

Prato, 15-23-29 maggio 2025

Con il contributo di:



Strutture lignee dalla normativa alla pratica

Tecnologia del legno
Introduzione al calcolo
Riparazione e rinforzo

Organizzato da:



**Sta su?
E' sicura?**



Marco Pio Lauriola

TIMBERDESIGN



Progetti in legno

www.timberdesign.it



MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Il presente contenuto è stato prodotto per far fronte alle esigenze di didattica a distanza rese necessarie per l'emergenza legata alla diffusione del virus COVID-19.

Il contenuto ha una finalità esclusivamente didattica, e viene rilasciato in uso agli iscritti al corso Strutture lignee organizzato dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Prato 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



❑ Esempio di verifica statica su una copertura

ARCARECCI

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



MAPEI



CAPITOLO C8.

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.



MAPEI

TECNARIA
 SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

NTC18

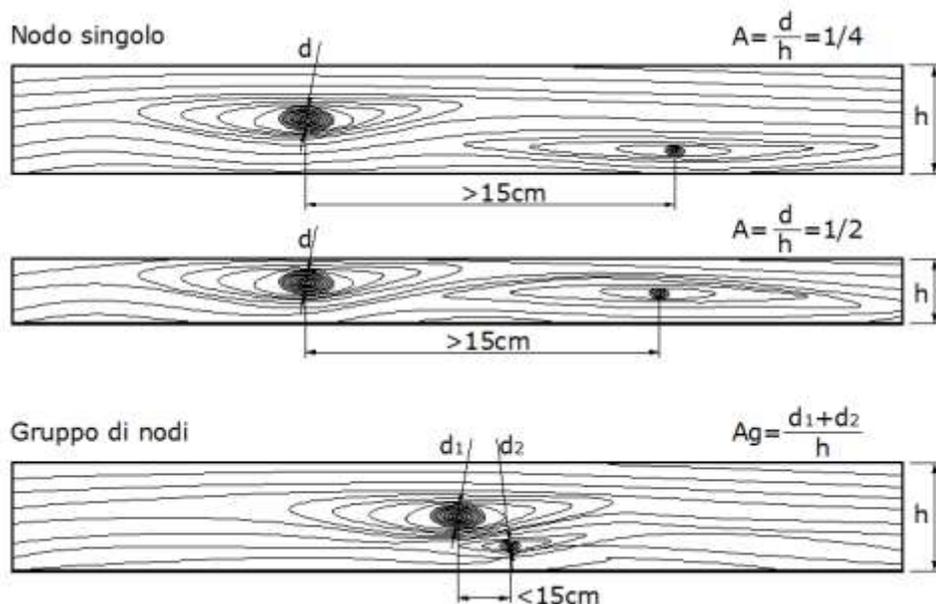
C8.5.2 RILIEVO

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).





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

CS.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).





MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

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.





MAPEI



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

Indicazioni normative



Indagini diagnostiche



NORMA ITALIANA	Beni culturali Manufatti lignei Strutture portanti degli edifici - Ispezione <i>in situ</i> 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 rigidità di elementi lignei in opera nelle strutture portanti di edifici compresi nell'ambito dei beni culturali, attraverso l'esecuzione di ispezioni <i>in situ</i> 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 (informativa)	A 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



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

EUROPEAN STANDARD

EN 17121

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

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



MAPEI



□ Indagini diagnostiche:

- Ispezione visiva
- Rilievo geometrico
- Classificazione
- Indagini strumentali



Dottore Forestale Mario Moschi
Tecnologo del Legno



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Indagini diagnostiche – ispezione visiva



Durabilità – Ispezione e diagnosi



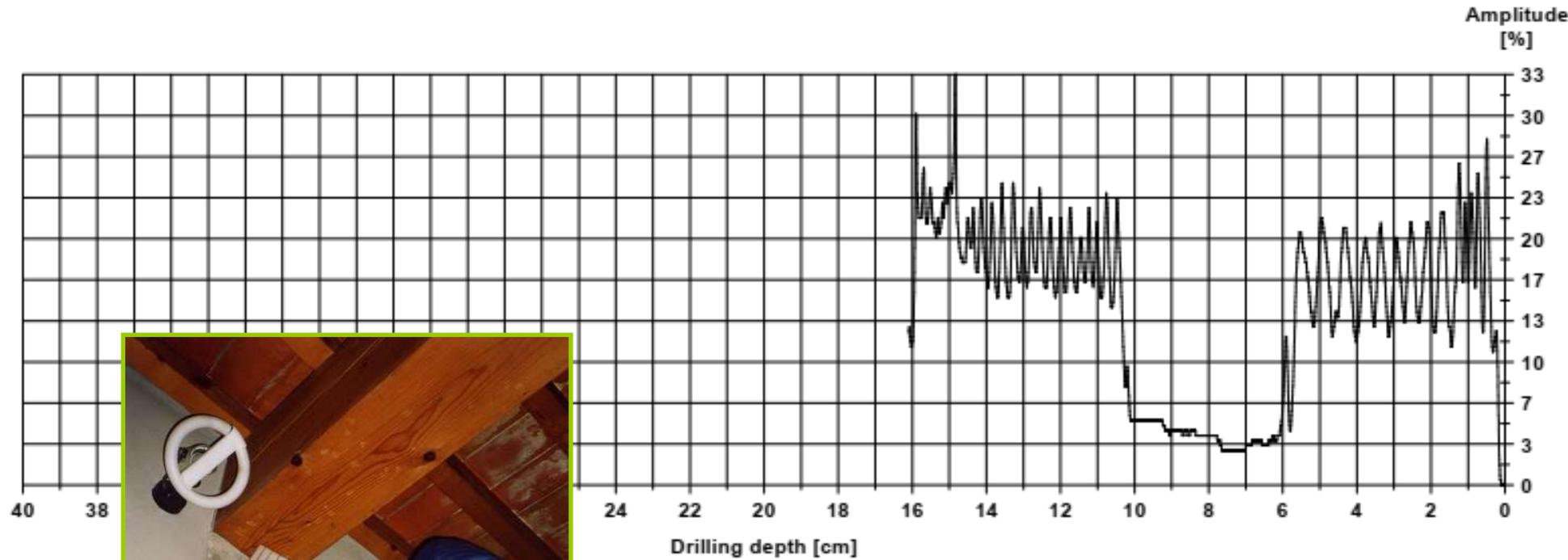
Indagini diagnostiche – ispezione visiva

Durabilità – Ispezione e diagnosi





Indagini diagnostiche - Indagini resistografiche



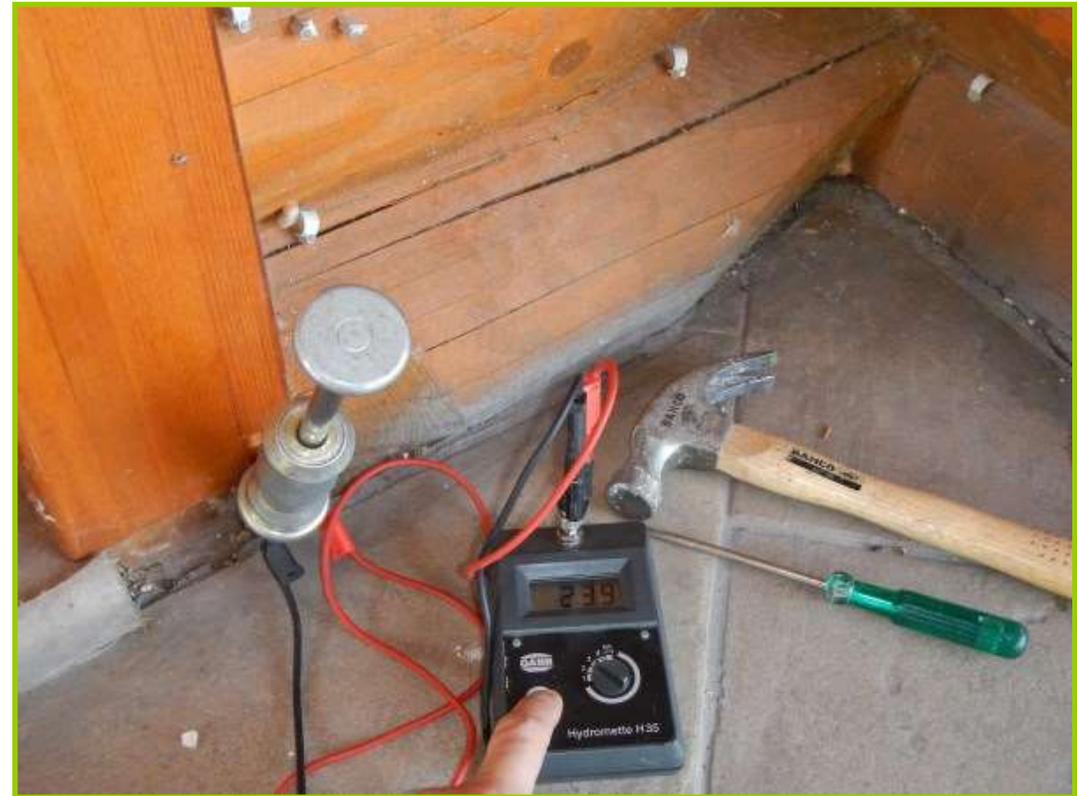
Indagini diagnostiche - Misura dell'umidità del legno



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.

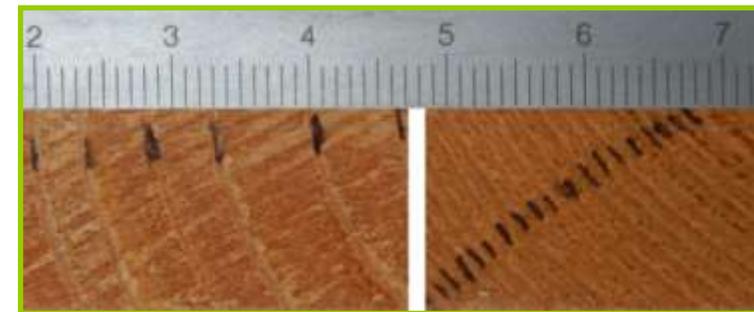
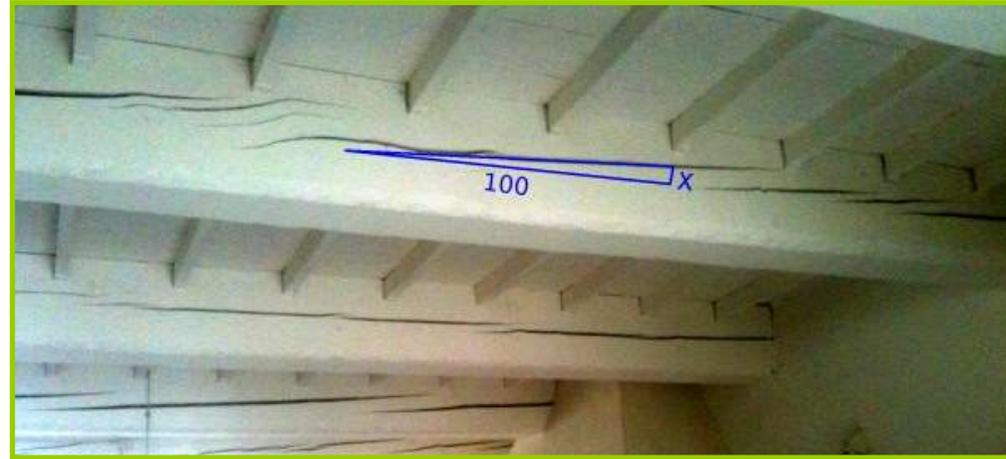
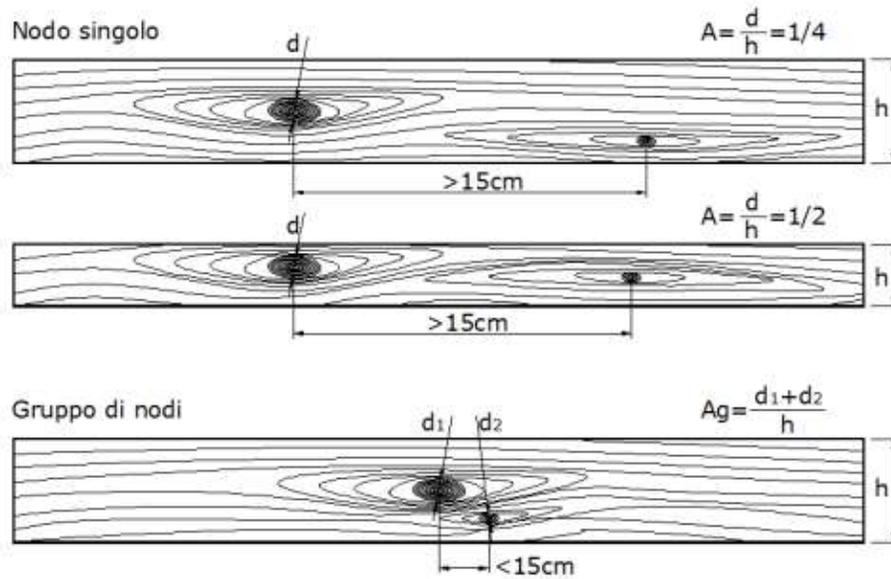
Indagini diagnostiche - Misura dell'umidità del legno

Durabilità – Ispezione e diagnosi





Indagini diagnostiche - Classificazione





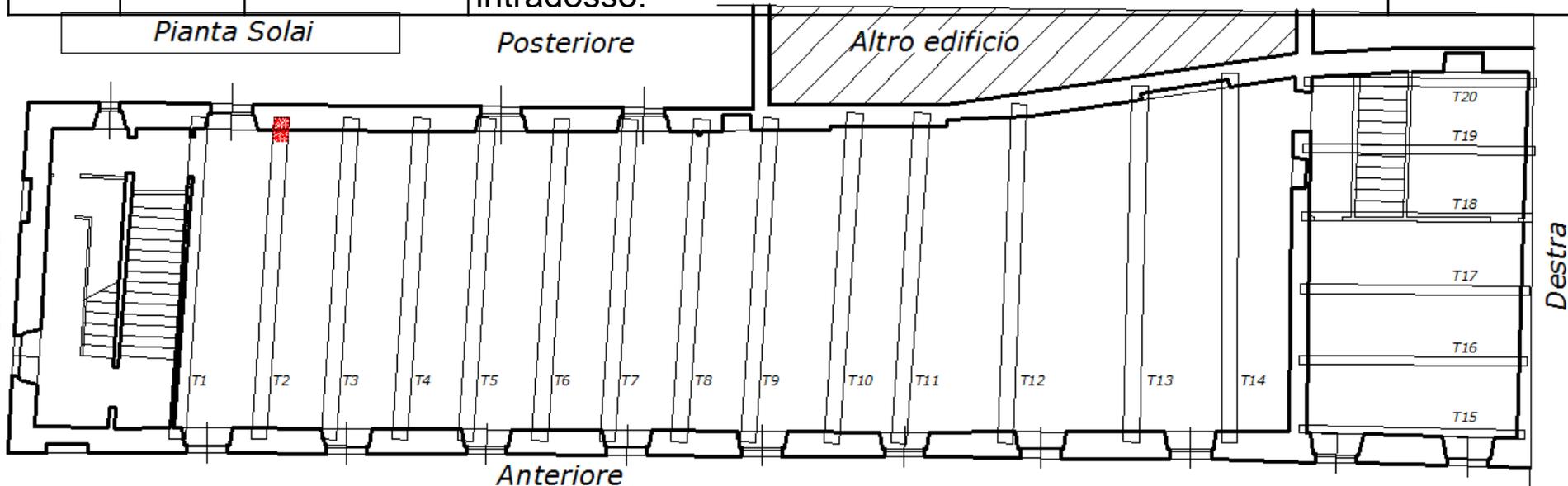
□ Indagini diagnostiche – Classificazione (UNI 11119)

Regole di classificazione per elementi strutturali lignei in opera

CARATTERISTICA		CATEGORIA IN OPERA		
		I	II	III
Smussi		$\leq 1/8$	$\leq 1/5$	$\leq 1/3$
Lesioni varie Cretti da gelo Cipollature		assenti	assenti	ammissibili, purché in misura limitata
Nodi singoli		$\leq 1/5$ ≤ 50 mm	$\leq 1/3$ ≤ 70 mm	$\leq 1/2$
Gruppi di nodi		$\leq 2/5$	$\leq 2/3$	$\leq 3/4$
Inclinazione della fibratura (pendenza %)	in sezione radiale	$\leq 1/14$ (~7%)	$\leq 1/8$ (~12%)	$\leq 1/5$ (20%)
	in sezione tangenziale	$\leq 1/10$ (10%)	$\leq 1/5$ (20%)	$\leq 1/3$ (~33%)
Fessurazioni radiali da ritiro		ammissibili, purché non passanti		



<i>Elem.</i>	<i>Sez (cm)</i>	<i>Sez. residua (cm)</i>	<i>Descrizione e stato di conservazione</i>	<i>Classe (UNI 11035)</i>
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





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

- Indagini diagnostiche:
 - Ispezione visiva
 - Indagini strumentali





Teatro Farnese Complesso monumentale della Pilotta - Parma

Indagini diagnostiche





Durabilità – Ispezionabilità e diagnosi





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Durabilità – Ispezionabilità e diagnosi





□ Coperture controsoffitate

Durabilità – Ispezionabilità e diagnosi





MAPEI



TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Criteri di intervento



MAPEI



8.7.4. CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

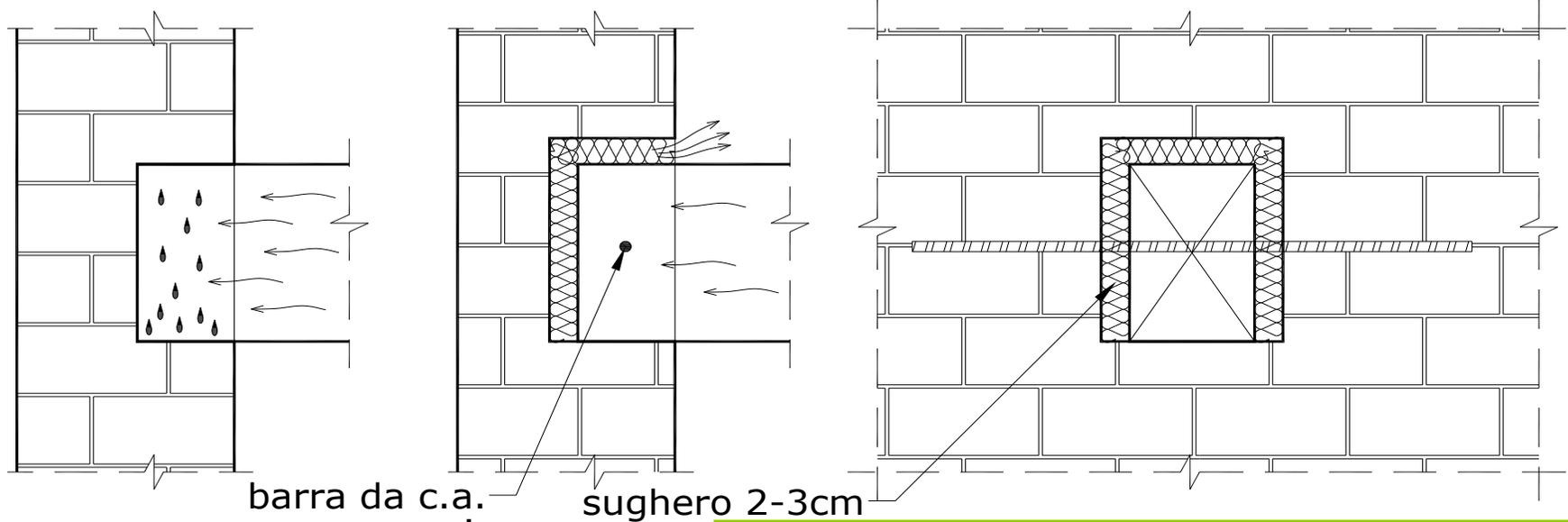
- riparazione di eventuali danni presenti;
- riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani;
- miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di singoli elementi;
- riduzione delle condizioni, anche legate alla presenza di elementi non strutturali, che determinano situazioni di forte irregolarità, sia planimetrica sia altimetrica, degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidità;
- 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

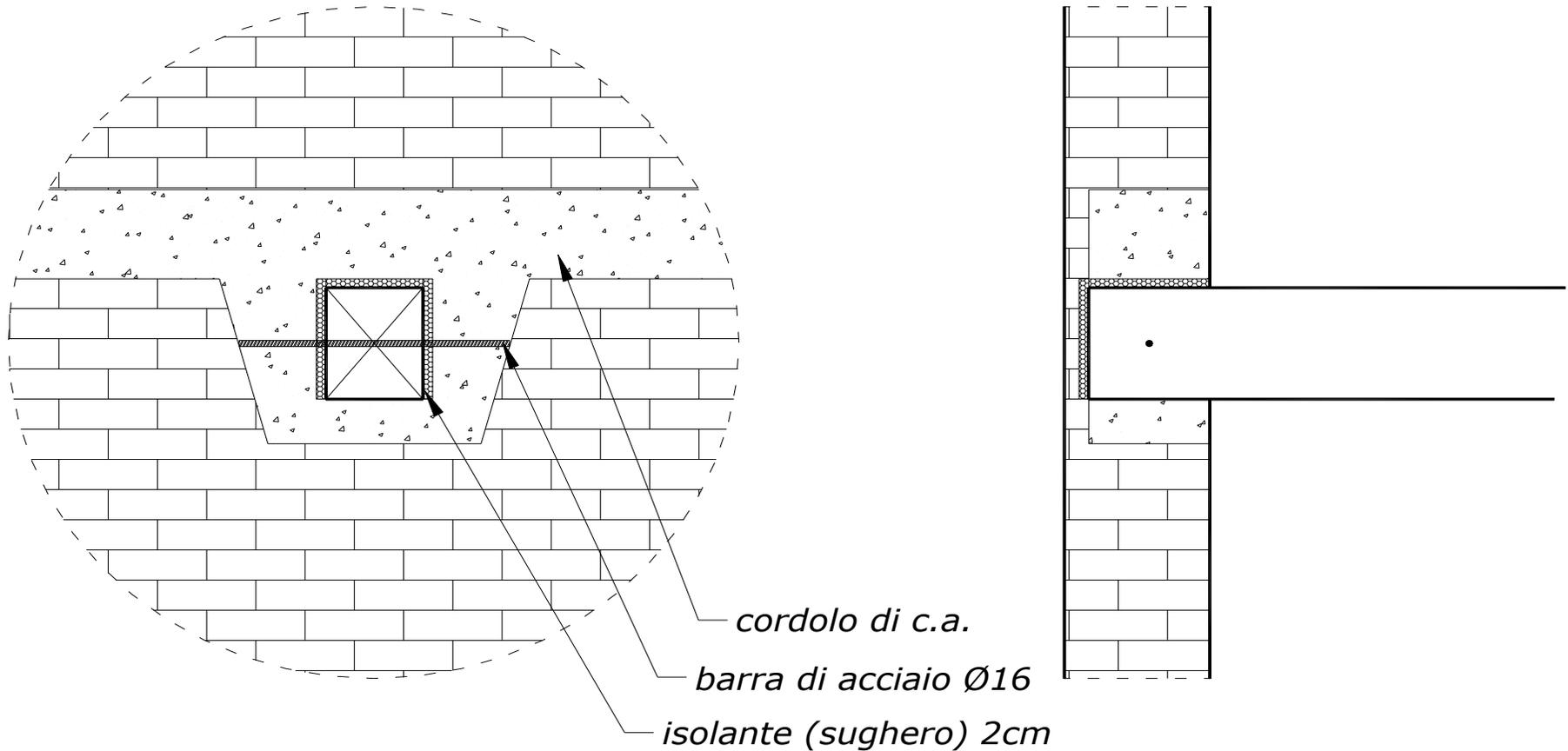


b





Particolari costruttivi: collegamento alla muratura

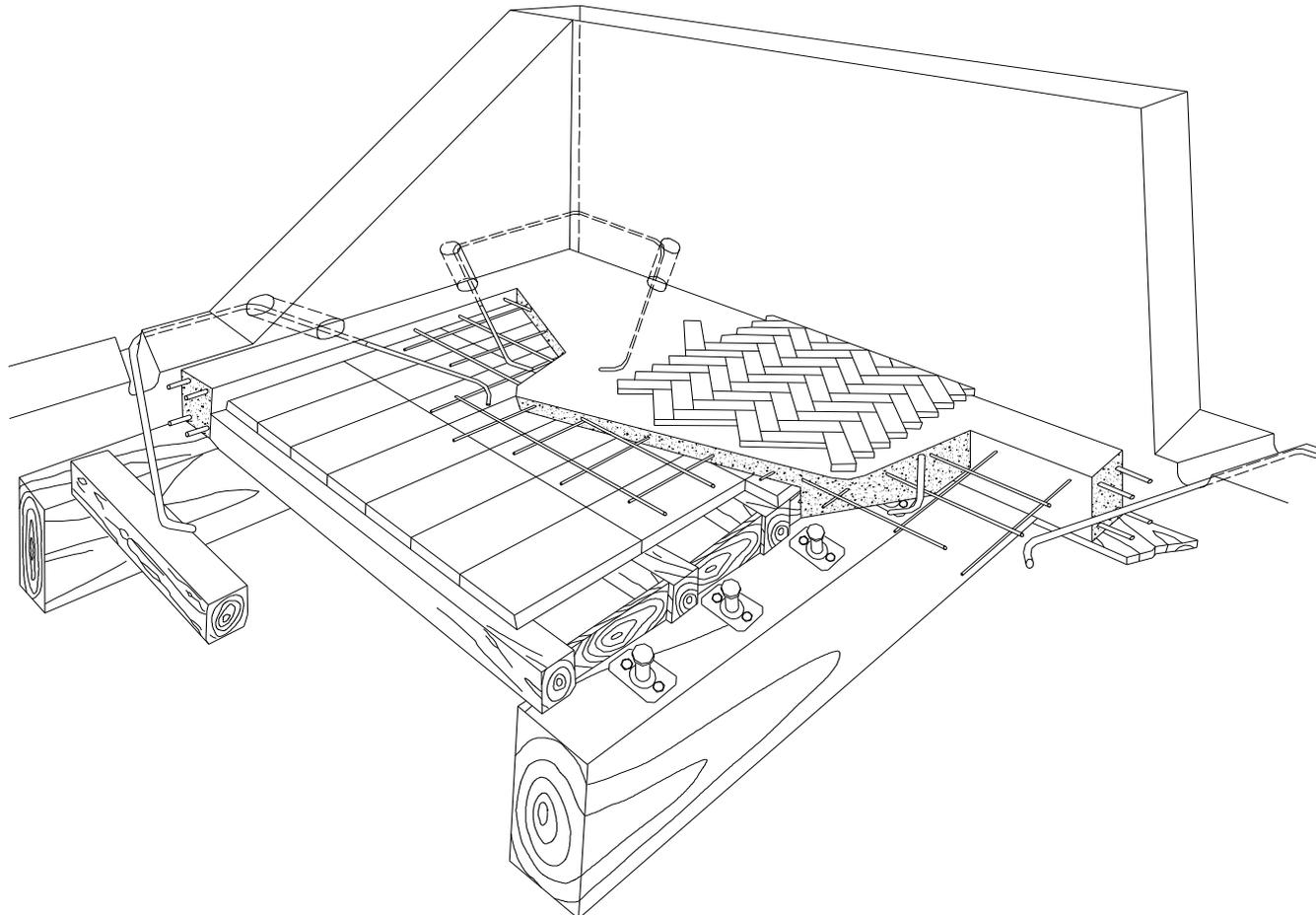




MAPEI



Particolari costruttivi: collegamento alla muratura

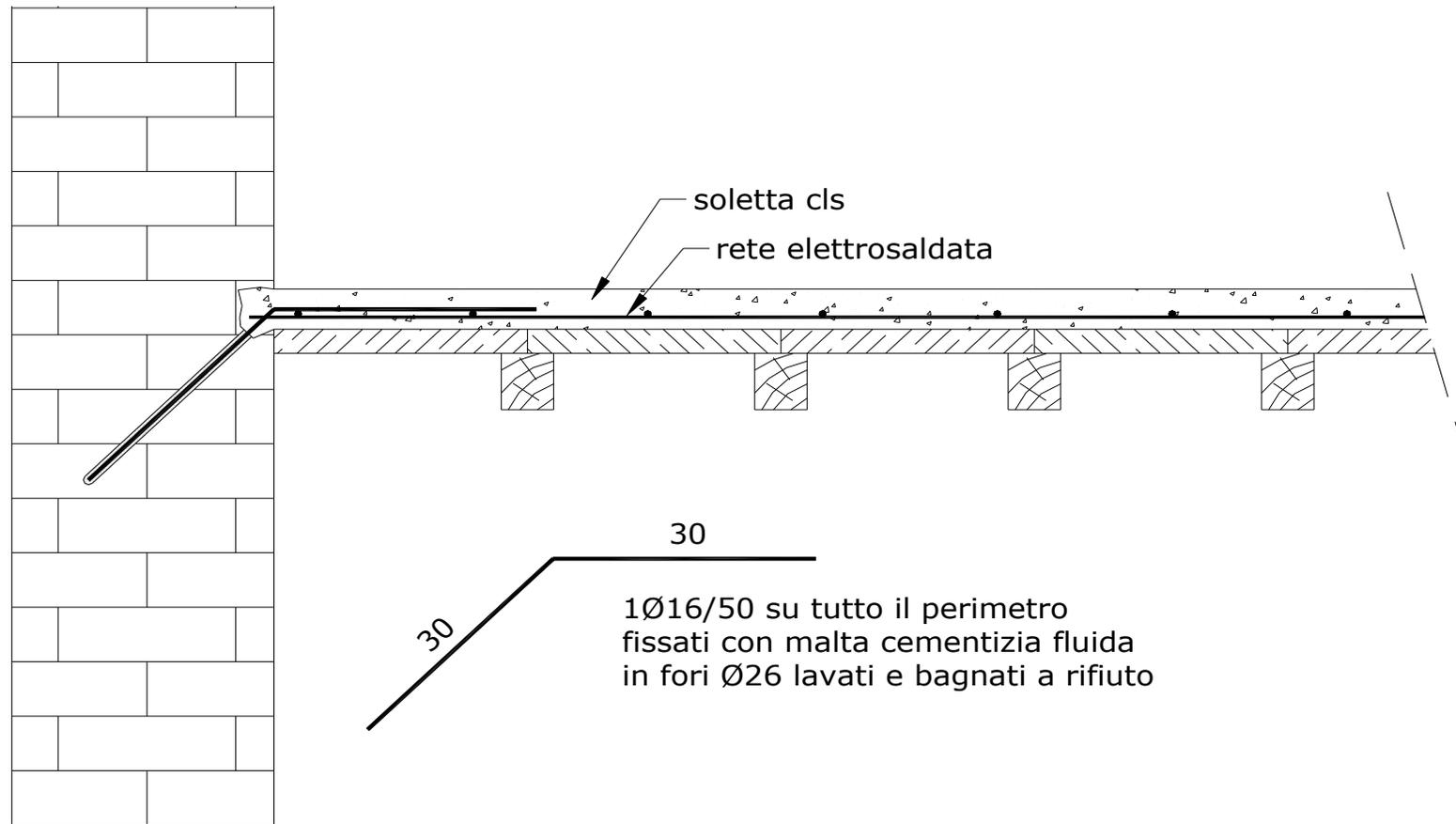




MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Particolari costruttivi: collegamento alla muratura

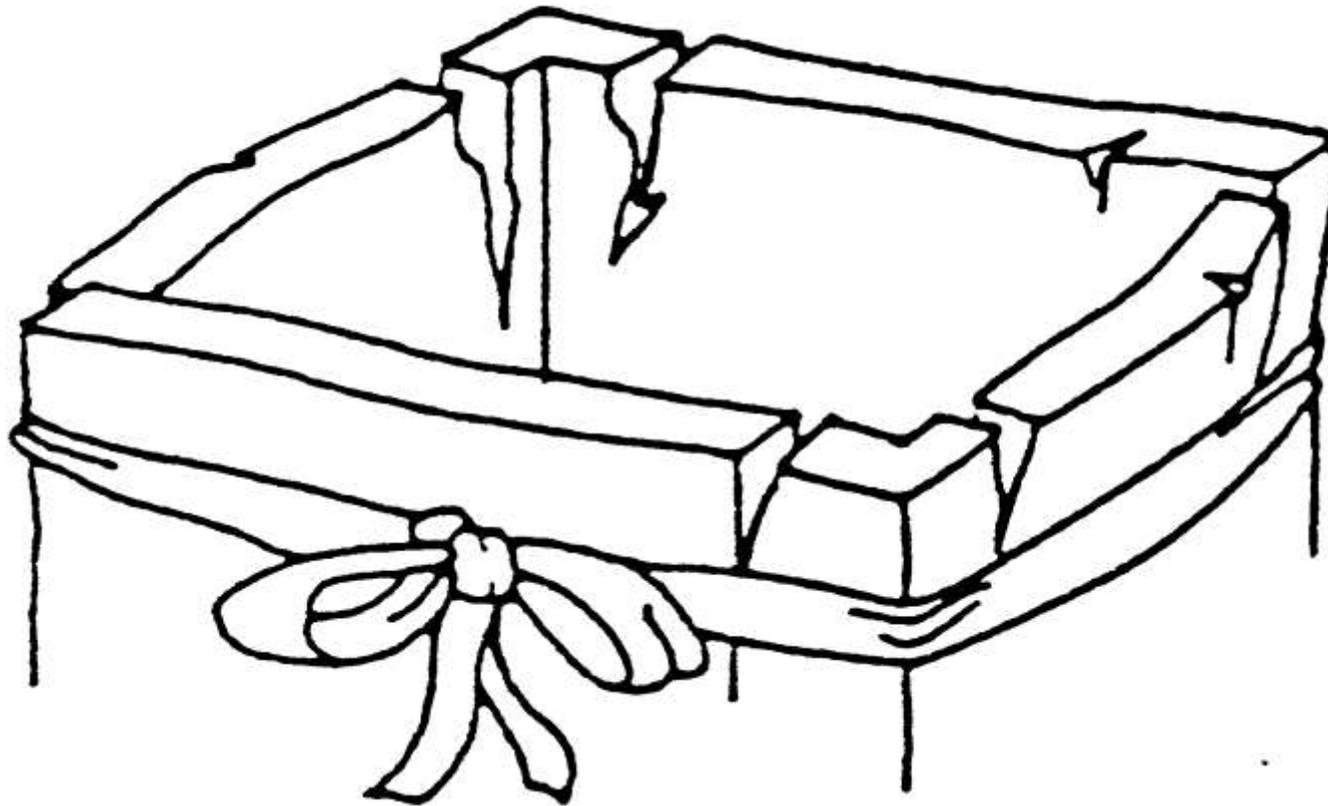




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

▣ Particolari costruttivi - cordoli





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Particolari costruttivi - cordoli





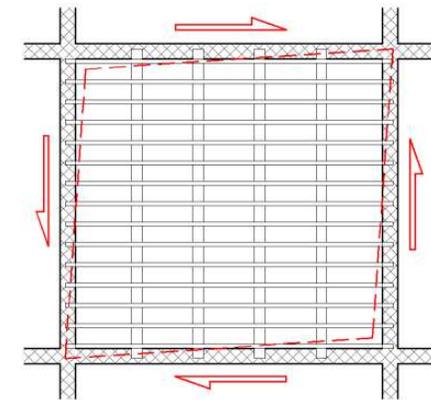
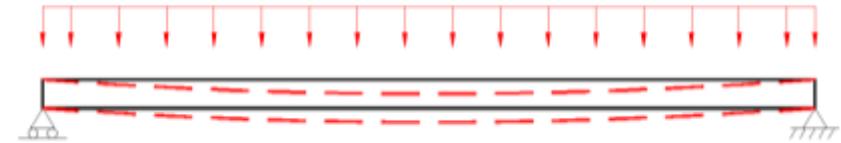
MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ 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





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento di solai



Villa,
Bagno a Ripoli (FI)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento di solai



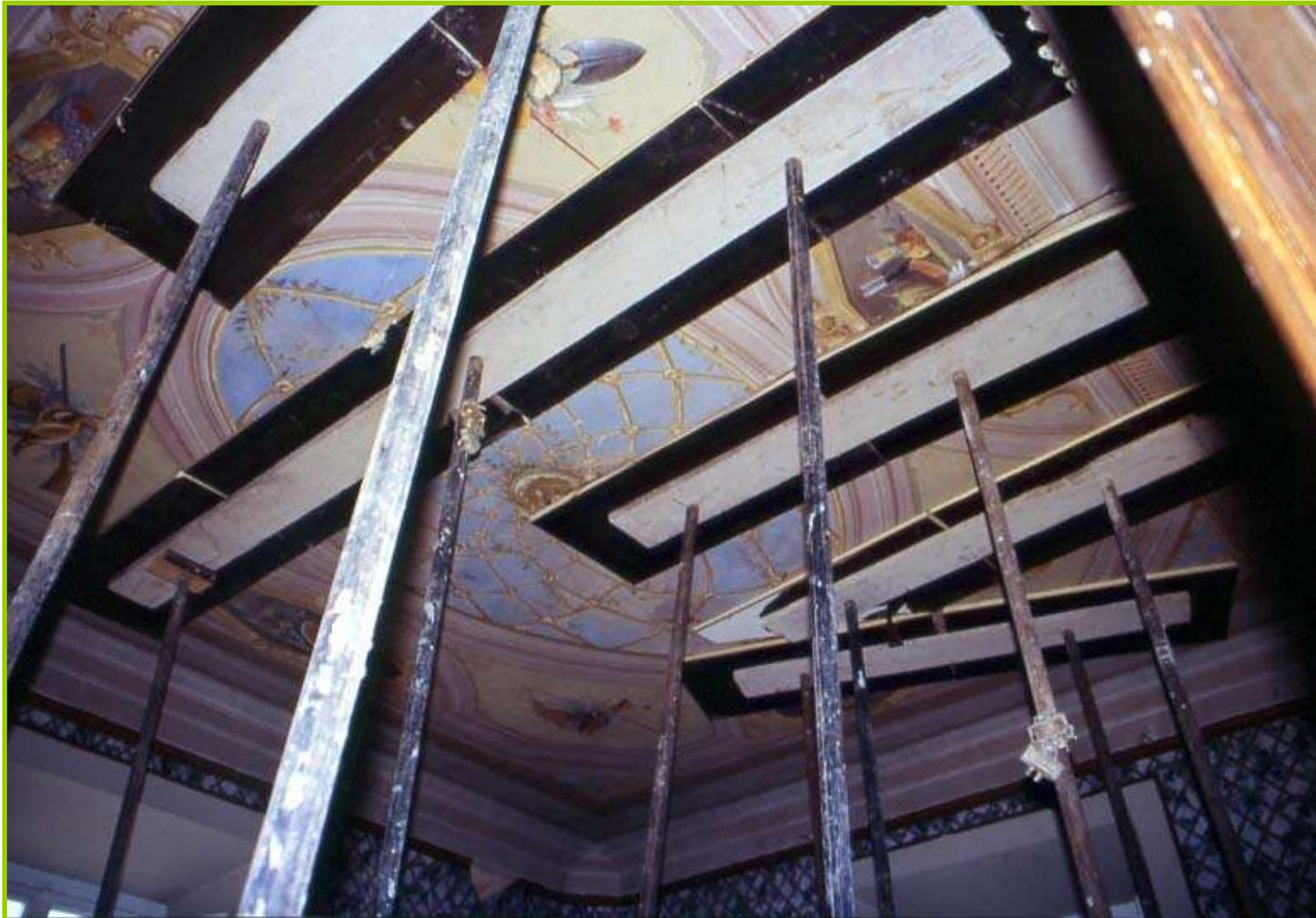
Villa,
Bagno a Ripoli (FI)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento di solai



Villa,
Bagno a Ripoli (FI)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Solai



❑ Consolidamento di solai



Complesso di S.M.
della Scala, Siena



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento di solai



Complesso di S.M.
della Scala, Siena



MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

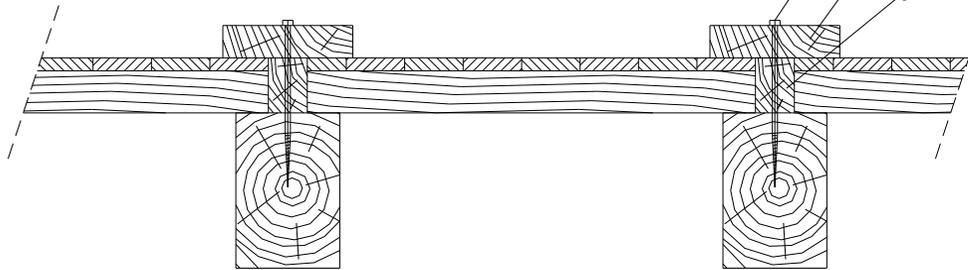
□ Consolidamento di solai

Intervento tipo A

*viti $\phi 10$ $l=250$
ad interasse 50*

tavola 200x50 a tutta luce

*tasselli 60x85x300
fra i travicelli*

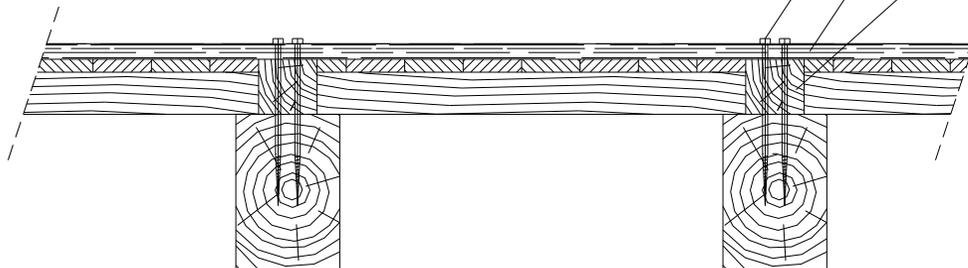


Intervento tipo B

*viti $\phi 8$ $l=250$
ad interasse 56 su 2 file*

compensato $sp=24$

*travetto 90x85
a tutta luce*



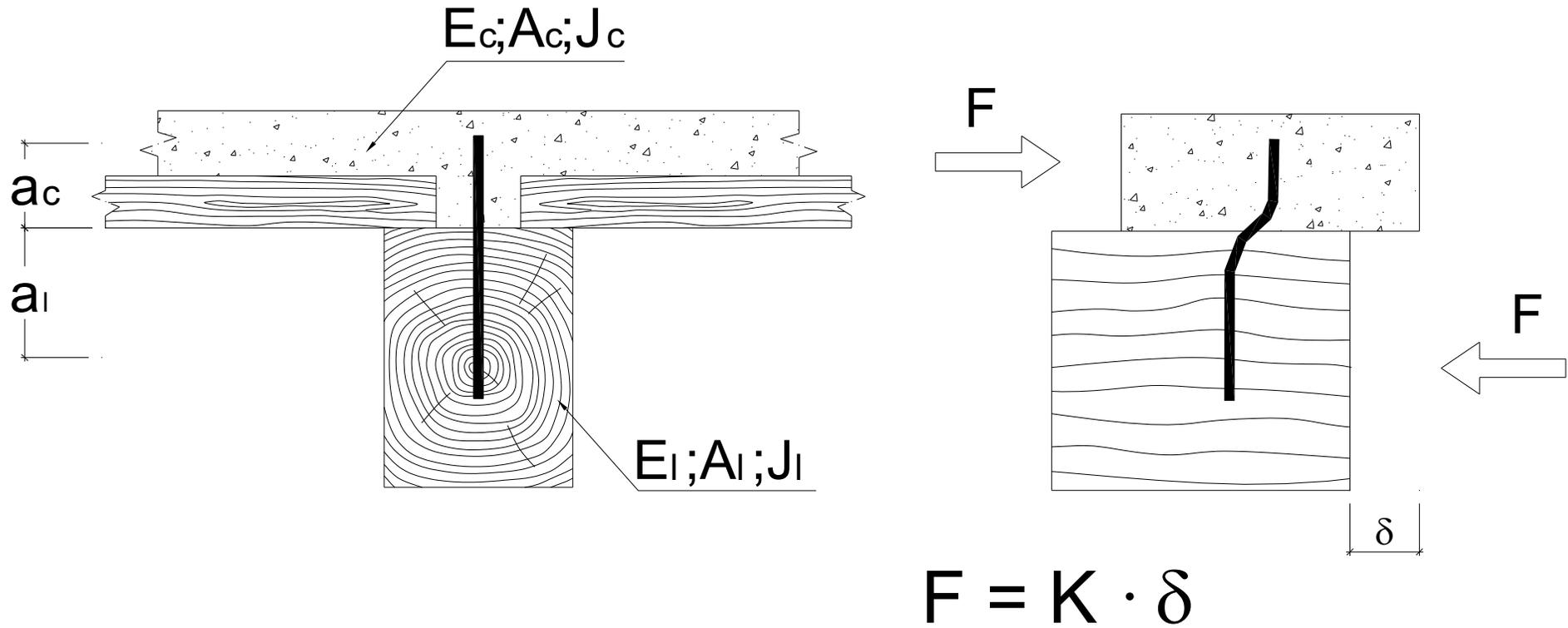
Ex monastero
S. Anna, Palermo



MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

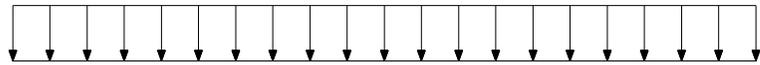
Calcolo delle sezioni composte: la teoria di möhler



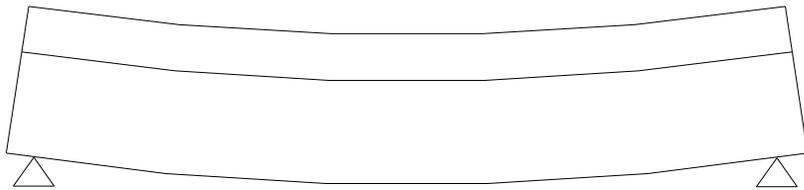


Calcolo delle sezioni composte: la teoria di möhler

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



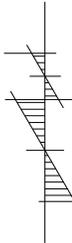
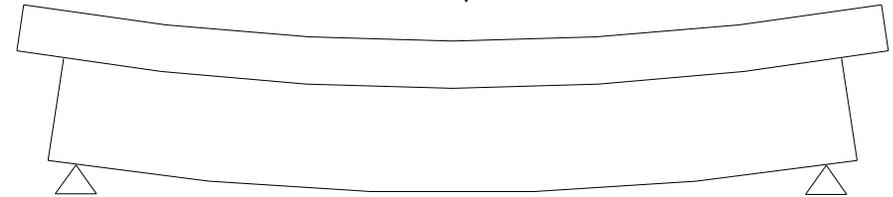
$$K = \infty \Rightarrow \gamma = 1$$



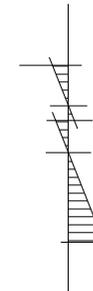
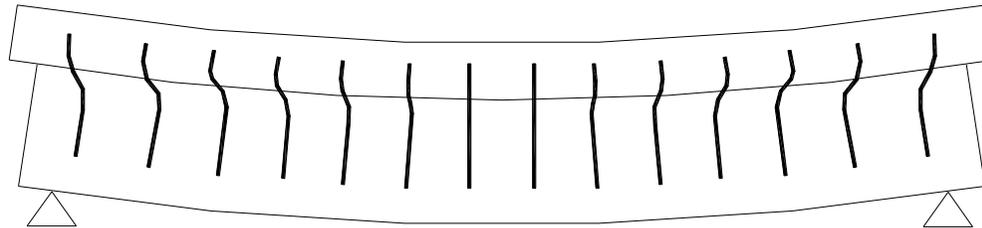
ε



$$K = 0 \Rightarrow \gamma = 0$$

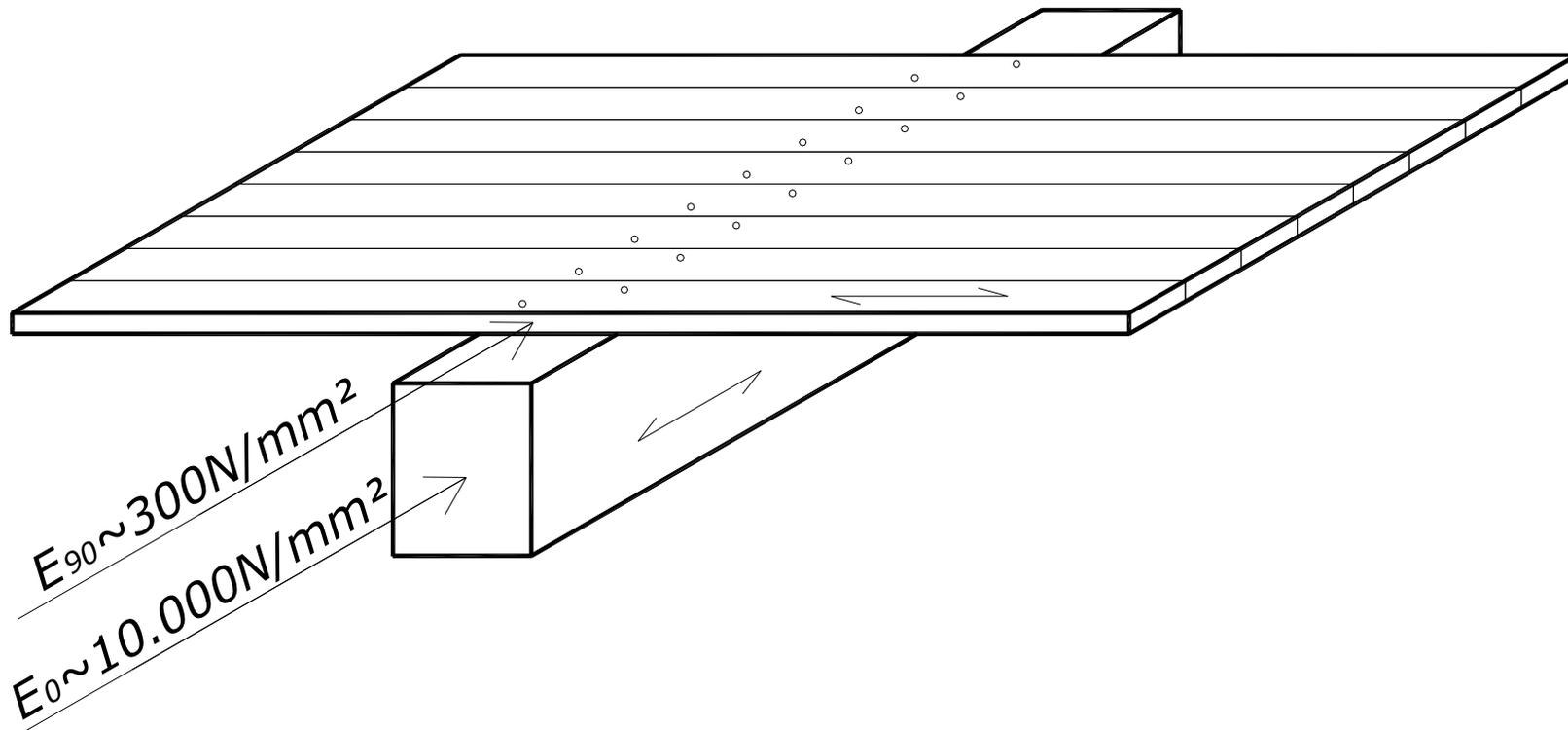


$$0 < K < \infty \Rightarrow 0 < \gamma < 1$$





□ Irrigidimento solaio

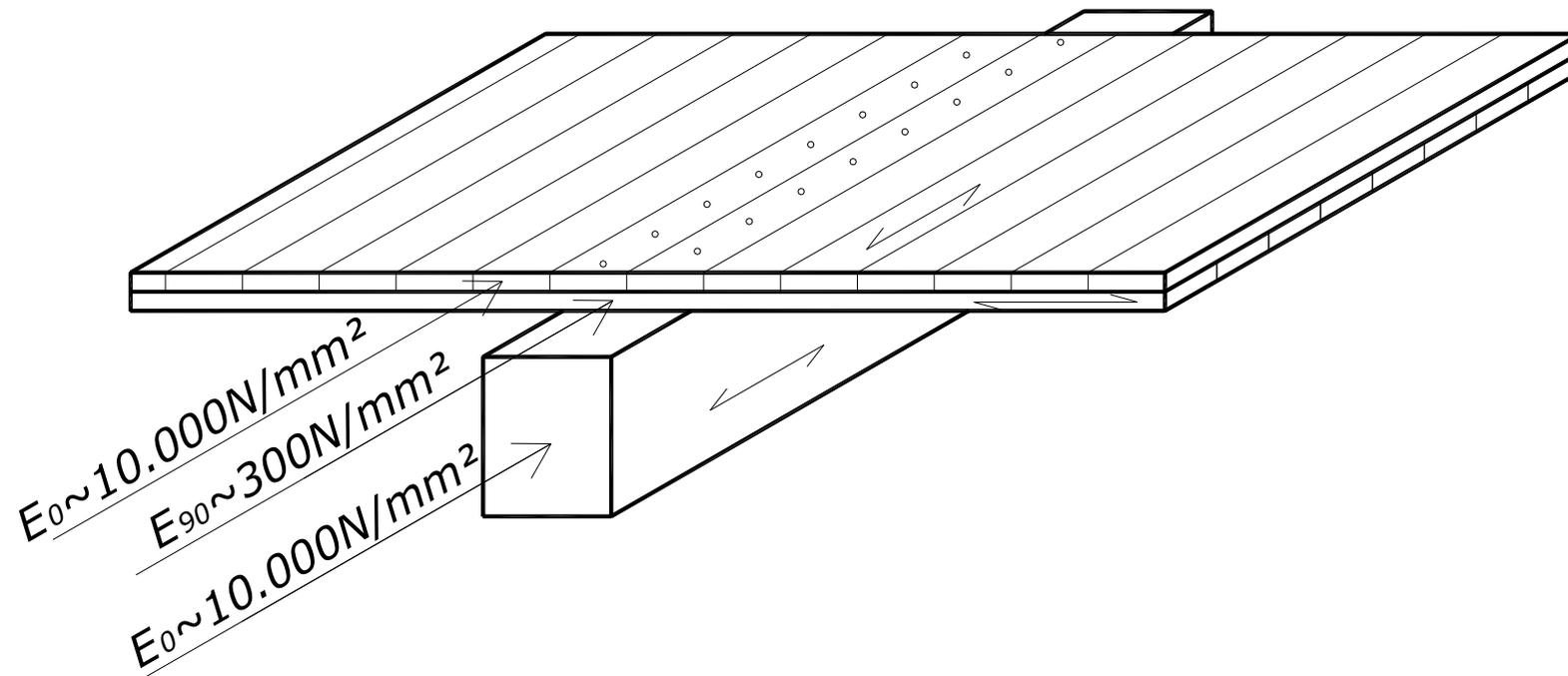




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Irrigidimento solaio





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Irrigidimento di solai



Ex monastero S. Anna,
Palermo





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Irrigidimento di solai



Palazzo Mochi
Zamperoli, Cagli (PU)





❑ Irrigidimento di solai

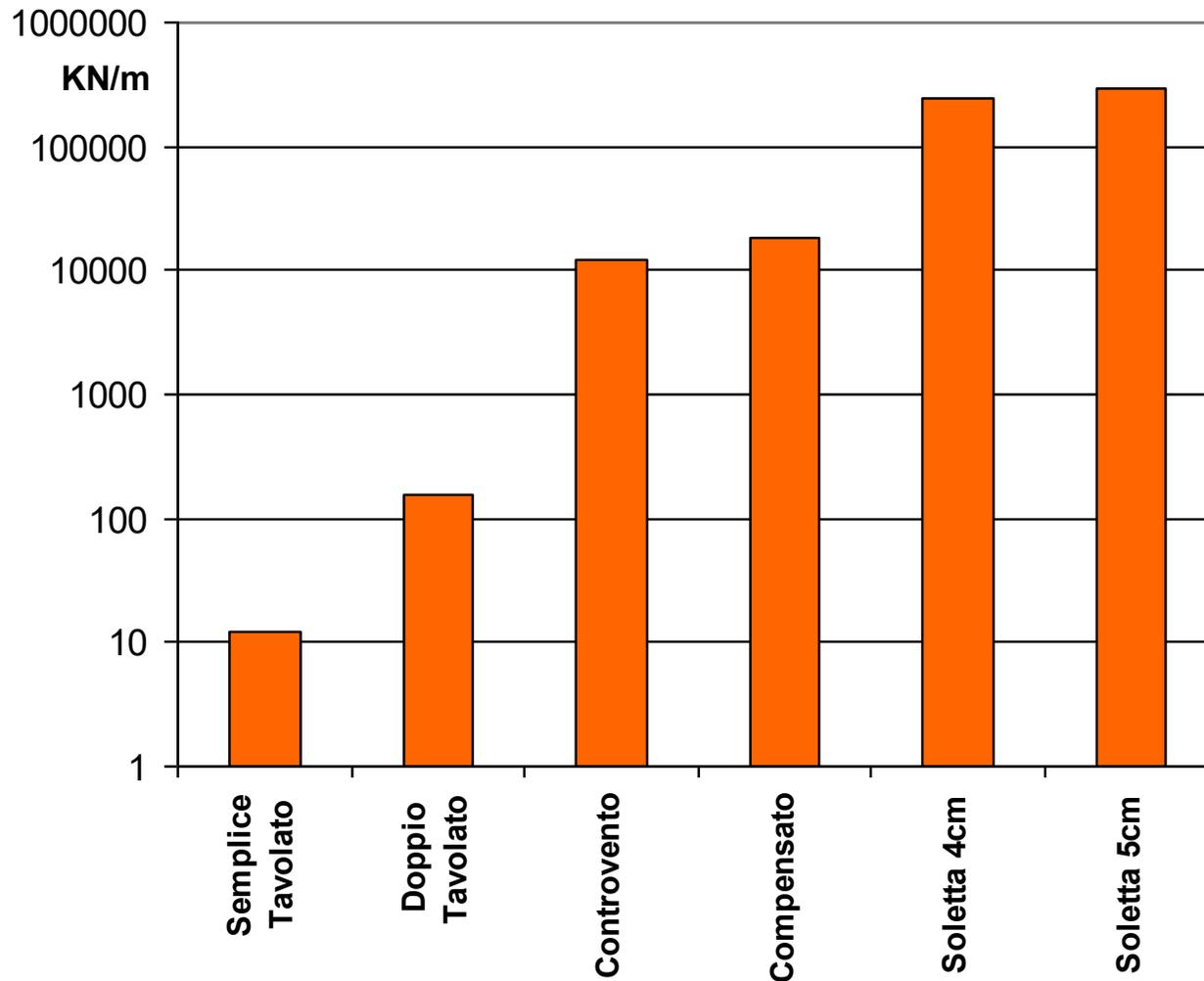


Palazzo Mochi
Zamperoli, Cagli (PU)

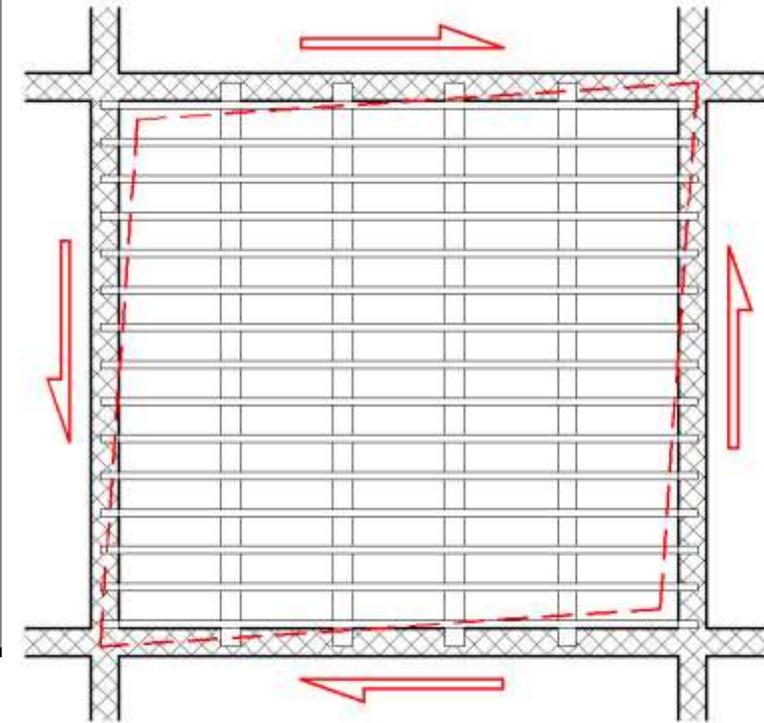




□ Rigidezza nel piano dei solai



Tesi di Laurea,
Ing. A. Tonelli





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Collegamento alla muratura

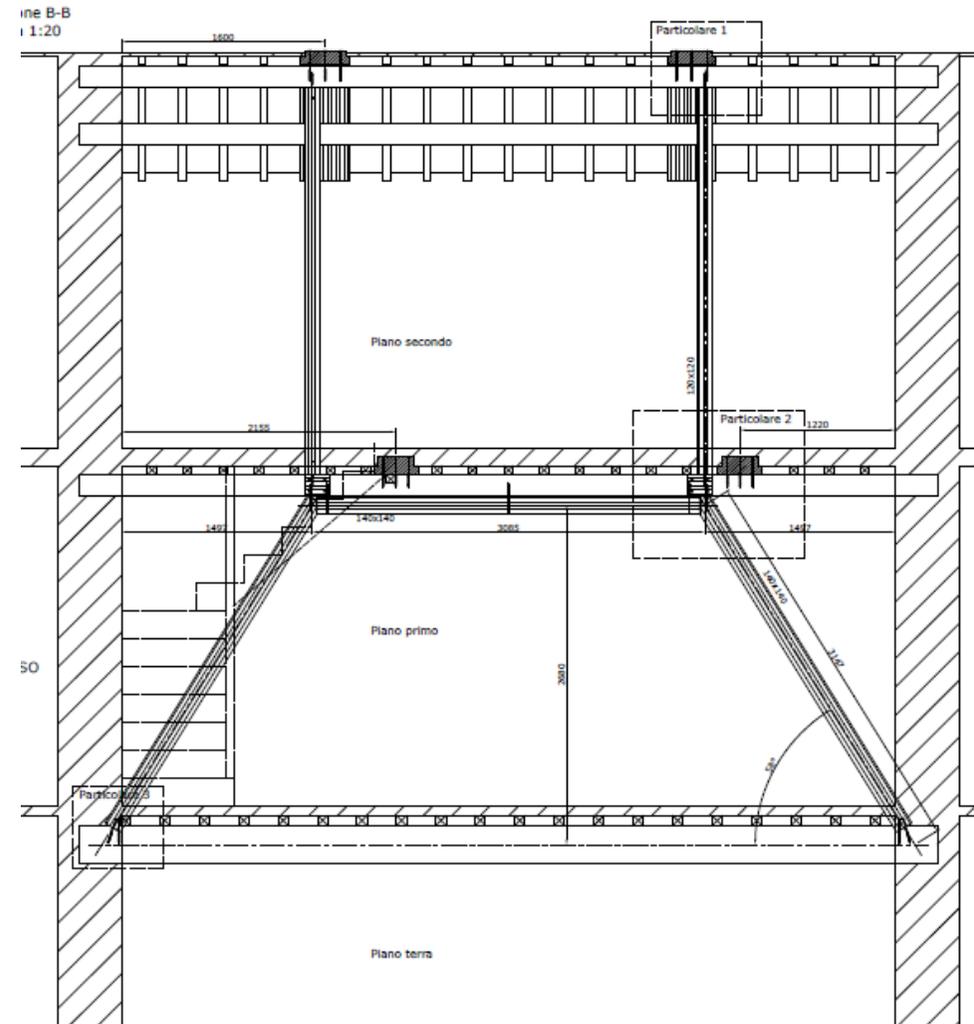
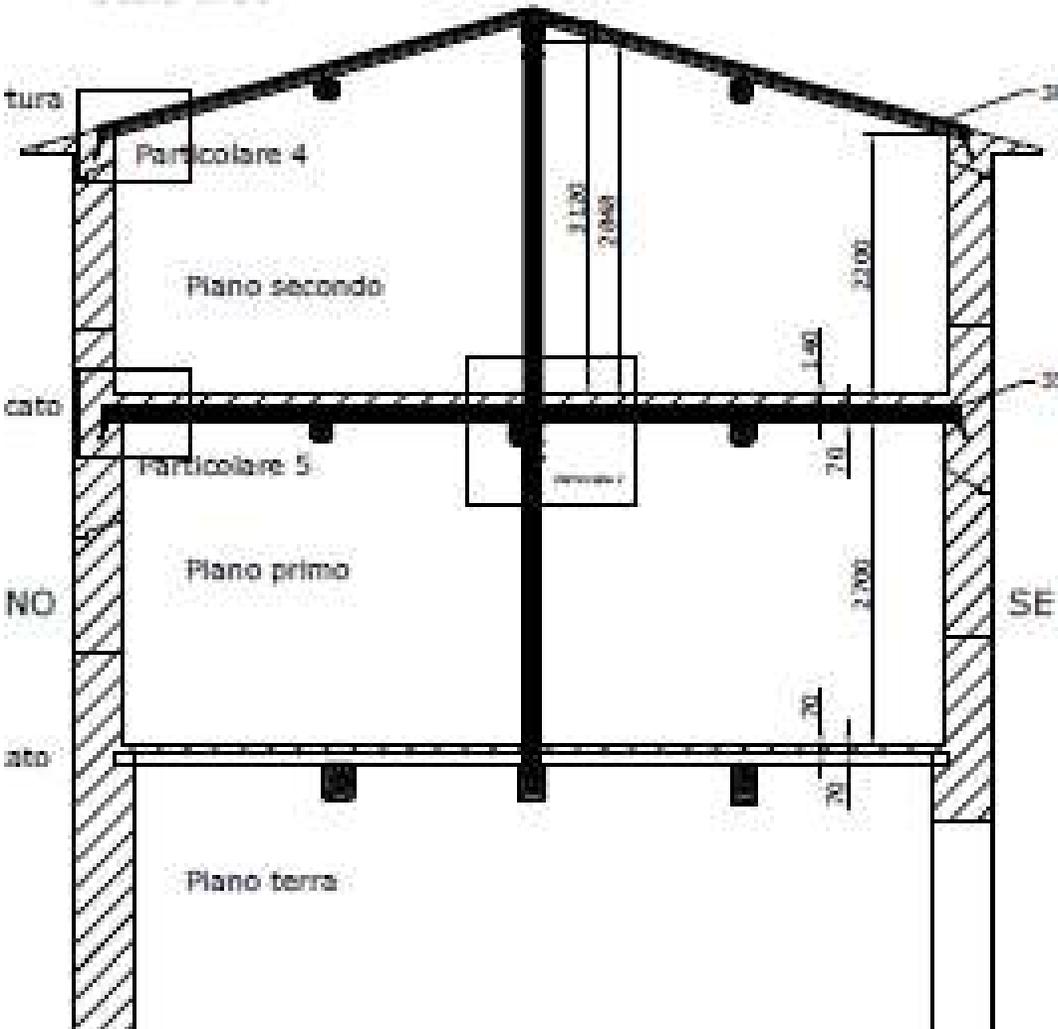




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Irrigidimento solai





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Irrigidimento solai





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Irrigidimento solai





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Irrigidimento solai





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Affiancamento arcarecci

Propositura di San Felice a Ema (FI)





❑ Affiancamento arcarecci

Palazzo Calderini - Imola





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Sostegno trave

Basilica dell'Impruneta (FI) – luce 7m





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Sostegno trave

Basilica dell'Impruneta (FI) – luce 7m





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Reticolare in opera





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

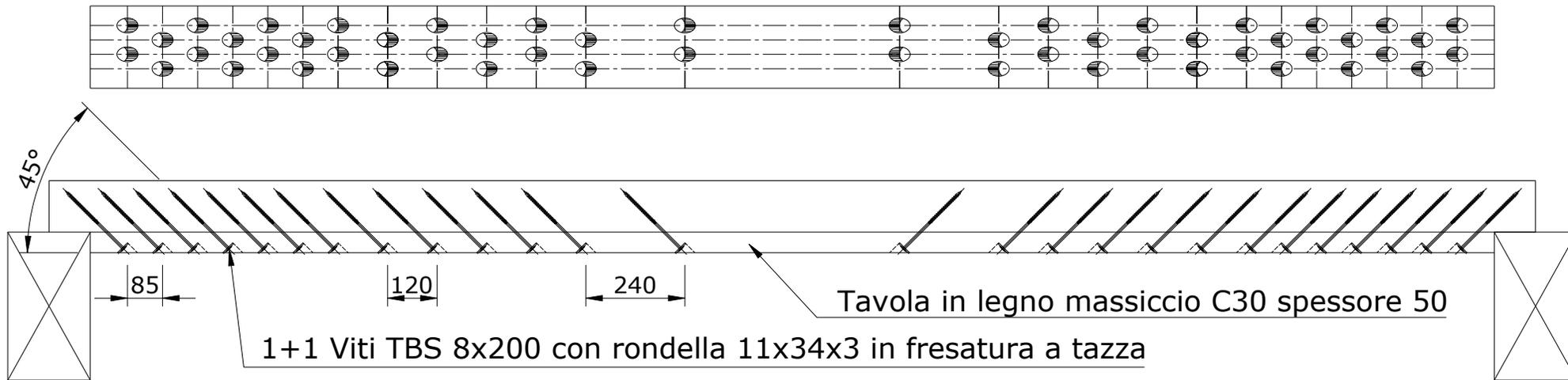
❑ Reticolare in opera





□ Rinforzo trave di copertura

Santo Stefano in Pane (FI)



Vite autoforante a testa larga TBS Ø8x200
con rondella piatta 11x34x3





❑ Rinforzo trave di copertura

Santo Stefano in Pane (FI)





❑ Rinforzo trave di copertura

Santo Stefano in Pane (FI)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Protesi con barre incollate



Villa di Geggiano, Siena





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Protesi con barre incollate



Civile abitazione, Livorno





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Protesi con barre incollate

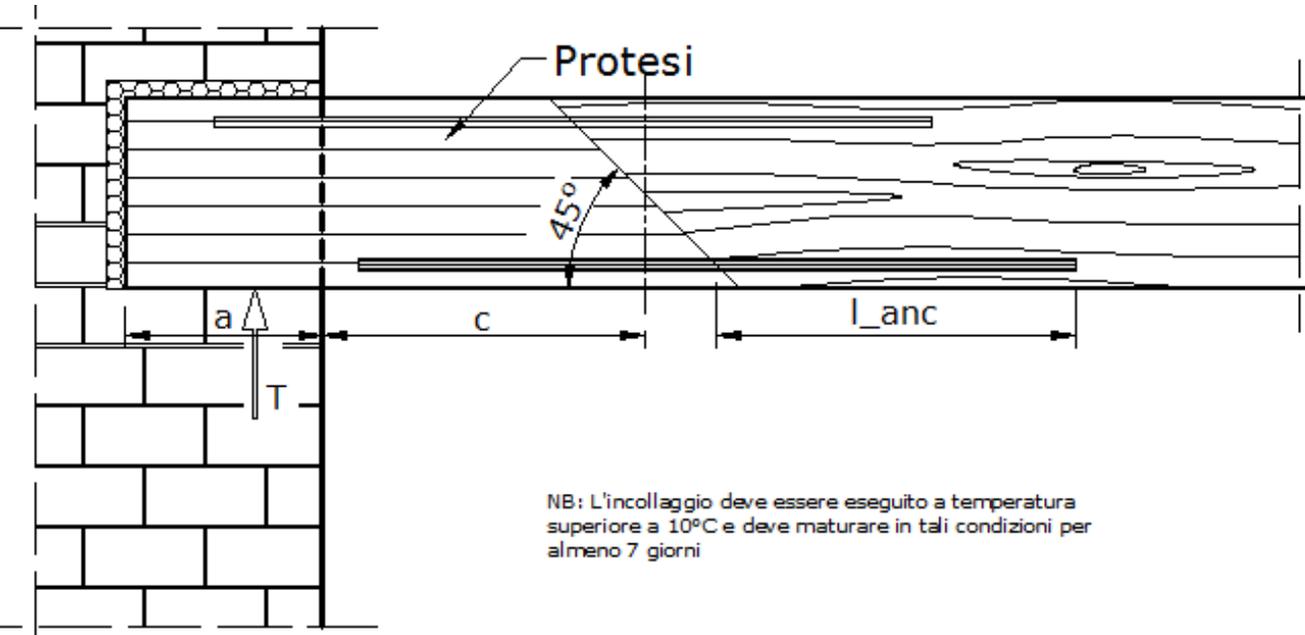




MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Protesi con barre incollate



$$M = T \times \left(\frac{a}{3} + b \right)$$

$$N_1 = \frac{M}{h}$$

Se il taglio è a 45°:

$$N_2 = T$$

$$P = \sqrt{2} \times T$$

Trazione nelle barre:

$$F_d = \frac{N_1}{2} + \frac{N_2}{4}$$





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Protesi con barre incollate





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

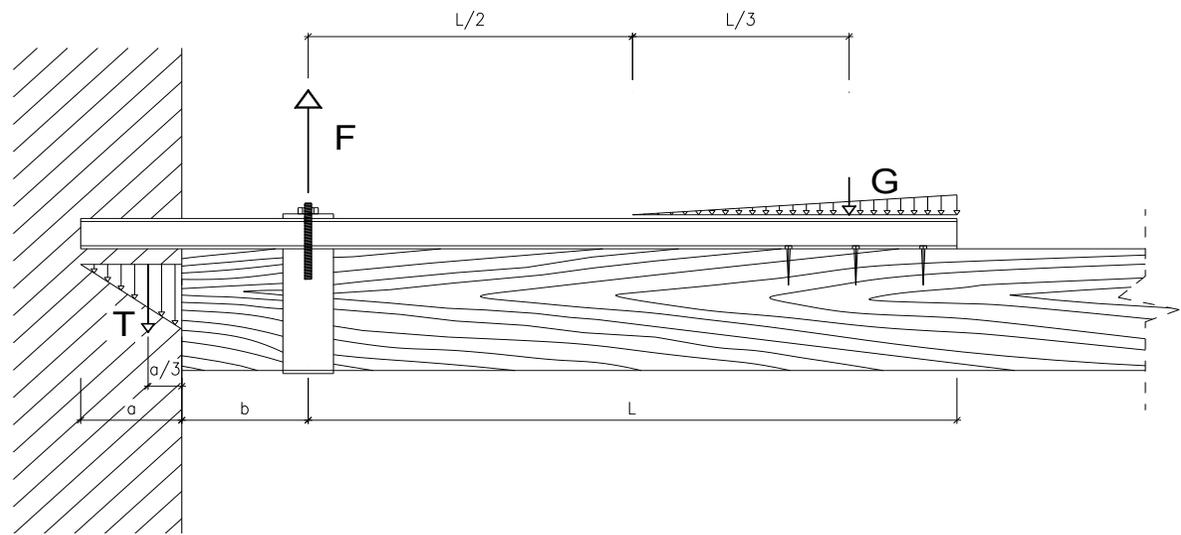
❑ Sostituzione di trave

Civile abitazione, Livorno





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

Equilibrio profilato

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



MAPEI



❑ Protesi con culla metallica

Basilica dell'Impruneta (FI)





MAPEI



□ Ricostruzione locale testa pilastro

Pieve di Cento (BO)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Ricostruzione locale testa pilastro



Pieve di Cento (BO)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Ricostruzione locale testa pilastro

Pieve di Cento (BO)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Ricostruzione locale testa trave

San Martino in Gangalandi – Signa (FI)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Ricostruzione locale testa trave

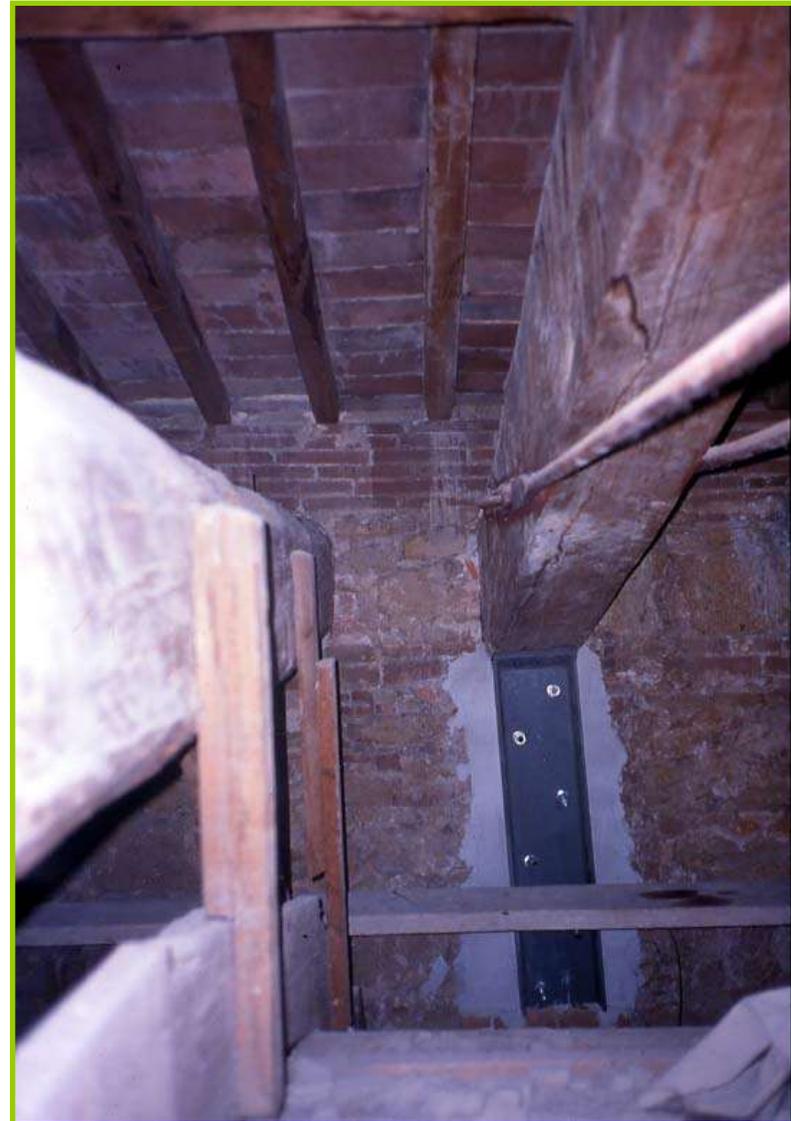


San Martino in Gangalandi – Signa (FI)





□ Ripristino appoggio



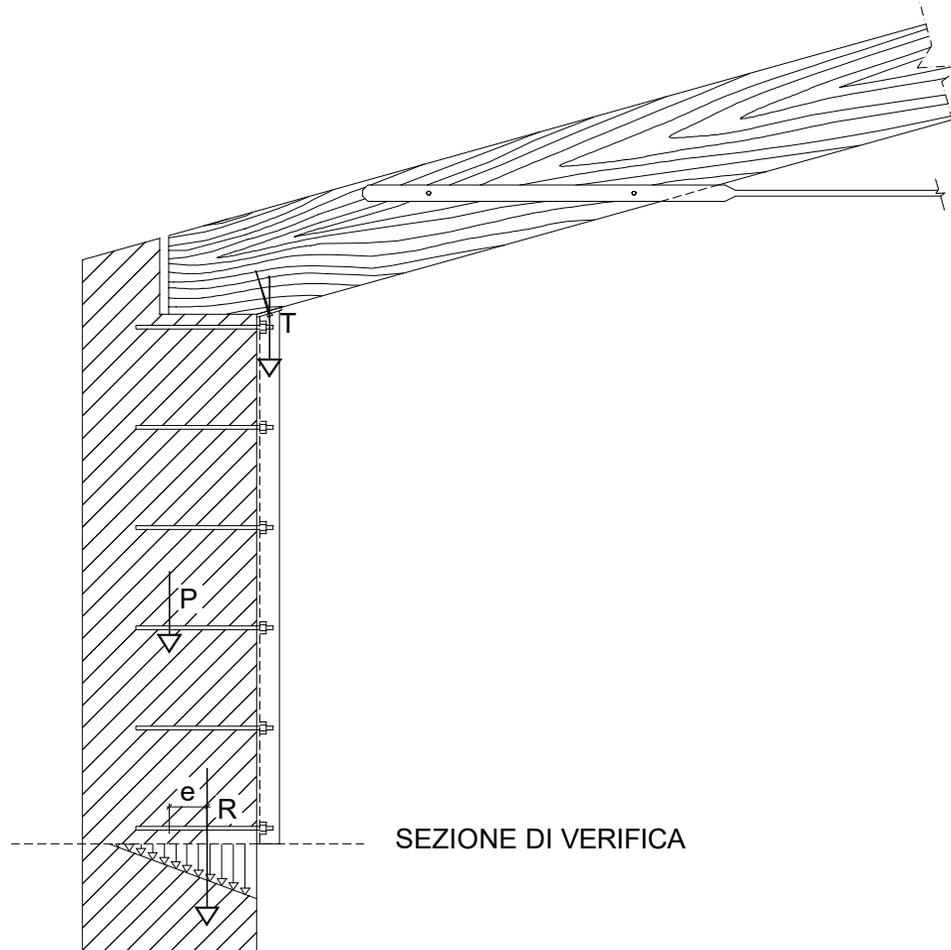
Scuole Benci, Livorno



MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Ripristino appoggio

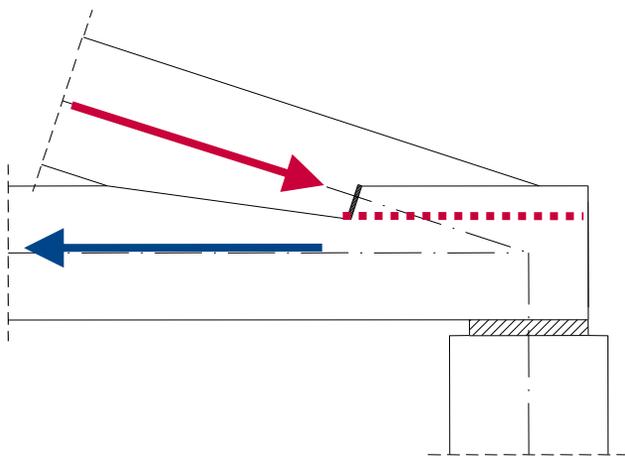
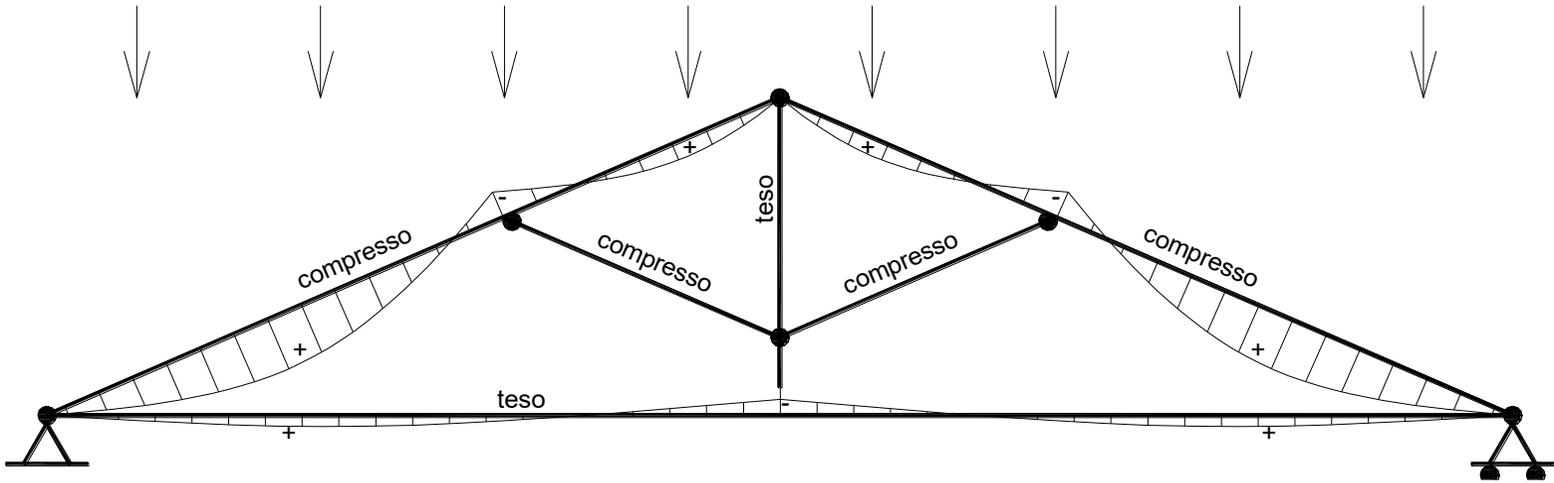


Da non dimenticare le verifiche sulla muratura:

- schiacciamento;
- ribaltamento.

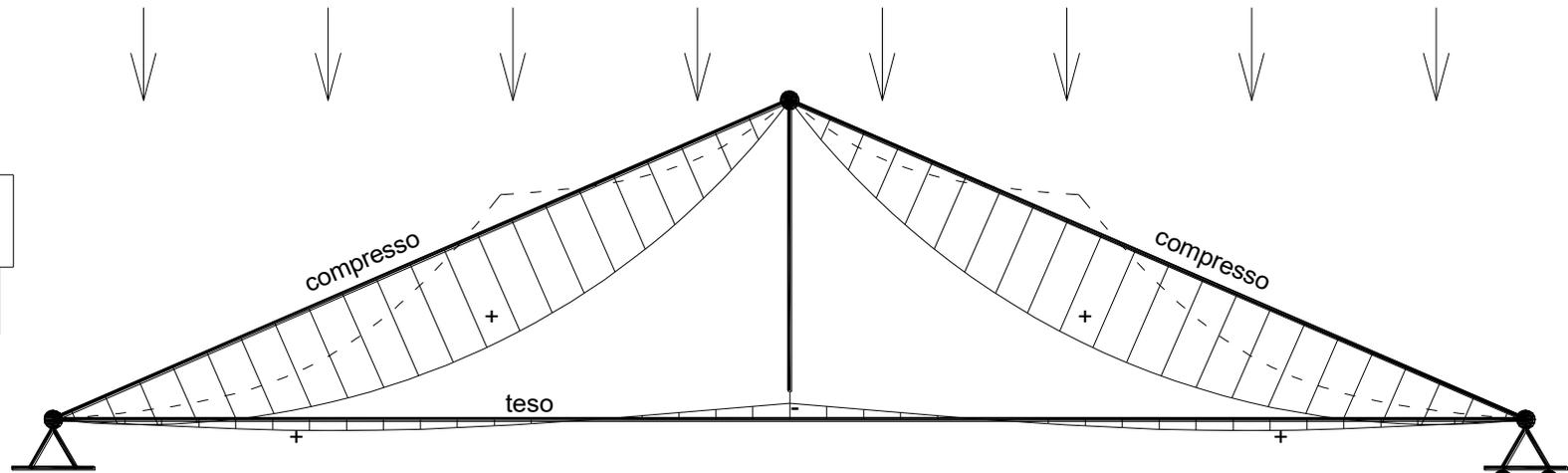
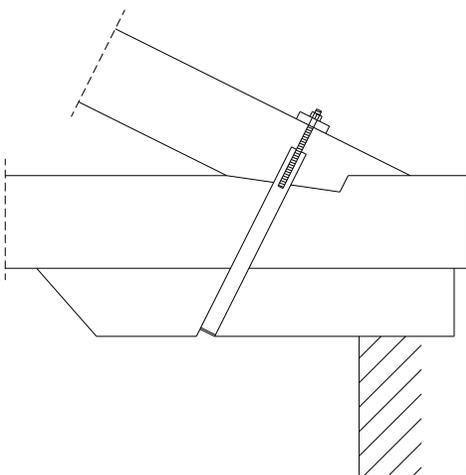
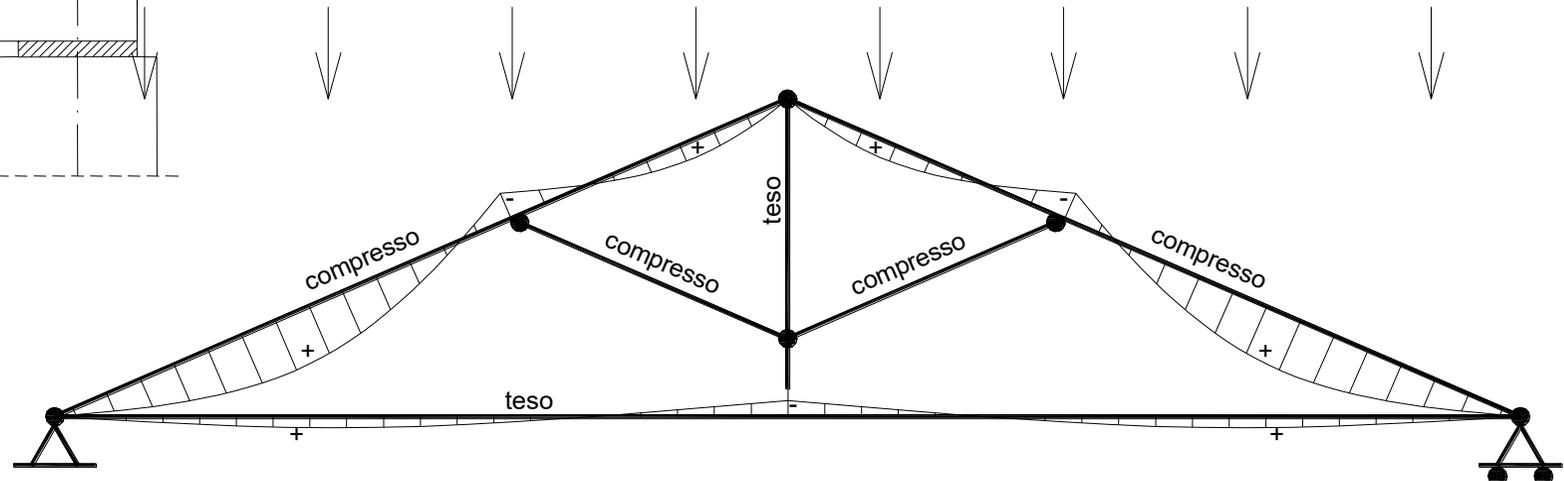
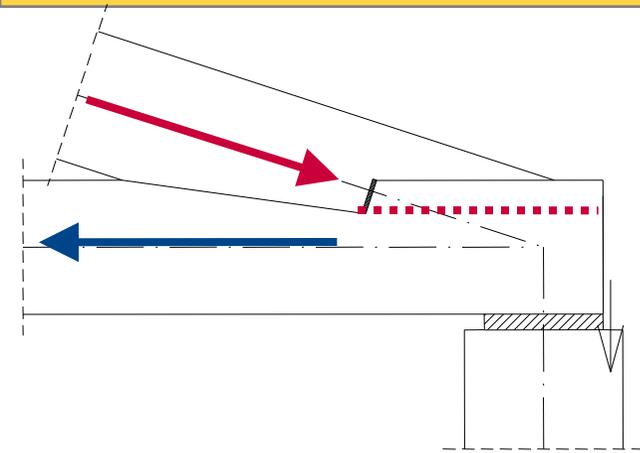


□ Le capriate – rottura del dente





Le capriate – rottura del dente





❑ Le capriate – rottura del dente





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Le capriate – rottura del dente





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Le capriate – rottura del dente

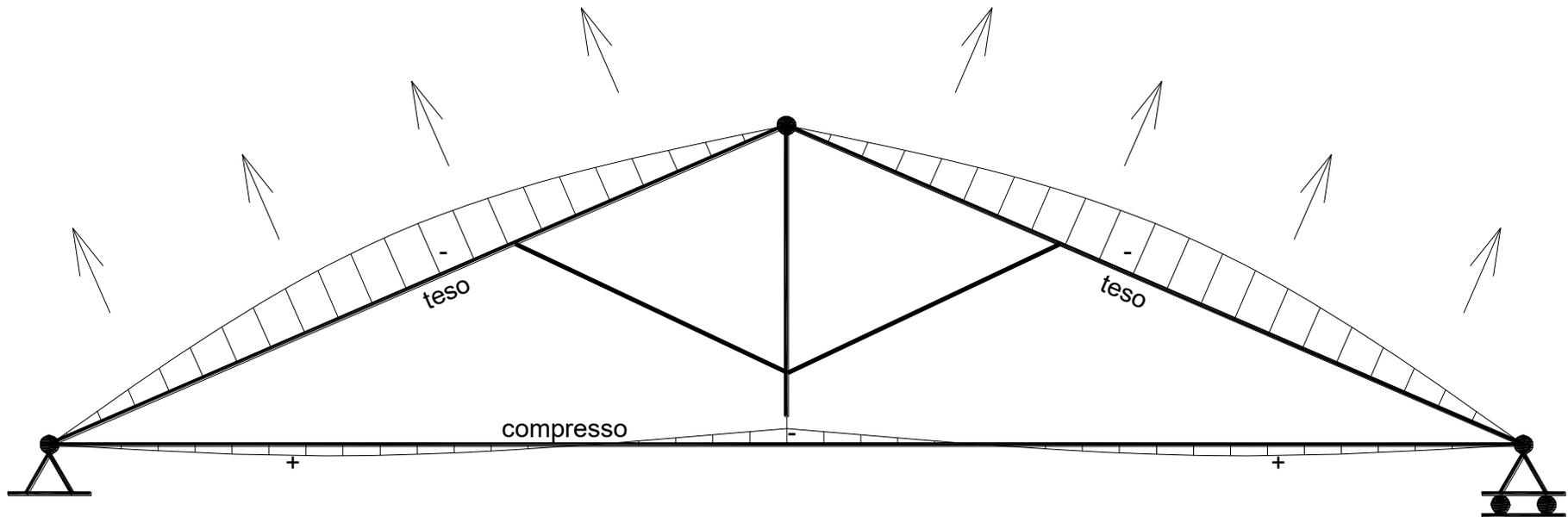




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Le capriate – vento in sollevamento

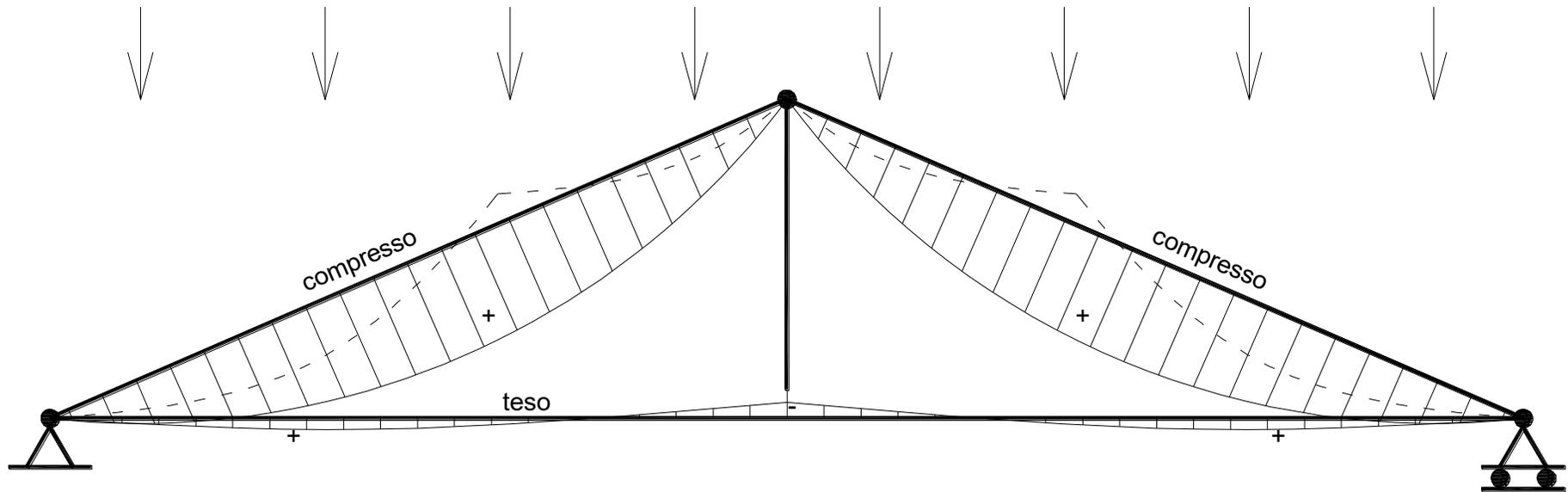




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Le capriate – vento in sollevamento





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Le capriate – vento in sollevamento





Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa Madonna del Carmine, Pistoia





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa San Vittore, Cesena





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento unione catena - puntone



Museo di arte medioevale, Arezzo





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento catena



Chiesa della Madonna
del Carmine, Pistoia





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento catena



Cattedrale di
Cesena (FC)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento catena



Cattedrale di
Cesena (FC)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento catena



Cattedrale di
Cesena (FC)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento unione catena-puntone

Museo di San Marco (FI)



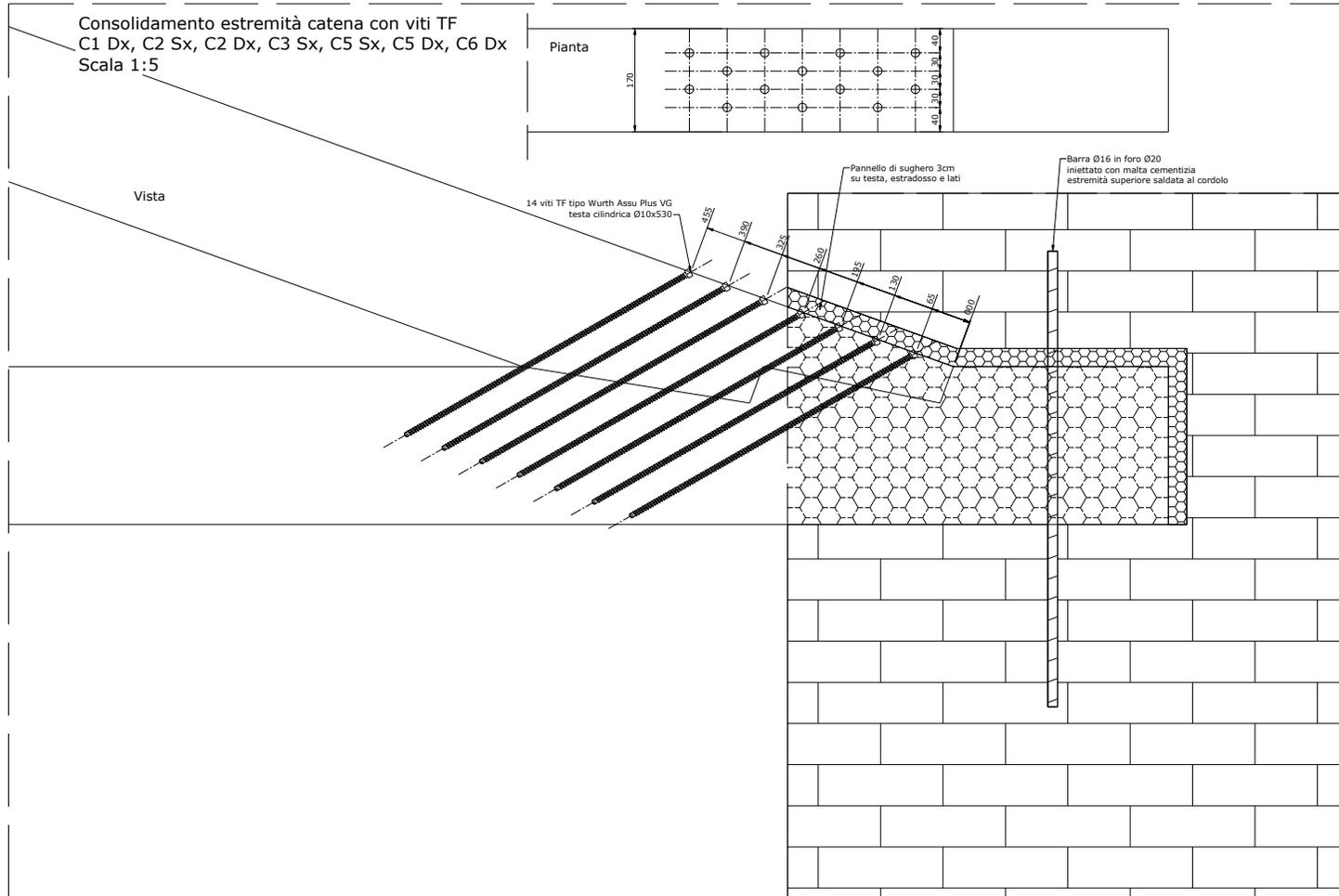


MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa
dell'Osservanza -
Cesena (FC)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa
dell'Osservanza -
Cesena (FC)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Consolidamento unione catena - puntone

Chiesa di Monteriolo in
Sarsina (FC)





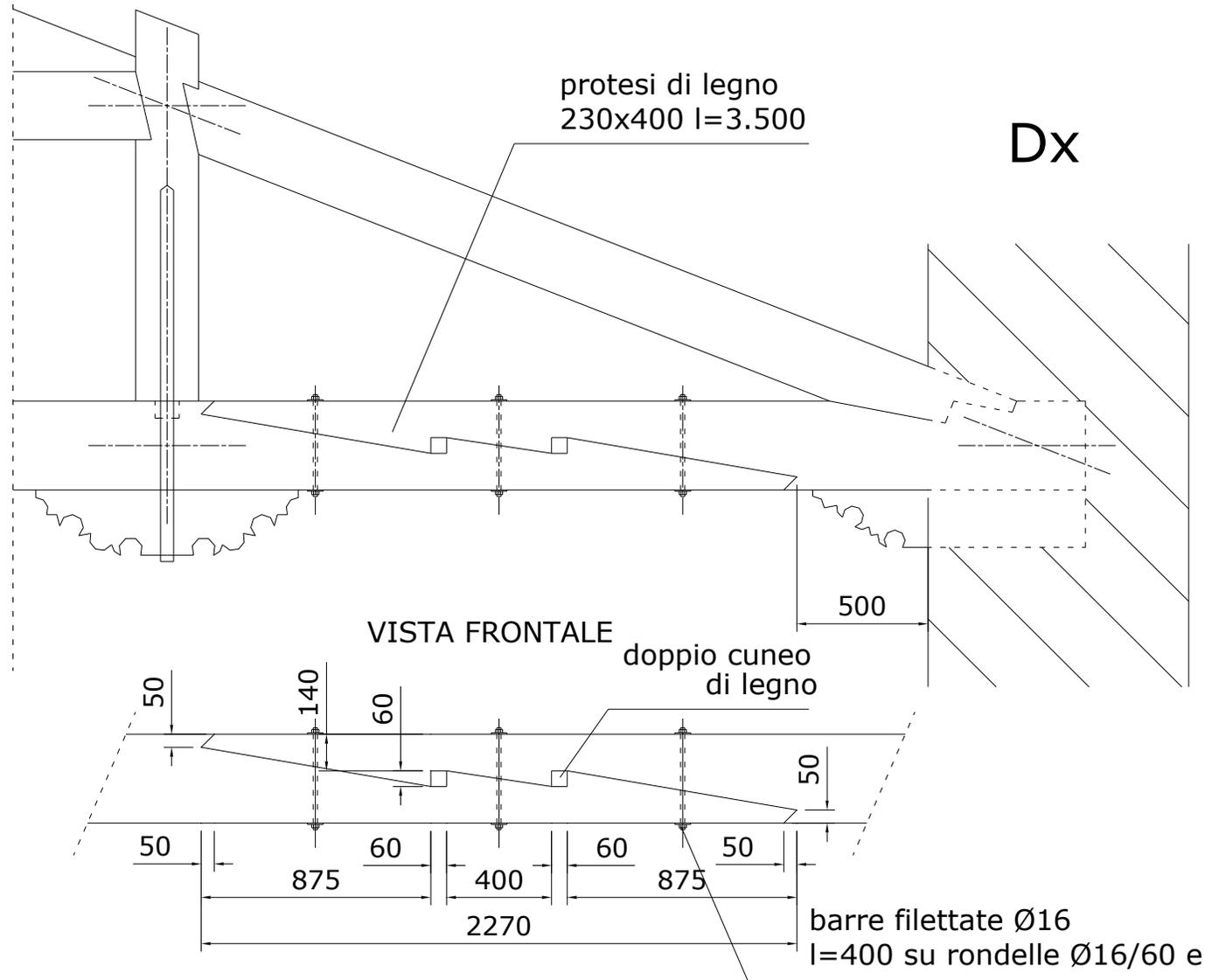
□ Esempio: consolidamento unione a Dardo di Giove

Palazzo Ducale -
Urbino





□ Protesi catena con unione di carpenteria





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Protesi catena con unione di carpenteria



Cattedrale di
Cesena (FC)



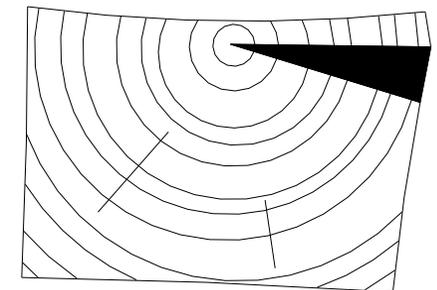
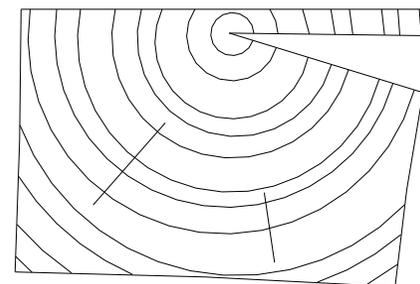
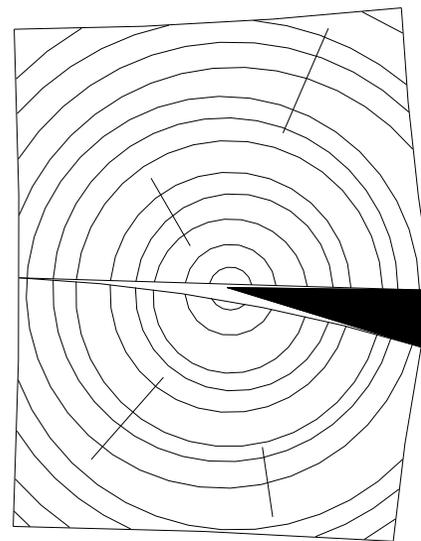
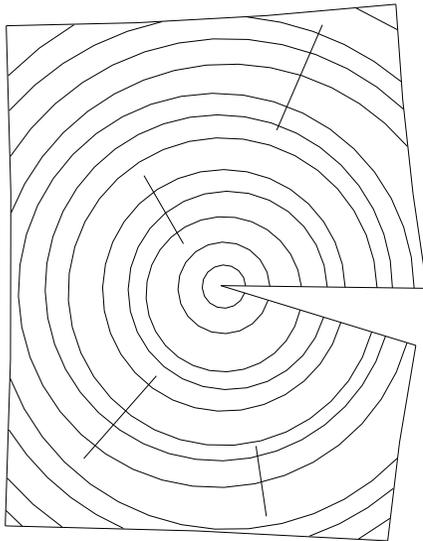


MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Protesi catena con unione di carpenteria

Cattedrale di Cesena (FC)





MAPEI



❑ Protesi catena con unione di carpenteria



Cattedrale di
Cesena (FC)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Protesi catena con unione di metallica



Chiesa della Madonna
del Carmine, Pistoia

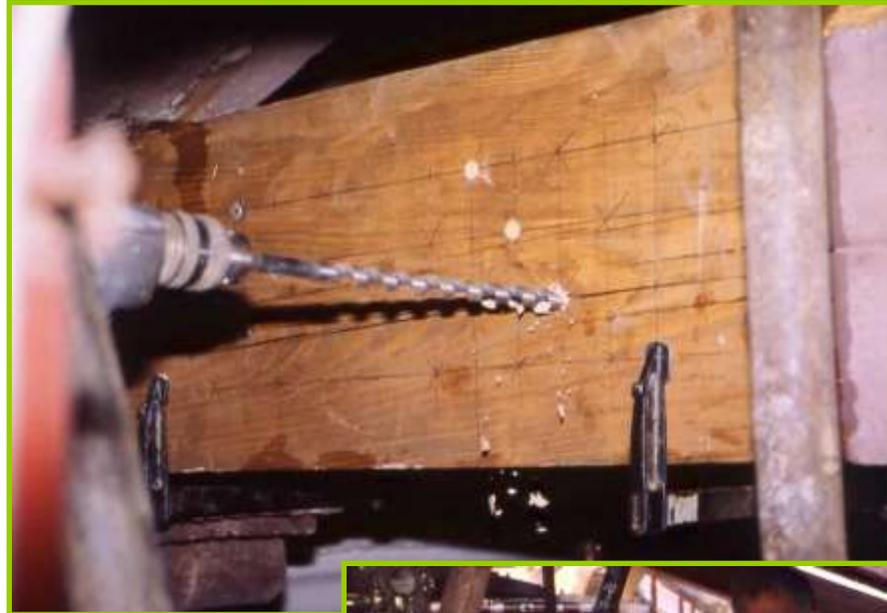


❑ Protesi catena con unione meccanica



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)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Protesi catena e consolidamento puntone

Chiesa di S. Bartolo (Cesena)



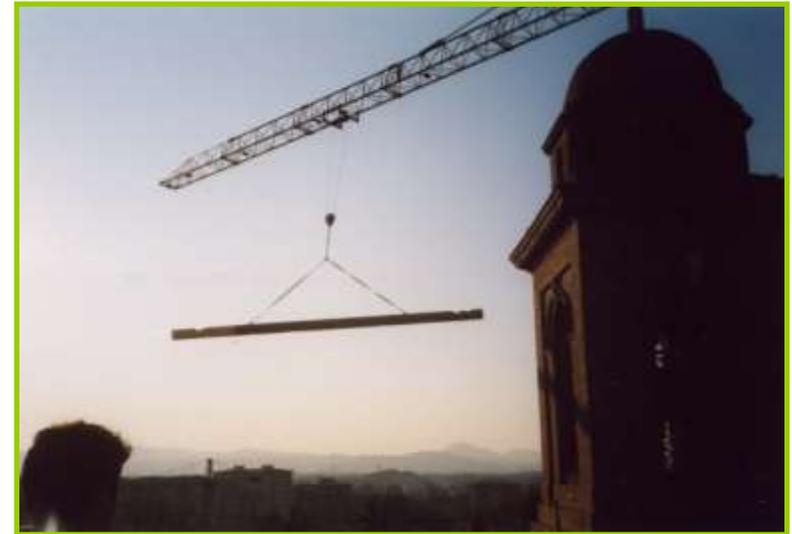


MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Protesi catena e consolidamento puntone

Chiesa di S. Bartolo (Cesena)





□ Protesi catena con unione meccanica



Ex Maneggio Reale, Firenze





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Protesi catena con barre incollate



Basilica di S. Maria, Impruneta (FI)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Protesi catena con barre incollate

Basilica di S. Maria, Impruneta (FI)





❑ Protesi catena e puntone con barre incollate

Chiesa di S. Francesco, Cagli (PU)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Protesi catena e puntone con barre incollate

Chiesa di S. Francesco, Cagli (PU)

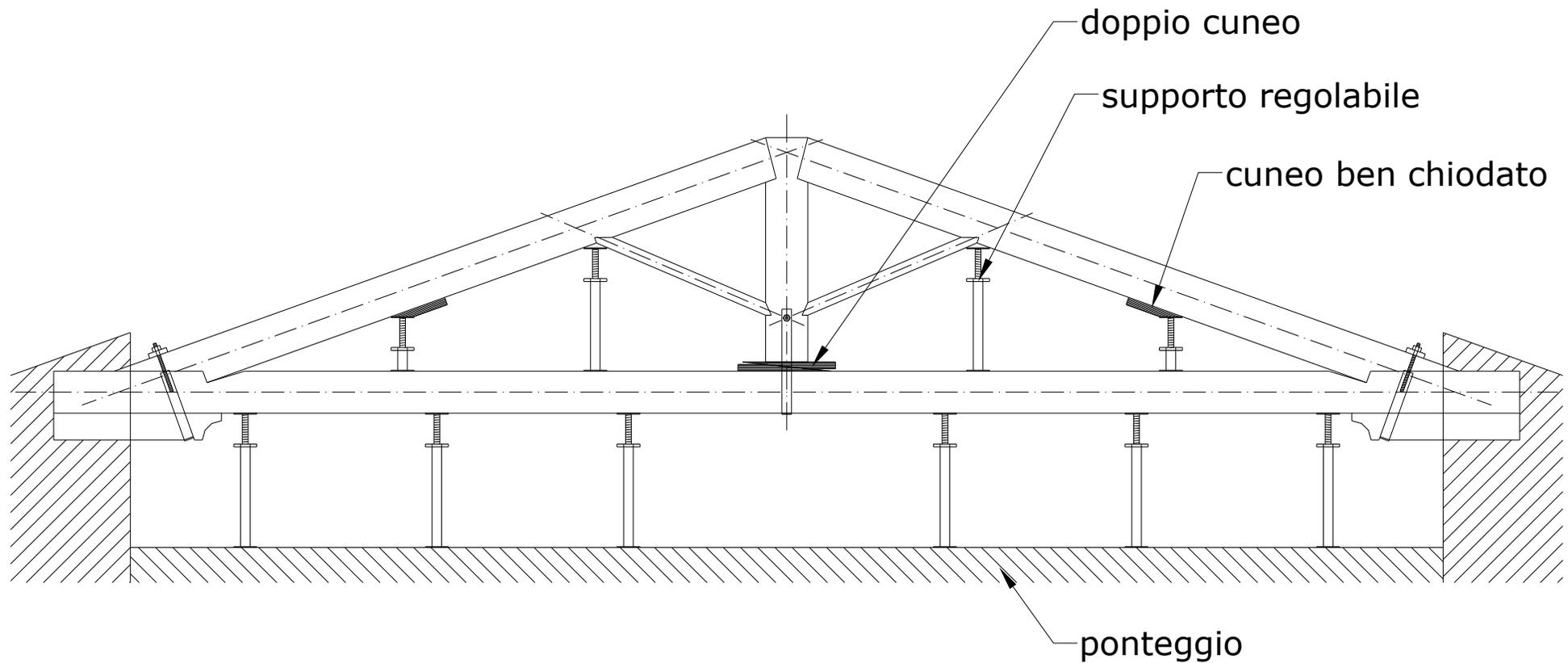




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento capriata, puntellazione





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento capriata, puntellazione





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

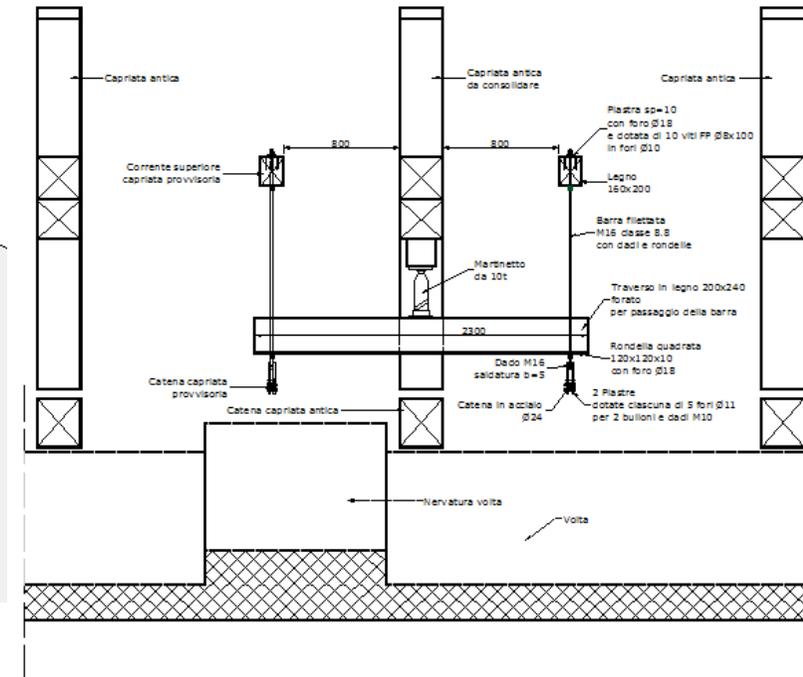
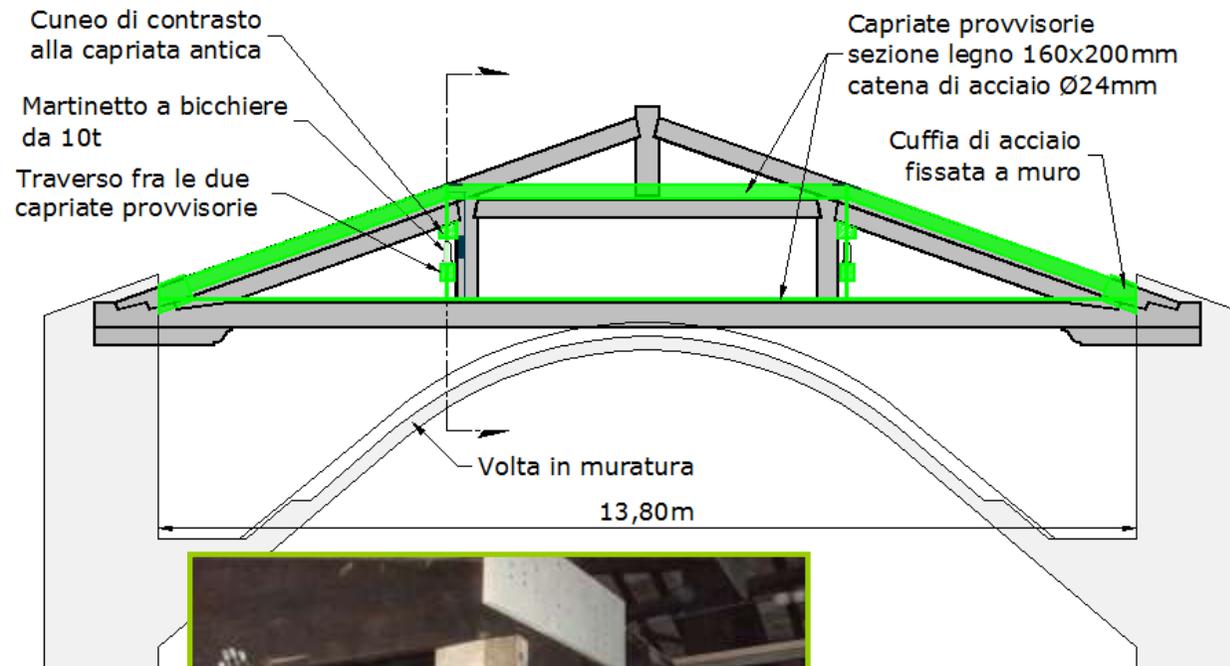
❑ Consolidamento capriata, puntellazione

Copertura della Sala del Trono, Palazzo Ducale, Urbino



Consolidamento capriata, puntellazione

Copertura della Sala del Trono, Palazzo Ducale, Urbino





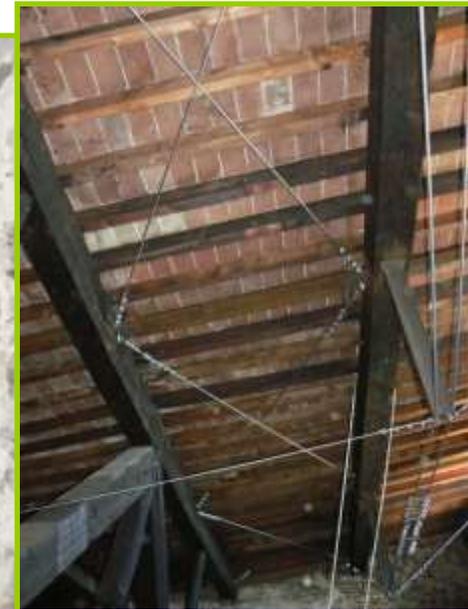
MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Rinforzo con funi di acciaio



Palazzo
Pucci,
Firenze





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Rinforzo con tiranti di acciaio



Casa privata Settignano (FI)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Rinforzo con tiranti di acciaio



1500kg/m³



Fattoria di Pomino - Rufina(FI)



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Rinforzo con tiranti di acciaio



Fattoria di Pomino - Rufina(FI)





MAPEI



TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Rinforzo con tiranti di acciaio Fattoria di Nipozzano – Pelago (FI)



Luce netta 8,10m

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

Frequenza ante ~ 6 Hz
Frequenza post ~ 9 Hz



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Rinforzo con tiranti di acciaio Fattoria di Nipozzano – Pelago (FI)





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Errata ricostruzione copertura



Recupero & Conservazione
n°41 - 2001



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Rinforzo controsoffitto



Palazzo Ducale, Lucca





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Rinforzo controsoffitto



Palazzo Ducale,
Lucca





❑ Rinforzo controsoffitto

Palazzo Ducale, Lucca

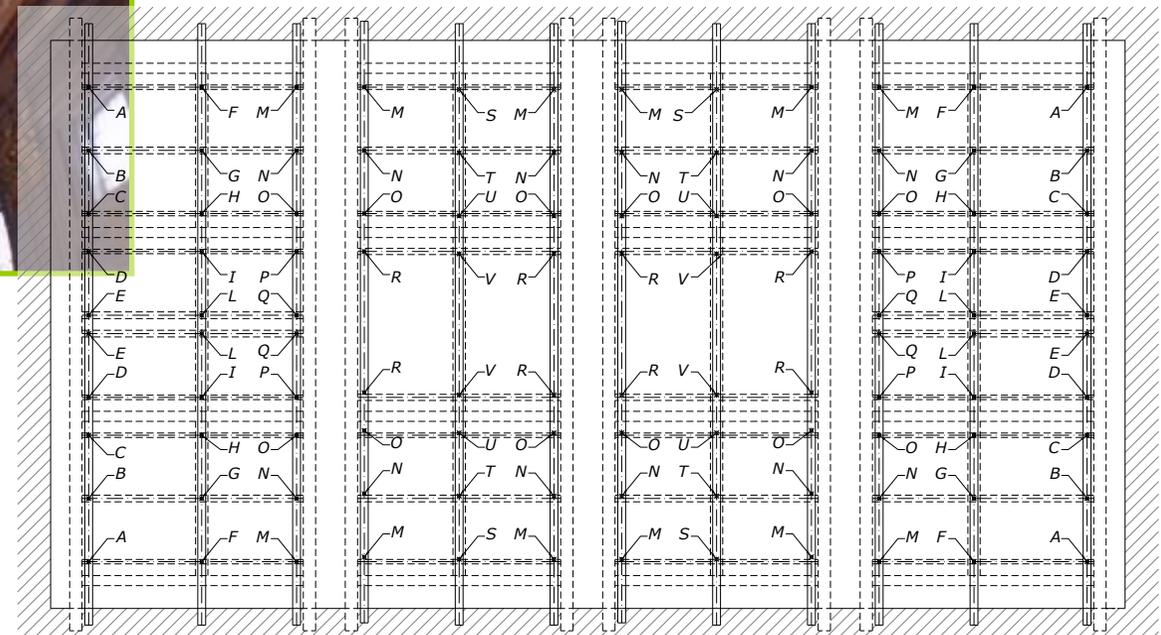




□ Rinforzo controsoffitto



Palazzo della Provincia,
Pesaro





❑ Rinforzo controsoffitto



Palazzo della
Provincia,
Pesaro





□ Rinforzo controsoffitto



Teatro
Guglielmi -
Massa





□ Rinforzo controsoffitto

Teatro
Guglielmi -
Massa



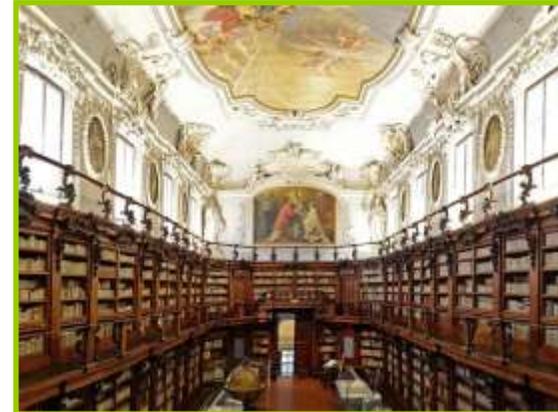


MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

■ Rinforzo controsoffitto

Biblioteca Classense, aula magna - Ravenna





□ Rinforzo ballatoio



Biblioteca
Universitaria,
Pisa



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento e restauro lumiere

Palazzo Corsini Firenze



5 metri



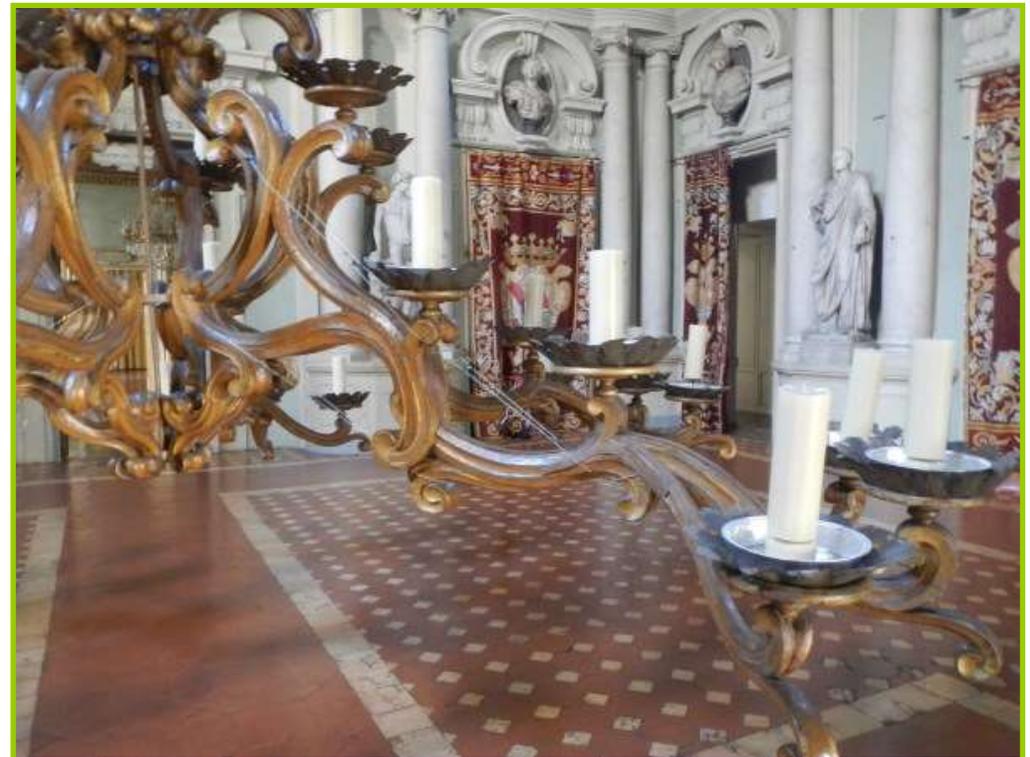


MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento e restauro lumiere

Palazzo Corsini Firenze





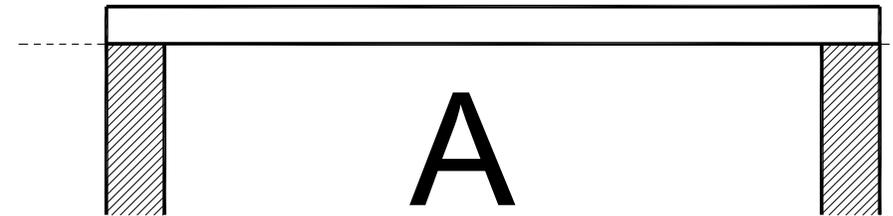
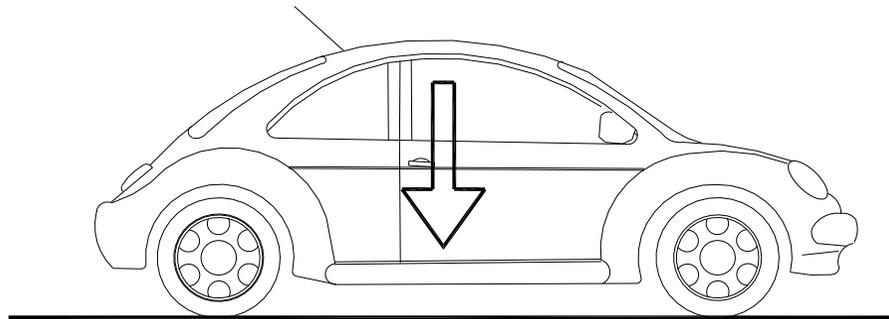
Le spinte sui muri



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Le spinte sui muri



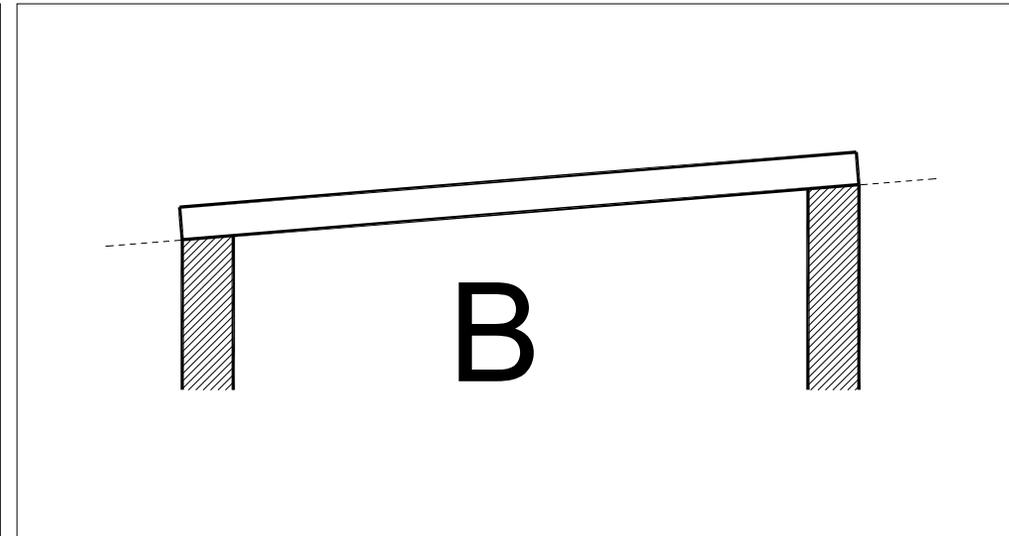
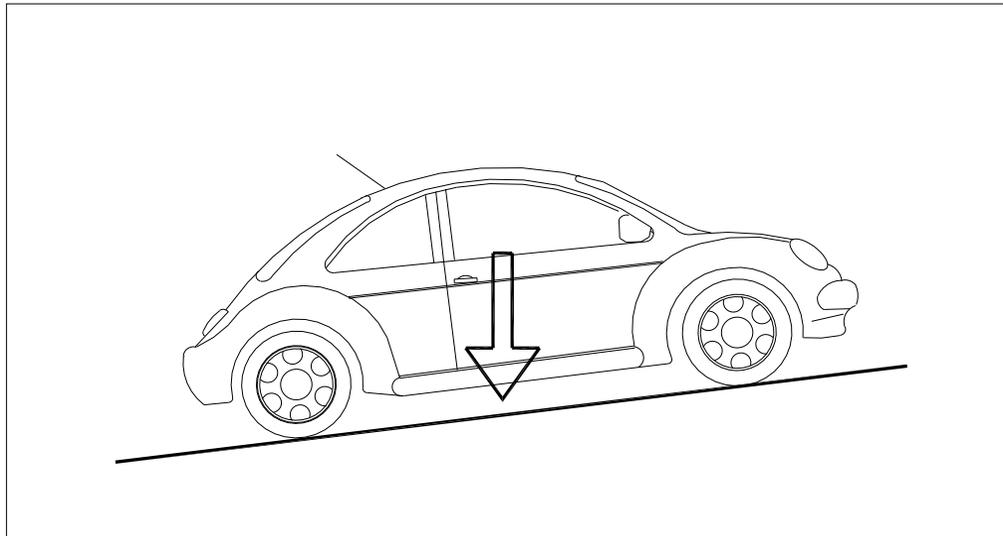
Non spingente



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

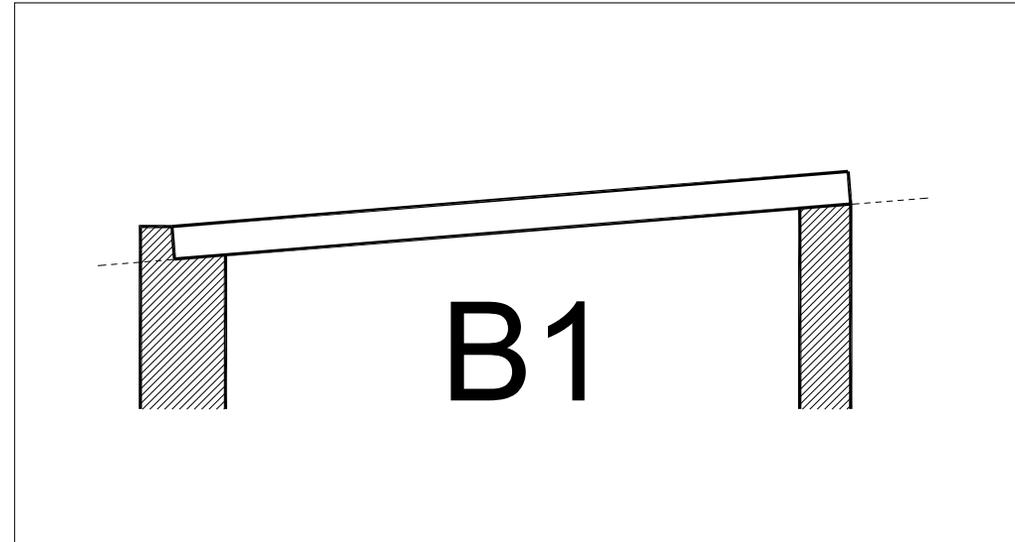
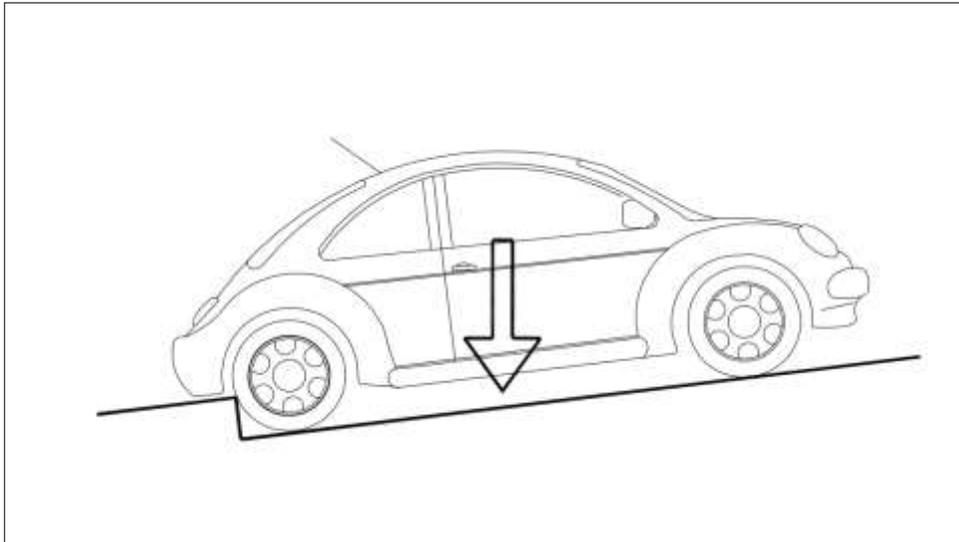
▣ Le spinte sui muri



Spingente



▣ Le spinte sui muri



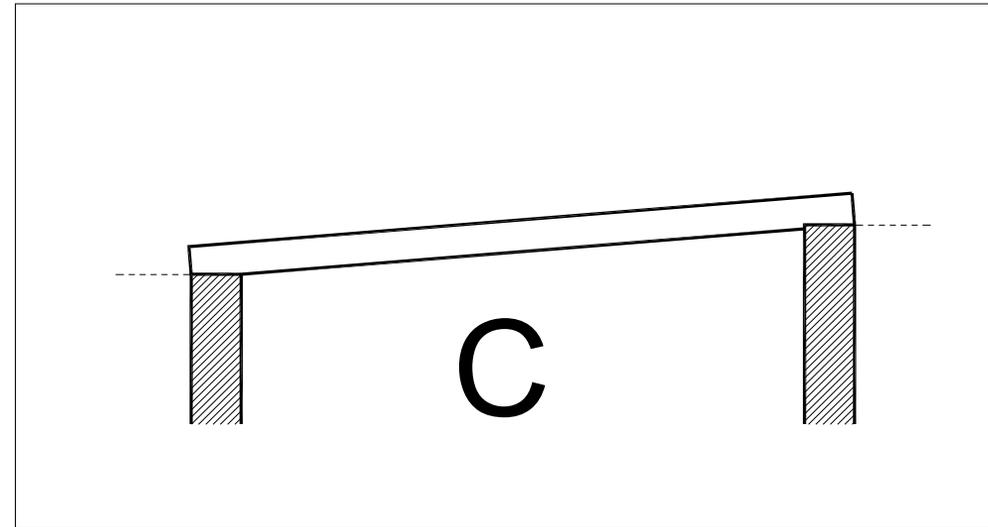
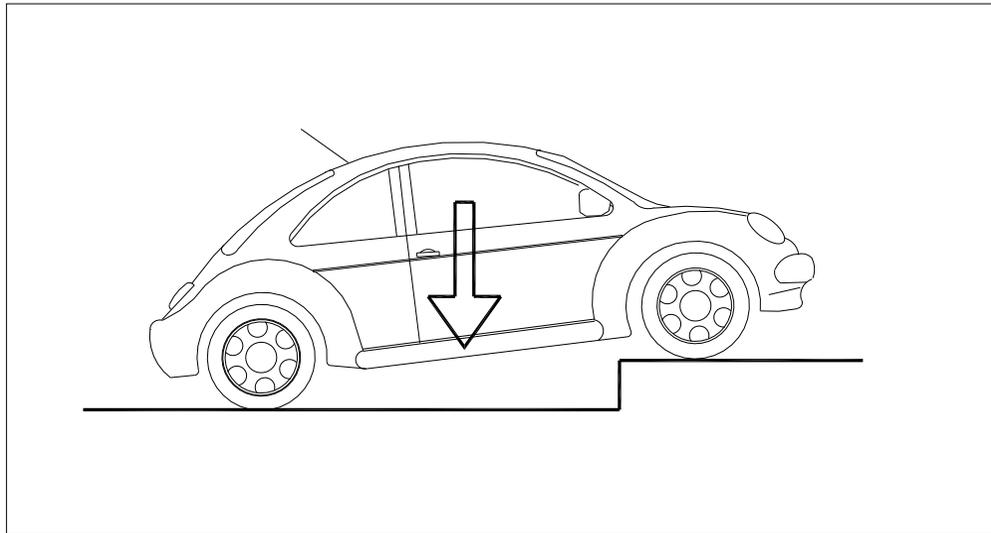
Spingente



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

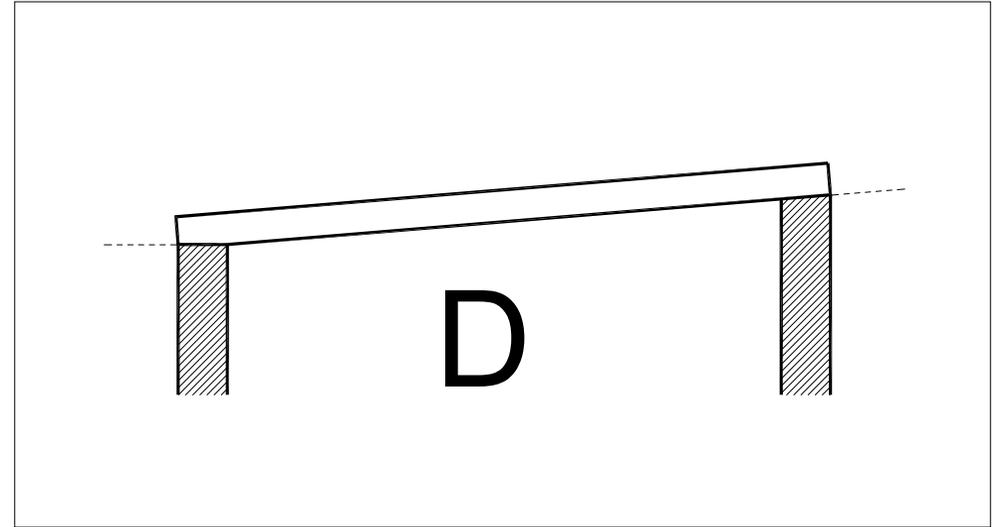
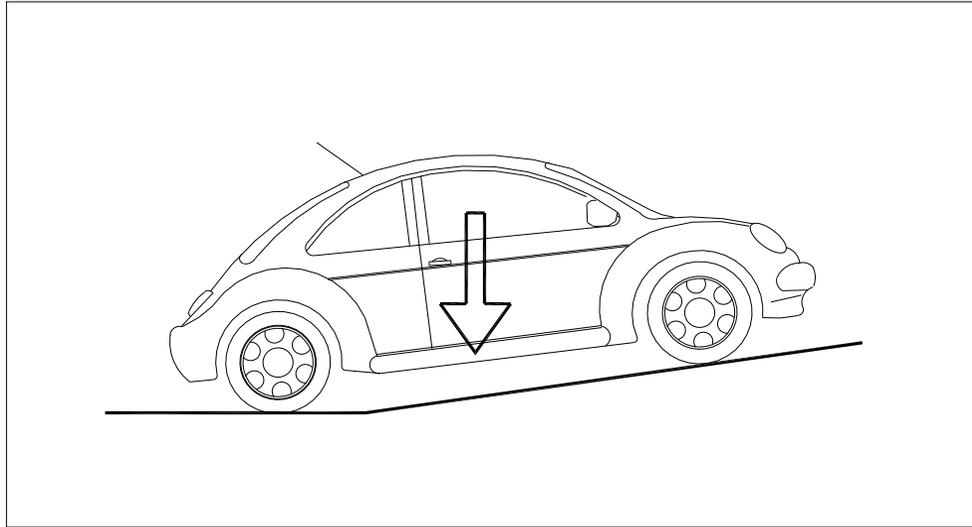
❑ Le spinte sui muri



Non spingente



▣ Le spinte sui muri



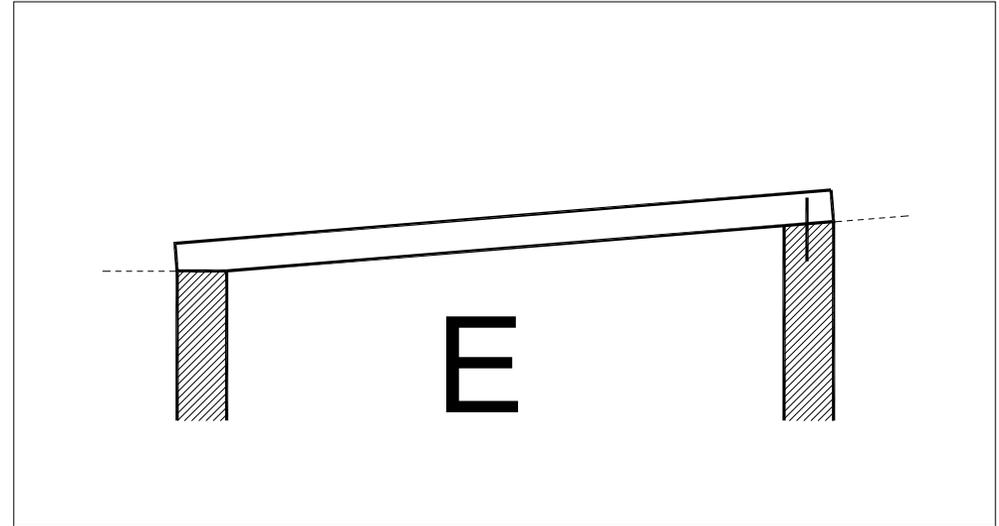
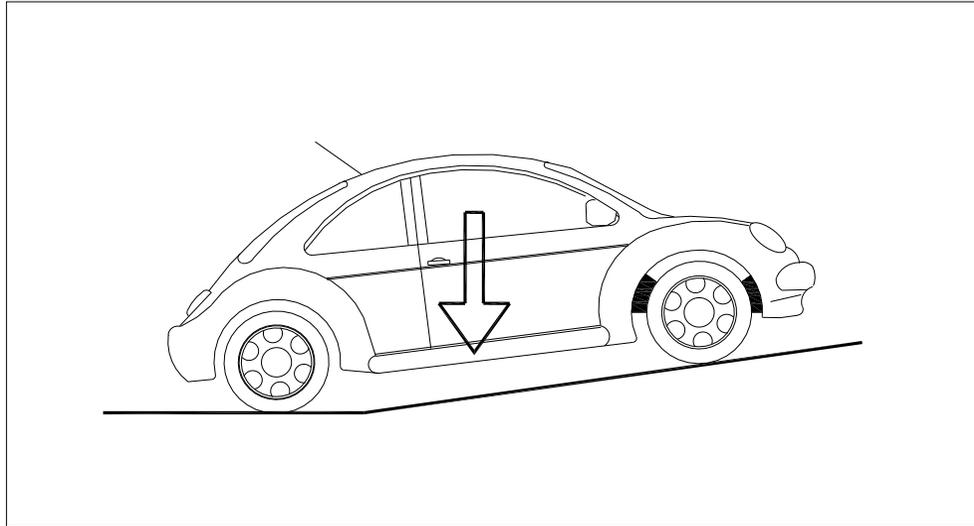
Spingente



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

❑ Le spinte sui muri



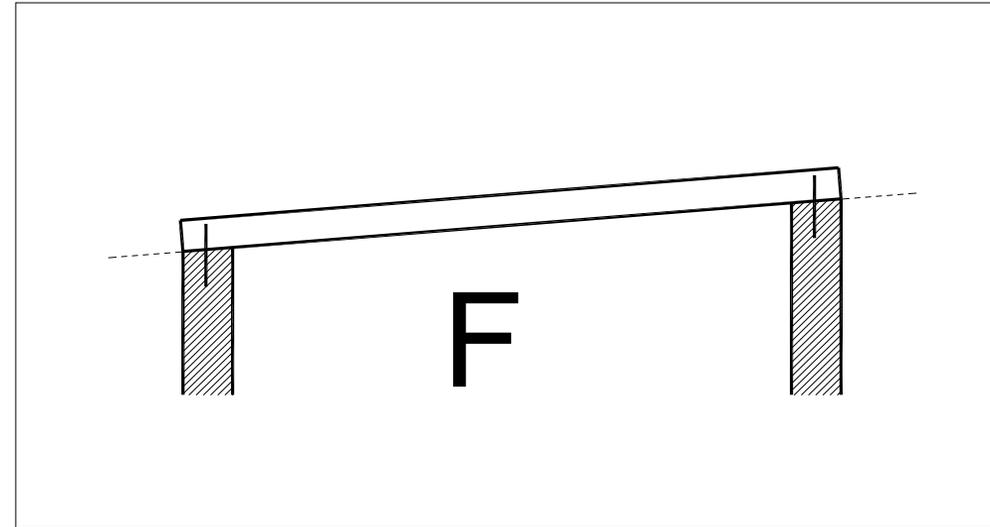
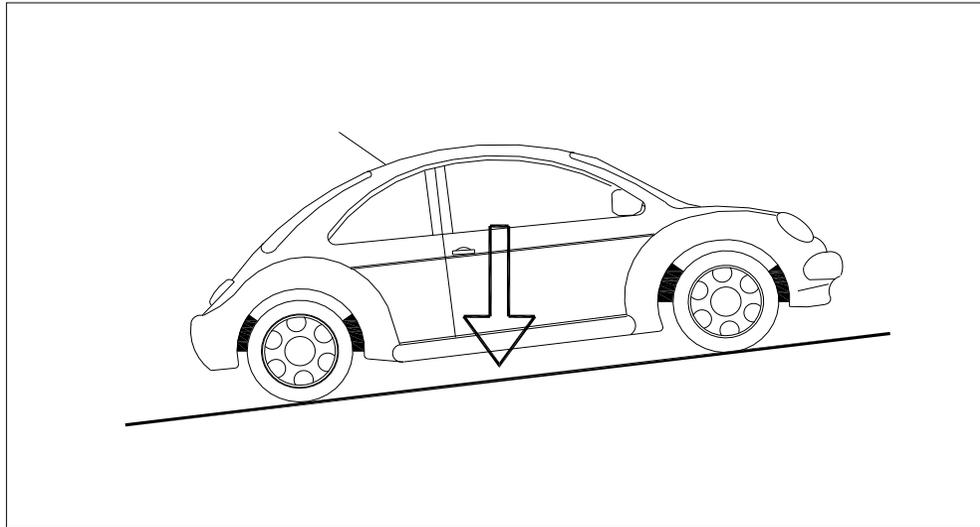
Non spingente



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

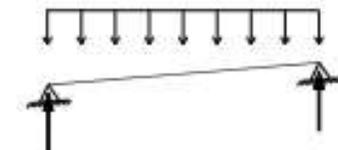
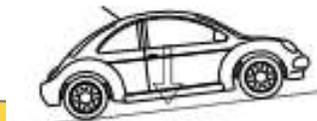
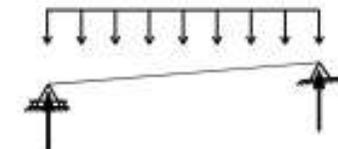
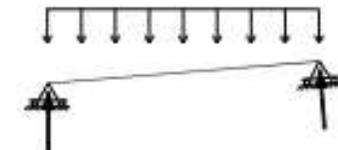
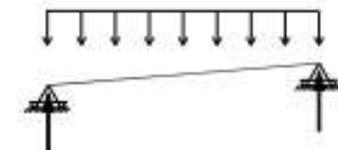
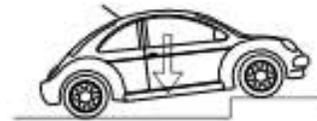
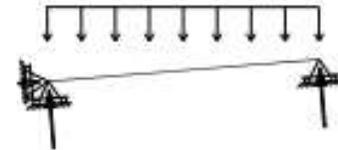
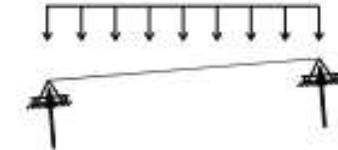
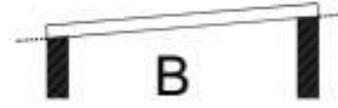
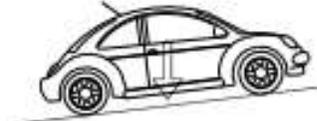
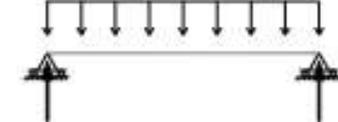
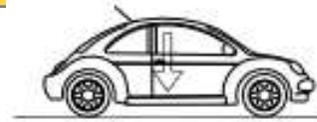
❑ Le spinte sui muri



Non spingente



Le spinte sui muri

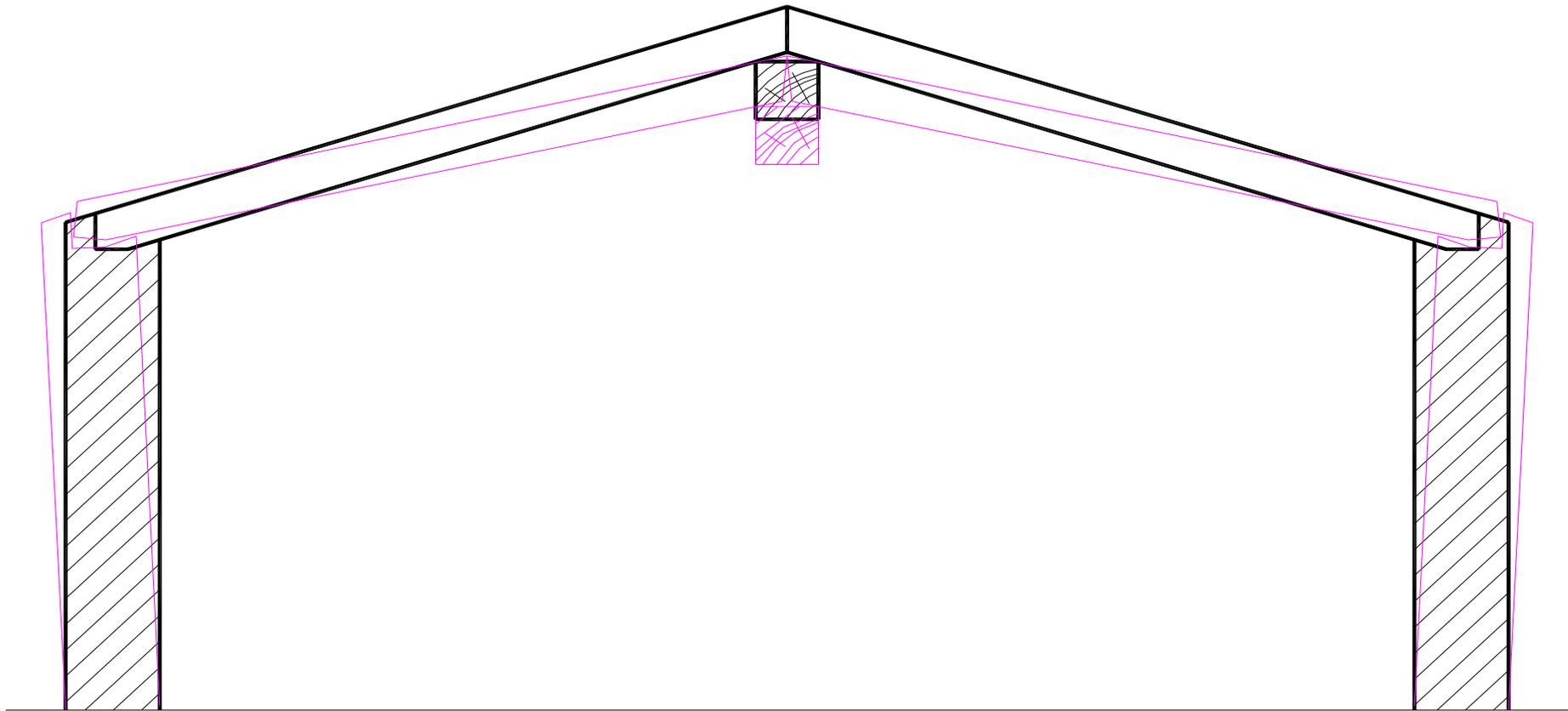




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

▣ Le spinte sui muri

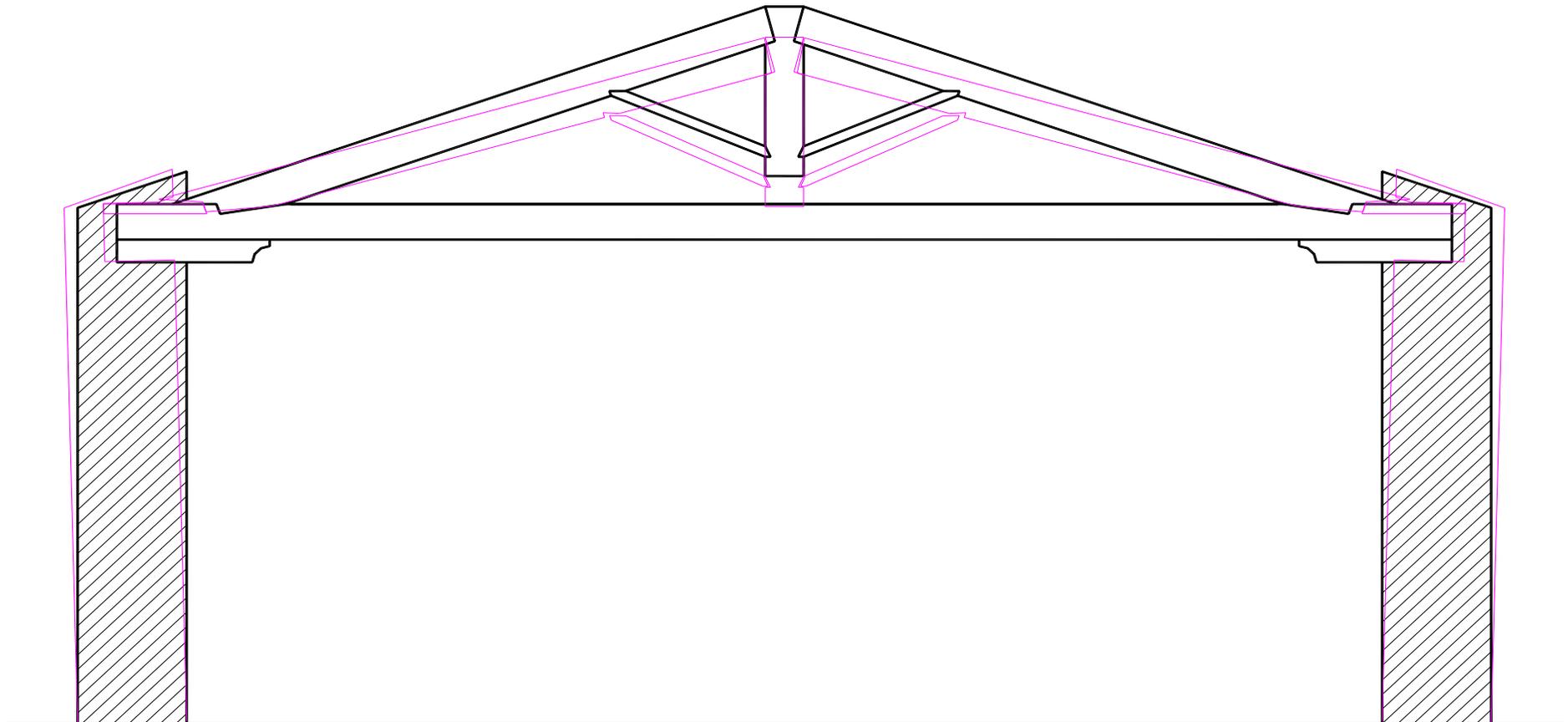




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Le spinte sui muri





MAPEI



SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Costruzioni moderne



MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Edificio Blockbau



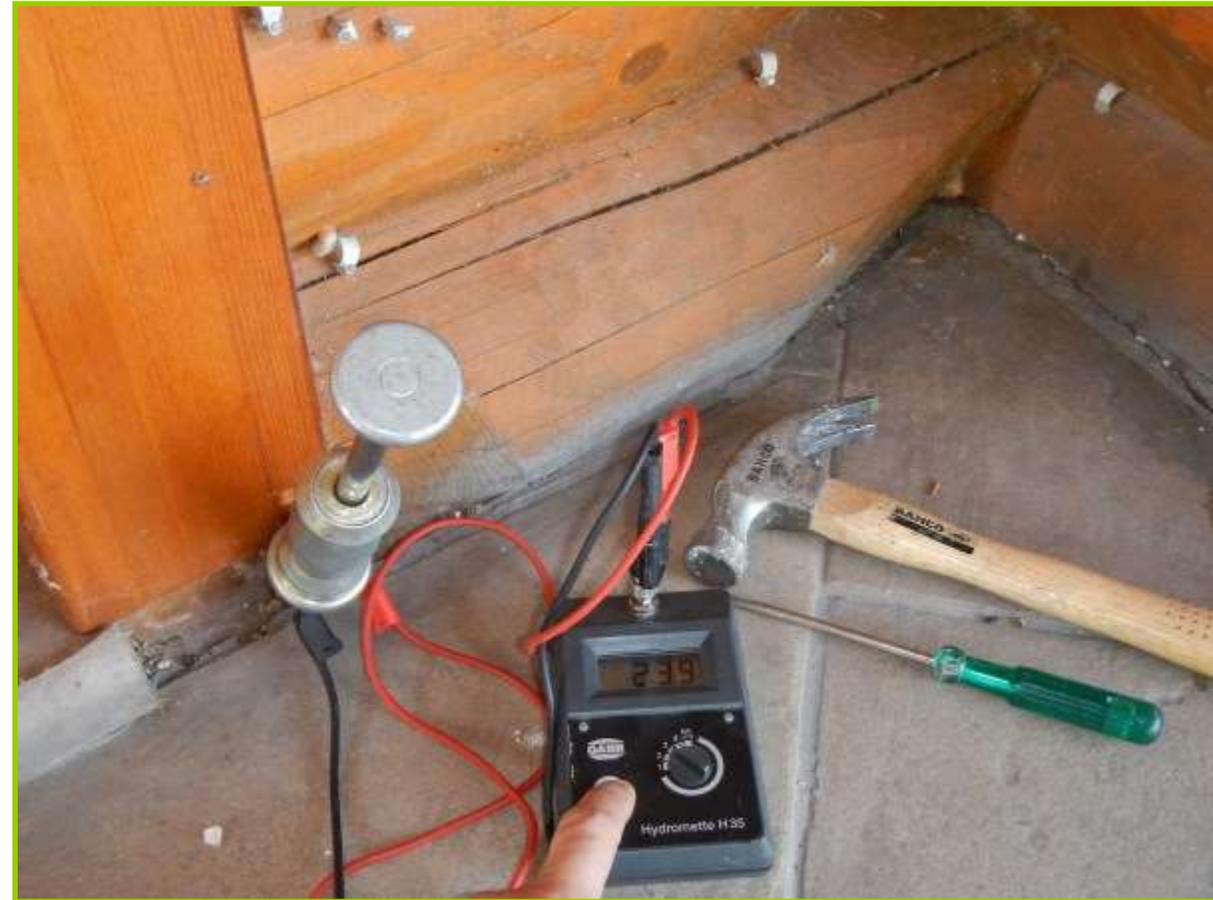


MAPEI



TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Edificio Blockbau





MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Edificio Blockbau





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Edificio Blockbau





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Edificio Blockbau





Edificio Xlam





Edificio Xlam





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Edificio Platform





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Edificio Platform





Attacco dei parapetti





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Attacco dei parapetti



Durabilità – Degrado da funghi



Attacco dei parapetti



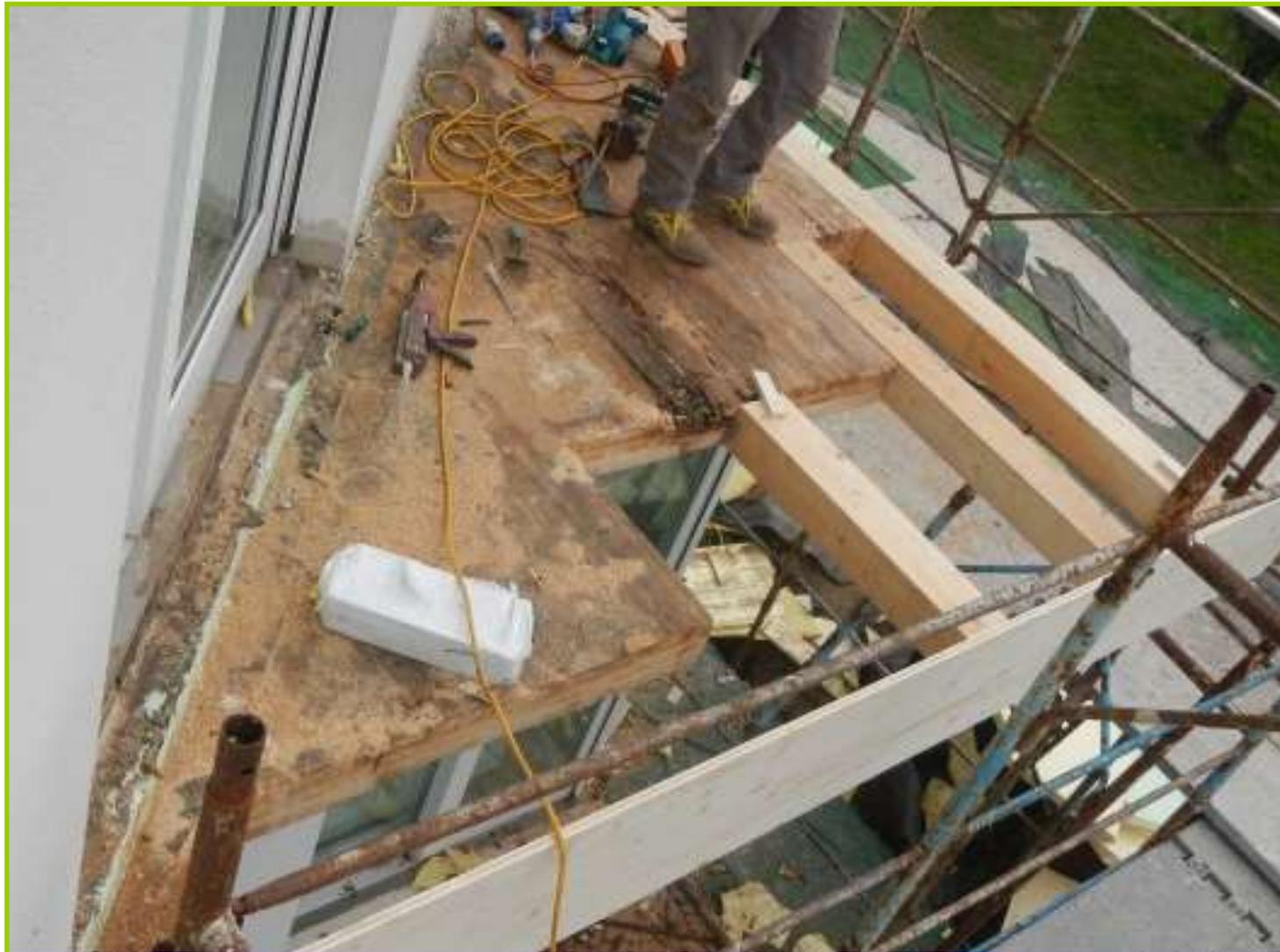
Durabilità – Degrado da funghi



MAPEI



□ Balcone





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Balcone





Consolidamento copertura - puntellazione

Palasport di Torrita di Siena



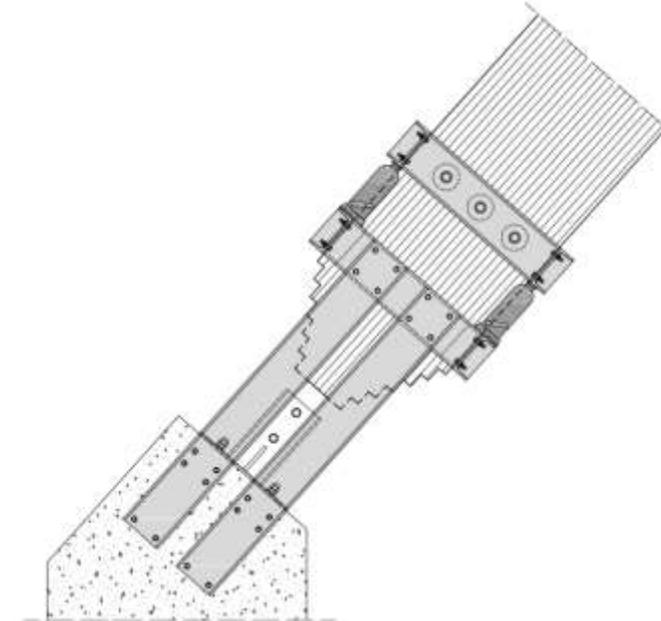
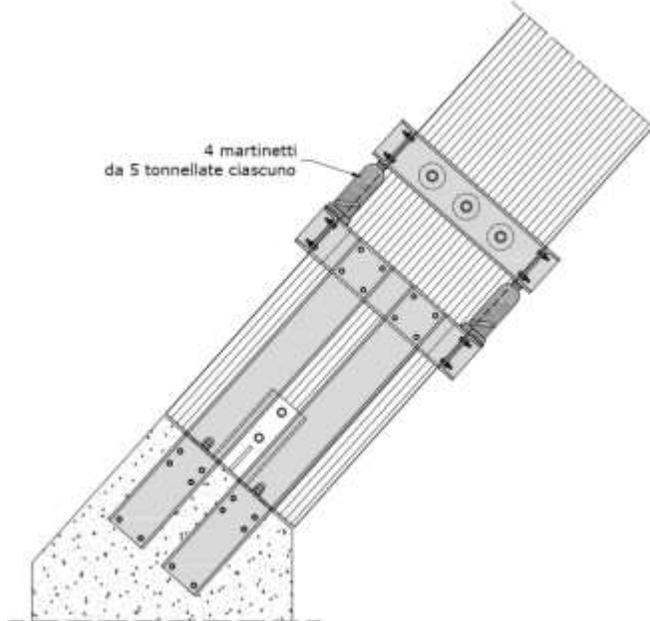
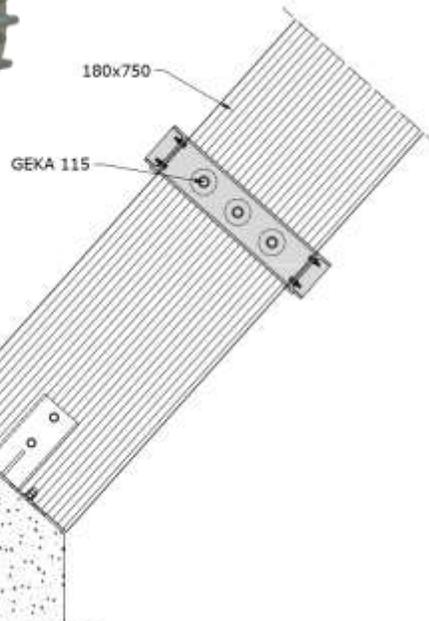


MAPEI

TECNARIA®
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento copertura - puntellazione

Palasport di
Torrita di
Siena



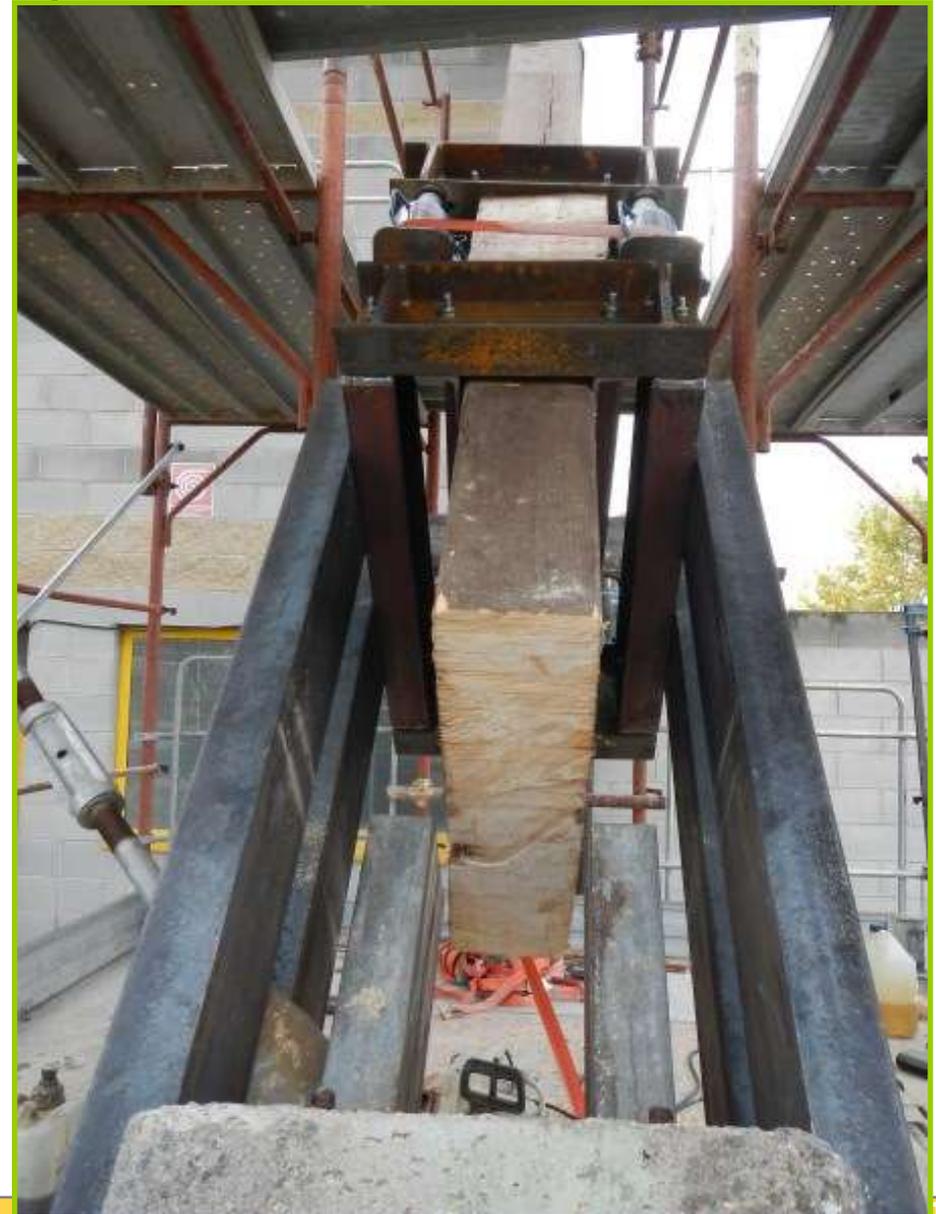


MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento copertura - puntellazione

Palasport di Torrita di Siena





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

Consolidamento copertura - protezione



Palasport di Torrita di Siena

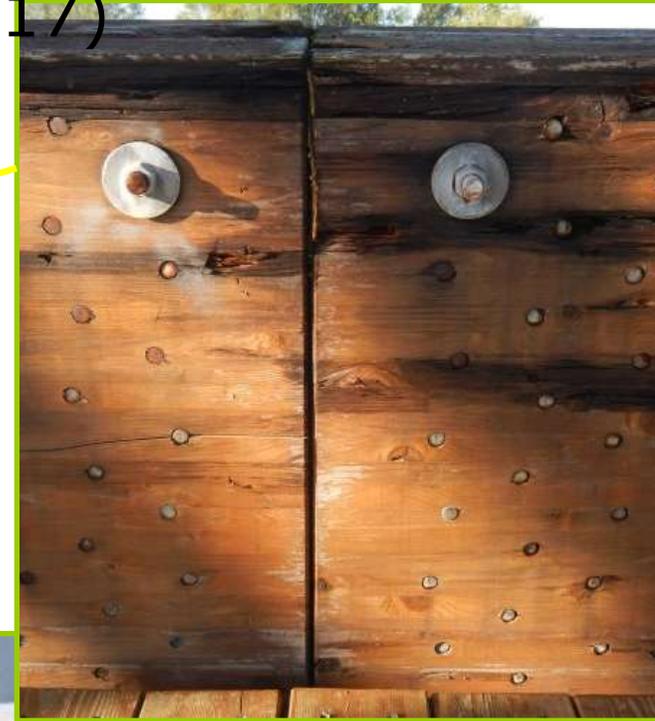




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

▣ Ponte dello Scout – Rimini (2000 – 2017)

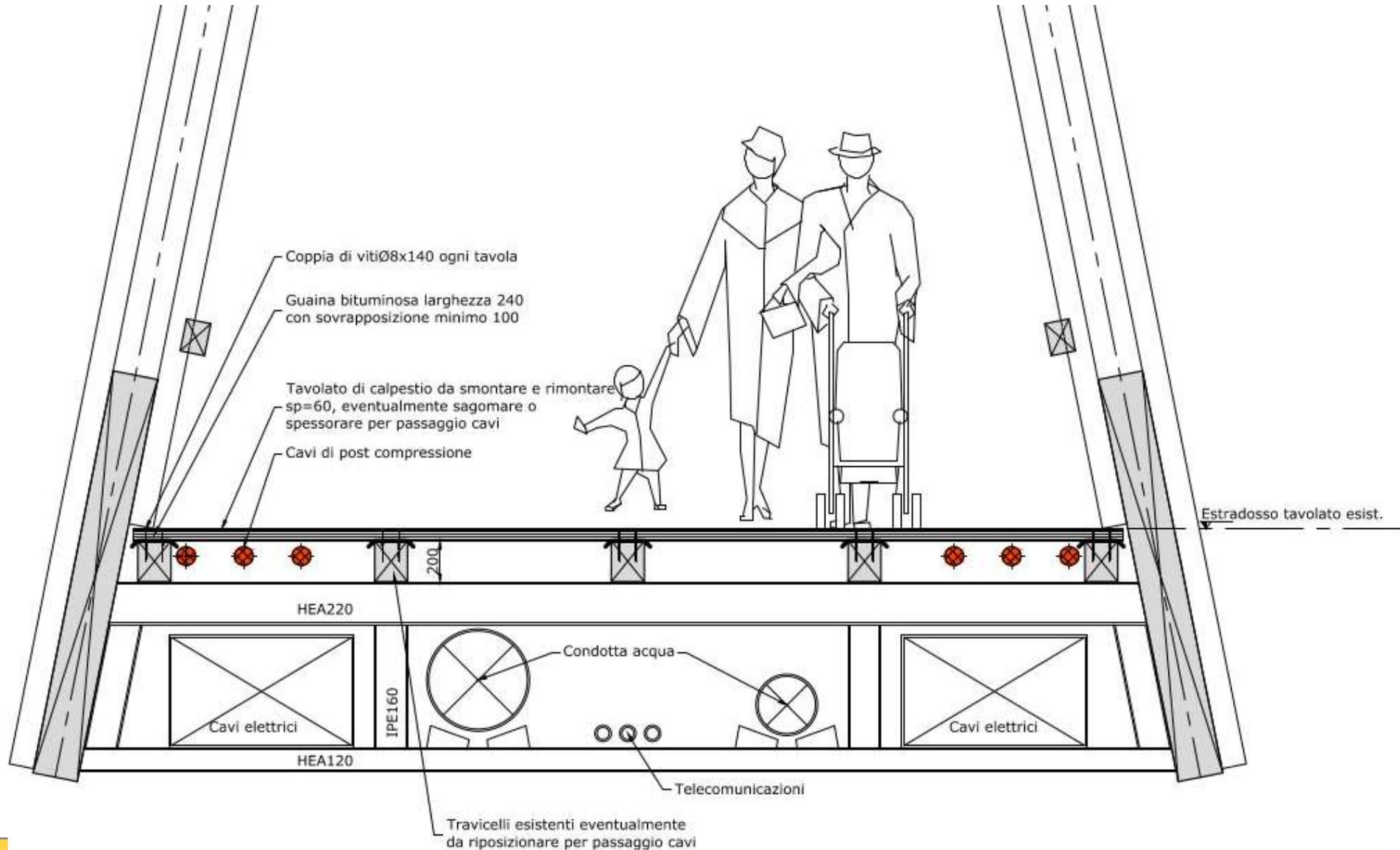




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Ponte dello Scout - Rimini

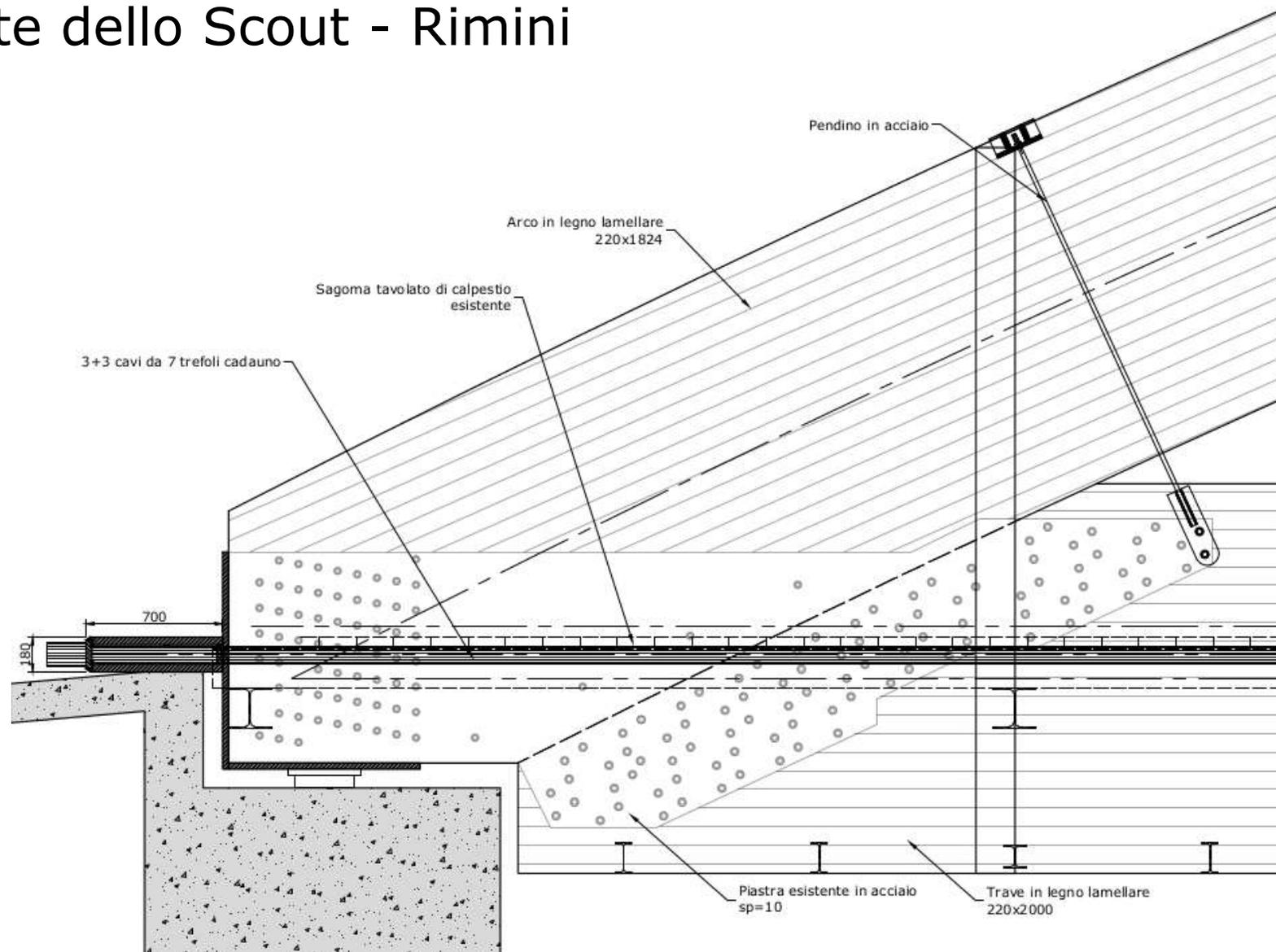




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Ponte dello Scout - Rimini



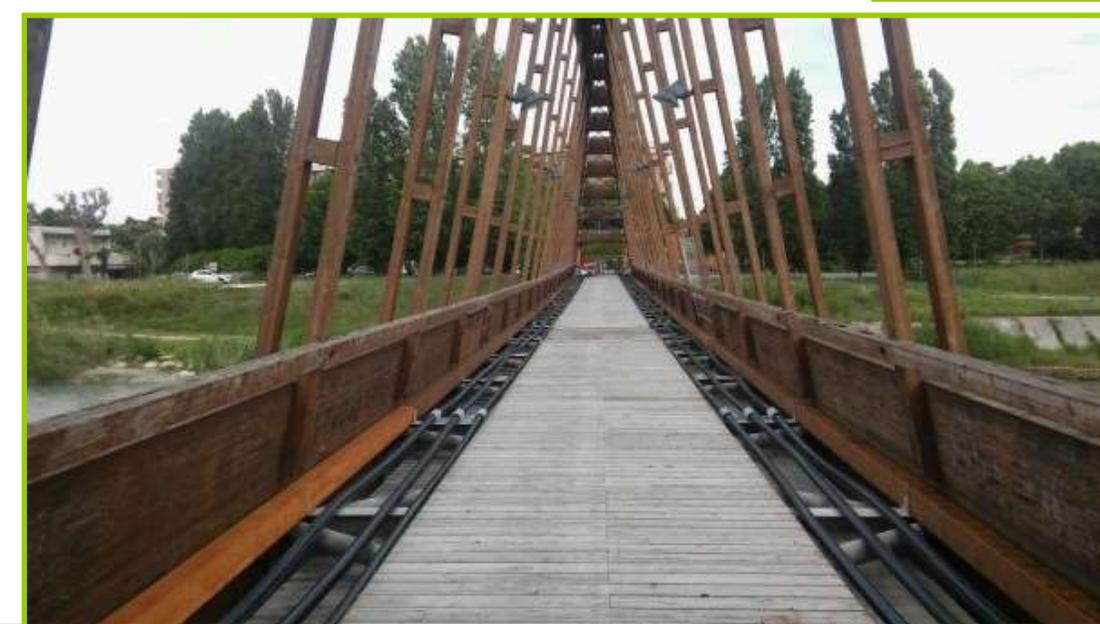


□ Ponte dello Scout Rimini Tiro complessivo 384t

Prima



Dopo

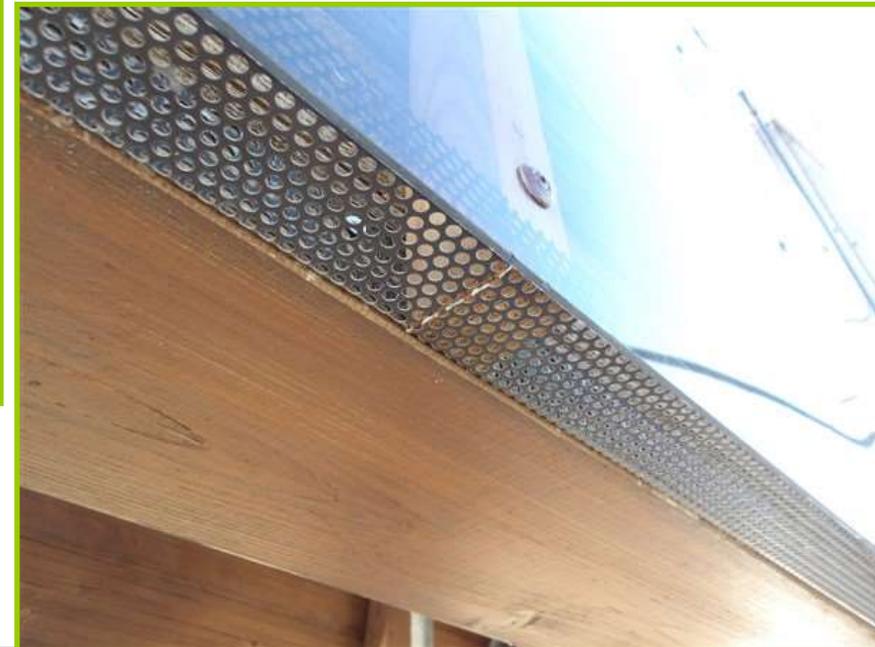




MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

□ Ponte dello Scout Rimini - Protezioni





MAPEI

TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI

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

Bisogna avere fiducia nelle strutture di legno...



... ma non troppa!



MAPEI



TECNARIA
SISTEMI DI CONNESSIONE PER IL RINFORZO DI SOLAI



TIMBERDESIGN
Progetti in legno

www.timberdesign.it

Grazie