

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

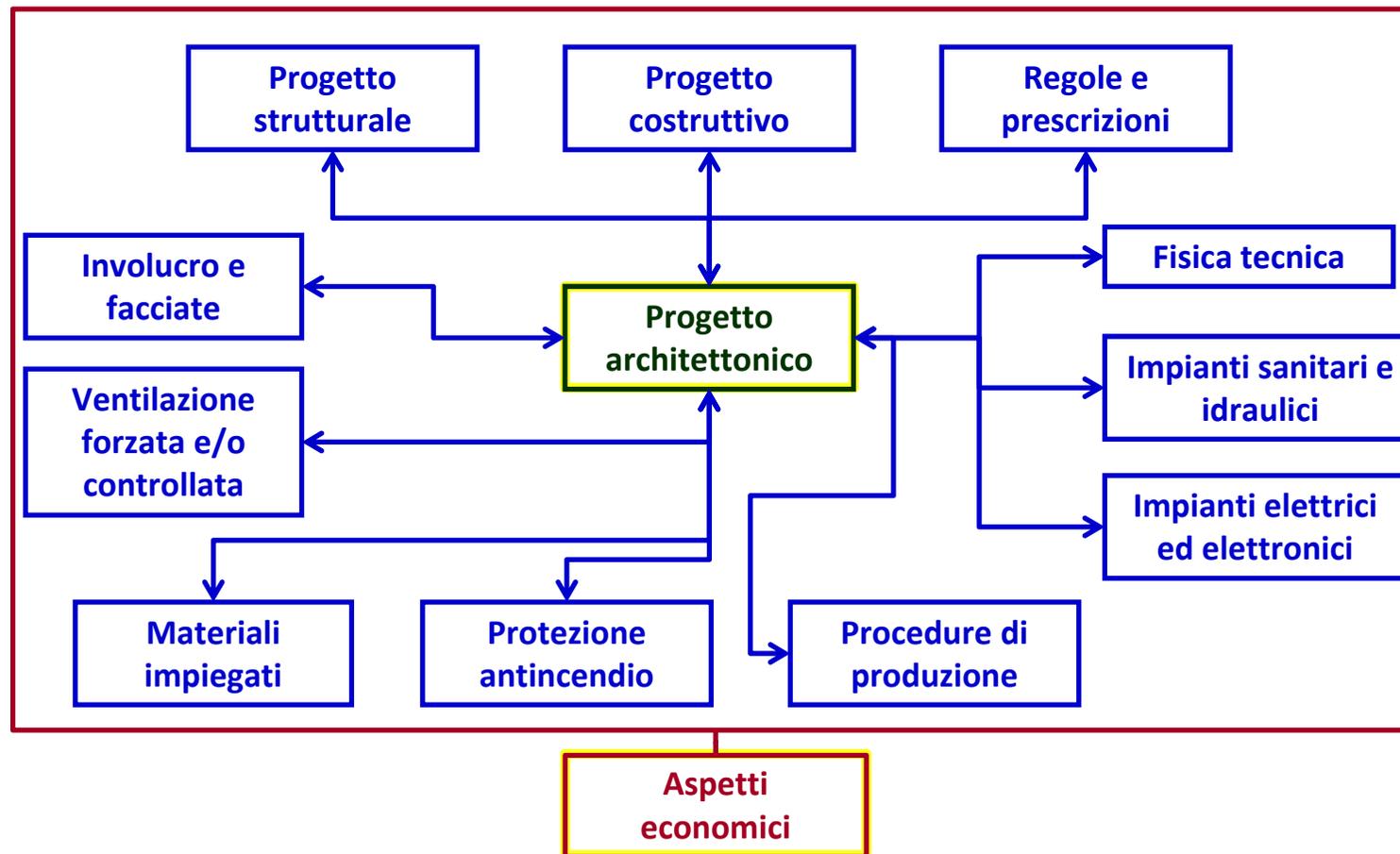
- la costruzione in legno
riconoscibile dall'esterno



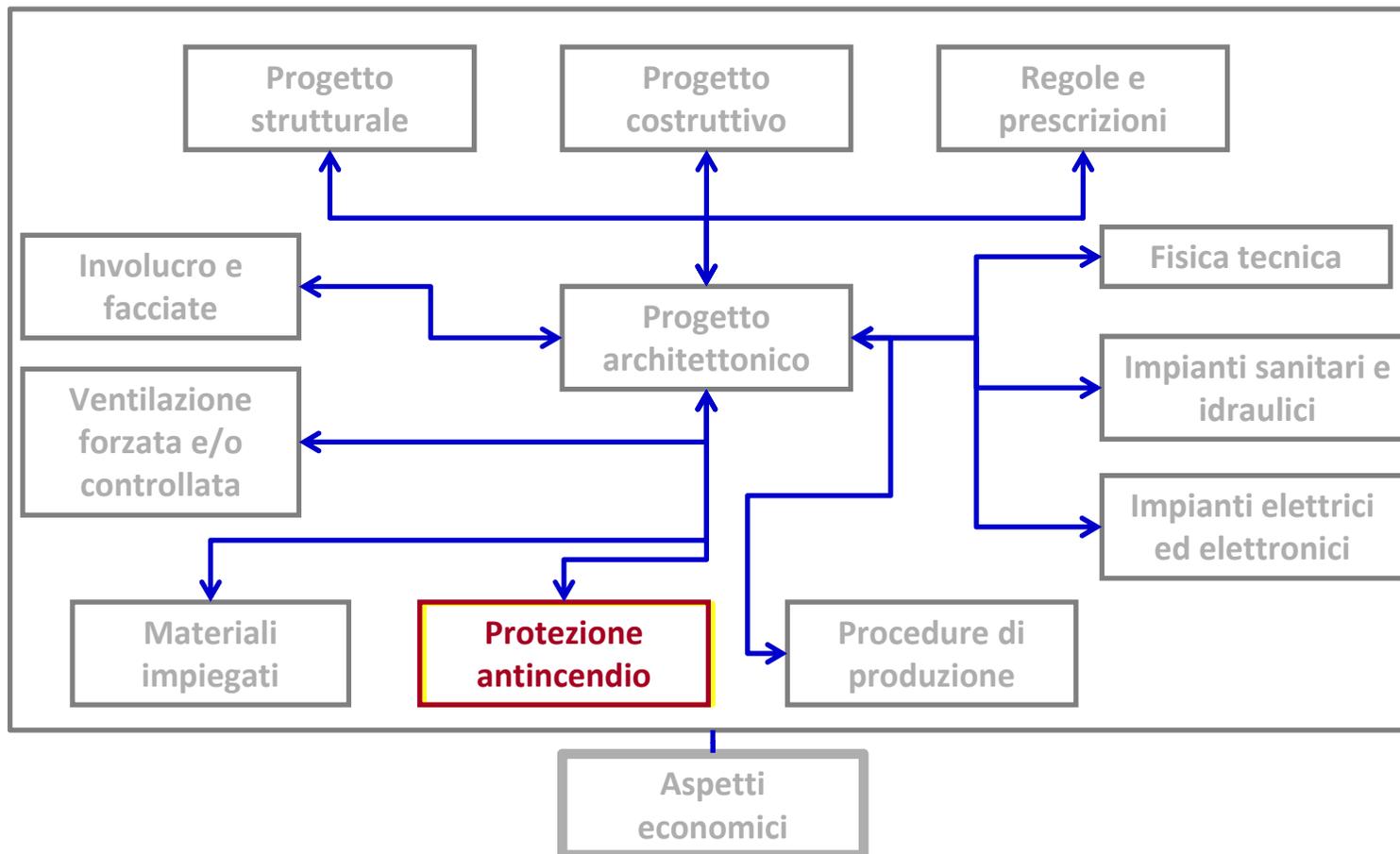
- la costruzione in legno dietro la
facciata



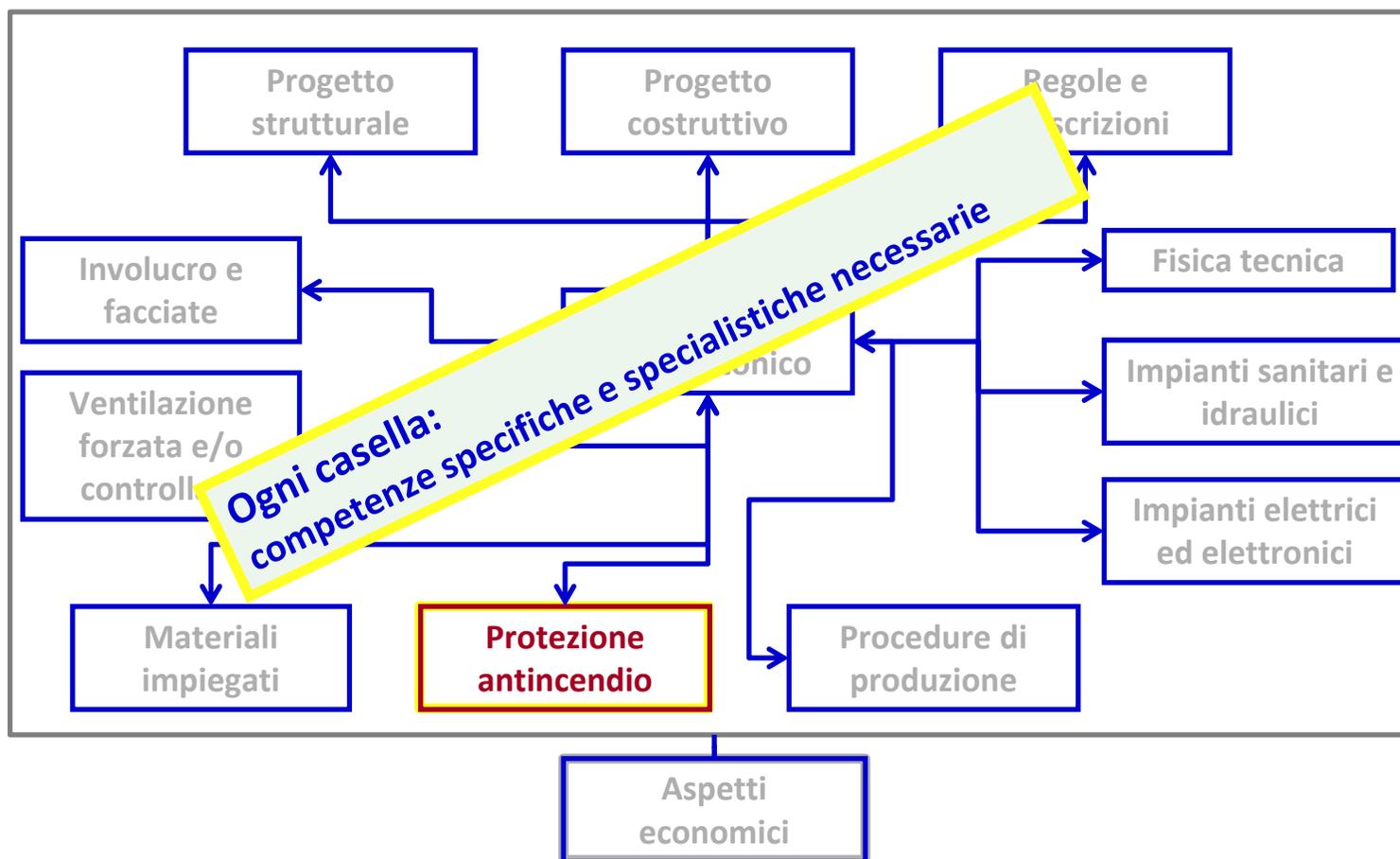
Le componenti di un progetto degno di questo nome



Le componenti di un progetto degno di questo nome

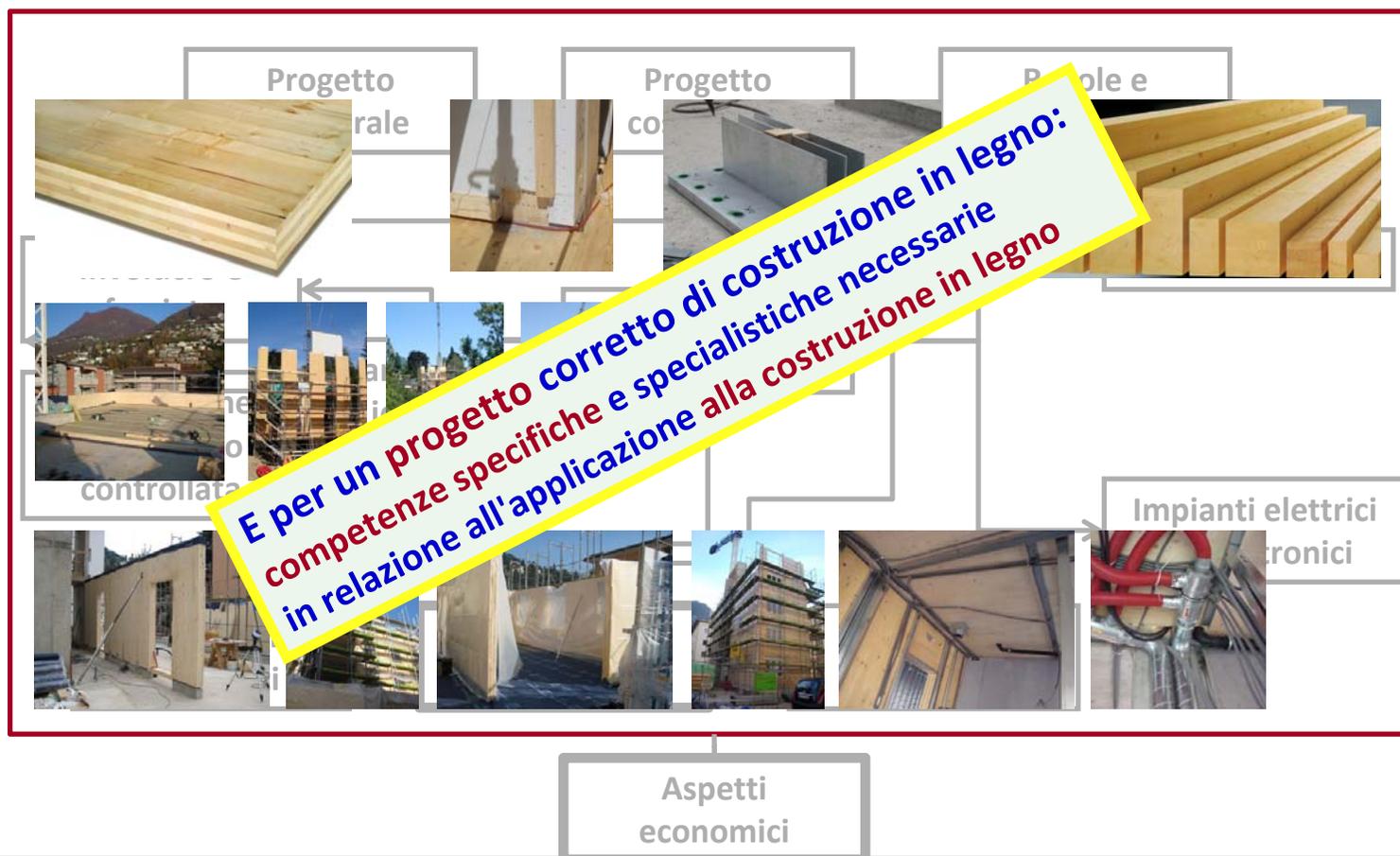


Le componenti di un progetto degno di questo nome

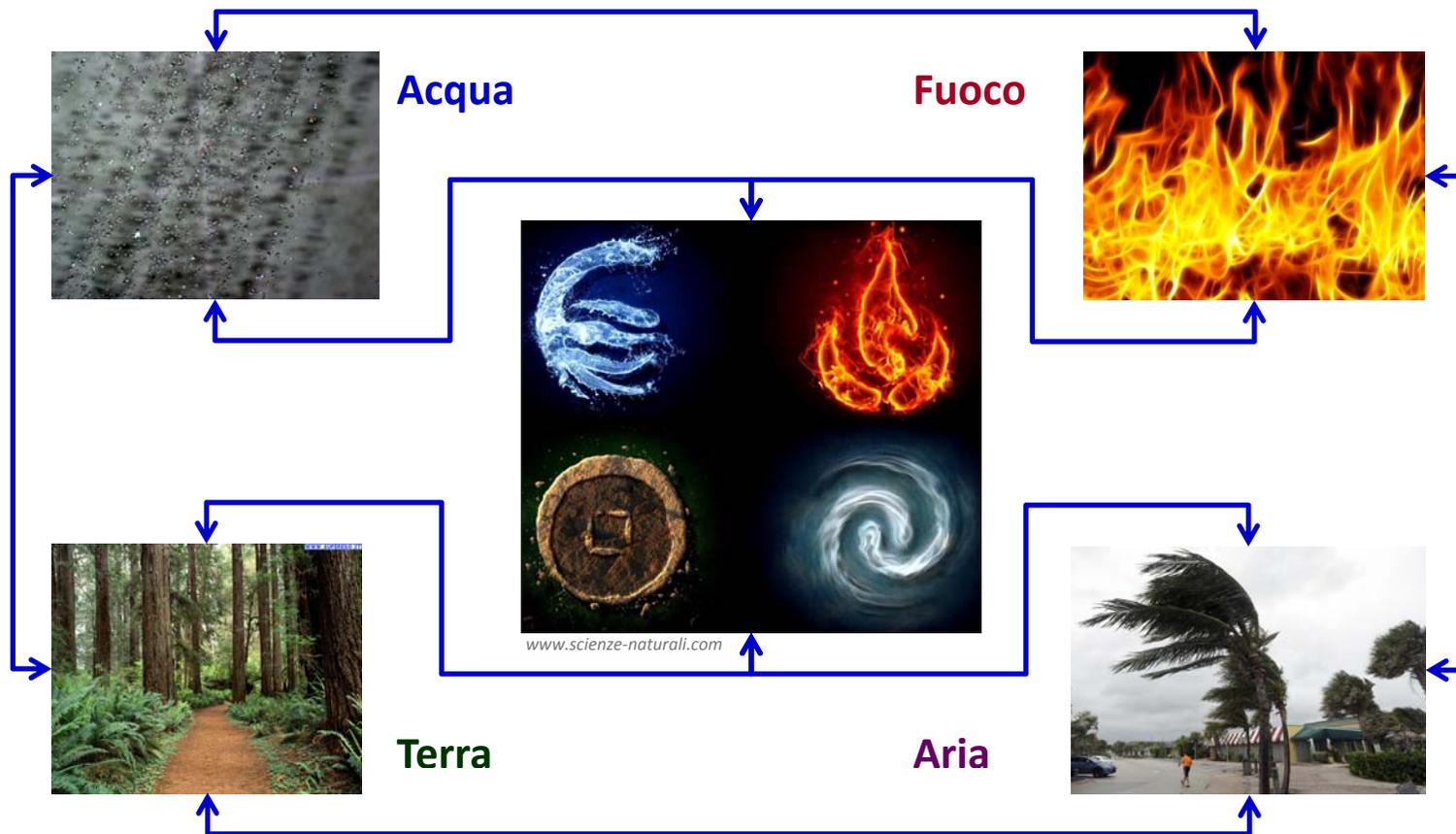


Le domande essenziali per un prodotto corretto e di qualità

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

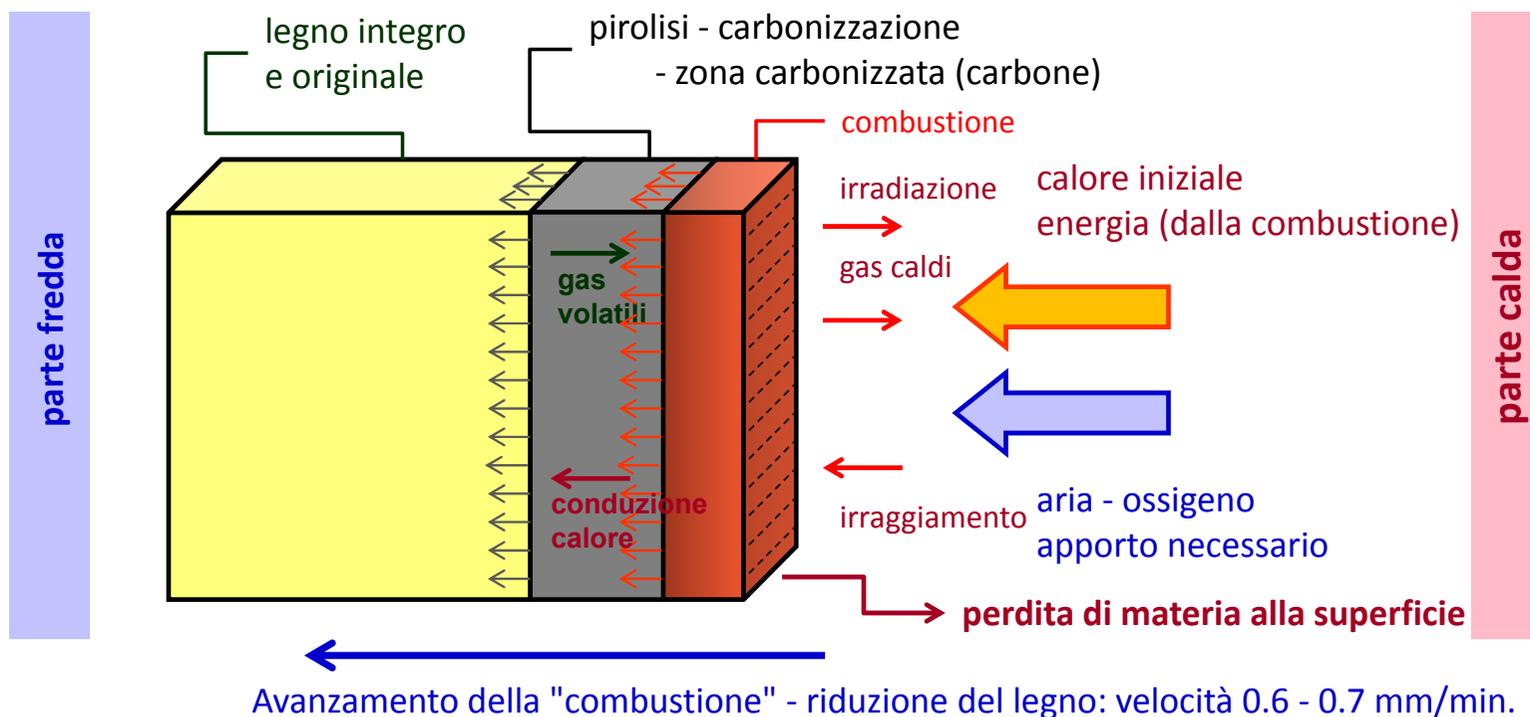
- per intervenire e mettere in salvo
- per innescare i sistemi di spegnimento

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

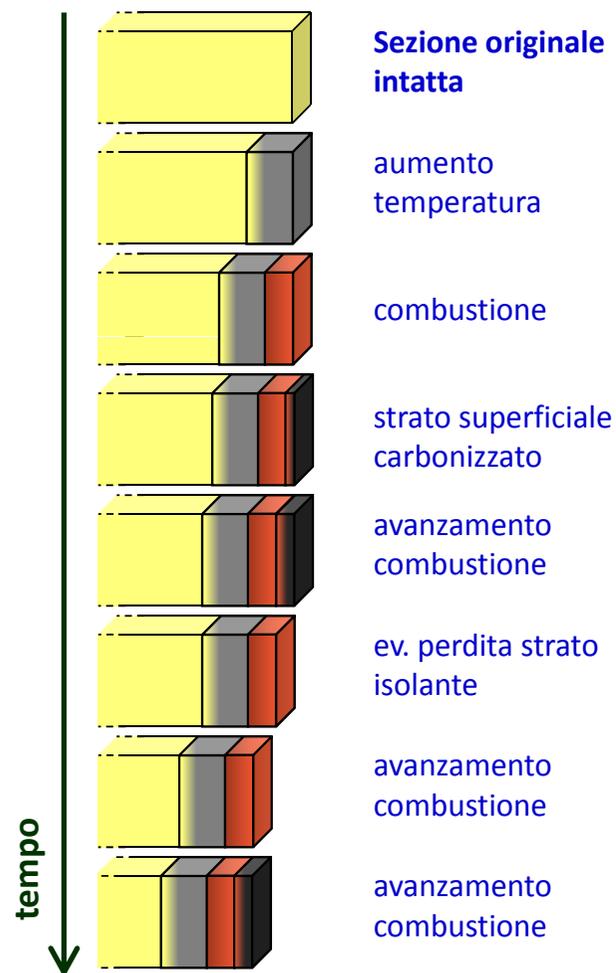
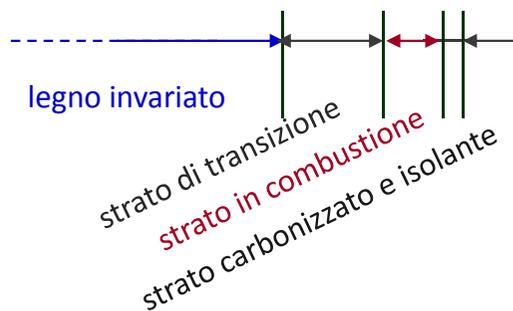
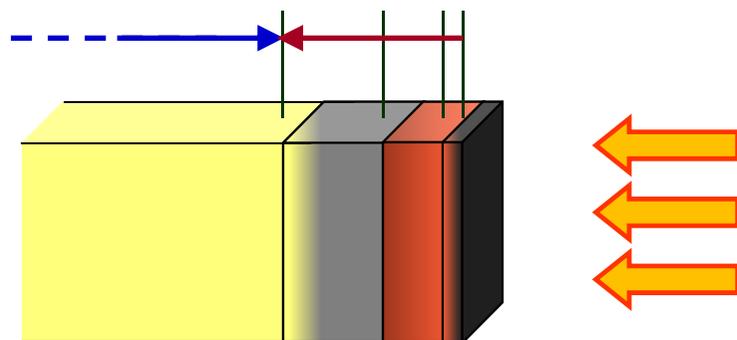
La combustione del legno

parte fredda:

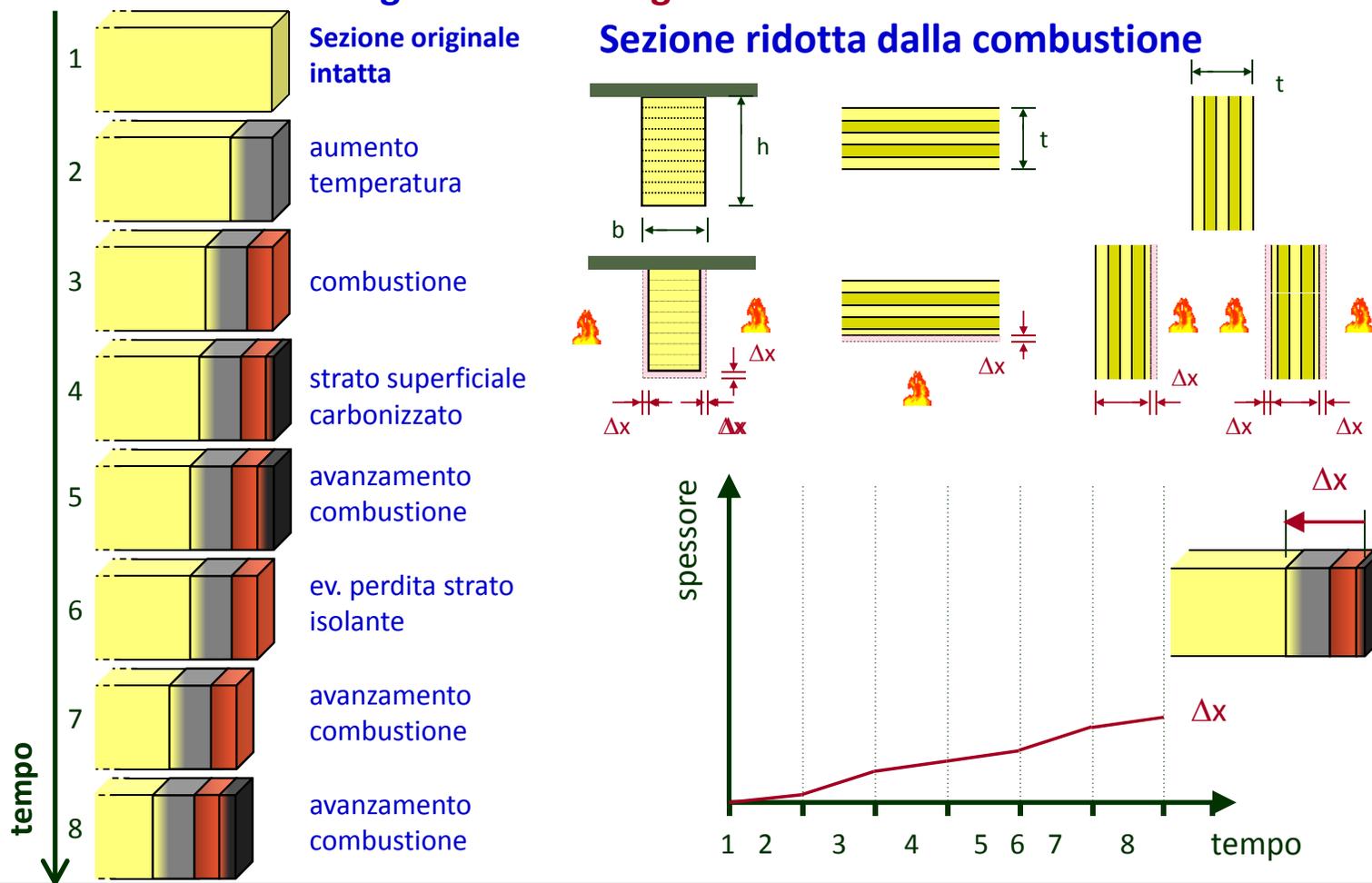
- legno efficace
- resistenza disponibile

parte calda (o bruciata):

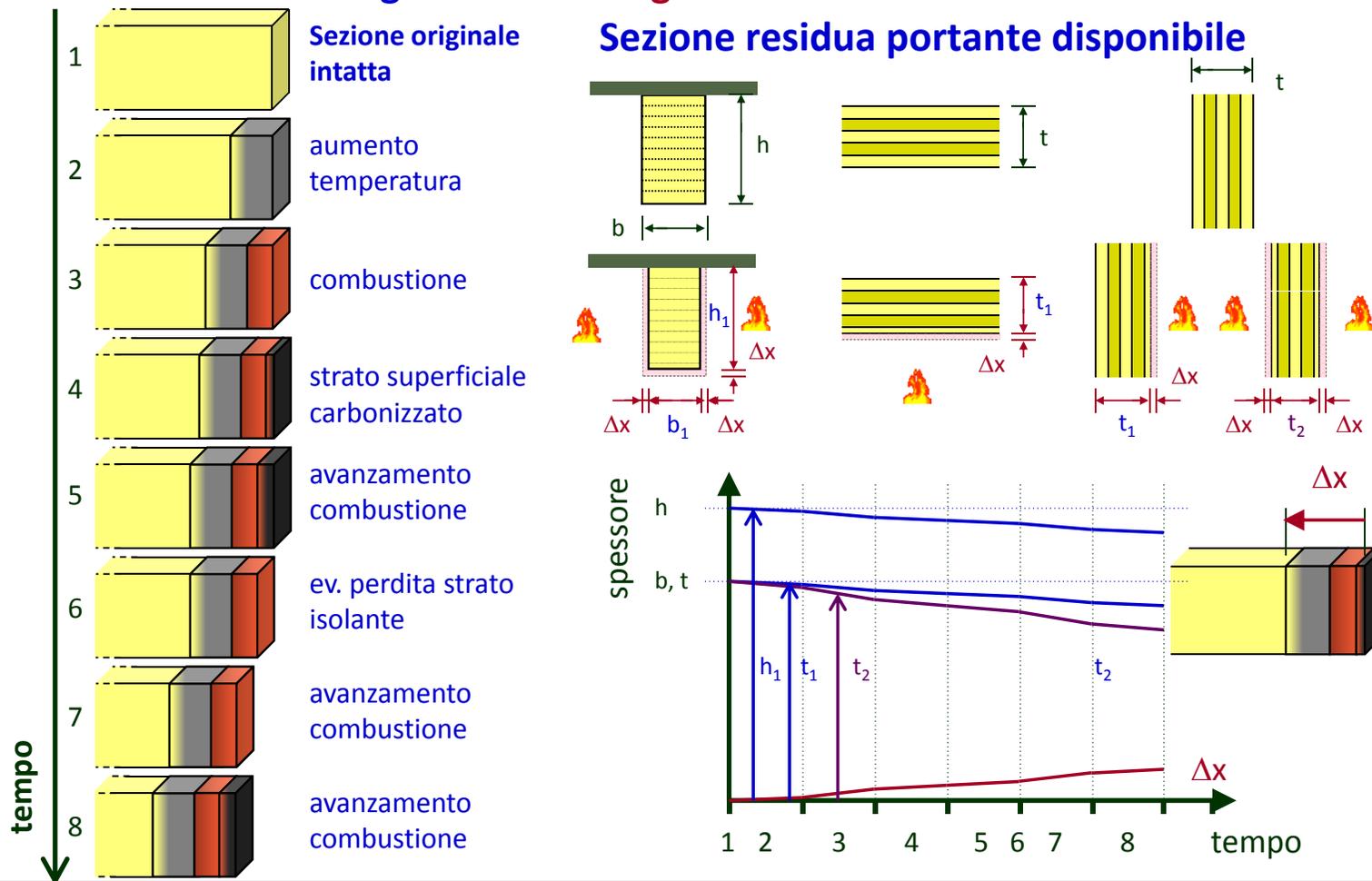
- legno non efficace
- perdita di prestazione



La combustione del legno - effetto sugli elementi strutturali

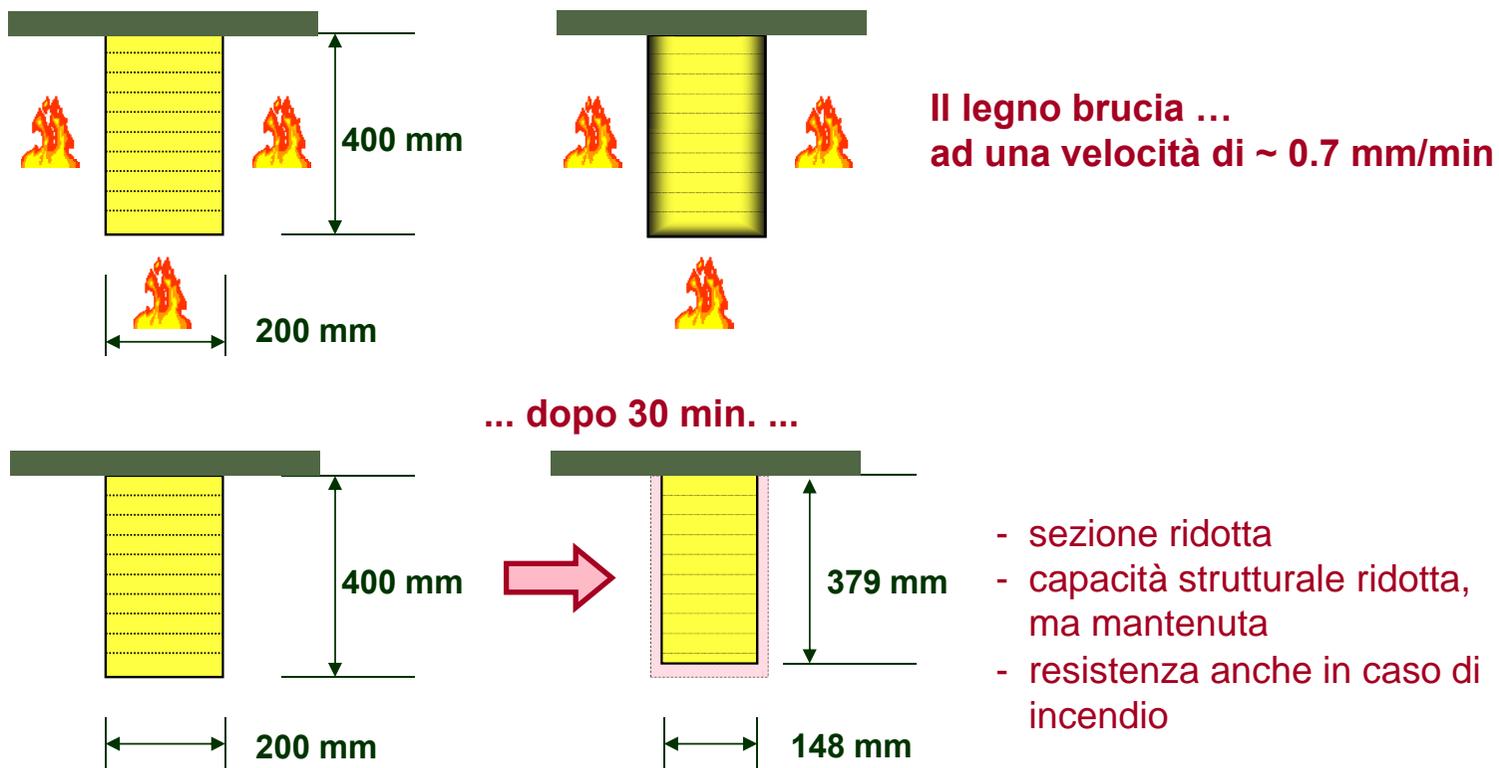


La combustione del legno - effetto sugli elementi strutturali



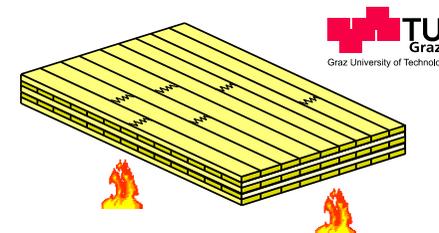
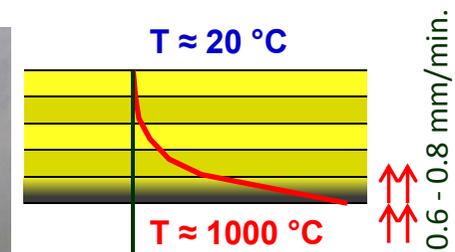
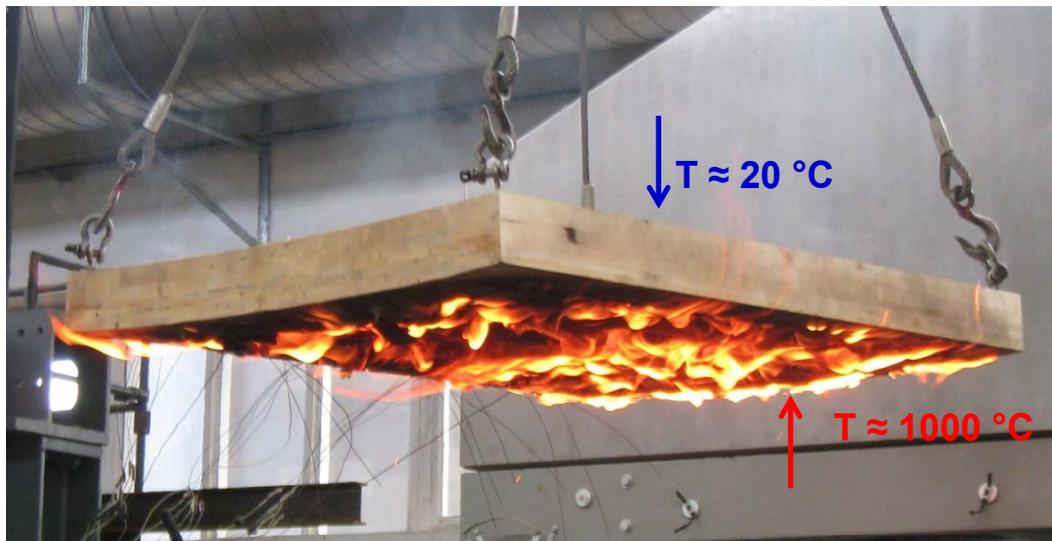
Il legno - Materiale combustibile

- 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**

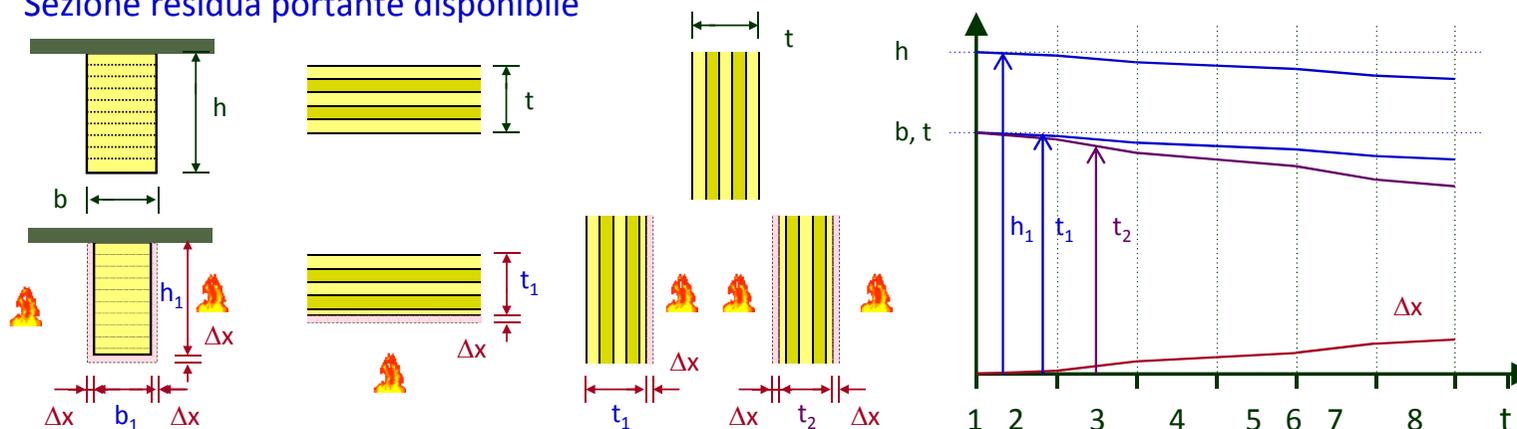


Il pannello massiccio ...

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

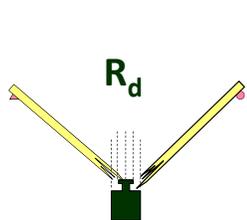
I valori di calcolo della resistenza a caldo degli elementi in legno

Sezione residua portante disponibile



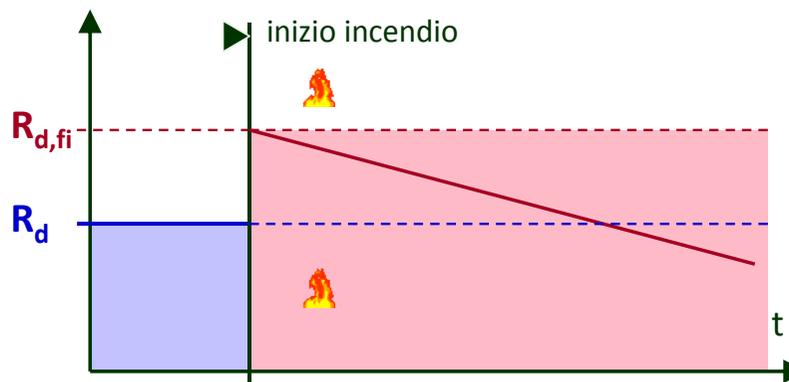
Resistenza a caldo

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



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

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

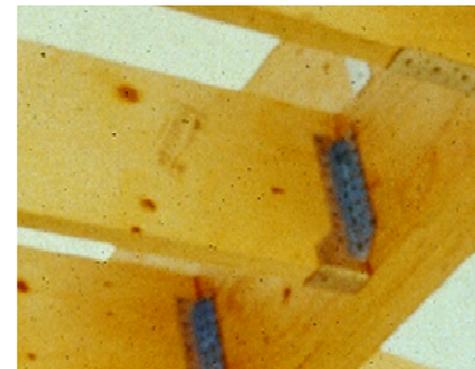


La resistenza della struttura in legno

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

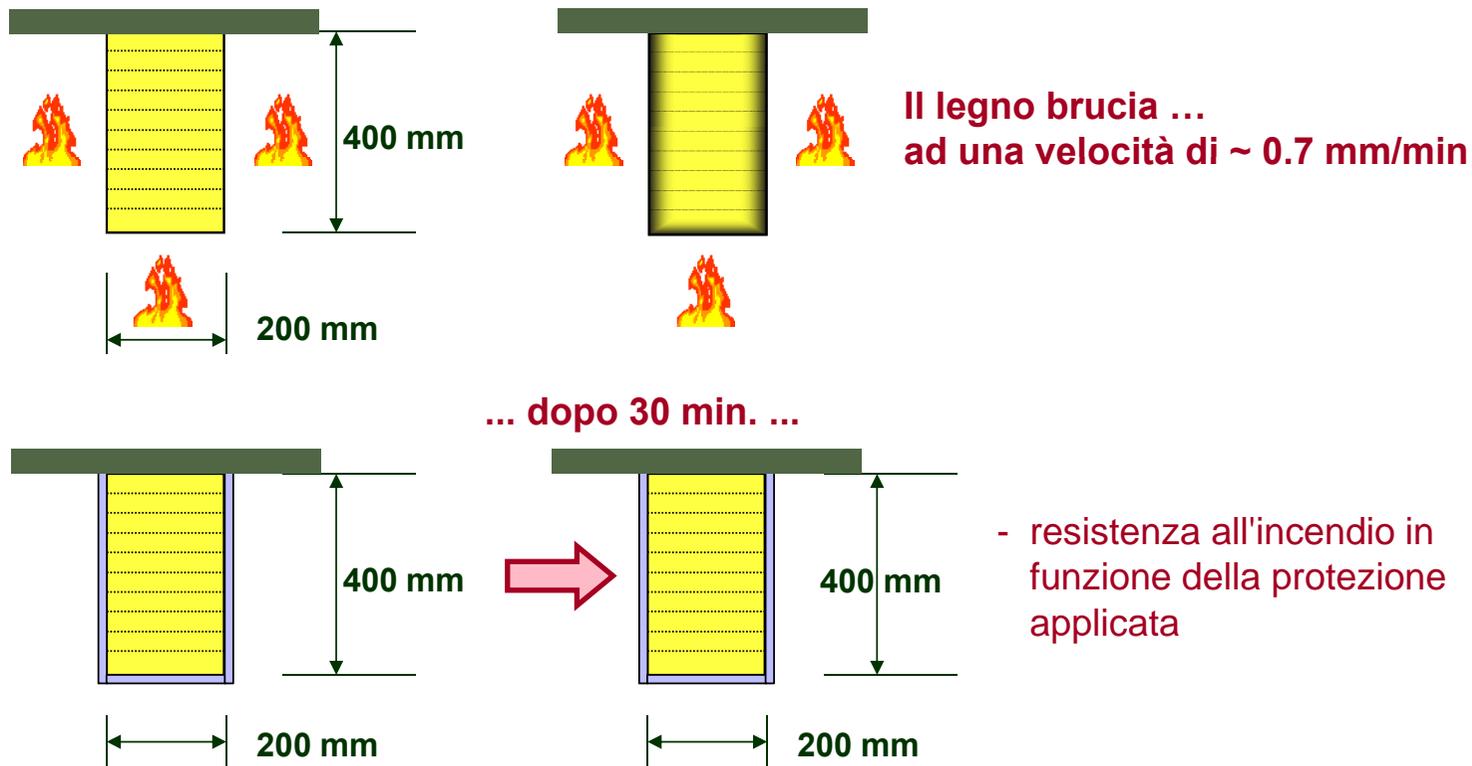
Connettori di acciaio

- sono poco adatti se esposti al fuoco



Il legno - Materiale combustibile

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



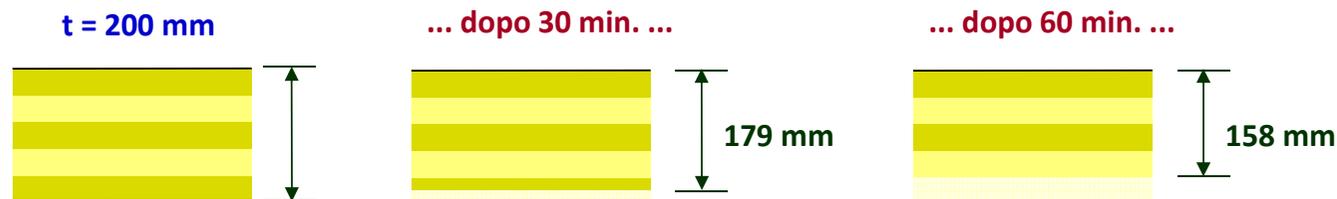
Il comportamento dell'XLAM in caso di incendio

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

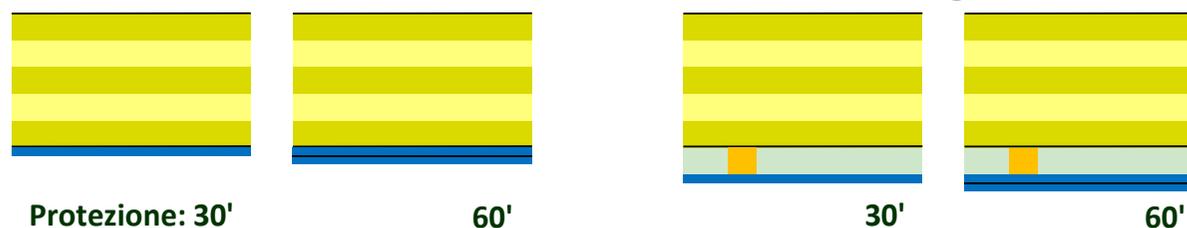
Riduzione della sezione efficace

- 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

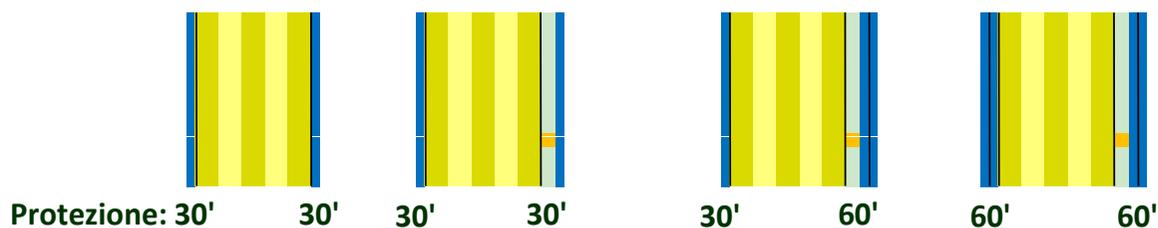
Riduzione della sezione efficace

- 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.

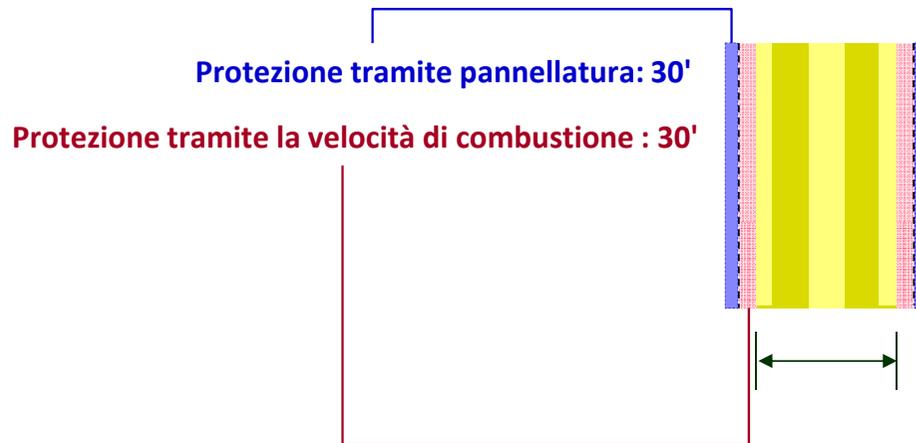


Il comportamento dell'XLAM in caso di incendio

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

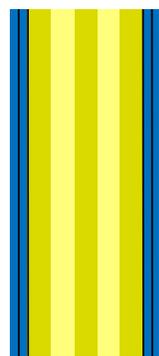


Osservazioni sulla protezione incendio

Protezione ottenuta per principio tramite pannellatura adeguata

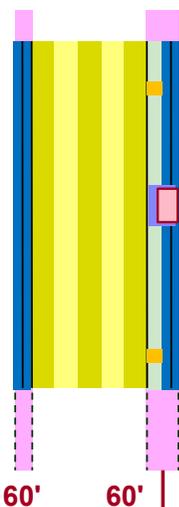
- pannellatura preferibilmente vicina all'elemento da proteggere
- in caso di distanza, l'aumento della stessa comporta **rischi e problemi maggiori ...**

Principio



60' 60'

Istallazioni nella zona di protezione

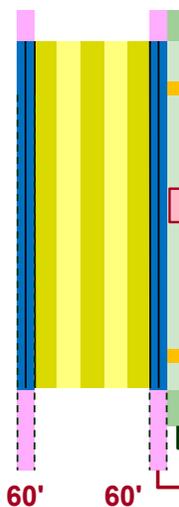


zona di protezione

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

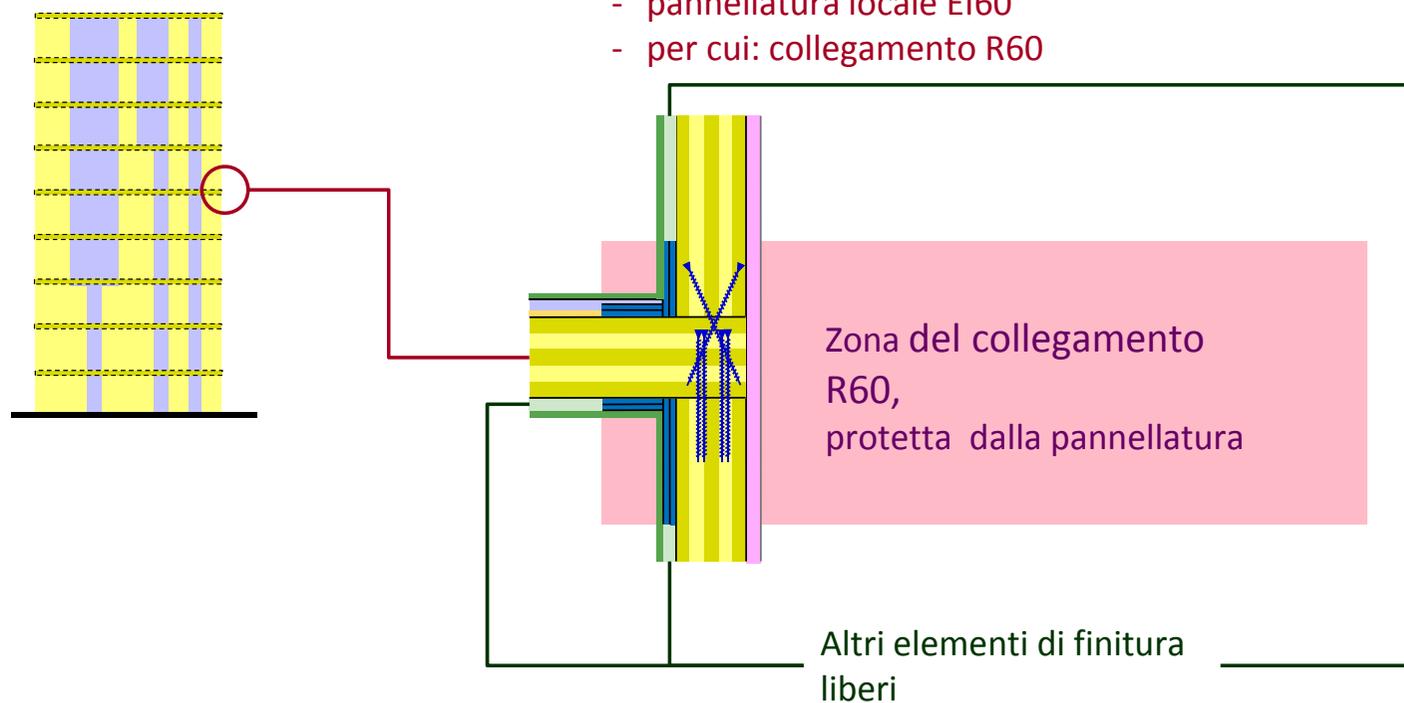
Osservazioni sulla protezione incendio

Possibili ipotesi per la verifica di una sufficiente sicurezza antincendio

- attenta progettazione dei dettagli costruttivi indispensabile

Esempio: protezione locale dei collegamenti

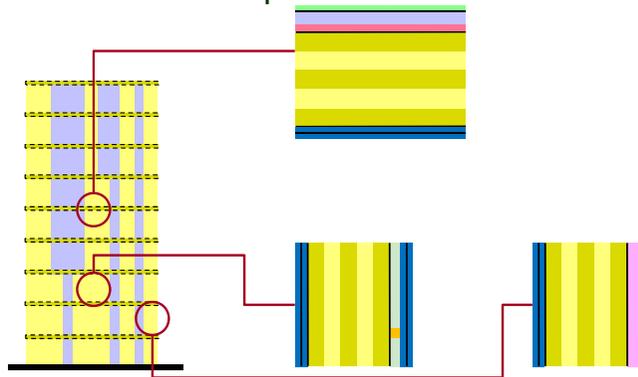
- pannellatura locale EI60
- per cui: collegamento R60



Osservazioni sulla protezione antincendio

Soluzioni attuali e applicazione

- pannellatura completa della struttura portante

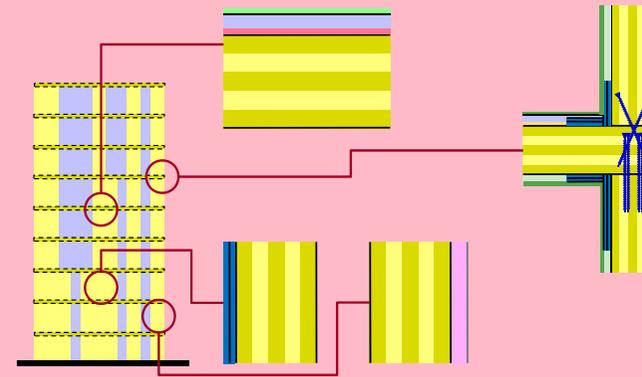


Osservazioni

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

Riflessioni

- parziale rinuncia alla pannellatura senza riduzione della sicurezza



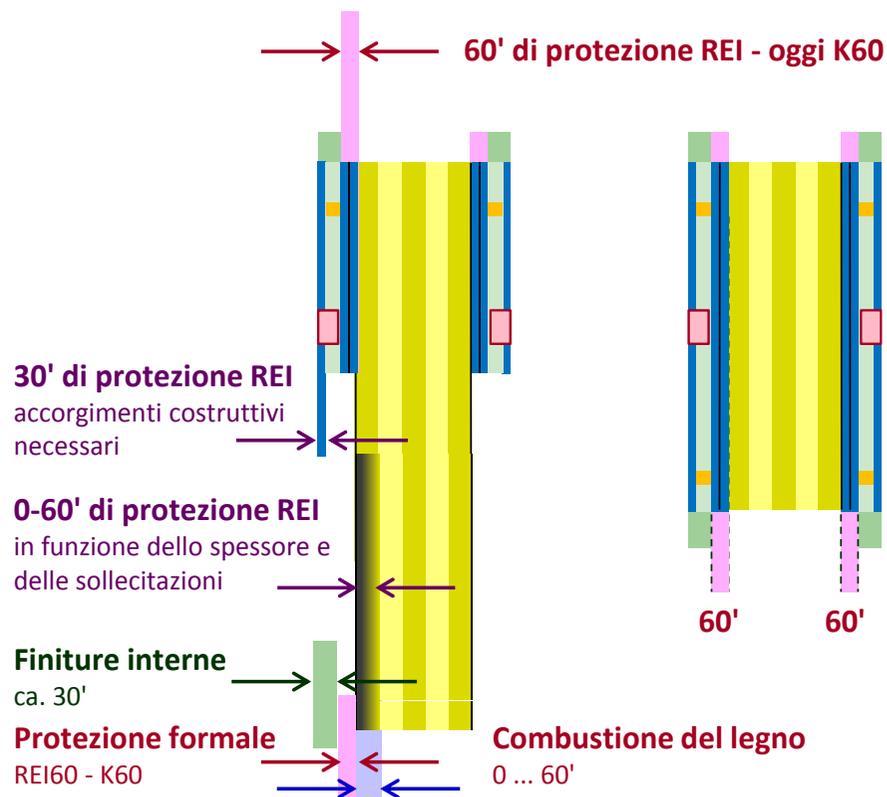
Osservazioni

- **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

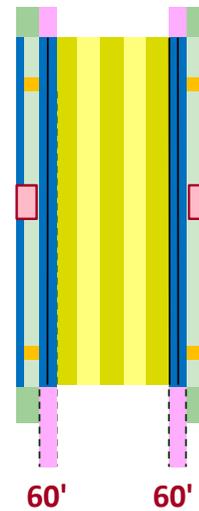
- il rivestimento apposito assicura la necessaria sicurezza
- ulteriori riserve di sicurezza antincendio in parte "formalmente" non attivate



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



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 ...



Francoforte,
Germania - 2006



Houten,
Olanda - 2010

Bourbach-le-Bas, Francia - 2014



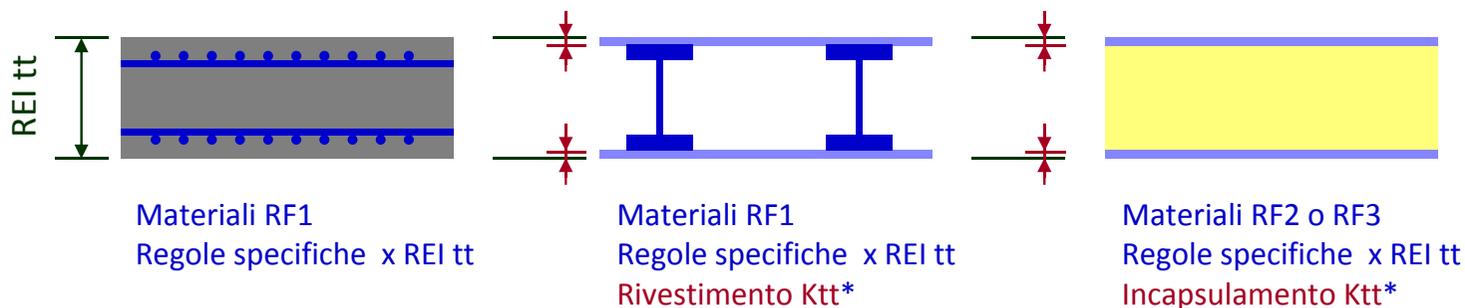
Utilizzo dei materiali da costruzione - Regolamentazione antincendio CH 2015

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

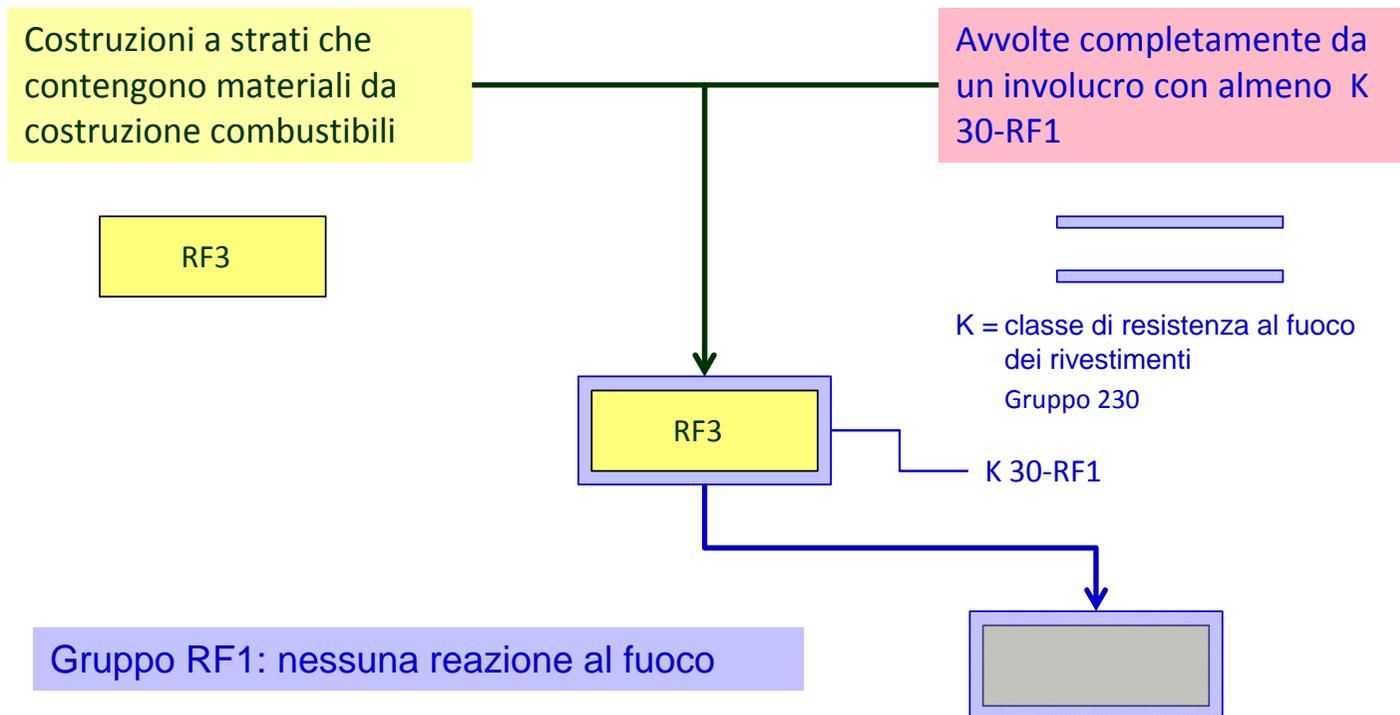


Materiali RF1: p.es. acciaio e CA

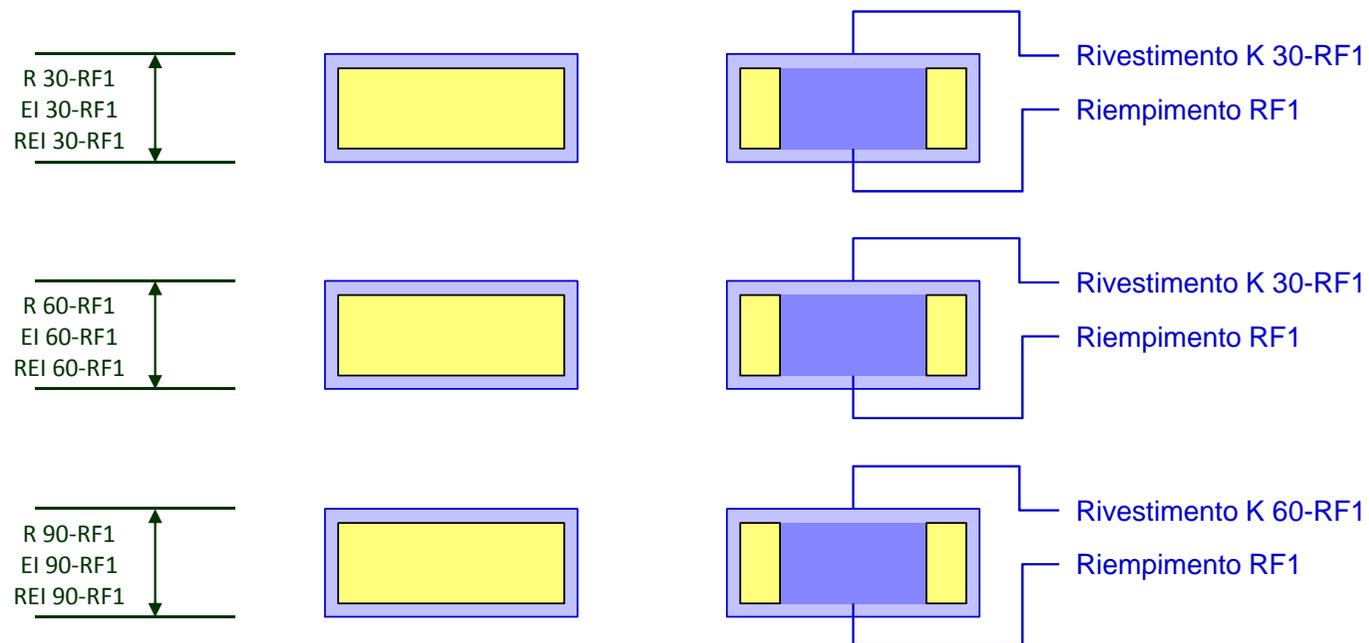
 Materiali RF2 o RF3; p.es. legno

➔
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

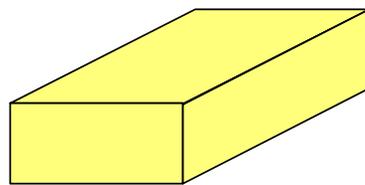


Per prestazioni oltre R90 / EI90 / REI90 è richiesto l'impiego di materiali esclusivamente RF1

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

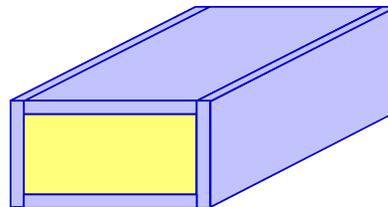
Elemento costruttivo



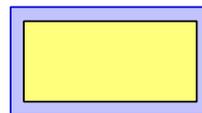
Sezione



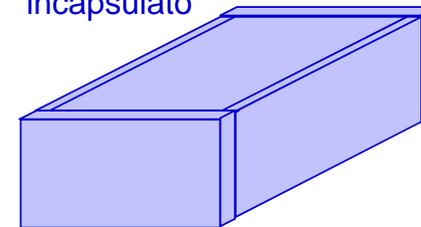
Rivestimento su 4 lati



Sezione



Elemento costruttivo incapsulato

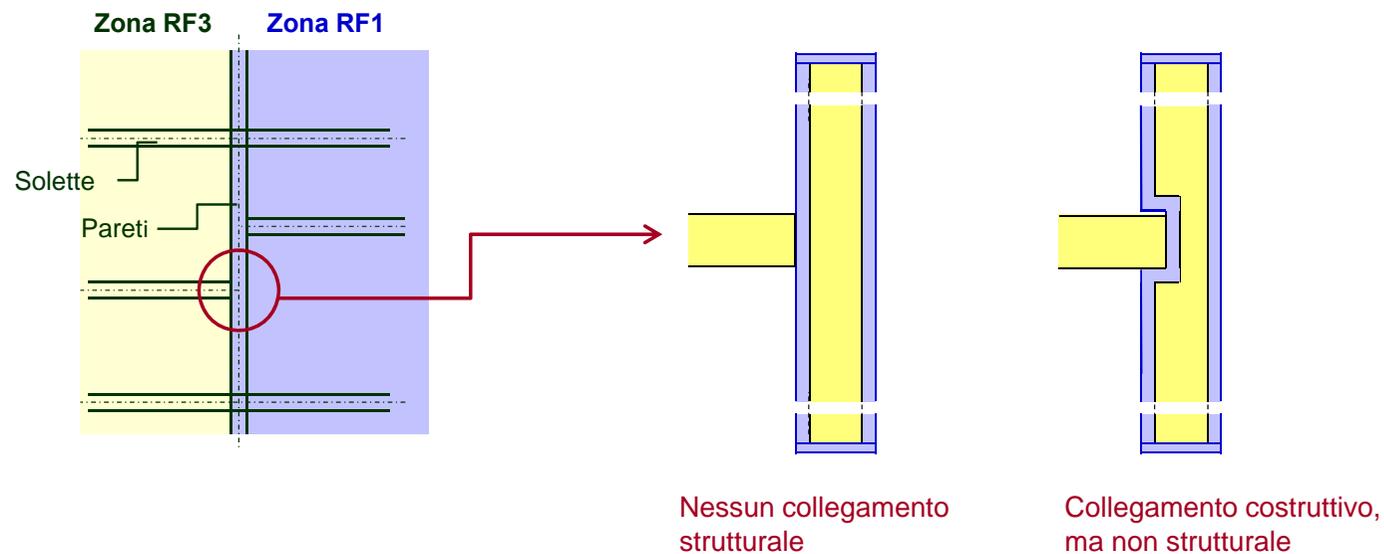


Principio estremamente semplice ed efficace

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

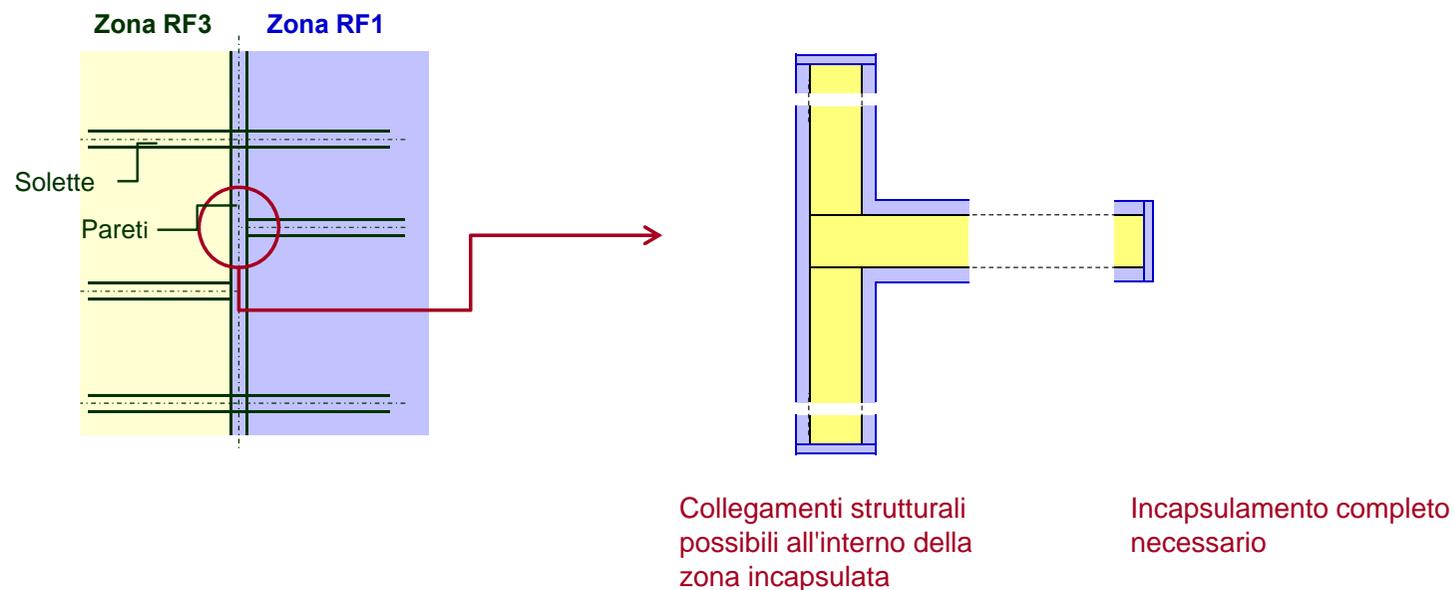
Il principio degli elementi incapsulati RF1

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



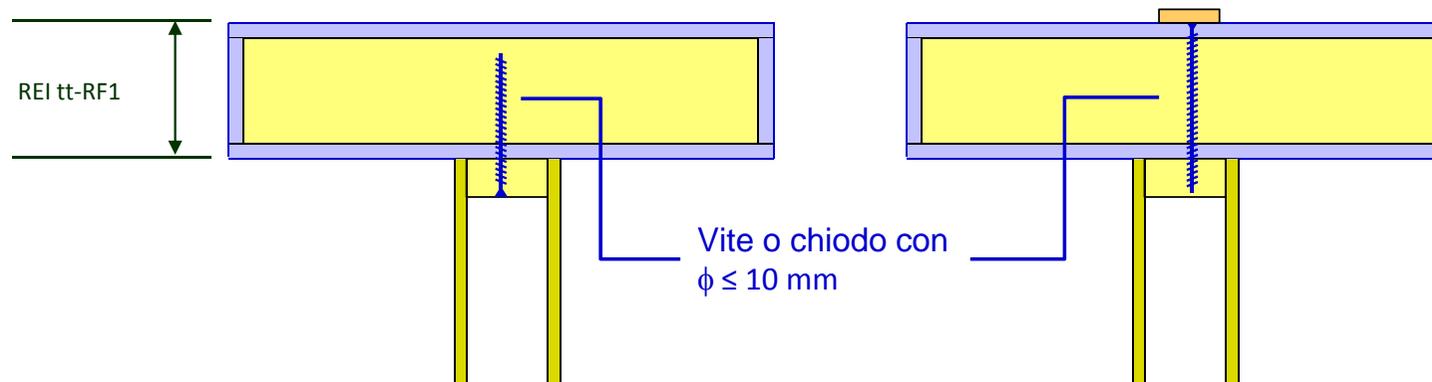
Il principio degli elementi incapsulati RF1

- 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

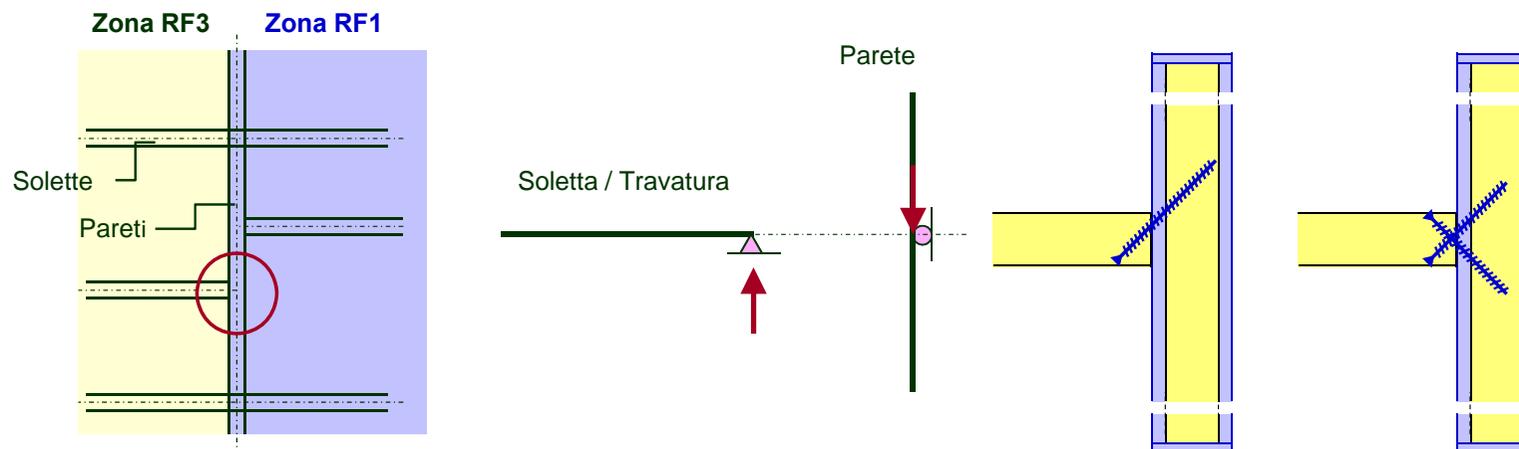
- in caso di collegamenti strutturali
- per principio possibile solo in modo molto limitato
- attraversamento con collegamenti a gambo con $\phi \leq 10$ mm



- 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

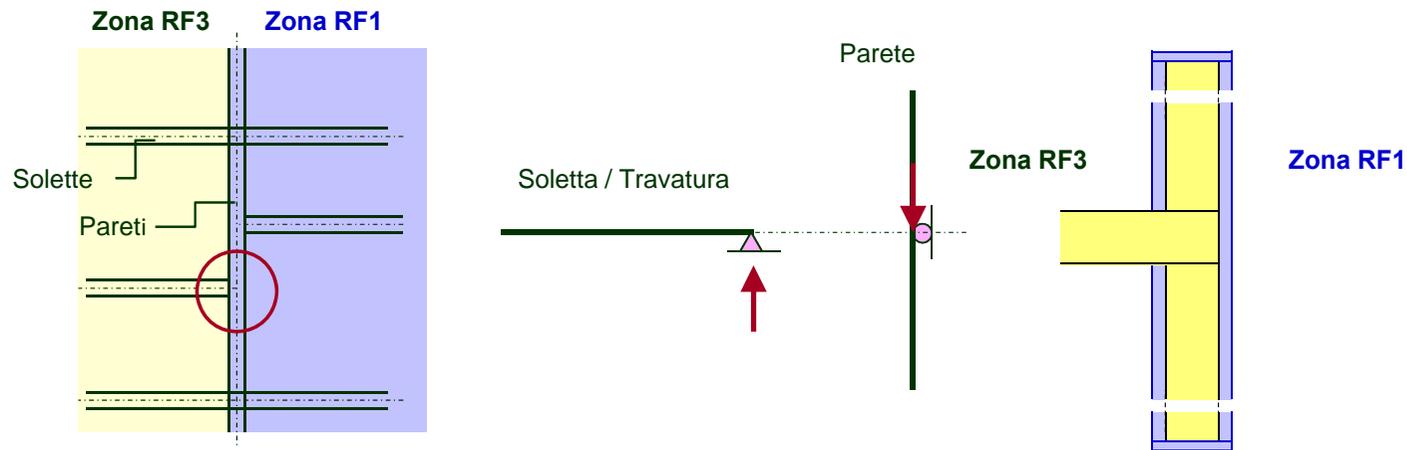


Viti tutto filetto inclinate

- 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

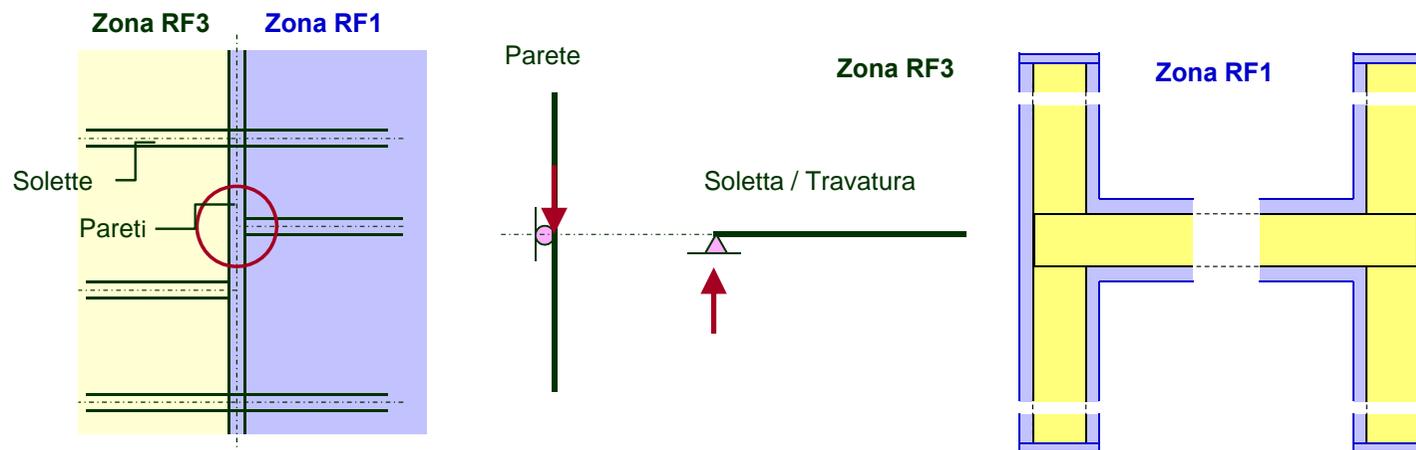


Soluzione **non conforme** perché elemento RF1 non completo

- 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

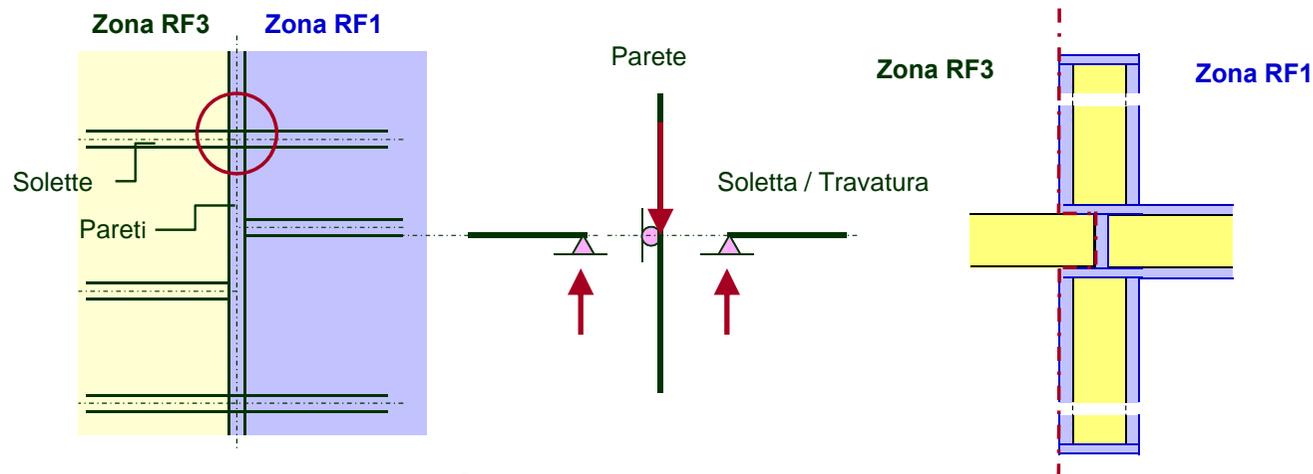


Collegamento soletta / solaio con parete in zona RF1

- 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

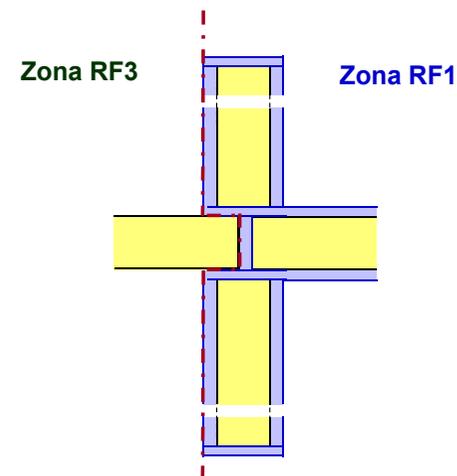


Collegamento parete / soletta / parete con parete in zona RF1

- 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

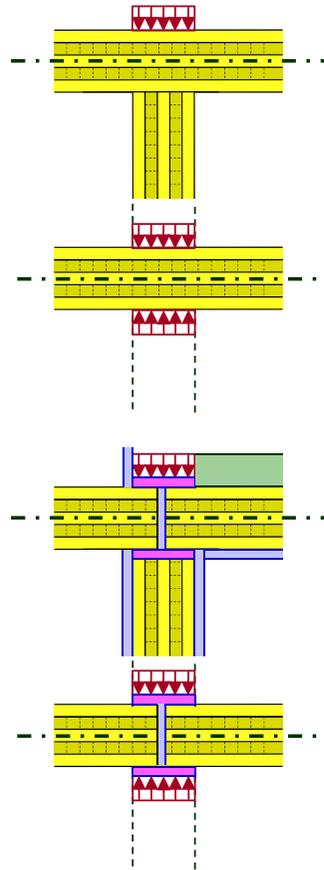
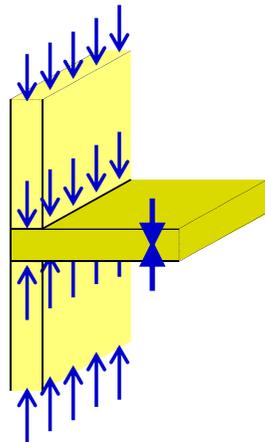
- ogni elemento è inserito in un involucro RF1
- involucro significa su tutta la superficie di tutte le 6 facce dell'elemento
- collegamenti strutturali da definire in modo accurato



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 Milano 2013

9 piani - legno Trondheim 2016

13 piani - legno Bergen 2015

9 piani - legno Londra 2009

10 piani - legno Londra 2016

7 piani - legno CA Berlino 2013

8 piani - legno Växjö 2008

8 piani - legno CA Bad Albling 2012

8 piani - legno Pesaro 2016

7 piani - legno CA Berlino 2008

7 piani - legno CA Trieste 2012

7 piani - legno CA Vienna 2012

6 piani - legno Lugano 20011

6 piani - legno CA Schaffausen 2006

6 piani - legno Firenze 2016

5 piani - legno Vienna 2006

6 piani - legno Lugano 2007

© Andrea Bernasconi - 2018

Costruzione in legno

di seminari tecnici - edifici multipiano

8 piani - legno Londra 2016

9 piani - legno Puukuokka 2016

9 piani - legno Milano 2013

9 piani - legno Trondhiem 2016

13 piani - legno Bergen 2015

9 piani - legno Londra 2009

10 piani - legno Londra 2016

8 piani - legno Växjö 2008

8 piani - legno Pesaro 2016

6 piani - legno Lugano 20011

6 piani - legno Firenze 2016

5 piani - legno Vienna 2006

6 piani - legno Lugano 2007

© 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

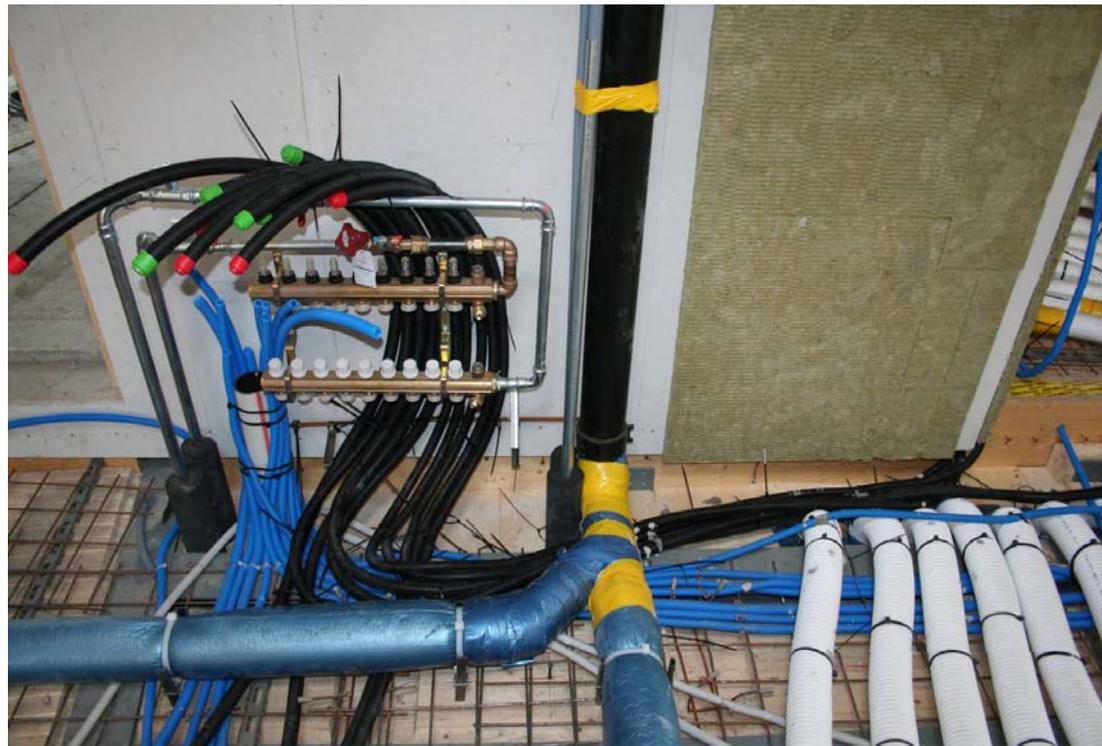
Elettricità



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 m² 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

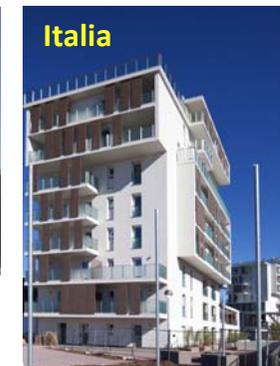


Architettura residenziale - Canton Ticino



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