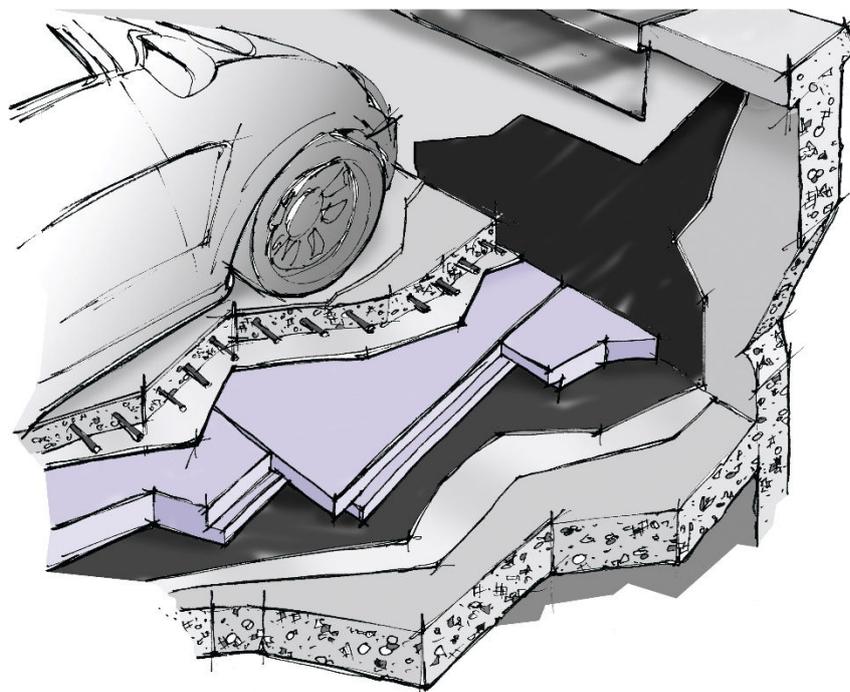




TECNICHE DI ISOLAMENTO PER EDIFICI INDUSTRIALI

MANUALE ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO

OTTOBRE 2020



Tutti i diritti sono riservati.

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

I MANUALI ANIT

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, pubblica periodicamente **guide e manuali** sulle tematiche legate all'efficienza energetica e all'isolamento acustico degli edifici.

Gli argomenti trattati riguardano la legislazione, le norme tecniche di riferimento, le tecnologie costruttive, le indicazioni di posa e molto altro.

Le **guide** sono riservate ai Soci ANIT e analizzano leggi e norme del settore, i **manuali** sono scaricabili per tutti gratuitamente e affrontano con un taglio pratico temi sviluppati in collaborazione con le Aziende associate.



STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante **aggiornamento sulle norme in vigore** con le GUIDE ANIT



I software per calcolare **tutti i parametri** energetici, igrotermici e acustici degli edifici



Servizio di **chiarimento tecnico** da parte dello Staff ANIT



Abbonamento alla rivista specializzata **Neo-Eubios**

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato (Individuale, Azienda, Onorario). I Soci Individuali possono accedere alla qualifica "Socio Individuale Più" per ottenere servizi avanzati

Il presente manuale è realizzato in collaborazione con:



Tutti i diritti sono riservati

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

I contenuti sono curati dallo Staff ANIT e sono aggiornati alla data in copertina.

Le informazioni riportate sono da ritenersi comunque indicative ed è sempre necessario riferirsi anche a eventuali documenti ufficiali. Sul sito www.anit.it sono disponibili i testi di legge.

Si raccomanda di verificare sul sito ANIT l'eventuale presenza di versioni più aggiornate di questo documento.

INDICE

1	PREMESSA	3
2	REQUISITO DI ISOLAMENTO TERMICO	4
2.1	<i>Lambda dichiarato λ_D</i>	4
2.2	<i>Trasmittanza termica U</i>	5
3	REQUISITI DI RESISTENZA A COMPRESSIONE e STABILITÀ	7
3.1	<i>Premessa ai parametri</i>	7
3.2	<i>Resistenza a compressione al 10% di deformazione</i>	8
3.3	<i>Resistenza a compressione con deformazione $\leq 2\%$ (creep)</i>	8
3.4	<i>Stabilità dimensionale</i>	10
3.5	<i>Esempio di lettura di dati tecnici</i>	11
4	TECNICHE DI ISOLAMENTO DI SOLAI CARRABILI	13
4.1	<i>Solaio piano carrabile</i>	13
4.2	<i>Solaio industriale</i>	14
5	TECNICHE DI ISOLAMENTO DI COPERTURA	16
5.1	<i>Tetto caldo</i>	17
5.2	<i>Tetto rovescio</i>	19
5.3	<i>Applicazione speciale: pendenza realizzata con materiale isolante</i>	20
5.4	<i>Applicazione speciale: isolamento delle coperture con pannelli prefabbricati non piani</i>	23
6	CONTATTI	25

1 PREMESSA

Le strutture opache da isolare termicamente del settore industriale e del terziario avanzato hanno esigenze molto differenti rispetto a quelle tipiche dell'edilizia civile, soprattutto residenziale, dovute all'estensione delle superfici e al possibile diverso utilizzo (carrabilità o elevati carichi concentrati per macchinari).

Lo spirito del Manuale è di cominciare ad affrontare alcuni di questi temi, ad oggi non molto o poco presenti, in altri documenti di ANIT (per esempio nel Volume 1 dedicato ai materiali isolanti o nel Manuale ANIT sul polistirene espanso estruso).

Come avviene nei Manuali ANIT realizzati in collaborazione con aziende associate, ai cenni di teoria, si accompagnano soluzioni tecnologiche reali immediatamente utilizzabili con caratteristiche dei materiali ben individuate.

Il manuale è quindi raggruppato in due parti principali: la prima dedicata alle prestazioni rilevanti e la seconda alle principali tipologie di strutture da isolare per gli edifici industriali.

Nello specifico **la prima parte** descrive il significato e come si valutano e descrivono le prestazioni rilevanti che i materiali isolanti devono avere per l'applicazione in edifici industriali:

- isolamento termico
- resistenza a compressione
- stabilità dimensionale

Per la prestazione "isolamento termico" vengono descritti gli aspetti sostanziali della conduttività termica dichiarata e delle ipotesi di calcolo della trasmittanza mentre per le altre prestazioni meccaniche si descrivono i metodi di prova e il significato dei parametri.

La **seconda parte** affronta le seguenti tipologie di strutture:

- i solai che devono resistere a carichi accidentali e permanenti importanti
- le coperture di grande estensione con sollecitazioni termiche rilevanti

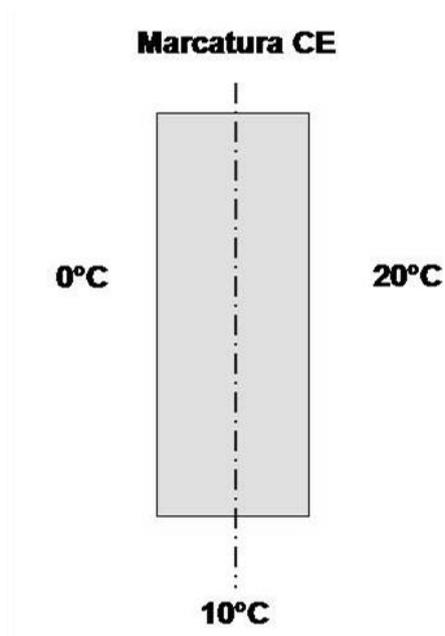
Il manuale si chiude con alcune proposte di isolamento di applicazione specifica con valutazioni di calcolo termotecnico.

2 REQUISITO DI ISOLAMENTO TERMICO

I progettisti ai fini del rispetto delle regole di efficienza energetica (relazione ex-legge 10), per la certificazione energetica degli edifici e per le valutazioni necessarie all'accesso agli incentivi fiscali, devono scegliere la tipologia e lo spessore di materiale isolante da impiegare per progettare i valori di trasmittanza termica delle strutture U in W/m^2K .

2.1 Lambda dichiarato λ_D

Per i prodotti isolanti esistono le norme armonizzate di prodotto e gli ETA che indicano al fabbricante come determinare la conduttività termica dichiarata λ_D necessaria ai fini della marcatura CE del materiale. Le norme di prodotto e gli ETA sono i risultati dell'attuazione del Regolamento Europeo 305 del 2011 (CPR) che ha sostituito la precedente direttiva europea 89/106 sui prodotti da costruzione.



temperatura di riferimento per i campioni di materiali isolanti per il valore di lambda della marcatura CE

Il progettista ha a disposizione il valore di λ_D che rappresenta il 90% della produzione con una confidenza del 90% sul valore dichiarato; il valore di lambda dichiarato deriva infatti da misure di laboratorio condotte su campioni di materiale considerato invecchiato e viene calcolato sulla base dei risultati di misura con un peggioramento del valore medio per dare una attendibilità statistica al risultato.

Come evidenziato in figura la condizione di prova è con la temperatura di 10 °C in mezzera al campione di materiale isolante e dopo una "stagionatura" del campione per un certo periodo a 23°C e 50% di umidità relativa.

Il valore di conduttività termica λ_D dichiarato dal produttore deve essere trasformato in valore di conduttività di progetto in accordo con la norma di riferimento UNI EN ISO 10456. Molto spesso le condizioni di progetto equivalgono a quelle dichiarate.

I materiali isolanti (e in generale tutti quelli da costruzione) hanno una conduttività termica che dipende dalle condizioni di temperatura e di umidità.

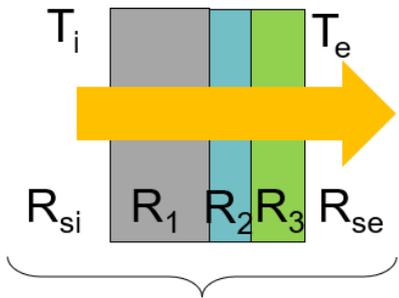
Il progettista è tenuto quindi a valutare le condizioni di progetto di temperatura e umidità in cui il materiale isolante potrà trovarsi in opera, determinando il valore di λ che potrebbe migliorare o peggiorare a seconda delle condizioni ipotizzate.

Il processo descritto rappresenta la regola dell'arte a livello nazionale: il produttore segue le regole della legislazione vigente per la determinazione del lambda dichiarato e il progettista sulla base di questi valori impiega la norma di riferimento UNI EN ISO 10456 per la determinazione del lambda di progetto.

2.2 Trasmittanza termica U

La norma **UNI EN ISO 6946** è la norma di riferimento che fornisce il metodo per il calcolo della resistenza termica e della trasmittanza termica dei componenti e degli elementi in edilizia.

L'immagine riassume come si calcola la trasmittanza termica ovvero come l'inverso della resistenza termica totale.

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$


$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se}$$

In accordo con quanto indicato nelle UN EN ISO 6946 la resistenza termica per singolo strato omogeneo si valuta sulla base dello spessore "d" [m] e della conduttività "λ" di progetto [W/mK] come da relazione:

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

La norma specifica, al capitolo 6.7.1.1, che la conduttività di progetto dei materiali isolanti deve essere calcolata in accordo con la UNI EN ISO 10456 basata su misure (almeno 3 misure) ovvero sui valori di conduttività termica dichiarata λ_D .

Esempio di valutazione della conduttività di progetto

In accordo con le indicazioni presenti nella norma UNI EN ISO 10456 per un pannello in polistirene estruso (XPS) con $\lambda_D = 0,035$ W/mK valutato in condizioni di prova di $T_{1media} = 10^\circ\text{C}$ (condizione di laboratorio), si valuta il valore di conduttività di progetto nel caso di applicazione climatiche estive per il quale il materiale isolante lavora in una condizione media di $T_{2media} = 26^\circ\text{C}$ (condizione operativa).

La tabella A3 dell'Appendice A della norma ospita i valori del fattore correttivo $f_t = 0,0035$ 1/K e quindi si procede alla valutazione della conduttività di progetto:

$$F_t = e^{f_t \cdot (T_2 - T_1)} = 1,0576$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_t = 0,037 \text{ W/mK}$$

Lambda di progetto
 Tipo di materiale: Polistirene espanso con pelle λ dichiarato: 0.035 W/m K
 Dati per il calcolo: Temperatura di progetto: 26 °C λ di progetto: 0.0373 W/m K
 Umidità relativa di progetto: 65%
 Coefficiente di conversione per temperatura: 0.004 1/K
 Contenuto d'acqua al 50% UR: 0.000 m³/m³ Contenuto d'acqua di riferimento per il calcolo del contenuto d'acqua: 0.0001 m³/m³ Contenuto d'acqua massimo: 0.1 m³/m³
 Contenuto d'acqua all'80% UR: 0.000 m³/m³ Umidità relativa di riferimento per il calcolo del contenuto d'acqua: 50% Coefficiente di conversione per umidità: 2.5
Temperatura - Conduttività **Umidità relativa - Contenuto d'acqua** **Umidità relativa - Conduttività**
 ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
 Pan 7.1.0.3 Analisi termica, igrometrica e dinamica dell'involucro opaco.

Valutazione della conduttività di progetto a partire da quella dichiarata: modulo avanzato del software Pan distribuito ai soci ANIT

Si ricorda che le condizioni operative sono a discrezione del progettista in funzione dell'applicazione specifica.

Le misure valide per ottenere il valore di conduttività termica dichiarata devono essere effettuate da laboratori accreditati in base alle norme vigenti. Nelle norme di prodotto dei materiali isolanti sono elencati i parametri che devono essere testati esternamente presso laboratorio notificato. La conduttività termica è uno di questi parametri soggetto ai "Initial Type Test" (ITT) oltre al controllo di produzione in fabbrica (FPC).

Oltre alla legislazione comunitaria è anche vigente a livello nazionale il DM 2 aprile 1998 "Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi".

Il valore di conduttività è relativo a uno specifico spessore. La norma UNI EN ISO 6946 nell'allegato E descrive come valutare la resistenza termica in presenza di una variazione di spessore, è ciò può accadere per i pannelli di isolamento impiegati in copertura per la realizzazione delle pendenze. In buona sostanza realizza una media ponderata sulla geometria del pannello delle diverse resistenze termiche.

3 REQUISITI DI RESISTENZA A COMPRESSIONE e STABILITÀ

3.1 Premessa ai parametri

Il tema del comportamento dei materiali isolanti sollecitati a compressione in condizioni ambientali anche severe non è generalmente trattato in modo approfondito.

Negli edifici industriali e del terziario per molte applicazioni in copertura, come per esempio un tetto rovescio pedonabile con macchinari in copertura o per solai che devono essere carrabili o che devono sostenere carichi elevati, è necessario che le sollecitazioni non generino deformazioni eccessive che possano mettere in crisi il materiale isolante e gli altri strati funzionali. Conoscere la resistenza meccanica del materiale è quindi fondamentale.

Oltre alla resistenza meccanica del materiale isolante, anche gli sbalzi termici possono compromettere l'integrità della copertura; è di notevole rilevanza anche la stabilità dimensionale dei pannelli isolanti: in particolare in copertura si richiede al materiale isolante un comportamento stabile e duraturo nel tempo, senza pregiudicare il corretto funzionamento dell'elemento stratigrafico.

L'obiettivo primario della posa di un pannello di isolamento termico è di contribuire con la propria resistenza termica alla riduzione delle dispersioni termiche. Per poter espletare questo compito il valore di conduttività termica e lo spessore devono essere mantenuti il più possibile coerenti con il pannello prodotto.

L'obiettivo secondario è che l'eventuale deformazione del pannello non deve mettere in crisi altri strati.

Per i materiali isolanti esistono dei parametri, indicati nell'etichetta della marcatura CE e quindi anche nella documentazione tecnica generalmente disponibile, che attestano per mezzo di prove standard come i singoli prodotti reagiscono alle sollecitazioni a compressione.

I parametri principali sono tre:

- resistenza a compressione al 10% di deformazione
- resistenza a compressione con schiacciamento $\leq 2\%$ (creep)
- stabilità dimensionale a carico costante in specifiche condizioni di temperatura e umidità (per esempio le condizioni di prova possono essere: 70 °C, 168 ore, 40 kPa)

Per tutti i parametri le singole norme di prodotto armonizzate spiegano come caratterizzare i singoli prodotti. Le modalità di prova sono comuni ai diversi tipi di materiale isolante e descritte da normative europee e recepite a livello nazionale (norme UNI EN).

In generale l'obiettivo di queste prove è conoscere quale valore di sollecitazione è in grado di sopportare il materiale prima di giungere alla crisi dell'elemento isolante stesso.

Si riportano le descrizioni di questi parametri.

3.2 Resistenza a compressione al 10% di deformazione

In accordo con le diverse norme di prodotto, la sollecitazione a compressione al 10% di deformazione, σ_{10} , è un indice del carico che il prodotto è in grado di sopportare con una deformazione massima accettabile del 10%.

Il metodo di prova è descritto nella norma UNI EN 826 “Determinazione del comportamento a compressione. Le prove sono condotte imponendo una forza di compressione al fine di calcolare la sollecitazione massima sopportata dal provino. Materiali differenti possono avere curve di deformazioni differenti che sono caratterizzate da moduli elastici diversi nel tratto di deformazione elastica lineare. Le prove consentono di caratterizzare il prodotto al quale viene attribuito un livello di resistenza a compressione (di collasso o di deformazione relativa al 10%). Il codice di designazione della prestazione è **CS (10\Y)i** dove *i* è il valore espresso in kPa di carico misurato associato alla deformazione del 10% o alla fine del comportamento elastico.

Si riportano per esempio alcuni livelli prestazionali presenti nella norma di prodotto armonizzata del polistirene estruso (XPS) UNI EN 13164.

Livello	Requisito kPa
CS (10\Y)100	Carico > 100 kPa
CS (10\Y) ...	Carico >= ... kPa
CS (10\Y)1000	Carico >= 1000 kPa

3.3 Resistenza a compressione con deformazione $\leq 2\%$ (creep)

In accordo con le diverse norme di prodotto, la sollecitazione a compressione viscosa, σ_c , è un indice del carico che il prodotto è in grado di sopportare con una deformazione massima accettabile in specifiche condizioni di temperatura e umidità e per un periodo di tempo determinato.

Il metodo di prova è descritto nella norma UNI EN 1606 “Determinazione dello scorrimento viscoso a compressione”. Le prove sono condotte imponendo una sollecitazione a compressione in kPa e misurando la deformazione a intervalli di tempo determinati per una durata minima di 122 giorni ottenendo valori rappresentativi delle prestazioni meccaniche dopo 10 anni di esercizio. La durata della prova può essere prolungata fino ad un tempo utile a descrivere le prestazioni attese dopo 50 anni di esercizio (valore stimato vita utile degli edifici). Il metodo di calcolo consente un’extrapolazione massima fino a 30 volte il tempo di durata della prova.

Al termine del periodo di prova, in corrispondenza del carico imposto si valuta il valore di deformazione che viene espresso in termini relativi con una percentuale riferita allo spessore iniziale. La valutazione dello scorrimento viscoso a compressione viene realizzata nel campo elastico del materiale, ovvero non si raggiungono i carichi che portano al collasso dello stesso.

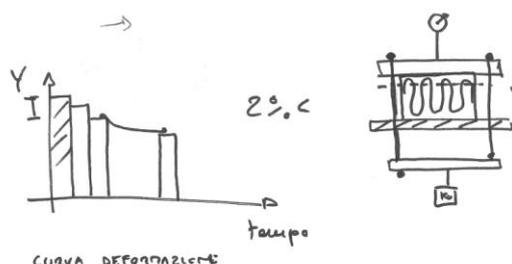


Grafico di deformazione e macchinario per la prova come da UNI EN 1606

Il codice di designazione della prestazione è **CC (i1/i2/y) σ_c** dove

- i1 è la deformazione in % a seguito del carico di prova estrapolata per una durata in anni pari a y
- i2 è la deformazione massima non superata misurata dalla prova
- y è il numero di anni di carico estrapolati sulla base del periodo effettivo di prova
- σ_c è il valore del carico a cui il prodotto è stato sottoposto in kPa associato alla deformazione massima misurata i2.

Si riportano come esempio il tempo di prova in riferimento al comportamento meccanico a lungo periodo presente nella norma di prodotto armonizzata del polistirene estruso (XPS) - UNI EN 13164.

Periodo di misura -giorni	Estrapolazione - anni
122	10
304	25
608	50

Dopo un periodo di "reazione" iniziale al carico applicato, la parte di scorrimento rimanente nella deformazione è molto ridotto. Inoltre fra 20 e 50 anni di esercizio la deformazione è praticamente irrilevante. Il materiale XPS rimane strutturalmente stabile per tutta la durata del test. Questo significa che il polistirene estruso XPS presenta un'elevata durezza a fronte di carichi meccanici sostenuti e assenza di cedimenti improvvisi con collassi della struttura cellulare della schiuma.

Per molte applicazioni le informazioni sulla sollecitazione a compressione viscosa sono fondamentali: le applicazioni per isolamento termico di massetti di solaio o per applicazioni in cui è richiesta la pedonalità o la carrabilità. Maggiore il valore in kPa, maggiore il carico che il materiale isolante può supportare limitando la propria deformazione; un valore generalmente accettato è entro il 2% di deformazione.

A cosa corrispondono i valori di carico in kPa?

A quanto corrisponde 1 kPa? Più semplice (ma meno rigoroso) esprimere i kPa in kg su area: un kPa corrisponde a circa 0.01 kg per cm². Le prestazioni dei materiali isolanti sono espresse in centinaia di kPa. Se un materiale isolante ha una resistenza a compressione sul lungo periodo (creep) ≥ 250 kPa (ovvero 25 tonnellate/m²) significa che può sopportare tranquillamente 250 kPa con una deformazione (schiacciamento) di appena il 2% nello spessore, dopo 50 anni.

I carichi accidentali considerati per la progettazione di edifici secondo Norma Tecnica per le Costruzioni variano a seconda della destinazione d'uso: da carichi di 2kN/m², tipico per ambienti ad uso residenziale, ovvero circa 200 kg al metro quadro fino a 6 kN/m², per ambienti ad uso industriale, ovvero 600 kg/ m².

Esemplificando si ricorda che per esempio un'auto di media taglia ha una massa di 1200 kg su un'area di circa 8 m² e che esercita quindi un carico accidentale di circa 150 kg/m². Il massetto armato ripartisce il carico a 45° sul materiale isolante riducendone il valore al crescere dello spessore dello stesso. Il carico accidentale, con approccio cautelativo, sollecita il materiale isolante scelto con adeguata resistenza (per esempio 250 kPa) per neanche 1/100 del carico che è in grado di sopportare prima di deformarsi del 2%.

Nei solai di copertura piana per edifici residenziali o del terziario, in cui deve essere garantita la pedonalità per la manutenzione o per l'utilizzo, oppure dove devono essere ospitate le macchine per la climatizzazione, è necessario valutare in fase di progettazione i possibili carichi, per scegliere la corretta resistenza a compressione minima che deve essere garantita dal materiale.

Negli edifici industriali, i carichi permanenti e accidentali sono ovviamente maggiori e nell'ordine di possibili tonnellate al metro quadro. Da qui l'esigenza di impiegare materiali isolante con valori di resistenza a compressione con deformazione $\leq 2\%$ (creep) CC ($i_1/i_2/y$) σ_c fino a 250 kPa.

Il parametro per questo tipo di applicazione è quindi un parametro molto prezioso e restituisce un'indicazione di come reagisce la struttura del materiale isolante soggetta a forze di compressione.

3.4 Stabilità dimensionale

La stabilità dimensionale di un materiale isolante può essere valutata attraverso le seguenti modalità:

- in particolari condizioni di umidità e temperatura
- in particolari condizioni di temperatura e carico costante

Nel primo caso il metodo di prova è descritto nella norma UNI EN 1604 che rappresenta le più severe condizioni di esercizio. Si tratta di condizioni di prova praticamente mai verificabili durante la fase di esercizio del materiale (ad esempio una temperatura di 70 °C e 90 % U.R. per 48 h continuative). Questo requisito è richiesto soprattutto per applicazioni in copertura dove il materiale, posto a diretto contatto la membrana impermeabile, deve garantire un comportamento stabile nel tempo senza pregiudicare il funzionamento dell'intero pacchetto stratigrafico.

Le prove sono condotte imponendo specifiche condizioni di temperatura e di umidità relativa per un determinato lasso di tempo. Al termine della prova vengono misurati i cambiamenti di lunghezza, larghezza e spessore. Se le variazioni sono sotto i limiti dipendenti dal materiale è possibile attribuire al prodotto la stabilità dimensionale in quelle condizioni attraverso il codice DS(i,ii) dove *i* indica la temperatura di stagionatura e *ii* l'umidità relativa.

Livello	Condizioni del test	Requisito
DS (70,90)	Temperatura 70 °C, Umidità relativa 90%, periodo di misura 48 ore	Deformazione % $\leq 5\%$

La seconda tipologia è descritta nella norma UNI EN 1605 "Determinazione della deformazione in condizioni specificate di carico di compressione e di temperatura".

Le prove sono condotte imponendo le condizioni di temperatura e di sollecitazione a compressione per un certo periodo. Al termine della prova vengono misurate le deformazioni principali ϵ_1 e ϵ_2 . Se le deformazioni sono sotto i limiti previsti dalla norma è possibile attribuire al prodotto la stabilità dimensionale in quelle condizioni attraverso il codice **DLT(i)ii** dove *i* indica il livello di stagionatura (1 o 2, se il livello è maggiore, maggiore il carico in kPa e la durata) e *ii* è il limite in % di deformazione sotto il quale rimanere.

Si riportano per esempio le condizioni indicate nella norma di prodotto armonizzata del polistirene estruso (XPS) UNI EN 13164.

Livello	Condizioni del test	Requisito
DLT (1)5	Carico a 20 kPa, temperatura 80 °C, periodo di misura 48 ore	Deformazione % $\leq 5\%$
DLT (2)5	Carico a 40 kPa, temperatura 70 °C, periodo di misura 168 ore	Deformazione % $\leq 5\%$

La stabilità dimensionale è fondamentale nelle applicazioni dove oltre al carico è importante anche la temperatura. Per le soluzioni di isolamento di copertura con materiale all'estradosso della struttura portante e molto vicino all'ultimo strato che riceve l'energia solare, la stabilità dimensionale è molto rilevante soprattutto per evitare tensioni che possono rovinare lo strato di tenuta (ovvero l'impermeabilizzazione).

3.5 Esempio di lettura di dati tecnici

Si riporta un estratto di una dichiarazione di prestazione di un prodotto in XPS. Nella dichiarazione sono evidenziate le proprietà del materiale in relazione allo spessore.

Caratteristica Essenziale	Prestazione			Specifica Tecnica Armonizzata
Tolleranza Spessore	Dichiarata Classe T1: Spessore 50 - 120 mm: -2/+3 mm Spessore > 120 mm: -2/+6 mm			EN 13164:2012 + A1:2015
Conducibilità termica (λ_D) e Resistenza termica (R_D)	Spessore (mm)	λ_D: W/mK	R_D: m²K/W	
	50	0,034	1,45	
	60	0,034	1,75	
	80	0,036	2,20	
	100	0,036	2,75	
	120	0,036	3,30	
	140	0,034	4,10	
	160	0,034	4,70	
	180	0,034	5,25	
	200	0,035	5,70	
	220	0,035	6,20	
	240	0,036	6,65	
	260	0,036	7,30	
280	0,036	7,75		
300	0,036	8,30		
Resistenza a compressione al 10% di deformazione	Dichiarato livello: CS(10/Y)700 ≥ 700 kPa			
Resistenza a compressione dopo 50 anni con schiacciamento ≤ 2%	Dichiarato livello: CC(2/1,5/50)250 ≥ 250 kPa			
Stabilità dimensionale sotto specifiche condizioni di temperatura e umidità	Dichiarata Classe: DS(70,90) <u>A 70° C e 90% U.R.:</u> Cambiamento delle dimensioni ≤ 5%			
Comportamento alla deformazione sotto specifiche condizioni di carico e temperatura	Dichiarata Classe: DLT(2)5 <u>A 70° C, 168 ore, 40 kPa:</u> Cambiamento delle dimensioni ≤ 5%			
Assorbimento d'acqua per immersione (28 giorni)	Dichiarato livello: WL(T)0,7 Assorbimento ≤ 0,7% vol.			
Assorbimento d'acqua per diffusione (28 giorni)	Dichiarato livello: WD(V)5 Assorbimento ≤ 5% vol. (spes. 50 mm)			
	Dichiarato livello: WD(V)3 Assorbimento ≤ 3% vol. (spes. 60 - 300 mm)			
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ)	Dichiarato livello: MU100 (spes. 50 - 300 mm)			
Comportamento al gelo (alternanza gelo-disgelo)	Dichiarato livello: FTCD1 Assorbimento ≤ 1% vol.			
Reazione al fuoco	Euroclasse E			

Esempio di dati presenti nella Dichiarazione di Prestazione DoP della lastra in polistirene estruso X-FOAM HBT 700

La resistenza a compressione con schiacciamento al 10% è, per esempio, maggiore di 700 kPa. La resistenza a compressione con schiacciamento ≤ 2% è di maggiore di 250 kPa. La stabilità dimensionale con carico costante di 40 kPa per 168 ore a 70°C mostra una deformazione del materiale inferiore al 5%.

Approfondimento sui prodotti da costruzione e marcatura CE

Il Regolamento dei prodotti da Costruzione 305/2011 (CPR) si applica a tutti i prodotti che sono realizzati per diventare parte permanente di opere di costruzione e che rientrano nell'ambito di applicazione di una norma armonizzata. In questi casi i produttori devono dichiarare le prestazioni in relazione alla norma EN di riferimento mediante una DoP (Dichiarazione di Prestazione) e successivamente apporre la marcatura CE. Ogni norma armonizzata di prodotto riporta un elenco delle prestazioni essenziali pertinenti ai requisiti di base, comunicate tramite la Dichiarazione di Prestazione (DoP). Gli Stati Membri possono però individuare quali prestazioni debbano essere dichiarate da particolari famiglie di prodotti. L'Italia, ad esempio, ha previsto per gli isolanti termici per l'edilizia la dichiarazione obbligatoria di 4 prestazioni: reazione al fuoco, resistenza termica, permeabilità all'acqua e permeabilità al vapore (v. tabella 2 DM 5 marzo 2007).

4 TECNICHE DI ISOLAMENTO DI SOLAI CARRABILI

4.1 Solaio piano carrabile

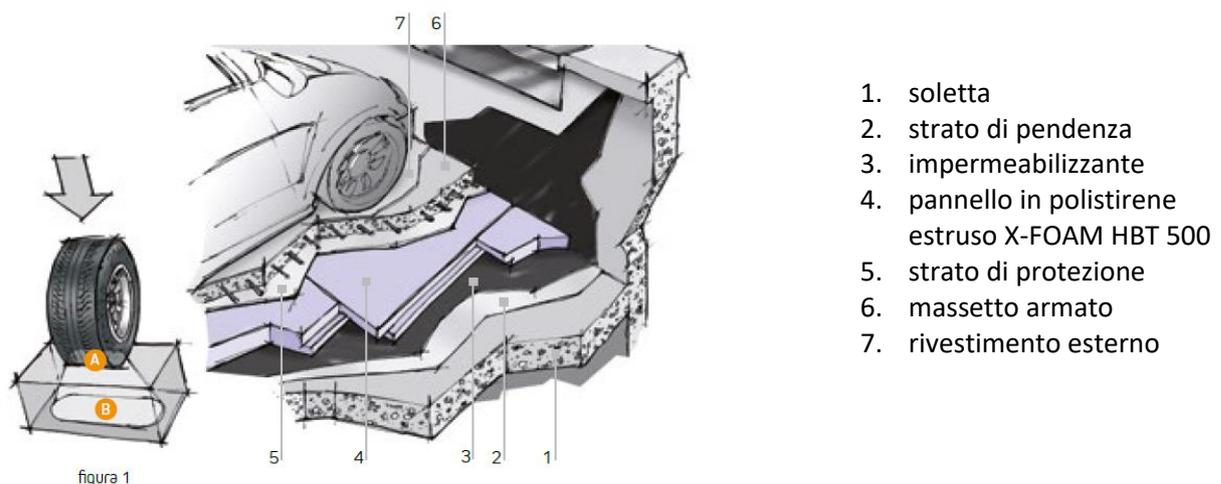
Il solaio isolato carrabile può essere al piano terra, nei piani intermedi e in copertura. Se la soluzione è in copertura la tipologia di schema di isolamento che può essere impiegata è quello del tetto rovescio: struttura, strato di pendenza, strato di tenuta, prodotto isolante termico e quindi massetto armato con pavimentazione. Nel caso sia un solaio piano non in copertura sarà comunque presente un massetto di ripartizioni dei carichi sopra il materiale isolante.

In queste soluzioni, la prestazione richiesta al prodotto isolante è principalmente di avere un'elevata resistenza alla compressione e quindi è opportuno scegliere il materiale isolante anche in funzione delle sue proprietà meccaniche oltre che per quelle di isolamento termico. I parametri da considerare sono quindi quello di resistenza meccanica al 10% di schiacciamento (CS (10\Y)i) e quello di resistenza meccanica al 2% schiacciamento (creep) CC(i1/i2/y) espressi in kPa da valutare in funzione dei carichi accidentali e permanenti.

La posizione del materiale isolante è abbastanza protetta da sollecitazioni termiche e ambientali. Eventuali piccole deformazioni legate alla stabilità dimensionale del materiale isolante non influenzano l'integrità dello strato di tenuta.

L'elemento di ripartizione (massetto armato) può essere dimensionato considerando il parametro di schiacciamento al 2% (compressione viscosa) del materiale isolante. In questo modo la sollecitazione è tale da far lavorare il materiale isolante in campo "elastico" e permettere quindi, una volta rimosso il carico, di recuperare interamente la propria deformazione.

Non è consigliato dimensionare carichi accidentali e permanenti sulla base della resistenza a compressione del 10% poiché le deformazioni non sono più solo elastiche ma plastiche rendendo quindi la superficie non più omogenea. Il materiale isolante infatti, lavorando in campo elastico, è in grado di recuperare interamente la propria deformazione una volta rimosso il carico. Se diversamente il campo di lavoro è quello "plastico" la deformazione è permanente. Per capire meglio la prestazione richiesta al materiale isolante si riporta un esempio di soluzione di isolamento di copertura carrabile a "tetto rovescio".



Isolamento di copertura carrabile a "tetto rovescio" con lastra in polistirene estruso X FOAM HBT 500

Il carico accidentale agente sulla superficie è distribuito su un'area A che chiamiamo impronta. Lo strato di massetto armato che costituisce la pavimentazione sovrastante distribuisce allo strato sottostante il carico secondo un angolo di 45° coinvolgendo perciò una zona di carico sullo strato isolante più ampia indicata con B.

Il carico che si ha sulla zona A è perciò superiore a quello che in effetti graverà sulla zona B e cioè sull'isolante in relazione al rapporto A/B fra le due superfici.

All'aumentare dello spessore del massetto aumenterà l'area dell'impronta di carico sull'isolante riducendo quindi la sollecitazione meccanica su elemento termoisolante. Per i carichi statici è necessario considerare un coefficiente di sicurezza.

La resistenza a compressione del materiale isolante deve quindi risultare superiore alla somma del carico permanente del massetto e di quello accidentale dell'auto.

4.2 Solaio industriale

Per la realizzazione di pavimentazioni industriali si richiedono materiali isolanti ad alte prestazioni meccaniche, ove sia richiesta cioè una elevata resistenza sia a carichi statici che dinamici. L'isolante termico consigliato per questa applicazione deve possedere un'alta resistenza alla compressione poiché il carico che può arrivare a sopportare è molto elevato.

Si può prendere come riferimento per la progettazione e realizzazione di pavimenti industriali in calcestruzzo la norma UNI 11146 – pavimenti di calcestruzzo ad uso industriale – criteri per la progettazione, costruzione e collaudo.

Per valutare il comportamento dei materiali sottoposti a carichi elevati, sia statici che dinamici, e per dimensionare correttamente la pavimentazione si considera non solo il valore di resistenza alla compressione al 10 % di schiacciamento del prodotto isolante prescelto, ma anche quello di lunga durata, cioè al 2%. Quest'ultimo valore indica, per i materiali plastici, la sollecitazione massima a cui può essere sottoposto il prodotto in modo continuo, sul lungo periodo (fino a 50 anni), prima di subire una deformazione superiore al 2% causata dalla rottura delle cellule, che comporta un peggioramento delle proprietà termoigrometriche, oltre che meccaniche.

Come descritto in precedenza per i solai carrabili, la prestazione richiesta al pannello isolante in queste soluzioni, oltre alla resistenza termica complessiva data da spessore e conduttività termica, è di non deformarsi oltre certi limiti accettabili. Il valore di deformazione elastica accettato è di una deformazione inferiore al 2% e il parametro da ricercare è quello della resistenza a compressione viscosa σ_c ovvero $CC(i1/i2/y)$. Materiali isolanti idonei a questo impiego arrivano a resistenze superiori a 220 kPa. In alcuni casi i carichi possono essere maggiori e quindi è opportuno verificare che il materiale resista evitando di raggiungere il carico di collasso. I valori di resistenza a compressione al 10% possono essere per materiali isolanti particolarmente resistenti maggiori di 500 kPa.

L'immagine sottostante raffigura la disposizione dell'armatura prima della fase di getto di un pavimento industriale. In questo esempio per l'isolamento termico è stato scelto il polistirene estruso X-FOAM HBT 500, caratterizzato da un'elevata resistenza a compressione (≥ 500 kPa) e bassissimo assorbimento d'acqua.



Isolamento della pavimentazione industriale con lastre in polistirene estruso X-FOAM HBT 500

5 TECNICHE DI ISOLAMENTO DI COPERTURA

L'isolamento termico delle strutture di copertura è in uso da molti anni. Nel 2019 sono state codificate le tipologie di strutture di "coperture continue" con la pubblicazione della norma UNI 8178-2 - analisi degli elementi e strati funzionali delle coperture continue e indicazioni progettuali per la definizione di soluzioni tecnologiche.

La norma individua alcuni strati fondamentali per le coperture continue:

- **la struttura** che ha la funzione di sopportare i carichi permanenti e variabili della struttura
- **lo strato di tenuta**, sempre presente su una copertura continua, e ha la funzione di conferire al sistema la tenuta all'acqua meteorica o di irrigazione
- **l'elemento termoisolante** che ha la funzione di portare al valore richiesto la resistenza termica globale della copertura. Il pannello isolante può adempiere anche a una o più delle funzioni seguenti:
 - pendenza
 - protezione dalle interazioni meccaniche
 - protezione dalle interazioni termofisiche

Sulla base degli strati appena descritti la norma elenca i diversi schemi funzionali che ben rappresentano le possibilità di progettazione e realizzazione delle coperture continue tipiche degli edifici industriali con materiale isolante che può essere posato in diverse posizioni e assolvere ad altre funzioni a seconda dell'esigenze di progetto e del tipo di schema funzionale adottato.

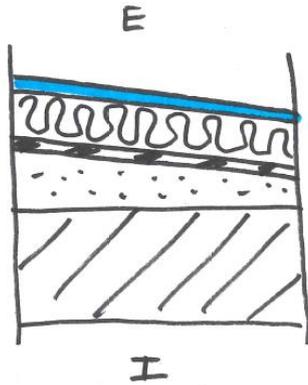
La posizione dell'elemento termoisolante rispetto all'elemento di tenuta individua la tipologia di copertura:

- **tetto caldo**: elemento termoisolante posto all'intradosso dell'elemento di tenuta
- **tetto rovescio**: elemento termoisolante posto all'estradosso dell'elemento di tenuta
- **tetto duo o sandwich**: doppio livello dell'elemento termoisolante, di cui normalmente quello con spessore maggiore è posto come primo strato, all'estradosso del supporto strutturale e quindi all'intradosso dell'elemento di tenuta e normalmente quello con spessore minore è posto all'estradosso dell'elemento di tenuta idraulica

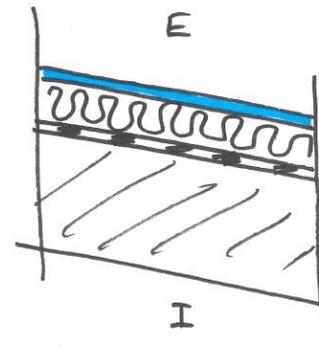


Esempio di copertura di un centro commerciale:
tetto caldo giardino isolato con pannelli in poliuretano espanso POLIISO PLUS

5.1 Tetto caldo



copertura con elemento termoisolante posto all'intradosso dell'elemento di tenuta (in azzurro), con strato di pendenza e pavimentazione



copertura con elemento termoisolante posto all'intradosso dell'elemento di tenuta (in azzurro), con elemento portante in pendenza

La tipologia del "tetto caldo" può essere realizzata con membrane bituminose o sintetiche, ma prevede sempre che l'isolante termico sia posto sotto la membrana impermeabile. L'isolante rimane sempre protetto dall'impermeabilizzazione, le sue caratteristiche e prestazioni vengono a lungo preservate e non si verifica l'effetto dilavamento. L'isolante richiesto in questo tipo di applicazione dovrà possedere le seguenti caratteristiche: proprietà isolanti, resistenza alla compressione, resistenza al calore.

Per le coperture con manto impermeabile a vista è inoltre indispensabile che il materiale isolante abbia un'elevata resistenza agli sbalzi termici. I materiali isolanti possono avere una massima e minima temperatura di impiego per evitare che si degradino.

I pannelli in schiuma poliuretanicca sono termoindurenti e come tali non subiscono deformazioni o cambiamenti di stato al variare della temperatura. Grazie a questa caratteristica possono essere utilizzati in un range di temperature molto ampio, fino a oltre 100 °C.



Esempio di tetto caldo isolato con pannello in poliuretano espanso POLIISO SB

Oltre alla resistenza del materiale agli sbalzi termici è necessario verificarne la stabilità dimensionale: caratteristica molto rilevante se il materiale isolante è posizionato sotto lo strato di tenuta soprattutto in assenza di strati di pavimentazione e zavorramento. L'elemento termoisolante deve mantenere nel tempo e in diverse condizioni di esercizio la sua forma e le sue dimensioni originarie.

Le variazioni dimensionali (spessore, lunghezza e larghezza) durante la fase di esercizio devono rimanere nei limiti più restrittivi indicati nella specifica norma di prodotto secondo i parametri DS e DLT e confrontati con quanto previsto dalla UNI 11442 -Criteri per il progetto e l'esecuzione dei sistemi di coperture continue.

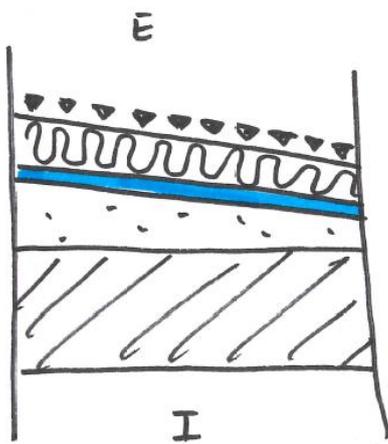
In particolare sia in condizioni di caldo o freddo, le membrane impermeabili per la loro costituzione fisica e chimica sono sempre soggette a variazioni termiche dimensionali. Questi cambiamenti sono in direzione opposta alle variazioni degli altri elementi e strati con cui l'elemento di tenuta è posto a contatto (es: pannelli termoisolanti). Per evitare che si generino eccessive tensioni fra le superfici di contatto è necessario che la direzione di posa tra membrane di tenuta e pannelli termoisolanti sia incrociata.

Spesso gli edifici industriali hanno superfici molto ampie e per questo tipo di copertura non sono richieste particolari resistenze a compressione. Tuttavia sulla copertura possono essere posizionati macchinari e unità di trattamento dell'aria, canalizzazioni e altri accessori. Con gli impianti in copertura deve essere possibile anche la pedonabilità per la manutenzione.

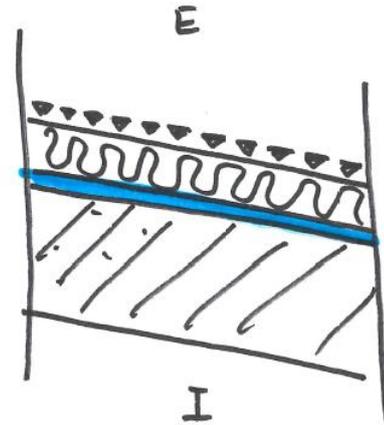
I parametri molto rilevanti sono quindi $CS(10\backslash Y)$ i e $CC(i1/i2/y)$ σ_c con valori di "i" e " σ_c " espressi in kPa e da valutare in funzione dei carichi accidentali e permanenti **DLT(i)ii** dove i indica il livello di stagionatura (1 o 2, se il livello è maggiore, maggiore il carico in kPa) e ii è il limite in % di deformazione sotto il quale rimanere. Oltre queste caratteristiche è opportuno valutare anche la stabilità dimensionale per le sollecitazioni termiche con il parametro **DS(i,ii)** dove i e ii indicano le condizioni di temperatura e umidità che il materiale può sopportare rimanendo stabile dimensionalmente.

La posizione del materiale isolante è oggetto infatti di sollecitazioni termiche e ambientali. Eventuali deformazioni legate alla stabilità dimensionale del materiale isolante possono influenzare l'integrità dello strato di tenuta.

5.2 Tetto rovescio



copertura con elemento termoisolante preformato con pendenza integrata posto all'estradosso dell'elemento di tenuta (in azzurro)



copertura con elemento termoisolante posto all'estradosso dell'elemento di tenuta (in azzurro), con elemento portante in pendenza

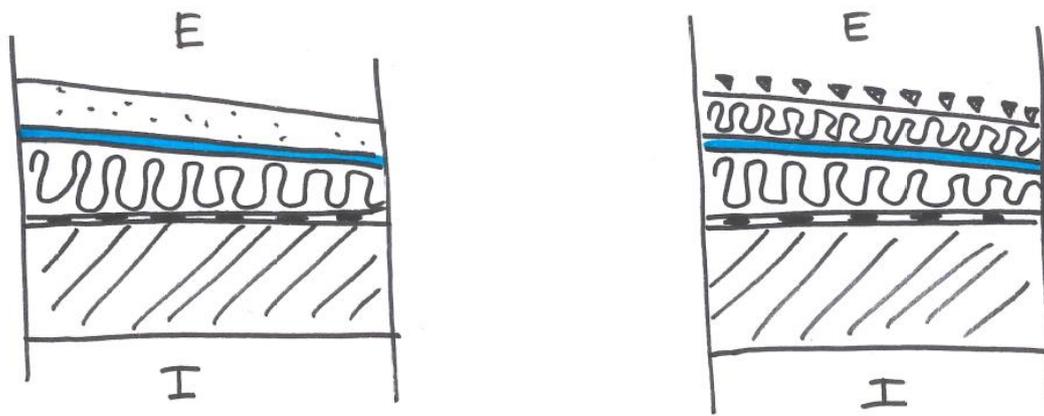
Il tetto rovescio è caratterizzato dalla posa della membrana impermeabilizzante sotto lo strato termoisolante. In questo modo si prolunga la durata del manto impermeabile, esposto a ridotte escursioni termiche e preservato da sollecitazioni che possono determinarne il danneggiamento. Per questa tipologia applicativa è adatto il polistirene estruso in quanto è in grado di combinare tutte le seguenti caratteristiche: isolamento termico, resistenza meccanica, mantenimento delle prestazioni nel tempo, resistenza ai cicli gelo-disgelo, ridotto assorbimento d'acqua.



Esempio di copertura carrabile con parcheggio realizzata con lastre in polistirene estruso X-FOAM HBT 500

5.3 Applicazione speciale: pendenza realizzata con materiale isolante

Il materiale isolante può essere impiegato dove il tipo di soluzione lo rende possibile come strato che realizza la pendenza della struttura per convogliare l'acqua piovana. La soluzione può essere impiegata sia nei tetti caldi che nei tetti duo.



copertura con elemento termoisolante
all'estradosso dell'elemento di tenuta (in azzurro)
che realizza la pendenza

copertura con elemento termoisolante posto
all'estradosso e all'intradosso dell'elemento di tenuta
(in azzurro) che realizza la pendenza

I pannelli pendenzati permettono di progettare e realizzare elementi modulari preassemblati che costituiscono sia uno strato di pendenza sia uno strato termoisolante dimensionato in funzione del livello di prestazione energetica richiesta. I sistemi pendenzati rappresentano una soluzione efficace e funzionale per risolvere problemi di pendenza nelle coperture piane. Inoltre sono molto vantaggiosi nel caso di interventi mirati a risolvere problematiche di ristagno d'acqua sulla copertura.

Nella maggior parte dei casi infatti si possono evitare importanti operazioni di demolizione e smaltimento del pacchetto di copertura preesistente e di realizzazione di un nuovo massetto, posizionando il sistema opportunamente dimensionato per garantire lo scarico dell'acqua piovana e il miglioramento dell'efficienza energetica della copertura.

La modularità degli elementi termoisolanti consente una maggiore velocità di montaggio riducendo i tempi di lavorazione grazie all'agevole sistema di posa.

Ediltec propone elementi modulari preassemblati. Gli elementi che compongono il sistema, composto da base in XPS o EPS e pannello isolante in poliuretano all'estradosso, vengono assemblati utilizzando le tecnologie più idonee al fine di assicurare una duratura ed efficace adesione tra i diversi materiali.

La posizione che assume l'isolante assolvendo anche lo strato di pendenza è al di sotto dello strato di tenuta – tetto caldo. La percentuale della pendenza è minimo dell' 1/1,5 %.



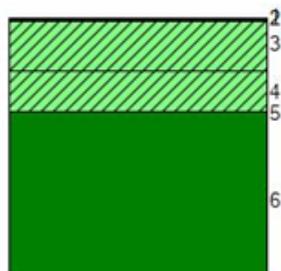
I pannelli pendenzati proposti da Ediltec consistono in un sistema termoisolante prefabbricato per la realizzazione di pendenze e aumento della resistenza termica costituito da pannelli in polistirene estruso (XPS) o espanso sinterizzato (EPS) normalmente preincollati a pannelli in poliuretano espanso rigido (PIR).

I pannelli pendenzati vengono realizzati su misura del singolo cantiere, consegnati con i singoli elementi codificati e numerati sulla base della distinta di produzione e installazione.



Posa in copertura dei pannelli pendenzati X-FOAM

Esempio di calcolo con PAN di copertura isolata con pannelli pendenzati



1	IMP	Membrana impermeabilizzante bituminosa
2	IMP	Membrana impermeabilizzante bituminosa
3	ISO	POLIISO SB sp.60 mm - Pannello isolante costituito da schiuma polyiso (PIR) rigida, espansa fra un supporto superiore in velovetro bitumato ed uno inferiore in velovetro saturato. Resistenza a compressione ≥ 150 kPa. Dimensioni 600x1200 mm, bordi dritti.
4	ISO	X-FOAM MLB sp.50 mm - Pannello isolante in polistirene estruso (XPS) di colore indaco. Resistenza a compressione ≥ 250 kPa. I pannelli hanno dimensioni 600 x 3000 mm, superficie senza pelle di estrusione, bordi laterali dritti.
5	IMP	Membrana impermeabilizzante bituminosa
6	SOL	Solaio tipo predalles con blocchi in PSE rif 2.4.01b - sp. solaio 20cm

L'esempio di calcolo mostra una stratigrafia di copertura. I calcoli termo tecnici sono realizzati con il software PAN distribuito agli associati ANIT.

I calcoli sono realizzati in accordo con:

- la norma UNI EN ISO 6949 per il calcolo della trasmittanza termica,
- la norma UNI EN ISO 13786 per la trasmittanza termica periodica (per lo sfasamento e l'attenuazione)
- la norma UNI EN ISO 13788 per le verifiche di condensazione interstiziale e superficiale

I risultati sono propedeutici al rispetto delle richieste legislative (DM Requisiti Minimi) e di eventuali rispetto dei requisiti di accesso a forme di detrazioni fiscali o incentivi.

Trasmittanza di progetto	$U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
Trasmittanza periodica di progetto	$Y_{ie} = 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$
Fattore di attenuazione	0,14
Sfasamento	10h 38'
Verifica di condensazione interstiziale	positiva

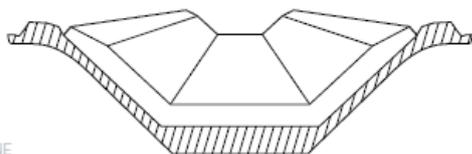
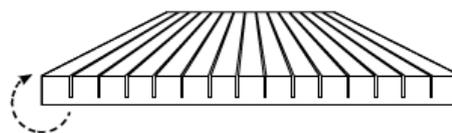
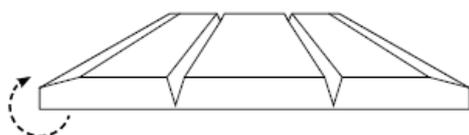
5.4 Applicazione speciale: isolamento delle coperture con pannelli prefabbricati non piani

I capannoni industriali e il terziario avanzato possono avere anche coperture non piane.

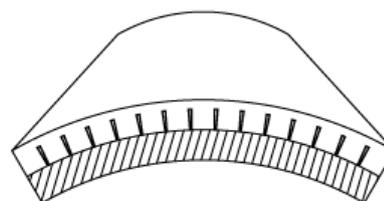
Esistono in commercio pannelli che nascono quindi dall'intuizione di fornire una soluzione efficiente alle problematiche applicative tipiche delle coperture in elementi prefabbricati in calcestruzzo o in elementi curvi, sia di nuova costruzione che già esistenti.

La praticità del sistema lo rende idoneo per le tipologie di isolamento che richiedono particolari conformazioni dello strato isolante in spessori contenuti grazie al ridotto valore della conduttività dichiarata.

Ediltec propone due soluzioni: POLIISO SU MISURA e POLIISO CURVO che sono pannelli realizzati appunto "su misura" e con dimensioni modulari per lo specifico cantiere che garantiscono l'aderenza alla conformazione della superficie, notevole rapidità di montaggio unitamente all'assenza di sfridi per mantenere ordine e pulizia in cantiere.



POLIISO su misura

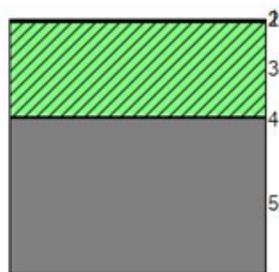


POLIISO curvo



Isolamento copertura industriale con POLIISO su misura

Esempio di calcolo con PAN di copertura industriale isolata con POLIISO VV su misura



1	IMP	Membrana impermeabilizzante bituminosa
2	IMP	Membrana impermeabilizzante bituminosa
3	ISO	POLIISO VV sp.120 mm - Pannello isolante costituito da schiuma polyiso (PIR) rigida, espansa fra due supporti di velovetro. Resistenza a compressione ≥ 150 kPa. I pannelli hanno dimensioni 600 x 1200 mm con finitura a bordi dritti.
4	IMP	Membrana impermeabilizzante bituminosa
5	CLS	Calcestruzzo armato (percentuale d'armatura 1%)

L'esempio di calcolo mostra una stratigrafia di copertura. I calcoli termo tecnici sono realizzati con il software PAN distribuito agli associati ANIT.

I calcoli sono realizzati in accordo con:

- la norma UNI EN ISO 6949 per il calcolo della trasmittanza termica,
- la norma UNI EN ISO 13786 per la trasmittanza termica periodica (per lo sfasamento e l'attenuazione)
- la norma UNI EN ISO 13788 per le verifiche di condensazione interstiziale e superficiale

I risultati sono propedeutici al rispetto delle richieste legislative (DM Requisiti Minimi) e di eventuali rispetto dei requisiti di accesso a forme di detrazioni fiscali o incentivi.

Trasmittanza di progetto	$U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
Trasmittanza periodica di progetto	$Y_{ie} = 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$
Fattore di attenuazione	0,15
Sfasamento	8h 49'
Verifica di condensazione interstiziale	positiva

6 CONTATTI

- **ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico**
www.anit.it
info@anit.it

- **EDILTEC srl**
Sede operativa: Via Giardini 474/M – 41124 Modena
Tel. 059 2916411
Fax. 059 344232
Sito web: www.ediltec.com
E-mail: info@ediltec.com

ANIT

Associazione Nazionale per
l'isolamento Termico e acustico

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, ha tra gli obiettivi generali la diffusione, la promozione e lo sviluppo dell'isolamento termico ed acustico nell'edilizia e nell'industria come mezzo per salvaguardare l'ambiente e il benessere delle persone.

ANIT

- diffonde la corretta informazione sull'isolamento termico e acustico degli edifici
- promuove la normativa legislativa e tecnica
- raccoglie, verifica e diffonde le informazioni scientifiche relative all'isolamento termico ed acustico
- promuove ricerche e studi di carattere tecnico, normativo, economico e di mercato.

I soci **ANIT** si dividono nelle categorie

- **SOCI INDIVIDUALI**: Professionisti e studi di progettazione
- **SOCI AZIENDA**: Produttori di materiali e sistemi per l'isolamento termico e acustico
- **SOCI ONORARI**: Enti pubblici e privati, Università e Scuole Edili, Ordini e Collegi professionali

STRUMENTI PER I SOCI

I soci individuali ricevono



Costante aggiornamento
sulle norme in vigore con
le Guide



I software per calcolare
tutti i parametri energetici,
igrotermici e acustici degli
edifici



Servizio di chiarimento
tecnico da parte del
nostro Staff



Abbonamento alla rivista
specializzata Neo-Eubios

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato (Individuale, Azienda, Onorario).
I Soci Individuali possono accedere alla qualifica "Socio Individuale Più" per ottenere servizi avanzati

www.anit.it

info@anit.it

Tel. 0289415126

ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
Via Lanzone 31- 20123 – Milano