

2. LA PROGETTAZIONE

2.1 Introduzione

Esiste un materiale da costruzione superiore agli altri? In assoluto, no: ogni materiale adatto all'arte del costruire deve trovare la sua collocazione più opportuna a seconda della tipologia costruttiva che si intende realizzare e delle finalità che si intendono perseguire.

La situazione degli anni '70, in cui l'offerta cercava di stimolare la domanda, si è invertita. Oggi, per converso, assistiamo ad una forte domanda nei confronti della quale l'offerta stenta a tenere il passo. Si pone così fortemente il problema della qualità. Il settore in espansione richiama infatti nuovi operatori, che non sempre garantiscono la preparazione necessaria per offrire una realizzazione a regola d'arte. Emerge quindi la necessità di rivolgersi a progettisti esperti e ad aziende di comprovata professionalità, in grado di offrire realizzazioni sicure e affidabili, che soddisfino in maniera compiuta le esigenze specifiche, durante ogni fase di lavorazione. La qualità di una costruzione è data dalla qualità di tutte le varie fasi che concorrono al processo globale di realizzazione. Consideriamole in dettaglio.

2.2 Il progetto architettonico

Un buon progetto architettonico costituisce il requisito base indispensabile per la realizzazione di una costruzione a regola d'arte. In particolare, la scelta del materiale deve essere contestuale al progetto e non, come troppo spesso accade, avvenire a posteriori. Il progettista che intende utilizzare il legno deve possedere conoscenze fondamentali sulla struttura interna e sulle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale, senza le quali il progetto risulterebbe poco razionale ed antieconomico. Costruire con il legno significa infatti avere a disposizione diversi prodotti (legno massiccio, legno lamellare, compositi di fibre incollate, pannelli multistrato ed altri ancora), di origine comune, ma assai distinti per comportamento e campo di applicazione. E anche all'interno di uno stesso prodotto, i limiti di variabilità sono molto ampi. Di fatto, gli elementi strutturali in legno lamellare offrono grandissima libertà di forma e dimensioni. In quest'ambito, dunque, la conoscenza della risposta del materiale ai diversi stati di sollecitazione e alle diverse modalità di posa in opera, costituisce davvero il presupposto indispensabile per conciliare al meglio architettura, fattibilità, economia e durata.

2.3 Il progetto esecutivo

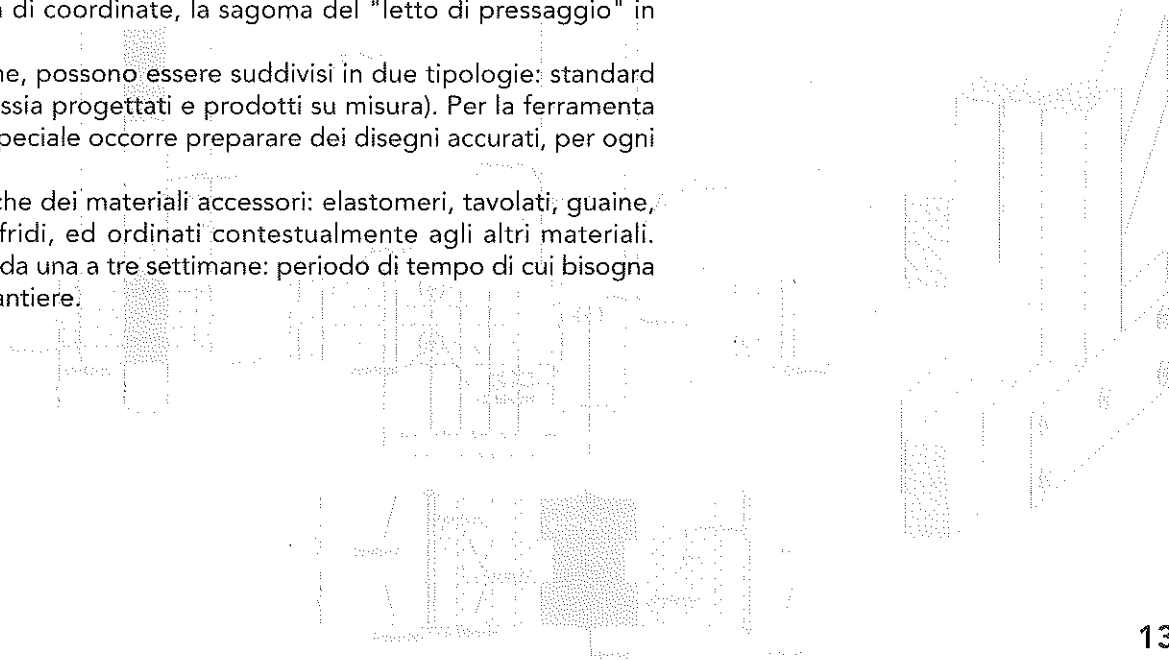
Definito il progetto architettonico, occorre passare alla stesura del progetto strutturale. Per assicurare una corretta impostazione del lavoro è comunque auspicabile, fin dalle prime fasi della progettazione, un reciproco scambio di informazioni tra il progettista architettonico e l'ingegnere strutturista. Quest'ultimo deve avere una specifica preparazione e possedere gli strumenti per affrontare, in maniera corretta ed esaustiva, tutte le problematiche che si presentano nella progettazione e nella verifica di una struttura lignea: per questo le maggiori ditte produttrici di legno lamellare sono in genere dotate di un proprio ufficio tecnico. Il progetto esecutivo si compone della relazione di calcolo e di alcuni elaborati grafici. La relazione di calcolo deve essere redatta secondo le prescrizioni delle normative vigenti, analizzando dettagliatamente le tensioni e le deformazioni presenti nei diversi elementi strutturali che compongono la struttura. Gli elaborati grafici devono essere in numero sufficiente per evidenziare, in modo chiaro ed inequivocabile, i molti particolari costruttivi che generalmente caratterizzano una struttura in legno lamellare. E' di cruciale importanza che in questa fase vengano definiti tutti gli aspetti della realizzazione dell'opera, comprese le modalità di trasporto e montaggio. Solo uno studio completo permette di evitare l'adozione, in cantiere, di soluzioni improvvisate, difficilmente ottimali.

2.4 Il progetto costruttivo

Quando il progetto esecutivo viene approvato dal committente o dal suo tecnico di fiducia, la ditta appaltatrice può dare il via al progetto costruttivo (o di produzione), che costituisce pertanto la fase conclusiva dell'intero percorso di progettazione. Esso è costituito da una serie di documenti indispensabili per la produzione e la conseguente lavorazione in stabilimento delle travi in legno lamellare, dei dispositivi di collegamento e di tutto il materiale accessorio occorrente per la realizzazione dell'opera. Per le travi curve occorre anche definire, tramite un opportuno sistema di coordinate, la sagoma del "letto di pressaggio" in cui saranno prodotte.

I sistemi di collegamento, generalmente costituiti da «scarpe» metalliche, possono essere suddivisi in due tipologie: standard (ossia preconfezionati e disponibili pronto uso sul mercato) o speciali (ossia progettati e prodotti su misura). Per la ferramenta standard è sufficiente una lista degli articoli richiesti, mentre per quella speciale occorre preparare dei disegni accurati, per ogni singolo pezzo.

Oltre al lamellare ed alla ferramenta, spesso la fornitura comprende anche dei materiali accessori: elastomeri, tavolati, guaine, isolanti, listelli, etc. Questi vanno quantificati, tenendo conto degli sfridi, ed ordinati contestualmente agli altri materiali. Complessivamente, la stesura del progetto di produzione può richiedere da una a tre settimane: periodo di tempo di cui bisogna tenere conto per programmare, in maniera realistica, la tempistica del cantiere.



2.5 Esempi di disegni tecnici

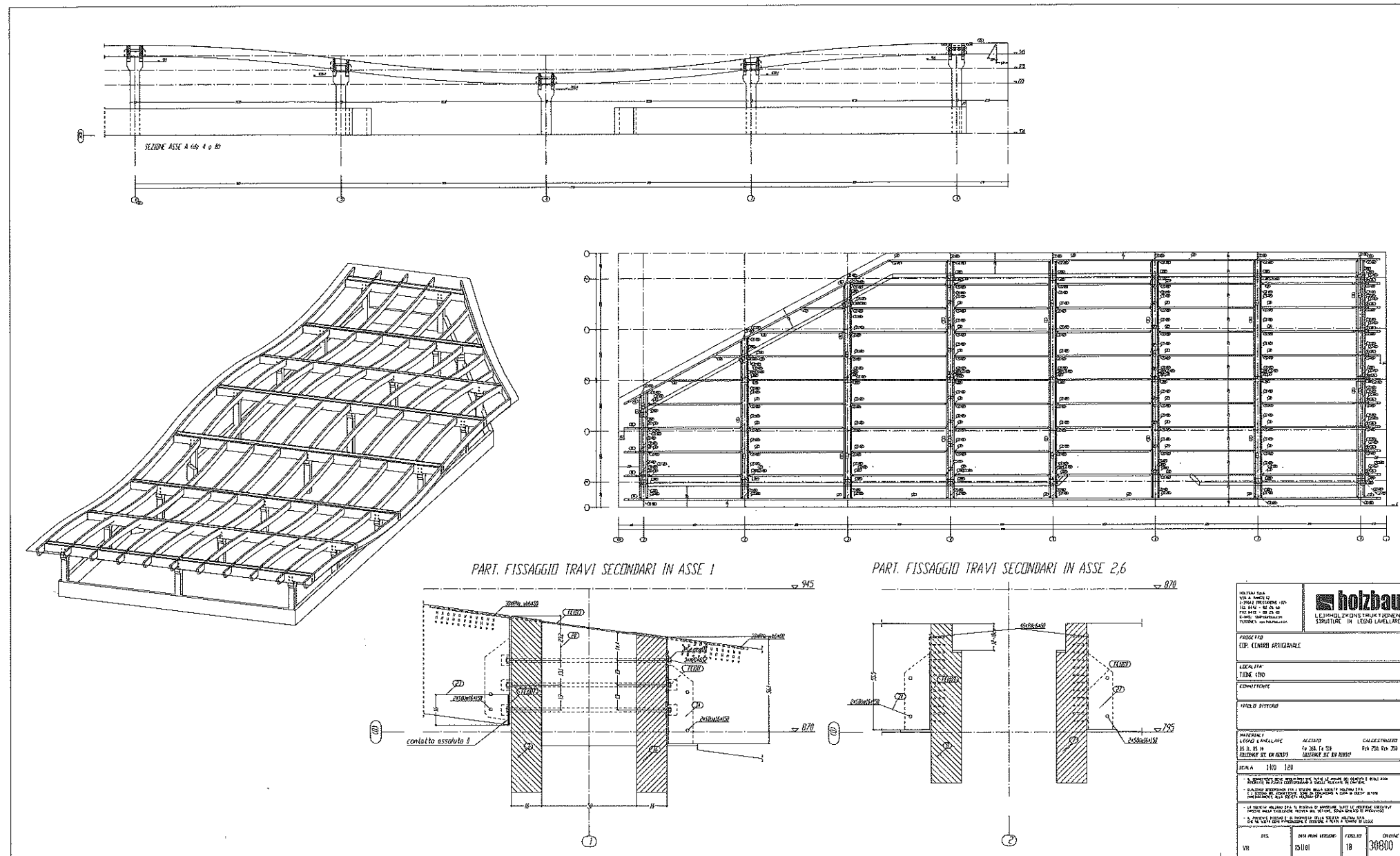


Figura 2.1 - Esempio di progetto esecutivo

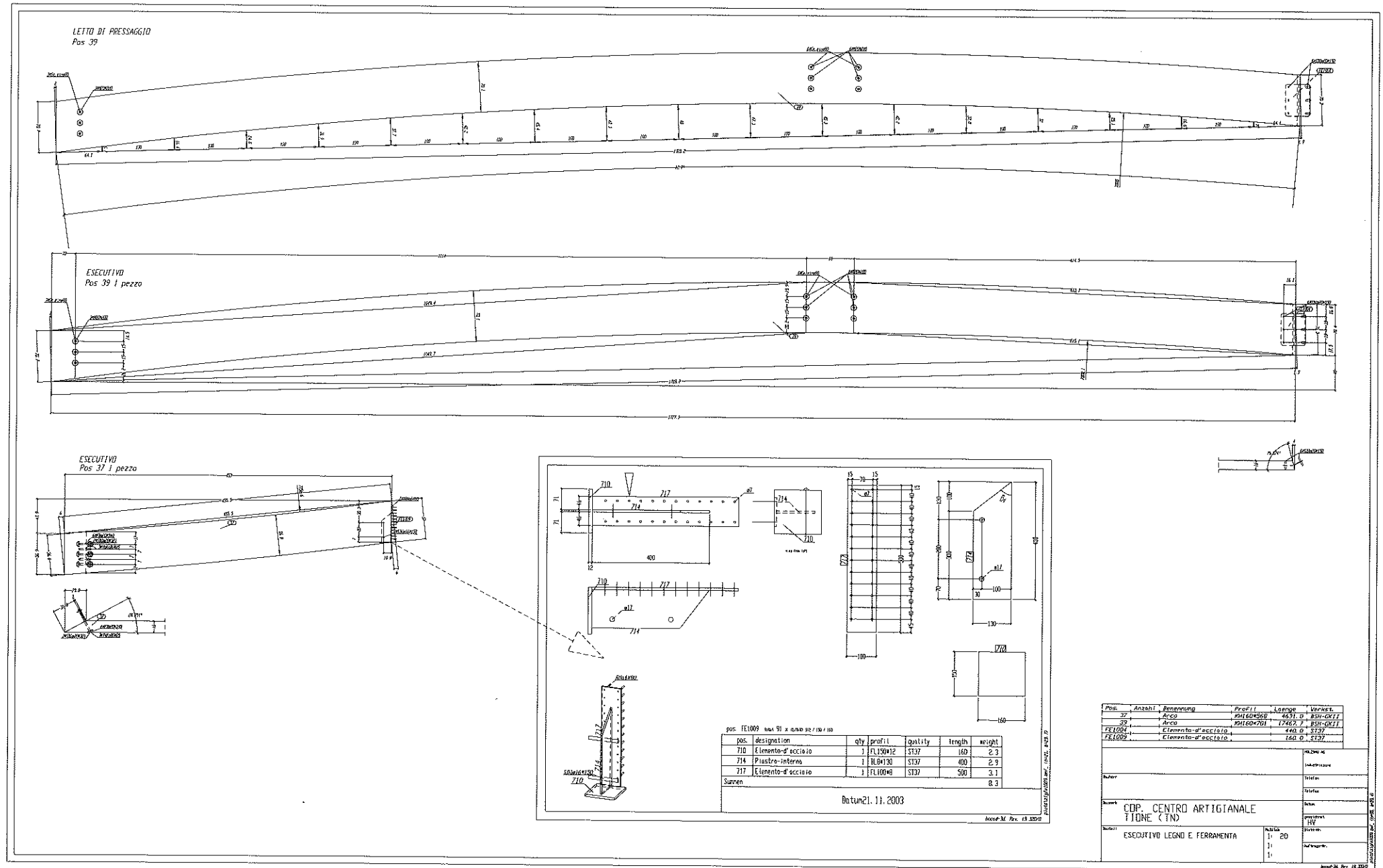


Figura 2.2 - Esempio di progetto costruttivo

3. IL MATERIALE E LA PRODUZIONE

3.1 Introduzione

La corretta esecuzione delle diverse fasi del processo produttivo ed una adeguata conoscenza delle loro implicazioni, sulle caratteristiche del prodotto finito, sono due aspetti di primaria importanza per l'utilizzo di un materiale da costruzione quale il legno lamellare incollato. Come già anticipato in precedenza, esso nasce dall'applicazione simultanea di due tecniche originariamente distinte, la lamellazione e l'incollaggio, allo scopo di «ricostruire» degli elementi strutturali con qualità migliori di quelle del legname di partenza. La lamellazione permette infatti di ovviare alle discontinuità della materia prima, scartandone le parti difettose, mentre l'incollaggio deve realizzare, tra le fibre delle tavole adiacenti, un collegamento meccanico il più vicino possibile a quello naturale originario. Affinché ciò sia possibile, tutte le lavorazioni, dalla scelta e preparazione delle lamelle, all'incollaggio, alla rifinitura dei pezzi, richiedono esperienza ed accuratezza di esecuzione, in uno stabilimento opportunamente attrezzato e dotato di alcuni requisiti fondamentali:

- collocazione ordinata e funzionale dei diversi settori di fabbricazione;
- ampiezza adeguata alle dimensioni degli elementi strutturali che si intendono assemblare;
- ambiente climatizzato, con temperatura ed umidità idonee per la conservazione e la lavorazione delle materie prime impiegate.

Quest'ultimo, costituisce uno dei requisiti più importanti per assicurare la qualità del prodotto finale e dimostra, ancora una volta, la stretta correlazione esistente tra le caratteristiche del materiale e le modalità di produzione e posa in opera. Pertanto, prima di procedere all'esame dettagliato delle singole fasi che costituiscono il ciclo produttivo, conviene soffermarsi su alcuni aspetti, tecnologicamente rilevanti, riguardanti i due componenti base del legno lamellare incollato: il legno e l'adesivo.

3.2 Il legno

Sarebbe certamente presuntuoso, oltre che inutile, cercare di riassumere in poche pagine le complesse caratteristiche e le molte tematiche che definiscono il comportamento del legno ai fini strutturali. La bibliografia tecnica esistente è certamente in grado di soddisfare le esigenze del lettore che desidera approfondire le proprie conoscenze in materia. Tuttavia, pur senza entrare nel dettaglio, si ritiene opportuno riassumere, qui di seguito, quegli argomenti che, per implicazioni e ripercussioni, maggiormente intervengono nella produzione e nell'impiego del legno lamellare.

3.2.1 Scelta della specie legnosa

La scelta del tipo di essenza da utilizzare nella produzione deve essere effettuata tenendo conto:

- delle caratteristiche fisico-meccaniche;
- dell'attitudine all'incollaggio;
- della durabilità, funzione delle condizioni di impiego della struttura;
- della disponibilità di approvvigionamento;
- del costo;
- delle esigenze estetiche.

In particolare, riguardo l'attitudine all'incollaggio, sono da preferirsi le conifere e le latifoglie a bassa densità: questa, allo stato secco, non dovrebbe superare valori dell'ordine di $0.65 \pm 0.70 \text{ g/cm}^3$. Pertanto, i legnami attualmente più utilizzati in Europa,



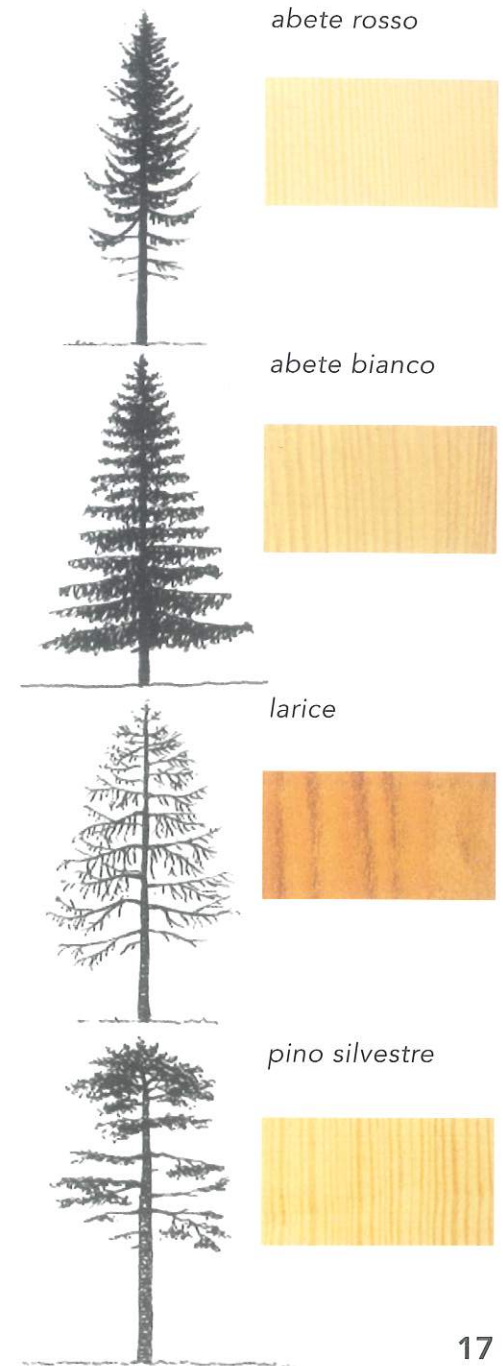
sono l'abete rosso, l'abete bianco, il larice ed il pino silvestre che, ad un'ampia diffusione ed a una resistenza soddisfacente, accoppiano un'ottimale attitudine all'incollaggio. Analizziamoli in dettaglio:

- **abete rosso:** è la specie più utilizzata per la produzione del legno lamellare. Per la frequenza con la quale si trova, per le sue caratteristiche intrinseche e per la facilità di lavorazione, è il legno tipo da costruzione, ampiamente impiegato sia sotto forma di travature, che nella fabbricazione dei pannelli;
- **abete bianco:** apparentemente molto simile al precedente, è però meno pregiato e per questo meno utilizzato in ambito strutturale. Rispetto all'abete rosso, esso presenta infatti un accrescimento più irregolare (con conseguente riduzione delle caratteristiche meccaniche), maggior tendenza alla cipollatura e minore durabilità;
- **larice:** le caratteristiche essenziali del legno di larice sono la grande durezza, le buone caratteristiche meccaniche ed il suo aspetto particolarmente piacevole, caratterizzato dall'inconfondibile color rosso-bruno. Per questo è largamente utilizzato in ambito costruttivo, specie per strutture destinate all'aperto, ovvero maggiormente esposte agli agenti atmosferici (es. pali, ponti, tralicci);
- **pino silvestre:** di facile lavorazione e discrete caratteristiche meccaniche è, dopo gli abeti, una delle specie più diffuse e commerciate, sia in Italia che in Europa. Utilizzato per imballaggi, segati da falegnameria ed infissi, è meno apprezzato in campo strutturale, data l'elevata nodosità e la frequente presenza di tasche di resina e fibratura deviata. Particolarmente adatto all'impregnazione in autoclave, trova ampio impiego nella produzione di elementi di recinzione ed arredamento da giardino.

3.2.2 Relazione tra legno e umidità

Il legno è un materiale igroscopico, poiché la sua umidità, definita come il rapporto percentuale tra l'acqua in esso contenuta ed il suo peso anidro, tende a raggiungere un punto di equilibrio con l'umidità dell'ambiente in cui si trova. Trattasi, naturalmente, di un equilibrio di tipo dinamico, giacché al variare della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria si verifica sempre un aumento o una riduzione del contenuto di acqua nel legno, fino al raggiungimento di un nuovo equilibrio con le sopraggiunte condizioni ambientali. L'umidità è uno dei parametri più importanti del legno, poiché ne influenza tutte le caratteristiche, sia fisiche che meccaniche. Per comprendere meglio l'influenza del fenomeno, sono stati fissati dei valori di riferimento:

- **umidità normale del legno:** pari al 12%, è l'umidità di equilibrio con temperatura di 20°C ed umidità relativa dell'aria del 65%; è assunto quale valore di riferimento per l'esecuzione di prove standardizzate sul materiale;
- **umidità allo stato fresco:** è il valore per il quale è ancora presente acqua libera all'interno delle cavità cellulari, ovvero umidità superiore al punto di saturazione delle pareti cellulari; commercialmente, si considera un valore superiore al 20%;
- **umidità al punto di saturazione:** convenzionalmente fissata in valori attorno al 30%, rappresenta il valore limite per il quale è ancora presente acqua libera all'interno delle cavità cellulari;
- **umidità commerciale:** pari circa al 15%, è il valore che generalmente si raggiunge a seguito di stagionatura naturale del materiale, mediante accatastamenti in ambiente aperto;



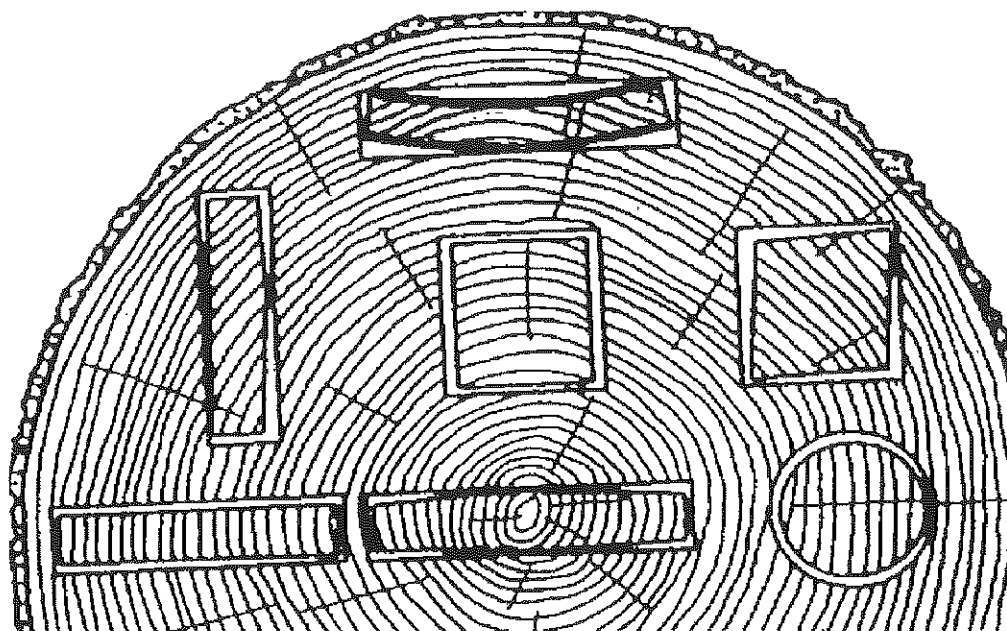
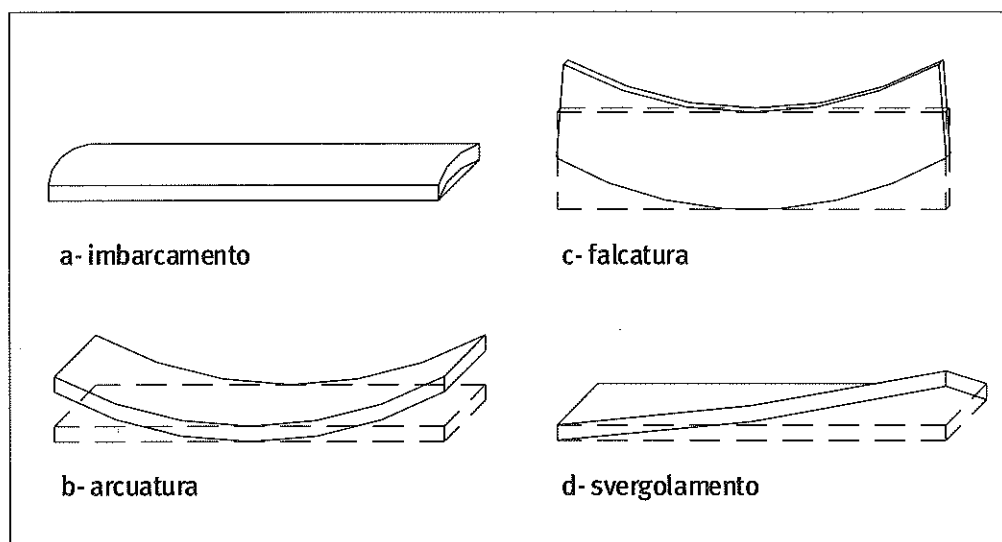


Figura 3.1 - Deformazioni dovute alla diversità tra i ritiri radiali e tangenziali, a seconda dell'andamento degli anelli nella sezione trasversale dei segati. Le tavole radiali sono assai meno soggette a deformazioni rispetto a quelle tangenziali.



- **umidità d'impiego:** è l'umidità alla quale dovrebbe essere posto in opera l'elemento strutturale ligneo, affinché risulti in equilibrio con l'ambiente; i valori di riferimento sono:

- ambiente esterno: 15% ($\pm 3\%$);
- ambiente chiuso, non riscaldato: 12% ($\pm 3\%$);
- ambiente chiuso, riscaldato: 9% ($\pm 3\%$).

Finché l'umidità non scende sotto al punto di saturazione, le dimensioni del campione rimangono perfettamente invariate in tutte le direzioni. Al contrario, varcata questa soglia, le variazioni di umidità sono accompagnate da variazioni dimensionali, meglio note con il termine di ritiri e rigonfiamenti. Questi «movimenti» sono assai diversi nelle tre direzioni anatomiche: infatti, il ritiro tangenziale è il circa il doppio di quello radiale, mentre quello longitudinale è praticamente trascurabile (Fig. 3.1 e 3.2).

Il fenomeno ha tre conseguenze macroscopiche:

- variazioni dimensionali;
- distorsioni;
- sviluppo di tensioni interne.

Alcune di queste conseguenze sono inevitabili, poiché legate all'anisotropia del materiale o alla presenza dei difetti, mentre altre possono essere evitate, o comunque notevolmente ridotte, mediante opportuni accorgimenti (es. essiccazione controllata).

Figura 3.2 - Tipologia e misurazione delle deformazioni nei segati:

- (a) **imbarcamento:** dovuto alla differenza tra ritiro radiale e tangenziale, nella direzione trasversale;
- (b) **arcuatura:** dovuta alla presenza di legno di reazione (il quale presenta ritiro assiale maggiore del legno normale) su una faccia del segato;
- (c) **falcatura:** dovuta alla presenza di legno di reazione sul bordo superiore della tavola;
- (d) **svergolamento:** dovuto alla presenza di fibratura elicoidale o di legno di reazione nella parte centrale della tavola.

3.2.3 La classificazione

La sola scelta della specie legnosa, non è di per sé sufficiente per stabilire i parametri di resistenza e di rigidità attribuibili ad un elemento strutturale ligneo. Esistono infatti molteplici fattori di variabilità delle caratteristiche del materiale:

- la specie legnosa;
- la provenienza geografica;
- il tipo di selvicoltura (governo, trattamento, turno, etc.);
- le caratteristiche genetiche individuali;
- la situazione di accrescimento individuale;
- le disomogeneità del tessuto legnoso nelle varie zone del fusto;
- l'anisotropia del legno nelle varie direzioni anatomiche;
- la presenza dei difetti.

Il primo passo verso la caratterizzazione del materiale, è rappresentato dall'esecuzione di prove fisico-meccaniche su piccoli campioni di legno netto (ovvero privo di difetti), in modo da determinare le grandezze di base di ciascuna specie legnosa (ritiro, umidità, resistenze, moduli elastici, durezza, resilienza, etc.). Il problema si pone, non appena si cerchi di passare dai dati così ottenuti, a quelli reali riferiti a legno strutturale, ovvero ad elementi in dimensione d'uso con presenza di difetti, gradienti di umidità, alterazioni localizzate, etc.

Di fatto, la semplice riduzione dei predetti valori, attraverso un coefficiente che tenga conto della difettosità dell'elemento, non consente di raggiungere un risultato sufficientemente apprezzabile. La difettosità di un pezzo in dimensione d'uso strutturale, non è infatti definibile in maniera sufficientemente dettagliata ed univoca; inoltre, non è facile quantificare l'influenza dei singoli difetti sulle proprietà meccaniche dell'elemento strutturale. In sostanza, la notevole variabilità delle resistenze di segati identici, per specie legnosa, provenienza e dimensioni, porta all'ottenimento di valori caratteristici troppo bassi, con inevitabile sovradimensionamento delle sezioni («così regge di sicuro!»). In tal modo le strutture si appesantiscono inutilmente, il materiale non viene sfruttato conformemente alle sue potenzialità, perdendo competitività nei confronti di altri materiali da costruzione; infine, all'aumentare delle dimensioni dei pezzi, aumenta anche la probabilità di incontrare un difetto, con conseguente perdita di qualità e relativa diminuzione delle tensioni ammissibili. Risulta pertanto indispensabile procedere ad una classificazione del materiale, in modo da raggruppare assieme segati aventi resistenze grosso modo paragonabili tra loro e determinare, per ciascun raggruppamento, i relativi valori caratteristici di resistenza e rigidità. I metodi di classificazione del legname strutturale sono per l'appunto basati su questo principio e possono essere suddivisi in due differenti tipologie: a vista o a macchina.

La classificazione a vista si basa sull'esame visivo delle caratteristiche e dei difetti di ciascun segato, che viene analizzato da personale specializzato ed assegnato ad una prefissata categoria, definita da regole ben precise. Secondo la norma tedesca DIN 4074 i segati di conifere possono essere suddivisi, con il metodo a vista, in tre categorie:

3.4 Il ciclo produttivo

3.4.1 Descrizione delle fasi di produzione

Prima fase : Preparazione delle tavole

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, la qualità del prodotto finito è fortemente influenzata dalle caratteristiche fisico-meccaniche delle materie prime utilizzate. La prima fase del ciclo produttivo è quindi interamente finalizzata alla preparazione delle tavole, onde garantire stabilità dimensionale ed un perfetto grado di incollaggio. Le operazioni descritte in questa prima fase, sono prevalentemente svolte dal fornitore della materia prima: oggi giorno infatti, le grandi segherie sono attrezzate con gli ingombranti macchinari necessari sia per il taglio, sia per la preparazione delle tavole, che arrivano così agli stabilimenti di produzione già pronte per essere immesse nel relativo ciclo produttivo.

Operazioni eseguite in segheria:

1. **Essiccazione:** dopo esser state accatastate all'aria aperta per una prima essiccazione naturale, le tavole vengono sottoposte ad essiccazione artificiale e portate al tasso d'umidità di impiego (valori attorno al 9%-12%). Il processo avviene per convezione di aria calda all'interno di grosse celle, nelle quali la temperatura è mantenuta intorno ai 70+75°C. Questo trattamento, oltre a garantire un miglior incollaggio ed evitare l'insorgere, sulla trave in opera, dei fenomeni di ritiro, permette di eliminare eventuali parassiti presenti nel legno e di prevenire l'attacco da parte di microrganismi. All'uscita dall'essiccatoio, dopo circa 3+4 giorni, il tasso di umidità non è regolare all'interno della tavola, essendo più basso nelle sezioni di testa: per questo le tavole vengono lasciate «riposare» per 2+3 giorni in ambienti climatizzati a temperatura ed umidità controllate, prima di essere sottoposte ai successivi controlli.
2. **Pre-piallatura delle tavole:** le tavole grezze (4+5 mt di lunghezza, spessore max. 48 mm e larghezza variabile dai 95 ai 260 mm) sono sottoposte ad una pre-piallatura sui quattro lati, necessaria per la successiva classificazione e per la lettura ottica dei difetti (nodosità, fessurazioni, etc.).
3. **Controllo dell'umidità:** avviene in maniera automatica; una macchina esegue la lettura tramite un igrometro elettrico e scarta le tavole con umidità che non rientra nei valori dal 9% al 12%.
4. **Classificazione e marchiatura:** tutte le tavole per uso strutturale devono essere preventivamente classificate, per l'attribuzione ad una specifica classe di resistenza. Nei moderni impianti, la classificazione viene effettuata a macchina, facendo scorrere la tavola attraverso dei rulli con funzione di appoggio intermedio, entro i quali la stessa viene inflessa per misurarne la "rigidezza" locale. L'apparecchiatura è inoltre in grado di evidenziare, mediante dei segni colorati, i tratti della tavola da scartare, ovvero quelli contenenti anomalie o difetti non accettabili. Al termine del processo le tavole vengono contrassegnate con un marchio indicante la specie di appartenenza e la classe di qualità assegnata.

Operazioni eseguite nello stabilimento di produzione:

5. **Controllo dimensionale:** necessario per impostare la dimensione di base dell'elemento strutturale che si andrà a realizzare. Le tavole che, già allo stato di pre-piallatura, presentano tolleranza troppo grande rispetto al valore finale che si vuole ottenere, vengono immediatamente eliminate dal ciclo di produzione.

6. **Controllo dell'umidità:** necessario per verificare eventuali variazioni dei valori precedentemente imposti, eventualmente verificatisi durante il trasporto delle tavole, dalla segheria allo stabilimento di produzione. Tutte le misurazioni vengono accuratamente registrate e conservate, giacché costituiscono uno dei documenti richiesti dagli organi preposti alla certificazione della qualità (Fig. 3.3).
7. **Assortimento delle tavole:** le lamelle impiegate nella composizione di ciascun elemento strutturale, pur essendo della stessa specie legnosa, possono appartenere a differenti classi resistenti. Ad esempio, per travi inflesse nelle quali le maggior tensioni interessano una porzione limitata della sezione, può risultare conveniente collegare materiale ad alta resistenza (es. MS13 nella zona tesa), con materiale di resistenza inferiore (es. MS10 nella parte centrale e compressa). Questa operazione può essere fatta in automatico, attraverso un procedimento automatizzato di assortimento delle tavole, con lettura ottica delle parti difettose da tagliare (delimitate da un segno apportato in fase di classificazione) e successivo controllo computerizzato del materiale residuo necessario per la composizione della trave. A questo punto le tavole sono pronte per essere trasformate in lamelle.

Seconda fase : Formazione delle lamelle

Questa fase, eseguita completamente in automatico, comporta una serie di operazioni successive quali:

8. **Fresatura degli innesti e spalmatura dell'adesivo:** le singole tavole vengono unite tra loro per mezzo del cosiddetto giunto a dita («finger joint»), eseguito secondo le prescrizioni della normativa DIN 68140 (Fig. 3.4). La conformazione del giunto è tale da trasformare le tensioni di trazione longitudinale, in sforzi di taglio lungo le linee di incollaggio.
9. **Incollaggio di testa a pressione:** eseguito il taglio e cosparso l'adesivo, si passa immediatamente alla giunzione, che avviene attraverso un breve accostamento testa a testa sotto l'azione di un'opportuna pressione (Fig. 3.5); tutta l'operazione dev'essere fatta in un ambiente con temperatura ed umidità controllate.
10. **Piallatura e taglio della lamella:** la giunzione di testa, permette di trasformare le singole tavole in una lamella continua, teoricamente infinita. Questa viene piallata a spessore costante e tagliata, in funzione della dimensione dell'elemento strutturale che si desidera realizzare (fig. 3.6 e fig. 3.6.1). Risulta così superato il primo limite dimensionale imposto dai fusti: la lunghezza.
11. **Disposizione nel «polmone»:** per ottenere la perfetta formazione del giunto, le lamelle vengono depositate in un'apposita zona dello stabilimento, chiamata appunto «polmone», dove rimangono per almeno 6 ore, in condizioni di temperatura ed umidità controllata.

Terza fase : Incollaggio e composizione dei pezzi

Mentre nella fase precedente veniva definita la lunghezza della trave, in questa successiva se ne determina la sezione in altezza e la forma, essendo lo spessore già fissato dalla larghezza stessa della lamella usata.

12. **Applicazione dell'adesivo:** avviene mediante un'incollatrice a tendina. L'adesivo e l'induritore sono applicati separatamente, su una singola faccia, facendo scorrere la lamella sotto degli augelli (Fig. 3.7). L'operazione dev'essere effettuata entro un massimo di 48 ore dalla piallatura della tavola, per evitare che l'ossidazione della superficie del legno riduca l'efficacia della presa, ed il dosaggio dev'essere controllato in funzione del tipo di adesivo utilizzato (da 400 a 450 g/m² circa per la resorcina e la melamina, circa 500 g/m² per l'urea). La qualità dell'incollaggio è uno dei punti critici dell'intero processo produttivo, che si ripercuote chiaramente sulla qualità del prodotto finito. In tale contesto assume una particolare importanza il continuo

monitoraggio di tutti i parametri che intervengono tra la fase della preparazione della miscela e il serraggio del pacco di lamelle incollate. Gli ambienti predisposti all'incollaggio vengono mantenuti ad una temperatura costante $\geq 20^{\circ}\text{C}$, con monitoraggio delle condizioni termoigrometriche tramite registratore automatico dell'andamento della temperatura e dell'umidità dell'aria.

13. Il **"letto di pressaggio"**: poiché l'assemblaggio della trave deve avvenire a pressione, occorre una superficie di contrasto sulla quale i morsetti (meccanici o idraulici) possano essere ancorati. Tale superficie, detta "letto di pressaggio", è costituita da una serie di telai metallici, fissati al pavimento a distanza di 40÷50 cm l'uno dall'altro in modo da ripetere, sul piano orizzontale, la forma che la struttura avrà in quello verticale (Fig. 3.9).
Nella disposizione delle lamelle, è altresì necessario controllare l'orientamento degli anelli di accrescimento: quelle di estremità devono avere gli anelli girati in senso opposto rispetto a tutte le altre per evitare che, a seguito del ritiro, la trave tenda ad aprirsi (Fig. 3.8).

Nella formazione di travi curve, occorre prestare molta attenzione alla scelta del raggio di curvatura, sia per evitare tensioni interne troppo elevate, sia per ridurre il fenomeno del parziale «ritorno elastico» del pezzo, una volta tolto dalla morsa della pressa. A questo proposito, la norma DIN 1052 impone che il raggio di curvatura minimo della trave sia pari ad almeno 200 volte lo spessore della lamella; ciò significa che con spessori di 3.35 cm (produzione corrente), si possono realizzare travi fino a 6.70 m di raggio. La realizzazione di elementi con raggio di curvatura inferiore comporta l'utilizzo di lamelle sottili, con un notevole incremento dei costi di produzione. Completato il posizionamento delle lamelle si procede alla chiusura della pressa, che deve avvenire il più rapidamente possibile, per evitare che l'adesivo cominci ad indurire. La chiusura procede dal centro verso le estremità e la pressione di serraggio applicata varia dai 0.6÷0.8 N/mm² per travi dritte, ai 0.8÷1.0 N/mm² per travi curve. Le travi così realizzate rimangono in pressa per un periodo di tempo variabile da 6 a 10 ore, a seconda della forma, del tipo di adesivo utilizzato e della temperatura dell'aria.

Quarta fase : Finitura dei pezzi

14. **Piallatura delle travi**: una volta rimossi dal letto di pressaggio, gli elementi lamellari vengono fatti passare attraverso una piallatrice automatica, che elimina tutte le irregolarità presenti sulle superfici esterne dopo l'incollaggio e calibra l'elemento allo spessore finale. Normalmente vengono asportati circa 7÷8 mm per lato cosicché, da lamelle pre-piallate larghe 11.5 cm si ottengono, ad esempio, travi finite da 10,0 cm di base (Fig. 3.10).
15. **Lavorazione e impregnazione**: la finitura dei pezzi comprende tutte le lavorazioni necessarie al montaggio e assemblaggio della struttura, previste nel progetto esecutivo (Fig. 3.11 e 3.12). La maggior parte delle lavorazioni vengono effettuate da macchine a controllo numerico con trasferimento dei dati di lavorazione direttamente dai sistemi di progettazione Cad-Cam. Successivamente, si procede all'impregnazione delle travi e, ove possibile, al pre-assemblaggio della carpenteria metallica. L'esecuzione di quest'ultima operazione in stabilimento, permette di facilitare notevolmente le operazioni di montaggio, con conseguente riduzione dei tempi di posa e aumento della precisione di realizzazione.

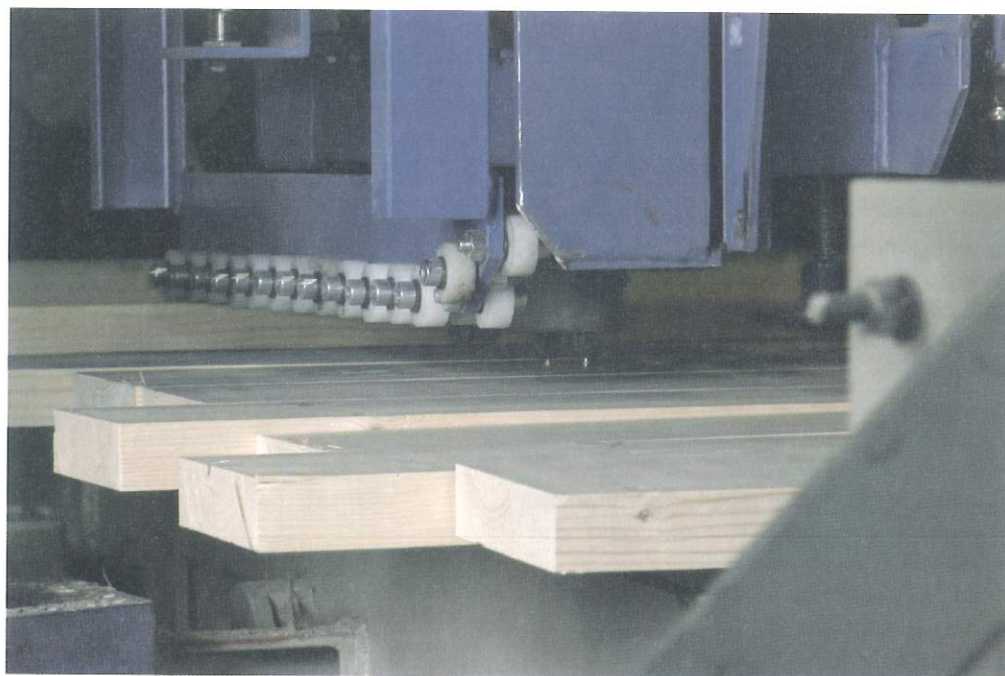
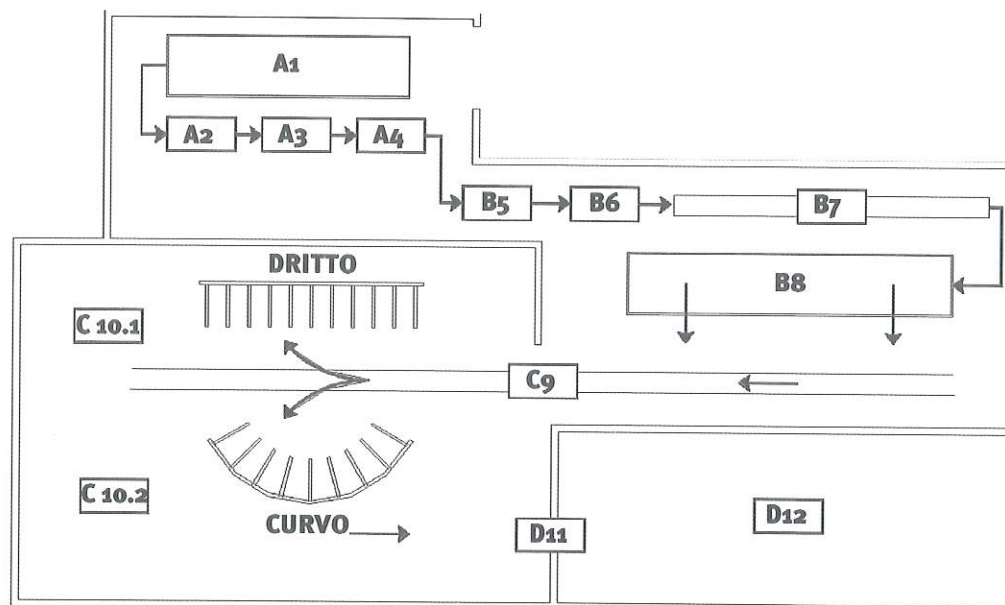


Figura 3.3 - Apparecchiatura per il controllo automatico dell'umidità

3.4.2 Illustrazione delle fasi di produzione

Lo stabilimento di produzione: schema generale

A. Preparazione delle tavole

- A.1 Stoccaggio
- A.2 Controllo dimensionale
- A.3 Controllo dell'umidità
- A.4 Assortimento delle tavole

B. Formazione delle lamelle

- B.5 Fresatura degli innesti e spalmatura dell'adesivo
- B.6 Incollaggio di testa a pressione
- B.7 Piallatura e taglio della lamella
- B.8 Disposizione nel «polmone»

C. Incollaggio e composizione dei pezzi

- C.9 Applicazione dell'adesivo
- C.10 Il «letto di pressaggio»

D. Finitura dei pezzi

- D.11 Piallatura delle travi
- D.12 Lavorazione e impregnazione

A.3 Controllo dell'umidità

| Tipo di ambiente | Umidità d'impiego del legno |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Ambiente esterno | 15% ± 3% |
| Ambiente chiuso, non riscaldato | 12% ± 3% |
| Ambiente chiuso, riscaldato | 9% ± 3% |

Tab. 3.1 - Umidità di equilibrio del legno

A.4 Assortimento delle tavole

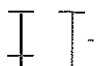

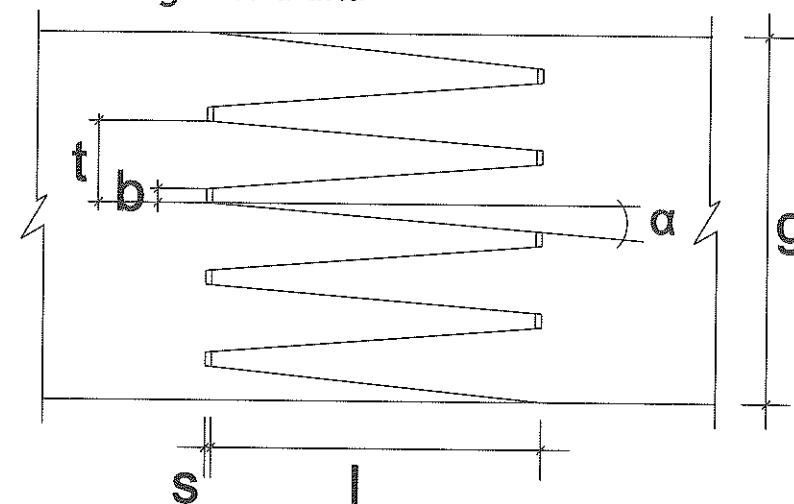
| TIPO DI SEZIONE | | classificazione visuale delle tavole: S7, S10, S13 classificazione a macchina delle tavole: MS7, MS10, MS13, MS17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|--|---------------|-------------------------|----------------|--|--|-------|--|--|---|---|---|---|---|---|-------|-------------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|----------------|
| almeno 2 lamelle $e > H/6$ |  | 1 lamellare simmetrico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| almeno 2 lamelle $e > H/6$ |  | 2 lamellare combinato simmetrico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 lamellare combinato non simmetrico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">BS 18</th> <th colspan="3">BS 16</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MS 17</td> <td>MS 17 MS 13 MS 17</td> <td>MS 13 MS 17</td> <td>MS 13</td> <td>MS 13 MS 10 MS 13</td> <td>MS 10 MS 13</td> </tr> </tbody> </table> | | | BS 18 | | | BS 16 | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | MS 17 | MS 17 MS 13 MS 17 | MS 13 MS 17 | MS 13 | MS 13 MS 10 MS 13 | MS 10 MS 13 |
| BS 18 | | | BS 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MS 17 | MS 17 MS 13 MS 17 | MS 13 MS 17 | MS 13 | MS 13 MS 10 MS 13 | MS 10 MS 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">BS 14</th> <th colspan="3">BS 11</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S 13</td> <td>S 13 S 10 MS 10 S 13</td> <td>S 10 MS 10 S 13</td> <td>S 10 MS 10</td> <td>S 10 MS 7 S 10</td> <td>MS 7 S 10</td> </tr> </tbody> </table> | | | BS 14 | | | BS 11 | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | S 13 | S 13 S 10 MS 10 S 13 | S 10 MS 10 S 13 | S 10 MS 10 | S 10 MS 7 S 10 | MS 7 S 10 |
| BS 14 | | | BS 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S 13 | S 13 S 10 MS 10 S 13 | S 10 MS 10 S 13 | S 10 MS 10 | S 10 MS 7 S 10 | MS 7 S 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 3.2 – Composizione e classe della sezione

B.5-6 Formazione del giunto a dita



| Categoria | v | l | α |
|--------------------------|-------------|-----------|----------------------------|
| I (elementi costruttivi) | $\leq 0,18$ | ≤ 10 | $\leq 7,5^\circ$ (1 : 7,6) |
| | | > 10 | $\leq 7,1^\circ$ (1 : 8) |
| II (arredo e serramenti) | $\leq 0,25$ | ≤ 10 | $\leq 7,5^\circ$ (1 : 7,6) |
| | | > 10 | $\leq 7,1^\circ$ (1 : 8) |

Inclinazione dei fianchi e grado di indebolimento

| Categoria | l | t | b | v |
|-----------|-----|-----|-----|------|
| I e II | 7,5 | 2,5 | 0,2 | 0,08 |
| | 10 | 3,7 | 0,6 | 0,16 |
| | 20 | 6,2 | 1 | 0,16 |
| | 50 | 12 | 2 | 0,17 |
| | 60 | 15 | 2,7 | 0,18 |
| II | 4 | 1,6 | 0,4 | 0,25 |
| | 15 | 7 | 1,7 | 0,24 |
| | 30 | 10 | 2 | 0,2 |

Dove:

- l = Lunghezza del giunto
- g = Larghezza totale del giunto
- t = Passo della dentatura
- b = Larghezza base del giunto
- s = Gioco del giunto
- α = Inclinazione dei fianchi

$e = \frac{s}{l}$ = Gioco relativo

$v = \frac{b}{t}$ = Valore di indebolimento (sezione netta)

Tipi e geometria dei giunti a dita

Figura 3.4 - Giunto a dita secondo DIN 68140

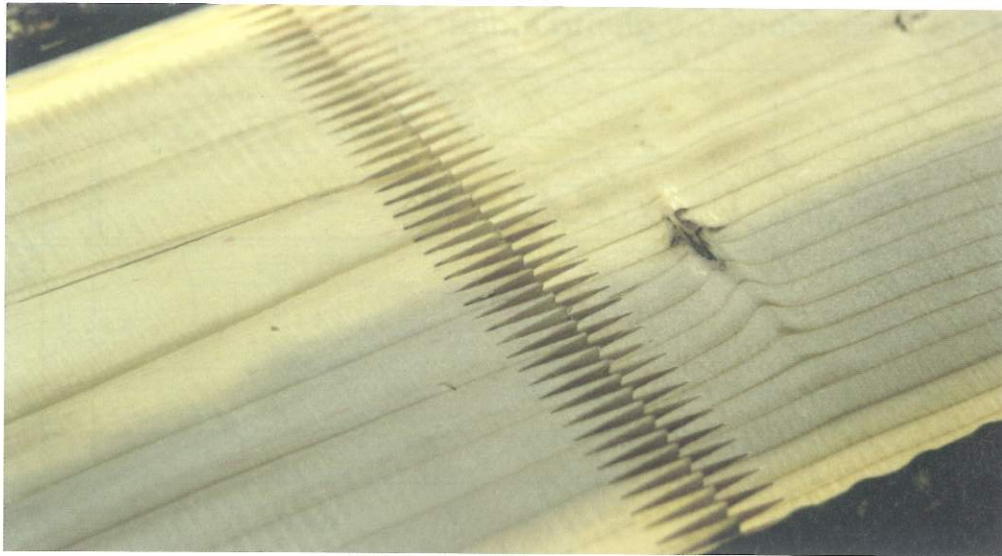


Figura 3.5 - Giunzione di testa delle lamelle

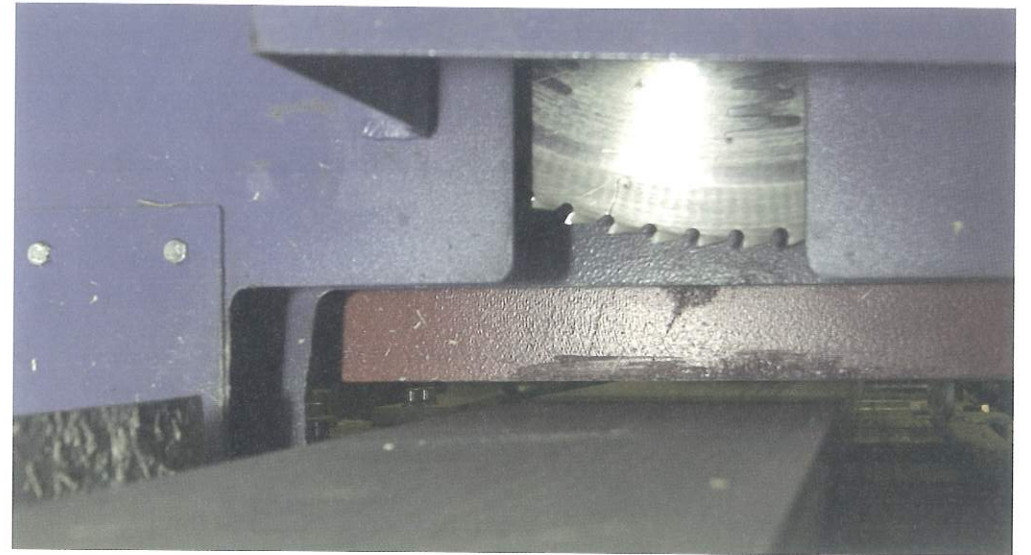


Figura 3.6.1 - Taglio della singola lamella

B.7 Piallatura e taglio della lamella



Figura 3.6 - Piallatura della singola lamella

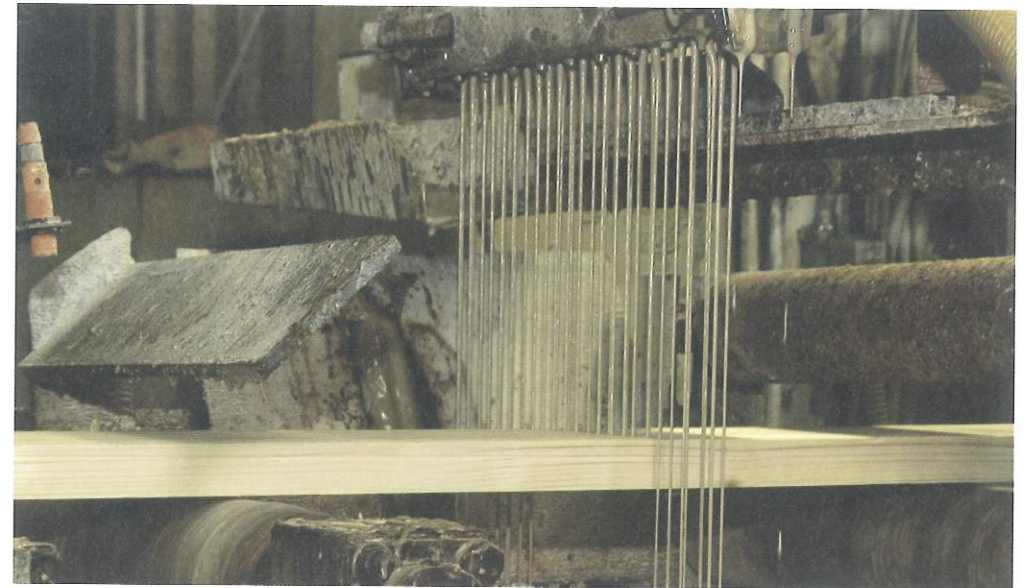


Figura 3.7 - Incollatrice a tendina

C.10 Il "letto di pressaggio"

| | |
|---|---|
| Δt tra piallatura e incollaggio | < 48 ore |
| Quantità di adesivo su un lato | 0.40 ÷ 0.5 Kg/m ² |
| Umidità del legno | 9 ÷ 12 % |
| Temperatura del legno e della colla | ≥ 20 °C |
| Pressione di serraggio | 0.6 ÷ 0.8 N/mm ² - travi dritte 0.8 ÷ 1.0 N/mm ² - travi curve |
| Tempo di pressaggio | 6 ÷ 10 ore |

Tab. 3.3 - Campo di impiego del "letto di pressaggio"



Figura 3.8 - Corretta disposizione degli anelli di accrescimento

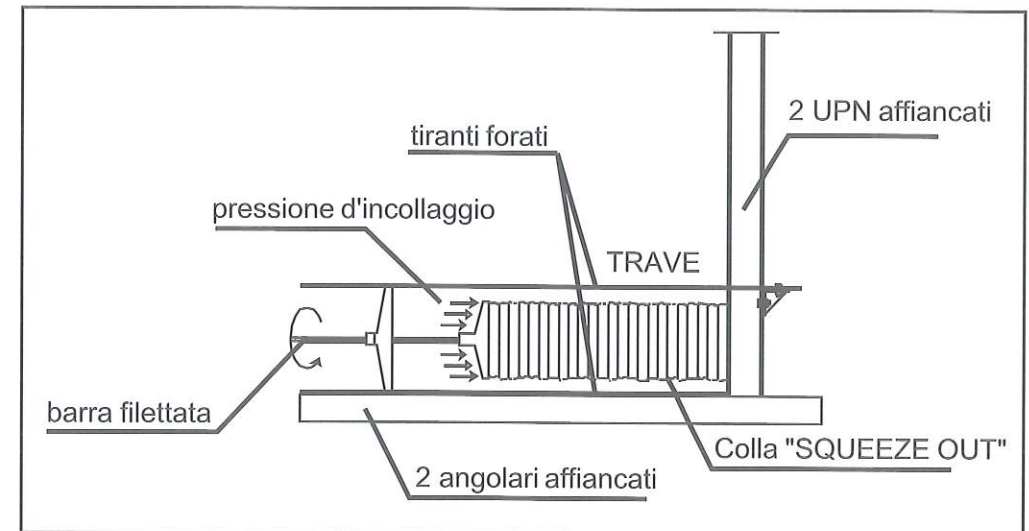


Figura 3.9 - Zona di assemblaggio della trave e schema di funzionamento del letto di pressaggio

D.11 Piallatura delle travi

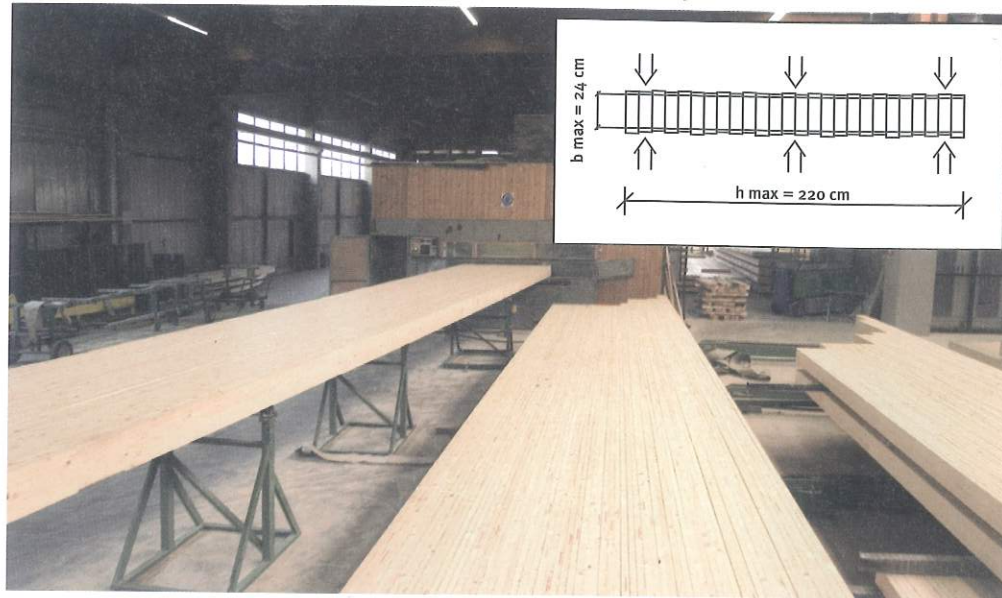


Figura 3.10 - Piallatrice automatica

D.12 Lavorazione e impregnazione



Figura 3.11 - Il reparto finitura dello stabilimento Holzbau
30

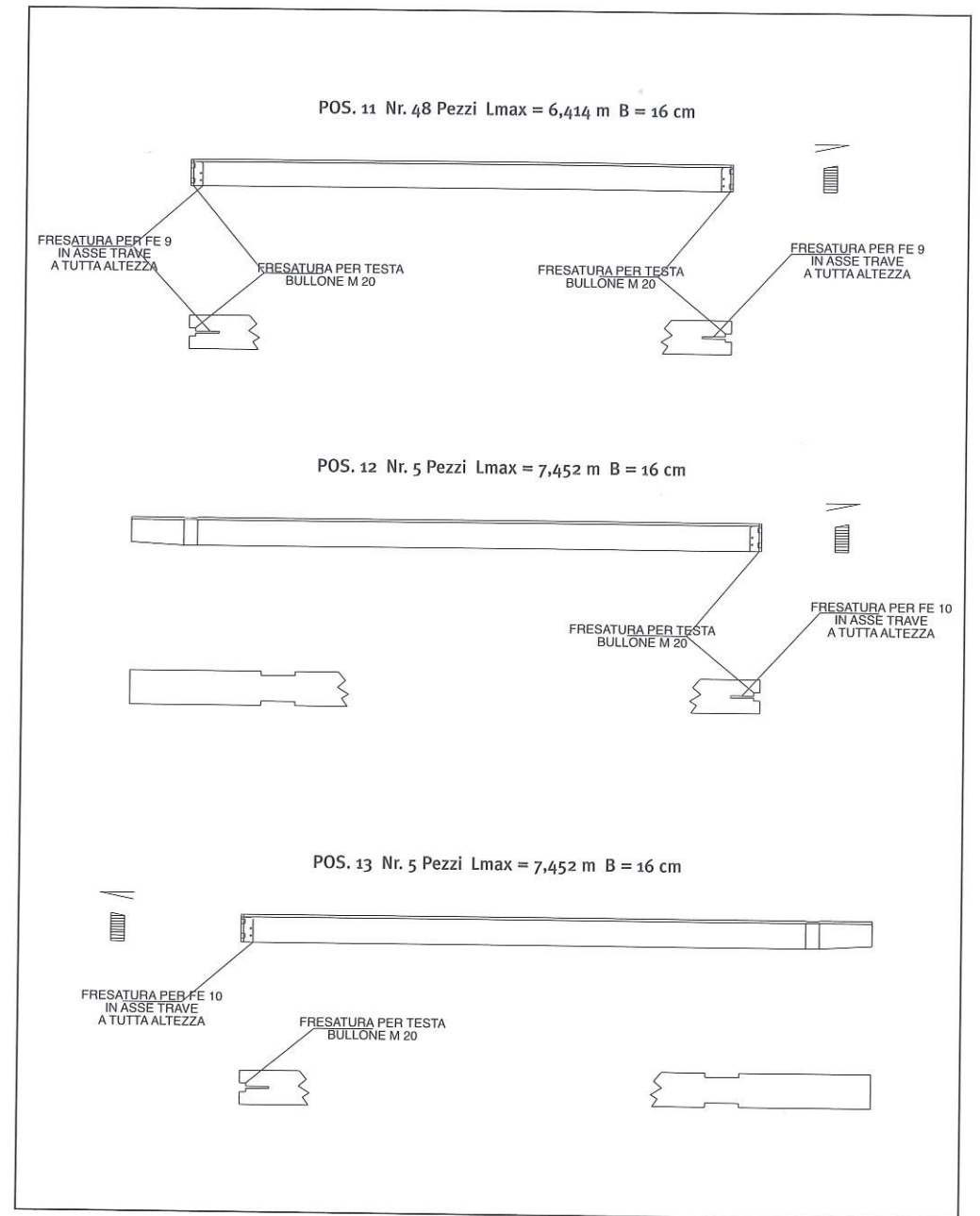
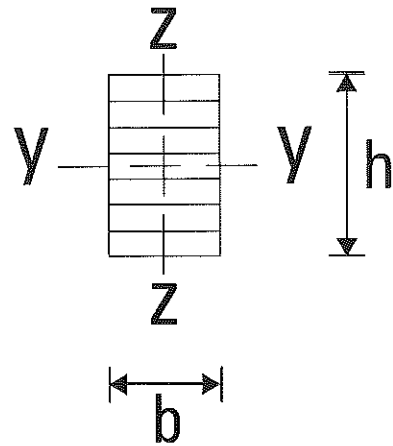


Figura 3.12 - Esempio di disegno tecnico per la lavorazione dei pezzi

6. IL DIMENSIONAMENTO

6.1 Caratteristiche geometriche delle sezioni

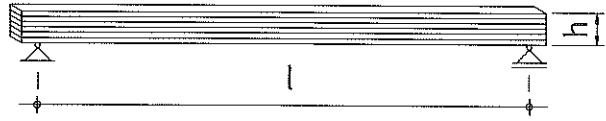
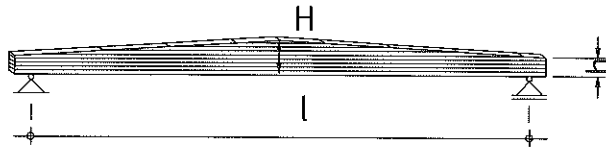
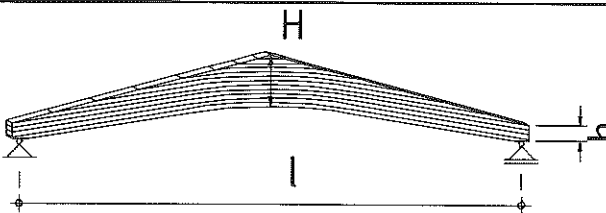
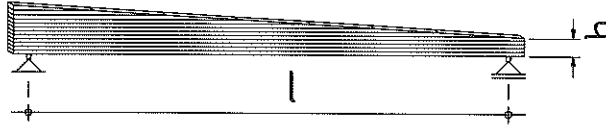
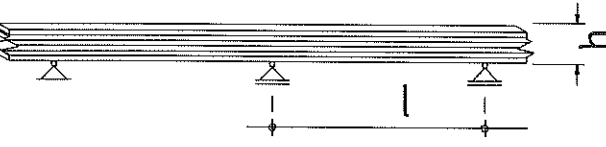


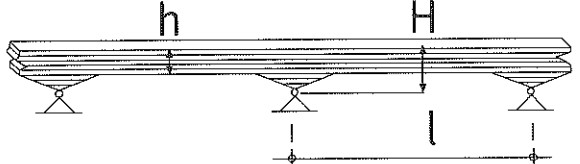
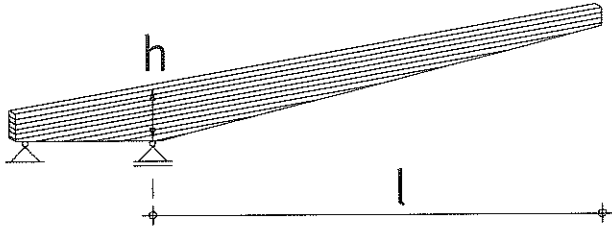
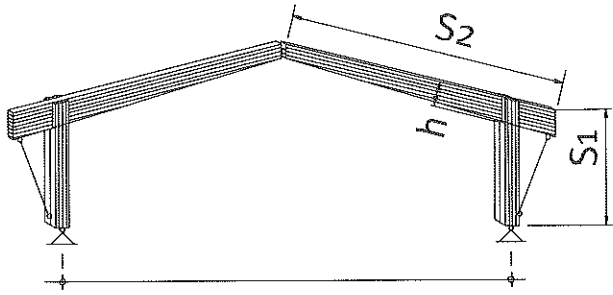
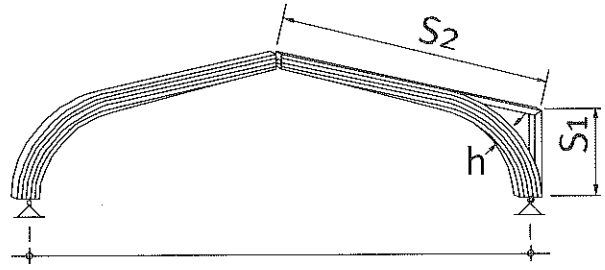
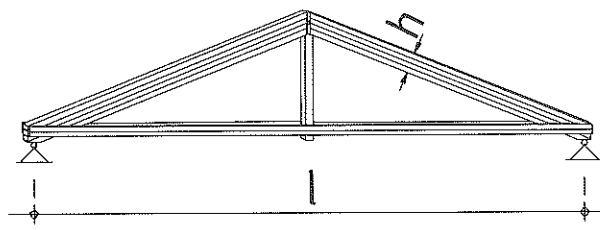
| | |
|---------------------------------------|--|
| Altezza (cm) | h |
| Larghezza (cm) | b |
| Area (cm ²) | $A = b \cdot h$ |
| Momento resistente (cm ³) | $W_y = b \cdot h^2 / 6$ $W_z = h \cdot b^2 / 6$ |
| Momento d'inerzia (cm ⁴) | $I_y = b \cdot h^3 / 12$ $I_z = h \cdot b^3 / 12$ |
| Raggio d'inerzia (cm) | $i_y = \sqrt{I_y / A} = 0,289 \cdot h$ $i_z = \sqrt{I_z / A} = 0,289 \cdot b$ |

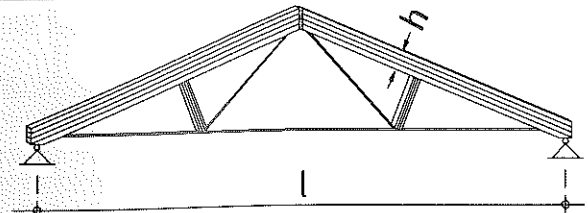
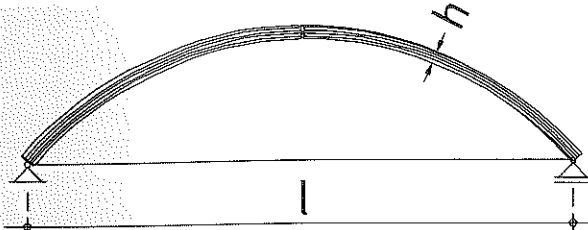
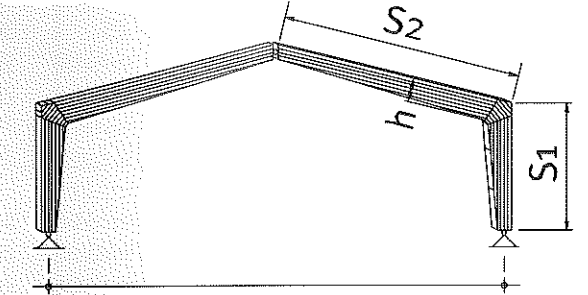
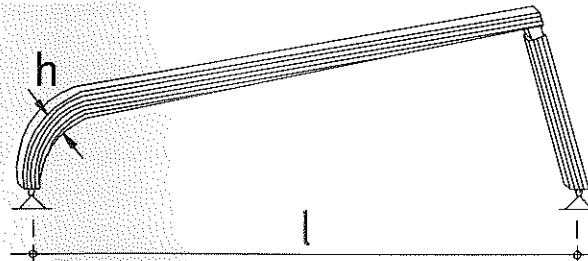
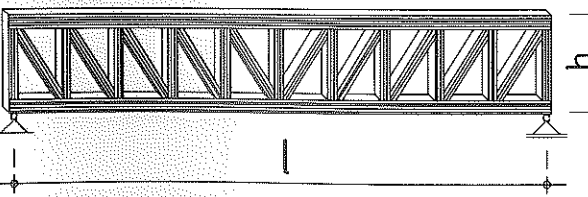
6.2 Dimensioni di produzione delle sezioni

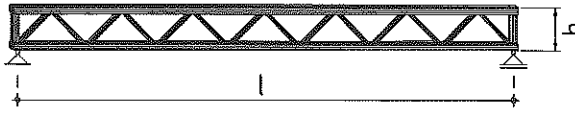
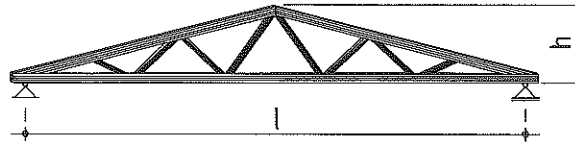
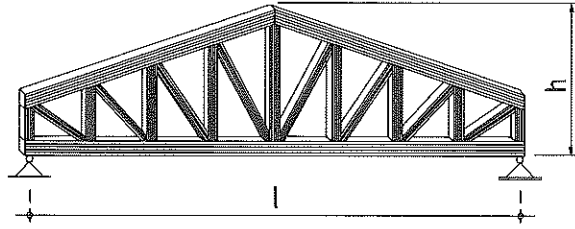
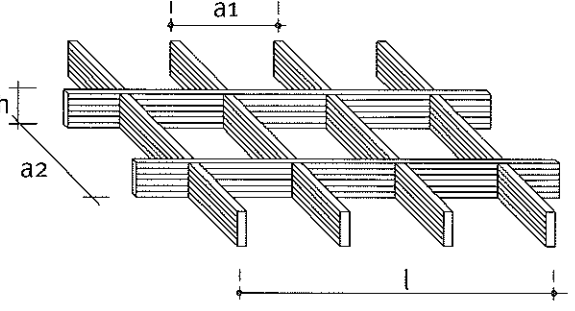
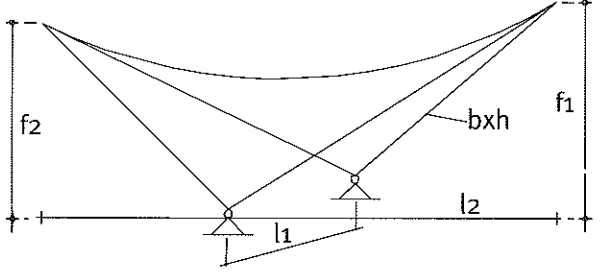
| Larghezza b (cm) | | | | | | | |
|------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 8,0 | 10,0 | 12,0 | 14,0 | 16,0 | 18,0 | 20,0 | 22,0 |
| Altezza h (cm) | | | | | | | |
| 3,35 | 39,7 | 76,9 | 113,7 | 150,6 | 187,4 | | |
| 6,2 | 43,1 | 80,2 | 117,1 | 153,9 | 190,8 | | |
| 9,6 | 46,4 | 83,6 | 120,4 | 157,3 | 194,1 | | |
| 12,9 | 50,1 | 86,9 | 123,8 | 160,6 | 197,5 | | |
| 16,3 | 53,4 | 90,3 | 127,1 | 164,0 | 200,8 | | |
| 19,6 | 56,8 | 93,6 | 130,5 | 167,3 | 204,2 | | |
| 23,0 | 60,1 | 97,0 | 133,8 | 170,7 | 207,5 | | |
| 26,3 | 63,5 | 100,3 | 137,2 | 174,0 | 210,9 | | |
| 29,7 | 66,8 | 103,7 | 140,5 | 177,4 | 214,2 | | |
| 33,0 | 70,2 | 107,0 | 143,9 | 180,7 | 217,6 | | |
| 36,4 | 73,5 | 110,4 | 147,2 | 184,1 | 220,9 | | |

6.3 Sistemi statici e criteri generali di dimensionamento

| Descrizione | Sistema statico | Pendenza | Luce | Altezza |
|---|--|--------------|-----------------|----------------------------------|
| Trave parallela su due appoggi |  | $<5^\circ$ | $<30\text{m}$ | $h \cong l/17$ |
| Trave su due appoggi a doppia rastremazione |  | $3-10^\circ$ | $10-30\text{m}$ | $h \cong l/30$ $H \cong l/16$ |
| Trave su due appoggi centinata |  | $3-15^\circ$ | $10-30\text{m}$ | $h \cong l/30$ $H \cong l/16$ |
| Trave su due appoggi rastremata |  | $<5^\circ$ | <25 | $h \cong l/30$ |
| Trave continua su più appoggi |  | $3-10^\circ$ | $10-30\text{m}$ | $h \cong l/20$ |

| Descrizione | Sistema statico | Pendenza | Luce | Altezza |
|--|---|------------------|------------------------|----------------------------------|
| Trave a più campate con inerzia variabile |  | $<5^\circ$ | $<25\text{m}$ | $h \cong l/24$ $H \cong l/16$ |
| Trave a sbalzo |  | $<10^\circ$ | $<15\text{m}$ | $h \cong l/10$ |
| Portale a tre cerniere con montante scomposto in tirante e puntone |  | $\cong 14^\circ$ | $10\text{-}35\text{m}$ | $h \cong (S1+S2)/15$ |
| Portale a tre cerniere curvo |  | $\cong 14^\circ$ | $10\text{-}50\text{m}$ | $h \cong (S1+S2)/15$ |
| Sistema a tre cerniere con tirante |  | $\cong 14^\circ$ | $10\text{-}50\text{m}$ | $h \cong l/30$ |

| Descrizione | Sistema statico | Pendenza | Luce | Altezza |
|--|--|---------------------------|--------|--------------------------------|
| Sistema a tre cerniere con tirante e saette |  | $\geq 14^\circ$ | 20-100 | $h \cong l/40$ |
| Arco a tre cerniere con o senza tirante in legno o acciaio |  | $\frac{f}{l} \cong 0,135$ | 20-100 | $h \cong l/50$ |
| Portale a tre cerniere con giunto d'angolo incollato |  | $\geq 14^\circ$ | 15-25m | $h \cong \frac{(s1 + s2)}{13}$ |
| Sistema a tre cerniere con trave curvata e pilastro |  | $\geq 20^\circ$ | 15-25m | $h \cong l/25$ |
| Reticolare a lembi paralleli con montanti e diagonali |  | 0° | 30-80m | $h \cong l/12$ |

| Descrizione | Sistema statico | Pendenza | Luce | Altezza |
|--|---|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Reticolare a lembi paralleli con solo aste interne diagonali |  | $< 5^\circ$ | 30-80m | $h \cong l/14$ |
| Reticolare triangolare |  | $< 12^\circ$ | 30-80m | $h \cong l/8$ |
| Reticolare trapezoidale |  | $3^\circ - 25^\circ$ | 30-80m | $h \cong l/12$ |
| Cassettonato |  | 0° | 15-25m | $h \cong l/20$ $a=2,4-7,2m$ |
| Struttura spaziale |  | $f_1+f_2 \geq 0,20$ l_1+l_2 | $l_1 \cong l_2$ 15-60m | $h \cong b \cong 1/70$ |

6.4 Esempi di calcolo

6.4.1 Copertura a due falde con pilastro in legno

Si consideri una struttura lignea di copertura a due falde, inclinate di $16,7^\circ$ sull'orizzontale. L'orditura principale è costituita da elementi disposti orizzontalmente (banchina, mezzacasa, colmo), poggianti su tre appoggi costituiti da setti murari, ad eccezione dell'appoggio centrale della trave di colmo, realizzato mediante un pilastro in legno di altezza 4,0 m.

L'orditura secondaria si compone di una serie di correntini poggianti ortogonalmente rispetto a quella primaria. In corrispondenza di tali appoggi vengono intagliati dei denti di profondità 2,0 cm nei correntini, in modo da ottimizzare il meccanismo di contatto. I correntini sono disposti ad un interasse di 0,8 m e sporgono lateralmente di 1,0 m. In figura 6.1 si può osservare la geometria della struttura di copertura.

Il carico permanente, considerato un pacchetto di copertura di tipo "ventilato", può essere valutato come segue:

| | | |
|-------------------------|------|-------------------|
| correntini | 0,12 | kN/m ² |
| perlinato $s = 20$ mm | 0,13 | kN/m ² |
| guaina | 0,01 | kN/m ² |
| isolante | 0,03 | kN/m ² |
| listone di ventilazione | 0,03 | kN/m ² |
| tavolato grezzo | 0,14 | kN/m ² |
| listello | 0,05 | kN/m ² |
| tegole | 0,65 | kN/m ² |
| = | 1,16 | kN/m ² |

Carico permanente in proiezione orizzontale: $g = 1,16 / \cos 16,7 = 1,2$ kN/m²

Carico accidentale (neve) in proiezione orizzontale $q = 1,3$ kN/m²

Per tutti gli elementi si utilizza legno lamellare BS11, caratterizzato dai seguenti parametri:

| | | | |
|---------------------------|---------|-------------------|--------------------------------------|
| amm $\sigma_{0\parallel}$ | = 8,5 | N/mm ² | (compressione parallela alle fibre) |
| amm $\sigma_{0\perp}$ | = 3,0 | N/mm ² | (compressione ortogonale alle fibre) |
| amm σ_b | = 11,0 | N/mm ² | (flessione) |
| amm τ_0 | = 1,2 | N/mm ² | (taglio trasversale) |
| E_s | = 11000 | N/mm ² | (modulo di elasticità a flessione) |
| G | = 500 | N/mm ² | (modulo di taglio) |

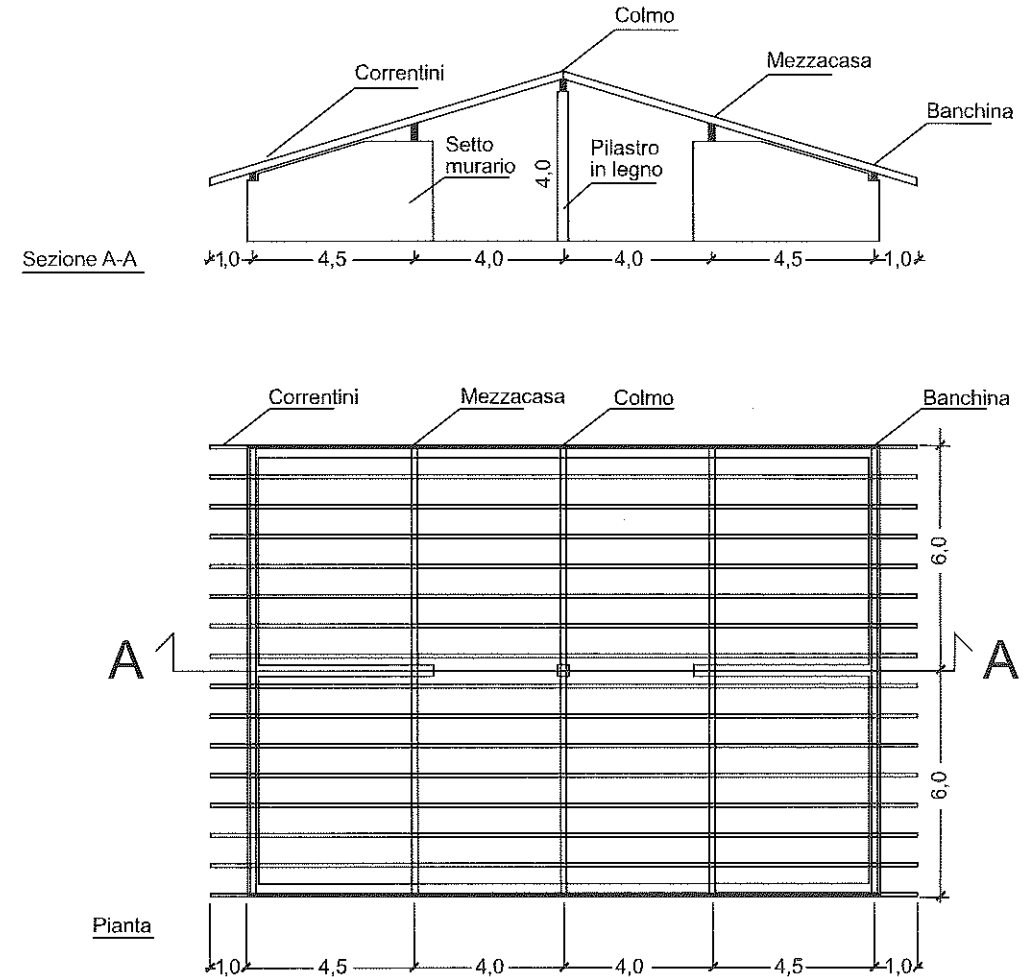


Figura 6.1 - Struttura di copertura a due falde

$Q_{tot} = 2,0 \text{ KN/m}$

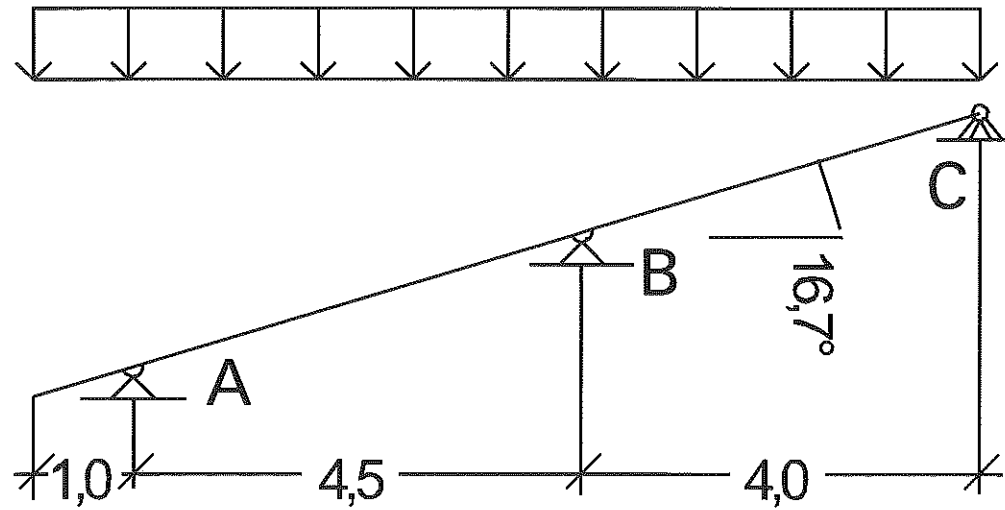


Figura 6.2 – Schema statico del correntino

• Verifica del correntino (sez. 10.0 x 19.6)

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Carico permanente | 1,2 kN/m ² |
| Carico accidentale | 1,3 kN/m ² |
| Interasse | 0,8 m |

$$q_{tot} = (1,2 + 1,3) \times 0,8 = 2,0 \text{ kN/m}$$

• Reazioni agli appoggi:

$$V_A = 5,8 \text{ kN}$$

$$V_B = 10,3 \text{ kN}$$

$$V_C = 2,9 \text{ kN}$$

• Verifica a flessione:

Si effettua una verifica a flessione nel punto di appoggio B, dove il momento raggiunge in modulo il suo valore massimo. Si tiene conto dell'area netta della sezione dell'elemento, depurata della parte dell'intaglio del dente all'appoggio.

$$M_B = - 4,3 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_B}{W_n} = \frac{4,3 \times 6000}{10 \times (19,6 - 2,0)^2} = 0,76 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

• Verifica a taglio:

All'appoggio B il taglio raggiunge il valore massimo: $Q_B = 5,3 \text{ kN}$

$$\frac{1,5 \cdot Q_B}{b \cdot (h - h_{dente})} = \frac{15 \times 5,3}{10 \times (19,6 - 2,0)} = 0,38 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

• Verifica della freccia:

Dall'analisi deformativa elastica risulta:

$$f_{\max} = 0,6 \text{ cm} \leq \frac{l}{200}$$

• Verifica della mezzacasa (sez. 16.0 x 46.4)

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Carico permanente | 1,2 kN/m ² |
| Carico accidentale | 1,3 kN/m ² |
| Peso proprio | 0,4 kN/m |

Interasse in pianta

$$\frac{10,3 \text{ kN}}{2,0 \text{ kN/m}} = 5,15 \text{ m} \text{ (Figura 6.3)}$$

$$q_{\text{tot}} = (1,2 + 1,3) \times 5,15 + 0,4 = 13,3 \text{ kN/m}$$

• Verifica a flessione:

Si effettua una verifica a flessione in mezzeria, dove il momento raggiunge il suo valore massimo.

$$M_{\max} = \frac{q_{\text{tot}} \cdot l^2}{8} = 59,9 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{\max}}{amm\sigma_B} = \frac{59,9 \times 6000}{16 \times 46,4^2} = 0,95 \leq 1$$

VERIFICATO

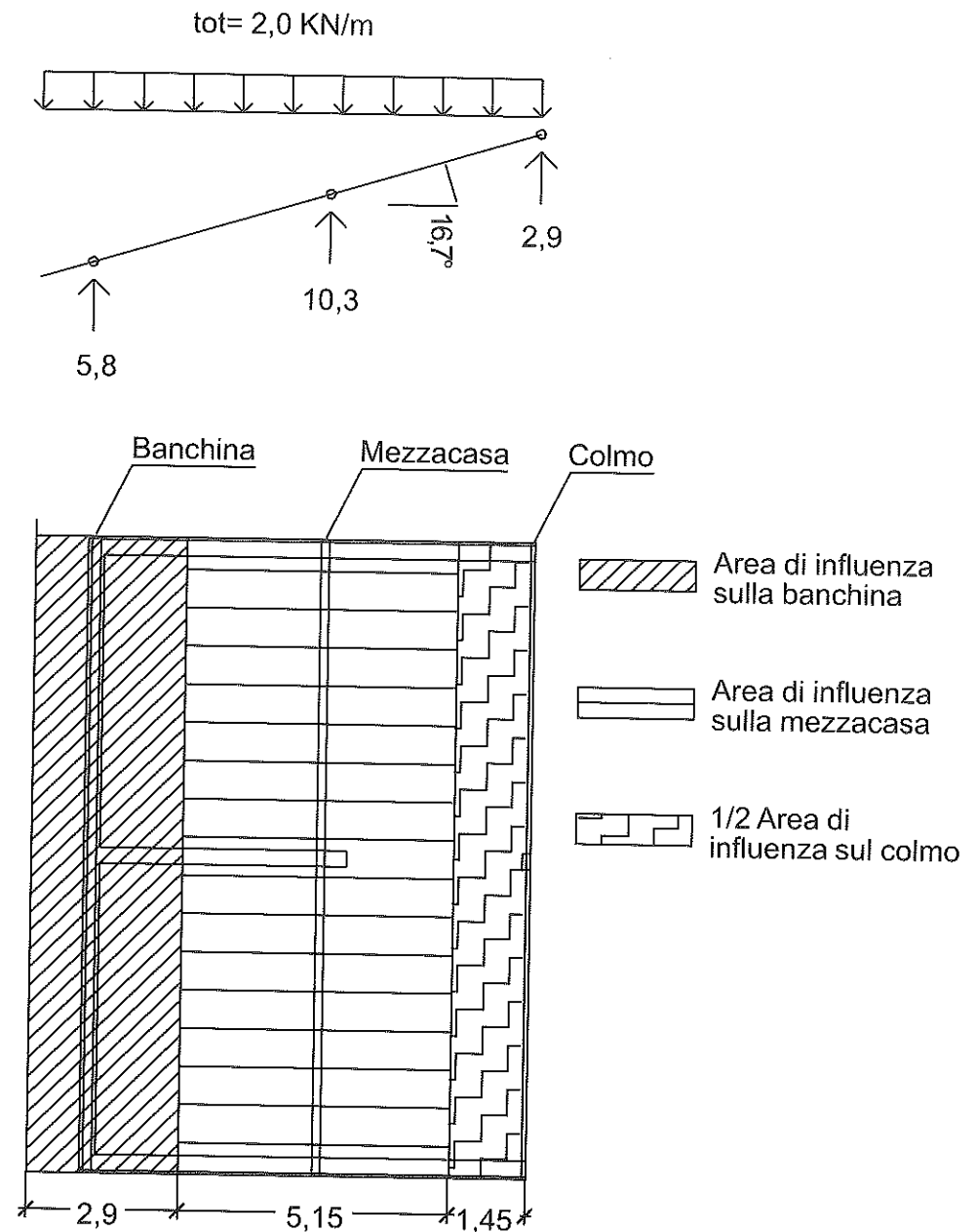


Figura 6.3 - Aree di influenza del carico

$$Q_{\text{tot}} = 13.3 \text{ KN/m}$$

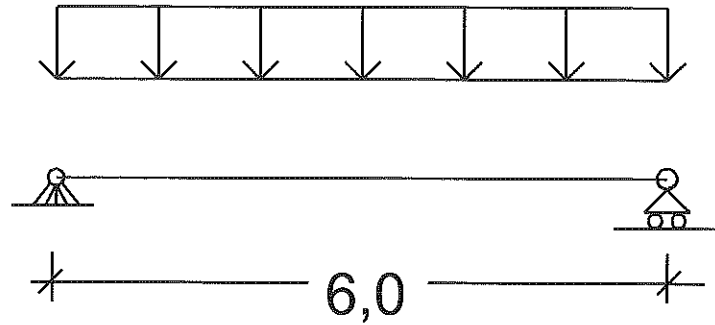


Figura 6.4 - Schema statico della mezzacasa

$$Q_{\text{tot}} = 7.6 \text{ KN/m}$$

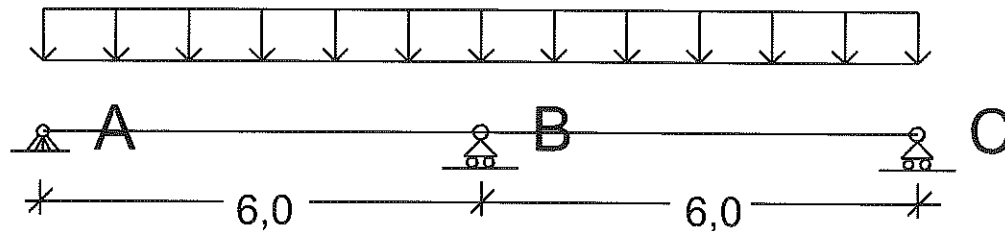


Figura 6.5 - Schema statico della trave di colmo

• Verifica a taglio:

All'appoggio viene raggiunto il taglio massimo:

$$Q_{\text{max}} = \frac{q_{\text{tot}} \cdot l}{2} = 39.9 \text{ kN}$$

$$\frac{1.5 \cdot Q_{\text{max}}}{b \cdot h} = \frac{15 \times 39.9}{16 \times 46.4} = 0.67 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

• Verifica della freccia:

$$f_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}} \cdot l^2}{9.6 \cdot E_{II} \cdot J} + \frac{M_{\text{max}}}{G \cdot A_v} = \left(\frac{59.9 \times 600^2}{9.6 \times 11000 \times \frac{16 \times 46.4^3}{12}} + 1.2 \frac{59.9}{500 \times 16 \times 46.4} \right) \times 10^3 = 1.7 \text{ cm} \leq \frac{l}{300}$$

• Verifica della trave di colmo (sez. 16,0 x 33,0)

Carico permanente 1,2 kN/m²

Carico accidentale 1,3 kN/m²

Peso proprio 0,3 kN/m

Interasse in pianta $\frac{2.9 \text{ kN}}{2.0 \text{ kN/m}} \times 2 = 2.9 \text{ m}$ (Figura 6.3)

$$q_{\text{tot}} = (1.2 + 1.3) \times 2.9 + 0.3 = 7.6 \text{ kN/m}$$

• Verifica a flessione:

Si effettua una verifica a flessione nel punto di appoggio B, dove il momento raggiunge in modulo il suo valore massimo:

$$M_B = -\frac{q_{\text{tot}} \cdot l^2}{8} = -34.2 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_B}{W_n} = \frac{34.2 \times 6000}{16 \times 33^2} = 0.97 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

avendo considerato, essendo un appoggio intermedio, un aumento del 10% della tensione ammissibile a flessione (Paragrafo 5.2.4).

• **Verifica a taglio:**

All'appoggio B viene raggiunto il taglio massimo:

$$Q_B = \frac{5}{8} \cdot q_{tot} \cdot l = 28,5 \text{ kN}$$

$$\frac{1,5 \cdot Q_B}{b \cdot h} = \frac{15 \times 28,5}{16 \times 33} = 0,67 \leq 1$$

VERIFICATO

• **Verifica della freccia:**

Dall'analisi deformativa elastica risulta:

$$f_{max} = 1 \text{ cm} \leq \frac{l}{300}$$

• **Verifica del pilastro (sez. 20,0 x 19,6)**

Il pilastro è soggetto al carico dovuto alla reazione della trave di colmo all'appoggio centrale:

$$N = 7,6 \times 1,25 \times 6 = 57 \text{ kN}$$

• **Verifica a carico di punta:**

$$l_{pilastro} = 400 \text{ cm}$$

Ipotizzando il pilastro incastrato alla base: $s_{ky} = 2 \times 400 = 800 \text{ cm}$

$$\lambda_y = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{800}{0,289 \times 19,6} = 141,4 \leq 150$$

Dalla Tabella 5.10, si ricava: $\omega = 5,45$

$$\frac{\omega \cdot N}{A} = \frac{5,45 \times 57 \times 10}{20 \times 19,6} = 0,94 \leq 1$$

VERIFICATO

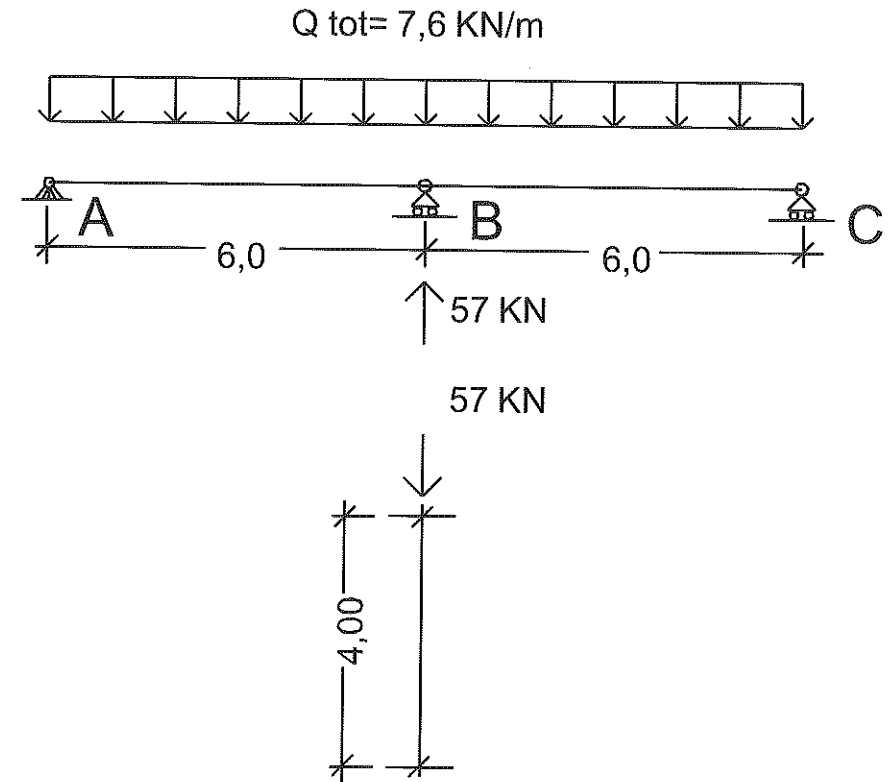


Figura 6.6. - Schema statico del pilastro

• **Verifica a compressione ortogonale sulla trave di colmo**

Il pilastro sollecita la trave di colmo, ortogonalmente alla sua direzione di fibratura, con una forza concentrata di compressione pari, come visto, a 57 kN. Si procede dunque alla relativa verifica:

$$\frac{N}{A_{appoggio}} = \frac{57 \times 10}{16 \times 19,6} = 0,6 \leq 1$$

VERIFICATO

6.4.2 Copertura a due falde: verifica di resistenza al fuoco

Si consideri la stessa struttura lignea di copertura dell'esempio precedente.

Si procede ora alla sua verifica considerando anche la resistenza al fuoco, ipotizzando una classe di resistenza $R = 60$ min.

Per tutti gli elementi si ipotizza una velocità di carbonizzazione $v = 0,07$ cm/min, definita nella normativa UNI 9504.

Per la mezzacasa, il colmo ed il pilastro si considera la carbonizzazione agente su quattro lati dell'elemento, mentre per il correntino si ipotizza che essa agisca su tre lati (il suo lato superiore è "protetto" per la presenza del perlinato di copertura).

La UNI 9504 ammette i seguenti valori di tensioni ammissibili:

| | |
|--|-------------------------------------|
| $\text{amm } \sigma_{\text{eff}} = 21,0$ N/mm ² | (compressione parallela alle fibre) |
| $\text{amm } \sigma_B = 24,0$ N/mm ² | (flessione) |
| $\text{amm } \tau_Q = 1,5$ N/mm ² | (taglio trasversale) |

• Verifica del correntino (sez. 10,0 x 19,6)

| | |
|--------------------|---|
| Carico permanente | = 1,2 kN/m ² |
| Carico accidentale | $1,3 \times 0,7 = 0,9$ kN/m ² (secondo UNI 9504) |
| Interasse | = 0,8 m |

$$q_{\text{tot}} = (1,2 + 0,9) \times 0,8 = 1,7 \text{ kN/m}$$

- Reazioni agli appoggi:

$$V_A = 4,9 \text{ kN} \quad V_B = 8,7 \text{ kN} \quad V_C = 2,5 \text{ kN}$$

- Sezione residua dopo la carbonizzazione:

$$b_{\text{rid}} = b - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 10 - (60 \times 0,07) \times 2 = 1,6 \text{ cm}$$

$$h_{\text{rid}} = h - (R \cdot 0,07) = 19,6 - (60 \times 0,07) = 15,4 \text{ cm}$$

- Verifica a flessione:

$$M_B = -3,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_B}{\text{amm} \sigma_B} = \frac{3,6 \times 6000}{1,6 \times 15,4^2} = 2,4 > 1 \quad \text{NON VERIFICATO}$$

- Verifica a taglio

$$Q_B = 4,5 \text{ kN}$$

$$\frac{1,5 \cdot Q_B}{b_{\text{rid}} \cdot h_{\text{rid}}} = \frac{15 \times 4,5}{1,6 \times 15,4} = 1,83 > 1 \quad \text{NON VERIFICATO}$$

La sezione prescelta non soddisfa le verifiche al fuoco. Si sceglie, dunque, una sezione maggiore: **12,0 x 23,0**

- Sezione residua dopo la carbonizzazione:

$$b_{\text{rid}} = b - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 12 - (60 \times 0,07) \times 2 = 3,6 \text{ cm}$$

$$h_{\text{rid}} = h - (R \cdot 0,07) = 23 - (60 \times 0,07) = 18,8 \text{ cm}$$

- Verifica a flessione:

$$M_B = -3,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_B}{\text{amm} \sigma_B} = \frac{3,6 \times 6000}{3,6 \times 18,8^2} = 0,71 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

- Verifica a taglio:

$$Q_B = 4,5 \text{ kN}$$

$$\frac{1,5 \cdot Q_B}{b_{rid} \cdot h_{rid}} = \frac{15 \times 4,5}{3,6 \times 18,8} = 0,66 \leq 1$$

VERIFICATO

• Verifica della mezzacasa (sez. 16,0 x 46,4)

| | | |
|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| Carico permanente | = 1,2 kN/m ² | |
| Carico accidentale | 1,3x0,7 = 0,9 kN/m ² | (secondo UNI 9504) |
| Peso proprio | = 0,4 kN/m | |

$$\text{Interasse in pianta} = \frac{8,7 \text{ kN}}{2,0 \text{ kN/m}} = 4,35 \text{ m}$$

$$q_{tot} = (1,2 + 0,9) \times 4,35 + 0,4 = 9,5 \text{ kN/m}$$

- Sezione residua dopo la carbonizzazione:

$$b_{rid} = b - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 16 - (60 \times 0,07) \times 2 = 7,6 \text{ cm}$$

$$h_{rid} = h - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 46,4 - (60 \times 0,07) \times 2 = 38 \text{ cm}$$

- Verifica a flessione:

$$M = \frac{q_{tot} \cdot l^2}{8} = 42,8 \text{ kNm}$$

$$\frac{M}{W_n} = \frac{42,8 \times 6000}{7,6 \times 38^2} = 0,97 \leq 1$$

VERIFICATO

- Verifica a taglio:

$$Q = \frac{q_{tot} \cdot l}{2} = 28,5 \text{ kN}$$

$$\frac{1,5 \cdot Q}{b_{rid} \cdot h_{rid}} = \frac{15 \times 28,5}{7,6 \times 38} = 0,99 \leq 1$$

VERIFICATO

• Verifica della trave di colmo (sez. 16,0 x 33,0)

| | | |
|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| Carico permanente | = 1,2 kN/m ² | |
| Carico accidentale | 1,3x0,7 = 0,9 kN/m ² | (secondo UNI 9504) |
| Peso proprio | = 0,3 kN/m | |

$$\text{Interasse in pianta} = \frac{2,5 \text{ kN}}{2,0 \text{ kN/m}} \times 2 = 2,5 \text{ m}$$

$$q_{tot} = (1,2 + 0,9) \times 2,5 + 0,3 = 5,6 \text{ kN/m}$$

- Sezione residua dopo la carbonizzazione:

$$b_{rid} = b - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 16 - (60 \times 0,07) \times 2 = 7,6 \text{ cm}$$

$$h_{rid} = h - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 33 - (60 \times 0,07) \times 2 = 24,6 \text{ cm}$$

- Verifica a flessione:

$$M_B = -\frac{q_{tot} \cdot l^2}{8} = -25,2 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_B}{W_n} = \frac{25,2 \times 6000}{7,6 \times 24,6^2} = 1,2 > 1$$

NON VERIFICATO

- Verifica a taglio

$$Q_B = \frac{5}{8} \cdot q_{tot} \cdot l = 21,0 \text{ kN}$$

$$\frac{1,5 \cdot Q_B}{b_{rid} \cdot h_{rid}} = \frac{15 \times 21,0}{7,6 \times 24,6} = 1,12 > 1$$

NON VERIFICATO

La sezione prescelta non soddisfa le verifiche al fuoco.
Si sceglie, dunque, una sezione maggiore: **16,0 x 36,4**

- Sezione residua dopo la carbonizzazione:

$$b_{rid} = b - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 16 - (60 \times 0,07) \times 2 = 7,6 \text{ cm}$$

$$h_{rid} = h - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 36,4 - (60 \times 0,07) \times 2 = 28 \text{ cm}$$

- Verifica a flessione:

$$M_B = -\frac{q_{tot} \cdot l^2}{8} = -25,2 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_B}{W_n} = \frac{25,2 \times 6000}{7,6 \times 28^2} = 0,96 \leq 1$$

VERIFICATO

- Verifica a taglio:

$$Q_B = \frac{5}{8} \cdot q_{tot} \cdot l = 21,0 \text{ kN}$$

$$\frac{1,5 \cdot Q_B}{b_{rid} \cdot h_{rid}} = \frac{15 \times 21,0}{7,6 \times 28} = 0,99 \leq 1$$

VERIFICATO

• Verifica del pilastro (sez. 20,0 x 19,6)

66 $N = 5,42 \times 1,25 \times 6 = 40,7 \text{ kN}$

- Sezione residua dopo la carbonizzazione:

$$b_{rid} = b - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 20 - (60 \times 0,07) \times 2 = 11,6 \text{ cm}$$

$$h_{rid} = h - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 19,6 - (60 \times 0,07) \times 2 = 11,2 \text{ cm}$$

- Verifica al carico di punta:

$$\lambda_y = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{2 \times 400}{0,289 \times 11,2} = 247,5$$

Dalla Tabella 10 della DIN 1052-1, si ricava : $\omega = 16,7$

$$\frac{\omega \cdot N}{A} = \frac{16,7 \times 40,7 \times 10}{11,6 \times 11,2} = 2,5 > 1$$

NON VERIFICATO

La sezione prescelta non soddisfa le verifiche al fuoco.
Si sceglie, dunque, una sezione maggiore: **22,0 x 26,3**

- Sezione residua dopo la carbonizzazione:

$$b_{rid} = b - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 22 - (60 \times 0,07) \times 2 = 13,6 \text{ cm}$$

$$h_{rid} = h - (R \cdot 0,07) \cdot 2 = 26,3 - (60 \times 0,07) \times 2 = 17,9 \text{ cm}$$

- Verifica al carico di punta

$$\lambda_y = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{2 \times 400}{0,289 \times 13,6} = 203,8$$

Dalla Tabella 10 della DIN1052-1, si ricava : $\omega = 11,4$

$$\frac{\omega \cdot N}{A} = \frac{11,4 \times 40,7 \times 10}{13,6 \times 17,9} = 0,9 \leq 1$$

VERIFICATO

6.4.3 CAPRIATA

Si consideri una struttura costituita da una serie di capriate di luce 19,5 m, costituite da due puntone (realizzati in legno lamellare BS14) e da una catena doppia (realizzata in BS11). Esse sono poste ad un interasse di 6,9 m. L'angolo formato dagli elementi all'appoggio è pari a 19,3° e l'altezza dell'incavallatura è di 3,42 m. Le capriate sono collegate con arcarecci secondari, che vincolano lo sbandamento laterale dei puntone, riducendone la lunghezza di libera inflessione.

- Analisi dei carichi:

- Peso proprio = 1,6 kN/m
- Carico permanente = 1,4x6,9 = 9,7 kN/m
- Carico accidentale = 2,4x6,9 = 16,7 kN/m
- = 28,0 kN/m

- Reazioni vincolari e sforzi interni:

$$V_A = V_B = \frac{q \cdot l}{2} = 273,0 \text{ kN}$$

$$M_{\text{max, puntone}} = \frac{q \cdot l^2}{32} = 332,7 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{catena}} = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot h} = 389,2 \text{ kN}$$

$$N_{\text{puntone, max}} = N_A = V_A \cdot \sin \alpha + N_{\text{catena}} \cdot \cos \alpha = 457,6 \text{ kN}$$

$$N_{\text{puntone, min}} = N_c = N_{\text{catena}} \cdot \cos \alpha = 367,3 \text{ kN}$$

$$N_{\text{puntone, dove } M=M_{\text{max}}} = N_{\text{catena}} \cdot \cos \alpha + 0,5 \cdot V_A \cdot \sin \alpha = 412,4 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{puntone, max}} = V_A \cdot \cos \alpha - N_{\text{catena}} \cdot \sin \alpha = 129,0 \text{ kN}$$

• Verifica del puntone

Si sceglie una sezione **22,0 x 120,4**.

Si utilizzano le seguenti tensioni ammissibili (BS14):

- amm $\sigma_{0//}$ = 11,0 N/mm² (compressione parallela alle fibre)
- amm σ_B = 14,0 N/mm² (flessione)
- amm τ_Q = 1,2 N/mm² (taglio trasversale)
- $E_{//}$ = 11000 N/mm² (modulo di elasticità a flessione)
- G = 500 N/mm² (modulo di taglio)

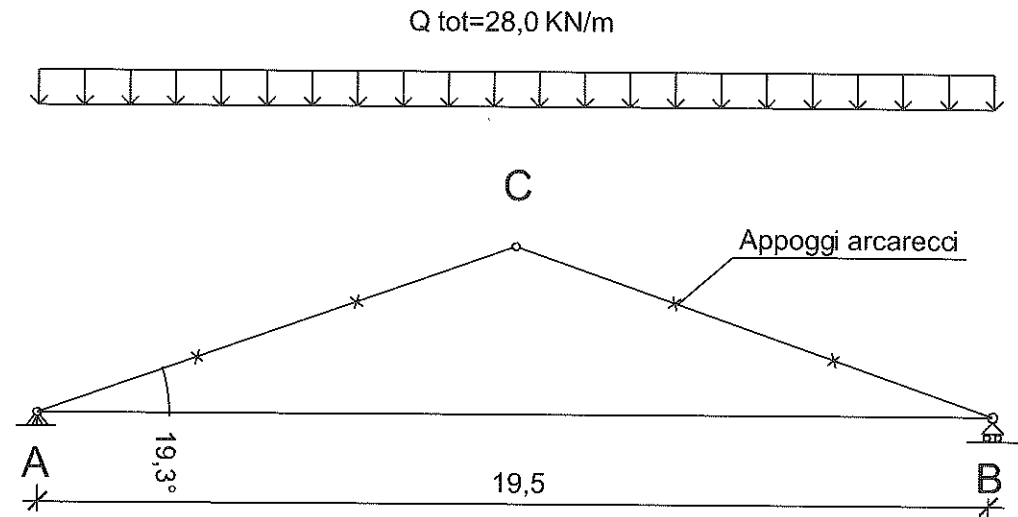


Figura 6.7 - Schema statico

Si ricavano i parametri di snellezza:

luce libera d'inflexione asse z: $s_{kz} = 325 \text{ cm}$ (sono presenti due arcarecci che riducono la luce di inflessione del puntone, dividendolo in tre campi)

libera

snellezza nel piano z-z ($\lambda_z = s_{kz}/i_z$): $\lambda_z = 51,1$
 luce libera d'inflexione asse y: $s_{ky} = 1035 \text{ cm}$
 snellezza nel piano y-y ($\lambda_y = s_{ky}/i_y$): $\lambda_y = 29,7$

Dalla Tabella 5.11, si ricava: $\omega = 1,15$

Il coefficiente di instabilità flessio-torsionale risulta il seguente:

$$\lambda_B = \sqrt{\frac{s \cdot h \cdot \gamma_1 \cdot \text{amm}\sigma_B}{\pi \cdot b^2 \cdot \sqrt{E_{II} \cdot G}}} = \sqrt{\frac{325 \times 120,4 \times 2 \times 14,0}{\pi \times 22^2 \times \sqrt{11000 \times 500}}} = 0,55 \quad \text{da cui risulta } k_B = 1$$

- Verifica a presso-flessione:

$$\frac{N_{M=M_{\max}}}{\text{amm}\sigma_{DII}} + \frac{M_{\max}}{\text{amm}\sigma_B} = \frac{412,4 \times 10}{22 \times 120,4} + \frac{332,7 \times 6000}{22 \times 120,4^2} = 0,6 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

- Verifica di stabilità:

$$\omega \cdot \frac{N_{M=M_{\max}}}{\text{amm}\sigma_{DII}} + \frac{M_{\max}}{\text{amm}\sigma_B \cdot k_B \cdot 1,1} = \frac{1,15 \times 412,4 \times 10}{22 \times 120,4} + \frac{332,7 \times 6000}{22 \times 120,4^2} = 0,6 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

- Verifica a taglio:

$$\frac{1,5 \cdot Q_{\text{puntone,max}}}{\text{amm}\tau_Q} = \frac{15 \times 129,0}{22 \times 120,4} = 0,61 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

• Verifica del tirante

Si sceglie una sezione $2 \times 12,0 \times 39,7$, utilizzando un legno lamellare BS11.

Si utilizzano le seguenti tensioni ammissibili:

$\text{amm}\sigma_{zII} = 8,5 \text{ N/mm}^2$ (trazione parallela alle fibre)
 $\text{amm}\sigma_B = 11,0 \text{ N/mm}^2$ (flessione)
 $\text{amm}\tau_Q = 1,2 \text{ N/mm}^2$ (taglio trasversale)

- Verifica a trazione:

Si decurta l'area del 20% in modo da considerare la presenza dei fori per il collegamento.

Si incrementa, inoltre, lo sforzo di trazione del 50% per tenere conto delle eccentricità secondarie.

$$\frac{1,5 \cdot N_{\text{catenu}}}{\text{amm}\sigma_{zII}} = \frac{15 \times 389,2}{0,8 \times 2 \times 12 \times 39,7} = 0,9 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

6.4.4 TRAVE CURVA

Si consideri una struttura lignea di copertura costituita da una serie di travi principali curve poste ad un interasse di 6,18 m, collegate con arcarecci secondari e irrigidita mediante controventatura fuori piano realizzata anch'essa con elementi lignei. La trave curva in questione presenta una base di 18,0 cm ed un'altezza all'appoggio di 140,0 cm, che diventa 164,0 cm in mezzeria. La luce coperta è pari a 19,1 m e il raggio medio misura 42,72 m.

Gli arcarecci sono posizionati sulla parte superiore delle travi curve, ad un interasse di 1,33 m. Il sistema di controvento è realizzato con elementi lignei ed è disposto in modo tale da vincolare lateralmente la trave ogni 2,66 m.

Il materiale utilizzato è legno lamellare BS14, caratterizzato dai seguenti valori di resistenza e rigidità:

| | | |
|-------------------|---------|--|
| amm σ_B | = 14,0 | N/mm ² (flessione) |
| amm σ_{zL} | = 0,2 | N/mm ² (trazione perpendicolare alle fibre) |
| amm τ_Q | = 1,2 | N/mm ² (taglio trasversale) |
| $E_{//}$ | = 11000 | N/mm ² (modulo di elasticità a flessione) |
| G | = 500 | N/mm ² (modulo di taglio) |

- Analisi dei carichi:

| | | |
|---------------------------------|---------------|-------------|
| • Peso proprio | = 1,3 | kN/m |
| • Carico permanente = 1,3x6,18 | = 8,0 | kN/m |
| • Carico accidentale = 1,9x6,18 | = 11,7 | kN/m |
| | <u>= 21,0</u> | <u>kN/m</u> |

- Reazioni vincolari e sforzi interni:

$$V = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{21,0 \times 19,10}{2} = 200,6 \text{ kN}$$

$$M_{ap} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{21,0 \times 19,10^2}{8} = 957,6 \text{ kNm}$$

- Verifica a taglio:

$$\frac{1,5 \cdot V}{b \cdot h_{app}} = \frac{15 \times 200,6}{18 \times 140} = 0,99 \leq 1$$

VERIFICATO

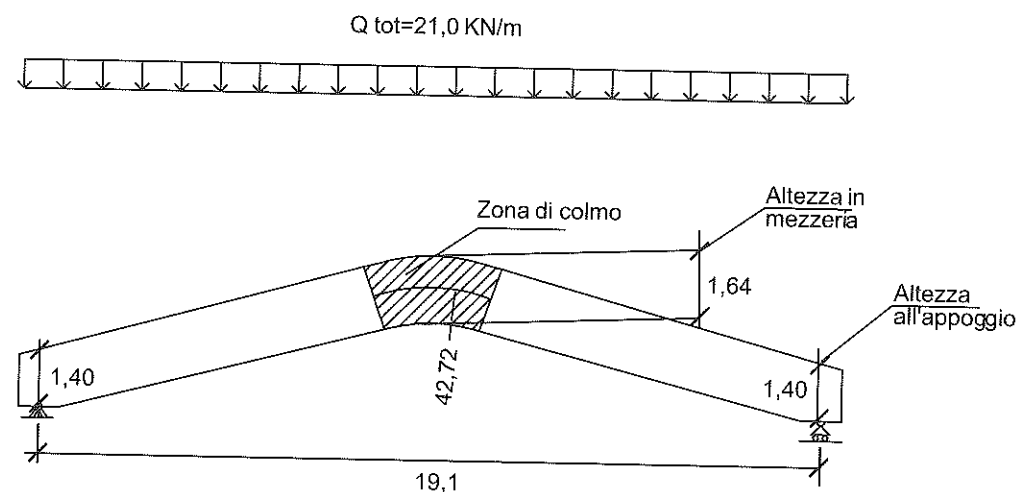


Figura 6.8 - Schema statico

- Verifica delle tensioni longitudinali al bordo inferiore teso:

$$W_{ap} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{18 \times 164^2}{6} = 80,7 \text{ cm}^3$$

$$\left(\frac{M}{W}\right)_{ap} = 11,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{B,ap}}{amm\sigma_B} = \frac{\chi_l \cdot \left(\frac{M}{W}\right)_{ap}}{amm\sigma_B} = \frac{1,02 \times 11,9}{14,0} = 0,87 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

essendo, per $\gamma = 0$:

$$\chi_l = A_l + B_l \left(\frac{h_{ap}}{r_m}\right) + C_l \left(\frac{h_{ap}}{r_m}\right)^2 + D_l \left(\frac{h_{ap}}{r_m}\right)^3 \approx 1 + \frac{h_{ap}}{2 \cdot r_m} = 1 + \frac{164}{2 \times 4272} = 1,02$$

- Verifica delle tensioni trasversali:

$$\frac{\sigma_{Z,\perp}}{amm\sigma_{Z,\perp}} = \frac{\chi_q \cdot \left(\frac{M}{W}\right)_{ap}}{amm\sigma_{Z,\perp}} = \frac{0,01 \times 11,9}{0,2} = 0,60 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

essendo, per $\gamma = 0$:

$$\chi_q = A_q + B_q \left(\frac{h_{ap}}{r_m}\right) + C_q \left(\frac{h_{ap}}{r_m}\right)^2 = \frac{h_{ap}}{4 \cdot r_m} = \frac{164}{4 \times 4272} = 0,01$$

- Verifica di stabilità:

$$\lambda_B = \sqrt{\frac{s \cdot h \cdot \gamma_l \cdot amm\sigma_B}{\pi \cdot b^2 \cdot \sqrt{E_{II} \cdot G}}} = \sqrt{\frac{266 \times 164 \times 2 \times 14,0}{\pi \times 18^2 \times \sqrt{11000 \times 500}}} = 0,7 \quad \text{da cui risulta } k_B = 1$$

$$\frac{\left(\frac{M}{W}\right)_{ap}}{k_B \cdot 1,1 \cdot amm\sigma_B} = \frac{11,9}{1 \times 1,1 \times 14,0} = 0,8 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

6.4.5 ARCO A TRE CERNIERE

Si consideri una struttura costituita da una serie di archi a tre cerniere, di luce 63,74 m e di altezza al colmo pari a 12,02 m, realizzati in legno lamellare BS14. Il loro raggio di curvatura è di 48,26 m, mentre la lunghezza di un semiarco è pari a 34,81 m. Essi sono disposti ad un'interasse di 6,76 m. La sezione delle membrature lignee curve è $18,0 \times 147,2$. Il sistema di controvento è realizzato in modo tale da vincolare lateralmente ogni 4,0 m gli elementi lignei costituenti l'arco a tre cerniere.

- Analisi dei carichi:

| | | | |
|----------------------|---|--------------------|-------------|
| • Peso proprio | = | 1,5 | kN/m |
| • Carico permanente | = | $0,45 \times 6,76$ | = 3,0 kN/m |
| • Carico accidentale | = | $1,30 \times 6,76$ | = 8,8 kN/m |
| | | <hr/> | <hr/> |
| | | | = 13,3 kN/m |

- Sforzi interni massimi (ricavati mediante software di calcolo):

$$\left. \begin{array}{l} M = 285,2 \text{ kNm} \\ N = 643,0 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{ (in corrispondenza del punto sull'arco di ascissa } x = 5,5 \text{ m)}$$

$$Q = 60,0 \text{ kN} \quad \text{(taglio all'appoggio)}$$

Si utilizzano le seguenti tensioni ammissibili (BS14):

| | | | | |
|--------------------|---|-------|-------------------|-------------------------------------|
| amm $\sigma_{D//}$ | = | 11,0 | N/mm ² | (compressione parallela alle fibre) |
| amm σ_B | = | 14,0 | N/mm ² | (flessione) |
| amm τ_Q | = | 1,2 | N/mm ² | (taglio trasversale) |
| $E_{//}$ | = | 11000 | N/mm ² | (modulo di elasticità a flessione) |
| G | = | 500 | N/mm ² | (modulo di taglio) |

Si ricavano i parametri di snellezza:

| | | | | |
|---|-------------|---|--------------------|--------------------------------------|
| luce libera d'inflessione asse z: | s_{kz} | = | 400 | cm |
| snellezza nel piano z-z ($\lambda_z = s_{kz}/i_z$): | λ_z | = | 76,9 | |
| luce libera d'inflessione asse y: | s_{ky} | = | $1,25 \times 3481$ | = 4351 cm (secondo DIN1052-1; 9.1.5) |
| snellezza nel piano y-y ($\lambda_y = s_{ky}/i_y$): | λ_y | = | 102,3 | |
| Dalla Tabella 5.11, si ricava: | ω | = | 3,12 | |

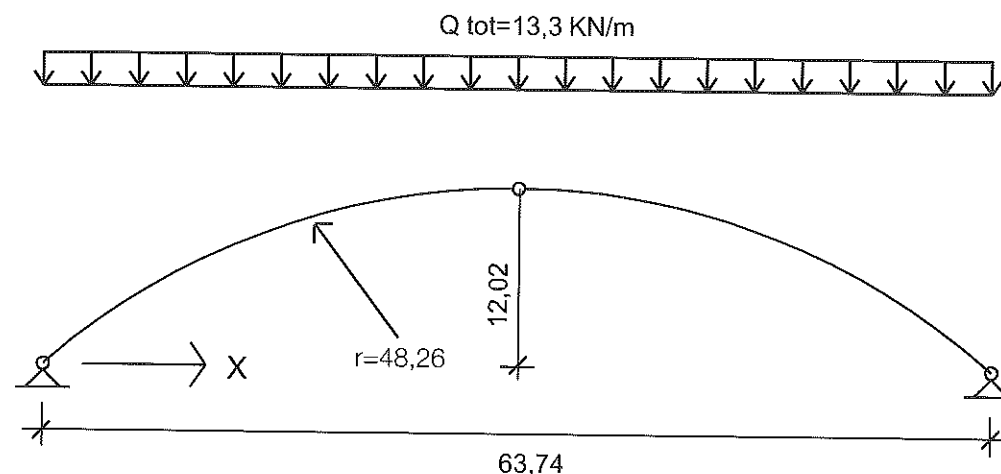


Figura 6.9 - Schema statico

Il coefficiente di instabilità flessio-torsionale risulta:

$$\lambda_B = \sqrt{\frac{s \cdot h \cdot \gamma_1 \cdot \text{amm}\sigma_B}{\pi \cdot b^2 \cdot \sqrt{E_{II}} \cdot G}} = \sqrt{\frac{400 \times 147,2 \times 2 \times 14,0}{\pi \times 18^2 \times \sqrt{11000} \times 500}} = 0,83$$

da cui risulta: $k_e = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_B = 0,94$

- Verifica a presso-flessione:

$$\frac{\frac{N}{A_n}}{\text{amm}\sigma_{DII}} + \frac{\frac{M}{W_n}}{\text{amm}\sigma_B} = \frac{643,0 \times 10}{18 \times 147,2} + \frac{285,2 \times 6000}{18 \times 147,2^2} = 0,54 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

- Verifica di stabilità:

$$\frac{\omega \cdot \frac{N}{A}}{\text{amm}\sigma_{DII}} + \frac{\frac{M}{W}}{\text{amm}\sigma_B \cdot k_B \cdot 1,1} = \frac{3,12 \times \frac{643,0 \times 10}{18 \times 147,2}}{11,0} + \frac{\frac{285,2 \times 6000}{18 \times 147,2^2}}{14,0 \times 0,94 \times 1,1} = 0,99 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

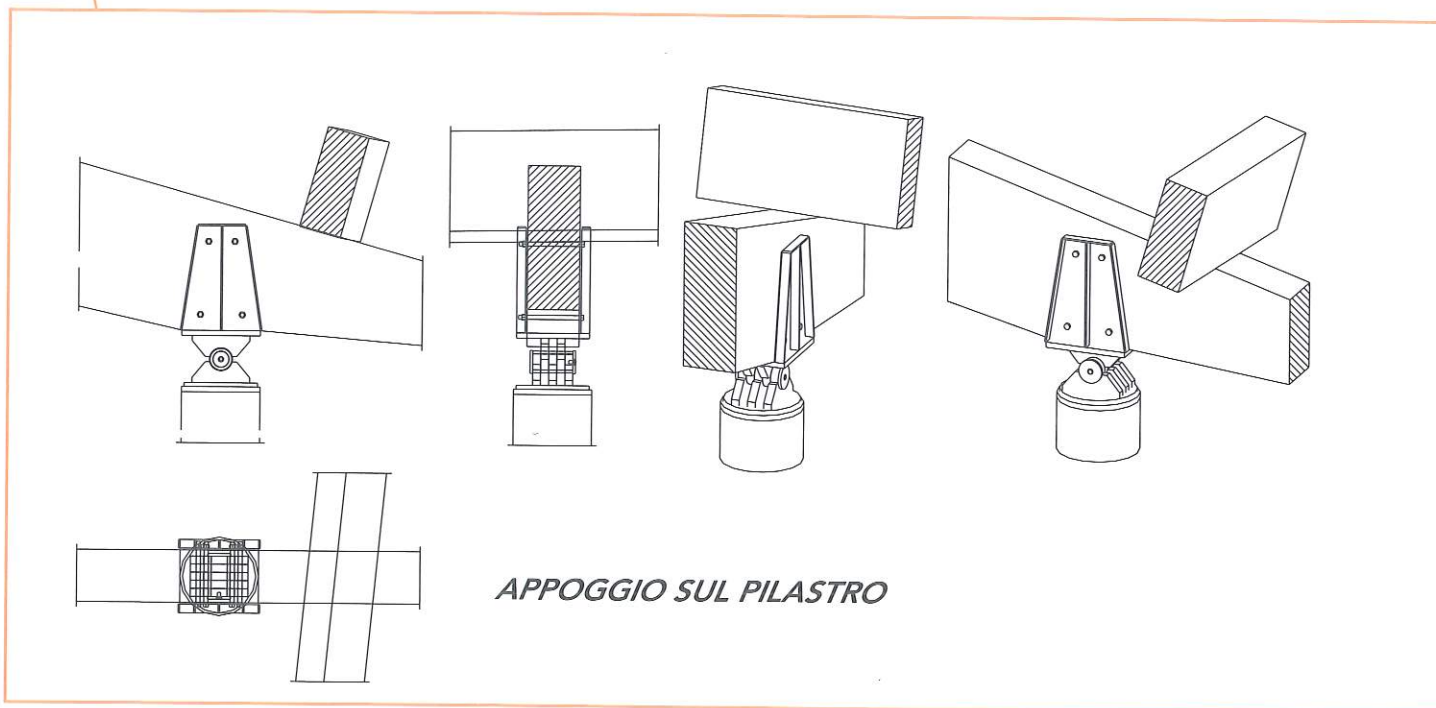
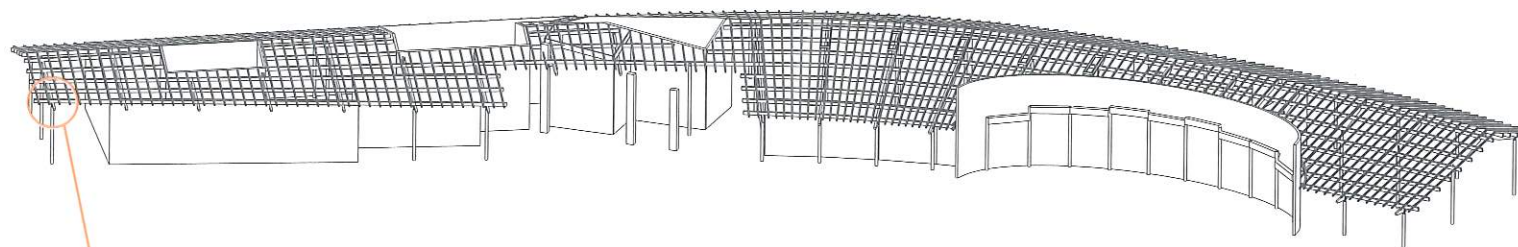
- Verifica a taglio:

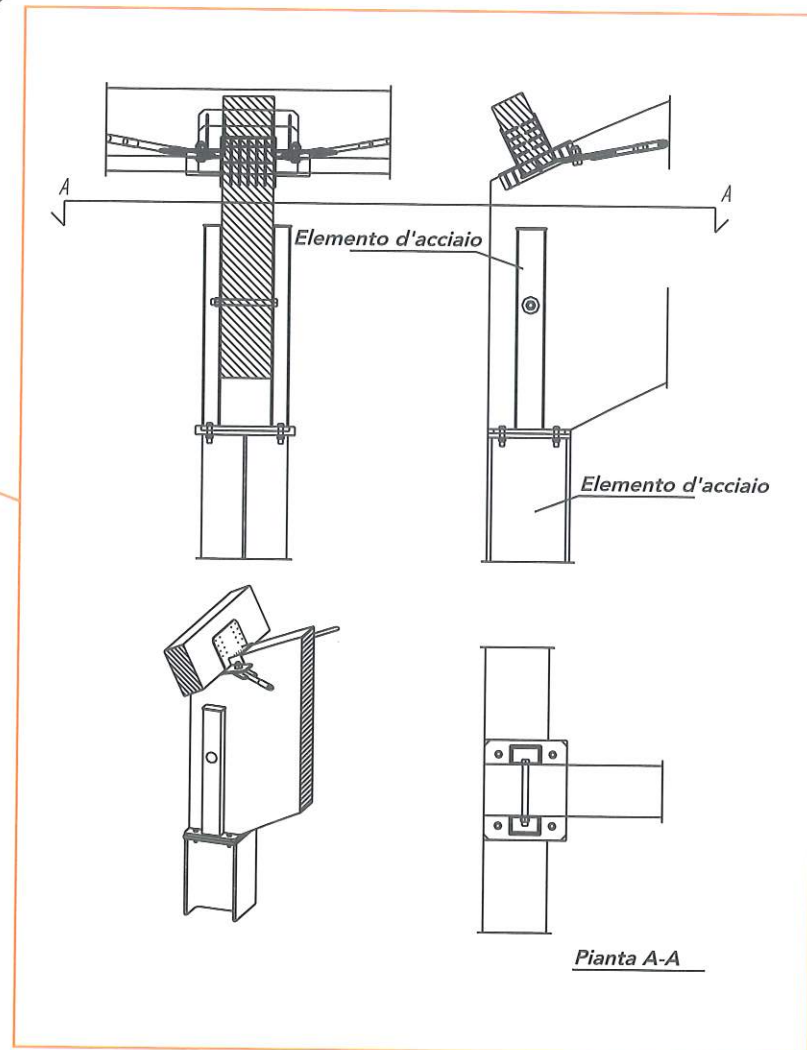
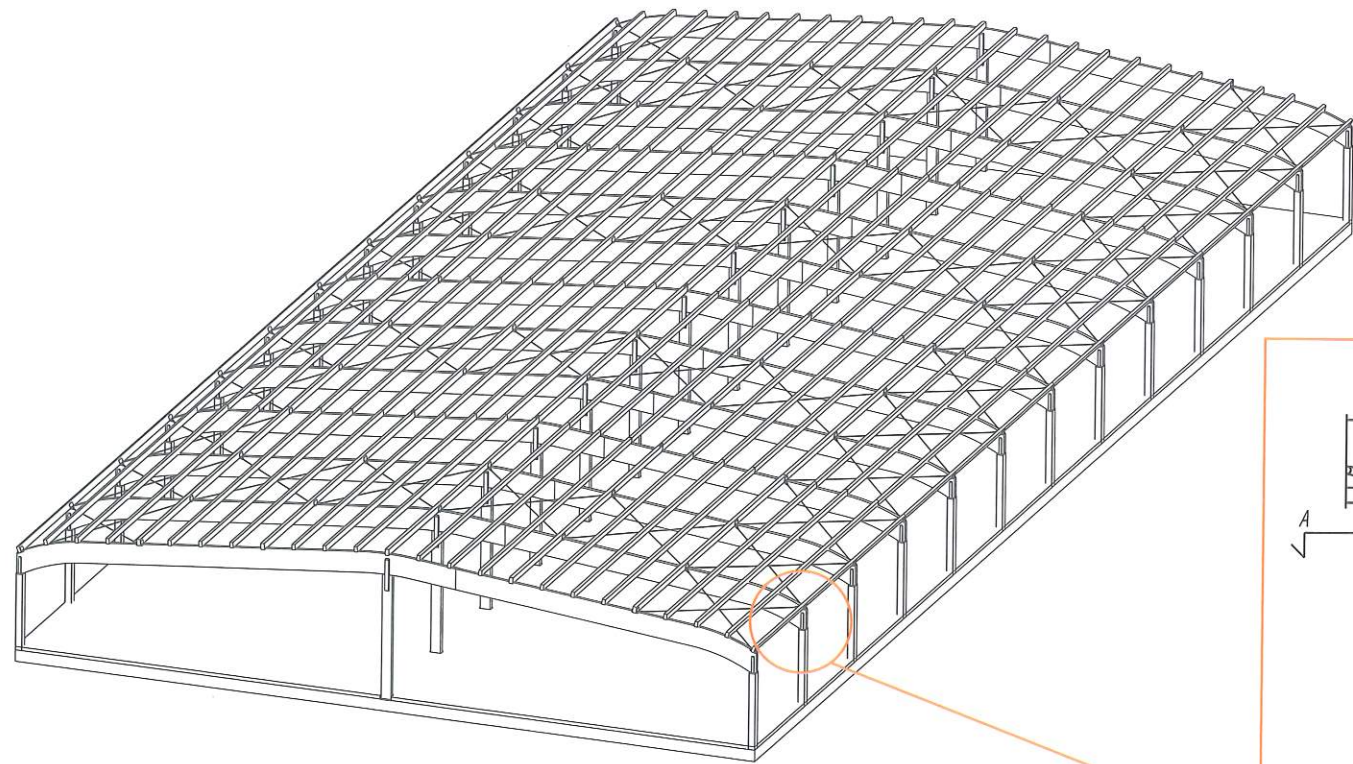
$$\frac{\frac{1,5 \cdot V}{b \cdot h}}{\text{amm}\tau_Q} = \frac{\frac{15 \times 60,0}{18 \times 147,2}}{1,2} = 0,3 \leq 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

7 PARTICOLARI COSTRUTTIVI

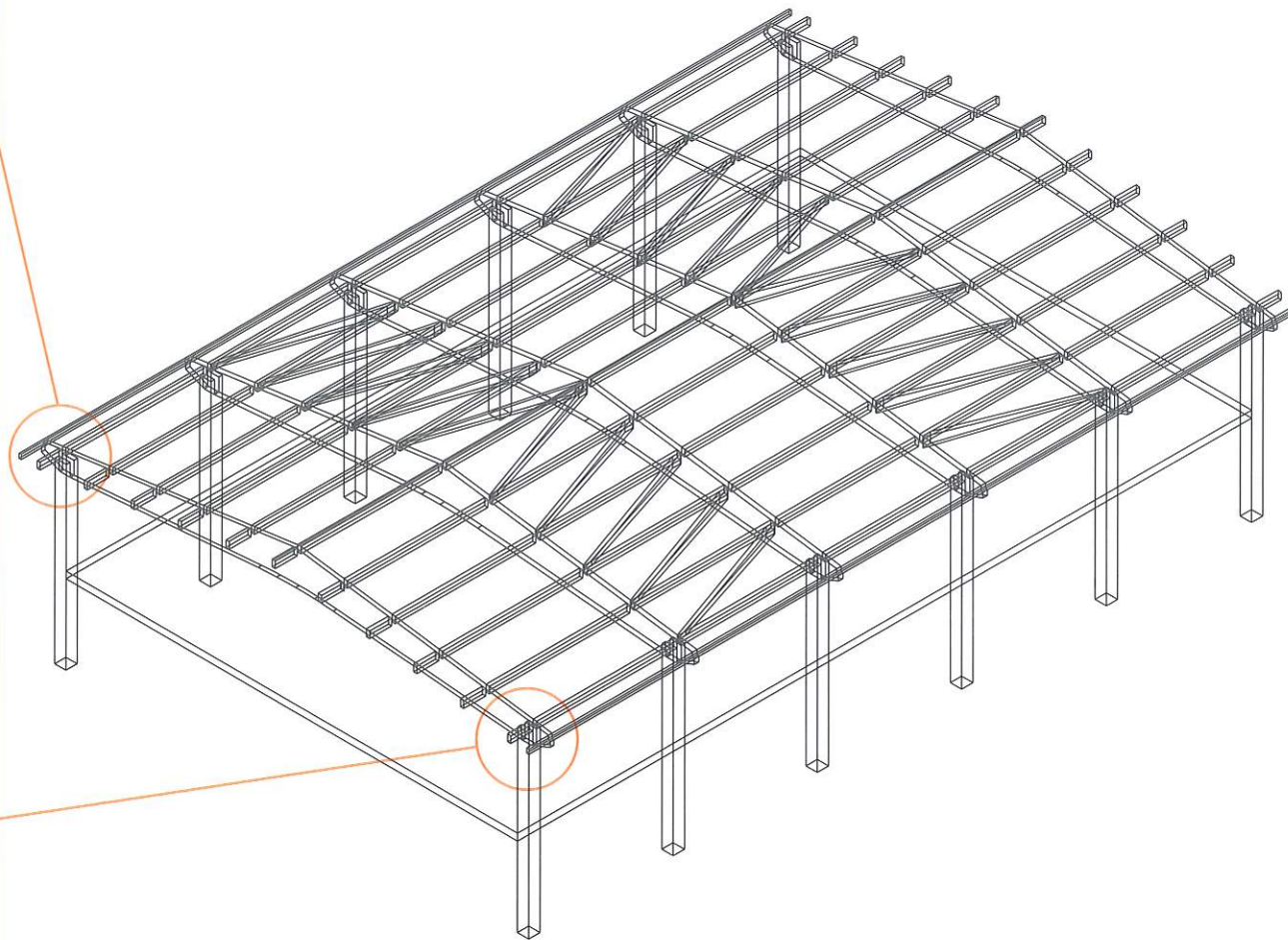
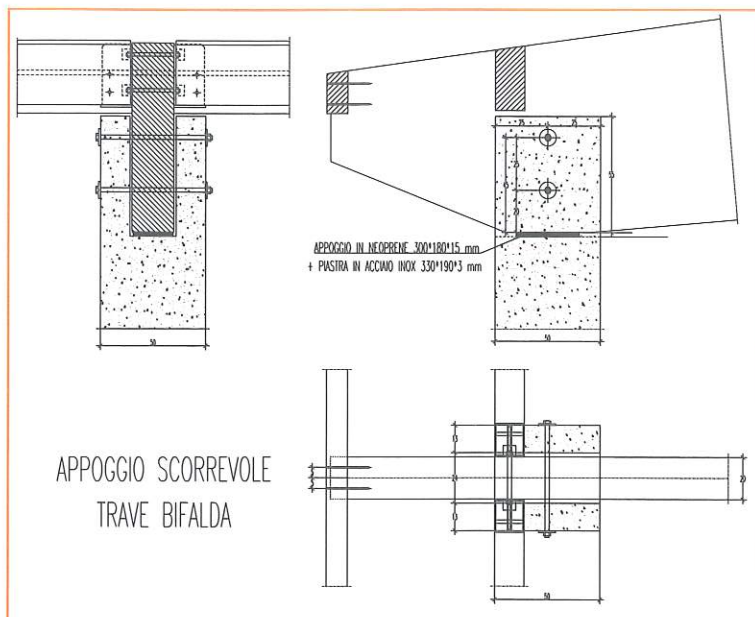
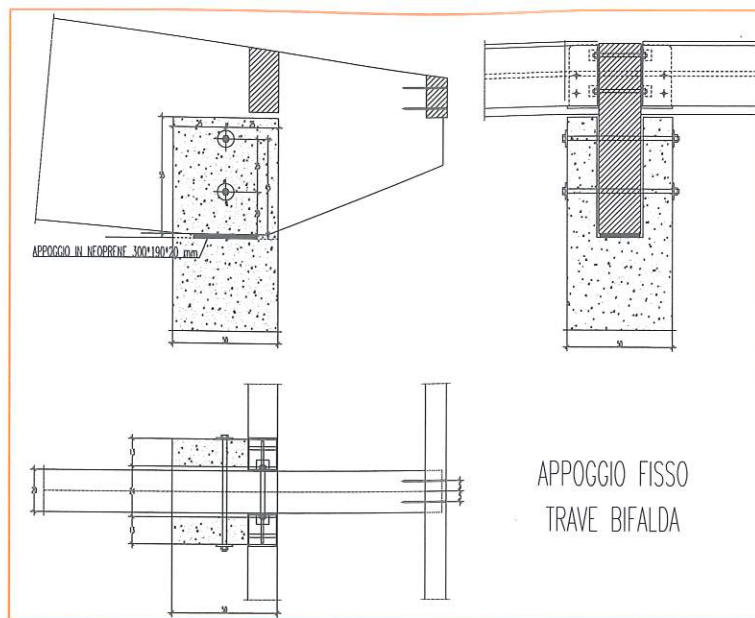
I particolari costruttivi che di seguito vengono presentati, danno una indicazione generale delle norme di buona esecuzione dei nodi di collegamento nelle strutture in legno lamellare. Non esiste infatti un abaco di riferimento per tali connessioni ma, di volta in volta, vengono dimensionati in fase di progettazione costruttiva tutti i singoli collegamenti strutturali.

7.1 Appoggio semplice con forcina in acciaio

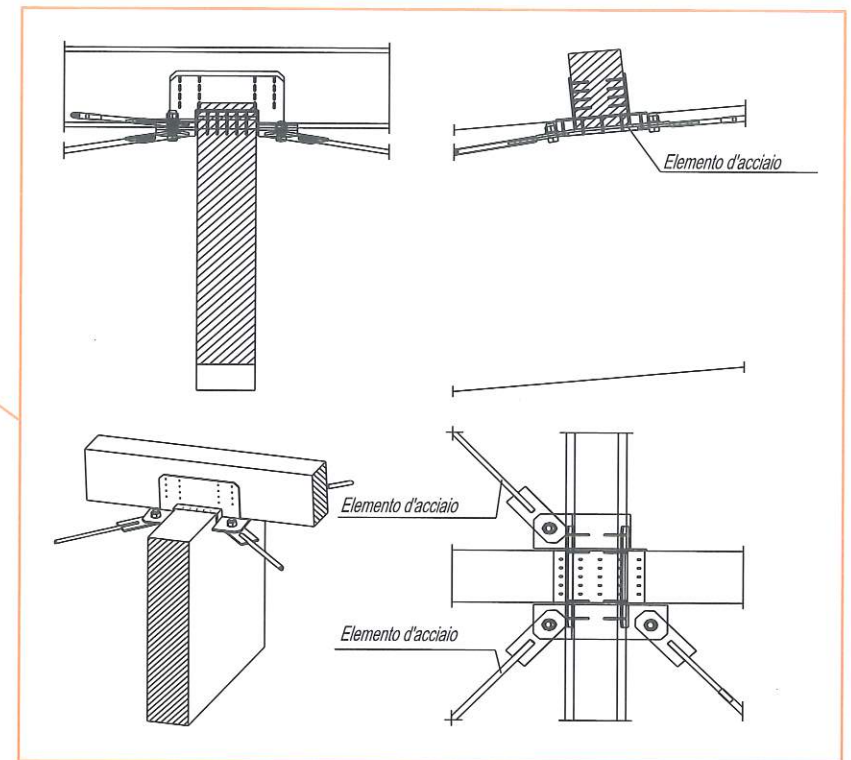
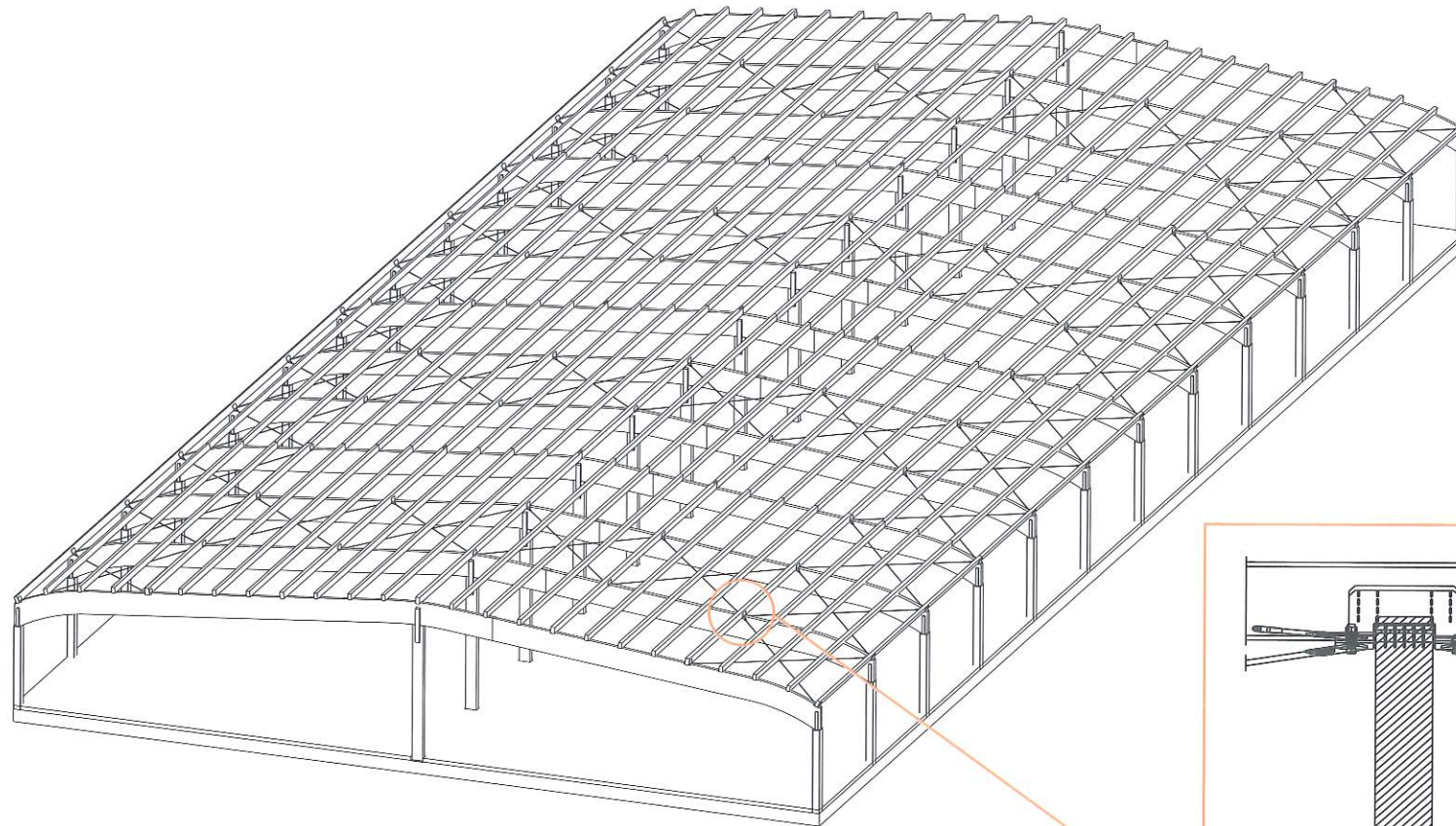




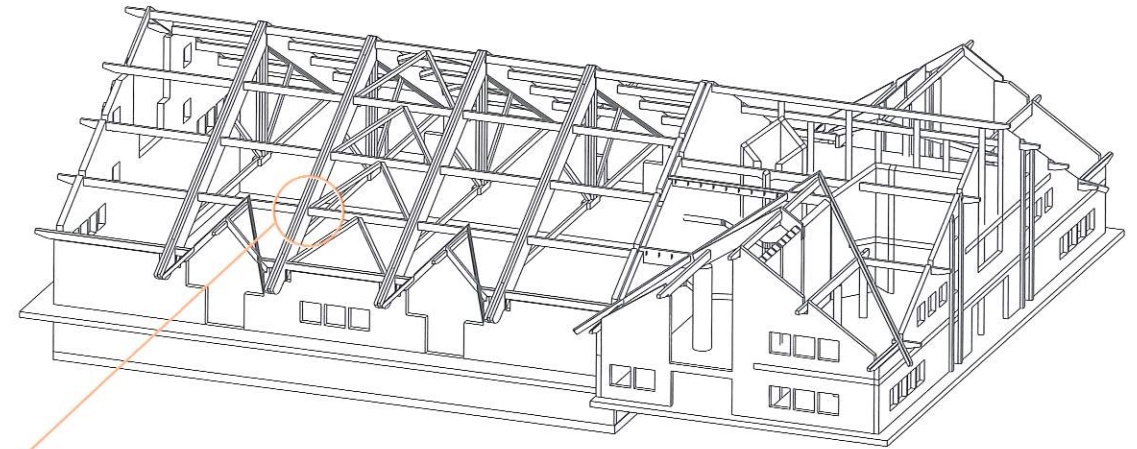
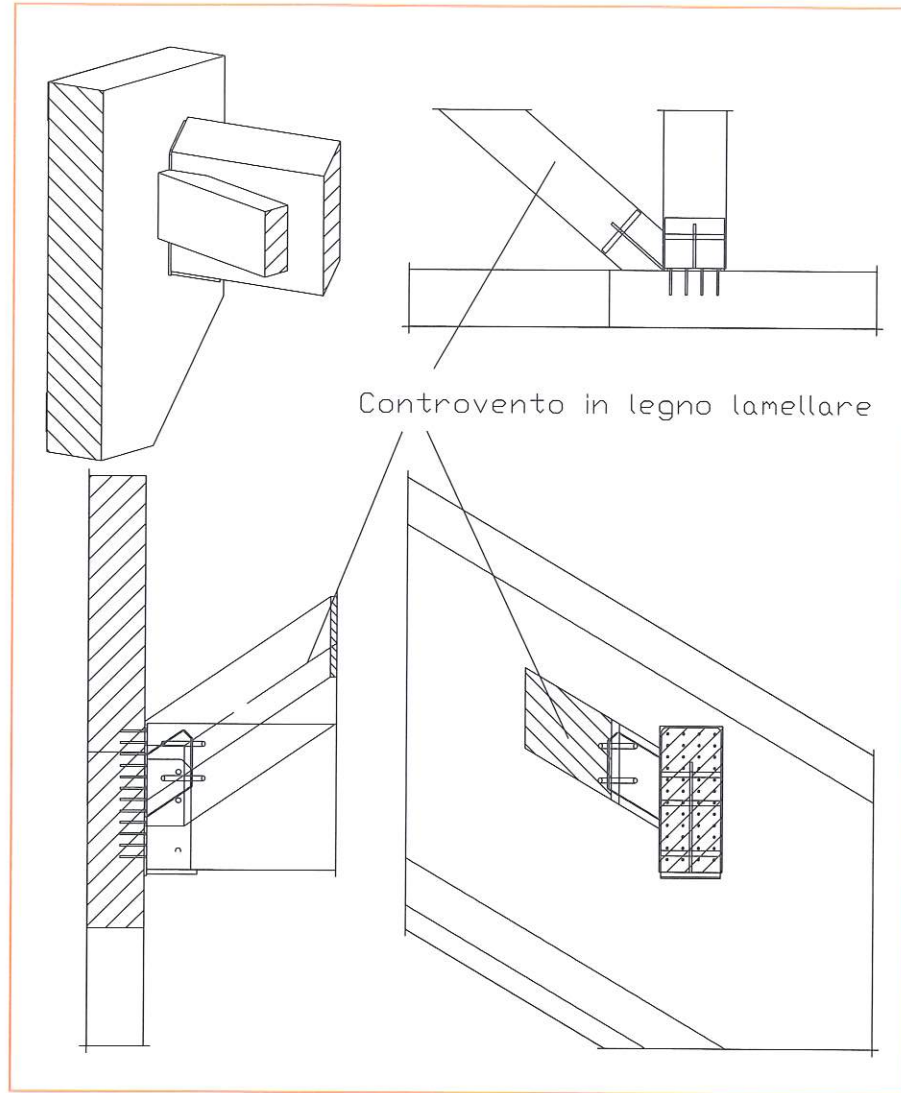
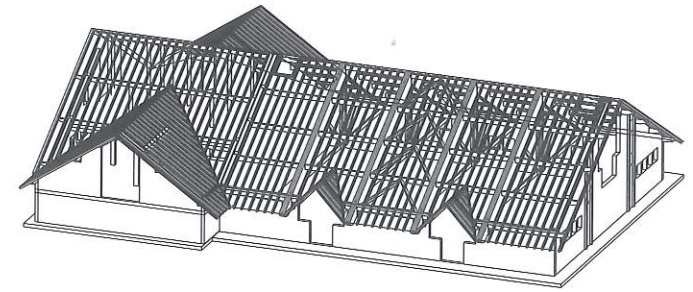
7.2 Appoggio semplice con forcella in cemento armato



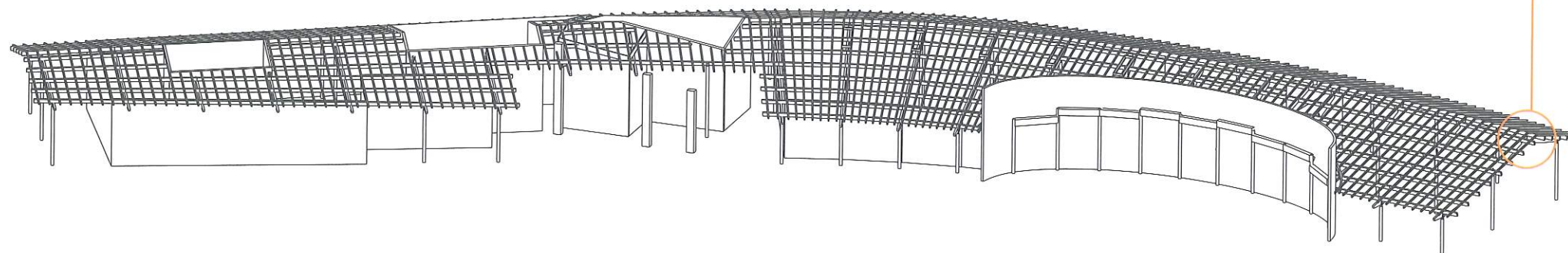
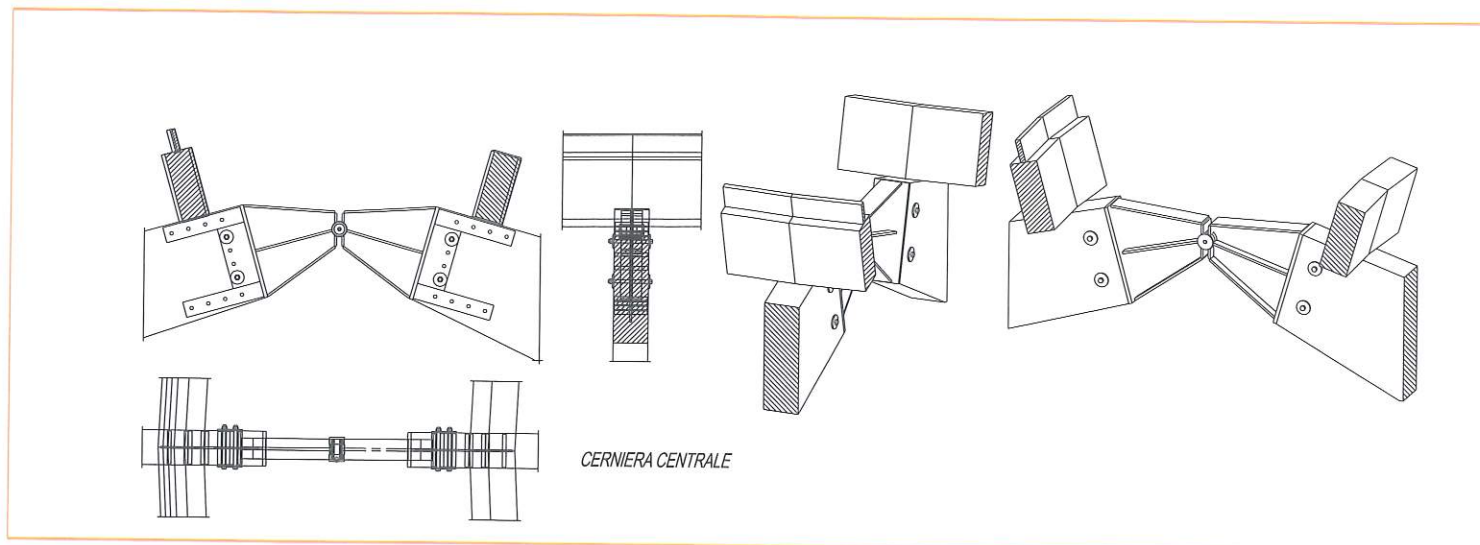
7.3 Scarpa per orditura secondaria e controvento a vista

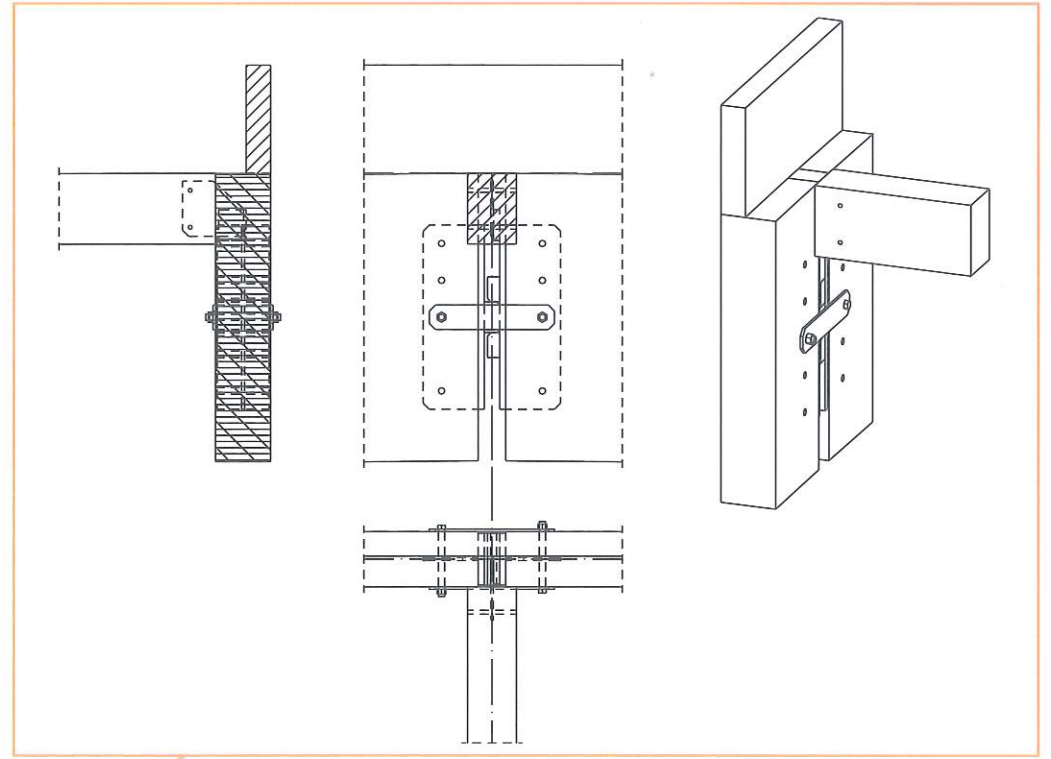
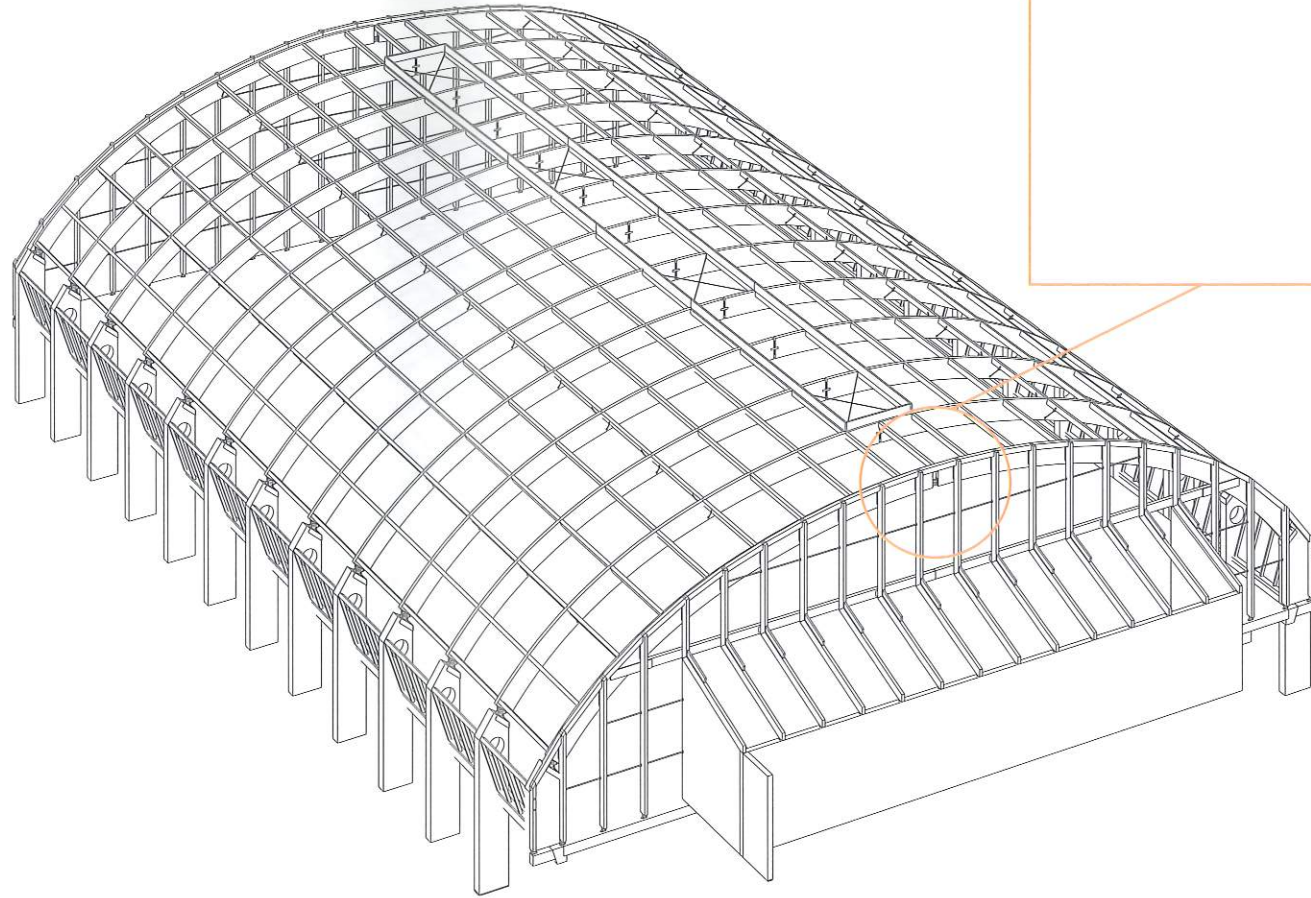


7.4 Scarpa per orditura secondaria e controvento a scomparsa

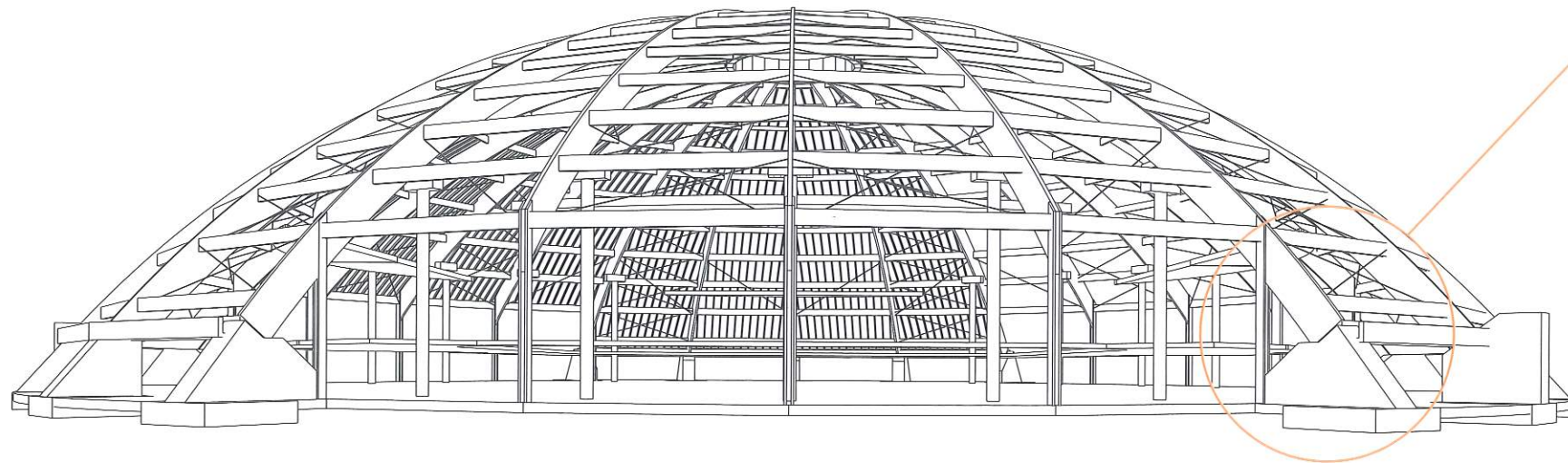
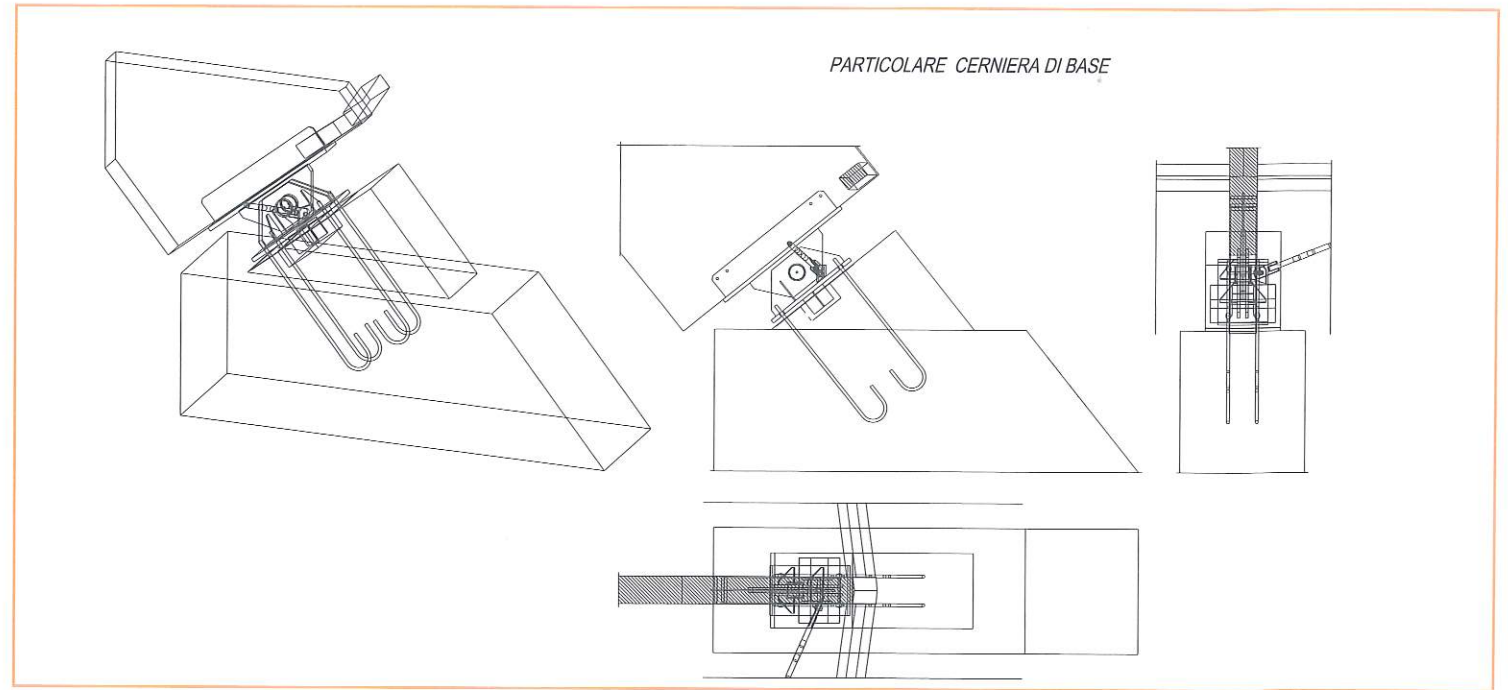


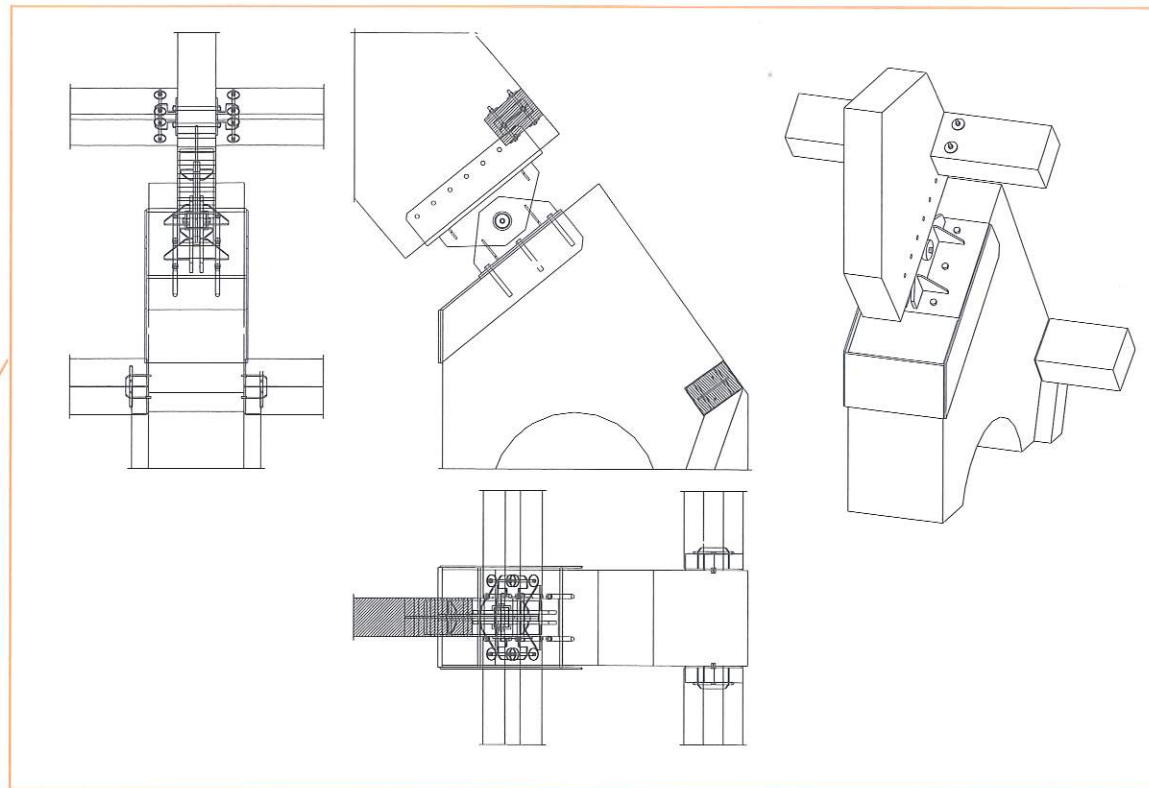
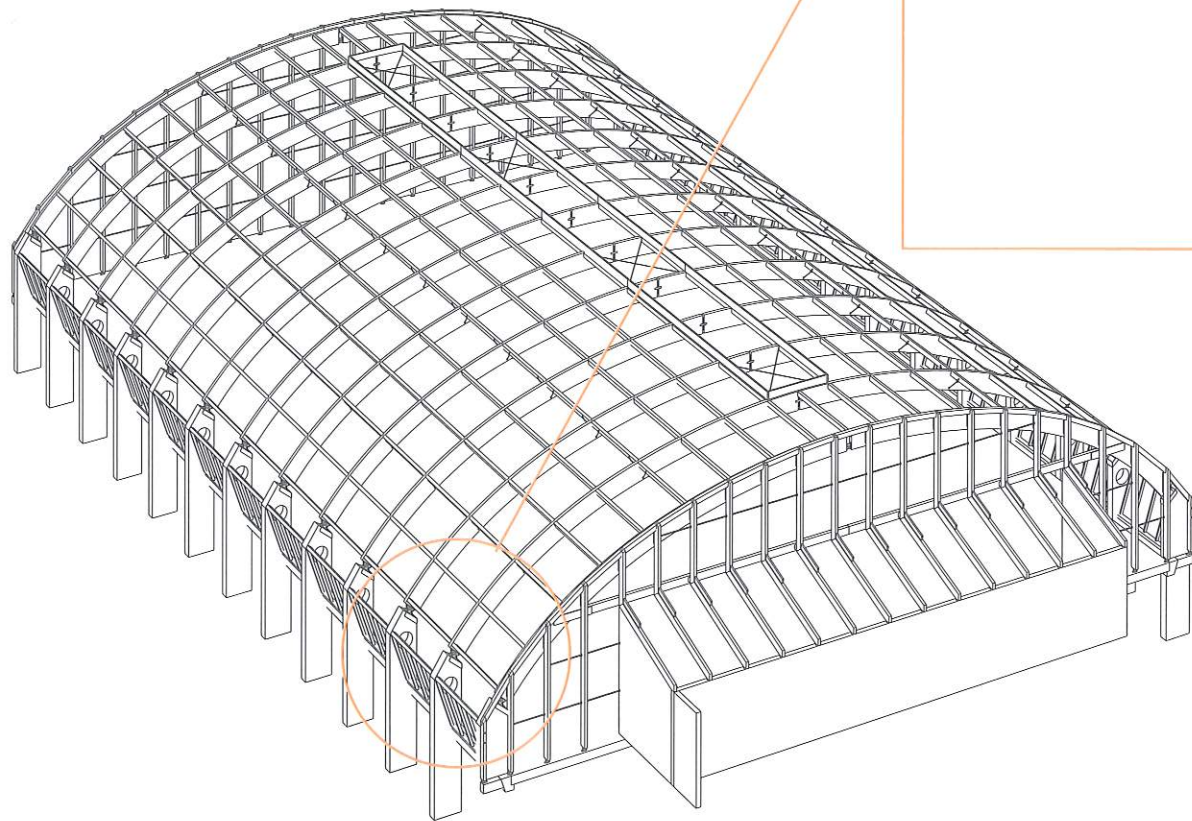
7.5 Cerniera di colmo



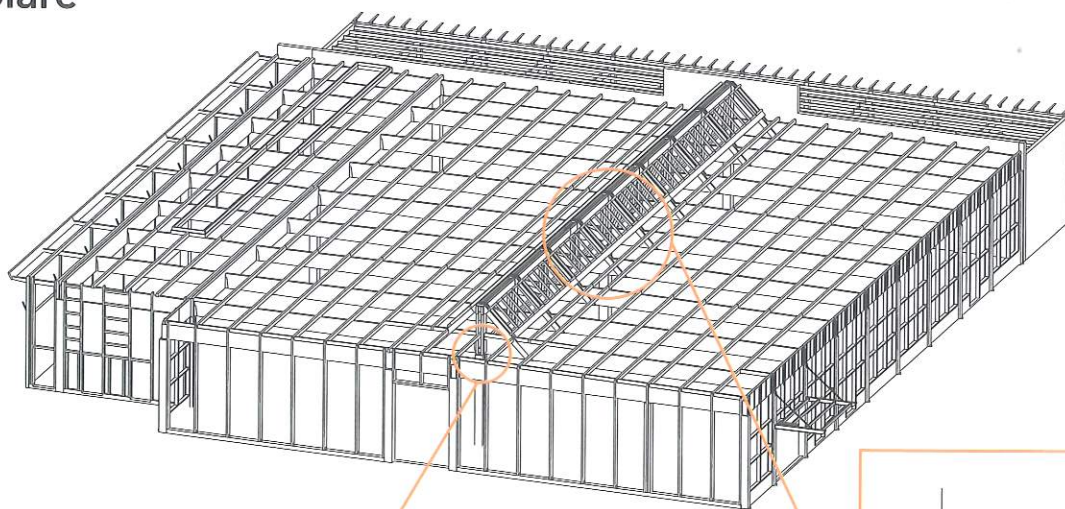


7.6 Cerniera di base

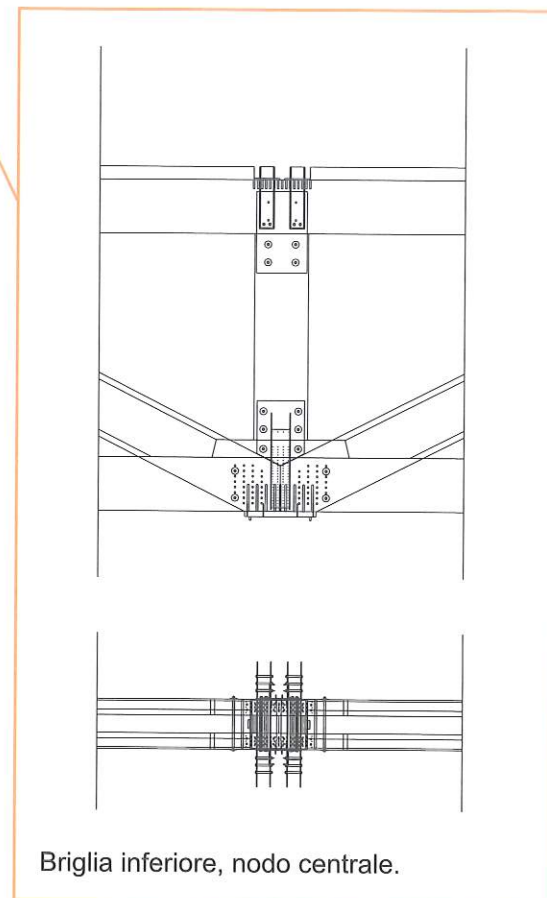
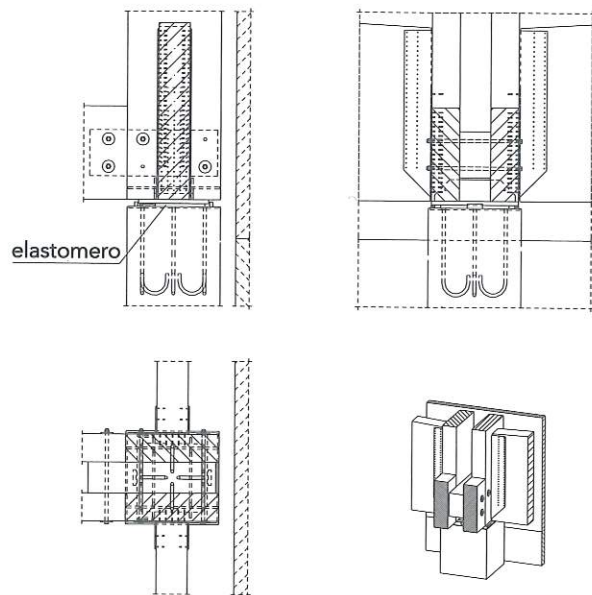




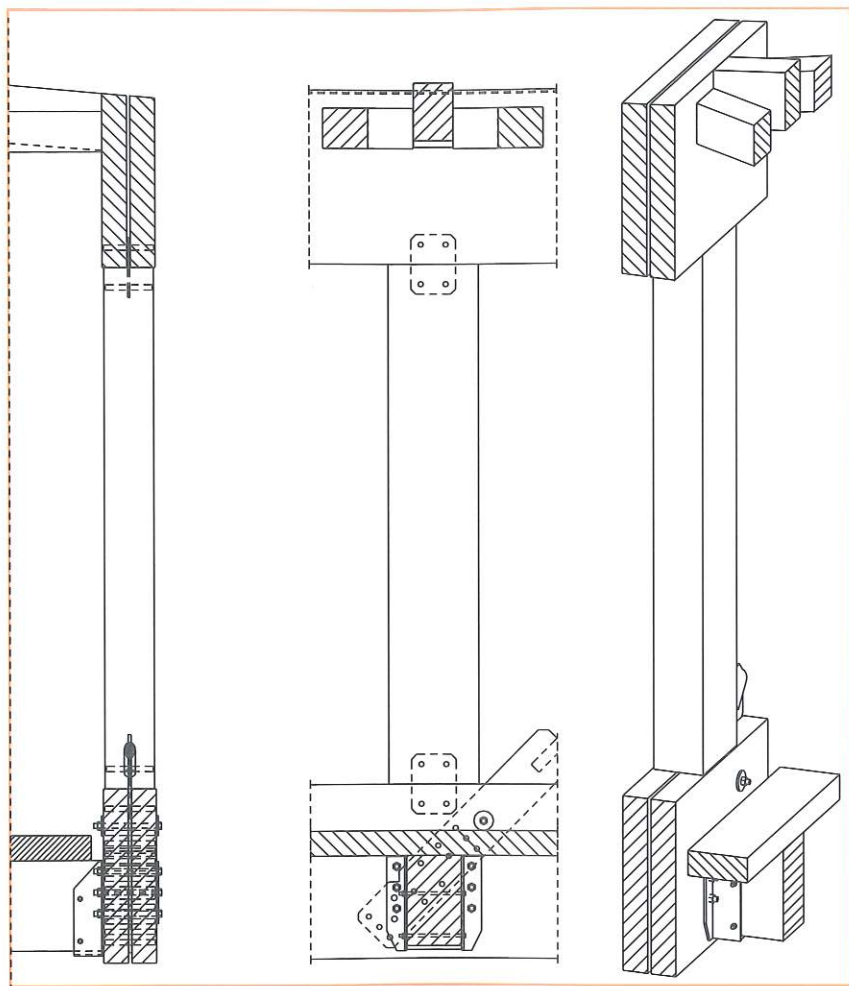
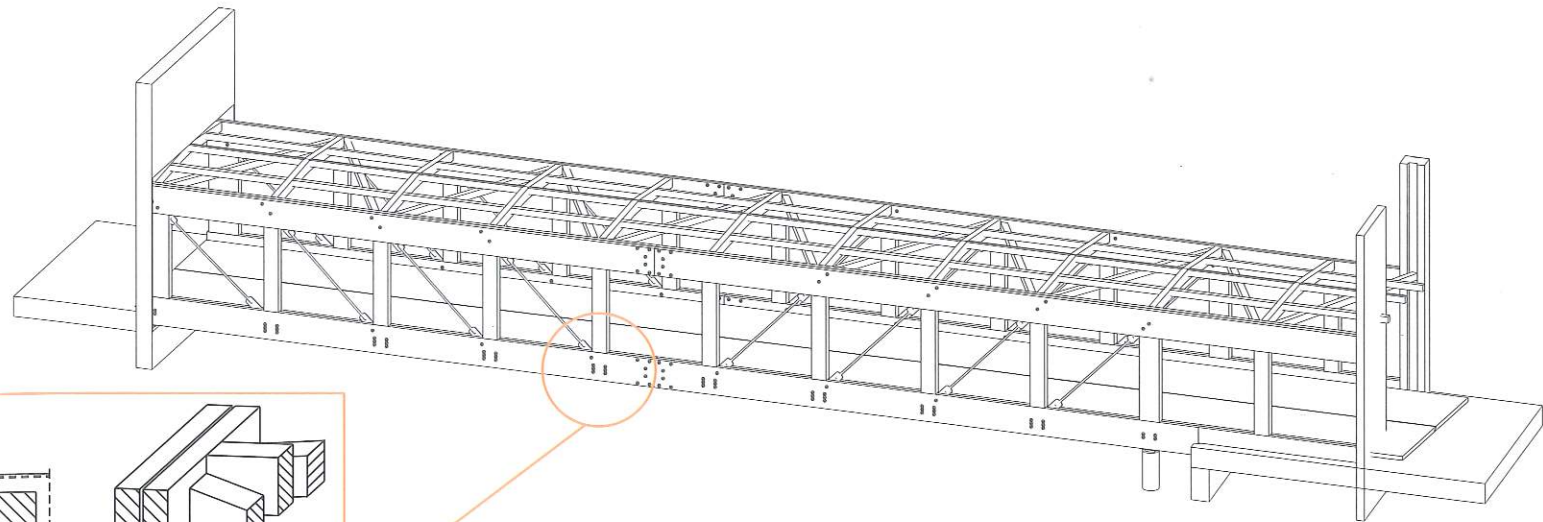
7.7 Nodo interno di trave reticolare



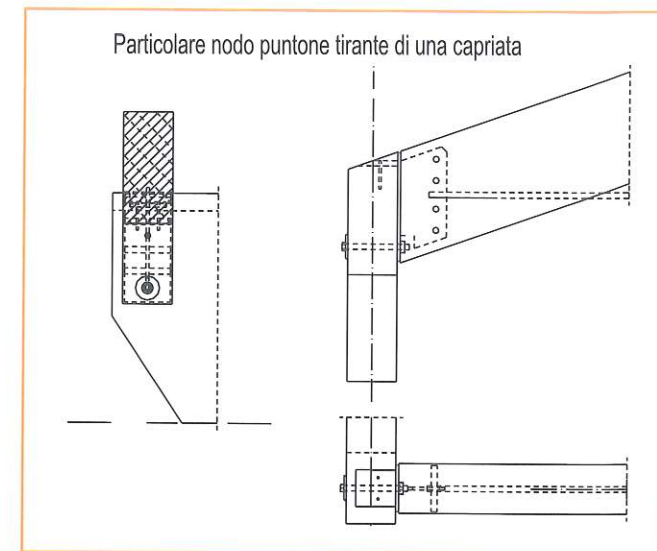
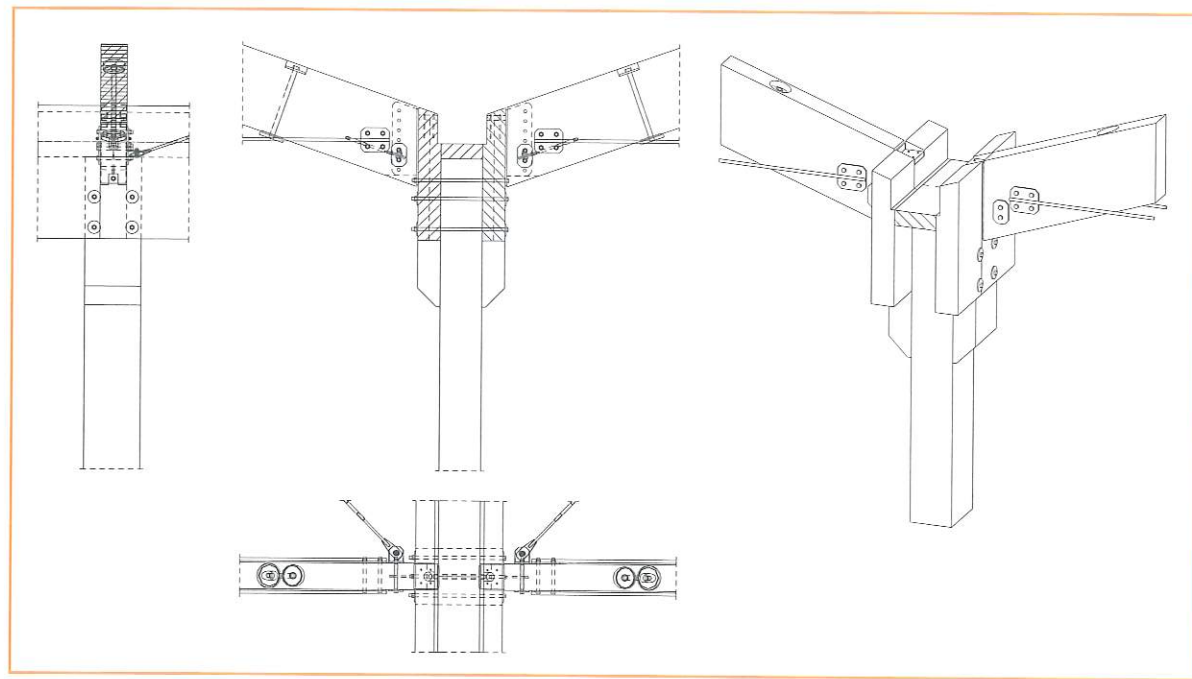
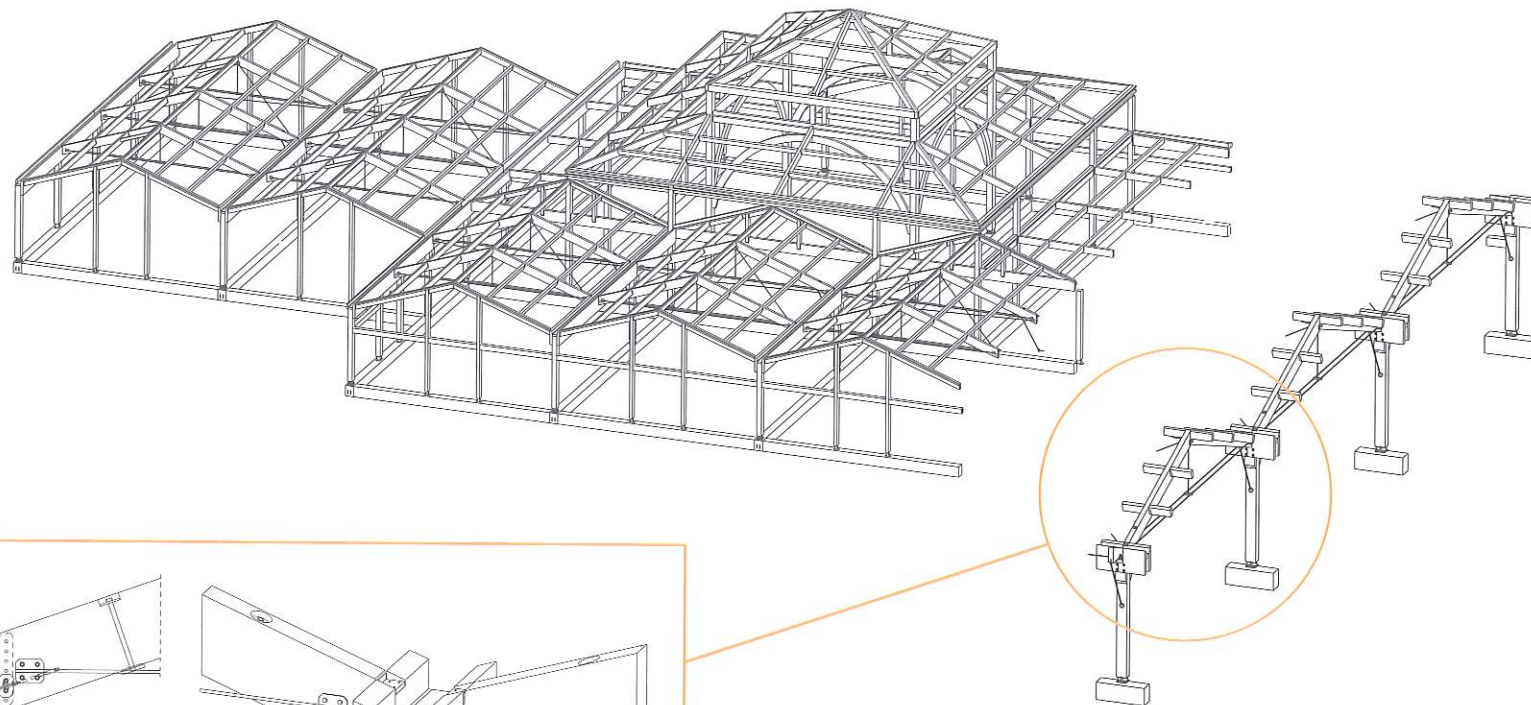
Briglia inferiore, nodo perimetrale. Connessione struttura primaria e secondaria; connessione della reticolare con pilastro in cls.

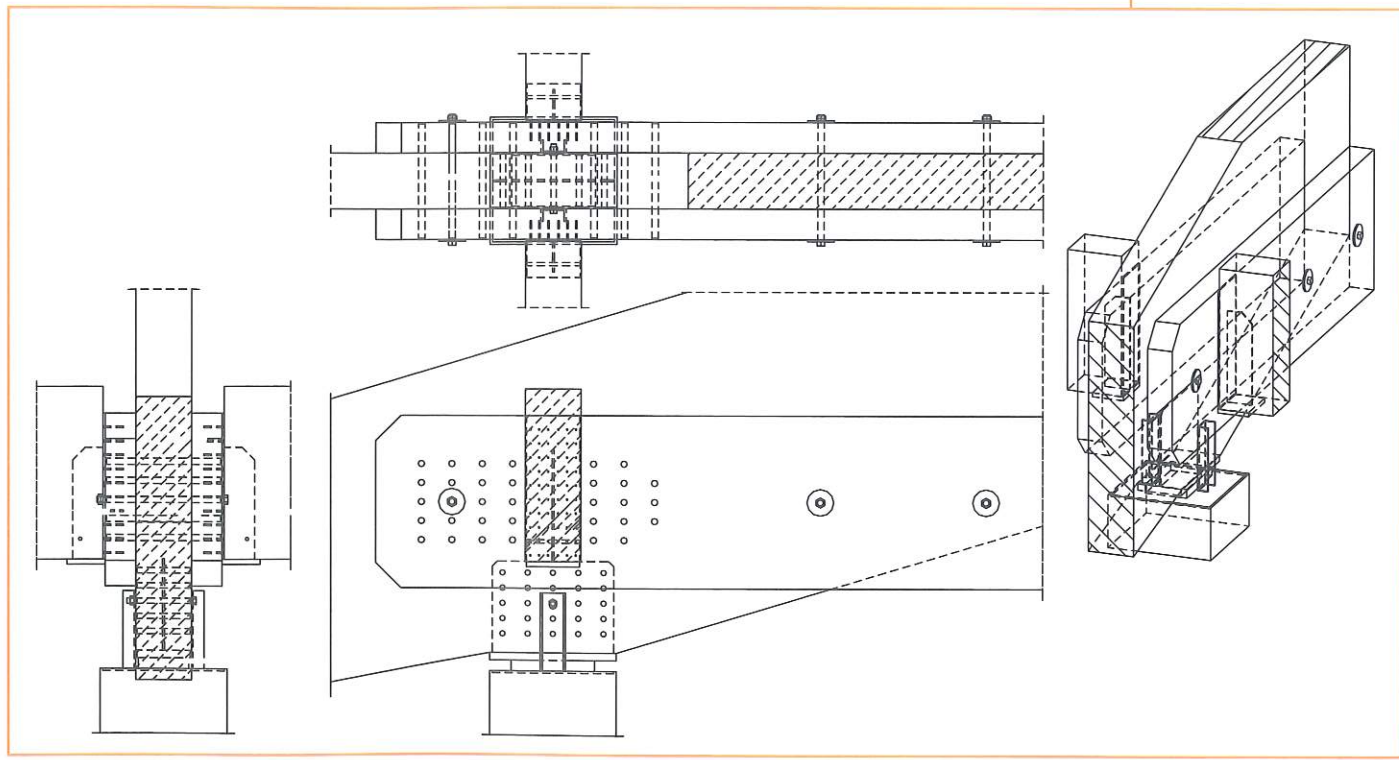
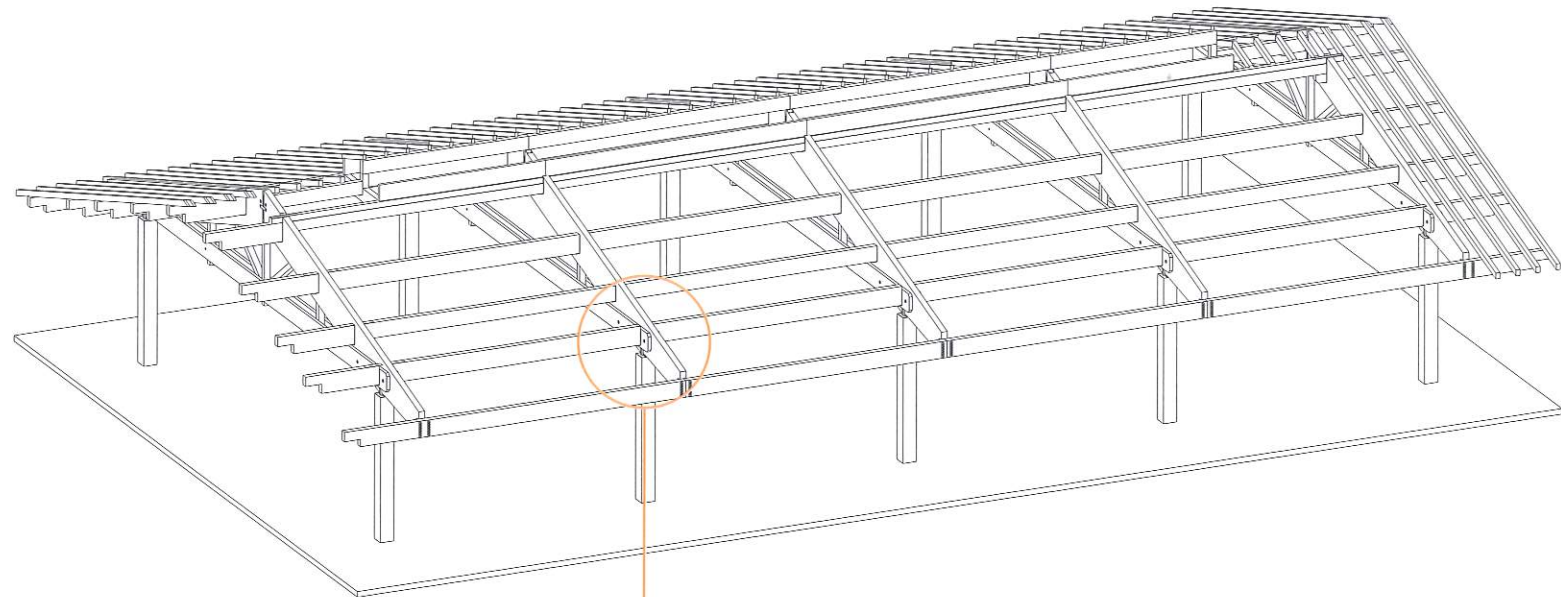


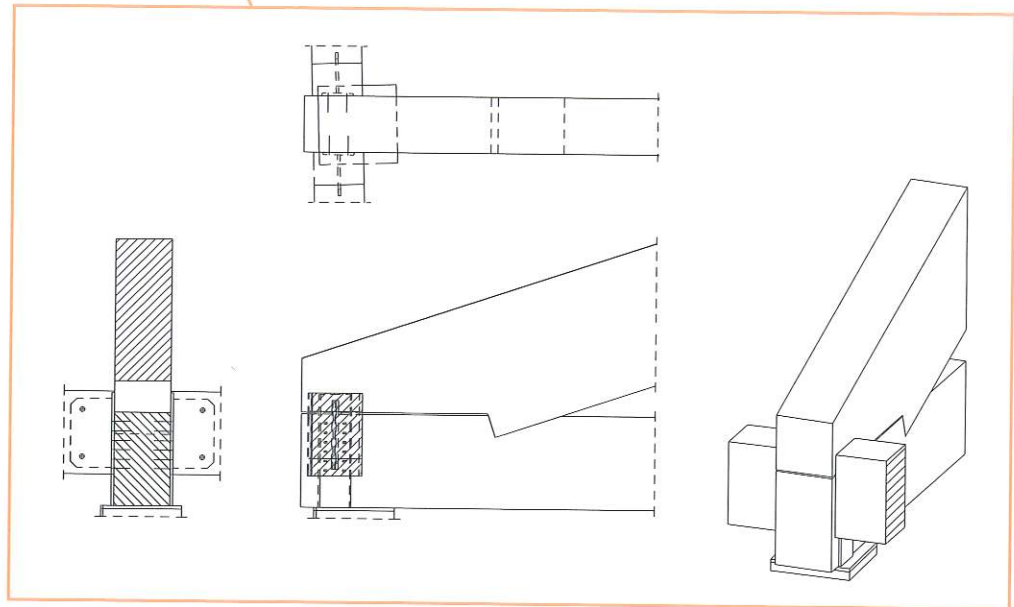
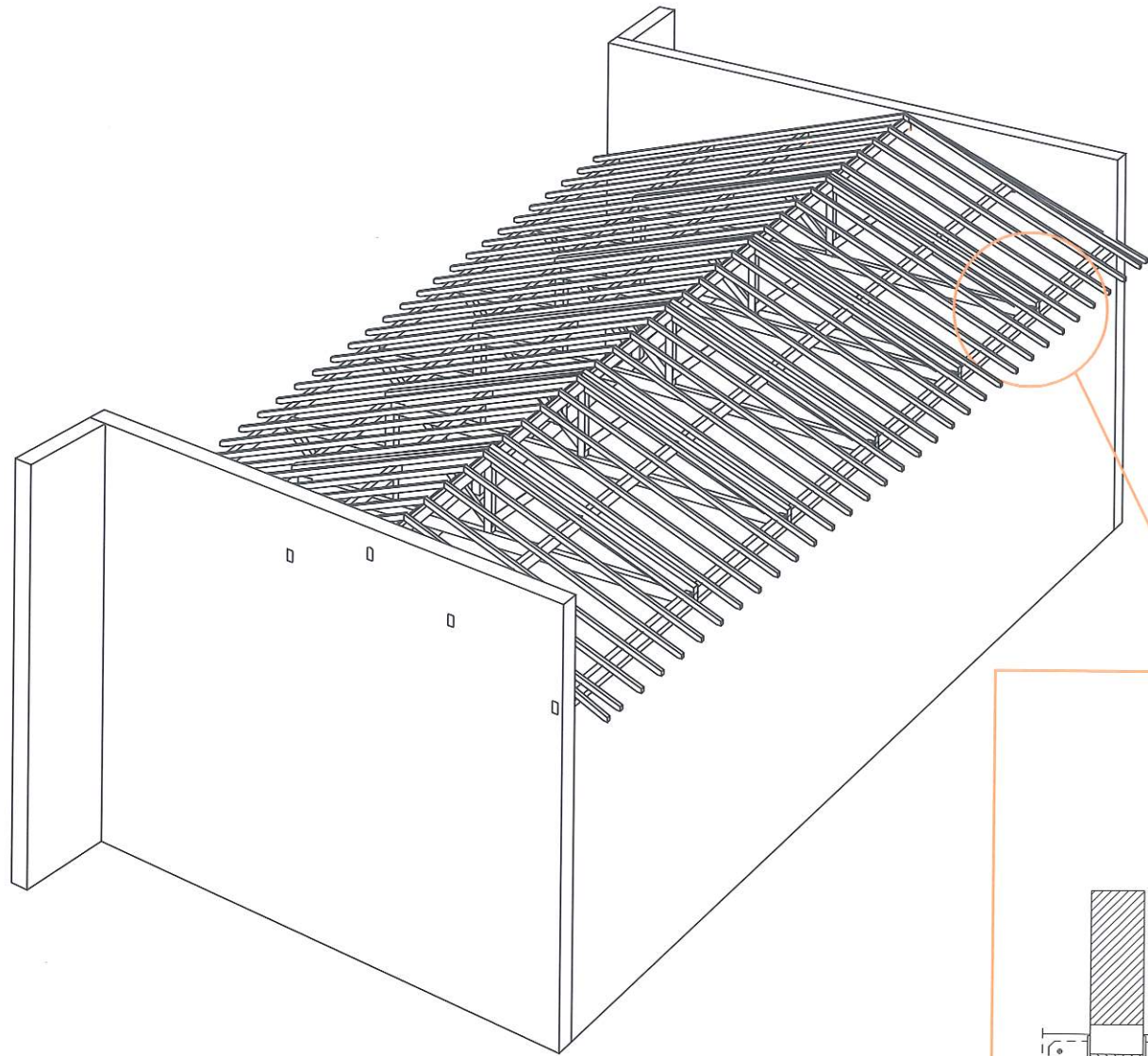
Briglia inferiore, nodo centrale.



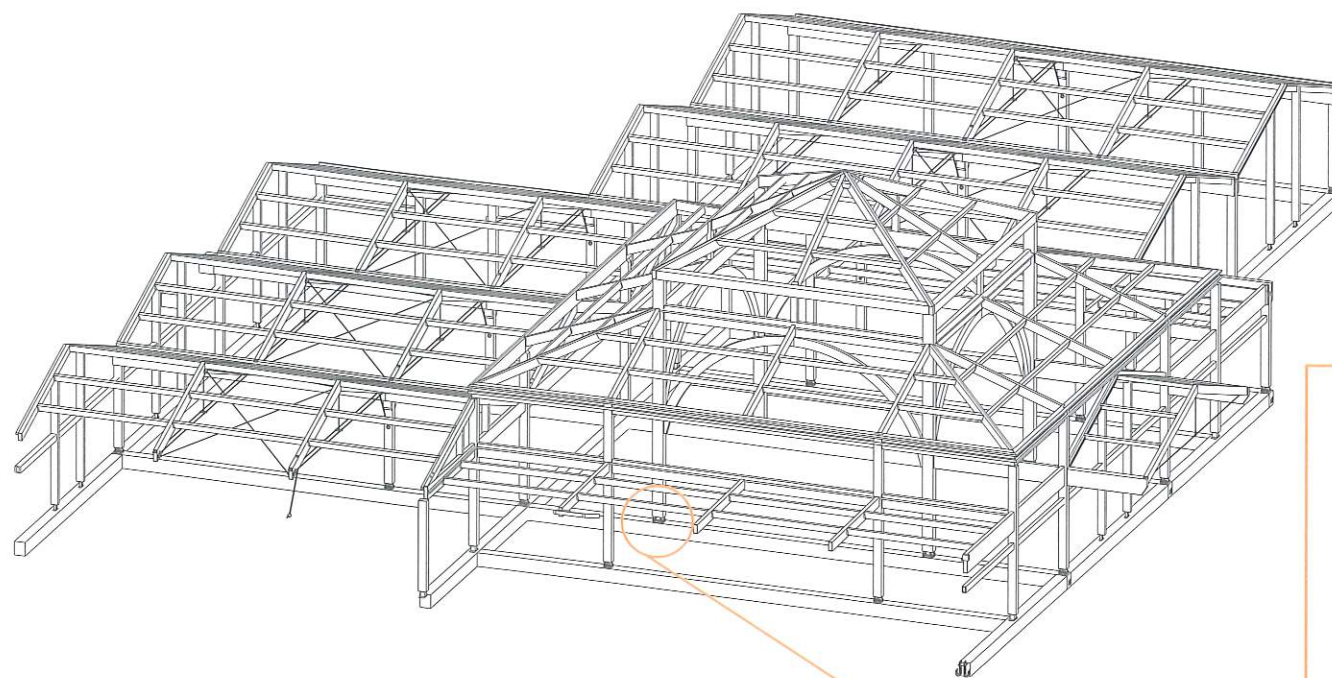
7.8 Nodo puntone-tirante di una capriata



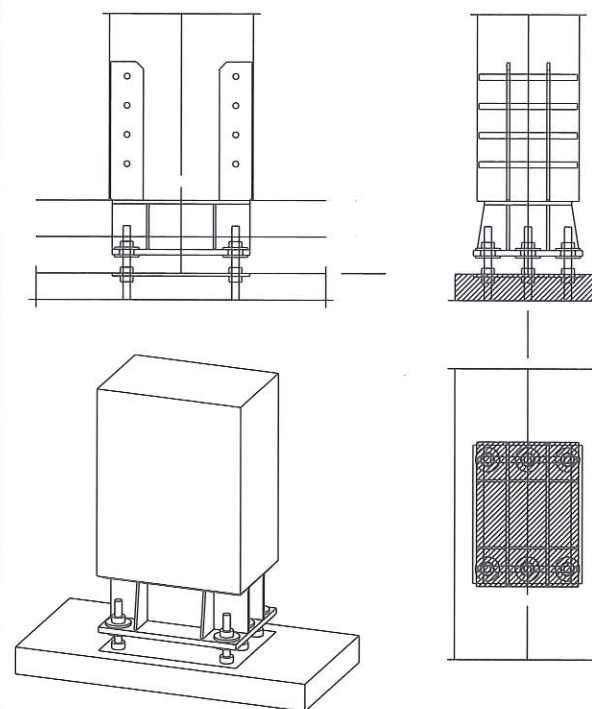


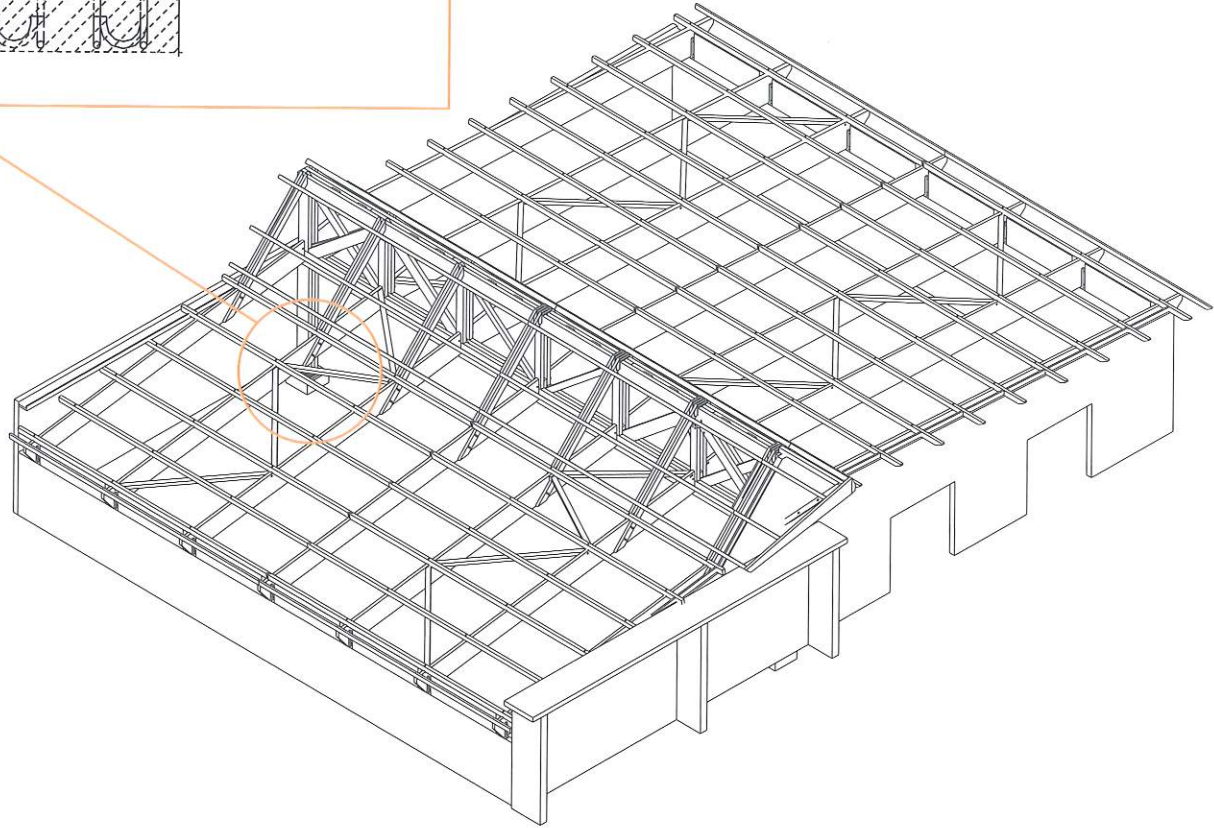
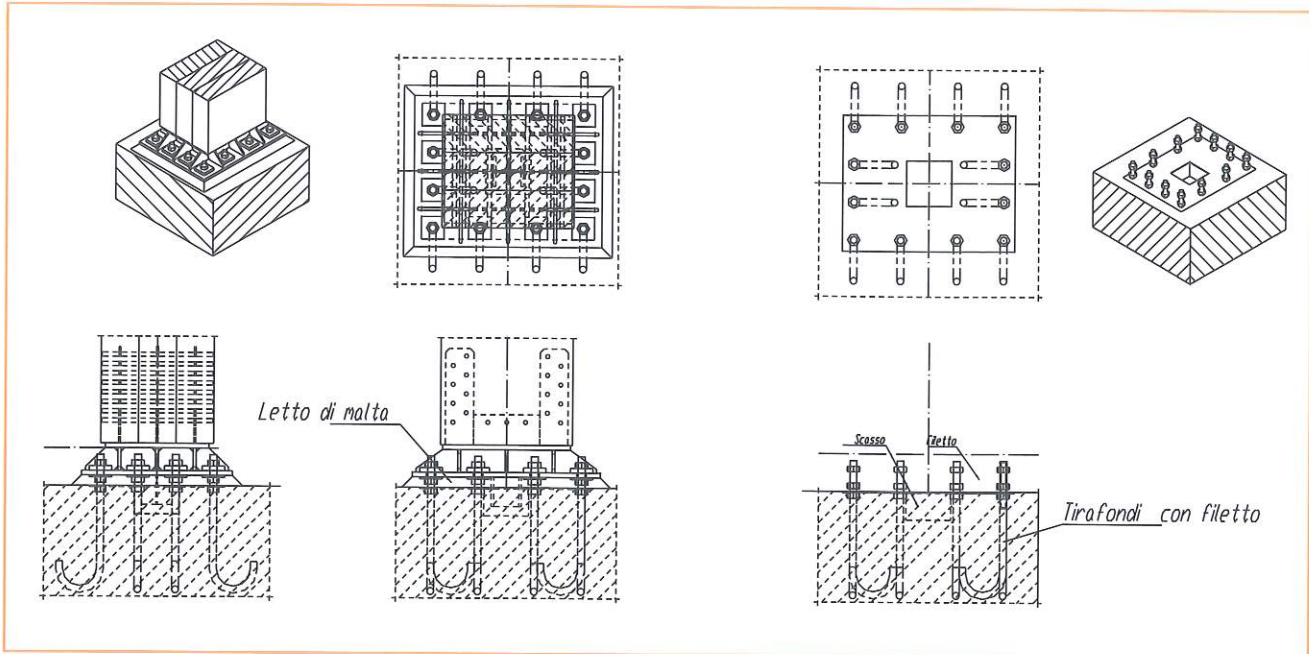


7.9 Collegamento di base pilastro - fondazione

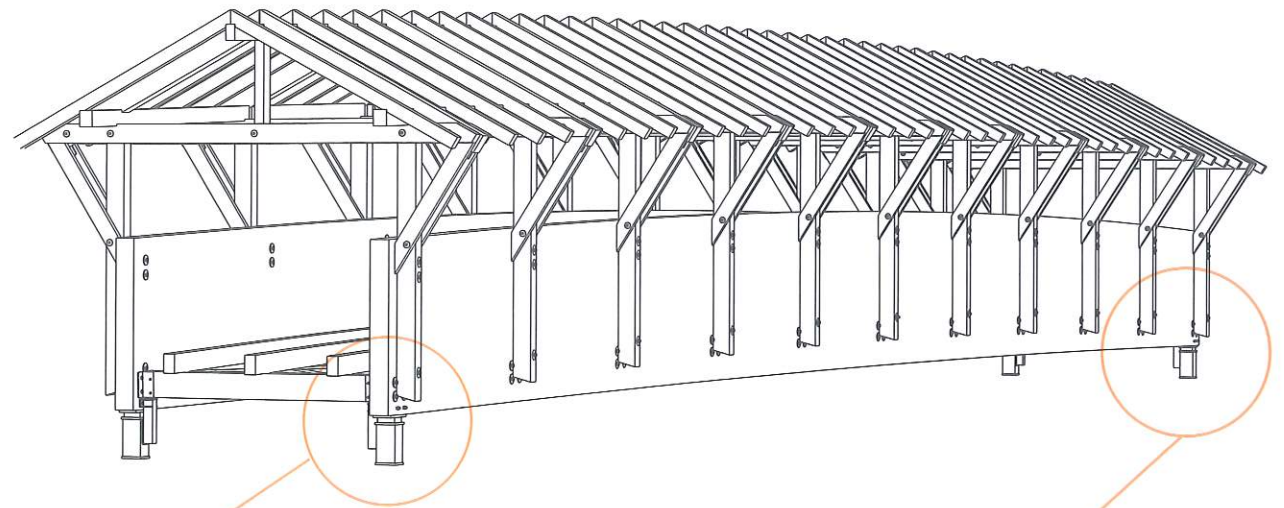
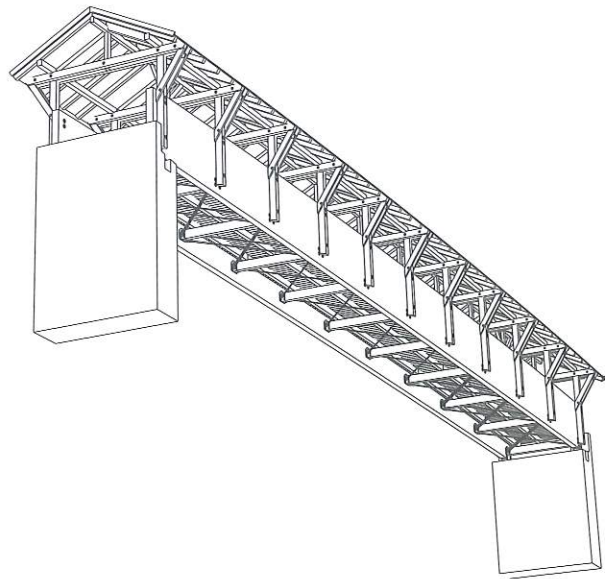


Particolare collegamento di fondazione

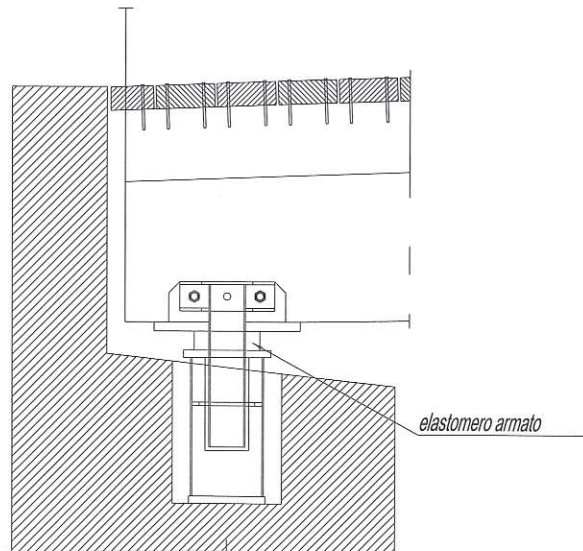




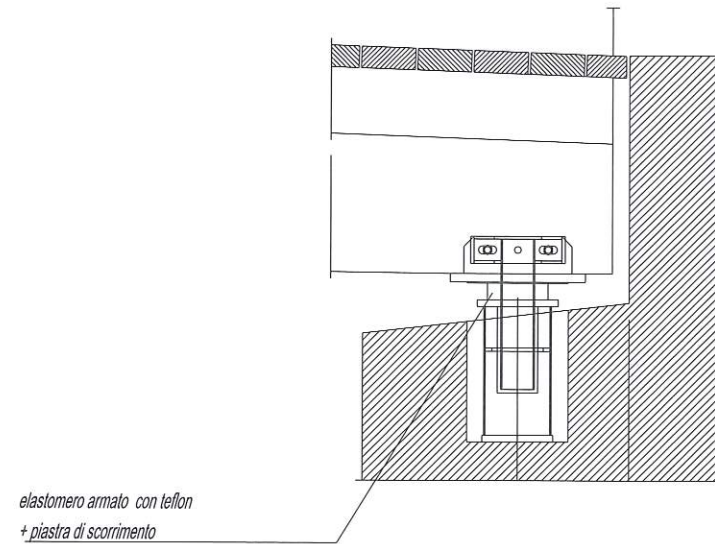
7.10 Appoggi "sulle spalle" di un ponte pedonale



Appoggio fisso



Appoggio scorrevole



7.11 Appoggio sulle "pile" di un ponte

