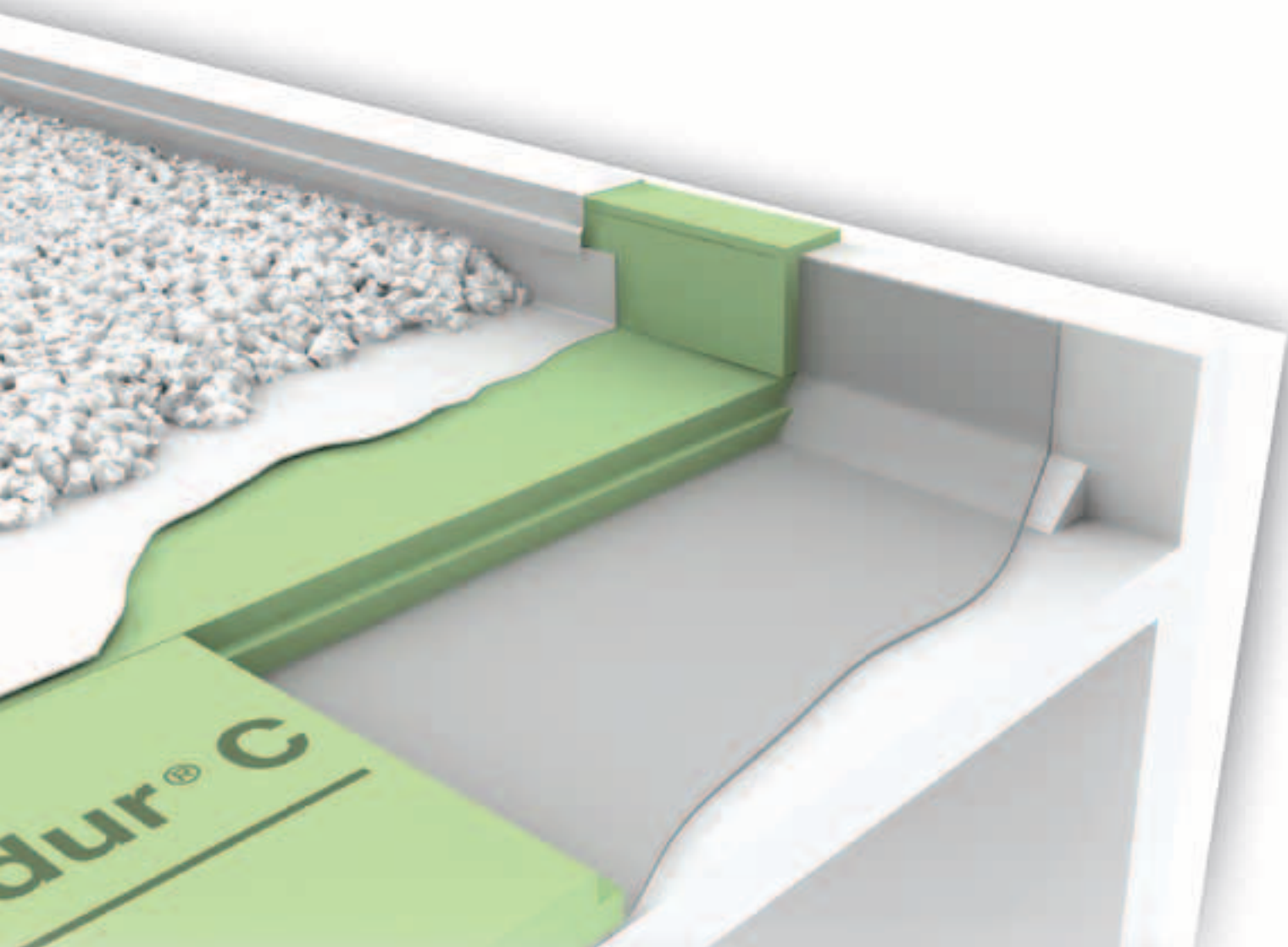
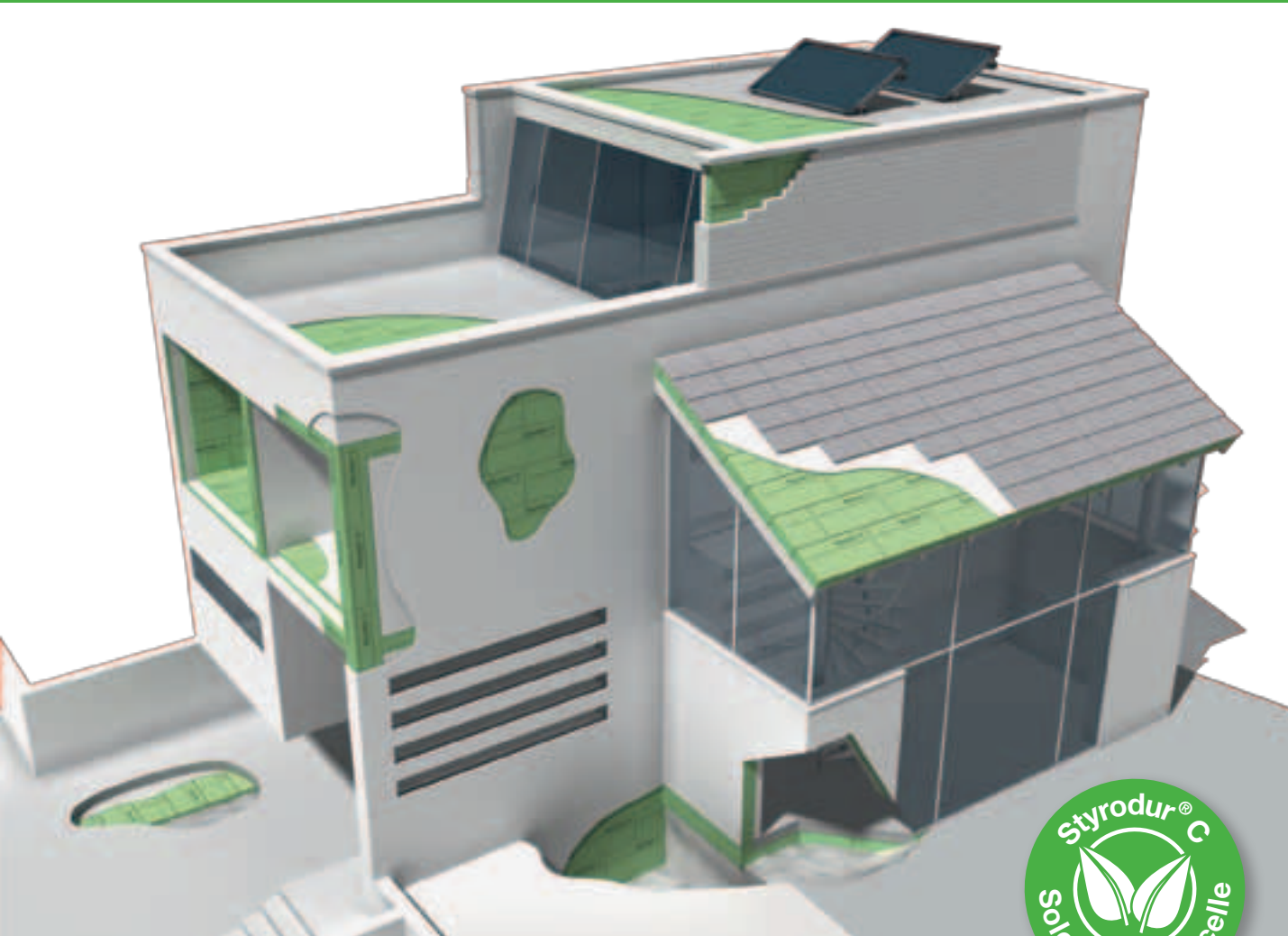


# Isolamento termico dei tetti



<b>1</b>	<b>Styrodur® C</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Il tetto piano</b>	<b>4</b>
2.1	Tipi di tetto piano e definizioni	6
<b>3</b>	<b>Vantaggi del sistema a tetto rovescio</b>	<b>7</b>
3.1	Vantaggi di Styrodur C nei tetti rovesci	9
<b>4</b>	<b>Istruzioni per l'uso</b>	<b>11</b>
4.1	Sottostruttura	11
4.2	Impermeabilizzazione del tetto	11
4.3	Drenaggio del tetto	11
4.4	Strato termoisolante	12
4.5	Strato protettivo	12
<b>5</b>	<b>Varianti di esecuzione</b>	<b>13</b>
5.1	Tetto rovescio a ghiaia	13
5.2	Tetto-duo	14
5.3	Tetto-plus	15
5.4	Tetto verde	16
5.5	Tetto a terrazza	24
5.6	Tetto adibito a parcheggio	25
<b>6</b>	<b>Dati tecnici Styrodur C</b>	<b>31</b>



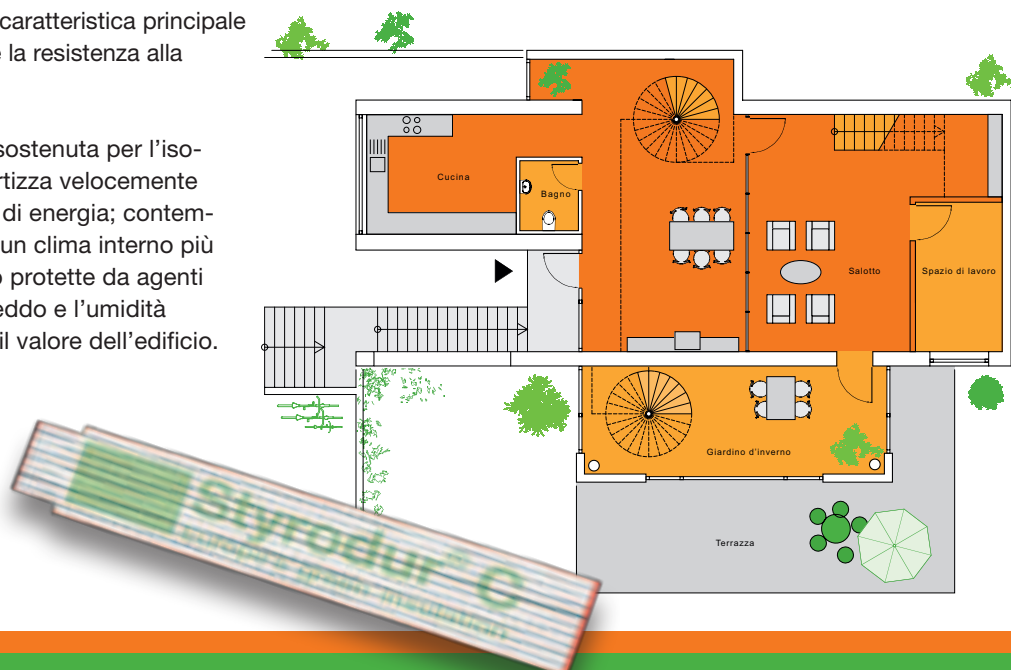
## 1. Styrodur® C

Styrodur® C è l'isolante termico di colore verde prodotto da BASF. È il polistirene espanso estruso che non utilizza FCKW, HFCKW e HFKW come gas espandenti e contribuisce in modo significativo, come materiale termoisolante, alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Grazie all'alta resistenza a compressione, al basso assorbimento d'acqua e alla propria longevità e imputrescibilità, Styrodur C è diventato il sinonimo di XPS in tutta Europa. La caratteristica principale dei vari tipi di Styrodur C è la resistenza alla compressione.

Con Styrodur C la spesa sostenuta per l'isolamento termico si ammortizza velocemente grazie al consumo ridotto di energia; contemporaneamente la casa ha un clima interno più salubre e le strutture sono protette da agenti esterni come il caldo, il freddo e l'umidità aumentando la durata ed il valore dell'edificio.

Styrodur C viene prodotto secondo i requisiti della norma europea UNI EN 13164 e, per il suo comportamento in caso di incendio, è inserito nella classe europea E secondo UNI EN 13501-1. La sua qualità viene monitorata dal F.I.W. di Monaco ed è omologata dal D.I.B.t. con il numero Z-23.15-1481.



## 2. Il tetto piano

Sia la forma del tetto che i materiali utilizzati per rivestire ed impermeabilizzare strutture piane o inclinate per i tetti hanno una notevole rilevanza architettonica, sebbene il carattere di una costruzione non sia determinato esclusivamente dagli aspetti esecutivi. Al momento di stabilire la stratigrafia e i materiali da utilizzare per realizzare un determinato tipo di tetto, oltre alla funzione dell'edificio, rivestono un ruolo fondamentale gli aspetti economici e costruttivi. Indipendentemente da requisiti specifici, sia i tetti piani che i tetti a falda sono in grado di soddisfare le esigenze fisiche e strutturali di un tetto.

Sia la disposizione a strati di un tetto a falda che le diverse varianti di strutture per tetti solo leggermente inclinate o addirittura prive di pendenza soddisfano le esigenze di isolamento termico imposte dalle norme e dai regolamenti attualmente in vigore e preservano gli edifici in modo affidabile e duraturo dall'azione degli agenti atmosferici. Il grado di «sicurezza» di un tetto non dipende dall'inclinazione del piano di drenaggio ma dalla ricchezza di informazioni di cui dispongono progettisti ed esecutori riguardo alle caratteristiche particolari della struttura in questione nonché dalle modalità di applicazione dei materiali durante la progettazione e l'esecuzione.



**Fig. 1:** Progetto di riferimento: Styrodur® C viene utilizzato come isolante nel tetto dell'acquedotto di Amburgo, nell'ambito delle misure di risanamento.

Contrariamente al tetto caldo convenzionale, nel quale l'impermeabilizzazione del tetto si trova sempre sopra all'isolamento termico, alcuni materiali isolanti speciali come, ad esempio Styrodur® C di BASF permettono di procedere anche «a rovescio» nel caso di un tetto piano. Dato che sempre più progettisti prediligono il tetto rovescio, l'azienda BASF offre con Styrodur C un materiale isolante ideale per questo sistema. Questo opuscolo contiene tutte le principali istruzioni di progettazione e posa del tetto rovescio e chiarisce i vantaggi di questo tipo di struttura rispetto al convenzionale tetto caldo.

Il materiale isolante nel tetto rovescio (in tedesco abbreviato con tetto UK) è sottoposto a sollecitazioni particolarmente intense dovute all'acqua piovana, al terreno

di rinverdimento o ai carichi mobili su tetti a terrazza o tetti carrabili adibiti a parcheggio. Per questa ragione deve essere inattaccabile dall'umidità e resistente alla putrescibilità. Venendo già calpestato o sottoposto al peso di mezzi leggeri (carricole) durante l'installazione e trovandosi dopo l'ultimazione dei lavori direttamente al di sotto dei rivestimenti o del terreno, deve possedere un'elevata resistenza alla compressione. Inoltre, per svolgere la propria funzione nel tetto rovescio, occorre una capacità termoisolante ottimale e duratura.



**Fig. 2:** Styrodur C, grazie alla sua resistenza alla compressione e alla ridotta conduttività termica, è particolarmente indicato per strutture di tetti rovesci.

Styrodur C è un materiale da costruzione robusto e facile da lavorare che soddisfa tutti i requisiti sopra citati. Durante l'estrusione delle lastre termoisolanti sulle superfici si forma una pellicola compatta e liscia, in virtù della quale esso può essere posato indipendentemente dalle condizioni atmosferiche. I bordi delle lastre sono dotati di battentatura perimetrale che fa sì che la posa allineata delle lastre non produca ponti termici.

Styrodur C, grazie alle sue molteplici proprietà, è adatto a diverse applicazioni ed è disponibile in una ampia e completa gamma di tipologie. Nella **tabella 1** sono elencate le principali caratteristiche distintive dei diversi tipi di Styrodur C idonei per tetti rovesci. Le più importanti sono la resistenza alla compressione e la conduttività termica. I formati disponibili per i diversi tipi di Styrodur C si ricavano dalla **tabella 2**.




Per strutture di tetti rovesci, secondo la DIN 4108-2, si deve rispettare l'omologazione Z-23.4-222. Poiché nei tetti rovesci il materiale isolante è a diretto contatto con gli agenti atmosferici, può capitare che in alcune situazioni possa trovarsi in condizioni di umidità superiori a quelle previste in fase di progetto. E' opportuno che il progettista tenga conto di questa eventualità in quanto questa influenza direttamente il valore della trasmittanza termica della struttura.

In tal senso una soluzione è quella di peggiorare il valore della conduttività termica dichiarata. Un valore indicativo da poter utilizzare per i tetti rovesci si può trovare nella **tabella 3** (valore consigliato dal DIBt per questa applicazione).

**Tabella 1:** Parametri caratteristici dei diversi tipi di Styrodur® C per il tetto rovescio

Proprietà	Unità di misura	Codifica secondo DIN EN 13164	Styrodur® C			
			3035 CS	4000 CS	5000 CS	Norma
Resistenza a compressione con schiacciamento del 10%	kPa	CS(10\Y)	300	500	700	DIN EN 826
Resistenza a compressione dopo 50 anni con schiacciamento < 2%	kPa	CC(2/1,5/50)	130	180	250	DIN EN 1606
Comportamento alla deformazione: carico 20 kPa; 80 °C	%	DLT(1)5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	DIN EN 1605
Comportamento alla deformazione: Carico 40 kPa; 70 °C	%	DLT(2)5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	DIN EN 1605
Assorbimento d'acqua per immersione	Vol. %	WL(T)0,7	0,2	0,2	0,2	DIN EN 12087
Assorbimento di umidità per diffusione e condensazione*	Vol. %	WD(V)3	2 – 4	2 – 4	2 – 4	DIN EN 12088
Comportamento al gelo (300 alternanze gelo/disgelo)	Vol. %	FT2	≤ 1	≤ 1	≤ 1	DIN EN 12091

**Tabella 2:** Formati disponibili di Styrodur C

	Unità di misura	Styrodur® C			
		3035 CS	4000 CS	5000 CS	
<b>Finitura perimetrale</b>					
<b>Superficie</b>		liscia	liscia	liscia	
<b>Spessore</b>	mm	T1	30/40/50/60/80/100/120/140/160/180	30/40/50/60/80/100/120	40/50/60/80/100
<b>Lunghezza x larghezza</b>	mm		1.265 x 615	1.265 x 615	1.265 x 615

**Tabella 3:** Valori di misurazione della conduttività termica per Styrodur C

Spessore (mm)	$\lambda_D$ [W/(m·K)]	$R_D$ (m <sup>2</sup> ·K/W)	$\lambda_{zul}$
20	0,032	0,65	-
30	0,032	0,95	-
40	0,034	1,25	0,037
50	0,034	1,50	0,037
60	0,034	1,80	0,037
80	0,036	2,30	0,039
100	0,038	2,80	0,040
120	0,038	3,20	0,040
140	0,038	3,65	0,040
160	0,038	4,20	0,040
180	0,040	4,45	0,042

$\lambda_D$  = conduttività termica dichiarata secondo DIN EN 13164

$R_D$  = resistenza termica dichiarata secondo DIN EN 13164

$\lambda_{zul}$  = secondo l'omologazione del DIBt Z-23.4-222 per tetto rovescio applicato a tetti verdi e tetti adibiti a parcheggio, Z-23.4-222

## 2.1 Tipi di tetto piano e definizioni

Secondo la DIN 18531 «Impermeabilizzazioni del tetto», i tetti con pendenza del gruppo I fino a 3° (5 %) e del gruppo II oltre 3° (5 %) fino a 5° (9 %) sono definiti tetti piani. La pendenza del tetto condiziona in modo rilevante il tipo e l'esecuzione dell'impermeabilizzazione. Secondo le direttive per i tetti piani dell'Associazione centrale artigiana dei carpentieri tedeschi (ZVDH), i tetti piani si dividono, in base alla loro struttura, in tetti ventilati e tetti non ventilati. Nel caso di tetto piano non ventilato tutti gli strati funzionali sono posizionati direttamente uno sull'altro. Quando questi strati sono incollati tra loro, la struttura viene denominata tetto compatto. In base al tipo di destinazione d'uso i tetti piani si suddividono in «coperture non praticabili» e «coperture praticabili».

Le coperture non praticabili vengono calpestate solo ai fini della manutenzione e riparazione generale. Per l'esecuzione di coperture non praticabili vale la DIN 18531 «Impermeabilizzazioni del tetto».

Le coperture praticabili sono previste come aree per il soggiorno di persone, per il passaggio carrabile o per rinverdimenti estensivi e intensivi. Secondo le direttive per i tetti piani si dividono in

- tetti a terrazza,
- tetti adibiti a parcheggio
- tetti verdi (estensivi o intensivi).

L'esecuzione di coperture praticabili avviene secondo la DIN 18195-5 «Impermeabilizzazioni edili». Secondo le direttive per i tetti piani, nel caso di coperture non praticabili si devono utilizzare lastre di polistirene espanso

rigido resistenti alla compressione e per coperture praticabili lastre di espanso rigido altamente resistente alla compressione. Tutti i tipi di Styrodur® C idonei per tetti rovesci, secondo la tabella 1 (pagina 5), soddisfano questo requisito.

I requisiti stabiliti in base all'applicazione nell'attuale norma per il polistirene espanso rigido estruso (XPS), DIN 18164-1, per applicazioni WD per materiali isolanti resistenti alla compressione e per applicazioni WS per materiali isolanti altamente resistenti alla compressione non sono stati recepiti nella nuova norma europea armonizzata DIN EN 13164. I requisiti relativi all'applicazione dei materiali termoisolanti sono stabiliti nella DIN V 4108-10 «Isolamento termico e risparmio energetico negli edifici – Requisiti relativi all'applicazione dei materiali termoisolanti». La struttura del tetto rovescio è classificata con l'abbreviazione «DUK». I requisiti minimi richiesti sono: tolleranze di spessore, massima deformazione ammessa per compressione e sollecitazione termica definita, caratteristiche di scorrimento, assorbimento d'acqua nel test di diffusione e sollecitazione prodotta da ciclo gelo/disgelo, oltre a resistenza alla compressione o sollecitazione a compressione con schiacciamento del 10 % in tre classi di resistenza dh (minimo 300 kPa) per elevata resistenza alla compressione, ds per resistenza alla compressione molto elevata (minimo 500 kPa) e dx per resistenza alla compressione estremamente elevata (minimo 700 kPa).

A seconda della posizione dello strato isolante il tetto piano semplice e non ventilato viene definito «tetto caldo» o «tetto rovescio». Entrambe le varianti di tetto sono realizzabili sia per coperture praticabili che per quelle non praticabili. La **Fig. 3** mostra la disposizione regolare degli strati di questa struttura.

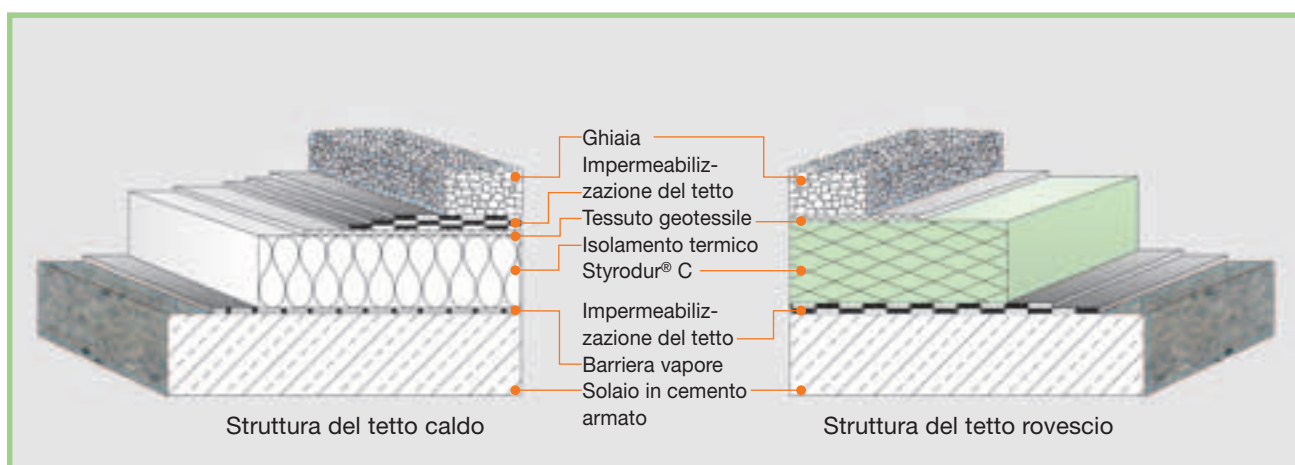


Fig. 3: Struttura di tetto caldo e tetto rovescio a confronto.

Per tetto caldo si intende un tetto semplice, non ventilato nel quale l'impermeabilizzazione resistente agli agenti atmosferici si trova sopra allo strato termoisolante.

Nel caso di tetto rovescio si distinguono tre ulteriori varianti:

- Il più diffuso è il tetto rovescio normale nel quale il sistema termoisolante è formato da uno strato di polistirene espanso rigido estruso XPS posizionato esclusivamente sopra all'impermeabilizzazione del tetto.
- Nel caso del cosiddetto «tetto-duo», su un convenzionale tetto caldo con lastre in XPS si applica un ulteriore strato isolante di Styrodur® C sopra all'impermeabilizzazione del tetto. Con questo sistema costruttivo, sempre più diffuso nei nuovi edifici, in condizioni climatiche non particolarmente severe, talvolta è possibile eliminare la barriera vapore.
- Il «tetto-plus» rappresenta una soluzione costruttiva per il risanamento di tetti piani non sufficientemente termoisolati. Si utilizza, inoltre, quando si desidera combinare nella struttura del tetto i vantaggi del tetto caldo con quelli del tetto rovescio e si applica la struttura di tetto rovescio con XPS su una struttura di tetto caldo, ad esempio, con EPS o lana minerale per proteggere il tetto e per aumentare la sua durata. In questo caso viene applicato, in un secondo tempo, uno strato termoisolante di Styrodur C sulla struttura presente del tetto caldo sottoposta in precedenza a un controllo per verificare la capacità funzionale dell'impermeabilizzazione.

Tutte le tre varianti sono idonee per tetto con ghiaia, tetto a terrazza, tetto verde o tetto adibito a parcheggio. Il principio del tetto rovescio non viene modificato, varia solo la disposizione strutturale. La struttura del tetto rovescio è disciplinata conformemente alla DIN 4108-2 in base ai tipi di esecuzione come tetto a ghiaia o tetto a terrazza. Solo i tipi di esecuzione come tetto verde e tetto adibito a parcheggio richiedono l'omologazione degli enti di vigilanza sulle costruzioni. Per Styrodur C è stata rilasciata un'omologazione analoga del DIBt con il N. Z-23.4-222.



Fig. 4: Progetto di riferimento: in un edificio per uffici all'aeroporto di Hongkong è stato utilizzato, tra l'altro nel tetto, Styrodur® C.

## 3. Vantaggi del sistema a tetto rovescio

Un tetto rovescio è costituito dettagliatamente dai seguenti strati:

- uno strato protettivo (ad esempio ghiaia),
- eventualmente un tessuto geotessile (telo in poliestere o polipropilene),
- uno strato isolante di Styrodur® C,
- un'impermeabilizzazione del tetto (al contempo barriera vapore),
- eventualmente uno strato di compensazione,
- un solaio di cemento armato.

Il tetto rovescio si realizza più facilmente e rapidamente del tetto caldo convenzionale perché è composto da un numero minore di strati da posare e incollare.

Nel caso del tetto rovescio, lo strato più importante, l'impermeabilizzazione, è disposto su un fondo resistente, robusto e uniforme. Un'eccezione è costituita dal tetto-plus e dal tetto-duo. Se il manto impermeabilizzante viene sottoposto a sollecitazioni meccaniche queste possono influire direttamente sulla sua superficie. A causa di ciò talvolta l'impermeabilizzazione può «incurvarsi» nei punti di giunzione con possibile formazione di crepe. Nel caso di uno strato isolante come fondo di posa, invece, non possono formarsi giunti tra le singole lastre isolanti.

Un altro vantaggio del tetto rovescio è dato dal fatto che l'impermeabilizzazione del tetto aderisce con tutta la superficie al solaio pieno in calcestruzzo, ed in tal caso le perdite in caso di danni possono essere localizzate con facilità. L'acqua sul lato interno esce direttamente nel punto in cui l'impermeabilizzazione è danneggiata. Diverso è il caso del tetto caldo convenzionale: se qui filtra acqua attraverso il manto impermeabilizzante, il danno causato dall'acqua risulta evidente nella parte interna, ma spesso a notevole distanza dal vero punto danneggiato dell'impermeabilizzazione.

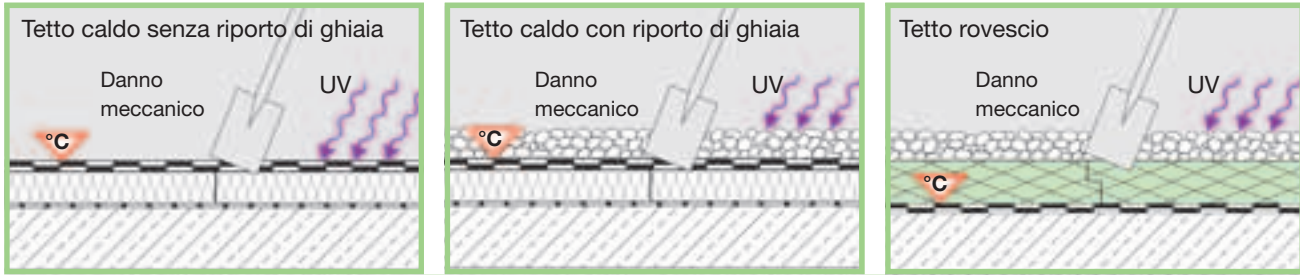
Inoltre, nel caso del tetto caldo non si deve confinare l'umidità tra la barriera vapore e l'impermeabilizzazione del tetto, cosa non sempre realizzabile nella pratica. Per il tetto caldo è necessario provvedere affinché i materiali termoisolanti siano stoccati in cantiere sempre protetti dall'umidità e le lastre già posate siano coperte.

Sostanzialmente le lastre isolanti non devono essere posate in caso di pioggia o nebbia, altrimenti l'umidità che si forma sotto l'impermeabilizzazione del tetto produce bolle di vapore. Invece, nel caso di tetto rovescio lo strato termoisolante può essere posato anche con la pioggia. L'acqua piovana presente sull'impermeabilizzazione può essere eliminata attraverso lo strato termoisolante in Styrodur C o può evaporare nell'aria esterna attraverso i giunti delle lastre isolanti.

L'impermeabilizzazione del tetto rovescio dovrebbe avere uno spessore d'aria equivalente alla diffusione del vapore acqueo di almeno 100 m ( $s_d=100$  m). Questo da un lato riduce chiaramente il flusso di diffusione del vapore acqueo che può muoversi attraverso la struttura del tetto e, dall'altro, impedisce che durante i caldi mesi estivi, con l'inversione del senso di diffusione, l'umidità possa raggiungere l'interno dell'edificio.

Dato che l'impermeabilizzazione nel caso di tetto rovescio si trova sotto allo strato termoisolante e agli strati funzionali superiori (ad esempio strato di ghiaia o rivestimento), questa è sempre protetta dai raggi UV. Nel caso di tetto caldo, in base alla diversa disposizione degli strati, può accadere che l'impermeabilizzazione del tetto sia esposta ai raggi UV diretti del sole. Questa situazione può comportare danni sia nel caso di impermeabilizzazioni bituminose che di impermeabilizzazioni in materiale sintetico.

Nel caso di tetto rovescio anche le escursioni termiche registrate sull'impermeabilizzazione del tetto sono essenzialmente ridotte. Nel caso di tetto caldo convenzionale l'escursione termica annuale sulla copertura del tetto può raggiungere i 70-80 °C. Invece, nel tetto rovescio l'escursione termica annuale è di circa 12 K, con temperatura interna sotto al tetto di circa 15-20 °C.



**Fig. 5:** Vantaggio del sistema del tetto rovescio: il materiale isolante disposto sull'impermeabilizzazione del tetto la protegge da elevate escursioni termiche e shock termici nonché da danni meccanici.

Nella **fig. 5** è rappresentata la sollecitazione termica giornaliera a cui è soggetta l'impermeabilizzazione nel caso di tetto caldo convenzionale senza e con strato di ghiaia rispetto al tetto rovescio. Nel tetto caldo le temperature registrate sull'impermeabilizzazione in estate possono superare i 70°C. Nel tetto rovescio, in cui l'impermeabilizzazione è protetta da uno strato termoisolante, la temperatura rimane quasi costante. Gli shock termici, come durante le grandinate estive, nel caso di tetto rovescio non danneggiano l'impermeabilizzazione.

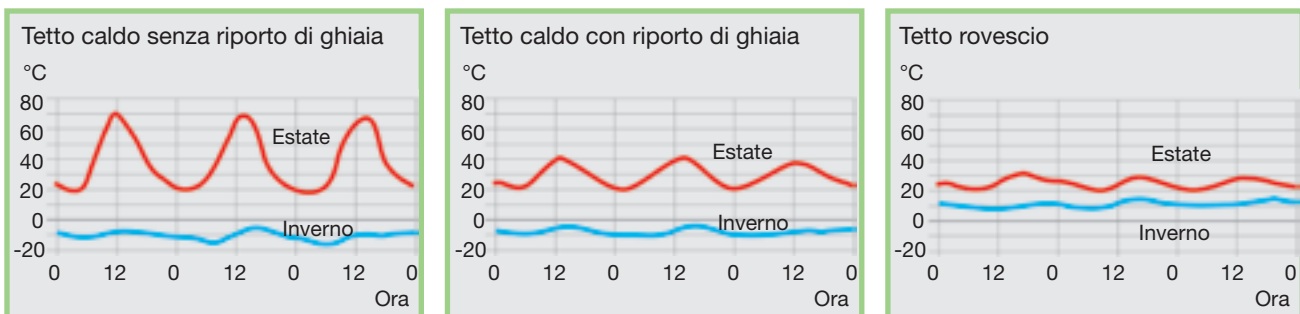
Nel caso di tetto caldo convenzionale, inoltre, l'impermeabilizzazione viene esposta a continue aggressioni meccaniche. I danni spesso insorgono già durante la fase di costruzione a causa dei lavori sul tetto, al deposito di materiali da costruzione, a oggetti che cadono e ad altri fattori. Nel caso di tetto rovescio lo strato isolante elastico protegge l'impermeabilizzazione da danni meccanici, al contempo svolge la funzione dello strato protettivo richiesto sulle impermeabilizzazioni secondo la DIN 18195-10.

### 3.1 Vantaggi di Styrodur® C nei tetti rovesci

Styrodur® C è utilizzato già dalla fine degli anni '70 nei tetti rovesci e dal 1978 è omologato dagli enti di vigilanza sulle costruzioni. Prelievi di campioni da tetti rovesci in opera hanno dimostrato che Styrodur C mantiene quasi inalterate le sue proprietà fisiche e meccaniche, elencate di seguito, per lunghissimo tempo (**Fig. 6**).

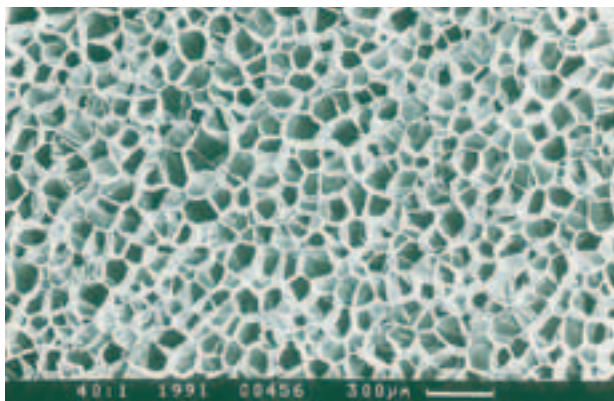


**Fig. 6:** Prelievo di campioni da un tetto rovescio verde di dieci anni.



**Fig. 7:** Sollecitazione termica del tetto caldo e del tetto rovescio

**Resistenza all'acqua:** l'assorbimento d'acqua delle lastre è straordinariamente ridotto grazie alla struttura espansa a celle chiuse e alla pelle di estrusione presente sui due lati. Il tenore di umidità delle lastre di Styrodur® C, inserite per diversi anni in coperture di ghiaia, ammontava a circa 0,1% di vol., un valore che in pratica non pregiudica in alcun modo la capacità termoisolante del materiale.



**Fig. 8:** L'assorbimento dell'acqua di Styrodur® C è estremamente ridotto grazie alla struttura espansa a celle chiuse.

**Alta resistenza:** Styrodur C, grazie alle sue caratteristiche di resistenza è il materiale isolante ideale per tetti rovesci. Per materiali isolanti sottoposti a carichi particolarmente intensi, ad esempio nel caso di tetti adibiti a parcheggio, si raccomandano i tipi di Styrodur 4000 CS e 5000 CS straordinariamente resistenti alla compressione.

#### **Classificazione di protezione antincendio:**

Styrodur C per la reazione al fuoco rientra nell'Euro-classe E secondo la DIN EN 13501-1 (Reazione al fuoco dei materiali da costruzione). L'omologazione degli enti di vigilanza sulla costruzioni è Z-23.15-1481.

**Stabilità dimensionale:** il procedimento di estrusione e lo stoccaggio controllato prima della consegna garantiscono un'elevata stabilità dimensionale. Il materiale è dimensionalmente stabile a compressione e sollecitazione termica, definite secondo la DIN EN 13164.

**Ponti termici:** nel caso di posa delle lastre di Styrodur C con battentatura perimetrale, tra le lastre allineate non si formano ponti termici.

**Lavorazione:** per la lavorazione dello Styrodur C si possono utilizzare macchine e attrezzi comuni per la lavorazione del legno. Raccordi o elementi emergenti si possono realizzare senza particolari problemi. Il taglio permette di ottenere bordi netti; le superfici di taglio non si sgretolano.

La realizzazione di un tetto piano secondo il principio del tetto rovescio deriva in sostanza dall'esigenza di proteggere l'impermeabilizzazione del tetto da azioni statiche, dinamiche e termiche. Questo requisito è prescritto come obbligatorio anche dalla DIN 18195-10. Inoltre, la norma segnala che gli strati protettivi possono essere contemporaneamente strati praticabili della costruzione. Nel tetto rovescio lo strato praticabile «isolamento termico» è anche lo strato protettivo per l'impermeabilizzazione del tetto.

#### **Styrodur C**

- grazie al suo elevato modulo di elasticità può svolgere funzioni statiche e assorbire uniformemente i carichi risultanti;
- la sua struttura elastica ma al contempo rigida è in grado di separare dinamicamente la sovrastruttura e il rivestimento praticabile dal sottofondo con struttura portante e impermeabilizzazione del tetto;
- permette di risparmiare energia per il riscaldamento (in inverno) o il raffreddamento (in estate) e protegge l'edificio dagli intensi effetti climatici.

Queste proprietà di Styrodur C spingono il progettista ad applicare il principio del tetto rovescio nel caso di strutture a tetto piano praticabili e soggette a notevoli sollecitazioni.

## 4. Istruzioni per l'uso

### 4.1 Sottostruttura

Il sistema termoisolante del tetto rovescio può essere utilizzato per tetti piani semplici (non ventilati) sia nel caso di sottostrutture pesanti che leggere, sempre che siano rispettate le seguenti condizioni:

- Le sottostrutture pesanti, come solai pieni, devono presentare un peso superficiale di almeno 250 kg/m<sup>2</sup>. Le sottostrutture leggere, il cui peso superficiale è inferiore a 250 kg/m<sup>2</sup>, devono presentare una resistenza termica di  $\geq 0,15 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ .
- L'elevato peso superficiale e la resistenza termica minima prescritta della sottostruttura devono impedire che, in caso di piogge fredde, la parte inferiore della copertura si raffreddi così intensamente da causare la formazione di condensa.

Le superfici sulle quali si devono posare le impermeabilizzazioni del tetto devono essere pulite e prive di corpi estranei. I solai in calcestruzzo, inclusi eventuali strati in pendenza, devono essere sufficientemente induriti e asciutti in superficie. Si devono rispettare le tolleranze stabilite in materia di costruzioni dalla DIN 18202 «Tolleranze dimensionali nell'edilizia» e le «Direttive per tetti piani» in vigore.

I tetti rovesci realizzati con Styrodur® C non necessitano di pendenze. Sulle superfici del tetto prive di pendenze dopo le precipitazioni rimane un po' d'acqua che non pregiudica la funzionalità del tetto rovescio, sempre che le lastre isolanti non restino sommerse permanentemente.

### 4.2 Impermeabilizzazione del tetto

Per tetti rovesci con una pendenza superiore al 2 % sono idonei tutti i normali materiali impermeabilizzanti:

- manti bituminosi per tetto,
- manti bituminosi modificati con materiale sintetico,
- manti di materiale sintetico e
- membrane di alti polimeri.

I tetti rovesci con una pendenza minore del 2 % corrispondono a costruzioni speciali e richiedono misure preventive particolari per ridurre i rischi collegati all'acqua stagnante. Per questa ragione, ad esempio, nel caso di impermeabilizzazioni bituminose si devono applicare sotto allo strato superiore formato da manti bituminosi polimerici o un altro strato bituminoso polimerico o due strati bituminosi. Se l'impermeabilizzazione del tetto è formata da manti in materiale sintetico, è necessario scegliere strati più spessi. Si consiglia in ogni caso di consultare le disposizioni per la lavorazione redatte dal produttore e le direttive per tetti piani in vigore.

#### Avvertenza:

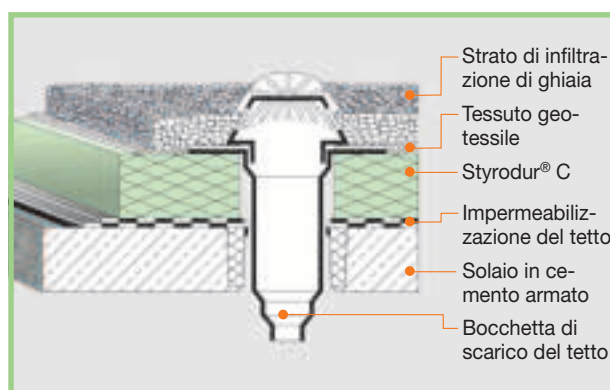
Le impermeabilizzazioni a base di catrame o a base di sostanze contenenti solventi non sono idonee per tetti rovesci con Styrodur C.

### 4.3 Drenaggio del tetto

Dato che il sistema implica una copertura del tetto disposta sotto allo strato isolante, il deflusso dell'acqua avviene sopra e sotto alle lastre isolanti. Per questa ragione è necessaria una bocchetta di scarico del tetto con due piani di drenaggio (Fig. 9). Le condizioni per l'inserimento a regola d'arte delle bocchette di scarico del tetto devono essere specificate già in fase di progettazione. Si deve evitare che le lastre di Styrodur C, in seguito all'installazione ad un'altezza eccessiva delle bocchette di scarico restino permanentemente sommerse dall'acqua. In base alla destinazione d'uso, per i tetti rovesci sono necessarie le bocchette di scarico, il cui diametro è indicato nella **tabella 4** per m<sup>2</sup> di superficie del tetto.

**Tabella 4:** Diametro delle bocchette di scarico in base alla destinazione d'uso e alla superficie del tetto piano

Diametro tubo DN in mm	Superficie tetto in m <sup>2</sup> per i diversi tipi di tetto		
	Tetto piano < 15°	Tetto a ghiaia	Tetto verde
70	70	115	190
100	190	300	500
125	340	550	900



**Fig. 9:** Bocchetta di scarico con due piani di drenaggio dell'acqua per il drenaggio della superficie del tetto sopra e sotto allo strato isolante.

#### 4.4 Strato termoisolante

Per evitare la formazione di ponti termici, per il tetto rovescio si consiglia l'utilizzo di lastre di Styrodur® C con battentatura perimetrale. Devono essere posate in un unico strato, ben accostate, allineate a giunti sfalsati (nessun giunto incrociato). Per la giunzione di velette o di elementi in muratura verticali le lastre di Styrodur C, nel caso di impermeabilizzazioni bituminose, si devono adattare al pannello triangolare isolante inserito.

Questo consente una posa del materiale isolante priva di ponti termici. Dato che le lastre isolanti non sono accoppiate all'impermeabilizzazione del tetto, strato isolante e impermeabilizzazione non si condizionano nel caso di variazioni termiche longitudinali.

L'esperienza pratica ha dimostrato che lo strato isolante deve essere posato in un unico strato. Nel caso di posa a due strati, tra le lastre isolanti si può formare una lamina d'acqua che agisce da barriera vapore. La fuoriuscita del flusso di vapore acqueo dalla lastra inferiore verrebbe ostacolata con conseguente aumento dell'umidità nel materiale isolante.

In casi particolari è possibile procedere all'incollaggio a punti delle lastre di Styrodur C sull'impermeabilizzazione. Nel caso di impermeabilizzazione bituminosa questo si realizza, ad esempio, con bitume soffiato B25/85 o con conglomerati bituminosi a freddo.

Lo strato isolante composto dalle lastre di Styrodur C è calpestabile e carrabile. Per il trasporto su superfici isolate sono adatte carriole con pneumatici. Le lastre isolanti di Styrodur C non sono resistenti a solventi o a sostanze contenenti solventi.



Fig. 10: Bocchetta di scarico del tetto.

Le lastre di Styrodur C possono essere conservate per alcune settimane all'aperto senza alcuna protezione contro gli agenti atmosferici perché pioggia, neve e gelo non possono danneggiare lo Styrodur C. Ove fosse prevista una conservazione più lunga in loco, le lastre di Styrodur C devono essere coperte con teli di plastica di colore chiaro opaco per proteggerle dai raggi solari. I teli trasparenti o di colore scuro non sono idonei perché sotto a questo tipo di coperture possono insorgere temperature elevate.

#### 4.5 Strato protettivo

Nel caso della struttura del tetto rovescio, come già descritto, l'isolamento termico in Styrodur C si trova sempre sopra all'impermeabilizzazione del tetto. Il materiale isolante viene quindi esposto tutto l'anno all'azione diretta degli agenti atmosferici. Le catene polimeriche dell'espanso rigido a cellule chiuse non sono permanentemente resistenti ai raggi UV. Per questa ragione nel caso di tetto rovescio è sempre necessario uno strato protettivo sopra al materiale isolante. Lo strato protettivo ha quattro funzioni:

- la protezione delle lastre isolanti dai raggi UV diretti,
- la protezione della struttura stratiforme del tetto dal sollevamento dovuto alla forza aspirante del vento,
- la resistenza all'incendio causato da scintille e calore irradiato (copertura rigida) e
- la protezione delle lastre isolanti dal galleggiamento.

Lo strato protettivo di norma è costituito da ghiaia. Tuttavia, può al contempo corrispondere anche allo strato praticabile se svolge la funzione di rinverdimento del tetto, rivestimento della terrazza e sistema per tetto adibito a parcheggio. Lo strato protettivo in base alla destinazione d'uso è costituito da materiali diversi.



Fig. 11: Tetto rovescio con riporto di ghiaia.

#### Avvertenza:

Se Styrodur C viene utilizzato sotto ad impermeabilizzazioni come, ad esempio, manti per tetto, teli o tappeti protettivi, con le temperature estive a causa dell'assorbimento delle radiazioni solari possono avere luogo surriscaldamenti in grado di deformare le lastre di Styrodur C. Per questa ragione si deve applicare con cura lo strato protettivo secondo quanto disposto dalle direttive per tetti piani.

## 5. Varianti di esecuzione

### 5.1 Tetto rovescio a ghiaia

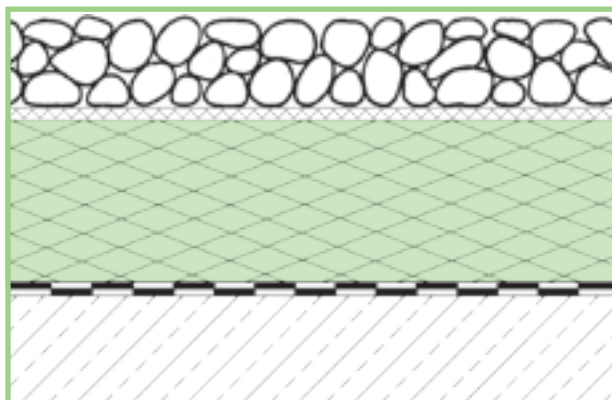


Fig. 12: Esecuzione del tetto rovescio a ghiaia

Nel caso di tetto rovescio a ghiaia, la funzione dello strato protettivo è svolta da un riporto di ghiaia composto da ghiaia rotonda, lavata, con  $\varnothing$  16/32 mm. Lo spessore dello strato di ghiaia corrisponde al rispettivo spessore dello strato isolante. In caso di necessità la ghiaia può essere ricoperta con uno stabilizzante per ghiaia che però non deve formare una pellicola sigillante sulle lastre di Styrodur® C. Se gli spessori del materiale isolante sono superiori a 50 mm e viene inserito un telo di materiale sintetico, questa soluzione può essere sufficiente per ridurre la zavorra di ghiaia a 50 mm, anche nel caso di strati di materiale isolante essenzialmente più spessi (tabella 5).

Tabella 5: Protezione delle lastre di Styrodur® C contro il galleggiamento

Spessore strato isolante in mm	Strato di ghiaia in mm	
	senza telo	con telo
30 – 50	50	50
60	60	50
80	80	50
100	100	50
120	120	50

Tabella 6: Protezione della struttura del tetto contro la forza aspirante del vento

Altezza della grondaia dal terreno	Zona del bordo secondo DIN 1055-4 b/8 minimo, tuttavia di almeno 1,00 m (b = larghezza del tetto piano)		Superficie residua	
0 – 8 m	$\geq 1,0 \text{ kN/m}^2$	$\geq 60 \text{ mm}$ Strato di ghiaia	$\geq 0,5 \text{ kN/m}^2$	$\geq 50 \text{ mm}$ Strato di ghiaia
> 8 – 20 m	$\geq 1,6 \text{ kN/m}^2$	$\geq 90 \text{ mm}$ Strato di ghiaia o rivestimento lastricato 350 x 350 x 60 mm; Strato di ghiaia su letto di ghiaia a granulometria fine (8/16) o su supporto di rialzo	$\geq 0,6 \text{ kN/m}^2$	$\geq 50 \text{ mm}$ Strato di ghiaia
> 20 – 100 m	$\geq 2,0 \text{ kN/m}^2$	$\geq 120 \text{ mm}$ Strato di ghiaia o rivestimento lastricato 500 x 500 x 80 mm; Strato di ghiaia su letto di ghiaia a granulometria fine (8/16) o su supporto di rialzo	$\geq 0,8 \text{ kN/m}^2$	$\geq 50 \text{ mm}$ Strato di ghiaia

Un telo permeabile al vapore (ma impermeabile all'acqua) e non putrescibile tra strato isolante e strato protettivo di ghiaia preserva l'impermeabilizzazione del tetto evitando i danni prodotti dalle frazioni fini della ghiaia. Allo stesso tempo, grazie alla zavorra di ghiaia, si evita lo spostamento e il disallineamento delle singole lastre di Styrodur C a causa del galleggiamento e della forza aspirante del vento. In nessun caso è possibile installare un telo impermeabile di plastica o un foglio di PE come strato impermeabile. L'effetto di barriera vapore di questi rivestimenti comporterebbe l'assorbimento di acqua da parte dello strato isolante sottostante.

Dopo ogni precipitazione piovosa sull'impermeabilizzazione del tetto rimane un po' di acqua. Questa deve sempre evaporare all'aria. A tale scopo è necessario uno scarico aperto attraverso giunti delle lastre di Styrodur C e la diffusione diretta attraverso il materiale isolante. Questo principio è anche alla base della regola principale del sistema del tetto rovescio secondo cui sopra al materiale isolante deve trovarsi sempre uno strato permeabile.

La protezione antivento deve essere realizzata secondo la DIN 1055-4:2005-03 o l'omologazione del DIBt N. Z-23.4-222. La tabella 6 riporta una sintesi delle zavorre necessarie.

Le costruzioni in posizioni geograficamente esposte come, ad esempio, il dorso di una montagna o pendii con raffiche di vento molto forti, possono richiedere zavorre chiaramente più pesanti rispetto a quelle indicate nella tabella 6. Lo stesso vale per aree urbane con edifici elevati isolati in prossimità dei quali possono formarsi forti correnti d'aria con velocità del vento elevate.

Le superfici del tetto, che di norma sono calpestate a causa di interventi di manutenzione (pulizia del camino, ispezioni al sistema di ventilazione), dovrebbero essere lastricate nella zona di passaggio.

## 5.2 Tetto-duo

Il tetto-duo rappresenta una variante del tetto rovescio da preferire qualora si impongano requisiti particolarmente elevati per il coefficiente di trasmittanza termica (valore U) del tetto e non si raggiunga lo spessore richiesto con uno strato di materiale isolante. Nel caso di questa variante lo strato isolante di Styrodur® C si trova sia sotto che sopra all'impermeabilizzazione del tetto.

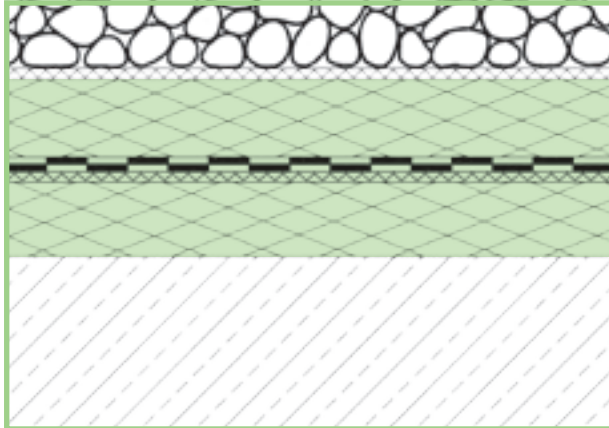


Fig. 13: Realizzazione del tetto-duo.

Non occorre uno strato di separazione sul solaio in cemento armato. In base alle condizioni climatiche talvolta può anche non essere necessaria la barriera vapore.

Il tetto-duo, rispetto al tetto rovescio normale, presenta il vantaggio di uno spessore ridotto dello strato isolante poiché in questo caso, secondo l'omologazione e la DIN 4108-2, non si deve considerare nessun incremento del coefficiente  $\Delta U$ .



Fig. 14: Posa di Styrodur® C per tetto-duo.



Fig. 15: Isolamento della veletta con Styrodur C.



Fig. 16: Posa di Styrodur C sopra all'impermeabilizzazione del tetto.

### 5.3 Tetto-plus

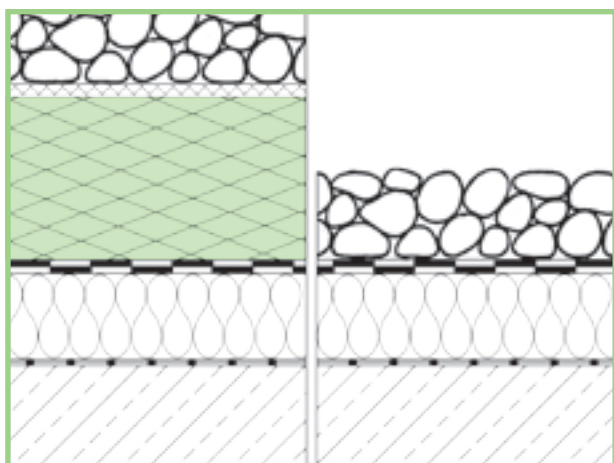


Fig. 17: A sinistra nuova struttura di un tetto plus, a destra vecchia struttura del tetto caldo.

La struttura del tetto-plus è perfetta per adattare un tetto caldo già esistente e non sufficientemente isolato agli standard attuali di isolamento termico. Per trasformare un vecchio tetto caldo inghiaiato in un tetto plus con Styrodur® C sono necessari i seguenti interventi:

- Per prima cosa lo strato di ghiaia presente viene messo da parte, procedendo a tratti, e depositato sul tetto. In tale contesto si devono rispettare i requisiti statici.
- Successivamente viene verificata la presenza di punti permeabili nell'impermeabilizzazione del tetto e, se necessario, si procede alla riparazione.
- Analogamente si devono controllare i collegamenti agli elementi verticali della muratura, lucernari a cupola, bocchettoni di ventilazione e converse perimetrali del tetto.
- L'altezza dei collegamenti agli elementi strutturali verticali deve essere di 15 cm sopra al bordo superiore del riporto di ghiaia; nel caso di converse perimetrali del tetto questa misura si riduce a un minimo di 10 cm. Se necessario si deve rialzare la giunzione.
- Poi si devono posare le lastre di Styrodur C e si devono ricoprire con un tessuto geotessile. Infine, è possibile applicare nuovamente la ghiaia stoccata provvisoriamente. Con questa tecnica si prosegue la lavorazione a tratti finché l'intera superficie del tetto è risanata energeticamente.

Se la capacità portante del solaio in cemento armato lo consente, un tetto caldo da risanare può anche essere trasformato in un tetto rovescio verde. L'impermeabilizzazione del tetto, resistente alla penetrazione delle radici, deve tuttavia essere controllata per rilevare punti permeabili ed eventualmente essere rinforzata con un altro strato.



Fig. 18: Tetto rovescio risanato come struttura di tetto-plus.



Fig. 19: Tetto a ghiaia.

## 5.4 Tetto verde

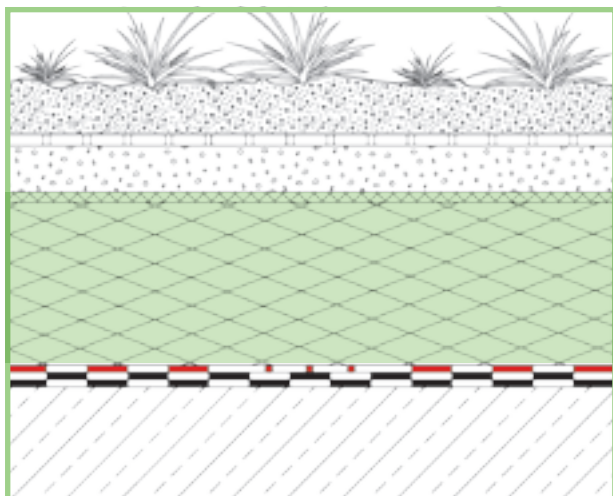


Fig. 20: Esecuzione del tetto verde.

Qualora esista la struttura regolare di un tetto rovescio, cioè quando sopra al materiale termoisolante si trova uno strato permeabile, è possibile realizzare una struttura di tetto verde con superfici umide, sentieri e piazzole.

Rispetto alla struttura del tetto caldo, quella di un tetto rovescio verde offre parecchi vantaggi. L'isolamento termico protegge in ogni momento l'impermeabilizzazione del tetto, resistente alla penetrazione delle radici, dalle sollecitazioni termiche. In particolare durante la fase di costruzione, il sistema isolante offre una protezione affidabile contro le azioni meccaniche che danneggiano rapidamente l'impermeabilizzazione e la guaina antiradici. Anche durante la fase di utilizzo lo spesso strato isolante ricopre come una guaina protettiva l'impermeabilizzazione del tetto preservandola anche quando si utilizza un rastrello o altri attrezzi per gli interventi di rinverdimento.

Nel caso di un tetto rovescio verde, inoltre, gli interventi per l'esecuzione possono avvenire separatamente. L'azienda che impermeabilizza il tetto si occupa dell'impermeabilizzazione e dell'isolamento termico mentre il giardiniere si occupa del substrato e del rinverdimento. In questo modo si semplifica sia il collaudo dei lavori di costruzione che la relativa garanzia. Spesso le imprese del settore forniscono i tetti verdi come sistema globale.

È noto che nel tetto rovescio il materiale isolante delle lastre in espanso estruso non può essere sommerso permanentemente dall'acqua piovana. L'irrigazione a raccolta di un tetto rovescio verde impone la seguente riflessione: per soddisfare il principio fisico-costruttivo del tetto rovescio, tra il piano di raccolta dell'acqua e le lastre di Styrodur® C deve trovarsi uno strato permeabile.



Fig. 21: Con un tetto verde su Styrodur® C si possono realizzare zone paesaggistiche urbane vive.

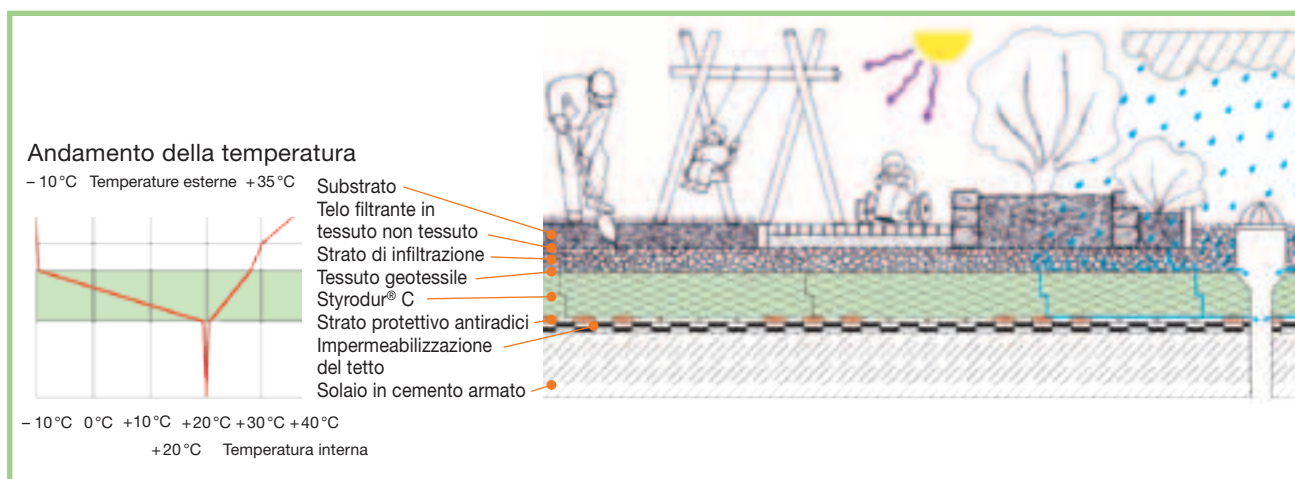


Fig. 22: Sollecitazione di un tetto verde.

Questo può essere costituito, ad esempio, da lastre preformate di EPS Styropor® (**Fig. 23**). La forma simile a quella dei cartoni per uova permette di raccogliere l'acqua piovana sul lato superiore e di convogliare l'acqua in eccesso lungo le intercapedini sul lato inferiore.

Un'altra variante, illustrata nella **figura 24**, propone un tetto a terrazza rinverdito e calpestabile. In questo tipo di tetto sopra all'isolamento termico in Styrodur® C si trova un telo in tessuto non tessuto sopra al quale è posizionato uno strato drenante. Questo strato drenante devia l'acqua piovana in eccesso e fornisce alle lastre in espanso estruso un manto permeabile nella parte superiore. Sopra allo strato drenante di ghiaia è possibile variare a piacere l'altra struttura. Su parte del tetto può essere costruita una vasca per l'acqua con fogli saldati. Altre zone possono essere dotate di un rivestimento per terrazze su un sottofondo di sabbia con telo filtrante in tessuto non tessuto o di telo filtrante e substrato vegetale per il rinverdimento del tetto.



**Fig. 23:** Lastre preformate di EPS Styropor® per la ritenzione dell'acqua e il drenaggio di un tetto rovescio verde con Styrodur® C.



**Fig. 24:** Tetto a terrazza rinverdito e calpestabile con irrigazione a raccolta in stagni artificiali su una struttura di tetto rovescio con strato drenante di ghiaia su tutta la superficie.

Sostanzialmente il progettista deve fare in modo che la struttura del tetto possa supportare il peso del substrato bagnato (**tabella 7**) e il carico crescente delle piante prodotto dalla loro crescita. Le lastre termoisolanti utilizzate nel tetto rovescio, in base al tipo di materiale impiegato, presentano sollecitazioni a compressione continua consentite da 130, 180 o 250 kPa, equivalenti ad un carico tra 13, 18 o 25 tonnellate per metro quadrato.

**Tabella 7:** Carico superficiale prodotto dalla vegetazione bagnata e dalla crescita

Tipo di vegetazione	Carico superficiale	
	kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Prato inglese	5,0	0,05
Piante erbacee e boschetto	10,0	0,10
Piante erbacee e arbusti fino a 1,50 m di altezza	20,0	0,20
Arbusti fino a 3 m di altezza	30,0	0,30
Grandi arbusti fino a 6 m di altezza	40,0	0,40
Alberi piccoli fino a 10 m di altezza	60,0	0,60
Alberi fino a 15 m di altezza	150,0	1,50

### Rinverdimento estensivo del tetto

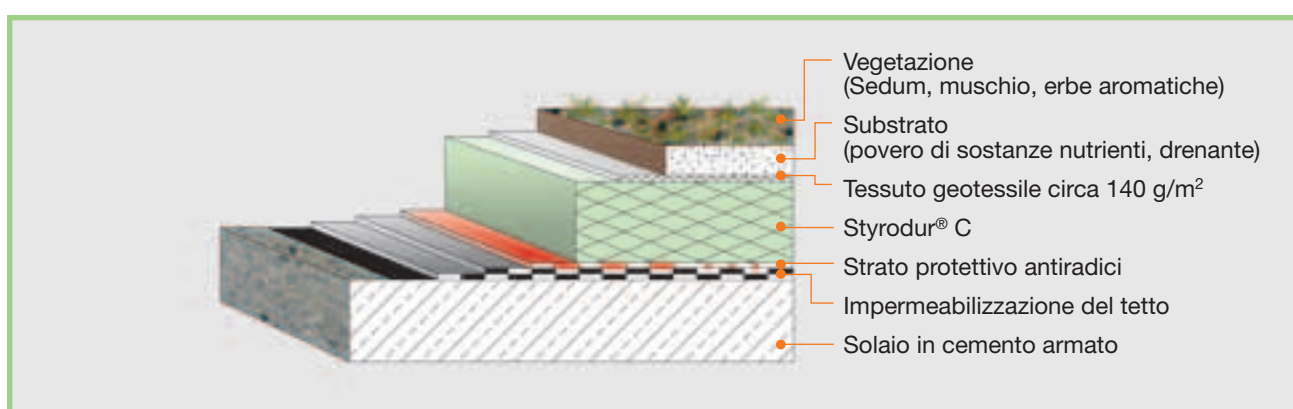
Un rinverdimento estensivo (**Fig. 25**) richiede interventi di manutenzione minimi – sono sufficienti da uno a due controlli all'anno.

L'irrigazione e l'apporto di sostanze nutritive avviene per lo più tramite processi naturali.

Solo durante la fase di crescita le piante richiedono un'irrigazione supplementare. Un rinverdimento estensivo comprende esclusivamente piante resistenti alla siccità che si adattano particolarmente bene a condizioni locali estreme e in grado di rigenerarsi senza problemi, anche piante basse (altezza di crescita fino ad un

massimo di 15 cm). Lo spessore del substrato misura normalmente dai 6 ai 16 cm.

Nel caso di rinverdimenti estensivi il substrato viene prosciugato dallo strato drenante sottostante. Tra i due strati si deve posizionare un telo filtrante in tessuto non tessuto. Le diverse imprese che si occupano di rinverdimenti di tetti offrono anche substrati che svolgono la funzione sia di terreno di coltura fertile per le piante che di strato drenante per eliminare l'acqua in eccesso grazie alla loro granulometria. Spesso questi riporti di substrato bifunzionali contengono argilla o scisto espansi. Generalmente è compito del progettista adattare le proprietà delle miscele per il substrato ai tipi di piante previsti e alle loro caratteristiche fisiche già in fase di progettazione.



**Fig. 25:** sezione di un tetto rovescio rinverdito estensivamente.



**Fig. 26:** Posa di lastre di Styrodur® C sotto a rinverdimento estensivo del tetto.



**Fig. 27:** Rinverdimento estensivo del tetto con piante resistenti alla siccità.

### Rinverdimento intensivo del tetto

Questo tipo di interventi sul tetto (**Fig. 28**) si può suddividere in rinverdimento intensivo semplice e in rinverdimento intensivo complesso. I rinverdimenti intensivi semplici richiedono moderati interventi di manutenzione. Per l'utilizzo e la disposizione si deve partire da piante con esigenze limitate per quanto concerne la struttura degli strati nonché l'apporto di acqua e di sostanze nutritive. Sono idonee graminacee, piante erbacee e arbusti con altezza fino a 1,5 m.

I rinverdimenti intensivi complessi, invece, devono essere progettati con cura e richiedono interventi regolari di manutenzione eseguiti da un giardiniere quali irrigazione, concimazione, taglio ed estirpazione delle erbacce. Lo spessore del substrato, in base alla destinazione d'uso, di norma va dai dieci ai sedici centimetri. La crescita normalmente raggiunge un'altezza massima di tre metri. Per quanto riguarda l'utilizzo e la disposizione di questi tetti difficilmente si impongono limiti.



Fig. 28: Tetto rovescio rinverdito intensivamente.

Per la coltivazione sono adatte piante del rinverdimento estensivo e di quello intensivo semplice, prati ornamentali, piante erbacee rigogliose e arbusti tra i due e i sei metri di altezza nonché alberi piccoli e grandi. Per preservare a lungo la funzionalità di un tetto rovescio rinverdito, con coltivazione intensiva o estensiva, si devono osservare i punti stabiliti per ogni strato funzionale.

#### Protezione antiradici dell'impermeabilizzazione del tetto

Nel caso di tetti rinverditi le radici, seguendo l'acqua, penetrano fino al manto impermeabilizzante. Per evitare

che penetrino all'interno dell'impermeabilizzazione, danneggiandola, si dovrebbero utilizzare solo guaine impermeabilizzanti per tetti la cui resistenza alle radici sia certificata.\*

\* La Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB) dispone di una lista di tutte le guaine e rivestimenti (WBB) resistenti alle radici testati con il metodo della prova di resistenza alle radici (FLL). Le attuali informazioni su prodotti e produttori possono essere reperite presso la FBB ([www.fbb.de](http://www.fbb.de)).

Nel caso di tetto rovescio verde la guaina protettiva antiradici non può assolutamente essere posata sopra alle lastre termoisolanti di polistirene espanso estruso. In questa posizione agirebbe da barriera vapore sul lato sbagliato e comporterebbe un aumento dell'umidità nel materiale isolante.

#### Strato filtrante e strato di infiltrazione = drenaggio

Lo strato vegetativo di un tetto verde dovrebbe, ove possibile, essere in grado di immagazzinare molta acqua in modo da garantire un apporto d'acqua sufficiente alle piante durante un successivo periodo di siccità. L'acqua in eccesso, invece, deve essere deviata attraverso uno strato di infiltrazione verso il tubo di drenaggio e/o un pozzetto di raccolta sul tetto. Lo strato di infiltrazione è parte integrante dello strato drenante. Affinché dal substrato vegetale non penetrino granulometrie fini nello strato di infiltrazione depositandosi, tra il substrato e lo strato di infiltrazione si deve inserire un telo filtrante in tessuto non tessuto. In genere si utilizzano teli in fibre sintetiche di polipropilene e poliestere con un peso superficiale di circa 140 g/m<sup>2</sup>. I teli in fibra di vetro non sono adatti poiché vengono attaccati dall'alcalinità del terreno e dell'acqua.

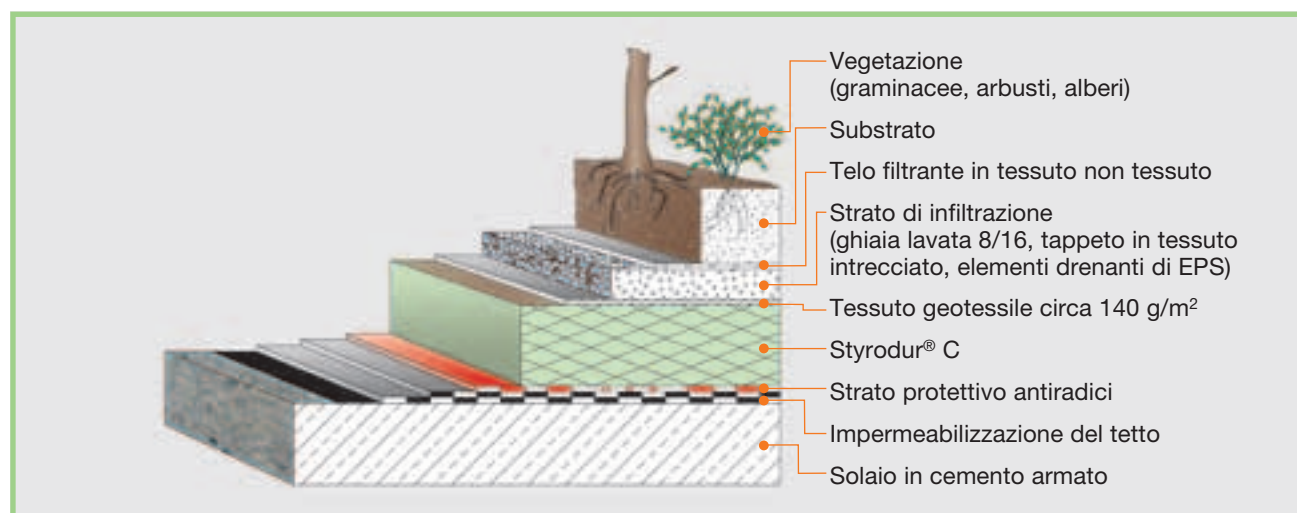
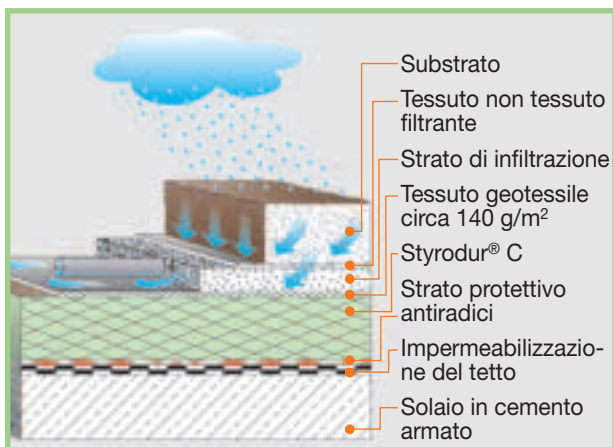


Fig. 29: Sezione di un tetto rovescio con rinverdimento intensivo.

### Le funzioni dello strato filtrante nel tetto rovescio

L'acqua in eccesso, che non può essere immagazzinata dallo strato vegetativo, viene assorbita dallo strato drenante e conformemente all'inclinazione del tetto viene trasportata orizzontalmente verso un tubo drenante o a una bocchetta di scarico del tetto (Fig. 30).



**Fig 30:** Disposizione degli strati di un tetto rovescio verde con strato drenante per l'assorbimento superficiale dell'acqua e in alternativa con tubo drenante.

Tuttavia, nel caso di tetto rovescio, lo strato di infiltrazione non deve solo deviare l'acqua piovana ma deve garantire anche la permeabilità al vapore sopra al materiale isolante. Il vapore acqueo che si diffonde attraverso lo strato termoisolante, a causa della pressione parzialmente ridotta del vapore stesso, deve fuoriuscire e condensarsi nello strato di infiltrazione. Questa condensa, in determinate condizioni climatiche presenti nella struttura stratificata del tetto verde, può rappresentare un vantaggio per il substrato e di conseguenza per le piante. Qualora il substrato sia saturo e non sia più in grado di assorbire la condensa, questa viene trasportata al pozzetto di raccolta o si deposita nuovamente sull'impermeabilizzazione del tetto da dove rientra un'altra volta nel ciclo di diffusione e condensazione. Lo strato drenante deve sopportare la compressione derivante dal peso del substrato vegetale sovrastante, dalle varie strutture presenti nonché dal carico mobile durante l'utilizzo come, ad esempio, nel caso di un tetto verde calpestabile. Questo strato dovrebbe essere il più possibile leggero al fine di non sollecitare inutilmente e ulteriormente la sottostruttura. Inoltre, deve essere resistente al gelo e alla putrescibilità. I seguenti materiali sono idonei ad essere utilizzati per lo strato di infiltrazione:

#### Blocchi drenanti di calcestruzzo

I blocchi drenanti di calcestruzzo sono adatti solo nel caso di substrati vegetali di notevole spessore. Sostanzialmente si adattano solo limitatamente ai rinverdimenti dei tetti, poiché in certe circostanze possono comportare danni all'edificio. La continua caduta di acqua dilava la calce dal corpo drenante in calcestruzzo che può depositarsi sotto forma di idrato di calce nelle boc-

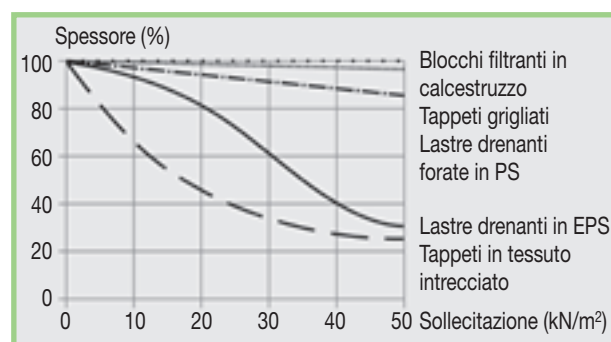
chette di scarico del tetto e nei canali della grondaia. Ne risultano sedimentazioni che possono ostruire completamente le bocchette di scarico.

#### Materiale sciolto (ad esempio ghiaia, argilla espansa, lava espansa)

In modo particolare nel caso di rinverdimenti estensivi con substrati molto sottili, gli strati di infiltrazione in ghiaia rappresentano spesso l'unica possibilità di ottenere la zavorra prescritta di 100 kg/m<sup>2</sup>. Nel caso di rinverdimento intensivo con substrati molto spessi, invece, si devono prediligere strati di infiltrazione in argilla espansa o lava espansa per il loro peso ridotto rispetto agli strati di ghiaia.

Particolarmente leggeri sono gli strati di infiltrazione costituiti da materiali espansi, lastre drenanti in EPS o tappeti in tessuto sintetico intrecciato (ad esempio di polipropilene). Sono idonei anche i prodotti riciclabili sotto forma di tappeti di plastica o in espanso. Gli strati di infiltrazione citati, da un punto di vista tecnico, corrispondono già a strati drenanti completi. Nel caso di tessuto intrecciato in polipropilene sul lato superiore e inferiore viene applicato un telo filtrante stabile in modo che l'unità che compone l'elemento drenante sia costituita da un tappeto. Le lastre drenanti in EPS di norma non richiedono rivestimenti con teli in tessuto non tessuto poiché la struttura espansa è stabile e filtrante. In questo modo soddisfano ugualmente i requisiti stabiliti per strati di infiltrazione e strati filtranti.

Nel caso di elementi drenanti di materiale sintetico si deve considerare che la sollecitazione prolungata prodotta dallo strato vegetativo, inclusi i carichi mobili, può comportare nel corso del tempo una riduzione degli spessori (schiacciamento). Nel caso di elementi drenanti deformabili, per verificare il deflusso di acqua, occorre adottare lo spessore dell'elemento risultante dopo cinquanta anni in base alla sollecitazione prevista. Per una sollecitazione, ad esempio, di 10 kN/m<sup>2</sup> di norma può essere stimata come sezione di deflusso solo il sessanta-ottanta percento dell'altezza originaria (Fig. 31). Per gli elementi drenanti prefabbricati in materiale sintetico i produttori hanno già redatto i relativi dati.



**Fig. 31:** Reazione all'invecchiamento di diversi elementi drenanti dopo 50 anni. Variazione degli spessori in base alla sollecitazione.

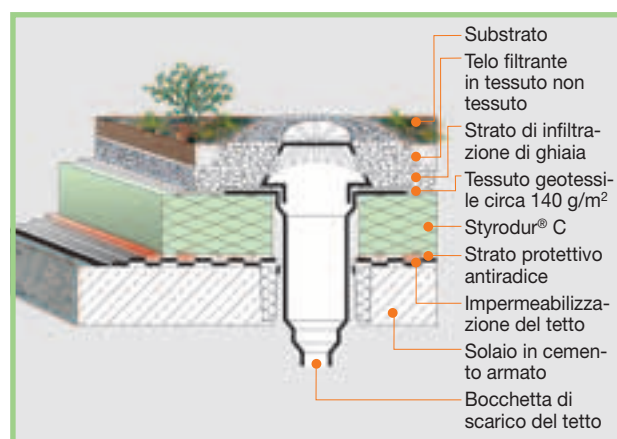
### Drenaggio e bocchette di scarico del tetto

Lo strato drenante deve ricoprire completamente tutta la superficie del tetto fino agli elementi strutturali adiacenti come parapetti o pareti verticali. Se le bocchette di scarico hanno un diametro superiore a 100 mm, superfici parziali, equivalenti al massimo a 150 m<sup>2</sup>, possono essere riunite in un'unica unità drenante. La superficie del tetto deve presentare complessivamente una pendenza minima del 3 %.

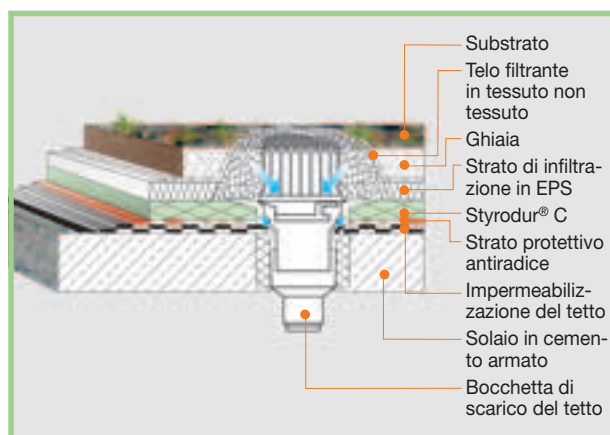
Se le bocchette di scarico del tetto sono molto distanti tra loro, sussiste il pericolo che l'acqua in eccesso ristagni nello strato drenante. In questo caso si devono prevedere condotte di drenaggio. Le bocchette di scarico devono trovarsi a una distanza minima di un metro dagli elementi strutturali verticali al fine di garantire un'installazione perfetta. Nel caso di tetto rovescio solo le bocchette di scarico del tetto devono essere installate con almeno due livelli di drenaggio. Sia l'acqua proveniente dal livello sopra all'impermeabilizzazione del tetto che l'acqua in eccesso dello strato drenante devono poter defluire senza ostacoli nel pozzetto di scarico. Lo stesso vale per l'acqua prodotta da forti precipitazioni piovose che cade sul terreno gelato.

Il numero di bocchette di scarico necessarie e le relative dimensioni sono fissate dalla DIN EN 12056-3 e serie DIN 1986 «Impianti di deflusso per fabbricati e terreni». Indipendentemente dalle dimensioni della superficie del tetto sono necessarie almeno due bocchette. Gli strati drenanti di ghiaia (Fig. 32 e 33) conducono direttamente alla bocchetta di scarico. Una striscia di ghiaia della larghezza di trenta centimetri posizionata a livello del substrato intorno alla bocchetta impedisce alle piante di invadere il pozzetto, evitando così problemi durante gli interventi di manutenzione.

I rinverdimenti intensivi con spessori elevati del substrato richiedono una bocchetta di scarico con pozzetto di controllo.

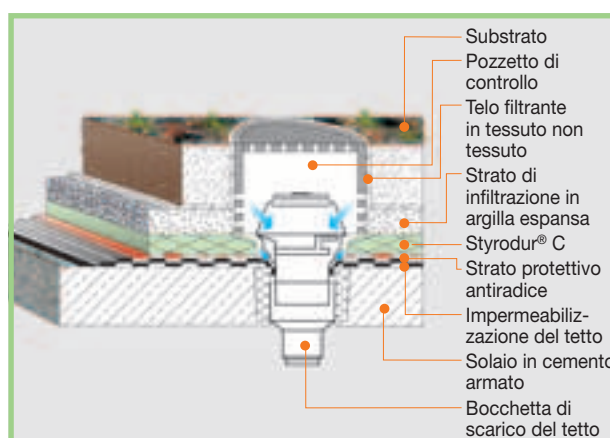


**Fig. 32:** Bocchetta di scarico di un tetto verde rovescio con uno strato di infiltrazione di ghiaia.

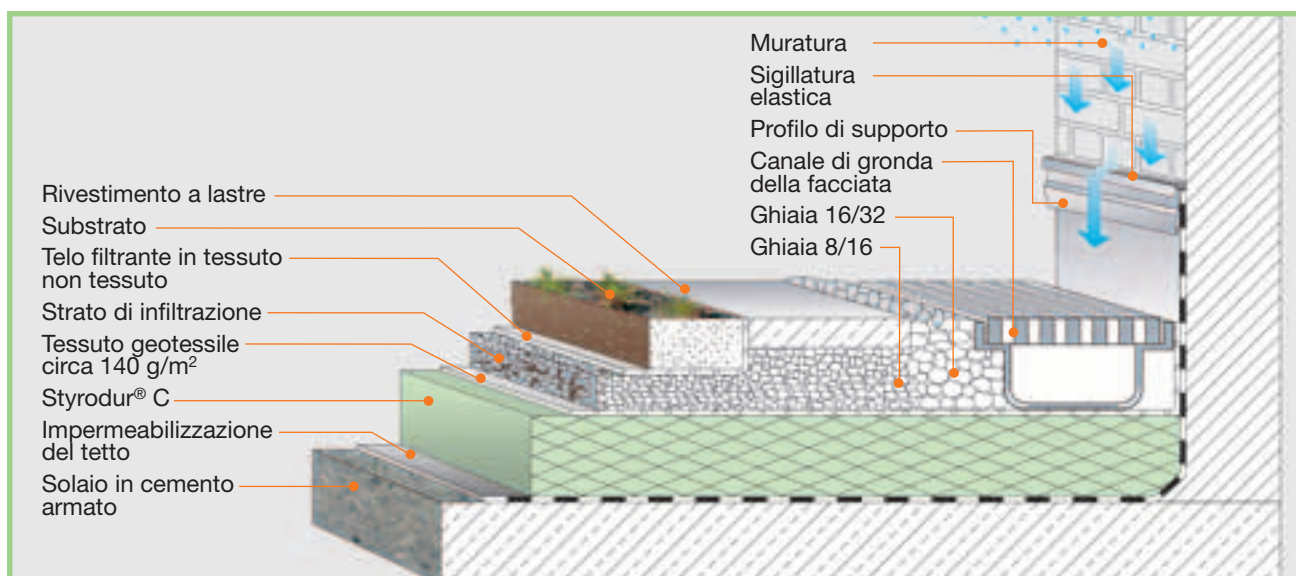


**Fig. 33:** Bocchetta di scarico di un tetto verde rovescio con uno strato di drenaggio in lastre drenanti di EPS.

È possibile collegare ai pozzetti di controllo costituiti da elementi preformati in calcestruzzo o materiale sintetico, senza un eccessivo incremento dei costi di intervento, delle condotte drenanti. Questi devono essere sempre accessibili per agevolare gli interventi di manutenzione ed eventualmente di pulizia (Fig. 34).



**Fig. 34:** Bocchetta di scarico del tetto con pozzetto di controllo nel caso di tetto rovescio con rinverdimento intensivo e uno strato di infiltrazione in argilla espansa.



**Fig. 35:** Collegamento di tetto verde rovescio a una parete verticale con canale di gronda sulla facciata.

Quando i tetti verdi sono delimitati da facciate verticali, il progettista dovrebbe prevedere canali di gronda alla base della facciata in questione. I canali di gronda garantiscono il rapido e mirato deflusso dell'acqua piovana che si concentra sulle facciate, senza caricare ulteriormente d'acqua la struttura del tetto verde. Inoltre, le canaline di scolo posizionate in corrispondenza di finestre e porte di terrazzi consentono il deflusso dell'acqua stagnante prima che riesca a infiltrarsi attraverso le fughe (**Fig. 35**).

#### Substrato vegetale

La scelta e la composizione del substrato vegetale, anche denominato strato vegetativo, implicano una progettazione difficile e complessa che l'architetto dovrebbe affidare a uno specialista come, ad esempio, un architetto di giardini e del paesaggio o un giardiniere per tetti.

Gli obiettivi della tecnica vegetativa perseguiti scegliendo il metodo vegetativo e il tipo di vegetazione devono essere essenzialmente predefiniti allo stesso modo dei requisiti tecnico-costruttivi elencati in precedenza. Inoltre, si deve riflettere su come garantire a lungo la funzione del tetto verde e sull'entità della spesa per la sua realizzazione e manutenzione.

Non appena costruttore e progettista hanno stabilito queste condizioni, si deve passare alla scelta delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche nonché alla selezione delle sostanze necessarie alla crescita delle piante e al dimensionamento dello strato vegetativo. Il substrato a struttura stabile e altamente attraversabile dalle radici deve immagazzinare l'acqua di infiltrazione in quantità adeguata e integrare sufficiente aria per il rispettivo tipo di vegetazione.

#### Protezione antivento e antierosione

Nel caso di rinverdimenti estensivi ed intensivi la struttura di rinverdimento svolge la funzione della copertura di ghiaia stabilita nell'omologazione per tetto rovescio che, tra l'altro, deve proteggere gli strati sottostanti dal sollevamento prodotto dall'azione aspirante del vento. Spesso il peso della struttura di rinverdimento non è sufficiente a contrastare la forza del vento nella zona perimetrale e negli angoli del tetto. In questo caso serve un'ulteriore zavorra di ghiaia/lastre di calcestruzzo o una combinazione di zavorra e fissaggio meccanico.

Per la determinazione del carico del vento si possono considerare le attuali norme tecniche per le costruzioni relative ai carichi e sovraccarichi. In questa documentazione facciamo riferimento alle norme DIN 1055-4, DIN V ENV 1991-2-4 e alle «Indicazioni per il calcolo dei carichi». In base ad esse si devono applicare le necessarie zavorre per la protezione antivento conformemente all'Omologazione generale degli enti di vigilanza tedeschi sulle costruzioni n. Z-23.4-222. Una striscia di ghiaia lungo la veletta svolge, inoltre, la funzione di protezione antincendio e impedisce che il bordo del tetto sia invaso dalle piante. Nella **tabella 8** sono riportati gli spessori regolari degli strati e i carichi superficiali per tipi di vegetazione diversi in base alla normativa tedesca citata. I valori elencati possono variare notevolmente da un elemento all'altro. Durante la fase di messa a dimora e attecchimento il vento e le condizioni atmosferiche possono sollevare ed erodere i singoli strati della struttura del tetto verde. Questo pericolo può essere contrastato, ad esempio, con substrati vegetativi stabili con elevati carichi ipotetici.

Inoltre, è possibile migliorare la stabilità di posizione dei substrati vegetativi a struttura fine applicando pietra dura frantumata (pietrisco). Il rischio di erosione può essere ridotto, in modo estremamente semplice, con

**Tabella 8:** Spessori regolari degli strati e carichi superficiali dei diversi tipi di vegetazione

Tipi di vegetazione	Spessore dello strato vegetativo in cm	Spessore complessivo della struttura di rinverdimento in cm		Carico ipotetico	
		Con tappeto drenante da 2 cm	Con materiale sciolto da 4 cm*	kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
<b>Rinverdimento estensivo, ridotti interventi e spese di manutenzione, senza irrigazione aggiuntiva</b>					
Rinverdimento con muschio e sedum	2 – 5	4 – 7	6 – 9	10	0,10
Rinverdimento con sedum, muschio, erbe aromatiche	5 – 8	7 – 10	9 – 12	10	0,10
Rinverdimento con sedum, graminacee, erbe aromatiche	8 – 12	10 – 14	12 – 16	10	0,10
Rinverdimento con graminacee, erbe aromatiche (prato asciutto)	≥ 15	≥ 17	≥ 19	10	0,10
<b>Rinverdimento estensivo semplice, media entità di interventi e spese di manutenzione, irrigazione periodica</b>					
Rinverdimento con graminacee, erbe aromatiche (tetto erboso, prato magro)	≥ 8	≥ 10	≥ 12	15	0,15
Rinverdimento con piante selvatiche, boschetto	≥ 8	≥ 10	≥ 12	10	0,10
Rinverdimento con piante erbacee, boschetto	≥ 10	≥ 12	≥ 14	15	0,15
Rinverdimento con boschetto	≥ 15	≥ 17	≥ 19	20	0,20
<b>Rinverdimento intensivo complesso, notevoli interventi e spese di manutenzione, irrigazione regolare</b>					
		Spessore dello strato drenante in cm	Spessore totale della struttura in cm		
Prato inglese	≥ 8	≥ 2	≥ 10	5	0,05
Rinverdimento con piante erbacee e boschetto bassi	≥ 8	≥ 2	≥ 10	10	0,10
Rinverdimento con piante erbacee e boschetto di media altezza	≥ 15	≥ 10	≥ 25	20	0,20
Rinverdimento con piante erbacee e boschetto alti	≥ 25	≥ 10	≥ 35	30	0,30
Piantagioni di arbusti	≥ 35	≥ 15	≥ 50	40	0,40
Piantagioni di alberi	≥ 65	≥ 35	≥ 100	≥ 60	≥ 0,60

\* Per pendenza del tetto del 2 – 3 %; a partire da una pendenza del tetto del 3 % lo spessore dello strato può essere ridotto a 3 cm

piante adatte alla posizione nonché tramite tipi di vegetazione e coltura con rapida copertura superficiale. Idrosmina e tappeti precoltivati riducono ulteriormente il rischio di erosione in posizioni particolarmente «esposte al vento».

### Protezione antincendio

I rinverdimenti intensivi sono considerati sufficientemente resistenti quando lo strato vegetativo minerale ha uno spessore minimo di tre centimetri, il tipo di vegetazione rappresenta un carico d'incendio ridotto e le piante sono sistemate a una distanza maggiore di 50 cm da elementi emergenti del tetto e da elementi strut-



**Fig. 36:** Strisce di ghiaia sul bordo del tetto e su elementi emergenti del tetto.

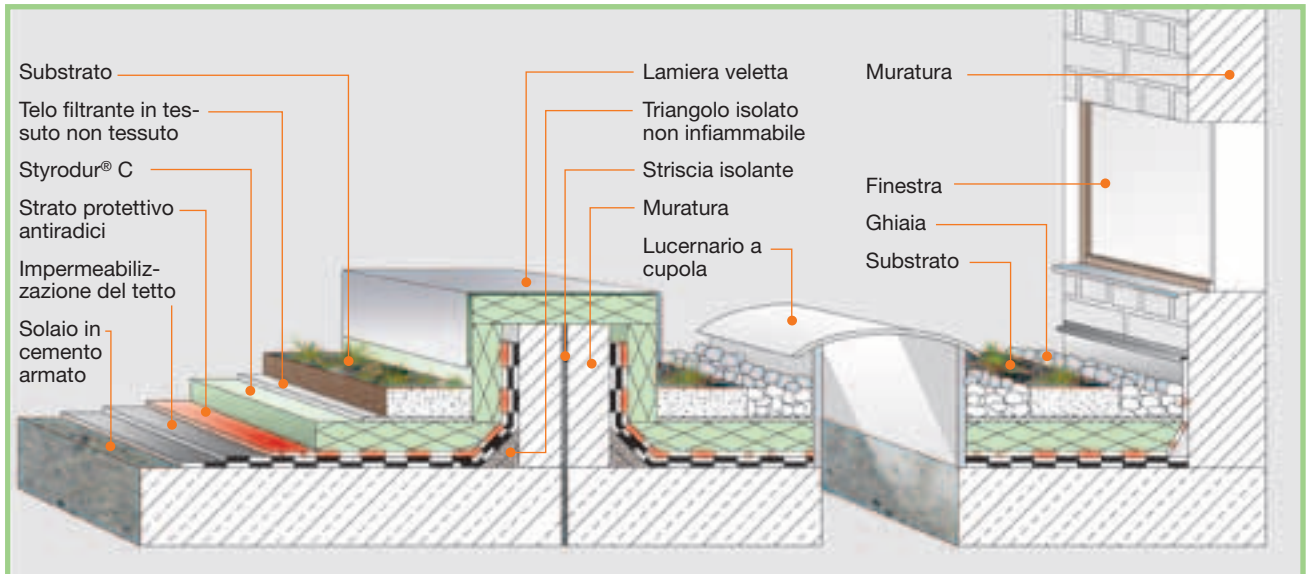


Fig. 37: Compartmento antincendio di un tetto piano con rinverdimento estensivo.

turali verticali. Le strisce di separazione sono costituite da robuste lastre di calcestruzzo o da ghiaia grossa con granulometria di 16/32 mm (Fig. 36).

Per tutti gli edifici, anche le case a schiera, le pareti perimetrali, i muri tagliafuoco o le pareti ammesse al posto dei muri tagliafuoco a distanze di massimo quaranta metri devono portare il substrato ad almeno trenta centimetri sopra il bordo superiore (Fig. 37).

### 5.5 Tetto a terrazza

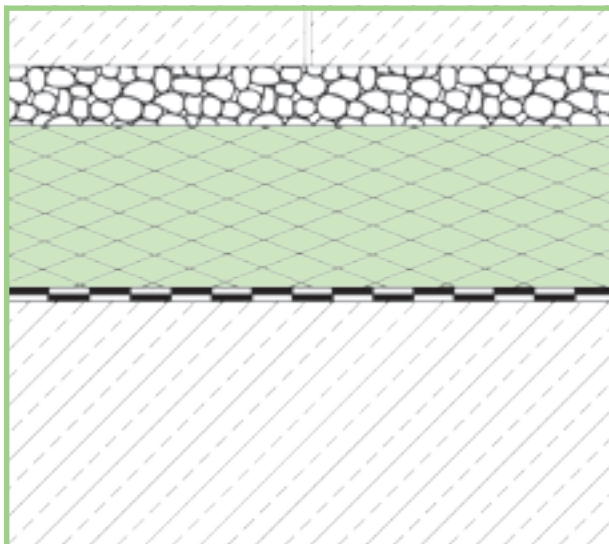


Fig. 38: Realizzazione del tetto a terrazza.

Nel caso di tetto a terrazza impermeabilizzazione ed isolamento termico vengono applicati come per il tetto rovescio rinverdito o a ghiaia. Completa l'opera un rivestimento per terrazze stabile e sicuro formato da lastre di calcestruzzo lavato, mattonelle di ceramica prefabbricate,

lastricati o strutture grigliate che vengono posati o su pietrisco o su supporti di rialzo. In questo modo tra l'isolamento termico e il rivestimento calpestabile si crea uno strato di stabilizzazione permeabile alla diffusione che garantisce la fuoriuscita senza problemi del vapore acqueo dal materiale isolante.

Se il rivestimento viene posato su un letto di pietrisco, è necessario proteggere le lastre termoisolanti di Styrodur C con un telo protettivo per l'irrigazione a scorrimento, affinché nessuna frazione di pietrisco possa finire nei giunti delle lastre e sotto alle lastre. Il geotessile è costituito da fibre di polipropilene o poliestere. Per il tetto rovescio sono adatti teli in tessuto non tessuto filtrante stabile e permeabile alla diffusione con un peso superficiale di circa 140 g/m<sup>2</sup>.

I fogli di PE non sono idonei perché non permeabili alla diffusione. Sul tessuto geotessile si trova uno strato di materiale di riporto spesso tre centimetri composto da pietrisco o ghiaia fine resistente al gelo, granulometria da 3 a 8 mm, sul quale viene posato il rivestimento calpestabile (Fig. 38 e 39).

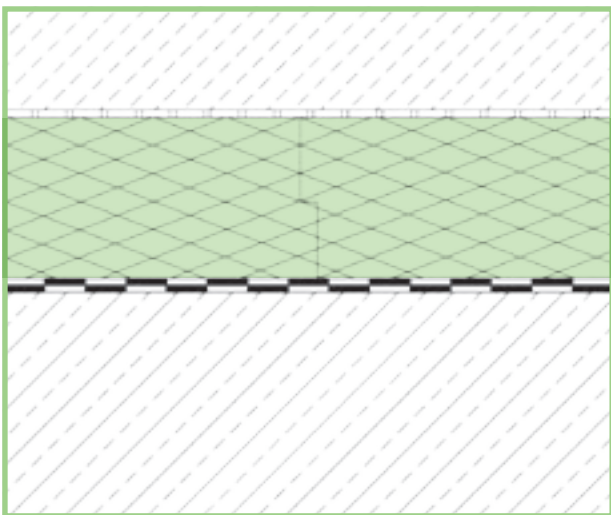


Fig. 39: Struttura di un tetto rovescio a terrazza con lastre in calcestruzzo su letto di pietrisco.



**Fig. 40:** Tetto rovescio a terrazza con Styrodur® C. Posa delle lastre di calcestruzzo su letto di pietrisco.

## 5.6 Tetto adibito a parcheggio



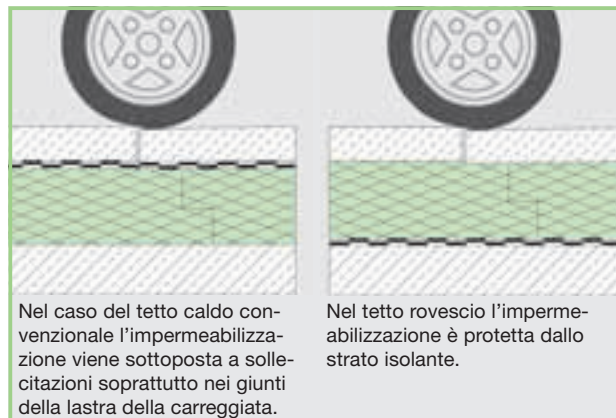
**Fig. 41:** Esecuzione del tetto parcheggio.

I tetti di edifici pubblici, supermercati e grandi magazzini nonché le coperture carrabili di cortili sopra le cantine sono sempre più utilizzati come tetti parcheggio. Per ridurre al massimo la dispersione termica verso l'esterno dalla zona sottostante riscaldata, il tetto adibito a parcheggio viene isolato con Styrodur® C secondo il principio del tetto rovescio. Le lastre di Styrodur C, resistenti alla compressione, assorbono le sollecitazioni prodotte dai veicoli in fase di parcheggio o transito, sempre che siano osservate le seguenti istruzioni per l'esecuzione. La struttura della carreggiata può essere realizzata con diverse varianti secondo il principio del tetto rovescio.

La **Fig. 42** mostra la struttura di un tetto parcheggio convenzionale con isolamento termico. Nel caso di questa costruzione, la copertura del tetto nella zona dei giunti tra le lastre di calcestruzzo è compromessa da sollecitazioni dinamiche prodotte dalle ruote in movimento. Nel caso una struttura di tetto rovescio, l'impermeabilizzazione è protetta da sollecitazioni dinamiche grazie allo strato isolante.

La seconda variante di posa è rappresentata da lastre su supporti di rialzo in materiale sintetico resistente all'invecchiamento e agli agenti atmosferici. I supporti di rialzo si trovano nel punto di intersezione tra i giunti delle lastre della terrazza. Questi spessori garantiscono giunzioni uniformi. L'acqua viene convogliata sotto il rivestimento a lastre e defluisce sul materiale isolante.

L'acqua superficiale che fluisce attraverso i giunti aperti crea un certo effetto autopulente tra le lastre termoisolanti e il rivestimento calpestabile. Nonostante tale effetto, almeno una volta all'anno si dovrebbero sollevare alcune lastre del rivestimento e utilizzando un tubo con getto d'acqua in pressione eliminare i depositi di sporcizia.

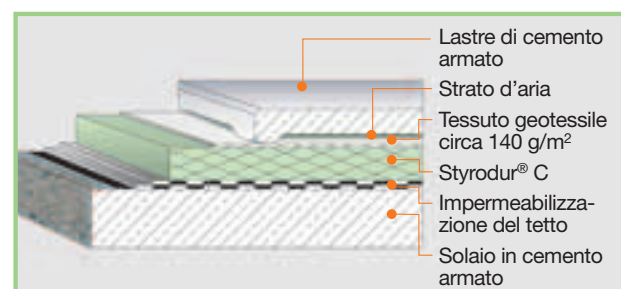


**Fig. 42:** Tetto a parcheggio come tetto caldo convenzionale e come tetto rovescio. Mentre nel tetto caldo l'impermeabilizzazione viene sottoposta a sollecitazioni soprattutto nei giunti della lastra della carreggiata. Nel tetto rovescio l'impermeabilizzazione è protetta dallo strato isolante.

### Variante 1: lastre in calcestruzzo di grande formato, rialzate

Sulle lastre di Styrodur C, ricoperte da un telo in materiale sintetico permeabile alla diffusione, vengono posate lastre prefabbricate armate in calcestruzzo (1500 x 2000 x 80 mm).

Tuttavia, negli angoli le lastre presentano uno spessore di 100 mm. Di conseguenza, sotto le lastre di calcestruzzo e sopra le lastre termoisolanti si crea un'intercapedine d'aria alta 20 mm attraverso la quale l'umidità può diffondersi (**Fig. 43**). Per evitare che le lastre di cemento armato inizino a spostarsi a causa del carico



**Fig. 43:** Tetto a parcheggio con lastre di cemento armato di grande formato, rialzate.

mobile, i fianchi sono dotati di paracolpi di gomma che trasmettono le risultanti forze orizzontali da una lastra all'altra.

Dato che il peso delle auto parcheggiate viene trasmesso, solo in alcuni punti, attraverso i supporti d'angolo delle lastre di calcestruzzo, anche nel caso di una superficie relativamente piccola, sulle lastre isolanti, è necessaria l'installazione di Styrodur® 5000 CS ad alta resistenza alla compressione. Per la posa delle lastre di grande formato non è possibile nessuna compensazione dell'altezza perciò i progettisti e gli esecutori devono fare attenzione affinché il solaio in cemento armato, inclusa l'impermeabilizzazione, non presenti difetti di planarità e le lastre isolanti poggino su tutta la superficie e siano in piano.

### Variante 2: lastre di calcestruzzo di piccolo formato, rialzate

Il rivestimento di un tetto a parcheggio può anche essere costituito da lastre di calcestruzzo di piccolo formato (600 x 600 x 80 mm) appoggiate su supporti di

rialzo al fine di garantire l'intercapedine d'aria necessaria per ragioni fisico-costruttive tra la parte superiore del materiale isolante e il rivestimento carrabile (Fig. 44 e 45). I supporti possono essere costituiti, ad esempio, da dischi speciali in materiale sintetico o da lastre in granulato di gomma.

Con i dischi di supporto in materiale sintetico adattati al rivestimento, l'altezza delle lastre della carreggiata può essere modificata sia in fase di costruzione che durante l'esercizio. Come per la variante 1, le crocette o i paracolpi di gomma sui bordi assicurano le lastre di calcestruzzo contro lo spostamento.

Le lastre di calcestruzzo prefabbricate in condizioni controllate dal produttore sono resistenti agli agenti atmosferici e ai sali disgelanti. L'alta qualità del calcestruzzo e delle soluzioni del sistema con elementi ad espansione conici testati e sperimentati nella pratica offrono un rivestimento carrabile che resiste orizzontalmente all'azione del vento e che può essere applicato indipendentemente dalle condizioni atmosferiche e in brevissimo tempo (Fig. 46).

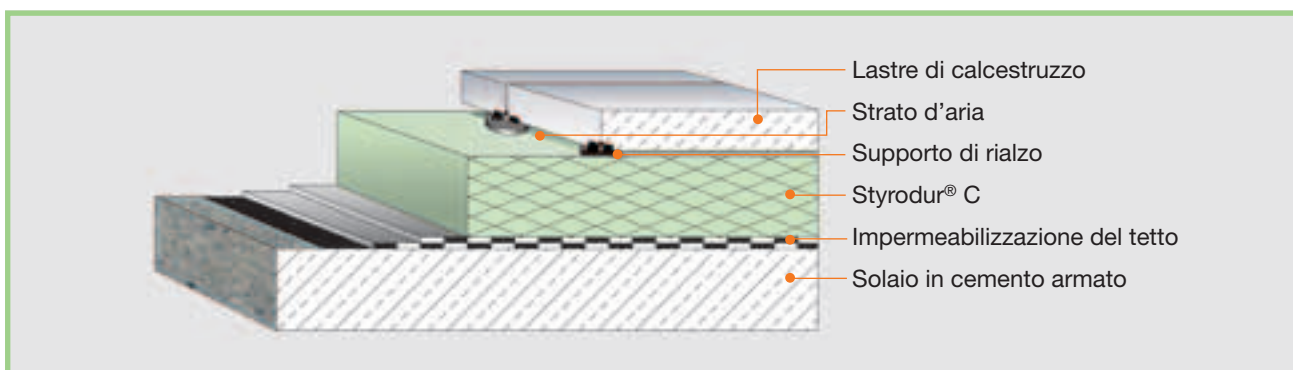


Fig. 44: Tetto a parcheggio con lastre di calcestruzzo di piccolo formato, rialzate.



Fig. 45: Lastre di calcestruzzo posate su Styrodur® C utilizzando un sistema di supporti.



Fig. 46: Tetto a parcheggio con lastre di calcestruzzo su tetto rovescio con Styrodur® C.

### Variante 3: Tetto a parcheggio con autobloccanti

La struttura corrisponde fino al telo in fibra sintetica alle costruzioni descritte in precedenza. Come strato di sottofondo per gli autobloccanti si raccomanda del pietrisco resistente al gelo e a granulometria progressiva 2/5 mm. Dopo la battitura lo strato di sottofondo compattato dovrebbe presentare uno spessore di circa cinque centimetri. Il solaio in cemento armato deve già prevedere la pendenza necessaria > 2,5 %.

Tutti gli altri strati hanno spessore invariato e corrono parallelamente al solaio in cemento armato.

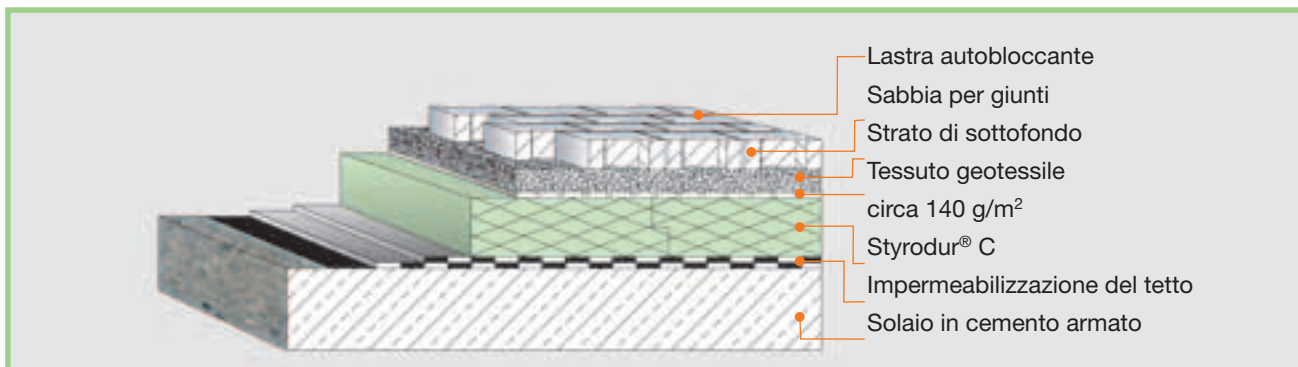
I rivestimenti idonei sono rappresentati da blocchi di calcestruzzo, klinker o lastre in pietra naturale. Gli autobloccanti si sono rivelati particolarmente vantaggiosi se dotati di uno spessore minimo di dieci centimetri (**Fig. 47**). La forma degli autobloccanti riveste un'importanza decisiva per la stabilità di posizione del rivestimento carrabile. I blocchetti dovrebbero far presa tra di loro e incastrarsi in modo tale che, se allineati durante la posa, impediscano, grazie alla loro geometria, l'apertura dei giunti parallelamente all'asse longitudinale e trasversale dell'allineamento (**Fig. 48**). I giunti tra gli autobloccanti

devono essere riempiti con sabbia della granulometria 0/2 mm. Fino al completo consolidamento i rivestimenti lastricati devono continuamente essere sabbiati. Si è dimostrato particolarmente vantaggioso a questo scopo l'uso di sabbia prodotta dalla frantumazione della pietra naturale.



**Fig. 48:** Forme dei blocchi per superfici lastricate stabili.

Per tetti adibiti a parcheggio con rivestimenti di autobloccanti è adatto esclusivamente Styrodur® 5000 CS. Solo questo tipo di lastra dispone, oltre alla resistenza alla compressione più che sufficiente per i carichi mobili in questione, anche della necessaria rigidità per evitare un'eccessiva deformazione non consentita durante il transito. Deformazioni elastiche maggiori del materiale isolante causerebbero il movimento verticale del rivestimento carrabile e comprometterebbero la stabilità di posizione dell'intera struttura.



**Fig. 47:** Struttura di tetto parcheggio con lastre autobloccanti su uno strato di sottofondo.



**Fig. 49:** Posa allineata di una pavimentazione autobloccante con giunzioni in erba per un parcheggio sulla palestra della scuola.

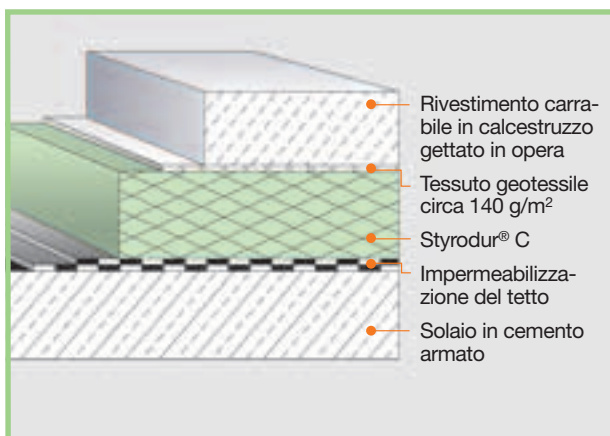


**Fig. 50:** Pavimentazione autobloccante in calcestruzzo su Styrodur® C.

#### Variante 4: tetto parcheggio con rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera

La costruzione di tetti adibiti a parcheggio con rivestimenti carrabili in calcestruzzo gettato in opera su strutture di tetto rovescio rappresenta un metodo costruttivo raccomandabile per aree di parcheggio molto trafficate. Questa struttura speciale impone requisiti particolari per la progettazione e l'esecuzione.

La struttura principale di un tetto a parcheggio con rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera è rappresentata schematicamente nella **Fig. 51**. Sulla struttura portante del solaio vengono applicate in ordine: impermeabilizzazione del tetto, strato termoisolante in Styrodur® C, strato di separazione e per ultimo il rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera.



**Fig. 51:** Schizzo generale di un tetto parcheggio con rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera su una struttura di tetto rovescio con Styrodur® C.

Nel caso di tetto rovescio classico, l'acqua piovana penetra sotto alle lastre isolanti. Questo non avviene nel caso di tetto parcheggio con rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera: mentre per il tetto rovescio normale l'isolamento termico ridotto si abbassa in modo calcolabile a causa dell'acqua piovana che defluisce sotto alle lastre isolanti, un tale fattore durante la prova dell'isolamento termico per rivestimento carra-

bile in calcestruzzo gettato in opera non è giustificato e non viene rilevato perché per questa variante l'acqua piovana defluisce completamente sul piano del rivestimento carrabile. In questo modo, decade il requisito stabilito per classiche strutture di tetto rovescio che impone di disporre uno strato permeabile alla diffusione direttamente sul materiale espanso estruso. Dato che l'acqua piovana non si infila sotto alle lastre isolanti, non si verifica nessun flusso di diffusione del vapore acqueo attraverso le lastre isolanti. L'impermeabilizzazione del tetto posizionata sotto allo strato isolante riduce notevolmente la diffusione del vapore acqueo dall'interno dell'edificio. In questo modo, all'interno dello strato isolante non si forma la condensa, perciò non è più necessario posizionare lo strato permeabile alla diffusione sopra al materiale isolante.

Senza dubbio progettisti ed esecutori devono lavorare con precisione per questo tipo di struttura speciale affinché l'acqua piovana defluisca sopra la superficie del rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera.

Inoltre, esistono alcune fondamentali istruzioni per la progettazione e l'esecuzione la cui osservanza è una condizione essenziale per il funzionamento duraturo e sicuro del tetto a parcheggio. Tuttavia tali istruzioni non pretendono di essere complete e generalmente valide poiché ogni singolo caso deve essere trattato dagli ingegneri specializzati come un compito indipendente ai fini della costruzione.

#### Costruzione del tetto:

- Le pendenze del solaio in cemento armato portante devono essere almeno del 2,5 %.
- L'impermeabilizzazione deve essere posata a contatto diretto con il solaio in cemento armato affinché, in caso di una perdita, l'acqua piovana non possa infiltrarsi sotto all'impermeabilizzazione. In questo modo è più facile scoprire il punto danneggiato sotto al rivestimento carrabile.

- La pendenza dell'impermeabilizzazione del tetto e quella del rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera devono essere assolutamente realizzate parallelamente con un'inclinazione minima del 2,5 %.

#### Drenaggio del tetto:

- Nei punti profondi devono essere installati pozzetti per il drenaggio del tetto (considerando le aree del tetto depresse).
- Devono essere installati pozzetti di scarico a due livelli affinché sia il piano del rivestimento carrabile che, in caso di danno, l'impermeabilizzazione possano essere drenati senza ristagno dell'acqua.
- I pozzetti devono essere sottoposti a regolari interventi di manutenzione e pulizia.
- Onde evitare il dilavamento del getto in calcestruzzo si consiglia di prevedere una tipologia adeguata di getto unitamente ad una posa in opera conforme a quanto previsto dal progettista e dalle migliori regole tecniche.

#### Rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera:

- Lo spessore minimo del rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera deve essere di dodici centimetri.
- La qualità del calcestruzzo e la sua lavorazione devono essere armonizzate in modo che anche a lungo termine non si producano danni dovuti al gelo, agli agenti atmosferici e all'usura.
- La superficie del calcestruzzo deve essere resistente all'attrito e antisdrucchiolevole per il transito.
- Se necessario, le singole lastre di calcestruzzo gettato in opera, conformemente alle disposizioni del progettista della struttura portante, devono essere



**Fig. 52:** Tetto a parcheggio con rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera

tassellate tra di loro. Il dimensionamento dell'armatura delle lastre deve avvenire secondo la teoria del sottofondo elastico.

#### Realizzazione dei giunti:

- I giunti devono essere disposti a distanze da 2,5 a 5 m.
- La progettazione e l'esecuzione di ripassature elastiche e impermeabili di lunga durata (su materiale di riempimento dei giunti) sono eseguite da specialisti del settore.

Dalla scelta dell'impermeabilizzazione dei giunti, dalla sua esecuzione e qualità dipende in modo determinante la durata della funzionalità come struttura speciale di un tetto parcheggio con rivestimento carrabile in calcestruzzo gettato in opera.

### Comportamento dell'isolante in caso di infiltrazione d'acqua nella struttura del tetto parcheggio

In caso di danni sulla superficie del tetto, può accadere che l'acqua piovana entri in contatto con Styrodur® C. Per quanto già detto e come confermato da numerosi studi, la presenza di acqua allo stato liquido in una struttura, peggiora il valore della sua trasmittanza termica. Per tenere conto di ciò il progettista può di nuovo cautelarsi peggiorando i valori della conducibilità termica dei materiali (i valori relativi a Styrodur C sono quelli indicati nella tabella 3 a pagina 5). È bene comunque precisare che l'eventuale diminuzione del potere coibente della struttura è circoscritta alla sola zona soggetta a infiltrazione.

La conduttività termica di materiali termoisolanti alternativi all'espanso estruso che abbiano un'elevata resistenza alla compressione equivalente per tali applicazioni, già in condizioni di posa è pari a un valore tra 0,040 e 0,055 W/(m·K).

La funzionalità di questa struttura è stata certificata su elementi reali con più di 20 anni.











**Fig. 53:** Lastra della carreggiata in calcestruzzo gettato in opera per lo studio scientifico del comportamento nel lungo periodo.

#### **Avvertenze:**

Le informazioni contenute in questa brochure si basano sulle conoscenze acquisite ed esperienze maturate fino ad oggi e si riferiscono esclusivamente al nostro prodotto e alle sue caratteristiche al momento della stampa della brochure stessa. Le presenti informazioni non forniscono alcuna garanzia ai fini giuridici, né stabiliscono la qualità del prodotto concordata in sede contrattuale. Durante l'applicazione vanno sempre prese in considerazione le condizioni specifiche di utilizzo, in particolare da un punto di vista fisico, tecnico e giuridico. Tutti i disegni tecnici sono esempi che rappresentano un principio e che vanno adattati al caso specifico.

## 6. Dati tecnici Styrodur® C

Proprietà	Unità <sup>1)</sup> di misura	Codifica secondo EN 13164	2500 C	2500 CNL	2800 C	2800 CS	3035 CS	3035 CN	4000 CS	5000 CS	Norma					
Finitura perimetrale																
Superficie			liscia	liscia	goffrata	goffrata	liscia	liscia	liscia	liscia						
Lunghezza x larghezza	mm		1250 x 600	2850 x 615 <sup>5)</sup>	1250 x 600	1265 x 615	1265 x 615	2515 x 615 <sup>2)</sup>	1265 x 615	1265 x 615						
Densità	kg/m <sup>3</sup>		28	28	30	30	33	30	35	45	UNI EN 1602					
Conduttività termica $\lambda_D$ [W/(m·K)]			$\lambda_D$	$\lambda_D$	$\lambda_D$	$\lambda_D$	$\lambda_D$	$\lambda_D$	$\lambda_D$	$\lambda_D$	UNI EN 13164					
Resistenza termica $R_D$ [m <sup>2</sup> ·K/W]			$R_D$	$R_D$	$R_D$	$R_D$	$R_D$	$R_D$	$R_D$	$R_D$						
Spessori																
20 mm			0,030	0,65	–	–	0,030	0,65	–	–	–	–				
30 mm			0,031	1,00	0,031	1,00	0,031	1,00	0,031	1,00	0,031	1,00	–			
40 mm			0,032	1,25	0,032	1,25	0,032	1,25	0,032	1,25	0,032	1,25	0,032	1,25		
50 mm			0,033	1,55	0,033	1,55	0,033	1,55	0,033	1,55	0,033	1,55	0,033	1,55		
60 mm			0,034	1,80	0,034	1,80	0,034	1,80	0,034	1,80	0,034	1,80	0,034	1,80		
80 mm			0,035	2,35	0,035	2,35	–	–	0,035	2,35	0,035	2,35	0,035	2,35		
100 mm			0,037	2,80	–	–	0,037	2,80	–	–	0,037	2,80	0,037	2,80		
120 mm			0,038	3,30	–	–	0,038	3,30	–	–	0,038	3,30	0,038	3,30		
140 mm			–	–	–	–	–	–	0,038	3,70	–	–	0,038	3,70	–	–
160 mm			–	–	–	–	–	–	0,038	4,20	–	–	–	–	–	–
180 mm			–	–	–	–	–	–	0,040	4,55	–	–	–	–	–	–
200mm			–	–	–	–	–	–	0,042	4,60	–	–	–	–	–	–
Resistenza a compressione con schiacciamento del 10% (kPa)		CS(10V)	200	200	200	250	300	250	500	700	UNI EN 826					
Resistenza a compressione dopo 50 anni con schiacciamento $\leq$ 2% (kPa)		CC (2/1,5/50)	80	80	80	100	130	100	180	250	UNI EN 1606					
Certificazione di resistenza a compressione sotto fondazioni (kPa)	$\sigma_{cons.}$	–	–	–	–	–	130 <sup>3)</sup>	–	180	250	DIBt Z-23.34- 1325					
	$f_{cd}$	–	–	–	–	–	185	–	255	355						
Aderenza al calcestruzzo (kPa)		TR 200	–	–	> 200	> 200	–	–	–	–	UNI EN 1607					
Resistenza al taglio (kPa)		SS	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	UNI EN 12090					
Modulo elastico a compressione (kPa)	Breve termine $E$	CM	10.000	10.000	15.000	15.000	20.000	15.000	30.000	40.000	UNI EN 826					
	Lungo termine $E_{50}$		–	–	–	–	5.000	–	10.000	14.000						
Stabilità dim. 70 °C 90 % um. rel.	%	DS(TH)	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	UNI EN 1604					
Comportamento alla deformazione: carico 40 kPa; 70 °C	%	DLT(2)5	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	$\leq$ 5 %	UNI EN 1605					
Coeff. di dilatazione termica lineare:	Longitudinale	–	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	DIN 53752					
	Trasversale	–	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06						
Reazione al fuoco <sup>4)</sup>	Classe	–	E	E	E	E	E	E	E	E	UNI EN 13501-1					
Assorbimento d'acqua per immersione	Vol.-%	WL(T)0,7	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	UNI EN 12087					
Assorbimento di umidità per diffusione e condensazione	Vol.-%	WD(V)3	$\leq$ 3	$\leq$ 3	$\leq$ 5	$\leq$ 5	$\leq$ 3	$\leq$ 3	$\leq$ 3	$\leq$ 3	UNI EN 12088					
Resistenza alla diff. del vapore acqueo (in funzione dello spessore)		MU	200 – 100	150 – 100	200 – 80	150 – 80	150 – 50	150 – 100	150 – 80	150 – 100	UNI EN 12086					
Comportamento al gelo (300 alternanze gelo/disgelo)	Vol.-%	FT2	$\leq$ 1	$\leq$ 1	$\leq$ 1	$\leq$ 1	$\leq$ 1	$\leq$ 1	$\leq$ 1	$\leq$ 1	UNI EN 12091					
Temperatura limite di utilizzo	°C	–	75	75	75	75	75	75	75	75	UNI EN 14706					
Media celle chiuse	%	CV	95	95	95	95	95	95	95	95	ISO 4590					

<sup>1)</sup> N/mm<sup>2</sup> = 1 Mpa = 1.000 kPa <sup>2)</sup> Spessori 30 e 40 mm: 2510 x 610 mm <sup>3)</sup> Per posa multistrato: 100 kPa <sup>4)</sup> Materiale da costruzione classe DIN 4102-B1

<sup>5)</sup> Per spessori 30 e 40 mm: 2850 x 610 mm

Per informazioni aggiornate sulle specifiche tecniche è possibile consultare anche la nostra home page Internet alla pagina [www.styrodur.com](http://www.styrodur.com) nella sezione „Download“.

## Informazioni su Styrodur® C

### ■ Brochure: Europe's Green Insulation

### ■ Applicazioni

Isolamento perimetrale controterra  
Isolamento termico in applicazioni sotto carico  
Isolamento termico delle pareti  
Isolamento termico dei soffitti  
Isolamento termico dei tetti

### ■ Tematiche speciali

Ristrutturazione e risanamento  
Isolamento termico di impianti biogas  
La casa passiva  
Isolamento termico dei pavimenti con impianti di riscaldamento radiante  
Styrodur® 2500 CNS – Isolamento termico dei pavimenti con impianti di riscaldamento radiante

### ■ Dati tecnici

Applicazioni raccomandate e dati tecnici  
Dati tecnici e consigli per il dimensionamento  
Certificazioni

### ■ Stabilità chimica

### ■ Video: L'Europa isola in verde

### ■ Styrodur® C: Documentazione per la progettazione

### ■ Styrodur C: Documentazione per la progettazione su CD-Rom

### ■ Sito Web: [www.styrodur.com](http://www.styrodur.com)

**Distributore unico per l'Italia:**

**BASF Italia srl**

Via Montesanto 46  
42021 Bibbiano (RE)  
Italia

[www.styrodur.com](http://www.styrodur.com)  
[styrodur@basf.com](mailto:styrodur@basf.com)

**Ambrotecno Italia srl**

Via G. Di Vittorio 2/4 – Z.I. Terrafino  
50053 Empoli (FI) – Italia  
Tel. 0571 94611 – Fax 0571 9461300

[info@ambrotecno.it](mailto:info@ambrotecno.it)  
[www.ambrotecno.it](http://www.ambrotecno.it)