



*Legno e durabilità*

*Un materiale a  
prova del nostro  
tempo*

**Andrea  
Bernasconi**

Prof. heig-vd Yverdon CH  
holztragwerke.ch AG

# FORUM ITALIANO DEL LEGNO



**15 NOVEMBRE 2019**

RIVA DEL GARDA • *Centro Congressi • Du Lac et Du Parc Grand Resort*

# I punti critici

Ciò che tutti sanno sul tema del legno e l'acqua: il legno marcisce!!



È questo il problema ?

Qual'è la risposta corretta ?

## Il tema della durabilità del legno non è nuovo

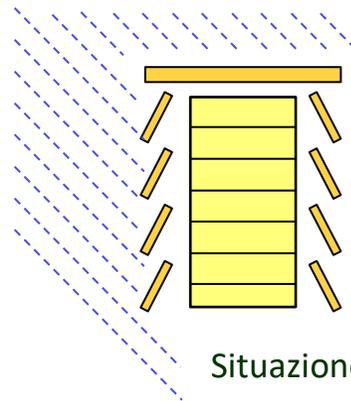
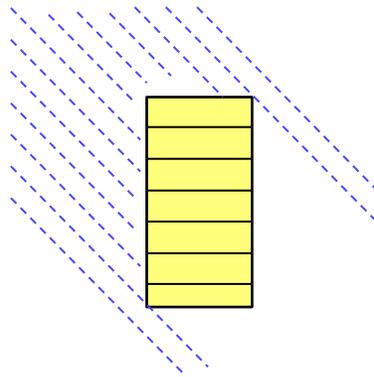


## Il principio della protezione completa del legno

- tramandato dalla tradizione
- base per una durabilità sicura e collaudata

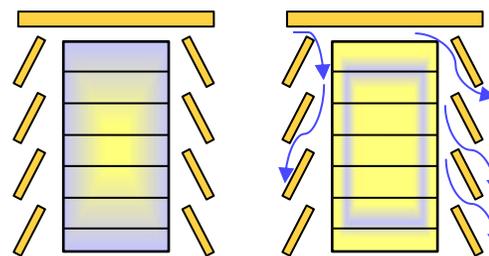


Elemento da proteggere    Elemento protetto



Situazione normale

Situazione eccezionale



— — — — — ➔ tempo

### Misura di protezione 1:

- protezione fisica
- l'acqua resta lontana

+

### Misura di protezione 2:

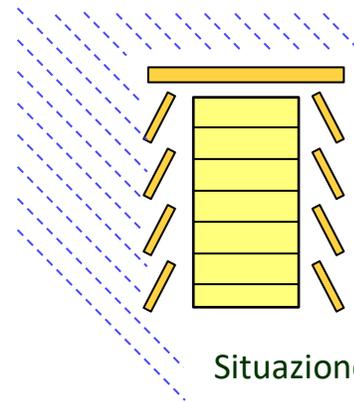
- ventilazione
- essiccazione possibile

=

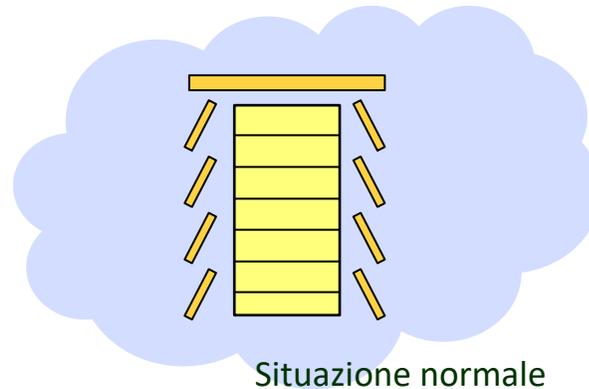
**Durabilità e Sicurezza**

## Il principio della protezione completa del legno

- tramandato dalla tradizione
- base per una durabilità sicura e collaudata



Situazione normale



Situazione normale

### Misura di protezione 1:

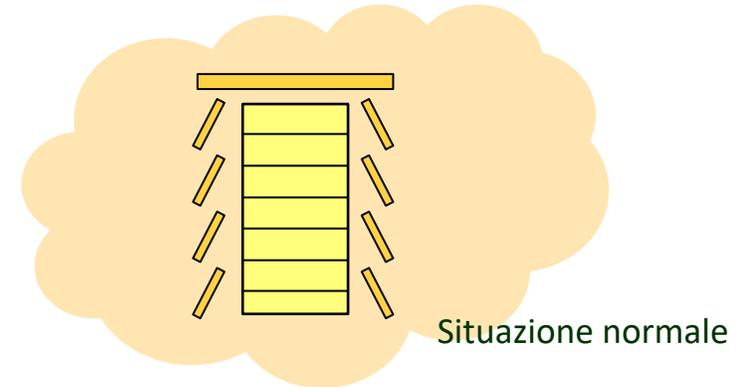
- protezione fisica
- l'acqua resta lontana  
**acqua in forma liquida**

### Clima umido:

- $\phi_{aria} = 80 \%$
- $u_{legno} = \max 20 \%$

**nessun rischio**  
**classe di rischio 2**

## Il rischio di degrado del legno Effetto dell'umidità del legno



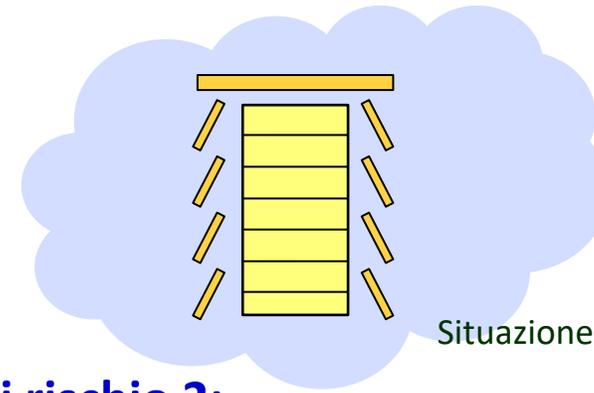
### Classe di rischio 1:

- clima 20° / 65%
- $u_{gl} = \sim 12\%$
- tutti gli interni di abitazione

### Rischio non presente:

- nessuno sviluppo di funghi
- legno "secco"
- **nessun degrado**

## Il rischio di degrado del legno Effetto dell'umidità del legno



Situazione normale

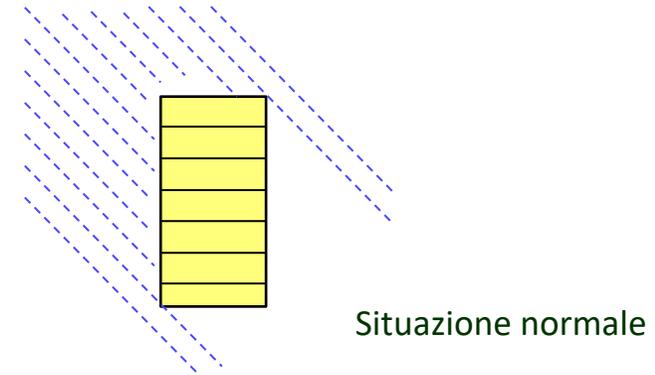
### Classe di rischio 2:

- clima 20° / 85%
- $u_{gl} = \sim 20\%$
- elementi **completamente** protetti dal contatto diretto con l'acqua
- $u_{gl} > 20\%$  occasionalmente possibile

### Rischio potenziale possibile:

- salvo incidenti, nessun rischio
- legno ancora sufficientemente "secco"
- di regola nessuna misura particolare necessaria

## Il rischio di degrado del legno Effetto dell'umidità del legno



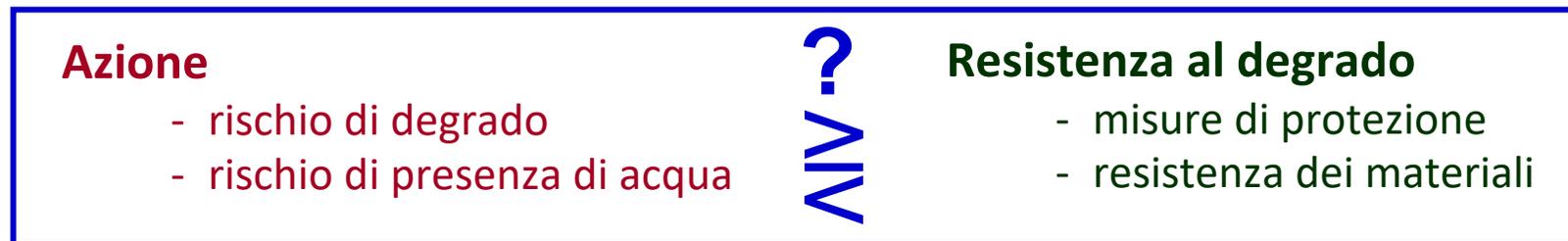
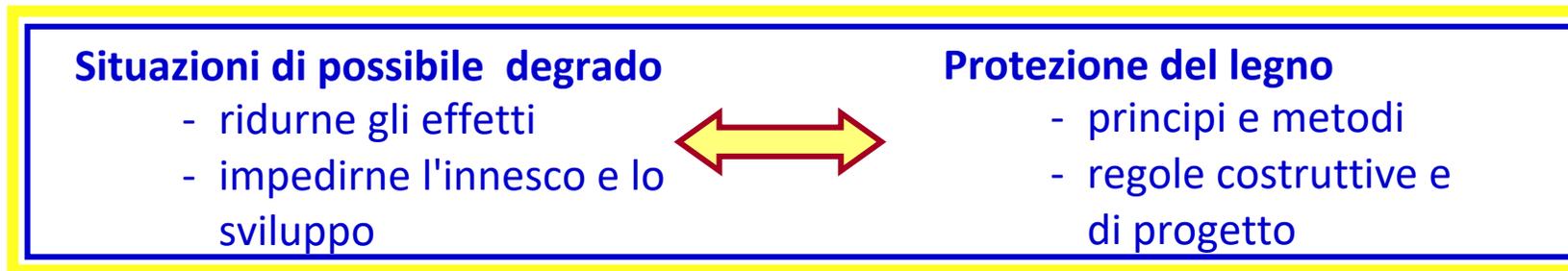
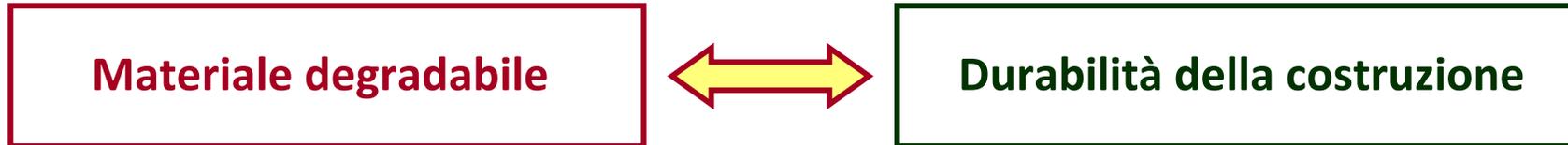
### Classe di rischio 3:

- clima più umido che la classe 2
- $u_{gl} > 20\%$
- elementi a contatto con l'acqua
- degrado biologico "possibile"

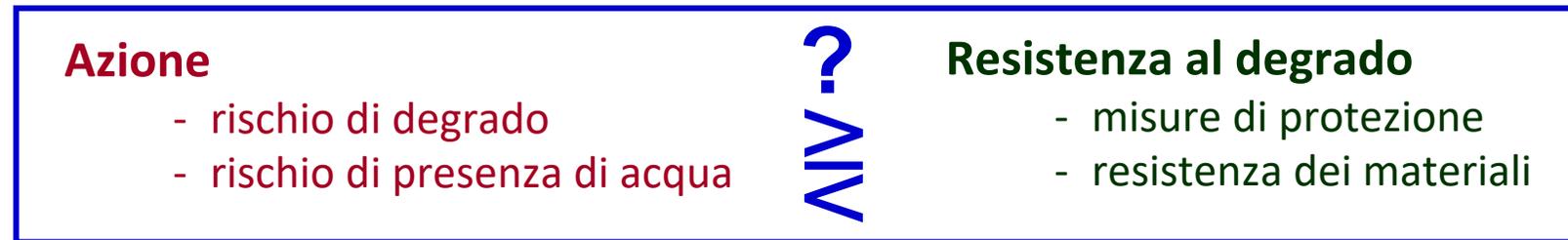
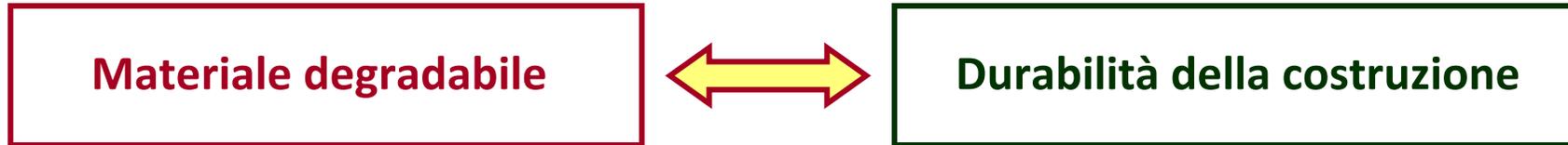
### Rischio esistente e accettato:

- **durata di vita limitata**
- **misure di protezione necessarie**

## Durabilità del materiale legno



## Durabilità del materiale legno

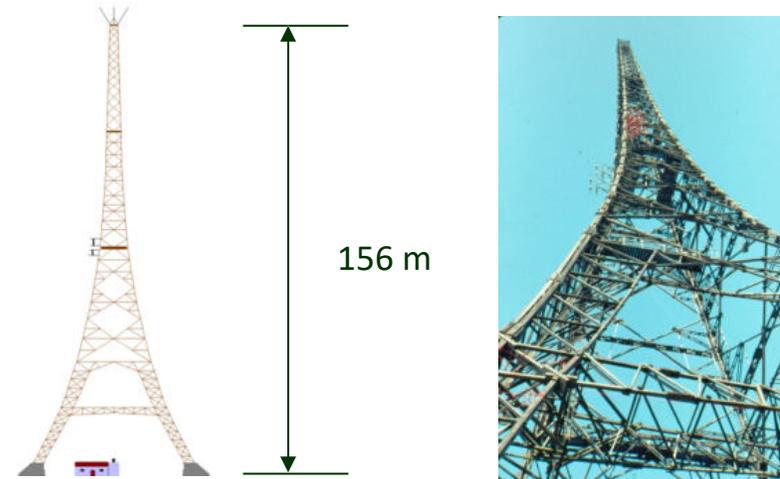


**Verifica di progetto - verifica della durabilità**

## La durabilità diventa a pieno titolo

- un criterio di progetto
- un aspetto da valutare, pur se in assenza di criteri quantitativi e assoluti

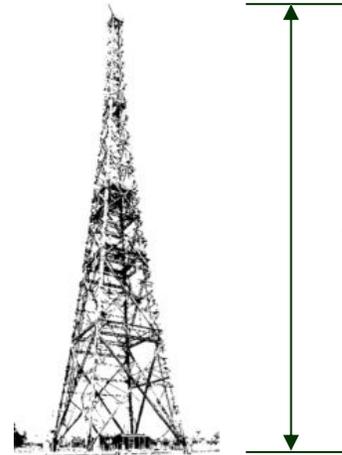
## Le torri di legno vantano una lunga tradizione ...



### Torre delle antenne radio di Ismaning:

- costruita 1932 -1934
- in servizio con l'antenna fino al 1977
- demolita perché pericolante nel 1983
- durata di vita effettiva: 50 anni

## Le torri di legno vantano una lunga tradizione ...



110 m



### Torre dell'antenna Radio di Gleiwitz - Polonia:

- costruita 1935
- in servizio come antenna fino al 1945
- ancora esistente
- durata di vita effettiva > 80 anni

## Altri tipi di costruzioni speciali ...



Losanna -2007

## I ponti quali costruzioni speciali



### Ponte pedonale di attraversamento del confine di stato nel bosco:

- arco di lamellare di larice con una luce di 25.4 m
- impalcato di legno di castagno
- costruito nel 2005
- adattamento balaustre nel 2006

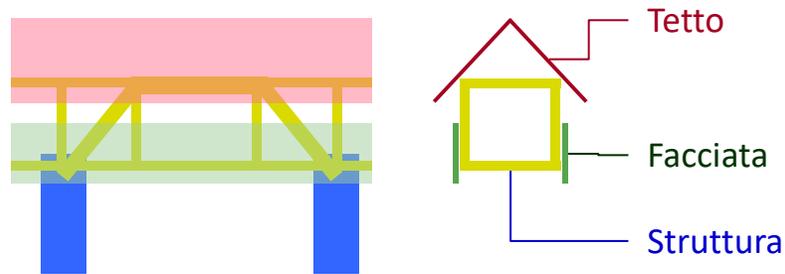
## I ponti in legno realizzati come strutture completamente protette



## I ponti in legno con la struttura completamente protetta

### Principio della protezione del legno:

- La struttura in legno si trova all'interno
- Facciate ventilate a protezione contro l'acqua, il sole e le intemperie
- Buona ventilazione della struttura portante

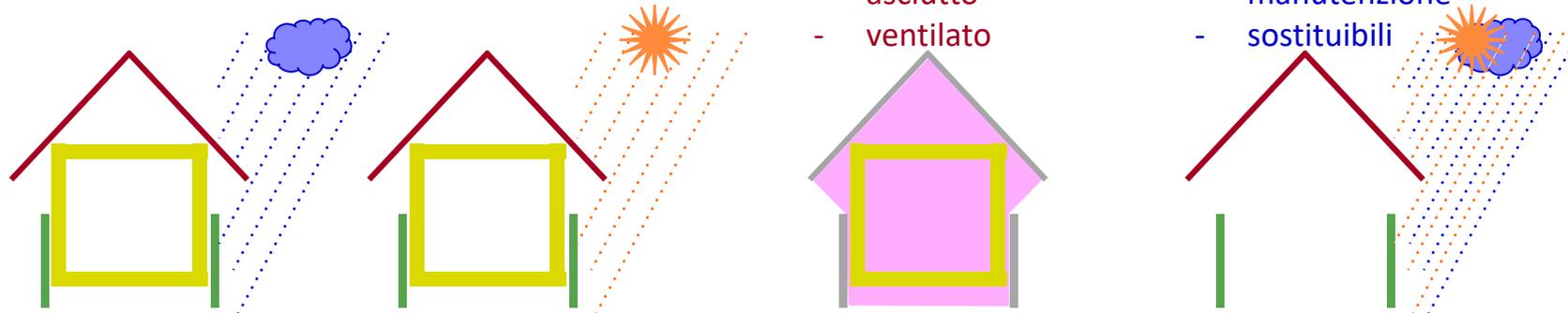


### Zona protetta:

- asciutto
- ventilato

### Elementi esposti:

- manutenzione
- sostituibili

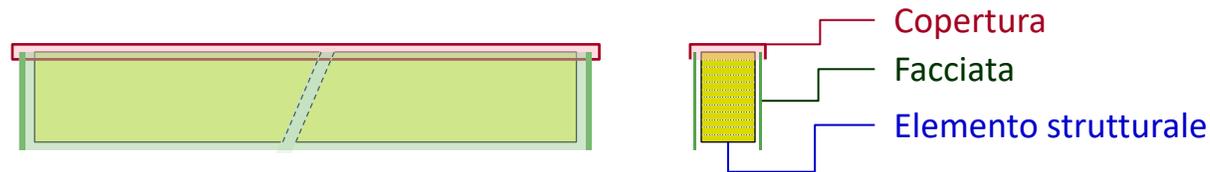


**Struttura in legno completamente protetta - Durabilità garantita**

## I ponti in legno con elementi strutturali completamente protetti

### Principio della protezione dei **singoli** elementi strutturali:

- Elementi strutturali in legno con i lati esposti completamente protetti
- Protezione locale con ventilazione a protezione contro l'acqua, il sole e le intemperie
- Elementi strutturali ventilati

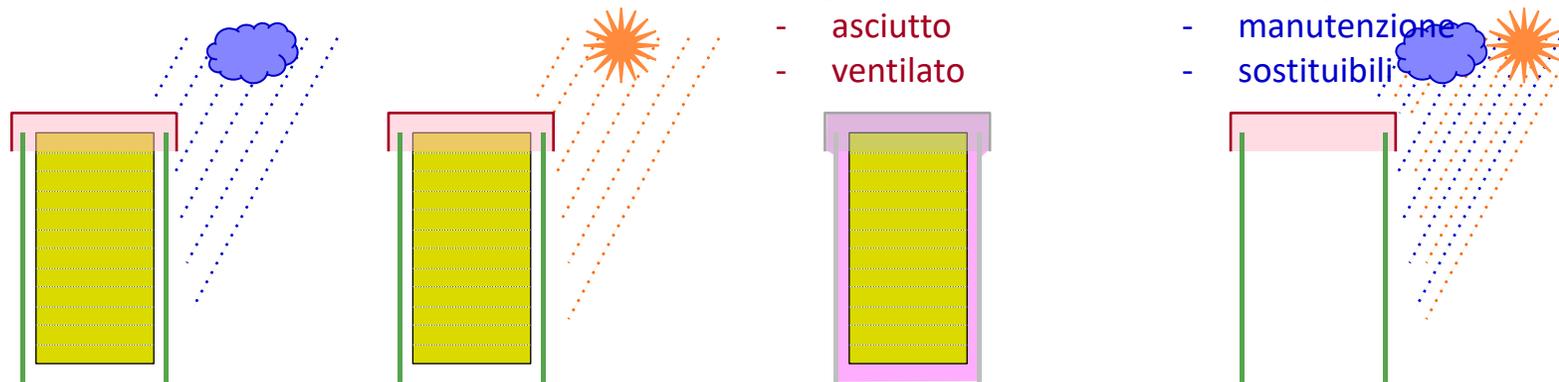


### Zona protetta:

- asciutto
- ventilato

### Elementi esposti:

- manutenzione
- sostituibili

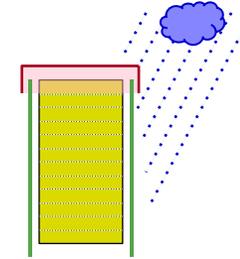


**Elementi strutturali in legno completamente protetti - Durabilità garantita**

## I ponti in legno con elementi strutturali completamente protetti

### Principio della protezione dei **singoli** elementi strutturali:

- Elementi strutturali in legno con i lati esposti completamente protetti
- Protezione locale con ventilazione a protezione contro l'acqua, il sole e le intemperie
- Elementi strutturali ventilati

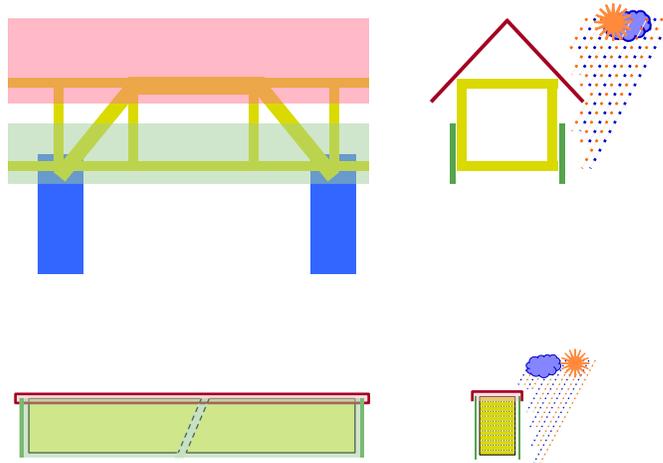


**Elementi strutturali in legno completamente protetti - Durabilità garantita**

## I ponti in legno completamente protetti

### L'acqua e l'irraggiamento solare diretto

- provengono dall'esterno
- tenuti lontani dagli elementi di protezione
- nessun contatto con l'acqua



### Struttura o elementi strutturali protetti

- inseriti in uno spazio protetto
- sempre ben ventilati
- nessun contatto di progetto con l'acqua

### Situazione

- Umidità del legno mai troppo elevata
- nessun rischio di degrado
- impiego di "ogni" specie legnosa possibile

### Durabilità praticamente indipendente da

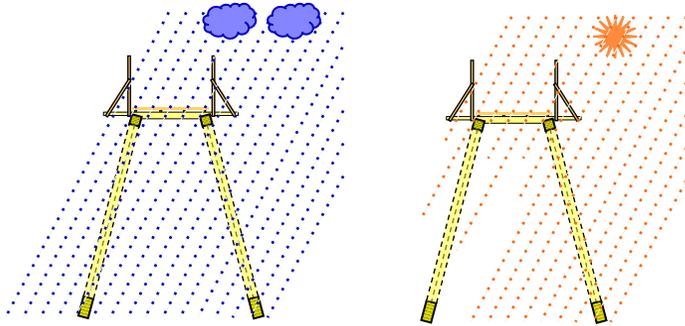
- specie legnosa
- dimensioni delle sezioni

**Struttura in legno completamente protetta - Durabilità garantita**

## Costruzioni non protette - non completamente protette

### Situazione

- Acqua e raggi solari arrivano a contatto con il legno
- Il legno diventa molto umido
- Contatto con l'acqua accettato in fase di progetto



### Struttura o elemento strutturale non protetti

- non inserito in una zona protetta
- sempre ventilato
- contatto con l'acqua progettato

### Situazione

- possibile umidità del legno troppo elevata
- rischio di marciume reale e esistente
- molto influenzata dai dettagli costruttivi

### Durabilità direttamente dipendente

- dalla specie legnosa
- dalle dimensioni delle sezioni
- dall'esecuzione dei dettagli
- dal progetto

**Struttura non completamente protetta - Durabilità sempre limitata**

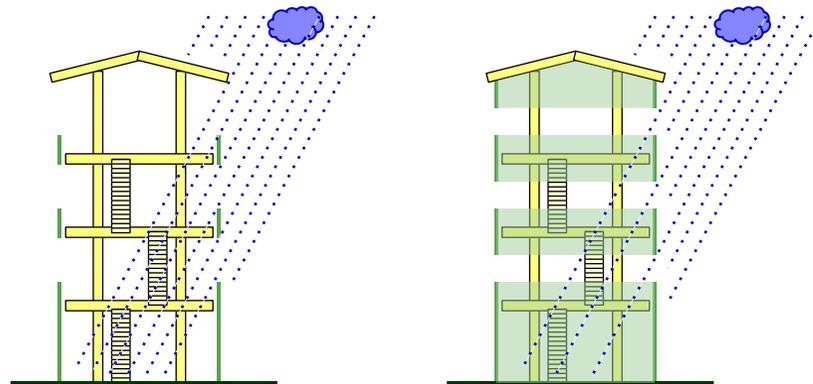
## Torri di legno - Caso estremo di una costruzione non protetta



## Torri di legno - Caso estremo di una costruzione non protetta

### Gli aspetti essenziali di una torre (di legno)

- nel mezzo della natura e per goderne al meglio
- per avere un vista libera in tutte le direzioni
- per progetto di regola aperta e trasparente
- "in relazione alla struttura portante" esigente
- geometria complessa



### Costruzione aperta

- completamente aperta
- con aperture il più ampie possibile
- in posizioni molto esposte

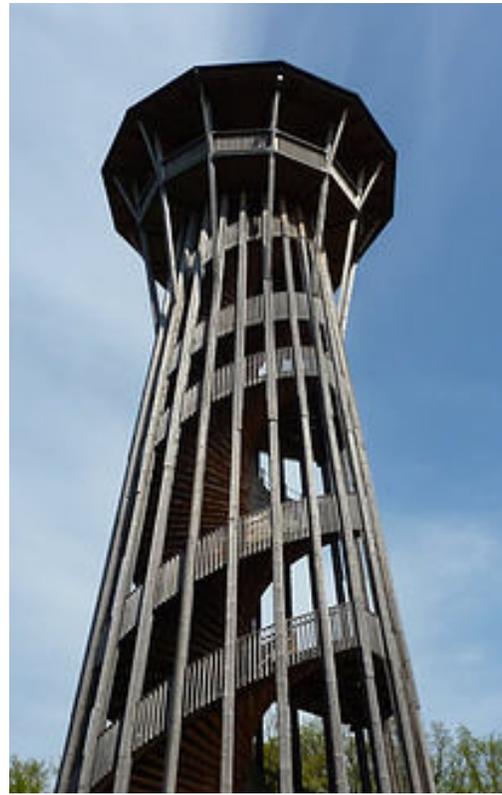
### Situazione

- l'acqua entra a piacimento
- il legno si bagna da fuori che da dentro
- sempre in posizione molto esposta

**Struttura non completamente protetta / esposta - Durabilità sempre limitata**

## Torri di legno - Caso estremo di una costruzione non protetta

Ingrigimento piuttosto rapido anche all'interno



## Torri di legno - Caso estremo di una costruzione non protetta

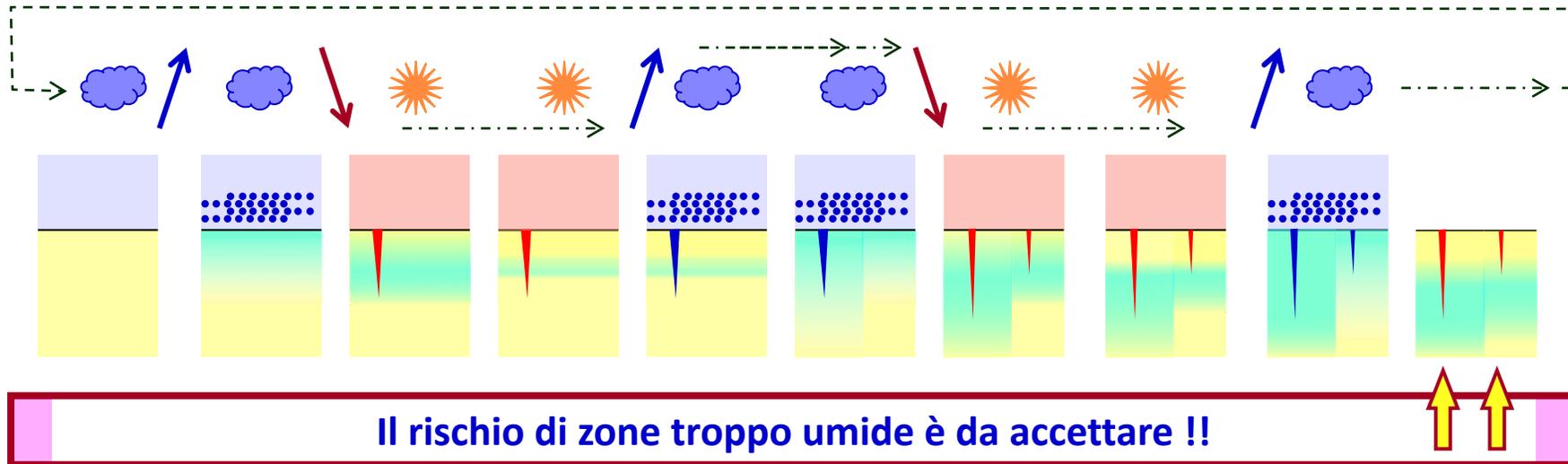
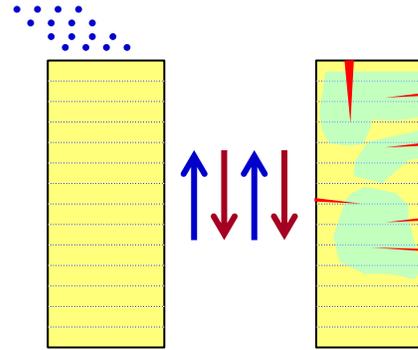
Ingrigimento piuttosto rapido anche all'interno



## Effetto del possibile assorbimento di acqua

Elementi **strutturali** di legno a contatto con l'acqua e con clima variabile

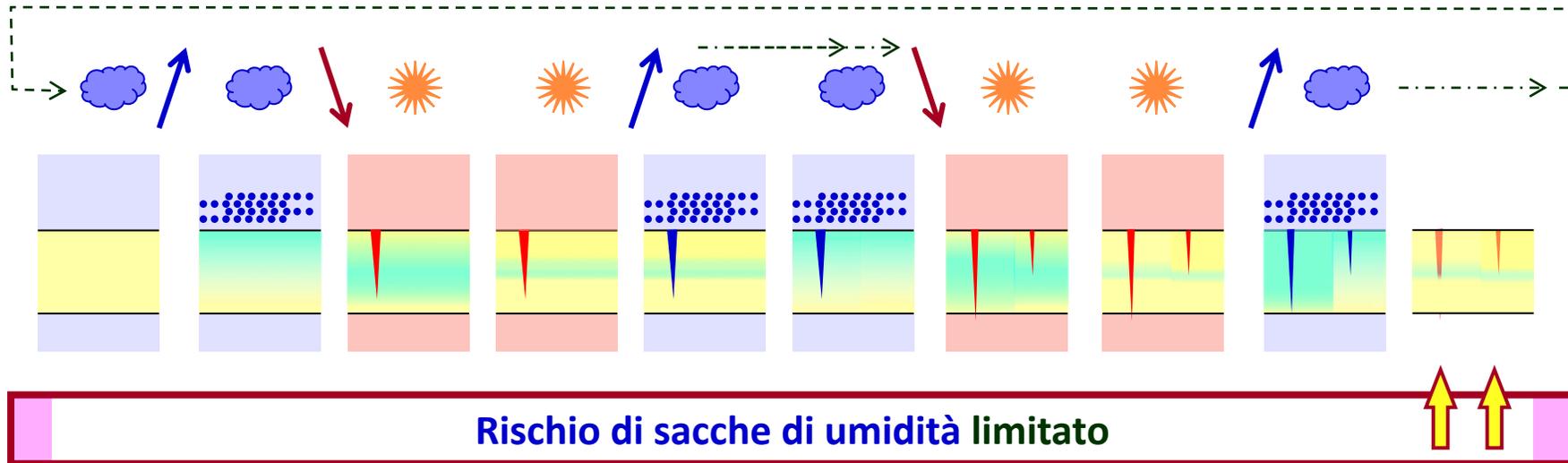
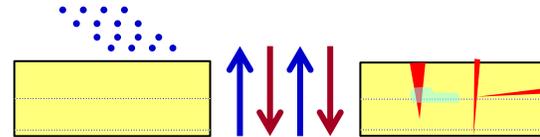
- Apertura di fessure profonde
- Essiccazione solo della superficie
- si creano zone umide all'interno della sezione
- il marciume prima o poi si arresta



## Effetto del possibile assorbimento di acqua

Elementi **strutturali** di legno a contatto con l'acqua e con clima variabile

- Apertura di fessure profonde
- Essiccazione possibile
- gradiente di umidità limitato nella sezione
- il marciume inizia più tardi



## Durata di vita degli elementi non protetti

### Effetto delle dimensioni delle sezioni sulla durata di vita

in caso di condizioni identiche



### Effetti rilevanti in fase di progetto

#### Effetto dell'assorbimento di acqua

- più corto il contatto con l'acqua, più durevole
- più in fretta l'acqua scorre via, più durevole

#### Effetto dell'essiccazione

- più delicata l'essiccazione, più durevole
- meglio ventilato, più durevole

#### Effetto della quantità di acqua

- meno acqua, più durevole
- meno esposto alle intemperie, più durevole

#### Effetto della specie legnosa

- determinate come specie
- determinate come taglio
- eventuale trattamento

## Durata di vita degli elementi non protetti

### Effetto delle dimensioni delle sezioni sulla durata di vita

in caso di condizioni identiche



### Effetti della situazione di servizio e altri

#### Effetto della manutenzione

- Pulizia
- Cura della vegetazione in prossimità
- Riparazione tempestiva dei danni
- Manutenzione degli eventuali trattamenti

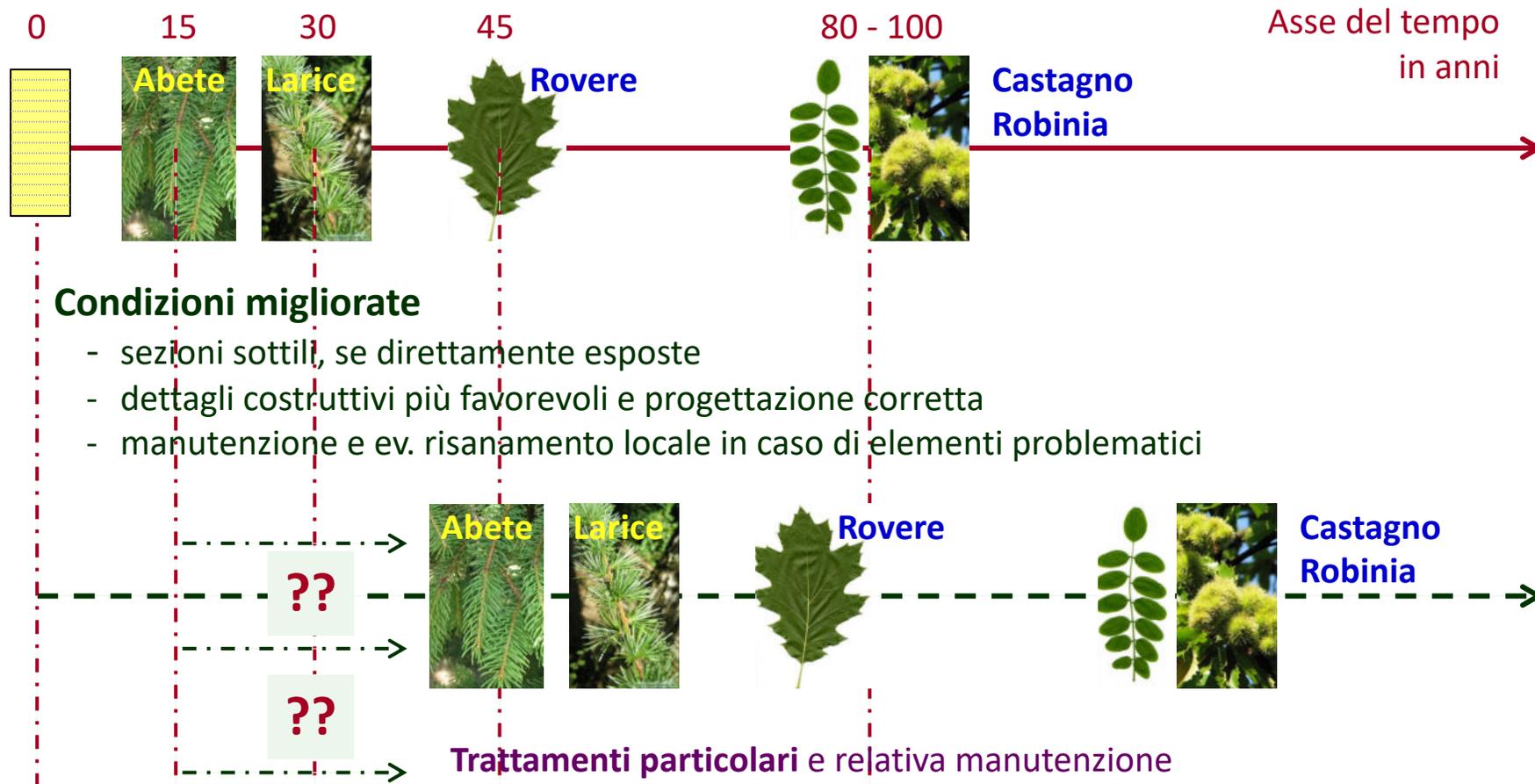
#### Effetto degli "imprevisti pianificati"

- Incidenti di ogni tipo
- La provenienza naturale e imprevedibile del legno

## Scelta della specie adatta - la prima misura di protezione

### Classificazione secondo la durabilità

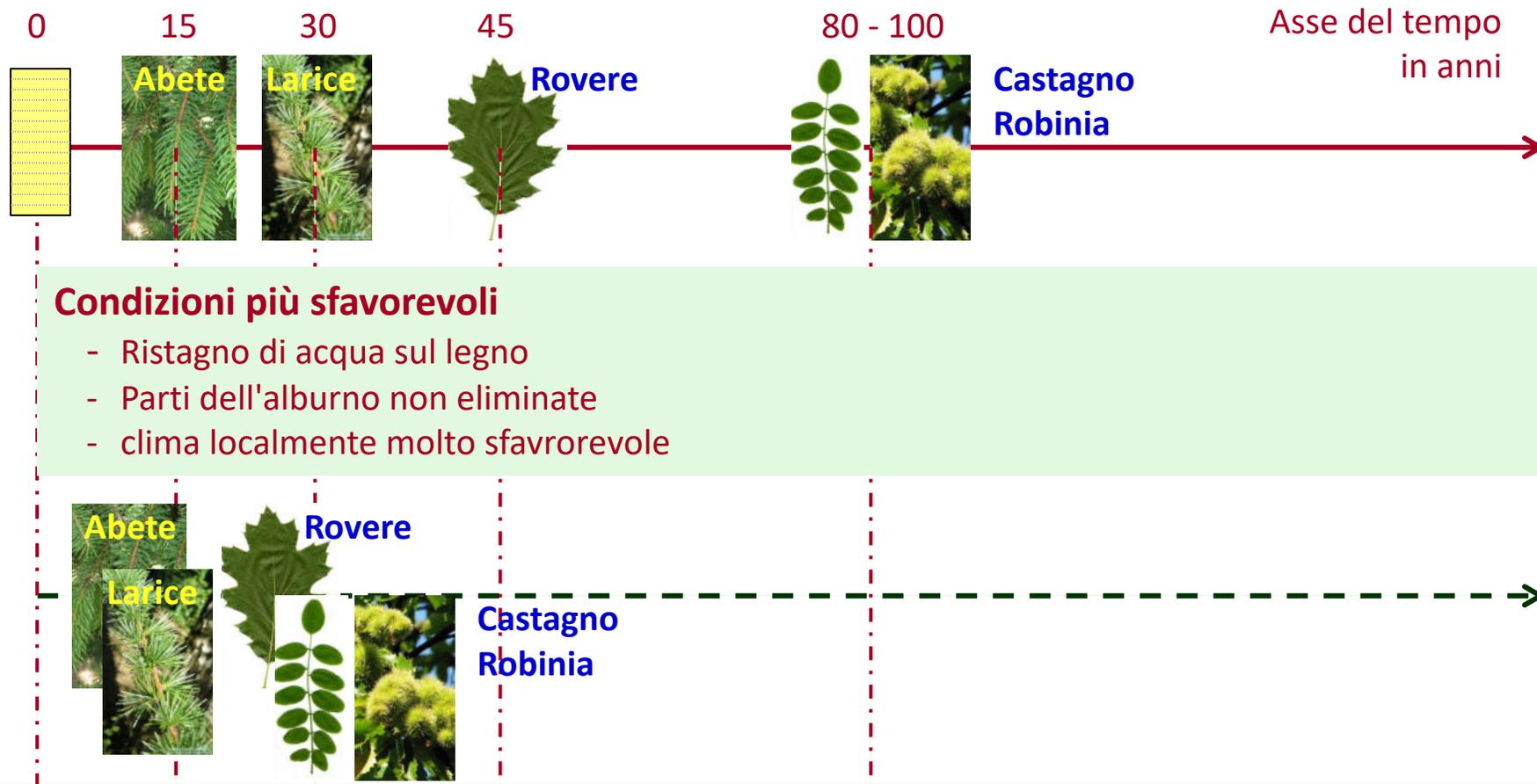
- in caso esposizione diretta e naturale



## Scelta della specie adatta - la prima misura di protezione

### Classificazione secondo la durabilità

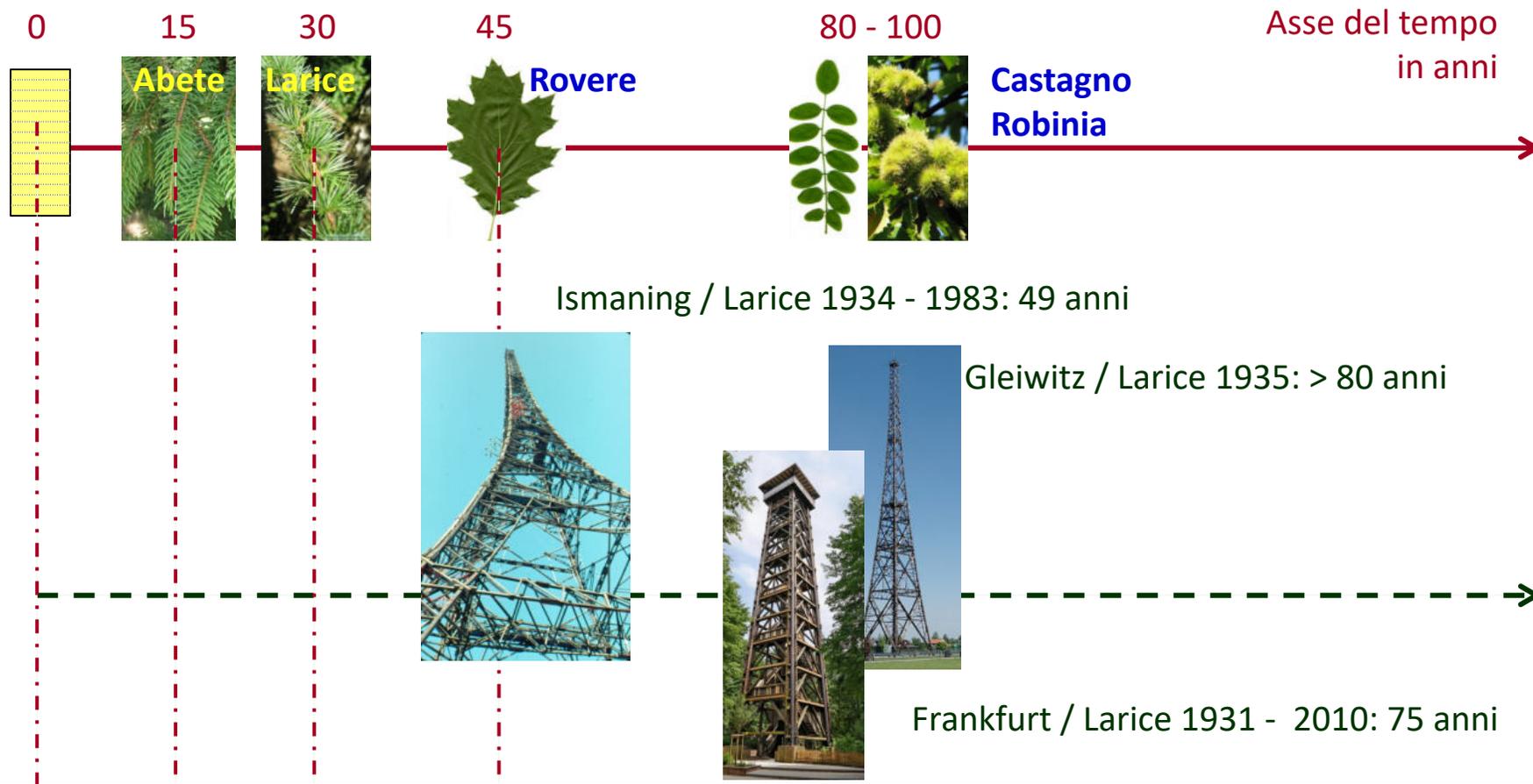
- in caso esposizione diretta e naturale



## Scelta della specie adatta - la prima misura di protezione

### Classificazione secondo la durabilità

- in caso esposizione diretta e naturale



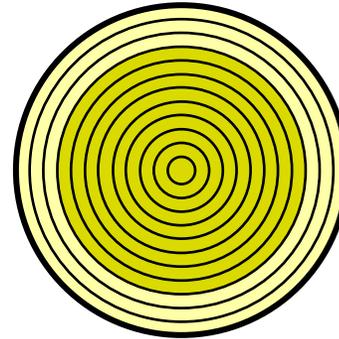
## Specie legnosa e parti impiegate

### Alburno

- presenta una durabilità ridotta
- deve per principio essere escluso

### Da trattare come criterio di qualità

- facilmente riconoscibile
- riconoscibile anche allo stato essiccato
- nell'abete non riconoscibile - e quindi non controllabile



## Specie legnosa e parti impiegate

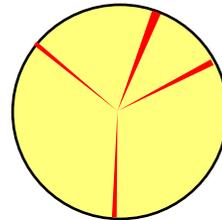
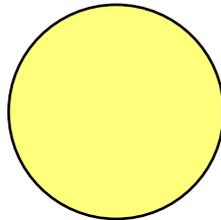
### Legno tondo

- fessura sempre
- presenta le fessure più larghe
- nessuna superficie segata - e nessuna superficie tagliata - esposta alle intemperie
- in parte usato con ottimi risultati
- Esigere e far rispettare la qualità migliore



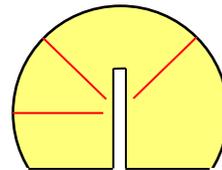
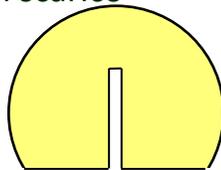
Legno tondo fresco

Dopo l'essiccazione



legno tondo con intaglio di scarico

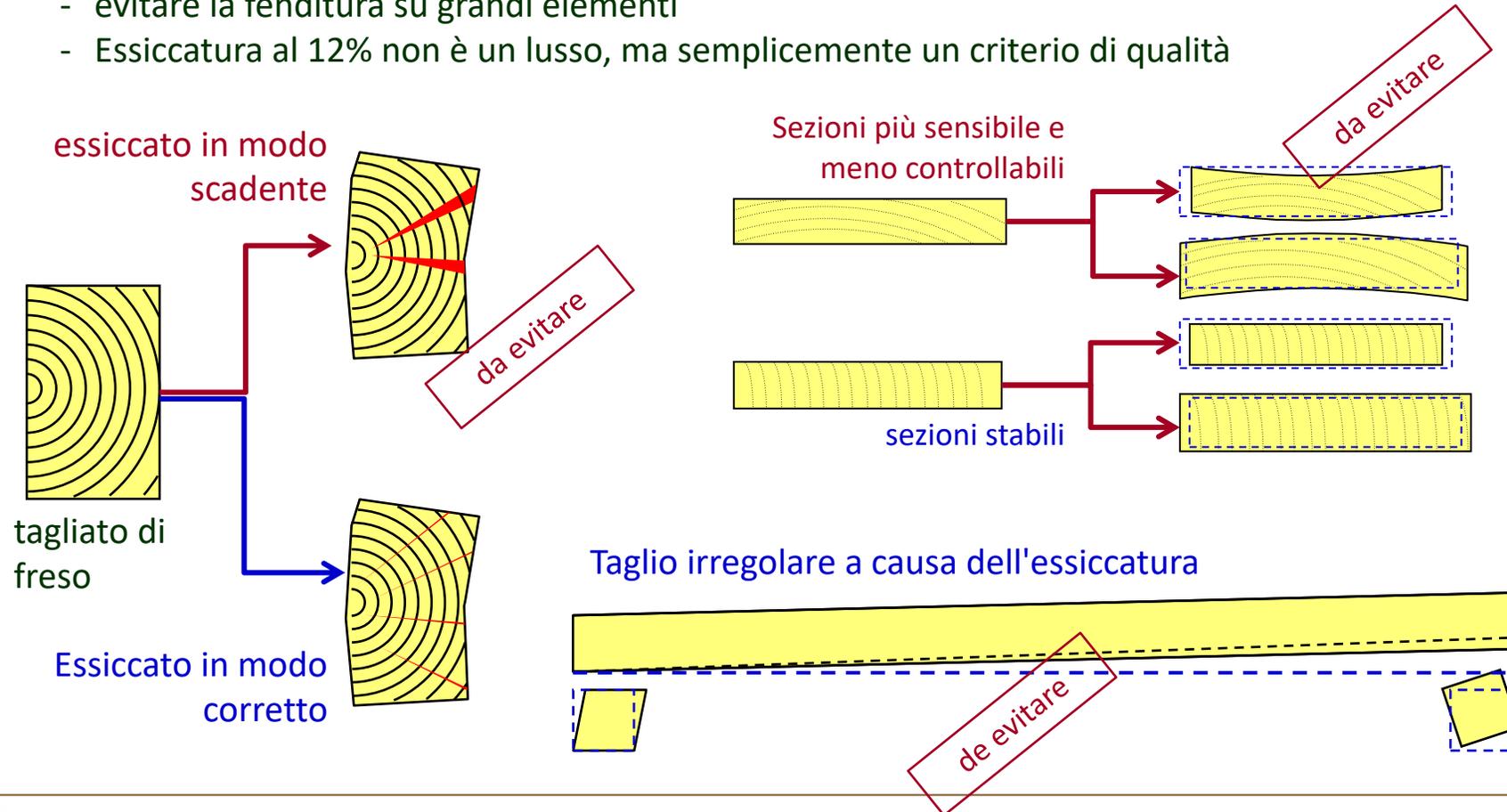
Dopo l'essiccazione



## Specie legnosa e parti impiegate

### Essiccatura in caso di applicazioni esterne

- la tendenza a grandi deformazioni può essere riconosciuta durante l'essiccatura
- evitare la fenditura su grandi elementi
- Essiccatura al 12% non è un lusso, ma semplicemente un criterio di qualità



## Specie legnosa e parti impiegate

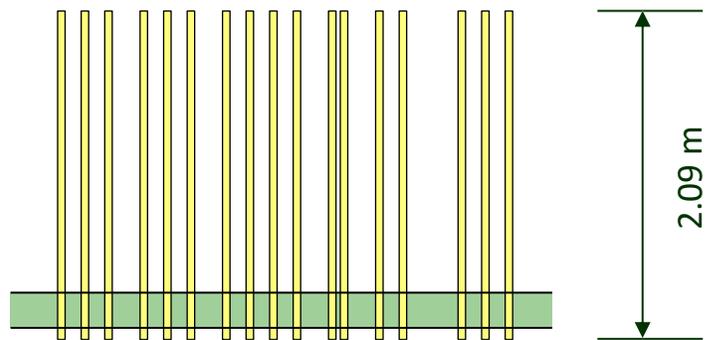
### Tipo di taglio e qualità generale del materiale sfavorevoli

- porta +/- rapidamente a fessure profonde
- per principio / decisamente da evitare ...

3 settimane dopo il montaggio

### Parapetti in legno di faggio

Vista



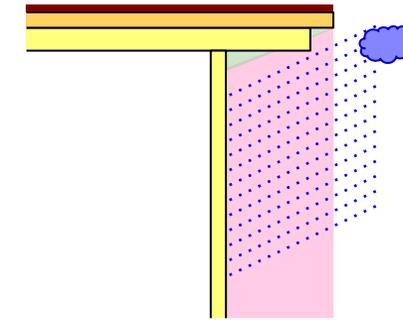
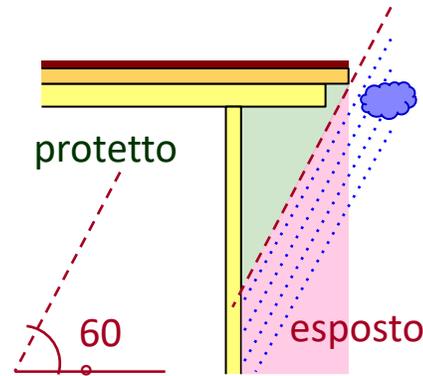
Sezione orizzontale



## Torri di legno - Caso estremo di una costruzione non protetta

### Protezione tramite l'avantetto

- regole usuali non sempre valide
- contenuto di elevata esposizione
- Angolo di protezione di  $60^\circ$  non sempre corretto



Nord-est



Vista sud-ovest



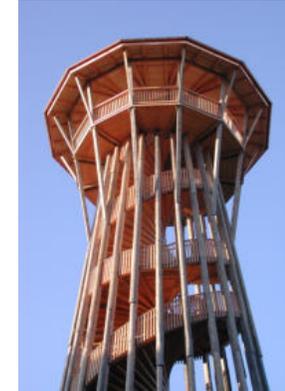
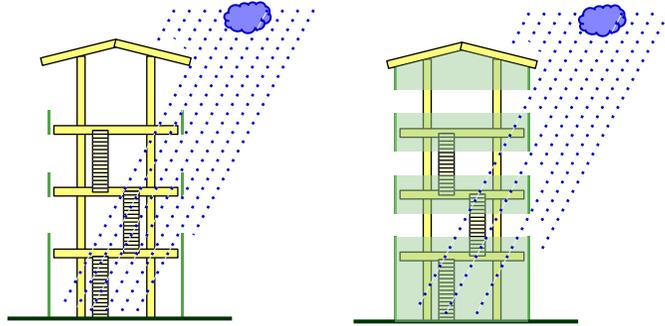
Vista nord-est



Sud-ovest



## Torri di legno - Caso estremo di una costruzione non protetta



### Costruzioni aperte

- completamente aperte
- con grandi aperture
- in zone molto esposte

### Situazione

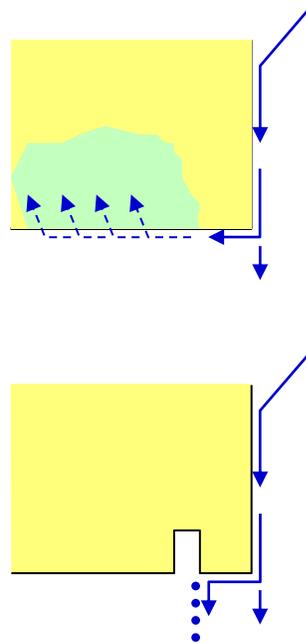
- l'acqua entra nella costruzione
- le rampe di scale centrali e interne sono rapidamente grigie anche sul lato inferiore



## Sgocciolatoio per un deflusso migliore

### Evitare risucchio dell'acqua sulla superficie inferiore

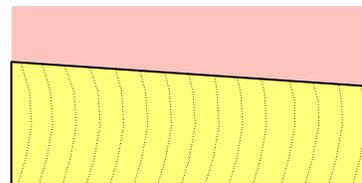
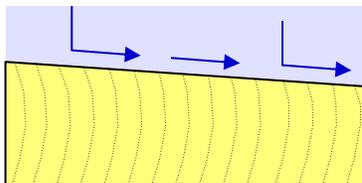
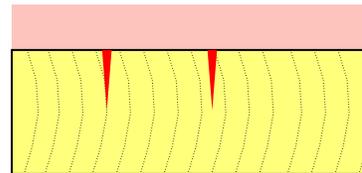
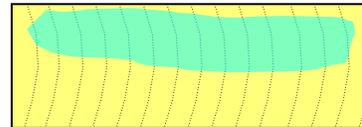
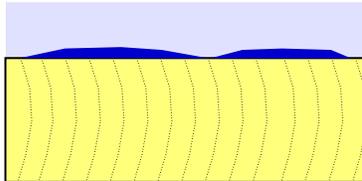
- deflusso più rapido
- protezione della superficie inferiore
- possibile tramite intaglio
- **misura supplementare interessante anche nelle parti interne**



## Superfici inclinate per un rapido e migliore deflusso dell'acqua

### Evitare il ristagno dell'acqua sulle superfici orizzontali

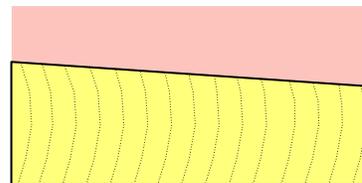
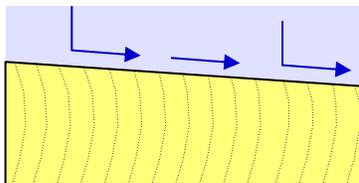
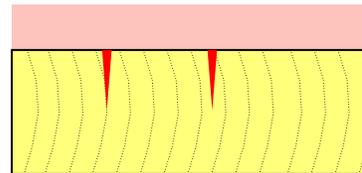
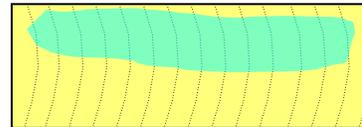
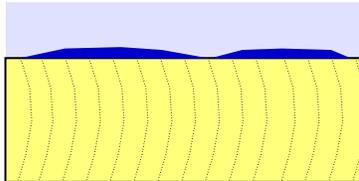
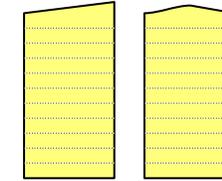
- riduzione della quantità di acqua assorbita dal legno
- lavorazione supplementare necessaria
- riduzione del rischio di fessurazione
- di principio sempre possibile



## Superfici inclinate per un rapido e migliore deflusso dell'acqua

### Evitare il ristagno dell'acqua sulle superfici orizzontali

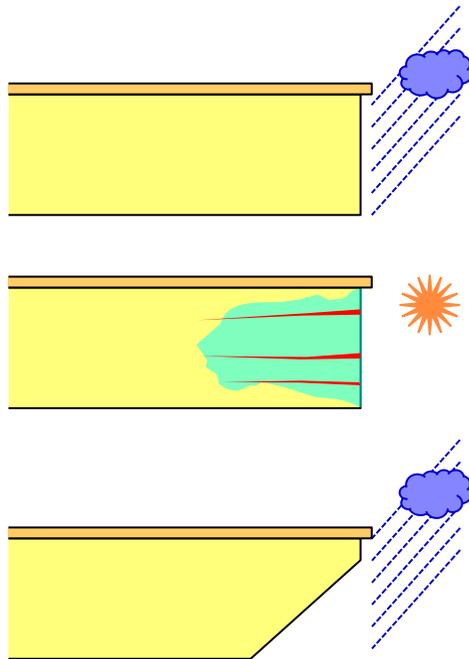
- riduzione della quantità di acqua assorbita dal legno
- lavorazione supplementare necessaria
- riduzione del rischio di fessurazione
- di principio sempre possibile



## Le superfici di testa degli elementi di legno ...

... **devono essere protette o orientate verso il basso**

- assorbimento di troppa acqua nel legno
- fessurazione troppo importante
- rischio di degrado troppo importante
- **danno locale assicurato da di ritiro e rigonfiamento**



montante di castagno  
di 10 anni



colore più scuro nelle  
zone più umide



## Grandi superfici di legno +/- verticali

### Superfici esposte verticali possono essere accettate

- fessurazione inevitabile se direttamente esposte alle intemperie
- indispensabile una qualità del legno ineccepibile
- gli elementi ad esse collegati non devono essere fonte di criticità

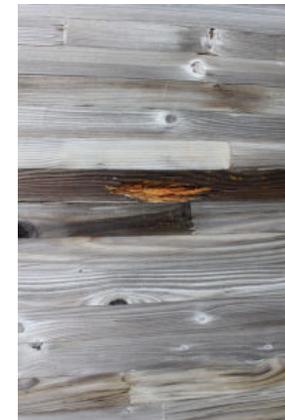
### Qualità ineccepibile - anche e soprattutto degli elementi di lamellare

- evitare le parti di alburno (bianche)
- ridurre i grossi nodi
- più elevata qualità delle lamelle (taglio, anelli di crescita, nodi ...)

stato ineccepibile benché esposto



danni locali dovuti probabilmente a zone di qualità scadente nella composizione lamellare



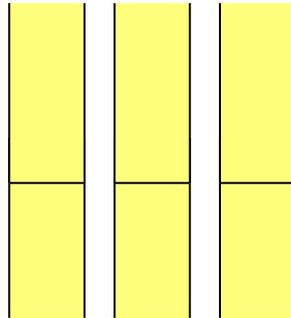
## Intercapedini sottili - Superfici di contatto

### Assorbimento e infiltrazioni di acqua nelle intercapedini sottili

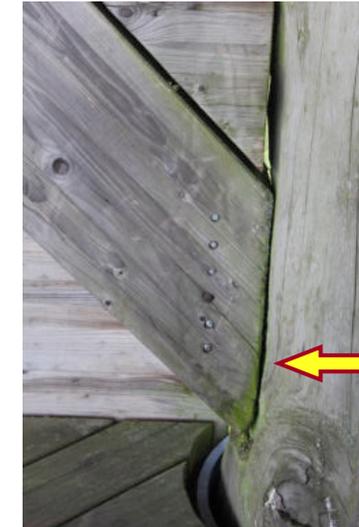
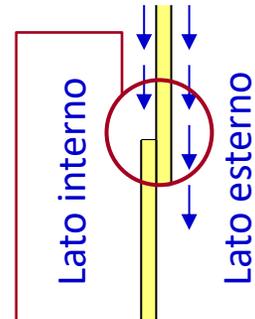
- per principio da evitare ... o da proteggere
- se possibile da posizionare nelle zone non esposte
- nel caso di torri e simili, ciò vale anche per il lato interno

Facciata aperta

Vista



Sezione



## Involucro esterno - Facciata

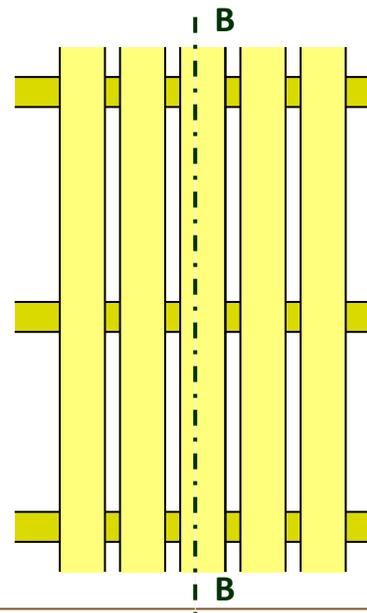
### Facciata aperta e spazi aperti - Effetto protettivo limitato

- Spazio interno aperto
- nessuna superficie ermetica - passaggio di acqua e aria
- solo effetto di protezione dal sole e di delimitazione
- parte interna costruita applicando le regole della protezione del legno
- facciate raramente chiuse

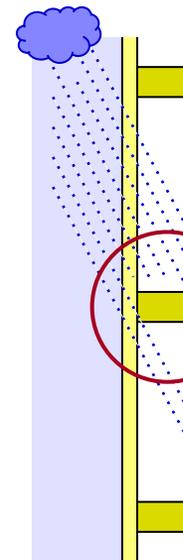


Facciata aperta con tavole verticali

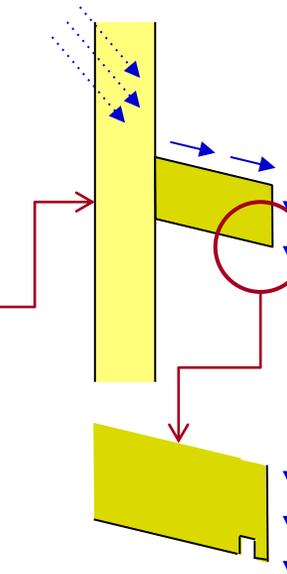
Vista esterna



Sezione B-B



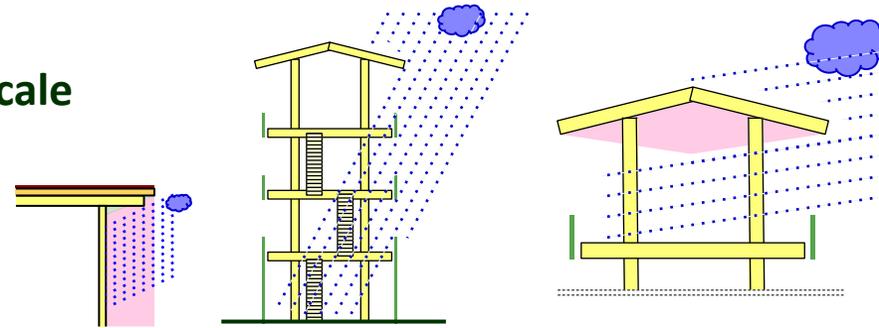
Cura dei dettagli



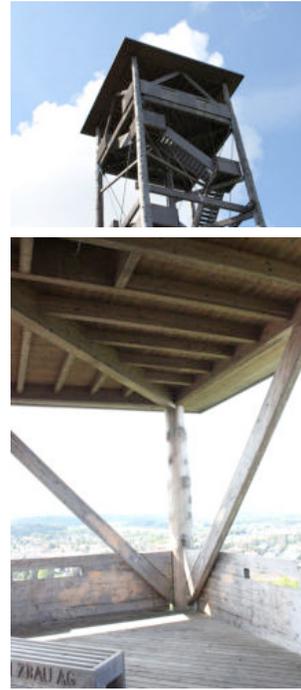
## La copertura

**Molto efficace - ma con effetto molto locale**

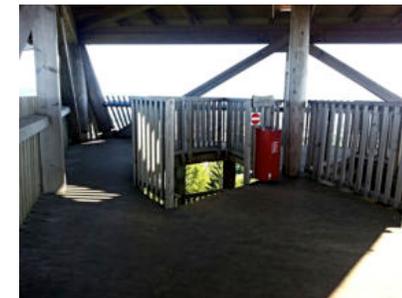
- ombreggiamento della piattaforma
- contro l'acqua effetto limitato
- protezione efficace della copertura (con nodi, collegamenti, ...)



Lyss 2009 (Immagine 2017)



Wil 2006



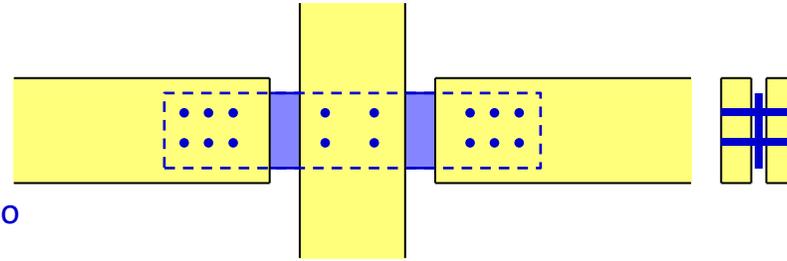
## Protezione delle zone dei collegamenti

### Da definire nel dettaglio di caso in caso

- sono le zone più esposte - e quindi più sensibili
- applicazione rigorosa dei principi di protezione:  
limitare il flusso dell'acqua, buona ventilazione, elementi protettivi supplementari

### Collegamento

- spinotti e lamiere interne
- **intaglio abbondante (ventilato)**
- nessuna superfici di contatto
- buona ventilazione di tutte le superfici di legno



## Protezione delle zone dei collegamenti

### Da definire nel dettaglio di caso in caso

- sono le zone più esposte - e quindi più sensibili
- applicazione rigorosa dei principi di protezione:  
limitare il flusso dell'acqua, buona ventilazione, elementi protettivi supplementari

### Appoggio al piede

- spinotti e lamiera interne - forze elevate
- intagli aperti e ventilati - lamiera non sporgenti
- nessuna superfici di contatto legno-legno
- superfici di testa verso il basso



## Protezione tramite manutenzione

### Sorveglianza e mantenimento delle condizioni di progetto

- spesso manca la cura locale ...
- ... e le condizioni di progetto cambiano
- **una cura regolare del manufatto è un presupposto indispensabile**



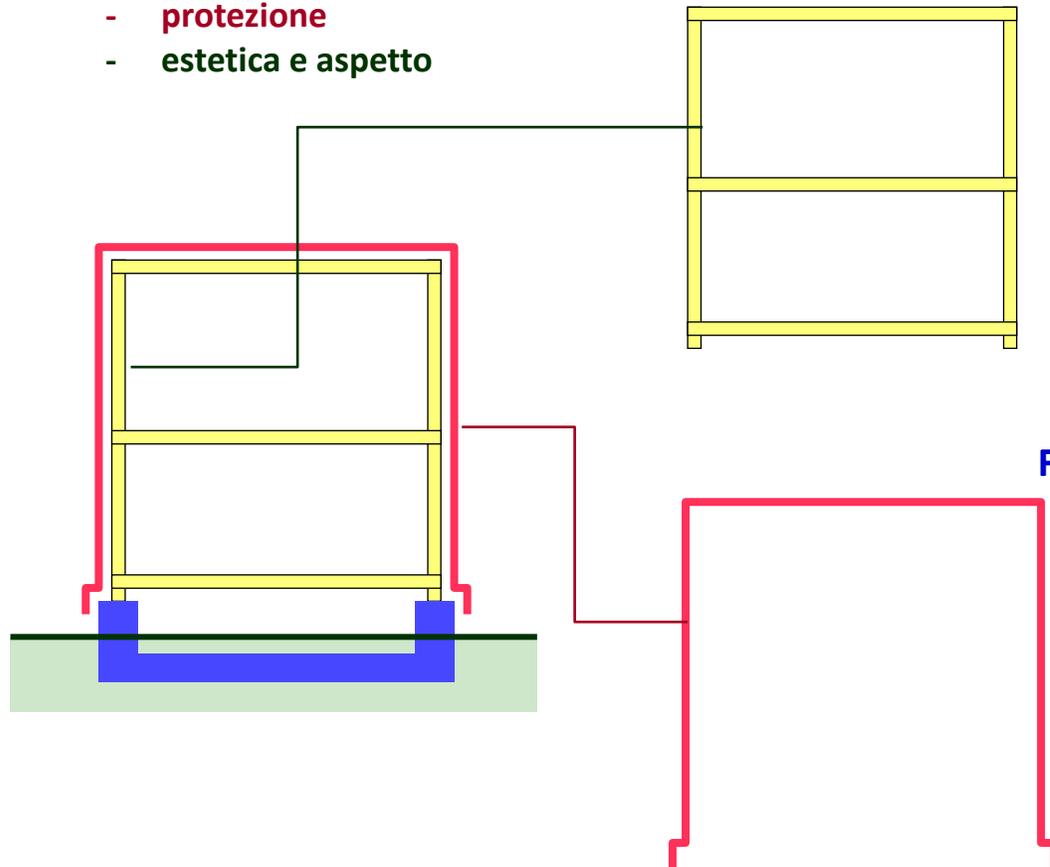
## La facciata - elemento essenziale della costruzione

### Funzioni della facciata

- **protezione**
- **estetica e aspetto**

### Struttura portante

- elementi completamente protetti
- **durata di vita non limitata**



### Facciata

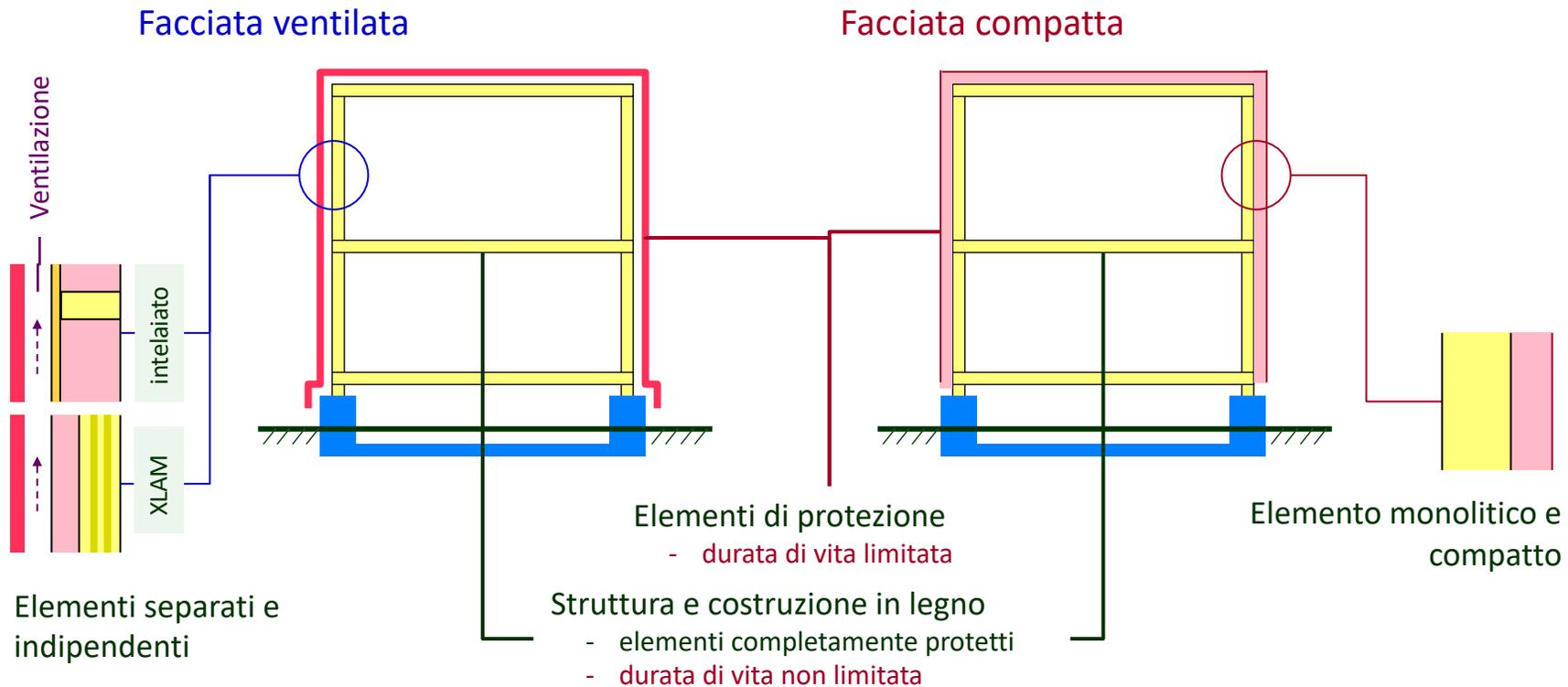
- elementi di protezione
- esposti alle intemperie
- **durata di vita limitata possibile**

# La facciata: l'elemento di protezione

## Misure di protezione costruttiva

La facciata è l'elemento protettivo essenziale del legno

- il solo elemento ... fra il legno e le intemperie
- il solo elemento ... fra il legno e l'acqua
- il solo elemento ... che può permettere al legno di essiccare in caso di necessità - emergenza

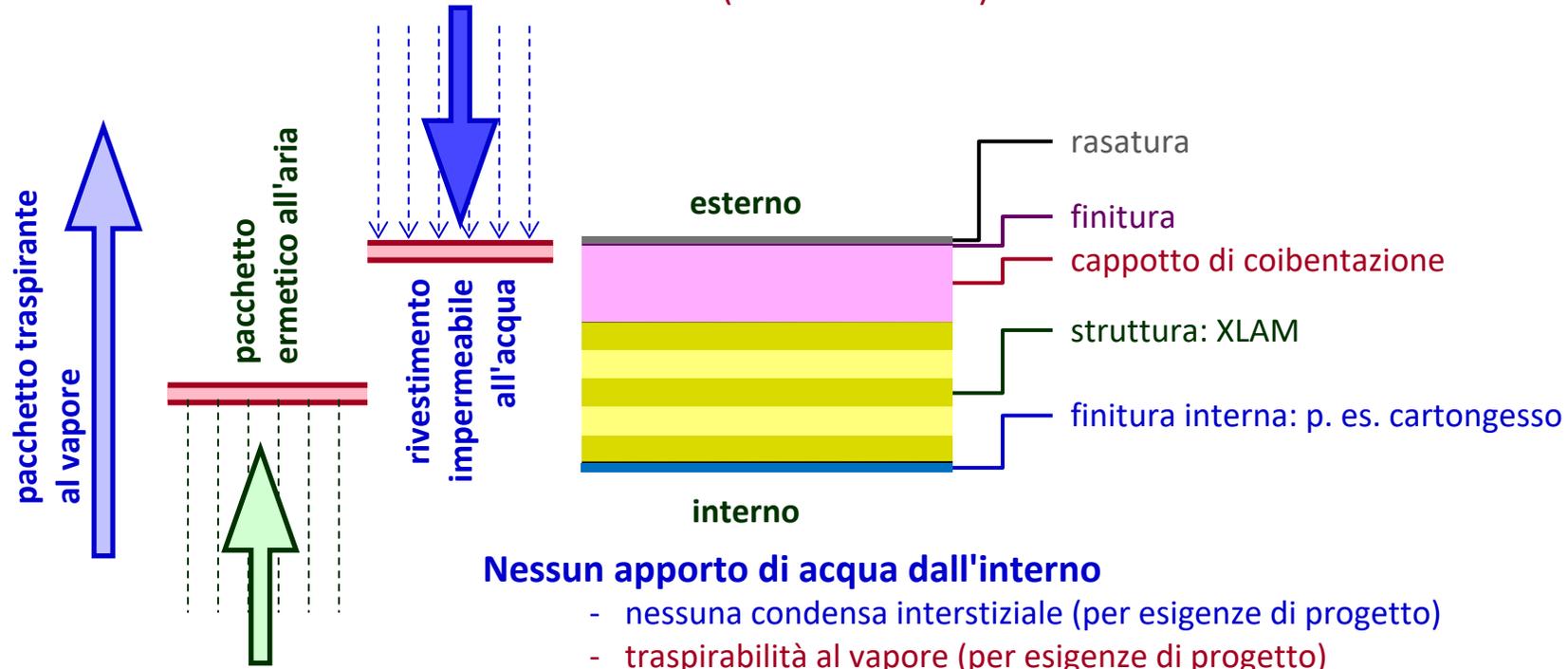


# La facciata: l'elemento di protezione

## Protezione degli elementi strutturali di legno

### Nessun apporto di acqua dall'esterno

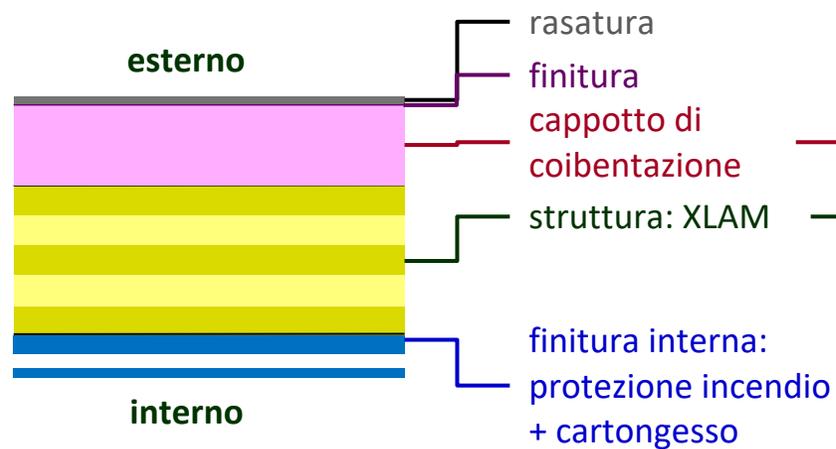
- il cappotto e la facciata (rasatura) sono impermeabili all'acqua
- manutenzione della rasatura (o della facciata) necessaria



**Il legno non è mai in condizione da assorbire acqua  
Non è soggetto ad alcun rischio concreto di degrado biologico**

# La facciata: l'elemento di protezione

## Protezione degli elementi strutturali di legno

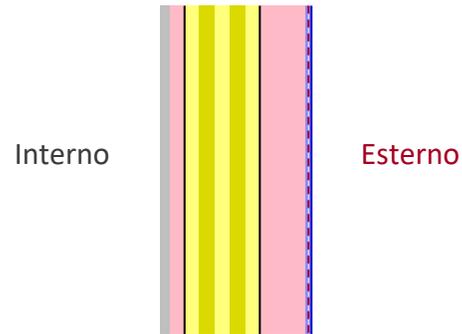


## Un sistema composito complesso

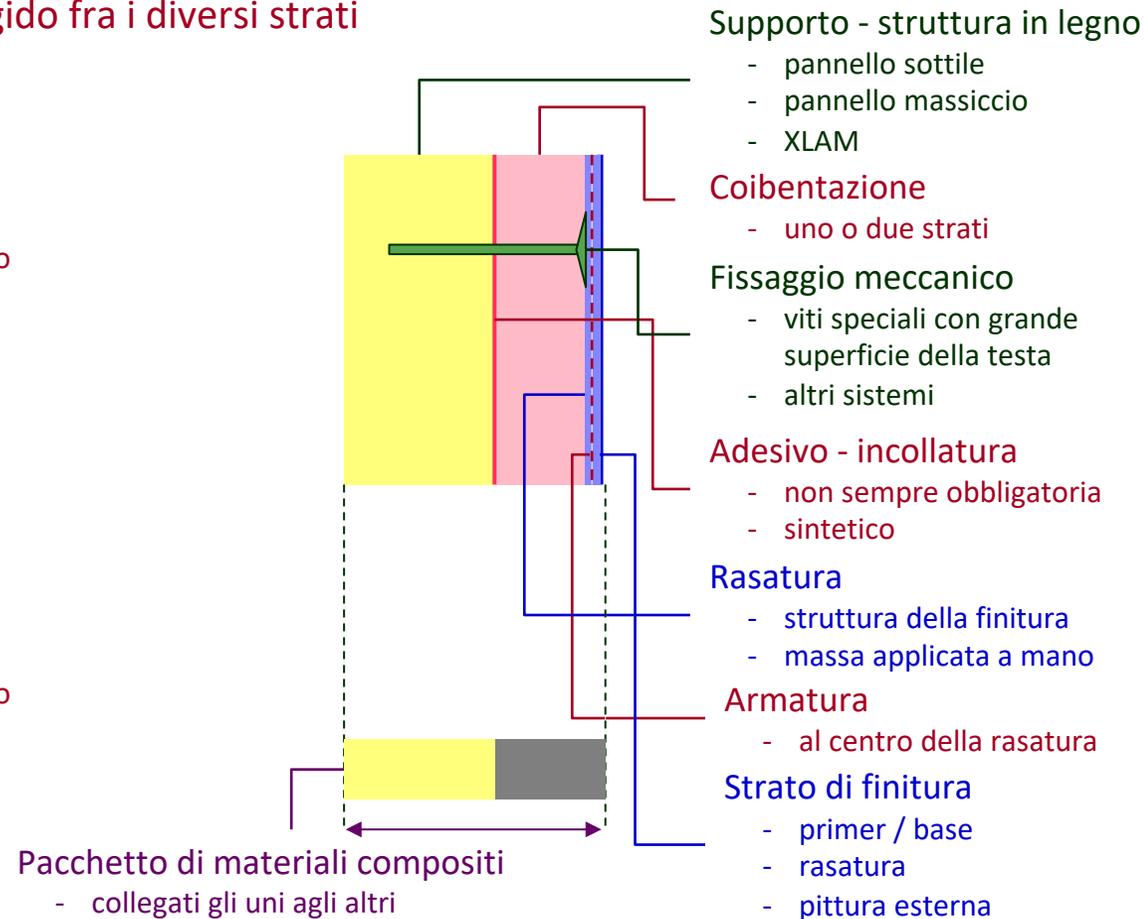
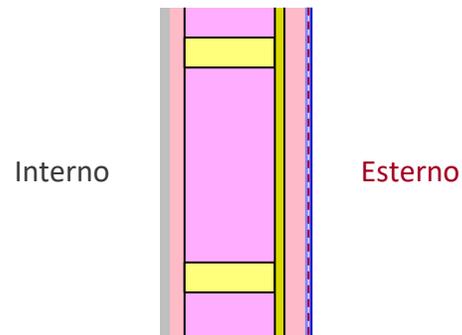
### Composizione di molti strati

- materiali con comportamento e caratteristiche diversi
- collegamento rigido fra i diversi strati

### Struttura massiccia XLAM



### Struttura intelaiata

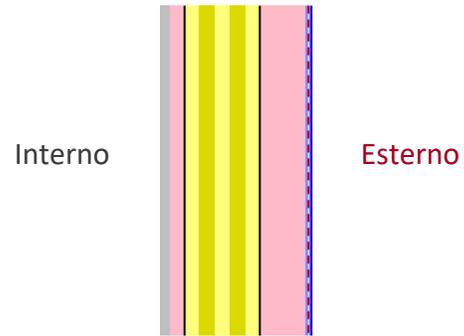


## Un sistema composito complesso

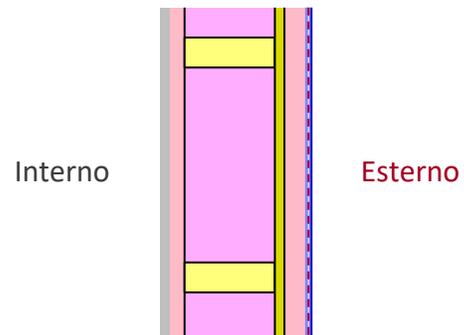
### Composizione di molti strati

- materiali con comportamento e caratteristiche diversi
- collegamento rigido fra i diversi strati

#### Struttura massiccia XLAM



#### Struttura intelaiata



#### Supporto - struttura in legno

- $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$
- $\lambda = 0.15 \text{ W/mK}$
- $\alpha = 3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$

#### Coibentazione

- $\rho \approx 100 - 250 \text{ kg/m}^3$
- $\lambda \approx 0.03 - 0.06 \text{ W/mK}$
- $\alpha \approx ??$

#### rasatura

- $\rho \approx 1000 \dots \text{ kg/m}^3$
- $\lambda \approx \dots \text{ W/mK}$
- $\alpha \approx \dots$

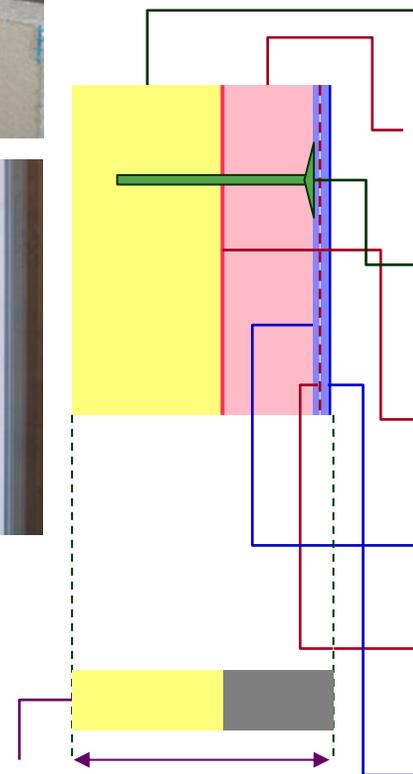
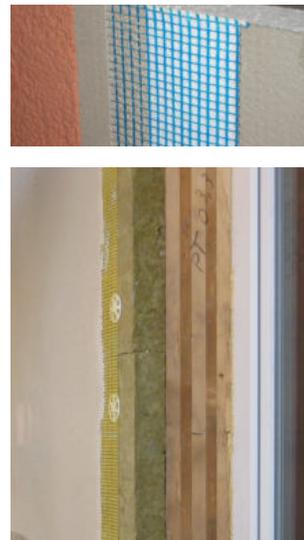
#### Pacchetto di materiali compositi

- collegati gli uni agli altri

## Un sistema composito complesso

### Composizione di molti strati

- materiali con comportamento e caratteristiche diversi
- collegamento rigido fra i diversi strati



#### Supporto - struttura in legno

- pannello sottile
- pannello massiccio
- XLAM

#### Coibentazione

- uno o due strati

#### Fissaggio meccanico

- viti speciali con grande superficie della testa
- altri sistemi

#### Adesivo - incollatura

- non sempre obbligatoria
- sintetico

#### Rasatura

- struttura della finitura
- massa applicata a mano

#### Armatura

- al centro della rasatura

#### Strato di finitura

- primer / base
- rasatura
- pittura esterna

Pacchetto di materiali compositi

- collegati gli uni agli altri

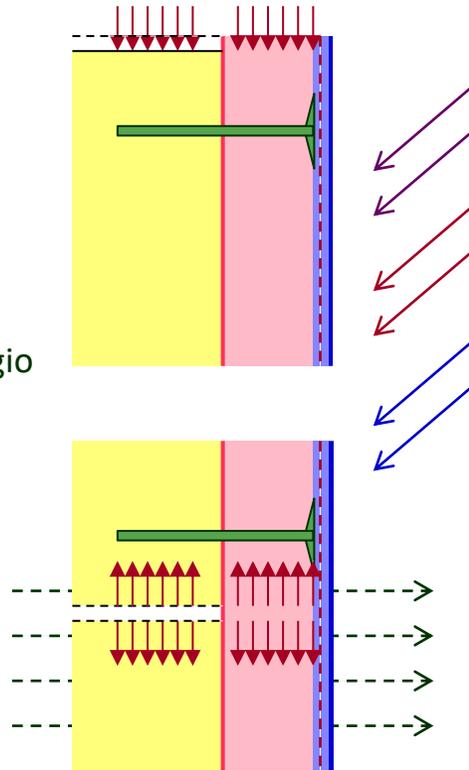
## Un sistema composito complesso

### Le sollecitazioni sulla facciata compatta

- dall'interno
- dall'esterno

#### I movimenti del legno

- assestamento trasversale (escluso con XLAM)
- tolleranze di montaggio
- tolleranze di produzione
- variazioni di umidità
- essiccazione dopo il montaggio



#### Raggi UV

- invecchiamento della rasatura

#### Variazioni della temperatura

- $-20^{\circ}$  ...  $+40^{\circ}$

#### Azioni meccaniche

- vento, pioggia, grandine
- incidenti di ogni tipo

#### Traspirazione del pacchetto

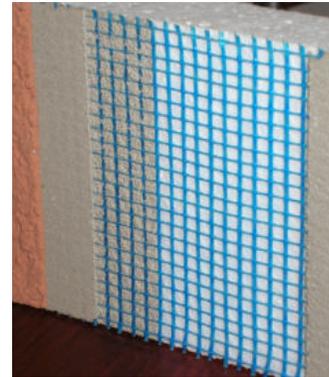
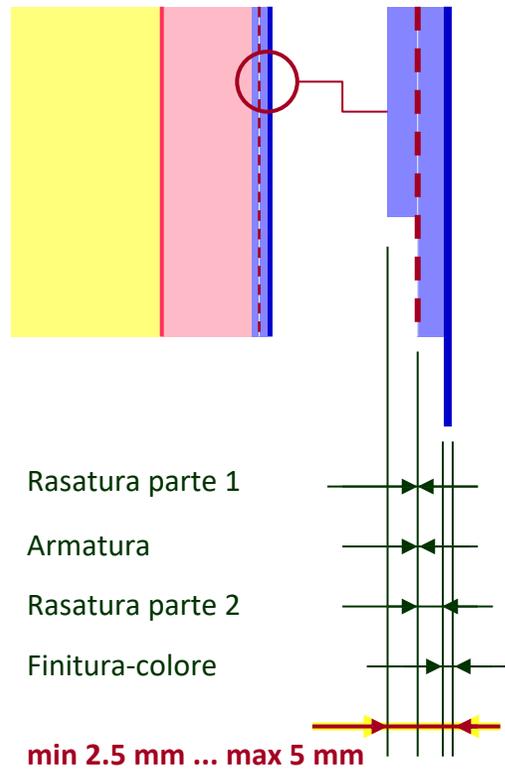
- passaggio di vapore
- variazione dell'umidità di tutti gli strati

# Il cappotto di facciata

## Pelle esterna: strato di pochi mm di spessore - dettaglio complesso

Spessore della rasatura comprensivo di armatura di rinforzo

- assicurare la resistenza meccanica
- proteggere contro tutti gli imprevisti meccanici
- il corretto funzionamento della rasatura determina la funzionalità della facciata



# Il materiale del cappotto di facciata

## Diverse soluzioni disponibili

### Nessuna regola assoluta

- vantaggi e svantaggi per ogni **soluzione**
- spesso scelta per ragioni di principio, di normative o economiche



### EPS bianco

- non usato ovunque
- **infiammabile e senza prestazioni in caso di incendio**
- piuttosto economico
- buon isolamento termico
- resistente all'acqua - nessun danno in caso di infiltrazioni



### EPS grigio, graffitato

- non usato ovunque
- **resiste anche alle alte temperature**
- piuttosto economico
- **buon isolamento termico**
- **resistente all'acqua - nessun danno in caso di infiltrazioni**

# Il materiale del cappotto di facciata

## Diverse soluzioni disponibili

### Nessuna regola assoluta

- vantaggi e svantaggi per ogni **soluzione**
- spesso scelta per ragioni di principio, di normative o economiche



### Fibre minerali - lana di roccia

- spesso la soluzione normale
- non combustibile, resistente alle alte temperature (incendio)
- **piuttosto non economiche ...**
- stabili nelle dimensioni
- non sensibile all'acqua, ma ne assorbe in quantità ...
- buona capacità traspirante



### Fibra di legno

- spesso soluzione normale per piccoli edifici
- **combustibile**
- **spesso piuttosto economica...**
- stabile e solida
- sensibile all'acqua
- **buona capacità traspirante**
- risorsa ecologica

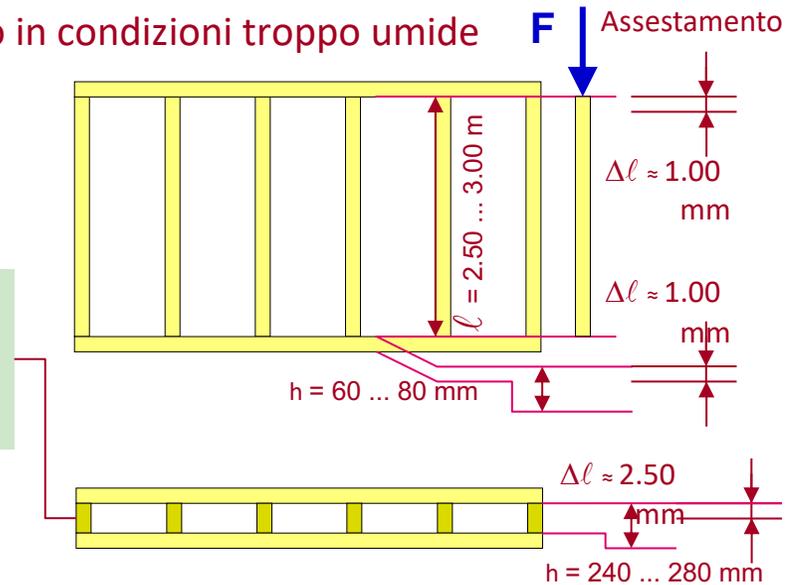
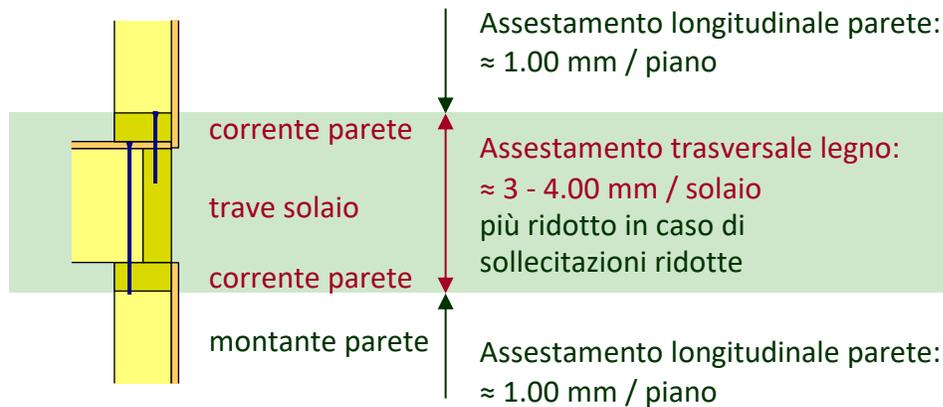
# Gli assestamenti locali di alcune costruzioni

## Un sistema composito complesso

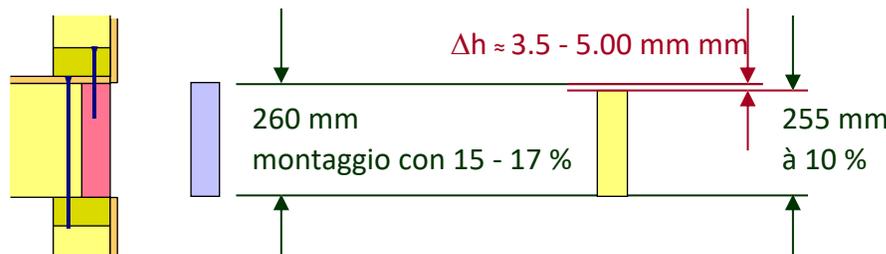
### Movimenti e assestamenti di alcune tipologie costruttive e strutturali

- assestamento meccanico della struttura
- ritiro in caso di essiccazione - montaggio in condizioni troppo umide

### Tassement - mécanique - de la structure



### Essiccazione delle travi del solaio



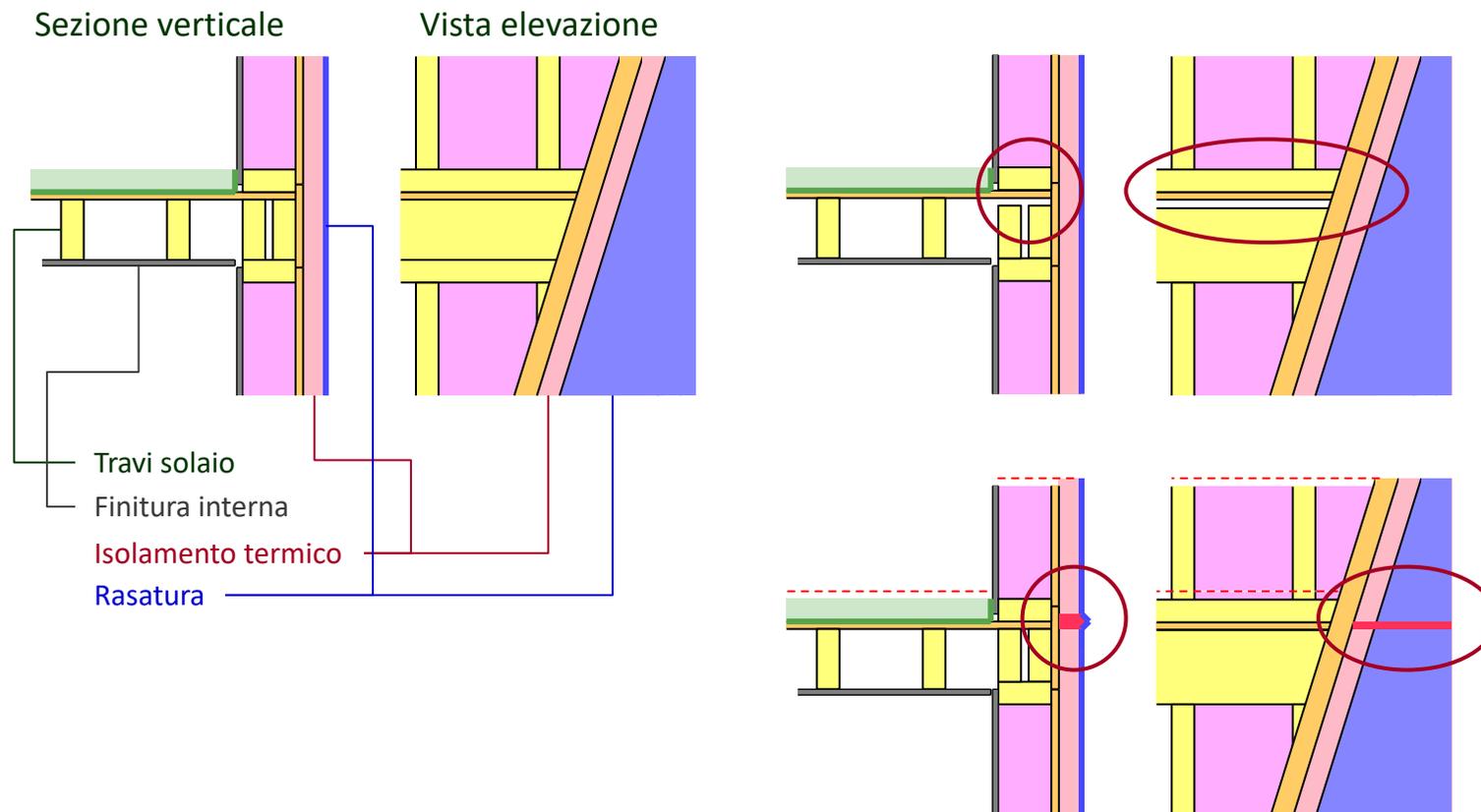
$\Delta h$  = ritiro della sezione del legno

# Gli assestamenti locali di alcune costruzioni

## L'effetto degli assestamenti locali

### La rasatura non sopporta gli assestamenti locali della struttura

- deformazioni locali troppo grandi
- fessure della rasatura inevitabili

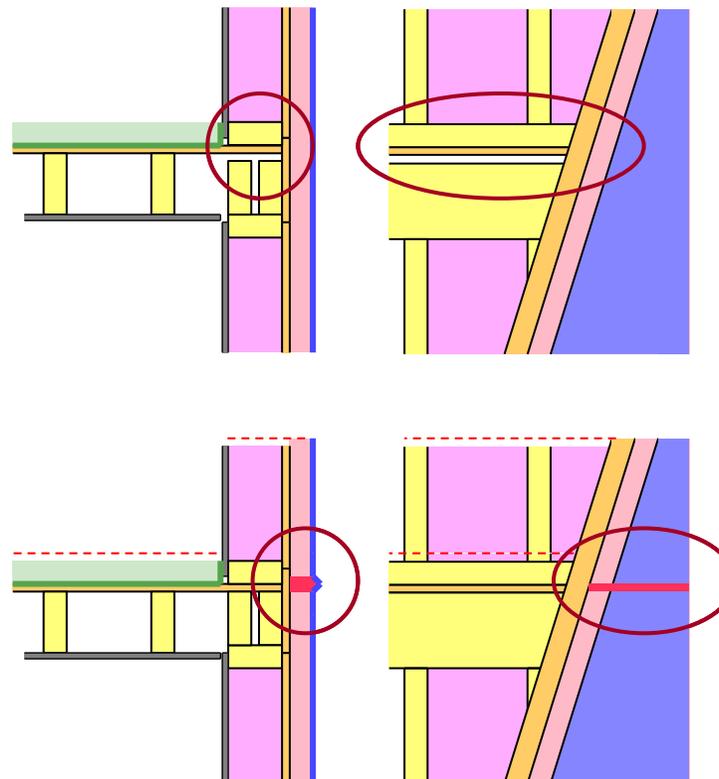


# Gli assestamenti locali di alcune costruzioni

## L'effetto degli assestamenti locali

### La rasatura non sopporta gli assestamenti locali della struttura

- deformazioni locali troppo grandi
- fessure della rasatura inevitabili



## L'effetto degli assestamenti locali

### Riduzione degli assestamenti locali tramite una costruzione appropriata

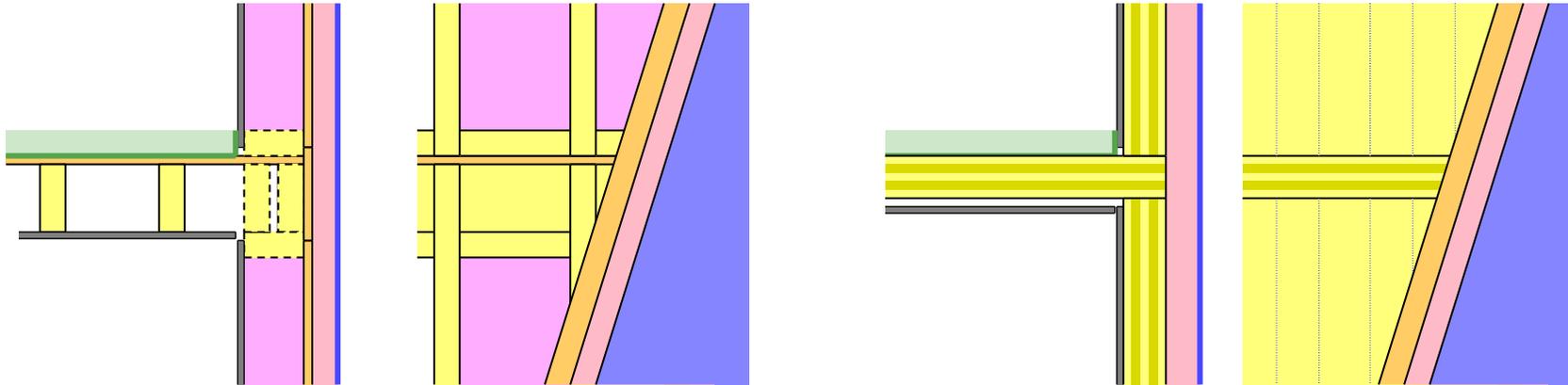
- evitare le travi di legno sollecitate trasversalmente
- **adottare le soluzioni adatte e usuali nel multipiano**

### Continuità dei montanti dell'intelaiatura

- interruzione degli elementi orizzontali
- produzione più complessa
- struttura più efficace e performante

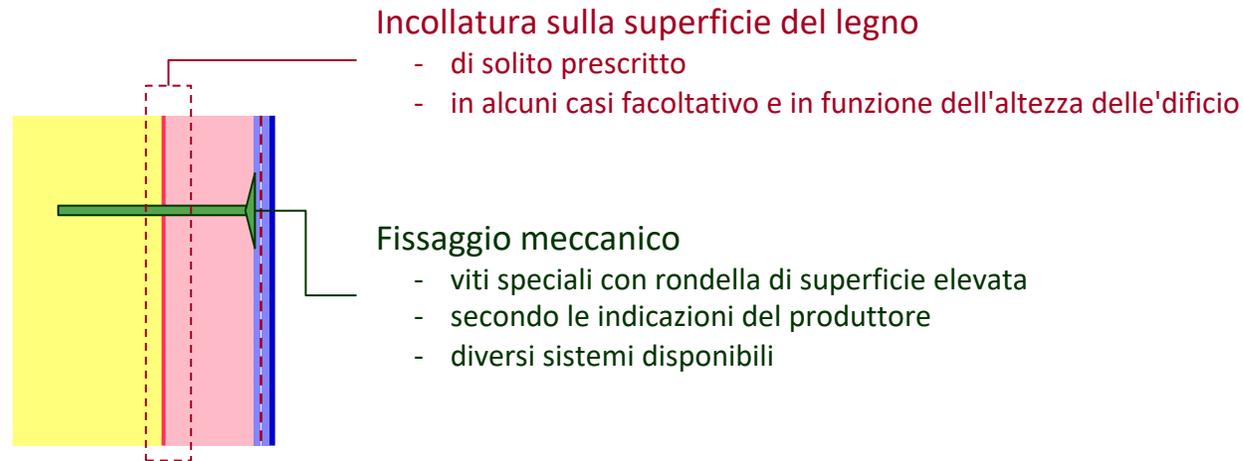
### XLAM: meno problematico

- superfici di contatto più grandi
- rigidità trasversale più elevata
- struttura più efficace e performante



## Il fissaggio della coibentazione alla struttura

- aspetto fondamentale del sistema composito
- essenziale per la riuscita dell'insieme



## Funzioni del collegamento

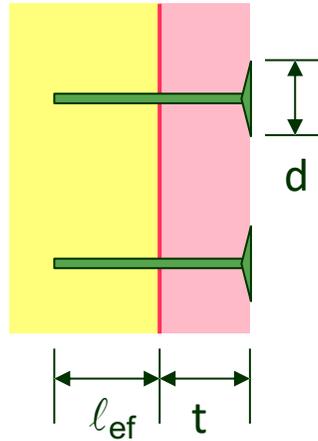
- evitare i movimenti fra la struttura e la coibentazione
- impedire le deformazioni del cappotto
- assicurare una pressino sulla superficie di contatto e quindi la forma della superficie

## I mezzi di fissaggio della coibentazione alla struttura

- aspetto fondamentale del sistema composito
- essenziale per la riuscita dell'insieme



Viti in acciaio  
Rondelle di plastica o altro

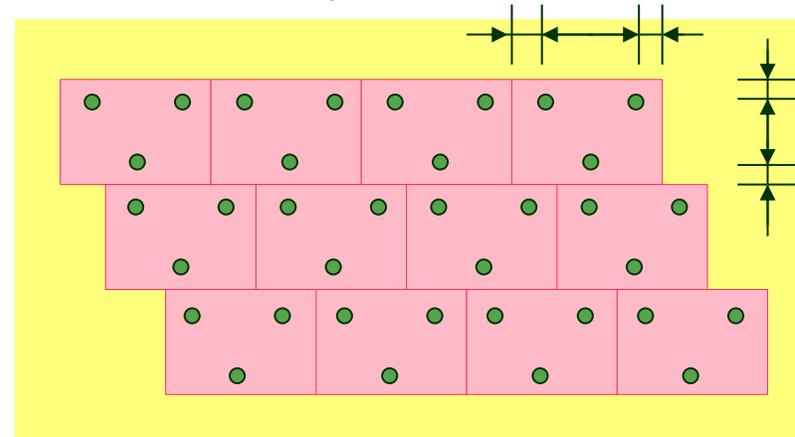


## Il materiale del cappotto definisce

- lunghezza delle viti in funzione di  $t$
- tipo di viti / valori di  $d$
- metodo di applicazione (utensili e procedure)
- quantità e posizione delle viti

## Prescrizioni del prodotto

- distanze, posizioni, numero

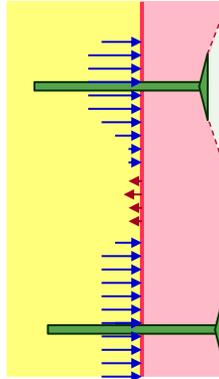


## I mezzi di fissaggio della coibentazione alla struttura

- errori possibili - conseguenze pesanti

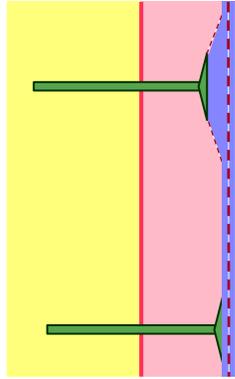
### Viti troppo serrate

- pressione irregolare



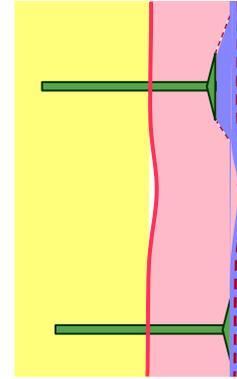
### Finiture possibile

- rigidità irregolare



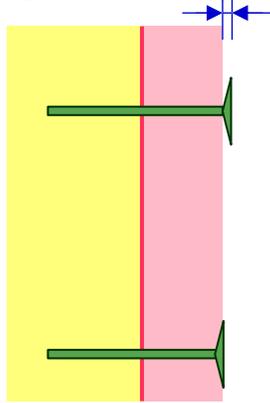
### Danni programmati

- deformazioni e fessure



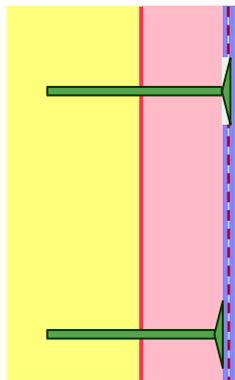
### Viti no serrate

- gioco nel fissaggio



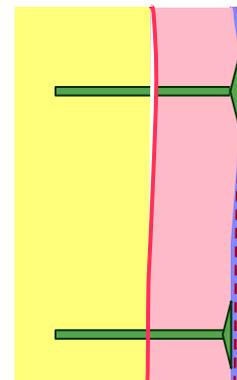
### finitura possibile

- continuità non garantita



### Danni programmati

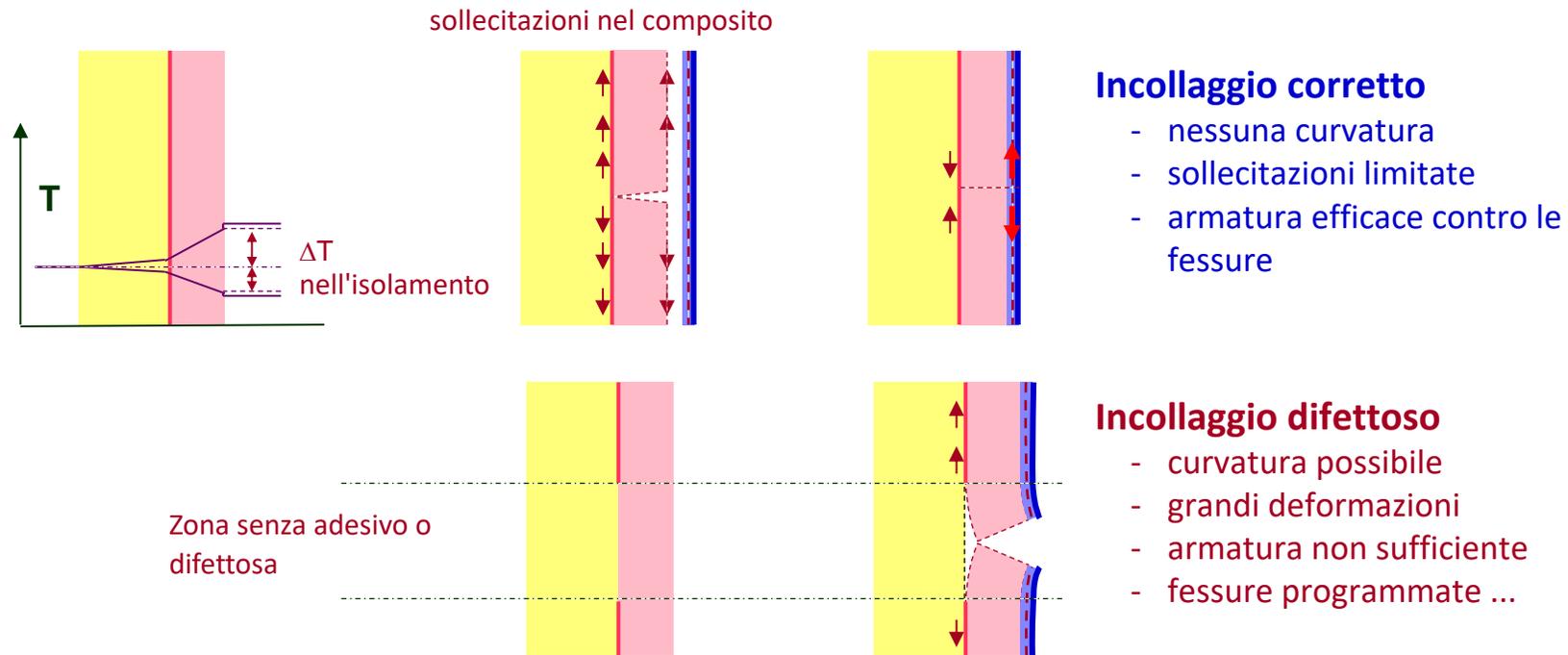
- deformazioni e fessure



## Incollaggio del cappotto alla struttura

Situazione nel sistema composito della facciata

- isolamento efficace - differenze di temperatura importanti
- sollecitazioni importanti nella rasatura / nell'armatura
- strato di rasatura piuttosto fragile - nessuna plasticità
- le condizioni di umidità aumentano l'effetto di questi aspetti
- senza incollatura ineccepibile, il rischio per la rasatura aumenta



# I punti critici

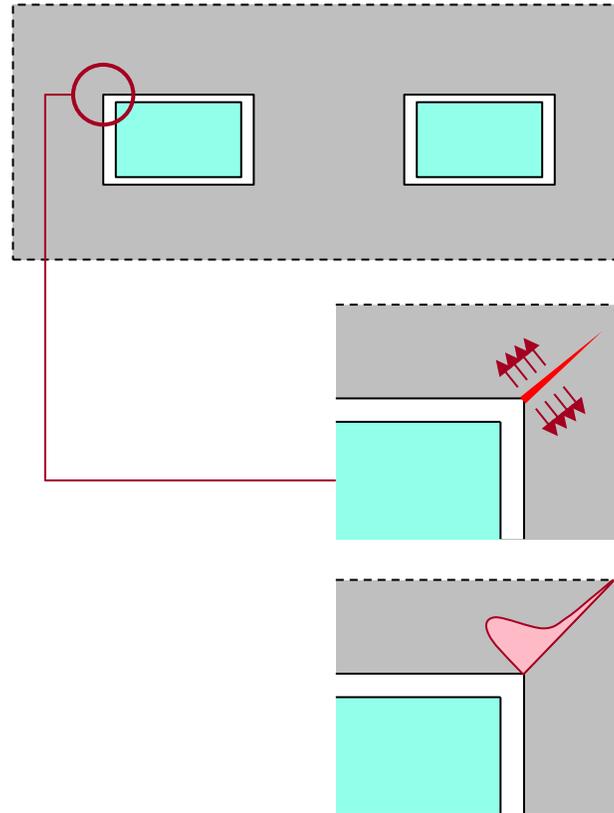
## Alcune riflessioni sui dettagli costruttivi e sul sistema "cappotto"



## L'importanza dei dettagli della costruzione

Gli spigoli delle aperture - le discontinuità

- sollecitazioni concentrate e rischio di fessurazione
- **costruzione corretta e rinforzi locali necessari**



### Sollecitazioni elevate

- temperatura
- zone esposte
- movimenti impediti dalla geometria dell'angolo

### Rischio di fessurazione

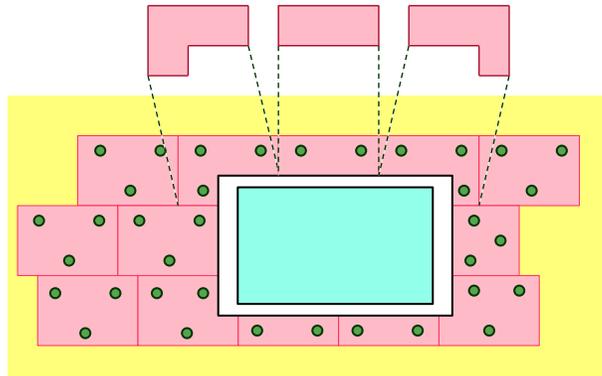
- costruzione speciale
- rinforzi locali



## L'importanza dei dettagli della costruzione

Gli spigoli delle aperture - le discontinuità

- sollecitazioni concentrate e rischio di fessurazione
- **costruzione corretta e rinforzi locali necessari**



### Dettagli della costruzione

- continuità del materiale nell'angolo
- intaglio dell'angolo completo in un pezzo
- continuità delle fibre = migliore resistenza



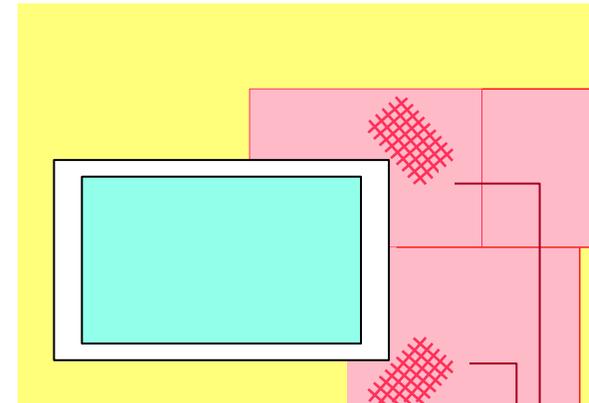
Intaglio dell'angolo:  
Costruzione corretta



Interruzione nell'angolo:  
Costruzione non corretta  
Difetto

### Dettagli della costruzione

- armatura supplementare nell'angolo
- rinforzo locale, se possibile inclinato
- prevenzione delle fessure



Armatura supplementare  
nella zona dell'angolo  
Inclinazione preferibile ma  
non indispensabile

## L'importanza dei dettagli della costruzione

Gli spigoli delle aperture - le discontinuità

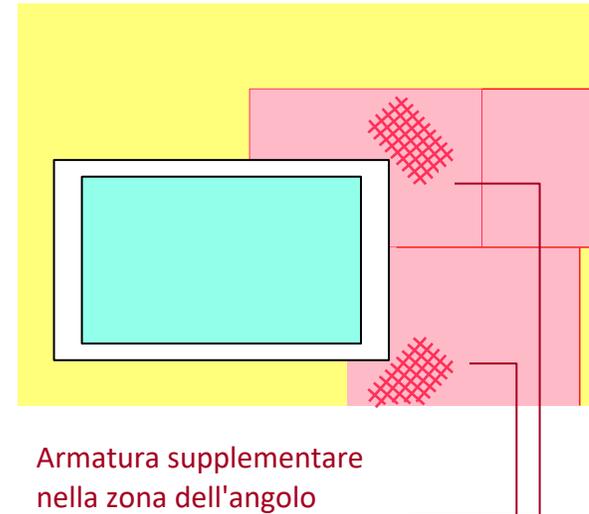
- sollecitazioni concentrate e rischio di fessurazione
- **costruzione corretta e rinforzi locali necessari**



Image [www.waler.it](http://www.waler.it)

### Dettagli della costruzione

- armatura supplementare nell'angolo
- rinforzo locale, se possibile inclinato
- prevenzione delle fessure

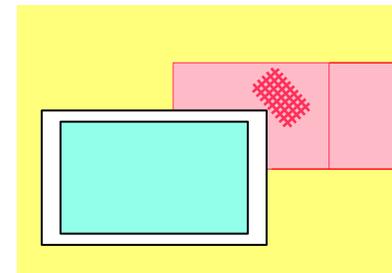
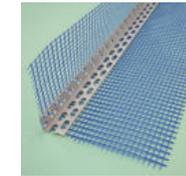
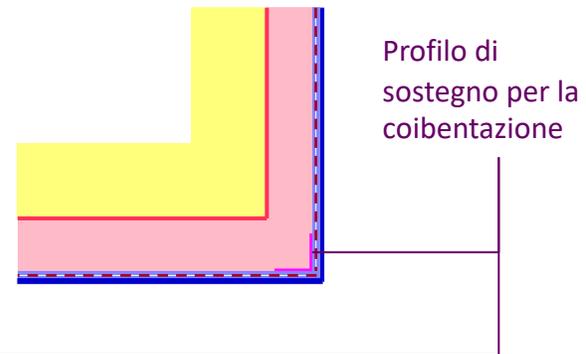
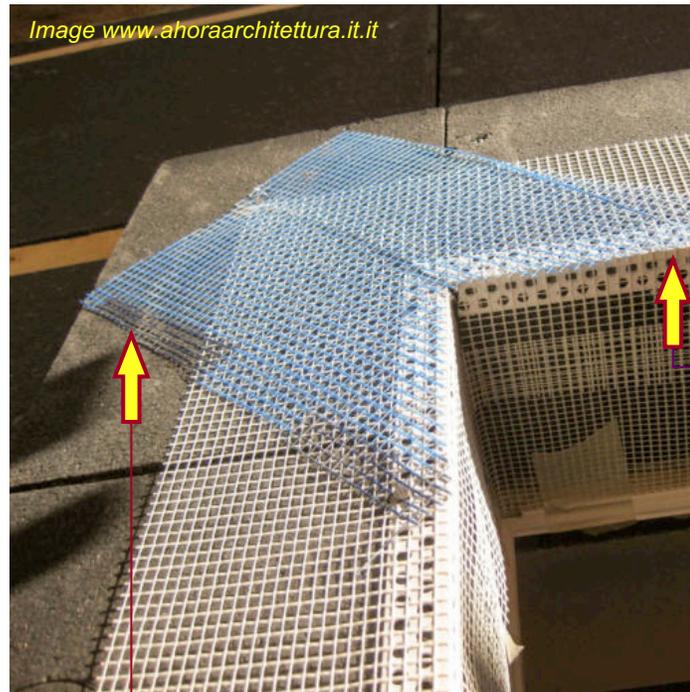


Armatura supplementare  
nella zona dell'angolo  
Inclinazione preferibile ma  
non indispensabile

## L'importanza dei dettagli della costruzione

Gli spigoli delle aperture - le discontinuità

- sollecitazioni concentrate e rischio di fessurazione
- **costruzione corretta e rinforzi locali necessari**

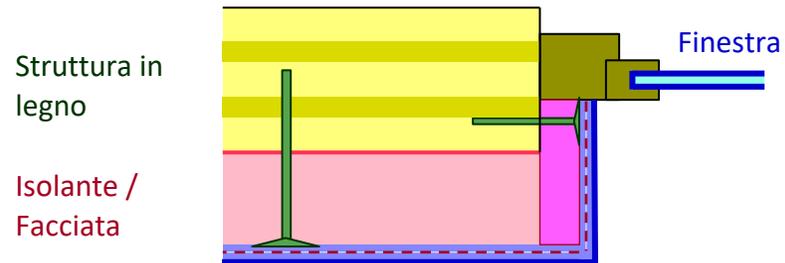


**Armatura supplementare  
nella zona dell'angolo  
Inclinazione preferibile  
ma non indispensabile**

## L'importanza dei dettagli della costruzione

Les bords des portes et fenêtres

- en fonction du matériau isolant utilisé
- **clôture de l'isolation avec matériau plus solide nécessaire**



## Dettaglio della costruzione

- possibilità di fissaggio degli scuri
- rinforzo locale del supporto della rasatura
- sostegno del bordo del materiale isolante



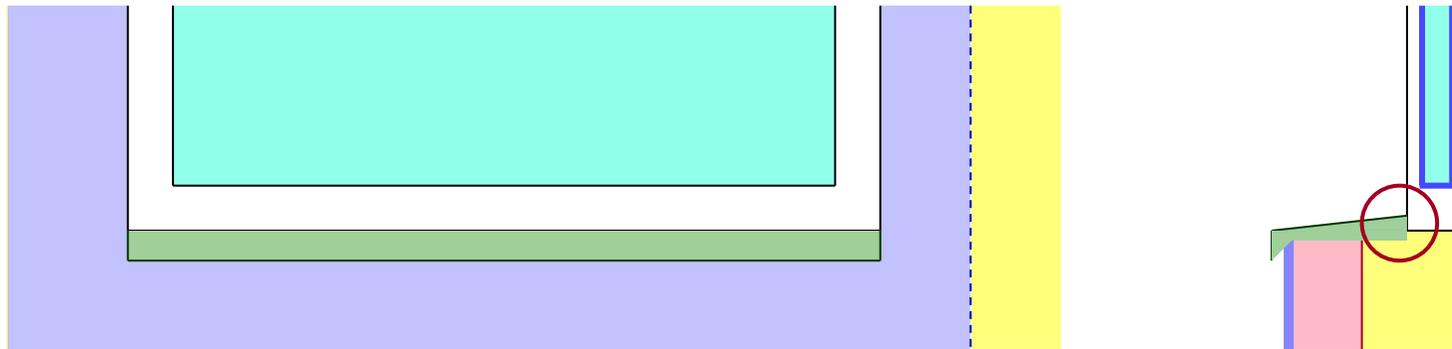
## I davanzali delle finestre

Aspetto noto per essere problematico

- spesso in alluminio o metallo e sensibili alla variazione di temperatura
- **concetto e realizzazione da integrare e coordinare con la facciata**

### Aspetti sensibili

- ermeticità del giunto fra finestra e davanzale - concetto della finestra



Finestra e davanzale devono derivare da un concetto unico ed essere realizzati in modo coordinato

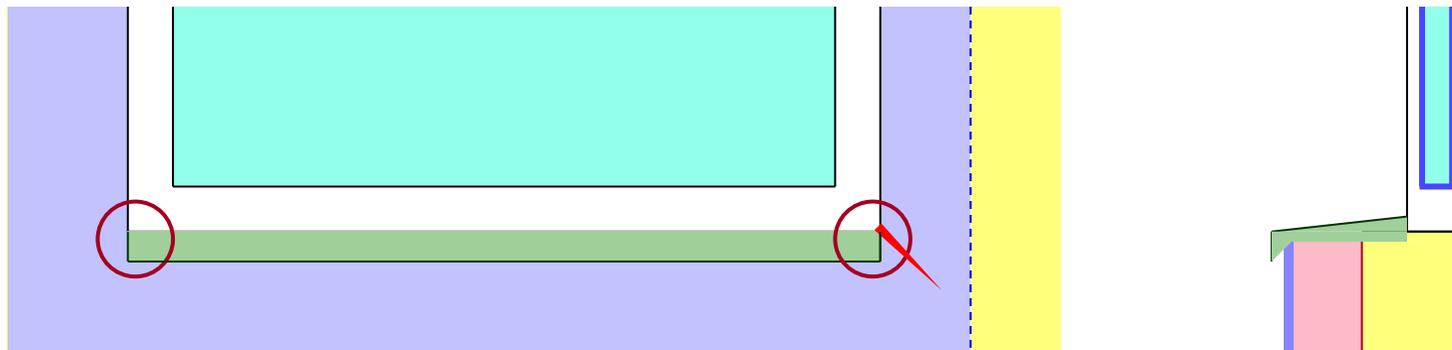
## I davanzali delle finestre

Aspetto noto per essere problematico

- spesso in alluminio o metallo e sensibili alla variazione di temperatura
- concetto e realizzazione da integrare e coordinare con la facciata

### Aspetti sensibili

- ermeticità del giunto fra finestra e davanzale - concetto della finestra
- ermeticità del bordo del davanzale - giunto con la facciata e con la rasatura



### Soluzione costruttiva molto sensibile



- dilatazione del davanzale inevitabile
- movimento fra la facciata e il davanzale inevitabile
- in caso di giunto diretto fra rasatura e davanzale fessurazione certa

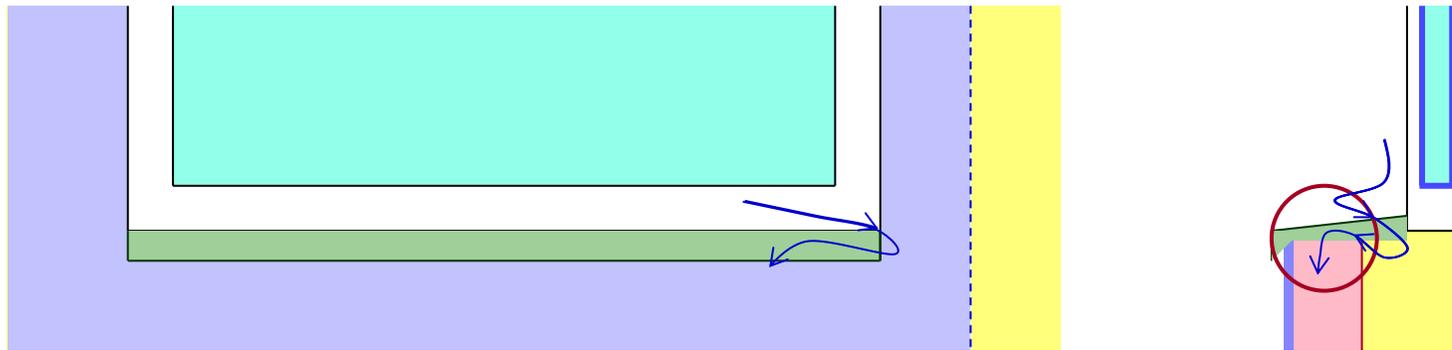
## I davanzali delle finestre

Aspetto noto per essere problematico

- spesso in alluminio o metallo e sensibili alla variazione di temperatura
- **concetto e realizzazione da integrare e coordinare con la facciata**

### Aspetti sensibili

- ermeticità del giunto fra finestra e davanzale - **concetto della finestra**
- ermeticità del bordo del davanzale - **giunto con la facciata e con la rasatura**



### Soluzione costruttiva da progettare con cura



- definizione tempestiva del progetto finestra - facciata - davanzale
- responsabilità dell'esecuzione definite
- **profilo del davanzale sufficientemente rigido**

## I davanzali delle finestre

Aspetto noto per essere problematico

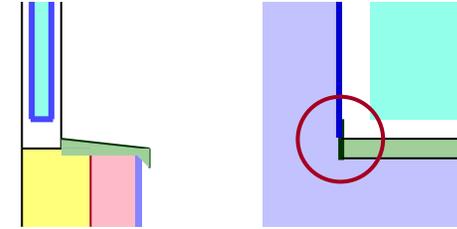
- spesso in alluminio o metallo e sensibili alla variazione di temperatura
- concetto e realizzazione da integrare e coordinare con la facciata



## I davanzali delle finestre

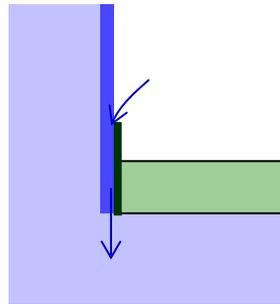
Gli aspetti da considerare - alcuni esempi

- angolo inferiore - bordo esterno del davanzale



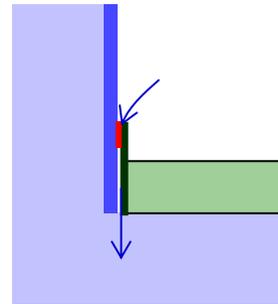
### A contatto

- posato dopo la facciata
- non sarà mai ermetico



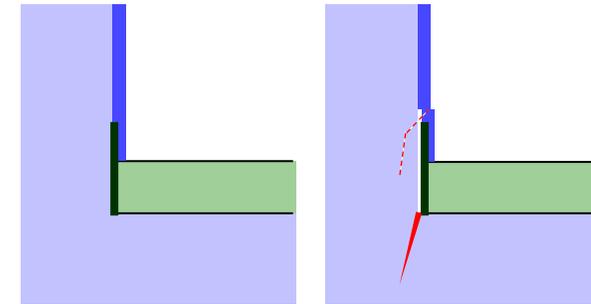
### Ermeticità per riempimento

- posato dopo la facciata
- durata **molto limitata**



### Sotto la rasatura

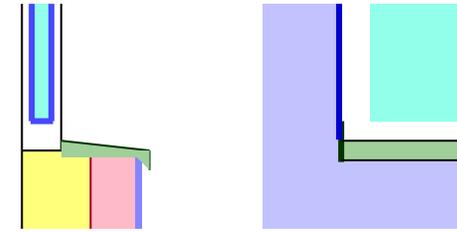
- idea corretta
- poco adatta per i davanzali di metallo



## I davanzali delle finestre

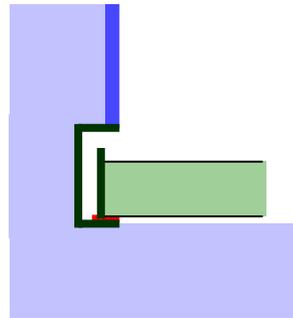
Gli aspetti da considerare - alcuni esempi

- angolo inferiore - bordo esterno del davanzale



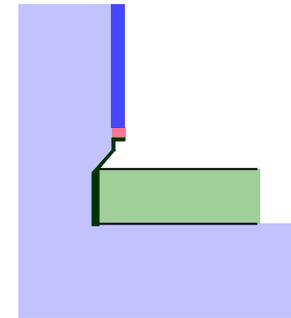
### Soluzione ideale

- libertà di movimento per il davanzale
- montaggio più complesso, ma efficace e duratura



### Soluzione possibile: forme speciali

- libertà di movimento per il davanzale
- montaggio più complesso, ma efficace

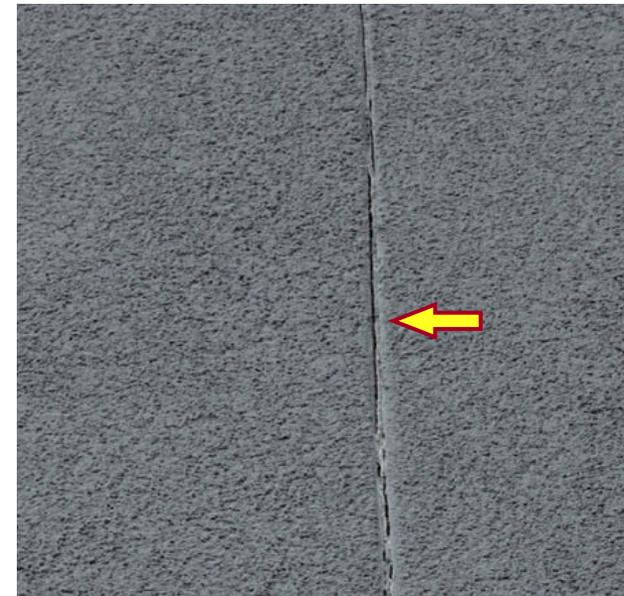
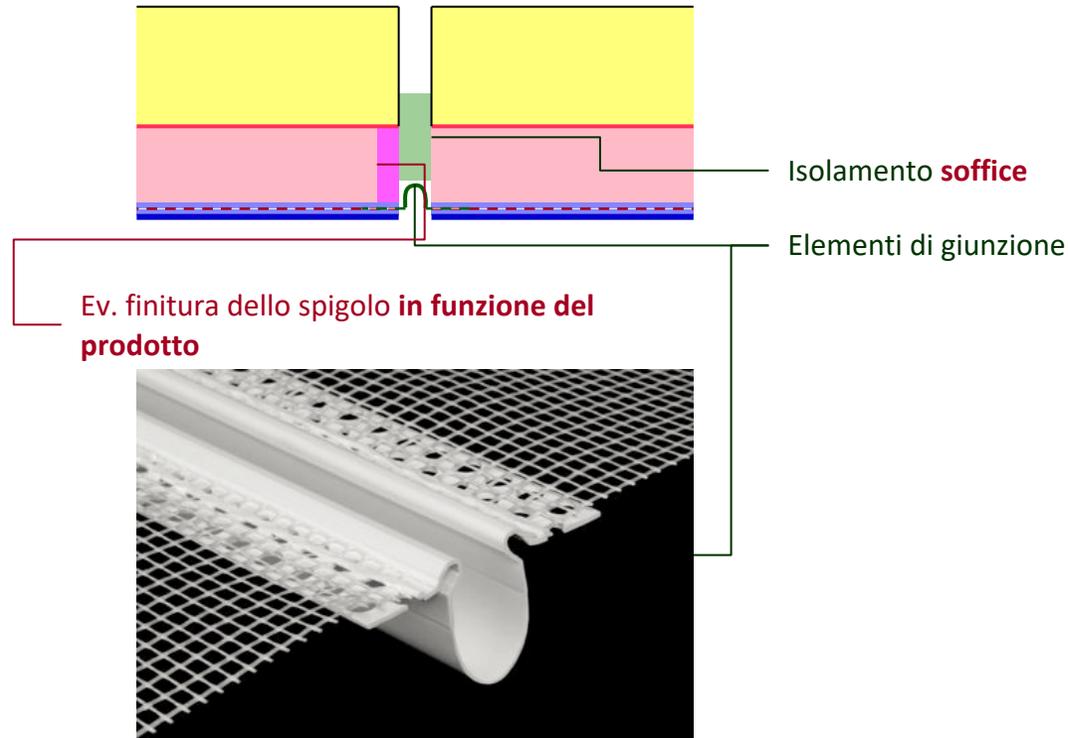


[www.sto.at](http://www.sto.at)



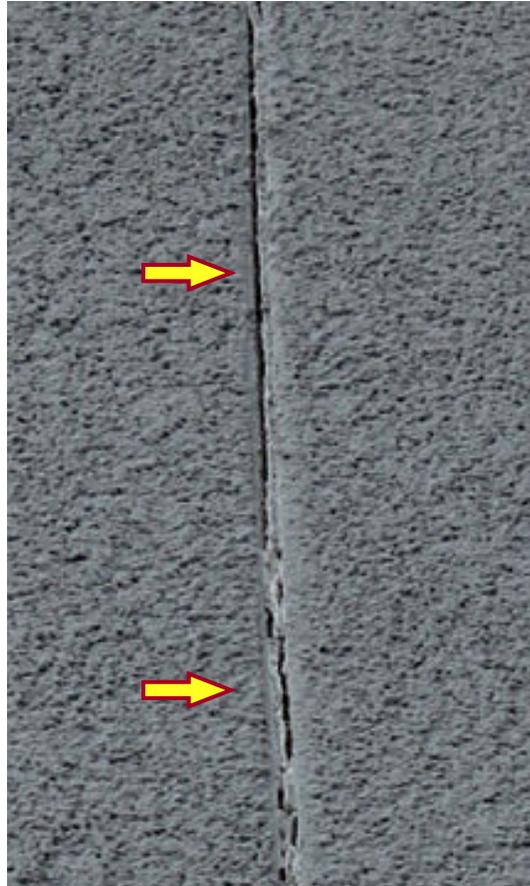
## L'importanza dei dettagli della costruzione

- I giunti di dilatazione - giunti di montaggio - interruzioni della struttura portante
- devono essere trattati come spigoli o come interruzioni / aperture
  - **dettagli standard disponibili**
  - **dimensioni massime della superficie del cappotto definite dal tipo di prodotto usato**



## L'importanza dei dettagli della costruzione

I giunti di silicone universale non sono la soluzione adatta ...



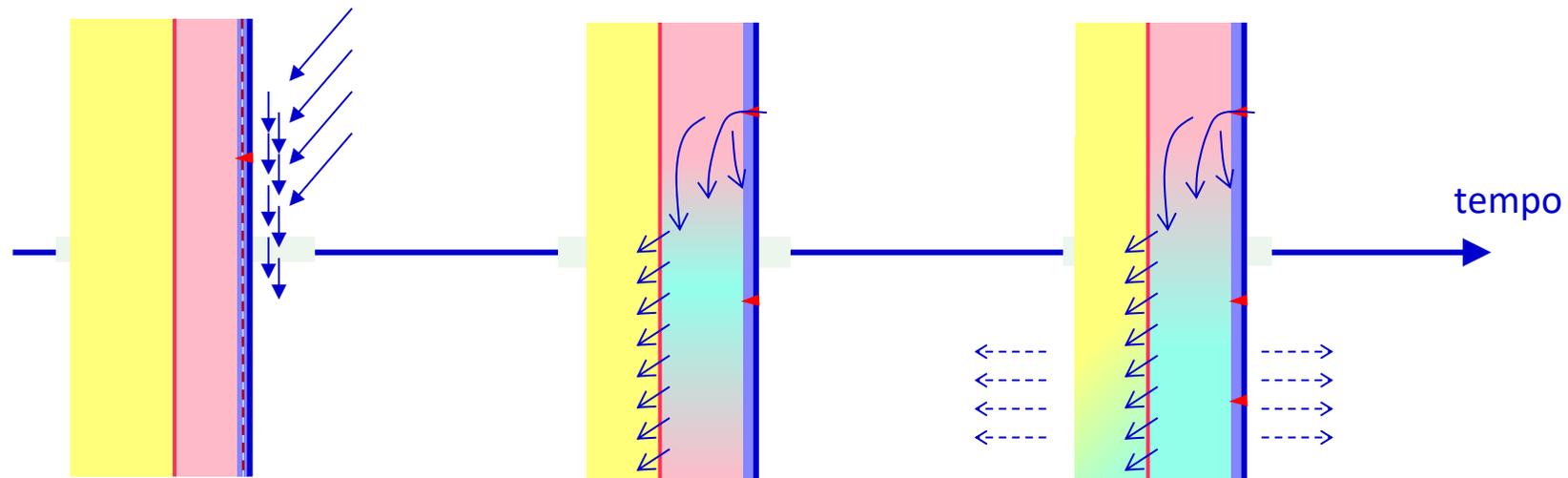
Il giunto rappresenta di fatto una  
interruzione o una apertura nella  
superficie della facciata



## Le conseguenze in caso di infiltrazione di acqua nel composito di facciata

Infiltrazione d'acqua attraverso fessure della rasatura

- diffusione fino nel legno praticamente certa
- materiale di coibentazione assorbe acqua in grandi quantità
- **essiccazione solo per traspirazione del legno e verso l'esterno (quantità limitate)**
- **ampiezza del rischio anche in funzione del tipo di materiale di coibentazione scelto**



Fessure: infiltrazione di acqua

Acqua assorbita dall'isolante

- aumento della massa
- deformazione / instabilità / fessure
- prestazioni di coibentazione ridotte
- rischio di muffe / degrado

Aumento dell'umidità del legno

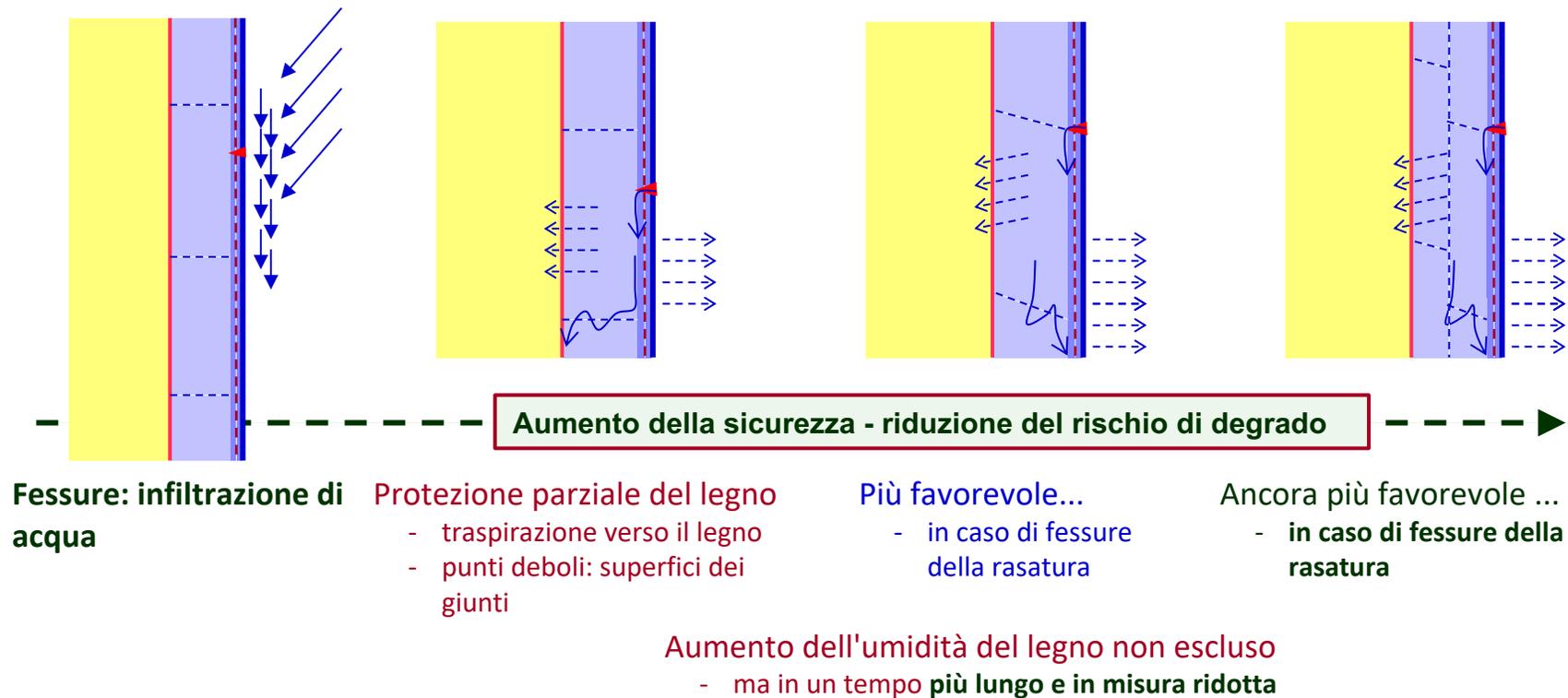
- con il tempo rischio di degrado

# I punti critici

## Le conseguenze in caso di infiltrazione di acqua nel composito di facciata

### In caso di materiale coibentante poco permeabile

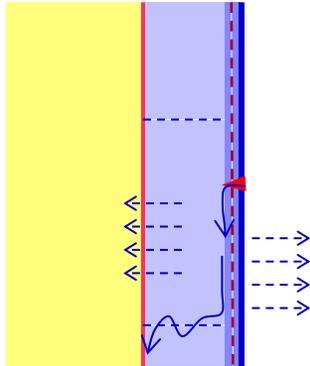
- passaggio dell'acqua verso il legno solo per traspirazione o nelle superfici di contatto
- in ogni caso al legno arrivano solo piccole quantità di acqua
- possibilità di migliorare ancora la situazione con soluzioni costruttive adatte
- il rischio di danni in caso di problemi dipende anche dalla scelta del materiale isolante



## La formazione di fessure nella rasatura è ... inevitabile

### Materiale coibente poco permeabile

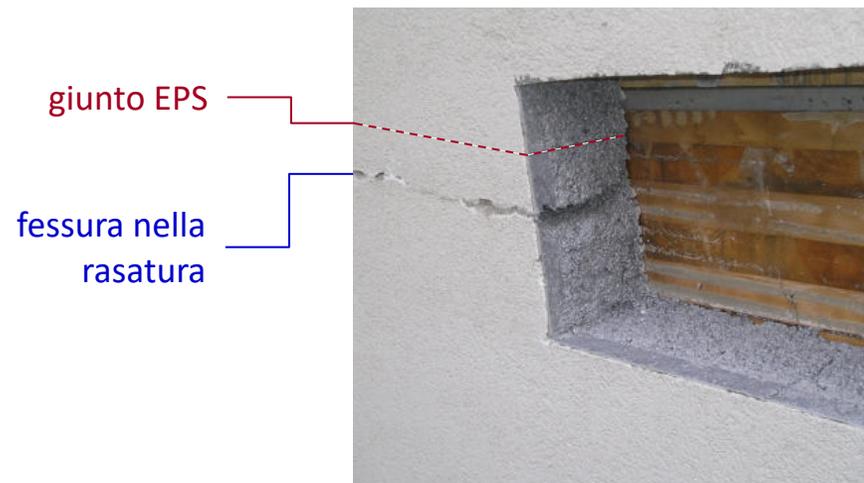
- infiltrazioni di acqua praticamente non esistenti



4 anni dopo la posa



6 anni dopo la posa



giunto EPS

fessura nella rasatura

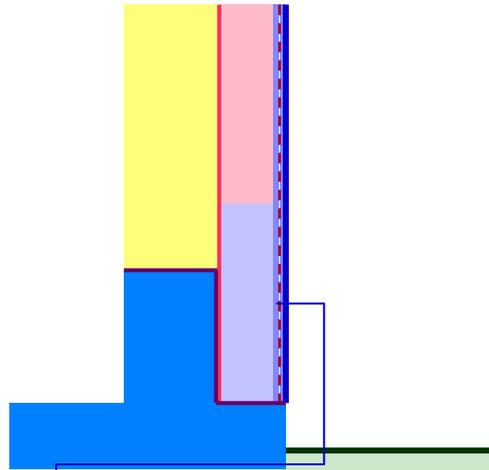
- posa EPS non corretta
- EPS asciutto

- Nessuna traccia di acqua sul legno
- Legno asciutto

## L'importanza dei dettagli della costruzione

### La base dell'edificio

- zona sensibile alla presenza di acqua
- impiego di materiali e soluzioni meno sensibili
- presa a carico di una eventuale traspirazione ridotta



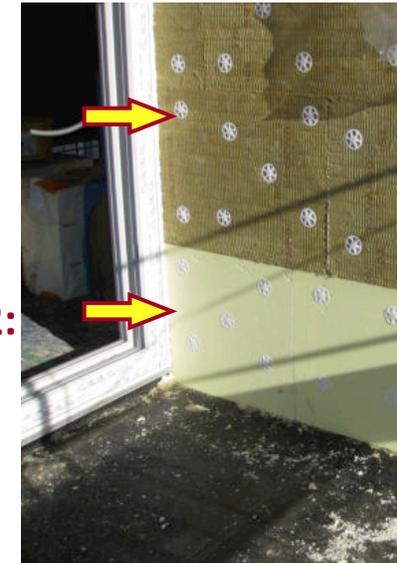
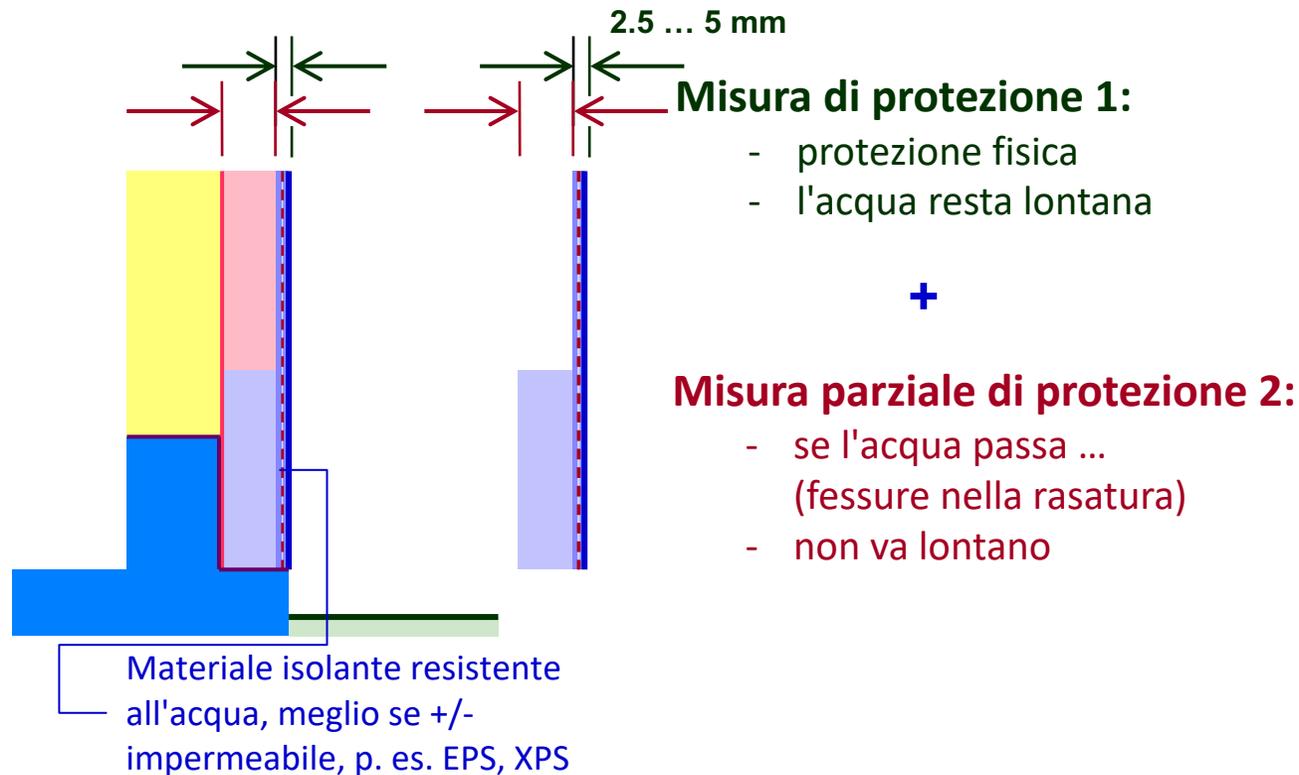
materiale resistente all'acqua, meglio se impermeabile p. ex. EPS, XPS



## L'importanza dei dettagli della costruzione

La cura del dettaglio - forse all'apparenza troppo curato

- applicazione dei principi fondamentali della protezione del legno
- **la possibile fessurazione della rasatura** come ipotesi e dato di fatto
- **presa a carico** in fase di progetto e di esecuzione



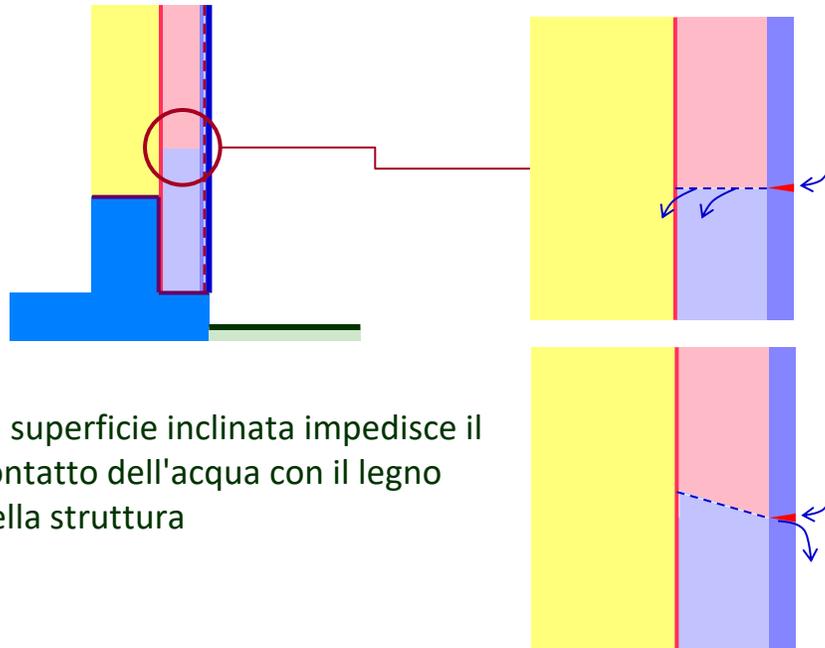
## L'importanza dei dettagli della costruzione

La cura del dettaglio - forse all'apparenza troppo curato

- applicazione dei principi fondamentali della protezione del legno
- **la possibile fessurazione della rasatura** come ipotesi e dato di fatto
- **presa a carico** in fase di progetto e di esecuzione

Le superfici orizzontali non sono mai ideali ...

- le superfici inclinate deviano il flusso eventuale d'acqua
- **si tratta di una misura di sicurezza aggiuntiva e supplementare ...**



La superficie inclinata impedisce il contatto dell'acqua con il legno della struttura



Foto N. Wirtz SAH 2017

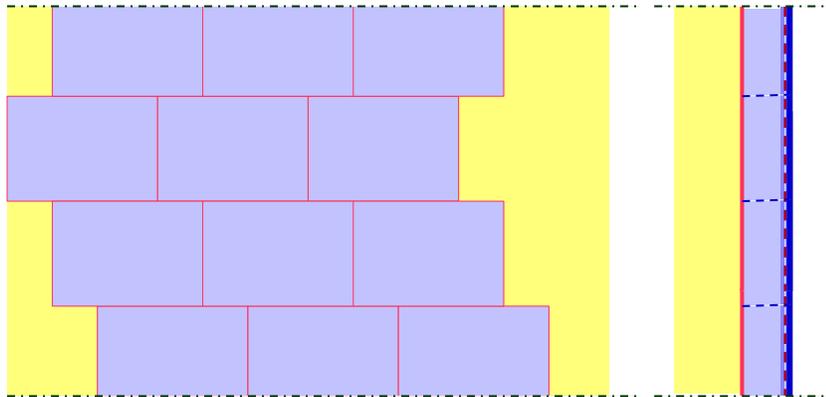
## L'importanza dei dettagli della costruzione

La cura del dettaglio - forse all'apparenza troppo curato

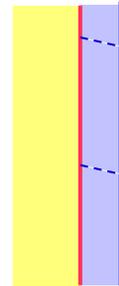
- applicazione dei principi fondamentali della protezione del legno
- **la possibile fessurazione della rasatura** come ipotesi e dato di fatto
- **presa a carico** in fase di progetto e di esecuzione

Le superfici orizzontali non sono mai ideali ...

- le superfici inclinate deviano il flusso eventuale d'acqua
- **si tratta di una misura di sicurezza aggiuntiva e supplementare ...**

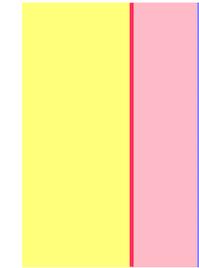


- la superficie inclinata potrebbe ridurre o eliminare il rischio di aumento di umidità del legno
- doppi elementi con giunti sfalsati ancora meglio
- **soluzioni spesso difficili da giustificare / ottenere**



## Aperture meno appariscenti

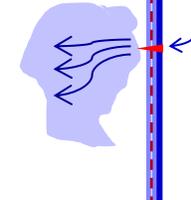
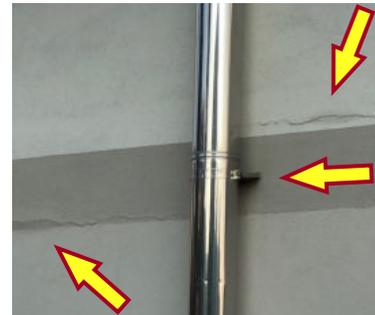
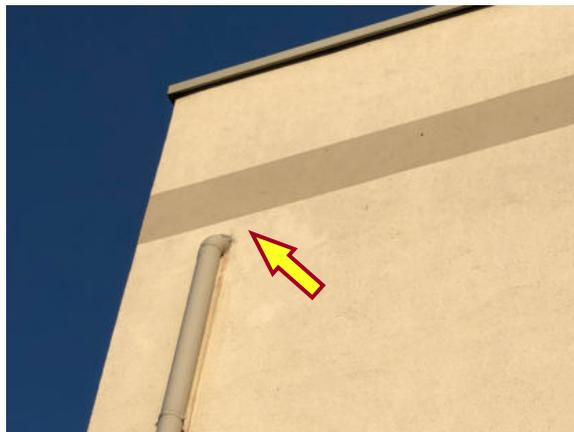
- il "semplice" attraversamento della facciata ...



### Misura di protezione 1: rasatura

- protezione fisica
- l'acqua resta lontana

2.5 ... 5 mm



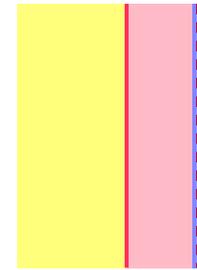
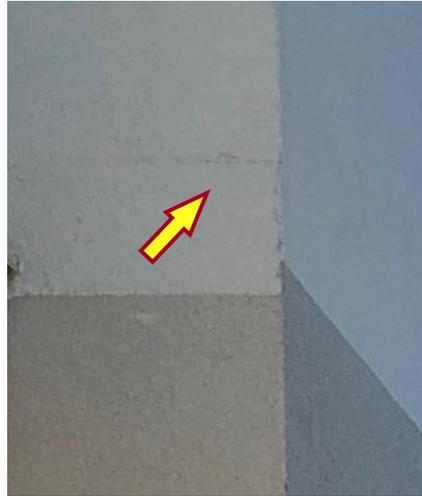
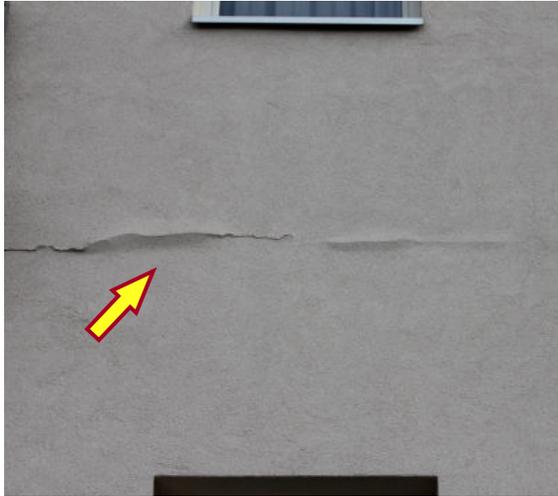
Fessura iniziale esistente  
"Imprevisto progettato"

### Misura di protezione 2 ??

- mancante ...

## Aperture meno appariscenti

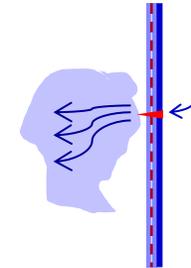
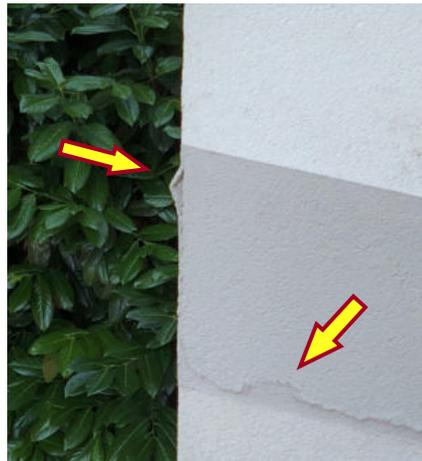
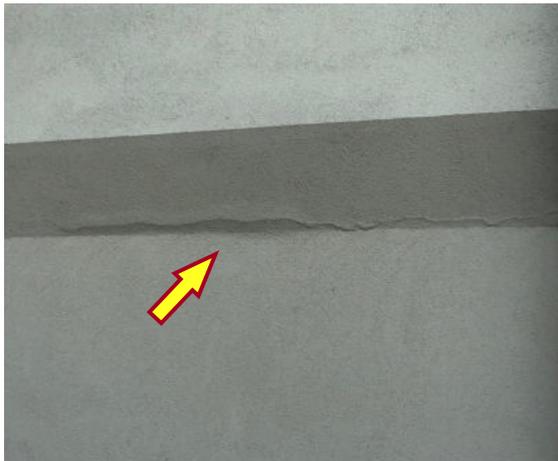
- l'imprevisto può comunque manifestarsi ...



### Misura di protezione 1: rasatura

- protezione fisica
- l'acqua resta lontana

2.5 ... 5 mm



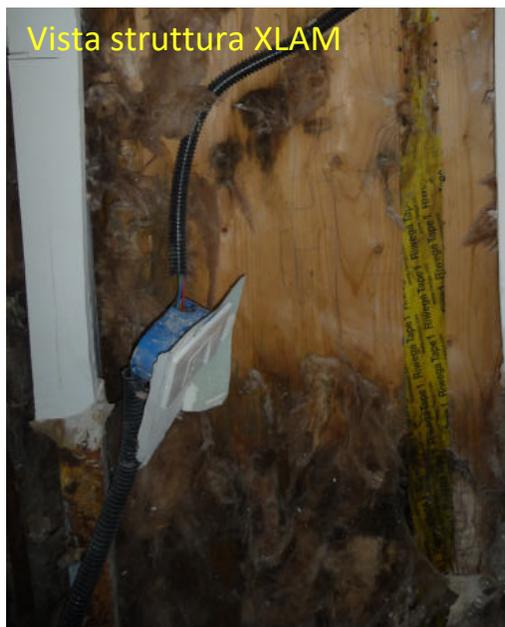
Fessura iniziale esistente  
"Imprevisto progettato"

### Misura di protezione 2 ??

- mancante ...

## Il rischio

- in mancanza di intervento di manutenzione e ripristino tempestivo
- stato di avanzamento del degrado dopo ca. 5 anni



Dettagli di immagini prese dall'interno di un appartamento, sulle pareti strutturali del perimetro esterno dell'edificio

## I balconi - alcune osservazioni

- elemento architettonico spesso fondamentale

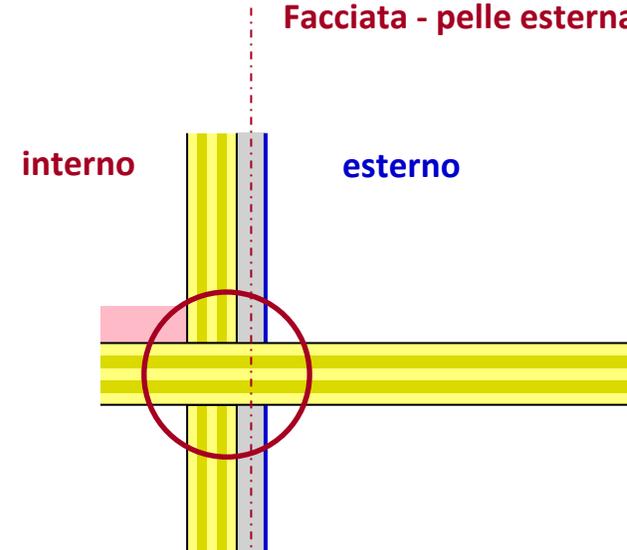


### Particolari e criticità:

- parte esterna dell'edificio
- continuità strutturale verso l'interno necessaria
- interfaccia con la facciata dell'edificio
- elementi di fissaggio applicati dall'esterno

## Il balcone a sbalzo

- la soluzione più richiesta
- la più delicata sotto tanti punti di vista



### Struttura portante:

- oggetto di solito risolvibile
- **continuità strutturale indispensabile**
- da non sottovalutare

### Coibentazione:

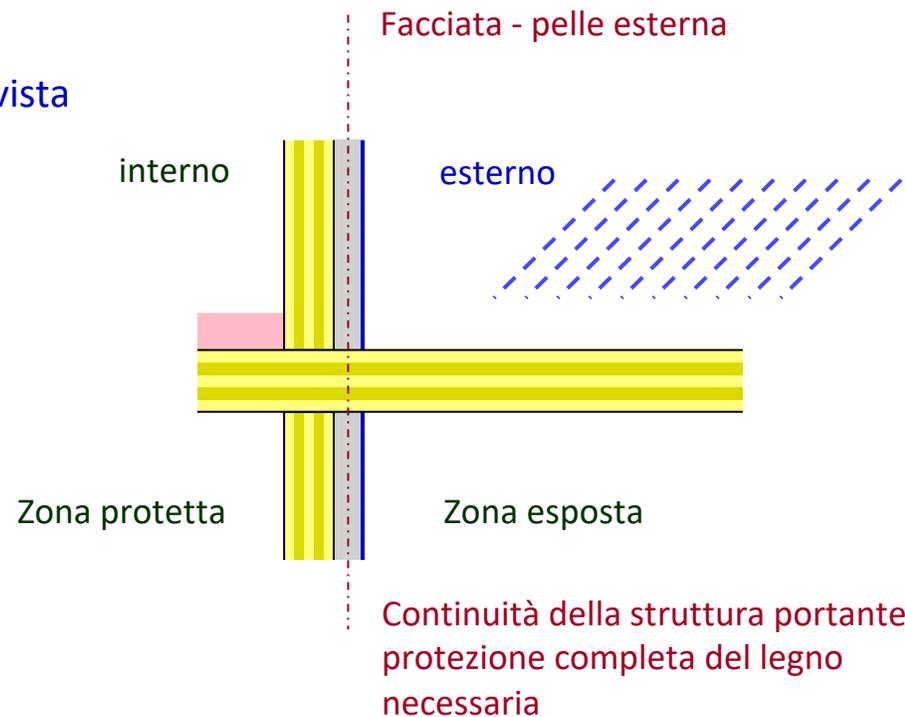
- ponte termico di entità ridotta

### Ermeticità - impermeabilizzazione :

- essenziale
- **considerazione su tutto il balcone**

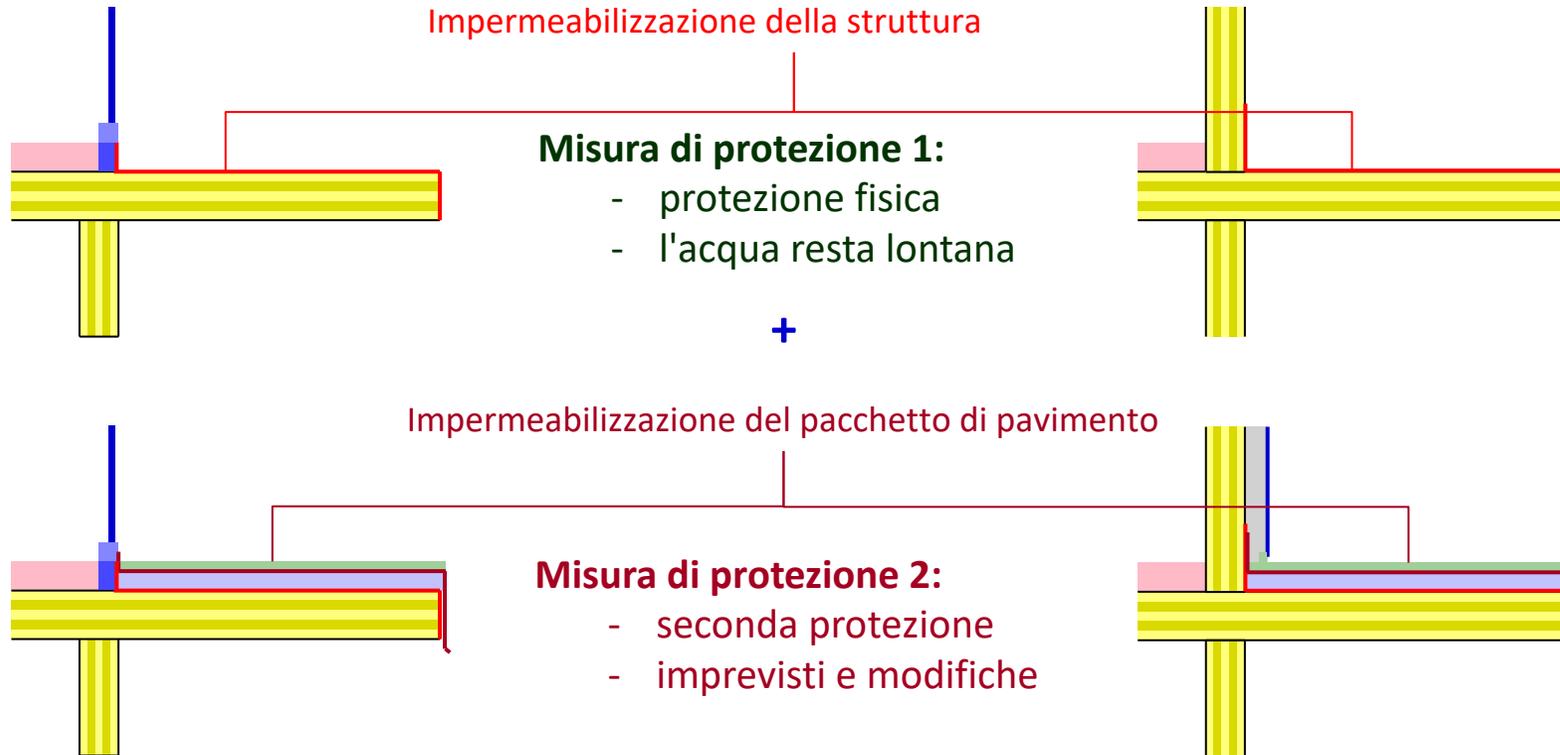
## Il balcone a sbalzo

- la soluzione più richiesta
- la più delicata sotto tanti punti di vista



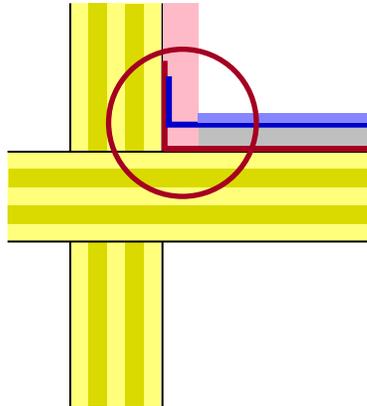
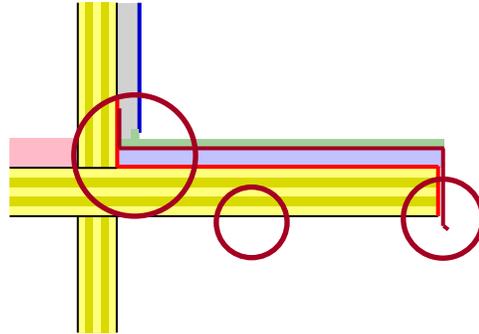
## Il balcone a sbalzo

- la soluzione più richiesta
- la più delicata sotto tanti punti di vista

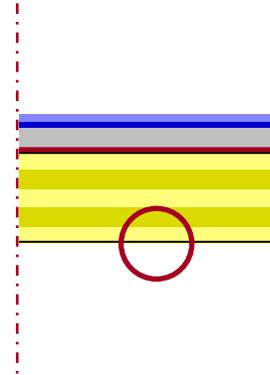


## Il balcone a sbalzo

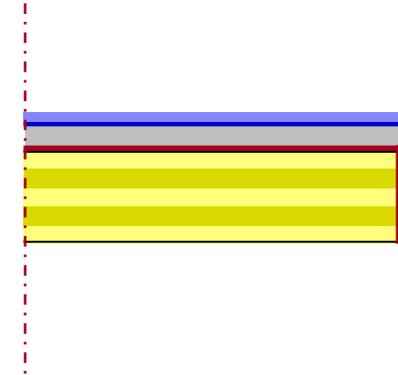
- la soluzione più richiesta
- la più delicata sotto tanti punti di vista
- i dettagli costruttivi delle finiture



- Doppia ermeticità
- risvolti, fissaggio dei bordi, giunti



- Traspirazione possibile:
- rivestimento / vernice adeguati

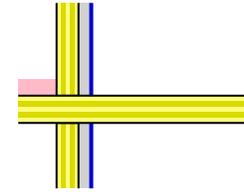


- Deflusso acqua strato interno
- ermeticità lato verticale
  - sgocciolatoio efficace

- rivestimento
- ermeticità
- pavimento
- ermeticità
- struttura
- sgocciolatoio
- facciata

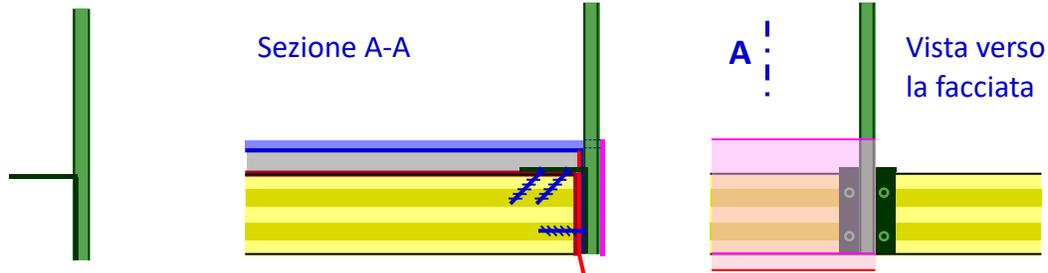
## Il balcone a sbalzo

- la soluzione più richiesta
- la più delicata sotto tanti punti di vista
- l'aggancio delle balaustre



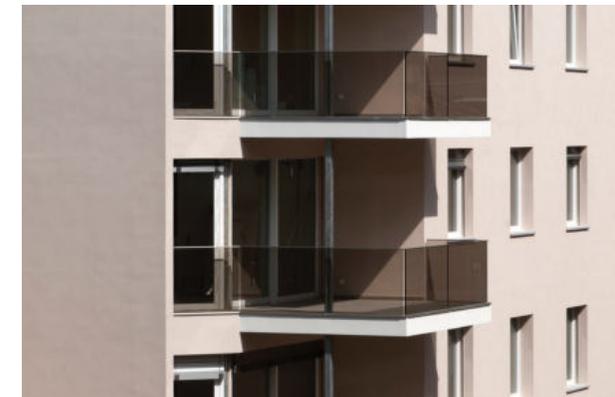
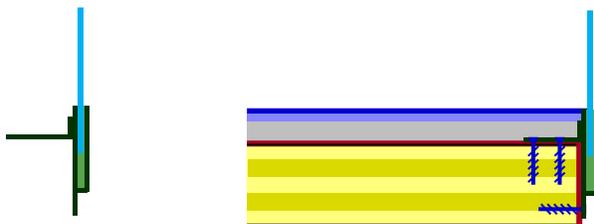
## Montanti di metalli puntuali ancorati alla struttura

- doppia ermeticità verso il legno
- chiusura esterna con elemento di facciata



## Binari per lastra di vetro ancorati alla struttura

- doppia ermeticità verso il legno
- chiusura esterna con elemento di facciata

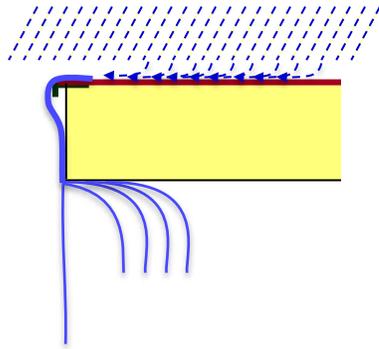


## L'importanza dei dettagli - sgocciolatoio

- balconi e gronde delle coperture

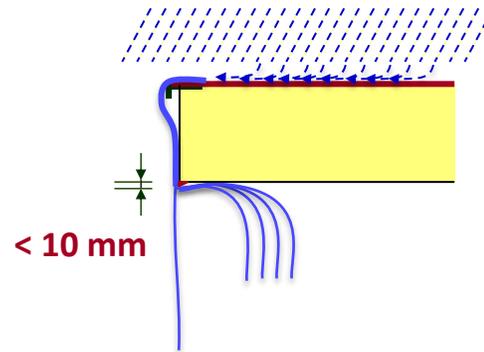
Senza sgocciolatoio

- acqua sulla superficie inferiore



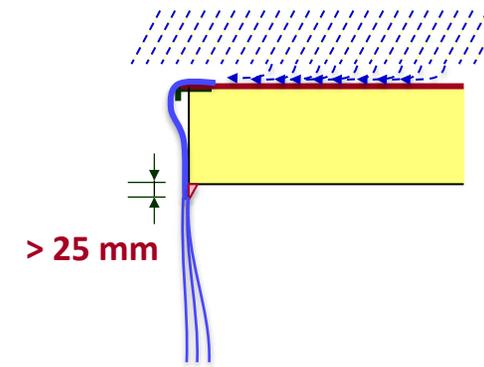
Sgocciolatoio insufficiente

- acqua sulla superficie inferiore



Sgocciolatoio corretto

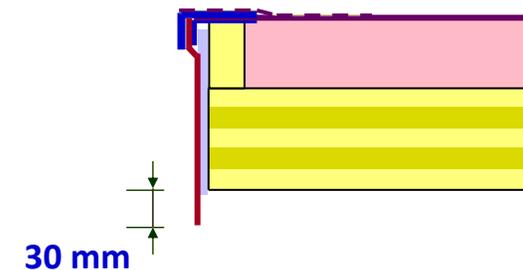
- superficie inferiore protetta



sgocciolatoio di altezza < 10 mm



5 anni dopo la realizzazione

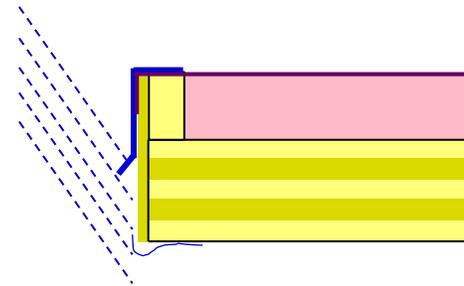


## L'importanza dei dettagli - sgocciolatoio

- balconi e gronde delle coperture

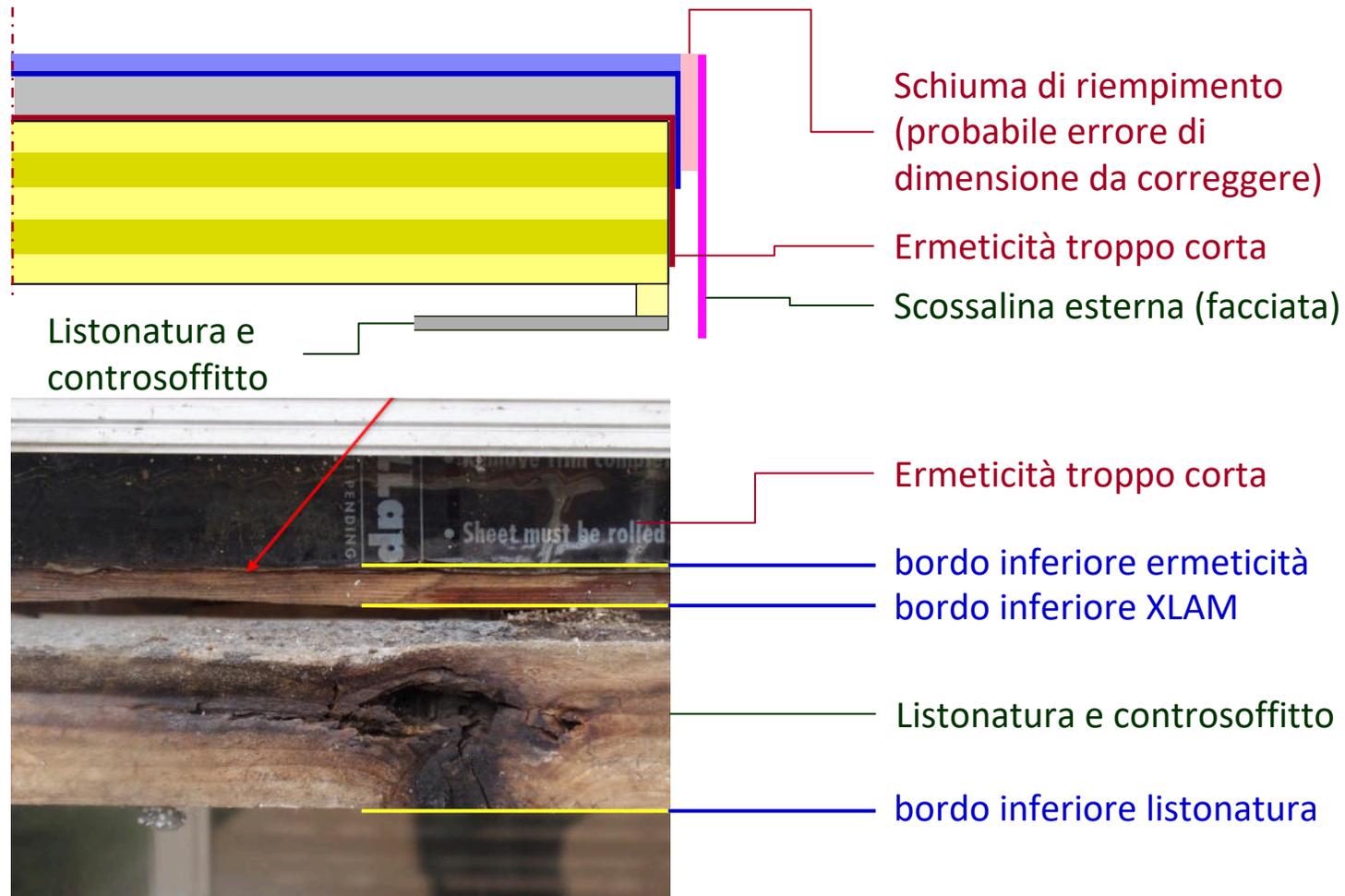


Spessore esterno ridotto al minimo  
- sgocciolatoio inesistente



## L'importanza dei dettagli - sgocciolatoio

- balconi e gronde delle coperture



## L'importanza dei dettagli - sgocciolatoio

- balconi e gronde delle coperture

7 anni dopo la  
messa in servizio

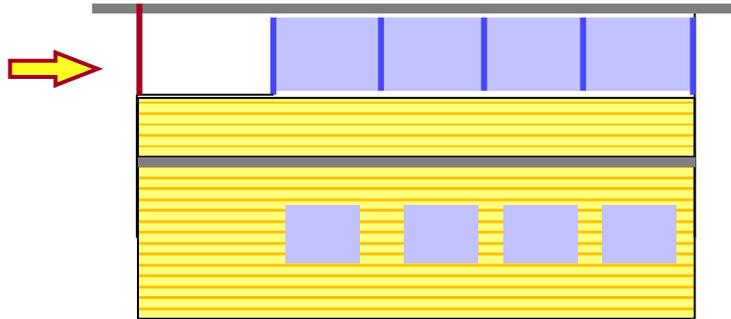


dopo il  
risanamento



## Il balcone interno

- ancora più delicato ...
- l'appoggio di un montante della struttura

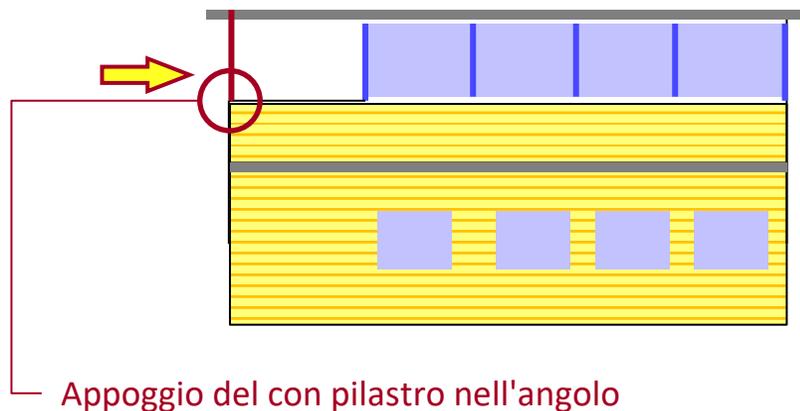


Balcone interno con pilastro nell'angolo

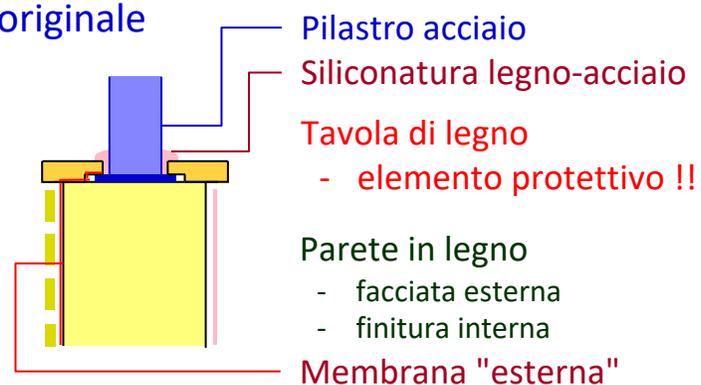


## Il balcone interno

- ancora più delicato ...
- l'appoggio di un montante della struttura

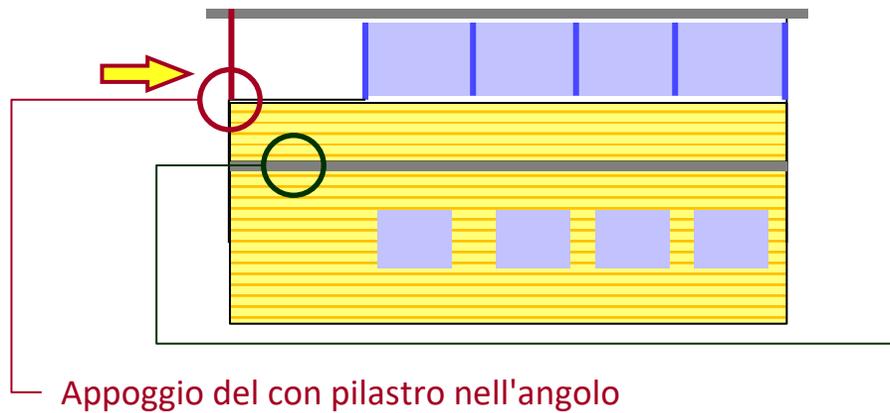


### Soluzione originale



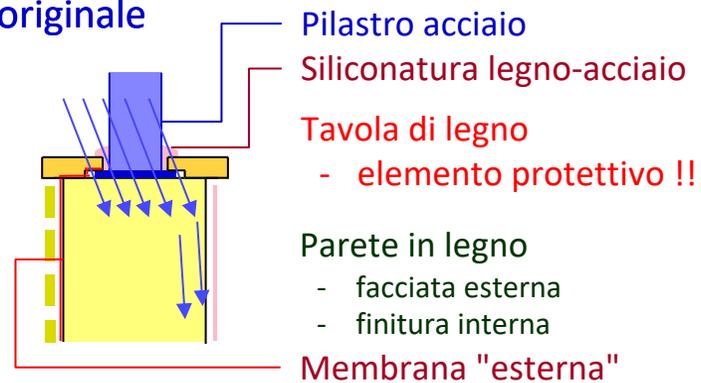
## Il balcone interno

- ancora più delicato ...
- l'appoggio di un montante della struttura



Danno nella soletta

### Soluzione originale



Passaggio dell'acqua



## Il balcone interno

- ancora più delicato ...
- l'appoggio di un montante della struttura

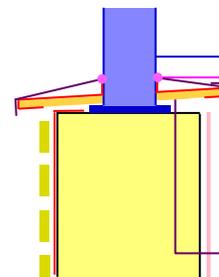
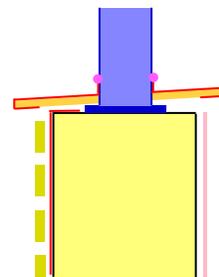
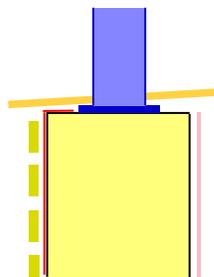
Misura di protezione 1:



Misura di protezione 2:



Soluzione del risanamento



Pilastro acciaio

Saldatura al pilastro

Scossalina in metallo

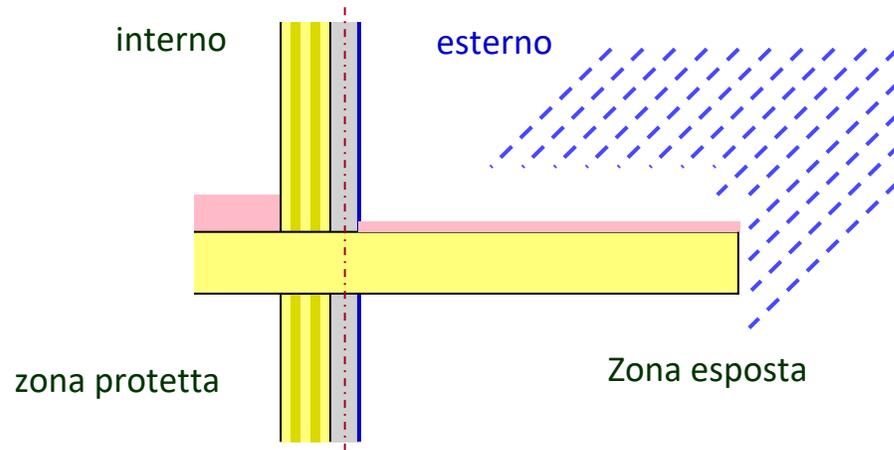
- giunto siliconato
- visibile e oggetto di manutenzione

Tavola di legno compensato

- supporto per membrana impermeabile saldata

## Il principi sono validi per tutte le soluzioni

- gli attraversamenti della facciata rappresentano delle aperture
- il legno strutturale deve essere **completamente** protetto dal rischio di degrado



### Principi:

- continuità della struttura portante: protezione completa del legno necessaria
- misure protettive necessarie
- attraversamento facciata - struttura da risolvere



# Le costruzioni senza punti critici

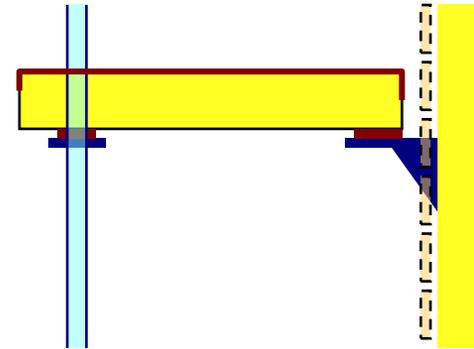
## Aggirare gli ostacoli non è sempre la soluzione più elegante

- evitare gli attraversamenti della facciata ...
- soluzione non sempre confacente a tutte le esigenze



### Balcone separato dalla costruzione

- esigenze di protezione ridotte
- materiale visibile senza grossi problemi
- sostituibile se necessario



# I punti critici ... valgono per tutti

L'esempio dei balconi è sintomatico del problema ...

... e non è un problema esclusivo del legno



*Francia, 2016 - L'edificio sembra avere - secondo alcune informazioni pubblicate - circa 20 anni*

# I punti critici ... valgono per tutti

L'esempio dei balconi è sintomatico del problema ...

... e non è un problema esclusivo del legno



2014 - L'edificio sembra avere - secondo alcune informazioni pubblicate - circa 5 anni

# I punti critici ... valgono per tutti

L'esempio dei balconi è sintomatico del problema ...

... e non è un problema esclusivo del legno



# I punti critici ... valgono per tutti

L'esempio dei balconi è sintomatico del problema ...

... e non è un problema esclusivo del legno



# I punti critici ... devono essere risolti

L'esempio dei balconi è sintomatico del problema ...

... ed è risolvibile



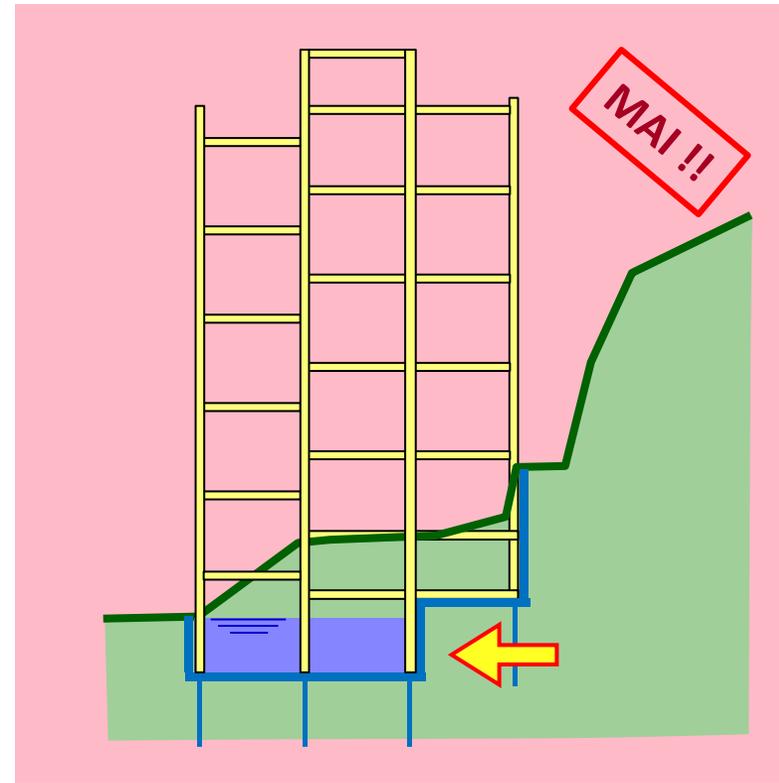
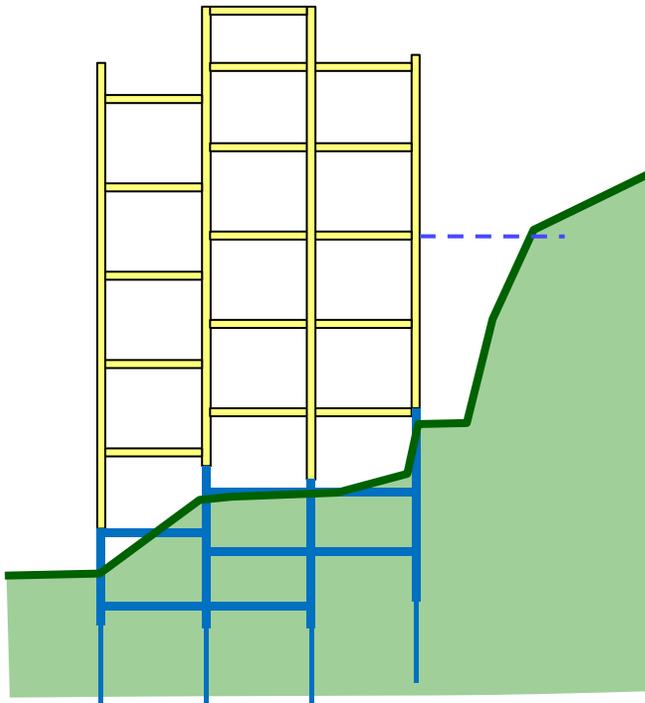
# I punti critici ... devono essere risolti

L'attacco a terra è sintomatico della corretta progettazione

Il livello del terreno rappresenta il limite della zona sempre bagnata

## La costruzione in legno

- è sempre interamente sopra a questo livello
- è separata da uno strato ermetico all'acqua



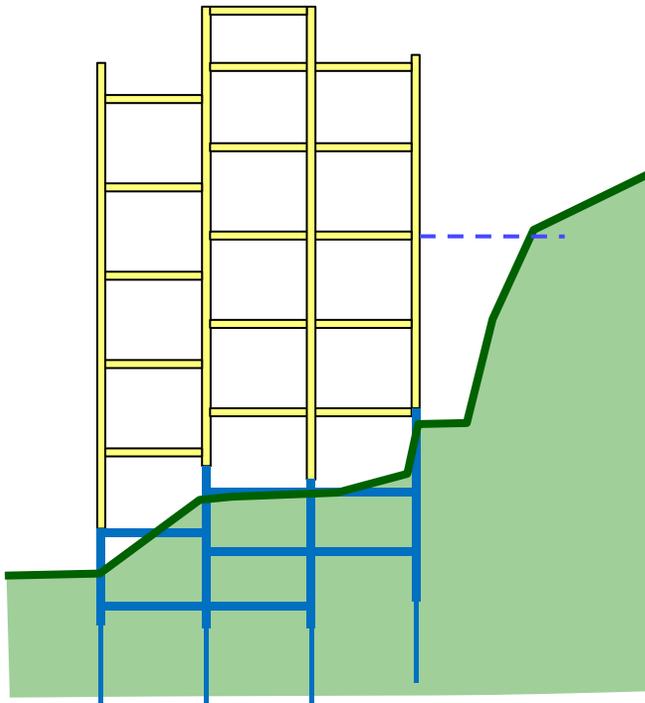
# I punti critici ... devono essere risolti

L'attacco a terra è sintomatico della corretta progettazione

Il livello del terreno rappresenta il limite della zona sempre bagnata

La costruzione in legno è **sempre**

- interamente sopra a questo livello
- isolata con uno strato ermetico all'acqua

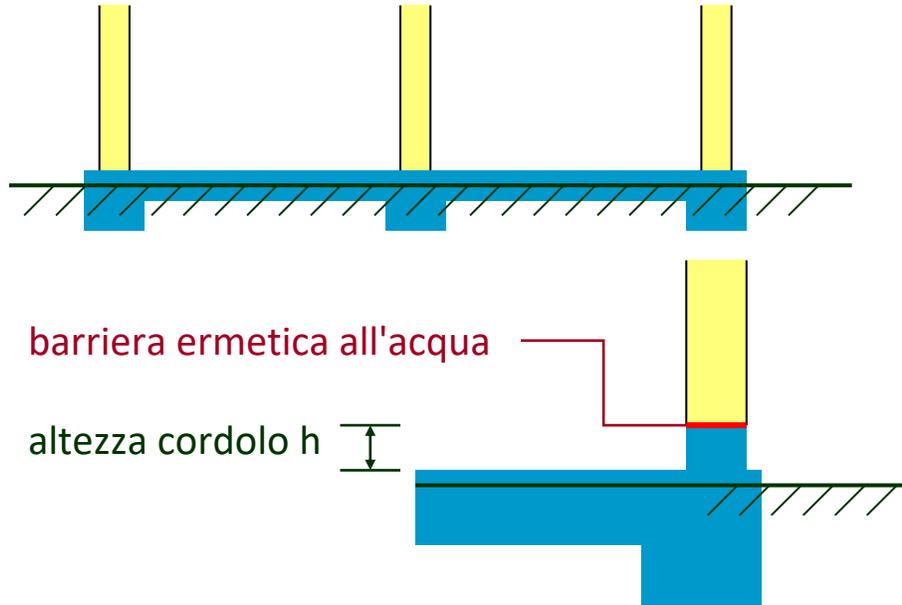


# I punti critici ... devono essere risolti

L'attacco a terra è sintomatico della corretta progettazione

La costruzione in legno è **sempre**

- interamente sopra a questo livello
- isolata con uno strato ermetico all'acqua

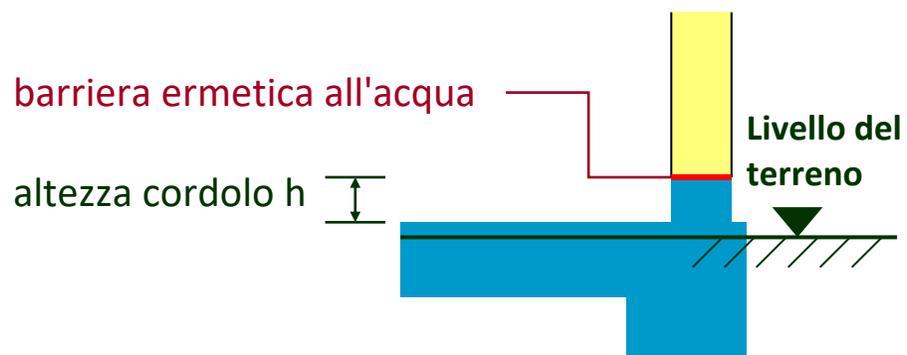
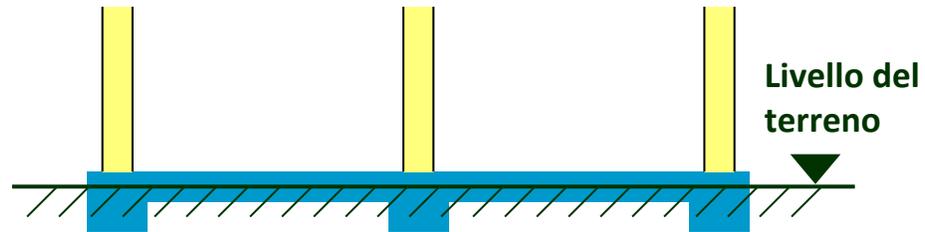


# I punti critici ... devono essere risolti

L'attacco a terra è sintomatico della corretta progettazione

La costruzione in legno è **sempre**

- interamente più in alto del livello del terreno esterno
- isolata con uno strato ermetico all'acqua

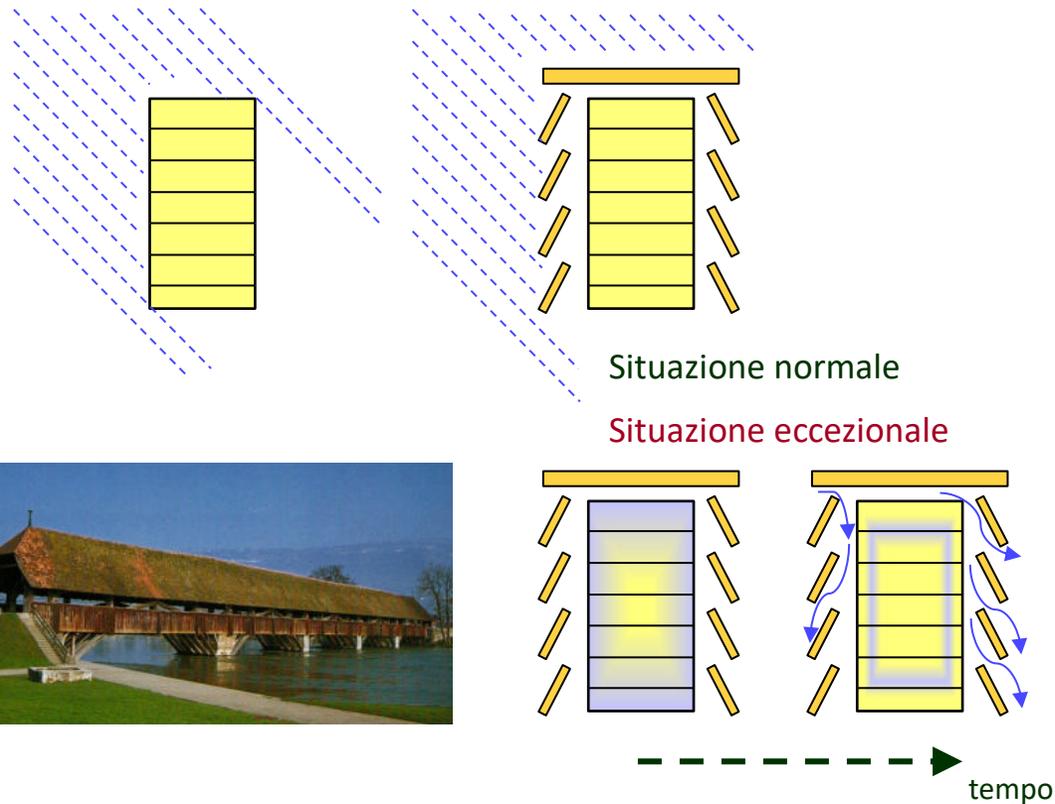


## Il principio della protezione completa del legno

- tramandato dalla tradizione
- base per una durabilità sicura e collaudata



Elemento da proteggere    Elemento protetto



### Misura di protezione 1:

- protezione fisica
- l'acqua resta lontana

+

### Misura di protezione 2:

- ventilazione
- essiccazione possibile

=

**Durabilità e Sicurezza**

# I punti critici ... possono essere risolti

## La costruzione in legno dispone delle conoscenze necessarie

- i principi sono chiari e semplici
- il rigore di progettazione e nell'applicazione sono la chiave per la buona riuscita



Misura di protezione 1:

+

Misura di protezione 2:

=

Progetto di  
Durabilità e Sicurezza



La tecnologia del legno al servizio del progetto



Grazie  
per l'attenzione

# FORUM ITALIANO DEL LEGNO



15 NOVEMBRE 2019

RIVA DEL GARDA • *Centro Congressi • Du Lac et Du Parc Grand Resort*