Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Macerata
Commissione Strutture e Geotecnica

Macerata, 28 marzo 2025

Costruzioni in legno

Marco Pio Lauriola
www.timberdesign.it

TIMBERDESIGN

Il contenuto di questa presentazione ha finalità esclusivamente didattica per gli iscritti al seminario del 28 marzo 2025 organizzato dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Macerata sotto licenza:
Creative Commons BY-NC-ND
Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate
https://creativecommons.org/licenses/

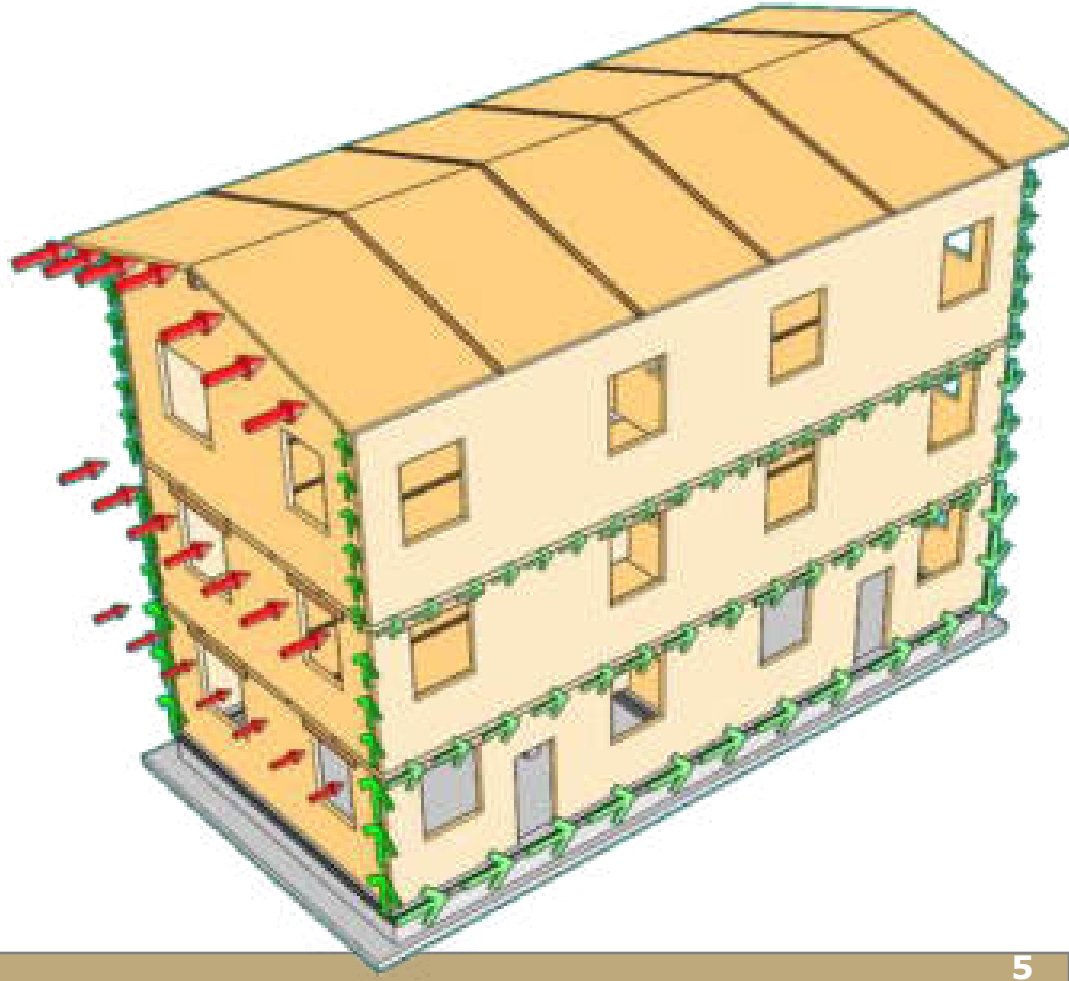
Per l'attribuzione, l'autore del contenuto è:
Marco Pio Lauriola, Timber Design Firenze

Prima parte

Impostazione del progetto

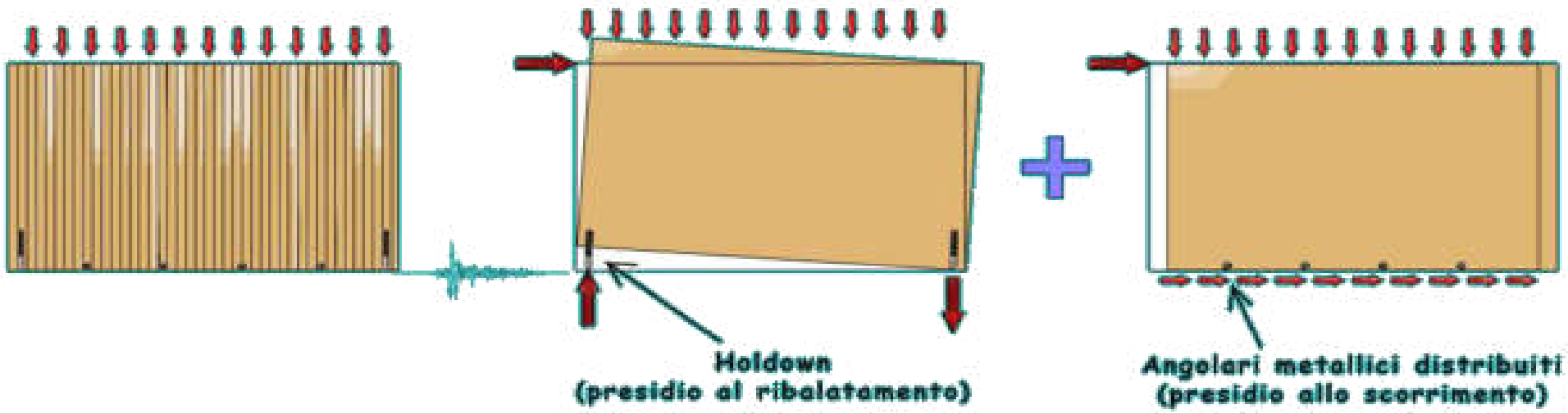
Comportamento sismico ed unioni negli edifici

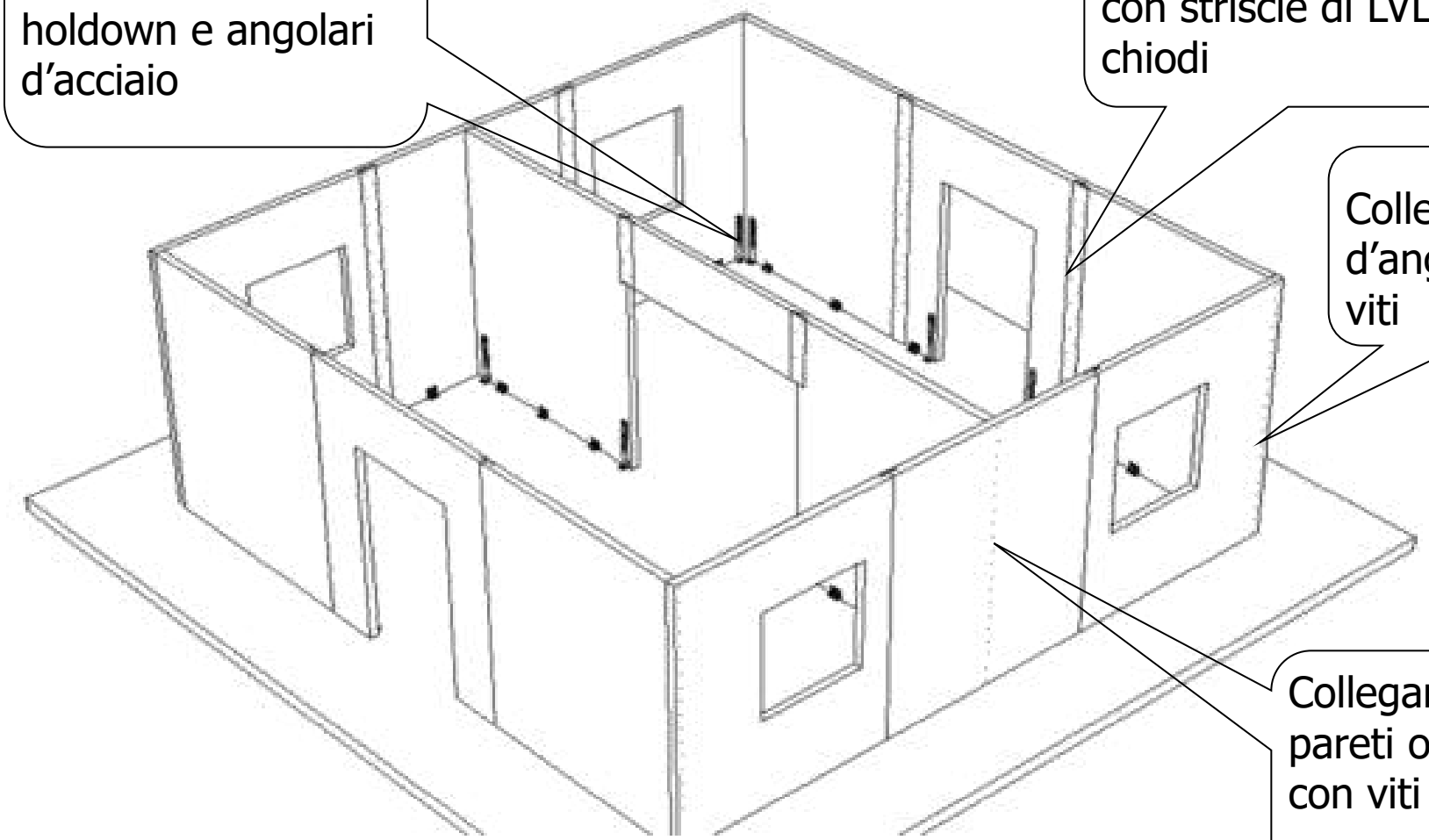
- Il comportamento degli edifici a pannelli portanti nei confronti delle azioni sismiche è di tipo scatolare.
- L'azione sismica viene trasferita dagli orizzontamenti alle pareti in funzione della propria rigidezza e da queste ai piani sottostanti fino alle fondazioni.



- la resistenza alle azioni orizzontali è demandata alle stesse pareti in funzione del tipo e della quantità di collegamenti di queste ultime fra loro, alle fondazioni e ai solai.

Infatti le pareti massicce formate dagli strati di tavole incrociati, hanno valori di resistenza e rigidezza molto elevati di per sé; sono pertanto i collegamenti ad andare in crisi per primi ed a conferire (in funzione della loro configurazione, tipologia e del loro numero) le caratteristiche di resistenza e rigidezza alle pareti.

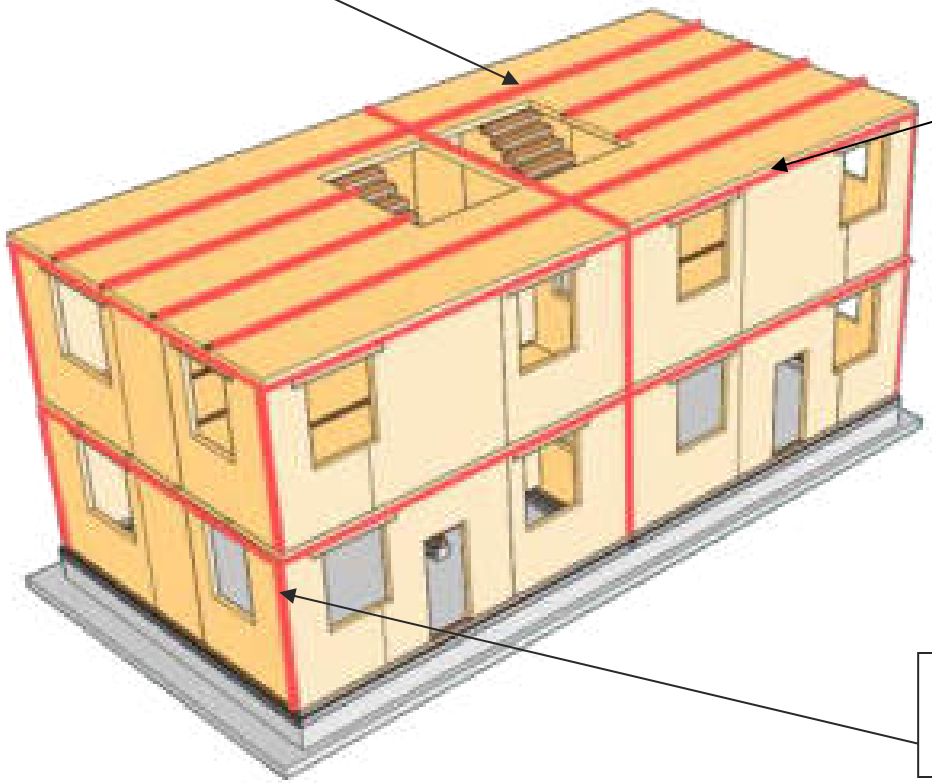



Collegamento alle fondazioni con holdown e angolari d'acciaio
Giunti verticali fra pannelli con striscie di LVL e viti o chiodi
Collegamento d'angolo con viti
Collegamento fra pareti ortogonali con viti

- Al fine del corretto comportamento della scatola strutturale occorre dotare alcune unioni di adeguate **riserve di sovraresistenza**.

unioni orizzontali fra i pannelli del solaio

in modo da assicurare la pressoché totale **assenza di scorrimento relativo** e garantire l'ipotesi di diaframma rigido



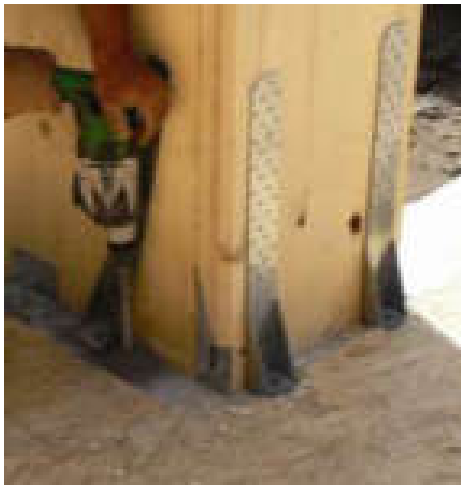
unioni fra solaio e pareti sottostanti

in modo che ad ogni piano ci sia un diaframma rigido al quale le sottostanti pareti risultano rigidamente connesse e che quindi faccia da **cintura di piano**

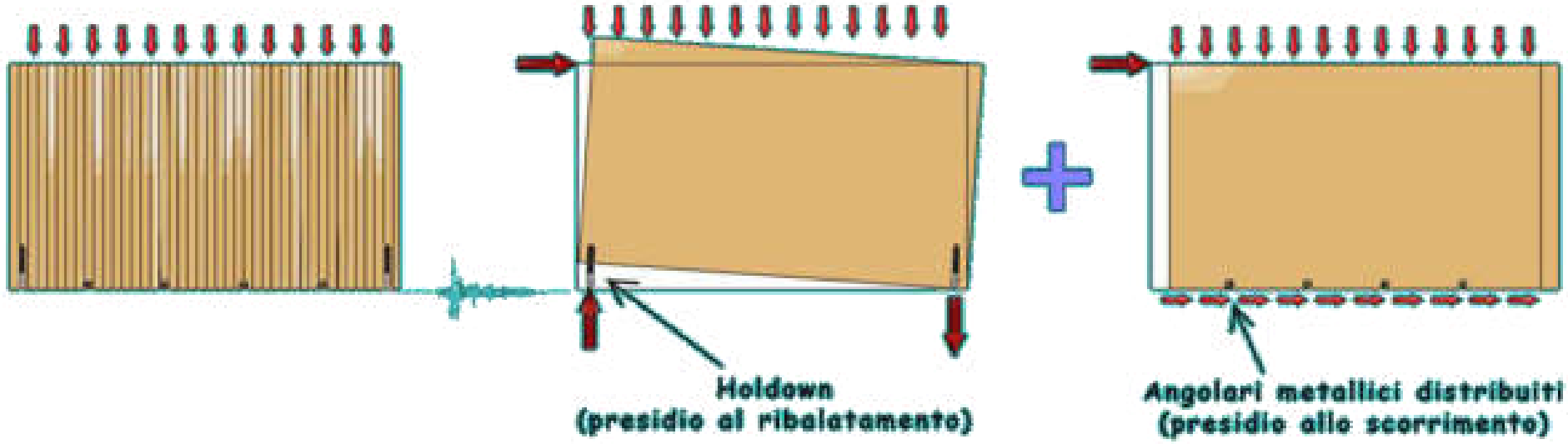
unioni fra pareti che si intersecano fra loro

- elementi che invece sono devoluti alla **dissipazione di energia** attraverso un comportamento duttile e che pertanto vanno progettati, garantendo adeguate riserve di resistenza, per le relative azioni sismiche di progetto sono:

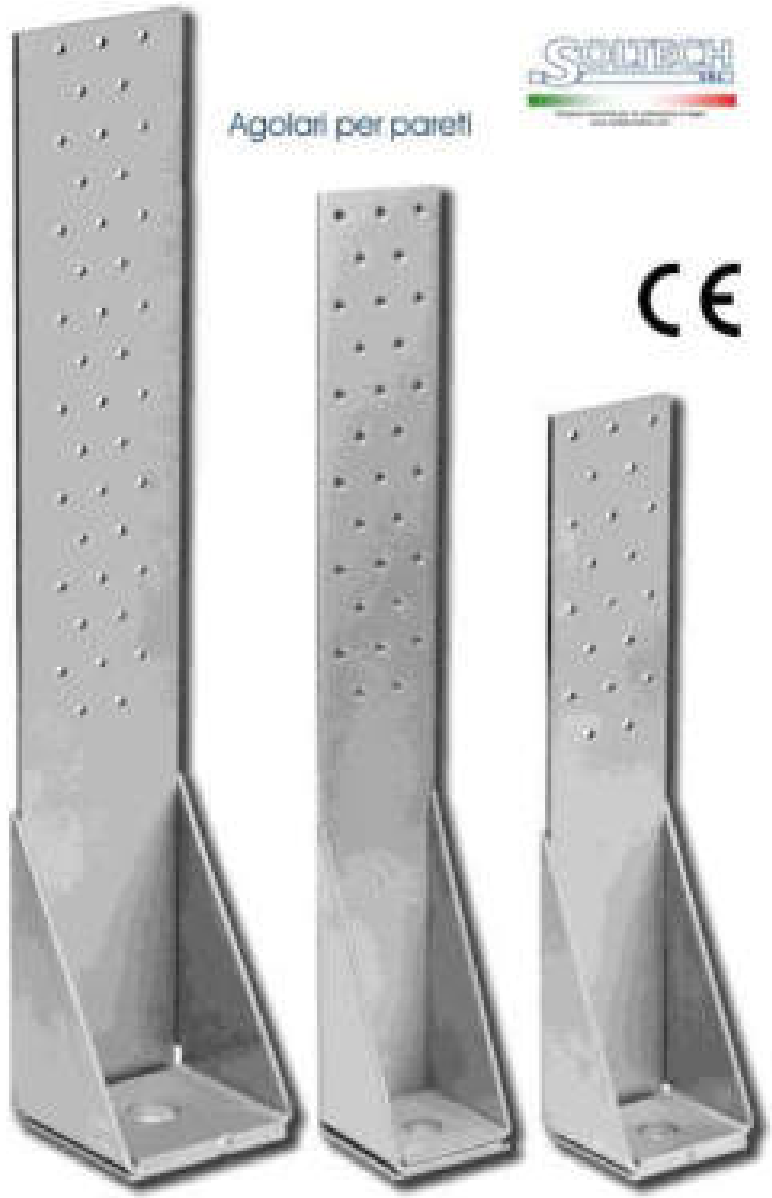
- le unioni verticali fra pannelli-parete
- le unioni a taglio alla base delle pareti
- le unioni a sollevamento (hold-down) all'inizio ed alla fine di ciascuna parete ed in corrispondenza delle aperture.



Unioni negli edifici: Parete di taglio



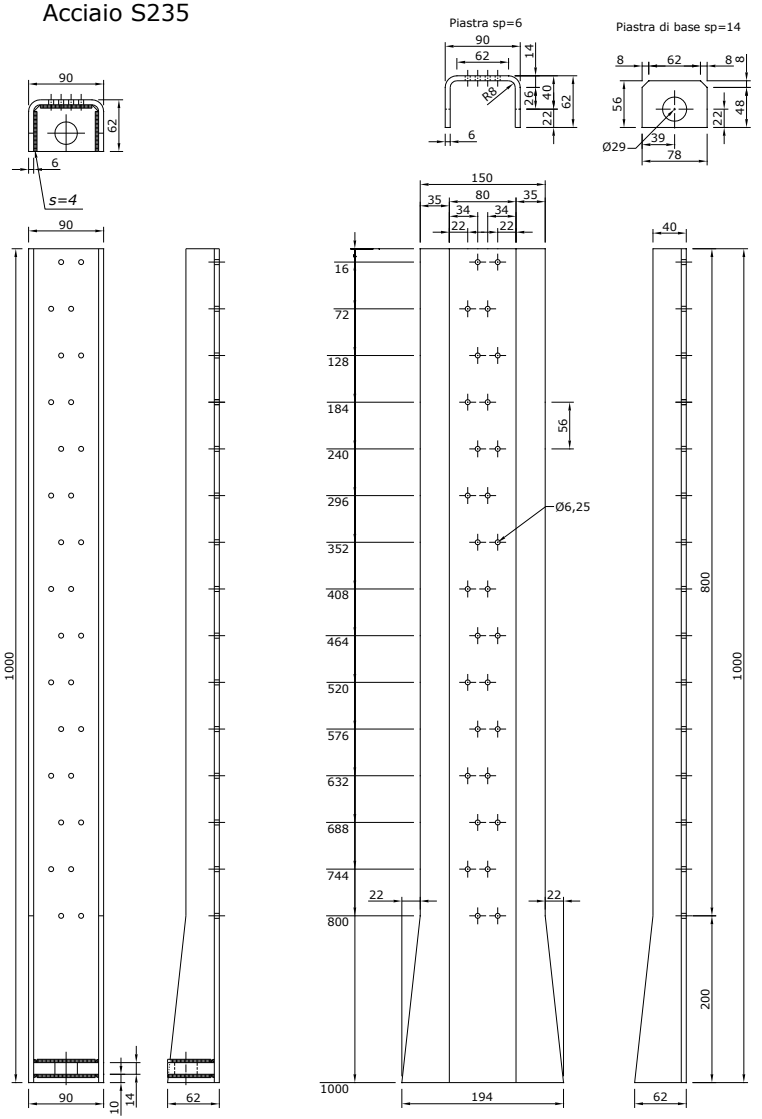
Unioni negli edifici: Holdown (presidio al solevamento)



Unioni negli edifici: Holdown (presidio al solevamento)

Piastra Fe01 - Scala 1:5

Acciaio S235



Unioni negli edifici:
banda preforata (presidio al solevamento)

- Platform-frame

- Le pareti svolgono la duplice funzione di portare sia i carichi verticali (i montanti) che di resistere alle azioni orizzontali (i pannelli) quali vento e sisma agenti nel loro piano.

Presidio al sollevamento:

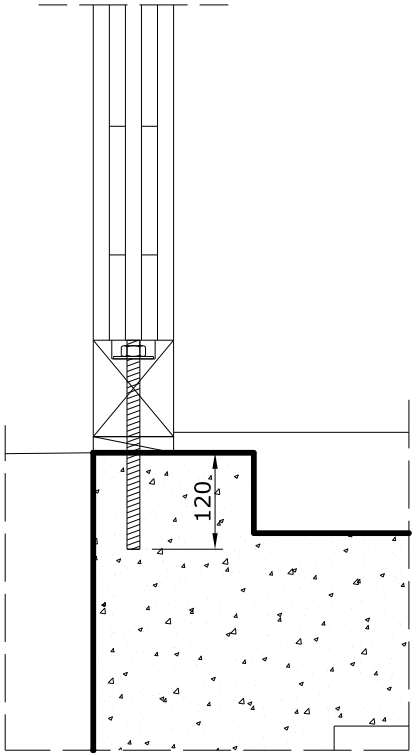
Hold-down

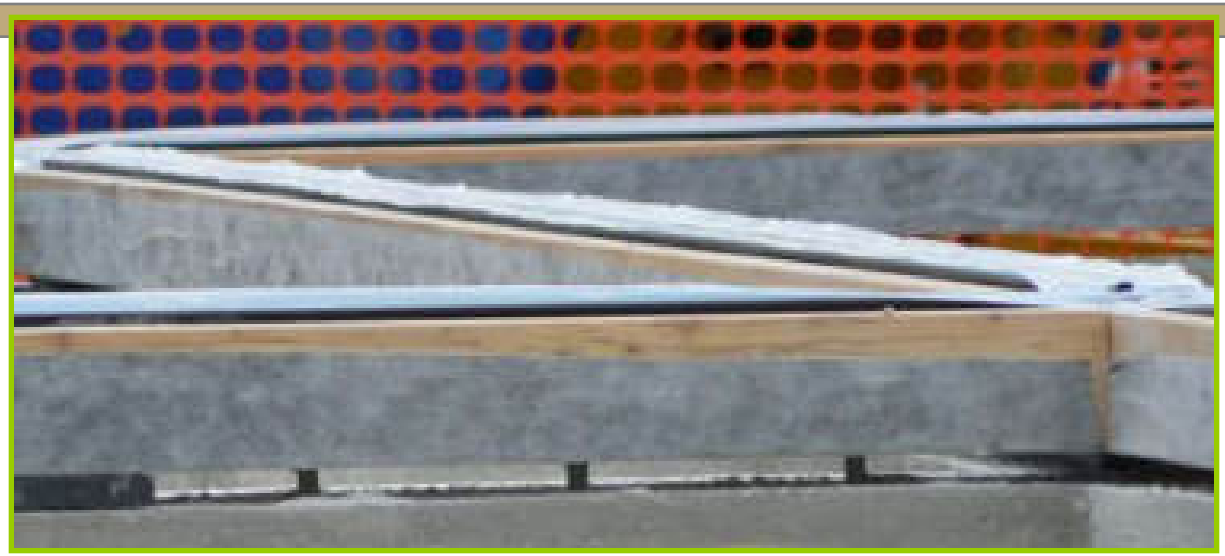
Presidio allo scorrimento:

Barre tirafondo

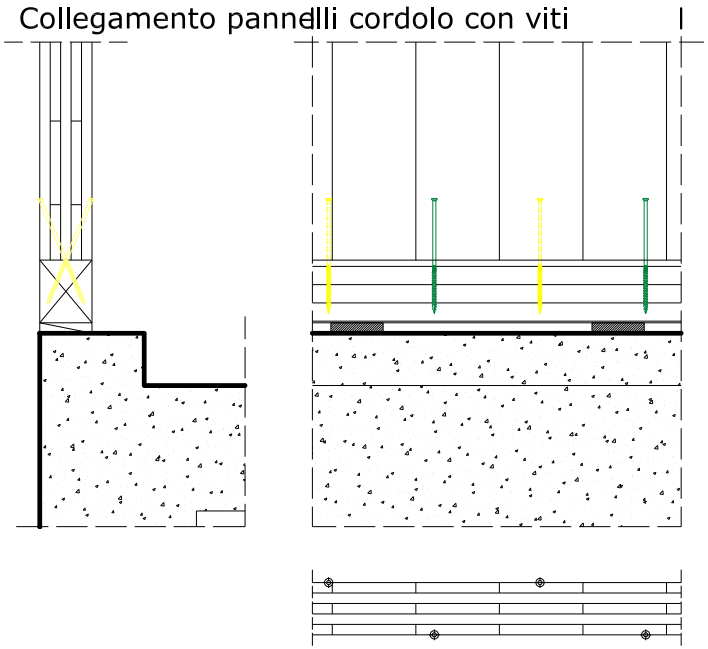
Unioni negli edifici:
unioni a taglio (presidio allo scorrimento)

Ancoraggio cordolo di larice



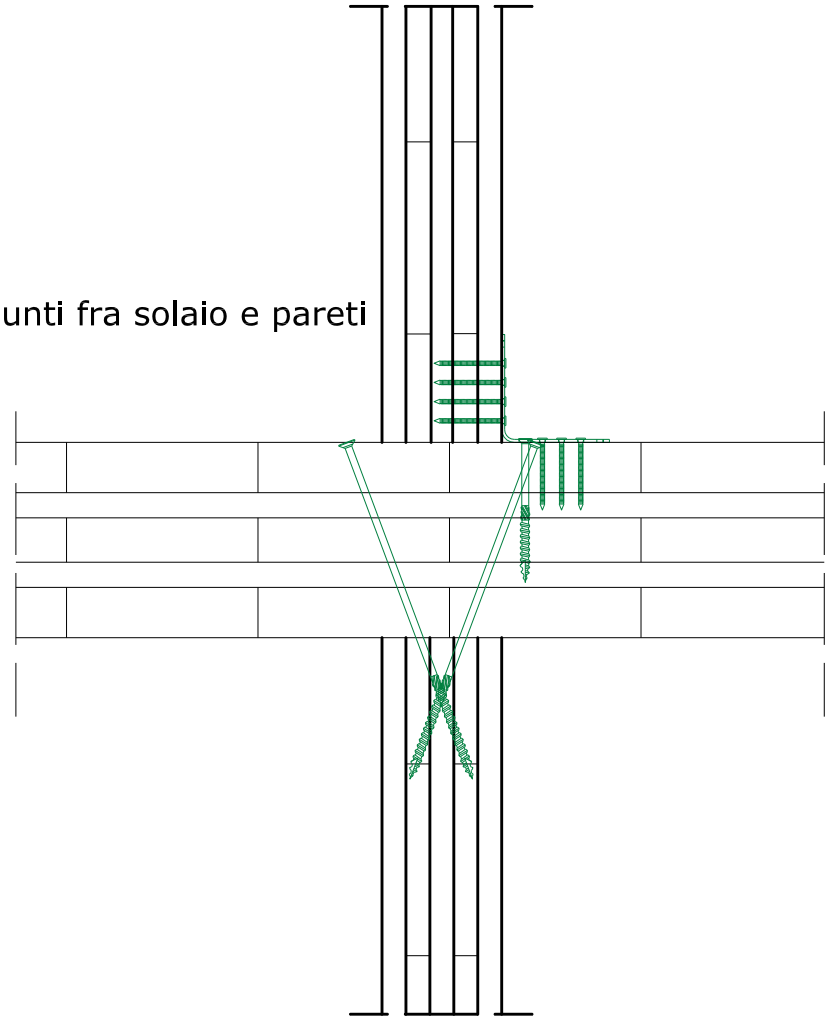


Unioni negli edifici: unioni a taglio (presidio allo scorrimento)

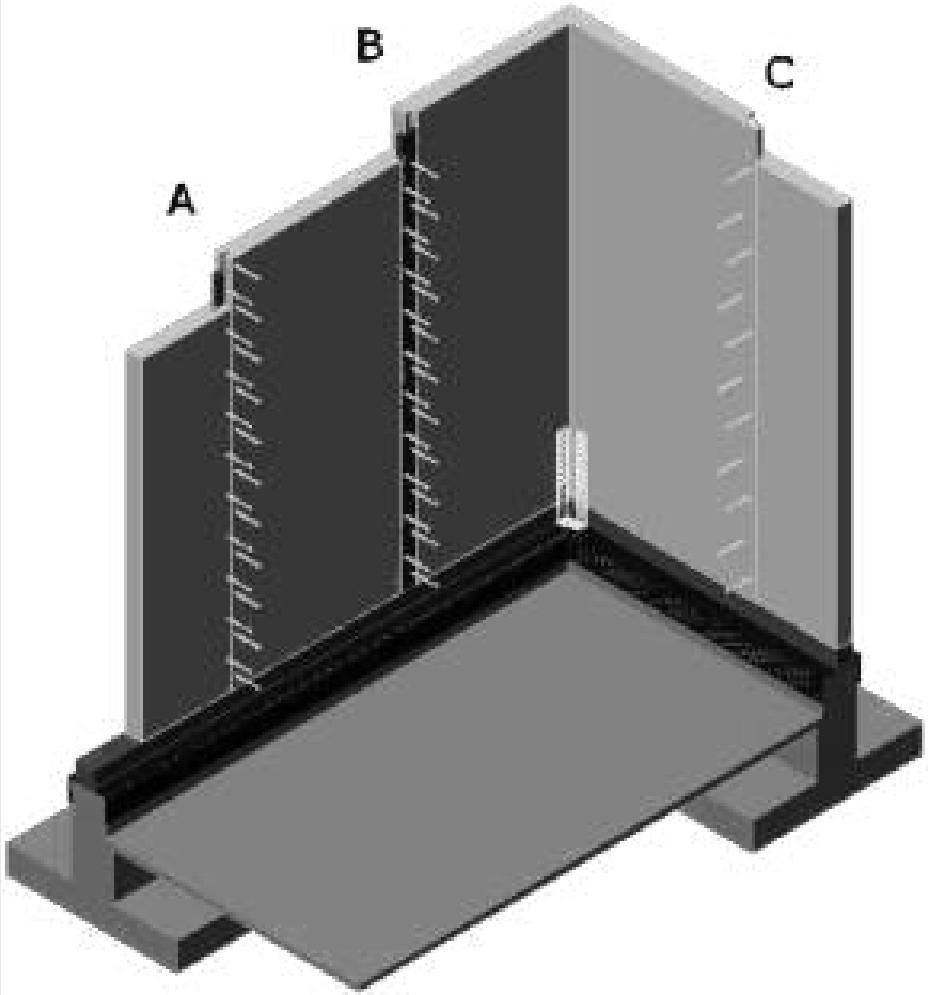


Unioni negli edifici: unioni a taglio (presidio allo scorrimento)

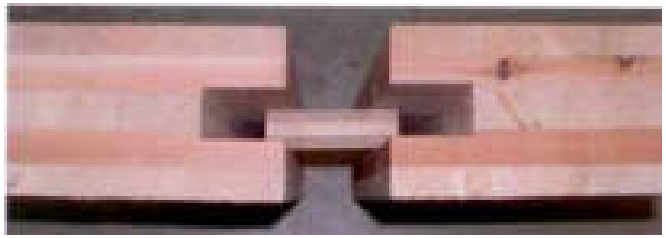
Giunti fra solaio e pareti



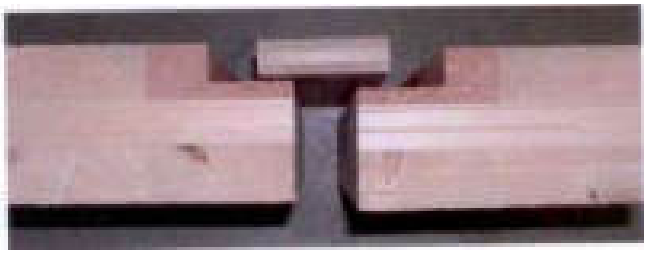
Unioni parete



A



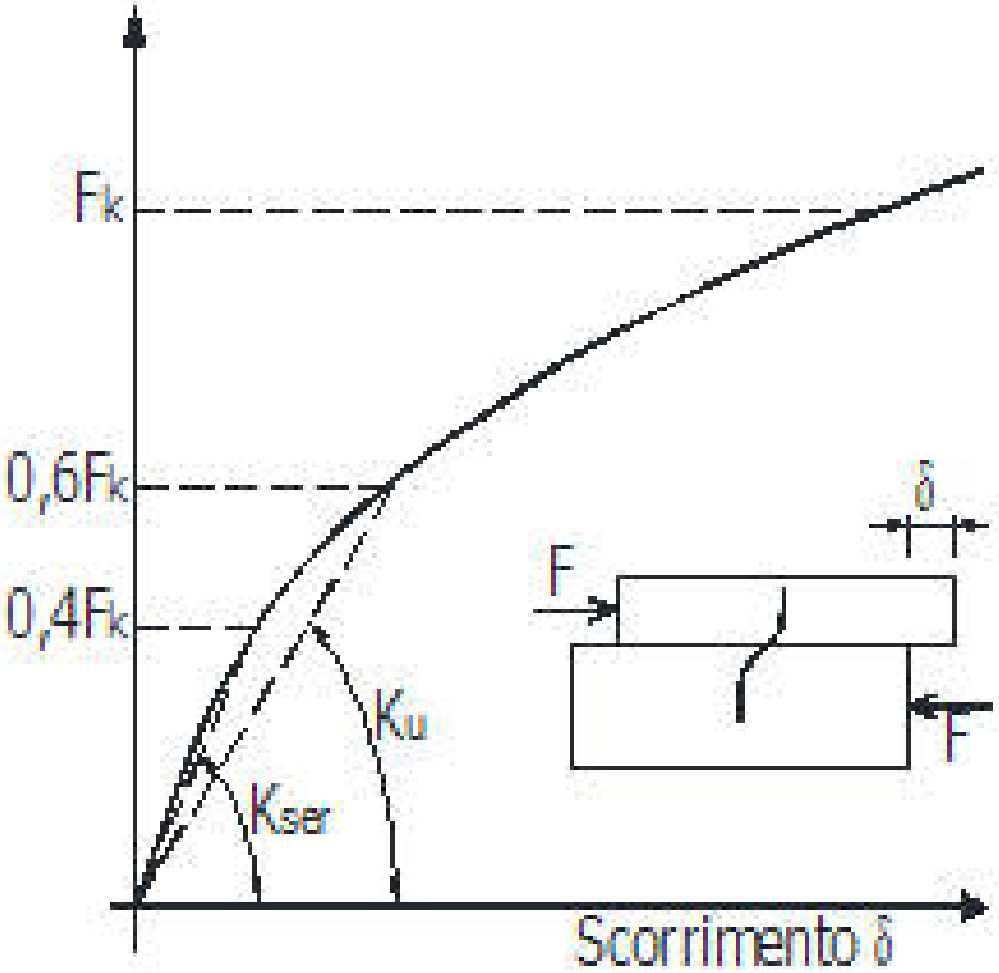
B



C

Unioni in parete

7.7.4 Analisi strutturale



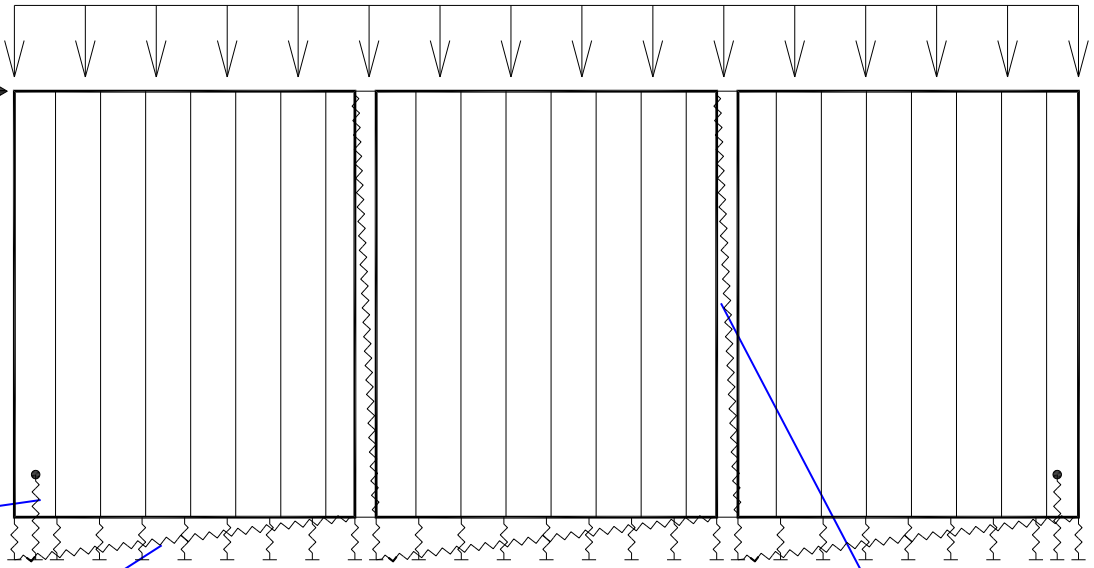
Nell'analisi della struttura si deve tener conto, di regola, della deformabilità dei collegamenti.

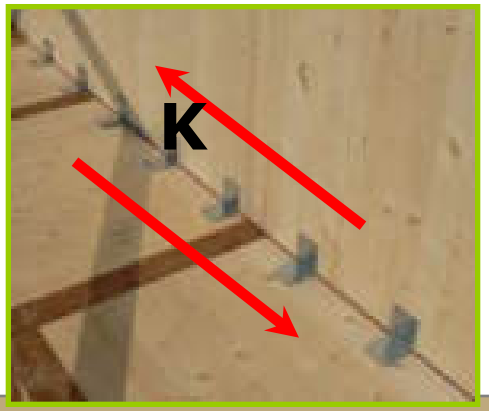
Modellazione delle unioni

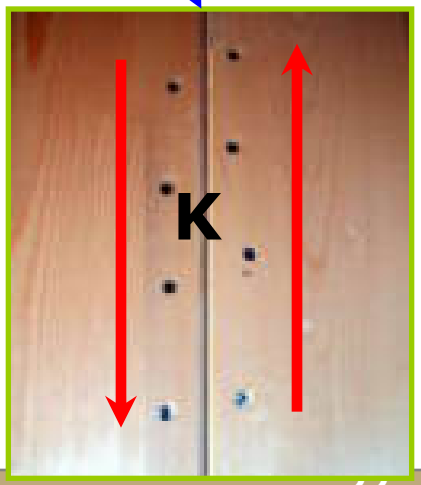
NTC18 = NTC08

7.7.4. ANALISI STRUTTURALE

Nell'analisi della struttura si deve tener conto, di regola, della deformabilità dei collegamenti.





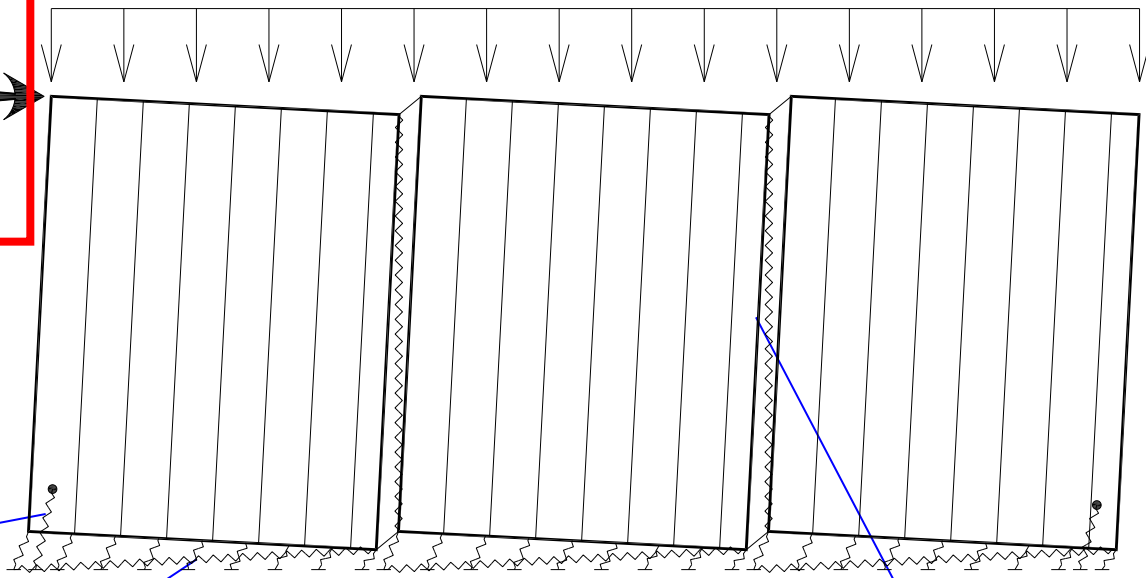


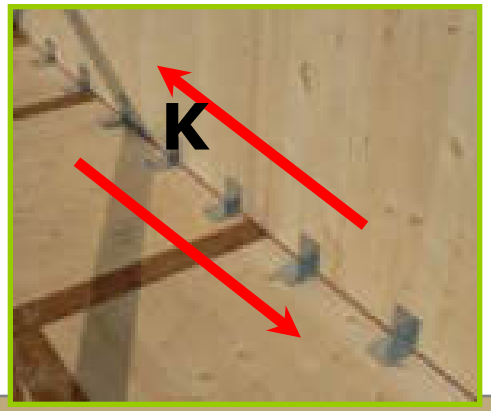
Modellazione delle unioni

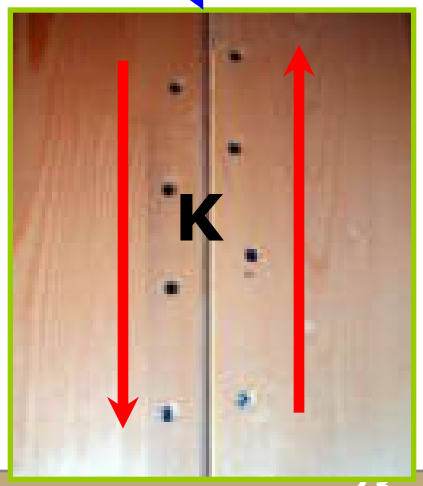
NTC18 = NTC08

7.7.4. ANALISI STRUTTURALE

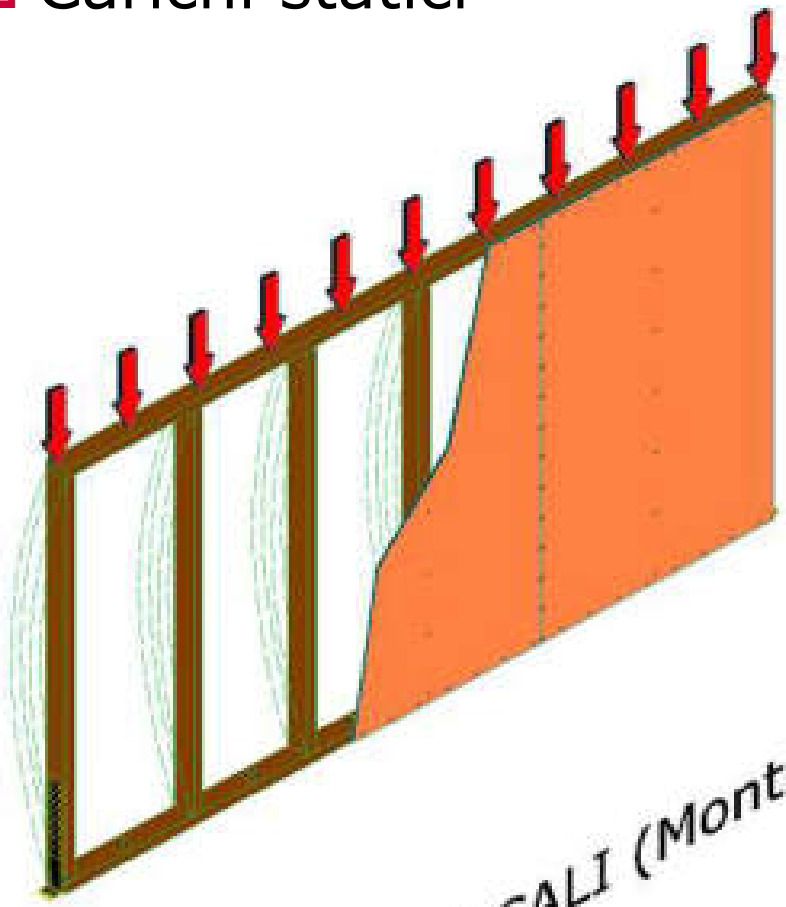
Nell'analisi della struttura si deve tener conto, di regola, della deformabilità dei collegamenti.



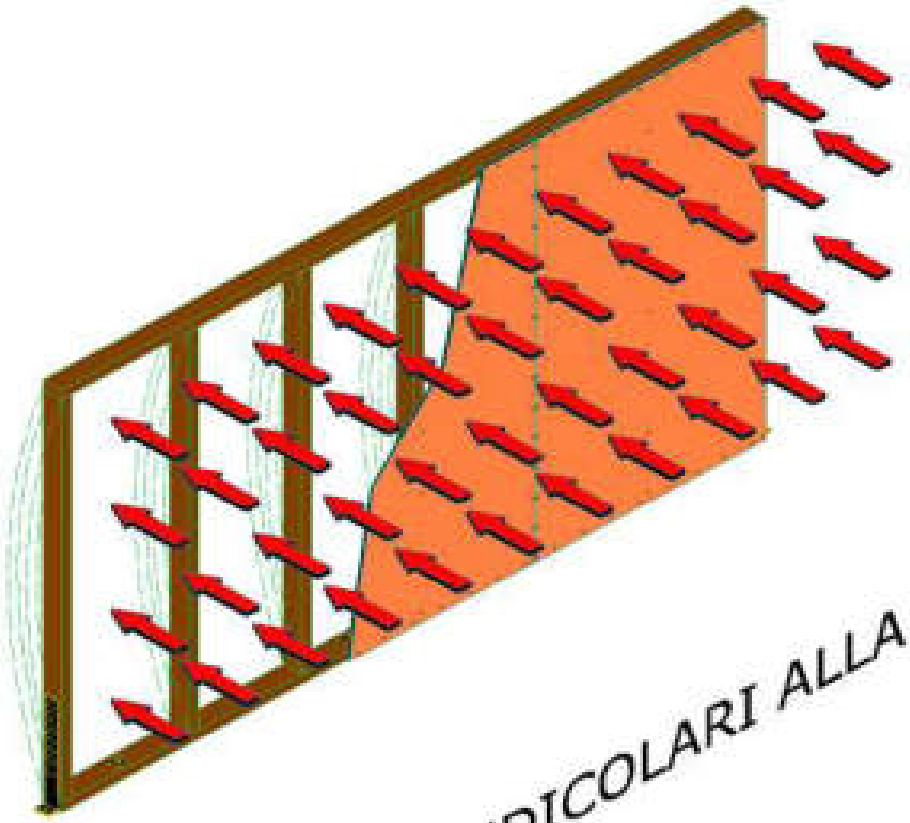




- Carichi statici

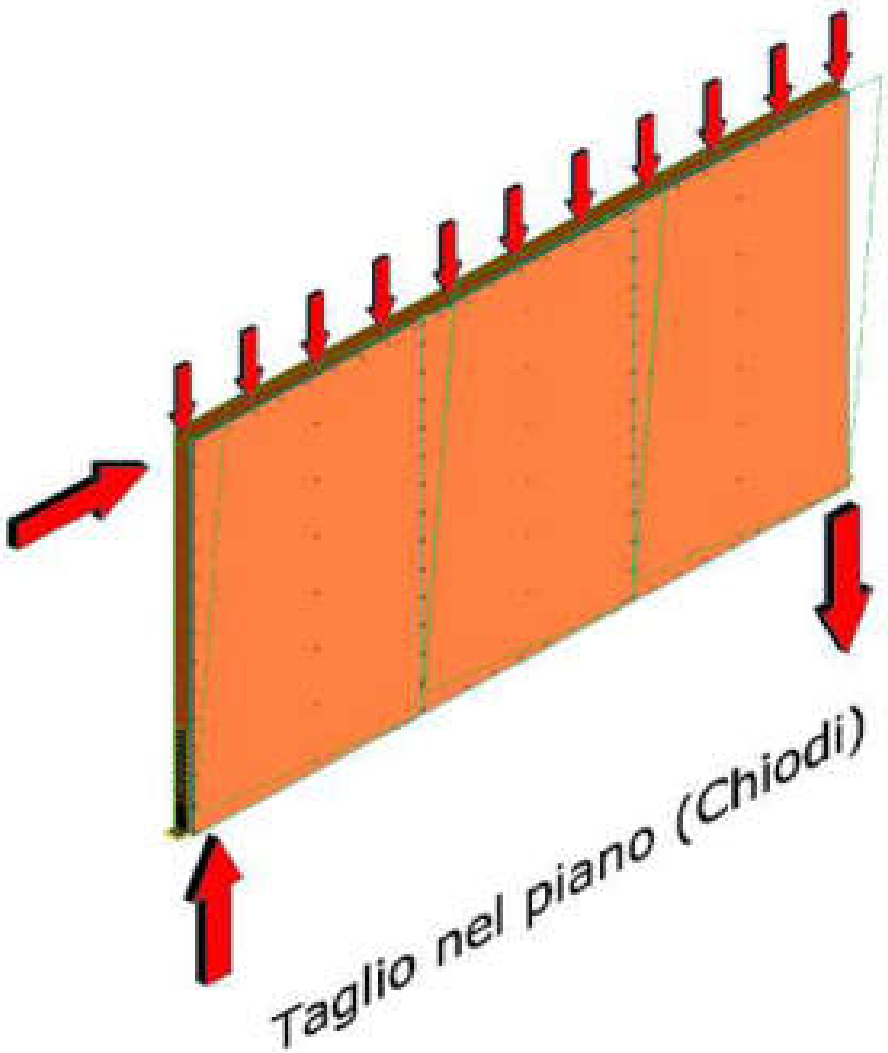


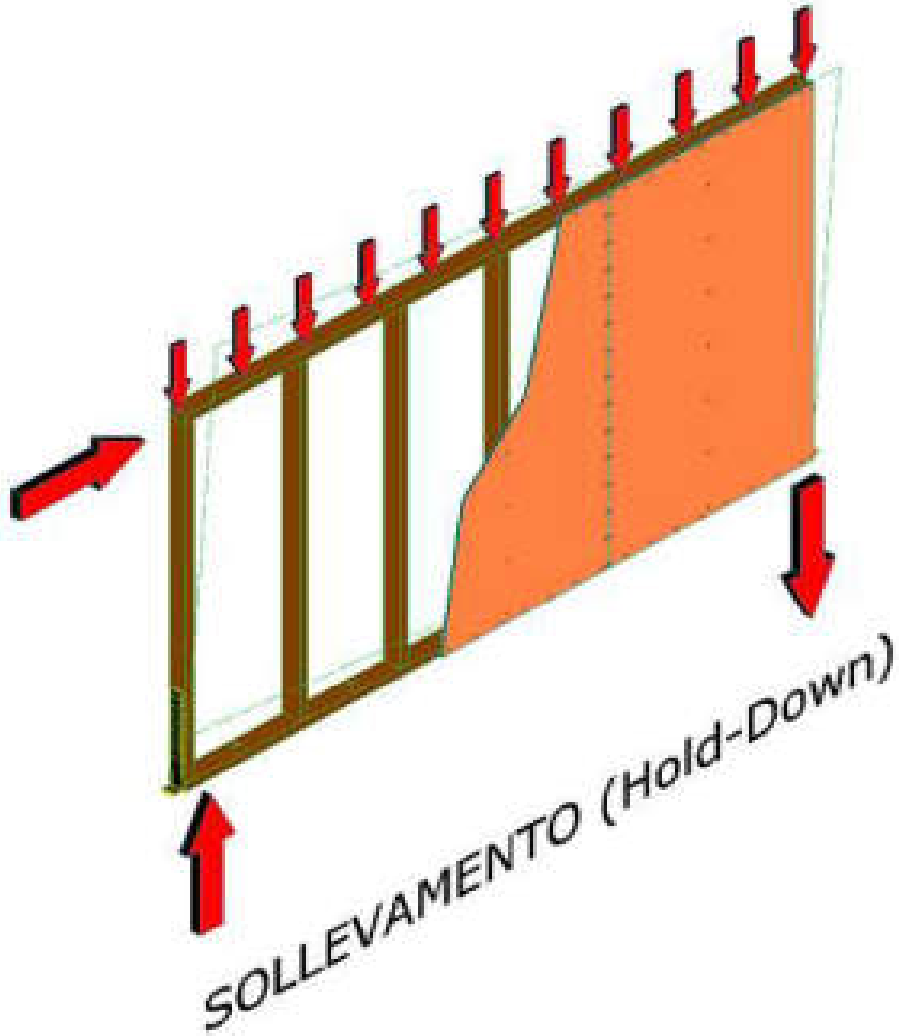
CARICHI VERTICALI (Montanti)



AZIONI PERPENDICOLARI ALLA PARETE (Montanti)

- Carichi sismici (e vento)





Capitolo 7.7. Costruzioni di legno

(progettazione per azioni sismiche)

7.3.1. ANALISI LINEARE O NON LINEARE

Valori del fattore di comportamento q

Tab. 7.3.II – *Valori massimi del valore di base q0 del fattore di comportamento allo SLV*

NTC18

NTC08

Costruzioni di legno (§ 7.7.3)	CD "A"		CD"B"		ND q
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati	3,0	*3,0*	2,0		1,33
Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico	4,0	*4,0*	2,5	*2,5*	1,5
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni.	5,0	*5,0*	3,0	*4,0*	1,5
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti Strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti	Xlam		2,5	*2,0*	1,5
Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, e altre tipologie strutturali			1,5	*1,5*	1,0

Nel caso di comportamento strutturale dissipativo $q_{lim} = q_0 \cdot K_R$

K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per le strutture a comportamento strutturale non dissipativo si adotta un fattore di comportamento q_{ND}, ridotto rispetto al valore minimo relativo alla CD"B" (Tab. 7.3.II) secondo l'espressione:

$$1 \le q_{ND} = \frac{2}{3} q_{CD"B"} \le 1{,}5 \qquad [7.3.2]$$

7.2. CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

7.2.1. CARATTERISTICHE GENERALI DELLE COSTRUZIONI

REGOLARITÀ

Sempre riferendosi agli edifici, una costruzione è *regolare in altezza* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25%

Per gli edifici pluripiano la massa simica dell'ultimo impalcato è quasi sempre molto inferiore rispetto ai piani inferiori, pertanto il coefficiente K_r=0,8 si applica quasi sempre.

Nel caso di edificio pluripiano Xlam:

$$q = q_o x K_r = 2,5x0,8 = 2,0 \ldots$$

… che non è molto diverso da 1,5 (comportamento non dissipativo)

7.2. CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

7.2.2. CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE DEI SISTEMI STRUTTURALI

Fattore di sovraresistenza γ_{Rd}

NTC18

Tab. 7.2.I - *Fattori di sovraresistenza γRd (fra parentesi quadre è indicato il numero dell'equazione corrispondente)*

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	γ_{Rd}	
			CD"A"	CD"B"
Legno	Collegamenti		1,60	1,30

7.7.1. ASPETTI CONCETTUALI DELLA PROGETTAZIONE

E' possibile utilizzare fattori di sovraresistenza γ_{Rd} ridotti fino a:

γ_{Rd} =1,3 per CD "A" ;

γ_{Rd} =1,1 per CD "B"

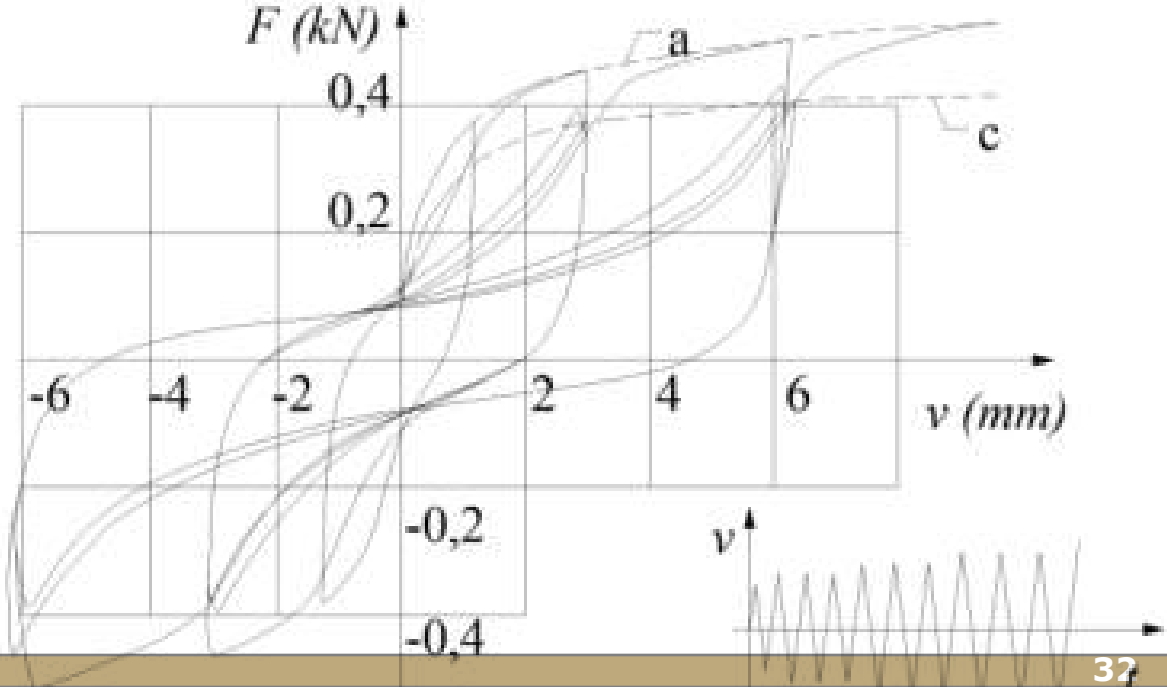
se giustificati sulla base di idonee evidenze tecnico-sperimentali.

Nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al §4.4, senza nessun requisito aggiuntivo.

Duttilità e sovraresistenza

- Duttilità e sovraresistenza

Duttilità e sovraresistenza



NTC18

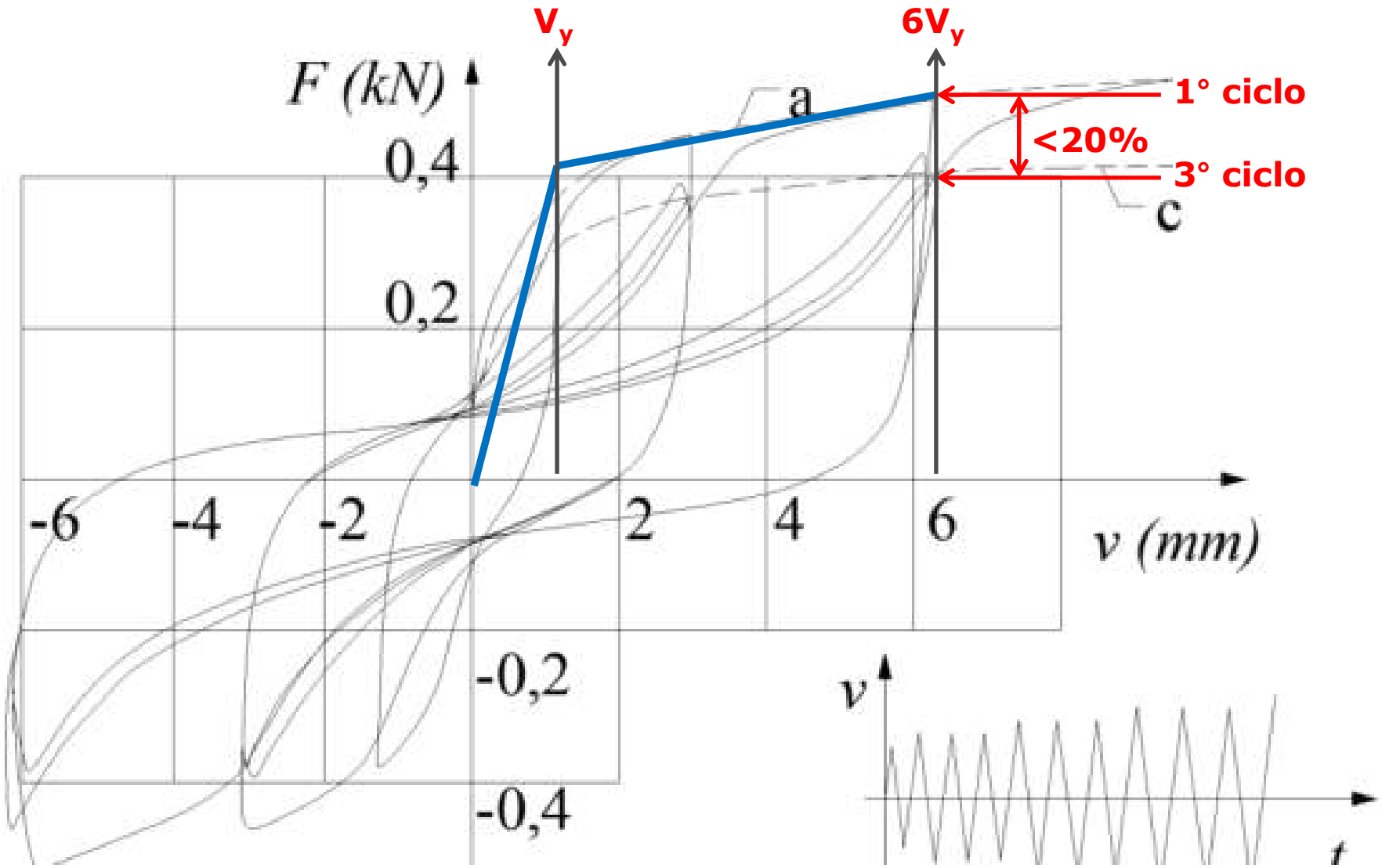
7.7.3.1 PRECISAZIONI

Le zone considerate dissipative devono essere in grado di deformarsi plasticamente per almeno tre cicli a inversione completa,

con un rapporto di duttilità statica pari a 4, per le strutture in CD“B”,

e pari a 6, per le strutture in CD“A”,

senza che si verifichi una riduzione della loro resistenza maggiore del 20%


V_y
$6V_y$
F (kN)
a
1° ciclo
<20%
3° ciclo
c
0,4
0,2
-0,2
-0,4
-6
-4
-2
2
4
6
v (mm)
v
t

Regole di progettazione di edifici in legno

Le regole di seguito esposte puntano al **miglior utilizzo del materiale**, uscendo da queste regole è possibile che l'edificio si possa fare lo stesso ma a costi maggiori e con l'utilizzo più o meno importante di elementi di acciaio.

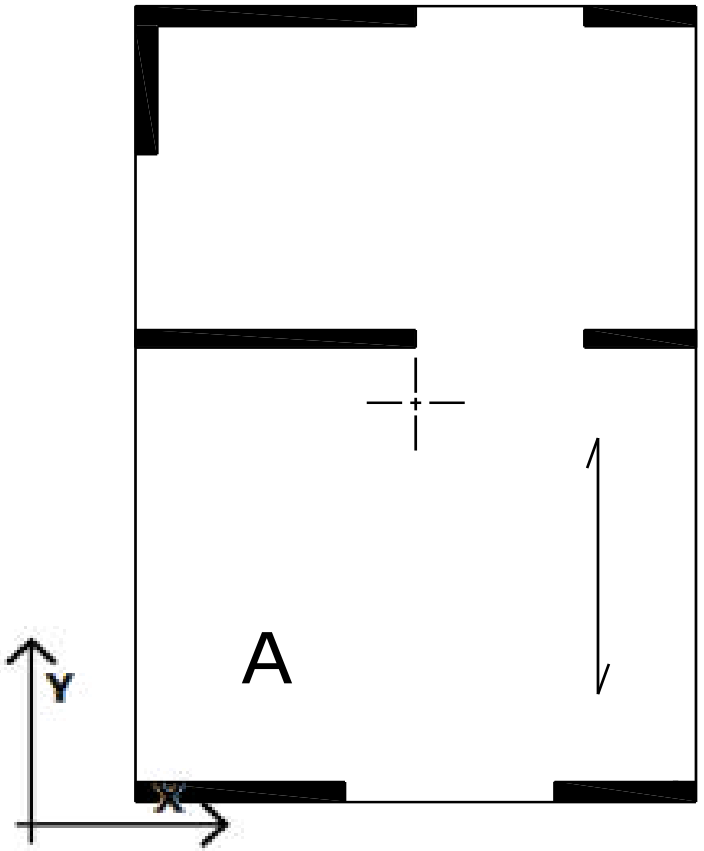
- Elementi verticali

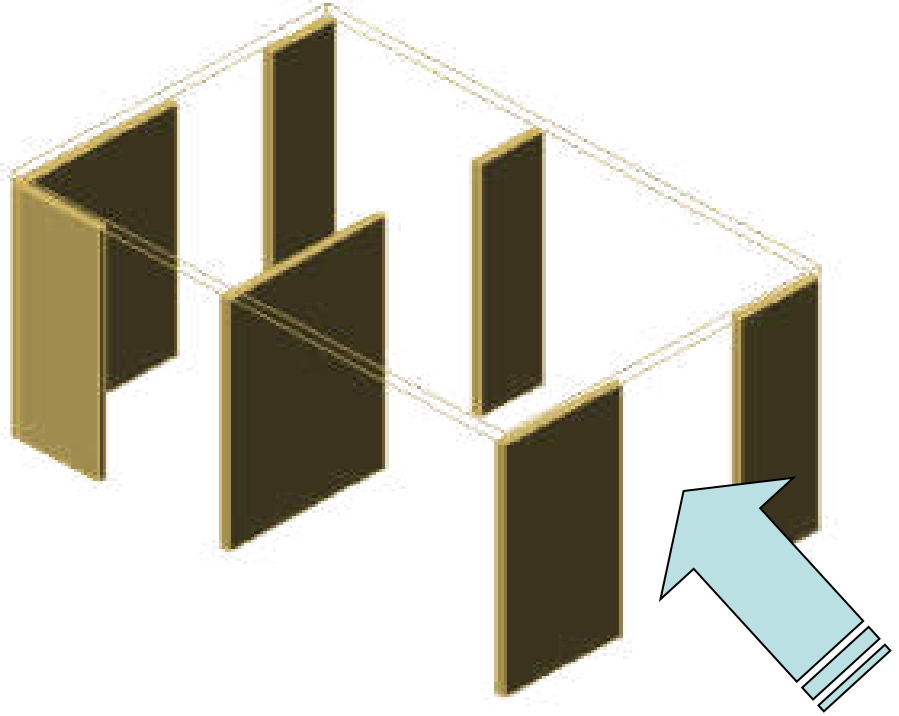
1) Devono esserci pareti portanti in due direzioni

2) Le pareti devono essere disposte in pianta il più possibile in maniera equilibrata

Elementi verticali

A) NO. Insufficienti pareti in direzione Y, non si può realizzare.

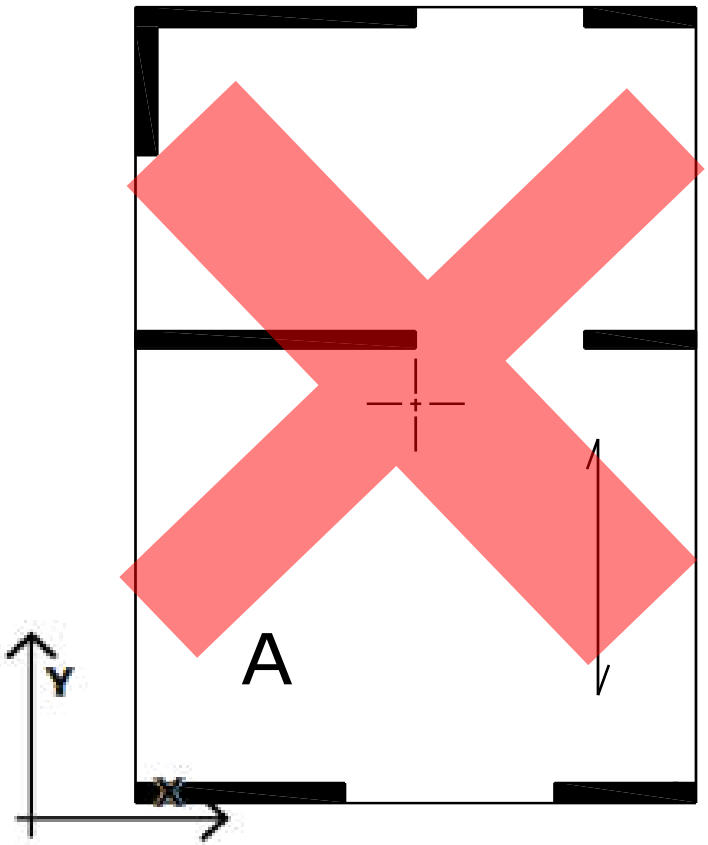


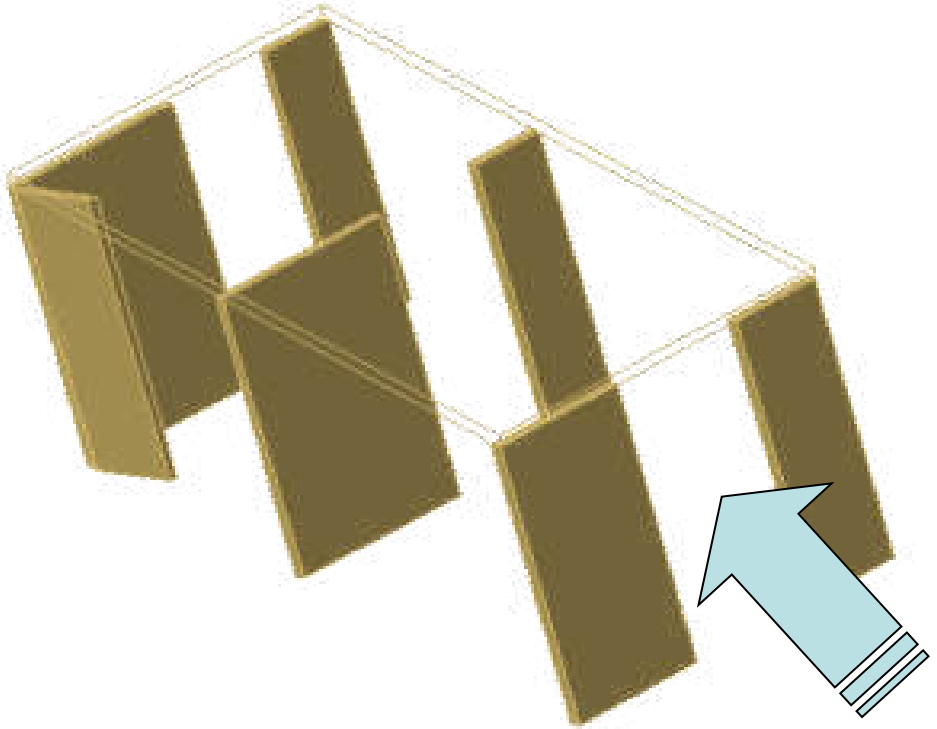


Devono esserci pareti portanti in due direzioni

Elementi verticali

A) NO. Insufficienti pareti in direzione Y, non si può realizzare.





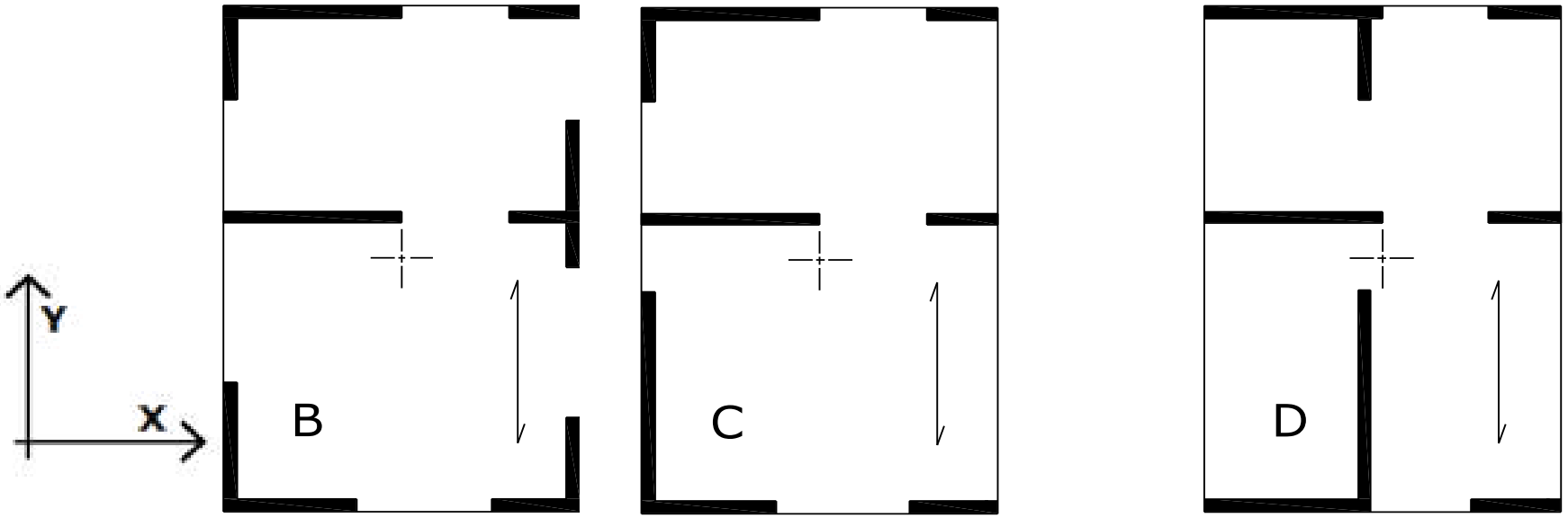
Elementi verticali

Le pareti devono essere disposte in pianta il più possibile in maniera equilibrata

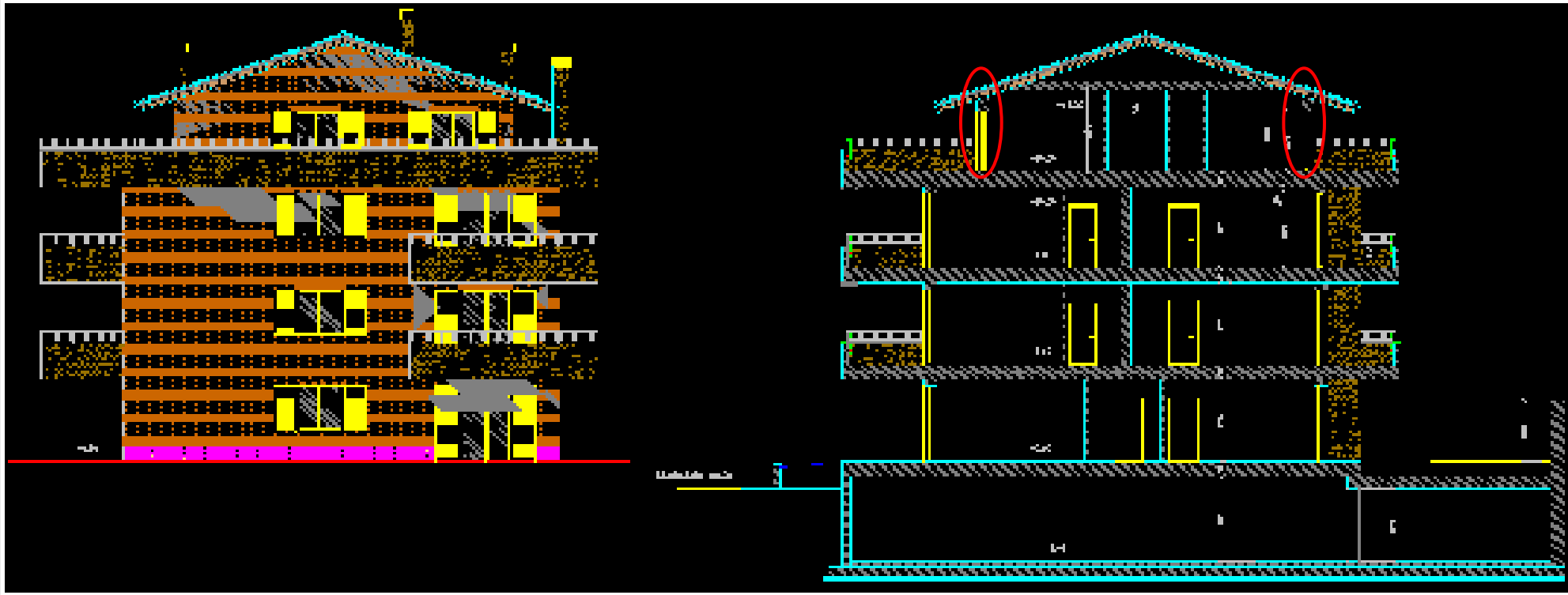
B) **SI**. Sufficienti pareti in ambedue le direzioni

C) Sufficienti pareti in ambedue le direzioni, tuttavia le pareti in direzione Y sono eccessivamente decentrate

D) Sufficienti pareti in ambedue le direzioni; sarebbe opportuno che in ciascuna direzione le pareti siano collocate in prossimità del perimetro della pianta, tuttavia possono essere sufficienti anche pareti più centrali



Elementi verticali



- Elementi verticali non allineati

Elementi verticali

Problema:
Adattare struttura a pareti portanti ad architettonici pensati per strutture intelaiate in c.a.

- Elementi verticali

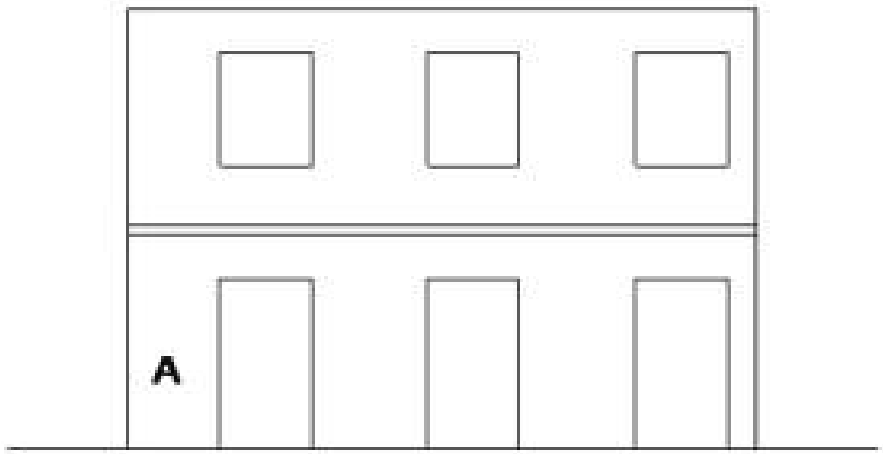
Le **aperture** per porte e finestre devono essere il più possibile **allineate** ai vari piani o, che è lo stesso, i **setti** murari devono avere corrispondenza ai vari piani o comunque trovare valido appoggio da ambedue i lati.

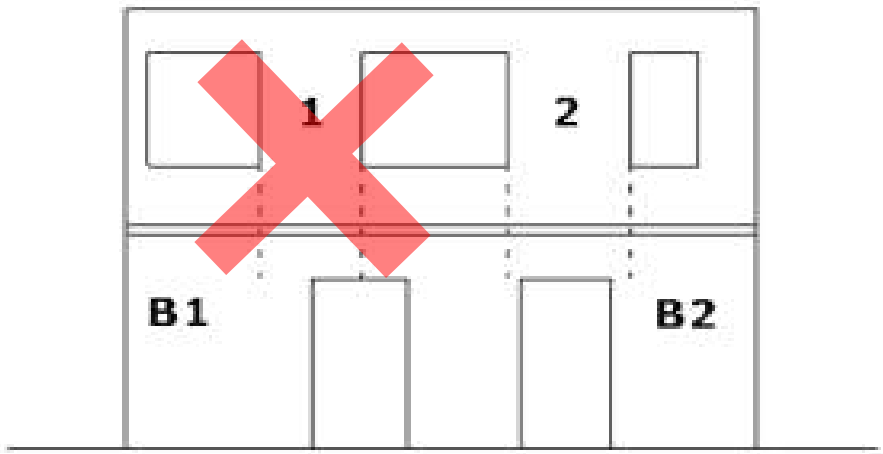
Elementi verticali

A) **SI**. Configurazione ottimale, i setti murari sono allineati ai vari piani

B1) **NO**. Il setto 1 non trova valido appoggio alla sua destra

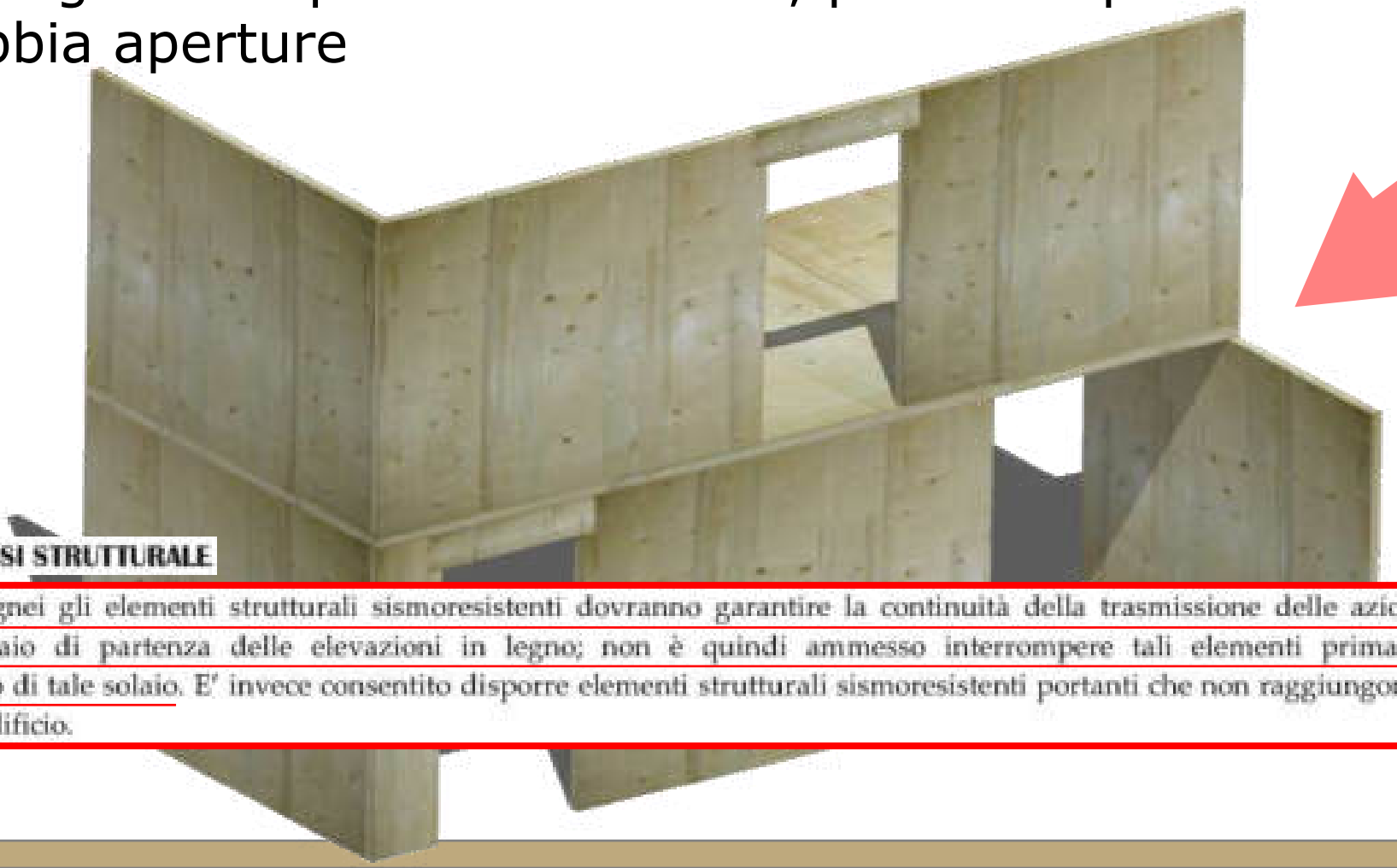
B2) Il setto 2, pur non trovando corrispondenza al piano inferiore, ha validi appoggi da ambedue i lati





- Elementi verticali

  È possibile sfruttare appoggi puntuali come pareti ortogonali al piano sottostante, purché la parete non abbia aperture



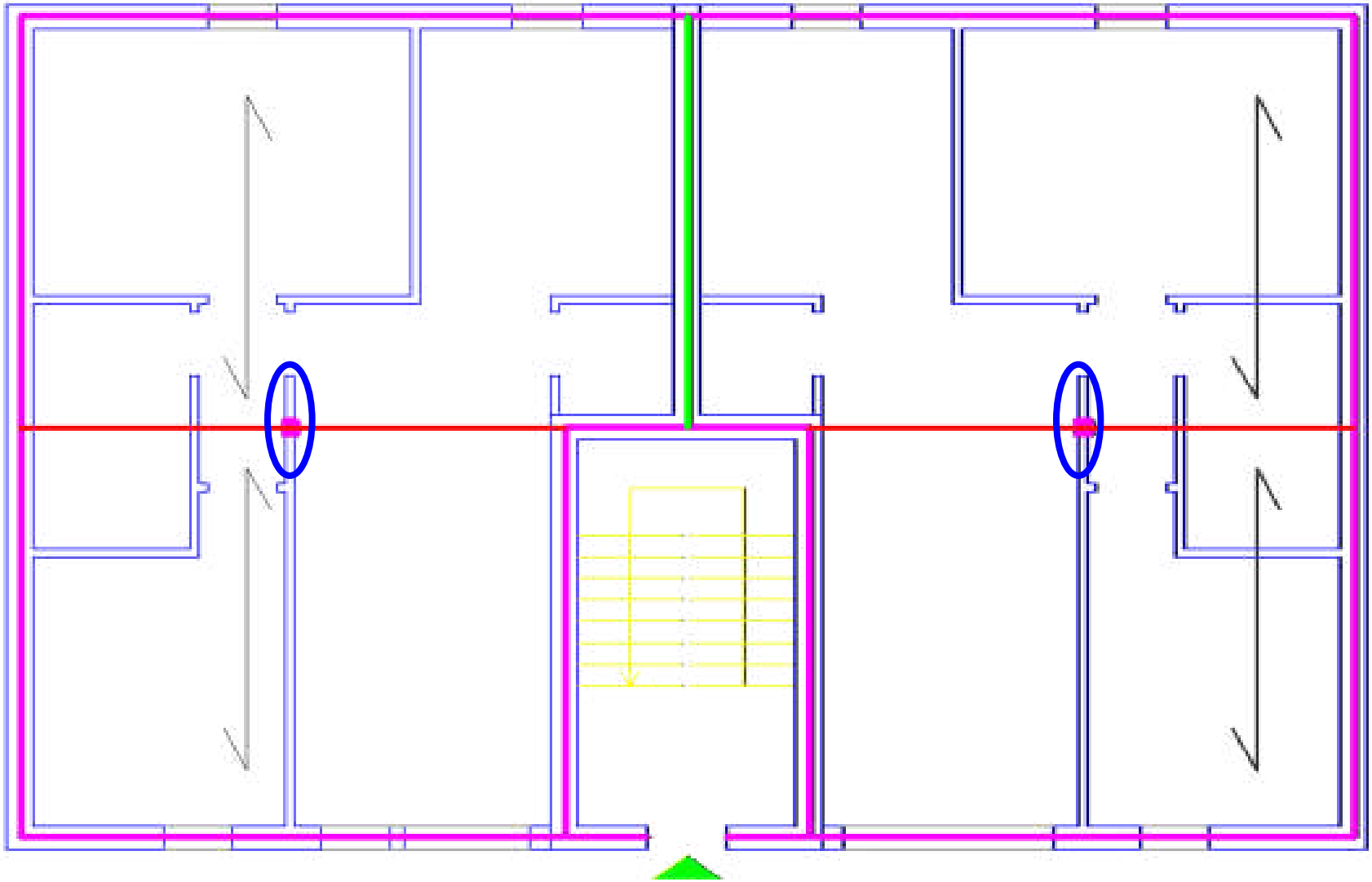
C7.7.4 ANALISI STRUTTURALE

Negli edifici lignei gli elementi strutturali sismoresistenti dovranno garantire la continuità della trasmissione delle azioni a partire dal solaio di partenza delle elevazioni in legno; non è quindi ammesso interrompere tali elementi prima del raggiungimento di tale solaio. E' invece consentito disporre elementi strutturali sismoresistenti portanti che non raggiungono la sommità dell'edificio.

- Elementi verticali

È possibile utilizzare dei **pilastri** ma in maniera limitata

I pilastri portano solo i **carichi verticali** ma non quelli orizzontali (sisma e vento) e pertanto possono essere utilizzati solo se ci sono sufficienti pareti in due direzioni

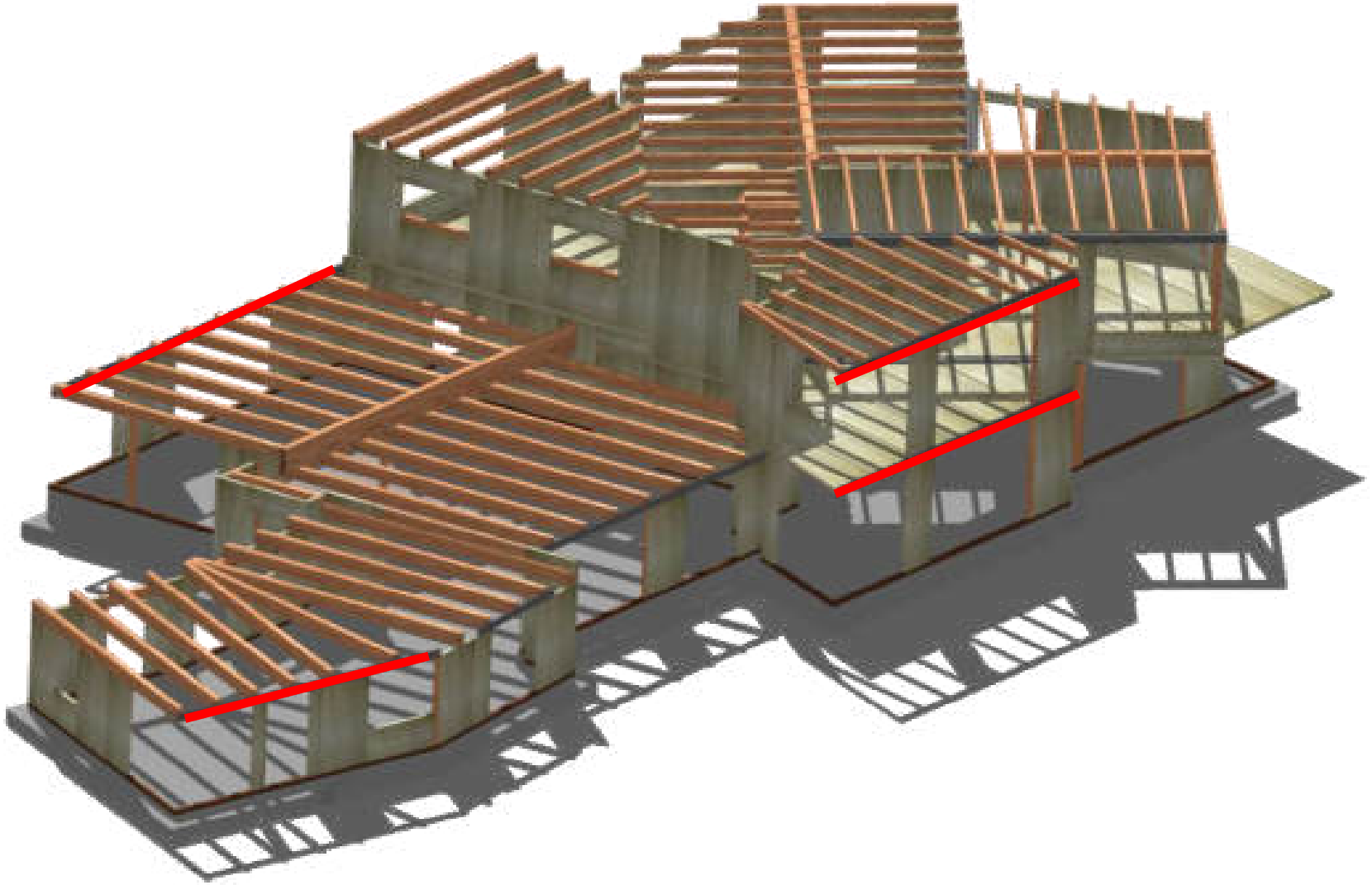


Regole di progettazione

- Elementi orizzontali

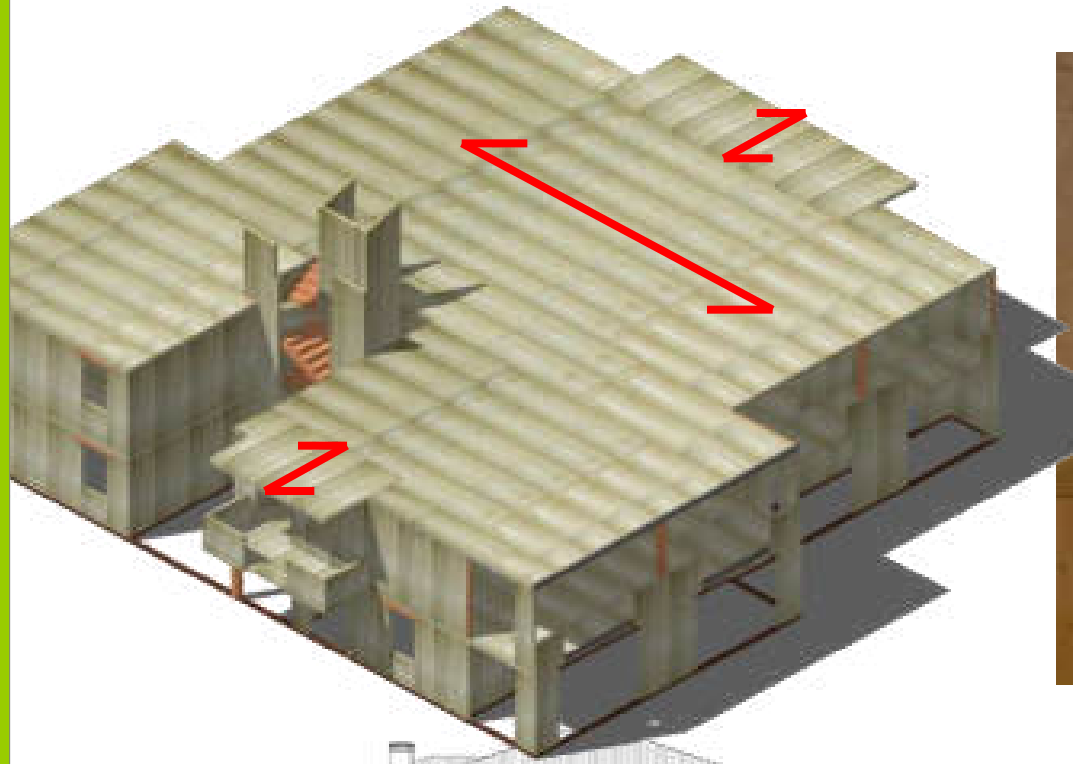
I solai a pannelli hanno un comportamento **monodirezionale**, cioè sono come i solai a travi, pertanto è necessario individuare la **direzione di orditura** e fare in modo da avere appoggi sufficienti.

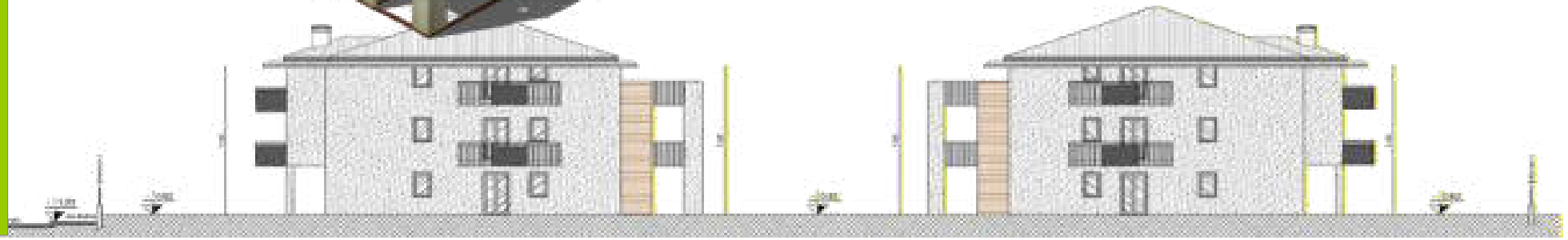
Elementi orizzontali



Elementi orizzontali

E' possibile avere i balconi anche nei lati dell'edificio paralleli alla direzione di orditura del solaio; si tratterà di cambiare localmente l'orditura del solaio





Sbalzi

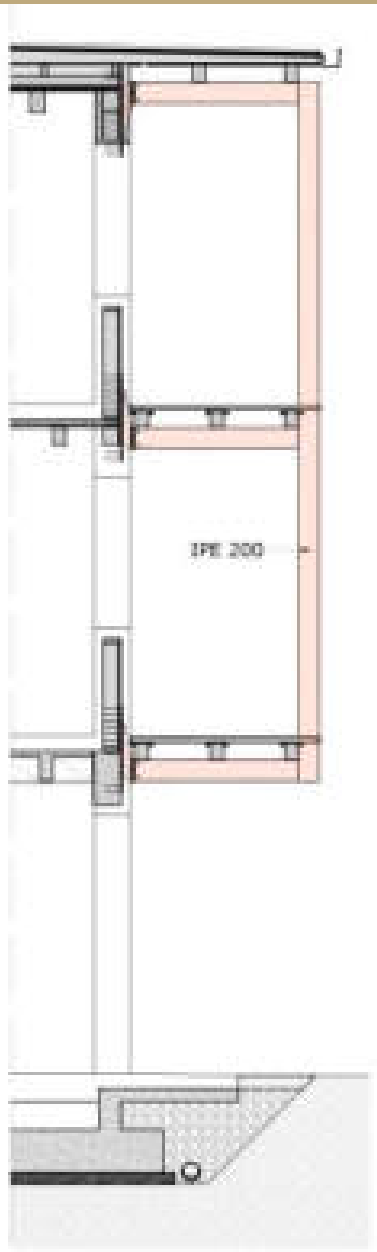
… oppure sovrapporre un altro pannello a sbalzo con orditura ortogonale al solaio

Sbalzi

inserimento di travi in acciaio per sbalzi importanti

Sbalzi

telai di acciaio a sbalzo



Commistione di diverse tecnologie costruttive

- Relazioni con parti strutturali non di legno

L'edificio di legno ha bisogno di fondazioni di calcestruzzo armato oppure può essere il completamento superiore di un edificio in calcestruzzo armato, acciaio o muratura, ovviamente sempre con fondazioni in calcestruzzo armato.

Ad **ogni piano** deve esserci **un solo sistema strutturale** che resiste alle azioni orizzontali.

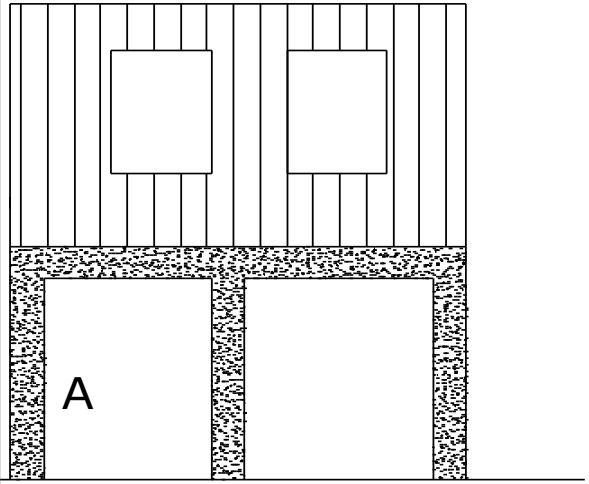
Sistemi strutturali diversi possono coesistere all'interno dello stesso edificio se posti a livelli diversi, oppure allo stesso livello ma solo se la resistenza alle azioni orizzontali viene affidata ad un solo sistema.

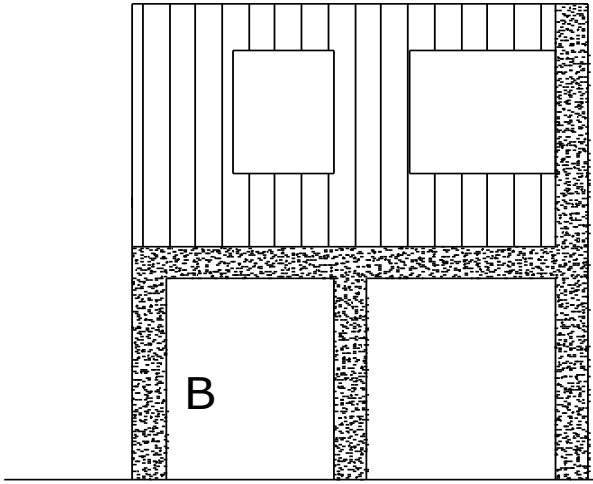
Strutture miste e strutture sovrapposte

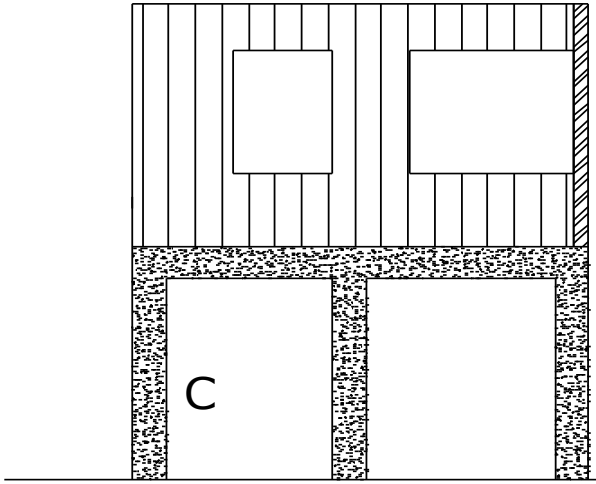
A) Il piano inferiore è di calcestruzzo armato, il piano superiore di legno: **tecnologie costruttive sismoresistenti sovrapposte = la struttura è sovrapposta**

B) Al piano superiore come elementi resistenti alle azioni orizzontali c'è sia calcestruzzo armato che legno: **tecnologie costruttive sismoresistenti allo stesso livello = la struttura è mista**

C) Al piano superiore la struttura di legno è sufficiente a resistere alle azioni orizzontali, il pilastro di acciaio ha rigidezza trascurabile alle azioni orizzontali e si inserisce solo per portare i carichi verticali = **la struttura è sovrapposta**







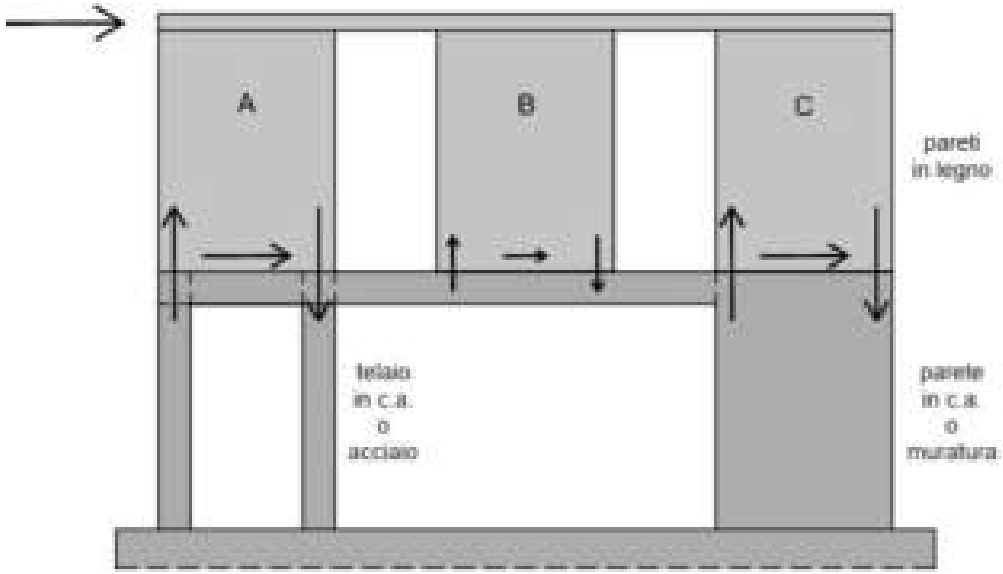
- Strutture miste

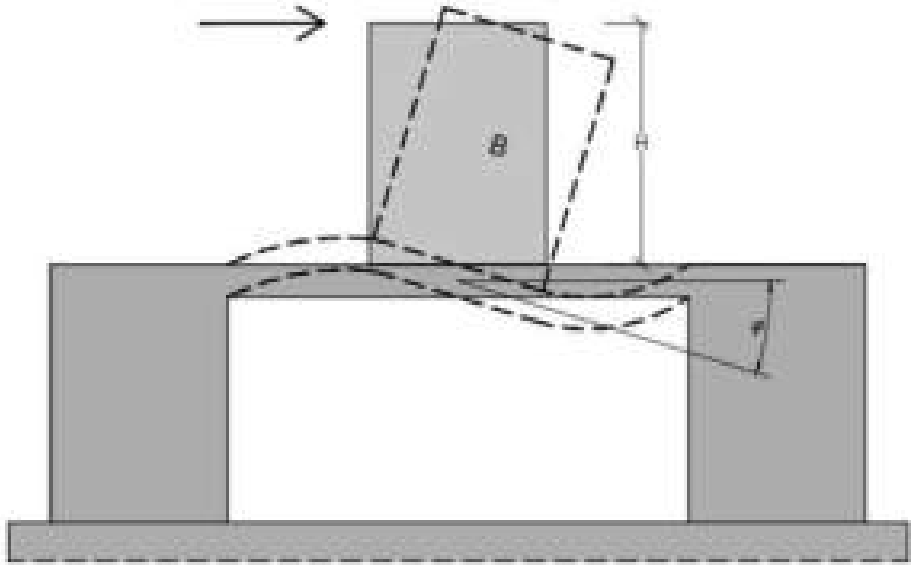
Si richiama anche la Circolare 2019 [2] §C7.7.3 terzo capoverso "*Qualora più tipologie strutturali, anche di materiali diversi, collaborino nella resistenza sismica (sistemi resistenti in parallelo), è possibile computare il contributo di entrambe le tipologie, purché nell'analisi sia adottato il* ***fattore di comportamento con valore minore****."*

E' necessario prestare estrema attenzione alla **corretta modellazione delle strutture sismoresistenti a diversa tecnologia** (ciascuna con l'effettiva rigidezza) e alla realizzazione dei collegamenti tra di esse.

…

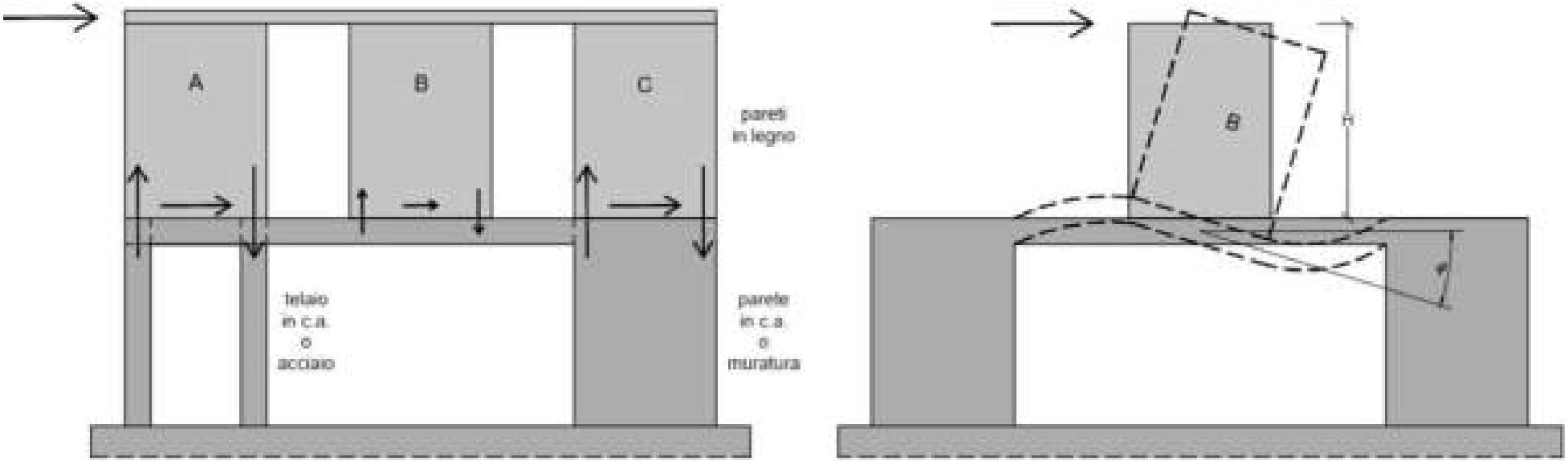
Strutture sovrapposte





Le pareti di legno A e C poggiano su supporti rigidi (pareti in c.a. o muratura, telai in c.a. o acciaio). La parete B poggia su di una trave; la sua deformabilità alle azioni orizzontali è determinata non solo dalla deformabilità dei pannelli e delle unioni ma c'è anche l'importante contributo dato dalla deformabilità alla rotazione della sottostante trave.

Strutture sovrapposte



Particolare attenzione deve essere posta qualora la parete in legno sovrasti trave o telaio in calcestruzzo armato o in acciaio **(parete B)** e quindi **non funzioni come trave-parete**; in questo caso la deformabilità alla rotazione della trave riduce in maniera non trascurabile la rigidezza efficace della parete in legno e quindi la capacità della parete in legno di attirare su di se le azioni orizzontali. **In questo caso l'analisi delle azioni sulla sovrastruttura in legno non può essere eseguita indipendentemente dalla sottostruttura prescindendo quindi dalla deformabilità di quest'ultima.**

Soluzioni costruttive per edifici di legno

- Solaio lamellare "sdraiato"

- Rigonfiamento trasversale

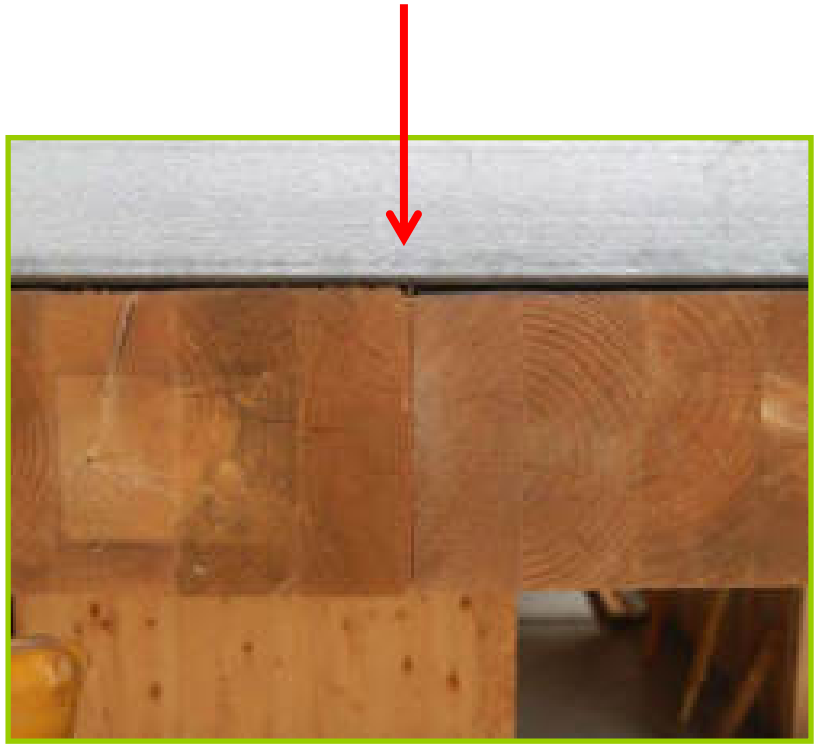
Per ogni punto percentuali di aumento di umidità del legno si ha un rigonfiamento trasversale dello 0,25%.

Ipotesi: legno messo in opera al 10%; l'edificio non viene utilizzato per qualche anno, si formano le condizioni della classe di servizio 2, l'umidità del legno cresce al 16%; il legno ortogonalmente alla fibratura si rigonfia di (16-10)x0,25%= **1,5%** ovvero **un solaio di larghezza 10m si allarga di ulteriori 15cm**.

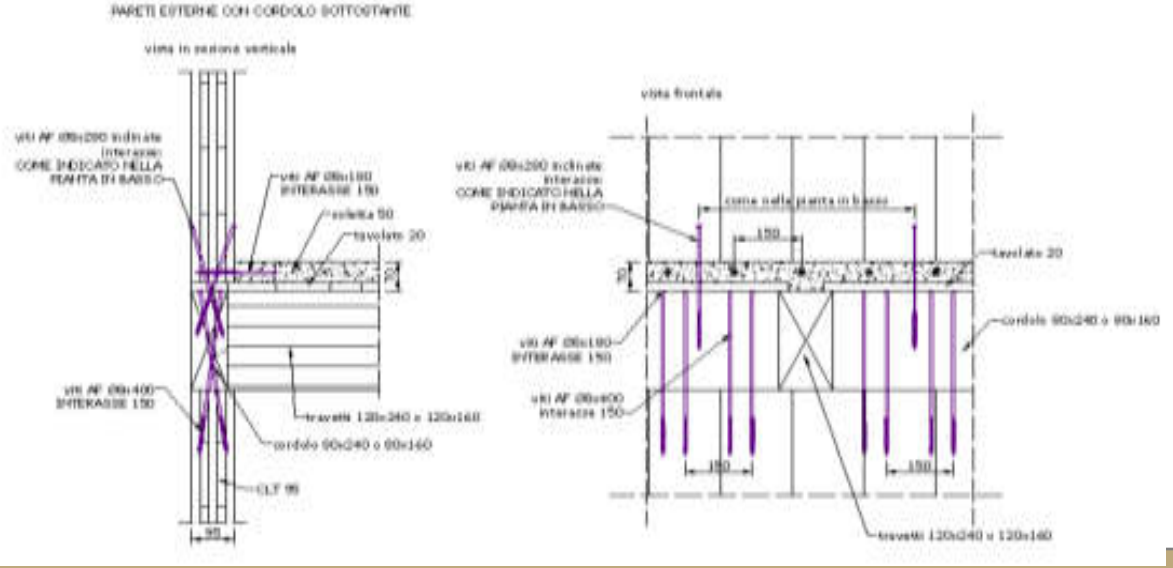
Necessario lasciare una congrua fuga fra i pannelli per consentire il libero rigonfiamento trasversale.

Edificio in Rimini

Rigonfiamento trasversale



Solaio con soletta collaborante

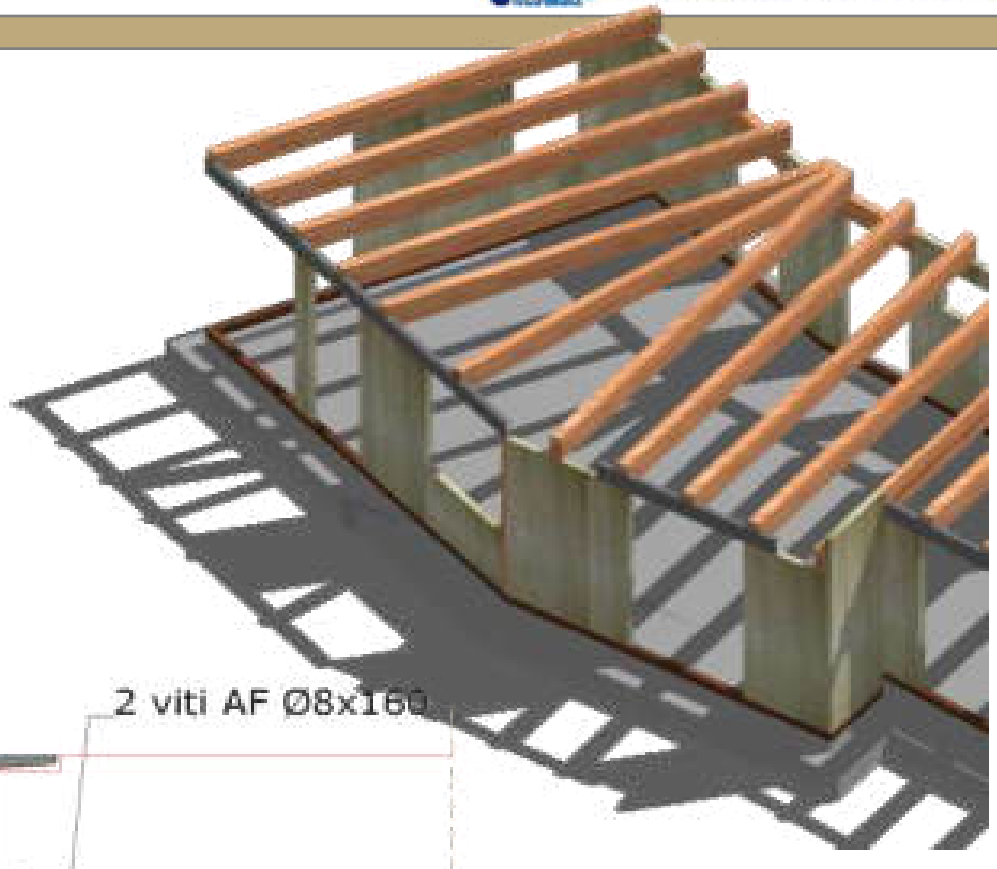


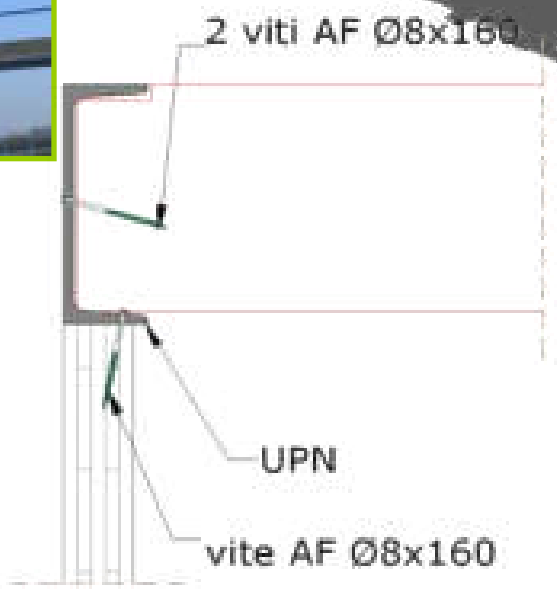
- Solaio xlam o a travetti

Travi in spessore

Architravi in acciaio

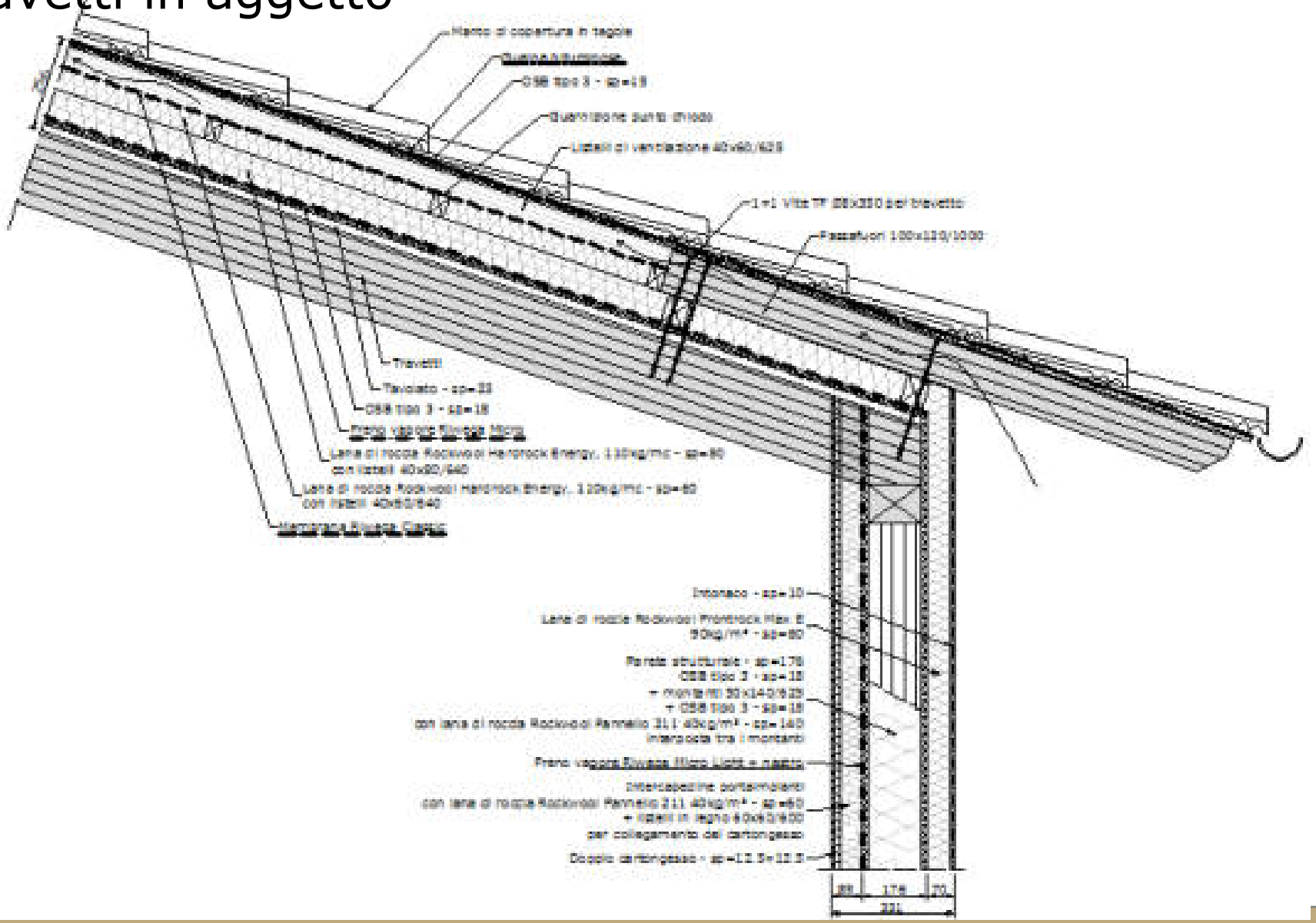
Architravi in acciaio





Soluzioni costruttive

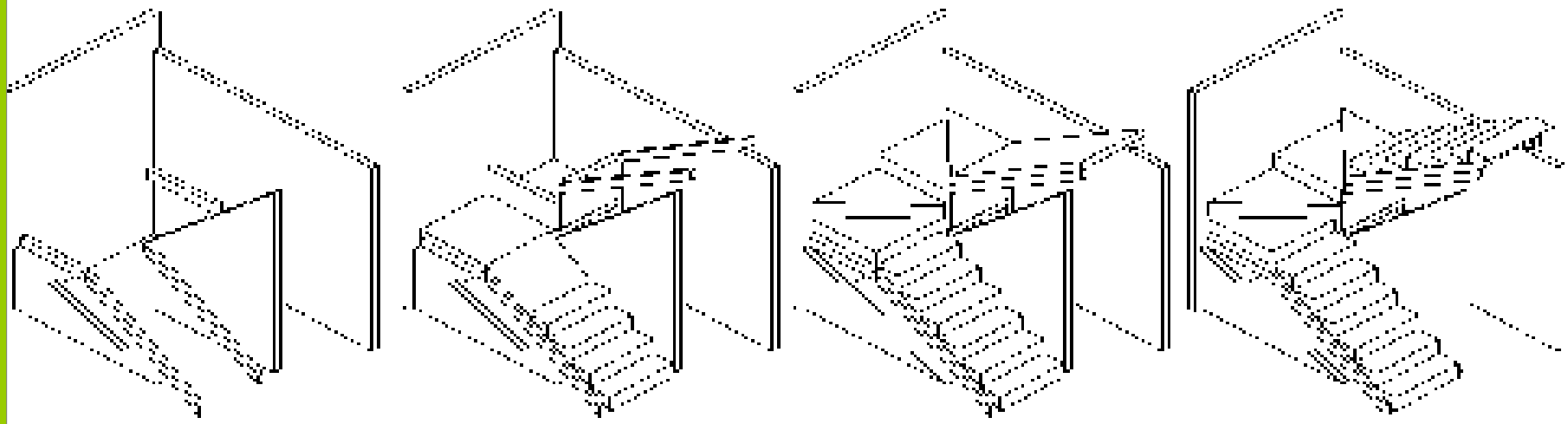
Travetti in aggetto



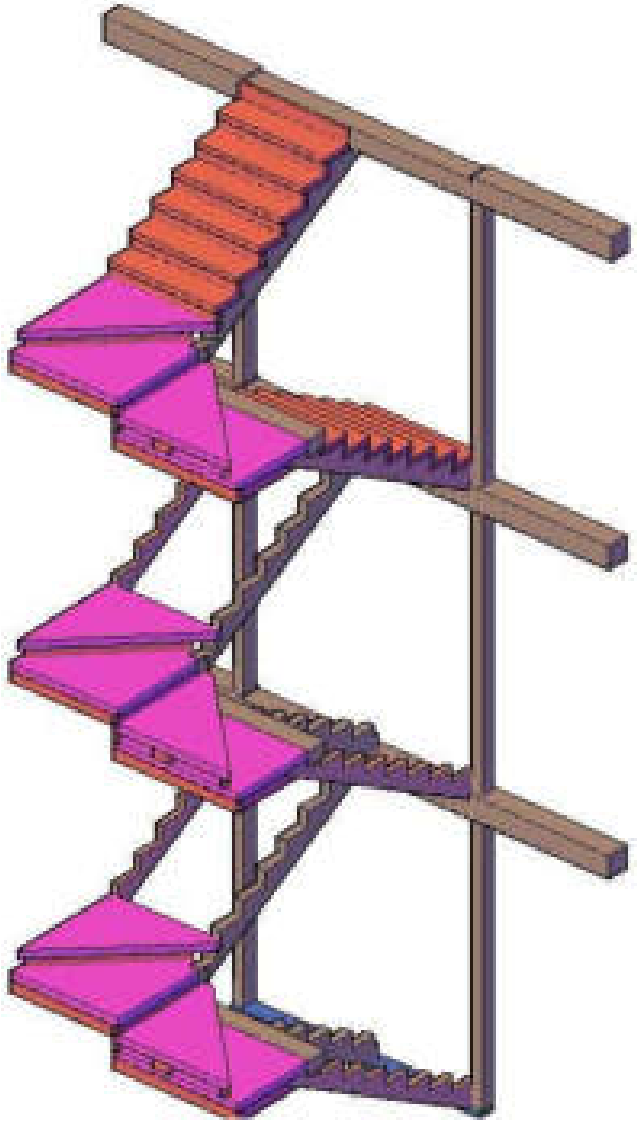
Soluzioni costruttive

Travetti di gronda

Scale su soletta rampante



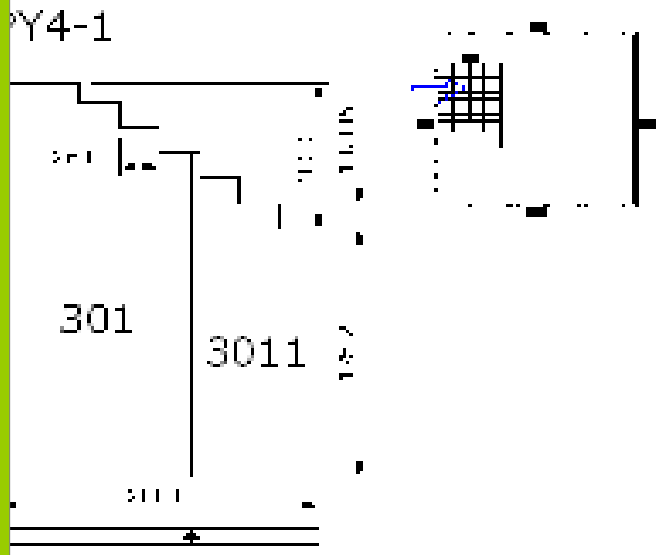
Scale con cosciali e gradini in lamellare

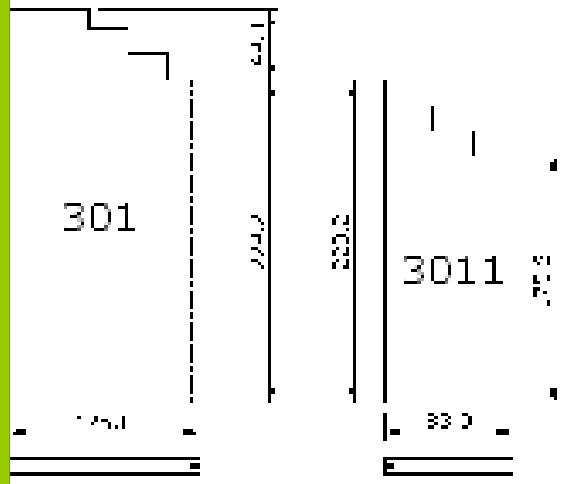


Scale con cosciali e gradini in lamellare

Soluzioni costruttive: Scale

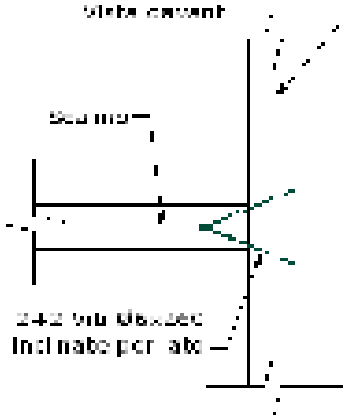
Gradini in luce e lasciati a vista

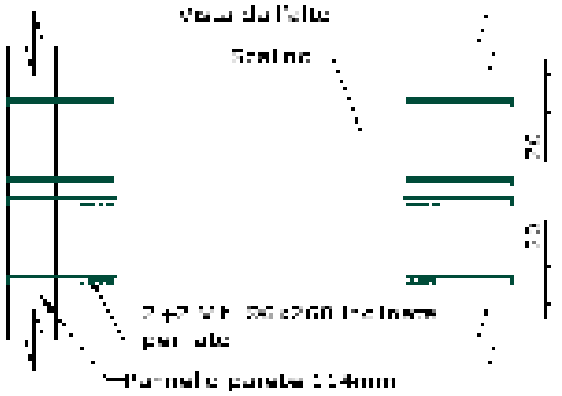




Scala

Fissaggio scala alla parete

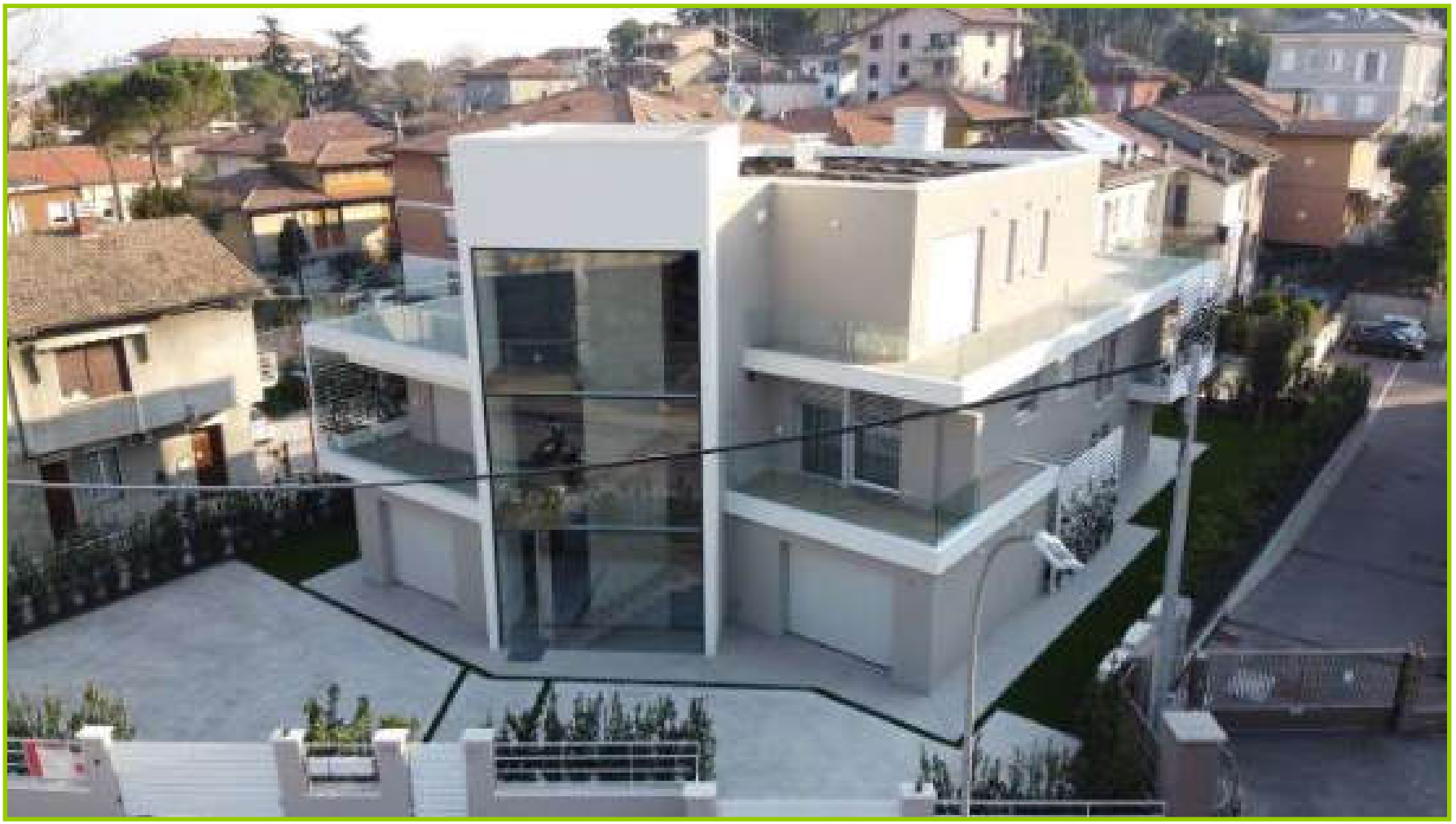




Scale a sbalzo

Scale a sbalzo

Scale a sbalzo

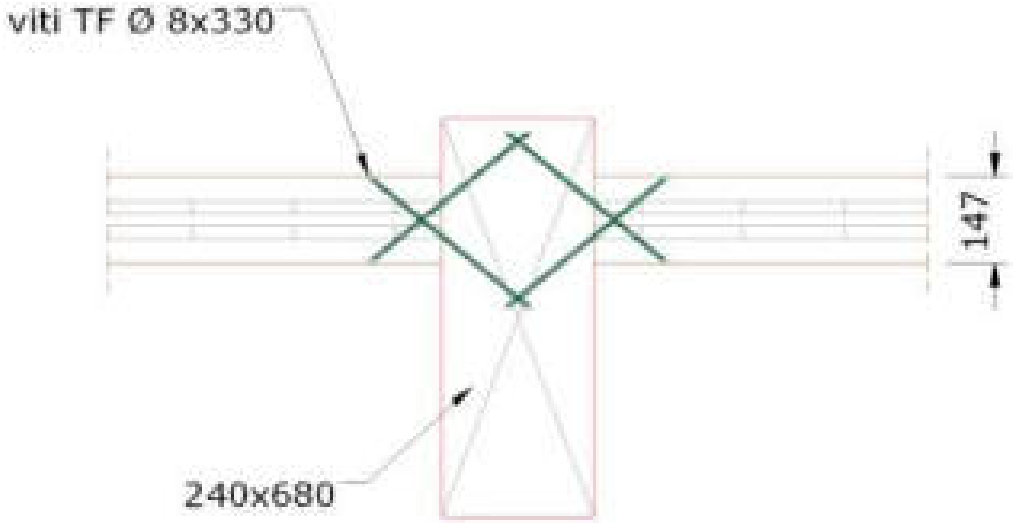


- Scale a sbalzo

Scale a sbalzo

Scale a giorno

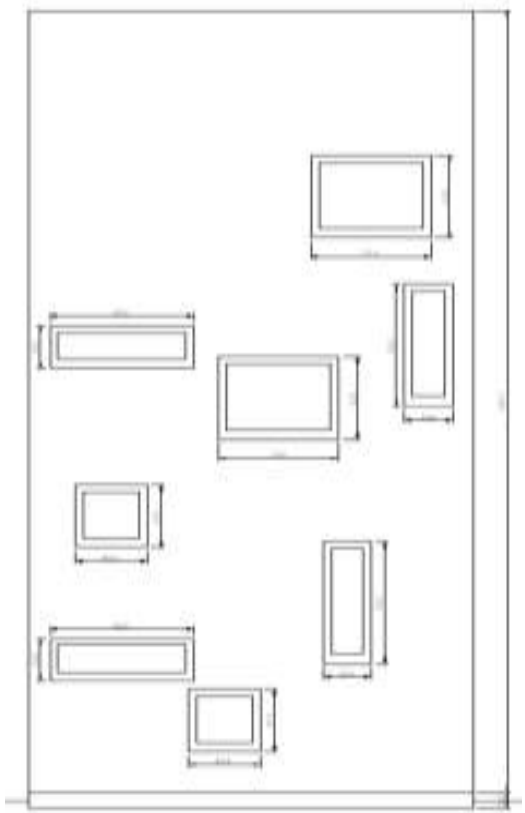
Travi semiestradossate



Soluzioni costruttive

- Lavorazioni pannelli

Lavorazioni pannelli



Lavorazioni pannelli

Lavorazioni travi

Impiantistica e finiture

Finitura interna

Impianti

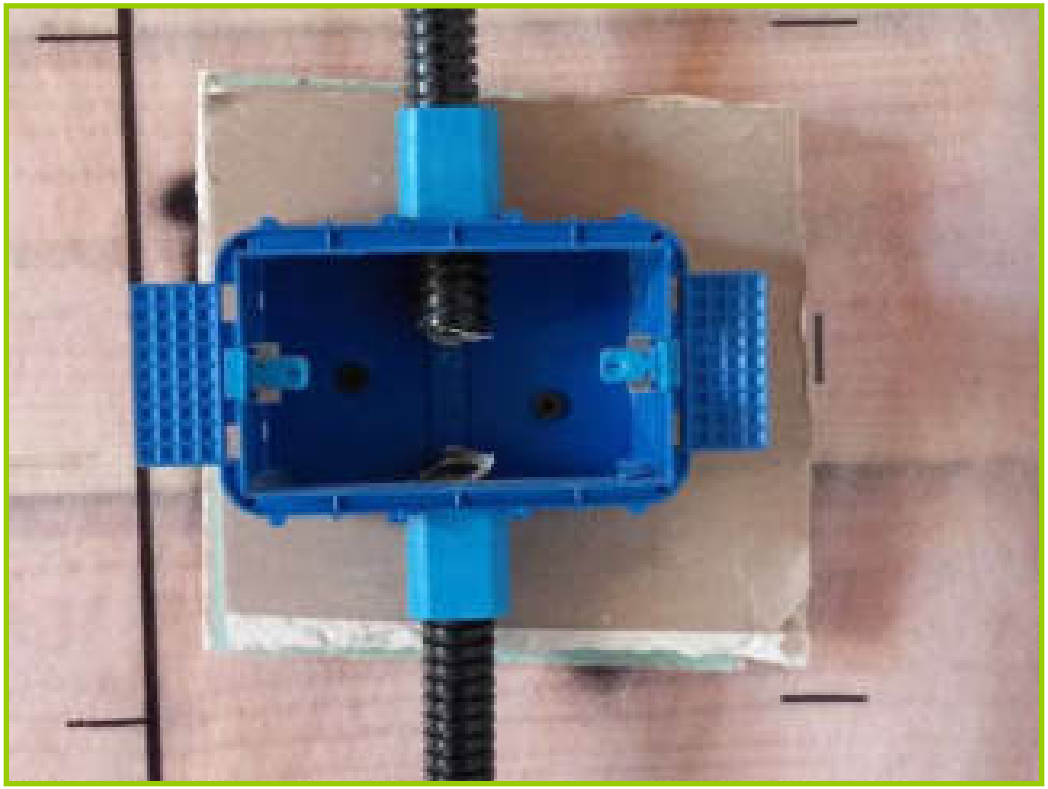
Impianto elettrico:

Edifici in legno = luoghi a maggior rischio incendio di tipo B (norma CEI 64-8)

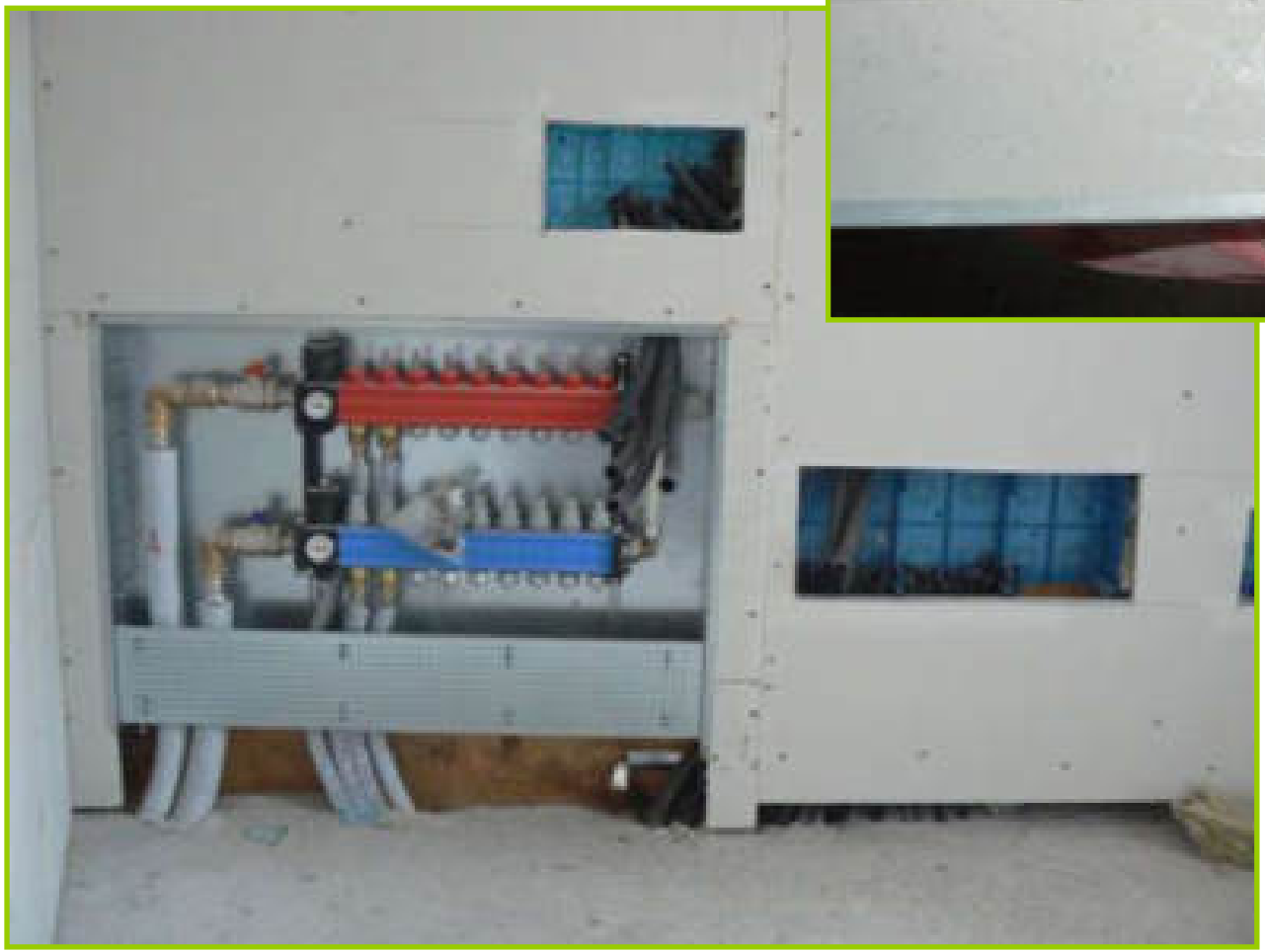
- E' necessario il progetto dell'impianto elettrico da parte di un professionista.
- Il materiale elettrico deve essere idoneo ad essere posato in intercapedini e su materiali infiammabili:
  - Condutture, scatole e cassette almeno IP4x.
  - Le tubazioni devono aver superato la prova del filo incandescente (GWT) a 750°C.
  - Scatole e cassette devono aver superato la prova del filo incandescente a 850°C.
  - Adottando il grado di protezione prescritto per condutture, cassette e canali, non ci sono particolari prescrizioni per i cavi, si possono utilizzare i classici "non propaganti l'incendio" N07V-K.
  - Se le intercapedini ove corrono le condutture sono isolate, la portata dei cavi va ridotta di almeno il 20% a causa della maggiore difficoltà di smaltire il calore.
- Predisporre una opportuna protezione dal rischio fulmine, si consiglia di installare opportuni scaricatori di sovratensione a protezione sia dell'impianto elettrico che impianti di segnale; si consiglia di installare l'impianto parafulmine.
- Sfalsare la posizione delle cassette sui due lati delle pareti per evitare il ponte acustico.
- Ripristinare la tenuta all'aria tappando le tubazioni comunicanti con l'esterno.

Impiantistica e finiture

Impianti



Impianti



Infissi

- Infissi

Seconda parte

La progettazione al fuoco

Obiettivi

- Il principale obiettivo è la **salvaguardia delle vite umane**
- Evitare la propagazione dell'incendio agli edifici vicini
- Limitare i danni materiali
- Proteggere l'ambiente

Misure

- Misure costruttive: **reazione al fuoco, resistenza al fuoco, compartimentazione**, vie di fuga
- Misure tecniche: impianti di rivelazione incendi e sistemi di allarme, impianti di spegnimento, evacuazione di fumo e calore, illuminazione …
- Misure organizzative: formazione e informazione per la conduzione e la gestione dell'emergenza, accessibilità dei VVF

Il legno brucia!

È noto che il legno è un materiale combustibile, questo però non significa che le strutture di legno non possiedano resistenza al fuoco e che siano più vulnerabili rispetto alle strutture di acciaio o di calcestruzzo armato

Incendi anche recenti di edifici importanti o di pregio nei quali erano presenti strutture lignee (Teatro La Fenice a Venezia, Cappella della Sindone a Torino, ecc.) se valutati senza senso critico possono portare alla erronea conclusione che strutture di legno e sicurezza sono difficilmente compatibili tra loro, alimentando così la convinzione che dove c'è legno c'è rischio di incendio

Raramente le strutture di legno contribuiscono in modo sostanziale ad alimentare un incendio ma anzi ne subiscono più spesso le conseguenze, manifestando al riguardo un comportamento almeno non peggiore se non addirittura migliore rispetto a strutture realizzate con altri materiali

- Comportamento del legno nei confronti del fuoco

  - ✓ Il legno brucia lentamente, la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione

  - ✓ Il legno non ancora carbonizzato rimane efficiente dal punto di vista meccanico

  - ✓ la rottura meccanica dell'elemento avviene quando la parte della sezione non ancora carbonizzata è talmente ridotta da non riuscire più ad assolvere alla sua funzione portante

Comportamento del legno nei confronti del fuoco

Pertanto la perdita di efficienza di una struttura di legno avviene per riduzione della sezione e non per decadimento delle caratteristiche meccaniche

Il processo di carbonizzazione può portare alla rottura dell'elemento strutturale in un tempo compreso fra alcuni minuti primi e alcune ore, ciò in dipendenza della specie legnosa ma soprattutto delle dimensioni originarie della sezione

L'acciaio ed il calcestruzzo non bruciano

- Comportamento del legno nei confronti del fuoco

  - ✓ Gli elementi strutturali di acciaio non bruciano ma il materiale subisce un rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche in funzione della temperatura
  - ✓ Nelle costruzioni di calcestruzzo armato la resistenza al fuoco è determinata dallo spessore del rivestimento delle armature metalliche (copriferro)
  - ✓ Nelle strutture di legno i punti deboli sono le unioni che presentano elementi metallici a vista come scarpe, piastre, ecc.; queste, se non protette, sono le prime a cedere durante l'incendio

La **RESISTENZA AL FUOCO**

(D.M.Int. 09/03/2007) "la capacità portante in caso di incendio, per una struttura, per una parte di struttura o per un elemento strutturale nonché la capacità di compartimentazione rispetto all'incendio per gli elementi di separazione sia strutturali, come muri e solai, che non strutturali, come porte e tramezzi":

R — stabilità: attitudine di un elemento da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco;

E — tenuta: attitudine di un elemento da costruzione a non lasciar passare né produrre - se sottoposto all'azione del fuoco su un lato fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;

I — isolamento termico: attitudine di un elemento da costruzione a ridurre, entro un dato limite, la trasmissione del calore.

Si misura in minuti primi (R15, R30, R45, R60, R90, R120, R180, …)

La **REAZIONE AL FUOCO**

Reazione al fuoco: grado di partecipazione all'incendio, maggiore o minore facilità a bruciare

Vecchia classificazione:

0 = non infiammabile (acciaio)
1, 2, 3, 4 = facilmente infiammabile (legno)
5 = estremamente infiammabile (carta)

Nuova classificazione Europea:

0 = A1
1 = A2, B
2 = A2, B, C
3 = C, D

Ad esempio il Celenit N, S ed L3 è "B-S1,d0" che corrisponde alla vecchia classe 1
Il Celenit P3 da 25mm è "C-S2,d0" che corrisponde alla vecchia classe 2
I cartongessi tipo A1 corrispondono alla vecchia classe 0
I cartongessi classe A2 corrispondono alla vecchia classe 1

Il legno da costruzione (massiccio di spessore ≥22mm e lamellare di spessore ≥40mm) è classe "D-S2,d0 che corrisponde alla vecchia classe 3

Normatica antincendio

La Reazione al fuoco è richiesta ai rivestimenti ma non alle strutture quali travi e pilastri.
Alle strutture quali travi e pilastri è richiesta la sola resistenza al fuoco.
(L.C. Min. Int. 09/05/1989)

I **pannelli** ed i **perlinati** però sono struttura ma non travi e pilastri (sono anche rivestimento), pertanto essi devono soddisfare sia il requisito di **resistenza** che quello di **reazione**.

Scuole di tutti i tipi:

Negli atrii, nei corridoi, nei disimpegni, nelle scale, nelle rampe, nei passaggi in genere, è consentito l'impiego di materiali di classe 1 in ragione del 50% massimo della loro superficie totale.

Per le restanti parti debbono essere impiegati materiali di classe 0.

In tutti gli altri ambienti è consentito che le pavimentazioni compresi i relativi rivestimenti siano di classe 2 e che gli altri materiali di rivestimento siano di classe 1; oppure di classe 2 se in presenza di impianti di spegnimento automatico asserviti ad impianti di rivelazione incendi.

- Per le strutture di legno:

Il requisito di resistenza al fuoco per le strutture è limitato alla sola stabilità R; esso corrisponde al tempo che trascorre dall'inizio dell'incendio al crollo della struttura ed è espresso in minuti primi

L.C. Min. Int. 9/5/89

Il requisito di reazione al fuoco non è richiesto per gli elementi strutturali quali travi e pilastri

DM 3 agosto 2015 Norme tecniche di prevenzione incendi

… non è richiesta la verifica dei requisiti di reazione al fuoco … elementi strutturali portanti per i quali sia già richiesta la verifica di resistenza al fuoco (L.C. Min. Int. 9/5/89)

Asilo comunale
Castiglion Fibocchi (AR)

Valutazione della resistenza al fuoco

CALCOLI (metodo analitico)

Nel calcolo analitico della resistenza al fuoco le ipotesi di base sono (EN 1995-1-2 metodo della sezione residua rettangolare):

- ✓ La carbonizzazione procede perpendicolarmente alle superfici esposte con velocità costante;
- ✓ Il legno conserva inalterate le proprietà di resistenza e rigidezza nella parte non ancora combusta;
- ✓ La valutazione della capacità portante viene fatta sulla sezione resistente residua trascurando l'arrotondamento degli spigoli.
- ✓ Il calcolo viene eseguito allo stato limite ultimo di collasso utilizzando quindi le tensioni di rottura

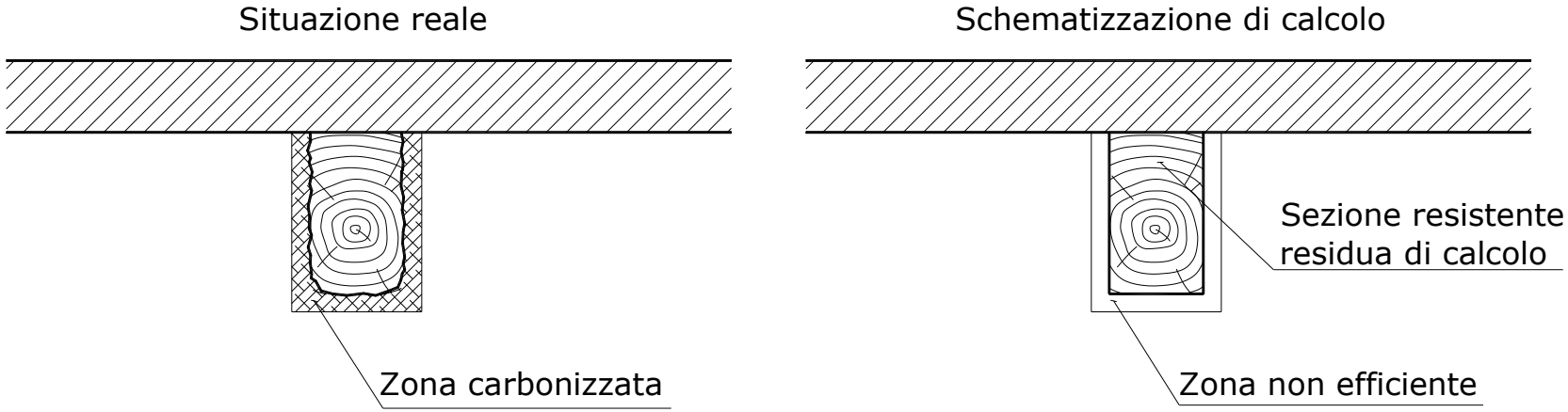
- Valutazione della resistenza al fuoco

CALCOLO

Il metodo analitico si basa su valori di calcolo noti; tali valori sono la velocità di carbonizzazione e la resistenza meccanica, essendo il calcolo da eseguirsi allo stato limite ultimo di collasso

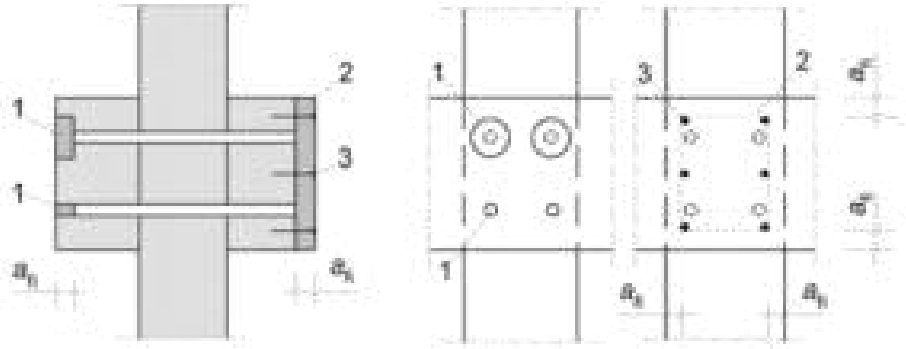
Valutazione della resistenza al fuoco

Dopo R minuti di incendio



Protezione delle unioni

L'Eurocodice 5 fornisce indicazioni e metodi di calcolo per valutare la resistenza al fuoco di un collegamento protetto.



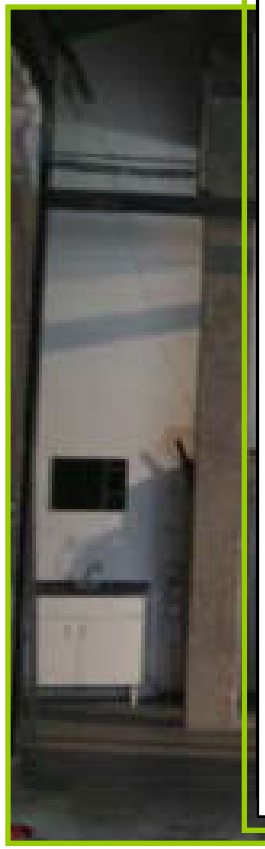
Key:
1 Glued-in plugs
2 Additional protection using panels
3 Fastener fixing panels providing additional protection

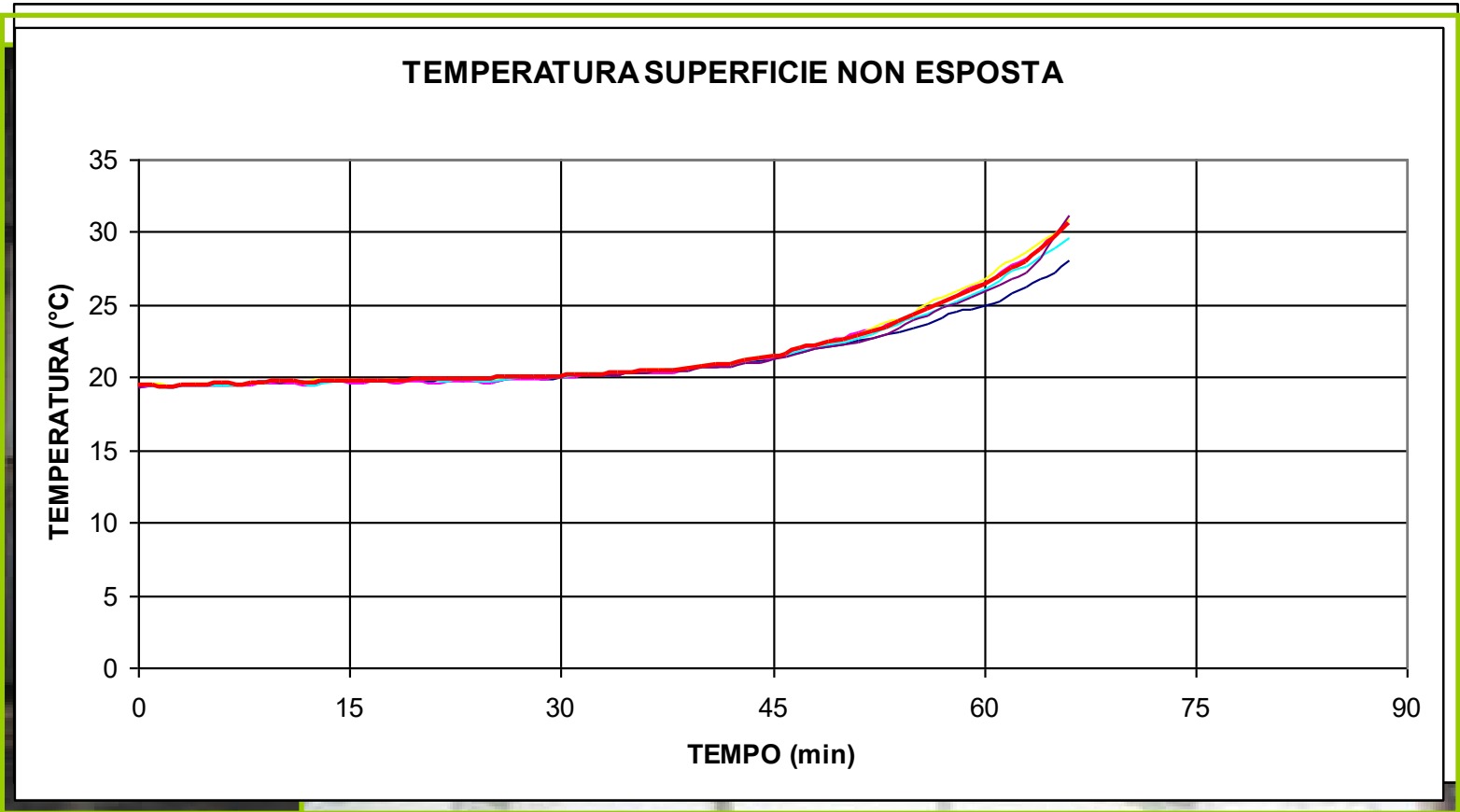
Figure 6.2 — Examples of additional protection from glued-in plugs or from wood-based panels or gypsum plasterboard (the protection of edges of side and middle members is not shown)

Protezione delle unioni

- Protezione delle unioni

- Pannello di compensato di tavole da 85mm, prova di resistenza al fuoco di 1 ora





Prova su forno verticale **Laboratorio Prove al fuoco – Dott.ssa Bochicchio**

IVALSA

Progettazione al fuoco: sperimentazione

progettosofie

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

IVALSA

Tsukuba, Marzo 2007

Incendio in edificio xlam

Giuseppe Moschi

Incendio di tetto

Foto Claudio Leoni

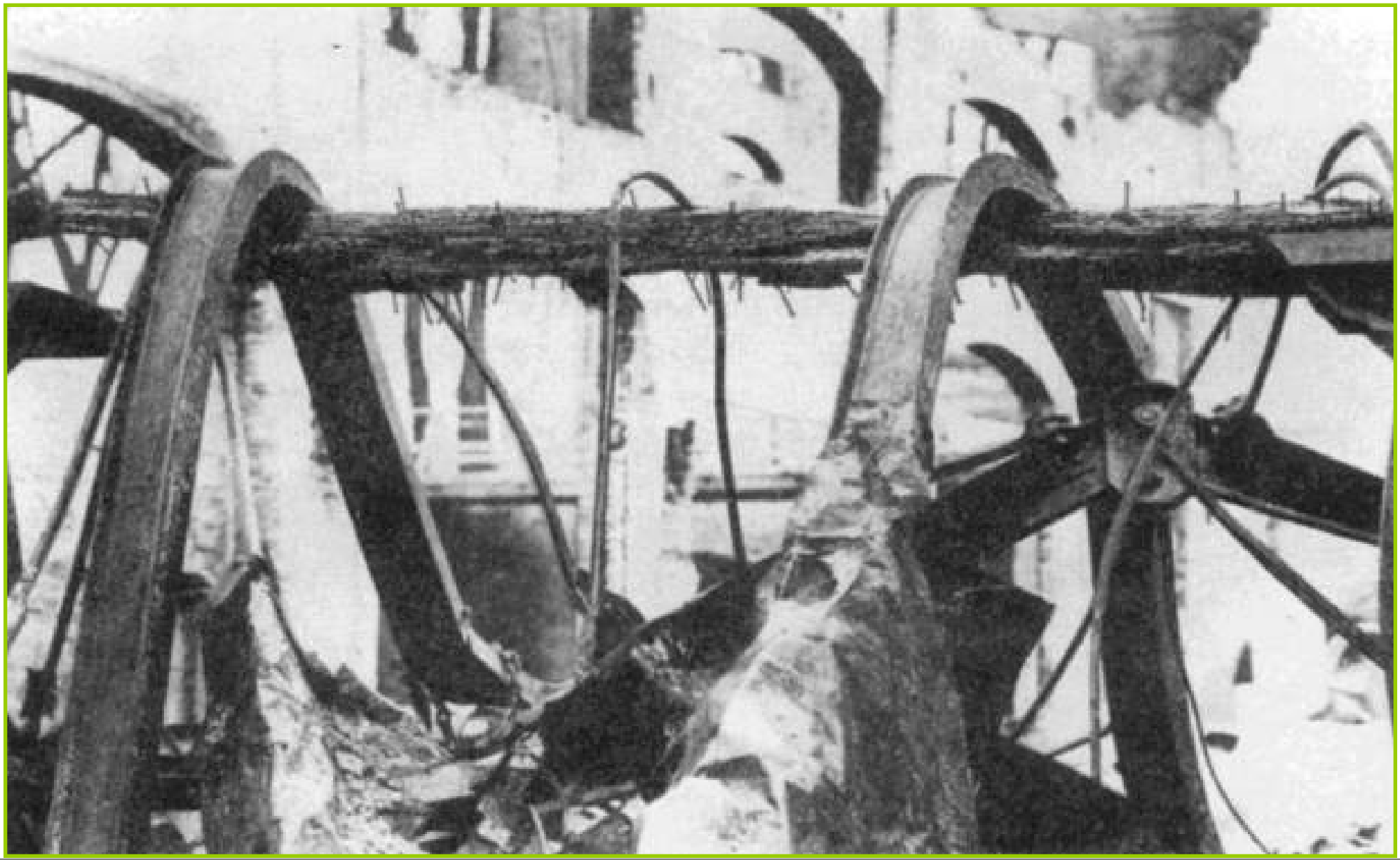
Incendio di tetto

- Canna fumaria

Foto Giordano Medici

Canna fumaria

Foto Giordano Medici



Terza parte

Riparazione delle strutture antiche e moderne

Esempio di verifica statica su una copertura

ARCARECCI							
		Sezione resistente residua			Verifiche		
Locale	Elemento	Base [mm]	Altezza [mm]	Classe di qualità	Flessione $\sigma_{m,d}/ f_{m,d}$	Taglio $\tau_d/ f_{v,d}$	Freccia u_d/ u_{amm}
G	T36	160	235	S2	1,15	0,44	0,61
G	T37	165	245	S1	0,84	0,37	0,49
G	T38	160	240	S1	1,25	0,44	0,75
G	T39	155	235	S2	1,39	0,48	0,74
G	T40	160	250	S2	0,85	0,37	0,47
G	T41	145	210	S2	1,56	0,53	0,94
G	T42	160	240	S1	0,97	0,40	0,57
G	T43	160	240	S2	1,16	0,44	0,61

Indicazioni normative

COSTRUZIONI ESISTENTI

C8.5.1 ANALISI STORICO-CRITICA

La conoscenza della storia di un fabbricato è elemento indispensabile, sia per la valutazione della sicurezza attuale, sia per la definizione degli interventi e la previsione della loro efficacia.

L'analisi storica deve essere finalizzata a comprendere le vicende costruttive, i dissesti, i fenomeni di degrado, i cimenti subiti dall'edificio e, particolarmente frequenti nelle costruzioni in muratura, le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario. In tal senso l'indagine storica diventa indagine critica e fonte, per eccellenza, di documentazione e conoscenza finalizzate all'interpretazione del comportamento strutturale.

L'analisi inizia con il reperire tutti i documenti disponibili sulle origini del fabbricato quali, ad esempio, elaborati e relazioni progettuali della prima realizzazione della costruzione e di eventuali successivi interventi, elaborati e rilievi già prodotti, eventuali relazioni di collaudo e riguarda:

- l'epoca di costruzione;
- le tecniche, le regole costruttive e, se esistenti, le norme tecniche dell'epoca di costruzione;
- la forma originaria e le successive modifiche;
- i traumi subiti e le alterazioni delle condizioni al contorno;
- le deformazioni, i dissesti e i quadri fessurativi, con indicazioni, ove possibile, della loro evoluzione nel tempo;
- gli interventi di consolidamento pregressi;
- gli aspetti urbanistici e storici che hanno regolato lo sviluppo dell'aggregato edilizio di cui l'edificio è parte.

Risulta, in generale, utile anche la conoscenza delle patologie o delle carenze costruttive evidenziate da edifici simili per tipologia ed epoca di costruzione.

In definitiva, questa fase deve permettere di interpretare la condizione attuale dell'edificio come risultato di una serie di vicende statiche e di trasformazioni che si sono sovrapposte nel tempo.

Indicazioni normative

NTC18

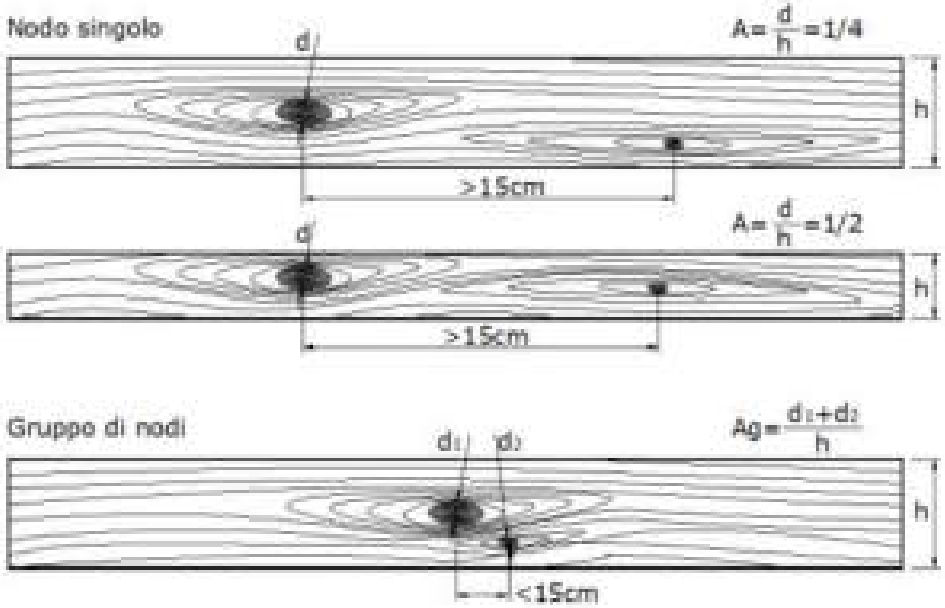
C8.5.2 RILIEVO

C8.5.2.3 COSTRUZIONI DI LEGNO

Per costruzioni di legno si intendono sia opere realizzate interamente con struttura lignea, sia elementi costruttivi all'interno di costruzioni caratterizzate da altre tipologie strutturali.

Il rilievo geometrico riguarda le membrature, la disposizione degli elementi nella struttura e i collegamenti (di carpenteria o meccanici); deve essere accuratamente rilevata la morfologia delle membrature, con le variazioni di forma della sezione e i difetti del materiale, in quanto elementi fondamentali per la quantificazione della capacità portante.

Per la comprensione dei fenomeni di dissesto, attenzione deve essere rivolta al rilievo delle deformazioni delle singole membrature e della struttura, distinguendo, ove possibile, lo stato deformativo derivante dalle azioni applicate da quello proprio del materiale, causato ad esempio da difettosità anatomiche, di taglio o di lavorazione. A tale scopo devono essere identificate le zone deteriorate, con particolare riferimento alle unioni tra elementi lignei o ai collegamenti di interfaccia tra membrature lignee e altri materiali (ad esempio muratura) o altre parti della costruzione (ad esempio fondazioni).



C8.5.3 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

C8.5.3.3 COSTRUZIONI DI LEGNO

L'esame degli elementi costruttivi prevede indagini volte alla conoscenza del materiale, in particolare nei riguardi della specie, dello stato di conservazione e delle caratteristiche meccaniche.

Riguardo alla caratterizzazione del materiale, per l'identificazione della specie legnosa si può fare riferimento alla norma UNI 11118 e, per la valutazione dello stato di conservazione e del profilo resistente degli elementi in opera, alla norma UNI 11119. Date le incertezze delle conoscenze, qualora si ricorra a metodi indiretti di prova, è opportuno confrontare le misure ottenute con metodi diversi, tenendo presente che la variabilità dei singoli parametri è in genere ampia.

Occorre identificare l'eventuale degrado materico di tipo biotico, anche in relazione alle condizioni ambientali di conservazione. Particolare attenzione deve quindi essere rivolta all'analisi del microclima nell'intorno di un elemento ligneo o di una sua parte che si è instaurato in particolari condizioni di posa in opera (ad esempio testate di travi e capriate inserite nella muratura o elementi nascosti da controsoffitti, elementi lignei che appoggiano in fondazione).

Indicazioni normative

Si possono distinguere, in relazione al loro grado di approfondimento, tre livelli di prova.

Prove limitate: si tratta di indagini basate principalmente su esami visivi delle superfici, che comprendano almeno tre facce e una testata di ogni elemento dell'orditura primaria e secondaria e che prevedano limitati controlli degli elementi costruttivi e delle connessioni; sono previste rimozioni locali dello strato di protezione per procedere a una valutazione dello stato di conservazione, ad esempio in accordo alla norma UNI 11119.

Prove estese: si tratta di indagini visive diffuse sulle superfici degli elementi, accompagnate da alcuni controlli strumentali a supporto, nonché sulle condizioni dei collegamenti. Sono previste rimozioni locali dello strato di protezione per procedere a una valutazione dello stato di conservazione, ad esempio in accordo alla norma UNI 11119. Come controlli strumentali, sono almeno da prevedere alcuni controlli dell'umidità del materiale in zone specificatamente individuate come particolarmente sensibili.

Prove esaustive: si tratta di indagini visive diffuse e sistematiche, accompagnate da approfondimenti strumentali, eventualmente di tipo resistografico. Si prevedono analisi per l'identificazione della specie, la misura dell'umidità nel materiale e nelle zone di interfaccia con materiali diversi e l'analisi dei collegamenti, con valutazione dei fenomeni di degrado degli elementi di connessione. Tali analisi possono anche richiedere attività di laboratorio. È opportuno l'impiego di tecniche non distruttive o parzialmente invasive per valutare le caratteristiche meccaniche del materiale o individuare zone degradate al di sotto della superficie.

Indicazioni normative

C8.5.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

NTC18

LC1: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e ***indagini limitate*** sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, ***prove limitate*** sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1,35** (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è **LC2** solo a causa di una non estesa conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione);

LC2: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato , con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e ***indagini estese*** sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, ***prove estese*** sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1,2** (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è **LC3** solo a causa di una non esaustiva conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione);

LC3: si intende raggiunto quando siano stati effettuati l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato , come descritta al § C8.5.1, il rilievo geometrico, completo ed accurato in ogni sua parte, e ***indagini esaustive*** sui dettagli costruttivi, come descritto al § C8.5.2,***prove esaustive*** sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, come indicato al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1** (da applicarsi limitatamente ai valori di quei parametri per i quali sono state eseguite le prove e le indagini su citate, mentre per gli altri parametri meccanici il valore di **FC** è definito coerentemente con le corrispondenti prove limitate o estese eseguite).

C8.5.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

C8.5.4.3 COSTRUZIONI DI LEGNO

Per le costruzioni di legno, fermo restando quanto indicato nel § 8.5 delle NTC, stante la possibile variabilità del materiale soprattutto nel costruito storico, è opportuno estendere, ove possibile ed in relazione ai livelli di conoscenza che si intende raggiungere, l'indagine ai singoli elementi, soprattutto per valutare il degrado biotico e abiotico. E' inoltre opportuno verificare le condizioni delle estremità delle membrature (o di struttura lignea), in particolare quando a contatto con altro materiale.

LC3 – FC=1

Indagini diagnostiche

NORMA ITALIANA

Beni culturali
Manufatti lignei
Strutture portanti degli edifici - Ispezione *in situ* per la diagnosi degli elementi in opera

UNI 11119

LUGLIO 2004

Cultural heritage
Wooden artefacts
Load-bearing structures - On site inspections for the diagnosis of timber members

CLASSIFICAZIONE ICS: 91.080.20

SOMMARIO: La norma stabilisce obiettivi, procedure e requisiti per la diagnosi dello stato di conservazione e la stima della resistenza e della rigidezza di elementi lignei in opera nelle strutture portanti di edifici compresi nell'ambito dei beni culturali, attraverso l'esecuzione di ispezioni *in situ* e l'impiego di tecniche e metodologie di prova non distruttive.

RELAZIONI NAZIONALI:

RELAZIONI INTERNAZIONALI:

ORGANO COMPETENTE: Commissione "Beni culturali - NORMAL"

RATIFICA: Presidente dell'UNI, delibera dell'8 giugno 2004

INDICE

1		SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	1
2		RIFERIMENTI NORMATIVI	1
3		DEFINIZIONI	1
4		OBIETTIVI DELL'ISPEZIONE	2
5		CONDIZIONI PRELIMINARI PER L'ESECUZIONE DELL'ISPEZIONE	3
6		LIMITAZIONI APPLICATIVE	3
6.1		Elementi di legno lamellare incollato	3
6.2		Elementi decorati o rivestiti	3
7		PROCEDIMENTO PER L'ESECUZIONE DELL'ISPEZIONE	3
7.1		Identificazione della specie legnosa	3
7.2		Determinazione dell'umidità del legno	3
7.3		Determinazione delle condizioni ambientali e della classe di rischio biologico	3
7.4		Descrizione generale e rilievo geometrico	3
7.5		Classificazione secondo la resistenza	4
	prospetto 1	Regole di classificazione per elementi strutturali lignei in opera	5
	prospetto 2	Modalità di misurazione delle caratteristiche quantificabili sugli elementi strutturali lignei in opera	5
7.6		Modalità operative diverse	6
8		RESOCONTO DI ISPEZIONE	6
APPENDICE A (informativa)		TENSIONI E MODULI DI ELASTICITÀ PER LE CATEGORIE IN OPERA	8
	prospetto 3	Tensioni massime per l'applicazione del metodo delle tensioni ammissibili e moduli medi di elasticità a flessione, per le categorie in opera delle principali specie legnose, applicabili per umidità del legno = 12%	8
		BIBLIOGRAFIA	9

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 17121

September 2019

ICS 91.080.20; 97.195

English Version

Conservation of cultural heritage - Historic timber structures - Guidelines for the on-site assessment of load-bearing timber structures

Conservation du patrimoine culturel - Structures en bois du patrimoine - Lignes directrices relatives à l'évaluation sur site des structures porteuses en bois

Erhaltung des kulturellen Erbes - Historische Holzkonstruktionen - Leitlinien für die Bewertung vor Ort von tragenden Holzkonstruktionen

This European Standard was approved by CEN on 1 July 2019.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN-CENELEC Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.

Contents

Page

European foreword 3
Introduction 4
1 Scope 5
2 Normative references 5
3 Terms and definitions 5
4 Assessment procedure 8
4.1 General 8
4.2 Preliminary assessment 9
4.3 Desk study 11
4.4 Historical analysis 11
4.5 Preliminary visual survey 12
4.6 Measured survey 12
4.7 Structural analysis 13
4.8 Preliminary report 14
5 Detailed survey 15
5.1 Overview 15
5.2 General 15
5.3 Identification of wood species 16
5.4 Estimating wood moisture content and moisture gradients 16
5.5 Characterization of biological damage 16
5.6 Strength assessment of timber 17
5.7 Wood dating 18
5.8 Detailed survey of timber joints 19
5.9 Detailed structural analysis 20
Annex A (informative): Tools for non-destructive analyses on timber structures 21
Bibliography 27

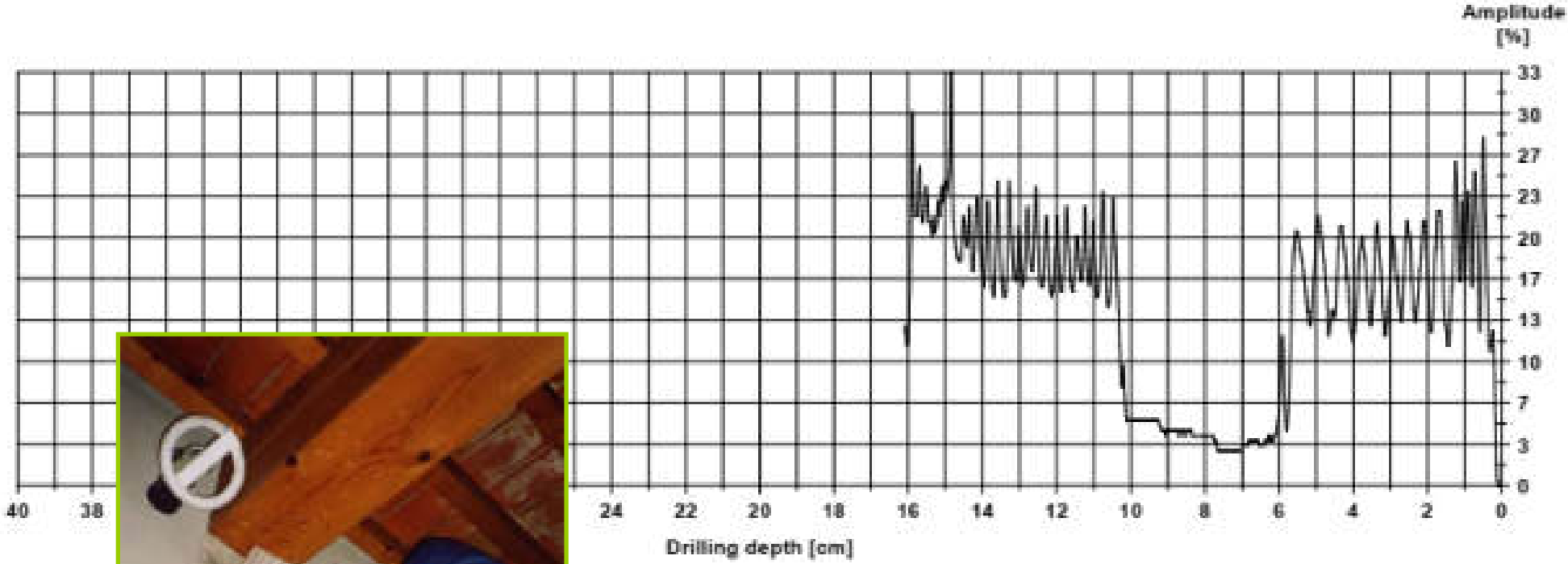
- Indagini diagnostiche:
  - Ispezione visiva
  - Rilievo geometrico
  - Classificazione
  - Indagini strumentali

Dottore Forestale Mario Moschi
Tecnologo del Legno

Indagini diagnostiche – ispezione visiva

Indagini diagnostiche – ispezione visiva

Indagini diagnostiche - Indagini resistografiche



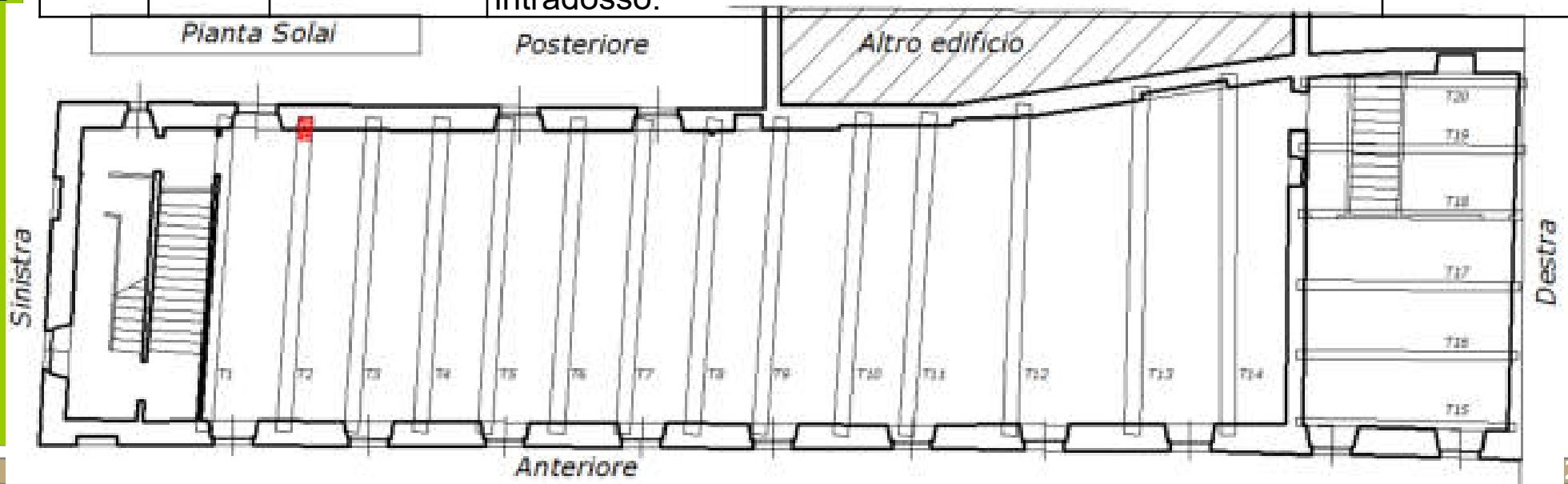
Indagini diagnostiche - Misura dell'umidità del legno

L'umidità del legno si può misurare in cantiere per mezzo degli igrometri elettrici, apparecchi che misurano la resistenza elettrica fra due elettrodi (chiodi) infissi nel legno la quale è correlata con l'umidità del legno.

Indagini diagnostiche - Misura dell'umidità del legno

- Indagini diagnostiche:
  - Ispezione visiva
  - Indagini strumentali

Elem.	*Sez (cm)*	*Sez. residua (cm)*	*Descrizione e stato di conservazione*	*Classe (UNI 11035)*
T1	40x34	40x34	Buono stato di conservazione	S2
T2	44x35	44x35	Degrado da carie all'appoggio posteriore sul 50% della sezione esteso in luce per cm 30.	S2
T3	45x38	43x38	Piccolo distacco in intradosso in luce. Buono stato di conservazione.	S3
T4	41x36	26x36	Fessurazione secante lo spigolo inferiore in luce.	S3
T5	42x35	42x35	Buono stato di conservazione	S2
T6	41x36	41x36	Buono stato di conservazione	S1
T7	43x36	43x36	Buono stato di conservazione	S3
T8	41x34	40x33	Degrado superficiale da insetti sulle facce sx dx e intradosso.	S3



Durabilità – Ispezionabilità e diagnosi

Coperture controsoffitate

Criteri di intervento

Indicazioni normative

8.7.4. CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

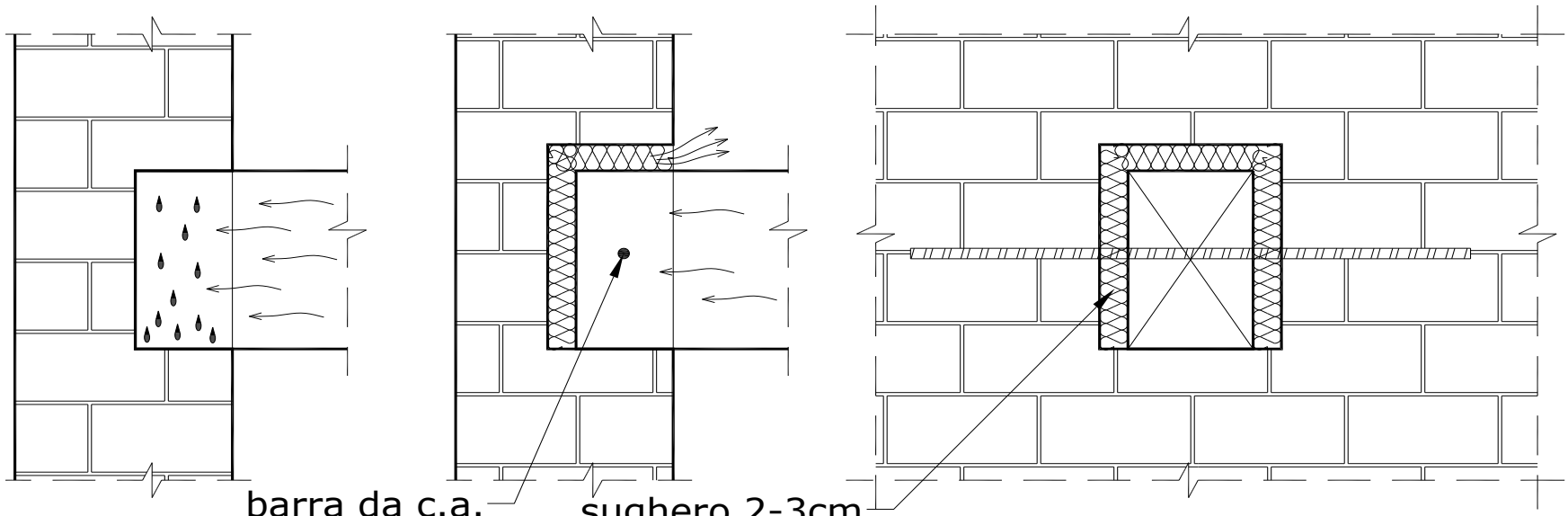
In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- riparazione di eventuali danni presenti;
- riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani;
- miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di singoli elementi;
- riduzione delle condizioni, anche legate alla presenza di elementi non strutturali, che determinano situazioni di forte irregolarità, sia planimetrica sia altimetrica, degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidezza;
- riduzione delle masse, anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso;
- riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi d'isolamento o di dissipazione di energia;
- riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti, sia nel loro piano che ortogonalmente ad esso;
- miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali, alla struttura e tra loro;
- incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali;
- realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli eventuali urti;
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario.

Per le strutture in muratura, inoltre, dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento dei collegamenti tra orizzontamenti e pareti, tra copertura e pareti, tra pareti confluenti in martelli murari o angolate;
- riduzione ed eliminazione delle spinte non contrastate di coperture, archi e volte;
- rafforzamento delle pareti intorno alle aperture.

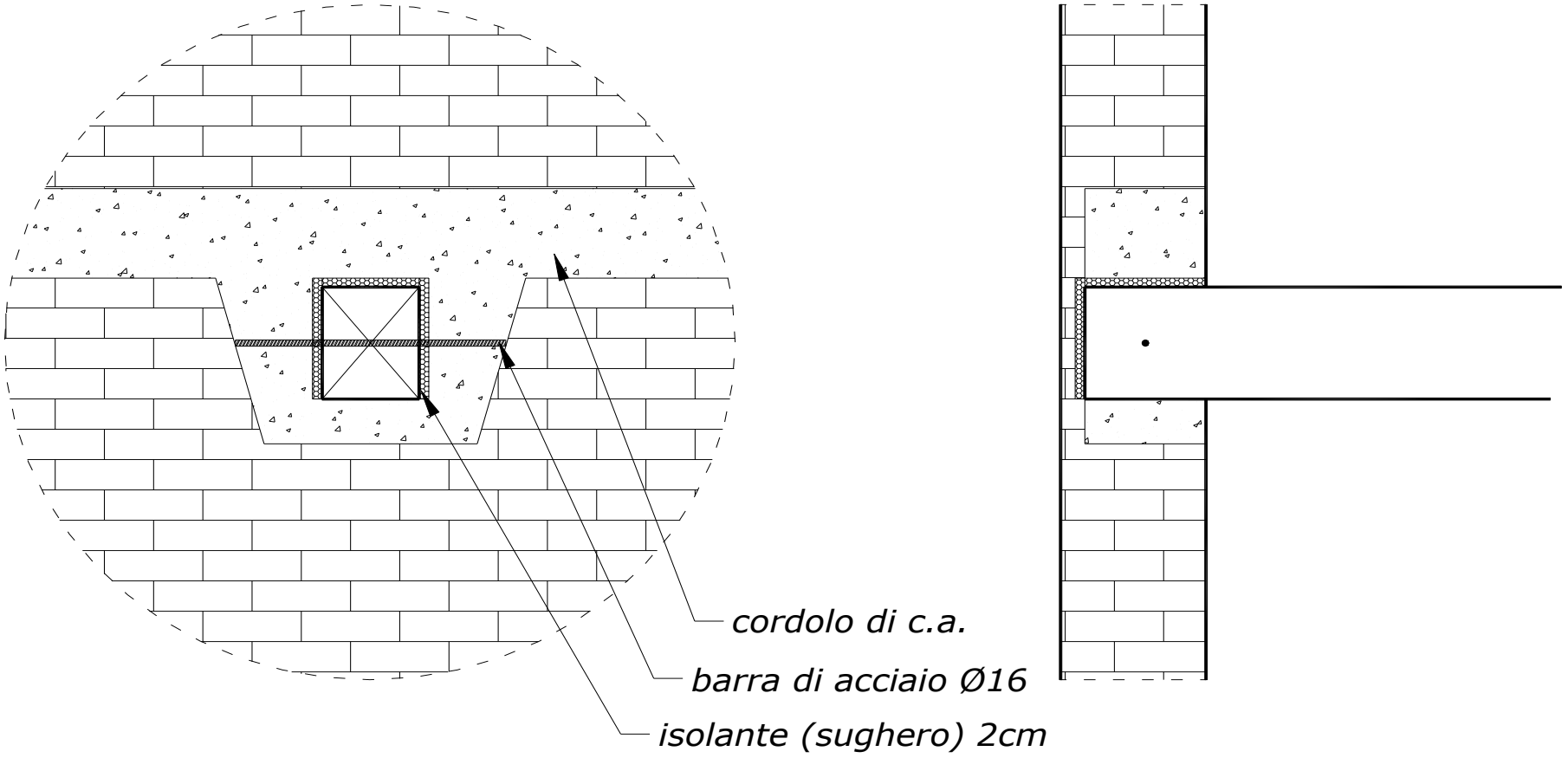
Condensa ai ponti termici



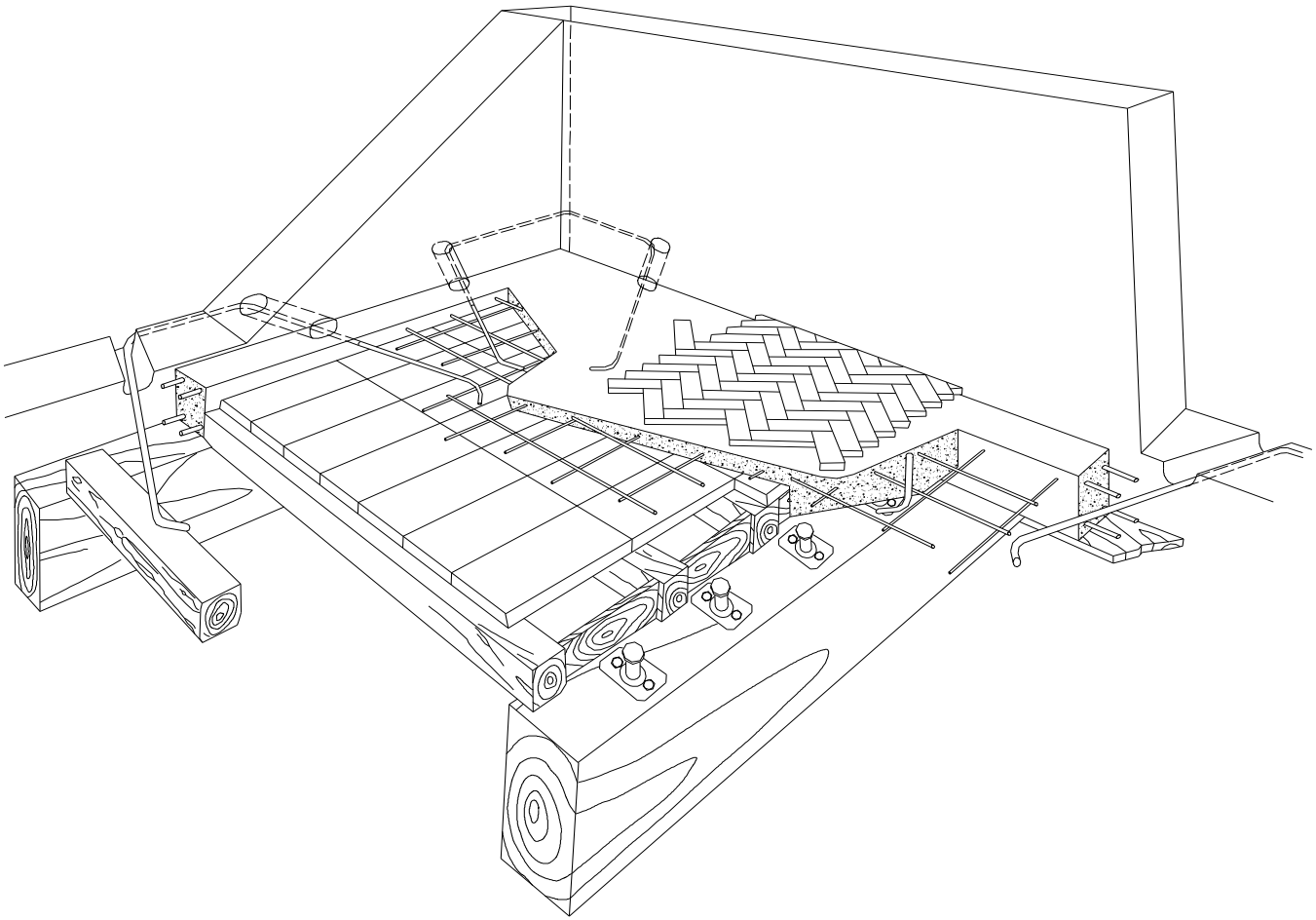
a

b

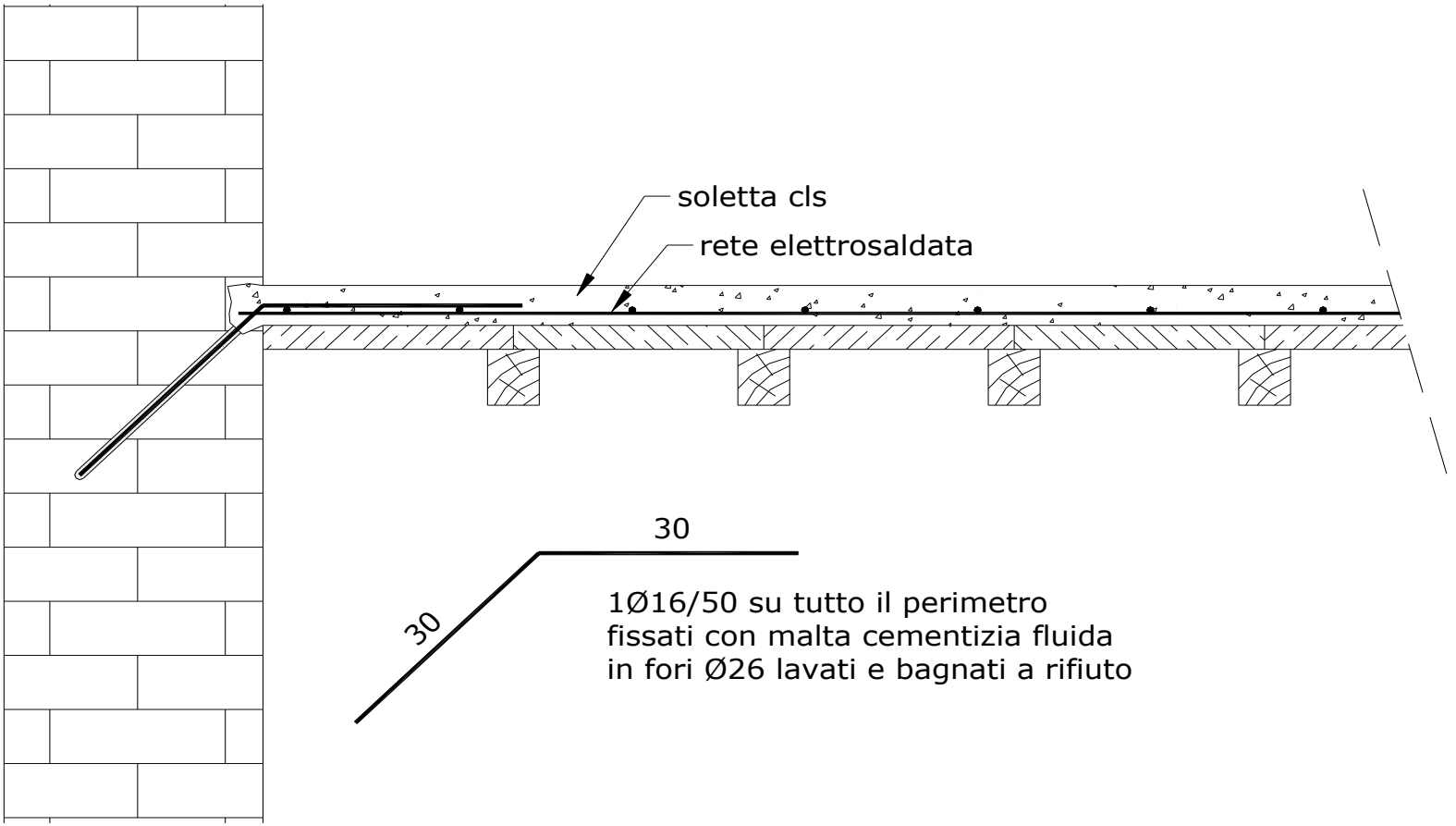
Particolari costruttivi: collegamento alla muratura



Particolari costruttivi: collegamento alla muratura

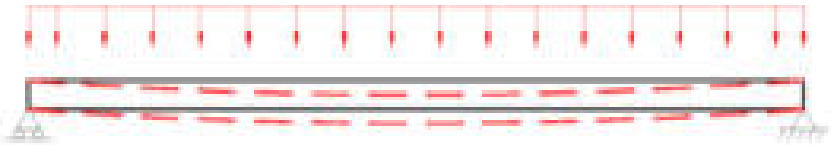


Particolari costruttivi: collegamento alla muratura



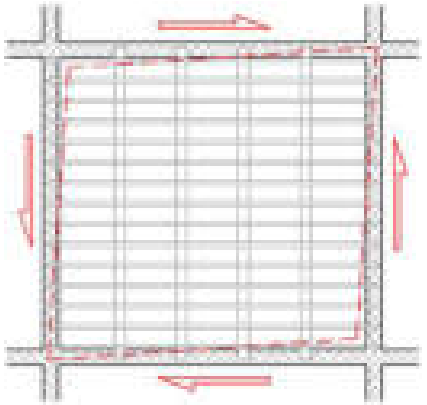
Tipologie di intervento

INTERVENTI GLOBALI:



- irrigidimento degli orizzontamenti ortogonalmente al proprio piano

- collegamento degli orizzontamenti alle murature ed irrigidimento del piano (comportamento scatolare dell'edificio)



INTERVENTI LOCALI:

- consolidamento di parti di travi e capriate degradate

- rinforzo delle singole travi

- rinforzo delle singole capriate

Consolidamento di solai

Villa,
Bagno a Ripoli (FI)

Consolidamento di solai

Villa,
Bagno a Ripoli (FI)

Consolidamento di solai

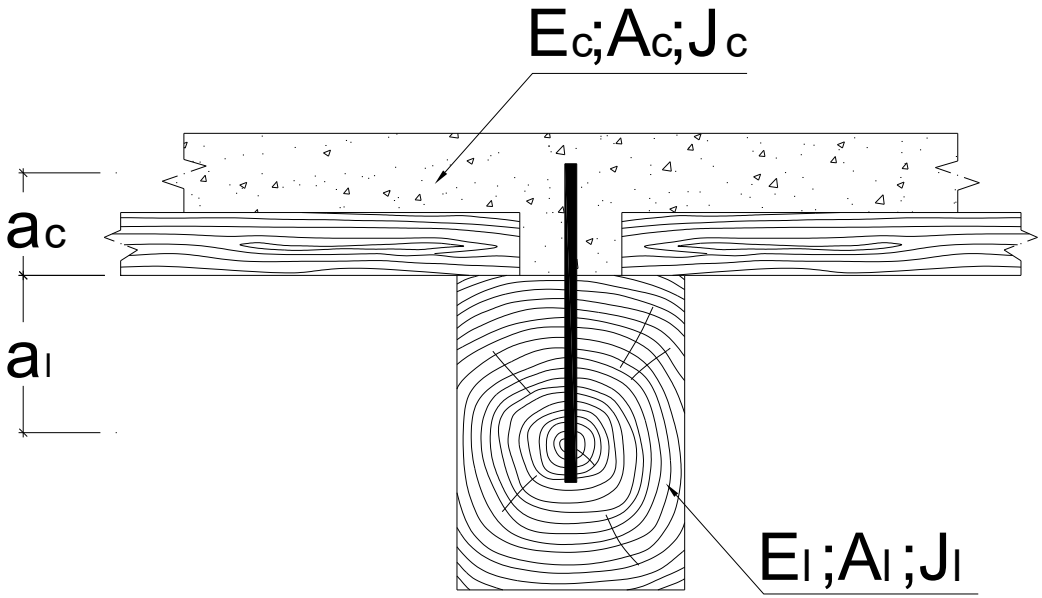
Villa,
Bagno a Ripoli (FI)

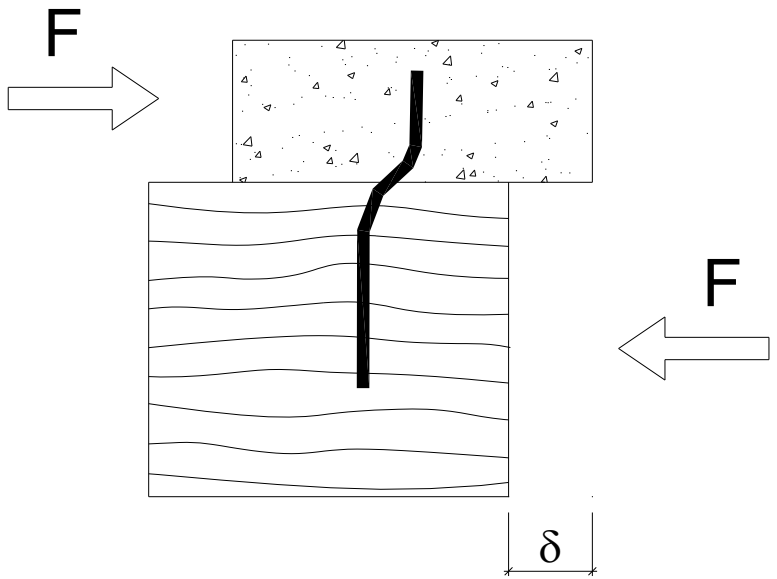
- Solai

Consolidamento di solai

Complesso di S.M. della Scala, Siena

Calcolo delle sezione composte: la teoria di möhler

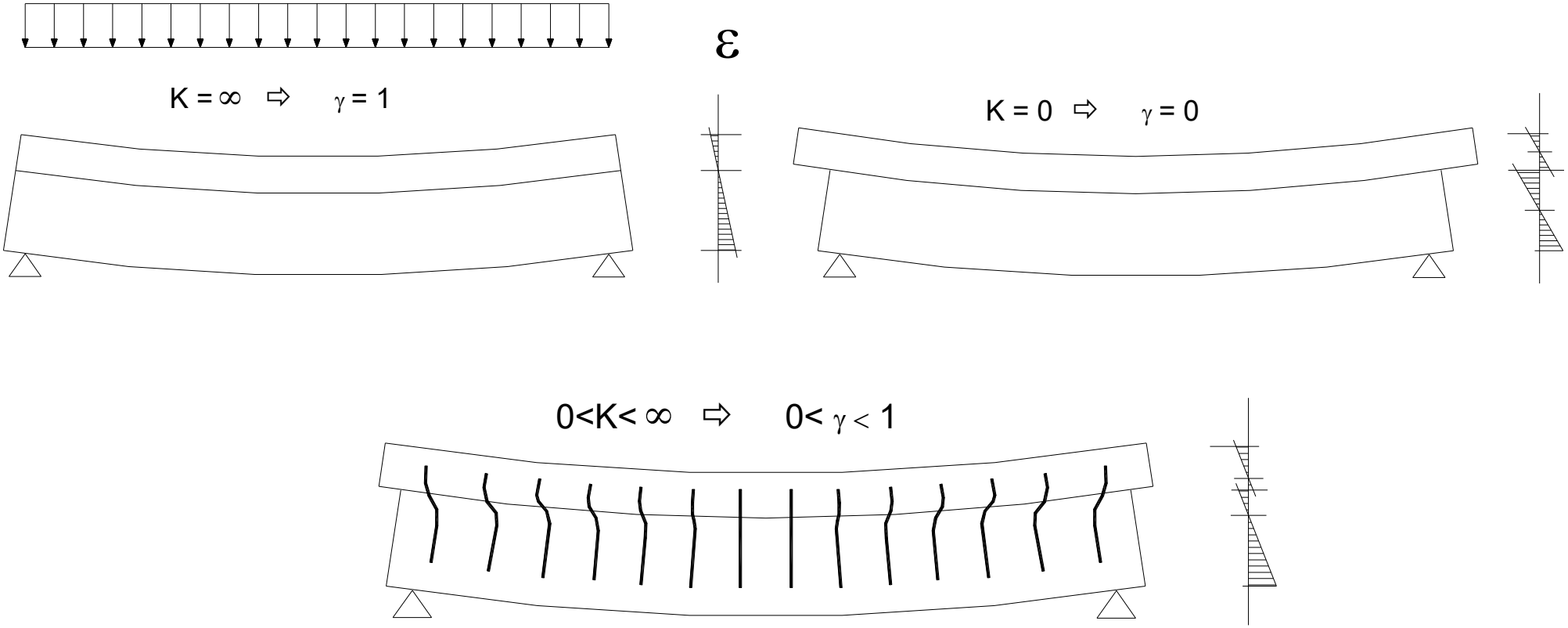




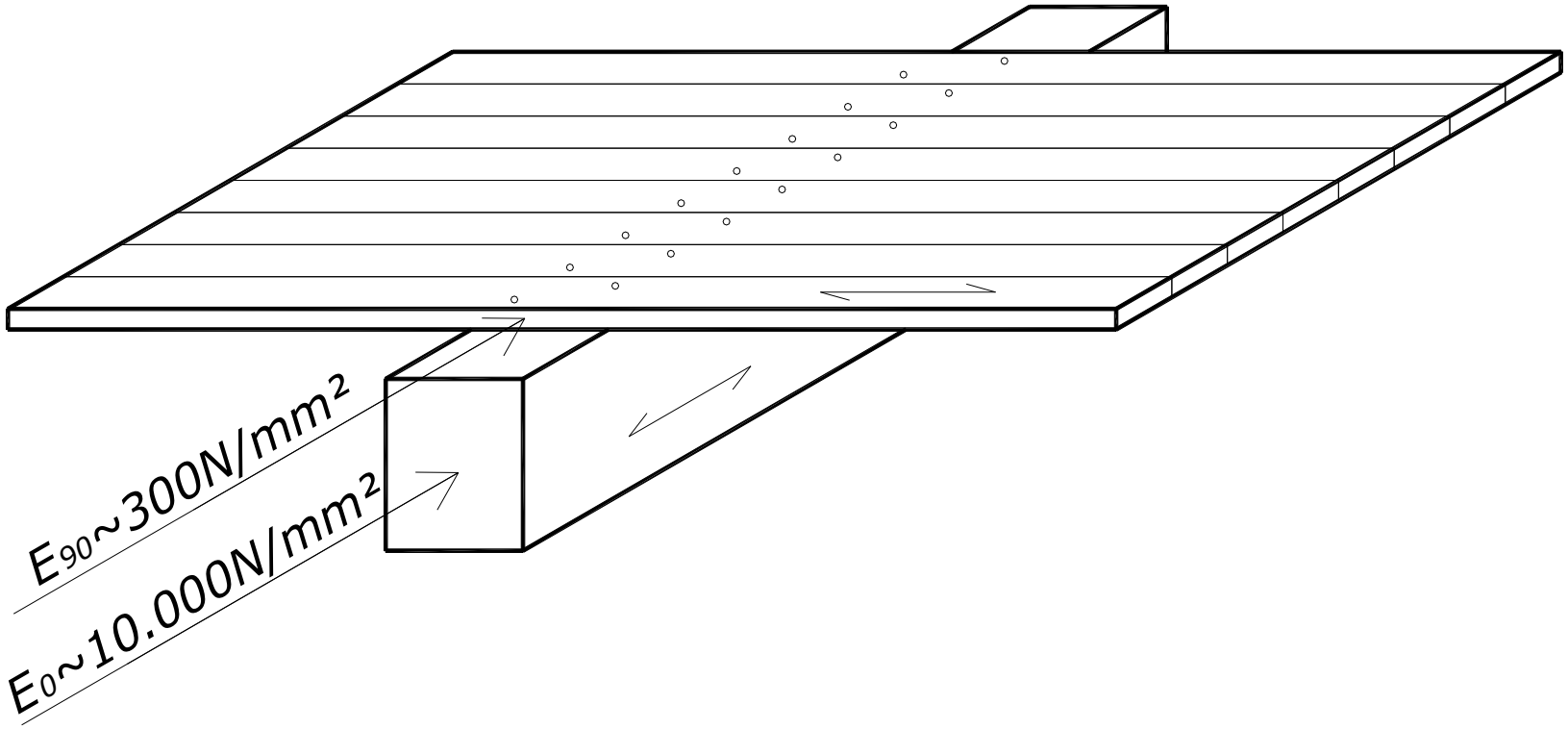
$$F = K \cdot \delta$$

Calcolo delle sezione composte: la teoria di möhler

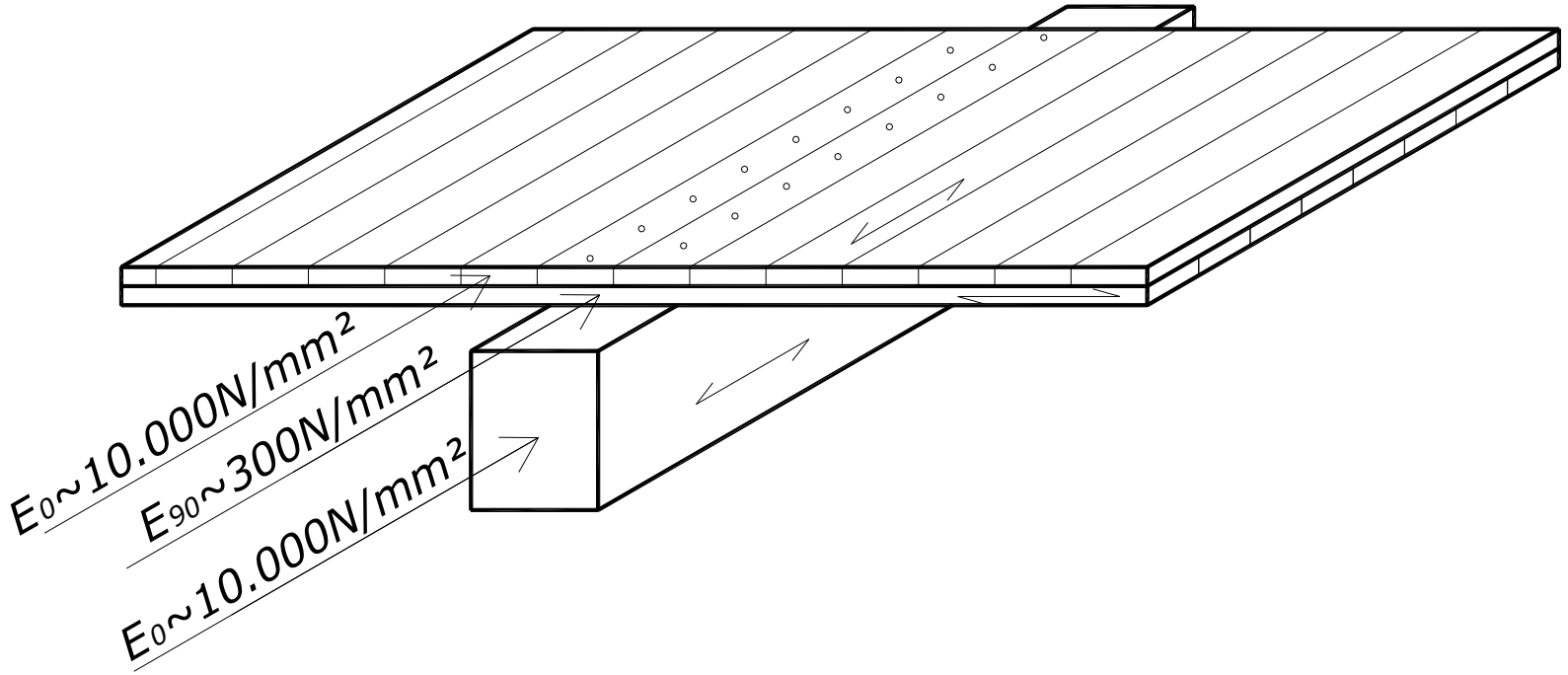
$$(EJ)_{ef} = E_c \cdot J_c + E_l \cdot J_l + \gamma \cdot (E_c \cdot A_c \cdot a_c^2 + E_l \cdot A_l \cdot a_l^2)$$



Irrigidimento solaio



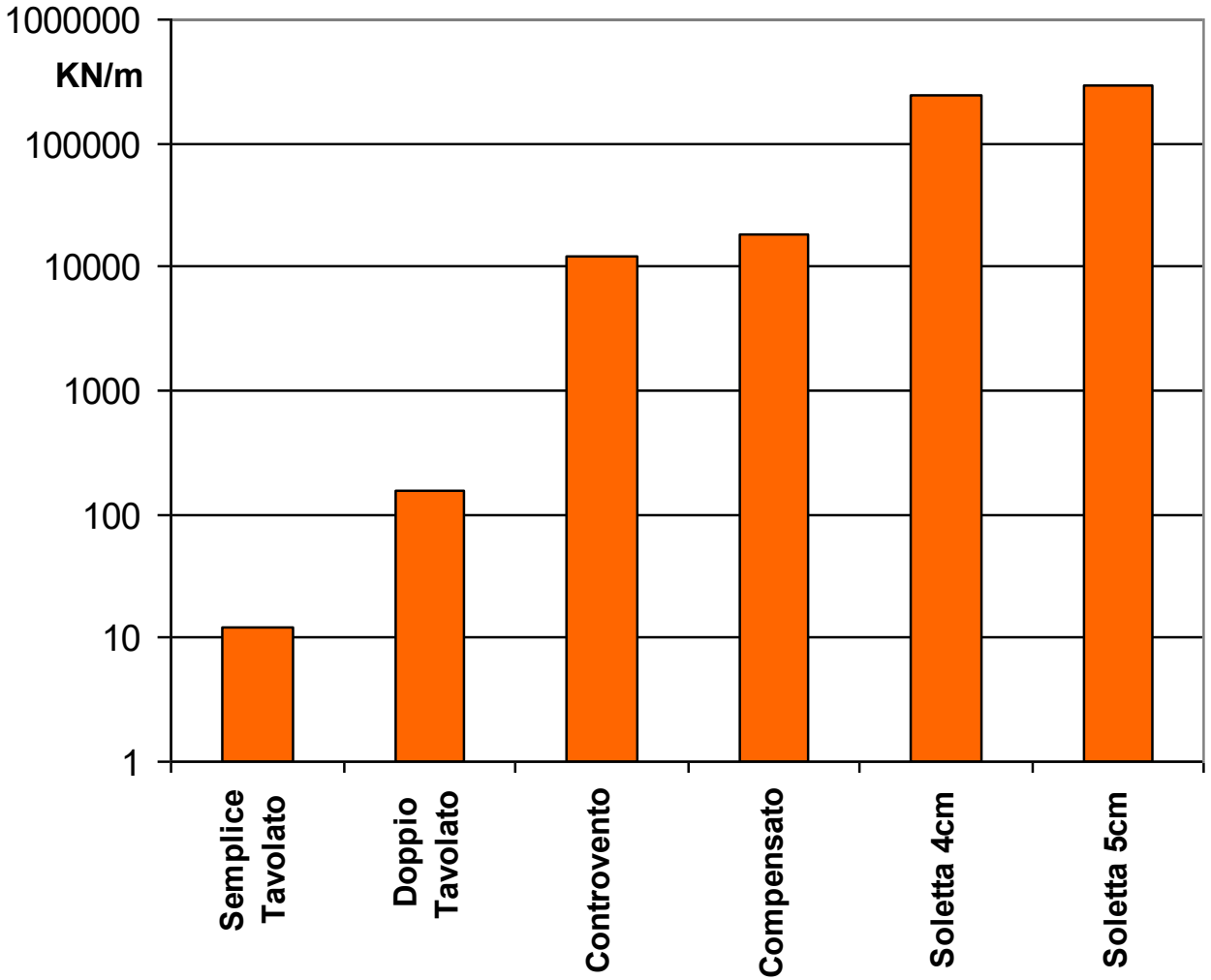
Irrigidimento solaio



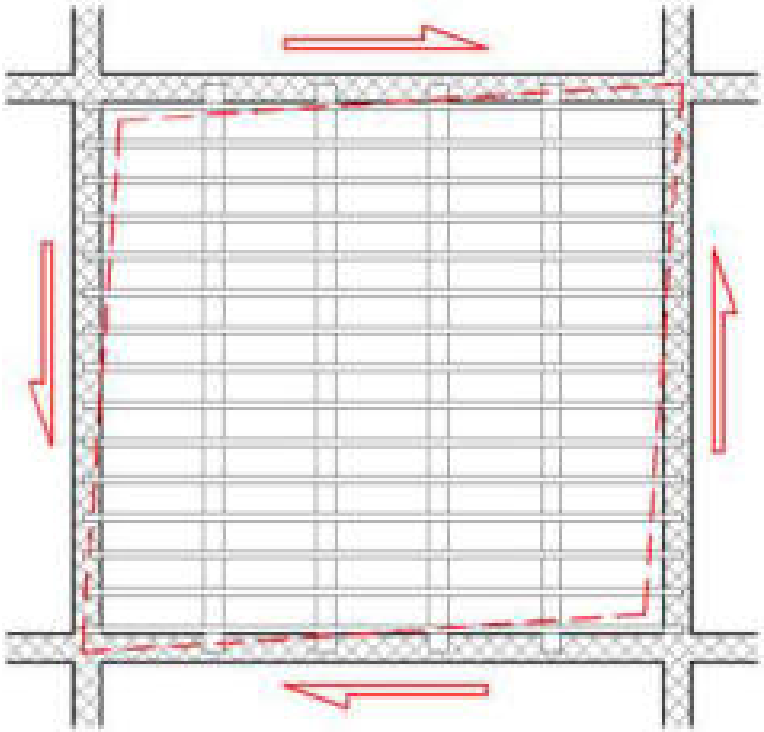
Irrigidimento di solai

Ex monastero S. Anna, Palermo

Rigidezza nel piano dei solai



Tesi di Laurea,
Ing. A. Tonelli



Collegamento alla muratura

Affiancamento di arcarecci

Cenacolo di S. Spirito, Firenze

Affiancamento arcarecci

Propositura di San Felice a Ema (FI)

Affiancamento arcarecci

Palazzo Calderini - Imola

Sostegno trave

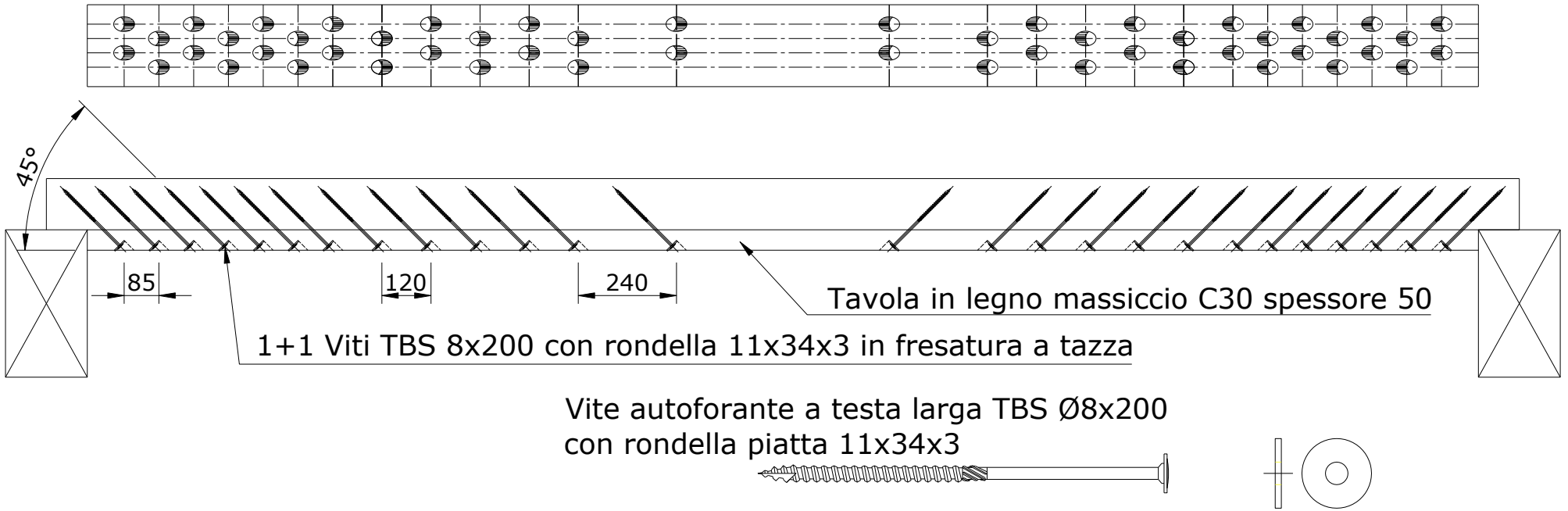
Basilica dell'Impruneta (FI) – luce 7m

Sostegno trave

Basilica dell'Impruneta (FI) – luce 7m

Rinforzo trave di copertura

Santo Stefano in Pane (FI)



Rinforzo trave di copertura

Santo Stefano in Pane (FI)

Rinforzo trave di copertura

Santo Stefano in Pane (FI)

Protesi con barre incollate

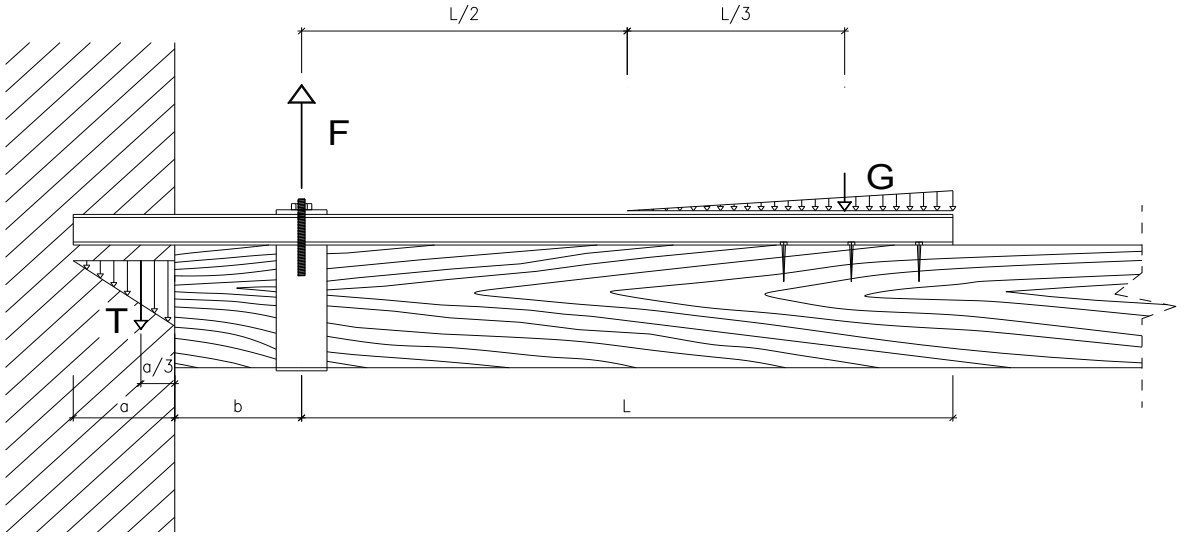
Villa di Geggiano, Siena

Protesi con barre incollate

Civile abitazione, Livorno

Protesi con barre incollate

Protesi con culla metallica



Da notare:

- Il taglio nel legno (F) è maggiore di T;
- Nascono tensioni di compressione ortogonale alla fibratura

T = Reazione vincolare appoggio

$$\text{Equilibrio profilato}\begin{cases}\text{Equilibrio alla traslazione}\\ T - F + G = 0\\ \text{Equilibrio alla rotazione}\\ T \times \left(\frac{a}{3} + b\right) = G \times \left(\frac{L}{2} + \frac{2}{3} \times \frac{L}{2}\right)\end{cases}$$

Protesi con culla metallica

Basilica dell'Impruneta (FI)

Ricostruzione locale testa pilastro

Pieve di Cento (BO)

Ricostruzione locale testa pilastro

Pieve di Cento (BO)

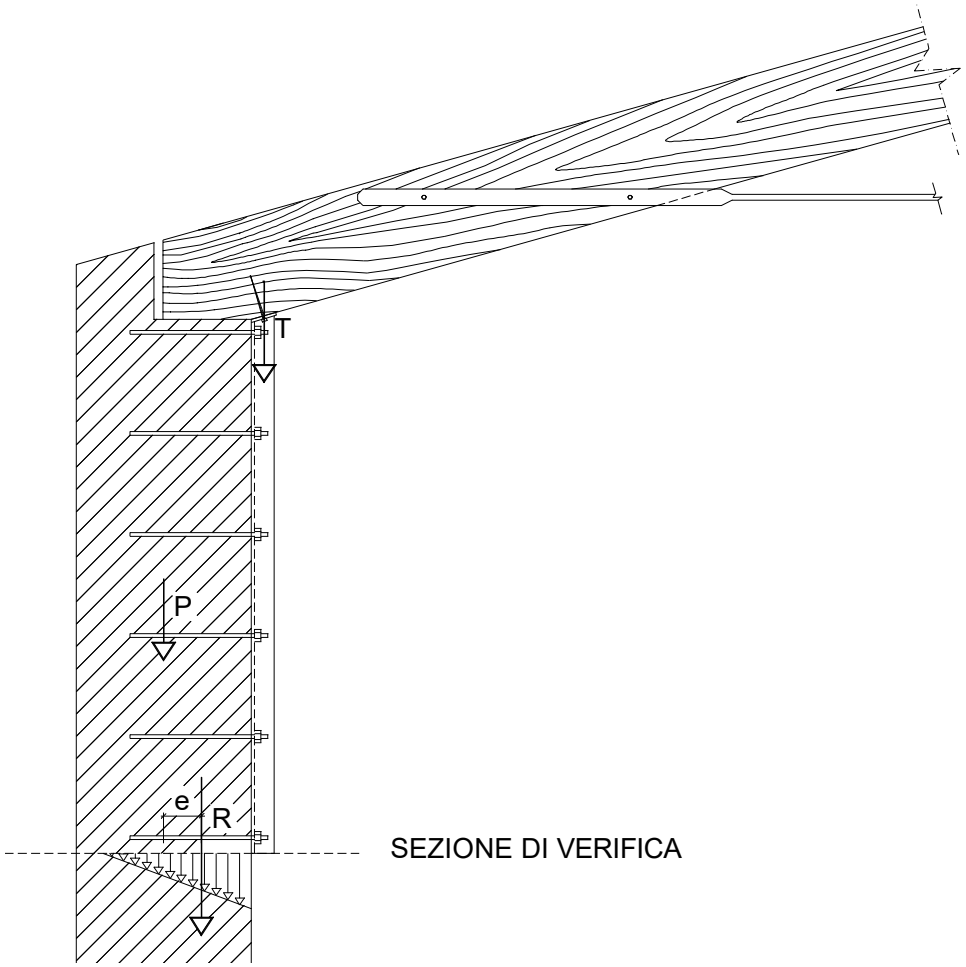
Ricostruzione locale testa pilastro

Pieve di Cento (BO)

Ripristino appoggio

Scuole Benci, Livorno

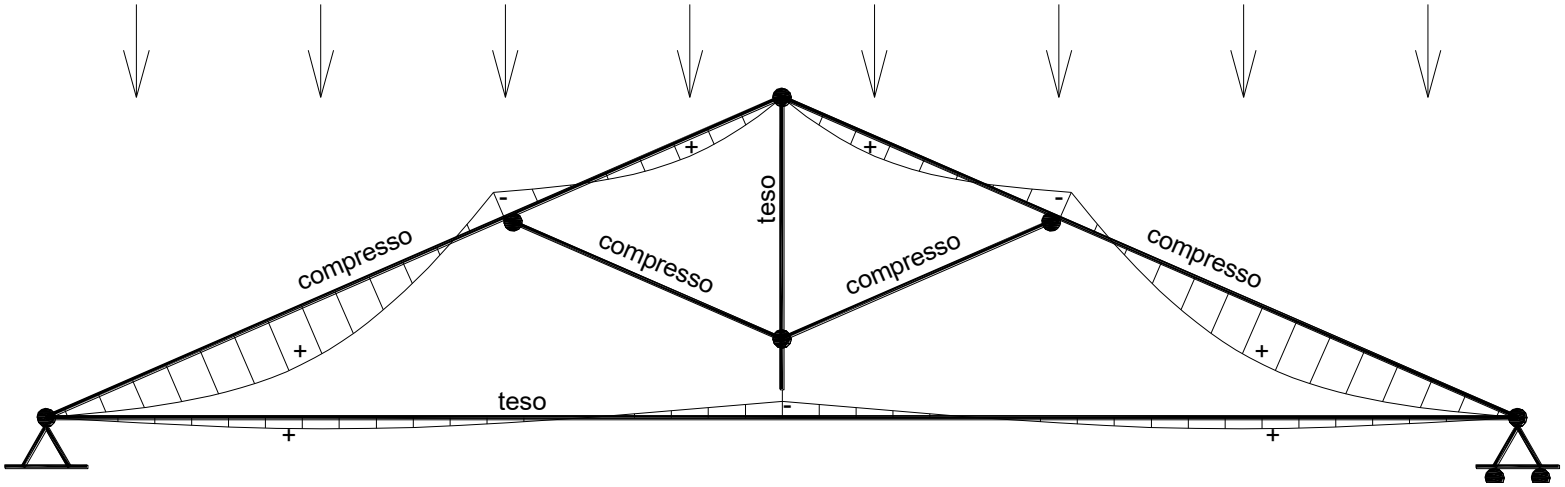
Ripristino appoggio

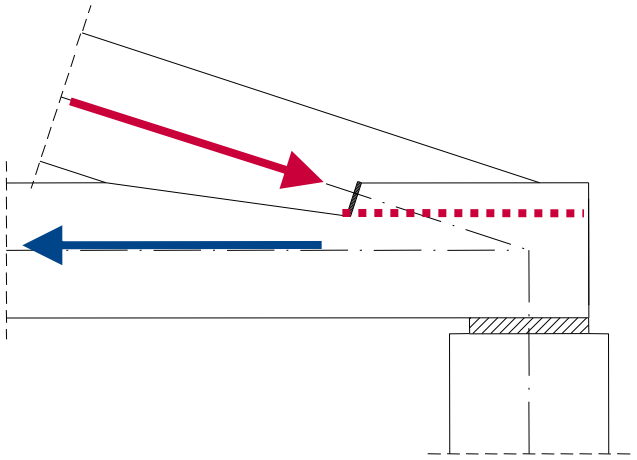


Da non dimenticare le verifiche sulla muratura:

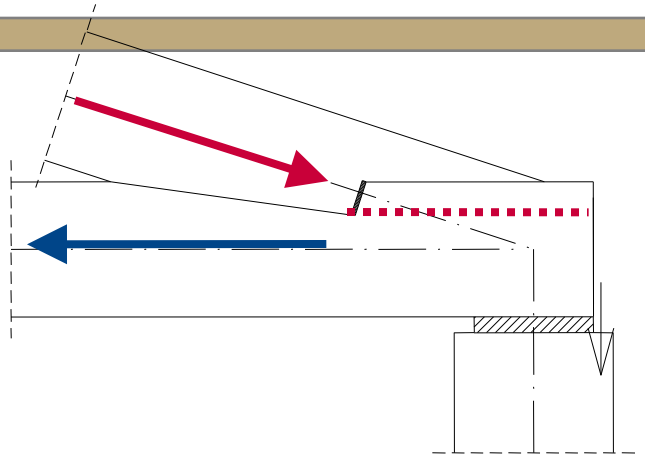
- schiacciamento;
- ribaltamento.

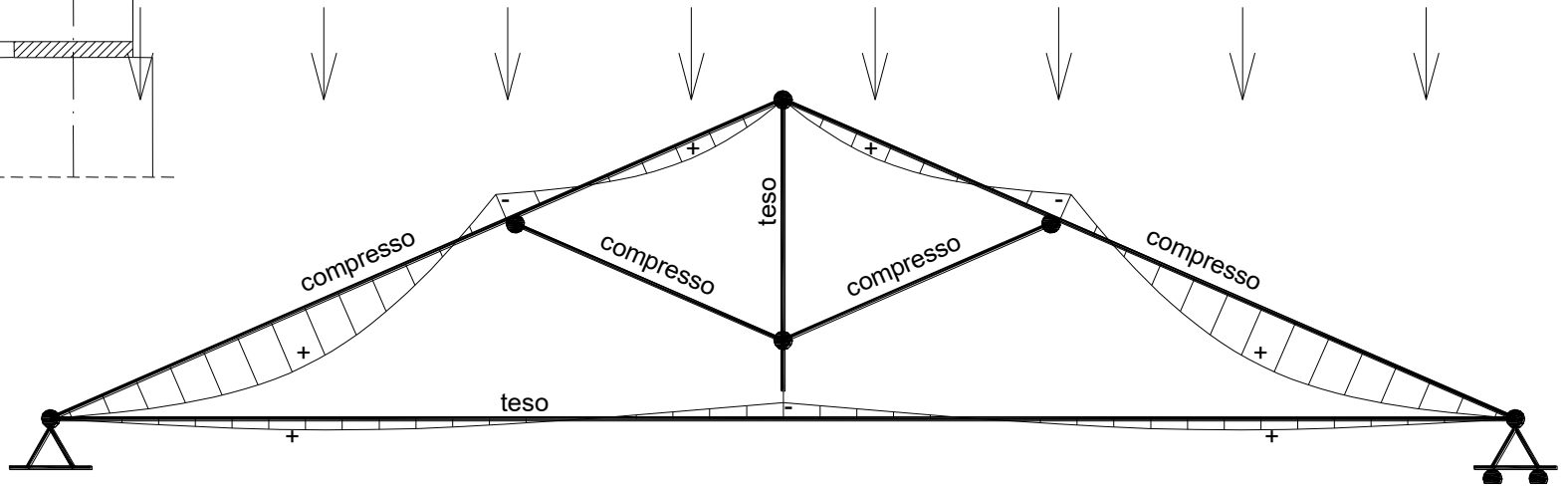
Le capriate – rottura del dente

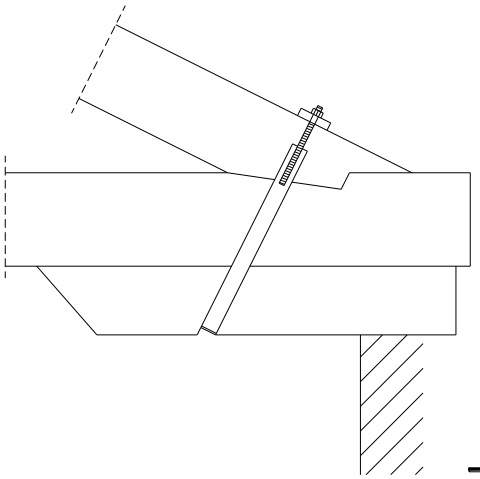


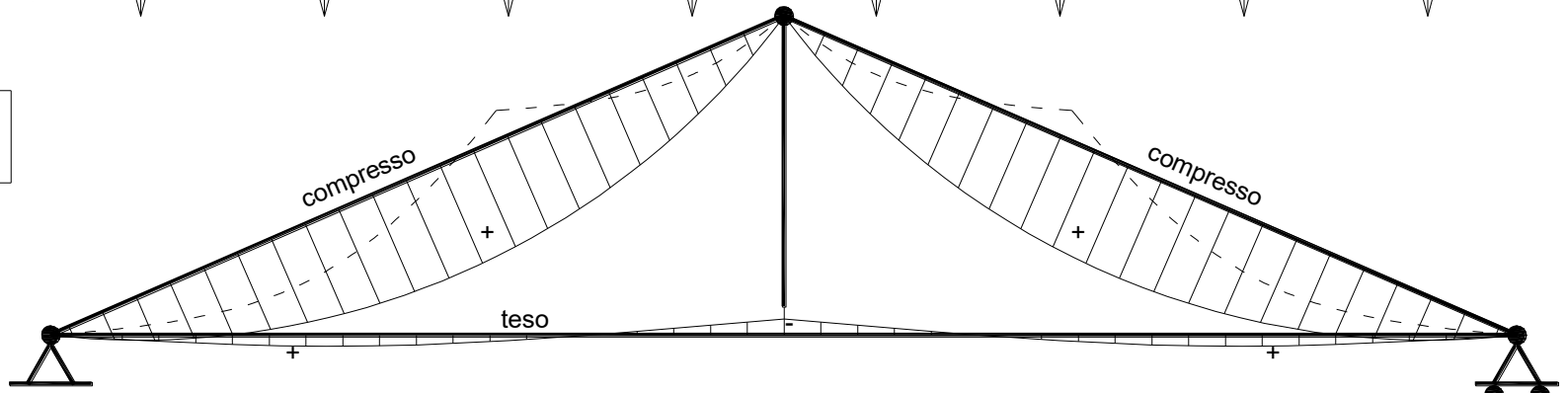


Le capriate – rottura del dente





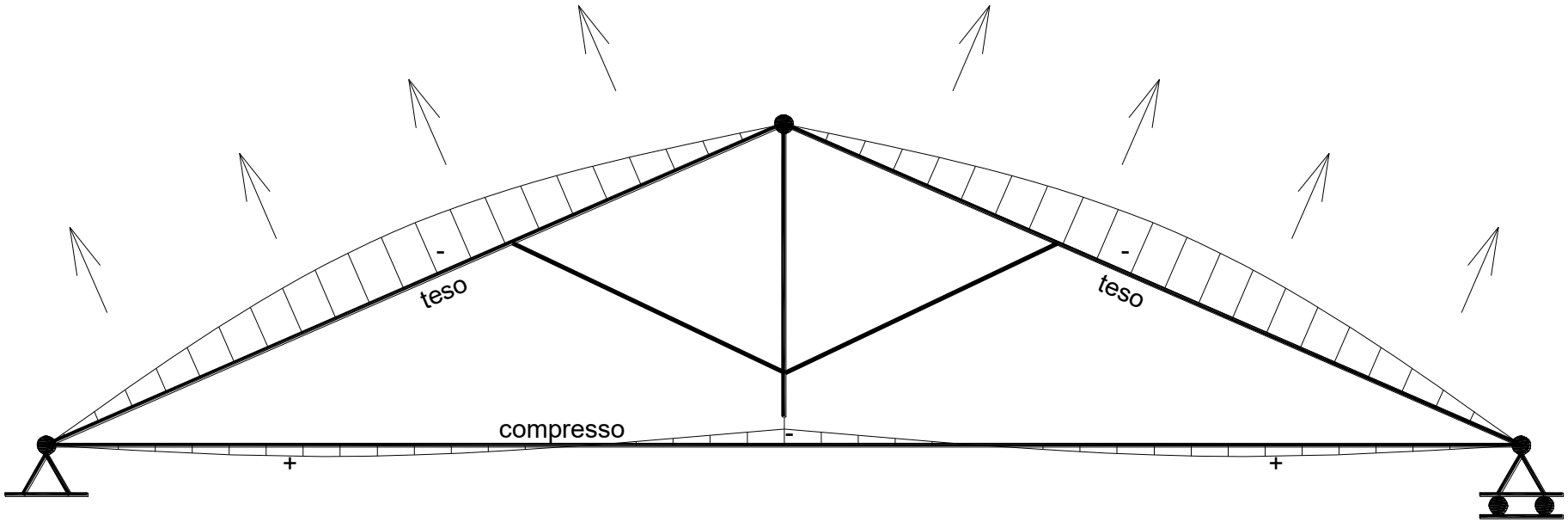




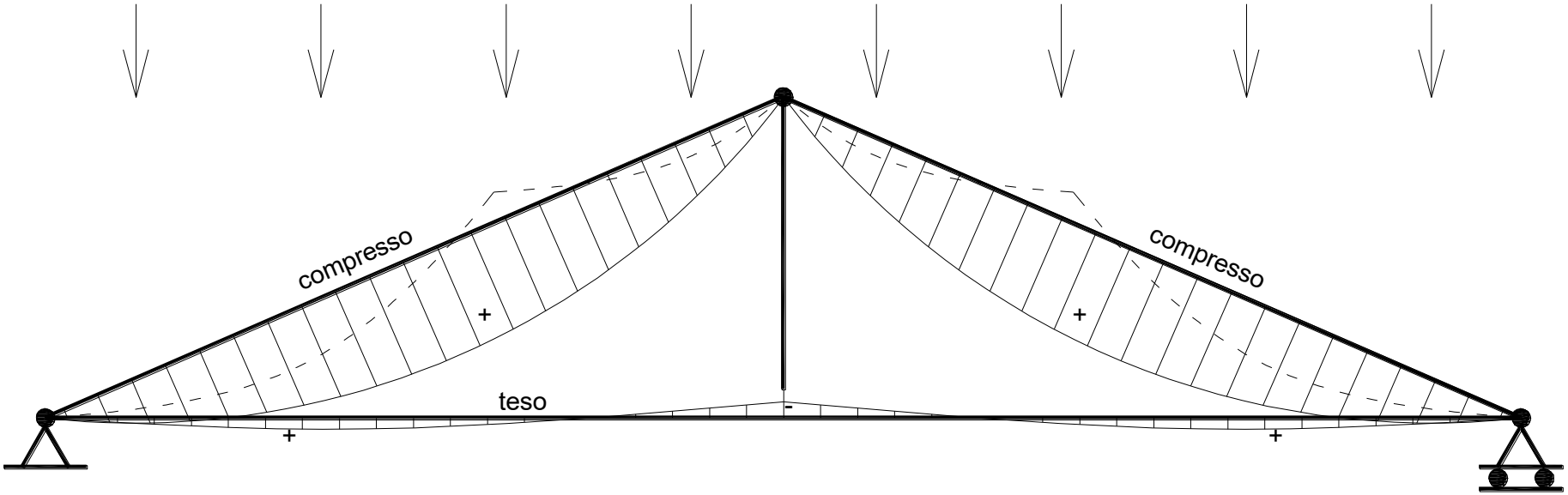
Le capriate – rottura del dente

- Le capriate – rottura del dente

Le capriate – vento in sollevamento



Le capriate – vento in sollevamento



- Le capriate – vento in sollevamento

Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa Madonna del Carmine, Pistoia

Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa San Vittore, Cesena

Consolidamento unione catena - puntone

Museo di arte medioevale, Arezzo

Consolidamento catena

Chiesa della Madonna del Carmine, Pistoia

Consolidamento catena

Cattedrale di Cesena (FC)

Consolidamento catena

Cattedrale di Cesena (FC)

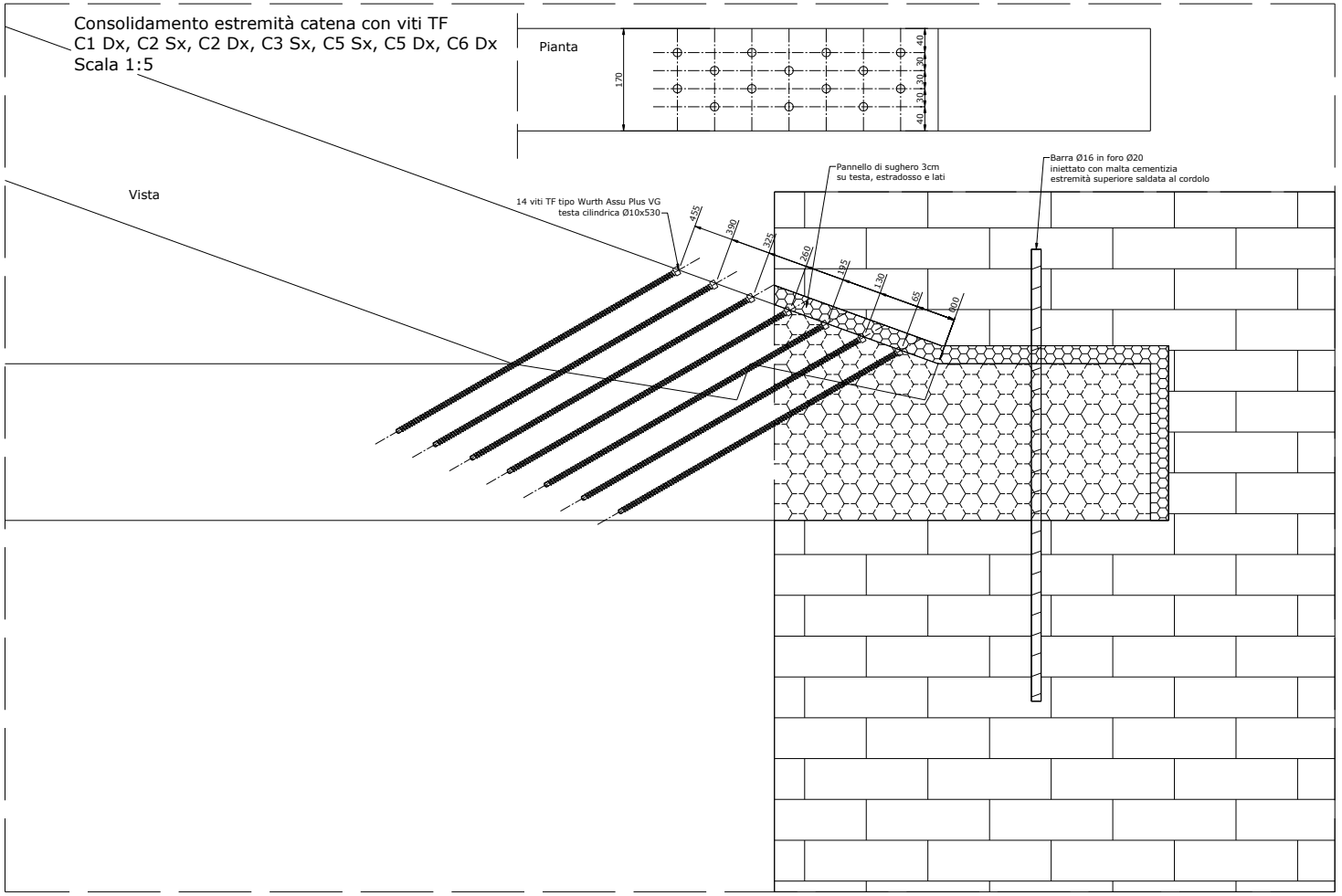
Consolidamento catena

Cattedrale di Cesena (FC)

Consolidamento unione catena-puntone

Museo di San Marco (FI)

Consolidamento unione catena - puntone



Chiesa dell'Osservanza - Cesena (FC)

- Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa dell'Osservanza - Cesena (FC)

- Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa di Monteriolo in Sarsina (FC)

- Esempio:
  consolidamento unione a Dardo di Giove

Palazzo Ducale - Urbino

Protesi catena con unione di metallica

Chiesa della Madonna
del Carmine, Pistoia

Protesi catena con unione meccanica

Chiesa di S. Caterina,
Serre di Rapolano (SI)

Protesi catena con unione meccanica

Chiesa di S. Caterina, Serre di Rapolano (SI)

Protesi catena e consolidamento puntone

Chiesa di S. Bartolo (Cesena)

Protesi catena e consolidamento puntone

Chiesa di S. Bartolo (Cesena)

- Protesi catena e consolidamento puntone

Chiesa di S. Bartolo (Cesena)

Protesi catena con unione meccanica

Ex Maneggio Reale, Firenze

Protesi catena con barre incollate

Basilica di S. Maria, Impruneta (FI)

Protesi catena con barre incollate

Basilica di S. Maria, Impruneta (FI)

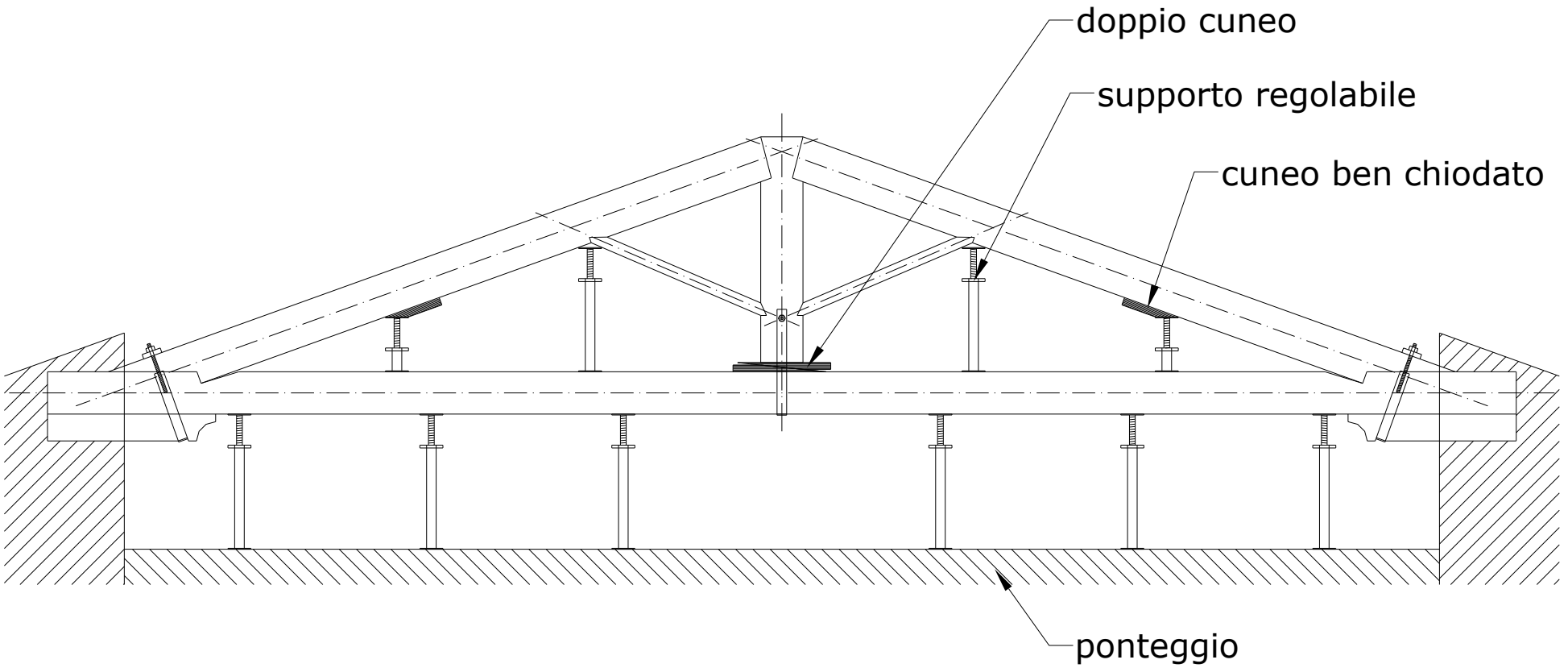
Protesi catena e puntone con barre incollate

Chiesa di S. Francesco, Cagli (PU)

Protesi catena e puntone con barre incollate

Chiesa di S. Francesco, Cagli (PU)

Consolidamento capriata, puntellazione



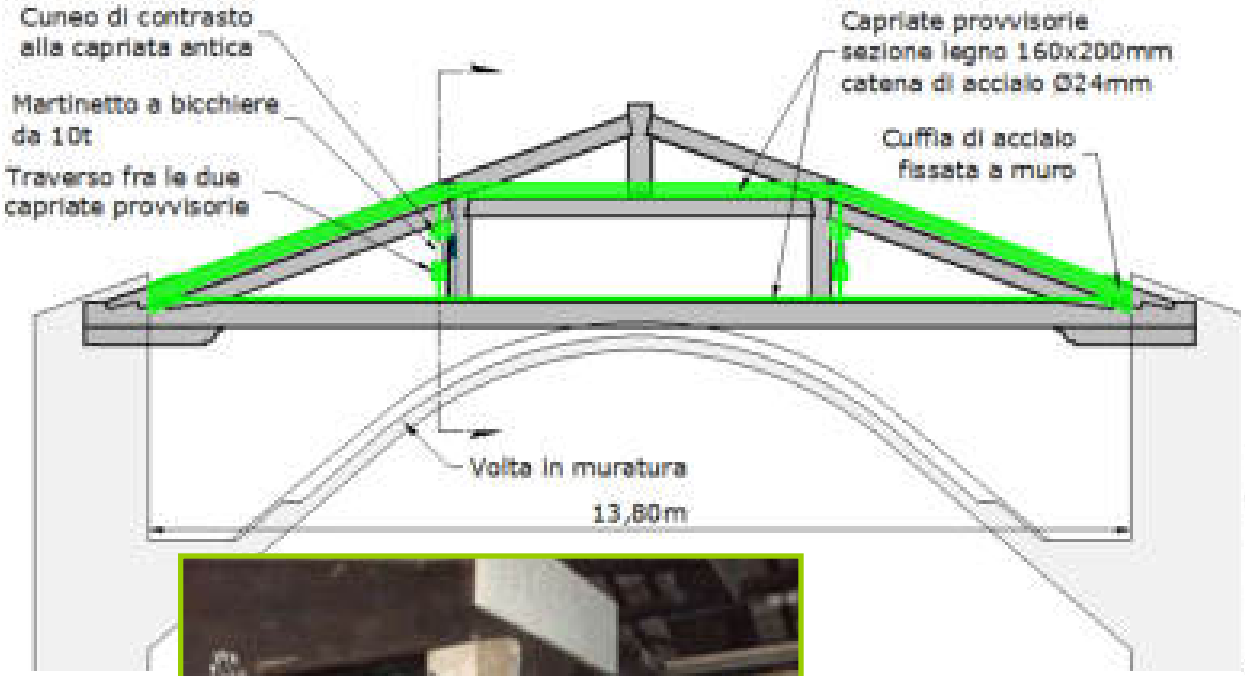
Consolidamento capriata, puntellazione

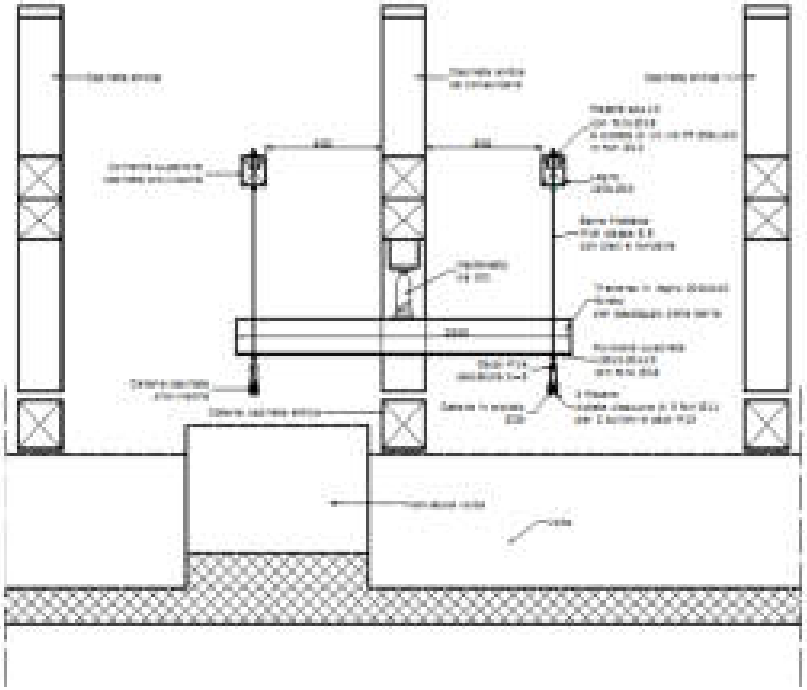
Consolidamento capriata, puntellazione

Copertura della Sala del Trono, Palazzo Ducale, Urbino

Consolidamento capriata, puntellazione

Copertura della Sala del Trono, Palazzo Ducale, Urbino





Rinforzo con tiranti di acciaio

Casa privata Settignano (FI)

Rinforzo con tiranti di acciaio

Fattoria di Pomino - Rufina(FI)

- Rinforzo con tiranti di acciaio

Fattoria di Pomino - Rufina(FI)

Rinforzo con tiranti di acciaio

Fattoria di Nipozzano – Pelago (FI)

Luce netta 8,10m

Carichi permanenti:
Freccia ante ~4cm
Freccia post ~1cm

Frequenza ante ~6Hz
Frequenza post ~9Hz

Rinforzo con tiranti di acciaio

Fattoria di Nipozzano – Pelago (FI)

Errata ricostruzione copertura

Recupero & Conservazione
n°41 - 2001

Rinforzo controsoffitto

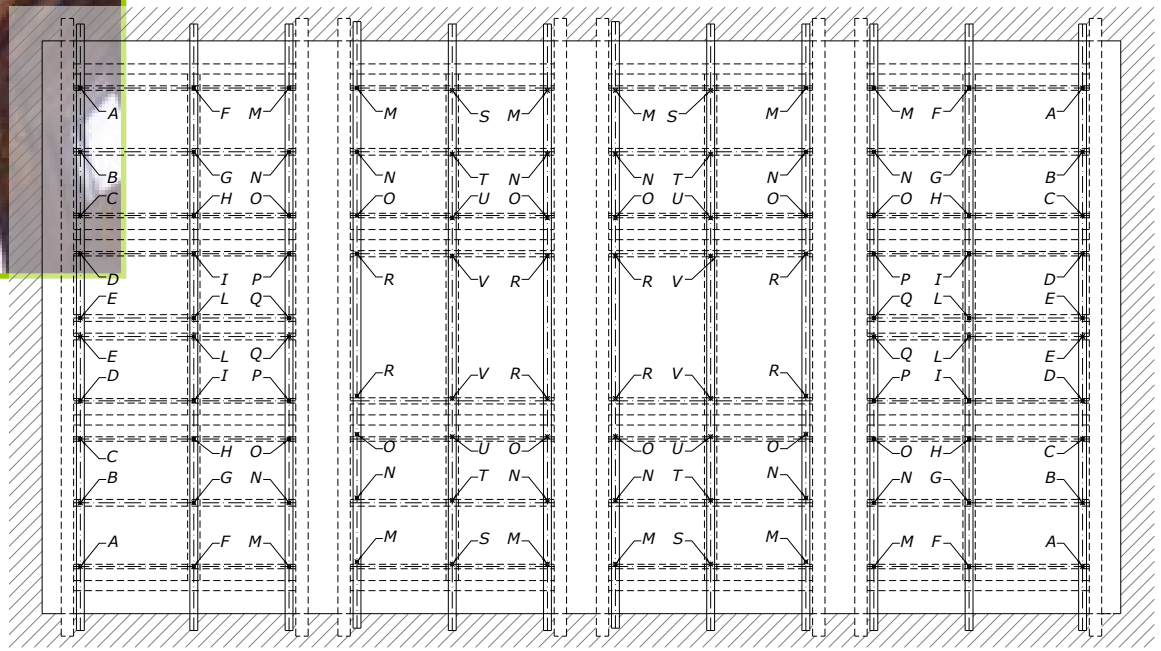
Palazzo Ducale, Lucca

Rinforzo controsoffitto

Palazzo Ducale, Lucca

Rinforzo controsoffitto

Palazzo della Provincia,
Pesaro



Rinforzo controsoffitto

Palazzo della Provincia, Pesaro

Rinforzo controsoffitto

Teatro Guglielmi - Massa

Rinforzo controsoffitto

Teatro Guglielmi - Massa

Rinforzo controsoffitto

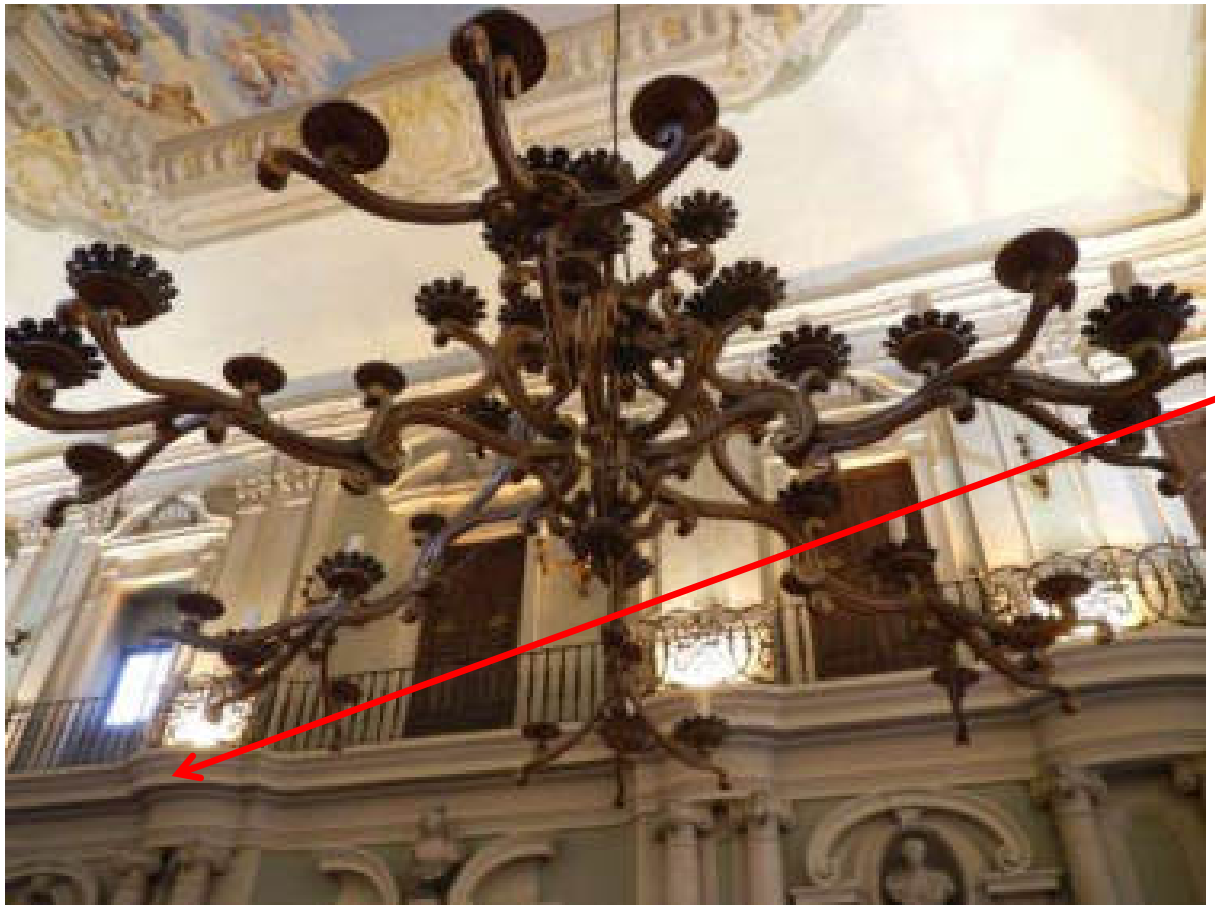
Propositura di San Felice a Ema (FI)

Rinforzo ballatoio

Biblioteca Universitaria, Pisa

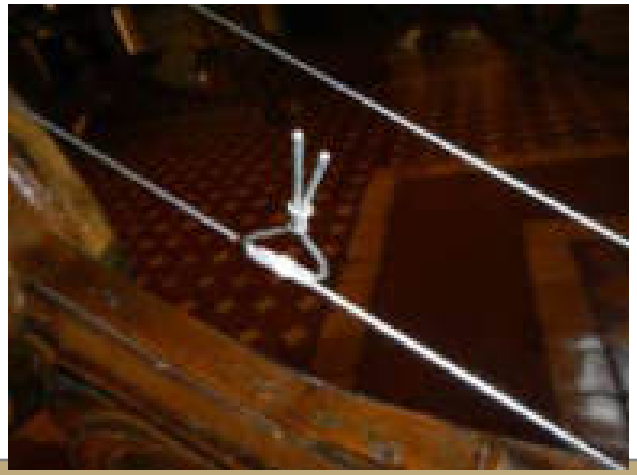
Consolidamento e restauro lumiere

Palazzo Corsini Firenze



Consolidamento e restauro lumiere

Palazzo Corsini Firenze



Costruzioni moderne

Edificio Blockbau

Edificio Blockbau

- Edificio Blockbau

Edificio Blockbau

Edificio Blockbau

Edificio Xlam

Edificio Platform

- Edificio Platform

- Attacco dei parapetti

- Attacco dei parapetti

- Attacco dei parapetti

- Balcone

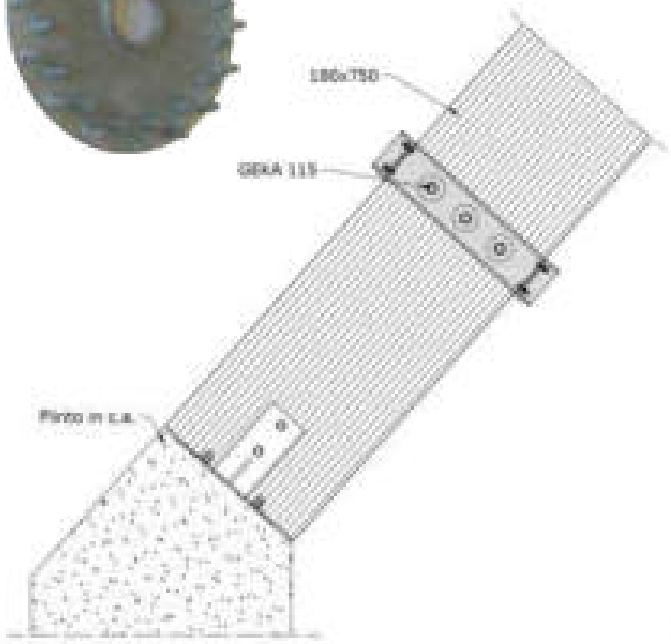
- Balcone

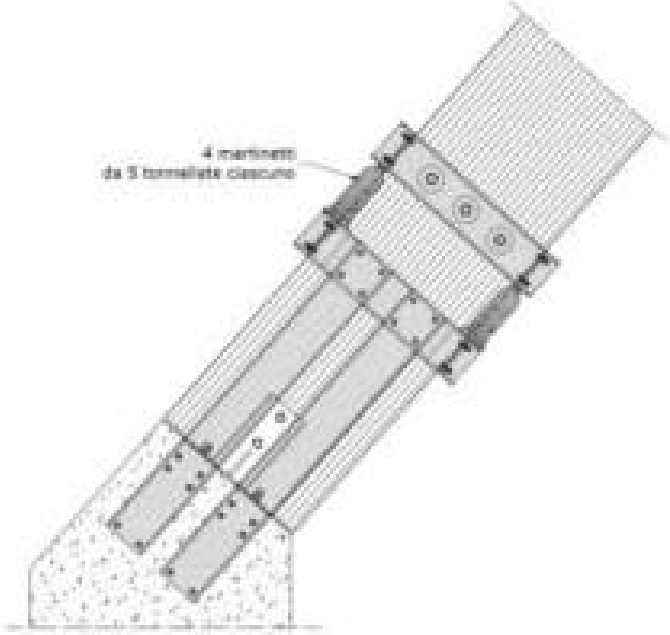
Consolidamento copertura - puntellazione

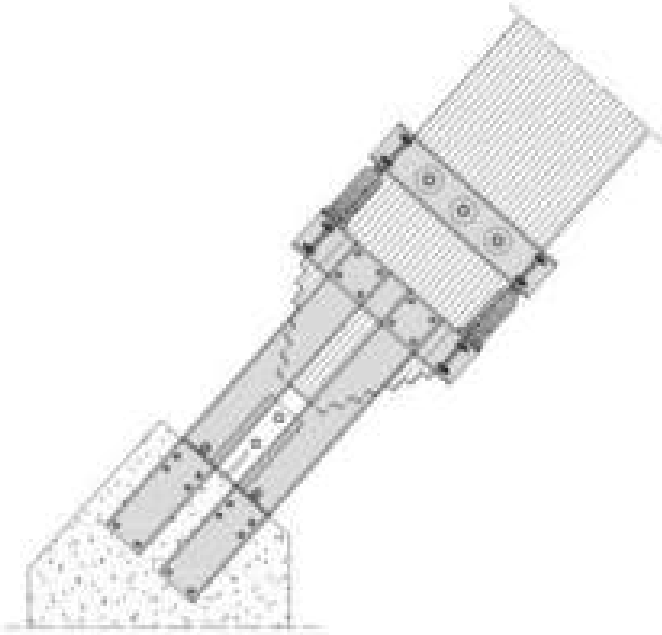
Palasport di Torrita di Siena

Consolidamento copertura - puntellazione

Palasport di Torrita di Siena







Consolidamento copertura - puntellazione

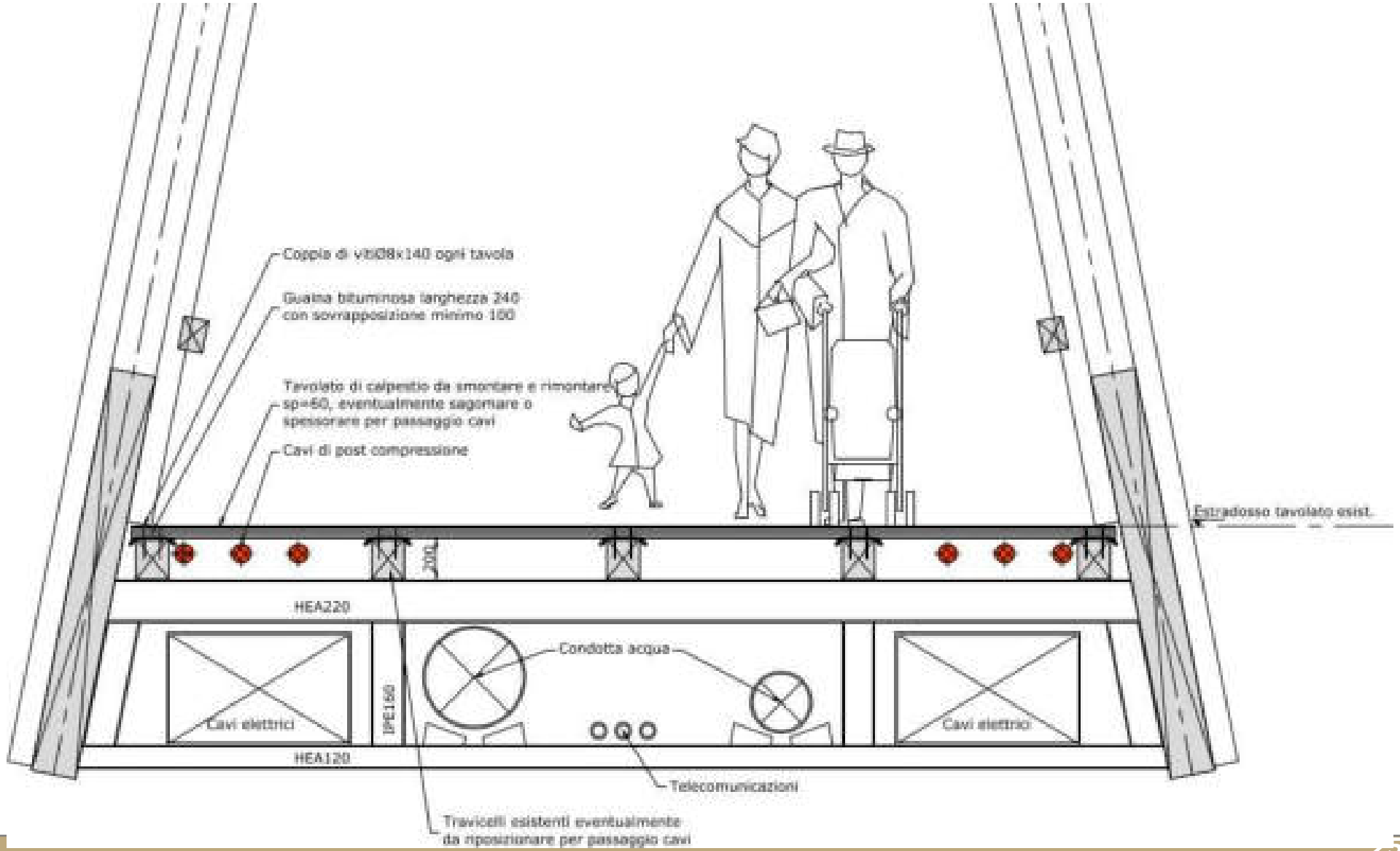
Palasport di Torrita di Siena

Consolidamento copertura - protezione

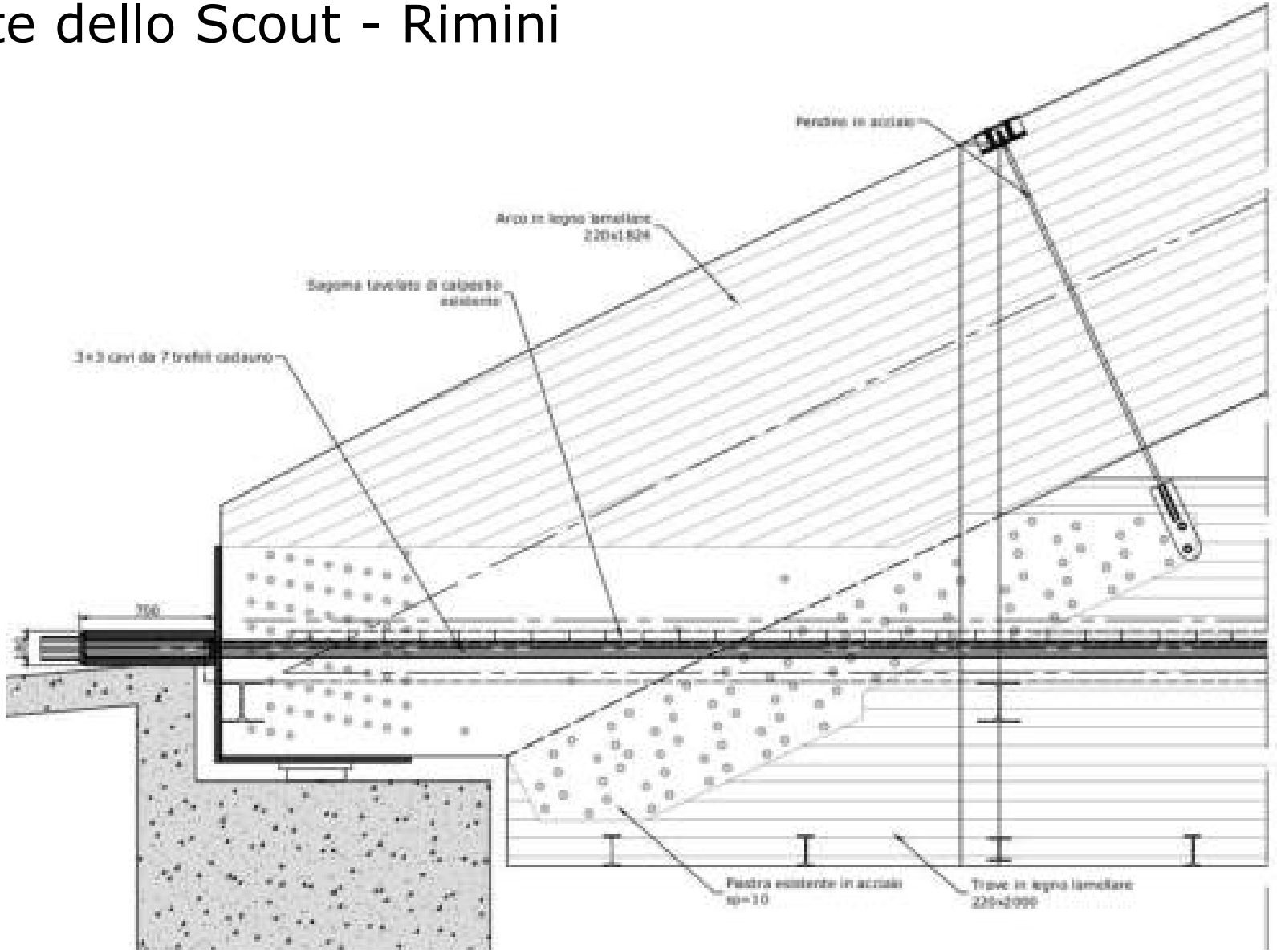
Palasport di Torrita di Siena

- Ponte dello Scout – Rimini (2000 – 2017)

Ponte dello Scout - Rimini



Ponte dello Scout - Rimini



- Ponte dello Scout Rimini

Tiro complessivo 384t

Ponte dello Scout Rimini - Protezioni

Una struttura di legno non va vista come un "malato da curare"

Bisogna avere fiducia nelle strutture di legno…

… ma non troppa!

TIMBERDESIGN
Progetti in legno

www.timberdesign.it

Grazie