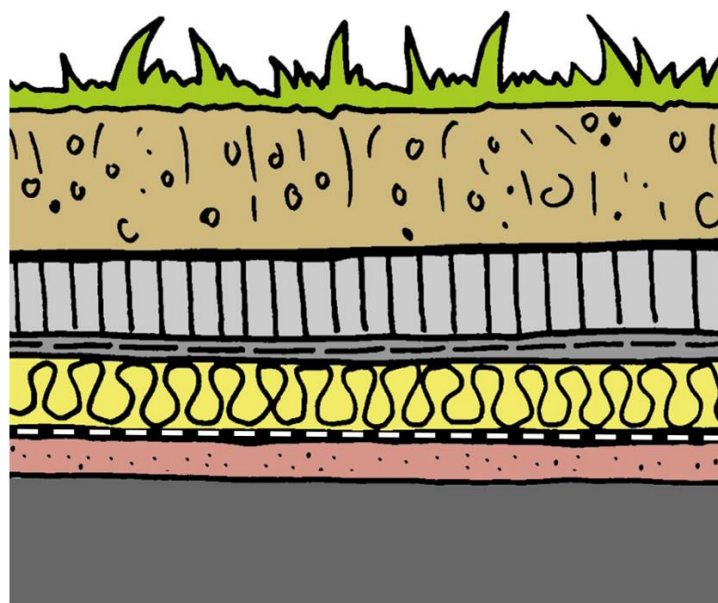




PRESTAZIONI ENERGETICHE DEI TETTI VERDI

MANUALE ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO

SETTEMBRE 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



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

PREMESSA	2
1 IL SISTEMA TETTO VERDE.....	3
1.1 <i>I requisiti minimi di un tetto verde.....</i>	3
1.2 <i>La norma sui tetti verdi, UNI 11235:2015.....</i>	5
1.3 <i>Classificazione dei tetti verdi</i>	6
1.4 <i>Stratigrafia di un tetto verde</i>	7
2 PRESTAZIONI ENERGETICHE	8
2.1 <i>Controllo dell'assorbimento solare.....</i>	9
2.2 <i>Accumulo/rilascio igrotermico.....</i>	11
2.3 <i>Isolamento termico.....</i>	13
3 TETTI VERDI ISOPAN	16
3.1 <i>Le soluzioni ISOPAN Greenroof per tetti verdi</i>	16
3.2 <i>E-Base</i>	18
3.3 <i>E-Std.....</i>	19
3.4 <i>E-Plus</i>	20

PREMESSA

Una copertura verde è una soluzione che porta diversi vantaggi sia su scala urbana che locale.

Tra i primi citiamo la riduzione del fenomeno dell'isola di calore, la riduzione dell'inquinamento atmosferico col controllo del pulviscolo e il miglioramento del decoro urbano.

Per quanto riguarda il singolo edificio i vantaggi riguardano il contributo all'isolamento invernale, la mitigazione delle temperature estive, l'attenuazione del deflusso delle acque piovane e un miglioramento estetico dell'immobile.

Il presente manuale offre l'occasione per fare il punto sul comportamento energetico dei tetti verdi e in particolare sugli aspetti riguardanti le prestazioni estive.

Il lavoro è stato realizzato in collaborazione con l'azienda ISOPAN associata ad ANIT dal 2019.

Sperando di dare un contributo d'approfondimento a tutti gli interessati, non ci resta che augurare buona lettura.

ANIT

1 IL SISTEMA TETTO VERDE

1.1 I requisiti minimi di un tetto verde

Quando si prevede la creazione di un tetto verde è necessario rispettare i requisiti minimi descritti nel DM 26/06/2015. Si tratta di regole obbligatorie previste dalla legge per garantire prestazioni adeguate sotto il profilo energetico e igrotermico del nuovo progetto.

Queste regole non riguardano solo i tetti verdi, ma tutti i possibili interventi su edifici nuovi o esistenti, e sono suddivise in base all'ambito d'applicazione in cui ricade il progetto: ad esempio "nuova costruzione", "ristrutturazione importante", "riqualificazione energetica", ecc.

Semplificando, possiamo dire che i requisiti minimi per un tetto verde sono:

- controllo della trasmittanza termica media;
- controllo della trasmittanza termica periodica;
- analisi del rischio di formazione di muffa e condensa interstiziale;
- analisi del rischio di surriscaldamento.

Nella tabella che segue abbiamo riportato il dettaglio delle richieste.

In sintesi per un tetto verde la legge impone un controllo delle prestazioni energetiche sia invernali che estive e l'analisi igrotermica del pacchetto che compone la stratigrafia. Come vedremo nelle pagine seguenti si tratta di prestazioni raggiungibili da un tetto verde a partire da materiali e tecnologie adeguate.

Requisiti minimi secondo DM 26/06/2015			Rif. Guida ANIT																				
<p>Trasmittanza media di copertura <i>(All.1 Art. 5.2, comma 1a,b,c, Art. 4.2, comma 1a, Art. 1.4.3 comma 2, App. B)</i> Verificare che la trasmittanza delle strutture opache di copertura sia inferiore o uguale al seguente valore limite:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Zona climatica</th> <th colspan="2">U_{limite} [W/m²K]</th> </tr> <tr> <th>Dal 1° ottobre 2015</th> <th>Dal 1° gennaio 2021</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A-B</td> <td>0,34</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0,34</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0,28</td> <td>0,26</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0,26</td> <td>0,24</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0,24</td> <td>0,22</td> </tr> </tbody> </table>			Zona climatica	U _{limite} [W/m ² K]		Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2021	A-B	0,34	0,32	C	0,34	0,32	D	0,28	0,26	E	0,26	0,24	F	0,24	0,22	C
Zona climatica	U _{limite} [W/m ² K]																						
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2021																					
A-B	0,34	0,32																					
C	0,34	0,32																					
D	0,28	0,26																					
E	0,26	0,24																					
F	0,24	0,22																					
<p>Note:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sono esclusi da questa verifica gli edifici di categoria E.8 • Le strutture da verificare sono quelle oggetto di intervento e delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno e verso i locali non climatizzati. • I valori di trasmittanza limite si considerano comprensivi dei ponti termici all'interno delle strutture oggetto di riqualificazione (a esempio ponte termico tra finestra e muro) e di metà del ponte termico al perimetro della superficie oggetto di riqualificazione (<i>ndr, per il calcolo del coefficiente ψ le norme di riferimento sono UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211</i>). 																							
<p>Verifiche igrotermiche <i>(All. 1 Art. 2.3 comma 2)</i> Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • dell'assenza di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione; • dell'assenza di condensazioni interstiziali (vd. FAQ 3.11 riportata di seguito) 			F																				

<p>Note:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le condizioni interne di utilizzazione sono quelle previste nell'appendice alla norma sopra citata, secondo il metodo delle classi di concentrazione. • FAQ Ministeriale 3.11 di dicembre 2018: per la verifica della condensa interstiziale si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788). Si ritiene che la condensazione interstiziale <u>possa considerarsi assente</u> quando siano soddisfatte le condizioni poste dalla norma, ovvero la quantità massima ammissibile e nessun residuo alla fine di un ciclo annuale. • FAQ Ministeriale 2.24 di agosto 2016: considerando il fatto che la norma UNI EN ISO 13788 prevede la possibilità di utilizzare metodi più raffinati e eventualmente dinamici, la verifica legislativa può essere eseguita anche in accordo con tali metodi (ndr. ovvero secondo UNI EN 15026). 	
<p>Trasmittanza termica periodica <i>(All.1 Art. 3.3 comma 4b,c)</i> Verificare nelle località in cui $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$ (ad esclusione di quelle in zona climatica F) che per le strutture orizzontali e inclinate $Y_{IE} < 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <p>Dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $I_{m,s}$ è il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione (dato preso dalla norma UNI 10349) [W/m^2]; • Y_{IE} rappresenta la trasmittanza termica periodica valutata in accordo con UNI EN ISO 13786:2008 e successivi aggiornamenti [$\text{W/m}^2\text{K}$]. 	G
<p>Rischio di surriscaldamento <i>(All.1 Art 2.3 comma 3)</i> Per le strutture di copertura degli edifici è obbligatoria la verifica dell'efficacia, in termini di rapporto costi-benefici, dell'utilizzo di:</p> <ul style="list-style-type: none"> • materiali a elevata riflettanza solare per le coperture (cool roof), assumendo per questi ultimi un valore di riflettanza solare non inferiore a: 0,65 nel caso di coperture piane, 0,30 nel caso di copertura a falde; • tecnologie di climatizzazione passiva (a titolo esemplificativo e non esaustivo: ventilazione, <u>coperture a verde</u>). <p>Note:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tali verifiche e valutazioni devono essere puntualmente documentate nella relazione tecnica. • Tali verifiche sono previste al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, nonché di limitare il surriscaldamento a scala urbana. 	K

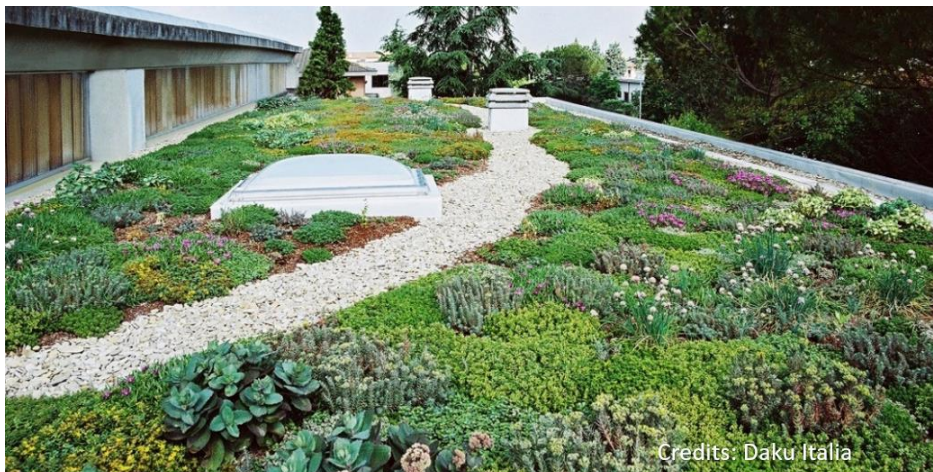


Figura 1 Esempio di una copertura a verde con una pluralità di specie vegetali.
 Fonte: www.isopan.it

1.2 La norma sui tetti verdi, UNI 11235:2015

In materia di tetti verdi segnaliamo la norma UNI 11235 pubblicata a settembre 2015 “Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde”.

Questa norma è il riferimento per chi è interessato alla progettazione, realizzazione e manutenzione di un tetto verde e ci ricorda che queste operazioni sono legate alla valutazione di una serie di indicazioni tecniche quali ad esempio:

- la capacità agronomica, ovvero l’attitudine del sistema a mantenere le condizioni di sviluppo della vegetazione in funzione del contesto;
- la capacità drenante e la gestione delle acque meteoriche, ovvero la possibilità di smaltimento dell’acqua di origine naturale o artificiale;
- il controllo dell’aerazione dello strato colturale per garantire nel tempo adeguate condizioni di ossigenazione
- il controllo dell’accumulo idrico, ovvero la capacità di del sistema ad assumere acqua piovana o di irrigazione e a trattenerla per renderla disponibile alla vegetazione;
- il livello di manutenzione della vegetazione;
- la resistenza agli attacchi biologici e ai microorganismi;
- l’attitudine alla biodiversità.

In questo manuale non ci addentriamo negli aspetti progettuali e manutentivi, la norma UNI 11235 è utilizzata come riferimento per la nomenclatura tecnica e la descrizione delle funzioni della stratigrafia.

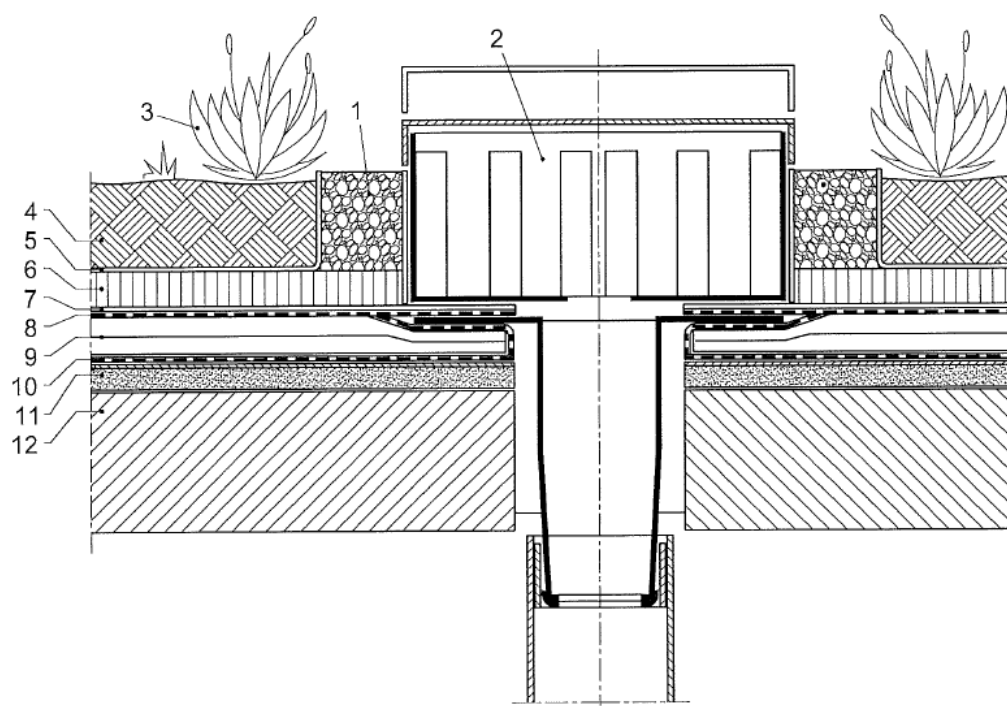


Figura 2
Esempio di schema riportato nella norma UNI 11235. Nello specifico si tratta della sezione di un pozzetto di raccolta delle acque meteoriche con indicazione degli strati coinvolti. Fonte [8]

Legenda:

1) fascia drenante perimetrale, 2) risvolto verticale dell’elemento di tenuta, 3) strato di vegetazione, 4) strato colturale, 5) elemento filtrante, 6) elemento drenante, 7) elemento di protezione dall’azione delle radici, 8) elemento di tenuta, 9) elemento termoisolante, 10) strato di barriera al vapore, 11) strato di pendenza, 12) elemento portante.

1.3 Classificazione dei tetti verdi

Uno dei metodi più diffusi per classificare i tetti verdi si basa sulla profondità del substrato per la crescita della vegetazione e distingue tra:

- tetti verdi estensivi: caratterizzati da uno strato di terra dello spessore di 8-5 cm;
- tetti verdi intensivi: caratterizzati da uno strato di terra dello spessore di 25-50 cm.

I tetti verdi estensivi richiedono ridotti interventi di manutenzione e hanno un peso generalmente inferiore a 150 kg/m^2 , mentre i tetti intensivi necessitano di una manutenzione costante per circa 4-5 volte all'anno e hanno un peso molto superiore a 150 kg/m^2 (ovviamente questa distinzione è semplificativa e possono esserci soluzioni intermedie classificate come semi-intensive o semi-estensive).

Per quanto riguarda la vegetazione la scelta dipende dallo spessore del substrato:

- con 0-5 cm: sedum e licheni;
- con 5-10 cm: erba da prato perenne;
- con 10-20 cm: erbe perenni medio basse, arbusti piccoli;
- con più di 20 cm: arbusti medio grandi.

Per la scelta del tipo di vegetazione è importante considerare ovviamente anche le caratteristiche climatiche della località e in particolare l'intensità delle piogge, l'umidità, il vento e l'esposizione solare della copertura.



Figura 3
Esempio di tetto verde estensivo.
Fonte:
www.isopan.it



Figura 4
Esempio di tetto verde intensivo
Fonte:
www.isopan.it

1.4 Stratigrafia di un tetto verde

La composizione di un tetto verde segue criteri ben definiti dettati dalle funzioni tecniche richieste ai singoli strati e confermate ormai da decenni di esperienza. Di seguito l'elenco degli strati e delle loro principali funzioni in accordo con la norma UNI 11235:

STRATO	FUNZIONE TECNICA
1. Vegetazione	Limita le fluttuazioni di temperatura. La scelta della vegetazione dipende dalla profondità del substrato e dalle condizioni climatiche esterne.
2. Substrato di crescita (o colturale)	Strato avente la funzione di sostenere lo sviluppo vegetale della copertura a verde. Di solito si compone di diversi materiali leggeri, come vermiculite o perlite.
3. Strato di filtro	Divide il substrato di crescita dallo strato di drenaggio. Evita l'ostruzione degli strati inferiori.
4. Strato di drenaggio	Permette di rimuovere l'eccesso di acqua dal substrato di crescita riducendo i carichi sull'edificio. Lo strato è generalmente realizzato con membrane (polietilene) o materiale granulare (argilla espansa).
5. Strato di protezione meccanica	Barriera anti radice a protezione degli strati sottostanti. Di solito vengono impiegati materiali polimerici.
6. Strato di tenuta all'acqua	Strato di protezione realizzato attraverso membrane impermeabilizzanti. Questo strato è fondamentale nelle coperture piane, data la maggiore difficoltà nel deflusso della pioggia.
7. Isolamento termico	Mitigazione dei flussi energetici attraverso la copertura.
8. Barriera al vapore	Controllo dei flussi di vapore attraverso la copertura per evitare il rischio di condensazione interstiziale.
9. Strato di pendenza	Evita il ristagno dell'acqua. L'inclinazione è solitamente compresa tra 0,5% e 5% (anche se pendenze minori di 1,5% possono aumentare il rischio di ristagno). Per la creazione dello strato il tetto viene diviso in sezioni con orientamenti e pendenze diverse, per favorire il deflusso delle acque meteoriche verso più punti di raccolta.
10. Struttura di copertura	Struttura portante di copertura.

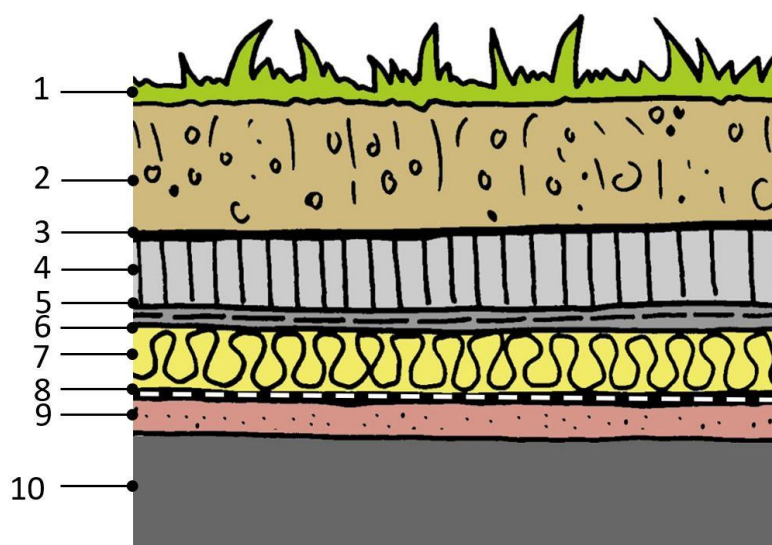


Figura 5 Composizione stratigrafica di un tetto verde.

2 PRESTAZIONI ENERGETICHE

Una copertura verde rispetto a una copertura tradizionale incrementa le prestazioni energetiche principalmente attraverso 3 meccanismi:

- 1- controllo dell'assorbimento solare: la presenza di vegetazione sulla superficie esterna migliora gli scambi radiativi e mitiga l'oscillazione delle temperature limitando il rischio di surriscaldamento estivo;
- 2- accumulo/rilascio igrotermico: la presenza di vegetazione e di strati è in grado di accumulare umidità dall'ambiente e rilasciarla nel tempo modifica gli scambi di calore latente fra gli strati con l'effetto di attenuare i flussi energetici estivi;
- 3- isolamento termico: i materiali che compongono la stratigrafia di una copertura se ben progettati sono in grado di proteggere gli ambienti sottostanti dalle escursioni termiche invernali ed estive.

Nei capitoli che seguono proponiamo un approfondimento su questi 3 aspetti sulla base di uno studio della letteratura di settore (si veda la bibliografia) e ai risultati delle simulazioni ottenute con i software PAN e WUFI.

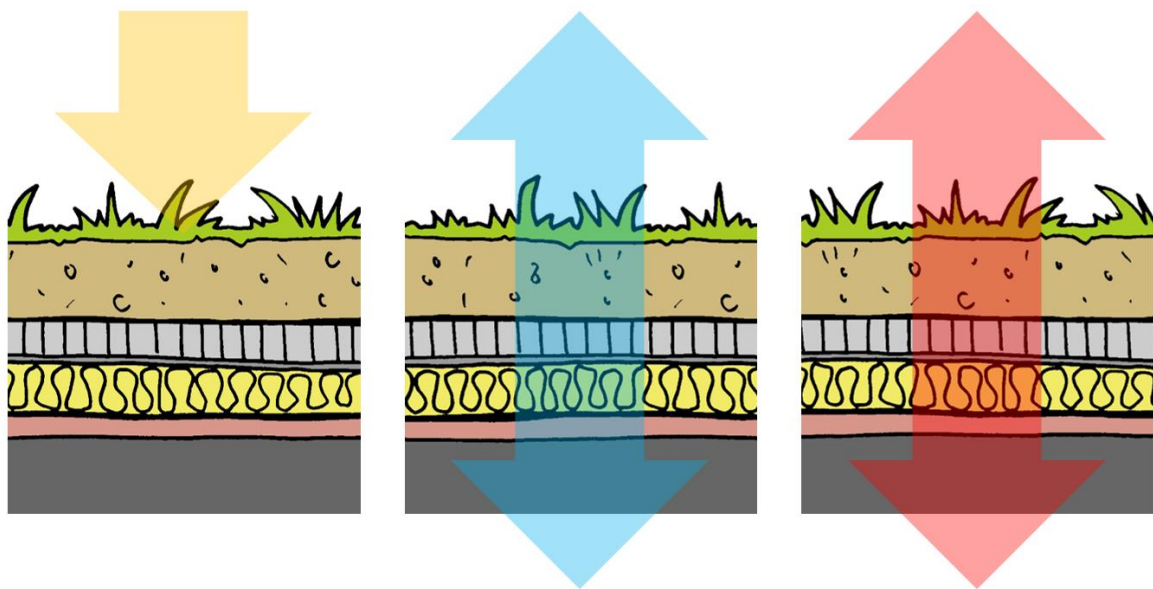


Figura 6 Principali fenomeni energetici e igrotermici di un tetto verde: controllo dell'assorbimento solare, accumulo/rilascio igrotermico, isolamento termico

2.1 Controllo dell'assorbimento solare

Quando si analizza una struttura opaca in grado di ricevere una radiazione solare è bene verificare l'oscillazione termica a cui essa è esposta in una giornata tipica estiva per scoprire eventuali condizioni di stress termico.

Per verificare il comportamento di una struttura opaca (e quindi anche di una copertura verde) rispetto a sollecitazioni climatiche esterne è necessario definire i seguenti parametri:

- orientamento della struttura;
- fattore d'assorbimento solare del rivestimento esterno;
- temperatura oraria dell'aria esterna;
- irradianza oraria.

Il primo parametro nel caso di una copertura piana è ovviamente "orizzontale", mentre gli ultimi due sono legati alle condizioni climatiche della località individuata.

Il dato dell'assorbimento solare invece dipende da una caratteristica superficiale dell'elemento considerato – si tratta infatti di un valore legato alla superficie esposta alla radiazione solare.

Il fattore di assorbimento solare, solitamente indicato come α , può assumere un valore da 0 a 1 in base alla propensione ad assorbire la radiazione solare incidente (0 = assorbimento nullo, 1 = assorbimento totale della radiazione). In edilizia, visto che spesso questa caratteristica è legata al colore delle strutture, le norme indicano le seguenti 3 categorie generiche:

- colore chiaro: $\alpha=0.3$
- colore medio: $\alpha=0.6$
- colore scuro: $\alpha=0.9$

Studi che hanno approfondito la variazione del fattore solare in base al colore dell'elemento (fonte [6]) hanno dimostrato che in realtà un fattore solare pari a 0.3 si addice alle superfici molto chiare, tendenti al colore bianco, mentre la maggior parte dei colori o dei rivestimenti utilizzati in edilizia rientra nella categoria del colore "medio" o "scuro". L'assorbimento solare invece di una superficie ricoperta di vegetazione è vicino a 0.3, ovvero assimilabile a un rivestimento di tipo chiaro (fonte [11]).



Figura 7 Esempio di edificio con copertura verde. Fonte: www.isopan.it

Il vantaggio di un valore di assorbimento solare basso è mostrato nel grafico riportato di seguito: l'oscillazione termica superficiale in un giorno tipico estivo si riduce, col conseguente vantaggio di:

- limitare lo stress termico per i materiali che compongono il pacchetto,
- ridurre il rischio di surriscaldamento della copertura.

Attraverso una simulazione energetica in accordo con la norma UNI EN ISO 13786 è possibile stimare per una struttura opaca (almeno in linea teorica) la distribuzione della temperatura superficiale esterna giornaliera in condizioni estive.

L'esempio riportato di seguito riguarda una simulazione condotta su una copertura piana localizzata a Verona analizzando diversi valori di assorbimento solare da 0,2 (superficie bianca) a 0,95 (superficie nera).

I risultati dimostrano come il picco della temperatura superficiale massima raggiunge circa 90°C per una copertura con rivestimento di colore scuro, 70°C per un colore medio e 50°C per un colore chiaro o una superficie ricoperta da vegetazione.

Si tratta di stime teoriche, che consentono però di apprezzare la differenza fra diverse configurazioni: un rivestimento vegetativo rappresenta un'ottima strategia di protezione solare in grado di controllare il rischio di surriscaldamento della superficie esterna di copertura.

Andamento della temperatura esterna di una copertura in base al fattore di assorbimento solare α

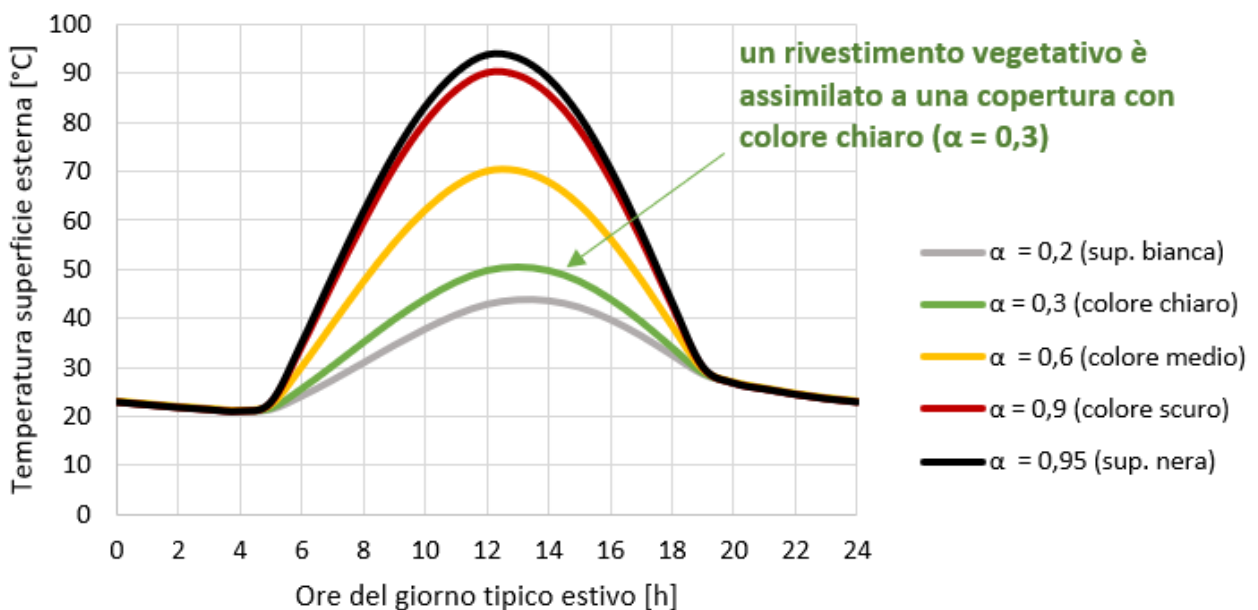


Figura 8 Andamento della temperatura superficiale esterna di una copertura piana situata a Verona in un giorno tipico estivo. Il grafico mostra i risultati per differenti valori del fattore di assorbimento solare tra 0,2 a 0,95. Il calcolo è eseguito in accordo alla norma UNI EN ISO 13786 (fonte [9]) con il software PAN distribuito da ANIT.

2.2 Accumulo/rilascio igrotermico

Un tetto verde può sfruttare l'effetto di accumulo e rilascio igrotermico generato dal terreno e dagli strati vegetativi presenti in stratigrafia.

Si tratta della capacità di assorbire umidità e rilasciarla nel medio-lungo termine tramite evaporazione dal terreno e traspirazione dalle piante. Tali meccanismi favoriscono lo scambio di energia latente e mitigano positivamente l'oscillazione termica all'interno della struttura, soprattutto nei periodi più caldi.

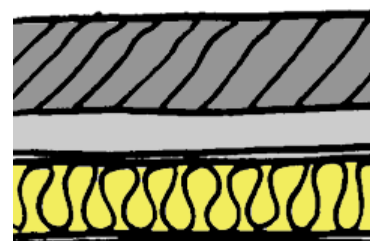
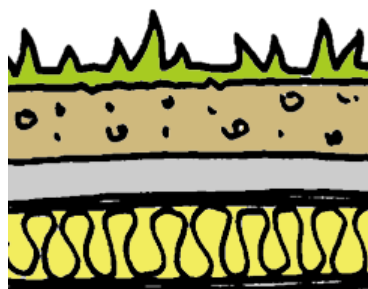
Questi fenomeni, seppur macroscopicamente noti, non sono facili da studiare a livello analitico: infatti non è possibile affrontare il problema con un calcolo tradizionale (basato sulla norma UNI EN 13788, ovvero sul modello di Glaser), ma è necessaria un'analisi igrotermica avanzata in simulazione oraria dinamica secondo UNI EN 15026 accompagnata da una serie di informazioni su materiali e impostazioni di calcolo per il terreno umido.

In questo studio abbiamo eseguito un calcolo avanzato mettendo a confronto una copertura verde e una copertura tradizionale. L'analisi è stata affrontata con il software WUFI, conforme alla UNI EN 15026 (vd. Fonte [11]) e utilizzando i consigli forniti dagli sviluppatori del software in merito alle modalità di simulazione di una copertura verde e le informazioni ricavate da diverse esperienze di ricerca accademica sul tema (vd. bibliografia). I risultati confermano la capacità di mitigazione delle temperature estive di un tetto verde e consentono di apprezzare la differenza con una soluzione tradizionale.

Il confronto è stato eseguito utilizzando i seguenti dati:

- **Parametro analizzato:** si è scelto di mettere a confronto l'andamento della temperatura interna alla stratigrafia, ovvero al di sotto del substrato di crescita per la copertura verde e al di sotto del rivestimento in calcestruzzo per la copertura tradizionale.
- **Periodo simulato:** l'analisi è stata eseguita simulando un periodo di più anni consecutivi, i grafici riportati mostrano l'andamento di un mese estivo rappresentativo del confronto.
- **Clima:** dati climatici orari di Milano creati sulla base di misure effettuate da ARPA Lombardia nel periodo 2000-2010 e validati dal Politecnico di Milano.
- **Stratigrafie confrontate:** tetto verde E-Base* e copertura piana tradizionale con i seguenti dati:

	Copertura verde	Copertura piana tradizionale
Spessore totale:	22,8 cm	22,8 cm
Trasmittanza termica:	0,201 W/m ² K	0,203 W/m ² K
Massa superficiale:	126 kg/m ²	184 kg/m ²
Resistenza superficiale esterna:	0.0526 m ² K/W	0.040 m ² K/W
Assorbimento solare:	0,3	0,3 , 0,6 oppure 0,9
Emissività:	0,9	0,9
Schema della stratigrafia:	Copertura verde con substrato di crescita di 8 cm e isolamento sul lato interno tramite pannello da 8 cm in poliuretano.	Copertura piana con la stessa tipologia di isolamento della copertura verde e strato esterno in calcestruzzo.



*vedi scheda al capitolo 3

Per il confronto si è scelto di valutare l'andamento della temperatura nella parte centrale della stratigrafia, ovvero la temperatura corrispondente:

- allo strato inferiore del substrato di coltura (terreno) per la copertura verde;
- allo strato inferiore di calcestruzzo per la copertura piana tradizionale.

I risultati della simulazione igrotermica dinamica confermano le aspettative: gli scambi di calore latente innescati dal terreno umido sono in grado di smorzare e ridurre la distribuzione della temperatura della copertura.

Come si vede dal grafico (rappresentativo di alcuni giorni di luglio) la copertura verde mantiene una temperatura più bassa e più smorzata rispetto alle altre casistiche. In particolare emergono differenze giornaliere estive nelle ore più calde della giornata:

- di oltre 20°C se il confronto è fatto con una copertura piana in calcestruzzo di colore scuro;
- mediamente di 5-10°C se il confronto è fatto con una copertura di colore chiaro o medio.

Simulazione della temperatura all'interno della struttura

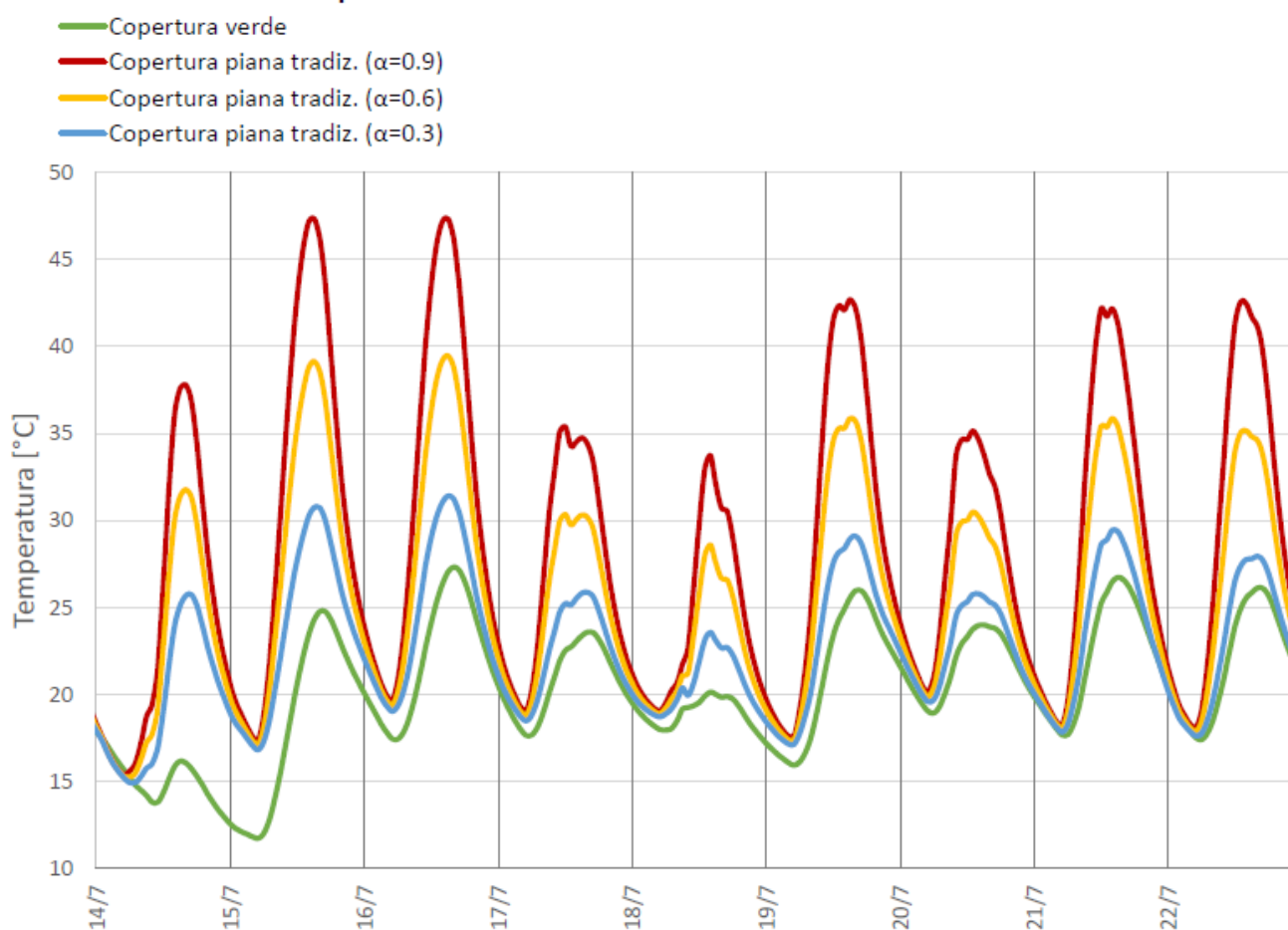


Figura 9 Andamento della temperatura interna alla stratigrafia per la copertura verde (linea verde) e la copertura piana tradizionale in calcestruzzo con differenti fattori di assorbimento solare (linee blu, arancione e rossa). La temperatura mostrata è stata ricavata da una simulazione dinamica igrotermica con il software WUFI e corrisponde al valore sottostante lo strato del terreno o di calcestruzzo della stratigrafia. Dato climatico di Milano, periodo illustrato per 10 giorni centrali di luglio. Si è scelto di analizzare l'andamento della temperatura interna come valore sintetico dei fenomeni energetici e igrotermici in grado di mettere in evidenza le differenze tra le soluzioni simulate.

2.3 Isolamento termico

La stratigrafia di una copertura verde ha tutte le carte in regola per offrire una buona risposta in termini di isolamento termico sia dal punto di vista invernale che estivo.

Dal punto di vista invernale la prestazione di "isolamento" si analizza confrontando la trasmittanza termica U del pacchetto di copertura (e gli eventuali ponti termici presenti) con il corrispettivo valore limite di legge (si veda la lettera C al capitolo 1.1 del presente manuale).

Dal punto di vista estivo invece si può ricorrere a una valutazione semplificata analizzando la trasmittanza termica periodica Y_{IE} (con i limiti di legge riportati alla lettera G del capitolo 1.1) o altri parametri sintetici come lo sfasamento φ e l'attenuazione f_a ; oppure attraverso uno studio approfondito in simulazione dinamica oraria dell'intero pacchetto per verificare l'insieme dei meccanismi di scambio termico presenti.

Per quanto riguarda la valutazione della trasmittanza termica U e della trasmittanza termica periodica Y_{IE} , non c'è molto da dire: più si incrementa lo spessore dello strato isolante, migliore è il risultato e più facile è la verifica dei limiti di legge.

Per quanto riguarda invece sfasamento e attenuazione termica è bene ricordare che non esistono limiti di legge, ma indicazioni di buone prassi progettuali: attraverso il controllo delle caratteristiche resistive e inerziali del pacchetto un buon risultato è dato da "alti valori" di sfasamento e "bassi valori" di attenuazione.

Il modo più diffuso per rappresentare questi parametri è quello riportato nella Figura 10, ricordando le seguenti definizioni:

- lo sfasamento φ rappresenta il periodo di tempo tra il valore massimo della sollecitazione termica e il massimo del suo effetto (si misura in ore);
- l'attenuazione f_a è il rapporto tra la trasmittanza termica periodica e la trasmittanza termica stazionaria (ovvero $f_a = Y_{IE}/U$) e può essere vista anche come il rapporto tra l'ampiezza (di flusso o temperatura) in condizioni dinamiche e quella corrispondente in condizioni stazionarie (il parametro è adimensionale).

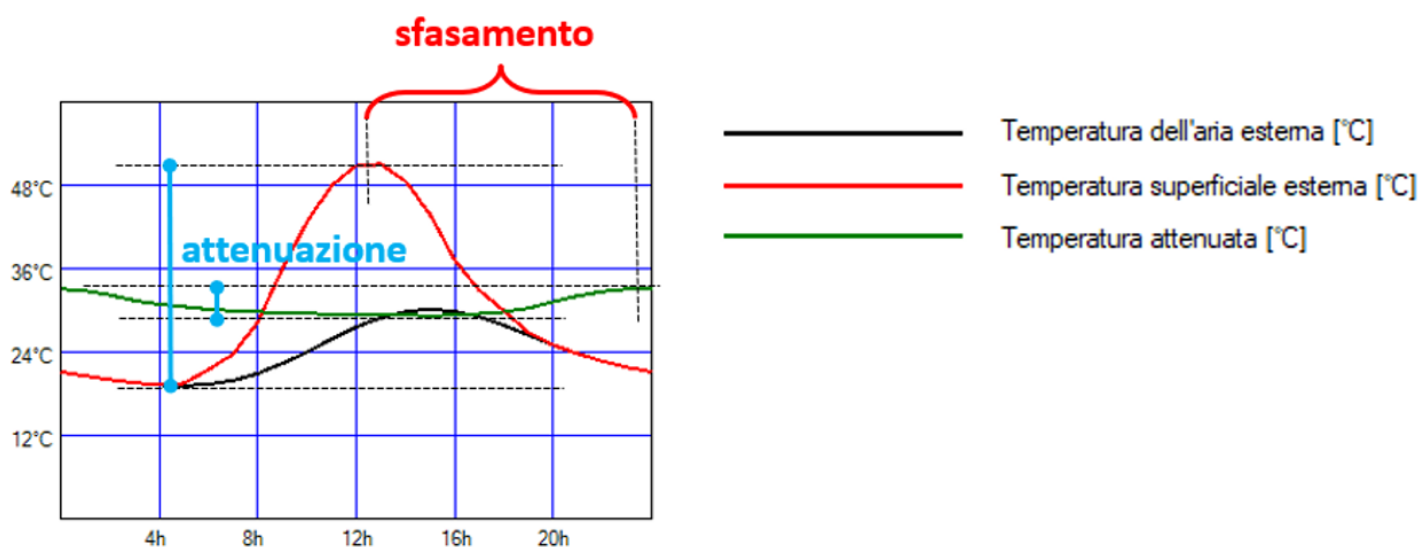


Figura 10 Rappresentazione grafica di sfasamento e attenuazione. A partire dall'analisi energetica del giorno tipico estivo è possibile tracciare la curva della temperatura dell'aria esterna (in nero), della temperatura superficiale esterna (in rosso) e della temperatura attenuata (in verde). Quest'ultimo parametro è calcolato con UNI EN ISO 13786 e offre una buona rappresentazione dell'effetto inerziale del pacchetto.

Esiste una seconda possibilità di analisi del comportamento estivo di una stratigrafia (in accordo con UNI EN ISO 13786) attraverso una simulazione energetica dinamica nelle 24 ore del giorno tipico estivo. Questo tipo di valutazione consente di monitorare l'effetto di una sollecitazione climatica esterna a diverse profondità dell'elemento opaco (nel nostro caso della copertura). Il risultato di questa analisi può essere speso per:

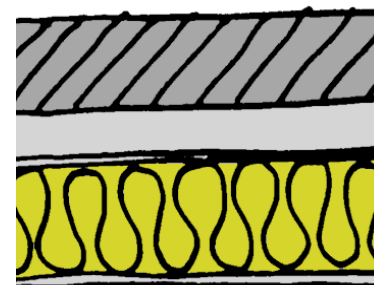
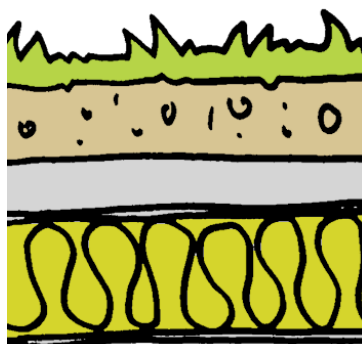
- analizzare graficamente la penetrazione dell'onda termica esterna;
- valutare la quantità di energia entrante nell'arco di 24 ore di una giornata estiva.

Per il nostro studio abbiamo deciso di mettere a confronto due stratigrafie di copertura e simulare il loro comportamento nel giorno estivo con il software PAN (fonte [7]). Di seguito la sintesi dei dati utilizzati e dei risultati ottenuti.

Il confronto è stato eseguito a partire dai seguenti dati:

- **Tipo di analisi:** simulazione dinamica secondo UNI EN ISO 13786.
- **Periodo simulato:** 24 ore del giorno tipico estivo.
- **Clima:** dati climatici esterni di Trevenzuolo (Verona) in accordo con UNI 10349, e temperatura dell'aria interna pari a 26°C.
- **Stratigrafie confrontate:** tetto verde E-Std* e copertura piana tradizionale con i seguenti dati:

	Copertura verde	Copertura piana tradizionale
Spessore totale:	38,2 cm	22,8 cm
Trasmittanza termica:	0,158 W/m ² K	0,171 W/m ² K
Massa superficiale:	108 kg/m ²	124 kg/m ²
Assorbimento solare:	0,3	0,6
Schema della stratigrafia:	Copertura verde con subastato di crescita di 8 cm e isolamento sul lato interno tramite pannello da 20 cm in lana di roccia.*	Copertura piana con la stessa tipologia di isolamento della copertura verde e strato esterno in calcestruzzo.



*vedi scheda al capitolo 3

Risultati:

Oscillazione termica esterna:	sulla superficie esterna si registrano temperature tra 22 e 50°C	sulla superficie esterna si registrano temperature tra 22 e 70°C
Profondità di penetrazione dell'onda termica:	14,0 cm	24,7 cm
Energia entrante nelle 24 ore:	101,3 kJ/m ²	218,9 kJ/m ²

I risultati della simulazione sono riportati nella figura sottostante.

Le due immagini mostrano la stratigrafia delle due coperture ruotate di 90° con le superfici esterne a sinistra (evidenziate in rosso) e quelle interne a destra (in verde). L'asse verticale riporta i valori delle temperature, mentre le curve nere sovrapposte rappresentano la distribuzione ora per ora della temperatura lungo tutta la profondità della stratigrafia.

A colpo d'occhio si vede come l'immagine di sinistra (copertura verde) riporta un'oscillazione termica più compatta, mentre quella di destra (copertura tradizionale in cls) più estesa. Questo significa una minore (o maggiore) propensione al surriscaldamento durante una giornata estiva con picchi nella parte centrale della stratigrafia intorno ai 40°C per la copertura verde e ai 50°C per la copertura tradizionale.

Dal punto di vista energetico le differenze riguardano anche la quantità di energia entrante nelle 24 ore simulate: 101,3 kJ/m² nel primo caso contro 218,9 kJ/m² nel secondo.

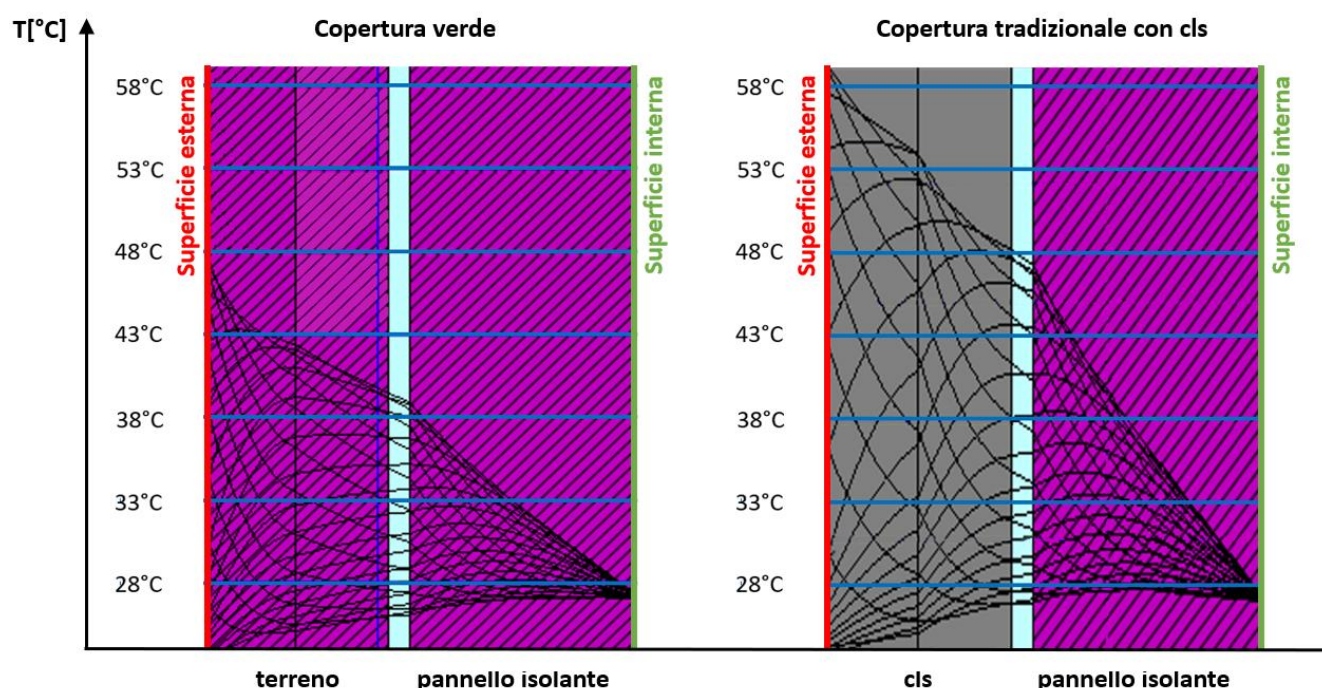


Figura 11 Simulazione energetica dinamica nelle 24 ore del giorno tipico estivo. I due grafici mettono a confronto i risultati ottenuti per una copertura verde (a sinistra) e una copertura tradizionale in cls (a destra). La simulazione è stata eseguita con il software PAN.

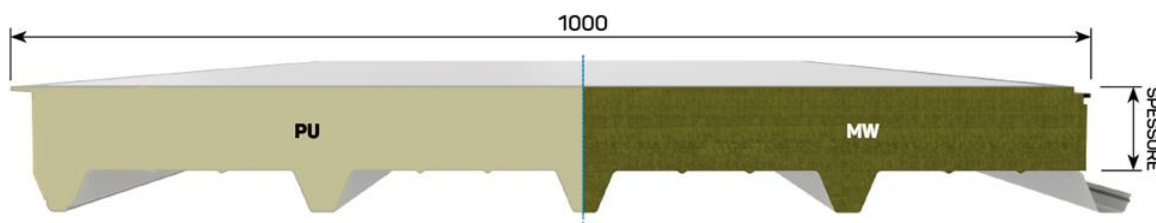
3 TETTI VERDI ISOPAN

3.1 Le soluzioni ISOPAN Greenroof per tetti verdi

ISOPAN Greenroof è una soluzione per i tetti verdi con pannelli sandwich in elementi prefabbricati progettati per garantire isolamento termico, impermeabilità e resistenza agli agenti atmosferici.

La lamiera esterna dei pannelli sandwich è rivestita da un apposito film sintetico protettivo e impermeabile, in PVC o in TPO (elastomeri termoplastici a base di olefine).

L'isolamento termico è garantito dall'anima isolante in schiuma poliuretanica (PU) o in fibra di lana minerale di roccia (MW).



I componenti per la copertura verde GREENROOF vengono installati direttamente in cantiere dopo la posa e il fissaggio alla struttura portante dei pannelli sandwich. In base alle caratteristiche progettuali, sono realizzabili varie soluzioni ISOPAN Greenroof:

- **GreenROOF Estensivo**

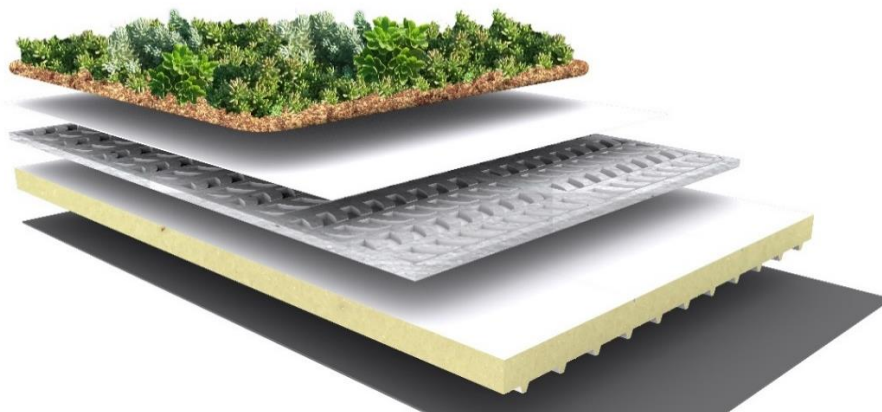
Soluzione indicata per edifici di grandi dimensioni, tetti inclinati e tetti esistenti per il basso spessore di substrato (da 3 a 15 cm circa), con un peso massimo di 100Kg/m²; la vegetazione colonizzatrice è molto resistente (muschi e sedi, graminacee, piante grasse) e non richiede frequenti interventi di manutenzione (annaffiatura soltanto in caso di siccità prolungata). L'altezza dei vegetali non supera i 25 cm e l'associazione di più varietà conferisce a questi tetti un aspetto multicolore che varia a seconda delle stagioni. Questo tipo di copertura non è calpestabile e non è coltivabile.

Fanno parte di questa categoria le coperture ISOPAN Greenroof E-Base, E-Std, E-Plus.

- **GreenROOF Intensivo**

Soluzione adatta per le piccole e medie superfici. Lo spessore del substrato è maggiore (da 15 a 30 cm circa) ed il peso di sovraccarico compreso tra 120 e 350 kg/m² (a capacità massima in acqua). Permette di accogliere una vegetazione a forte sviluppo radicale e aereo di tipo orticolo come graminacee, tappeti erbosi, piante vivaci o arbusti. Una manutenzione moderata e un'annaffiatura regolare sono necessari. Paragonabile ai giardini tradizionali, è possibile seminare o coltivare ogni tipo di vegetale.

Fa parte di questa categoria la copertura ISOPAN Greenroof I-Std.



Le caratteristiche dei sistemi ISOPAN Greenroof



ISOLAMENTO TERMICO E RISPARMIO ENERGETICO

Il verde pensile rappresenta la tecnologia con il miglior rapporto costi/benefici per l'abbattimento delle temperature delle coperture, con riduzioni fino a 40°C, nonché per produrre un maggiore sfasamento e smorzamento del flusso termico.



ISOLAMENTO ACUSTICO

Le proprietà fonoassorbenti della vegetazione e dei materiali impiegati favoriscono un'importante diminuzione del rumore ambientale e permettono l'abbattimento dell'inquinamento acustico, garantendo un assorbimento ed un isolamento sonoro tali da incidere positivamente sulla salute e sul benessere degli utenti.



MIGLIORAMENTO BIOCLIMATICO E IMPATTO AMBIENTALE

Il verde pensile è considerato un valido strumento per limitare il fenomeno dell'"Isola di calore" e per ottenere un miglioramento climatico dell'intero ecosistema urbano. Salvaguarda inoltre la biodiversità della massa biologica che può venire meno per effetto della cementificazione.



ELEVATA RITENZIONE IDRICA

L'elevata capacità di accumulo idrico degli elementi FSD e dei substrati consentono di trattenere in copertura fino all'80% delle precipitazioni annuali, riducendo il deflusso delle acque verso gli scarichi. Le prestazioni dei sistemi sono verificate e certificate secondo le metodologie previste dalla norma UNI 11235/15.



TRATTENIMENTO DELLE POLVERI

I tetti verdi portano ad una riduzione delle polveri sottili nell'aria grazie alla proprietà della massa vegetale di captare le particelle, trattenendole e rilasciandole poi sul substrato, ove perdono la propria pericolosità. Il verde pensile, inoltre, abbassa la circolazione delle polveri sottili nell'atmosfera, riducendo il surriscaldamento delle superfici e diminuendo la formazione di correnti ascensionali.



PROTEZIONE DELLA COPERTURA

Il verde pensile salvaguarda i pacchetti di isolamento termico e di impermeabilizzazione, allungando la loro durata e preservandone la funzionalità, in quanto li protegge dall'azione dei raggi U.V., dagli eventi atmosferici e dagli agenti chimici.



SUPERFICI FRUIBILI

Lo sfruttamento di aree inutilizzate è uno degli aspetti più interessanti legati all'impiego di una copertura verde. Ricreare spazi per aumentare la qualità della vita è una prerogativa sempre più importante nella vita moderna, e le soluzioni proposte permettono una grande libertà progettuale. Il verde permette inoltre agli utenti di godere di un maggior benessere psicofisico.



VALORIZZAZIONE DELL'EDIFICIO

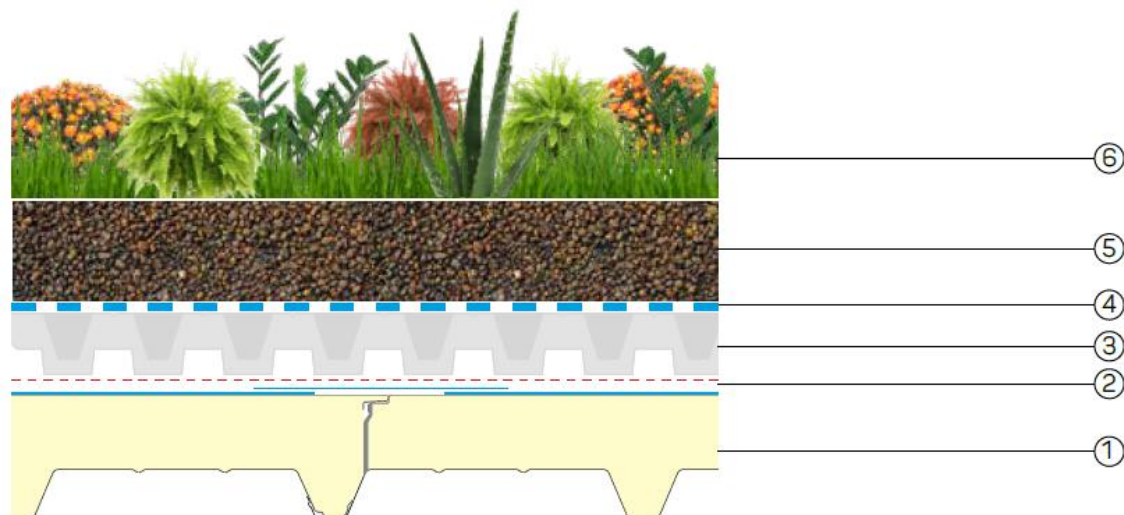
L'utilizzo del verde pensile consente di migliorare l'aspetto architettonico e la funzionalità delle aree disponibili aumenta. Di conseguenza agisce come forte elemento distintivo e di valorizzazione dell'immobile.

3.2 E-Base

Tipo estensivo

Questo sistema per verde pensile è indicato per coperture piane con portata strutturale limitata; realizzato con finalità tecniche, è in grado di apportare importanti vantaggi funzionali all'edificio; le specie vegetali utilizzabili sono ridotte e devono avere caratteristiche di resistenza alla siccità molto elevate. L'isolante può assumere diversi spessori da 0.08m a 0.20m.

Schema della stratigrafia



N.	Strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Conduttività [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Fattore di resist. vap. [-]
1	Pannello in poliuretano	0.08 - 0.15	40	0.022	1450	90000
	Pannello in lana di roccia	0.10 - 0.20	100	0.041	850	90000
2	Manto anti radice	-	-	-	-	-
3	Strato di drenaggio	0.05	25	0.111	1338.9	70
4	Geotessile filtrante	0.00135	-	-	-	-
5	Strato colturale	0.08	980	0.2	836.8	20
6	Vegetazione	-	-	-	--	-

Risultati di calcolo

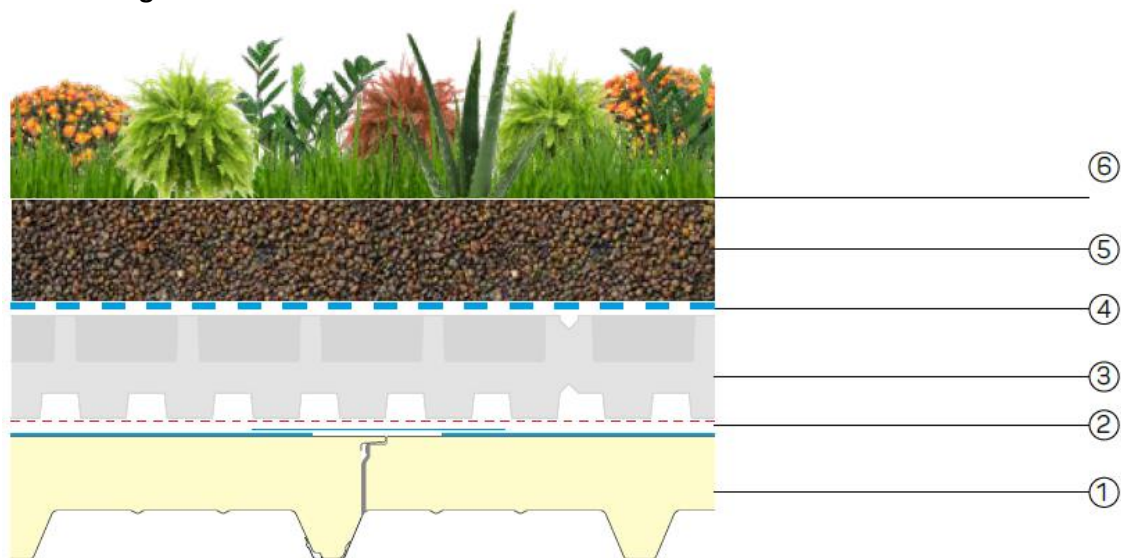
	Spessore [m]	Trasmitanza U [W/m ² K]	Trasmittanza periodica Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento φ[h]	Attenuazione f _a [-]	Capacità termica periodica interna C _{ip} [kJ/m ² K]
Con pannello di poliuretano	0.08	0.210	0.133	5h 34'	0.647	6.20
	0.15	0.126	0.068	7h 44'	0.545	6.06
Con pannello di lana di roccia	0.10	0.280	0.174	5h 53'	0.638	8.91
	0.20	0.166	0.076	8h 58'	0.463	8.73

3.3 E-Std

Tipo estensivo

Questo sistema garantisce un ottimo compromesso tra peso, spessore e autosufficienza idrica. È un verde pensile che viene realizzato con finalità tecniche in grado di apportare importanti vantaggi funzionale all'edificio, le specie vegetali utilizzabili sono maggiori rispetto al Sistema Base e devono avere caratteristiche di resistenza alla siccità molto elevate. L'isolante può assumere diversi spessori da 0.08m a 0.20m.

Schema della stratigrafia



N.	Strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Conduttività [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Fattore di resist. vap. [-]
1	Pannello in poliuretano	0.08 - 0.15	40	0.022	1450	90000
	Pannello in lana di roccia	0.10 - 0.20	100	0.041	850	90000
2	Manto anti radice	-	-	-	-	-
3	Strato di drenaggio	0.08	25	0.111	1338.9	70
4	Geotessile filtrante	0.00135	-	-	-	-
5	Strato colturale	0.08	980	0.2	836.8	20
6	Vegetazione	-	-	-	--	-

Risultati di calcolo

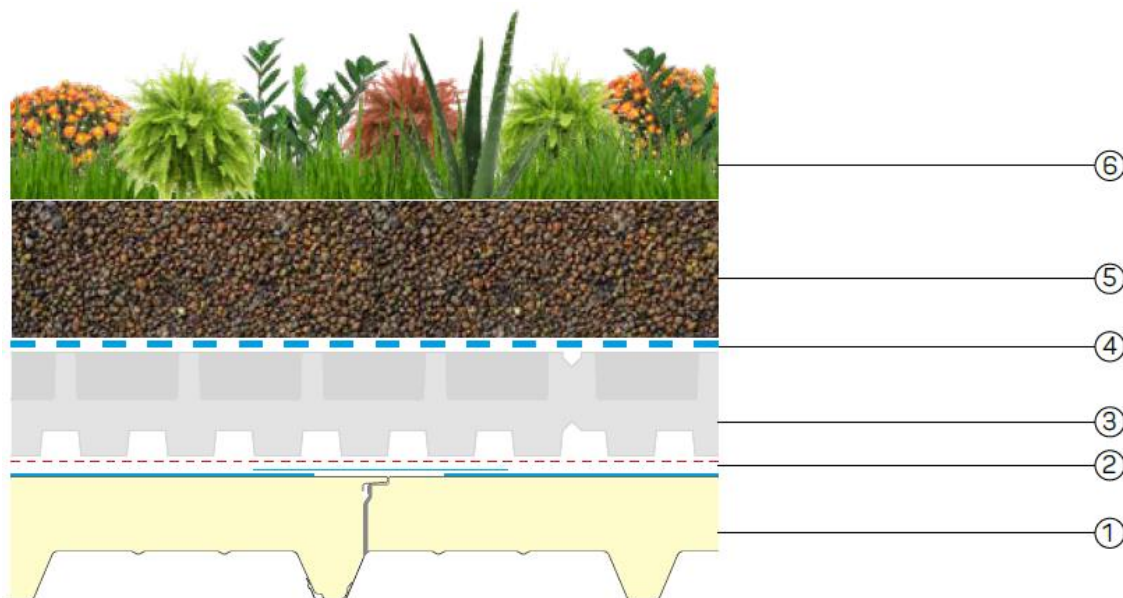
	Spessore [m]	Trasmitatnza U [W/m ² K]	Trasmittanza periodica Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento φ[h]	Attenuazione f _a [-]	Capacità termica periodica interna Cip [kJ/m ² K]
Con pannello di poliuretano	0.08	0.197	0.122	5h 57'	0.628	6.23
	0.15	1.121	0.062	8h 11'	0.519	6.03
Con pannello di lana di roccia	0.10	0.258	0.155	6h 17'	0.617	8.94
	0.20	0.158	0.068	9h 26'	0.433	8.65

3.4 E-Plus

Tipo estensivo

Coniuga eccellenti prestazioni di efficienza idrica con un aspetto estetico vario ed accattivante ottenuto grazie all’impianto di molteplici specie vegetali, per la maggior parte autoctone, che accrescono il valore ecologico del tetto. L’isolante può assumere diversi spessori da 0.08m a 0.20m.

Schema della stratigrafia



N.	Strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Conduttività [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Fattore di resist. vap. [-]
1	Pannello in poliuretano	0.08 - 0.15	40	0.022	1450	90000
	Pannello in lana di roccia	0.10 – 0.20	100	0.041	850	90000
2	Manto anti radice	-	-	-	-	-
3	Strato di drenaggio	0.08	25	0.111	1338.9	70
4	Geotessile filtrante	0.00135	-	-	-	-
5	Strato colturale	0.10	980	0.2	836.8	20
6	Vegetazione	-	-	-	--	-

Risultati di calcolo

	Spessore [m]	Trasmitatnza U [W/m ² K]	Trasmittanza periodica γ_{IE} [W/m ² K]	Sfasamento φ [h]	Attenuazione f_a [-]	Capacità termica periodica interna Cip [kJ/m ² K]
Con pannello di poliuretano	0.08	0.193	0.094	7h 03'	0.498	6.10
	0.15	0.120	0.048	9h 17'	0.407	5.82
Con pannello di lana di roccia	0.10	0.251	0.121	7h 23'	0.493	8.75
	0.20	0.156	0.053	10h31'	0.342	8.37

BIBLIOGRAFIA

- [1] Arkar C. et al., *Heat transfer in a lightweight extensive green roof under water-freezing conditions*, in "Energy & Buildings" (2018), volume 167, pp 187-199
- [2] AA.VV., *Volume 5 – Prestazioni estive degli edifici*, collana editoriale ANIT, Ed. TEP srl., (2017)
- [3] Bevilacqua P. et al., *Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area*, in "Energy & Buildings" (2016), volume 122, pp 63-79
- [4] Cascone S. et al., *A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings*, in "Building and Environment" (2018), volume 136, pp 227-239
- [5] Consonni D., *Hygrothermal response of green roofs*, (2015-2016), rel. Enrico De Angelis
- [6] Mignocchi R., *L'influenza del colore delle pareti sul comportamento estivo degli edifici*, Tesi di laurea anno accademico 2008-2009, Relatore Alberto Arengi, Università degli Studi di Brescia
- [7] *PAN Analisi termica, igrometrica e dinamica dell'involucro opaco*, software distribuito da ANIT e sviluppato da TEP srl, www.anit.it
- [8] UNI 11235:2015, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*
- [9] UNI EN ISO 13786:2018, *Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo*
- [10] UNI EN ISO 13788:2013, *Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo*
- [11] *WUFI Wärme und Feuchte Instationär*, software di simulazione igrotermica dinamica, sviluppato dal Fraunhofer IBP, www.wufi.it
- [12] Zirkelbach, D. et al, *A hygrothermal green roof model to simulate moisture and energy performance of building components*, (2017) Energy and Buildings, 145, pp. 79-91



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