



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Dipartimento
di Ingegneria ed Architettura

Ing. Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583483
cstival@units.it

LEZIONE

6

8 APRILE 2020

Chiusure orizzontali superiori

Materiali e soluzioni tecnologiche

A. A. 2019-2020

Laboratorio di **Costruzione dell'Architettura II**

Corso di **Progetto di componenti edilizi**

6.1

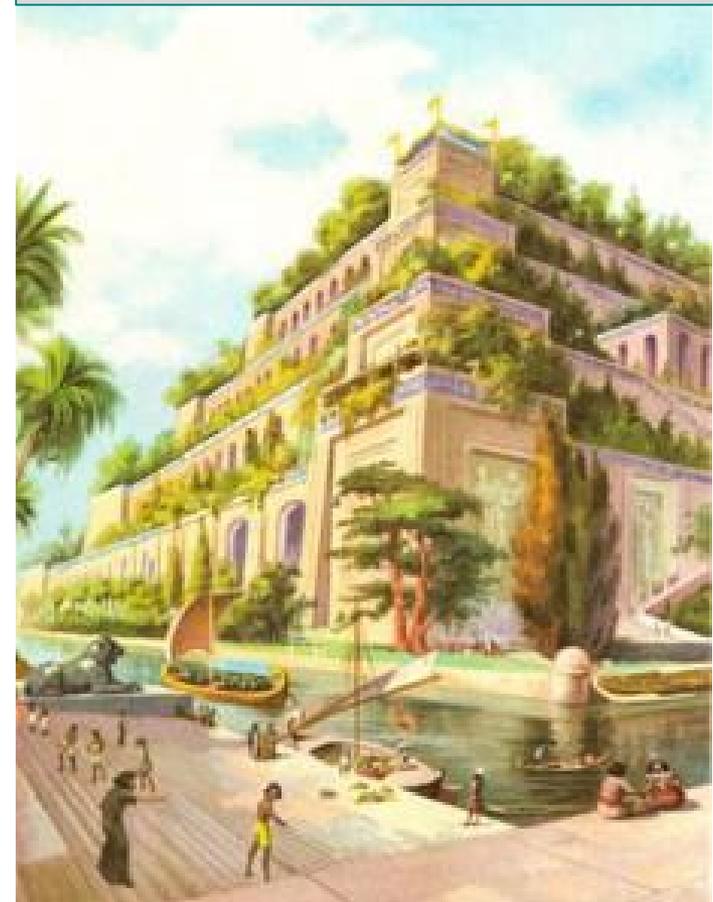
Una soluzione complessa: le coperture verdi

Breve storia del verde orizzontale in architettura

Uno dei più antichi e spettacolari esempi di **verde pensile** sono i **giardini di Babilonia**, annoverati tra le sette meraviglie del mondo antico e prototipo arcaico delle coperture verdi. Risalenti al 590 a.C., furono commissionati dal re Nabucodonosor II, sebbene la tradizione voglia che sia stata la regina assira Semiramide a volerne la costruzione.

I giardini comprendevano un **orto botanico** con **flora arborea, arbustiva e erbacea non autoctona**, bensì originaria di climi più umidi. Per questo motivo, assieme alla realizzazione dei giardini stessi fu costruito un complesso **sistema di irrigazione** con l'acqua del fiume Eufrate. Si ritiene che l'edificio stesso su cui erano alloggiati i giardini pensili contenesse i canali necessari per l'irrigazione per i servizi degli abitanti. Il verde pensile era ospitato da **terrazzamenti** su cui lo strato colturale raggiungeva 1-2 metri di spessore.

Riproduzione dei giardini pensili di Babilonia
(www.nationalgeographic.it/)



Breve storia del verde orizzontale in architettura

Un altro esempio di giardini pensili dell'antichità, ed il primo di cui si abbia documentazione nella penisola italiana, sono le **tombe etrusche** realizzate a partire dal XI secolo a.C.; alcune di queste realizzazioni sono tuttora intatte.

Dopo lo scavo del terreno al fine di ricavare lo spazio necessario al seppellimento dei defunti, la parte superiore dei sepolcri veniva ricoperta, secondo una **configurazione cupolare**, con lo stesso terreno su cui cresceva la vegetazione.

I sepolcri etruschi nella necropoli della "Banditaccia" a Cerveteri (RM)
(www.etruriameridionale.beniculturali.it).



Breve storia del verde orizzontale in architettura

All'epoca romana risalgono altre realizzazioni di verde pensile; nella **civiltà romana** questa tecnologia era **piuttosto conosciuta e frequentemente applicata**. A questo periodo, a Roma si ascrivono il **mausoleo di Augusto** (29 a.C.) – in cui la copertura era, in origine, ricoperta di terra e poi inverdita con cipressi – ed il mausoleo di Adriano (130 d.C.), la villa dell'imperatore Adriano a Tivoli (92 d.C.) e le ville di Plinio il Giovane (ad esempio villa Laurentina, risalente al I secolo d.C.).

Plinio il Giovane riporta che la villa di proprietà in Toscana presentasse uno **xystus**, ossia un **giardino pensile** direttamente **accessibile dall'edificio**, costituito da tumuli in terra in pendenza spessi 1 ml, in cui l'inclinazione assicurava l'allontanamento delle acque piovane ed elementi di contenimento evitavano eccessivi fenomeni di dilavamento.

Mausoleo di Augusto (www.sovrintendenzaroma.it/)



Breve storia del verde orizzontale in architettura

In epoca medioevale il verde pensile fu impiegato negli **edifici ecclesiastici** per consentire la coltivazione nei chiostri, ma soprattutto **castelli** e **fortezze** ospitavano giardini pensili atti a diverse finalità: oltre alla funzione architettonica di decoro, essi venivano utilizzati come **accumuli di terra**, ricoperta dalla vegetazione, per **attutire** gli effetti dei **colpi d'arma da fuoco** e ripristinare le opere dai danneggiamenti subiti, in prevalenza depositi di armi, di munizioni e dispense. È bene evidenziare che, in questa epoca, la funzione di decoro dei giardini pensili era spesso affiancata, se non subordinata, alle loro diverse utilità pratiche, evidenziandone un primo tentativo di **fruizione**.

Il valore del verde quale elemento ornamentale e decorativo è riscoperto a partire dal XV secolo.

Da questo momento, e per i successivi quattro secoli, si possono apprezzare diverse realizzazioni di giardini pensili di significativo pregio: tra queste si ricordano la villa D'Este a Tivoli (RM), Villa Aldobrandini a Frascati (RM), il Palazzo Reale a Napoli, i giardini del Belvedere nel Vaticano. L'utilizzo del verde pensile, in questo periodo, aumenta la fruibilità degli spazi esterni, di cui costituisce **spazio di relazione con l'edificio**.



Villa d'Este a Tivoli (www.villadestetivoli.info)

Breve storia del verde orizzontale in architettura

Fino al

XIX secolo

i giardini pensili erano concepiti esclusivamente per soddisfare **requisiti estetici** e **funzionali**.

Dal

1865

cominciano ad emergere anche i pregi che queste soluzioni comportano da un punto di vista **ambientale**.
L'architetto **C. Rabitz** (1823-1891) pubblica un trattato sui giardini pensili evidenziandone, per primo, il **contributo** alla **salubrità** dei **contesti** a **forte densità abitativa**.

Negli

Anni '20

da queste premesse, nacque l'inserimento di **parchi** estesi al centro dei quartieri e giardini pensili **sulle coperture degli edifici**.

All'inizio del

XX secolo

la forte espansione industriale e l'aumento della densità nelle aree antropizzate portarono alle prime **riflessioni** sui temi dell'ecologia e della salvaguardia ambientale, per elaborare soluzioni di **mitigazione ambientale**.

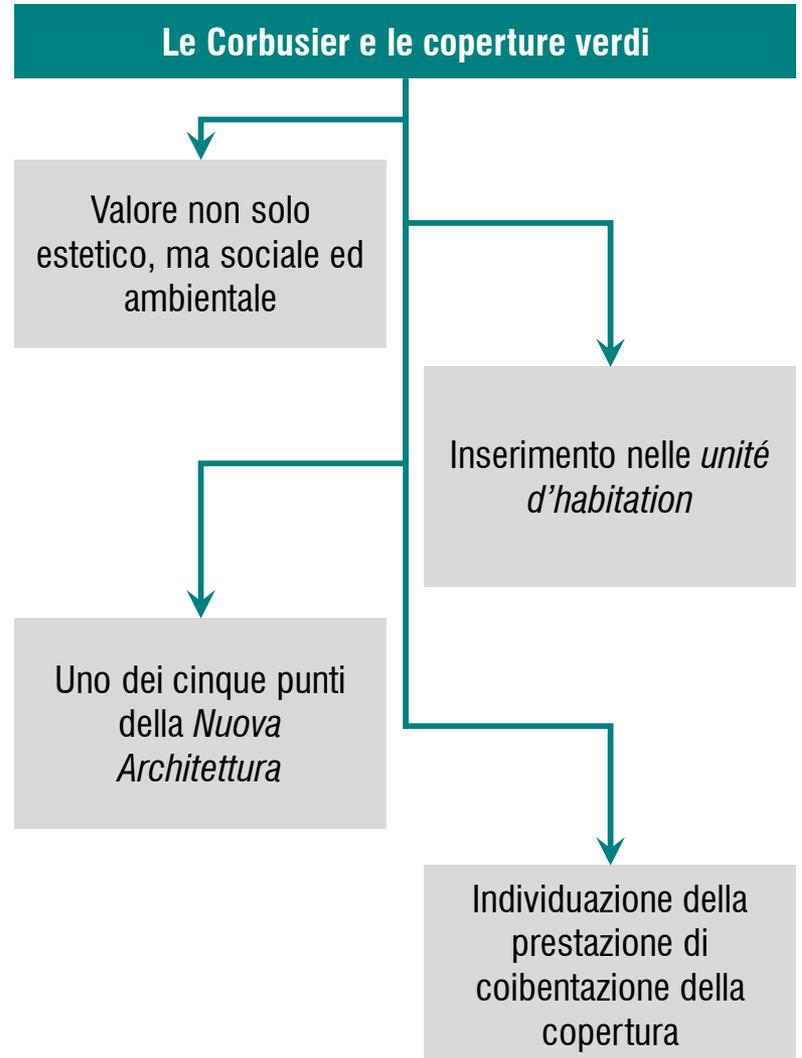
Breve storia del verde orizzontale in architettura

Anche Le Corbusier (1887-1965) riconosce il valore estetico, ambientale e sociale delle soluzioni a verde pensile.

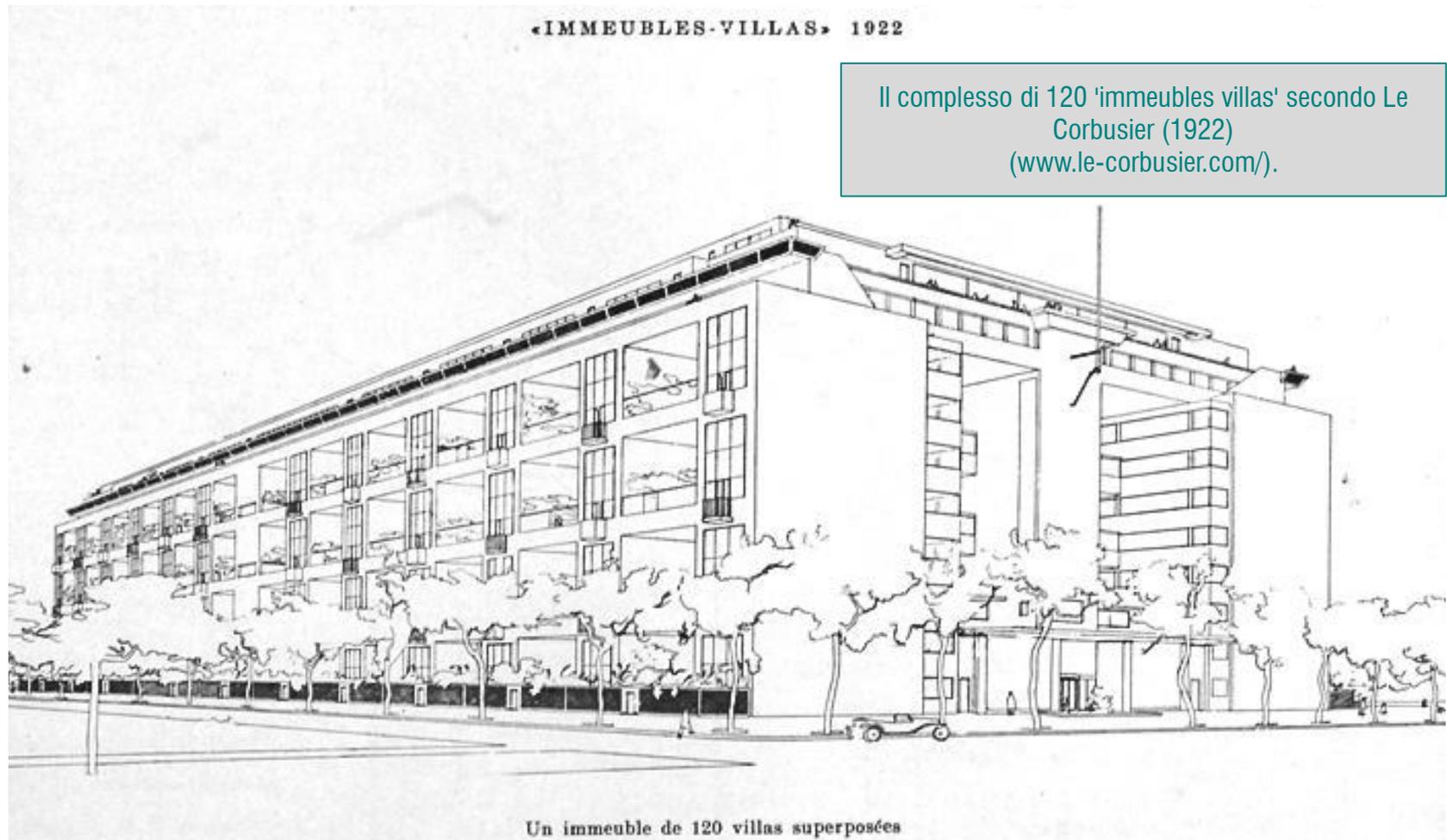
Nel progetto delle *immeubles villas* (1922) sono presenti i caratteri delle *unité d'habitation*, caratterizzati anche da terrazzi giardino.

In questo progetto, il verde pensile è utilizzato come elemento di riequilibrio ambientale e sociale, tanto che l'architetto svizzero ne fa uno dei cinque punti della Nuova Architettura (Vers une Architecture, 1923), il *toit terrasse* (tetto a terrazza).

Esso permette di rendere all'uomo il rapporto con il verde, che si colloca al di sopra dell'edificio: qui evidenzia la *funzione coibente* nei confronti dei piani inferiori e sottolinea il fatto che tali soluzioni rendono lussureggiante e *vivibile il tetto*.

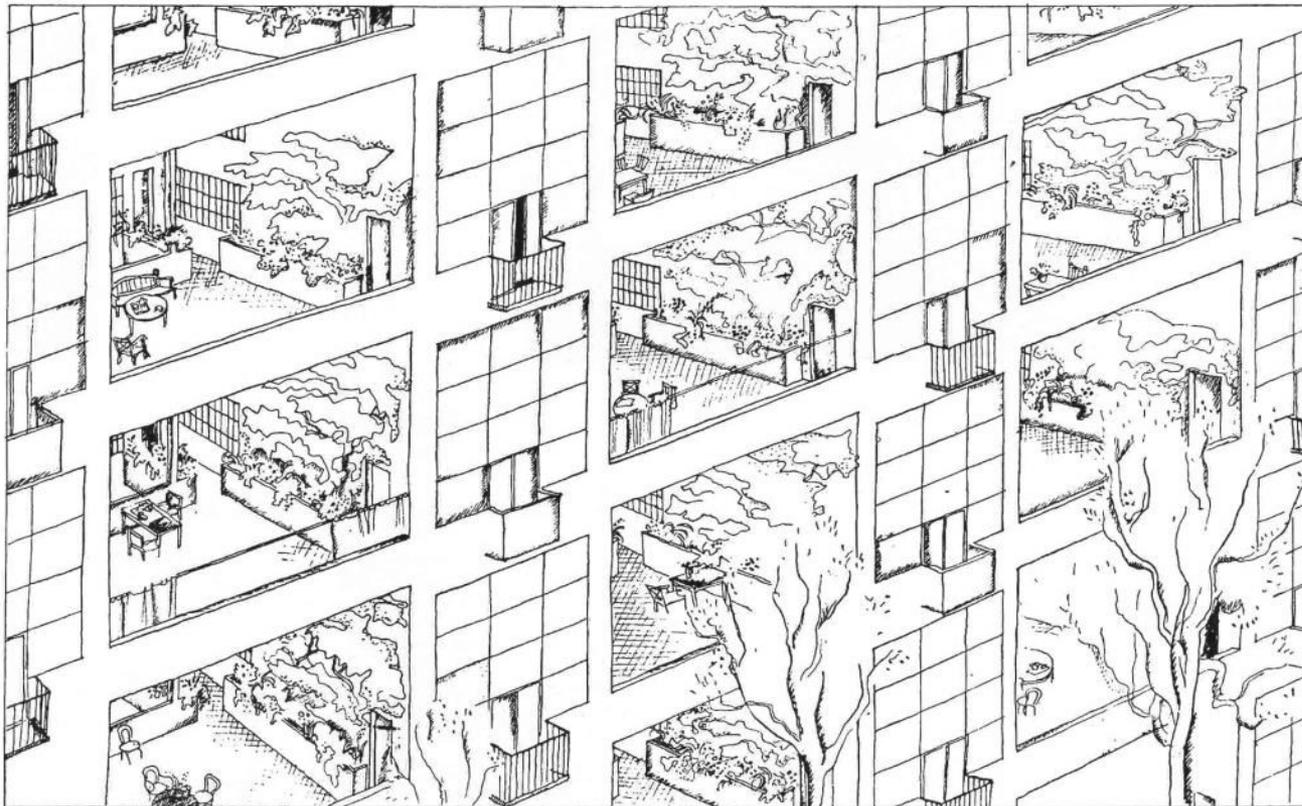


Breve storia del verde orizzontale in architettura



Breve storia del verde orizzontale in architettura

«IMMEUBLES-VILLAS» 1922



«Lotissements fermés à alvéoles». Le module étriqué des façades actuelles (3,50 m) est porté à 6 m, conférant à la rue un caractère d'ampleur tout nouveau.

Particolare delle 'immeubles villas' di Le Corbusier (1922); sono ben riconoscibili gli spazi adibiti a giardino in ciascuna 'villa'.

(cargocollective.com/ampuqam/Regard-authentique-p3-Immeuble-villa-cache).

Breve storia del verde orizzontale in architettura

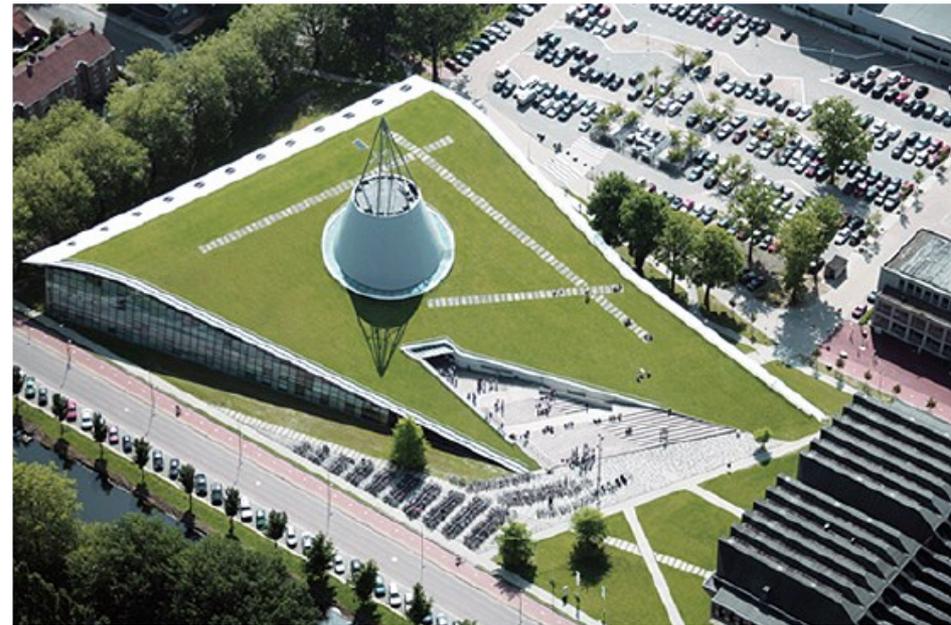
Dagli anni Sessanta del secolo scorso la tecnologia delle coperture verdi cominciano a diffondersi in Europa principalmente come **strategia** per il **recupero di aree ed edifici industriali degradati**.

In questo periodo il verde pensile ha trovato sviluppi differenti nei Paesi europei quale **misura compensativa** per rigenerare aree verdi che, in particolar modo nel Secondo Dopoguerra, erano state prima trascurate e poi ridotte in dimensioni dalle necessità di ricostruzione in tempi brevi sia del tessuto industriale, sia dell'edilizia abitativa, processo spesso carente in programmazione a lungo termine.

Nei paesi dell'Europa settentrionale le coperture verdi trovano la loro maggior diffusione quale elemento di **mitigazione** del **microclima urbano**.

In Germania, ad esempio, dalla fine degli anni '80 una legge nazionale cita il verde pensile quale strumento di compensazione ambientale e permette ai Comuni di incentivare o prescrivere l'impiego di queste tecnologie.

Library of University of Technology, Delft (NL).
(www.mecanoo.nl)



Breve storia del verde orizzontale in architettura

In Italia non è ancora pienamente apprezzabile la diffusione delle coperture verdi, sebbene si ritiene che il settore della tecnologia sia decisamente in crescita.

Probabilmente, alla base di questo scarso utilizzo ci sono ragioni di carattere culturale, di know-how tecnico ed economico, con particolare riferimento agli **strumenti incentivanti** che solo recentemente sono stati resi operativi a livello soprattutto locale.

Environment Park, Torino, progetto architettonico E. Ambasz, B. Camerana, G. Durbiano
(www.greenroofs.com/projects/).

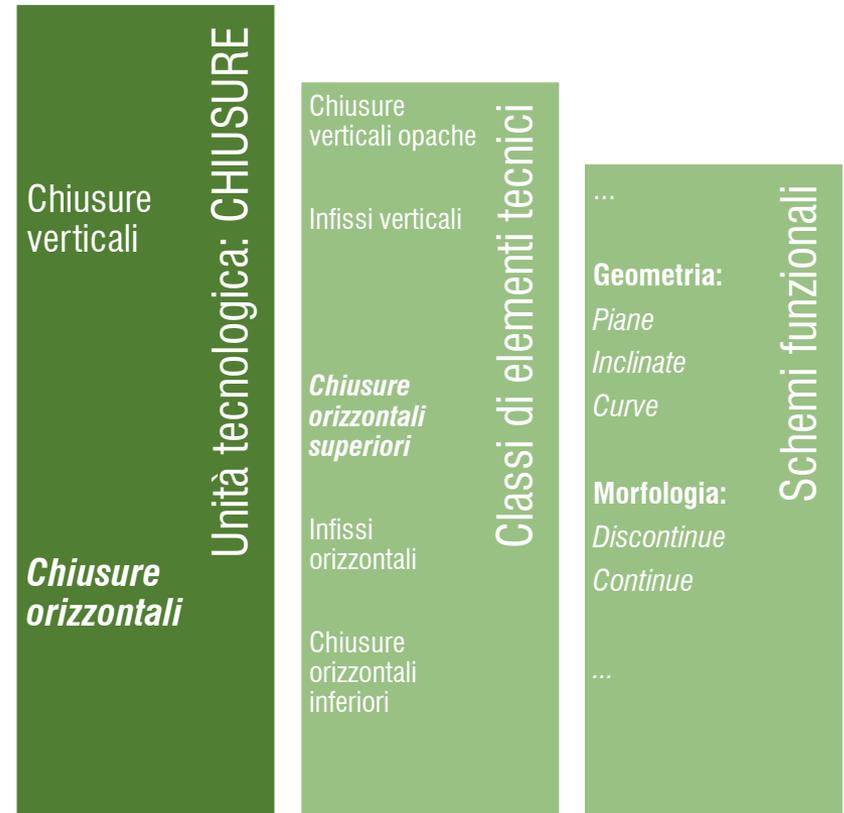


Analisi funzionale delle coperture verdi

Le coperture sono classificabili in base a criteri afferenti alle peculiarità dell'elemento tecnico, alla fase di gestione ed alla caratterizzazione dei suoi strati funzionali, e precisamente ai criteri seguenti:

1. geometria;
2. tipologia d'installazione;
3. accessibilità / fruibilità;
4. manutenzione e gestione;
5. prestazionale.

6



Analisi funzionale delle coperture verdi

1 GEOMETRIA

Le installazioni verdi in copertura sono realizzabili per tutte le configurazioni geometriche della copertura, in quanto è possibile prevedere coperture verdi su superfici piane o inclinate con **pendenza inferiore a 30-35°**.

Il costo di realizzazione e di manutenzione è crescente all'aumentare della pendenza: su coperture inclinate sono inoltre necessari strati funzionali discontinui accessori, volti a conferire stabilità alla copertura, a controllarne i fenomeni erosivi e di dilavamento, a permettere lo svolgimento delle azioni manutentive in sicurezza.

Pendenza 0 ÷ 2% (0 ÷ 1°) - coperture piane

- massime prestazioni richieste allo strato drenante e di impermeabilizzazione
- installazione vantaggiosa in zone di scarse precipitazioni
- possibile installazione di coperture verdi intensive con irrigazione ad accumulo

Pendenza 2 ÷ 5% (1 ÷ 3°)

- condizione ottimale per l'implementazione del verde pensile

Pendenza 5 ÷ 36% (3 ÷ 20°)

- verifica del fenomeno dell'accumulo idrico
- predisposizione di elementi rompitratta antiscivolamento nello strato colturale per pendenze superiori a 15° (26%)

Pendenza 36 ÷ 58% (20 ÷ 30°)

- integrazione del sistema antiscivolamento con strati colturali più compatti caratterizzati da pezzatura irregolare

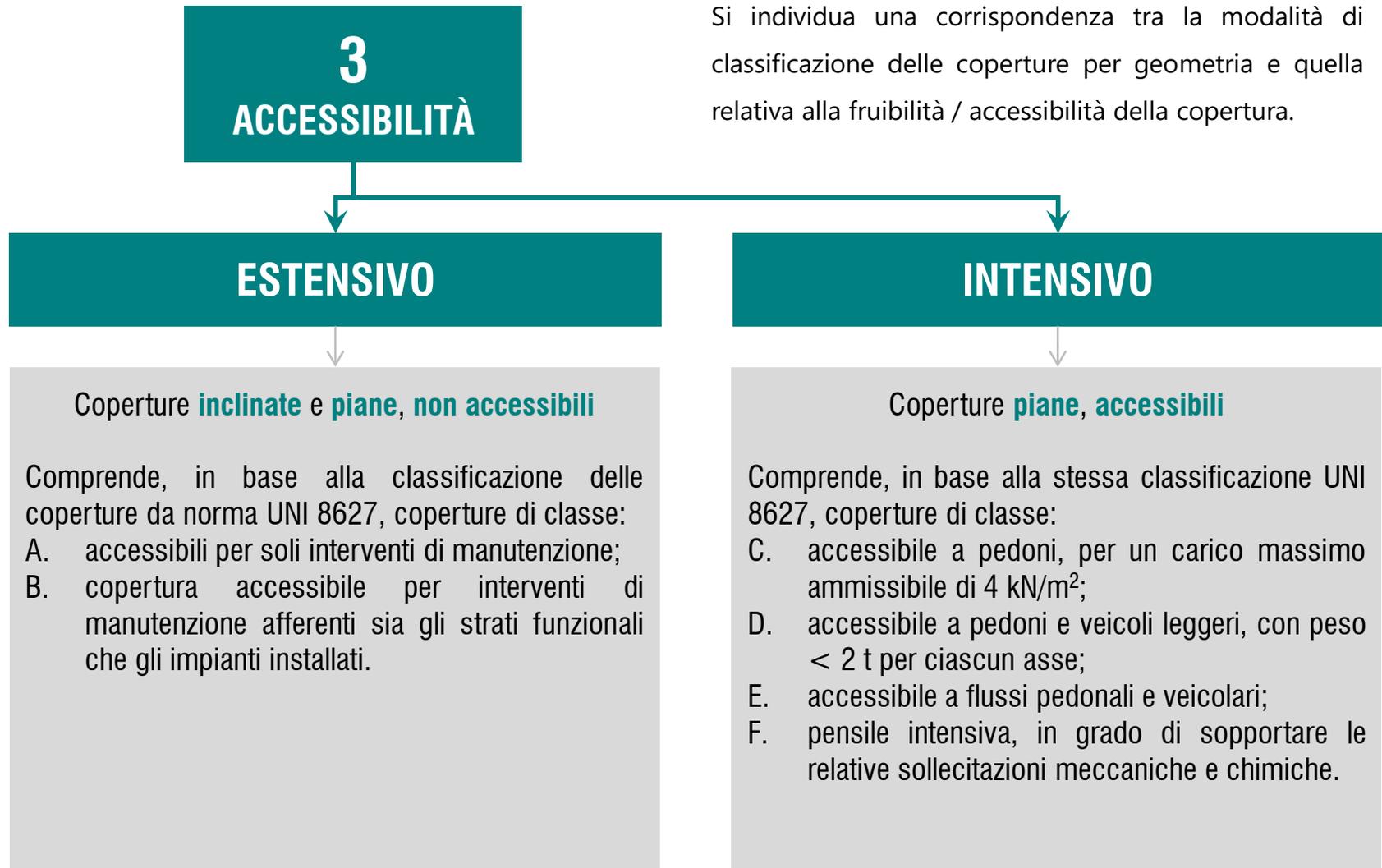
Pendenza 58 ÷ 100% (30 ÷ 45°)

- possibile non convenienza economica
- verifica statica della copertura e del sistema di ancoraggio

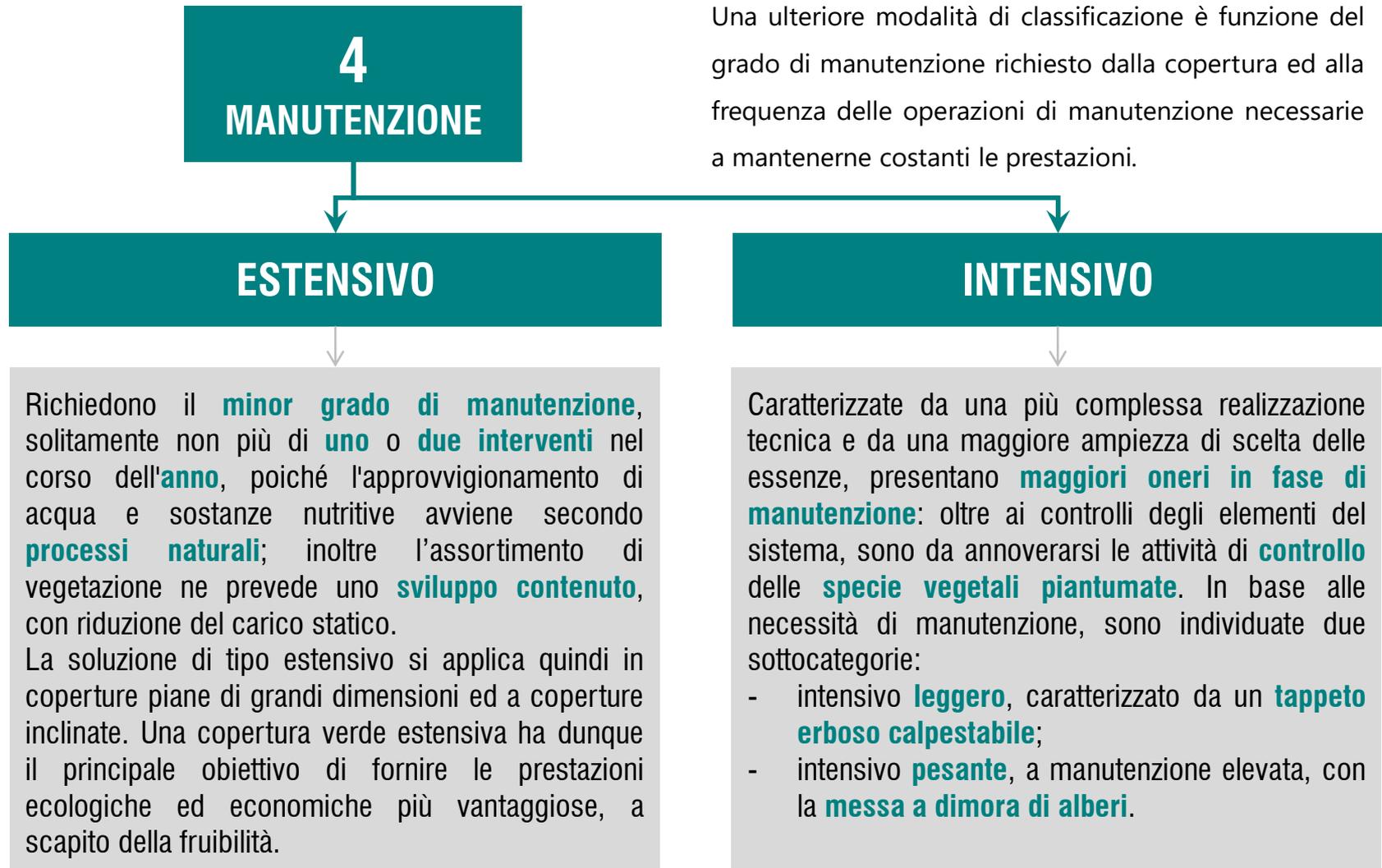
Analisi funzionale delle coperture verdi



Analisi funzionale delle coperture verdi



Analisi funzionale delle coperture verdi



Una ulteriore modalità di classificazione è funzione del grado di manutenzione richiesto dalla copertura ed alla frequenza delle operazioni di manutenzione necessarie a mantenerne costanti le prestazioni.

4
MANUTENZIONE

ESTENSIVO

INTENSIVO

Richiedono il **minor grado di manutenzione**, solitamente non più di **uno** o **due interventi** nel corso dell'**anno**, poiché l'approvvigionamento di acqua e sostanze nutritive avviene secondo **processi naturali**; inoltre l'assortimento di vegetazione ne prevede uno **sviluppo contenuto**, con riduzione del carico statico.

La soluzione di tipo estensivo si applica quindi in coperture piane di grandi dimensioni ed a coperture inclinate. Una copertura verde estensiva ha dunque il principale obiettivo di fornire le prestazioni ecologiche ed economiche più vantaggiose, a scapito della fruibilità.

Caratterizzate da una più complessa realizzazione tecnica e da una maggiore ampiezza di scelta delle essenze, presentano **maggiori oneri in fase di manutenzione**: oltre ai controlli degli elementi del sistema, sono da annoverarsi le attività di **controllo** delle **specie vegetali piantumate**. In base alle necessità di manutenzione, sono individuate due sottocategorie:

- intensivo **leggero**, caratterizzato da un **tappeto erboso calpestabile**;
- intensivo **pesante**, a manutenzione elevata, con la **messa a dimora di alberi**.

Analisi funzionale delle coperture verdi

4 MANUTENZIONE

CLASSI	DESCRIZIONE	IRRIGAZIONE	MANUTENZIONE MDO ⁽¹⁾ [h/m ² /yr]	RAPPORTO DI COSTI M/C [%] ⁽²⁾
1	Verde estensivo	in caso di siccità	< 0,02	< 1
2	Verde intensivo leggero	prevista	0,021 ÷ 0,06	1 ÷ 5
3	Verde intensivo pesante	prevista	> 0,06	> 5

(1) MANODOPERA

(2) C: IL COSTO DELLA COSTRUZIONE DELLA COPERTURA VERDE AL NETTO DEL TRASFERIMENTO IN QUOTA DEI MATERIALI; M: COSTO ANNUO DELLA MANUTENZIONE ORDINARIA.

Analisi funzionale delle coperture verdi

ricapitolando...

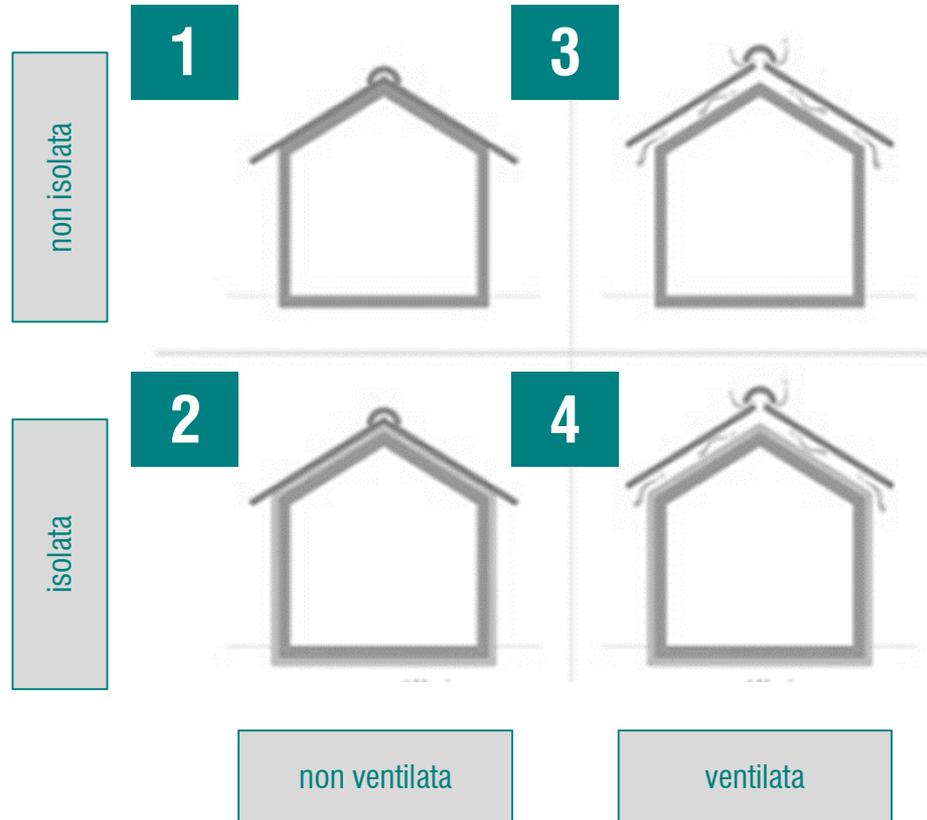
CLASSIFICAZIONE	ESTENSIVO	INTENSIVO	
		LEGGERO	PESANTE
GEOMETRIA	piana, inclinata	piana (pendenza inferiore al 5%)	
ACCESSIBILITÀ	non praticabile	praticabile e coltivabile	
MANUTENZIONE	minima	media	elevata
VEGETAZIONE	tappeto erboso	tappeto erboso	tappeto erboso, arbusti, alberi

Analisi funzionale delle coperture verdi

5 PRESTAZIONI

Le soluzioni conformi previste per tali classi di elementi tecnici in termini di controllo della dispersione del calore e di controllo del flusso di vapore sono così individuate:

1. coperture **non isolate** e **non ventilate**, prive di strati funzionali precisamente individuati che agiscano sulla trasmissione del calore e sul comportamento igrometrico;
2. coperture **isolate** e **non ventilate**, che permettono il solo controllo delle dispersioni di calore;
3. coperture **non isolate** e **ventilate**, in cui uno specifico strato funzionale consente il controllo del comportamento igrometrico;
4. coperture **isolate** e **ventilate**, aventi strati funzionali capaci di operare il controllo di entrambi i fattori.



Analisi funzionale delle coperture verdi

5 PRESTAZIONI

Le coperture verdi sono prevalentemente caratterizzate da **soluzioni conformi di tipo isolato**. La presenza di uno specifico strato di **isolamento termico, complementare** alla prestazione offerta dallo strato colturale, deve essere valutata in fase di determinazione dei livelli di prestazione che la copertura deve offrire.

Il controllo del comportamento igrometrico è invece affidato ad uno **strato funzionale di barriera al vapore** per evitare l'accumulo di vapore all'interno della soluzione e la formazione di condensa interstiziale.

Anche in questo caso la prestazione complessiva del pacchetto deve essere attentamente valutata in considerazione della quantità d'acqua presente nello strato colturale, assai differente rispetto a quelle connotanti le coperture tradizionali.

Le coperture continue, introdotte nella classificazione morfologica, sono elementi tecnici in cui il requisito di tenuta all'acqua è garantito da uno specifico strato funzionale che garantisce **l'impermeabilizzazione** in forza della propria continuità, indipendentemente dalla geometria della copertura stessa.

È allora possibile individuare **tre diverse soluzioni conformi** che fanno riferimento alla collocazione di questo strato funzionale.

Analisi funzionale delle coperture verdi

5 PRESTAZIONI

«TETTO CALDO»

Lo strato funzionale di **tenuta all'acqua** è posto immediatamente **sopra allo strato di isolamento termico**, dunque verso l'estradosso della copertura. In questo caso è **necessaria** la presenza di uno strato di **barriera al vapore** che eviti fenomeni di condensazione interstiziale capaci di inibire le prestazioni termoisolanti della copertura.

«TETTO ROVESCIO»

Lo strato funzionale di **tenuta all'acqua** è posto immediatamente **sotto allo strato di isolamento termico**, verso l'intradosso della copertura. Poiché lo strato termoisolante funge da protezione allo strato di tenuta, il primo deve essere capace di resistere alle sollecitazioni meccaniche indotte (ivi comprese le dilatazioni termiche). Lo strato funzione di tenuta svolge anche la funzione di barriera al vapore.

«TETTO SANDWICH»

La soluzione conforme è indicata in contesti in cui è necessario conferire elevate prestazioni di resistenza termica al sistema copertura; in essa sono presenti **due** distinti **strati di isolamento termico** ai quali è **interposto** lo **strato di tenuta all'acqua**.

Requisiti connotanti

La molteplicità di effetti correlati alle coperture verdi è evidenziata innanzitutto dalla **norma tecnica di riferimento UNI 11235**; una copertura verde si configura come momento operativo nel perseguire i seguenti obiettivi:

- **fruibilità della copertura** per lo svolgimento di determinate **attività all'aperto**, legata alla **valutazione** dei **carichi agenti in copertura**;
- **fruibilità visiva** (valenza architettonica ed estetica della copertura verde);
- **modifica delle prestazioni ambientali interne** dell'edificio, con riferimento al comportamento energetico e acustico;
- **modifica delle prestazioni ambientali esterne** dell'edificio (effetto "isola di calore"), controllo del deflusso delle acque meteoriche, abbattimento della concentrazione di polveri sottili in atmosfera;
- **compensazione architettonica**.

SICUREZZA

- resistenza meccanica ai carichi statici e dinamici
- resistenza all'erosione
- resistenza agli agenti fisici, chimici e biologici

FRUIBILITÀ

- creazione di superfici destinate allo svolgimento di attività diverse
- fruibilità per accessi pedonali e veicolari

ASPETTO

- incremento della qualità visiva
- riduzione dell'impatto paesaggistico

BENESSERE, IGIENE E SALUTE DELL'UTENTE

- tenuta agli agenti atmosferici
- isolamento acustico
- riduzione dell'effetto isola di calore
- abbattimento delle polveri atmosferiche

UTILIZZO RAZIONALE DELLE RISORSE

- isolamento termico
- controllo dell'inerzia termica
- protezione degli strati di isolamento termico e di impermeabilizzazione
- recupero di materiali e suolo

SALVAGUARDIA DELL'AMBIENTE

- gestione dell'acqua meteorica
- contributo alla realizzazione di reti ecologiche

Requisiti connotanti

SICUREZZA STRUTTURALE

6

I **carichi permanenti** – strutturali e non strutturali – indotti da una copertura verde rappresentano il **principale parametro** da determinare in fase di progettazione: nel caso di intervento di nuova costruzione, ma soprattutto in **interventi di ristrutturazione** della copertura esistente che non interessino direttamente le strutture portanti dell'organismo. La nuova copertura può infatti comportare un **aggravio dei carichi trasmessi in fondazione** che deve essere accuratamente valutato: la struttura portante dell'edificio esistente, infatti, può non essere capace di sostenere i nuovi carichi.

La progettazione deve quindi considerare attentamente il sovraccarico aggiuntivo portato, in prevalenza, dallo strato colturale: a favore di sicurezza, lo **strato deve trovarsi in condizioni di saturazione**, ove ciò possa accadere. I carichi di progetto derivano dalle masse volumiche a saturazione dei singoli strati funzionali, e variano da 4 kN/m² a 10 kN/m² per strati ammendati, fino a 12 kN/m² per strati colturali in condizioni di saturazione.

I carichi variabili che agiscono sull'elemento tecnico di copertura sono calcolati per legge in base alla **destinazione d'uso della copertura**: particolari situazioni si riscontrano in caso di copertura praticabile ad uso privato ($q_a=2$ kN/m²) o ad uso pubblico ($q_a=4$ kN/m²). Sugli elementi strutturali vanno altresì considerati, secondo un'opportuna combinazione di carico, i pesi associati alle operazioni di manutenzione, secondo la frequenza con cui questa avviene.

Il requisito di resistenza meccanica non afferisce esclusivamente allo strato portante: i diversi strati funzionali devono possedere prestazioni tali da consentire l'espletamento delle proprie funzioni. In particolare, lo **strato di isolamento termico deve essere scevro da possibilità di deformazione**, al fine di ridurre sensibilmente la resistenza termica. Il requisito di resistenza agli urti è particolarmente rilevante nella fase realizzativa della copertura, in quanto possono risultare danneggiati strati funzionali sensibili quali lo strato di tenuta all'acqua.

Requisiti connotanti

FRUIBILITÀ

In particolari situazioni, una copertura verde può essere fruibile ed essere quindi eventualmente destinata allo svolgimento di attività all'aperto. La caratterizzazione di queste attività risulta necessaria al fine di individuare i **carichi variabili** agenti sulla copertura stessa, il grado previsto di usura della vegetazione, i conseguenti livelli ed **intensità degli interventi manutentivi**, e deve quindi essere prevista già in fase metaprogettuale.

6

TIPOLOGIA DI ACCESSO RICHIESTA	DESCRIZIONE
MANUTENZIONE STRAORDINARIA	Accesso mediante botole o comunicazioni esterne
MANUTENZIONE ORDINARIA	Sistemi di sicurezza e protezione individuale (linea-vita)
ACCESSO PUBBLICO	Predisposizione di parapetti di protezione per almeno 120 cm dal piano colturale Comunicazioni interne all'edificio

Requisiti connotanti

ASPETTO

Una copertura verde può essere progettata per avere funzione di compensazione architettonica: un mezzo per restituire, almeno in parte, la **valenza naturalistica** originaria del sistema ambientale presente nel sito in esame, al fine ottimale di mimetizzare particolari siti quali, ad esempio, gli insediamenti industriali. La destinazione a verde pensile di una copertura permette di ridurre l'impatto visivo delle strutture antropiche, migliorando l'aspetto complessivo del paesaggio e consentendo la creazione di particolari ambienti di vita per piante e piccoli animali. In tal senso, le superfici edificate destinate a verde contribuiscono alla realizzazione di **corridoi ecologici**, insieme di aree sufficientemente ravvicinate ed interconnesse da permettere l'insediamento e gli spostamenti di diverse specie all'interno del tessuto urbano; il **contributo** al **corridoio ecologico** è senz'altro **maggiore** nelle **coperture verdi** di tipo **estensivo**.

BENESSERE, IGIENE, SALUTE DELL'UTENZA

Requisito primario relativo a questa classe di esigenza è la tenuta all'acqua, assolto da uno strato avente questa specifica funzione, che deve possedere idonee caratteristiche di durabilità a causa della **laboriosità** di una sua **successiva sostituzione**. L'elemento di tenuta frequentemente svolge anche la funzione di controllo della permeabilità dell'aria. In merito al benessere acustico, il livello sonoro reputato accettabile negli ambienti posti immediatamente al di sotto della copertura è legato al potere fonoisolante complessivo della copertura stessa. Poiché il potere fonoisolante apparente di una chiusura è determinato, per ampi campi di frequenze, dalla **legge di massa**, lo strato culturale offre un apprezzabile contributo all'incremento del potere fonoisolante di copertura.

Requisiti connotanti

**USO RAZIONALE
DELLE RISORSE
ENERGETICHE**

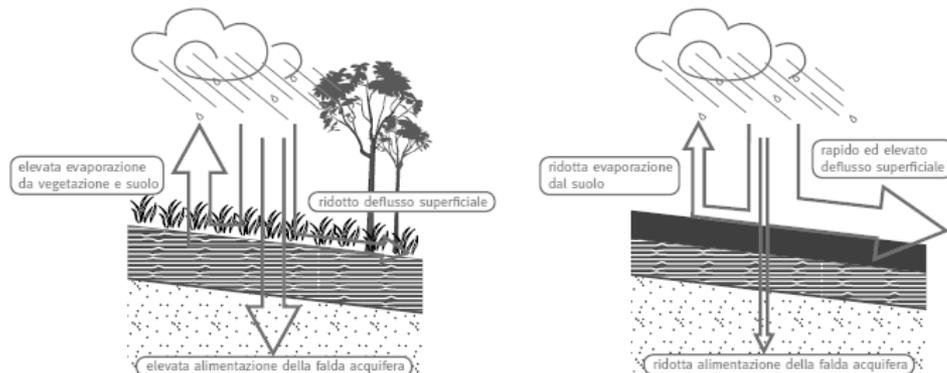
La copertura verde costituisce l'elemento tecnico deputato al controllo del flusso termico nella stagione invernale ed estiva. È opportuno evidenziare sin da ora che la **resistenza termica** complessiva della copertura è **fortemente influenzata** dal **grado di saturazione** dello **strato culturale**, ed in questa valutazione risiedono le maggiori criticità.

**SALVAGUARDIA
AMBIENTALE**

Le coperture verdi, contribuendo al mantenimento / ricostruzione dei corridoi ecologici, permettono la **tutela** delle **specie endemiche** compensando almeno parzialmente la trasformazione degli ecosistemi.

La gestione delle acque meteoriche e la riduzione dell'impatto della costruzione sul ciclo idrologico si traduce nella richiesta di **massimizzazione** della **superficie drenante** a contrasto dell'impermeabilizzazione dei suoli, con materiali che favoriscano la penetrazione diffusa dell'acqua meteorica, a velocità tali da contenere i picchi di portata ai corpi ricettori finali.

Differenti regimi di deflusso delle
acque piovane
(Provincia Autonoma di Bolzano,
2008)



Schema decisionale di progettazione

Il processo di progettazione di una copertura verde richiede la collaborazione e la coordinazione professionale di diverse figure:

- la committenza;
- l'architetto paesaggista,
- il progettista architettonico,
- il responsabile del progetto strutturale,
- il progettista energetico,
- il produttore del sistema di inverdimento;
- i futuri responsabili della manutenzione.

È possibile individuare una check-list di questioni da considerarsi al fine di pianificare l'intervento già in fase metaprogettuale e realizzare un'installazione esteticamente pregevole e funzionale all'oggetto edilizio di cui sarà parte.

1. La copertura sarà (anche solo in parte) fruibile?

- Si intende quindi definire il grado di fruibilità della copertura, che influisce sulla scelta delle essenze vegetali e sulla destinazione di parte degli spazi a percorsi pedonali.

2. La copertura sarà visibile da punti di vista esterni?

- La questione è relativa alla valorizzazione architettonica ed estetica dell'inverdimento, anche al fine di accrescerne il valore di mercato.

Schema decisionale di progettazione

3. Qual è la superficie da destinare all'inverdimento?

- Si fa riferimento alle richieste della committenza, in accordo con i regolamenti vigenti (inerenti le prestazioni energetiche, le eventuali misure di compensazione ambientale, gli obiettivi di regimazione delle acque meteoriche, etc.) e con eventuali ulteriori requisiti per l'accesso ad agevolazioni o a certificazioni ambientali.

4. È definibile un carico di progetto per la copertura verde?

- Si considerano i carichi indotti dalla copertura verde sulla struttura dell'edificio, con massima attenzione da porre in casi di riqualificazione dell'elemento tecnico di copertura di un edificio esistente, o di fruibilità della copertura per specifiche attività. Le specie vegetali da piantumare incidono sul carico di progetto, in quanto richiedono spessori diversi di strato colturale per il loro alloggiamento.

5. Qual è la pendenza della copertura, se inclinata?

- Sono infatti richiesti accorgimenti progettuali specifici per l'ancoraggio del suolo in coperture inclinate con pendenza superiore a 15°.

6. Sono richieste specifiche prestazioni per la qualità dell'aria?

- Tale questione si riferisce ai possibili stress che la vegetazione potrebbe accusare in presenza di inquinamento atmosferico o di diretta esposizione a uscite di sistemi di estrazione dell'aria esausta o di trattamento dell'aria indoor.

7. Sono stati considerati gli effetti del vento sulla copertura?

- La copertura verde dovrà infatti resistere ai flussi d'aria impedendo l'erosione dello strato colturale.

Schema decisionale di progettazione

CHECK-LIST DI PROGETTAZIONE DI UNA COPERTURA VERDE

1. Definizione della finalità della copertura

- Valutazione dei requisiti di fruibilità, aspetto e percezione visiva, controllo delle acque meteoriche, contenimento dei consumi energetici.
- Individuazione degli obiettivi prioritari.

2. Definizione degli schemi funzionali

- Individuazione degli schemi più adatti al contesto, considerando la giacitura della copertura.
- Prima valutazione cautelativa dei carichi indotti sulla struttura portante dell'edificio.

3. Individuazione delle condizioni climatiche e meteorologiche

- Conoscenza dei parametri ambientali che permettono di valutare le perdite d'acqua per evapotraspirazione (temperatura media mensile dell'aria esterna, umidità relativa massima, radiazione solare incidente sulla copertura, direzione ed intensità dei venti prevalenti, intensità delle precipitazioni).
- Valutazione dei carichi variabili di neve e vento che si presume interessino l'elemento tecnico di copertura.

4. Scelta della classificazione funzionale della copertura

- Con / senza accumulo idrico.
- Configurazione a tetto caldo / rovescio / sandwich.
- Definizione della successione di strati funzionali.

Schema decisionale di progettazione

CHECK-LIST DI PROGETTAZIONE DI UNA COPERTURA VERDE

5. Individuazione delle specie vegetali

- Valutazione delle condizioni climatiche del sito, delle esigenze d'aspetto, dell'onerosità e della frequenza delle operazioni manutentive.
- Individuazione del suolo di coltura e del conseguente carico massimo agente in copertura (peso della vegetazione al massimo sviluppo atteso, strato colturale saturo).
- Valutazione della necessità di prevedere un impianto di irrigazione.

6. Dimensionamento degli strati funzionali

- Definizione delle prestazioni in termini di resistenza a compressione, trazione, punzonamento e stabilità dimensionale, resistenza agli agenti biochimici, tenuta, volume d'acqua disponibile e controllo della capacità drenante.
- Accorgimenti specifici per la soluzione adottata (zavorramenti, ancoraggi, rompitratte).

7. Definizione della soluzione tecnologica

- Materiali ed elementi tecnici da impiegare.

8. Valutazione delle prestazioni complessive

- Classificazione prestazionale.

9. Programmazione delle manutenzioni

Abaco delle soluzioni

Definiti i **requisiti** pertinenti di una copertura verde, si individuano gli **strati funzionali** caratterizzanti le soluzioni conformi. Esse sono caratterizzate da parametri tecnici derivanti dai requisiti connotanti:

- **spessore dello strato culturale**, del quale la norma tecnica UNI 11235:2007 fornisce **valori minimi consigliati** in base all'impianto vegetale previsto;
- **peso totale** dell'elemento tecnico di copertura, da valutarsi nelle condizioni di carico maggiormente penalizzanti (saturazione dello strato culturale);
- **deflusso superficiale** garantito dalla copertura verde al carico derivante dalle acque meteoriche;
- **fabbisogno idrico dell'impianto vegetale**, funzione delle essenze e del microclima del sito d'installazione, eventualmente integrato da impianto di irrigazione.

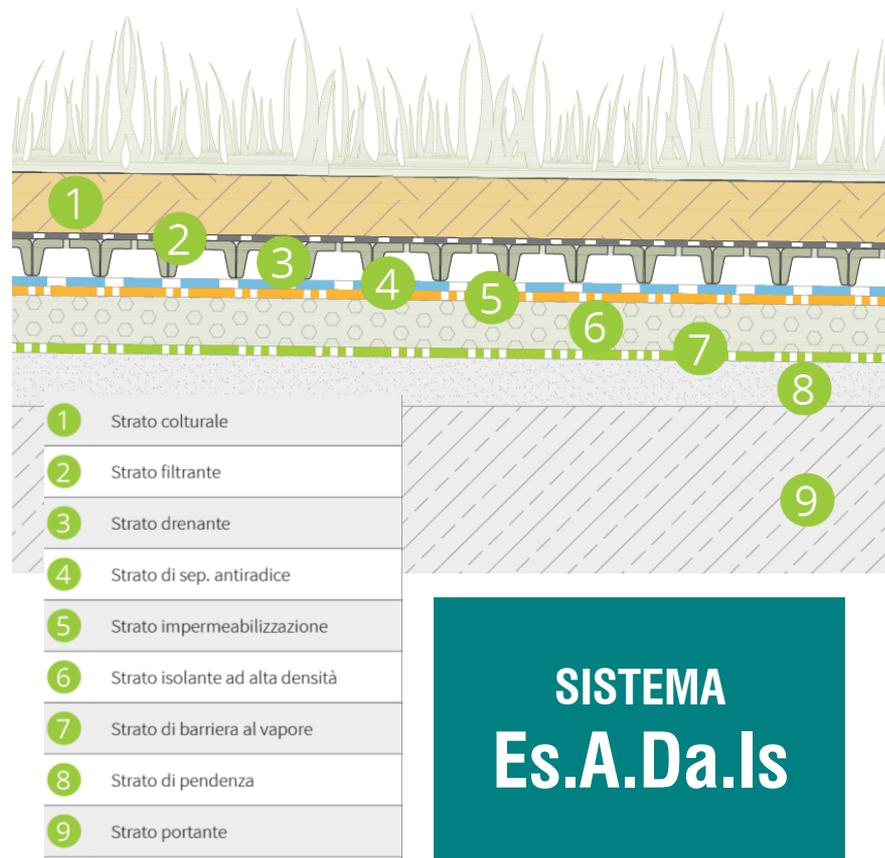
Si riportano ora le **soluzioni tecnologiche** tipiche dei sistemi di copertura verde. Le soluzioni sono razionalizzate in un abaco dei vari sistemi.

SISTEMA COPERTURA	Es	Estensivo
	Il	Intensivo leggero
	Ip	Intensivo pesante
SCHEMA FUNZIONALE	A	Copertura piana
	B	Copertura inclinata
STRATO DRENANTE	Dn	Strato drenante naturale
	Da	Strato drenante artificiale
STRATO DI ISOLAMENTO	Is	Strato di isolamento termico presente
	Ns	Strato di isolamento termico assente

Abaco delle soluzioni

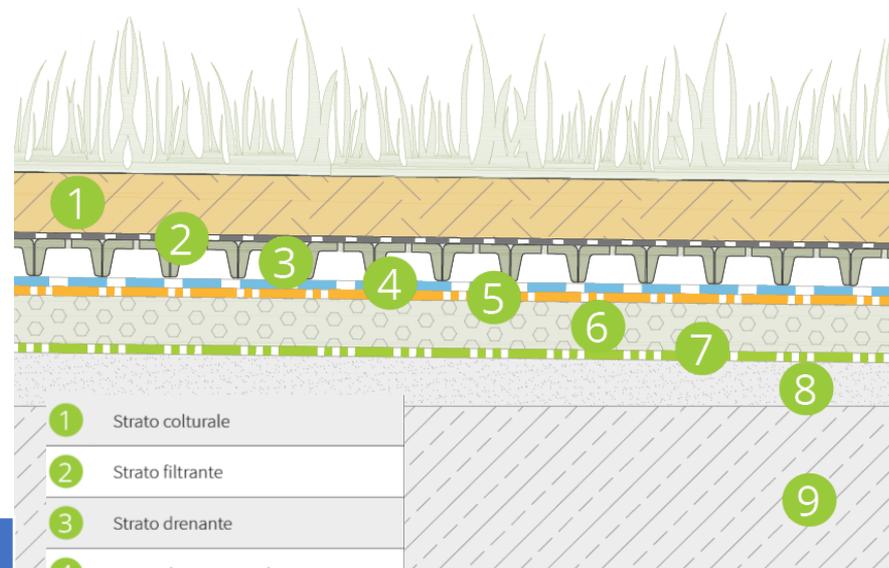
Questa soluzione è caratterizzata da **spessori ridotti**, **pesi contenuti** e **ridotta manutenzione**. La vegetazione è composta da una miscela di varietà di **sedum** ed ha la capacità di adattarsi alle condizioni climatiche del luogo, di **resistere** ai periodi di **siccità**, di **propagarsi** e rigenerarsi in **maniera autonoma** senza la necessità dell'intervento umano. È adatta a **coperture di grandi dimensioni** e a tutti i casi in cui sia richiesto un sistema che non necessiti di irrigazione.

Spessore	16 ÷ 20 cm
Peso (a secco)	75 ÷ 95 kg/m ²
Peso (saturo)	115 ÷ 145 kg/m ²
Pendenza massima supporto	fino al 25%
Accumulo idrico	24 l/m ² (pendenza 3%)
Manutenzione	minima
Impianto di irrigazione	non necessario
Calpestabilità	solo per manutenzione
Coefficiente di deflusso medio annuo	0,2



Abaco delle soluzioni

1. verifica integrità e tenuta all'acqua della soluzione;
2. posa dell'elemento di drenaggio e accumulo;
3. posa del filtro di stabilizzazione sopra l'elemento di accumulo e drenaggio, con sovrapposizione di circa 10 cm, e risolto in verticale per altezza pari allo spessore del substrato;
4. realizzazione di protezione della soluzione impermeabile perimetrale mediante posa di ghiaia;
5. posa dello strato colturale e livellamento;
6. concimazione;
7. semina di miscela di sedum mediante spaglio delle talee e successivo interrimento manuale.



1	Strato colturale
2	Strato filtrante
3	Strato drenante
4	Strato di sep. antiradice
5	Strato impermeabilizzazione
6	Strato isolante ad alta densità
7	Strato di barriera al vapore
8	Strato di pendenza
9	Strato portante

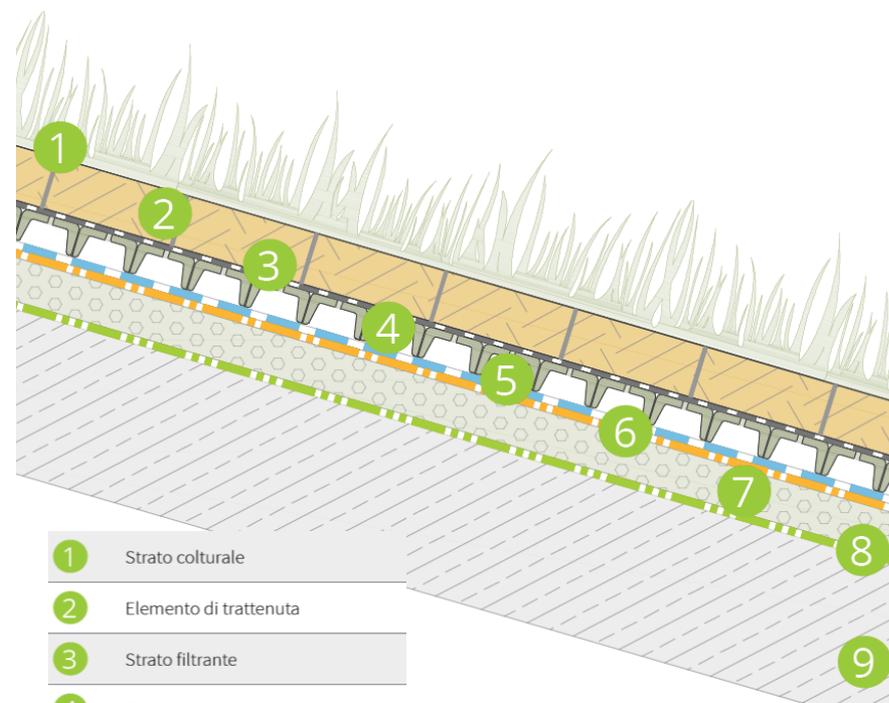
SISTEMA
Es.A.Da.Is

n.	descrizione	spessore	materiale
1	strato colturale	80 ÷ 120 mm	substrato di materiale vulcanico (lapillo, pomice) e sostanze organiche
2	strato filtrante	1,30 mm	geotessile
3	strato drenante	80 mm	polistirene espanso sinterizzato
4	strato antiradice	-	PVC

Abaco delle soluzioni

Nel caso di coperture inclinate l'inverdimento raggiunge un elevato grado di complessità con conseguente incremento degli oneri manutentivi. Infatti, al soddisfacimento dei requisiti del verde estensivo su coperture piane, si aggiungono le esigenze di **stabilità** e **sicurezza del sistema**, nonché di regolare smaltimento delle acque. In fase progettuale si dovrà prestare molta attenzione alle caratteristiche dei **sistemi di trattenimento** ed al sistema di drenaggio in relazione alle dimensioni delle falde.

Spessore	16÷20 cm
Peso (a secco)	85÷105 kg/m ²
Peso (saturo)	135÷170 kg/m ²
Pendenza massima supporto	fino al 100%
Accumulo idrico	10÷20 l/m ²
Manutenzione	minima
Impianto di irrigazione	non necessario
Calpestabilità	solo per manutenzione
Coefficiente di deflusso medio annuo	0,2

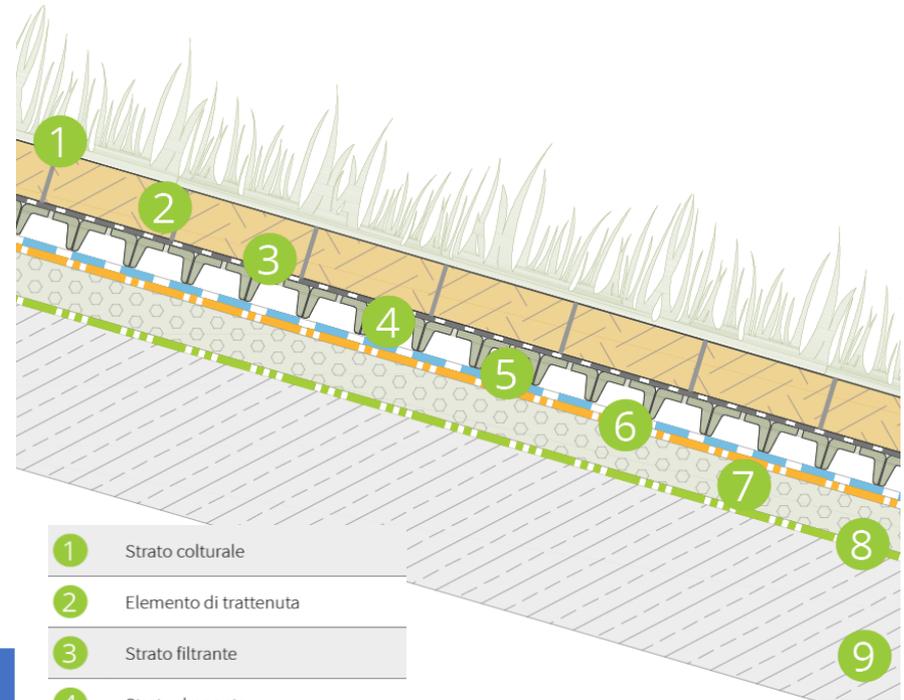


- 1 Strato culturale
- 2 Elemento di trattenuta
- 3 Strato filtrante
- 4 Strato drenante
- 5 Strato di separazione antiradice
- 6 Strato di impermeabilizzazione
- 7 Strato isolante ad alta densità
- 8 Strato di barriera al vapore
- 9 Strato portante

SISTEMA
Es.B.Da.Is

Abaco delle soluzioni

Il metodo di posa è analogo a quello visto per le coperture verdi estensive piane, fatta eccezione per la posa dei componenti del sistema di trattenimento che dovranno essere posizionati sopra lo strato filtrante prima della posa del substrato ed adeguatamente ancorati.



- 1 Strato colturale
- 2 Elemento di trattenuta
- 3 Strato filtrante
- 4 Strato drenante
- 5 Strato di separazione antiradice
- 6 Strato di impermeabilizzazione
- 7 Strato isolante ad alta densità
- 8 Strato di barriera al vapore
- 9 Strato portante

SISTEMA
Es.B.Da.Is

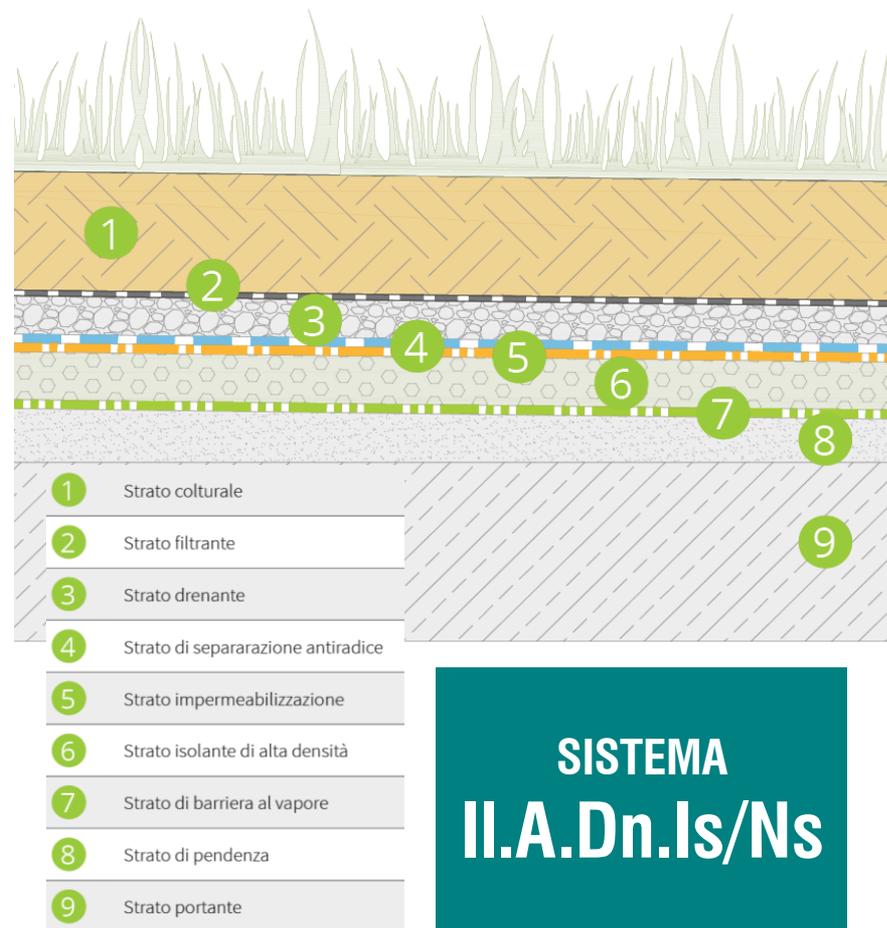


n.	descrizione	spessore	materiale
1	strato colturale	80 ÷ 120 mm	substrato di materiale vulcanico (lapillo, pomice) e sostanze organiche
2	strato filtrante	1,30 mm	geotessile
3	strato drenante	80 mm	polistirene espanso sinterizzato
4	strato antiradice	-	PVC

Abaco delle soluzioni

I sistemi a verde intensivo leggero descritti sono caratterizzati da una **resa estetica** nettamente **superiore** alle tipologie estensive e richiedono **interventi di manutenzione frequenti** e **costante irrigazione**. Inoltre, offrono elevate prestazioni in termini di accessibilità e fruibilità, al costo di spessore e peso complessivo più elevati rispetto alle soluzioni estensive. La vegetazione è composta da una miscela di graminacee: queste soluzioni sono in grado di ospitare anche arbusti e alberature.

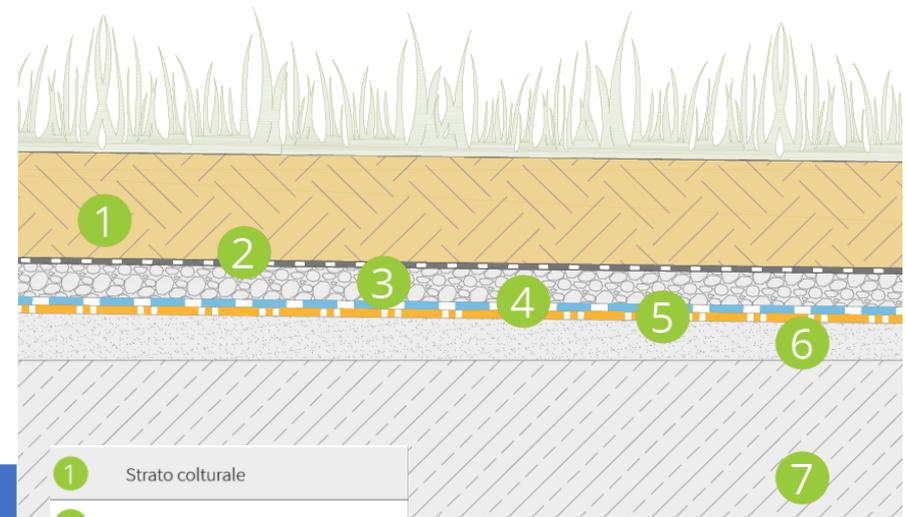
Spessore	24 cm per tappeto erboso 34 cm per arbusti a basso sviluppo
Peso (a secco)	170÷240 kg/m ²
Peso (saturo)	215÷305 kg/m ²
Pendenza massima supporto	fino al 10%
Accumulo idrico	18 l/m ² (pendenza 3%)
Manutenzione	in funzione della vegetazione
Impianto di irrigazione	necessario
Calpestabilità	buona



**SISTEMA
II.A.Dn.Is/Ns**

Abaco delle soluzioni

1. verifica integrità e tenuta all'acqua della soluzione.
2. posa dell'elemento di drenaggio e accumulo;
3. posa dello strato filtrante sopra l'elemento di accumulo e drenaggio, con sovrapposizione di circa 10 cm, e risvoltato in verticale per altezza pari allo spessore dello strato colturale;
4. posa dello strato colturale dello spessore previsto in sede progettuale;
5. concimazione del substrato;
6. installazione impianto di irrigazione;
7. semina o posa del prato precoltivato.



n.	descrizione	spessore	materiale
1	strato colturale	150 ÷ 250 mm	substrato di materiale vulcanico (lapillo, pomice) e sostanze organiche
2	strato filtrante	1,45 mm	geotessile
3	strato drenante	60 mm	sassi e pietrisco
4	strato antiradice	-	PVC

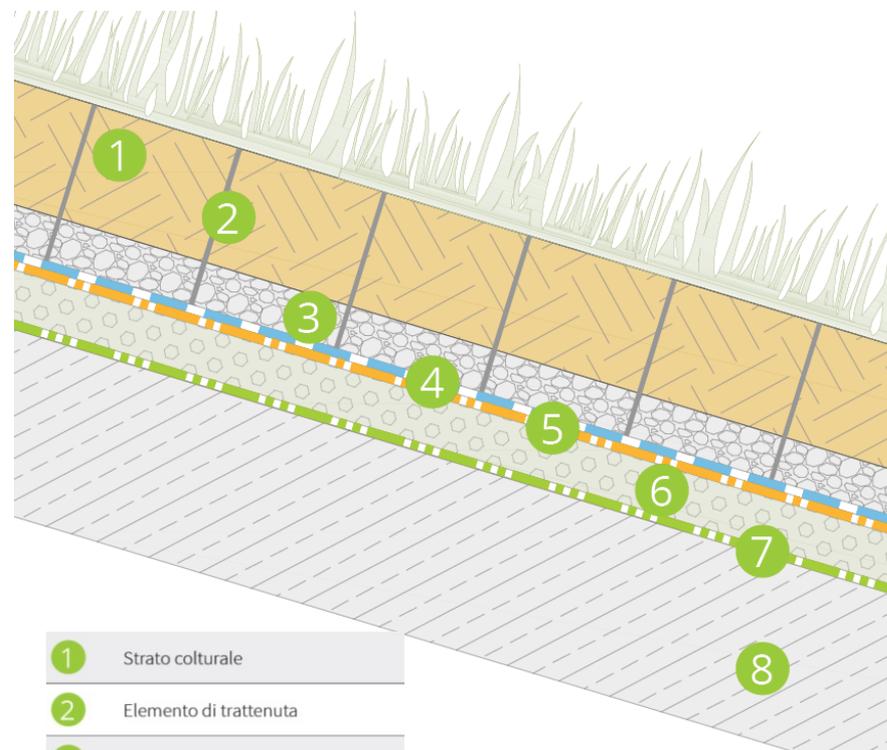
1	Strato colturale
2	Strato filtrante
3	Strato drenante
4	Strato di separazione antiradice
5	Strato di impermeabilizzazione
6	Strato di pendenza
7	Strato portante

SISTEMA
II.A.Dn.Is/Ns

Abaco delle soluzioni

I sistemi a verde intensivo leggero su copertura inclinata differiscono tra loro solo per la presenza o meno di uno strato d'isolamento termico. A causa dei frequenti interventi di manutenzione richiesti dalla tipologia di vegetazione delle coperture verdi intensive, questi sistemi sono idonei per **pendenze massime di 35°**. Inoltre, visti gli importanti carichi che entrano in gioco, assume un ruolo di fondamentale importanza il dimensionamento e la corretta posa del sistema di **trattenimento** del substrato.

Spessore	22 cm per tappeto erboso 32 cm per arbusti a basso sviluppo
Peso (a secco)	185÷270 kg/m ²
Peso (saturo)	230÷335 kg/m ²
Pendenza massima supporto	fino al 75%
Accumulo idrico	4÷12 l/m ²
Manutenzione	in funzione della vegetazione
Impianto di irrigazione	necessario
Calpestabilità	buona

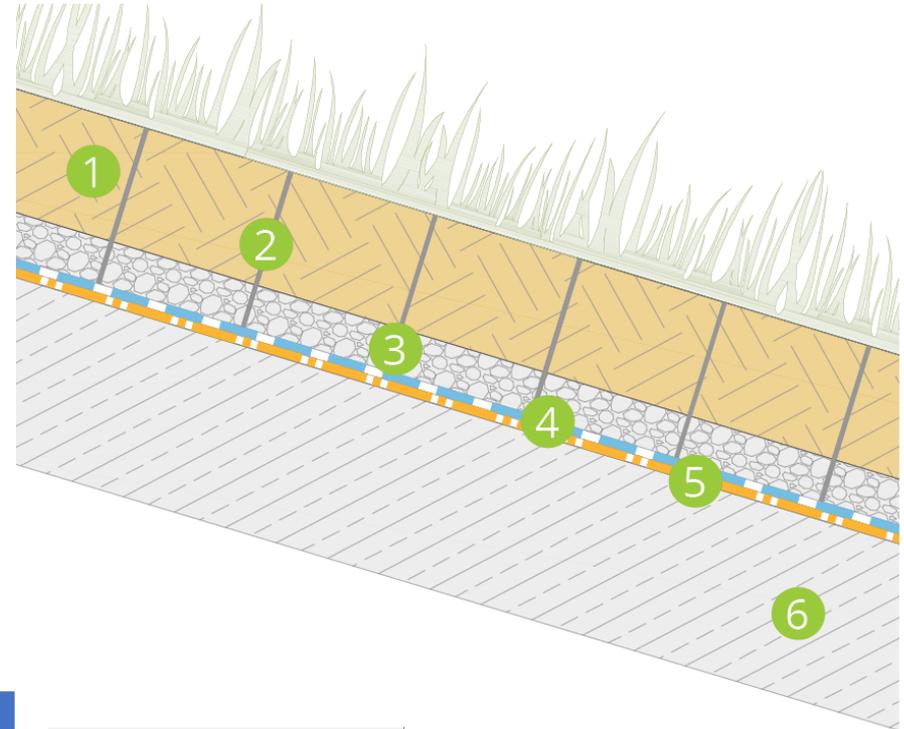


- 1 Strato culturale
- 2 Elemento di trattenuta
- 3 Strato drenante
- 4 Strato di separazione antiradice
- 5 Strato impermeabilizzazione
- 6 Strato isolante ad alta densità
- 7 Strato di barriera al vapore
- 8 Strato portante

**SISTEMA
II.B.Dn.Is/Ns**

Abaco delle soluzioni

Il metodo di posa è analogo a quello visto per le coperture verdi intensive leggere piane, eccezion fatta per la stesura degli elementi del sistema di trattenimento che saranno posizionati sopra lo strato filtrante prima della posa dello strato colturale ed adeguatamente ancorati.



n.	descrizione	spessore	materiale
1	strato colturale	150 ÷ 250 mm	substrato di materiale vulcanico (lapillo, pomice) e sostanze organiche
2	strato filtrante	1,45 mm	geotessile
3	strato drenante	60 mm	Sassi e pietrisco
4	strato antiradice	-	PVC

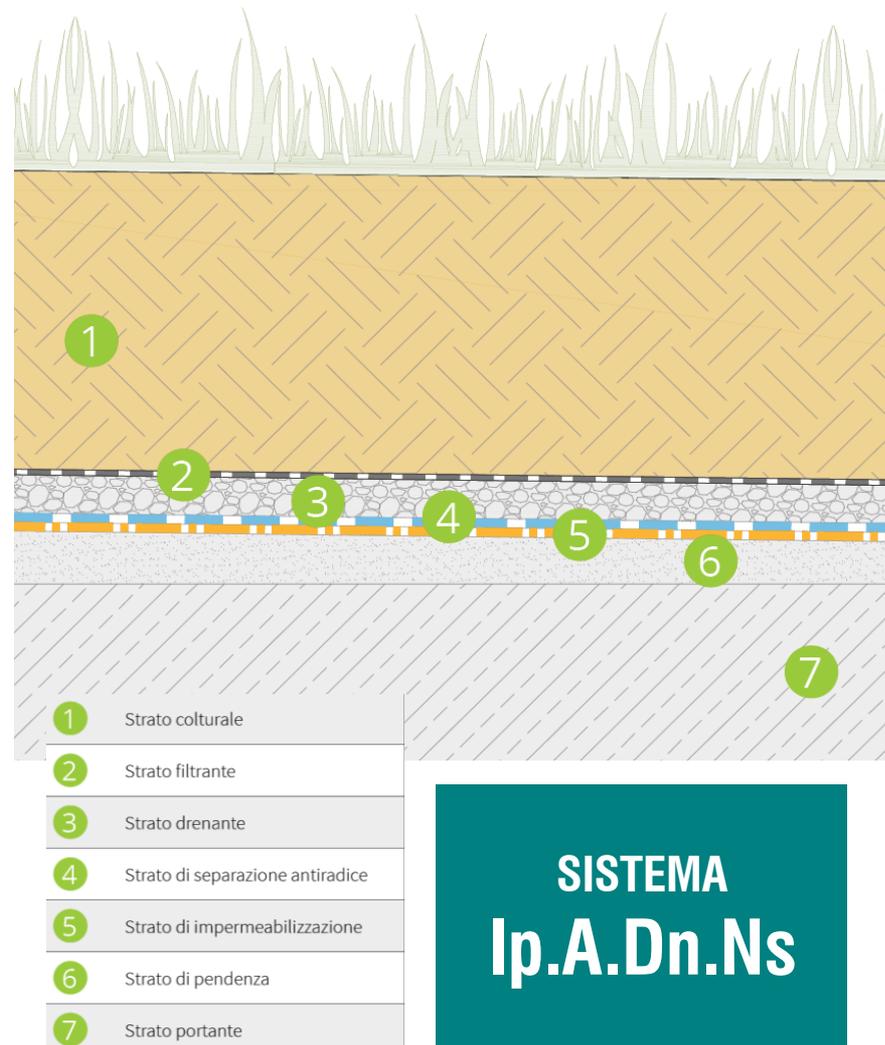
- 1 Strato colturale
- 2 Elemento di trattenuta
- 3 Strato drenante
- 4 Strato di separazione antiradice
- 5 Strato di impermeabilizzazione
- 6 Strato portante

**SISTEMA
II.B.Dn.Is/Ns**

Abaco delle soluzioni

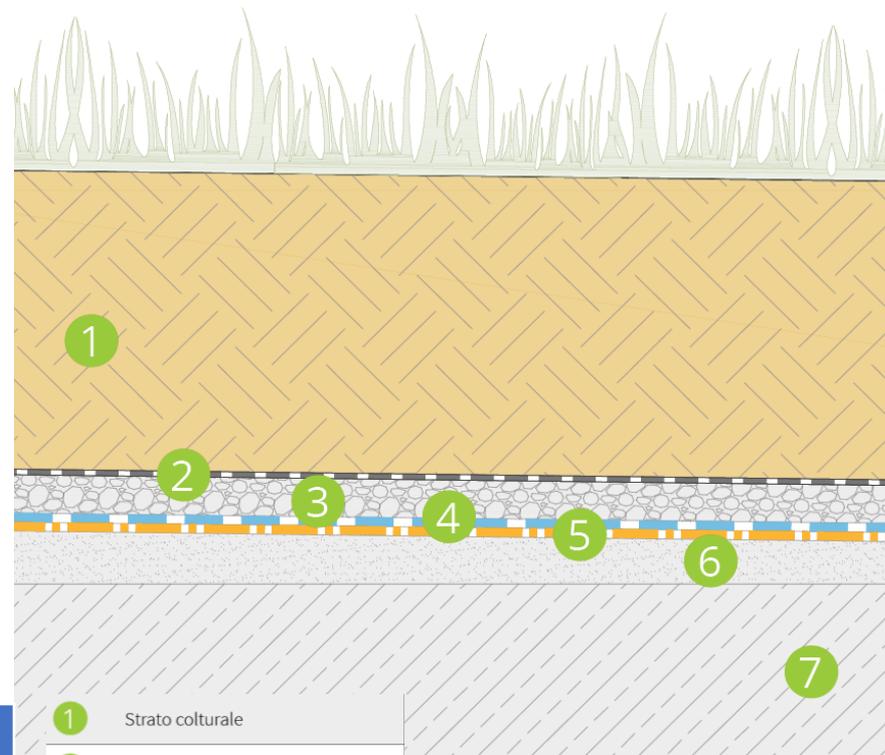
Questa soluzione può presentare uno strato drenante naturale o artificiale. **Non si considera** una copertura **coibentata** in quanto le soluzioni intensive pesanti vengono solitamente utilizzate sulle coperture di autorimesse interrato. Tali sistemi sono caratterizzati da spessori e pesi elevati, nonché frequente e regolare manutenzione. Inoltre, è prevista una riserva idrica in quanto la risalita capillare è più difficile rispetto a substrati leggeri di minor spessore.

Spessore	> 45 cm
Peso (a secco)	> 380 kg/m ²
Peso (saturo)	> 530 kg/m ²
Pendenza massima supporto	fino al 10%
Accumulo idrico	16 l/m ² (pendenza 3%)
Manutenzione	in funzione della vegetazione
Impianto di irrigazione	necessario
Calpestabilità	ottima



Abaco delle soluzioni

1. verifica integrità e tenuta all'acqua della soluzione;
2. posa a secco dell'elemento di drenaggio e protezione;
3. posa del filtro di stabilizzazione sopra l'elemento di drenaggio, con sovrapposizione di circa 10 cm, e risvoltato in verticale per altezza pari allo spessore del substrato;
4. stesura di terreno vegetale in spessore variabile (≥ 30 cm) in base alla vegetazione;
5. installazione di impianto di irrigazione;
6. semina o posa del prato precoltivato.



- 1 Strato colturale
- 2 Strato filtrante
- 3 Strato drenante
- 4 Strato di separazione antiradice
- 5 Strato di impermeabilizzazione
- 6 Strato di pendenza
- 7 Strato portante

SISTEMA
Ip.A.Dn.Ns

n.	descrizione	spessore	materiale
1	strato colturale	> 300 mm	terreno di coltivo di buona qualità
2	strato filtrante	1,45 mm	geotessile
3	strato drenante	50 mm	sassi e pietrisco
4	strato antiradice	-	PVC

Strati funzionali

Il complesso sistema tecnologico corrispondente ad una copertura verde è stato oggetto di un processo di revisione progettuale e realizzativa che ha comportato l'evoluzione delle tecniche costruttive (si pensi alla riduzione del peso dello strato colturale mediante l'**impiego di materiali leggeri**, eventualmente derivanti da materie prime secondarie, oppure al controllo della tenuta all'acqua) e la conseguente regolamentazione delle prestazioni globali e di singolo strato funzionale.

Si distinguono:

- strati **primari** o fondamentali caratterizzanti una copertura verde, necessari a garantirne il corretto funzionamento;
- strati **complementari**, non necessariamente sono presenti in tutte le soluzioni;
- strati funzionali **accessori**, volti a garantire la stabilità meccanica su coperture inclinate ed il controllo dell'afflusso idrico alle piante su coperture pesanti di tipo intensivo.

STRATI FUNZIONALI PRIMARI O FONDAMENTALI

- vegetale superficiale
- colturale o di materia organica
- di separazione o filtrante
- drenante
- di accumulo idrico
- di protezione meccanica o antiradice
- di tenuta all'acqua
- termoisolante
- di isolamento acustico
- portante

STRATI FUNZIONALI SECONDARI O COMPLEMENTARI

- di ventilazione
- di barriera al vapore
- di continuità e regolarizzazione
- di pendenza
- di supporto
- di ripartizione dei carichi

STRATI FUNZIONALI ACCESSORI

- impianto di irrigazione
- impianto di smaltimento delle acque meteoriche
- di ancoraggio per la vegetazione
- per il trattamento dello strato colturale
- di compartimentazione antincendio

Strati funzionali

CLASSIFICAZIONE UNI 11235:2007	STRATO FUNZIONALE	MATERIALI IMPIEGABILI	CARATTERIZZAZIONE PROGETTUALE
secondario	ZAVORRAMENTO	ghiaia lavata	in zone perimetrali e su corpi emergenti
primario	VEGETAZIONE	essenze vegetali	funzione del contesto climatico e territoriale, della destinazione d'uso, della compatibilità architettonica e paesaggistica
	COLTURALE	varie	in base alle specie vegetali
secondario	ANTIEROSIONE	materiali biotessili	su coperture con $\alpha > 10\%$ per l'azione di vento e acqua
primario	FILTRANTE	aggregati naturali	prevenzione dell'occlusione dello strato di drenaggio
		materiali geosintetici	necessaria resistenza al punzonamento e ad agenti biochimici
	DRENAGGIO E ACCUMULO IDRICO	aggregati naturali	dimensionato secondo la capacità drenante richiesta
		elementi preformati	necessaria resistenza a trazione e compressione, agli agenti chimici e biologici
		materiali geosintetici	integrato allo strato di tenuta
	ANTIRADICE	membrane bituminose ad armatura in PVC o metallica	necessarie stabilità dimensioni, resistenza ai carichi, fatica
	PROTEZIONE MECCANICA	polistirene geotessili	a protezione dello strato di tenuta
TENUTA ALL'ACQUA	guaine bituminose poliolefiniche dipolivinilcloruro	necessaria resistenza all'azione dell'apparato radicale, di agenti biologici e chimici	
secondario	BARRIERA AL VAPORE	varie	protezione dello strato isolante da vapore e umidità
primario	ISOLAMENTO TERMICO	lana di roccia e di vetro polistirene espanso fibra di sughero	necessaria buona resistenza a compressione controllo dell'assorbimento e della temperatura sul lato freddo
	PORTANTE O DI SUPPORTO STRUTTURALE	laterocemento predalles, tegoli / lamiera grecata, legno CLT	carichi maggiori rispetto ad una copertura tradizionale vincoli costituiti dalla luce, dalla freccia massima ammissibile e, in edifici esistenti, dal carico residuo in copertura

Strati funzionali

CLASSIFICAZIONE UNI 11235:2007	STRATO FUNZIONALE	MATERIALI IMPIEGABILI	CARATTERIZZAZIONE PROGETTUALE
accessorio	IMPIANTO D'IRRIGAZIONE	aspersione micro-irrigazione micro-irrigazione a spruzzo	in base al regime di vento presente nel sito ed alla vegetazione prevista
	IMPIANTO DI SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE	lattonomie in rame lattonomie in alluminio	in dipendenza del coefficiente di deflusso
	ANCORAGGIO	varie	controventatura per inverdimenti a specie arbustive
	TRATTENIMENTO	elementi rompitratta solidali alla copertura	in base alla tipologia di strato colturale

La predisposizione di un **impianto irriguo** è una prerogativa riferibile alle coperture verdi **intensive**: le specie vegetali impiegate in queste installazioni necessitano di maggiori volumi d'acqua per il proprio **sostentamento**.

Le tipologie di distribuzione dell'acqua si riferiscono a sistemi ad **aspersione** (con erogatori fissi operanti ad alta pressione) e a **micro-irrigazione** (erogazione diretta all'apparato radicale, ad impulsi e portate preregolate).

Energia e comfort

Una copertura verde è un sistema ad **elevata complessità**, costituito da **strati funzionali eterogenei** nei quali varia il contenuto d'umidità, coerentemente con le funzioni svolte in analogia ad un suolo naturale, ossia il sostentamento mediante elementi nutritivi, la traspirazione degli strati vegetale e colturale, l'accumulo idrico. Allora, le **prestazioni di isolamento termico** ed **inerzia termica** sono dipendenti, in uno specifico periodo, da fattori climatici quali:

- **intensità di precipitazioni;**
- **radiazione solare;**
- **temperatura dell'aria esterna.**

Definire il comportamento energetico di una copertura verde basandosi sulle prestazioni dei singoli strati funzionali nelle condizioni più sfavorevoli di umidità porta ad attribuirvi **prestazioni decisamente inferiori** rispetto a quelle desumibili dalle sperimentazioni.

MATERIALE	CONDUCIBILITÀ TERMICA [W / m·K]	RESISTENZA TERMICA DI RIFERIMENTO [m ² · K / W]	SPESSORE MINIMO [cm]
Pannelli di sughero espanso	0,040 ÷ 0,045		12 ÷ 14
Lastre di polistirene espanso	0,036 ÷ 0,040		10 ÷ 12
Pannelli di lana di roccia	0,034 ÷ 0,038	3,00	10 ÷ 12
Legno di abete ⁽¹⁾	0,100 ÷ 0,120		30 ÷ 35
Strato colturale per verde pensile ⁽²⁾	0,400 ÷ 0,900		120 ÷ 300

(1) Si assume un contenuto medio di umidità del legno pari al 15%; ogni punto percentuale di umidità in più aumenta la conduttività termica di un valore pari all' 1,2% del valore base.

(2) Si assume un grado di saturazione del terreno pari al 50% (per la definizione si faccia riferimento alla nota 31 al presente capitolo).

Energia e comfort

In una formulazione di prestazioni tecnologiche, una copertura verde consiste in un sistema complesso di strati funzionali, in cui gli **effetti significativi** dal punto di vista della prestazioni energetiche sono esplicitati sostanzialmente dai seguenti:

- strato **vegetale**;
- strato **colturale**;
- strato di **isolamento termico**, nelle soluzioni dette a 'tetto caldo';
- strato **portante** o di supporto strutturale.

La mutua interazione di questi strati definisce i complessi **meccanismi di scambio termico** dei diversi livelli di una copertura verde, di tipo conduttivo, convettivo, radiativo e latente. Le modalità di scambio termico sono diversamente attribuibili agli strati funzionali sopra citati, influenzando sui parametri progettuali necessari a descrivere le prestazioni energetiche di una copertura verde.

PARAMETRI SIGNIFICATIVI				
STRATO	ombregg.	contenuto d'umidità	conducib. termica	peso
vegetale	● ■ ◆	▲ ● ◆		
colturale		▲ ● ◆	▲	▲
isolamento termico			▲	
portante o di supporto strutturale			▲	▲

TIPOLOGIA DI SCAMBI:

▲ CONDUTTIVO; ● CONVETTIVO; ■ RADIATIVO; ◆ LATENTE.

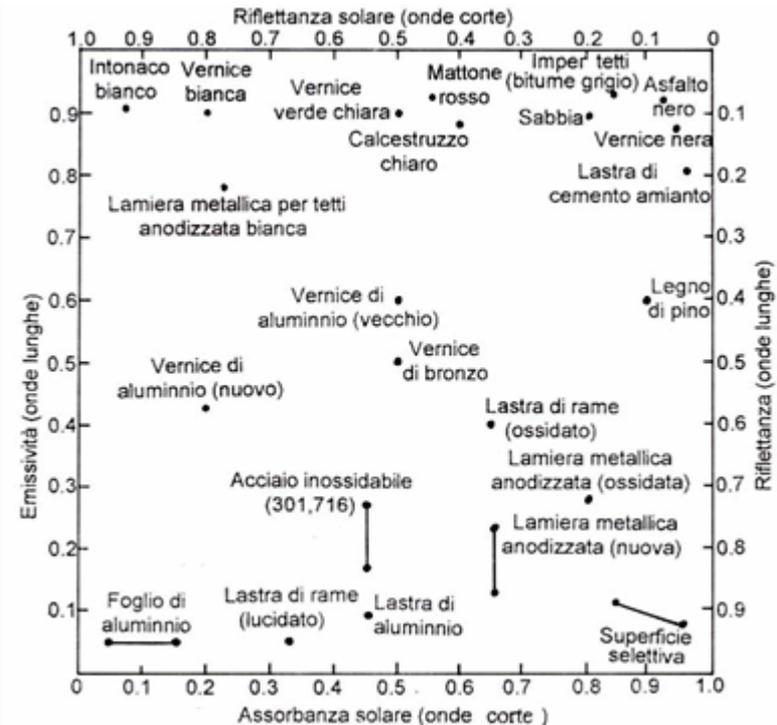
Energia e comfort

La progettazione dello strato vegetale considera anche i diversi tipi di scambio termico ad esso afferenti:

- scambi termici **radiativi**, riferiti al **controllo dell'irraggiamento solare** (in funzione dell'essenza vegetale) ed all'assorbimento nello strato stesso;
- scambi **convettivi** tra lo **stato vegetale**, il **suolo** e l'**ambiente esterno** per mezzo dell'aria interposta;
- scambi termici per **evapotraspirazione** degli apparati fogliari e della vegetazione a livello di terreno.

Uno dei principali parametri che influenzano le prestazioni offerte da uno strato vegetale è l'indice di area fogliare **LAI** (dalla letteratura anglosassone **Leaf Area Index**), pari al rapporto tra lo sviluppo complessivo dell'area delle foglie e la superficie vegetata: tale parametro costituisce la sintesi per misurare l'effetto dello strato vegetale sugli **scambi evapotraspirativi** e sul **controllo della radiazione solare**.

Proprietà emissive di diversi materiali impiegati in edilizia (fonte Grosso M. et al.)



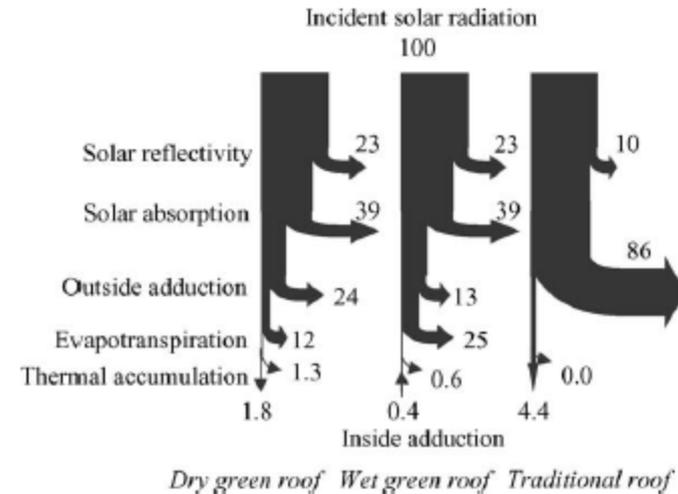
L'albedo delle superfici vegetali, in media compreso nell'intervallo 0,20 ÷ 0,35, aumenta in base a specifiche condizioni climatiche, al LAI e all'intensità di colore.

Energia e comfort

La componente di flusso termico latente dovuta ai processi evapotraspirativi svolge un ruolo importante nella stagione estiva; in condizioni di siccità dello strato colturale, una copertura verde può **ridurre del 60% il carico termico trasmesso agli ambienti sottostanti** rispetto ad una soluzione tradizionale mediamente isolata; in condizioni di saturazione, il flusso termico entrante può addirittura invertirsi, connotando la copertura verde come sistema di **raffrescamento passivo** innescato dall'evapotraspirazione.

Lo strato colturale è responsabile di comportamenti energetici dipendenti dal proprio spessore, dal tipo di installazione verde e dalla composizione. I composti utilizzati per la realizzazione di strati vegetali possiedono una **ridotta massa volumica** ($8 \div 9 \text{ kN/m}^2$) e una ridotta percentuale di materia organica, arricchita da humus e materiali quali **pomice frantumata** o **pozzolana**: la **conducibilità termica** degli strati colturali è quindi **inferiore** a quella del **suolo naturale**.

Valutazione percentuale degli scambi energetici attraverso una copertura verde nel Nord Italia (fonte Lazzarin R. M. et al.)



I principali effetti energetici correlati allo strato colturale sono inerenti la **prestazione estiva** della copertura, in quanto si riferiscono alla sua **inerzia termica** complessiva.

Energia e comfort

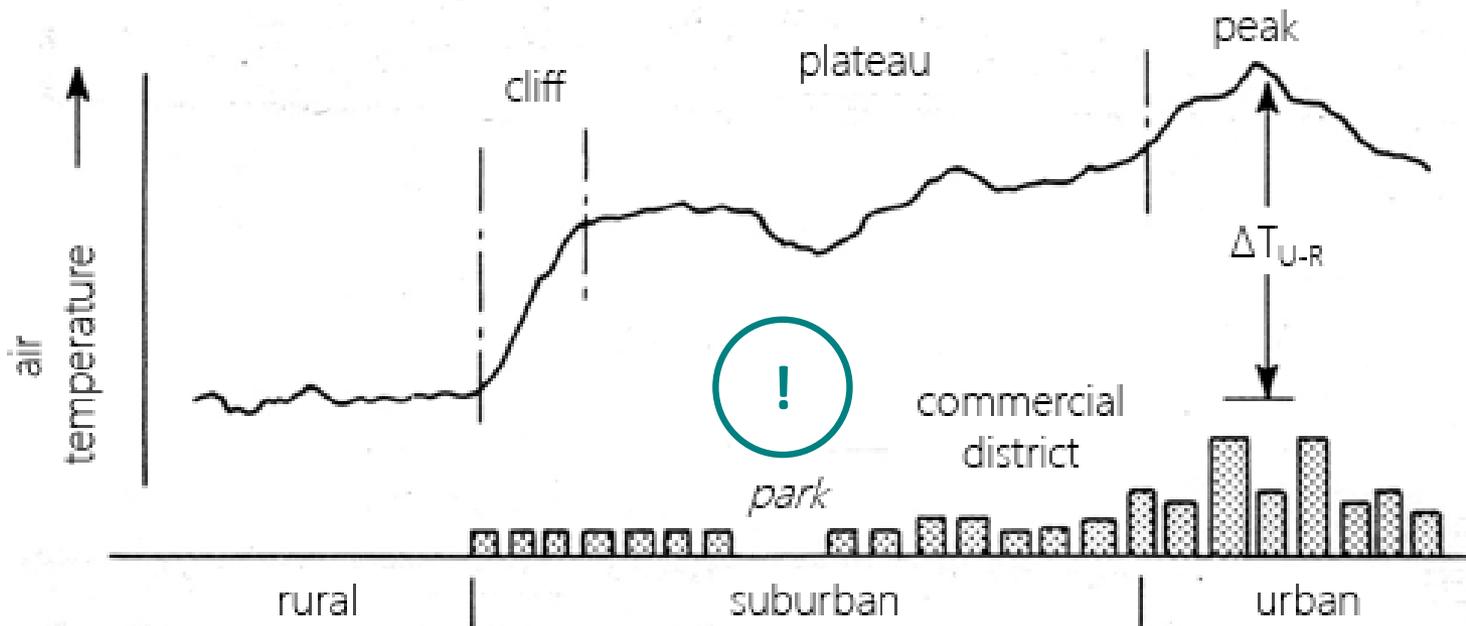
STRATO FUNZIONALE	INCIDENZA SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE NELLA STAGIONE	
	INVERNALE	ESTIVA
vegetale	riduzione scambi termici convettivi aumento dei fenomeni traspirativi con conseguente incremento dei flussi termici	riduzione radiazione solare incidente sulla copertura per ombreggiamento (con LAI ≥ 3) dispersione del calore per fenomeni evapotraspirativi
colturale	aumento della resistenza termica rispetto a coperture non isolate prestazioni di isolamento termico non superiori alle coperture isolate conducibilità termica variabile in funzione del contenuto d'umidità contributo trascurabile per spessori contenuti e significativo solo per inverdimenti intensivi	riduzione flusso di calore in ingresso rispetto a coperture non isolate riduzione della temperatura alla base dello strato rispetto ad una copertura tradizionale necessità di elevato contenuto idrico per dissipare energia latente
termoisolante	necessario per ottenere adeguati valori di resistenza termica	prestazione significativa in funzione del materiale che lo costituisce
portante	prestazione variabile in funzione del materiale costituente	effetti di inerzia termica in funzione della massa superficiale

Mitigazione del microclima

Alla scala di edificio, in estate la temperatura superficiale di una copertura esposta al sole può **superare i 70 °C** in presenza di manti impermeabili di colore scuro (es. guaine nere in bitume o ardesia); anche manti aventi una minore frazione assorbita possono presentare elevate temperature in giornate estive terse in cui è continuo l'irraggiamento.

Il fenomeno cosiddetto dell' **'isola di calore'**, l'incremento sensibile della temperatura dell'aria sugli insediamenti di medie e grandi dimensioni, rappresenta una problematica tipica dei contesti fortemente antropizzati, dovuta a:

- differenti **caratteristiche morfologiche** dei **suoli**;
- diversa **massa termica** degli **oggetti antropici**.



Distribuzione delle temperature nell'isola di calore urbana (adattamento da Oke T. R., 1987).

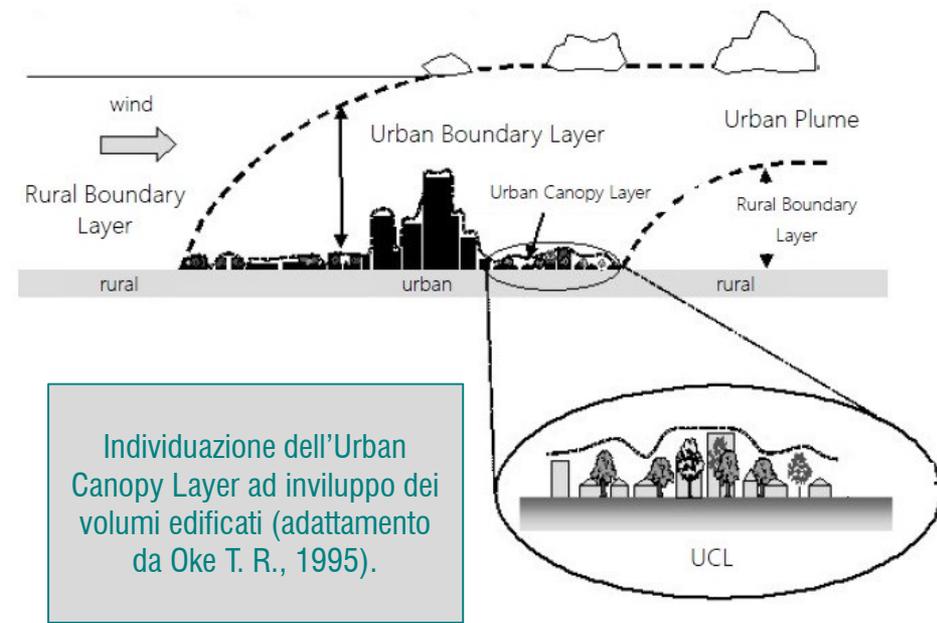
Mitigazione del microclima

In prossimità di un insediamento di grandi dimensioni, è possibile riscontrare una discontinuità nello strato atmosferico a diretto contatto con la superficie terrestre (nella letteratura anglosassone il **Planetary Boundary Layer** è la porzione verticale di atmosfera nella quale si concentrano le attività e le conseguenti modificazioni da esse indotte), definita **Urban Boundary Layer**: al suo interno, lo strato che involupa i volumi edificati si definisce **Urban Canopy Layer**.

La distorsione del bilancio termico in ambito urbano origine dell'effetto isola di calore dipende da diversi fattori:

- geometria del tessuto urbano, in particolare in presenza di **canyon urbani**;
- **sostituzione** delle **superfici verdi** originarie con superfici **impermeabili**, a ridotto coefficiente di riflessione solare;
- **capacità termica** e grado di **finitura superficiale** dei materiali impiegati.

In contesti di grande densità abitativa, l'analisi dei dati relativi alla distribuzione delle temperature nel periodo invernale e primaverile su scala urbana, rapportata alla posizione delle aree verdi inserite nel tessuto urbano, rivela che in questi ultimi siti si verificano locali abbassamenti della temperatura.

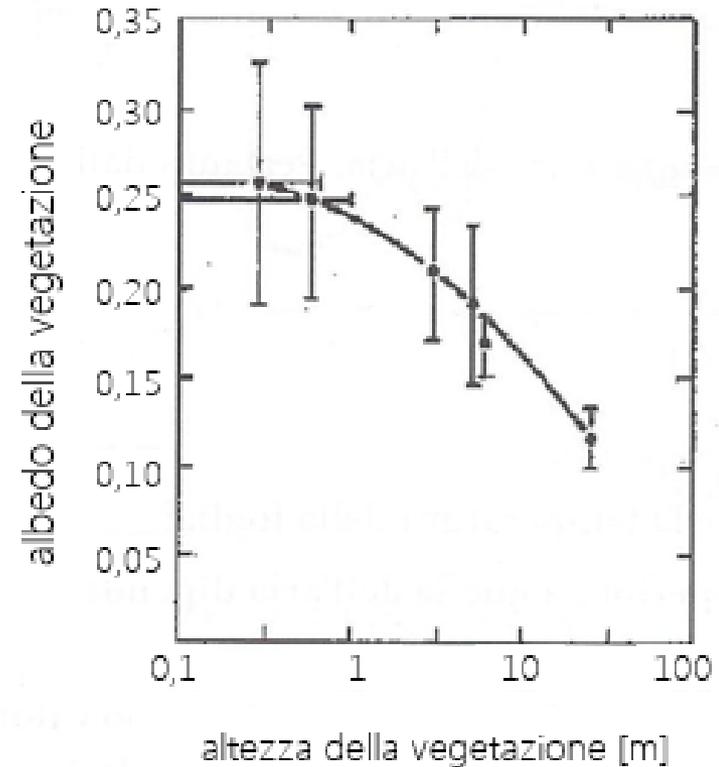


Mitigazione del microclima

All'interno dell'*Urban Canopy Layer*, quindi, la presenza di una zona verde porta ad una **riduzione sensibile della temperatura dell'aria**: l'efficacia di superfici trattate a verde, **comprese** quelle poste in **copertura agli edifici**, a scala di edificio, è comunque maggiore nel contenimento dei consumi energetici che non nel contrasto all'isola di calore urbana. Per questo motivo, il miglioramento del microclima urbano deve essere perseguito operando a tre diverse scale:

- la pianificazione territoriale;
- la pianificazione urbana, (controllo dell'interazione tra sollecitazioni ambientali e costruito);
- la progettazione architettonica, laddove le coperture verdi rappresentano una possibile soluzione per la riduzione delle temperature superficiali.

Se la presenza di aree verdi in ambito urbano, anche poste in copertura ai volumi edificati, permettono di migliorarne il bilancio energetico, il contributo dovrebbe essere **integrato alle scale più ampie**.



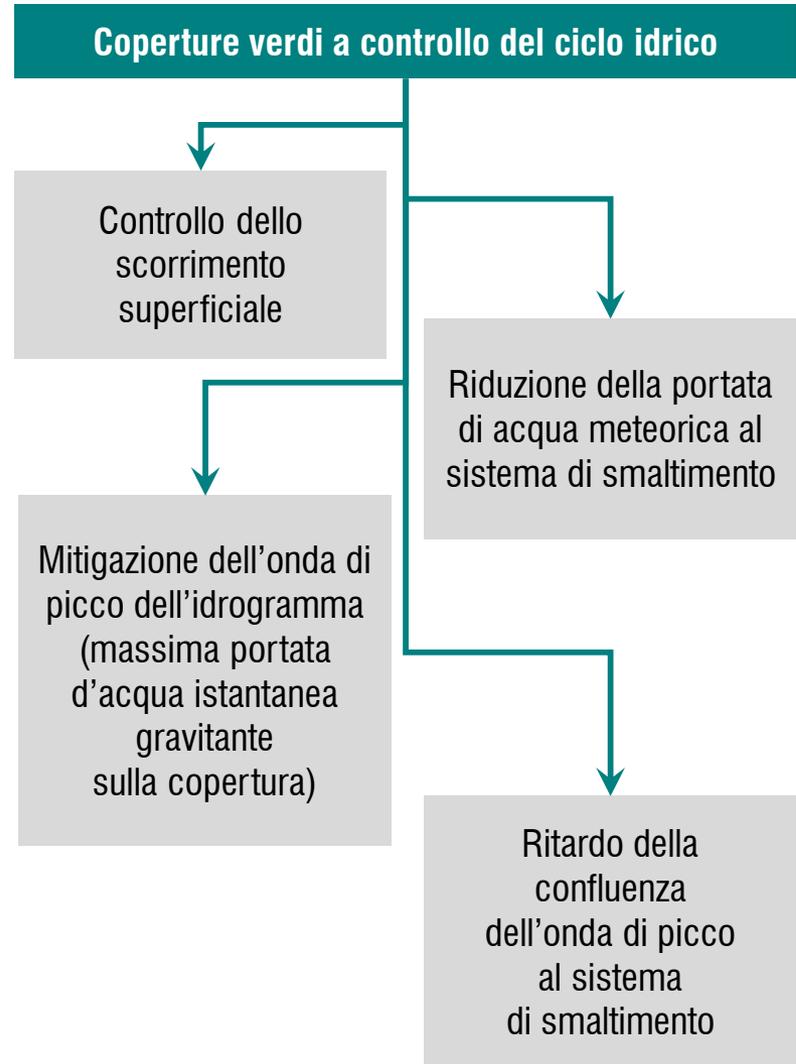
La variazione dell'albedo in funzione dell'altezza media della specie vegetale (adattamento da Oke T. R., 1987).

Controllo del ciclo idrico

La prestazione più efficace delle coperture verdi rapportata ad altre soluzioni tecnologiche di copertura – è il **controllo** del **deflusso delle acque meteoriche**, per lungo tempo motivo della mancata diffusione ed attenzione progettuale nei confronti del verde pensile: la linea operativa più diffusa era basata sul principio che l'acqua meteorica dovesse essere rapidamente allontanata dalle coperture.

SUOLO	PORTATA DI DEFLUSSO [l/(sec · km ²)]		VARIAZIONE
	PERIODI SICCITOSI	PERIODI PIOVOSI	
terreno naturale con bosco	120	200	80 [+ 66 %]
terreno improduttivo	80	300	220 [+ 275 %]
urbanizzato	40	700	660 [+ 1650 %]

Una delle principali funzioni efficacemente svolte dalle coperture verdi riguarda perciò il controllo delle modalità di deflusso delle acque meteoriche.

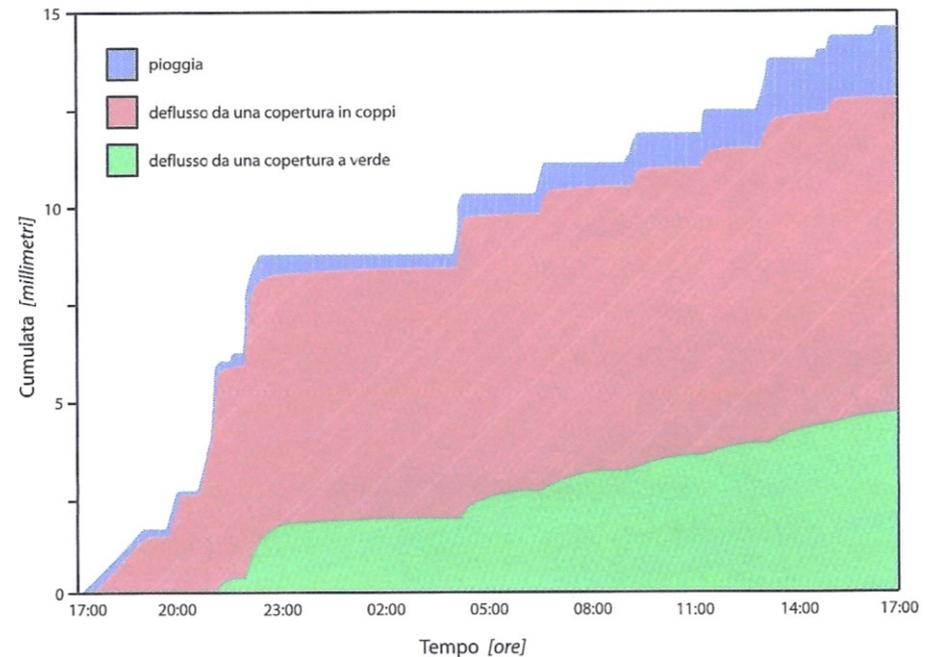


Controllo del ciclo idrico

La regimazione idrica consentita da una copertura verde avviene attraverso i processi di immagazzinamento che regolano la dispersione in atmosfera, mediante i fenomeni evapotraspirativi per una quota che può superare il 60% del volume precipitato, e con il rilascio al sistema di drenaggio di una **frazione** del volume di acqua meteorica, dipendente dall'inclinazione della copertura stessa:

- gli effetti di **detenzione** sono misurati determinando il rapporto tra il picco dell'idrogramma in uscita da una copertura sigillata e quello in uscita dalla copertura verde;
- gli effetti di **ritenzione** sono correlati al volume d'acqua ritenuto.

Parametro essenziale per la quantificazione di questi effetti è il **coefficiente di deflusso ψ** , definito come il rapporto tra il volume d'acqua uscente dalla copertura ed il volume d'acqua gravitante su di essa, nello stesso intervallo di tempo.



Effetto di ritenzione di una copertura verde alla scala di singolo evento meteorico (Giacomello E., 2011, pag. 90).

Controllo del ciclo idrico

L'**efficacia** nel **controllo** del **deflusso** offerta dalle coperture verdi è molto **ridotta** per **precipitazioni di forte intensità**: uno strato colturale in **condizioni prossime alla saturazione** all'inizio di un evento meteorico può ricevere soltanto una quota ridotta del volume prodotto.

Alle **scale temporali brevi** (singolo evento meteorico) influenzano la prestazione della copertura verde:

- il **contenuto di umidità** dello strato colturale;
- l'**altezza di pioggia** prodotta dalla precipitazione.

Considerando invece le prestazioni su scala temporale più ampia, i fattori significativi sono i **processi evapotraspirativi** che interessano la vegetazione e la **tecnologia costruttiva** dell'elemento tecnico:

- lo **spessore** complessivo della copertura, con particolare riferimento allo strato colturale e alla capacità dello strato di accumulo idrico;
- l'**inclinazione** dell'estradosso di copertura;
- lo **sviluppo** degli **apparati fogliari**.

SUOLO	NOTE	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO ψ
verde pensile estensivo ⁽¹⁾	strato colturale < 15 cm	0,45
verde pensile intensivo leggero ⁽¹⁾	strato colturale < 25 cm	0,35
	strato colturale < 35 cm	0,25
verde pensile intensivo ⁽¹⁾	strato colturale < 50 cm	0,20
	strato colturale > 50 cm	0,10
verde pensile estensivo ⁽²⁾	strato colturale < 10 cm	0,55
verde pensile intensivo leggero ⁽²⁾	strato colturale < 15 cm	0,50
coperture metalliche		0,90 ÷ 0,95
coperture zavorrate con ghiaia		0,70
coperture con pavimento sospeso		0,80
lastrici solari sigillati		0,80
manti di copertura discontinui		0,90
superfici verdi su suolo naturale		0,10
terreno degradato, sterrati		0,20

⁽¹⁾ IN PRESENZA DI STRATO DRENANTE E CON UN'INCLINAZIONE MASSIMA DI 12°.

⁽²⁾ COPERTURE SU FALDA INCLINATA.

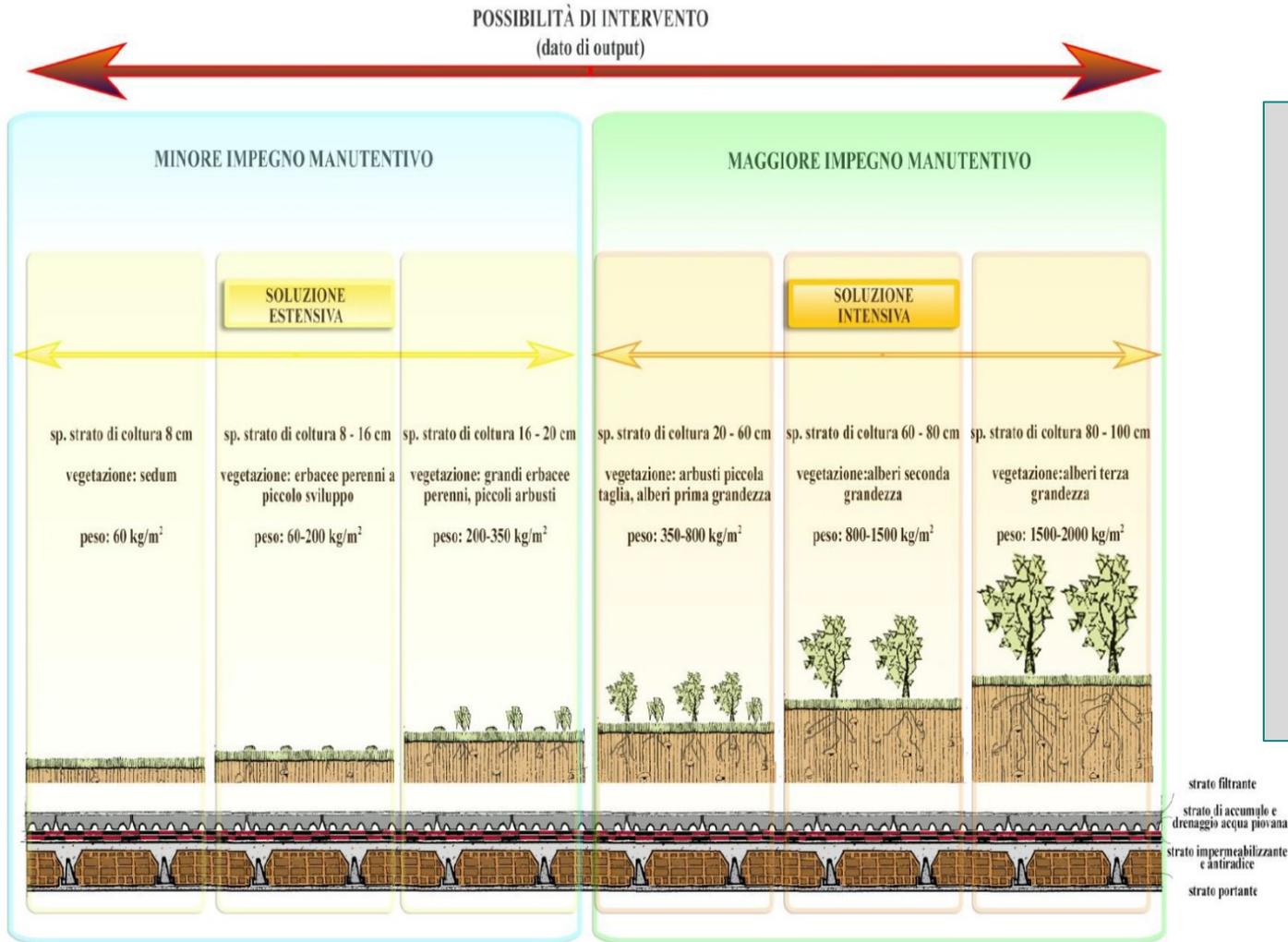
Implicazioni strutturali sull'esistente

La parziale trasformazione di una copertura per inverdimento, **subordinata in primis alla capacità portante residua dello strato portante**, consta nella sostituzione degli strati funzionali originari con nuovi strati – tipici di una soluzione a verde estensivo – che globalmente portano ad un maggiore contenimento dei consumi energetici ed a un incremento delle prestazioni ambientali dell'involucro edilizio.

Con riferimento alle prestazioni dello strato portante la norma tecnica UNI 11235 richiede l'**individuazione del carico permanente agente in copertura**, valutando i materiali costituenti gli strati funzionali e ipotizzandone, a favore di sicurezza, le **condizioni di saturazione**; le prestazioni meccaniche derivanti dal comportamento dell'elemento tecnico di copertura negli edifici esistenti sono riferibili a due diverse scale.



Implicazioni strutturali sull'esistente



Rappresentazione della variazione delle specie vegetali, dei pesi e degli spessori nelle diverse tipologie di copertura verde (fonte: tesi di laurea magistrale di Olaf Simonettig)

Implicazioni strutturali sull'esistente

Operando su edifici esistenti, determinare l'entità del sovraccarico applicabile – e, più in generale, la capacità del sistema strutturale di 'sopportare' una copertura verde – risulta un'azione fondamentale nella determinazione delle specifiche del progetto, che può portare a ridurre il novero delle soluzioni tecnologiche applicabili o addirittura ad escluderne la realizzazione, a meno di **interventi** di **rinforzo** ed **irrigidimento strutturale** significativi: **in sistemi strutturali esistenti**, è privilegiata la **tipologia estensiva**, che si esplicita con un minore spessore ed un, conseguente, minore sovraccarico indotto. Nell'ambito delle nuove costruzioni, la condizione vincolante principale risulta essere di natura economica, ossia il costo dell'intervento di realizzazione della copertura verde. Riferendosi al comportamento globale dell'edificio, la vigente normativa tecnica italiana (Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al D.M. 14 gennaio 2018) individua le seguenti categorie di intervento su edifici esistenti.

CATEGORIE
DI INTERVENTO
SU EDIFICI ESISTENTI
(D.M. 14 GENNAIO 2018)

- Interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle norme tecniche;
- Interventi di miglioramento atti a migliorare la sicurezza strutturale esistente, pur non raggiungendo necessariamente i livelli richiesti dalle norme tecniche;
- Interventi di riparazione, o locali, che interessano elementi tecnici isolati, volti ad un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

OBBLIGATORietà
DELLA VALUTAZIONE
DI SICUREZZA
ED EVENTUALE
ADEGUAMENTO

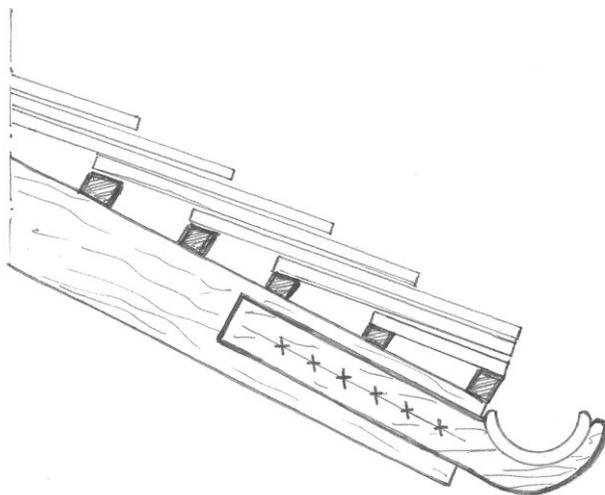
- Sopraelevazione della costruzione;
- Ampliamento della costruzione con opere strutturalmente connesse alla costruzione;
- Variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%; con l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti;
- interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.

6.2

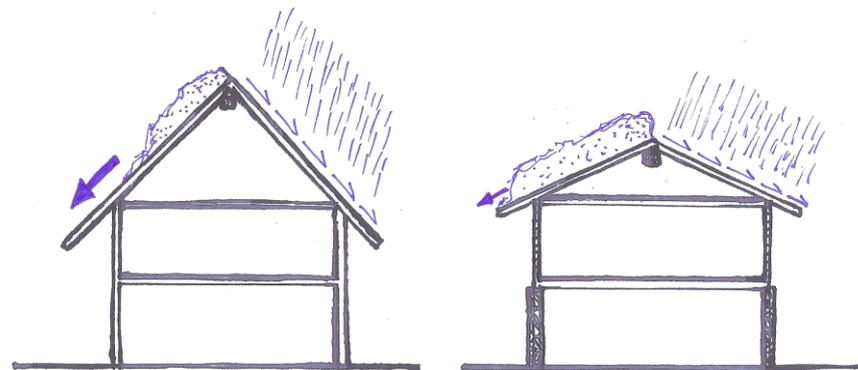
Coperture plane

Rapporto con gli agenti atmosferici

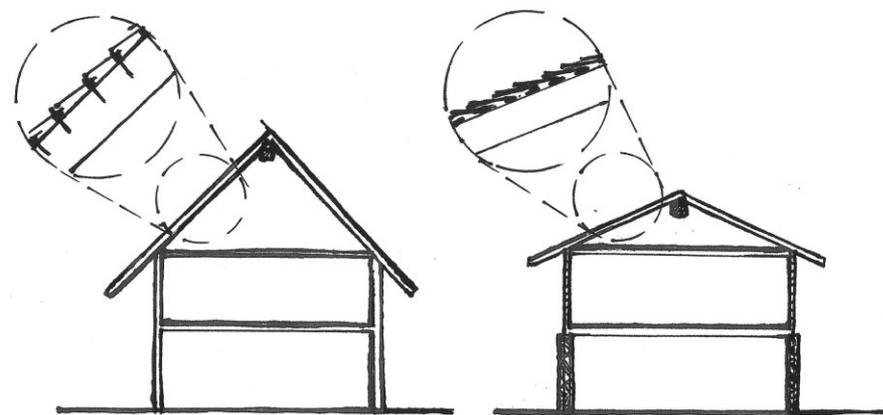
La copertura costituisce l'elemento tecnico d'involucro più **vulnerabile** agli agenti atmosferici e, in generale, alle sollecitazioni provenienti dall'ambiente esterno. Alla luce di ciò, la copertura è caratterizzata da una forte correlazione tra la sua **forma**, i **materiali impiegati** e le **condizioni climatiche** del luogo.



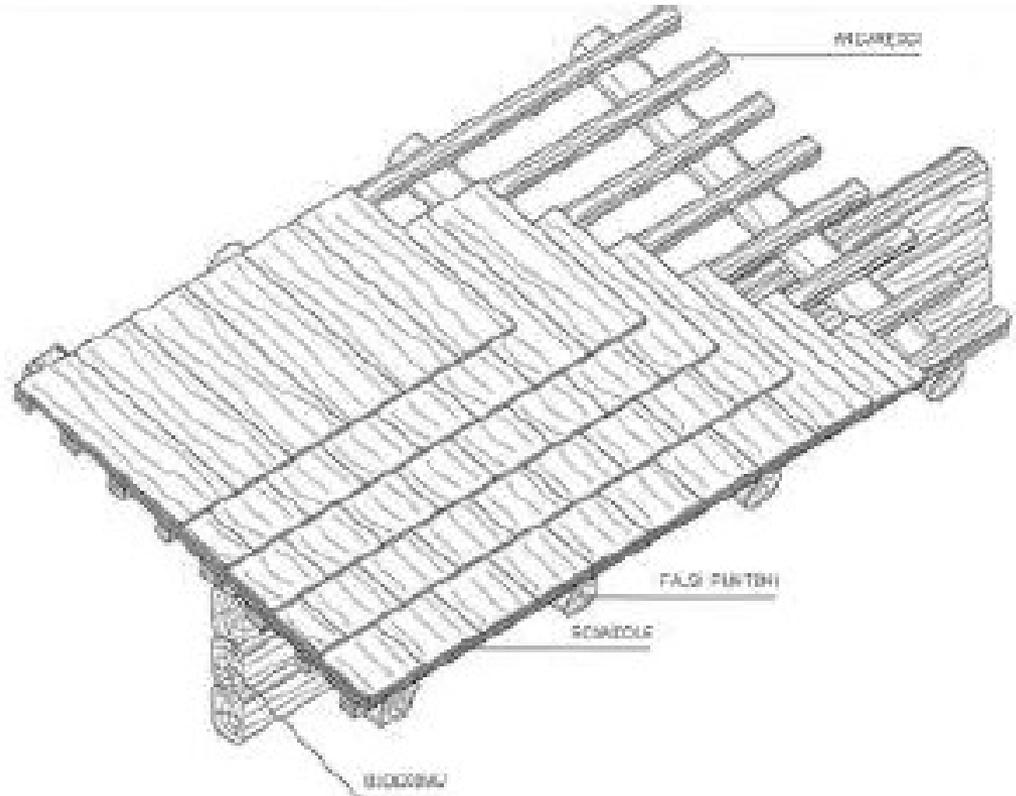
Esempio di manto di copertura in scandole lignee in cui la tenuta all'acqua è assicurata dalla sovrapposizione delle stesse



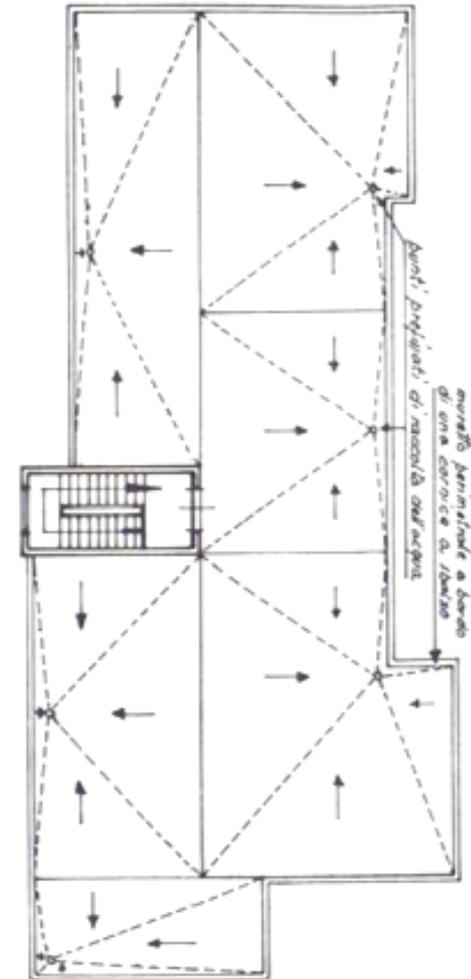
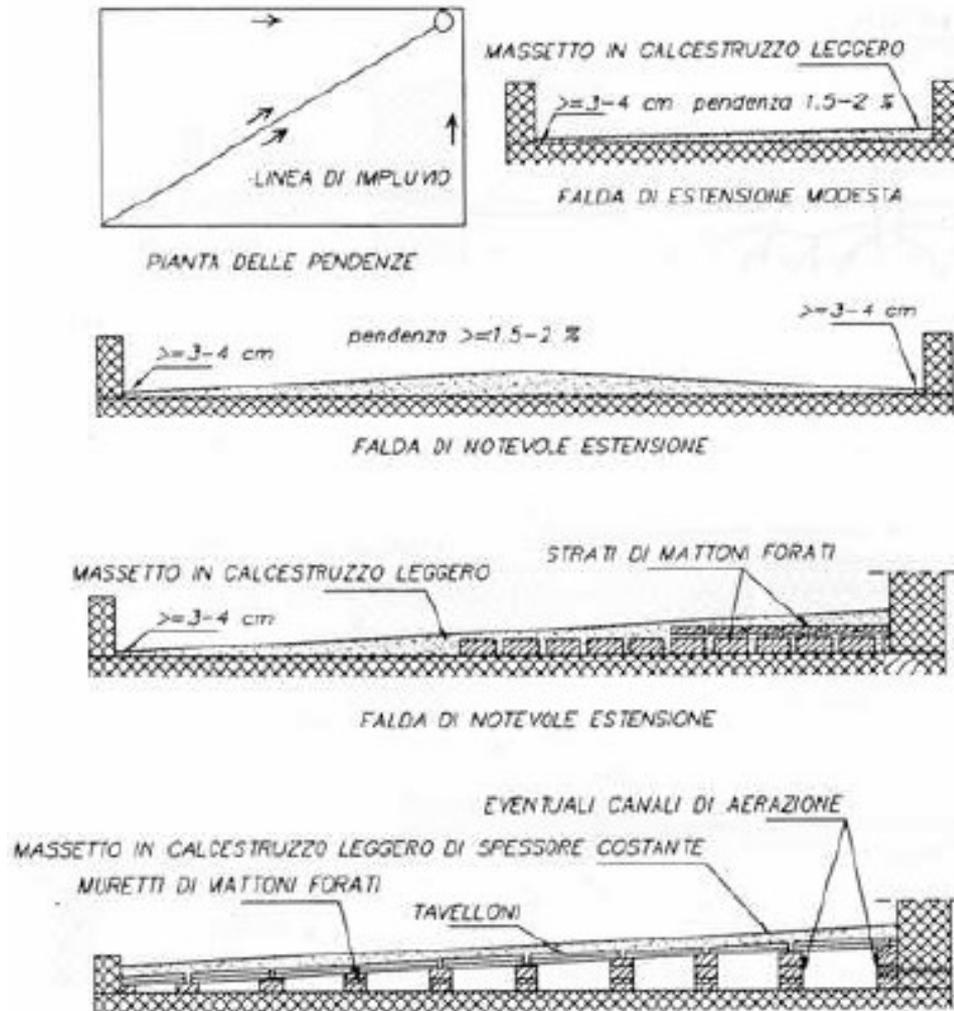
Influenza della pendenza della copertura sulle precipitazioni (sopra) e sulla tipologia di solidarizzazione del manto di finitura



Rapporto con gli agenti atmosferici



Rapporto con gli agenti atmosferici



Coperture piane

Il supporto strutturale è costituito da un **solaio piano**.

Il complesso sistema di impermeabilizzazione consente di ottemperare al requisito di **tenuta all'acqua**, in assenza della **pendenza «costruttiva»** che caratterizza le coperture inclinate.

La funzione, in questo caso, è espletata dallo **strato di pendenza** (non inferiore a 1,5%, non superiore al 3%) che consente altresì di portare l'acqua meteorica al perimetro presidiato dal **sistema di smaltimento**; di norma, lo strato di pendenza è in **conglomerato alleggerito** con densità non superiore a 600 kg m^{-3} .

L'elemento di tenuta («**manto impermeabile**») può collocarsi sulla superficie esterna e, quindi, dover garantire il **requisito estetico**.

FUNZIONI ESPLETATE IN UNA COPERTURA PIANA

smaltimento
dell'acqua

coibentazione termica
e «acustica»

impermeabilizzazione

calpestabilità

Impermeabilizzazione di coperture piane

In origine costituiti da prodotti **catramati** o **bituminosi** (cartoni – cartonfeltri) completati a raccordo da miscele bituminose a caldo, a partire dagli anni '60 iniziò in Italia la produzione di **guaine prefabbricate**. Oggi i manti **impermeabili** sono classificabili in:

- totalmente sintetici (**PVC, poliolefine**);
- composizioni **bitume-polimero**, es. **elastomerici**, con funzione **elasticizzante** e di **resistenza alle basse temperature**.

La membrana è costituita essenzialmente da un elemento impermeabilizzante e da una **armatura in fibre di vetro, rete sintetica** o tessuto **poliestere**.

Per quanto concerne il fissaggio:

- membrane sintetiche possono essere semplicemente posate o fissate **meccanicamente**;
- membrane bitume-polimero sono posate in totale adesione, parzialmente **aderenti** o con **esclusivo fissaggio meccanico**.



Impermeabilizzazione di coperture piane

Flessibilità alle basse temperature

Permeabilità al vapore

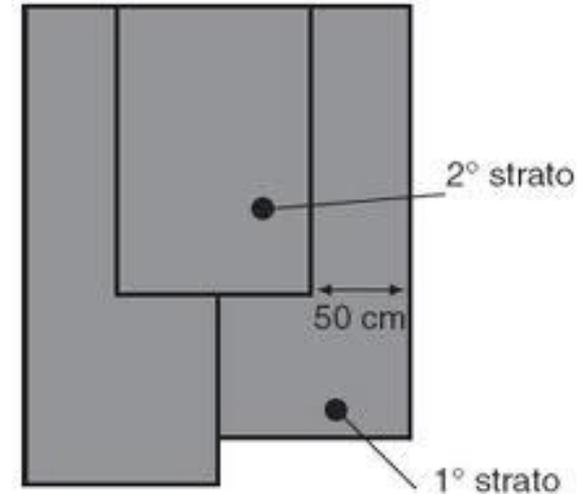
Resistenza meccanica ed agli agenti chimici

Resistenza alle radici

Resistenza all'invecchiamento ed alla fatica

Assenza di ritiro

Resistenza ai raggi ultravioletti



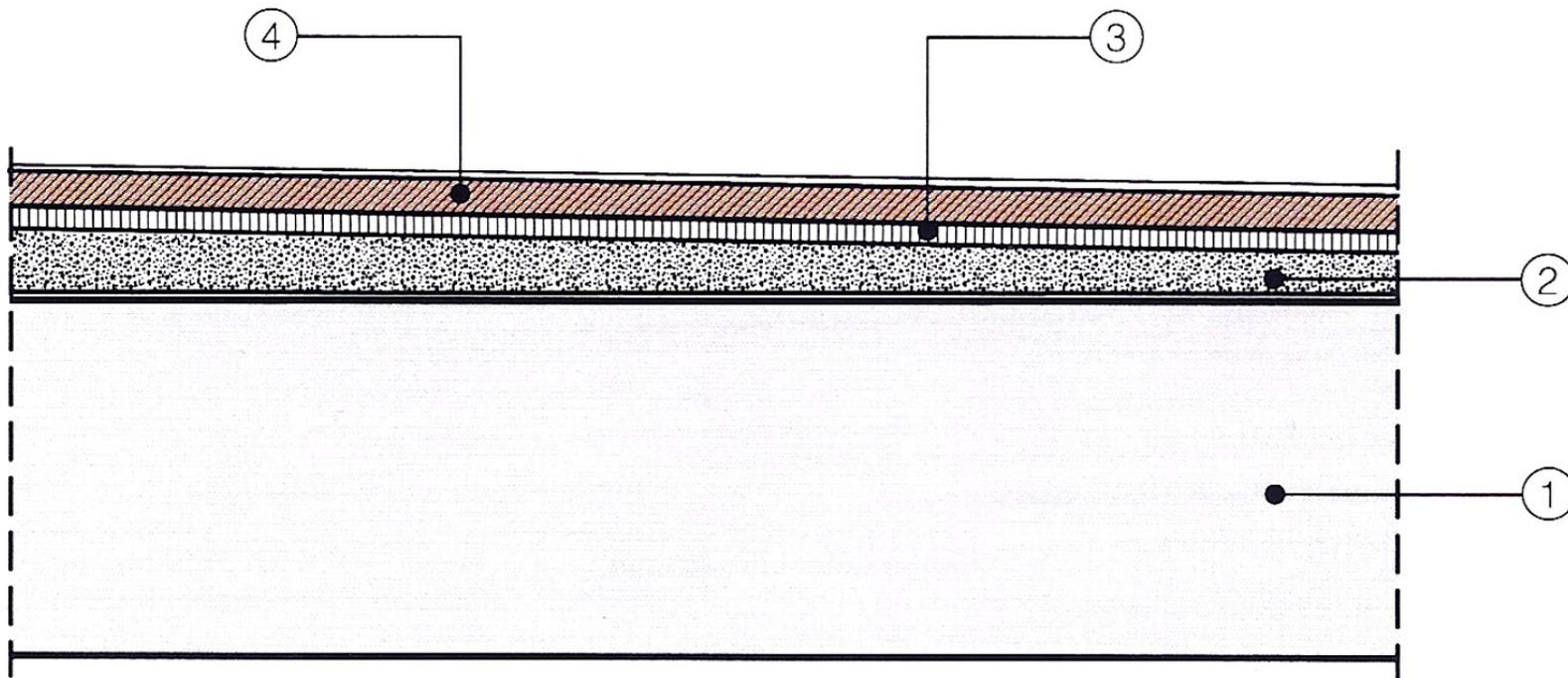
La protezione da assicurare allo strato impermeabile varia in funzione della praticabilità della copertura:

- in coperture **praticabili**, è necessario ricorrere ad un **piano rigido** di camminamento / percorrenza (anche con specifici percorsi) **pavimentato**;
- in coperture **non praticabili**, è possibile ricorrere a pitture **riflettenti**.

Giunti di dilatazione consentono di assorbire le deformazioni dovute alle variazioni di stato termico.



Coperture piane - Soluzioni conformi



1. Strato portante
2. Strato di pendenza
3. Strato di imprimatura (per il consolidamento del piano di posa)
4. Strato di tenuta autoprotetto

COPERTURA NON ISOLATA, NON PEDONABILE

Coperture piane - Soluzioni conformi

Nel tetto rovescio, **l'elemento di tenuta** risulta **protetto dalle sollecitazioni termiche** e pertanto risultano notevolmente attenuati i fenomeni di **deformazione di origine termica**. Al contrario, lo **strato termoisolante** risulta **soggetto** all'azione degli **agenti atmosferici** e devono quindi essere previsti i necessari accorgimenti per garantire il suo corretto funzionamento

Lo strato di isolamento termico dovrà essere realizzato in materiale **scarsamente sensibile all'acqua** e sovrastato da uno **strato di protezione** che funga da zavorra per impedirne l'asportazione ad opera del vento. Nel tetto freddo, un coibente adatto è il **polistirene estruso**.

Lo scorrimento delle acque meteoriche sull'elemento di tenuta determina vantaggi in regime estivo poiché contribuisce al raffreddamento della chiusura e quindi al miglioramento delle condizioni igrotermiche degli ambienti sottostanti.

TETTO FREDDO

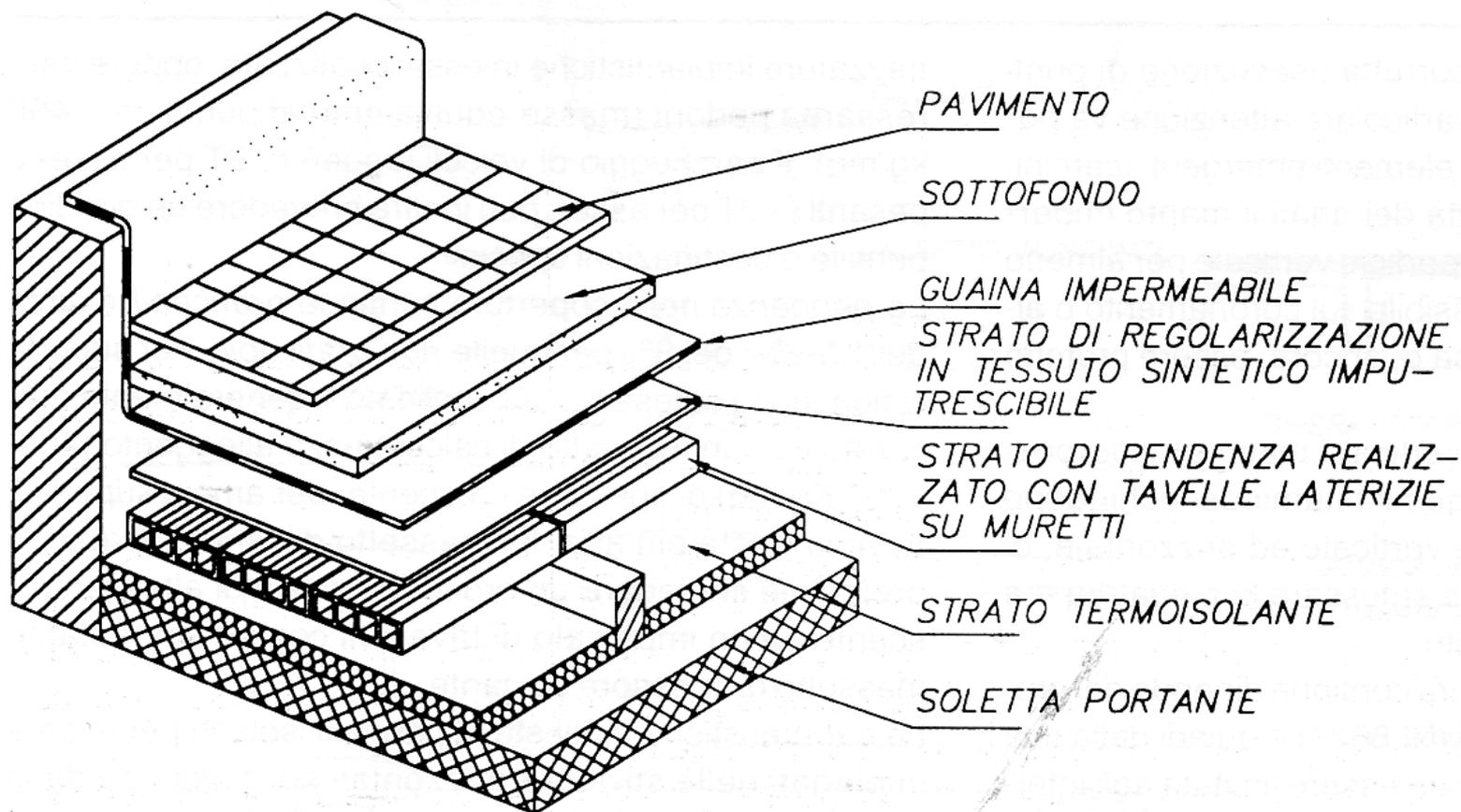
Lo strato di tenuta all'acqua è posto SOPRA allo strato di isolamento termico (se presente), verso l'estradosso della copertura, il quale a sua volta è protetto da uno strato di ventilazione.

TETTO ROVESCIO

Lo strato di tenuta all'acqua è posto SOTTO allo strato di isolamento termico, verso l'intradosso della copertura.

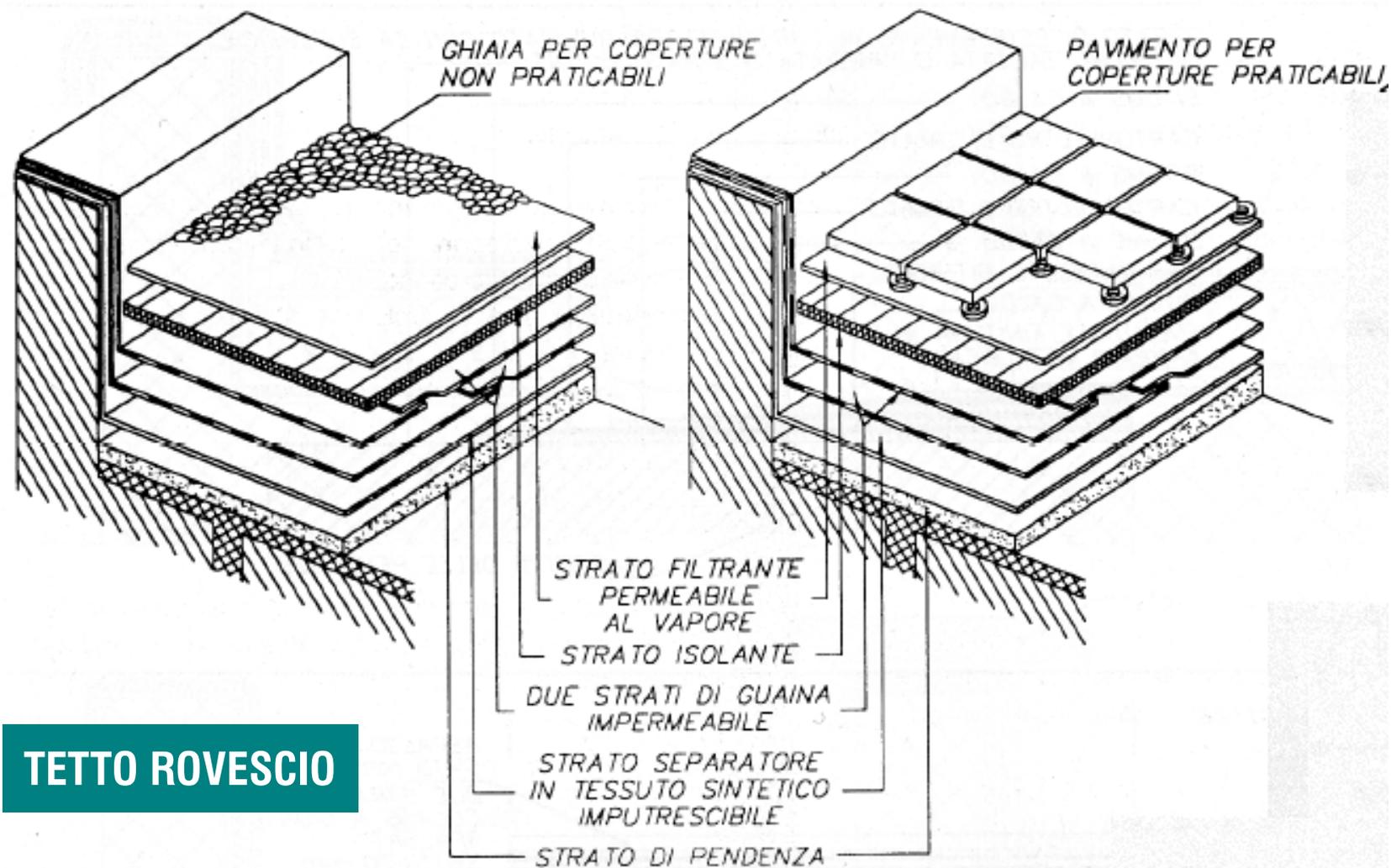
Lo strato termoisolante deve resistere alle sollecitazioni meccaniche indotte. Lo strato di tenuta svolge la funzione di barriera al vapore.

Coperture piane - Soluzioni conformi



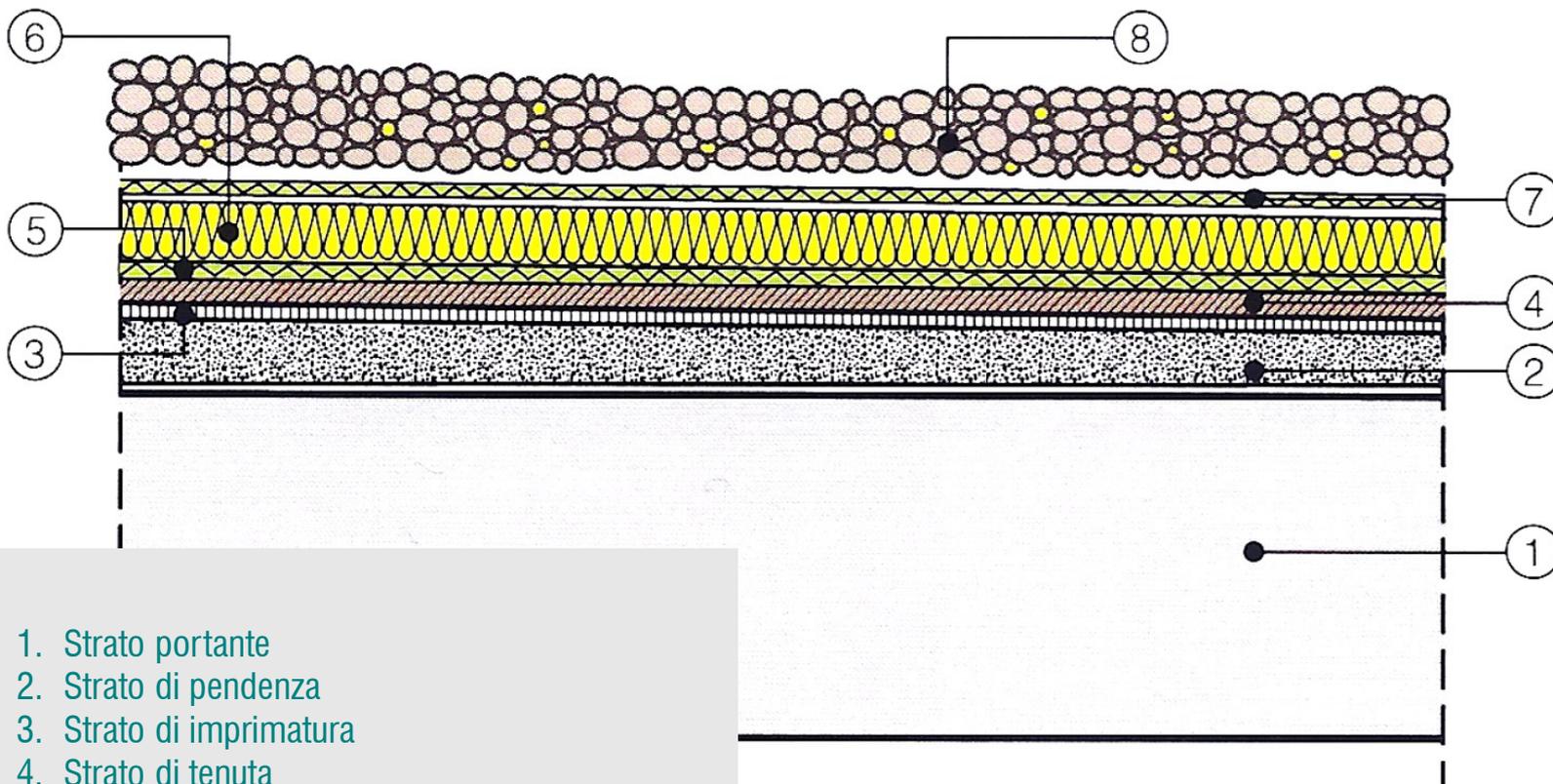
TETTO FREDDO

Coperture piane - Soluzioni conformi



TETTO ROVESCOIO

Coperture piane - Soluzioni conformi



- 1. Strato portante
- 2. Strato di pendenza
- 3. Strato di imprimatura
- 4. Strato di tenuta
- 5. Strato di separazione
- 6. Strato termoisolante
- 7. Strato di separazione
- 8. Strato di zavorramento incoerente

**COPERTURA ROVESCIA NON PEDONABILE
CON ZAVORRAMENTO**

Coperture piane - Soluzioni conformi

In questa configurazione **l'elemento di tenuta** risulta **soggetto al carico termico** dovuto alla radiazione **solare**: l'innalzamento della temperatura che ne consegue determina fenomeni di dilatazione termica dell'elemento di tenuta che deve essere pertanto realizzato con materiali idonei a sopportare i cicli di **dilatazione** e **contrazione** e posto in opera con particolari accorgimenti, il tutto ad **impedire** lo creazione di **lacerazioni**, inammissibili per garantire la caratteristica di impermeabilità dello strato.

Al di sopra dell'elemento di tenuta è presente generalmente uno strato di protezione che può essere realizzato con **trattamenti superficiali** (eventualmente integrati con lo stesso elemento) o con una pavimentazione, per le coperture praticabili.

La pendenza necessaria allo smaltimento delle acque è garantita dallo **strato di pendenza**, generalmente realizzato con un massetto in calcestruzzo posto al di sotto dell'elemento di tenuta.

TETTO CALDO

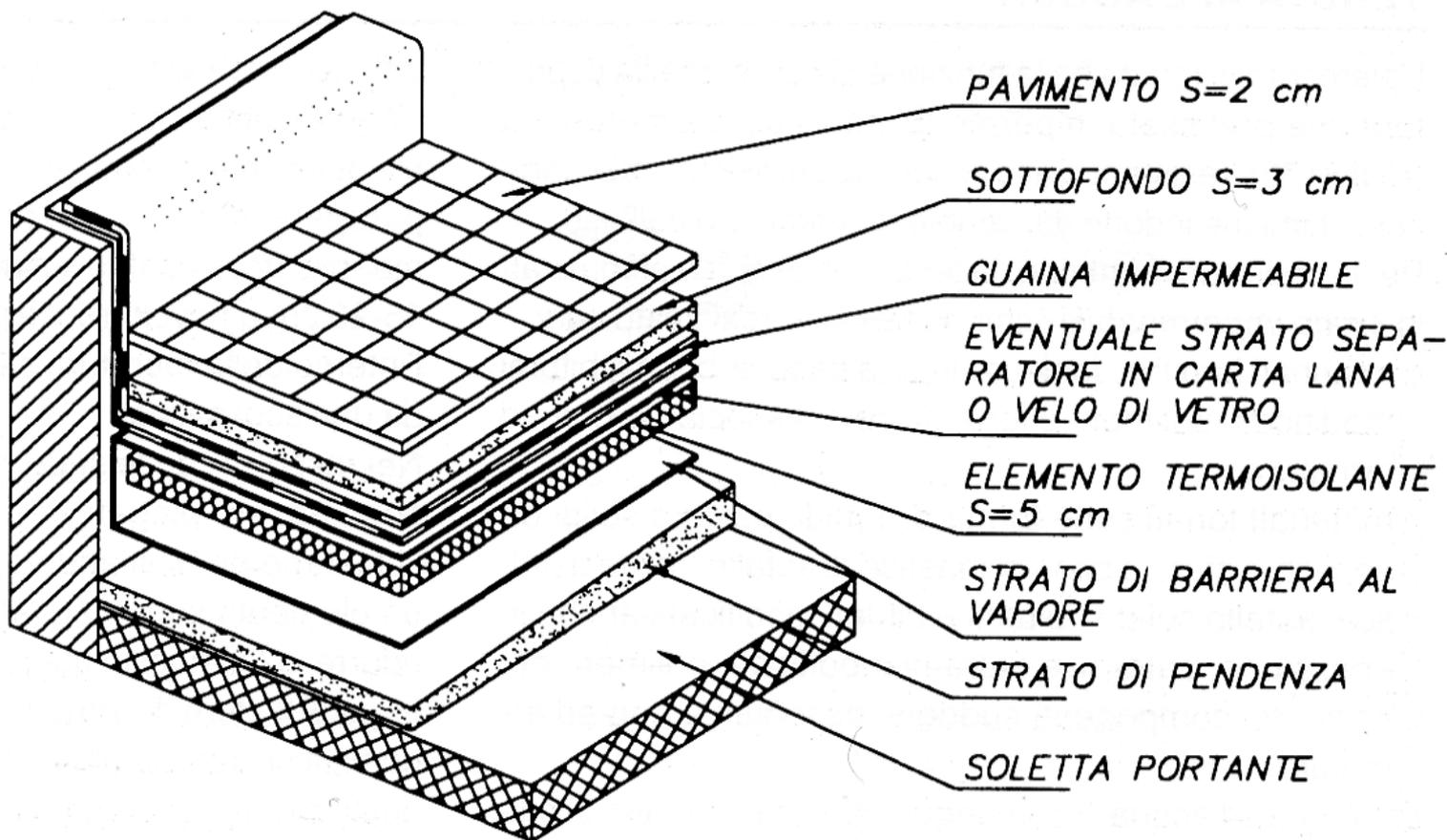
Lo strato di tenuta all'acqua è posto SOPRA allo strato di isolamento termico, verso l'estradosso della copertura.

È necessaria la presenza di uno strato di barriera al vapore che eviti fenomeni di condensazione interstiziale.

TETTO SANDWICH

Si utilizza in contesti in cui è necessario conferire elevate prestazioni di resistenza termica al sistema copertura; in essa sono presenti due distinti strati di isolamento termico ai quali è interposto lo strato di tenuta all'acqua.

Coperture piane - Soluzioni conformi



TETTO CALDO

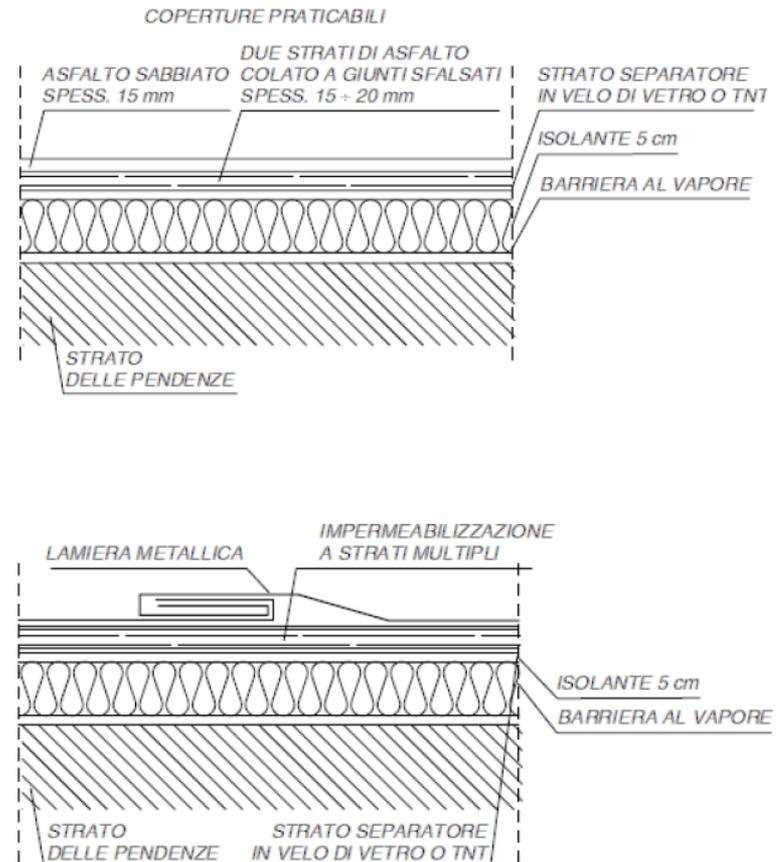
Coperture piane - Soluzioni conformi

È necessario porre molta attenzione alla **successione** degli **strati funzionali** in merito alla loro **permeabilità al vapore**. La regola dell'arte (**UNI EN ISO 13788**, Appendice Nazionale) vorrebbe che:

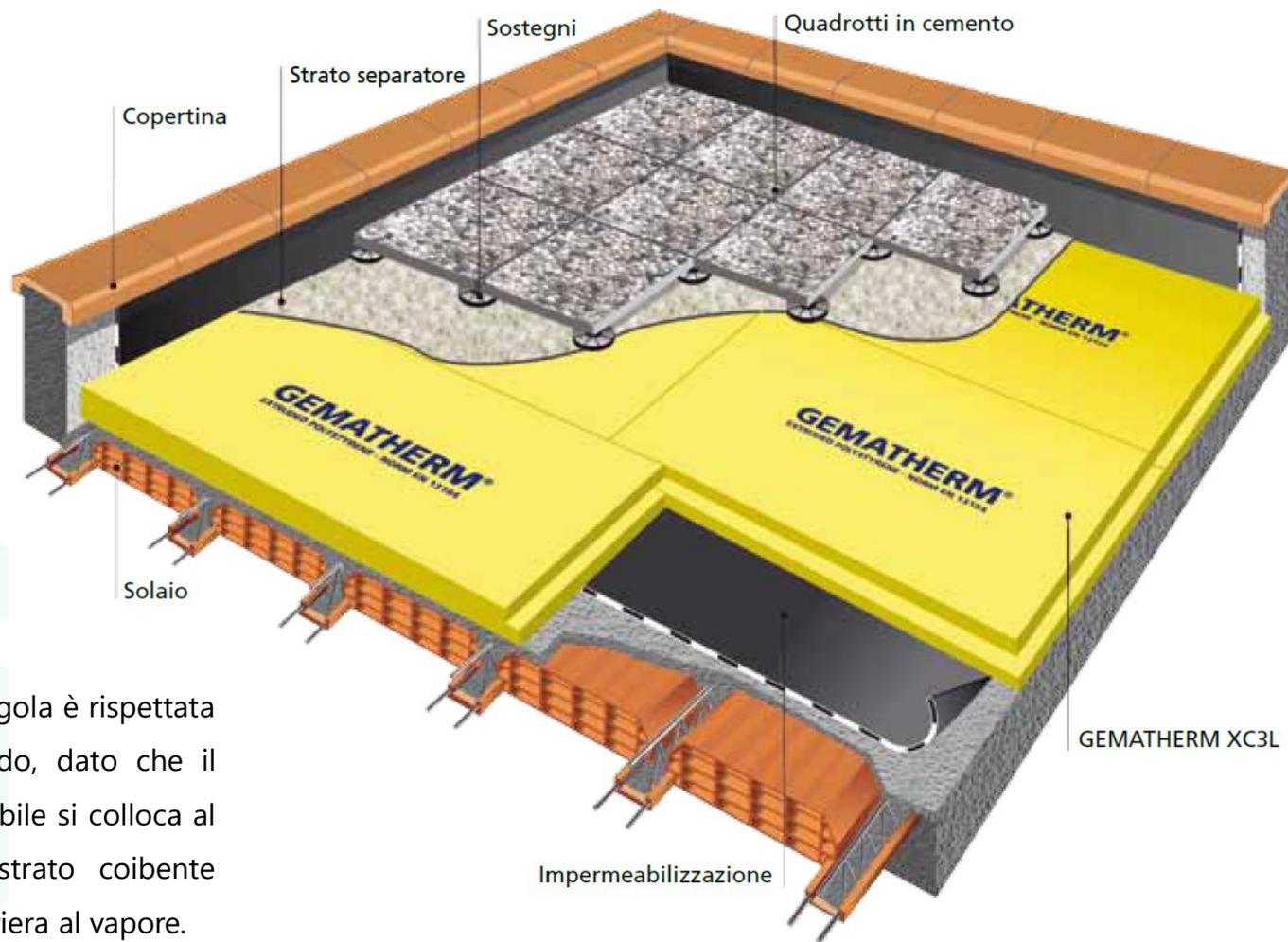
1. gli strati funzionali a maggiore resistenza termica siano posizionati verso l'esterno;
2. gli strati funzionali a maggiore resistenza al passaggio del vapore siano posizionati verso l'interno,

privilegiando quindi un posizionamento degli strati funzionali, **dall'interno verso l'esterno**, con **resistenza termica e permeabilità al vapore crescenti**.

Un manto di copertura impermeabile contrasta con tale regola dell'arte, perciò in questo caso è necessario dotare la soluzione tecnologica di copertura di una affidabile **barriera al vapore**, in posizione **sottostante** lo **strato termoisolante**.

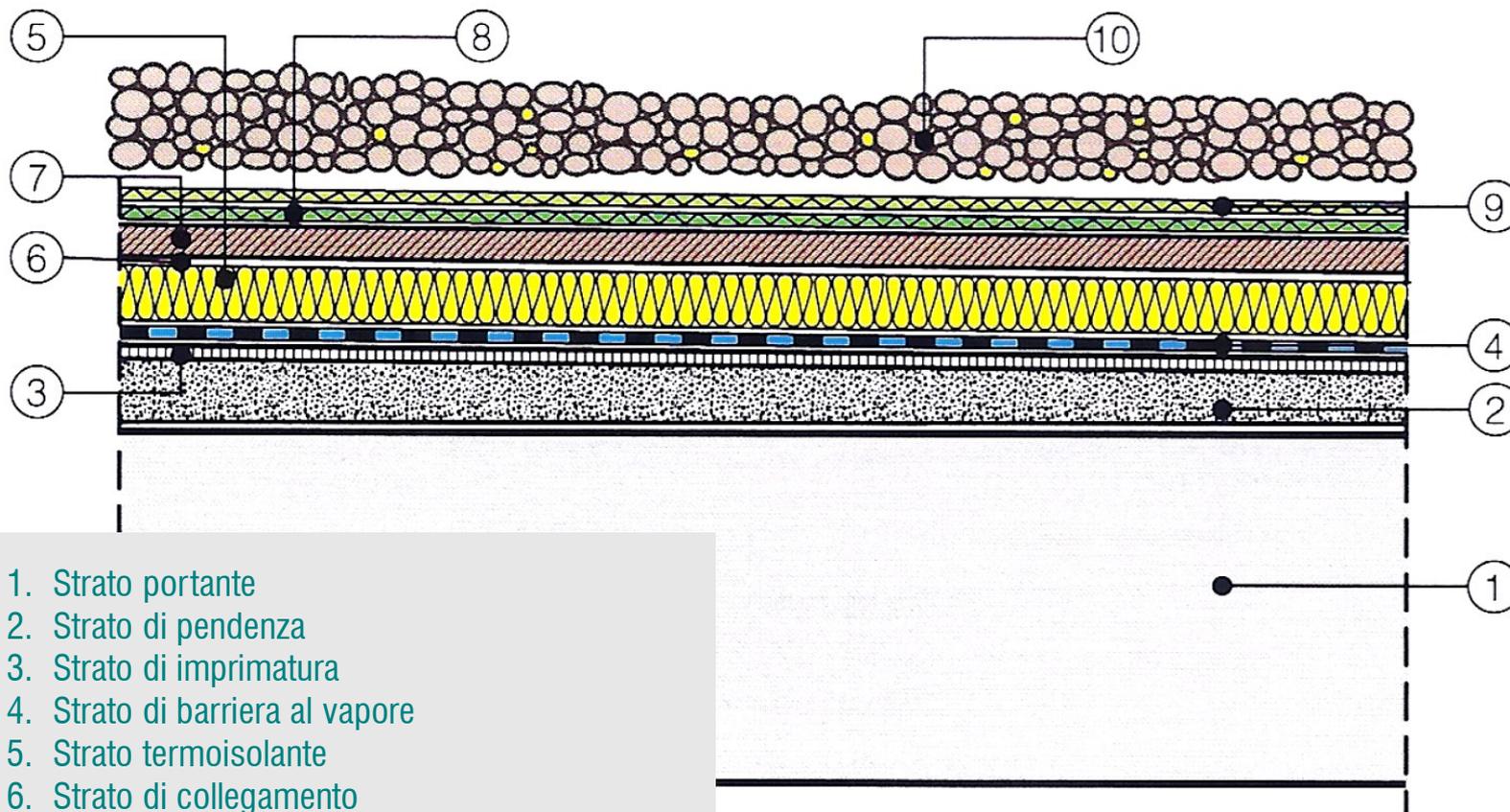


Coperture piane - Soluzioni conformi



Per inciso, tale regola è rispettata in un tetto freddo, dato che il manto impermeabile si colloca al di sotto dello strato coibente fungendo da barriera al vapore.

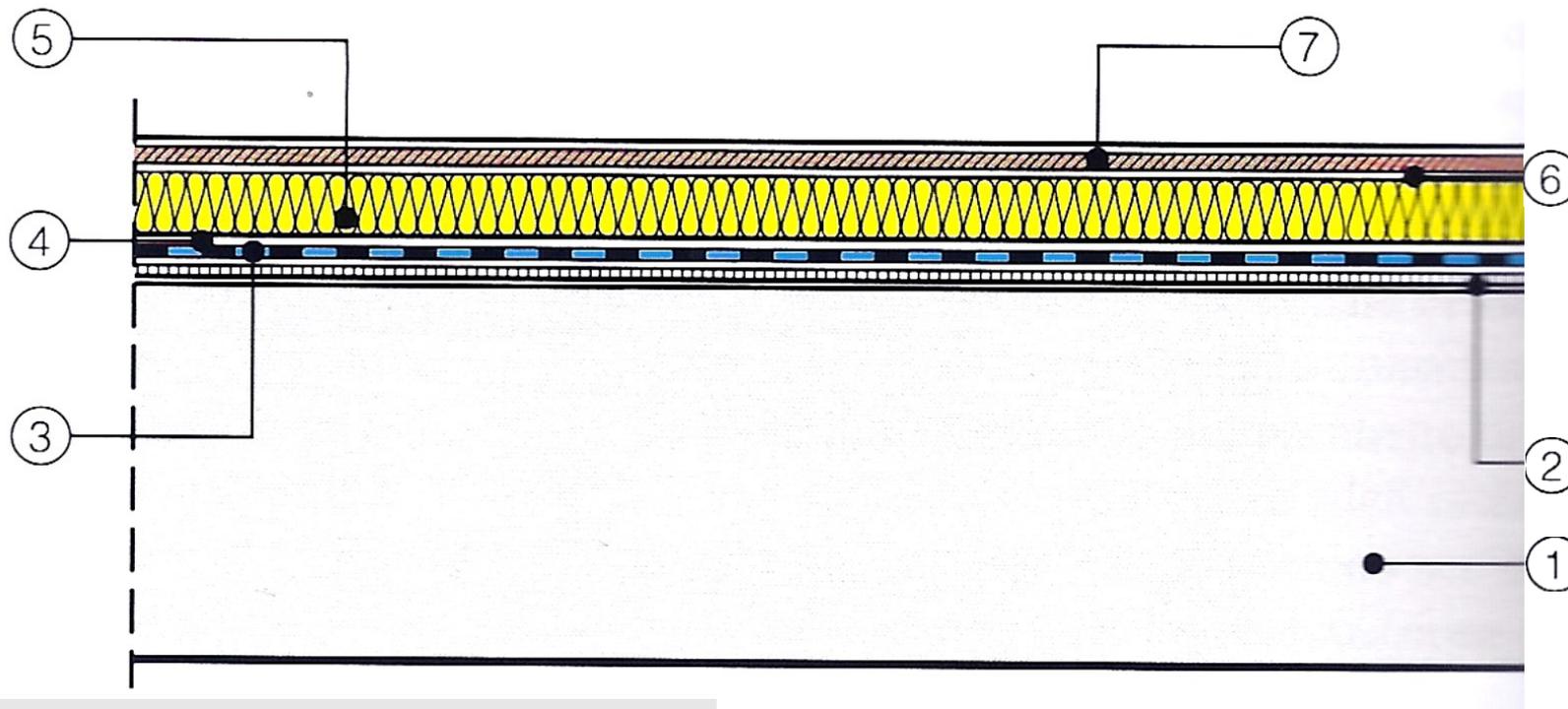
Coperture piane - Soluzioni conformi



- 1. Strato portante
- 2. Strato di pendenza
- 3. Strato di imprimatura
- 4. Strato di barriera al vapore
- 5. Strato termoisolante
- 6. Strato di collegamento
- 7. Strato di tenuta
- 8. Strato di protezione
- 9. Strato di separazione
- 10. Strato di zavorramento incoerente

**COPERTURA CALDA NON PEDONABILE
CON ZAVORRAMENTO**

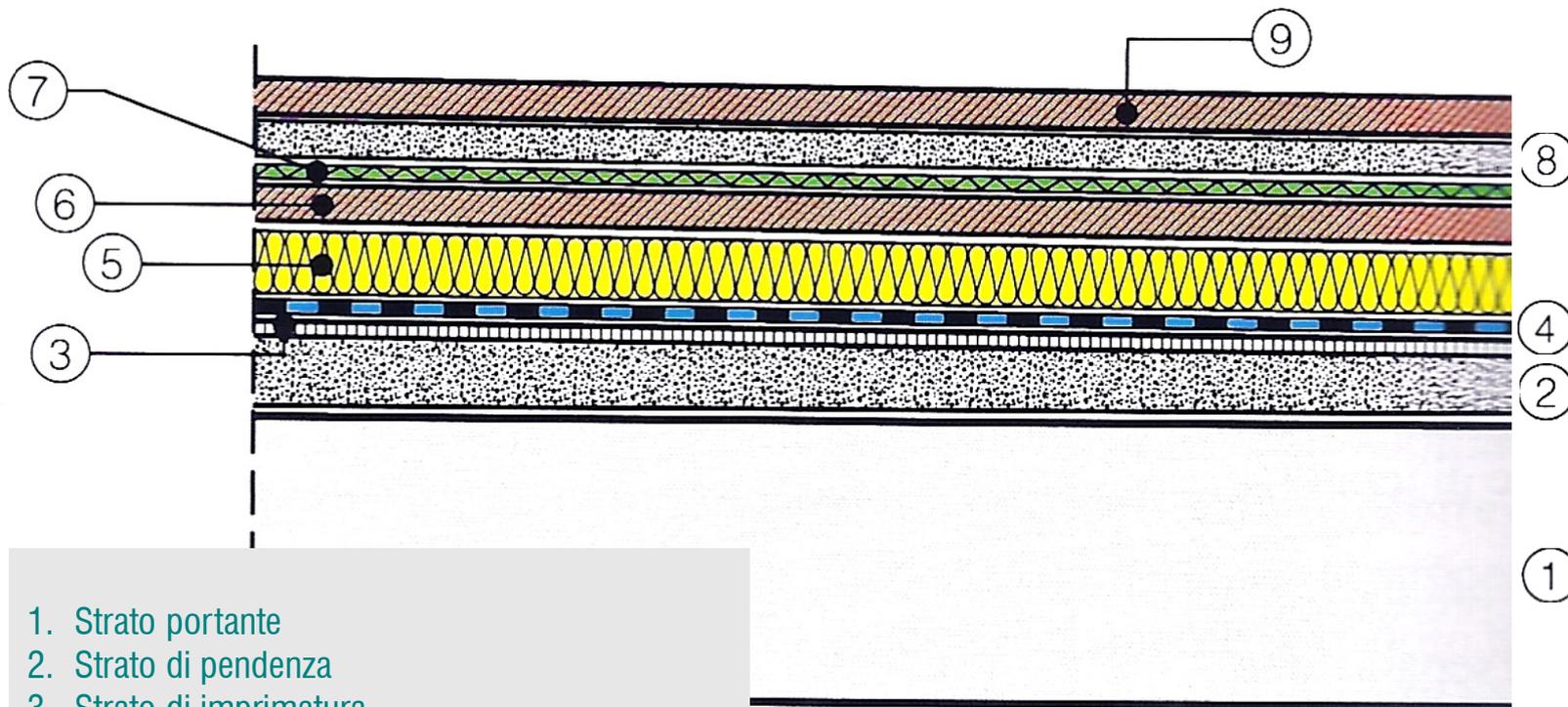
Coperture piane - Soluzioni conformi



1. Strato portante
2. Strato di imprimatura
3. Strato di barriera al vapore
4. Strato di collegamento
5. Strato termoisolante
6. Strato di collegamento
7. Strato di tenuta autoprotetto

COPERTURA CALDA NON PEDONABILE

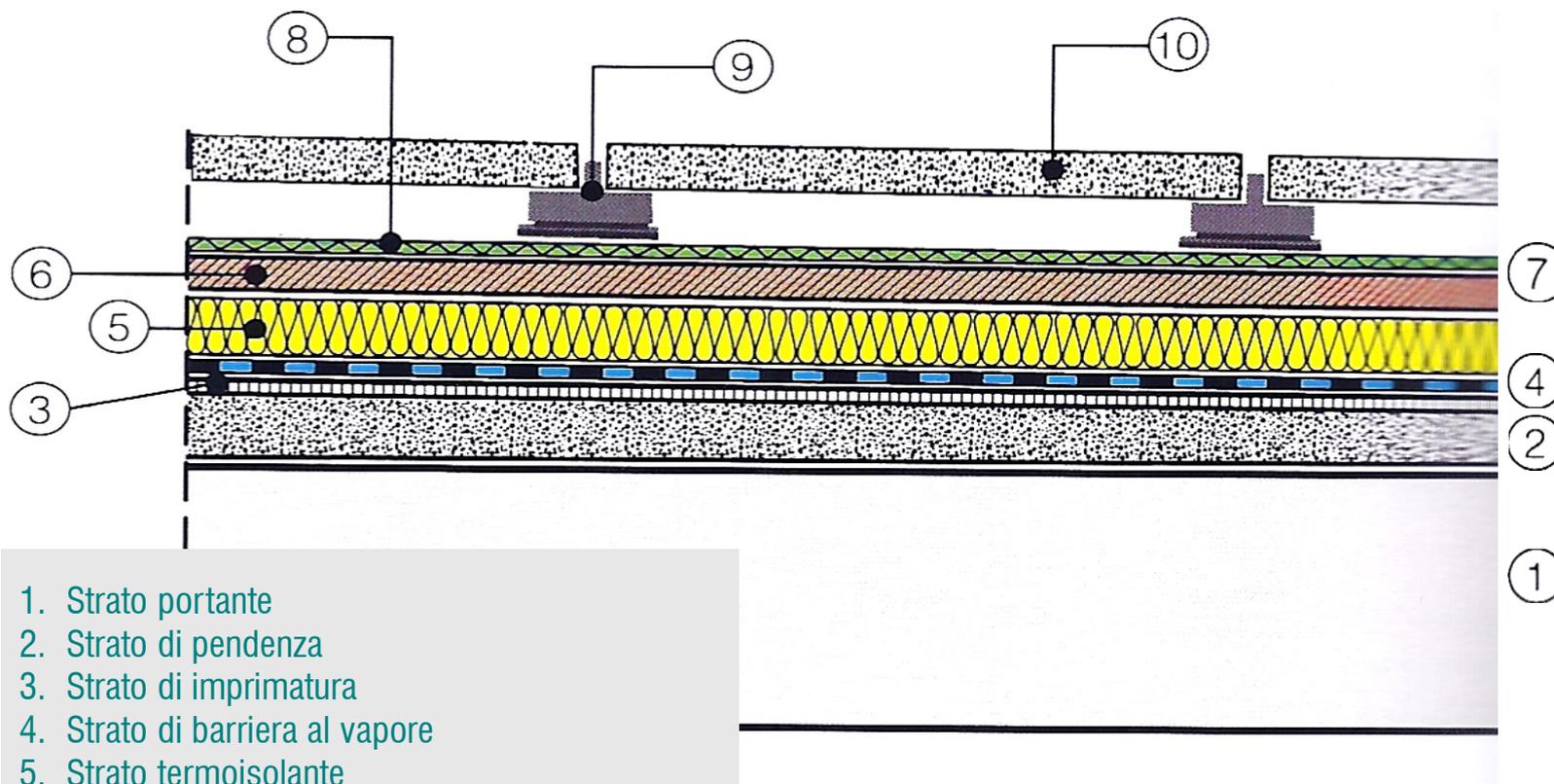
Coperture piane - Soluzioni conformi



1. Strato portante
2. Strato di pendenza
3. Strato di imprimatura
4. Strato di barriera al vapore
5. Strato termoisolante
6. Doppio strato di tenuta
7. Strato di separazione
8. Strato di regolarizzazione
9. Strato di finitura

COPERTURA CALDA PEDONABILE

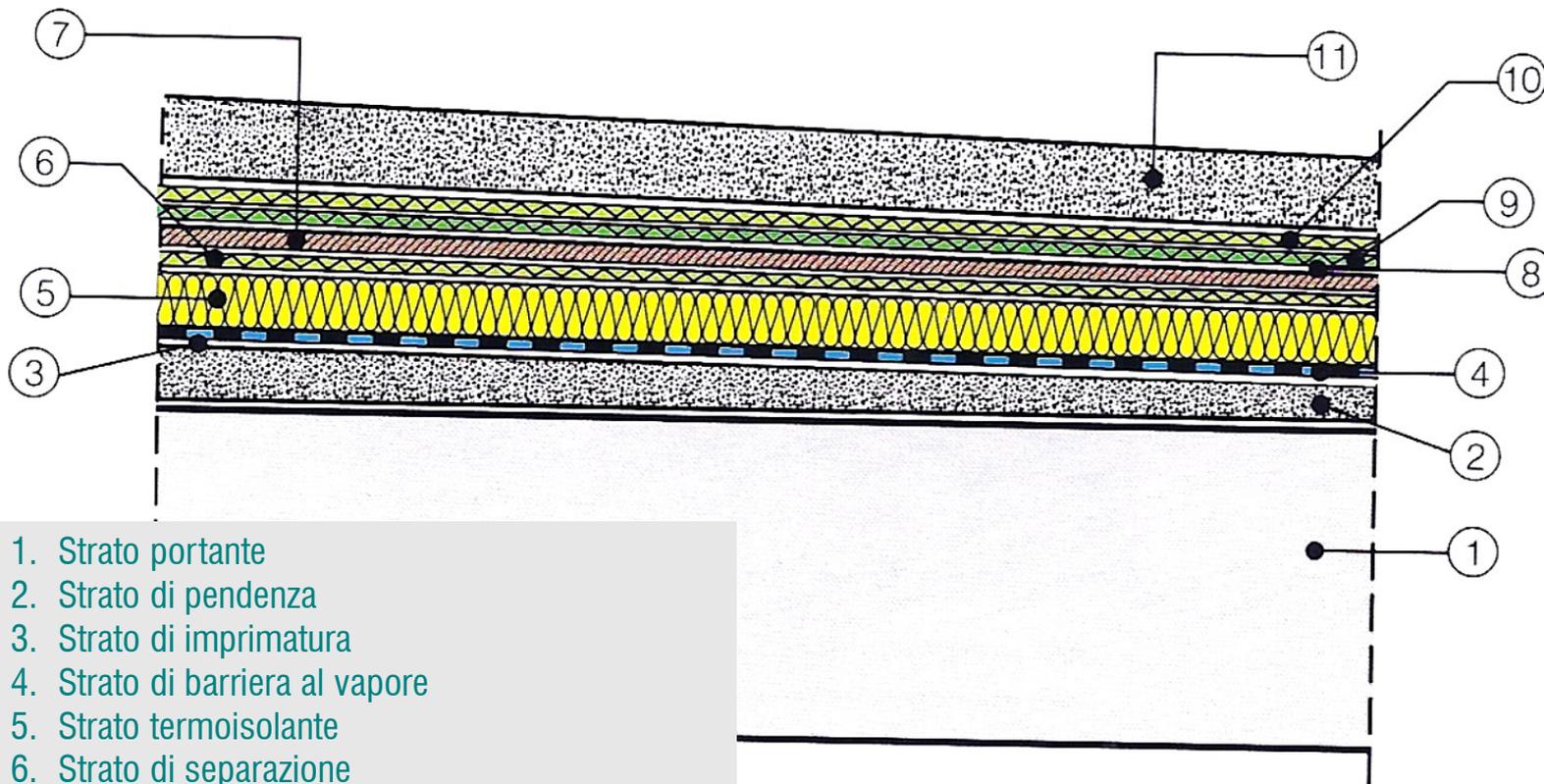
Coperture piane - Soluzioni conformi



- 1. Strato portante
- 2. Strato di pendenza
- 3. Strato di imprimatura
- 4. Strato di barriera al vapore
- 5. Strato termoisolante
- 6. Doppio strato di tenuta
- 7. Strato di collegamento
- 8. Strato di protezione meccanica
- 9. Elementi tecnici di supporto
- 10. Strato di finitura calpestabile

**COPERTURA CALDA PEDONABILE
CON ZAVORRAMENTO**

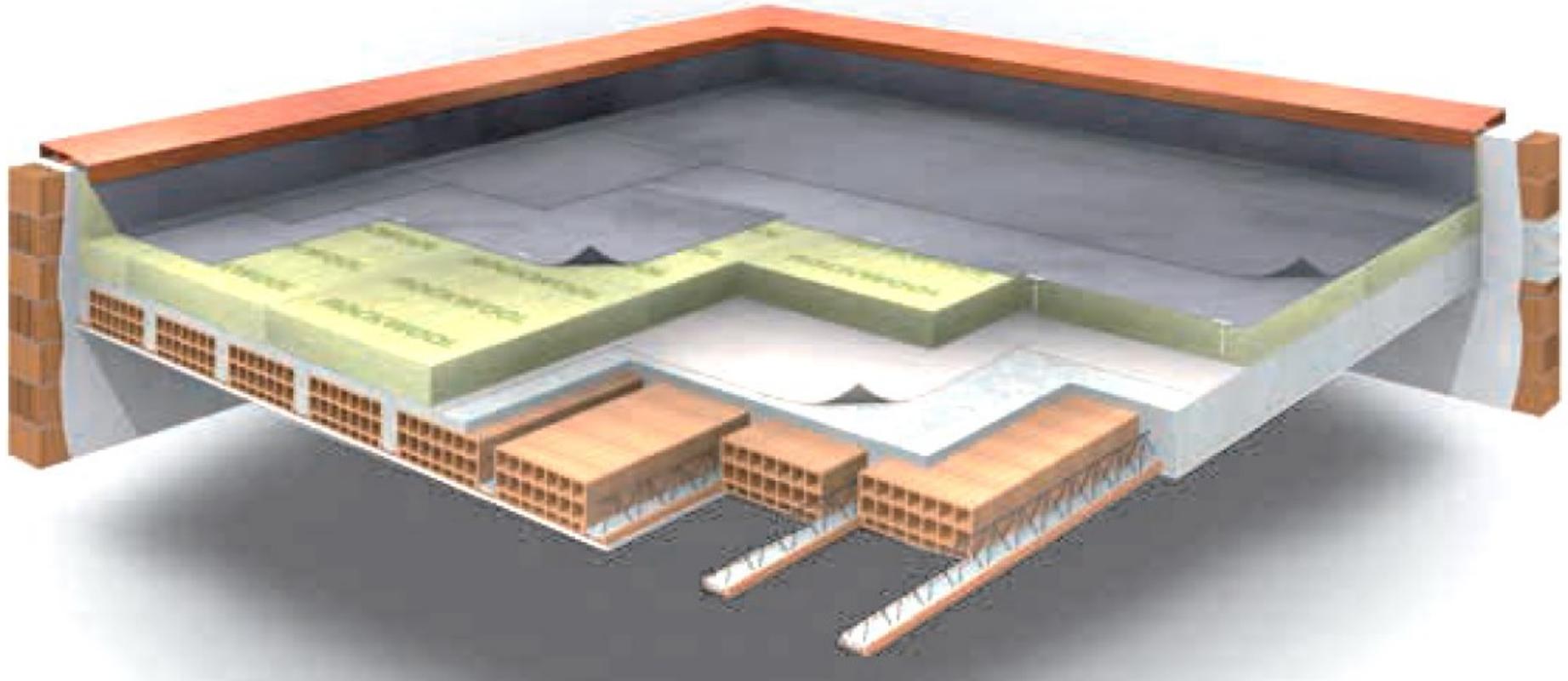
Coperture piane - Soluzioni conformi



1. Strato portante
2. Strato di pendenza
3. Strato di imprimatura
4. Strato di barriera al vapore
5. Strato termoisolante
6. Strato di separazione
7. Strato di tenuta all'acqua
8. Strato di separazione
9. Strato di ripartizione e irrigidimento
10. Strato di separazione
11. Strato di finitura carrabile

COPERTURA CALDA CARRABILE

Coperture piane - Soluzioni tecnologiche



COPERTURA CONTINUA ISOLATA NON VENTILATA

Solaio in laterocemento

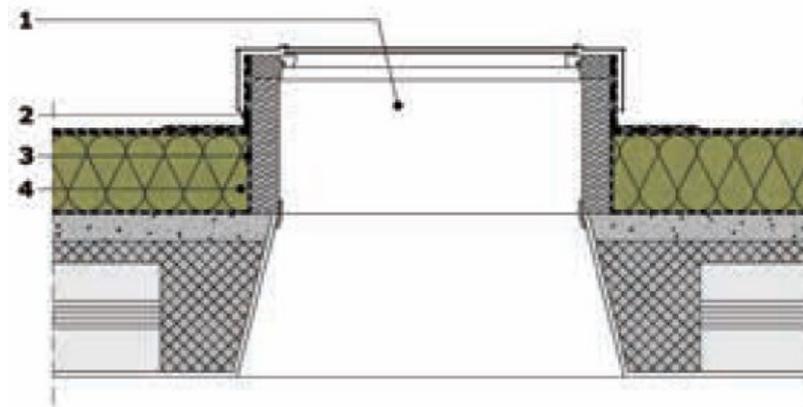
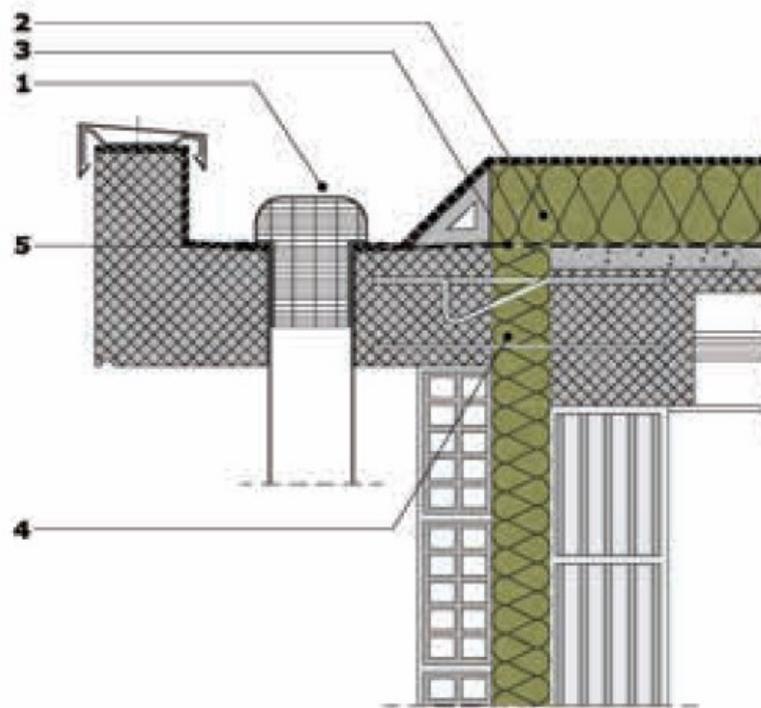
Membrana flessibile bituminosa autoprotetta

Coibentazione in lana di roccia con barriera al vapore

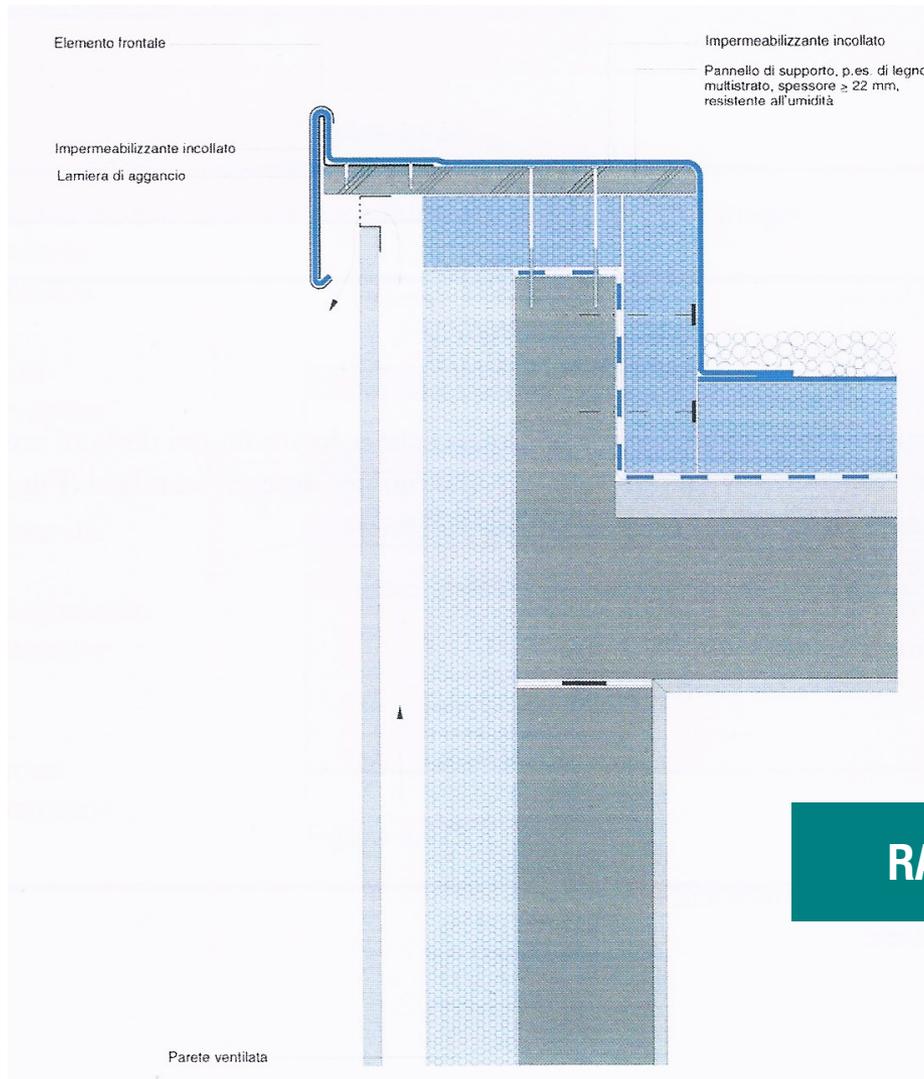
Coperture piane - Soluzioni tecnologiche

La continuità dell'elemento termoisolante (2) è garantita mediante elementi prefabbricati di ripresa dell'armatura. Lo strato di controllo vapore (3) prosegue fino allo strato di tenuta.

La membrana bituminosa (tenuta all'acqua, 2) e il foglio in polietilene (controllo vapore acqueo, 3) devono essere risvoltati fino alla scossalina del lucernario



Coperture piane - Soluzioni tecnologiche

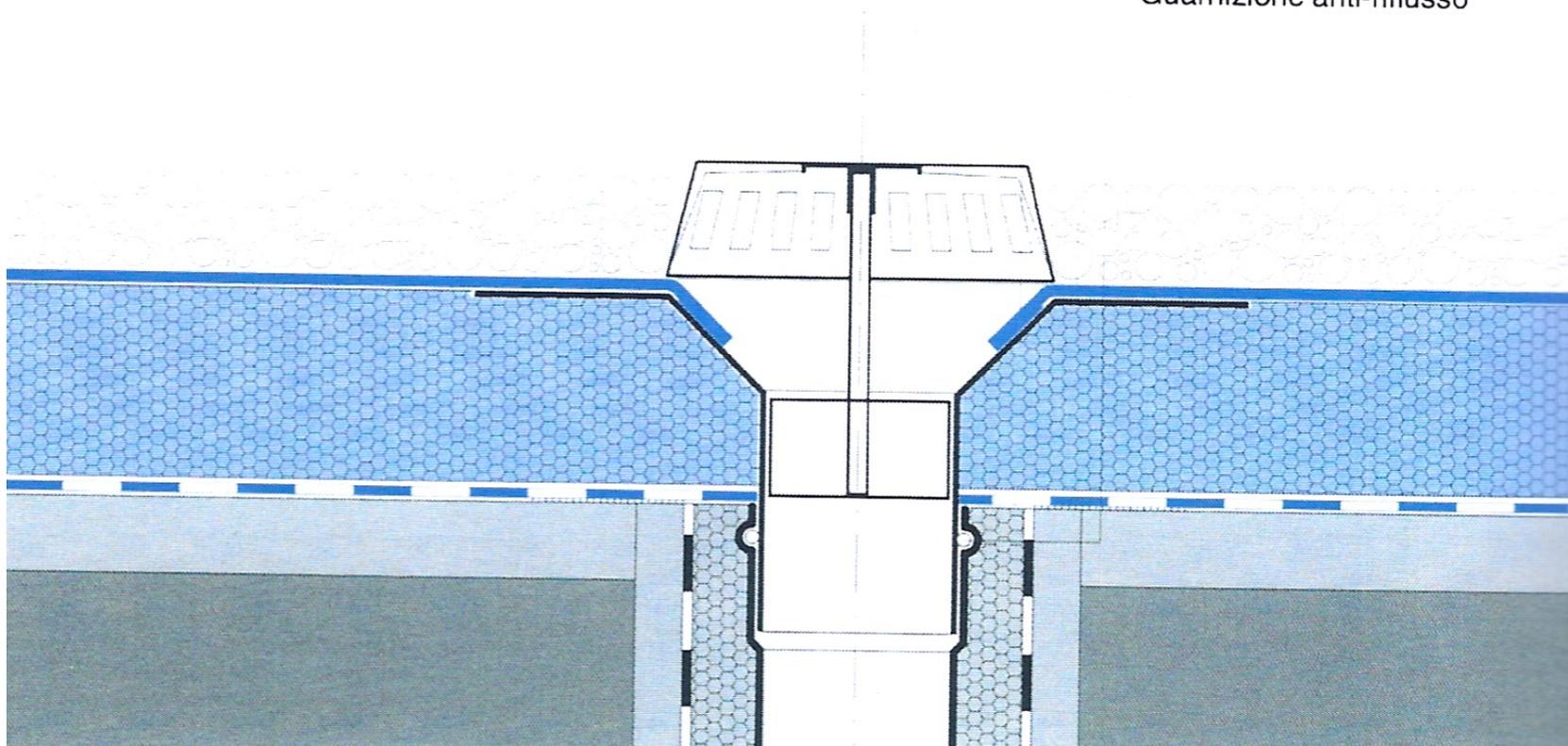


RACCORDO CON PARETE VENTILATA

Coperture piane - Soluzioni tecnologiche

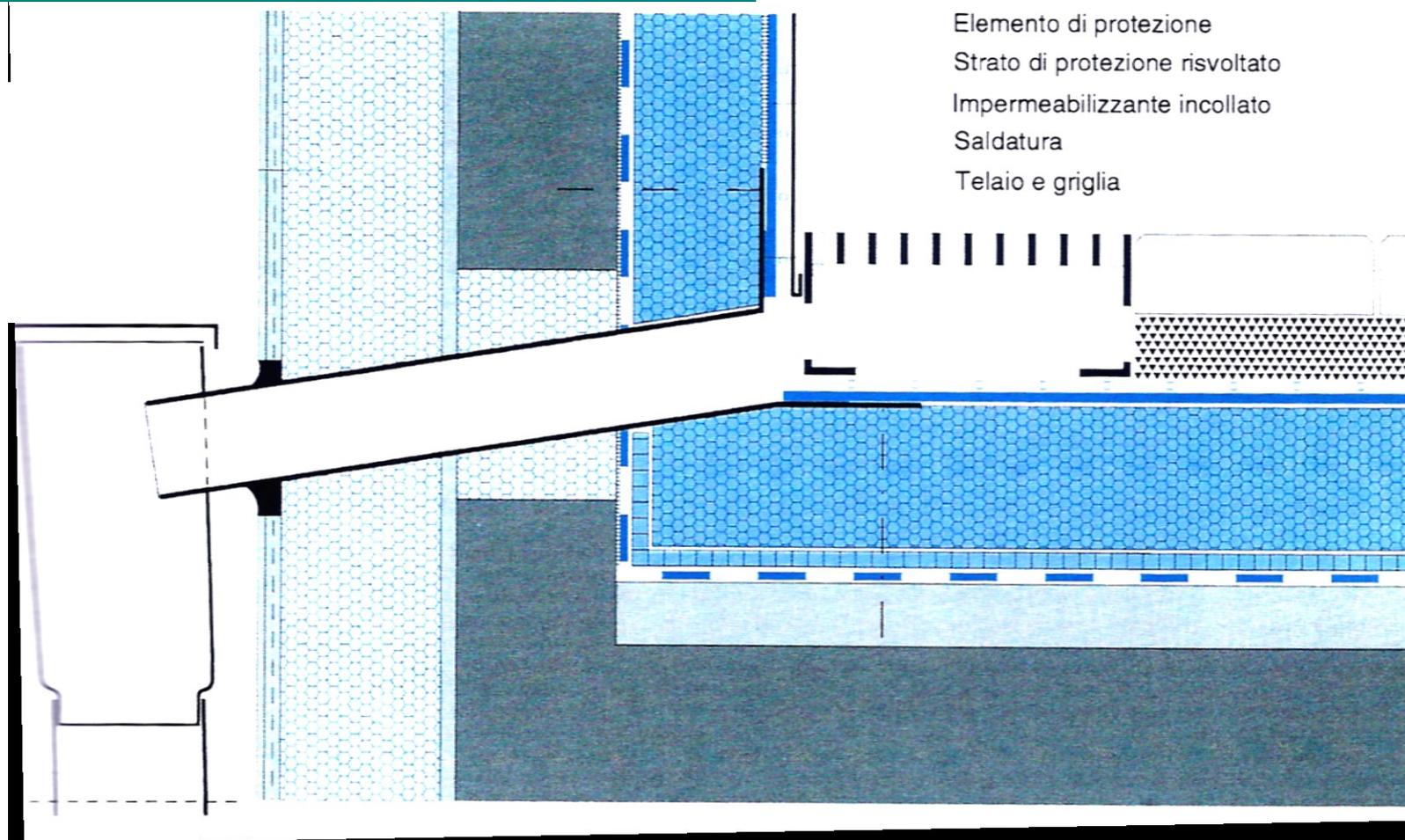
RACCORDO CON BOCCHETTA DI SCARICO

- Paraghiaia
- Saldatura
- Bocchetta di scarico plastificata
- Guarnizione anti-riflusso



Coperture piane - Soluzioni tecnologiche

RACCORDO DI SCARICO VERSO PLUVIALE

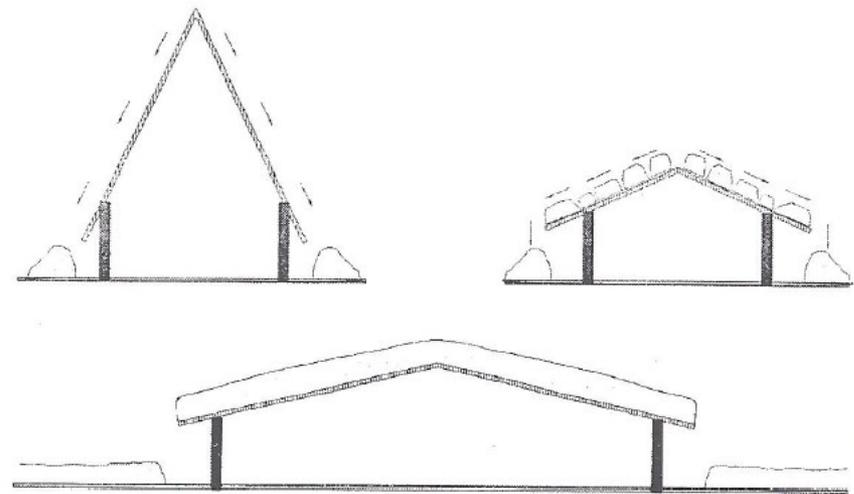


6.3

Coperture inclinate

Rapporto con gli agenti atmosferici

Le **chiusure superiori discontinue** sono caratterizzate da una **configurazione geometrica** determinata dalla pendenza necessaria per il **corretto funzionamento dell'elemento di tenuta** (detto **manto** o tegumento). La chiusura risulta costituita da falde (piani inclinati) la cui pendenza è definita in funzione delle condizioni climatiche del luogo (**nevosità, ventosità e piovosità**). La nevosità è indice della quantità di neve che tende ad accumularsi sulle falde, costituendo un sovraccarico non trascurabile: a forte nevosità corrisponde pertanto forte pendenza al fine di agevolare lo scorrimento verso il basso della neve sulle falde, limitando quindi il sovraccarico.



Pendenza tipica delle coperture con manto in piccoli elementi in Italia

50 - 60% nelle zone alpine

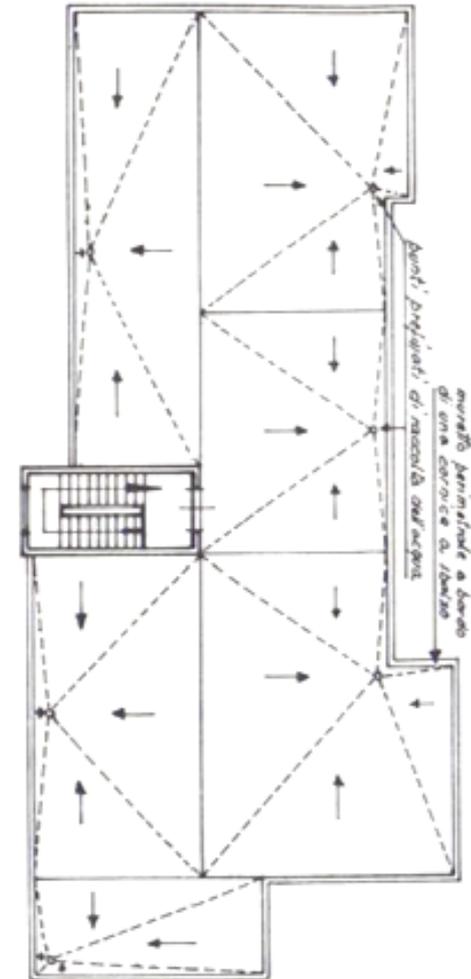
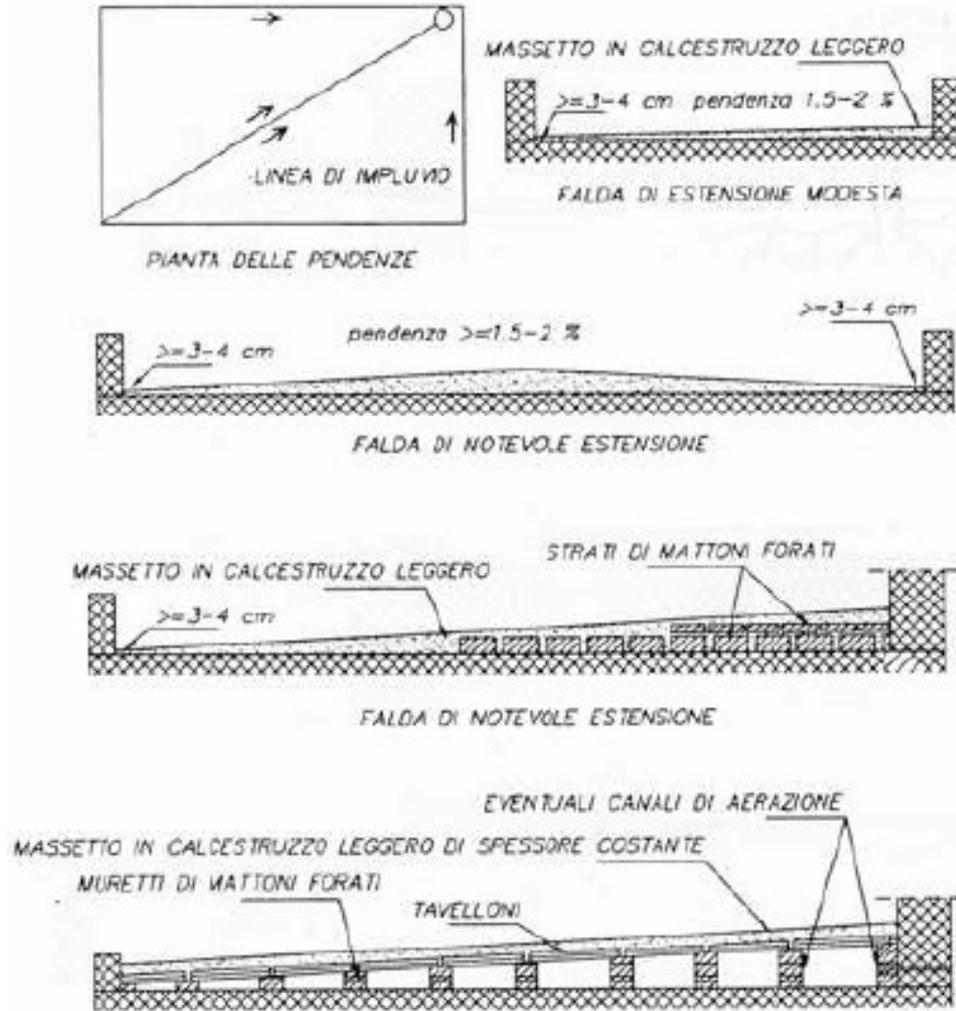
45% nell'alto Appennino

35% nel Basso Appennino

30 - 35% in Italia centrale

20 - 25% in Italia meridionale

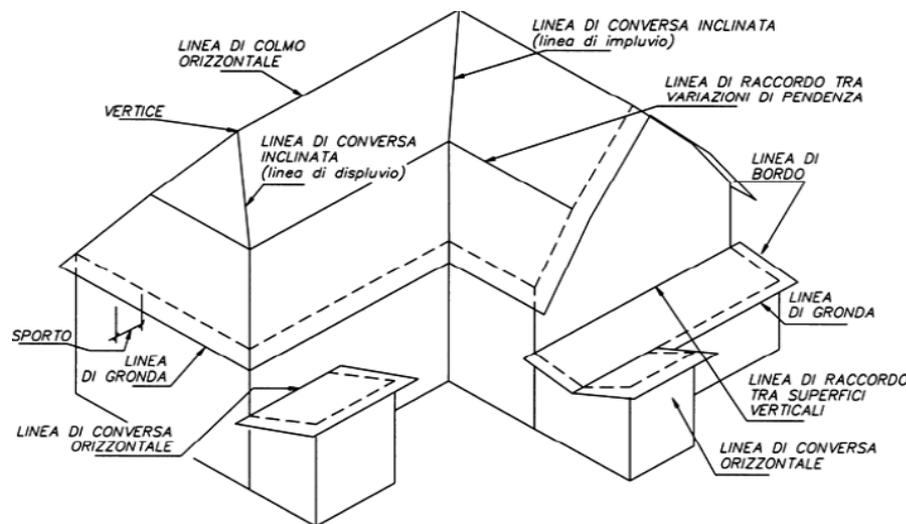
Rapporto con gli agenti atmosferici



Terminologia geometrica

La norma UNI 8091 introduce la terminologia per la descrizione della geometria dei tetti a falde:

- **falda di copertura**: superficie di copertura inclinata e geometricamente piana;
- linea di **colmo orizzontale**: linea, ad andamento orizzontale, intersezione di due superfici di copertura inclinate a pendenza di senso opposto e divergenti.
- linea di **colmo inclinata**, o **displuvio**: linea, ad andamento inclinato, intersezione laterale di due superfici contigue di copertura non normale alla linea di massima pendenza.
- linea di **gronda**: linea perimetrale inferiore di una superficie di copertura ad andamento orizzontale.
- linea di **conversa orizzontale**: linea, ad andamento orizzontale, intersezione di due superfici di copertura inclinate aventi pendenza di senso opposto e divergenti oppure intersezione di una superficie di copertura con altra verticale nel caso in cui formi un diedro acutangolo.
- linea di **conversa inclinata**, o **compluvio**: linea, ad andamento inclinato, non normale alle linee di massima pendenza, intersezione laterale di due superfici contigue di copertura oppure di una superficie di copertura con una superficie emergente verticale.



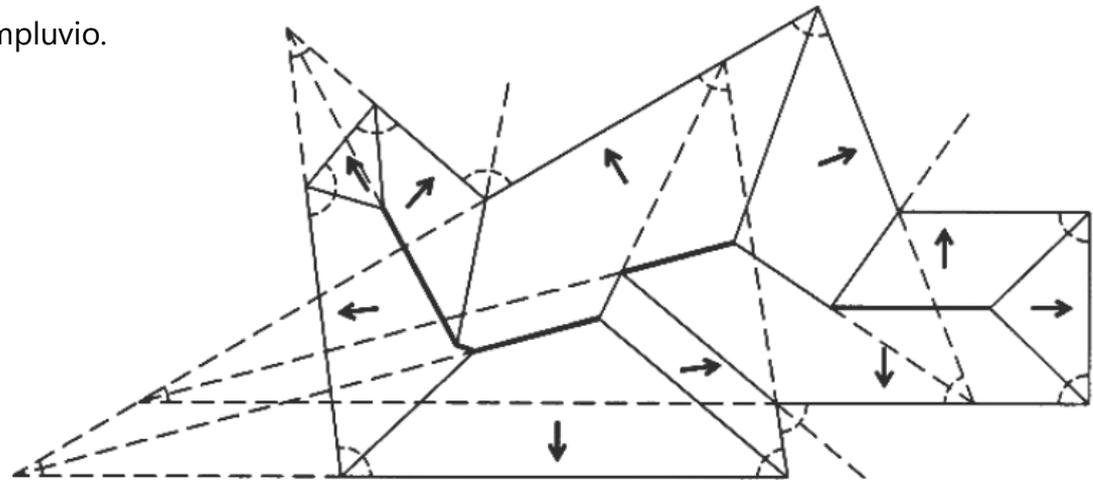
Terminologia geometrica

In una copertura discontinua, le falde sono usualmente **tracciate** secondo il **metodo delle bisettrici**.

Le premesse sono che le linee di gronda di un solido si collocano alla medesima quota e le falde di copertura presentano la medesima pendenza.

Le linee di compluvio e displuvio sono determinate dalle bisettrici degli angoli formati da linee di gronda adiacenti:

- angoli concavi formano linee di displuvio;
- angoli convessi formano linee di compluvio.



6

Manto di copertura in laterizio

Il manto di copertura può essere costituito da tegole in laterizio, tegole in **cemento**, lastre piane **ondulate** o **nervate** in **fibro-cemento**, lastre di **polistirene armato** con **fibre di vetro**, lastre **metalliche**, **tegole bituminose**, lastre di **ardesia** e **scandole** in **legno** di larice.

Le più diffuse in Italia sono le **tegole in laterizio**, che a loro volta si classificano in **tegole curve** o **coppi**, tegole piane o **embrici**, tegole piane marsigliesi, tegole portoghesi, tegole olandesi.



olandese



coppo



embrice



marsigliese

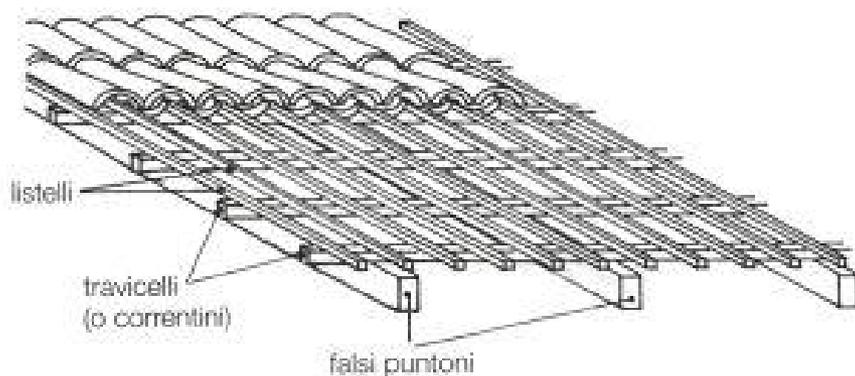


portoghese

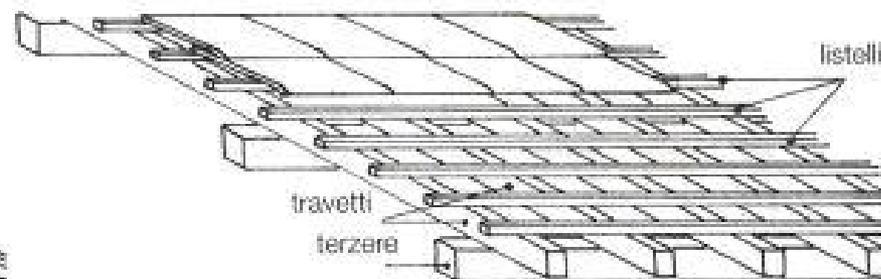
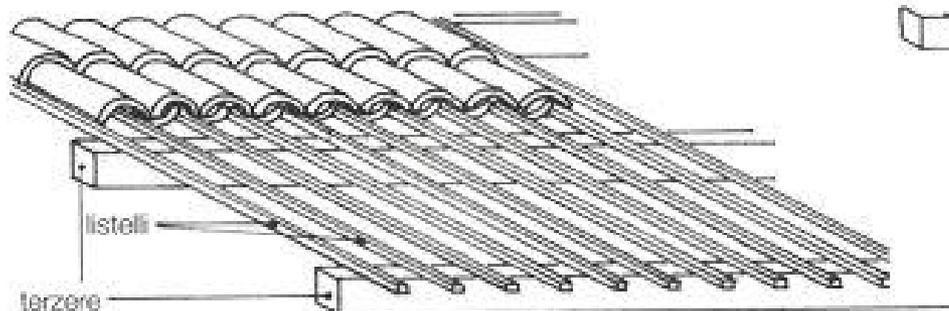
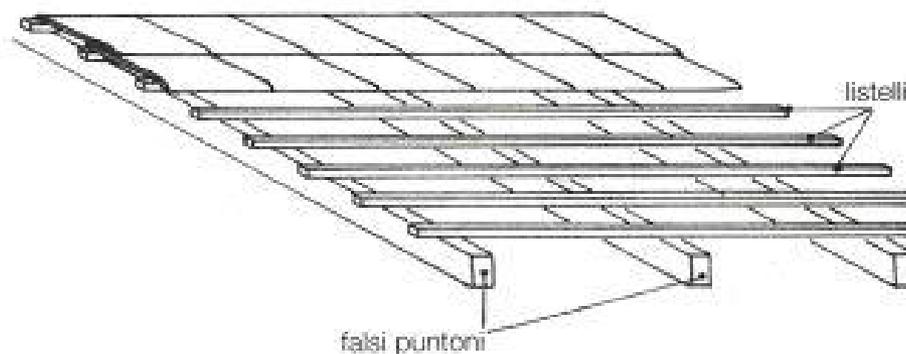
Manto di copertura in laterizio

SISTEMI SPINGENTI

tegole curve



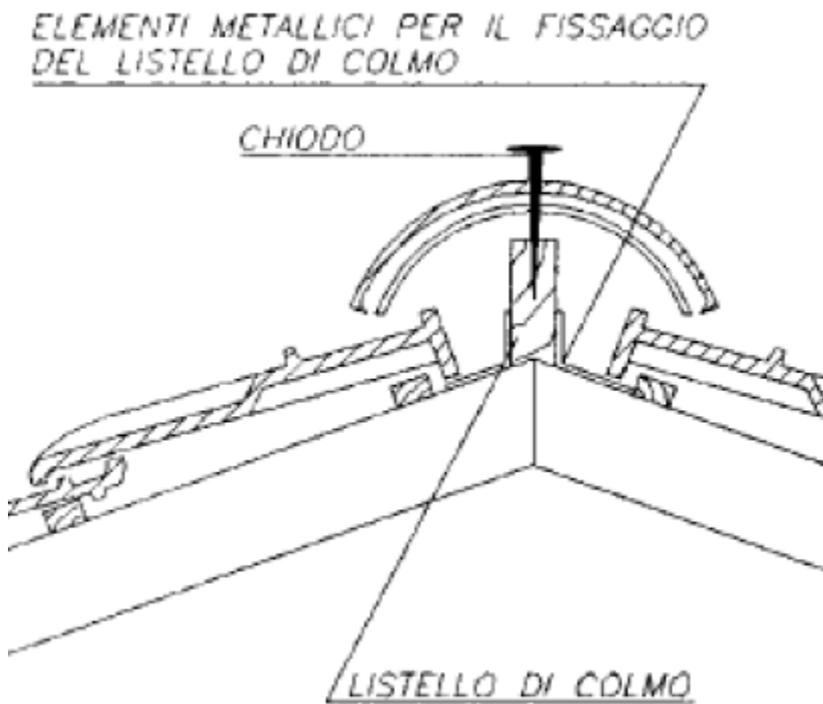
tegole a innesto



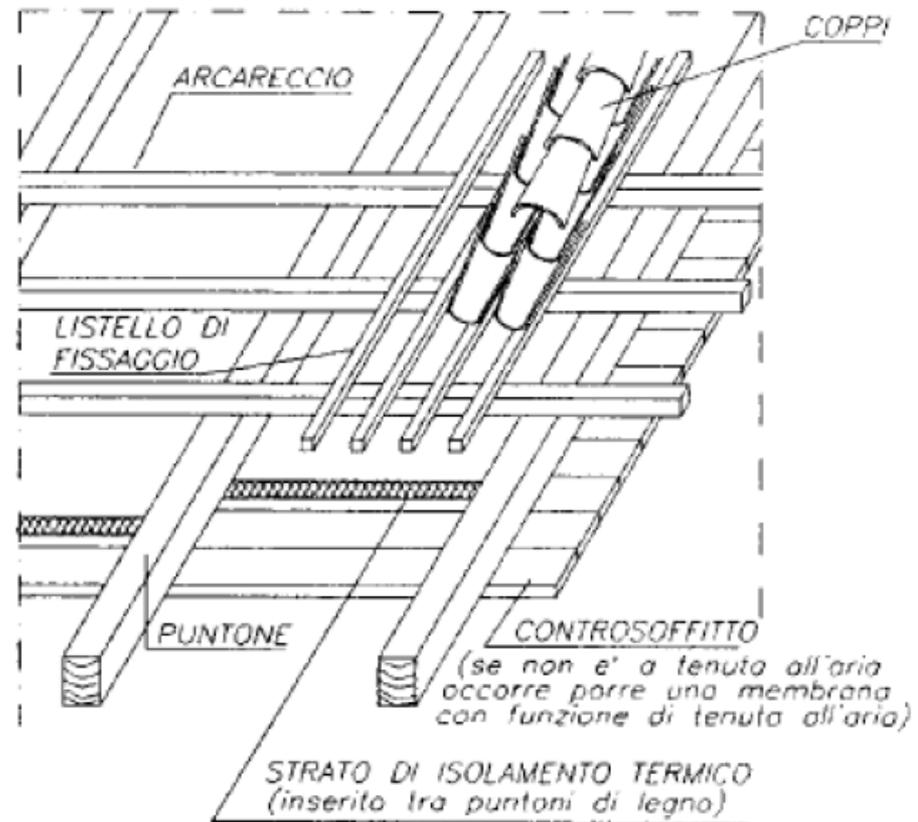
SISTEMI NON SPINGENTI

Manto di copertura in laterizio

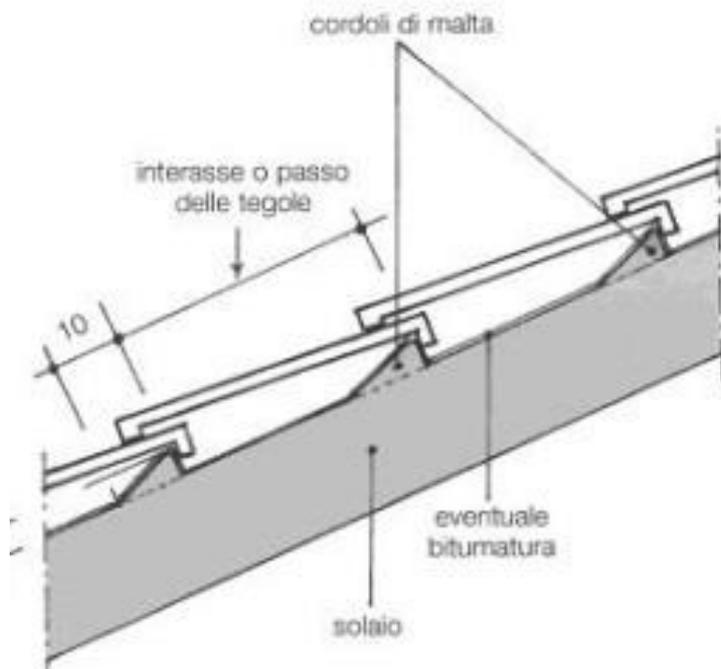
Gli elementi di **grappaggio** / **collegamento** (ganci, graffe, chiodi) servono ad ancorare il manto al supporto e devono essere protetti contro la corrosione.



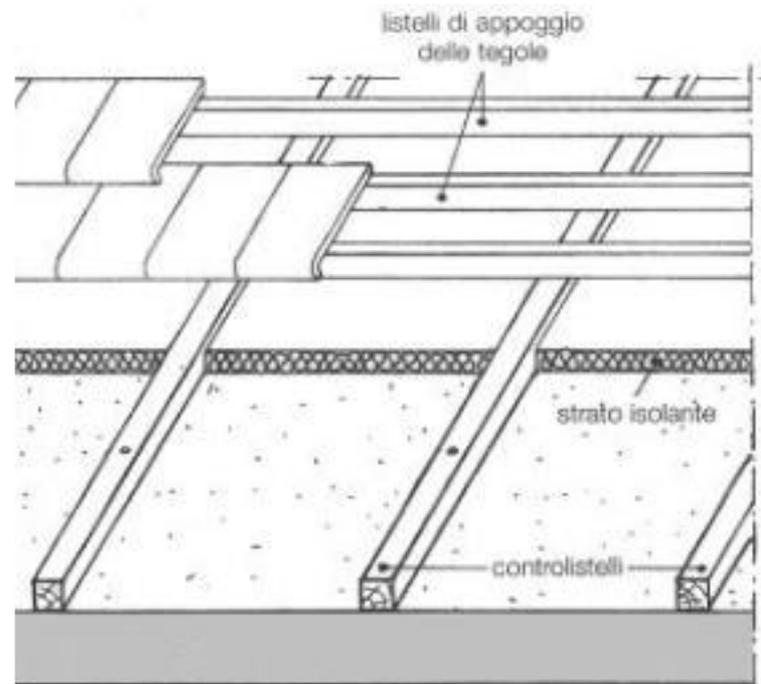
LISTELLATURA DI FISSAGGIO ORTOGONALE ALLA LINEA DI GR (SOLO PER I COPPI PRIVI DI SISTEMI DI AGGANCIAMENTO)



Manto di copertura in laterizio



FISSAGGIO SU CORDOLI DI MALTA



FISSAGGIO SU LISTELLI

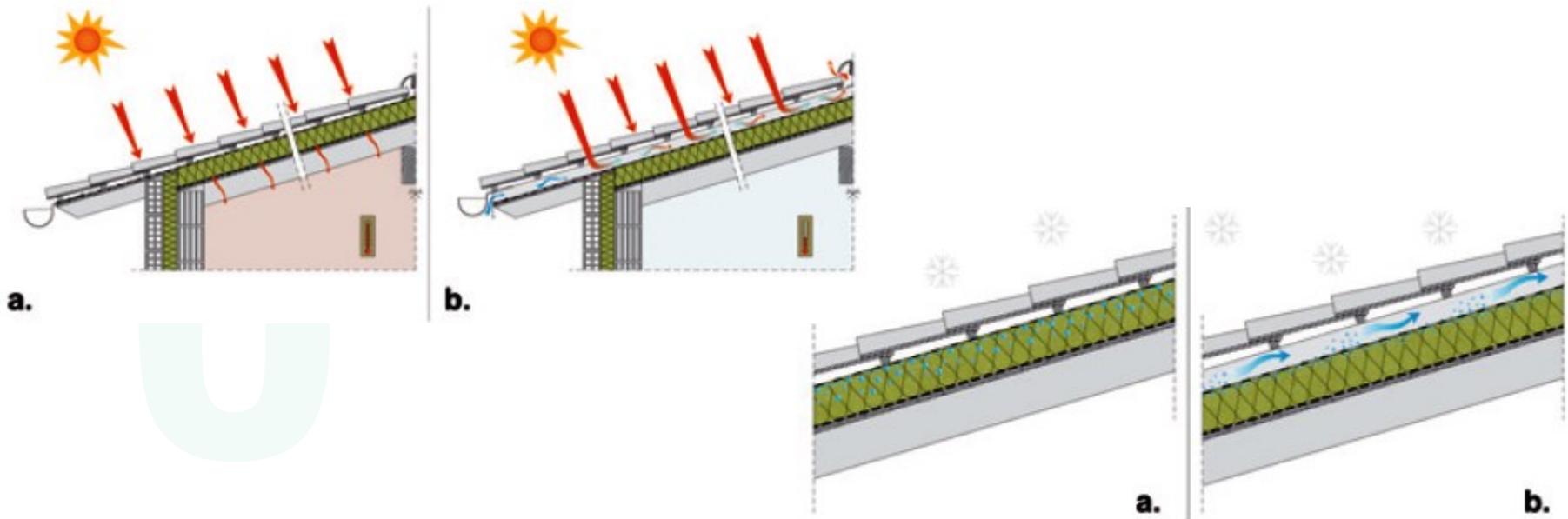
Effetti della ventilazione

La **ventilazione** della **copertura** permette il miglioramento delle **prestazioni in regime dinamico**, in particolare:

- consente di **asportare** parte dell'**energia termica solare** incidente sulla copertura (stagione estiva);
- trasferisce verso l'esterno il vapore acqueo contenuto nell'aria interna evitando la condensa ed il ristagno in prossimità dello strato isolante (stagione invernale).

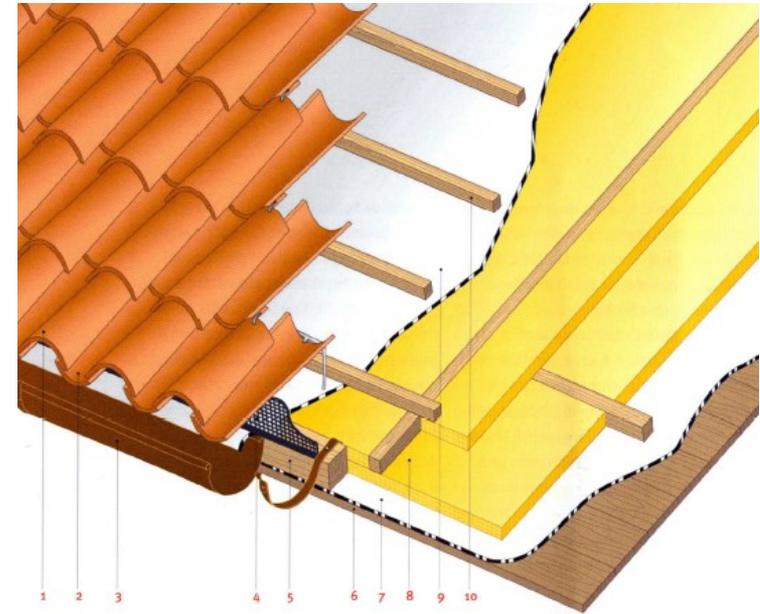
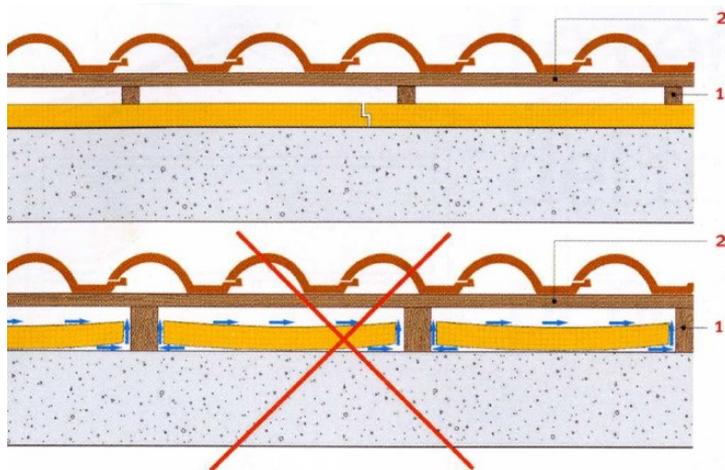
Una copertura si considera ventilata quando nella successione degli strati funzionali è inserito uno **strato di ventilazione** collocato tra l'isolamento termico e il rivestimento esterno.

Non è ventilata una copertura realizzata con rivestimenti discontinui in cui è presente solo la **microventilazione** al di sotto del rivestimento stesso (detta **sottotegola**).



Ventilazione sottomanto

Nella ventilazione **sottomanto** i pannelli coibenti non devono essere installati entro i listelli di ventilazione (diretti lungo la pendenza di falda) in quanto si vengono a creare ponti termici lungo le linee di giunzione: i listelli devono dunque essere **appoggiati direttamente sullo strato coibente** o, in alternativa, si può ricorrere a un **doppio ordine reticolare di listelli**. In quest'ultimo caso, il secondo ordine dovrà avere **altezza superiore allo spessore dei pannelli** coibenti, per realizzare i **canali di ventilazione**.



- | | |
|------------------------|---------------------------------------|
| 1. Coppi di coperta | 6. Tavolato di posa |
| 2. Coppi di canale | 7. Barriera al vapore |
| 3. Canale di gronda | 8. Pannelli coibenti in doppio strato |
| 4. Rete parapasseri | 9. Strato di tenuta all'acqua |
| 5. Listello di battuta | 10. Listelli di supporto al manto |

Tenuta all'aria

L'impermeabilità all'aria delle soluzioni tecnologiche di copertura è un requisito critico per la qualità e la durabilità degli strati funzionali impiegati. Se non è garantito, risultano compromesse alcune prestazioni quali **l'isolamento termico** ed **acustico** ai rumori aerei. Si possono infatti manifestare permeazioni di aria con flusso non controllato attraverso l'involucro:

- **infiltrazioni** (dall'esterno verso l'interno);
- **exfiltrazioni** (nel senso contrario).

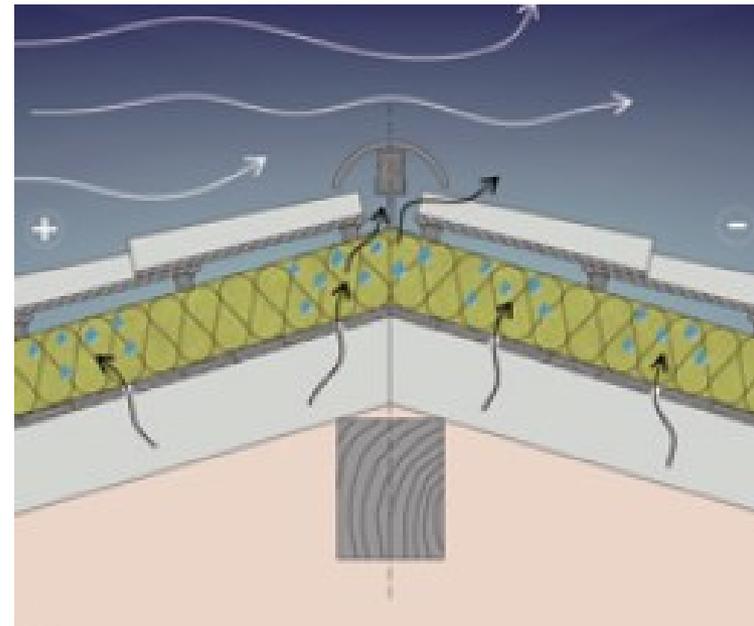
Il fenomeno ha origine da una forzante quale:

- la differente **pressione esercitata dal vento**;
- il **gradiente di temperatura**;
- un eventuale sistema di **ventilazione meccanica**.

La permeazione avviene in genere in corrispondenza di:

- **passaggi impiantistici**;
- **nodi** costruttivi;
- momenti di **discontinuità** o **punti di passaggio** tra elementi costituenti il medesimo strato;
- strati di materiali molto permeabili all'aria.

Oltretutto, materiali termoisolanti a bassa densità non sono in grado di resistere autonomamente ad un flusso d'aria in pressione, e vedono così compromessa la loro prestazione termica. Il punto d'ingresso e di uscita di un flusso d'aria possono essere notevolmente distanti, cosicché il fenomeno interessa più componenti edilizi o addirittura l'intero edificio.



Tenuta all'aria

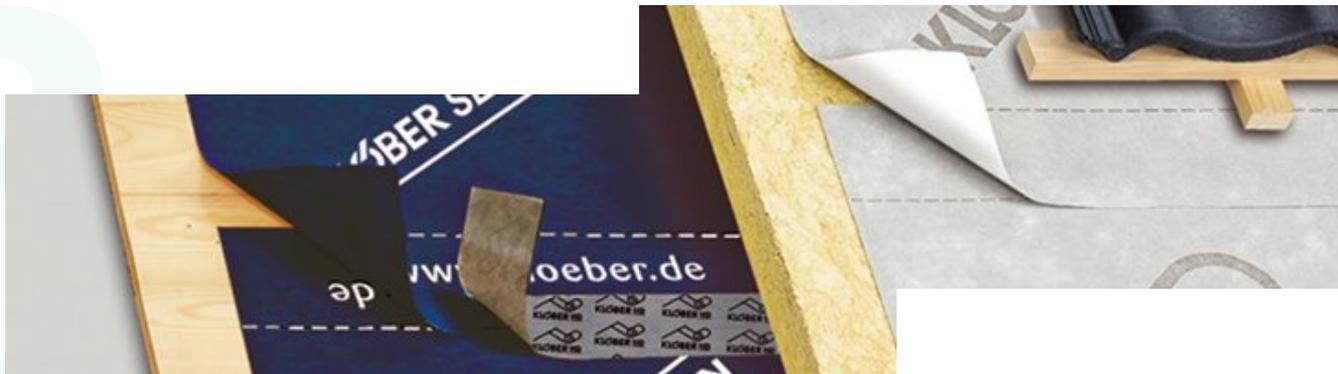
Una non efficace tenuta all'aria comporta:

- conseguenze sul **comportamento energetico** dell'edificio (**carico termico indesiderato** da ventilazione non controllata);
- **fenomeni condensativi**. In regime invernale le infiltrazioni di aria fredda negli ambienti riducono la temperatura superficiale interna;
- **riduzione** del **potere fonoisolante di facciata**;

- ingresso e **trasporto di polveri** in prossimità dei punti di permeazione.

Il principale accorgimento per esercitare il controllo dei flussi d'aria prevede la realizzazione della **continuità** dello **strato** funzionale di **tenuta all'aria**.

Nel caso di sovrapposizione di uno o più strati, devono essere predisposti giunti sfalsati (e possibilmente nastrati) per garantire la continuità della tenuta.



Coperture inclinate - Soluzioni tecnologiche



COPERTURA DISCONTINUA ISOLATA E VENTILATA

Elemento portante in travi lignee e tavolato sovrapposto

Foglio di polietilene con sovrapposizione a tenuta d'aria

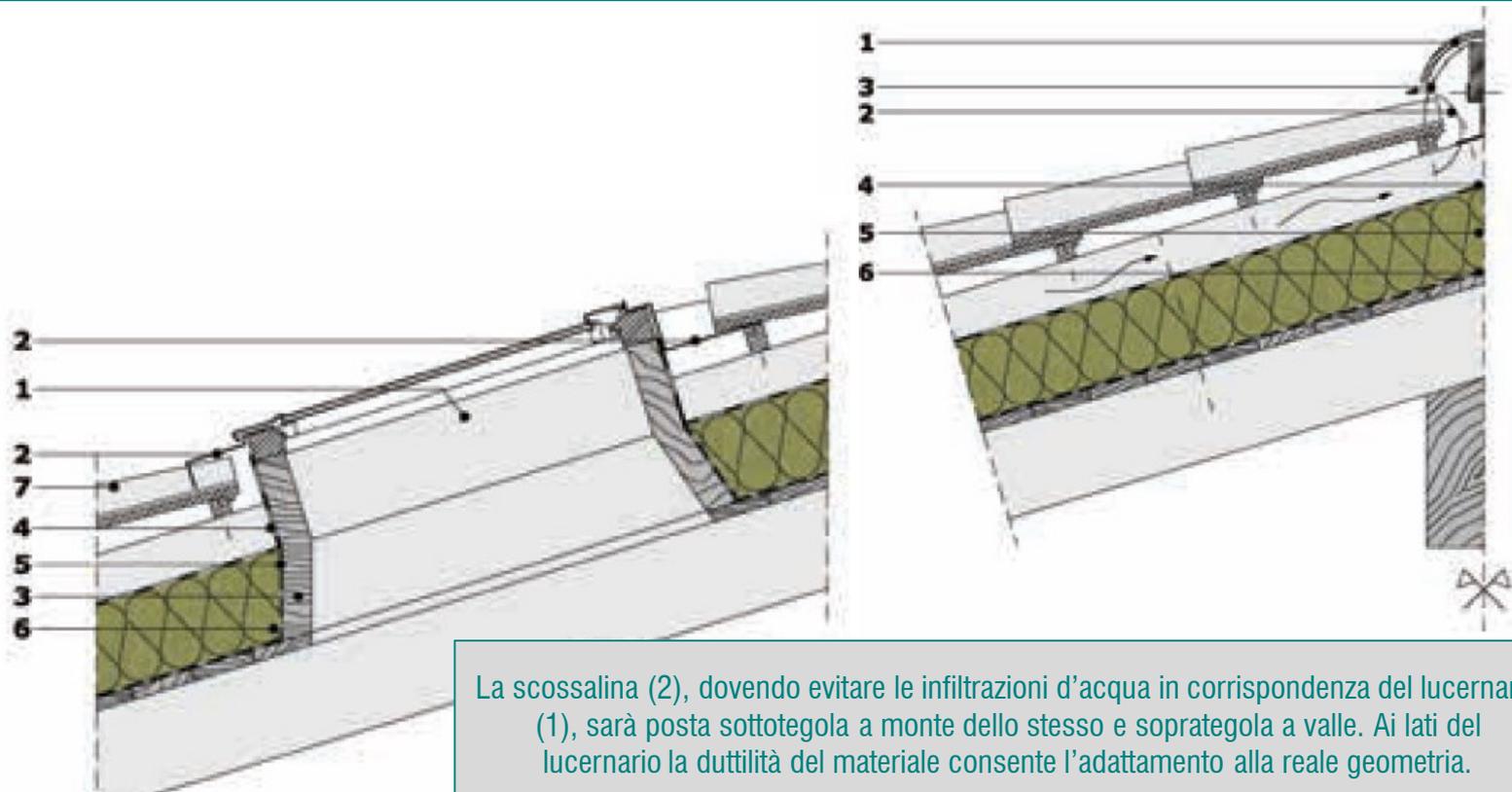
Coibentazione in lana di roccia a doppia densità

Geotessile non tessuto per tenuta all'acqua

Tegole in laterizio

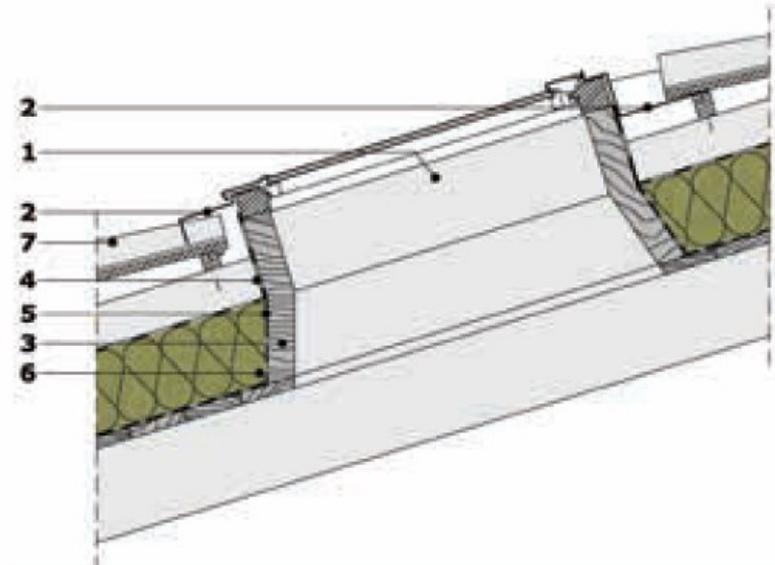
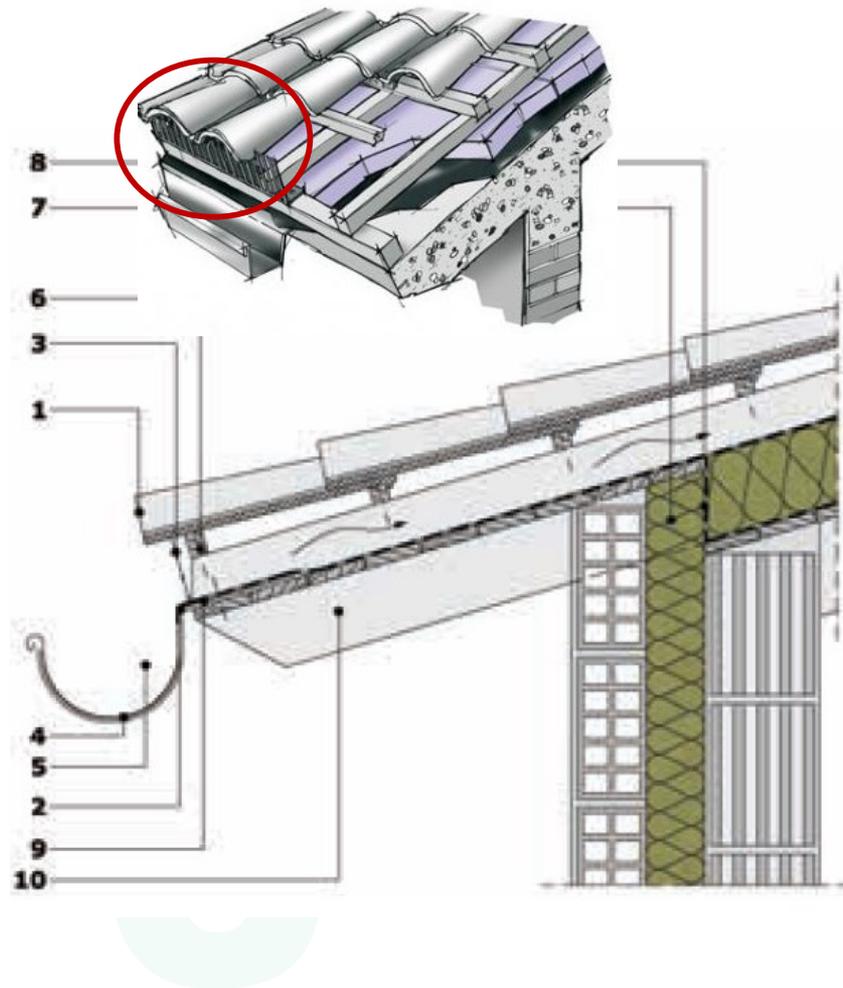
Coperture inclinate - Soluzioni tecnologiche

L'elemento di aerazione (1) è fissato ad un supporto ligneo solidale con la struttura principale e provvisto di rete parapasseri (3); la sezione di aerazione al colmo (2) non deve presentare restrizioni rispetto al canale di falda.



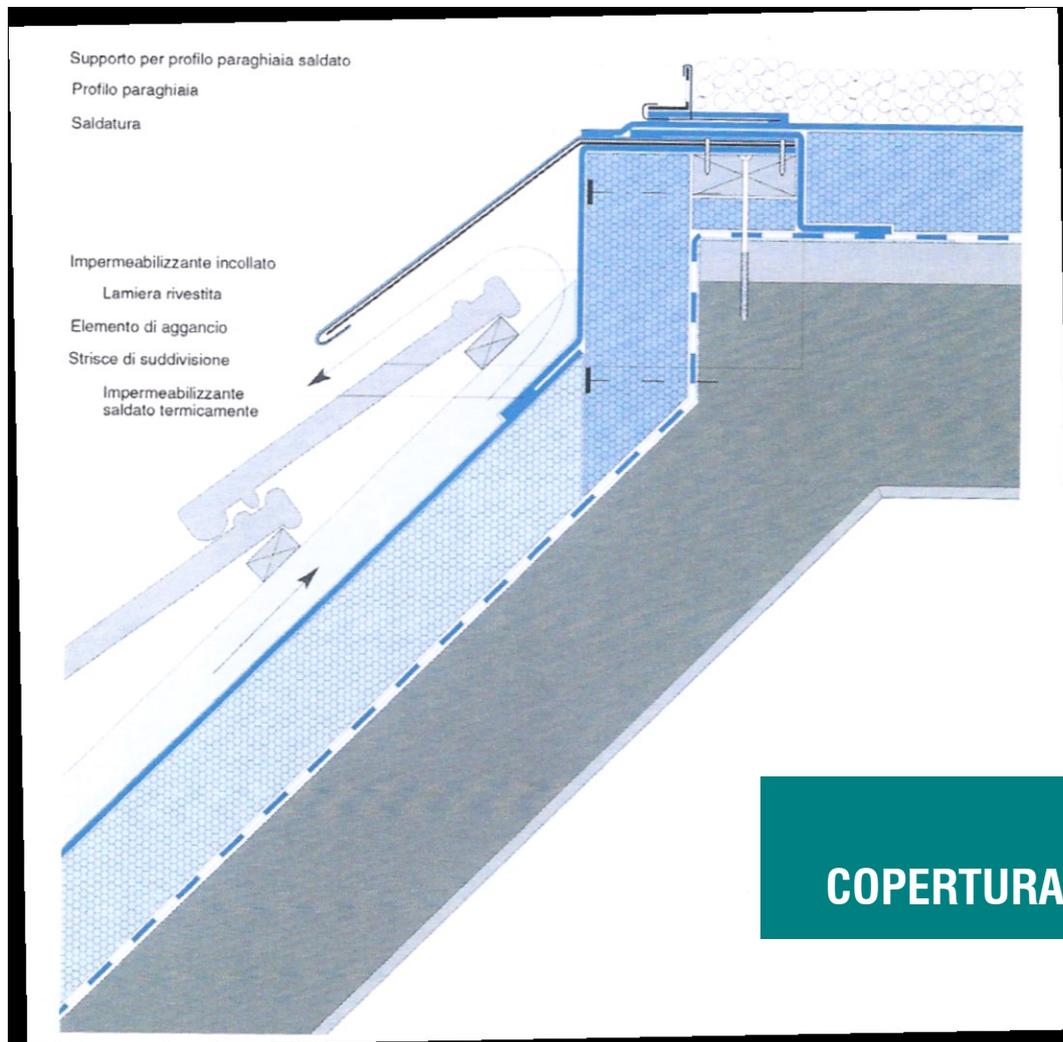
La scossalina (2), dovendo evitare le infiltrazioni d'acqua in corrispondenza del lucernario (1), sarà posta sottotegola a monte e sopra tegola a valle. Ai lati del lucernario la duttilità del materiale consente l'adattamento alla reale geometria.

Coperture inclinate - Soluzioni tecnologiche



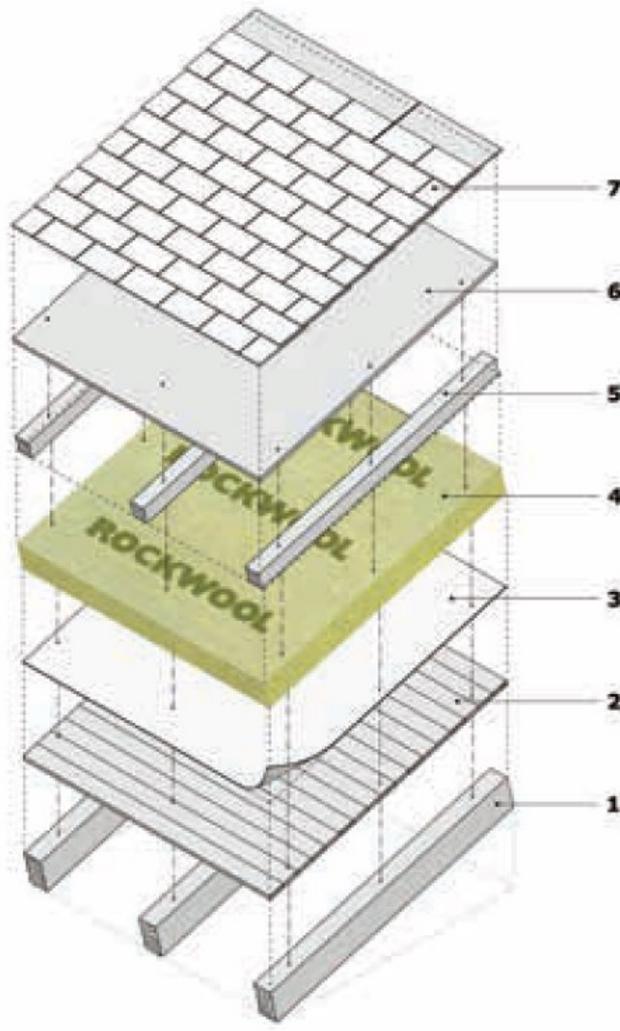
Il manto di copertura (1) deve sporgere per circa 1/3 della larghezza del canale di gronda (5) per consentire la caduta dell'acqua meteorica. Lo strato di tenuta all'acqua (2) deve raggiungere il canale di gronda; nella stessa sezione, la bocca dei canali di ventilazione (3) deve possedere una **rete parapasseri**. Il primo listello (6) presenta un'altezza maggiore rispetto alle altre per uniformare la pendenza delle tegole. Lo strato di tenuta all'aria deve raggiungere la chiusura perimetrale.

Coperture inclinate - Soluzioni tecnologiche



RACCORDO COPERTURA PIANA - FALDA VENTILATA

Coperture inclinate - Soluzioni tecnologiche



SOLUZIONE CON TEGOLE BITUMINOSE

Elemento portante in travi lignee e tavolato sovrapposto

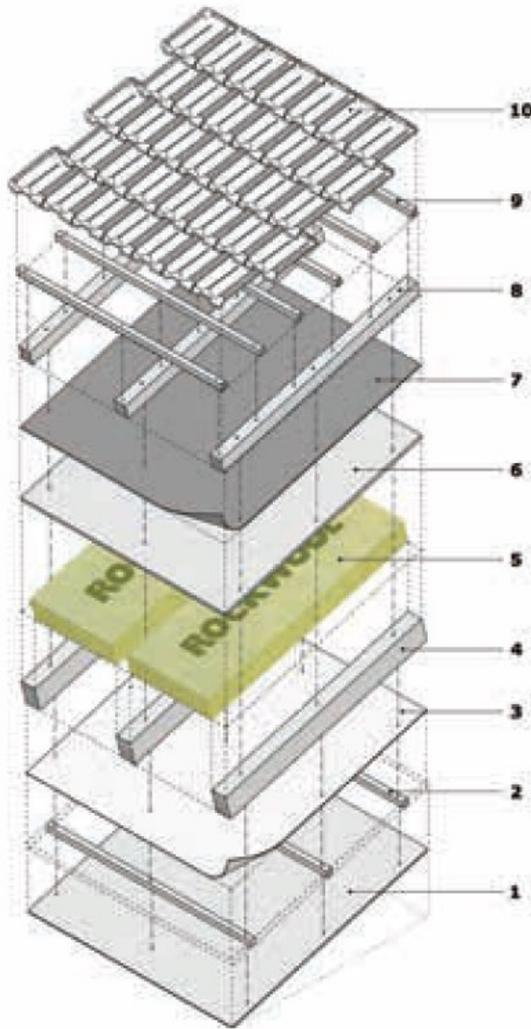
Foglio di polietilene con sovrapposizione a tenuta d'aria

Coibentazione in lana di roccia a doppia densità

Strato di supporto al manto in pannelli lignei

Tegole bituminose saldate a fiamma

Coperture inclinate - Soluzioni tecnologiche



SOLUZIONE ISOLATA INTERNAMENTE

Rivestimento interno in cartongesso rivestito o gessofibra

Strato di supporto in listelli lignei

Foglio di polietilene con sovrapposizione a tenuta d'aria

Elemento portante in travi lignee con coibente interposto

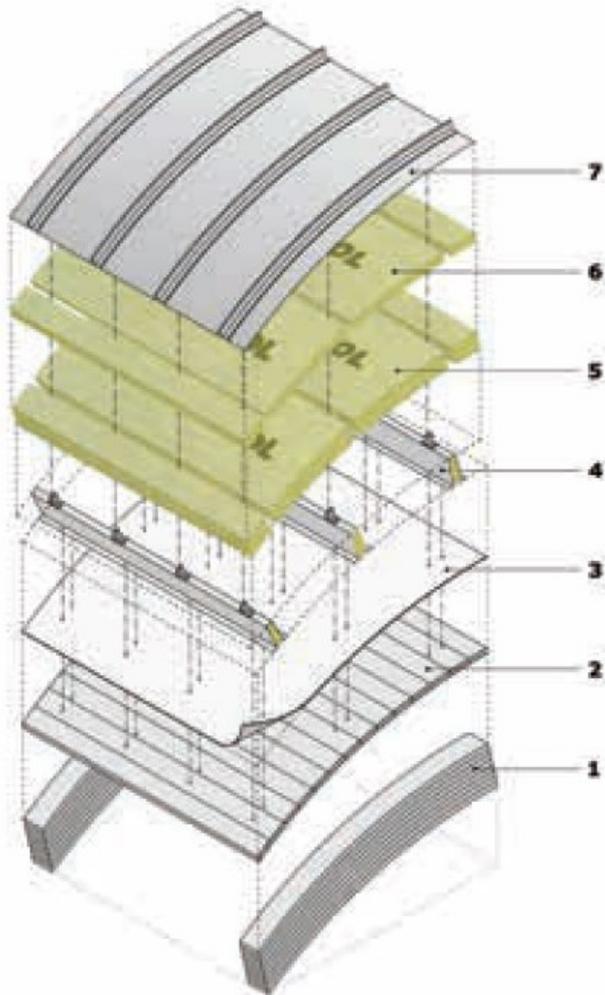
Strato di supporto in tavolato ligneo

Geotessile non tessuto per tenuta all'acqua

Strato di supporto al manto in pannelli lignei

Tegole in laterizio

Coperture inclinate - Soluzioni tecnologiche



COPERTURA DISCONTINUA IN LASTRE METALLICHE (ZINCO / ZINCO-TITANIO)

Elemento portante in travi lignee e tavolato sovrapposto

Foglio di polietilene con sovrapposizione a tenuta d'aria

Strato di supporto in elementi metallici staffati...

...con interposizione di pannelli isolanti

Elemento di tenuta in lastre metalliche UNI 10372

6.3

Per riepilogare

Riepilogo coperture

MATRICE DELLE SOLUZIONI TECNICHE UNI 8627

	Pendenza			Accessibilità, fruibilità e vivibilità							Posizione elemento tenuta			Caratteristiche elemento tenuta		
	Copertura orizzontale, pendenza < 1%	Copertura suborizzontale, 1% < pendenza < 5%	Copertura inclinata, pendenza > 5%	Accessibile per manutenzione copertura	Accessibile per manutenzione impianti	Accessibile a pedoni	Copertura a verde	Coperture a destinazione speciale	Copertura per parcheggio mezzi leggeri	Copertura per parcheggio mezzi pesanti	Estradosso della copertura	Sottostrato protezione	Sottostrato isolante	Grandi elementi	Piccoli elementi	Membrane
Copertura continua	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			■
Copertura discontinua			■	■	■			■			■	■		■	■	

Riepilogo coperture

COPERTURE DISCONTINUE	SCHEMI FUNZIONALI			
	Copertura con elemento termoisolante		Copertura senza elemento termoisolante	
	Con strato ventilazione	Senza strato ventilazione	Con strato ventilazione	Senza strato ventilazione
Elemento o strato funzionale				
Strato di schermo al vapore/barriera vapore	eventuale			
Elemento termoisolante	fondamentale	fondamentale		
Strato di tenuta all'aria	eventuale		eventuale	
Strato di collegamento	eventuale			
Strato di ventilazione	fondamentale		fondamentale	
Strato di pendenza	integrato	integrato	integrato	integrato
Elemento portante	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Elemento di collegamento		eventuale		
Strato di supporto		eventuale		
Strato di schermo vapore/barriera vapore		fondamentale		
Elemento termoisolante		fondamentale		
Strato di irrigidimento		eventuale		
Elemento di collegamento	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Elemento di tenuta		eventuale	eventuale	eventuale
Elemento di supporto*	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Elemento di collegamento	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Elemento di tenuta	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Strato di protezione	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale

Riepilogo coperture

COPERTURE CONTINUE	SCHEMI FUNZIONALI			
	Copertura con elemento termoisolante		Copertura senza elemento termoisolante	
	Con strato ventilazione	Senza strato ventilazione	Con strato ventilazione	Senza strato ventilazione
Elemento o strato funzionale				
Elemento portante	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Elemento di collegamento		eventuale		eventuale
Strato di continuità		eventuale		eventuale
Strato di imprimitura		eventuale		eventuale
Strato di pendenza		fondamentale		fondamentale
Strato di regolarizzazione	eventuale	eventuale		
Strato di imprimitura		eventuale		
Strato di diffusione pressione vapore		migliorativo		
Strato barriera al vapore/schermo vapore	migliorativo	fondamentale		
Elemento di collegamento (strato incollaggio)	eventuale	eventuale		
Elemento termoisolante	fondamentale	fondamentale		
Elemento di collegamento	eventuale	eventuale		
Strato di irrigidimento/strato di continuità	fondamentale/ complementare	eventuale		
Strato di ventilazione	fondamentale		fondamentale	
Elemento portante	fondamentale		fondamentale	
Elemento di collegamento	eventuale		eventuale	
Strato di continuità	eventuale		eventuale	
Strato di imprimitura	eventuale		eventuale	
Strato di pendenza	fondamentale		fondamentale	
Strato di regolarizzazione	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Strato di imprimitura	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Elemento di collegamento	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Strato di diffusione pressione al vapore	migliorativo	migliorativo	migliorativo	migliorativo
Elemento di collegamento/strato di separazione	migliorativo	migliorativo	migliorativo	migliorativo
Elemento di tenuta	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Strato di separazione	migliorativo	migliorativo	migliorativo	migliorativo
Strato drenante	fondamentale/ migliorativo	fondamentale/ migliorativo		
Elemento termoisolante	fondamentale	fondamentale		
Strato filtrante	fondamentale	fondamentale		
Strato di protezione	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale

Bibliografia

- Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 26 giugno 2015 “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”.
- Lechner N., Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects, 1a ed. John Wiley & sons Incorporated, New York, 2001. ISBN: 978-04-700-4809-2.
- Tortorici G. (a cura di), Architettura Tecnica. Edizioni Alinea, Firenze, 2012.
- Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 26 giugno 2015 “Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”.
- Ciaramella A., Tronconi O., Qualità e prestazioni degli edifici. Gruppo Editoriale il Sole 24 ore, Milano, 2011.
- Wienke U., Aria calore luce – Il comfort ambientale negli edifici. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2005. ISBN: 884961441.
- Dassori E., Morbiducci R., Costruire l'architettura - Tecniche e tecnologie per il progetto. Edizioni Tecniche Nuove, Milano, 2010. ISBN 978-88-481-2298-6.
- Fiorito F., Involucro edilizio e risparmio energetico. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2009. ISBN: 978-88-7758-863-0.
- Trevisi A. S., Laforgia D., Ruggiero F., Efficienza energetica in edilizia. Maggioli Editore, Rimini, 2006. ISBN: 978-88-387-3824-6.
- <https://www.guidaedilizia.it/company/sirap-insulation/profile/>
- www.rockwool.it
- <http://www.indexspa.it/>