



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

LABORATORIO DI RESTAURO 1 – RESTORATION WORKSHOP II

Corso di Laurea Magistrale, quinquennale

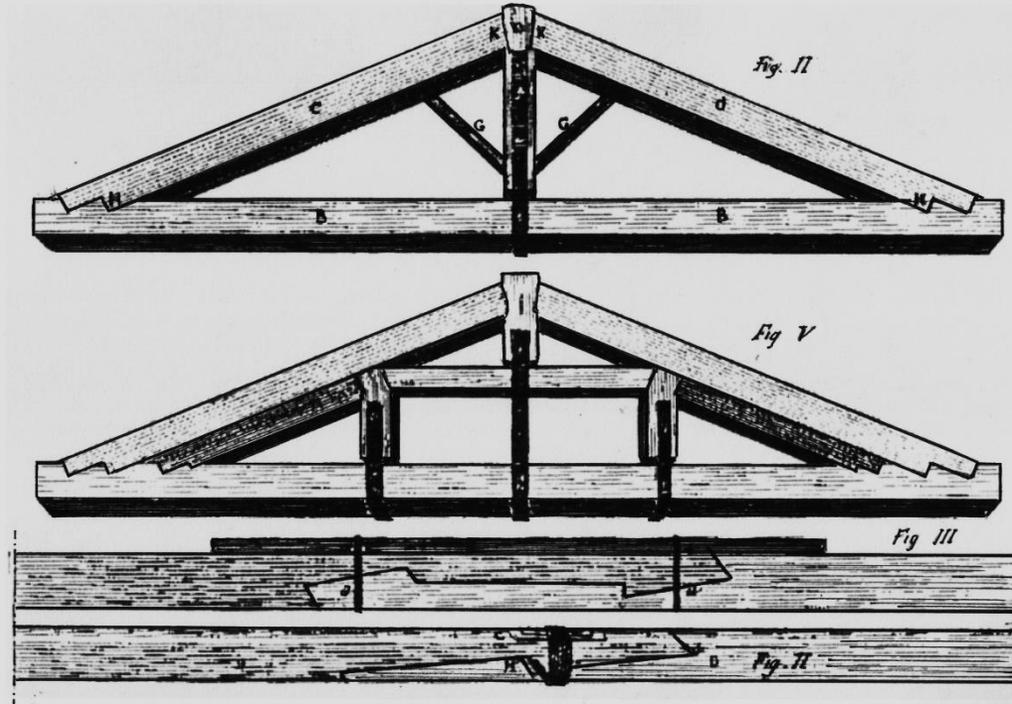
ARCHITETTURA (CLASSE LM-4 C.U.)

Prof. Arch. Giuseppe A. Centauro

B015351 – a. a. 2019 / 2020

Le coperture e le capriate lignee

Gli elementi strutturali



Docenti: Prof. Giuseppe Alberto Centauro e Prof. Silvio Van Riel

Tutor: Ph.D Arch. Andrea Bacci, Arch. Francesco Masci

e con la collaborazione di: Arch. Luca Brandini

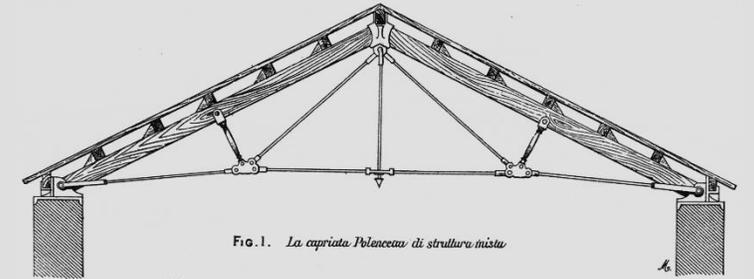


FIG. 1. La capriata Polacca di struttura mista

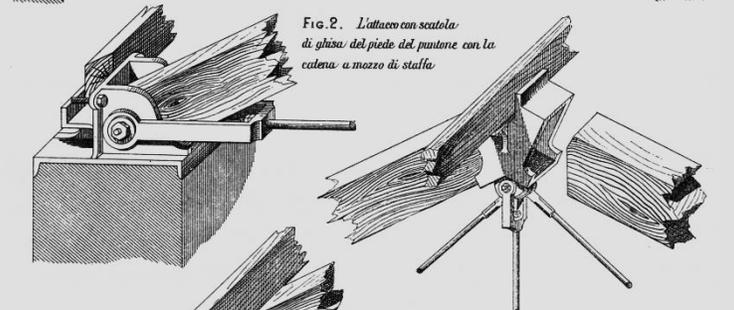


FIG. 2. L'attacco con scatola di ghisa del piede del puntone con la catena a mezzo di staffa

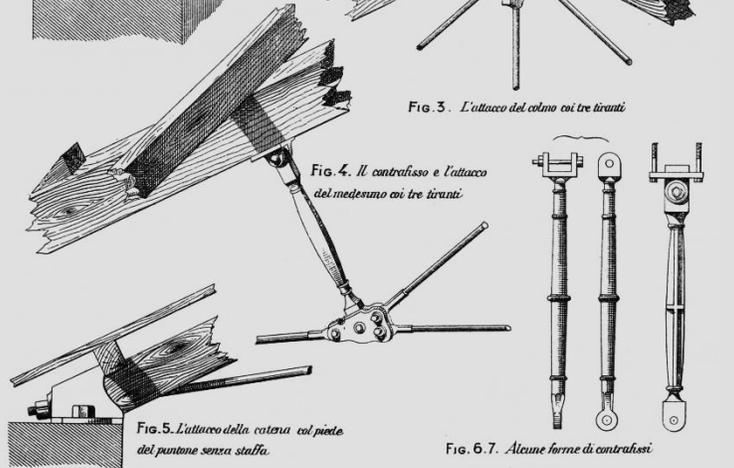


FIG. 3. L'attacco del colmo coi tre tiranti

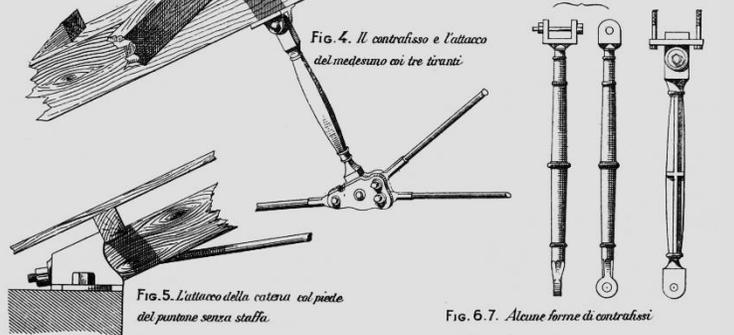


FIG. 4. Il contraffisso e l'attacco del medesimo coi tre tiranti

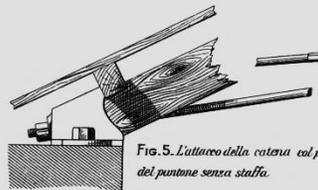


FIG. 5. L'attacco della catena col piede del puntone senza staffa

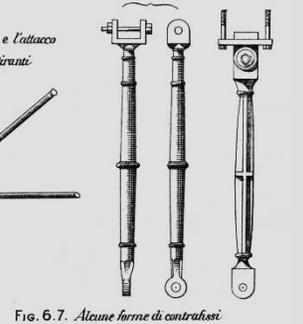


FIG. 6.7. Alcune forme di contraffissi



Le **coperture** sono l'elemento strutturale che chiude in sommità il fabbricato e, costruite a difesa degli edifici contro le precipitazioni meteoriche, venti e insolazione, necessitano di una particolare attenzione nella loro esecuzione e manutenzione.

Infatti, una parziale mancanza o il malfunzionamento causerebbero il degrado delle parti costruttive e delle stesse strutture murarie al quale il tetto è appoggiato.

Tutto questo si traduce in un irreversibile processo di danno al fabbricato che può portare nel giro di un paio di decenni al suo stato di rovina, come visibile nei numerosi esempi di edifici abbandonati presenti ancora sul nostro territorio, come documentano le immagini seguenti.



Il parziale crollo dell'orditura secondaria della copertura, con il danneggiamento degli impalcati intermedi di questo fabbricato dell'Appennino romagnolo, ha provocato il grave dissesto per pressoflessione che si nota nell'angolata della facciata.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



Grave stato fessurativo della muratura di facciata di questo edificio rurale dell'Appennino toscano dovuto principalmente al parziale crollo dell'orditura secondaria della copertura. Nell'apertura si intravede la catena di una delle capriate lignee che sorreggono ancora ciò che resta del coperto.



Normalmente la **copertura** è costituita da una **struttura** e da un **manto superficiale**; quest'ultimo è lo strato che impedisce la penetrazione dell'acqua e del vento, isolando l'edificio.

Il manto è normalmente composto di elementi di **piccole dimensioni**, spesso **amovibili** e **fragili**, generalmente appena sovrapposti, richiede una manutenzione semplice ma ripetuta a intervalli relativamente brevi.

Ad esempio, per i manti laterizi si tratta di riassetare i filari smossi dal vento o dalla neve e di sostituire le tegole rotte.

Al più si “rivoltava e scopava”, come riportano gli antichi documenti.

Ovvero si rimuovevano le **tegole**, si ripuliva la superficie d'appoggio e si riassetava il manto con le eventuali integrazioni.



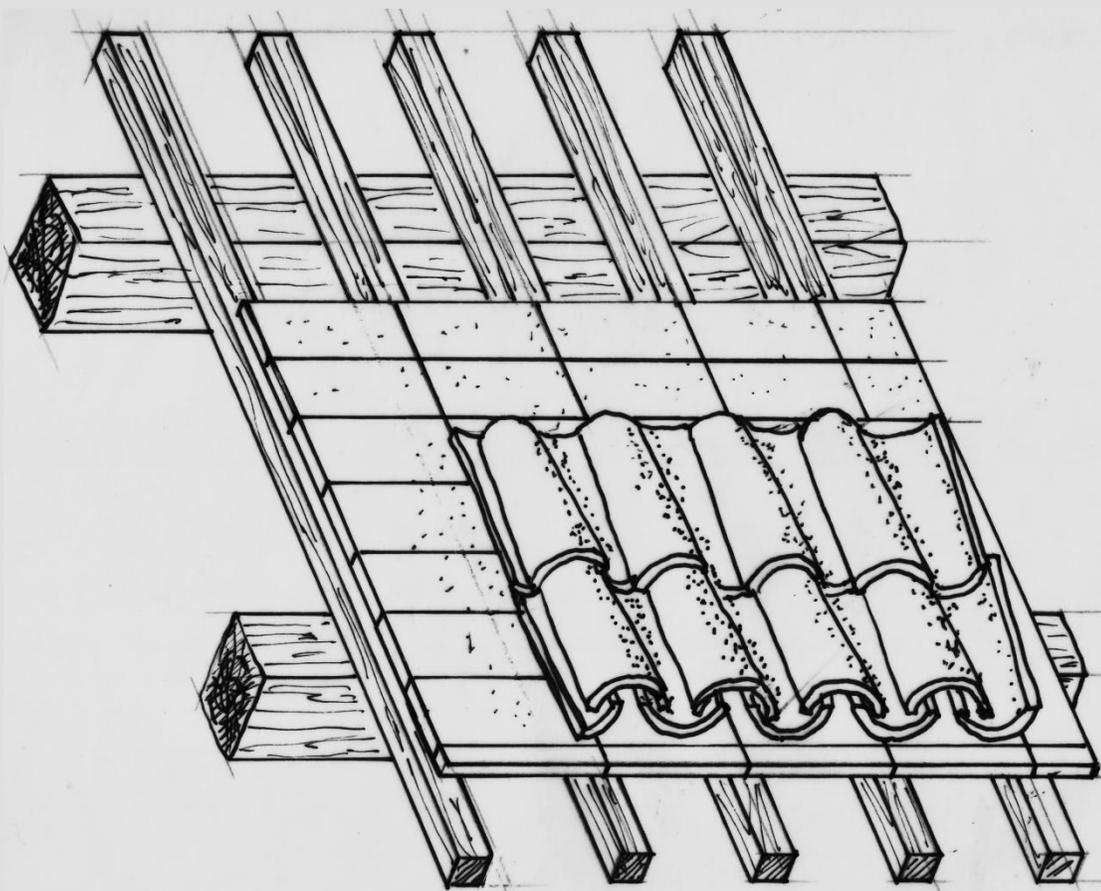
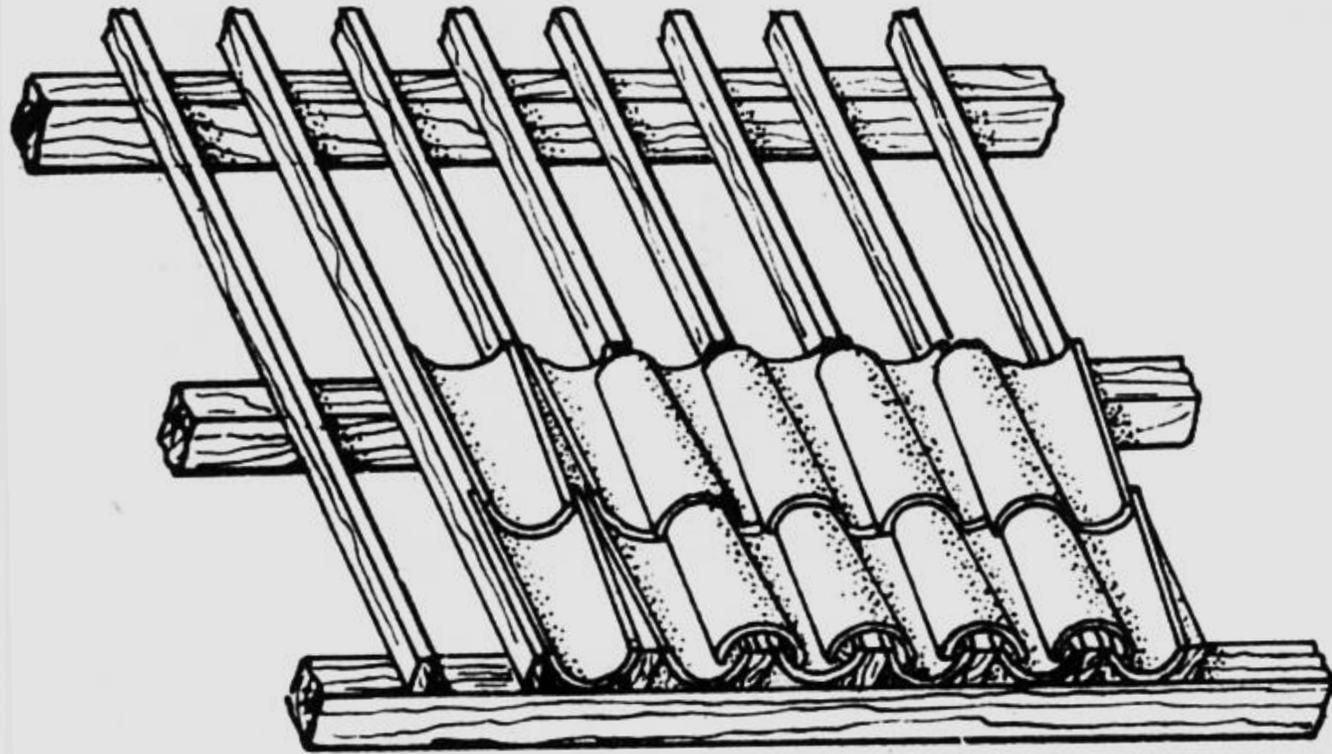
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Opera estremamente semplice che, almeno sui tetti meno inclinati, veniva realizzata senza ponteggi da artigiani specializzati.

Oggi, essendo impensabile una operazione del genere per motivi di sicurezza, il costo di manutenzione del tetto risulta elevato per la necessità dei ponteggi e delle altre opere provvisionali.

Esempio di piccola orditura e manto
in coppi sovrapposti direttamente
appoggiati ai listelli lignei disposti
secondo la pendenza del coperto,
tipologia usata per gli edifici rurali
più semplici.



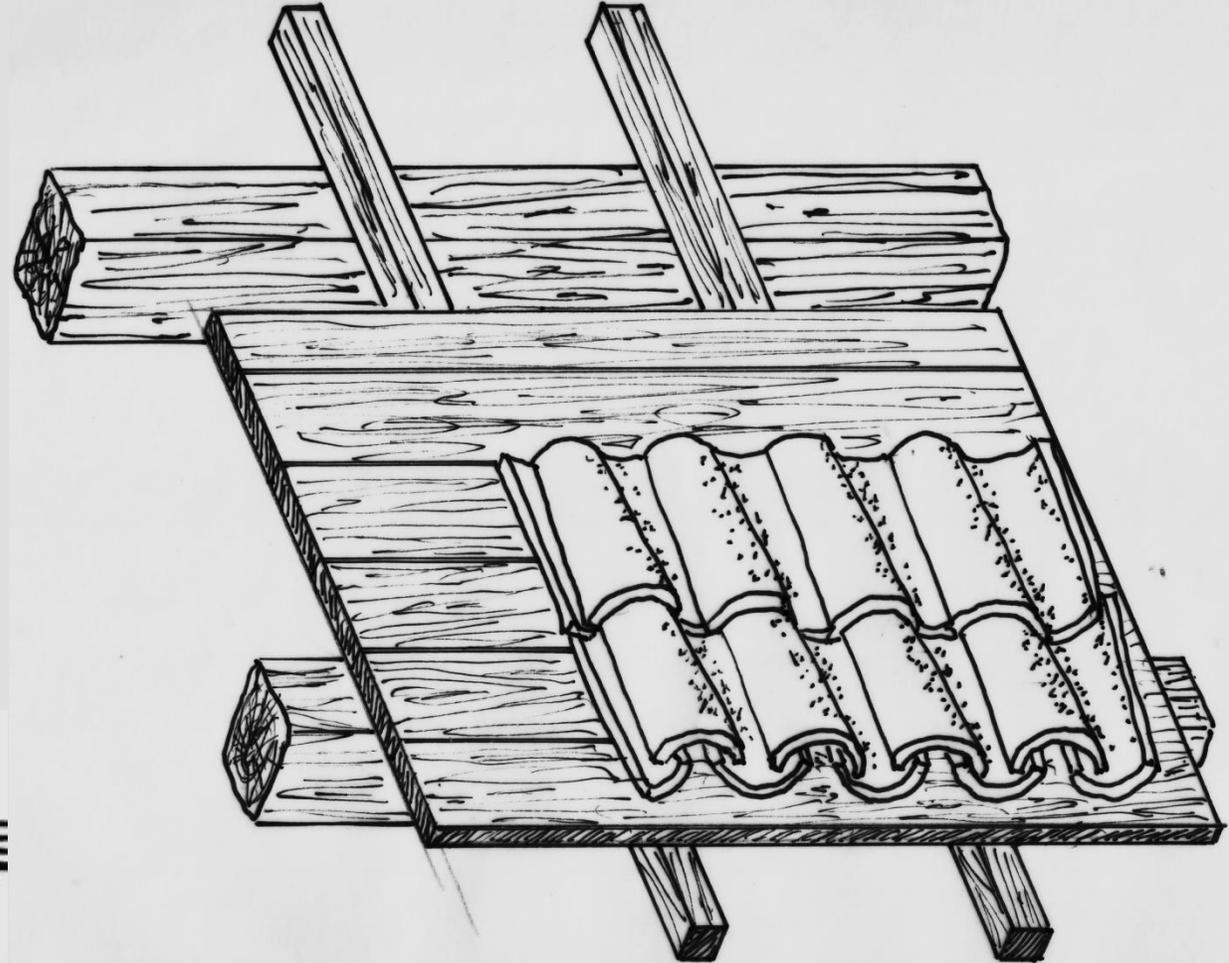
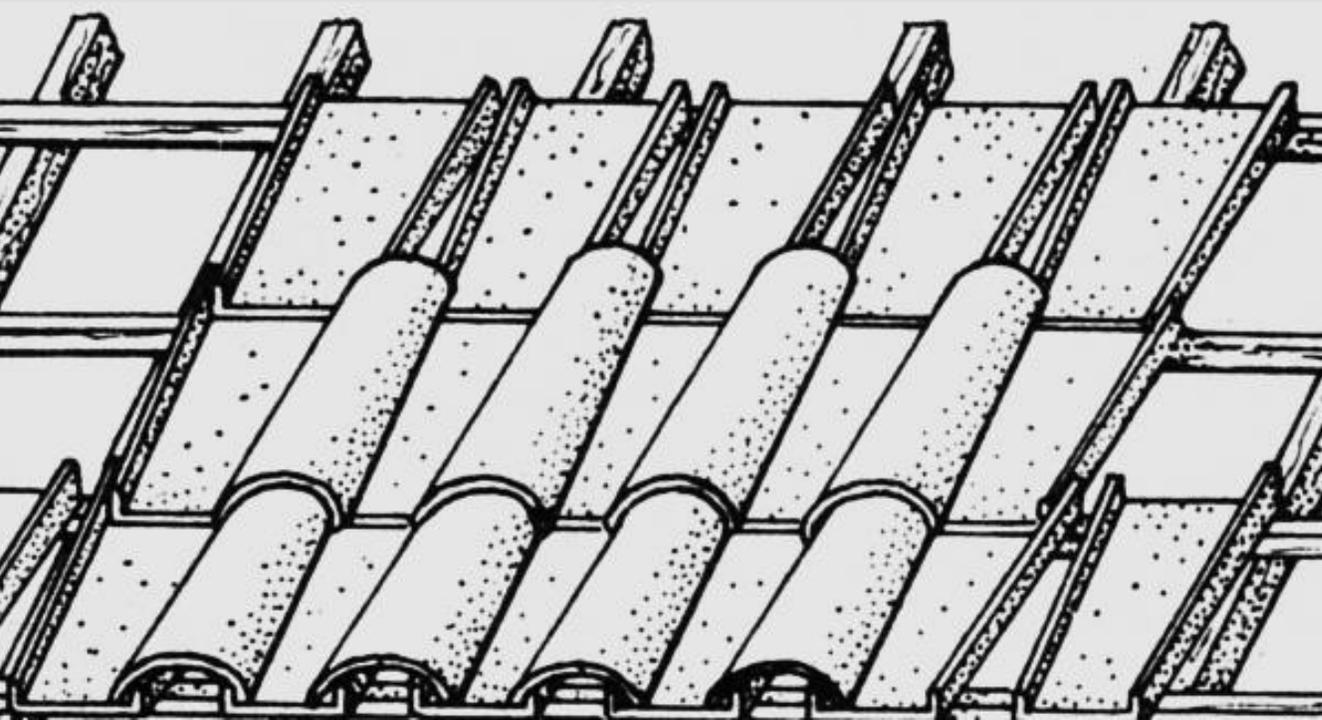
Variante della stessa tipologia costruttiva con la
messa in opera di un manto di tavelline in laterizio.
Alle travi portanti principali sono sovrapposti dei
travicelli di sezione quadrangolare sui quali sono
appoggiate e murate le pianelle e il manto di coppi.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

L'esempio riporta una modifica sostanziale:
la sostituzione del manto di tavelline in
cotto con un tavolato ligneo. Questa
soluzione, tipica delle zone ricche di
legnami, permette di ampliare l'interasse
fra i travicelli e, grazie alla chiodatura fra gli
elementi, di garantire una maggior rigidezza
alla struttura.



Soluzione con il posizionamento del manto di
copertura in embrici e coppi su listelli ortogonali alla
pendenza. Questa tipologia di copertura, tipica
dell'area romana e toscana, è più comunemente
montata direttamente sul piano di tavelline in cotto
oppure sul tavolato ligneo.



Oggi si tende a dare al tetto una minore dipendenza dalla manutenzione con l'aggiunta di **guaine impermeabili** che, sovrapposte alla ormai usuale **soletta di cemento armato**, rendono il manto di tegole utile solo a nascondere la struttura della copertura, spesso a discapito della naturale traspirabilità, tipica delle vecchie coperture e preziosa per la conservazione delle strutture lignee.

Proprio per questo negli ultimi anni si è affermata la tecnica di eliminare le **gettate di calcestruzzo** più o meno alleggerito, sopra l'orditura lignea di copertura, a favore di **pacchetti coibenti e ventilanti**.



Nella pratica si possono individuare due tipi di **coperture**:

- quelle impermeabili all'acqua,
- quelle che, pur non essendolo, per le caratteristiche e la disposizione degli elementi che le compongono, svolgono ugualmente la funzione di barriera.

Tra le prime possono ascriversi le coperture piane, o quasi orizzontali, e tra le seconde i tetti che sono, per definizione, a falde inclinate



Nel secondo caso per evitare che l'acqua possa penetrare all'interno delle murature di appoggio, si sono dotati i tetti della gronda proseguendo la struttura lignea con questo aggetto.

In epoche recenti, si è aggiunta alla gronda un canale di raccolta, la grondaia, che evacuando le acque tramite il **pluviale** le incanala nei **pozzetti a terra.**

Per le terrazze, impiegate abitualmente in zone poco piovose, si provvedeva semplicemente con canali sporgenti in funzione di gocciolatoio.

Per questa ragione si spiega come nelle regioni nordiche siano state privilegiate le coperture con falde inclinate mentre nei paesi mediterranei, di clima caldo e secco, si è preferito usare come tecnica costruttiva le coperture a terrazza.



In effetti, alla semplicità del manto orizzontale si oppone, nei tetti a falda, l'impegno esecutivo della messa in opera della carpenteria lignea portante e del manto di tegole.

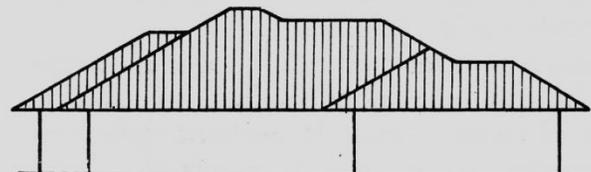
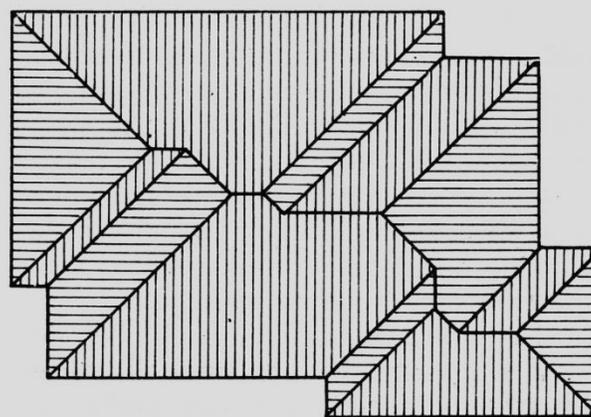
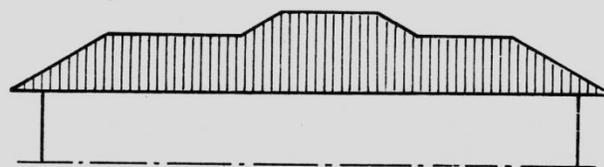
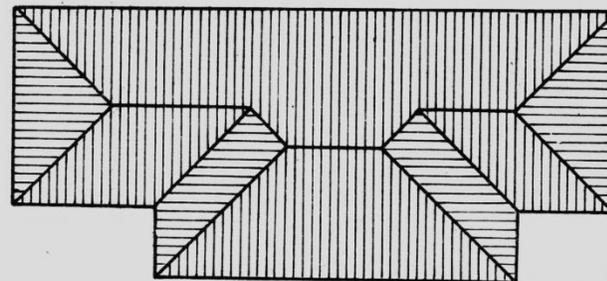
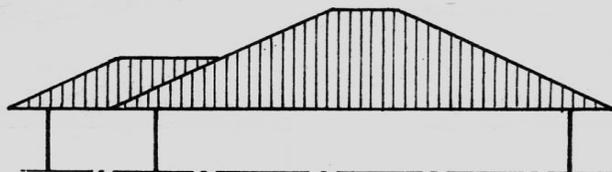
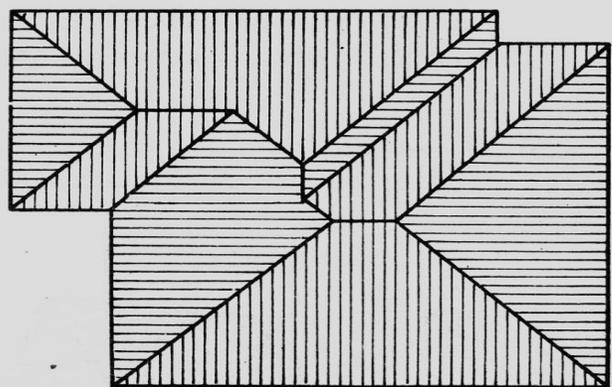
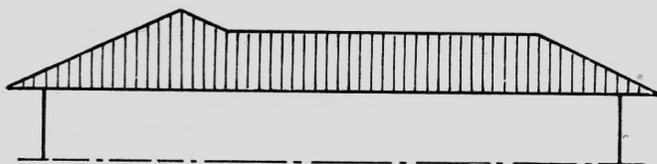
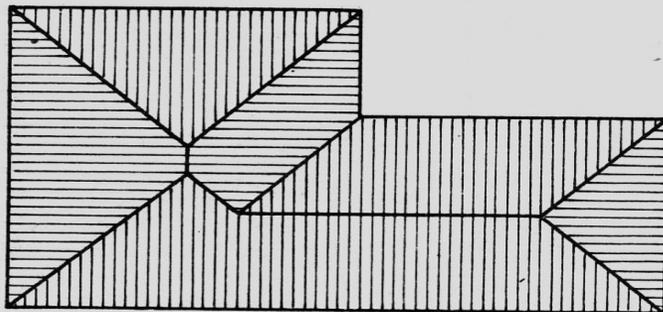
Fra i diversi tipi di tetti una **prima distinzione** può essere operata basandosi sul genere delle superfici: **tetti a timpano o a frontone**, a due falde opposte, a **quattro o più spioventi** separati dai displuvi, se questi si dipartono da un punto centrale il tetto è detto "**a padiglione**".

Inoltre, alcuni tetti composti, realizzati su piante articolate, che possiedono una configurazione geometrica particolarmente complessa, ottenuta intersecando le **falde** in modo da formare, oltre ai **displuvi**, anche i **compluvi** ossia degli spigoli concavi, come negli esempi riportati.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



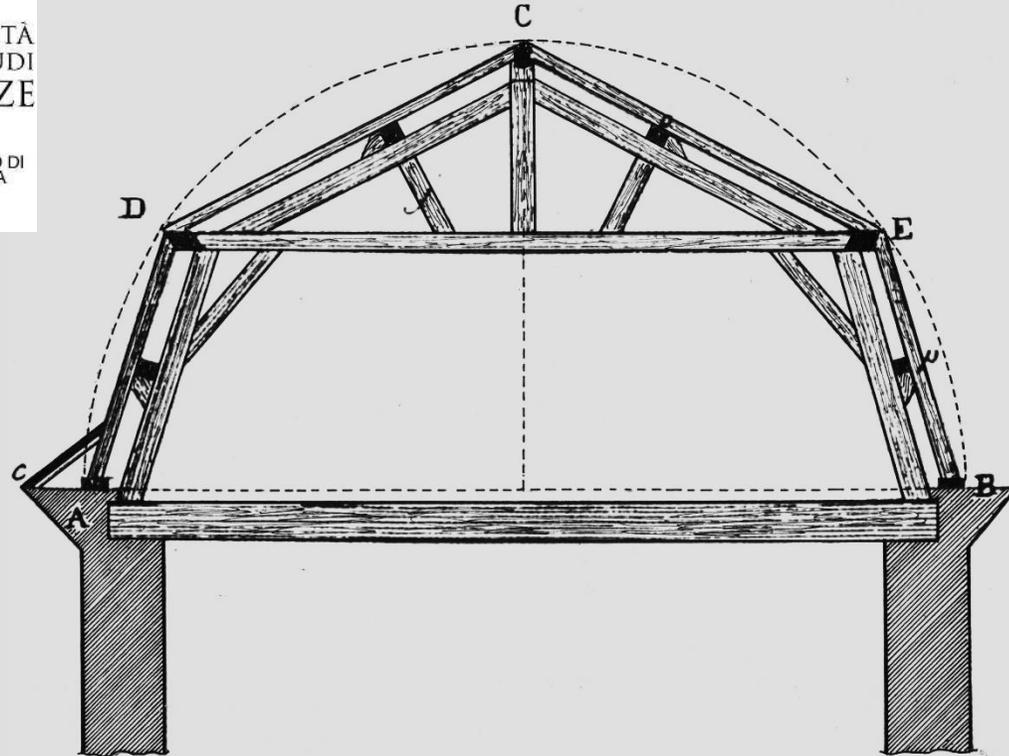
Nell'immagine compaiono, oltre alle linee di displuvio (linee di intersezione di falde dalle quali le acque si allontanano), anche, le linee di conpluvio (verso le quali le acque confluiscono). In queste zone devono essere assicurati particolari provvedimenti nella messa in opera delle convesse per assicurare una buona impermeabilizzazione, al fine di evitare dannose infiltrazioni d'acqua.



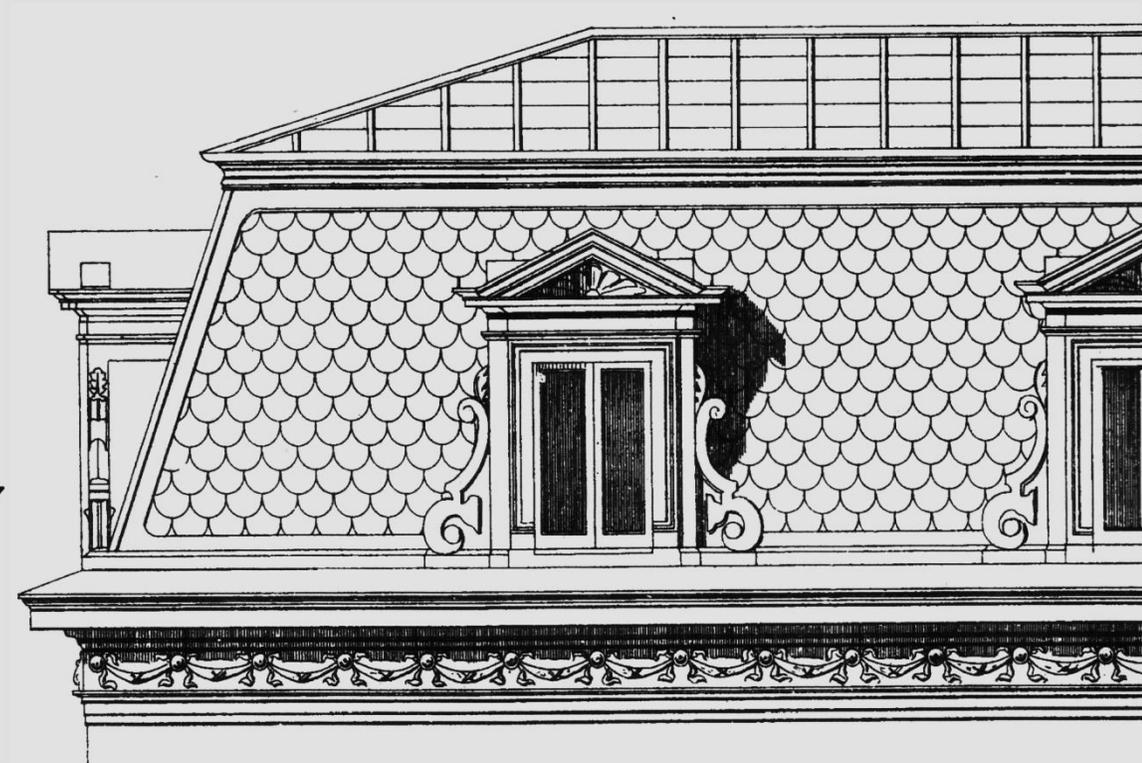
Fra i tetti di particolare conformazione si devono ricordare le **mansarde**, le cui falde sono composte da due superfici con diversa inclinazione; essa risulta maggiore per la zona vicina alla **gronda**, onde **guadagnare una altezza abitabile per il sottotetto**, e minore, anche quasi pianeggiante nei casi più moderni, per la parte di **falda** che prosegue verso il **colmo**.

La sagoma veniva, originariamente, determinata in sezione costruendo la spezzata all'interno di un semicerchio.

In alcuni edifici, la linea d'imposta poteva trovarsi a quote diverse sulle due pareti di gronda; si doveva, allora, necessariamente ricorrere a una struttura asimmetrica, per dimensioni ma anche per inclinazione.



Le coperture a mansarda, devono la denominazione all'architetto francese J. H. Mansart vissuto nel XVII secolo, realizzate con spioventi con accentuata inclinazione che ne consente l'abitabilità. Venivano progettate ricorrendo alla costruzione grafica rappresentata nel disegno in cui la sezione trasversale è inscritta in un semicerchio; le motivazioni non sono chiare ma ciò si riteneva necessario per la stabilità (da Rondelet, 1831 [1802]).



Tipica mansarda francese della fine dell'Ottocento. Questa tipologia nata fra il XVII e il XVIII secolo ha legato la sua fortuna alla possibilità di realizzare un altro piano abitabile sopra la linea di gronda, quota massima prefissata dai regolamenti edilizi.



In genere, le **coperture** hanno una **struttura lignea** costituita da **elementi**, spesso non squadri ma appena puliti, perché sovente nascosti alla vista.

La disposizione prevede normalmente una trama di piccola e una di grande orditura, pressoché ortogonali e formate con elementi caratterizzati da un semplice comportamento, a parte le incavallature, del tipo a trave appoggiata su due o più appoggi.

Le **incavallature** o **capriate**, impiegate come orditura primaria per le luci maggiori, sono invece strutture con un comportamento più complesso, che si avvicina a quello delle strutture reticolari (con preminenti sollecitazioni assiali) pur mantenendo, nei singoli elementi, anche sollecitazioni a taglio e flessionali.

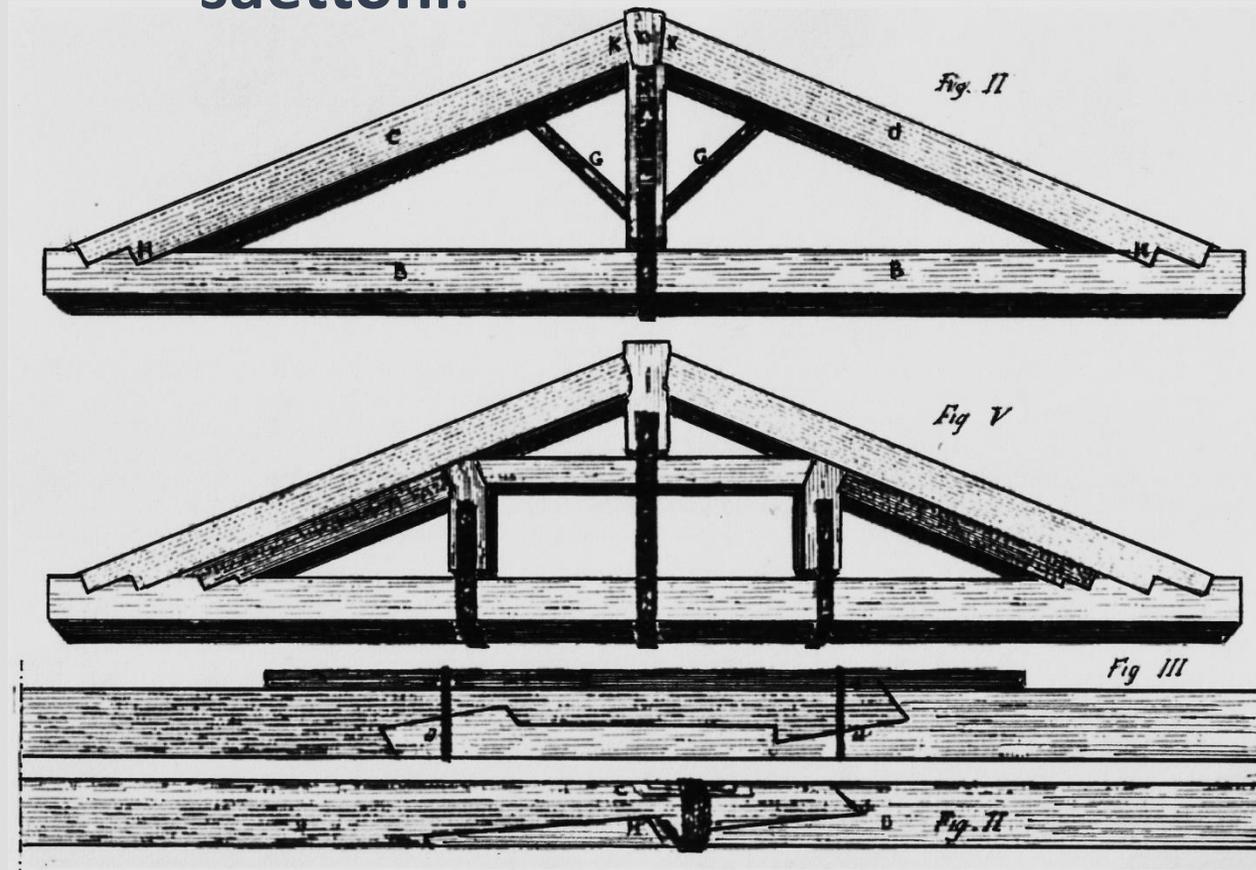


Per le **capriate** si ha un campionario di modelli particolari, difficilmente definibili, per la grande varietà che nel corso del tempo, le tecniche e le tradizioni costruttive locali hanno realizzato.

Si deve cominciare con lo schema classico che, per essere stato già utilizzato allo stesso scopo nei vecchi manuali, era certo molto diffuso e ben presente alle menti dei costruttori, almeno di questi ultimi secoli.

Ai fini specifici di questa trattazione si analizzeranno solo alcune varianti significative.

Partendo dallo schema classico di una **capriata** formata da due **travi (puntoni)** inclinate come le falde del tetto che sostengono, un elemento verticale posto in mezzeria tra di esse (**monaco**), una trave orizzontale (**catena**) su cui appoggiano i puntoni e altri due elementi obliqui disposti tra puntoni e monaco, detti **saettoni**.



L'immagine mostra due classici esempi di capriata, semplice e alla palladiana. In basso sono illustrati due sistemi di giunzione per ottenere una catena da utilizzarsi per grandi luci 8 - 15 metri (da Masi, 1788).



Considerando solo i **due puntoni appoggiati** reciprocamente si ottiene una **struttura**, riconducibile allo schema statico dell'arco a tre cerniere, sottoposta a carichi, generalmente verticali, distribuiti con la cadenza dei travicelli.

Le sollecitazioni dei due elementi sono allora sia di flessione che di compressione (pressoflessione) e le spinte sugli appoggi presentano una componente orizzontale.

La funzione della **catena**, oltre che di accogliere le **teste dei puntoni** distribuendone il carico sul muro sottostante, è quella di annullare, congiungendo gli estremi opposti dei puntoni, la componente orizzontale della spinta, si **verifica a tensoflessione**.



Elemento essenziale alla stabilità della capriata è la presenza del **monaco**, che con una staffa metallica ancorata sui “fianchi” assolve perfettamente al compito di riportare parte del suo peso alla chiave dell'arco a tre cerniere, ovvero alla testa dei due puntoni, inoltre la staffa che cinge la catena evita lo svergolamento della struttura.

Ha, inoltre, il compito di fornire un appoggio ai due **saettoni**: questi costituiscono un appoggio intermedio per il puntone e, lavorando essi stessi a compressione, scaricano, sul monaco, parte del carico che farebbe inflettere il puntone.

Il monaco, che risulta sottoposto a trazione per le forze simmetriche trasmesse dai saettoni, trasporta queste ultime ai puntoni, come sforzi assiali, riducendo la luce libera d'inflessione.



I **saettoni**, per poter meglio esercitare la loro funzione **rompitratte** del puntone, al fine di ridurre la luce libera d'inflessione, dovrebbero innestarsi il più possibile vicino alla mezzeria di quest'ultimo, nel migliore dei casi l'appoggio si innesta a un terzo.

In taluni casi si preferisce realizzare le due saette con un solo legno che assume la denominazione di “**controcatena**”; tipico nella capriata detta alla “**palladiana**”.

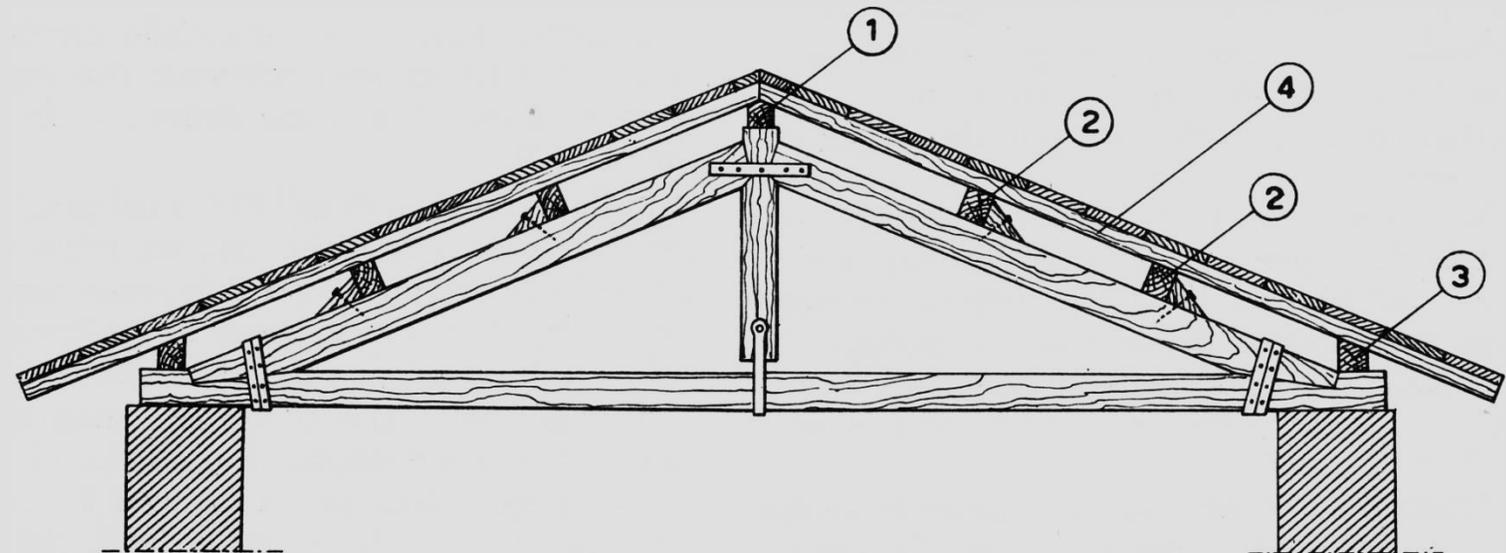
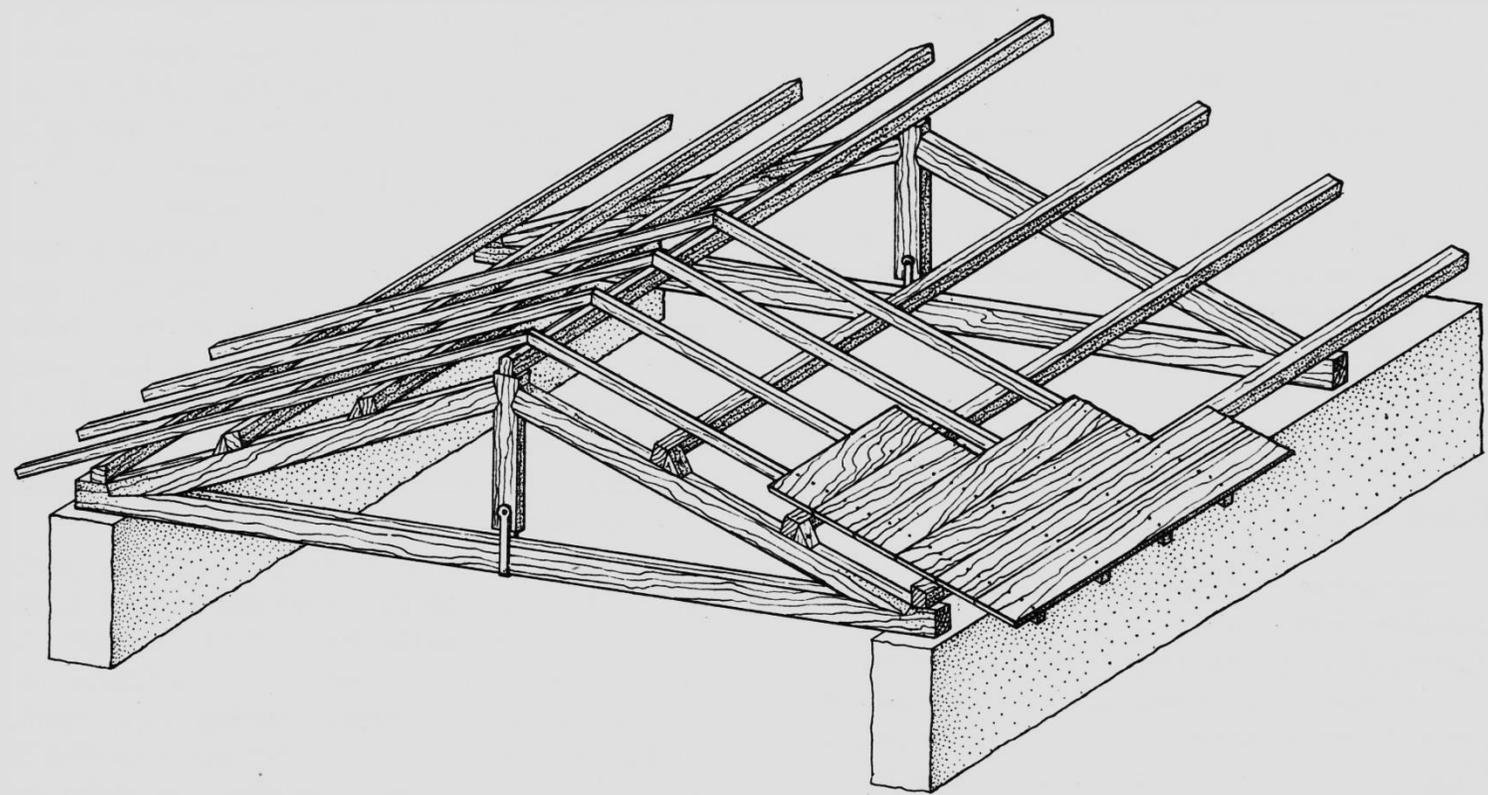
Questa struttura utilizzata su luci notevoli presenta due elementi inclinati, puntoni, e due orizzontali che hanno funzioni di tirante quello inferiore e quello superiore di puntone.

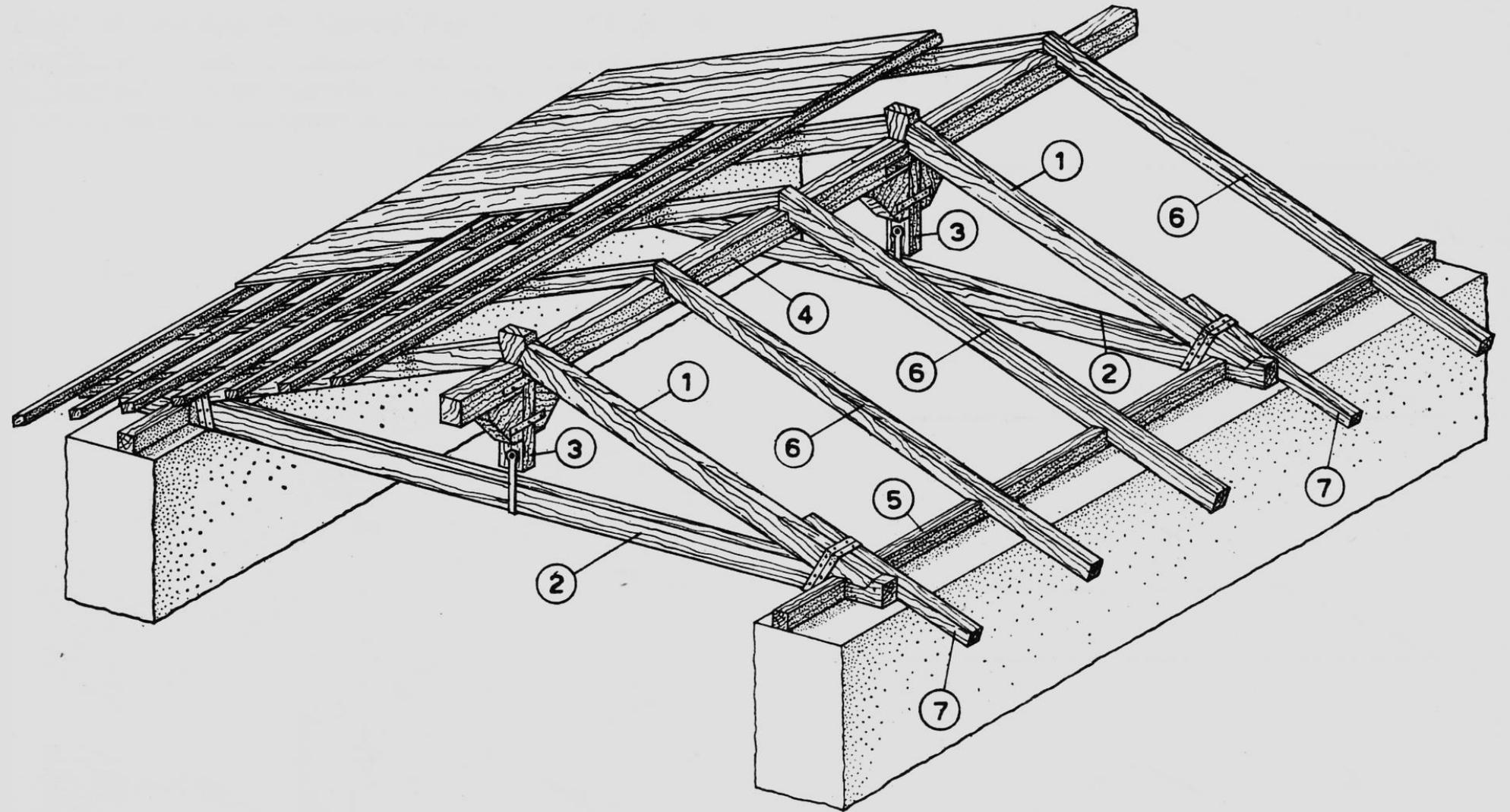
Vista assonometrica e sezione trasversale di una capriata semplice, senza saette, sulla quale poggiano gli arcarecci, i travicelli e il tavolato ligneo.

Gli arcarecci sono fissati con gattelli per evitare il scivolamento degli stessi lungo il puntone.

Legenda:

- 1 trave di colmo,
- 2 arcarecci,
- 3 trave di bordo,
- 4 travicelli.

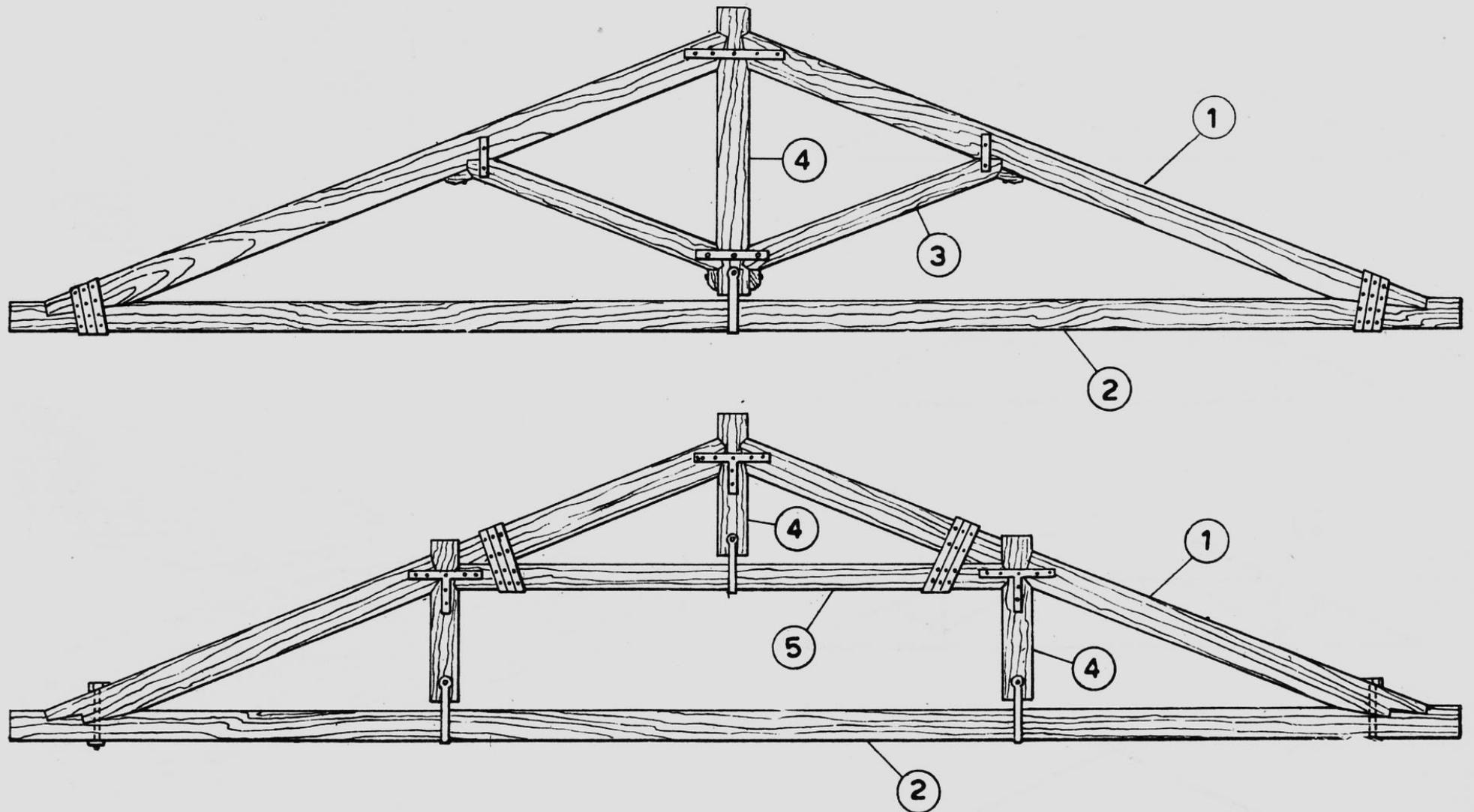




Vista assometrica di una struttura di copertura con capriate semplici e falsi puntoni.

Legenda:

1 puntone, 2 catena, 3 monaco, 4 trave di colmo, 5 trave di bordo, 6 falso puntone, 7 beccatello di gronda.

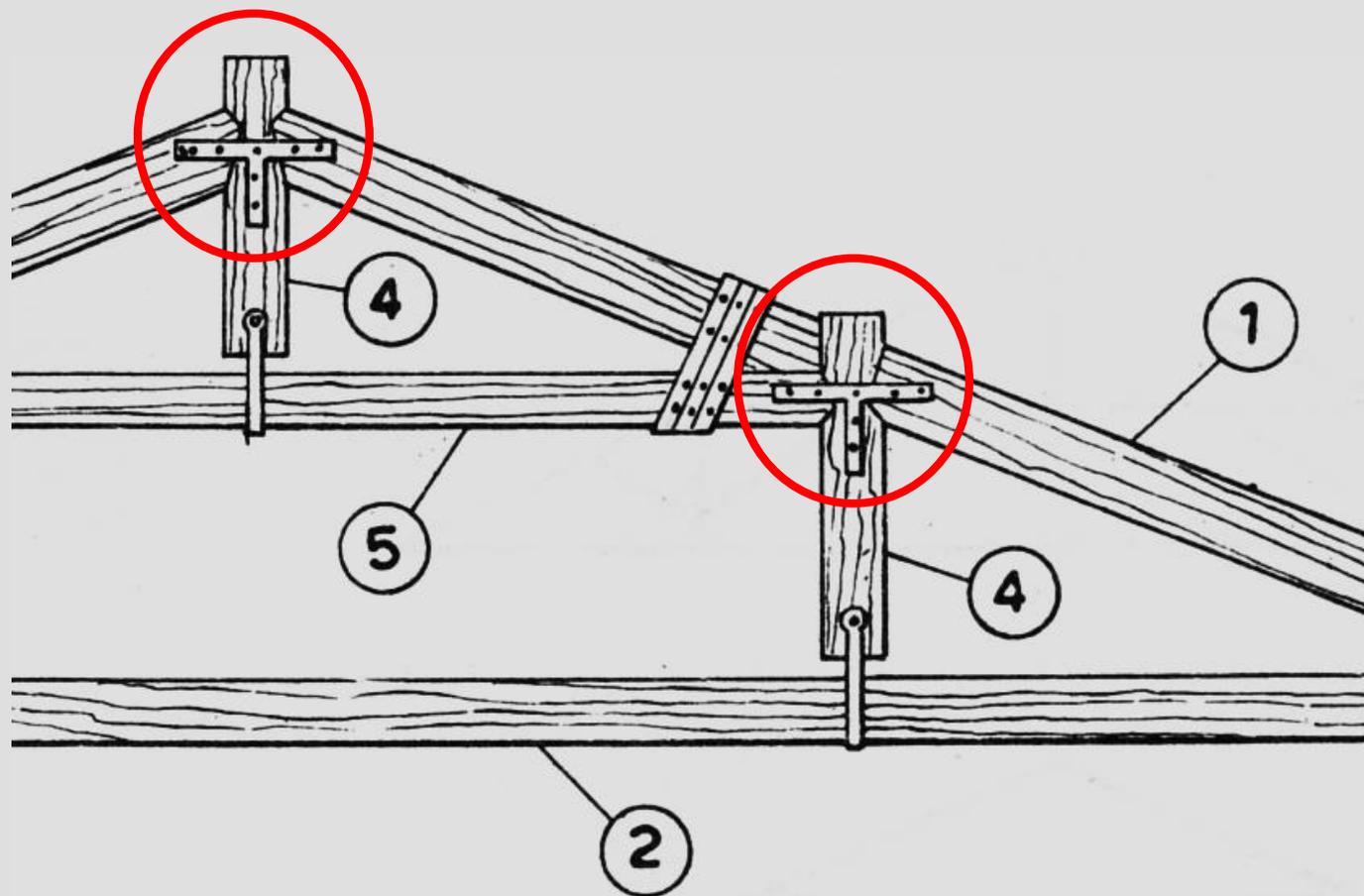


Tipi di capriate in legno:

- a) con saettoni,
- b) alla "palladiana".

Legenda: 1 puntone, 2 catena, 3 saettone, 4 monaco, 5 controcatena.

In questo caso, per le **connessioni** collegano, oltre al **monaco centrale (4)**, anche **due monaci laterali (4)**; questi da una parte ricevono l'estremità della **controcatena (5)** e dall'altra un **puntone complementare (1)**. L'aggiunta di questi elementi ha lo scopo di impedire lo scorrimento verso il basso.



Questa soluzione permette di utilizzare pezzature di legname di minor lunghezza, per i puntone che possono essere spezzati all'altezza dei monaci inferiori e le giunzioni ad incastro per la catena all'altezza di quest'ultimi.



In alcune **capriate**, rare in Italia, l'elemento verticale centrale si appoggia sulla catena, anziché esserne distanziato, e per distinguerlo dal monaco, che ha forma simile ma funzione completamente diversa, è denominato “colonnello”.

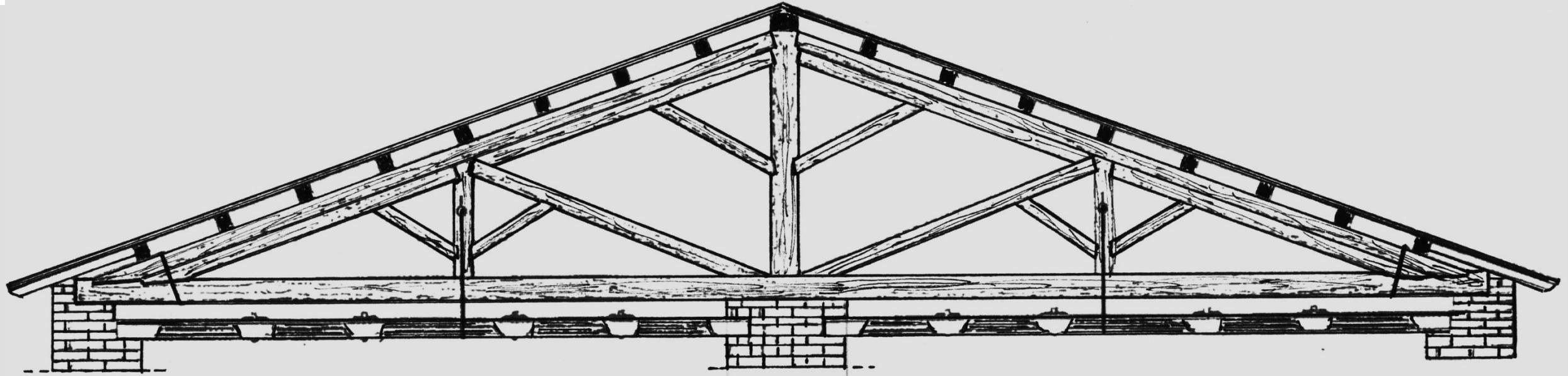
In questo caso, lo schema statico interpretativo è diverso: i puntoni possono vedersi come **due travi appoggiate** che, se ben collegate al colmo, possono ritenersi non spingenti. La catena non è più tale ma deve essere considerata una **trave appoggiata**, con un carico concentrato in mezzeria, che richiede una sezione evidentemente maggiore.

Anche per questa tipologia strutturale, più usata nei paesi nordici per tetti molto inclinati, ci sono molteplici varianti: più colonnelli e di sottopuntoni diversamente disposti.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



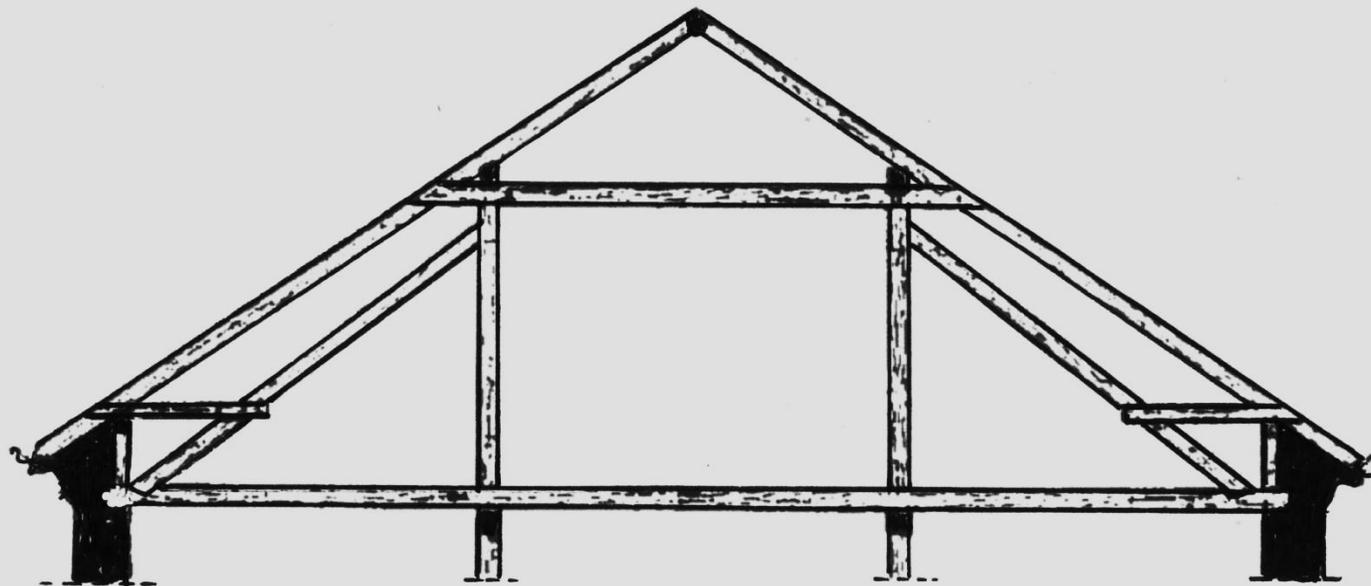
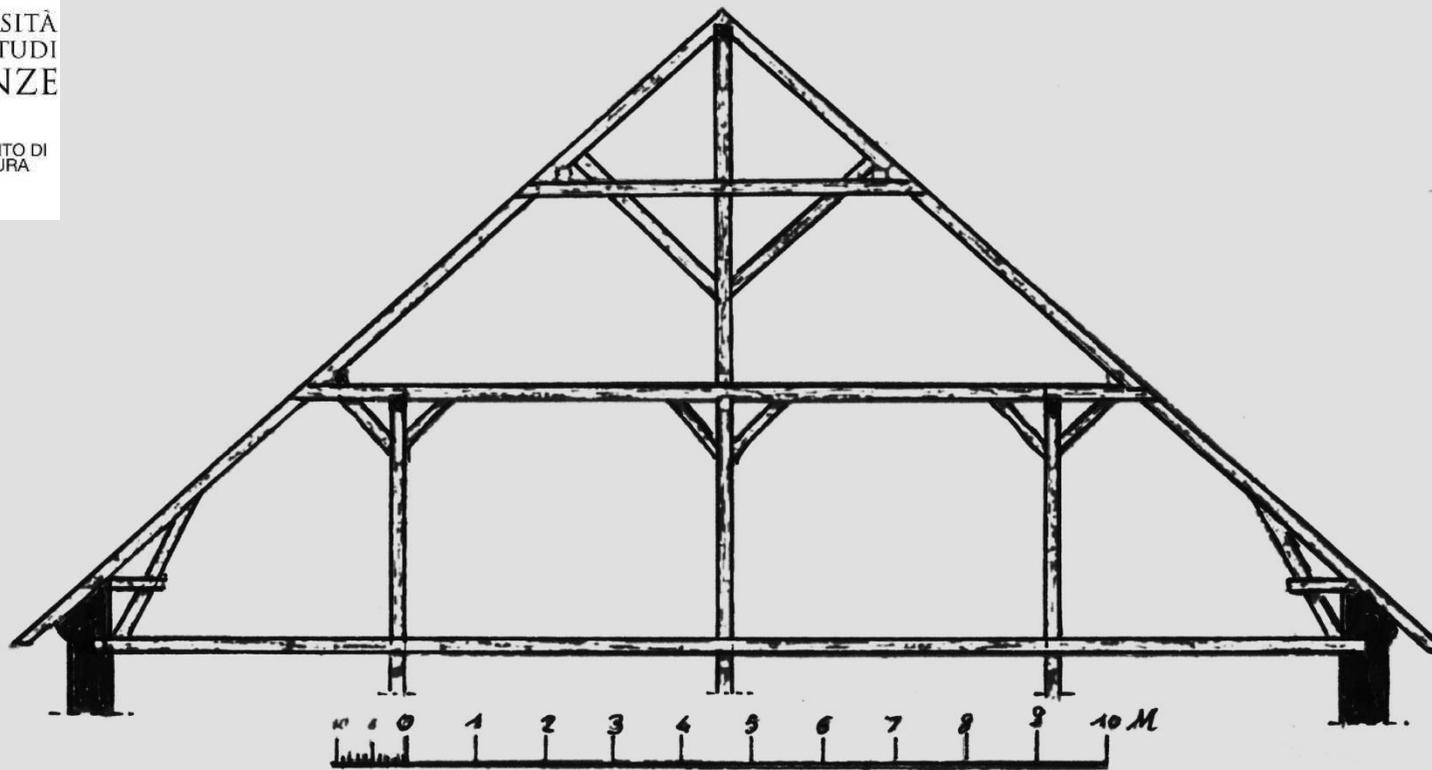
Nello schema si noti la presenza del muro centrale sfruttato come appoggio intermedio. In questo caso la lunga catena potrebbe essere composta da due elementi non necessariamente connessi per resistere a flessione ma semplicemente collegati per sostenere lo sforzo normale. Al dritto centrale spetta allora il nome di "colonnello" e non di "monaco" quest'ultimo non si deve mai appoggiare sulla catena; (da Rondelet, 1831 [1802]).



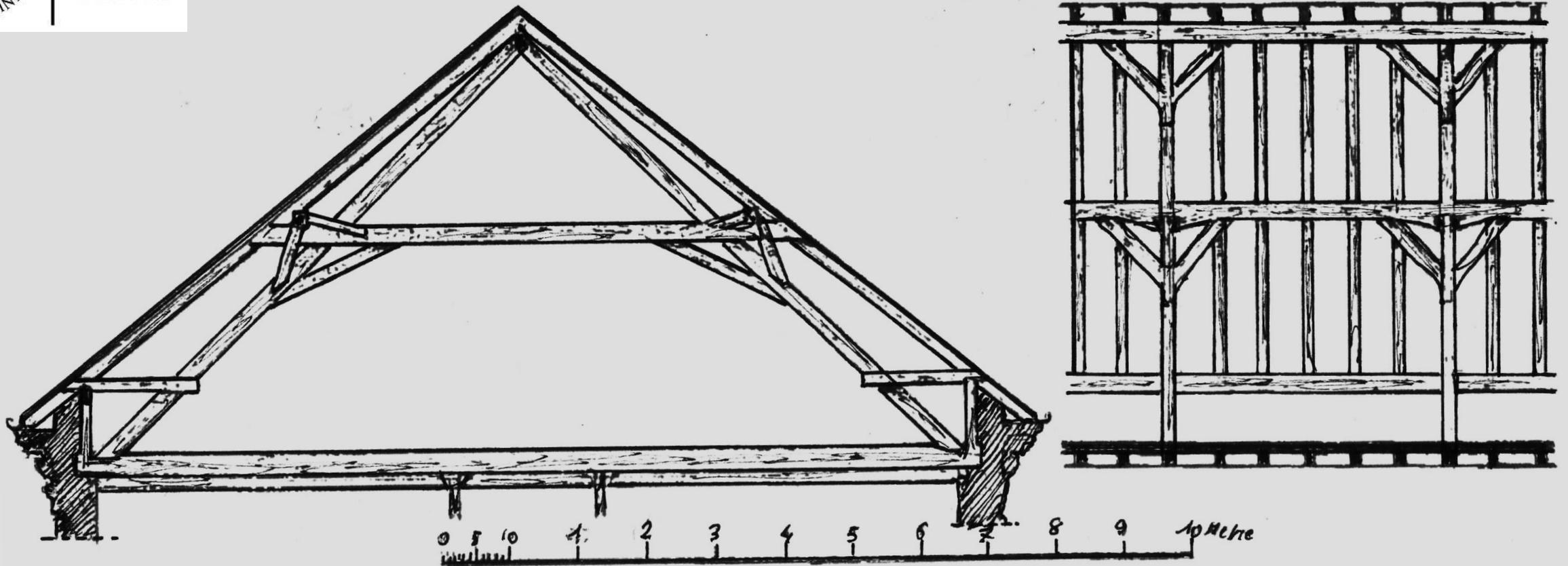
Spesso si tratta di **strutture** che, seppur simili, nella forma, alle **capriate tradizionali**, sono invece sostenute da **pilastrini** o **paretine** in corrispondenza dei **colonnelli**.

Poiché tali **pilastrini** interferiscono con l'utilizzazione dei sottotetti, talvolta si eliminano ricorrendo a varianti con schemi che si approssimano alle armature pensili, ma la cui ragione costruttiva è abbastanza diversa.

Si realizzano cioè strutture con sovrapposizione di più cavalletti semplici (a due o a tre aste), variamente inclinati e coincidenti in punti voluti, a costituire postazioni di forza o nodi di appoggio (naturalmente, i cavalletti producono spinte annullate dalle catene orizzontali).



Altri schemi di incavallature non tradizionali ma appoggiate anche su montanti intermedi. Impiegate soprattutto in zone molto nevose sono caratterizzate da una maggiore complessità dello schema strutturale della carpenteria. I nodi sono più rigidi consentendo la rinuncia ai diagonali mentre i montanti verticali consentono un migliore sfruttamento del volume del sottotetto (da Breyman, 1927 [1849]).



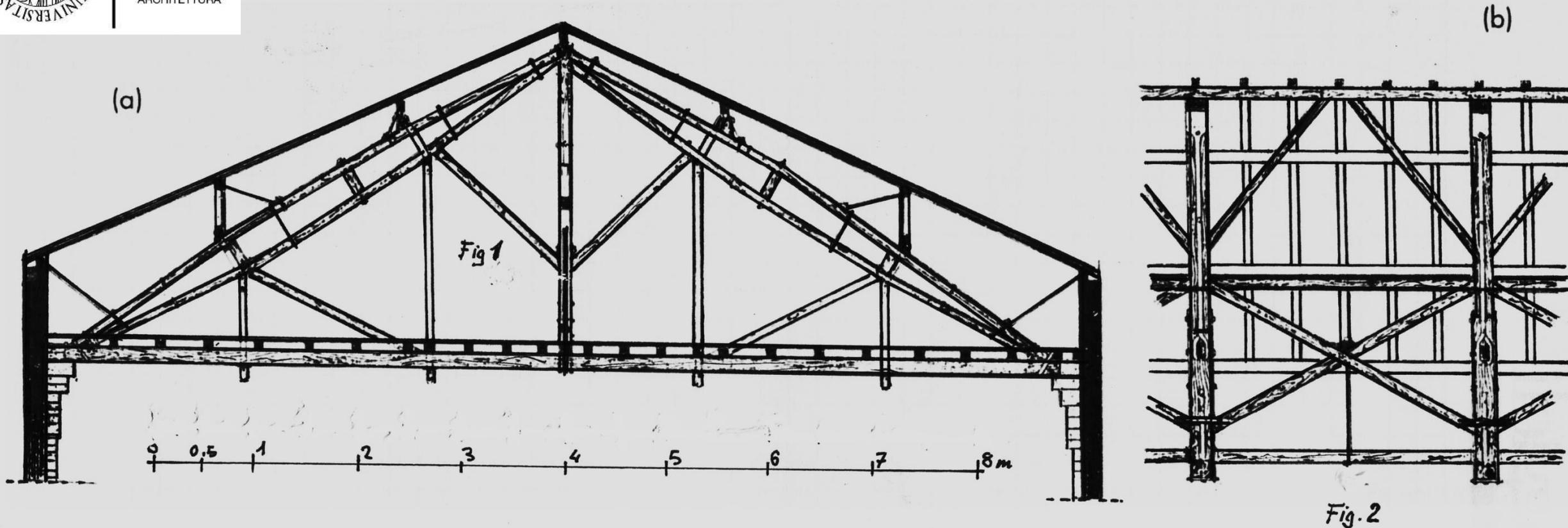
Sezione trasversale e longitudinale di una incavallatura formata da cavalletti triangolari di varie dimensioni. Al cavalletto principale sono sovrapposti i minori per costituire gli appoggi delle terzere longitudinali sul cui scaricano i correnti (da Breymann, 1927 [1849]).



Una variante ottocentesca della capriata tradizionale è rappresentata dall'uso dei **contraffissi**, questa evoluzione nasce dall'esigenza di irrobustire i puntoni inflessi raddoppiando il puntone con una ulteriore asta parallela e ben collegata, talvolta posta in aderenza e in altri casi opportunamente distanziata con opposti elementi trasversali.

In alternativa al raddoppio invece, si utilizzava ancora un elemento corto trasversale per realizzare un appoggio intermedio del puntone che si faceva scaricare come le travi armate, su una fune metallica ancorata agli estremi del puntone.

Lo sviluppo di questa, innovazione, possibile solo dall'Ottocento, consente di realizzare una struttura molto leggera per sfruttare una maggiore altezza utile dell'ambiente.



Schema di capriata di concezione ottocentesca che rappresenta una razionale evoluzione degli schemi delle capriate tradizionali (a). Si noti il distacco tra la copertura e la struttura portante, la realizzazione dei puntoni con travi composte, i numerosi saettoni e l'impiego di leggere staffature metalliche invece dei monaci dove non strettamente necessari. Nella sezione trasversale (b) si osservano invece le numerose controventature impiegate per stabilizzare le incavallature nel loro piano verticale (da Breymann, 1927 [1849]).



Una ulteriore evoluzione della struttura tradizionale della capriata lignea si ottiene unendo la tecnologia storica con i materiali innovativi dell'Ottocento, la **ghisa** e l'**acciaio**.

Questo connubio da origine alla capriata “**Polonceau**” evidenziando i ruoli dei **singoli elementi**, rispettivamente **tesi** e **compressi**.

Questo tipo di comportamento strutturale, per il quale gli elementi componenti sono sollecitati quasi esclusivamente da sforzi assiali, caratterizza infatti le successive capriate metalliche, distinguendole da quelle lignee, composte da elementi sollecitati anche a flessione.

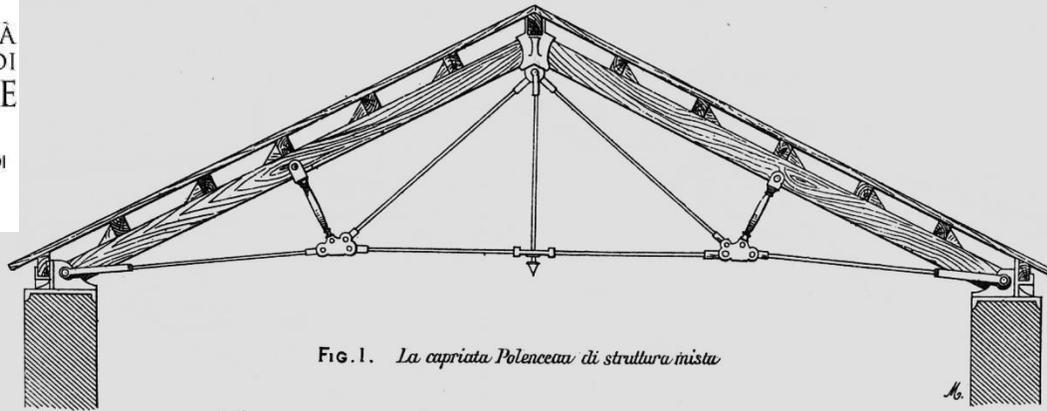


FIG. 1. *La capriata Polonceau di struttura mista*

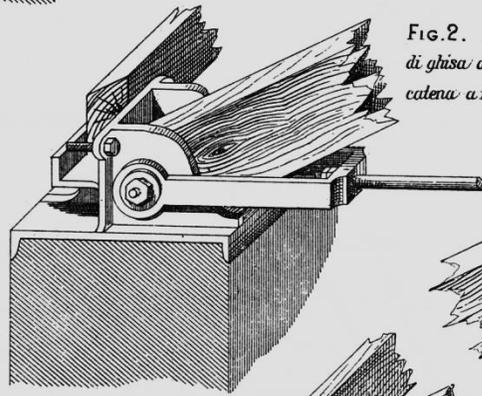


FIG. 2. *L'attacco con scatola di ghisa del piede del puntone con la catena a mezzo di staffa*

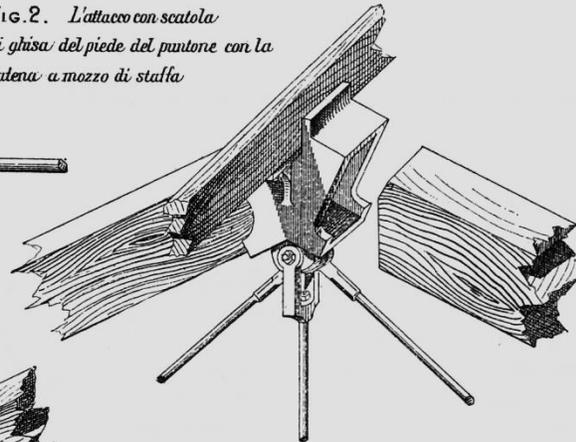


FIG. 3. *L'attacco del colmo coi tre tiranti*

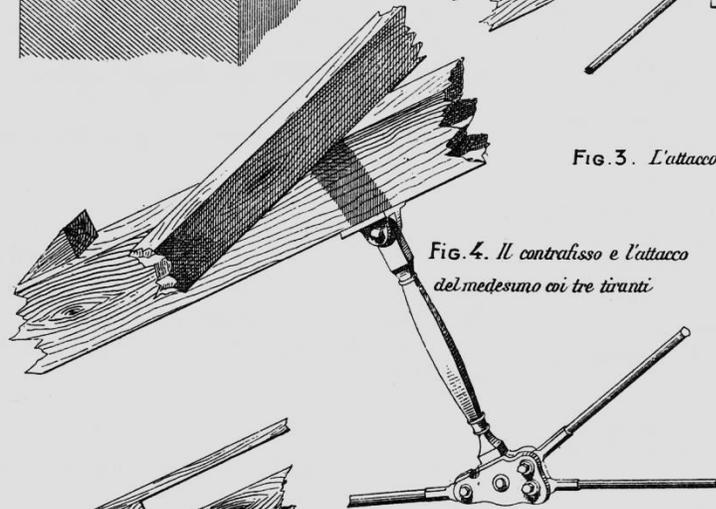


FIG. 4. *Il contraffisso e l'attacco del medesimo coi tre tiranti*

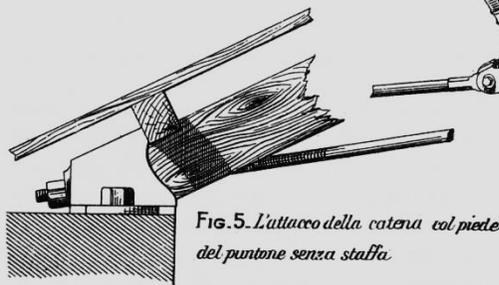


FIG. 5. *L'attacco della catena col piede del puntone senza staffa*

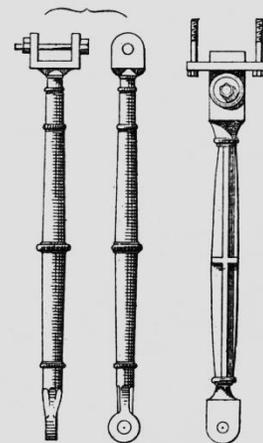


FIG. 6.7. *Alcune forme di contraffissi*

La “Polonceau” costituisce una accezione moderna (XIX secolo) delle capriate tradizionali cui conserva lo schema geometrico realizzato però con elementi metallici. Gli elementi soggetti a compressione, e quindi ad eventuali sbandamenti, sono realizzati in ghisa con una discreta rigidità flessionale; quelli tesi sono invece ottenuti con elementi di acciaio, filiformi e perciò leggeri ma rigidi solo a trazione (da Misuraca, 1916).



L'appoggio delle strutture lignee sui muri portanti è caratterizzato da due difficoltà essenziali: l'ancoraggio al muro e la preservazione degli elementi lignei.

L'ancoraggio è necessario non solo per assicurare l'appoggio e la stabilità, ma anche perché si verifichi l'auspicata collaborazione fra strutture verticali e orizzontali.

Importanza particolare, molto raccomandata dalla manualistica, era dedicato all'appoggio delle capriate sulla struttura muraria questo avveniva con l'uso di mensole, in legno o pietra, che a loro volta poggiavano su un dormiente ligneo, collocato all'interno della muratura.

Questa precauzione era necessaria per evitare carichi concentrati e il contatto con il materiale lapideo o laterizio e la stessa malta.



I collegamenti tra gli elementi della capriata erano affidati prioritariamente agli incastri operati nel vivo del legno e, solo in alcuni casi o per parti di secondaria importanza, a pezzi ausiliari.

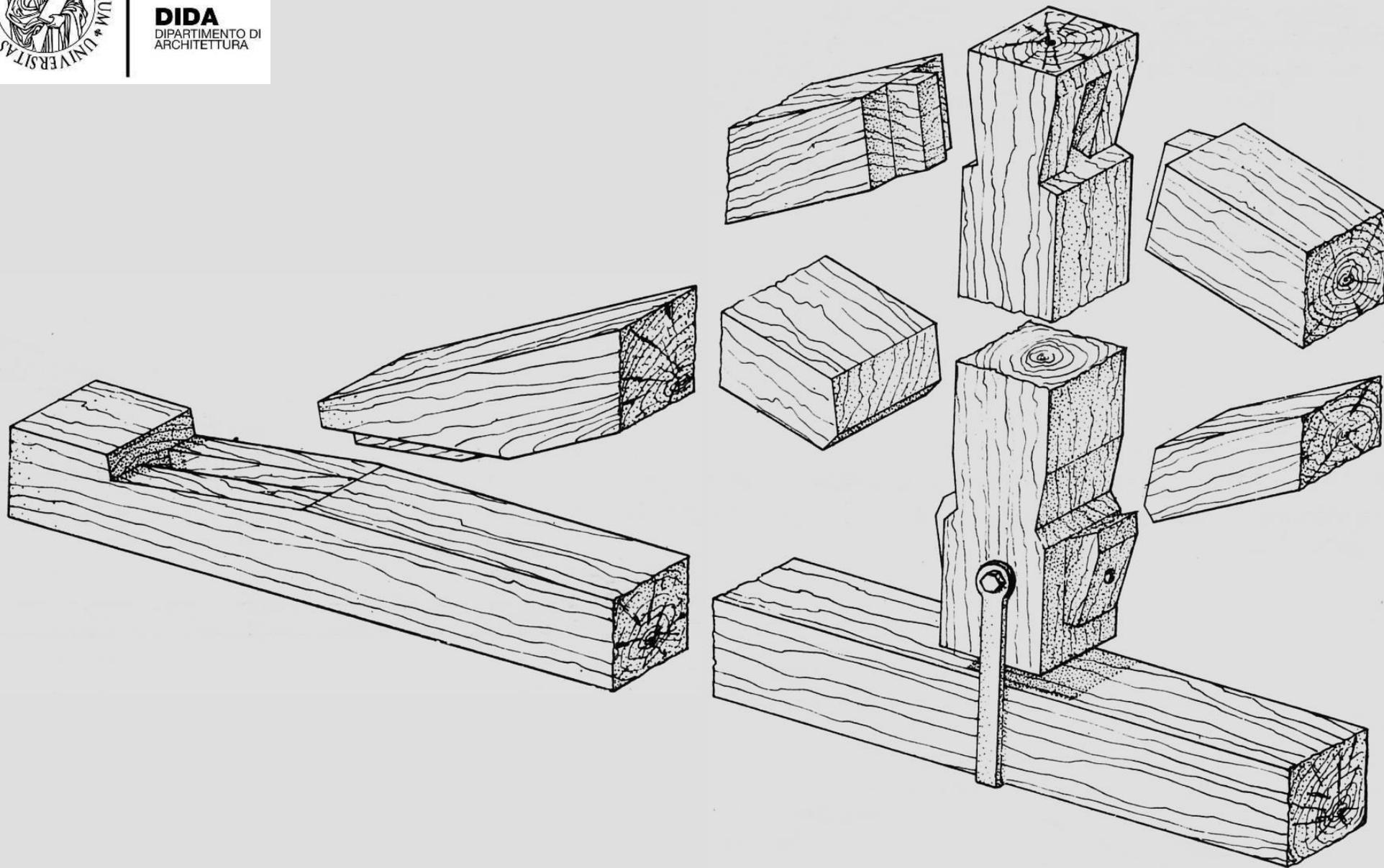
Tra questi, si possono senz'altro ricordare le **staffature (morse) metalliche**, realizzate in alternativa anche con avvolgimenti di **lamierino di ferro chiodati (reggette)**, le **ganasce lignee (tavolette disposte lateralmente e chiodate)** e i **gattelli di legno**, a loro volta chiodati o legati con apparecchi metallici, le **zeppe** a forzare per bloccare elementi congiunti e via dicendo.

Questi incastri riguardano, in maniera particolare il monaco, sul quale gravano i puntoni e gli eventuali saettoni e le testate della catena, dove si incastrano i puntoni, vedi immagini seguenti.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



Particolari del monaco e dell'incastro fra la catena ed il puntone. I collegamenti tra gli elementi della capriata erano affidati prioritariamente agli incastri operati nel vivo del legno. Si preferiva, quindi, lavorare gli elementi stessi agli estremi, intaccando il legno per ricavare le scasse necessarie agli incastri; tali connessioni fidavano sulla resistenza della sezione residua e sull'attrito fra i pezzi stessi incrementato dalle forze assiali trasmesse dai carichi.

BULLONI IN ACCIAIO Φ 10 mm

BULLONI IN ACCIAIO Φ 10 mm

STAFFA IN ACCIAIO SPESS. 5 mm

PIASTRA IN ACCIAIO SPESS. 5 mm

PUNTONE LIGNEO

MONACO LIGNEO

CATENA LIGNEA

Particolare del consolidamento di una capriata lignea con la messa in opera di staf-fature metalliche nel monaco. La staffa superiore serve a creare nel nodo la continuità fra i puntoni e la testata del monaco, mentre quella inferiore serve a evitare pericolose rotazioni della struttura.