

Costruzioni in legno

Comportamento e resistenza al fuoco

Milano, 22 novembre 2018

## La protezione al fuoco Una questione fondamentale nella progettazione



### **Dr. Andrea Bernasconi**

Professore di costruzione in legno, heig-vd Yverdon - HES-SO

Consulente dell'Istituto di tecnologia e costruzione in legno, Politenico di Graz

Contitolare associato Borlini & Zanini SA - Ingegneria e prevenzione incendi - Lugano

## Come si ottiene un edificio sicuro e di qualità ?? Cosa si deve fare ??



## Ieri e oggi

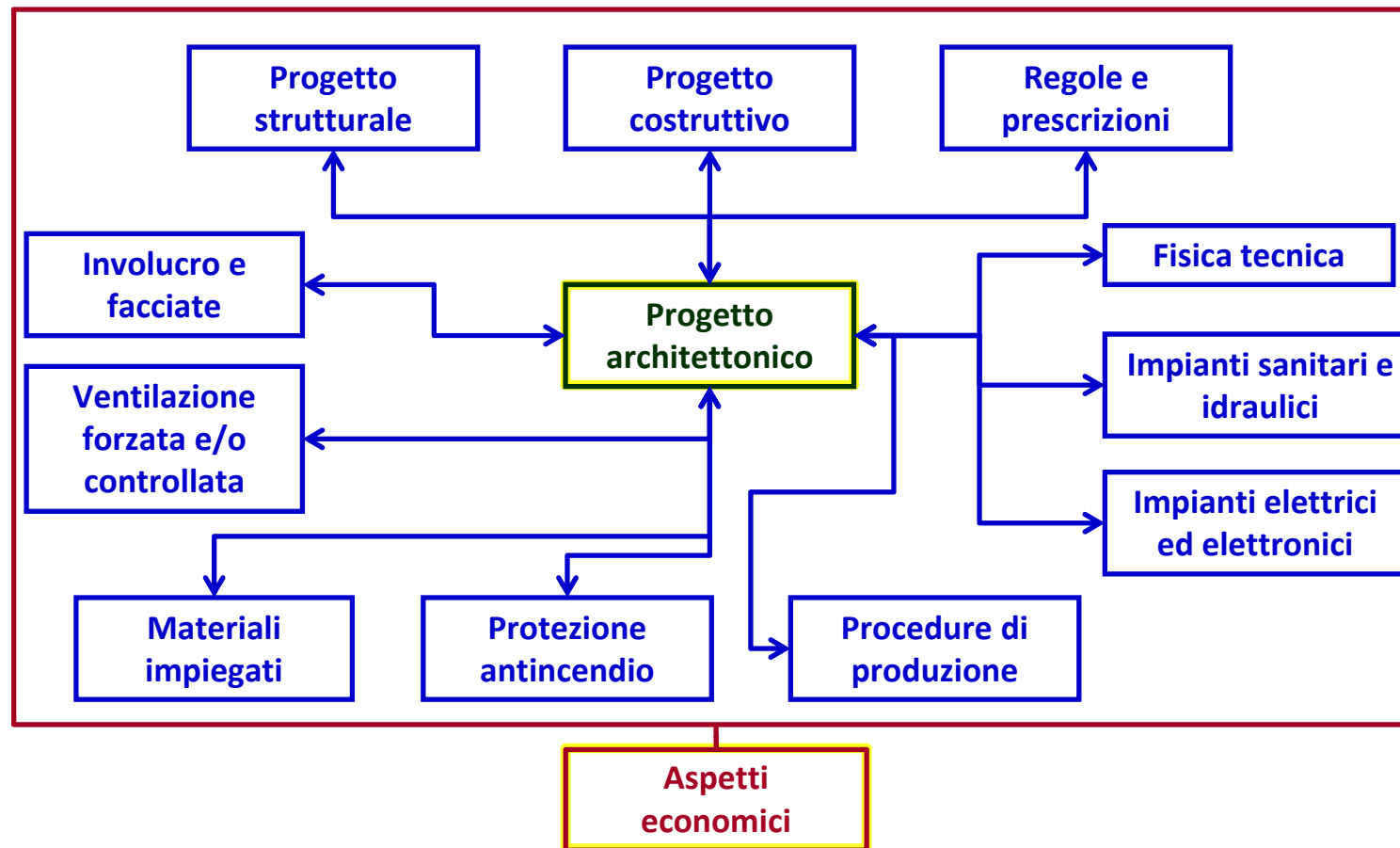
- la costruzione in legno  
riconoscibile dall'esterno



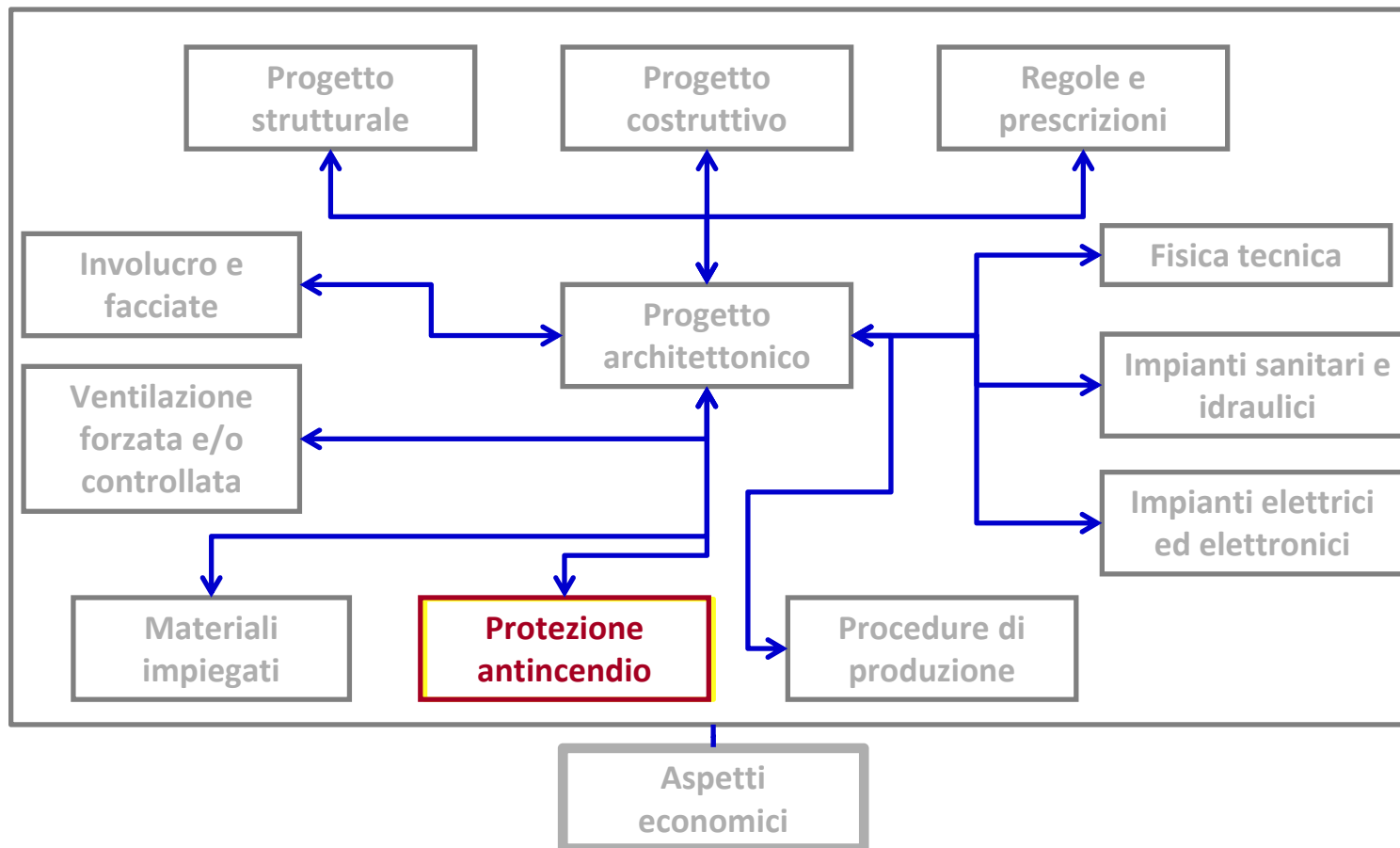
- la costruzione in legno dietro la  
facciata



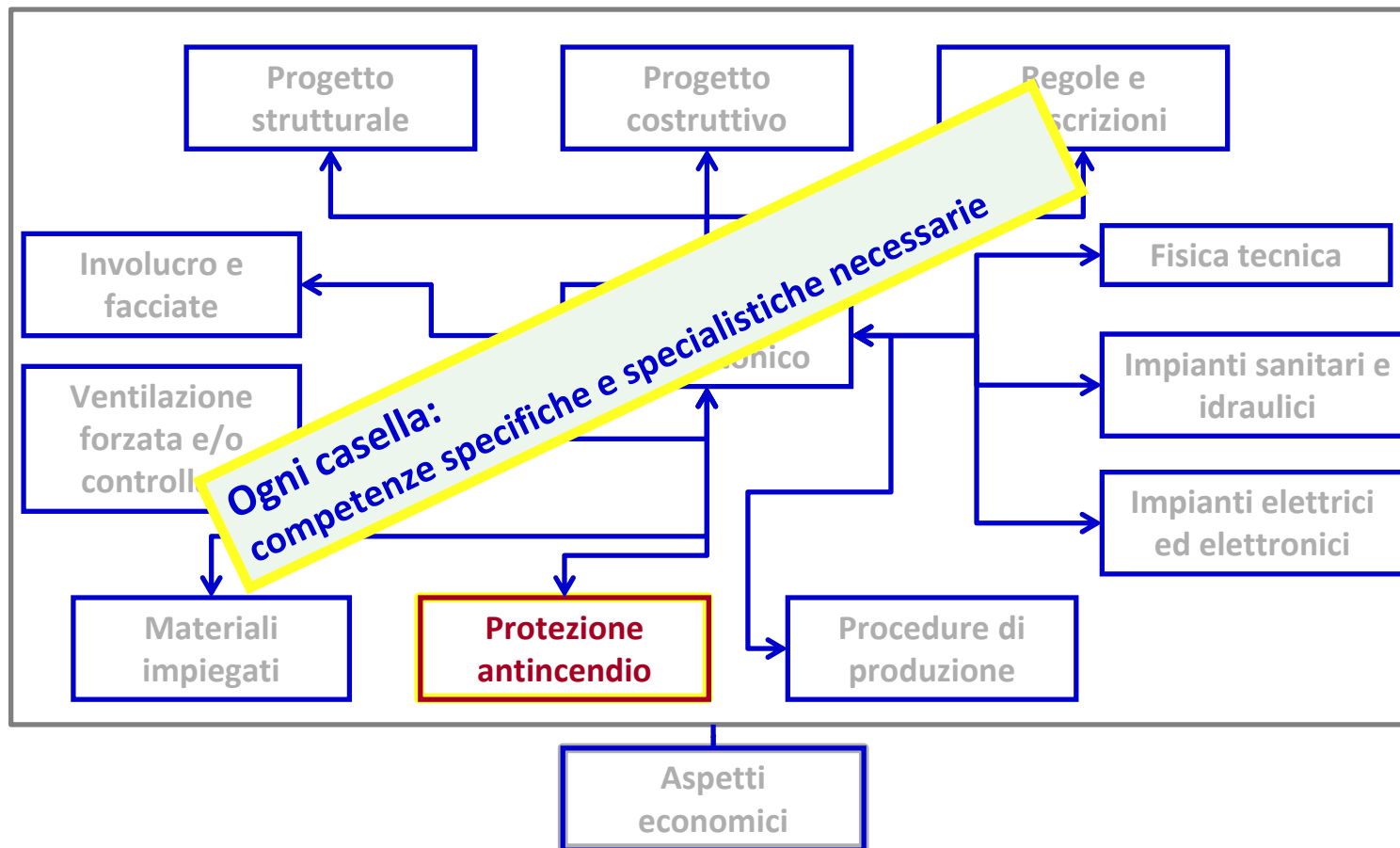
## Le componenti di un progetto degno di questo nome



**Le componenti di un progetto degno di questo nome**



Le componenti di un progetto degno di questo nome

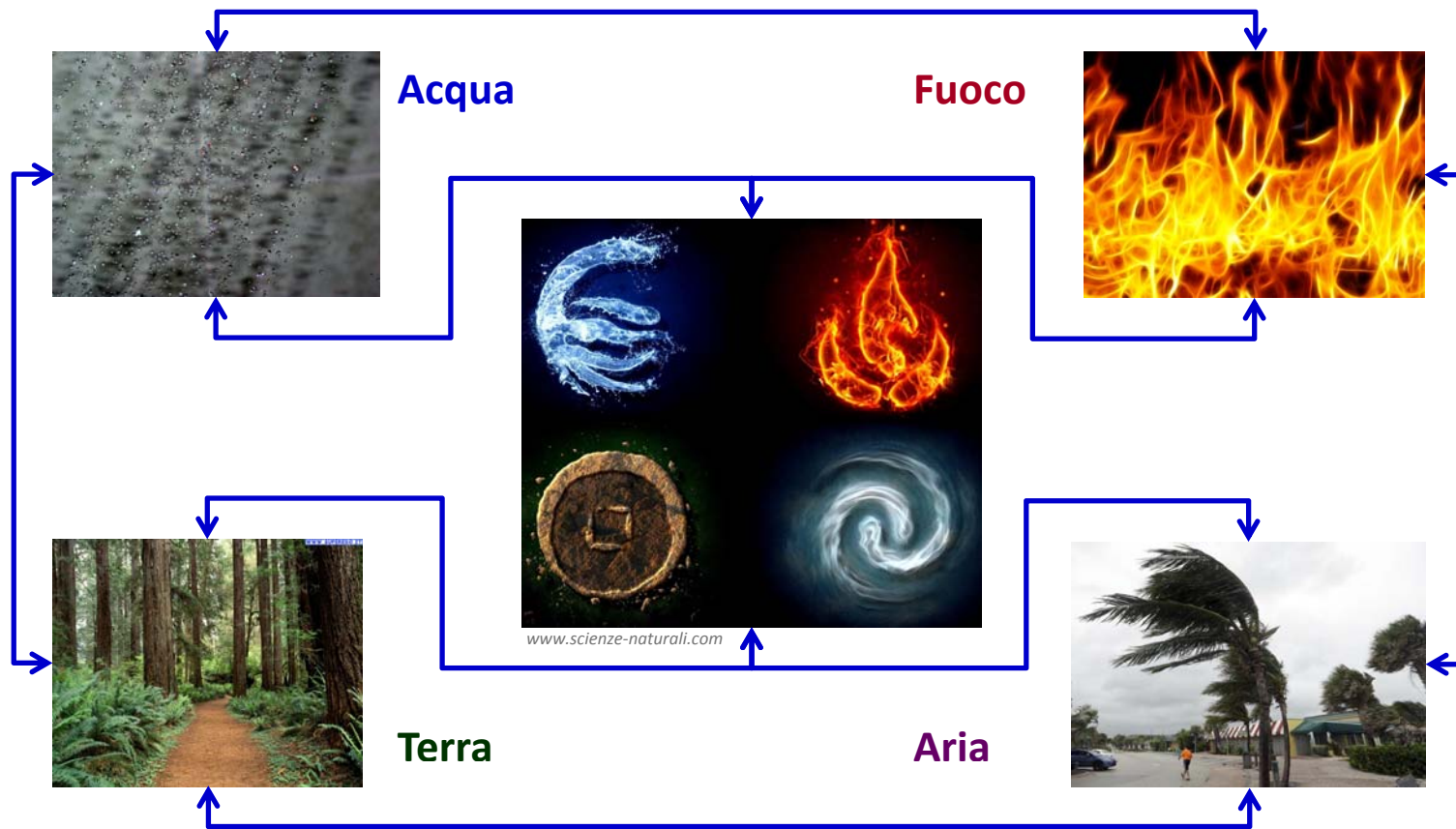


## Le domande essenziali per un prodotto corretto e di qualità

Le componenti di un progetto degno di questo nome



**La struttura in legno risponde positivamente alle domande fondamentali**





## La struttura in legno risponde positivamente alle domande fondamentali



## La struttura in legno risponde positivamente alle domande fondamentali



**Ciò che tutti sanno sul tema del legno e del fuoco: il legno brucia !!**



**È questo il problema ?**

**Qual'è la risposta corretta ?**

**La domanda corretta: quale sicurezza in caso di incendio ?**



**La sicurezza antincendio si misura in tempo**

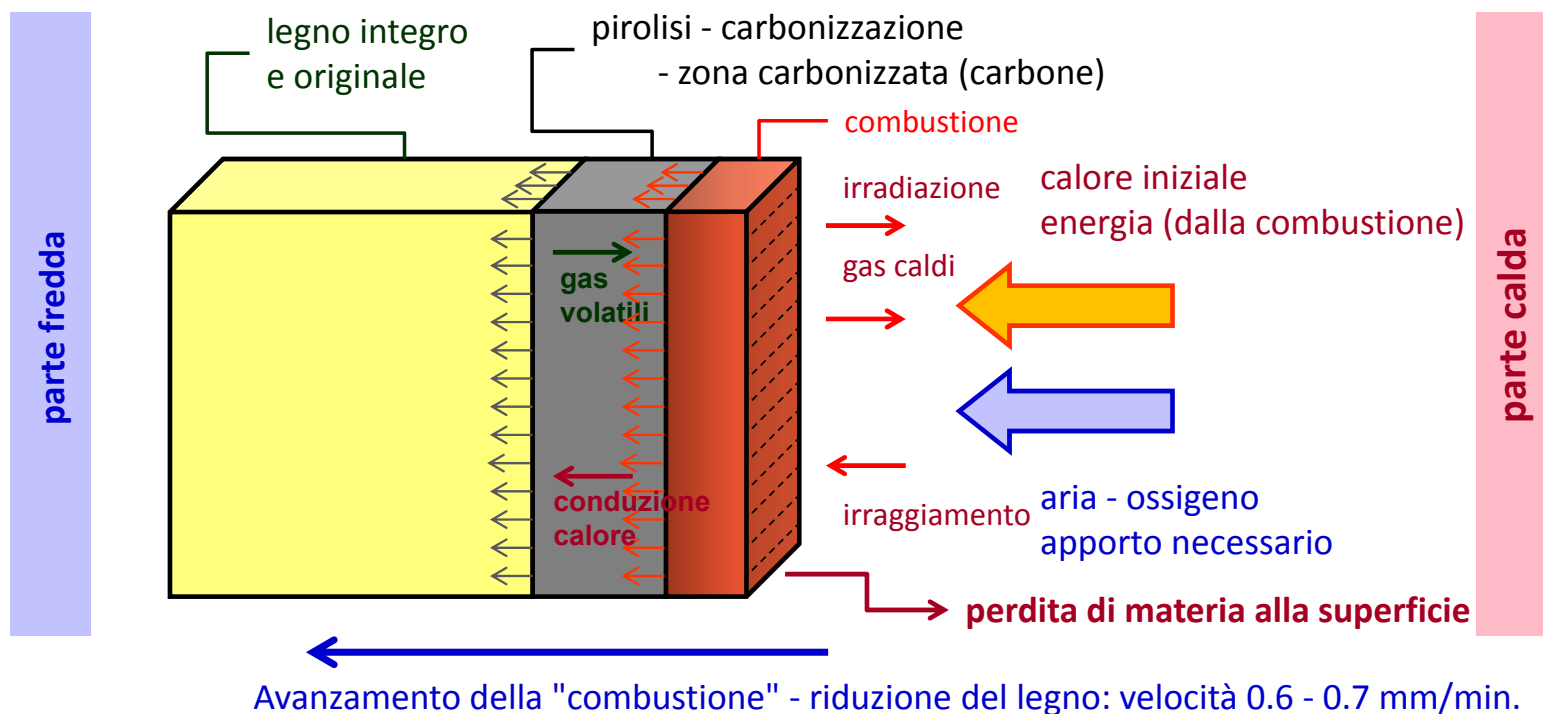
- per intervenire e mettere in salvo
- per innescare i sistemi di spegnimento

**Il legno - Materiale combustibile**



Il punto debole della struttura è difficilmente la resistenza al fuoco del legno !!  
La sicurezza contro l'incendio dipende da altri fattori...

## La combustione del legno



### Avanzamento della combustione in "equilibrio"

- perdita di materia alla superficie esposta al calore e alla combustione
- avanzamento del fronte di carbonizzazione

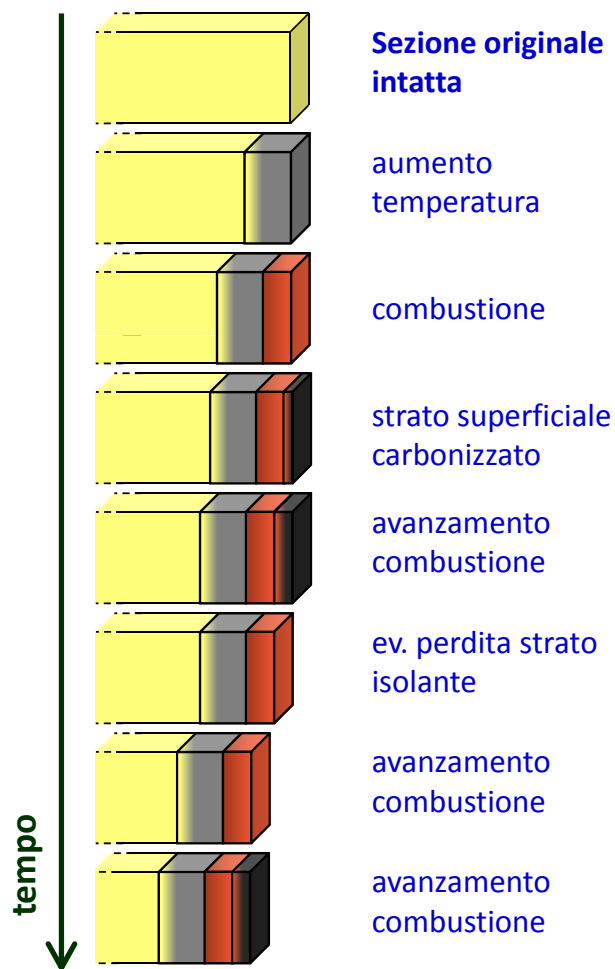
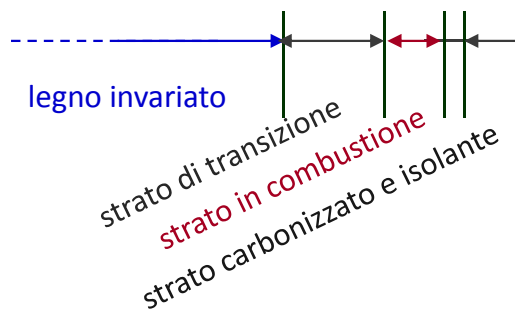
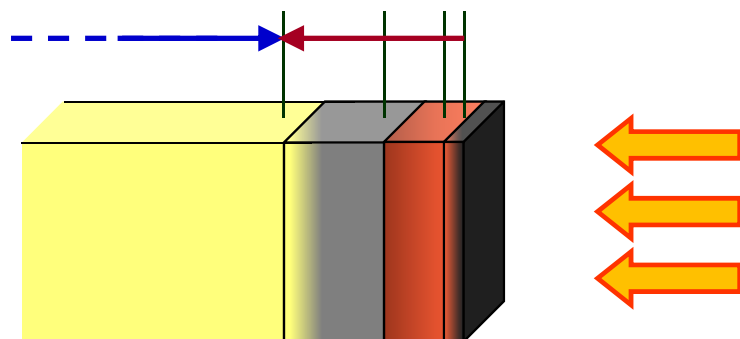
## La combustione del legno

### parte fredda:

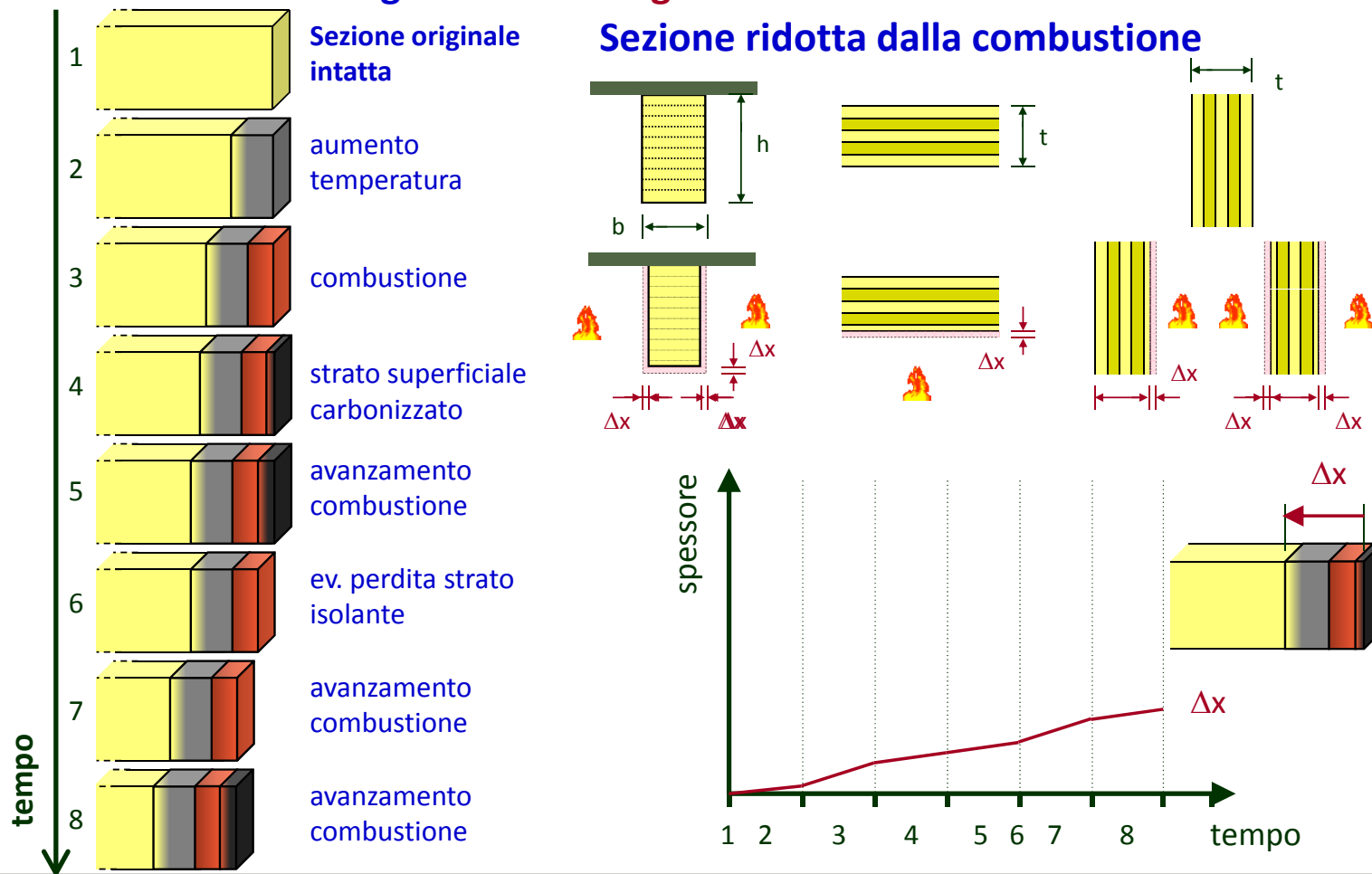
- legno efficace
- resistenza disponibile

### parte calda (o bruciata):

- legno non efficace
- perdita di prestazione

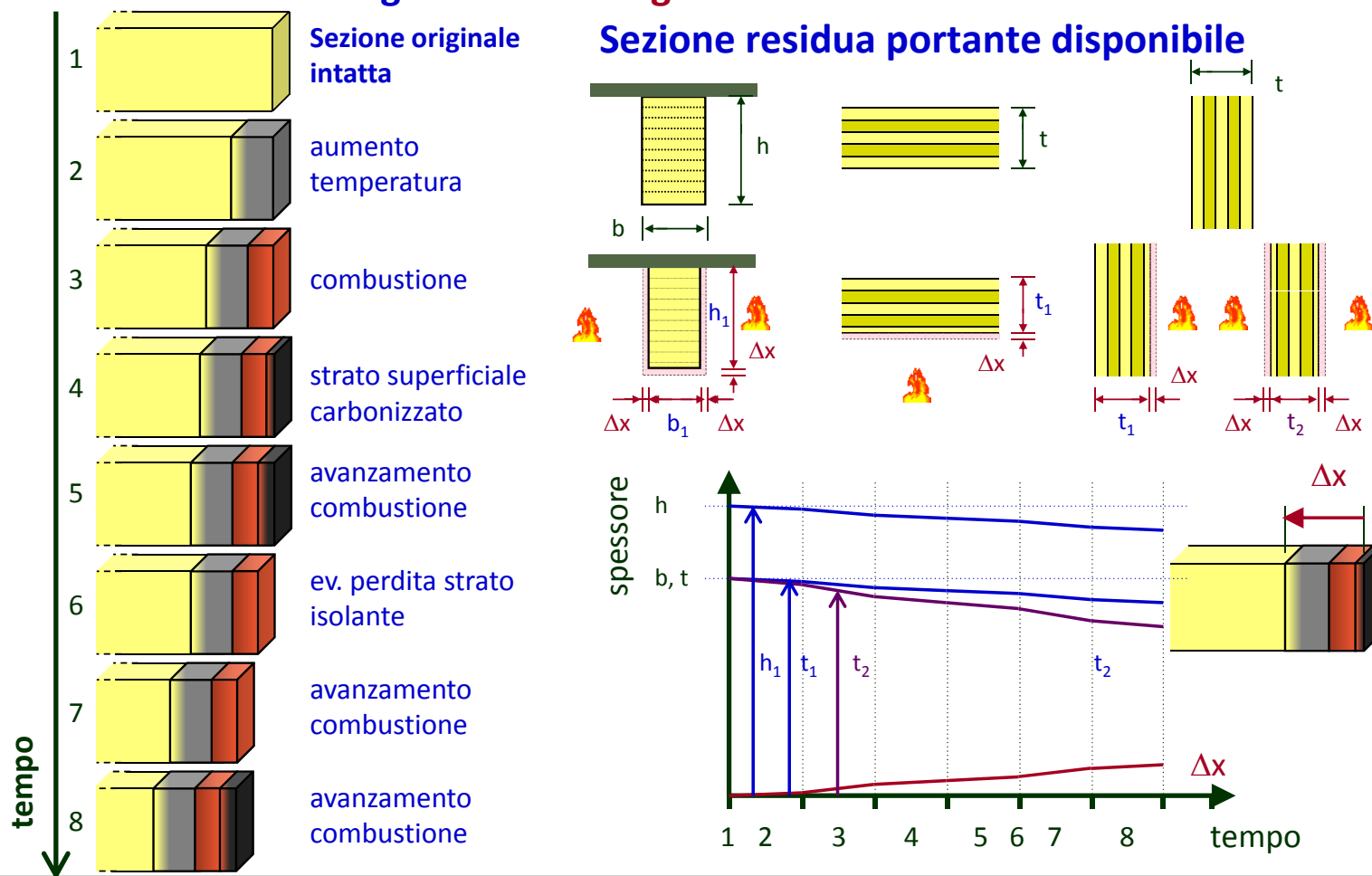


## La combustione del legno - effetto sugli elementi strutturali



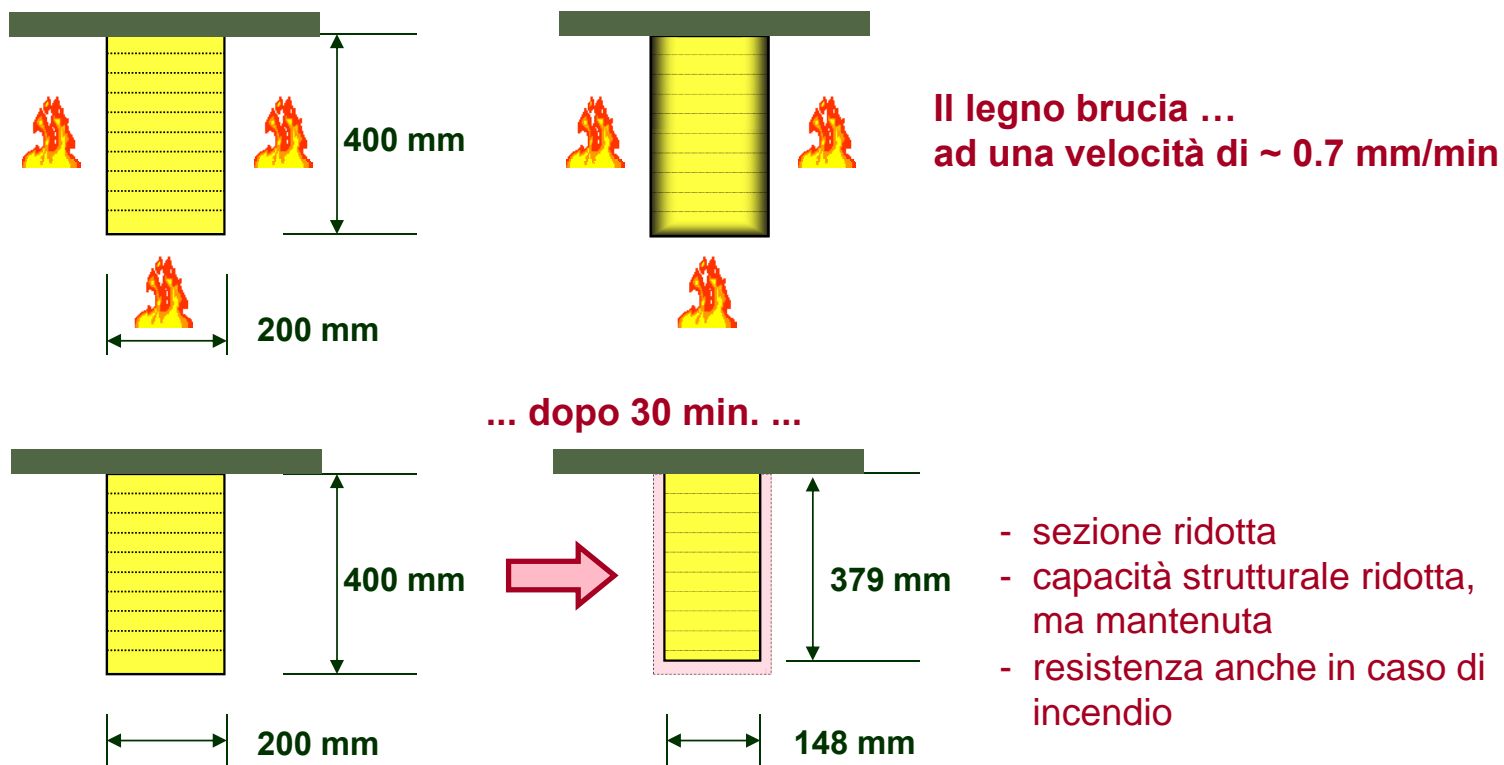


## La combustione del legno - effetto sugli elementi strutturali



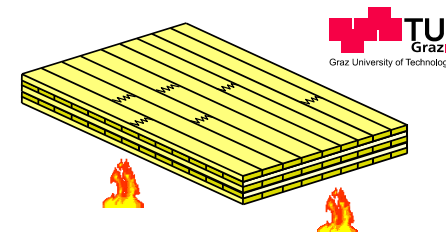
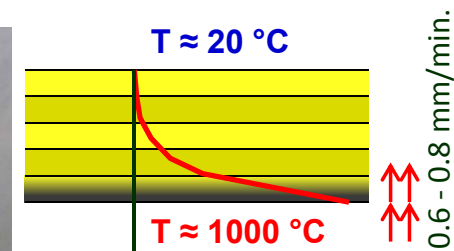
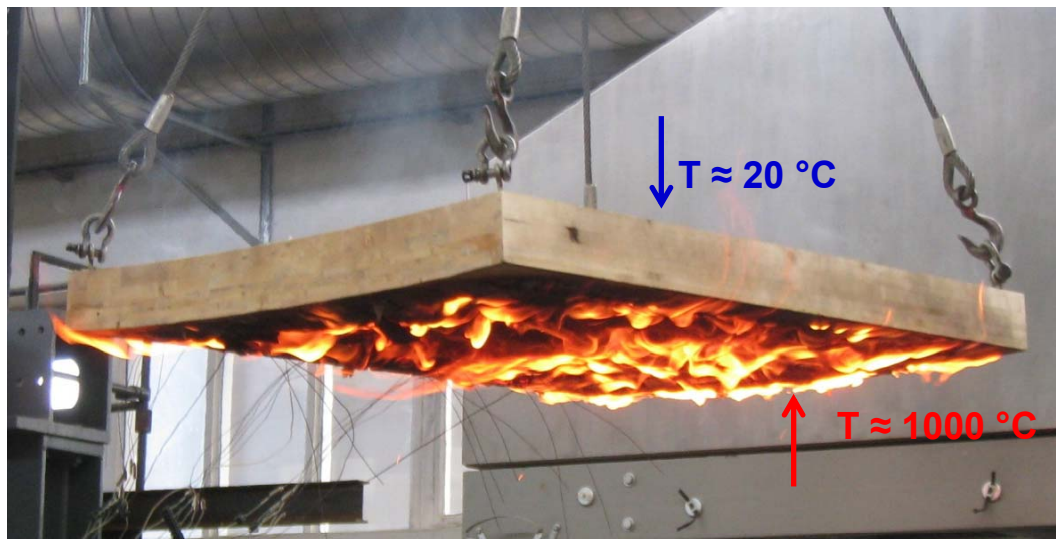
## Il legno - Materiale combustibile

- il legno è combustibile - quindi "brucia"
- il legno "brucia" molto lentamente



## Il legno - Materiale combustibile

- Il legno è un buon isolante termico
- **Aumento di temperatura limitato**

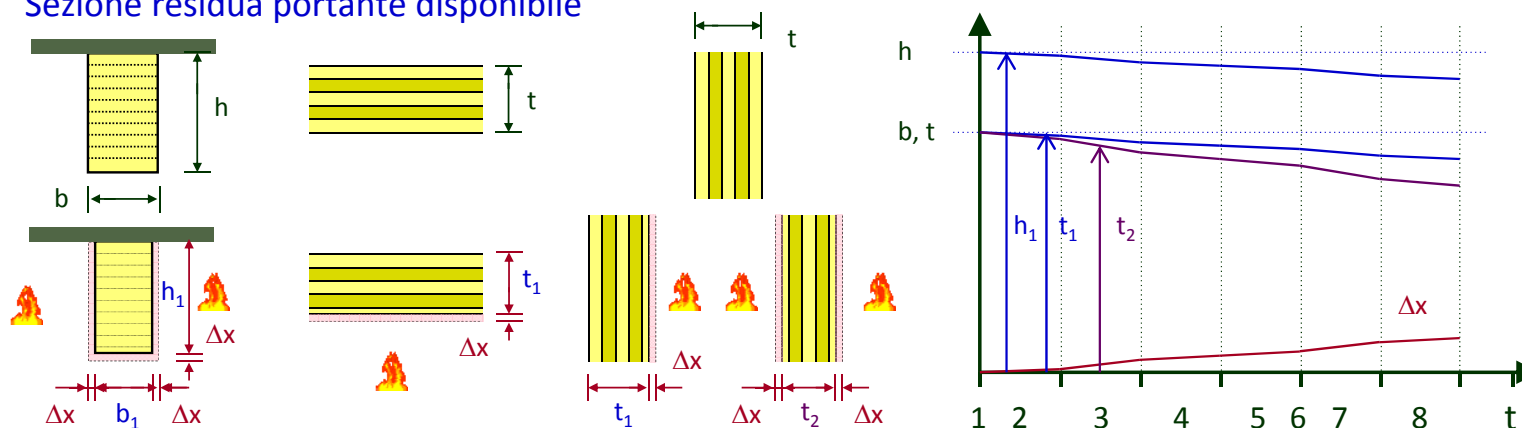


### Il pannello massiccio ...

- ... offre una sola superficie di attacco al fuoco
- ... presenta quindi un comportamento favorevole

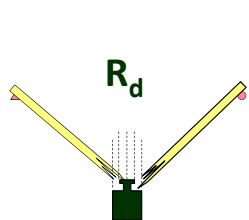
## I valori di calcolo della resistenza a caldo degli elementi in legno

Sezione residua portante disponibile



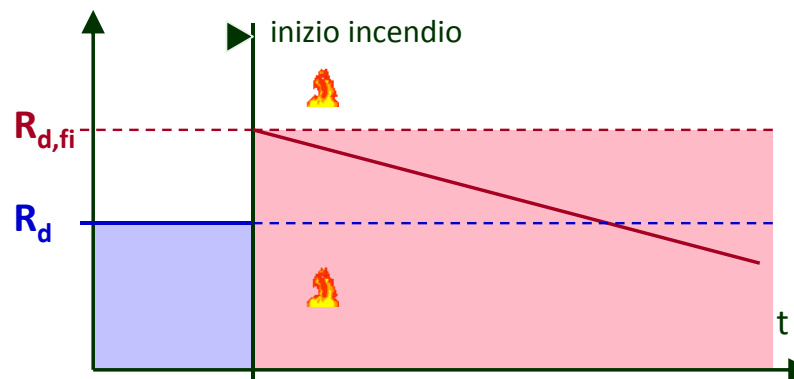
### Resistenza a caldo

- valori di sicurezza modificati
- rischio valutato e accettato in modo diverso



$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M}$$

$$R_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{R_k}{\gamma_{M,fi}}$$

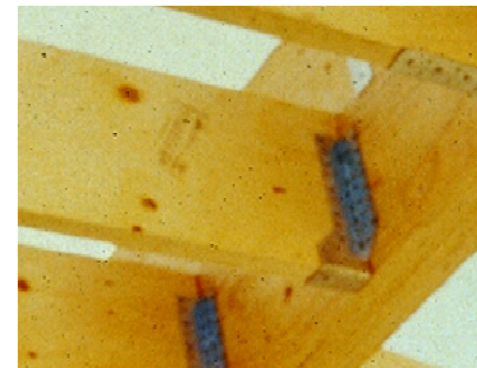


## La resistenza della struttura in legno

- deve considerare tutti gli elementi strutturali
- dipende anche dalla resistenza dei collegamenti strutturali ...

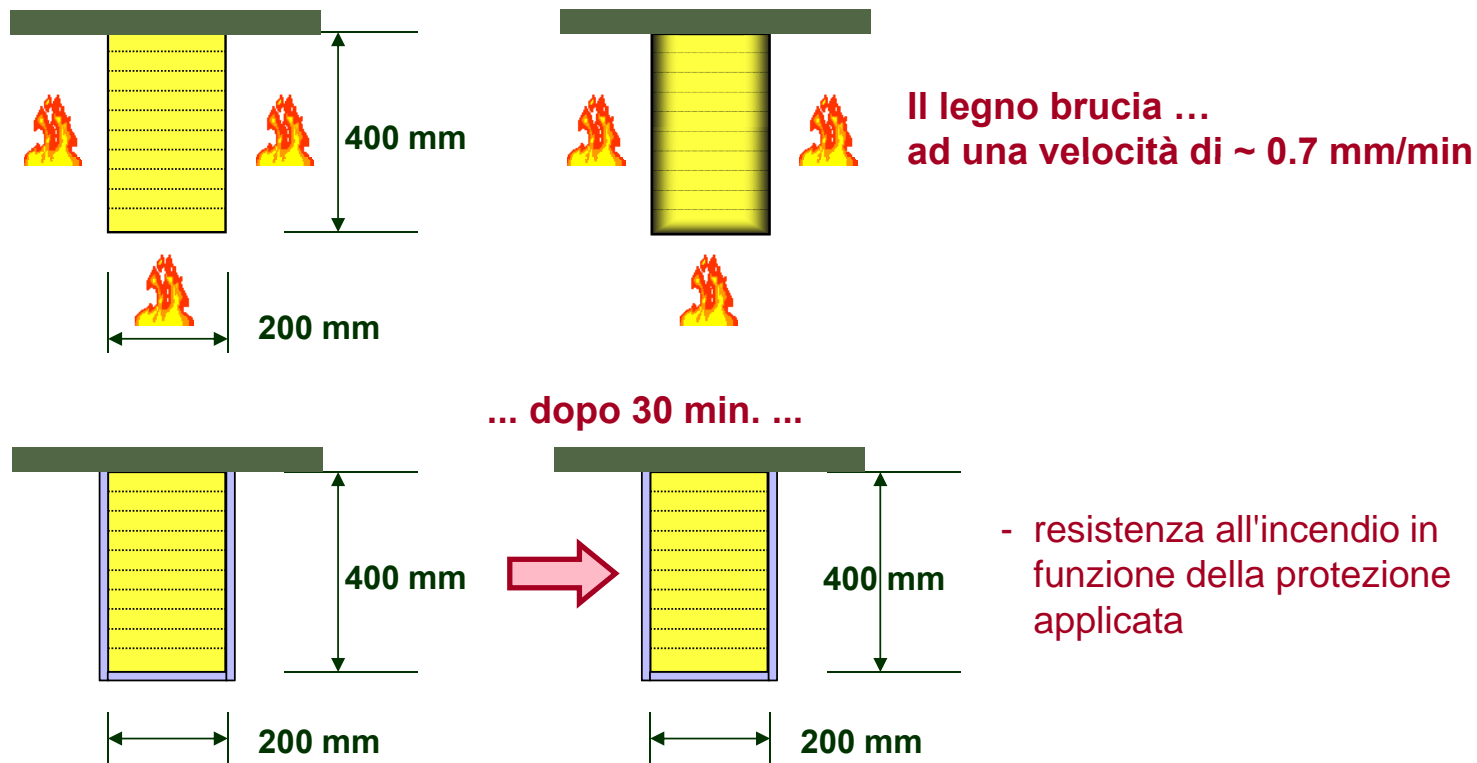
## Connettori di acciaio

- sono poco adatti se esposti al fuoco



## Il legno - Materiale combustibile

- il legno può essere protetto
- la costruzione diventa "non combustibile"



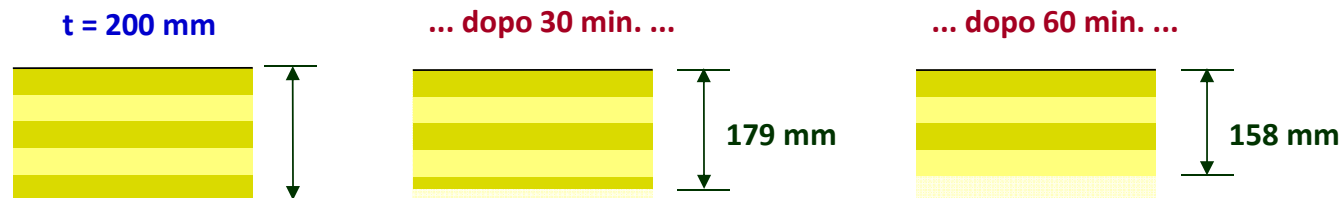
## Il comportamento dell'XLAM in caso di incendio

### Protezione e sicurezza antincendio della soletta XLAM

- Esposizione al fuoco di regola su un solo lato
- Superficie superiore protetta dal pavimento
- in alcuni casi sono disponibili omologazioni REIxx

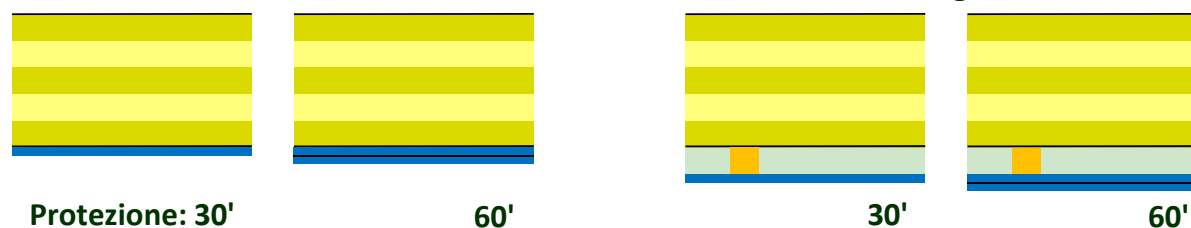
### Riduzione della sezione efficace

- permette in diversi casi di adempiere alle esigenze di resistenza al fuoco



### Protezione tramite pannellatura

- assicura la protezione del legno dal fuoco - nessun danneggiamento del legno
- eventualmente combinata con la finitura interna - cartongessi ecc.



## Il comportamento dell'XLAM in caso di incendio

### Protezione e sicurezza antincendio della parete XLAM

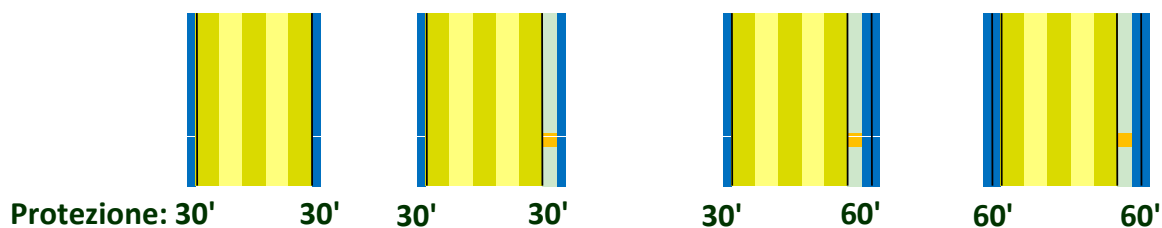
#### Riduzione della sezione efficace

- permette in diversi casi di adempiere alle esigenze di resistenza al fuoco



#### Protezione tramite pannellatura

- assicura la protezione del legno dal fuoco - nessun danneggiamento del legno
- eventualmente combinata con la finitura interna - cartongessi ecc.



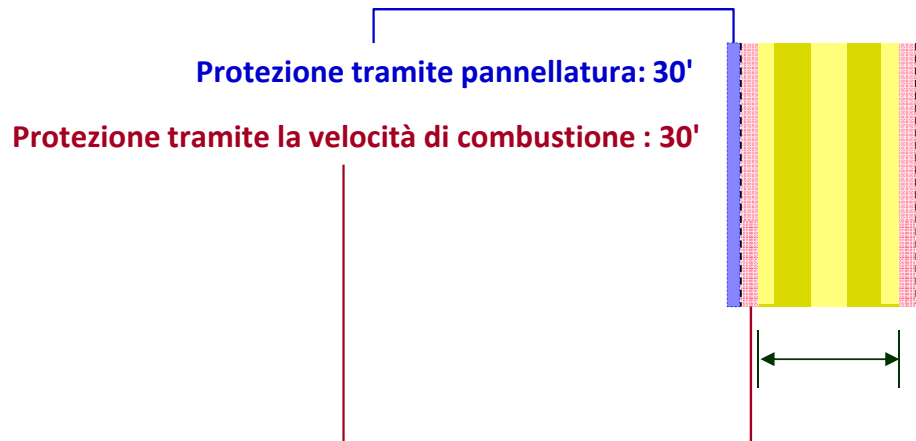


## Il comportamento dell'XLAM in caso di incendio

### Protezione e sicurezza antincendio della parete XLAM

#### Protezione tramite cumulo dell'effetto della pannellatura e dell'avanzamento dell'incendio

- riduzione della pannellatura per una protezione equivalente
- soluzione non sempre accettata, non sempre ben vista e non sempre applicata

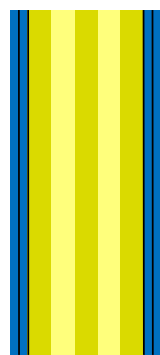


## Osservazioni sulla protezione incendio

### Protezione ottenuta per principio tramite pannellatura adeguata

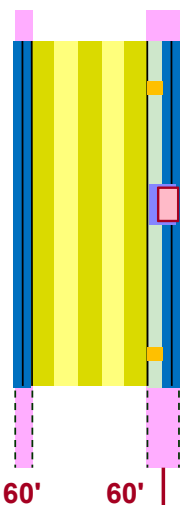
- pannellatura preferibilmente vicina all'elemento da proteggere
- in caso di distanza, l'aumento della stessa comporta **rischi e problemi maggiori ...**

#### Principio



60' 60'

#### Istallazioni nella zona di protezione

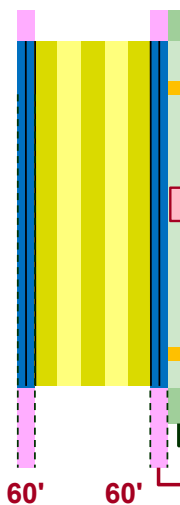


zona di protezione

#### Soluzioni speciali necessarie

- protezione degli attraversamenti della pannellatura
- interventi "posticci e incontraollati" problematici (inquilini)

#### Istallazioni fuori dalla zona di protezione



#### Sicurezza maggiore

- protezione immediata del legno
- indipendenza dalle installazioni

zona "libera"

zona di protezione

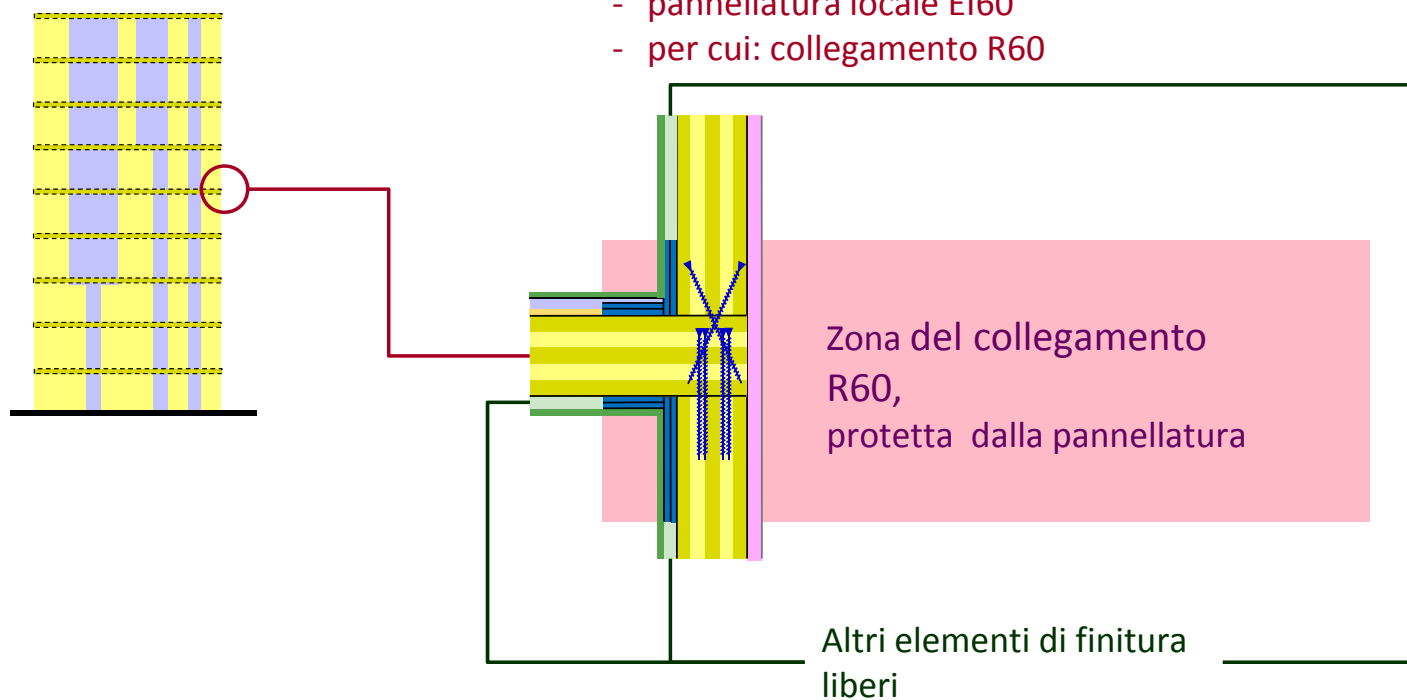
## Osservazioni sulla protezione incendio

### Possibili ipotesi per la verifica di una sufficiente sicurezza antincendio

- attenta progettazione dei dettagli costruttivi indispensabile

#### Esempio: protezione locale dei collegamenti

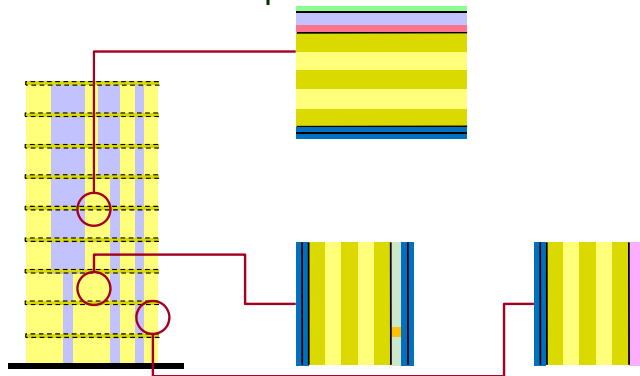
- pannellatura locale EI60
- per cui: collegamento R60



## Osservazioni sulla protezione antincendio

### Soluzioni attuali e applicazione

- pannellatura completa della struttura portante

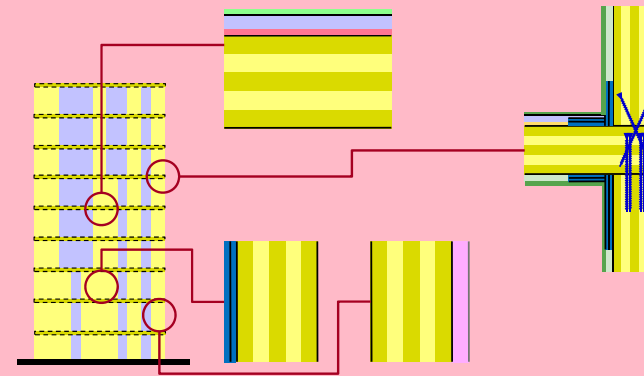


### Osservazioni

- **impegnativo e semplice**
- evtl. manutenzione e sorveglianza
- principio semplice
- efficace
- **"riserve nascosta" disponibili**
- **Ridondanza**

### Riflessioni

- parziale rinuncia alla pannellatura senza riduzione della sicurezza



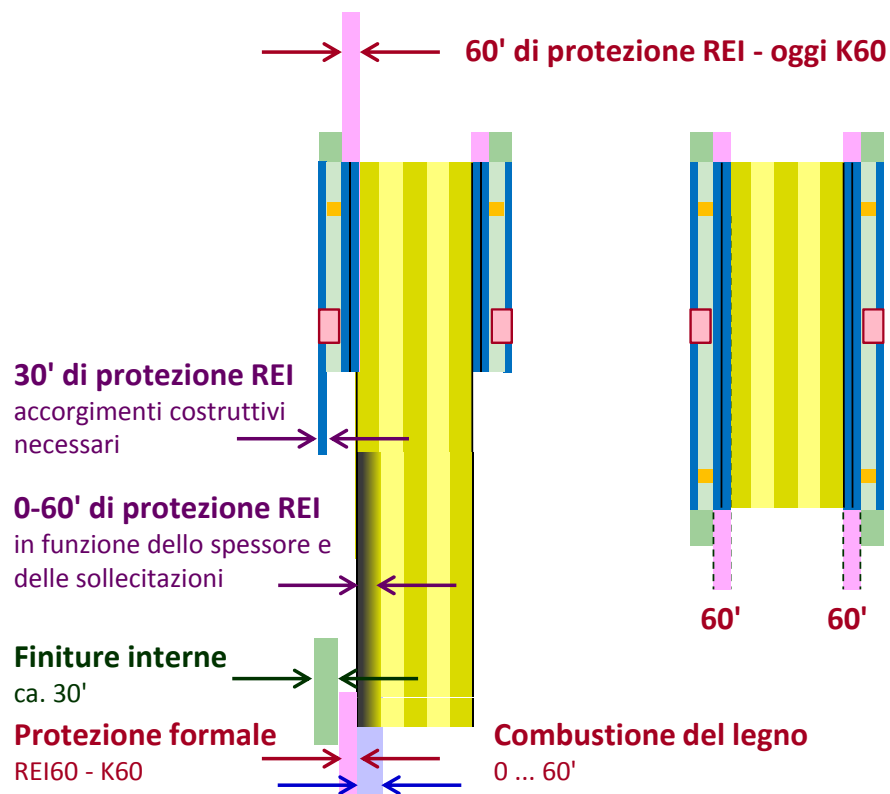
### Osservazioni

- **semplice - ma esigente**
- sensibile in fase di progetto
- principio complesso
- ridondanza ridotta
- al momento non applicato
- **interessante**

## Protezione antincendio

### Principio della protezione tramite rivestimento protettivo

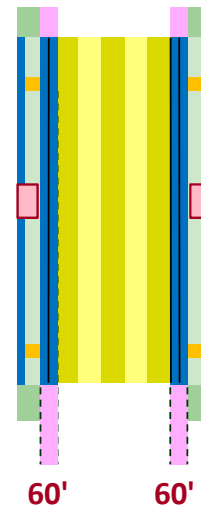
- il rivestimento apposito assicura la necessaria sicurezza
- ulteriori riserve di sicurezza antincendio in parte "formalmente" non attivate



## Osservazioni sulla protezione antincendio

### Principio della protezione tramite rivestimento protettivo

- il rivestimento deve essere il più vicino possibile all'elemento protetto
- l'aumento della distanza fra elemento protetto e protezione comporta **rischi e problemi supplementari ...**



## Aspetto essenziale della progettazione

- non solo per il legno e non solo per i tecnici
- non particolarmente problematico





Sede principale SFS di Heerbrugg CH  
Produzione di viti in acciaio di diverso tipo  
**Capannone dei trattamenti termici**

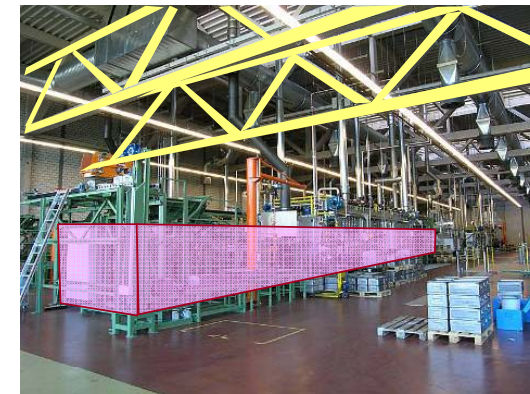






**Travi di copertura in legno per una ottimale sicurezza in caso di incendio**

Reticolari in legno



Vasca di trattamento termico per immersione

## Qualche esempio particolare

- sede corpo pompieri Muri, AG, Svizzera
- realizzato in legno nel 2011



## Qualche esempio particolare

- sede corpo pompieri Kriens LU, Svizzera
- realizzato in legno nel 2017



## Qualche esempio particolare

- Centro pronto intervento Canton Berna - Berna CH
- realizzato in legno nel 2013



## Qualche esempio particolare

- Edifici dei vigili del fuoco in legno non sono proprio una rarità ...



Frankoforte,  
Germania - 2006



Houten,  
Olanda - 2010

Bourbach-le-Bas, Francia - 2014



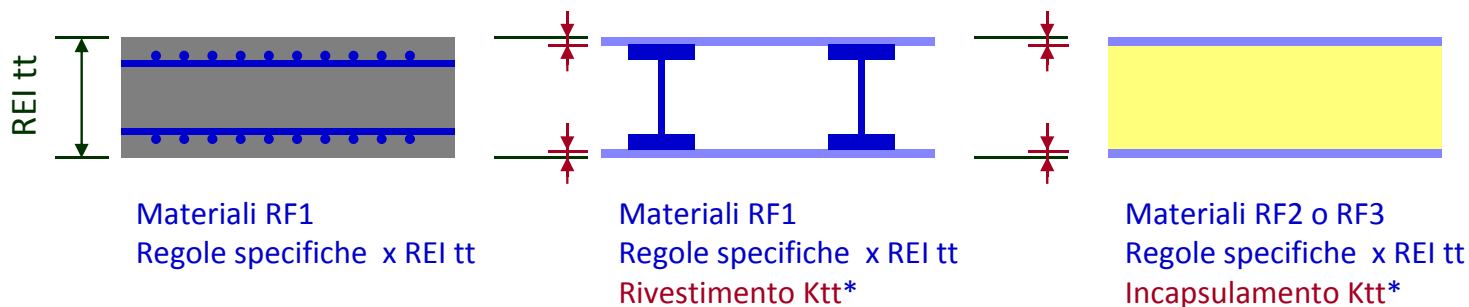
## Utilizzo dei materiali da costruzione - Regolamentazione antincendio CH 2015

### 4 Categorie di reazione al fuoco (RF)

gruppo RF1 = nessuna reazione al fuoco

### Parti di costruzione RF1

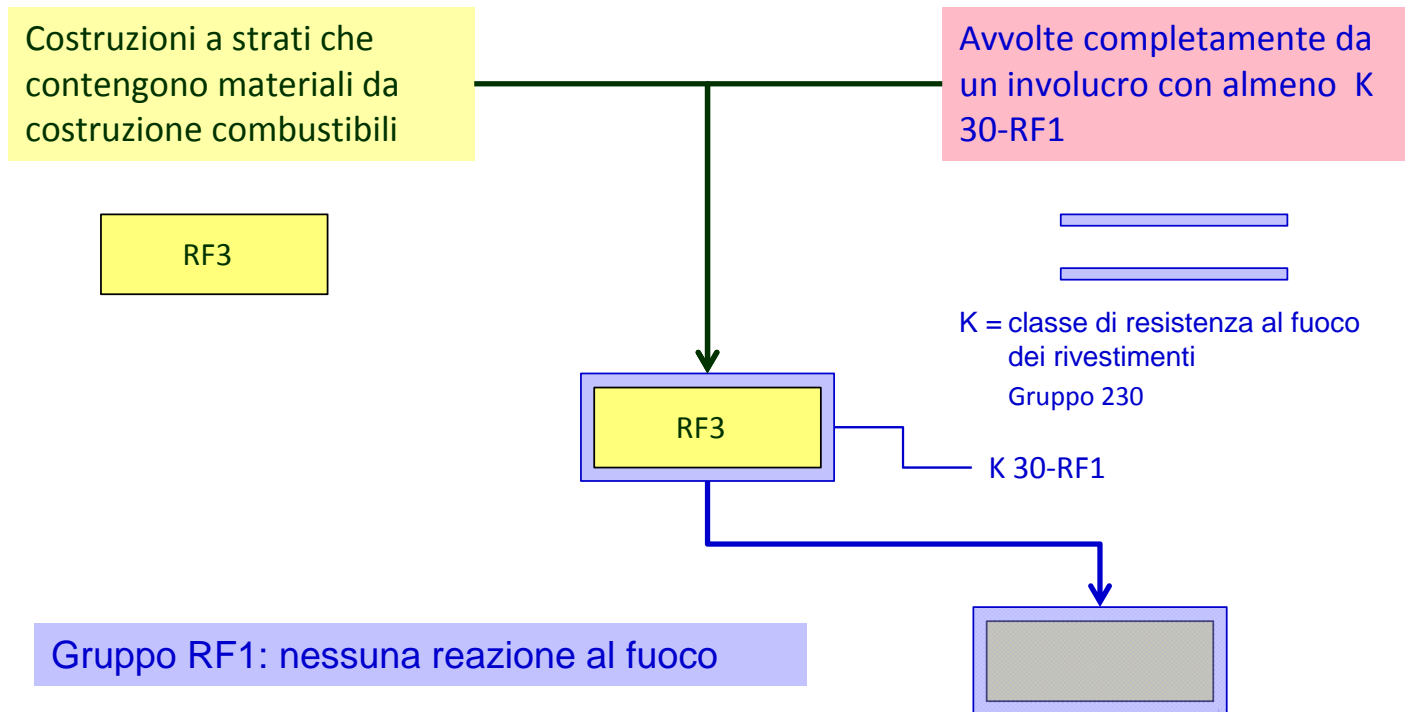
materiali diversi sono **equivalenti** - aspetti diversi da considerare



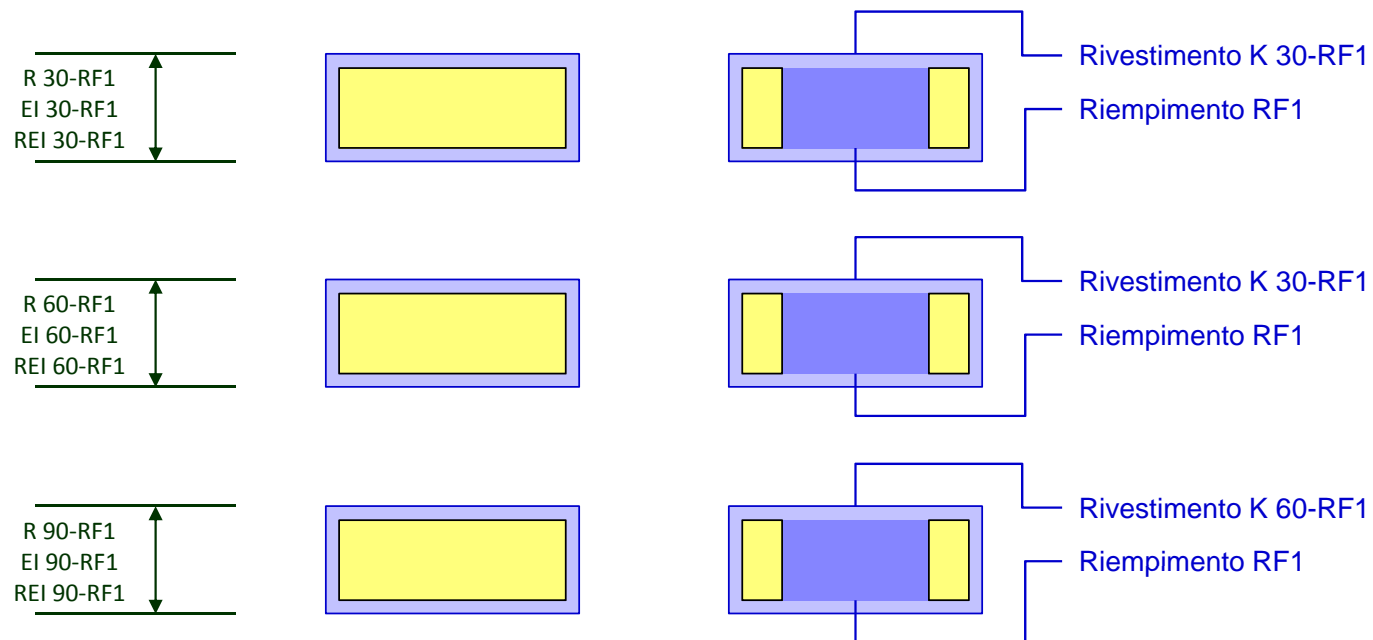
Materiali RF1: p.es. acciaio e CA  
 Materiali RF2 o RF3; p.es. legno

➔
La costruzione in legno è equivalente in fatto di sicurezza
➜

### Il legno e la classificazione in gruppi di reazione al fuoco



## Costruzioni in legno RF1



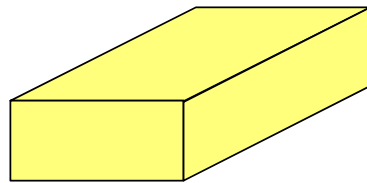
Per prestazioni oltre R90 / EI90 / REI90 è richiesto l'impiego di materiali esclusivamente RF1



## Il principio degli elementi incapsulati RF1

- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutti le 6 facce dell'elemento

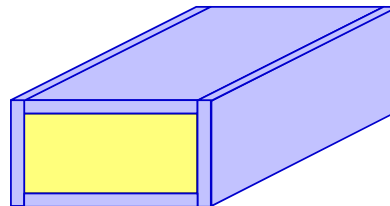
Elemento costruttivo



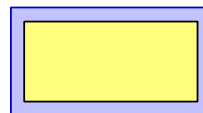
Sezione



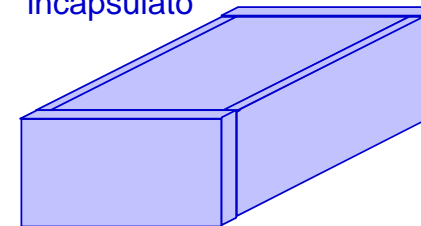
Rivestimento su 4 lati



Sezione



Elemento costruttivo incapsulato

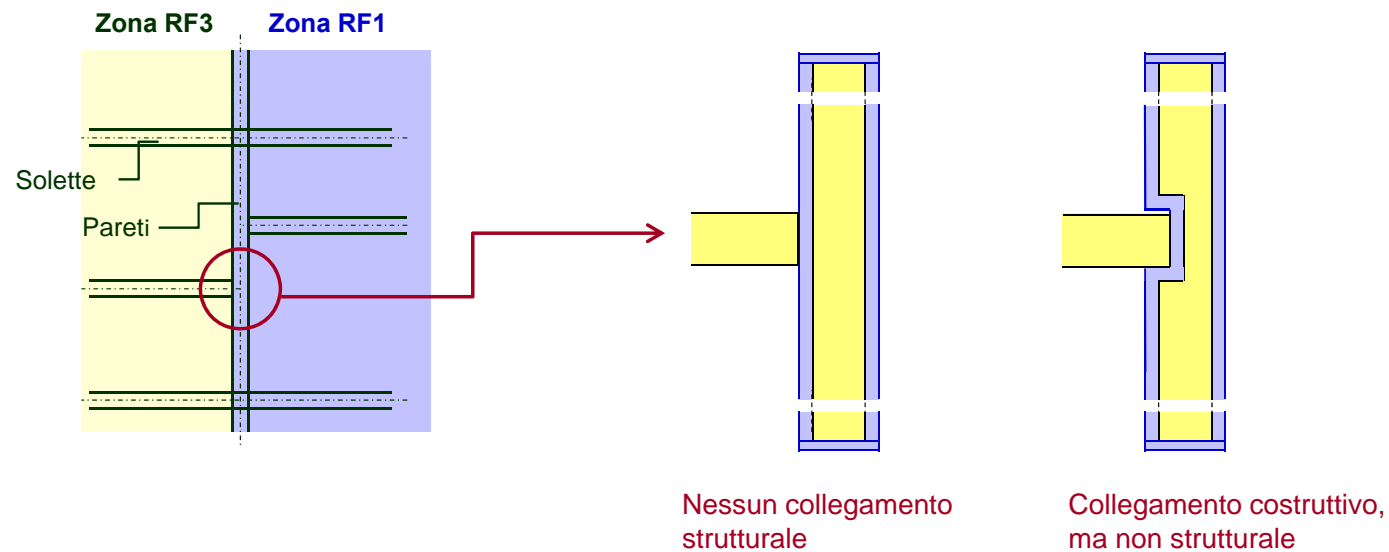


## Principio estremamente semplice ed efficace

- applicazione semplice ... in taluni casi
- compatibilità con le esigenze costruttive interessante
- integrazione delle esigenze strutturali ... decisamente nuova

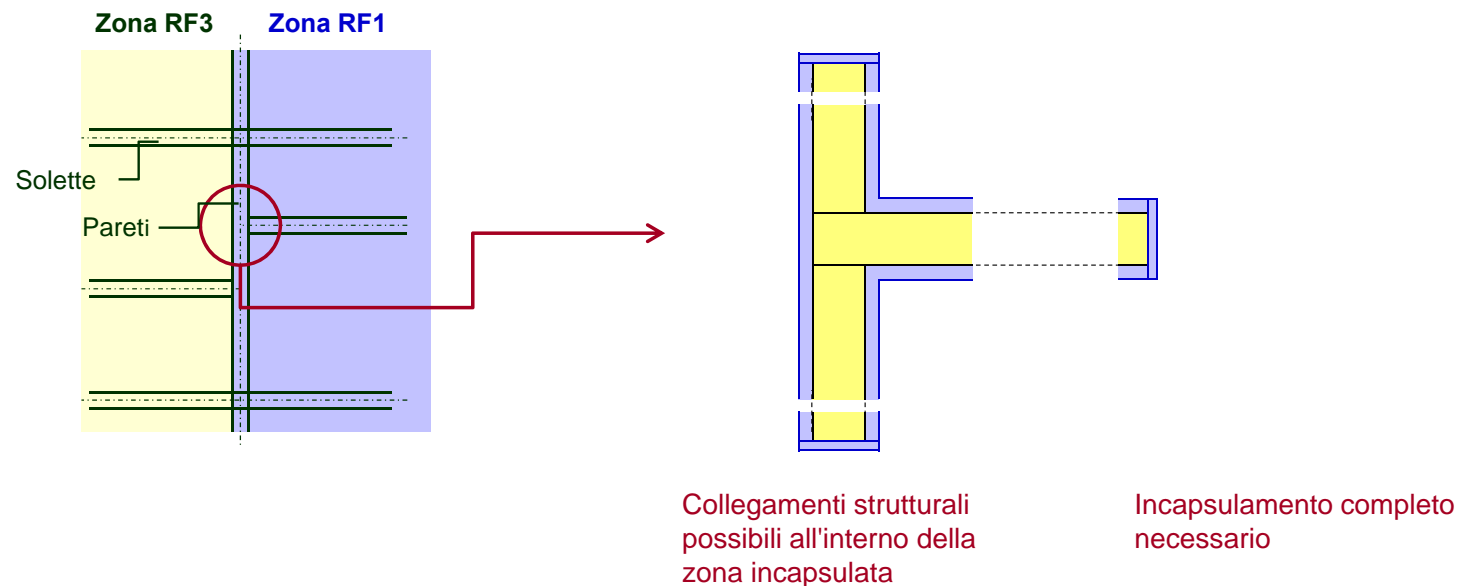
## Il principio degli elementi incapsulati RF1

- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutte le 6 facce dell'elemento



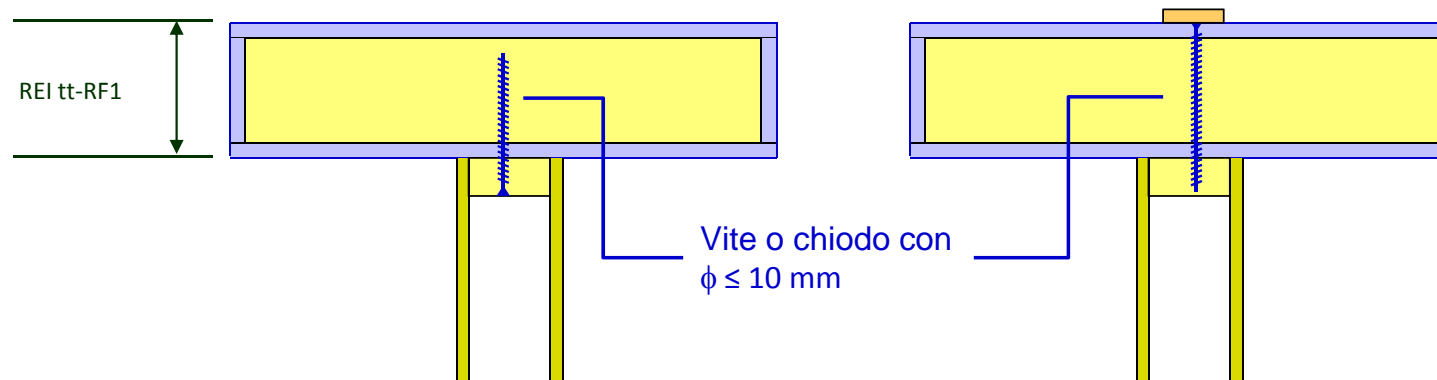
## Il principio degli elementi incapsulati RF1

- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutte le 6 facce dell'elemento



## La necessità di attraversare l'incapsulamento RF1 - Principio

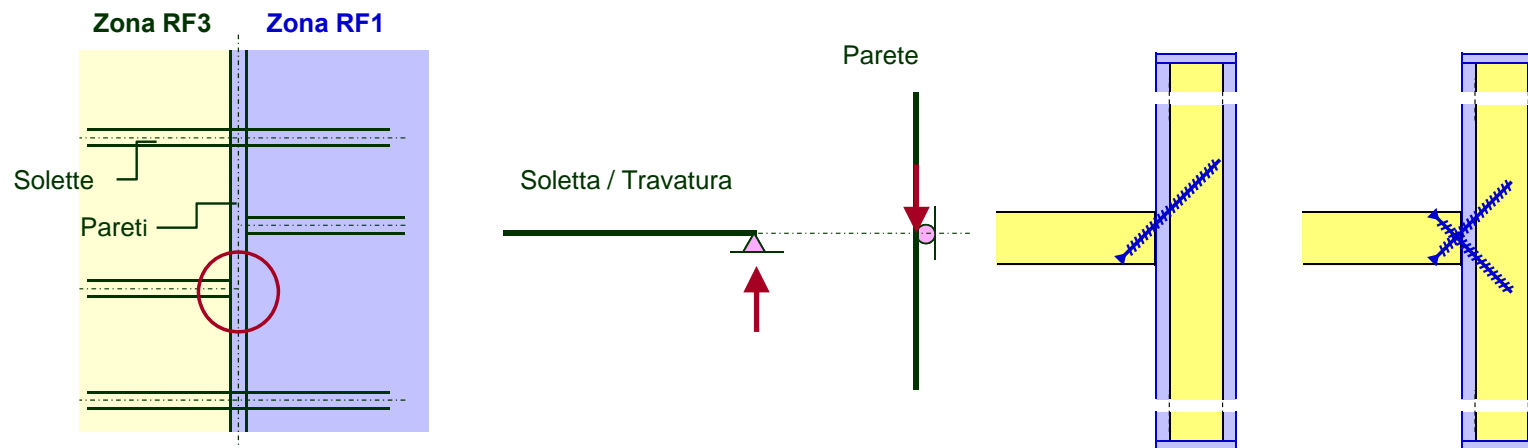
- in caso di collegamenti strutturali
- per principio possibile solo in modo molto limitato
- attraversamento con collegamenti a gambo con  $\phi \leq 10$  mm



- con diametro del gambo inferiore a 10 mm: incapsulamento intatto
- in caso di elementi metallici esposti al fuoco: protezione necessaria

## La realizzazione degli elementi incapsulati RF1

- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutte le 6 facce dell'elemento
- collegamenti strutturali da definire in modo accurato

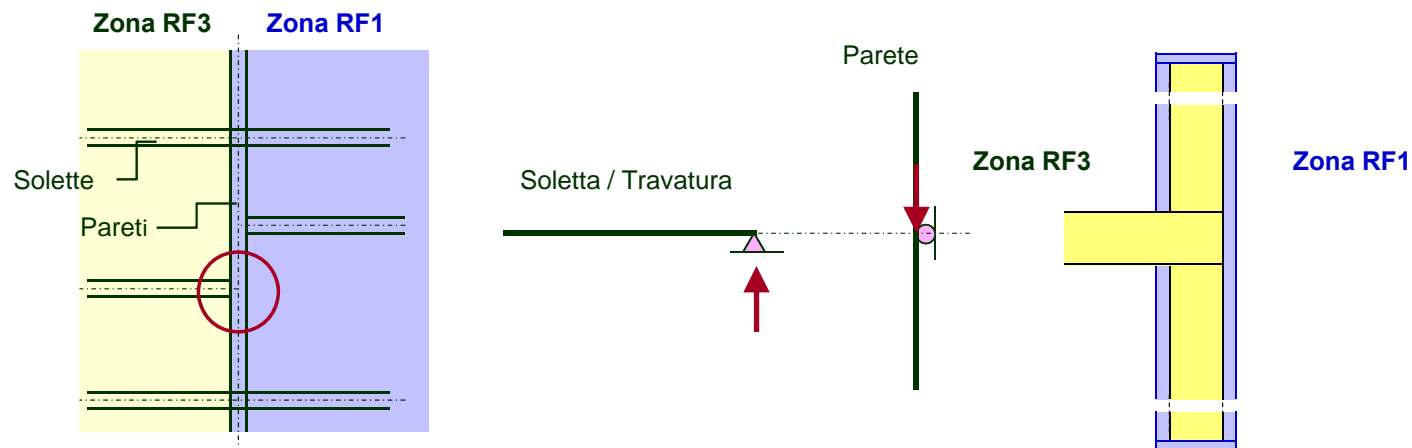


### Viti tutto filetto inclinate

- viti a trazione o trazione / compressione
- soluzione corretta, interessante e performante

## La realizzazione degli elementi incapsulati RF1

- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutte le 6 facce dell'elemento
- collegamenti strutturali da definire in modo accurato

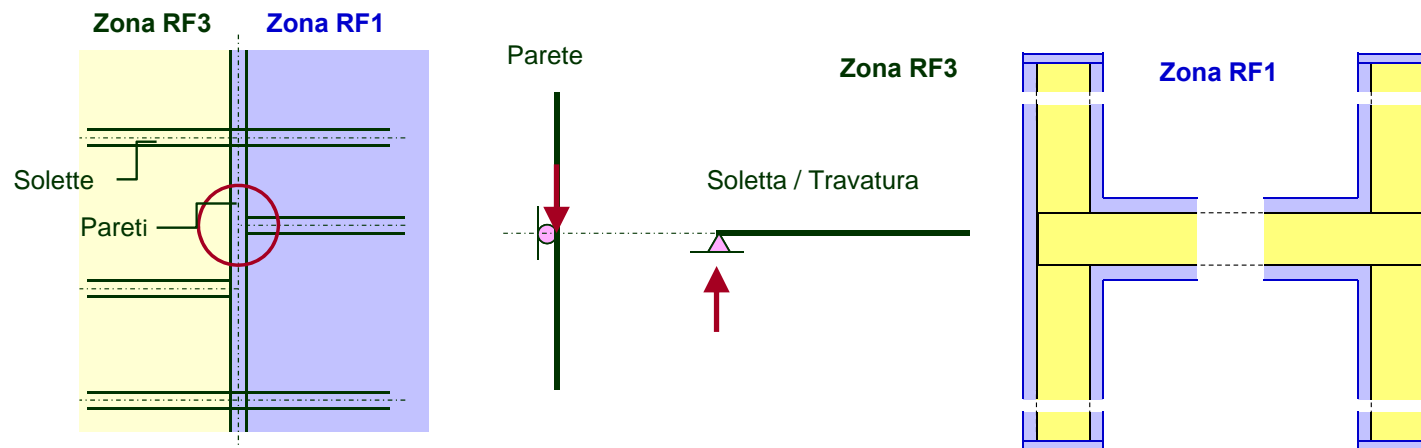


### Soluzione non conforme perché elemento RF1 non completo

- soluzione strutturalmente ideale
- forse tema da discutere in futuro

## La realizzazione degli elementi incapsulati RF1

- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutte le 6 facce dell'elemento
- collegamenti strutturali da definire in modo accurato

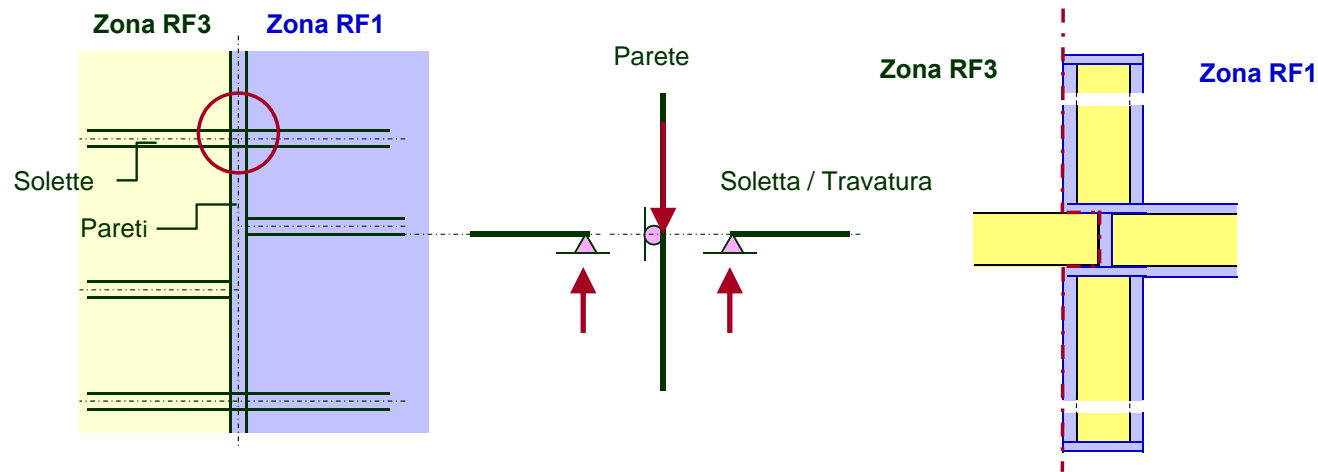


### Collegamento soletta / solaio con parete in zona RF1

- forse la situazione con meno problemi
- incapsulamento completo

## La realizzazione degli elementi incapsulati RF1

- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutte le 6 facce dell'elemento
- collegamenti strutturali da definire in modo accurato



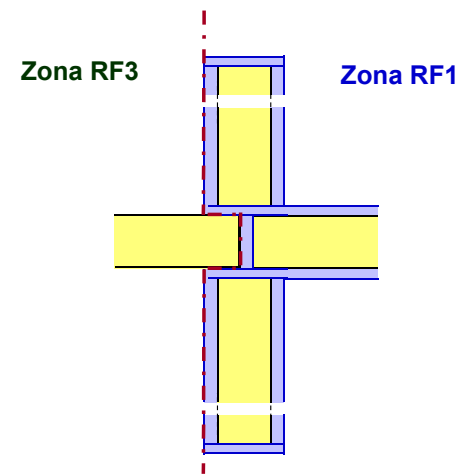
### Collegamento parete / soletta / parete con parete in zona RF1

- incapsulamento a dividere la soletta / la travatura
- teoricamente semplice
- superfici di contatto strutturale ridotte
- collegamenti comunque da risolvere nel dettaglio



## La realizzazione degli elementi incapsulati RF1

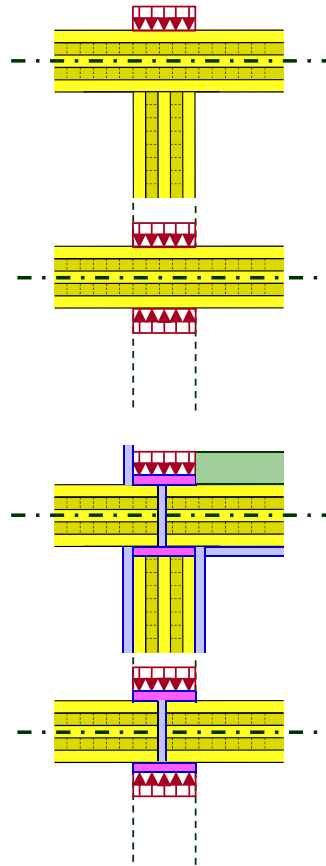
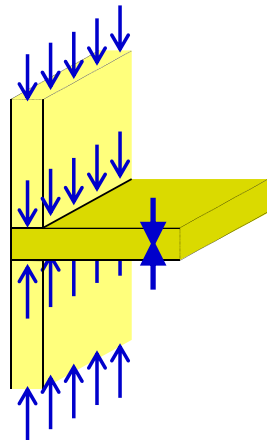
- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutte le 6 facce dell'elemento
- collegamenti strutturali da definire in modo accurato



### Collegamento parete / soletta / parete con parete in zona RF1

- incapsulamento a dividere la soletta / la travatura
- teoricamente semplice
- superfici di contatto strutturale ridotte
- collegamenti comunque da risolvere nel dettaglio

## La realizzazione degli elementi incapsulati RF1



### Resistenza elevata del rivestimento K30 / K60 necessaria

- gesso-fibra non sempre adatto
- forse soluzione con lastre di calcio-silicato ad alta resistenza

## Tutti gli elementi strutturali possono essere realizzati in legno

- incluso il vano scale e ascensori
- in alcuni paesi spesso in CA per ragioni di combustibilità del materiale



## Tutti gli elementi strutturali possono essere realizzati in legno



### Il problema della convivenza geometrica di legno e calcestruzzo

#### Nocciolo strutturale - vano scale - in calcestruzzo

- interessante e semplice, ma solo quando adatto alla funzione
- richiede un tempo di esecuzione piuttosto notevole
- realizzato da un'impresa CA e non legno
- tolleranze e precisione del calcestruzzo armato

#### Vano scale in CA senza funzione strutturale globale

- perché ridotto rispetto alle dimensioni globali
- perché realizzato in tempi e modi diversi
- perché sfruttato per funzioni diverse (impianti)
- per sole esigenze di materiale icb



#### Alternativa del vano scale / lift in legno

- semplice in fase di esecuzione (tolleranze, tempistica, responsabilità)
- economicamente interessante - quanto meno secondo le informazioni attuali
- esecuzione RF1 necessaria

**Tutti gli elementi strutturali possono essere realizzati in legno**



**Tutti gli elementi strutturali possono essere realizzati in legno**

- incluso il vano scale e ascensori
- in alcuni paesi spesso in CA per ragioni di combustibilità del materiale

**Si tratta di una soluzione spesso usata con successo**

- per edifici di altezza modesta - 3 ... 5 piani
- per edifici decisamente più alti ....

**Costruzione in legno**

di seminari tecnici - edifici multipiano

8 piani - legno Londra 2016

9 piani - legno Puukuokka 2016

9 piani - legno Trondheim 2016

9 piani - legno Londra 2009

10 piani - legno Londra 2016

8 piani - legno Pesaro 2016

9 piani - legno Milano 2013

7 piani - legno CA Berlino 2013

8 piani - legno Växjö 2008

7 piani - legno CA Berlino 2008

13 piani - legno Bergen 2015

8 piani - legno CA Bad Albling 2012

7 piani - legno CA Trieste 2012

6 piani - legno CA Schaffausen 2006

6 piani - legno Firenze 2016

5 piani - legno Vienna 2006

6 piani - legno Lugano 2007

7 piani - legno CA Vienna 2012

6 piani - legno Lugano 20011

© Andrea Bernasconi - 2018

**Costruzione in legno**

di seminari tecnici - edifici multipiano

- 8 piani - legno Londra 2016
- 9 piani - legno Londra 2009
- 8 piani - legno Pesaro 2016
- 6 piani - legno Firenze 2016
- 9 piani - legno Trondhiem 2016
- 10 piani - legno Londra 2016
- 9 piani - legno Puukuokka 2016
- 5 piani - legno Vienna 2006
- 6 piani - legno Lugano 2007
- 9 piani - legno Milano 2013
- 8 piani - legno Växjö 2008
- 6 piani - legno Lugano 20011
- 13 piani - legno Bergen 2015

© Andrea Bernasconi - 2018



## L'aspetto non trascurabile della fase di cantiere

### Il caso di **Monroe Blvd, Houston, Texas**

- 5 piani intelaiati di legno in fase di costruzione
- la costruzione non è ancora completata ...
- ... ed è distrutta da un incendio il 25 marzo 2014
- si riporta di un paio di persone intente a lavori di saldatura di guaine sul tetto e ...  
... di raffiche di vento a 15 - 20 m/h



Informazioni e immagini per cortesia di M. Piazza



## L'aspetto non trascurabile della fase di cantiere

### Una struttura multipiano in legno, in fase di cantiere ...

- non sembra sottostare a prescrizioni antincendio particolari
- è ben più sensibile di una costruzione finita
- è soggetta al "solo" rischio di distruzione di se stessa
- merita qualche riflessione, anche se forse in un contesto diverso da quello "normale"



### L'aspetto non trascurabile dell'impiantistica

- impatto sulla progettazione strutturale
- impatto sulla progettazione antincendio
- impatto sulla progettazione architettonica



**Aria**

### L'aspetto non trascurabile dell'impiantistica

- impatto sulla progettazione strutturale
- impatto sulla progettazione antincendio
- impatto sulla progettazione architettonica

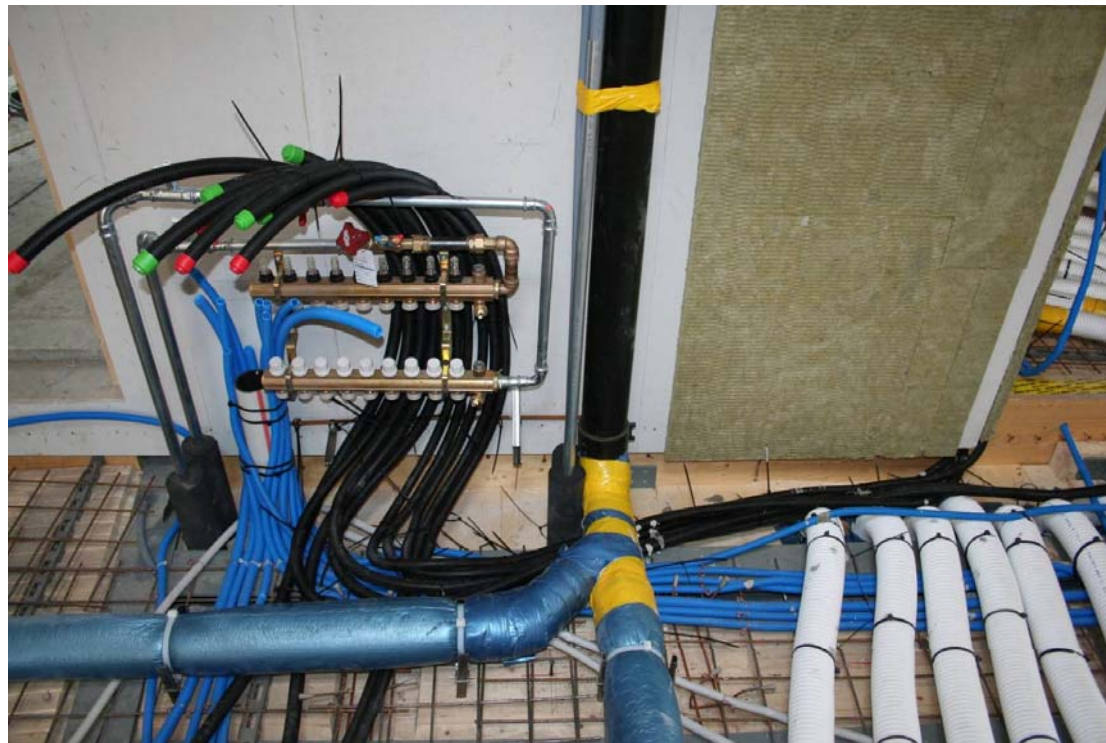
### Elettricità



## L'aspetto non trascurabile dell'impiantistica

- impatto sulla progettazione strutturale
- impatto sulla progettazione antincendio
- impatto sulla progettazione architettonica

### Sanitari e riscaldamento



## L'aspetto non trascurabile dell'impiantistica

- impatto sulla progettazione strutturale
- impatto sulla progettazione antincendio
- impatto sulla progettazione architettonica



**Vani tecnici**  
**Cavedi**  
**Compartimenti**  
...

## Edifici residenziali in zona urbana

### La costruzione in legno

- si rivela come anche economicamente interessante
- l'edificio residenziale è una realtà
- riesce a imporsi anche in casi di concorrenza diretta



Insediamiento residenziale urbano - Svezia 2001





**Insediamiento residenziale urbano - Zurigo Winthertur - Giesserei - 2013**



**156 appartamenti - diversi spazi comuni - ristorante - nido d'infanzia - ...  
29'000 m<sup>2</sup> di superficie grezza**

## Gli elementi strutturali piani

La nuova tecnologia si fa avanti ...



## Londra - Bridport house 2011

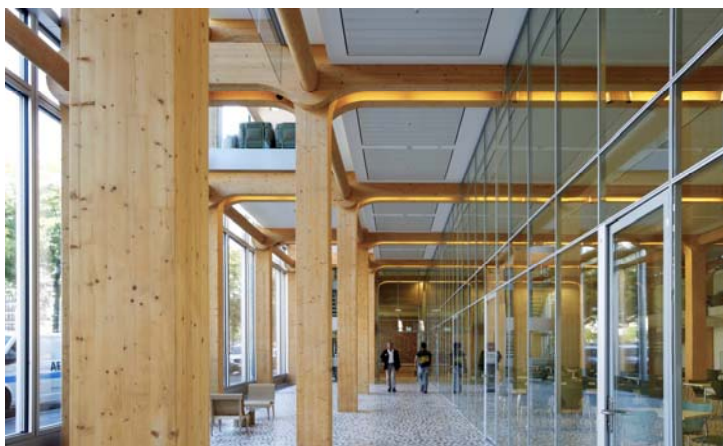
**Ricostruzione urbana  
41 appartamenti su 8 piani**



**Via Cenni, Milano**



Architettura particolare ... - Stabile Tamedia Zurigo 212



**Architettura residenziale - Canton Ticino**



## L'edificio di legno moderno può essere **una** risposta interessante

- anche per la sicurezza antincendio
- anche per le grandi strutture dell'edilizia



### La sicurezza antincendio

- è una componente del progetto
- richiede competenza e disciplina progettuale ed esecutiva

## La tecnologia del legno al servizio del progetto