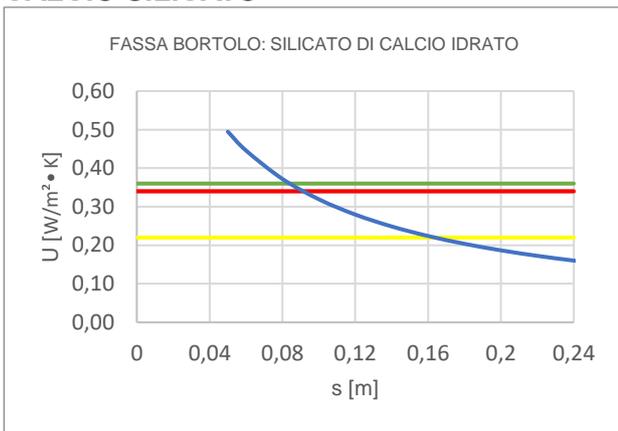


LANA DI ROCCIA

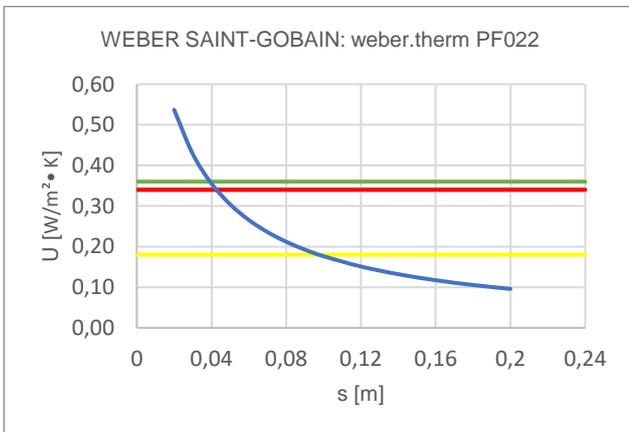




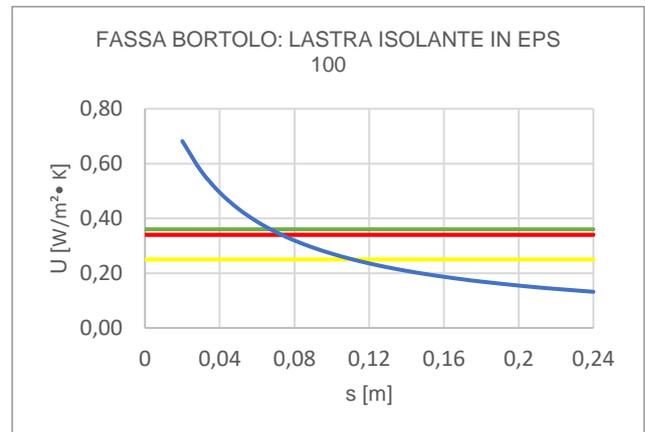
CALCIO SILICATO



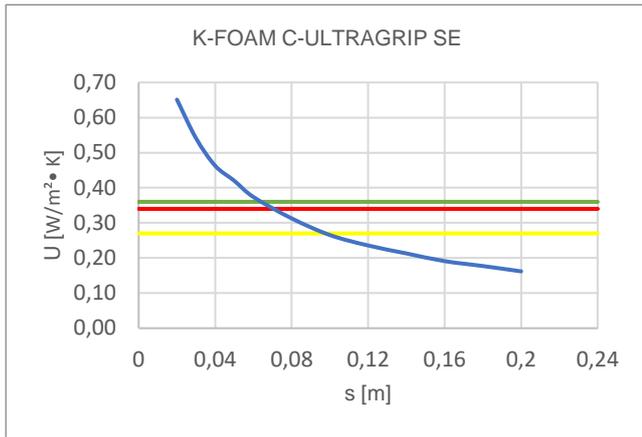
ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI SCHIUMA FENOLICA



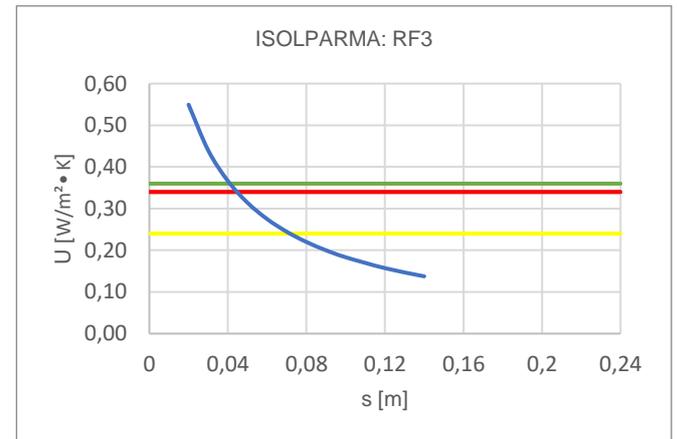
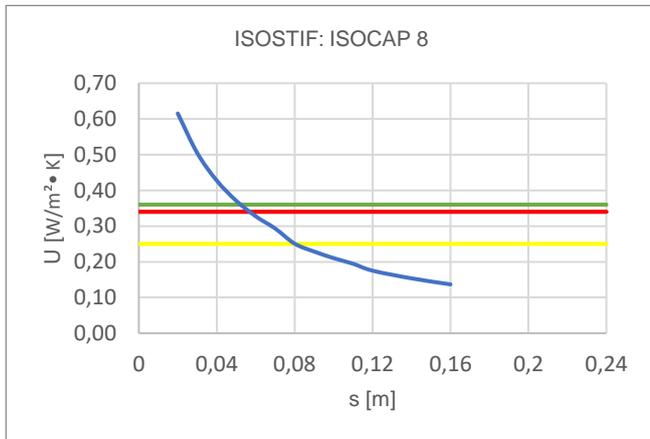
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS



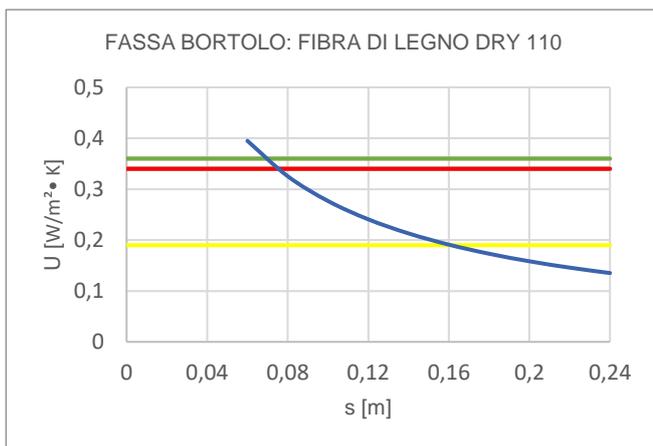
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS



POLIURETANO ESPANSO RIGIDO



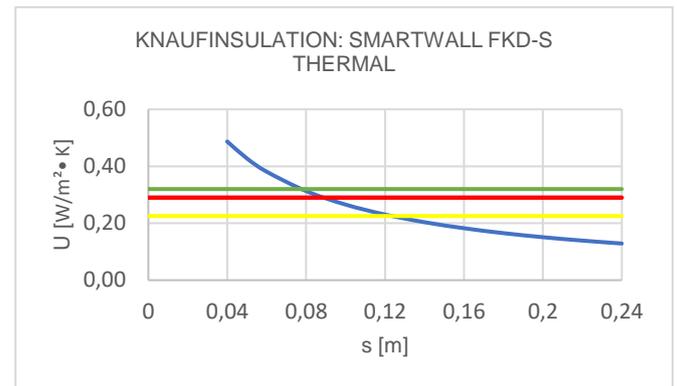
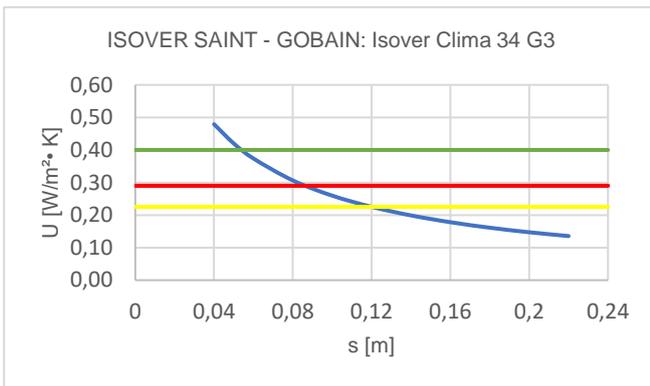
ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI FIBRE DI LEGNO



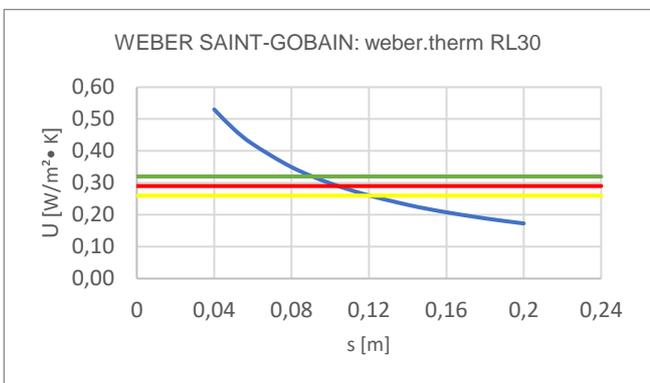
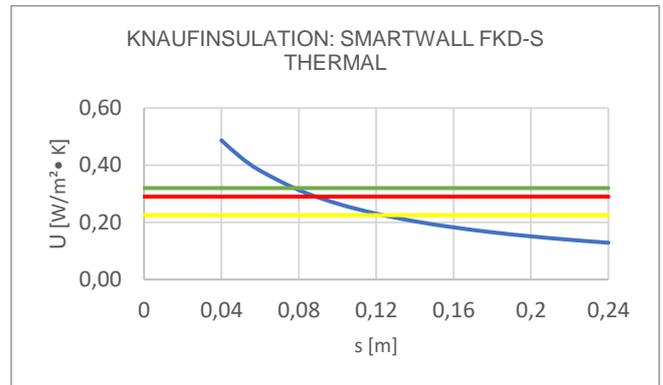
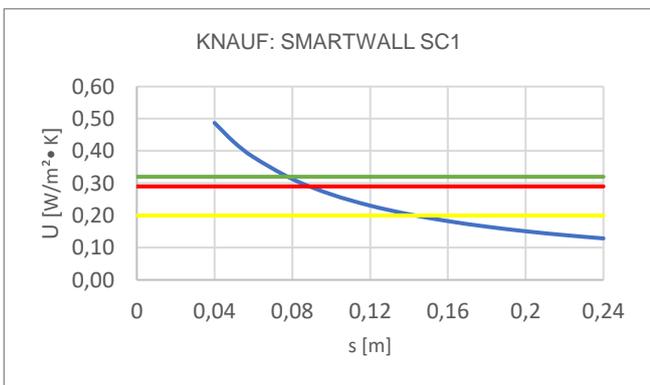
Qui sotto riporto i materiali isolanti che apportano un esito positivo, relativi alla zona D:

| ZONA CLIMATICA | Urif [W/m ² K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 |
| | 2015 | 2021 | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| D | 0,36 | 0,32 | D | 0,29 |

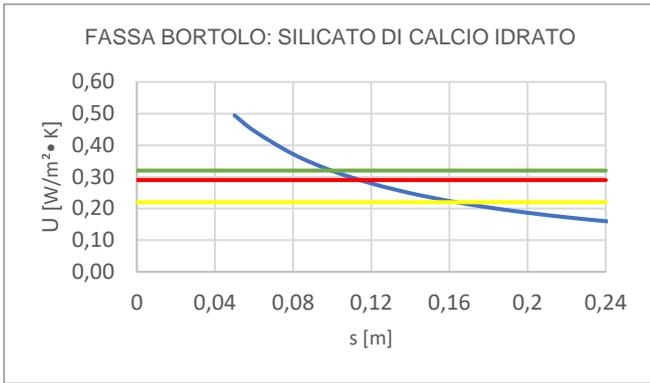
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO



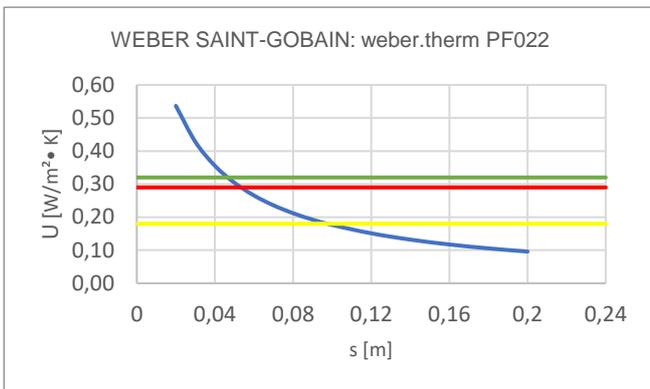
LANA DI ROCCIA



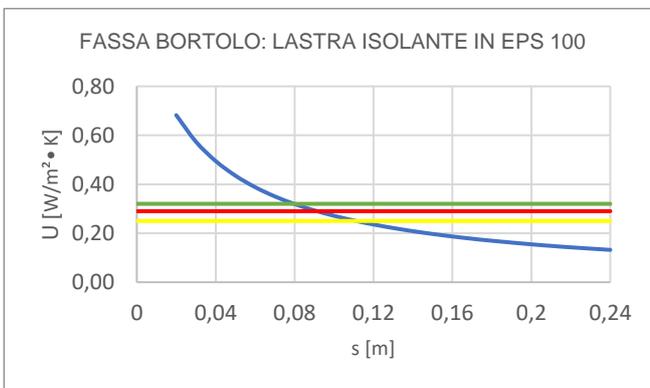
CALCIO SILICATO



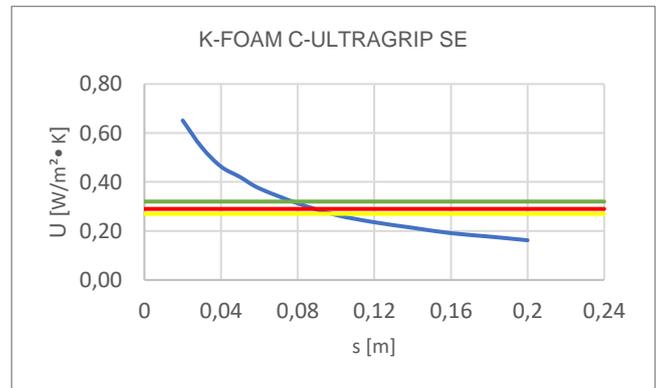
ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI SCHIUMA FENOLICA



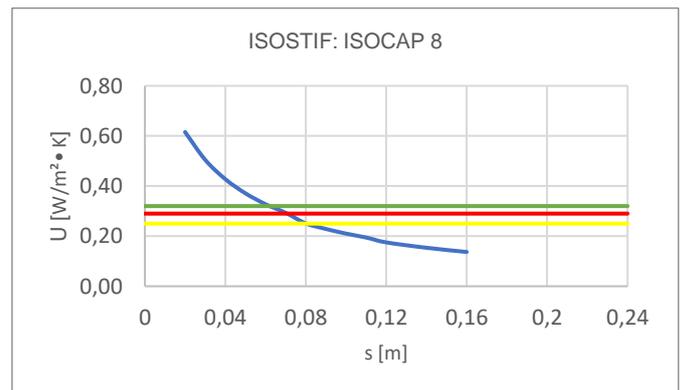
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS

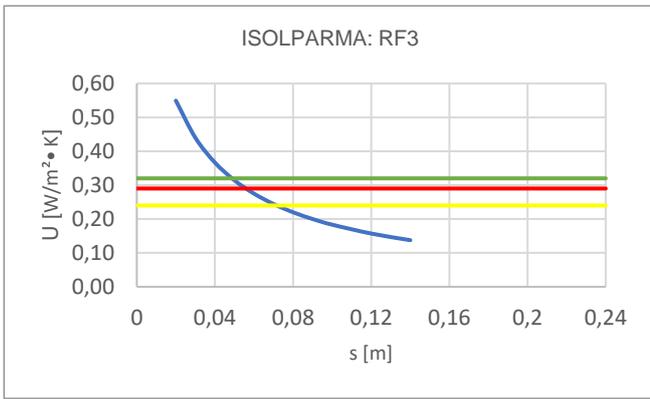


POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS

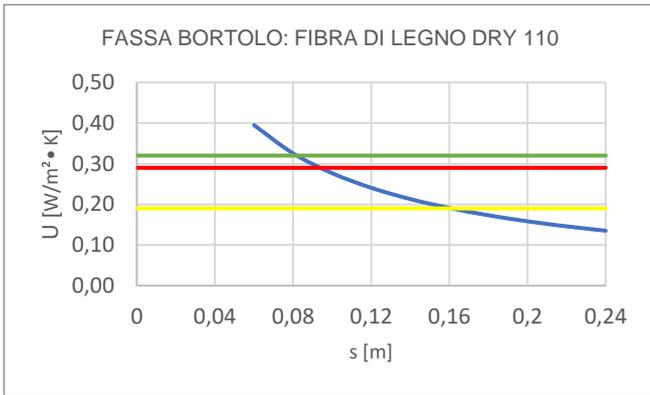


POLIURETANO ESPANSO RIGIDO





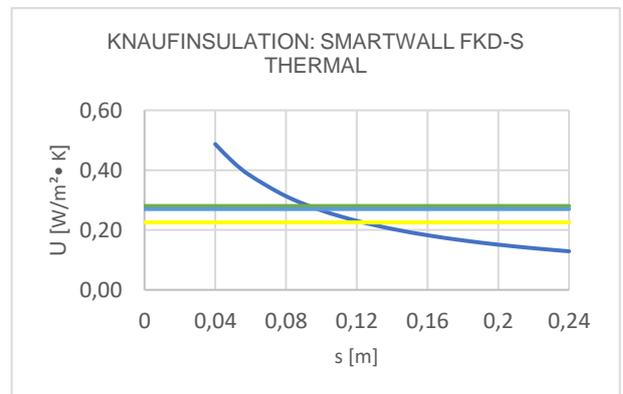
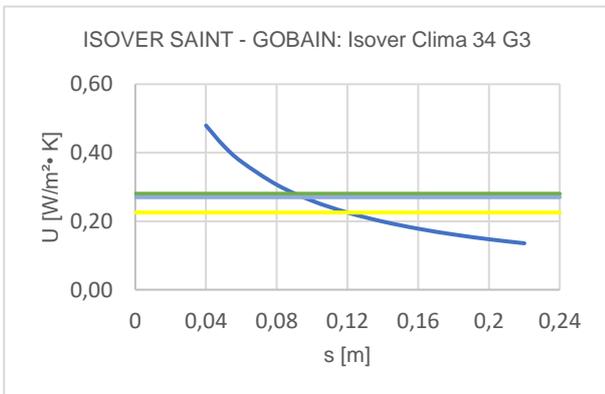
FIBRE DI LEGNO



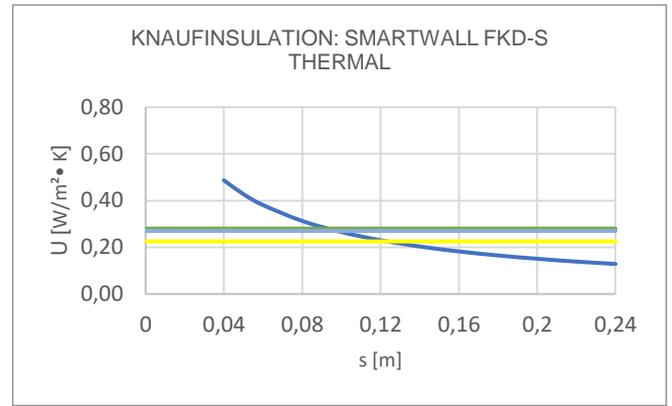
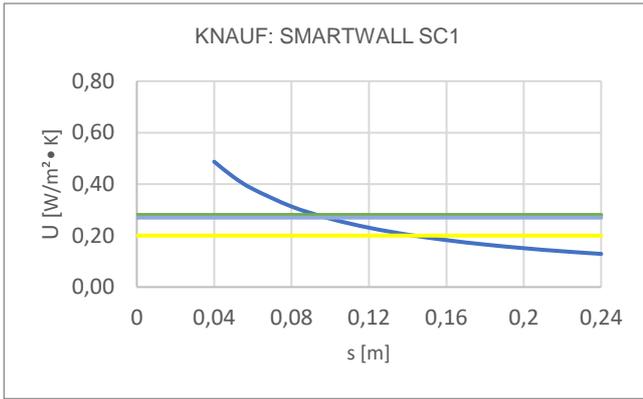
Qui sotto riporto l'unico materiale isolante che apporta un esito positivo, relativo alla zona E:

| ZONA CLIMATICA | Urif [W/m²K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|----------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 |
| | 2015 | 2021 | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| E | 0,3 | 0,28 | E | 0,27 |

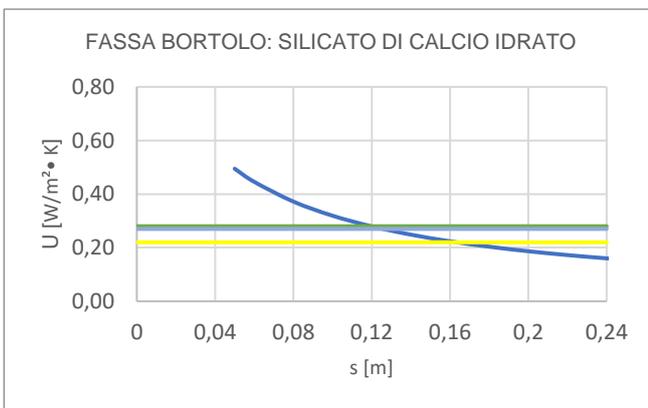
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO



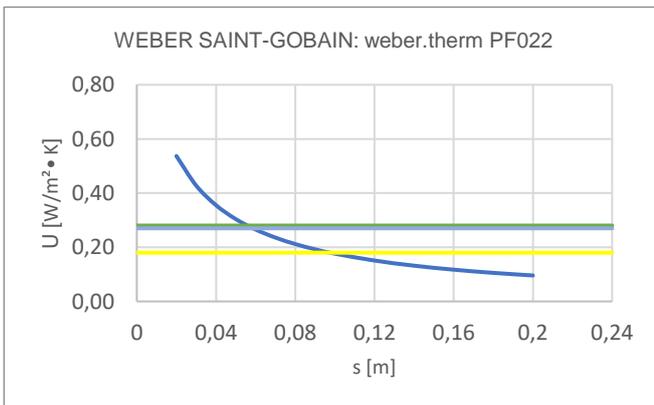
LANA DI ROCCIA



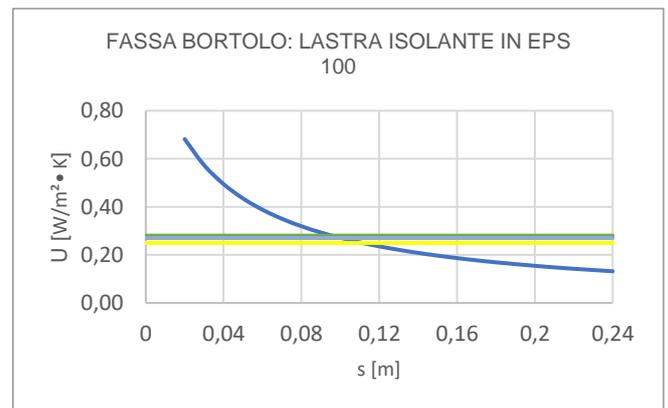
CALCIO SILICATO



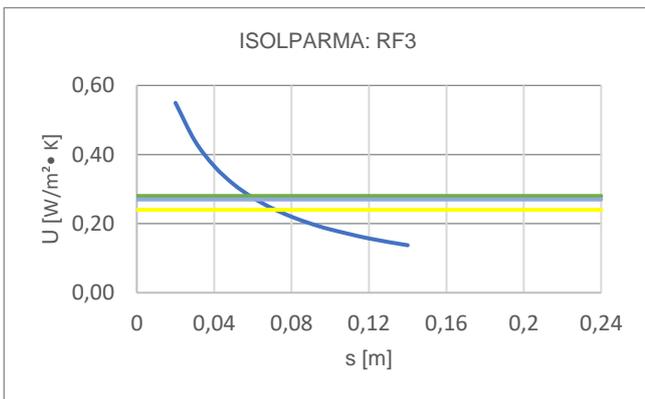
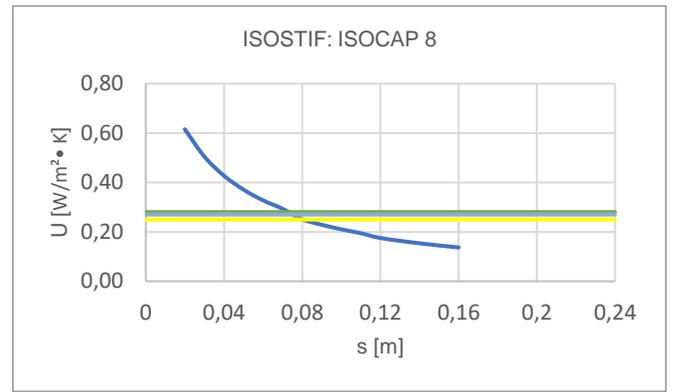
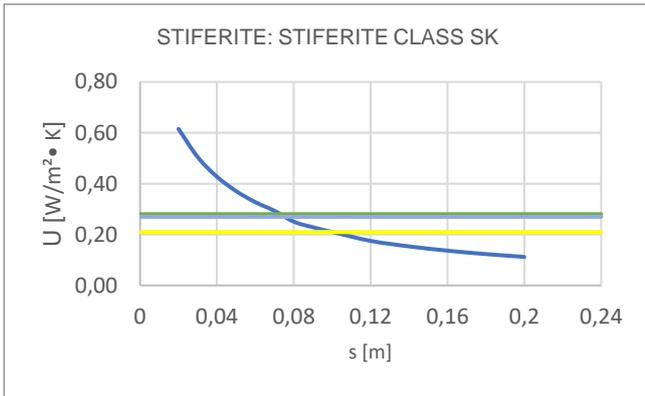
ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI SCHIUMA FENOLICA



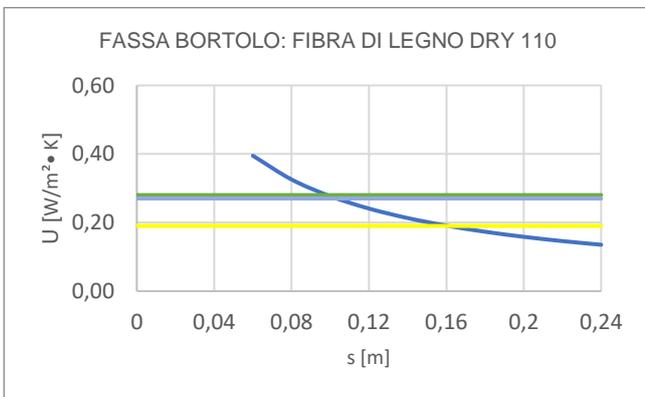
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS



POLIURETANO ESPANSO RIGIDO



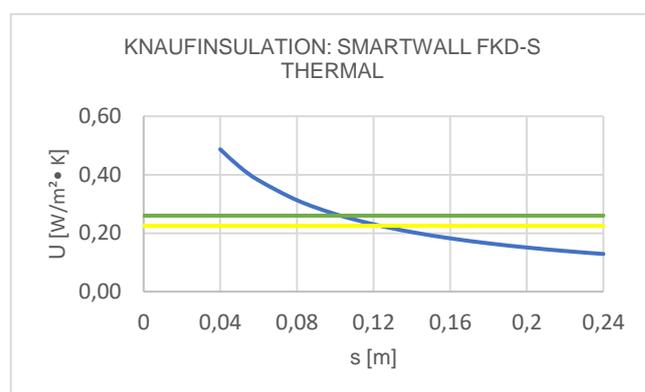
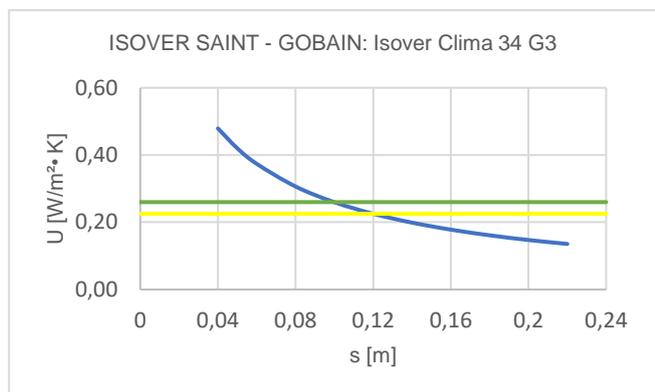
FIBRE DI LEGNO



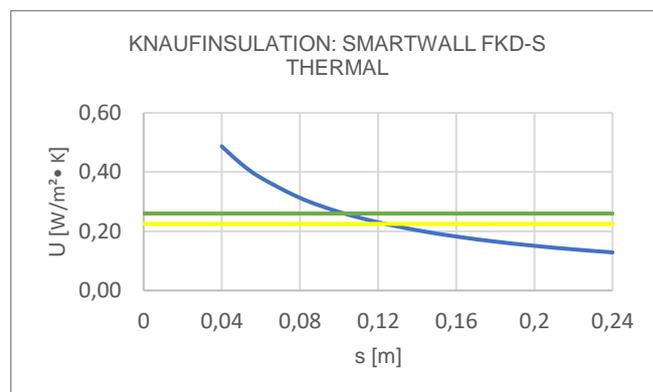
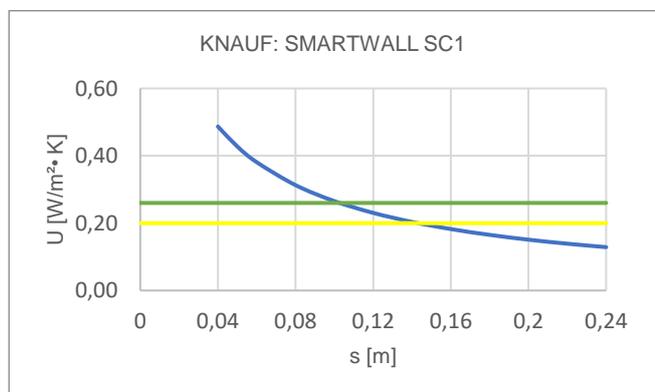
Qui sotto riporto l'unico materiale isolante che apporta un esito positivo, relativo alla zona F:

| | | Urif [W/m ² K] | | LIMITI PER ACCEDERE ALLE DETRAZIONI FISCALI | |
|----------------|--|---------------------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| | | Dal 1° ottobre | Dal 1° gennaio | DM 26/1/10 | VALORI DI U DA VERIFICARE DAL 01/01/2010 |
| ZONA CLIMATICA | | 2015 | 2021 | ZONA CLIMATICA | STRUTTURE OPACHE VERTICALI |
| F | | 0,28 | 0,26 | F | 0,26 |

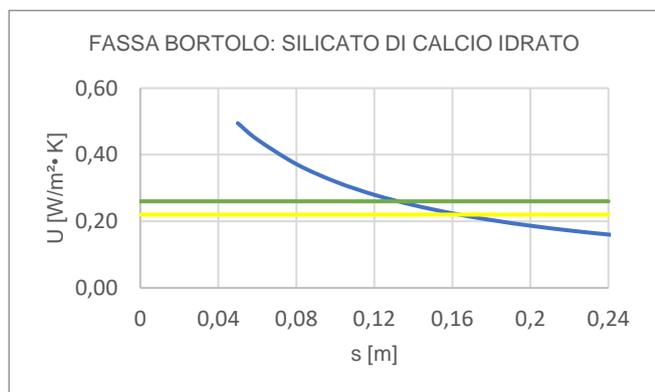
ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI LANA DI VETRO



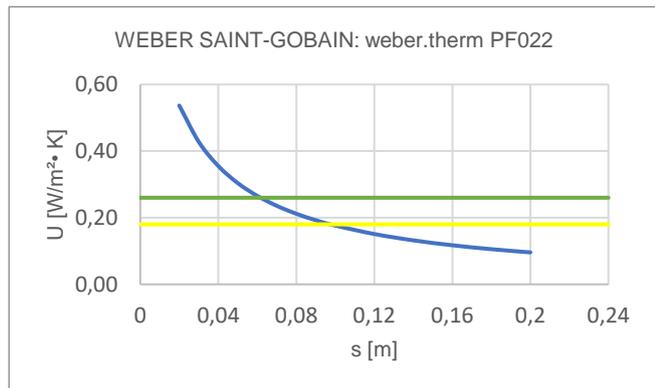
LANA DI ROCCIA



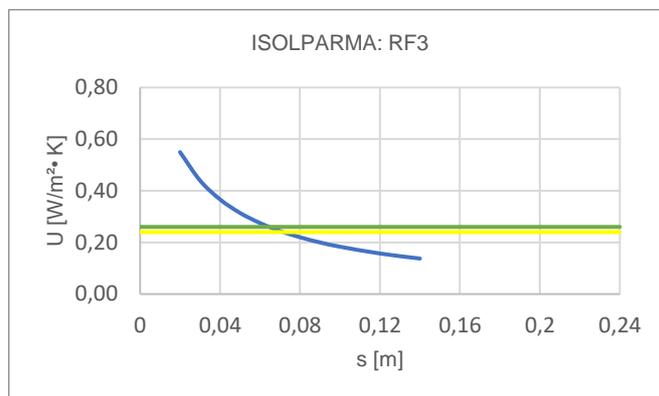
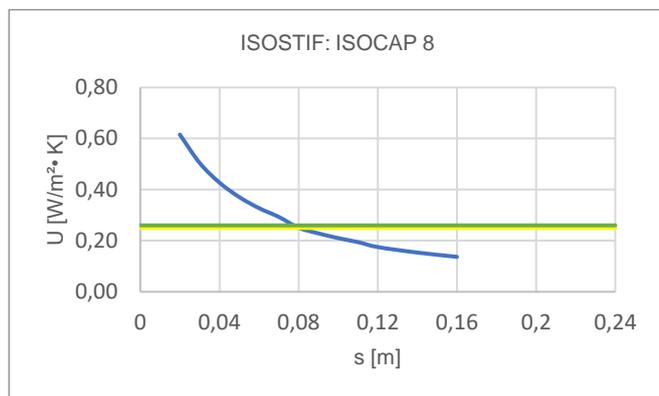
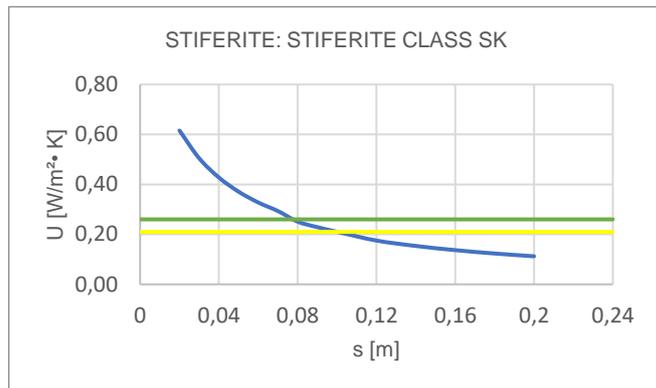
CALCIO SILICATO



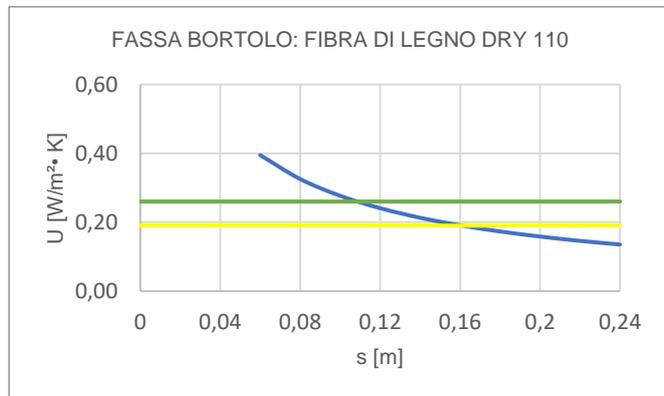
ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI SCHIUMA FENOLICA



POLIURETANO ESPANSO RIGIDO



FIBRE DI LEGNO



5.2.6 DETERMINAZIONE DELLO SPESSORE OTTIMALE

Una volta ricavati gli andamenti delle trasmittanze in funzione degli spessori, con le relative percentuali e trasmittanze limiti di legge, successivamente si è voluto calcolare in base alle diverse zone climatiche l'energia primaria risparmiata, il relativo risparmio economico all'anno, ed infine il periodo di tempo necessario per poter avere un ritorno a livello economico rispetto all'investimento iniziale, avendo, per l'appunto, applicato quel determinato spessore di isolante termico alla parete in pietra presa in considerazione.

Per ogni zona climatica si sono considerati tre rendimenti globali medi stagionali approssimativi η_g : 0,6, 0,7, e 0,8.

Inoltre, si sono considerati invariabili: il fattore di correzione della differenza di temperatura in funzione del tipo di elemento opaco, poiché quest'ultimo divide un ambiente riscaldato dall'esterno, e quindi sarà $R = 1$, e il fattore di correzione che tiene conto del valore della temperatura interna media, che sarà per gli edifici residenziali $f = 0,9$.

Prendendo ad esempio, come materiale isolante, la lana di vetro *SMARTWALL FKD-S THERMAL*, della casa produttrice *KNAUFINSULATION*, e procedo con l'indagine:

si è scelta, per questo esempio, una zona climatica D

| ZONA CLIMATICA | GG | MEDIA GG |
|----------------|-------------|----------|
| D | 1400 - 2100 | 1750 |

| ZONA CLIMATICA | PERIODO DI ACCENSIONE | | ORARIO CONSENTITO | GR |
|----------------|-----------------------|--------|-------------------|-----|
| | INIZIO | FINE | | |
| D | 01-nov | 15-apr | 12 | 166 |

E un rendimento globale medio stagionale $\eta_g = 0.7$

Procedo inizialmente con il definire i dati necessari per l'indagine relativi alla zona climatica presa in considerazione

| ZONA CLIMATICA | MEDIA GG | GR | A (m ²) | R | f | η_g | ΔT |
|----------------|----------|-----|---------------------|---|-----|----------|------------|
| ZONA D | 1750 | 166 | 1 | 1 | 0,9 | 0,7 | 9,487952 |

dove:

$$\Delta T = (GG/GR) \cdot R \cdot f$$

per poi proseguire con il riportare i dati relativi all'isolante e alla muratura a cassa vuota in laterizio forato

| d (m) | €/m² | Uiso (W/m²K) | Uold parete (W/m²K) | ΔU (W/m²K) |
|--------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| 0,04 | 10,44 | 0,49 | 1,10 | 0,61 |
| 0,05 | 13,05 | 0,43 | | 0,67 |
| 0,06 | 15,63 | 0,38 | | 0,72 |
| 0,08 | 20,55 | 0,31 | | 0,79 |
| 0,1 | 25,44 | 0,27 | | 0,83 |
| 0,12 | 30,39 | 0,23 | | 0,87 |
| 0,14 | 34,89 | 0,20 | | 0,89 |
| 0,16 | 39,44 | 0,18 | | 0,92 |
| 0,18 | 45,78 | 0,17 | | 0,93 |
| 0,2 | 50,85 | 0,15 | | 0,95 |
| 0,22 | 55,9 | 0,14 | | 0,96 |
| 0,24 | 60,97 | 0,13 | | 0,97 |

Dove:

d = spessore dell'isolante termico

€/m² = prezzo dell'isolante al m²

Uiso = trasmittanza relativa l'isolante termico

Uold parete = trasmittanza relativa la parete in pietra

ΔU = differenza della trasmittanza tra la parete in pietra e l'isolante termico

Infine, definisco i valori di: potenza termica che non viene dispersa, dispersione termica, energia primaria risparmiata, risparmio monetario annuo, e gli anni che ci vorranno al fine di ottenere un ritorno a livello economico rispetto all'investimento iniziale.

| ΔQh (W/m²) | ΔQa (kWh) | Qpr (kWh) | € risp/ANNO | ANNI |
|------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------|
| 5,80 | 23,10 | 32,99 | 3,30 | 3,16 |
| 6,36 | 25,34 | 36,21 | 3,62 | 3,60 |
| 6,80 | 27,10 | 38,72 | 3,87 | 4,04 |
| 7,45 | 29,68 | 42,40 | 4,24 | 4,85 |
| 7,90 | 31,47 | 44,96 | 4,50 | 5,66 |
| 8,23 | 32,79 | 46,84 | 4,68 | 6,49 |
| 8,49 | 33,80 | 48,29 | 4,83 | 7,22 |
| 8,69 | 34,61 | 49,44 | 4,94 | 7,98 |
| 8,85 | 35,26 | 50,37 | 5,04 | 9,09 |
| 8,99 | 35,80 | 51,14 | 5,11 | 9,94 |
| 9,10 | 36,25 | 51,79 | 5,18 | 10,79 |
| 9,20 | 36,64 | 52,34 | 5,23 | 11,65 |

A questo punto risulta interessante vedere quanto isolante in termini di spessore si possa ancora aggiungere al fine di ottenere una trasmittanza utile, nei limiti descritti nel paragrafo 7.2.4, inferiore ai limiti di legge definiti e che infine apporti un risparmio energetico e monetario ulteriore rispetto a quello che già si avrebbe rispettando i limiti di legge.

Individuo quegli isolanti dove si può aggiungere almeno circa 0,02 m di spessore, e ne definisco il suo risparmio specifico per quel determinato isolante termico.

Nel caso preso in considerazione si possono aggiungere ancora 0,04 m di isolante, e quindi utilizzare direttamente uno spessore di 0,12 m che rispetto a quello di 0,08 m, che si sarebbe utilizzato per rientrare nella trasmittanza limite di legge, mi fa risparmiare in più:

| ΔQ_h (W/m ²) | ΔQ_a (kWh) | Q _{pr} (kWh) | € risp/ANNO | ANNI |
|----------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------|------|
| 0,78 | 3,11 | 4,45 | 0,44 | 1,64 |

Seguendo lo stesso procedimento, per ogni zona climatica con rendimento globale medio stagionale $\eta_g = 0.7$, ho individuato la differenza di spessore tra il limite convenzionale imposto, < del 15%, e le altre due trasmittanze limite riferite al minimo imposto dalla legge e al valore minimo che consente di ottenere una detrazione fiscale del 65%. Quindi si sono individuati gli spessori che si possono ancora aggiungere rispetto a quelli riferiti ai due limiti di legge e che non oltrepassino la soglia di trasmittanza utile, precedentemente definita.

Otterrò dei casi nei quali lo spessore da aggiungere consentirà allo stesso modo di rispettare sia le trasmittanze limite di legge che le trasmittanze limite utili alla detrazione fiscale; e casi che propongono due soluzioni possibili dove si avrà per entrambe un risparmio economico e monetario ma solo con una delle due si potrà avere accesso alla detrazione fiscale.

ZONA A-B

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI

LANA DI VETRO:

ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3

| d _{agg} (m) | $\Delta \Phi_h$ (W/m ²) | $\Delta \Phi_a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Q _{pr} (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,06 | 0,76 | 1,93 | 2,75 | 0,28 | 5,67 | 3,69 |

KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL

| d _{agg} (m) | $\Delta \Phi_h$ (W/m ²) | $\Delta \Phi_a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Q _{pr} (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,78 | 3,11 | 4,45 | 0,44 | 1,64 | 1,07 |

GRUPPO IVAS LANA DI VETRO

| d _{agg} (m) | $\Delta \Phi_h$ (W/m ²) | $\Delta \Phi_a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Q _{pr} (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,35 | 0,89 | 1,27 | 0,13 | 3,67 | 2,38 |

LANA DI ROCCIA:

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm RL30

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,46 | 1,15 | 1,64 | 0,16 | 6,32 | 4,1 |

KNAUF: SMARTWALL SC1

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|-----------|
| 0,08 | 0,91 | 2,30 | 3,28 | 0,33 | 10,20 | 6,63 |

KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,06 | 0,77 | 1,95 | 2,79 | 0,28 | 7,15 | 4,64 |

CALCIO SILICATO:

FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|-----------|
| 0,08 | 0,76 | 1,92 | 2,74 | 0,27 | 21,55 | 14 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI**SCHIUMA FENOLICA:**

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|-----------|
| 0,06 | 0,92 | 2,32 | 3,31 | 0,33 | 22,72 | 14,7 |

POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS:

FASSA BORTOLO: LASTRA ISOLANTE IN EPS 100

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,05 | 0,70 | 1,76 | 2,52 | 0,25 | 3,25 | 2,11 |

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS:

K-FOAM C-ULTRAGRIP SE

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,56 | 1,40 | 2,01 | 0,20 | 7,10 | 4,61 |

POLIURETANO ESPANSO RIGIDO:

STIFERITE: STIFERITE CLASS SK

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,05 | 0,83 | 2,08 | 2,97 | 0,30 | 5,31 | 3,45 |

ISOSTIF: ISOCAP 8

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,03 | 0,62 | 1,56 | 2,22 | 0,22 | 3,32 | 2,15 |

ISOLPARMA: RF3

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,03 | 0,63 | 1,58 | 2,26 | 0,23 | 2,97 | 1,93 |

FIBRE DI LEGNO:

FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|-----------|
| 0,1 | 1,05 | 2,64 | 3,77 | 0,38 | 26,86 | 17,45 |

ZONA C**ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI****LANA DI VETRO:**

ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,62 | 2,02 | 2,88 | 0,29 | 1,99 | 1,3 |

KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,63 | 2,05 | 2,93 | 0,29 | 2,49 | 1,6 |

LANA DI ROCCIA:

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm RL30

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,29 | 0,94 | 1,35 | 0,13 | 1,62 | 1,05 |
| 0,04 | 0,68 | 2,21 | 3,15 | 0,32 | 3,3 | |

KNAUF: SMARTWALL SC1

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,06 | 0,83 | 2,71 | 3,88 | 0,39 | 3,96 | 2,57 |

KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,06 | 0,83 | 2,71 | 3,88 | 0,39 | 3,62 | 2,35 |

CALCIO SILICATO:

FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,06 | 0,73 | 2,37 | 3,38 | 0,34 | 7,95 | 5,16 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI**SCHIUMA FENOLICA:**

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|-----------|
| 0,05 | 3,17 | 3,17 | 4,53 | 0,45 | 9,87 | 6,41 |
| 0,06 | 1,36 | 4,45 | 6,35 | 0,64 | 11,85 | |

POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS:

FASSA BORTOLO: LASTRA ISOLANTE IN EPS 100

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,03 | 0,51 | 1,67 | 2,38 | 0,24 | 1,02 | 0,66 |
| 0,04 | 0,75 | 2,44 | 3,48 | 0,35 | 1,35 | |

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS:

K-FOAM C-ULTRAGRIP SE

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,36 | 1,18 | 1,68 | 0,17 | 1,81 | 1,17 |

POLIURETANO ESPANSO RIGIDO:

STIFERITE: STIFERITE CLASS SK

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,89 | 2,91 | 4,16 | 0,42 | 2,22 | 1,43 |

ISOSTIF: ISOCAP 8

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,58 | 1,91 | 2,72 | 0,27 | 1,19 | 0,77 |

ISOLPARMA: RF3

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,53 | 1,73 | 2,48 | 0,25 | 1,08 | 0,7 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI**FIBRE DI LEGNO:**

FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|-----------|
| 0,08 | 1,02 | 3,34 | 4,77 | 0,48 | 11,21 | 7,28 |

ZONA D**ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI****LANA DI VETRO:**

ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,33 | 1,30 | 1,86 | 0,19 | 0,68 | 0,44 |
| 0,04 | 0,77 | 3,07 | 4,38 | 0,44 | 1,31 | |

KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,33 | 1,32 | 1,89 | 0,19 | 0,83 | 0,53 |
| 0,04 | 0,78 | 3,11 | 4,45 | 0,44 | 1,64 | |

LANA DI ROCCIA:

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm RL30

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,36 | 1,43 | 2,05 | 0,20 | 1,07 | 0,69 |

KNAUF: SMARTWALL SC1

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,06 | 1,04 | 4,13 | 5,90 | 0,59 | 2,60 | 1,69 |

KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,33 | 1,32 | 1,89 | 0,19 | 0,83 | 0,53 |
| 0.04 | 0.78 | 3.11 | 4.45 | 0.44 | 1.64 | |

CALCIO SILICATO:

FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,53 | 2,10 | 3,00 | 0,30 | 3,50 | 2,27 |
| 0.06 | 0.9 | 3.6 | 5.15 | 0.51 | 5.23 | |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI

SCHIUMA FENOLICA:

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,85 | 3,37 | 4,81 | 0,48 | 5,18 | 3,36 |
| 0.05 | 1.21 | 4.82 | 6.89 | 0.69 | 6.49 | |

POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO EPS:

FASSA BORTOLO: LASTRA ISOLANTE IN EPS 100

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,39 | 1,55 | 2,22 | 0,22 | 0,45 | 0,29 |
| 0.03 | 0.64 | 2.53 | 3.62 | 0.36 | 0.67 | |

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS:

K-FOAM C-ULTRAGRIP SE

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,45 | 1,79 | 2,56 | 0,26 | 1,19 | |

POLIURETANO ESPANSO RIGIDO:

STIFERITE: STIFERITE CLASS SK

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,03 | 0,79 | 3,14 | 4,48 | 0,45 | 1,10 | 0,7 |

ISOLPARMA: RF3

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,01 | 0,29 | 1,15 | 1,65 | 0,16 | 0,35 | 0,22 |
| 0.02 | 0.66 | 2.64 | 3.77 | 0.38 | 0.71 | |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI

FIBRE DI LEGNO:

FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,06 | 0,81 | 3,24 | 4,63 | 0,46 | 5,53 | 3,59 |

ZONA E

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI

LANA DI VETRO:

ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Clima 34 G3

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,43 | 1,90 | 2,71 | 0,27 | 0,46 | 0,29 |

KNAUFINSULATION: SMARTWALL FKD-S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,44 | 1,93 | 2,75 | 0,28 | 0,57 | 0,37 |

LANA DI ROCCIA:

KNAUF: SMARTWALL SC1

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,78 | 3,40 | 4,86 | 0,49 | 1,18 | 0,76 |

KNAUF: SMARTWALL FKD S THERMAL

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,44 | 1,93 | 2,75 | 0,28 | 0,57 | 0,37 |

CALCIO SILICATO:

FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,31 | 1,36 | 1,95 | 0,19 | 1,20 | 0,78 |
| 0,04 | 0,7 | 3,07 | 4,38 | 0,44 | 2,4 | |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI

SCHIUMA FENOLICA:

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 1,12 | 4,91 | 7,01 | 0,70 | 3,56 | 2,31 |

POLIURETANO ESPANSO RIGIDO:

STIFERITE: STIFERITE CLASS SK

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,51 | 2,23 | 3,19 | 0,32 | 0,55 | 0,35 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI

FIBRE DI LEGNO:

FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,63 | 2,74 | 3,91 | 0,39 | 2,53 | 1,64 |
| 0,06 | 4,72 | 6,75 | 0,67 | 3,79 | 3,79 | |

ZONA F

ISOLANTI TERMICI INORGANICI SINTETICI

LANA DI VETRO:

ISOVER SAINT - GOBAIN: Isover Klima 34 G3

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,47 | 2,23 | 3,18 | 0,32 | 0,39 | 0,25 |

LANA DI ROCCIA:

KNAUF: SMARTWALL SC1

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,36 | 1,74 | 2,48 | 0,25 | 0,47 | 0,3 |

CALCIO SILICATO:

FASSA BORTOLO: SILICATO DI CALCIO IDRATO

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,34 | 1,60 | 2,29 | 0,23 | 1,02 | 0,6 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI SINTETICI

SCHIUMA FENOLICA:

WEBER SAINT-GOBAIN: weber.therm PF022

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,03 | 0,81 | 3,85 | 5,49 | 0,55 | 2,28 | 1,48 |

POLIURETANO ESPANSO RIGIDO:

STIFERITE: STIFERITE CLASS SK

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,02 | 0,55 | 2,63 | 3,75 | 0,38 | 0,46 | 0,29 |

ISOLANTI TERMICI ORGANICI NATURALI

FIBRE DI LEGNO:

FASSA BORTOLO: FIBRA DI LEGNO DRY 110

| d agg (m) | $\Delta\Phi h$ (W/m ²) | $\Delta\Phi a$ (kWh)/(m ² ANNO) | Qpr (kWh)/(m ² ANNO) | € risp/(m ² ANNO) | ANNI | ANNI -65% |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|-----------|
| 0,04 | 0,67 | 3,22 | 4,60 | 0,46 | 2,15 | 1,39 |

8 CONCLUSIONI

Dopo un'attenta analisi che parte da una prima raccolta di tutti i materiali isolanti esistenti con le loro principali caratteristiche e i loro impieghi, si è voluto considerare soltanto coloro che si possono utilizzare in un sistema di isolamento termico esterno, a cappotto; una soluzione che prevede il posizionamento di pannelli, o di materiali sfusi per insufflaggio, all'esterno dell'edificio.

Dopo aver scelto due murature differenti sulle quali applicare questa specifica tipologia di isolamento termico, si sono notati i comportamenti delle trasmittanze relative ad ogni tipologia di isolante, sia della normativa UNI 10351, che di quelli che sono realmente in commercio, e si è notato in entrambi i casi come la trasmittanza, in generale, diminuisca il suo valore ad ogni aumento dello spessore di quel determinato isolante. Successivamente si è voluto definire in quale punto dello spessore di quel determinato materiale la sua trasmittanza non decresca per più del 15%, definendo così delle trasmittanze limite specifiche per ogni tipologia di isolante in relazione a quella determinata tipologia di muratura, e la si è confrontata con le altre due trasmittanze limite: la trasmittanza termica limite di legge, definita dal Decreto Legislativo 311/2006 e corretta successivamente nel 2015, e la trasmittanza termica limite per accedere alle detrazioni fiscali, definita dall'aggiornamento del Decreto 11 Maggio 2008.

La comparazione delle tre trasmittanze limite avviene in relazione alle sei zone climatiche del territorio italiano, con le loro limitazioni massime inerenti al periodo annuale di funzionamento dell'impianto termico, ovvero della loro durata giornaliera di attivazione.

Alla luce di questa comparazione si può notare, prima nella parete in pietra considerata, come dei 21 materiali isolanti presi in considerazione ne rispettano i parametri considerati: 15 per zone A e B; 9 per la zona C; 5 per la zona D; uno solo per la zona E; e nessuno per l'ultima zona F.

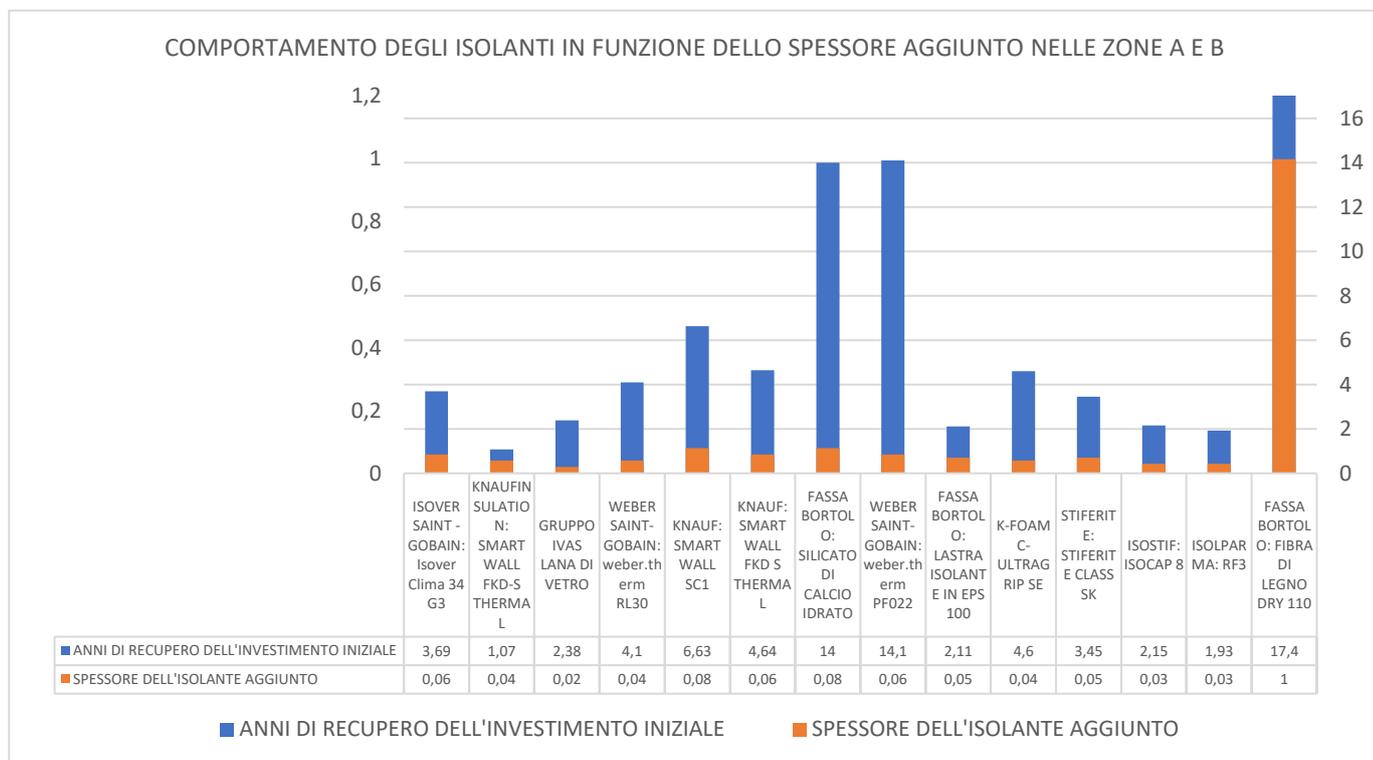
Nella muratura a cassa vuota, invece, i materiali che rispettano i parametri considerati sono: 21 per le zone A e B; 10 per la zona C; 13 per la zona D; 11 per la zona E; e 10 per la zona F.

Questo è una dimostrazione del fatto che i materiali presi in considerazione siano più indicati per la seconda tipologia di muratura, e che gli spessori utili al raggiungimento delle trasmittanze limite, in media, siano inferiori per la muratura a cassa vuota rispetto a quelli per la parete in pietra: i primi hanno valori che vanno in media dai 0,04 ai 0,08 m, mentre i secondi hanno valori che in media vanno dai 0,08 ai 0,12 m (con casi particolari in cui, per entrambe le tipologie, superano o non arrivano ai valori medi dichiarati).

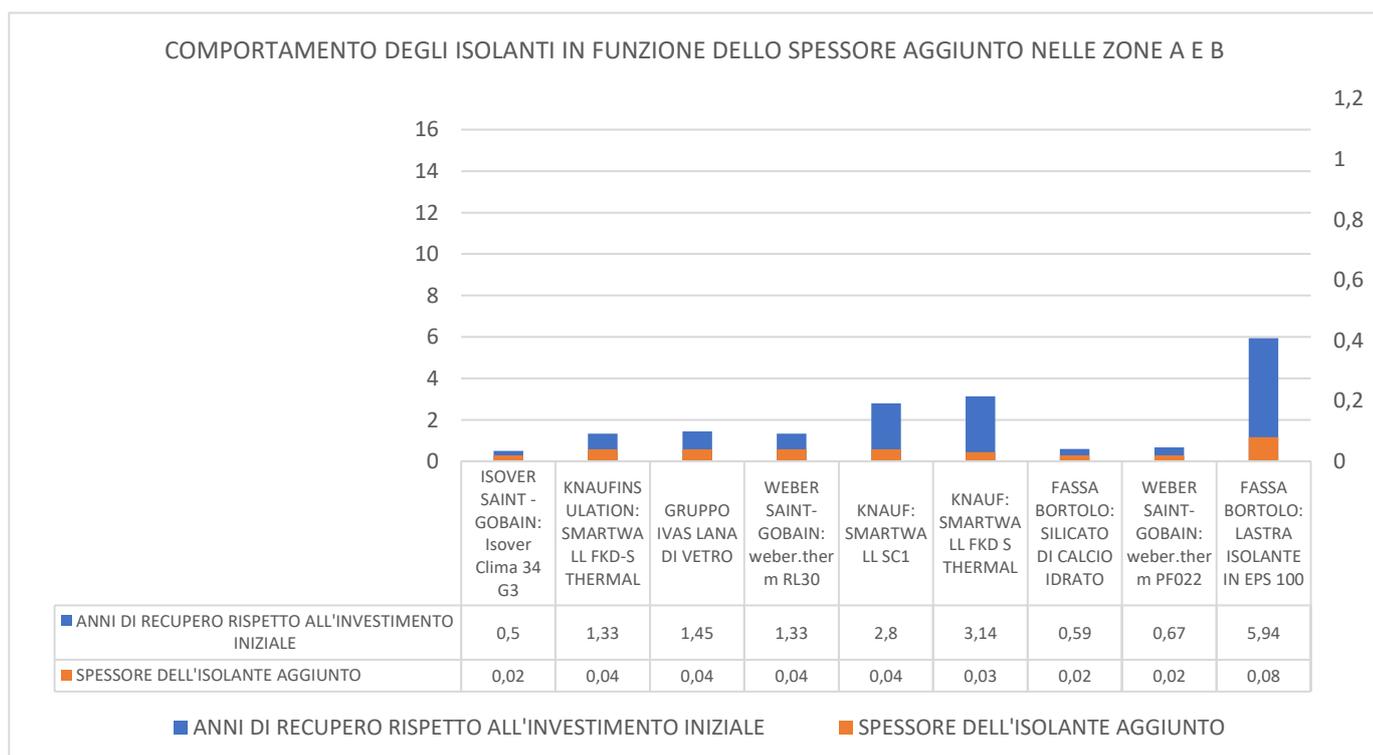
Infine nell'ultima fase dell'indagine si è voluto trovare per quanto in termini di spessore si può risparmiare oltre l'investimento necessario per raggiungere le trasmittanze limiti di legge e i valori addebitati a quella particolare 'aggiunta di spessore', al fine di poter individuare in quanti anni, tenendo conto anche delle detrazioni fiscali, si possa avere un ritorno economico riferito all'investimento iniziale.

Con l'ausilio di questi grafici, si può individuare già visivamente quali sono quei materiali che in funzione del minor spessore aggiunto riescano ad apportare un ritorno economico in poco tempo, e le differenze di questi materiali in relazione alle diverse tipologie di muratura alle quali sono applicati.

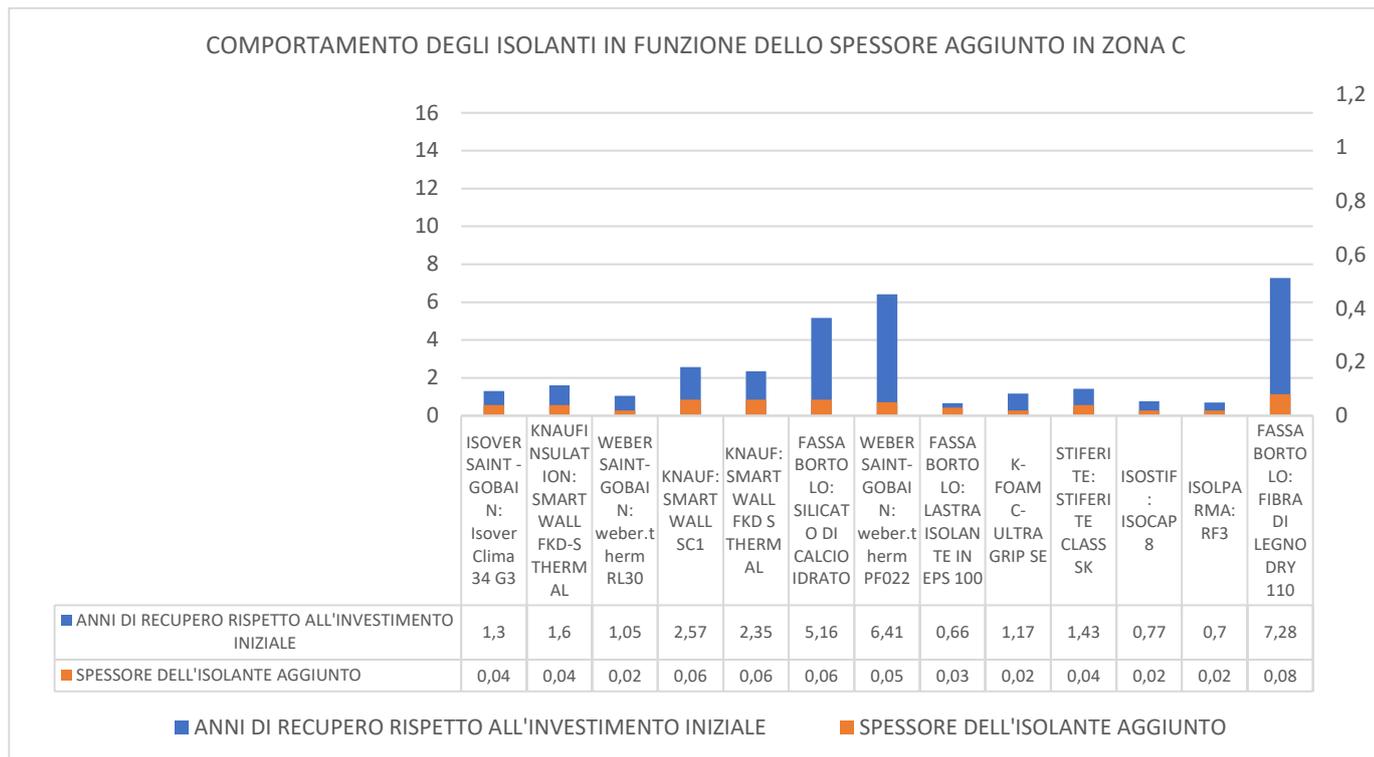
ZONA A-B; MURATURA CASSAVUOTA



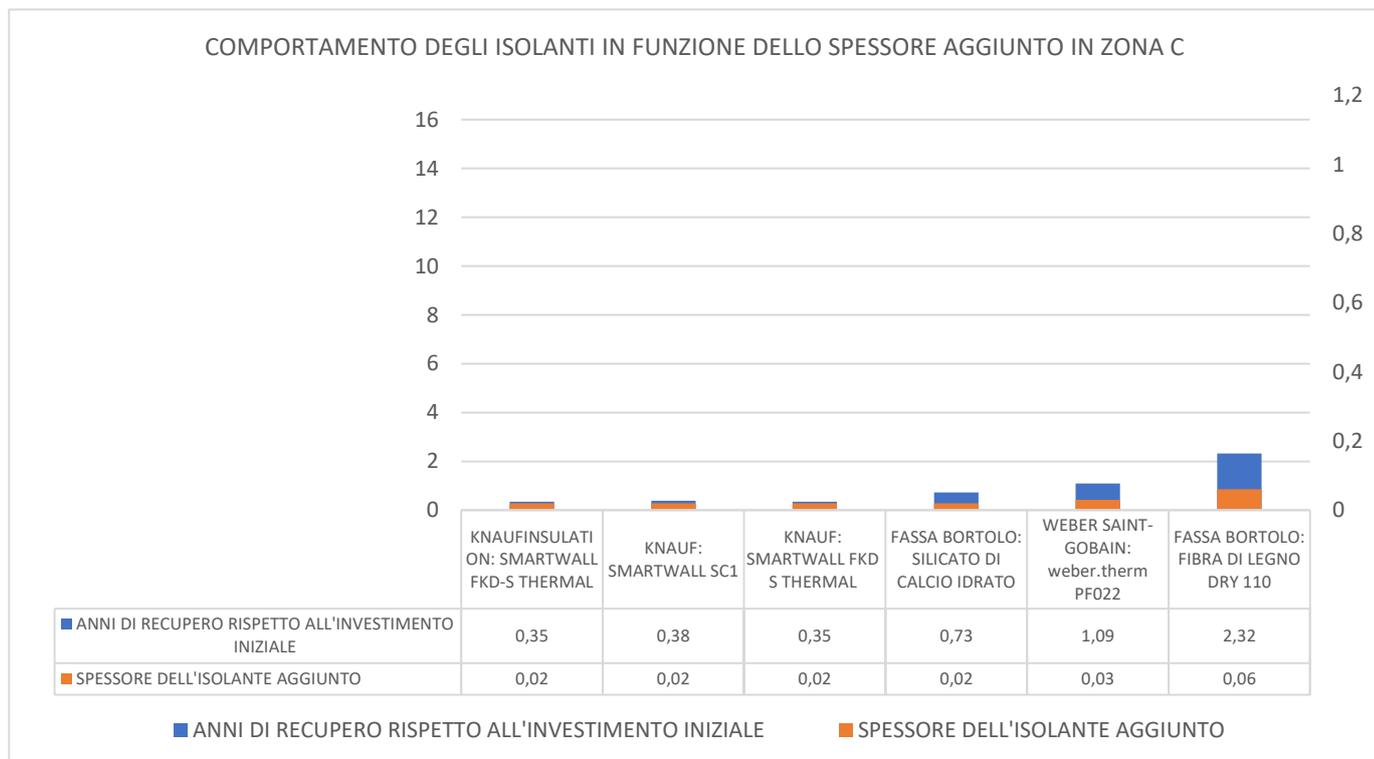
ZONA A-B; PARETE IN PIETRA



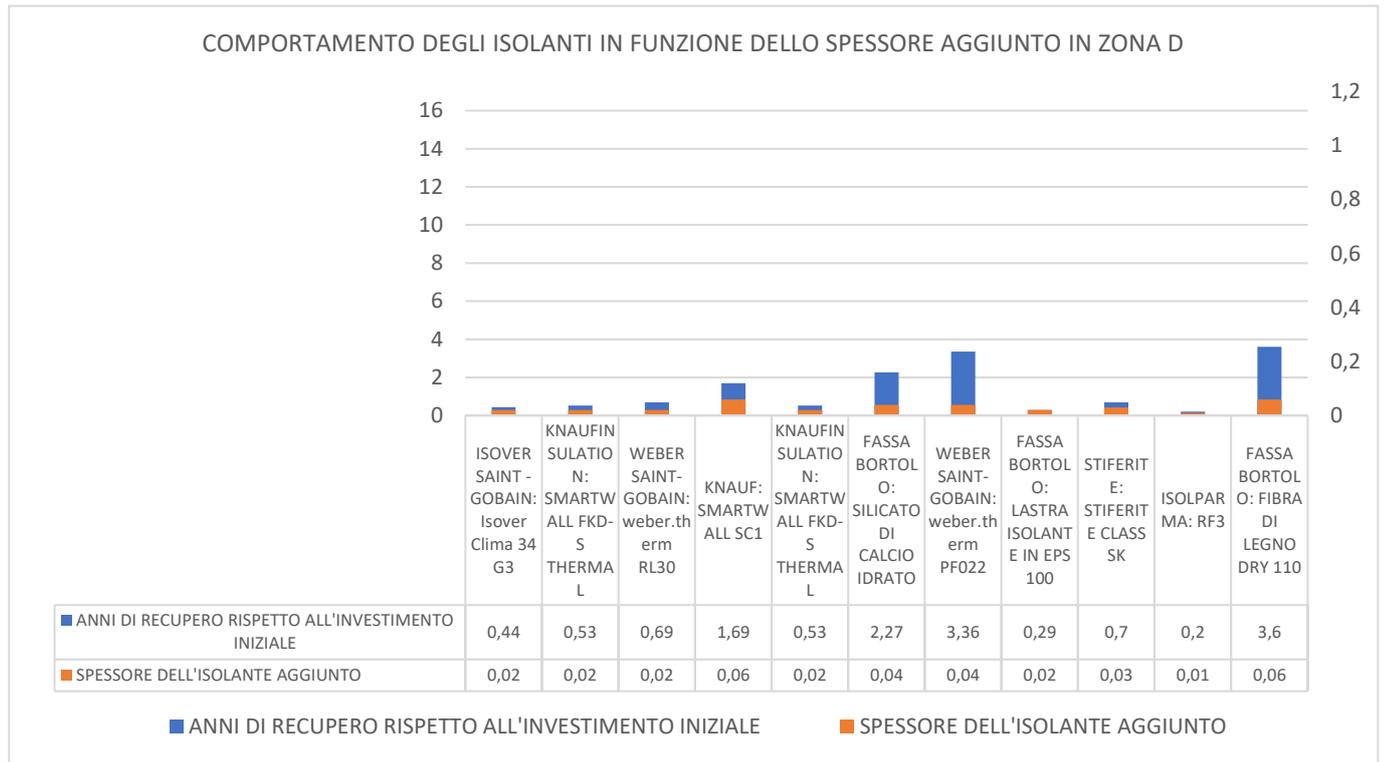
ZONA C; MURATURA A CASSA VUOTA



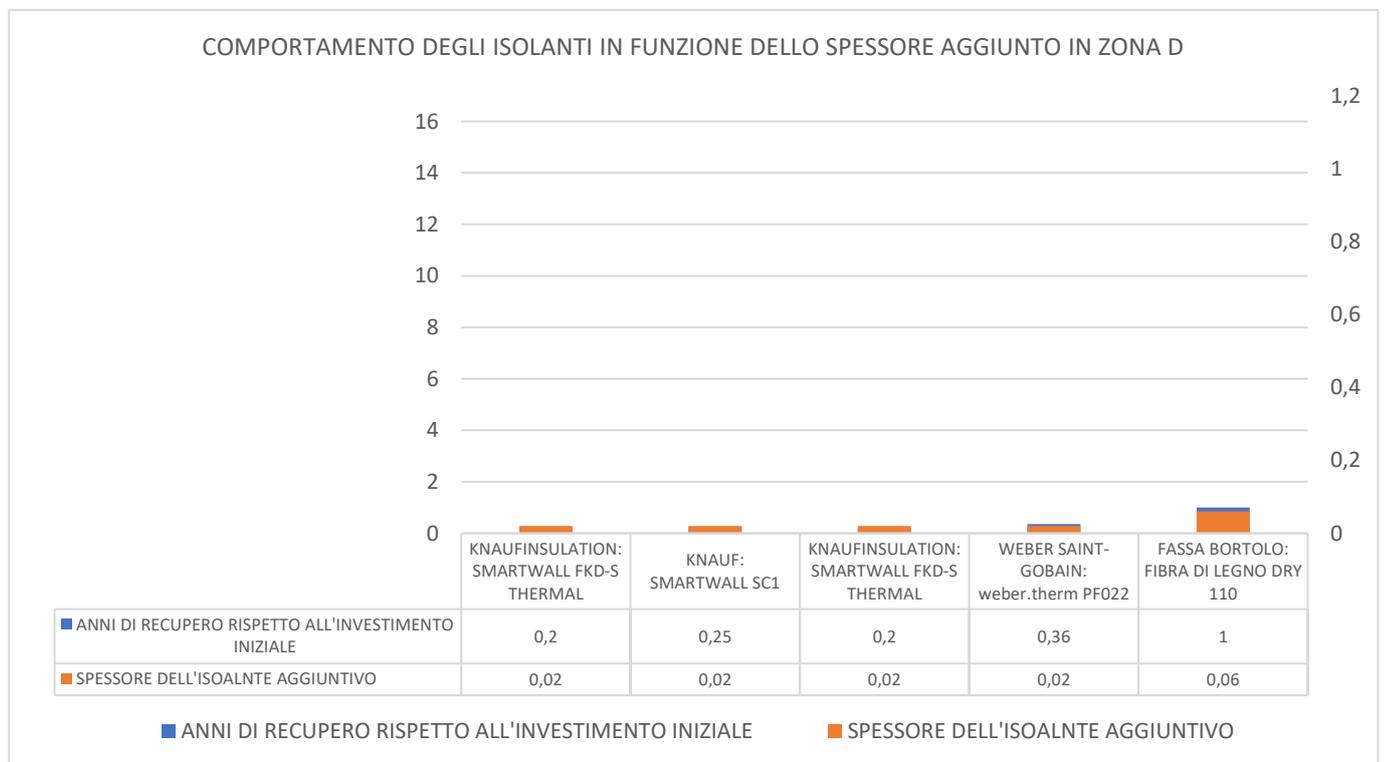
ZONA C; PARETE IN PIETRA



ZONA D; MURATURA A CASSA VUOTA

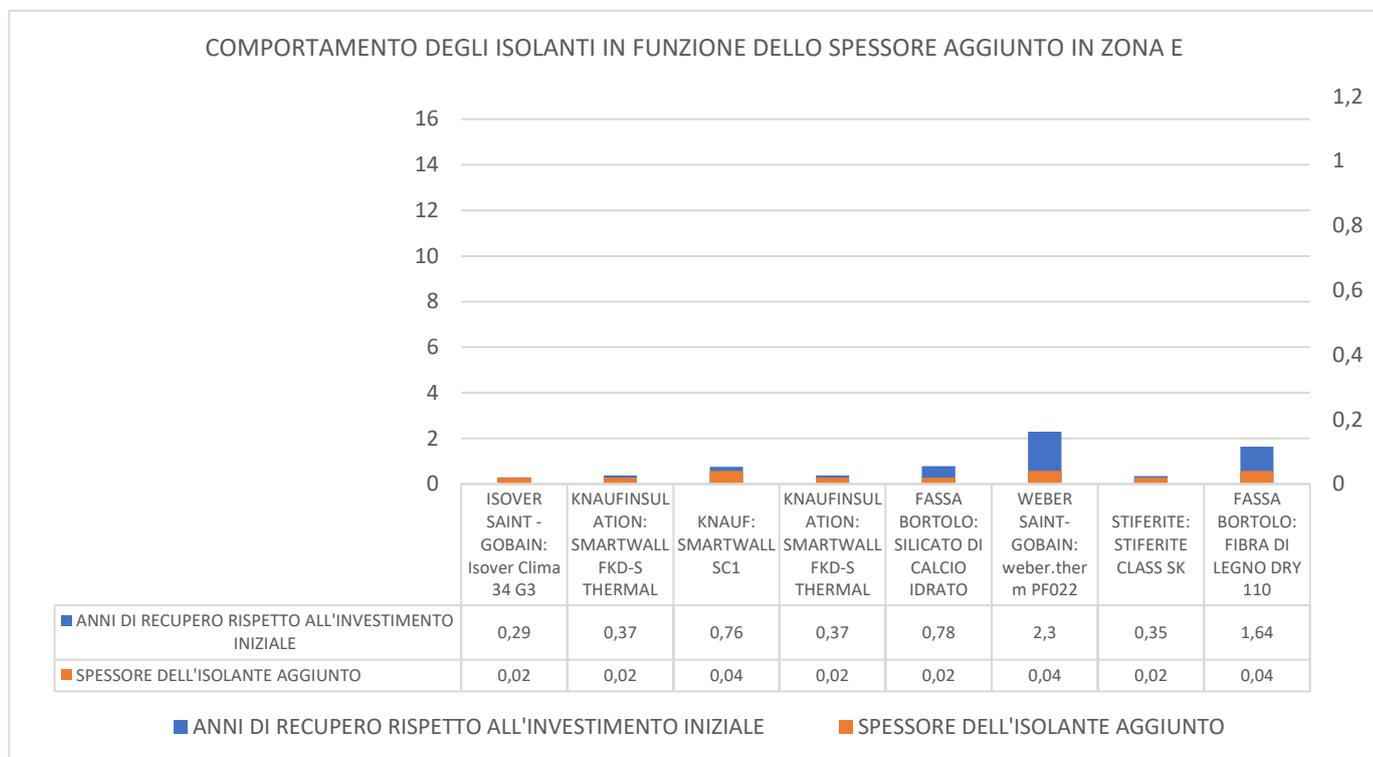


ZONA D; PARETE IN PIETRA

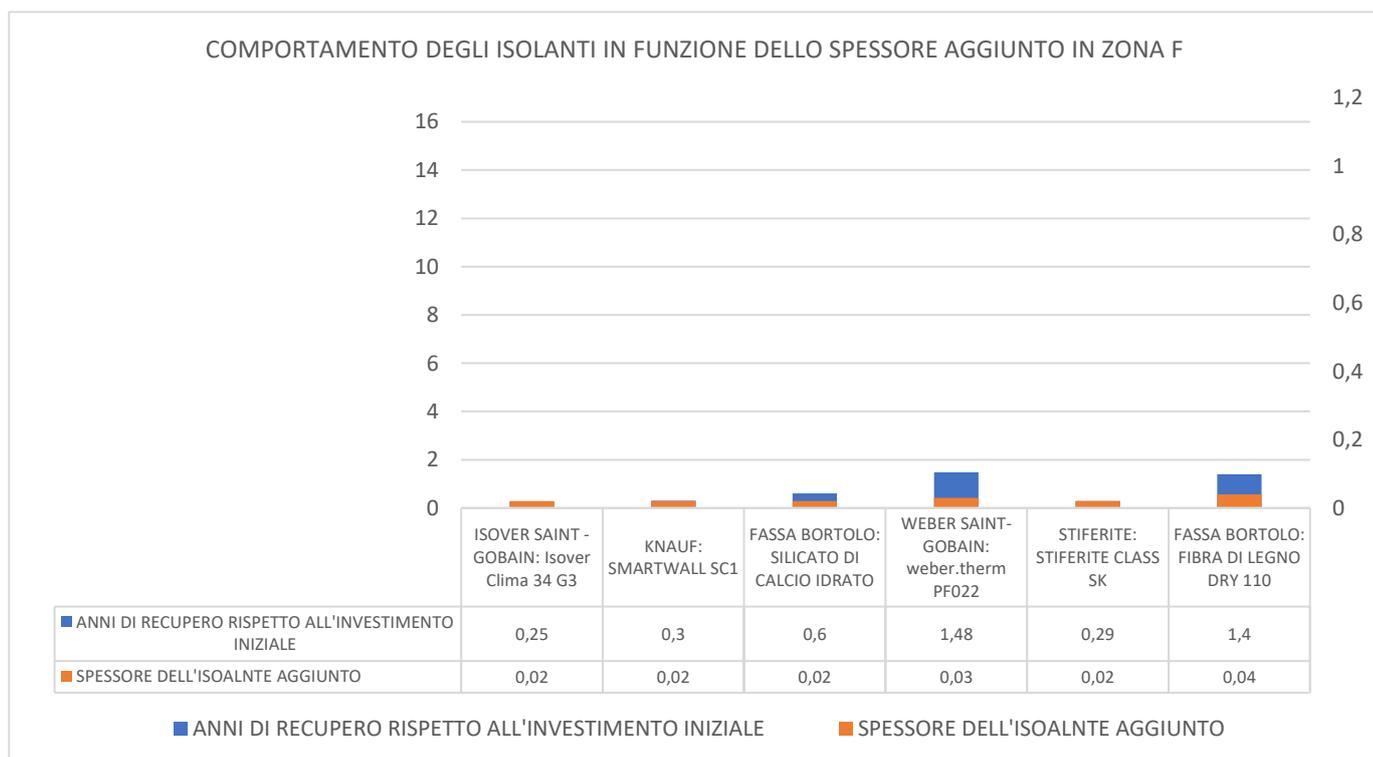


Per le due zone E ed F non si può fare una comparazione tra le due differenti murature poiché tra i materiali isolanti scelti, quelli che apportano ad un risparmio economico ed energetico, e che possono accedere ad eventuali detrazioni fiscali, si hanno soltanto per le murature a cassavuota.

ZONA E; MURATURA A CASSA VUOTA



ZONA F; MURATURA A CASSA VUOTA



NORMATIVE DI RIFERIMENTO:

- UNI EN ISO 6946:2017: *Componenti ed elementi per edilizia; Resistenza termica e trasmittanza termica; Metodo di calcolo*
- 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*
- UNI/TS 11300-2:2014: *Prestazioni energetiche degli edifici; Parte 2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali*
- UNI 10351-2015: *Materiali e prodotti per edilizia; Proprietà termoigrometriche; Procedure per la scelta dei valori di progetto*
- UNI/TR 11715:2018: *Progettazione e posa del Sistema a Cappotto*
- ETAG 004: *Guideline for European technical approval of external thermal insulation; Composite system (ETICS) with rendering*
- Direttiva 89/106/CEE: *Direttiva del Consiglio del 21 Dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione*
- UNI/TR 11552: *Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici; Parametri termofisici*
- UNI EN ISO 6946:2008: *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo*
- UNI EN 13162: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di lana minerale (MW) ottenuti in fabbrica*
- UNI EN 13163: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica*
- UNI EN 13164: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polistirene estruso (XPS) ottenuti in fabbrica*
- UNI EN 13165: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di poliuretano espanso rigido (PU) ottenuti in fabbrica*
- UNI EN 13166: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di resine fenoliche espanse (PF) ottenuti in fabbrica*
- UNI EN 13167: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di vetro cellulare (CG) ottenuti in fabbrica*
- UNI EN 13168: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di lana di legno (WW) ottenuti in fabbrica*
- UNI EN 13169: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di perlite espansa (EPB) ottenuti in fabbrica*
- UNI EN 13170: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di sughero espanso ottenuti in fabbrica (ICB)*
- UNI EN 13171: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di fibre di legno (WF)*

ottenuti in fabbrica

- UNI EN 14063-1: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di aggregati leggeri di argilla espansa realizzati in situ - Parte 1: Specifiche per i prodotti sfusi prima della messa in opera*
- UNI EN 14315-1: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) spruzzati e formati in sito*
- UNI EN 14316-1: *Isolanti termici per edilizia - Isolamento termico realizzato in situ con prodotti di perlite espansa (EP) - Parte 1: Specifiche per i prodotti legati e sfusi prima della messa in opera*
- UNI EN 14317-1: *Isolanti termici per edilizia - Isolamento termico realizzato in situ con prodotti di vermiculite espansa (EV) - Parte 1: Specifiche per i prodotti legati e sfusi prima della messa in opera*
- UNI EN 14318-1: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) formati in sito per iniezione - Parte 1: Specifiche per il sistema espanso rigido per iniezione prima dell'installazione*
- UNI EN 16069: *Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polietilene espanso (PEF) ottenuti in fabbrica - Specificazione*

BIBLIOGRAFIA

- BORGHI M., ERBA V., ESPOSTI R., GALBUSERA G., PANZERI A., PETRONE D., *I Materiali isolanti*, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, Milano, 2016
- PFUNDSTEIN M., GELLERT R., SPITZNER M. H., RUDOLPHI A., *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, 2009
- BERGERO S., CHIARI A., *Appunti di termodinamica*, Aracne editrice, 2007.
- BERGERO S., CHIARI A., *Appunti di trasmissione del calore*, Aracne editrice Srl, Roma, 2012.
- BERGERO S., *Dispense: Indici di prestazione energetica*
- BERGERO S., CHIARI A., *Dispense: Fondamenti di trasmissione del calore*
- BERGERO S., CHIARI A., *Dispense: Fondamenti sugli scambi termici attraverso gli elementi dell'involucro edilizio.*
- Guida ANIT, *Efficienza e certificazione energetica degli edifici; regole nazionali*, 2018
- Guida ANIT, *Guida detrazioni fiscali per interventi sul patrimonio edilizio esistente*, 2018

SITOGRAFIA:

- <http://biblus.acca.it/>
- <https://www.edilclima.it/>
- <http://www.archinfo.it>
- <http://www.edilportale.com>
- <http://www.enea.it>
- <https://www.fornacigrigolin.it/>
- <https://www.tecnosugheri.it/>
- <https://www.celenit.com/>
- <https://www.isolparma.it/>
- <https://www.venest.it/>
- <http://www.fassabortolo.it/it/>
- <https://www.isover.it/>
- <https://www.gruppoivas.com/>
- <https://www.knaufinsulation.it/>
- <https://www.rockwool.it/>
- <https://www.e-weber.it/home.html>
- <https://www.stiferite.com/>

RINGRAZIAMENTI:

Desidero ringraziare il Professor Stefano Bergero e il Professor Paolo Cavalletti, relatori di questa tesi di laurea, per gli insegnamenti durante il mio percorso di studi, l'opportunità e il tempo che mi è stato dedicato per portare a compimento l'elaborato.

Il ringraziamento più grande va ai miei genitori ed a mio fratello Alessandro per il supporto che mi hanno sempre dimostrato con amore pazienza e fiducia, e per avermi reso possibile iniziare e terminare questo percorso.

Ringrazio Filippo, che ha vissuto parte di questa esperienza come la propria, per la sua capacità di essermi stato vicino a 360° in ogni momento facile e difficile, e di aver sempre creduto in me.

Ringrazio Elisa, Arianna, Jessica, e Zazzi, miei colleghi ma soprattutto amici con i quali fin dal primo giorno c'è stata una sintonia e supporto reciproco.

Ringrazio le mie ultime coinquiline Elisa, Noemi e Sara per aver dato una nota di colore rispetto alle mie precedenti convivenze.

Infine, ma non meno importanti, ringrazio le mie amiche Ginevra, Olimpia, Francesca, Maria Ester, Beatrice, Chiara, Elena, Giulia, che non hanno mai smesso di essermi vicine dal primo giorno che ci siamo conosciute.