ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΕ/Τμήμα Δυτ. Ελλάδος

24ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ - ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ 2018

Στερέωση και Αποκατάσταση Ξύλινων Στοιχείων σε Μνημεία και Ιστορικά Κτήρια

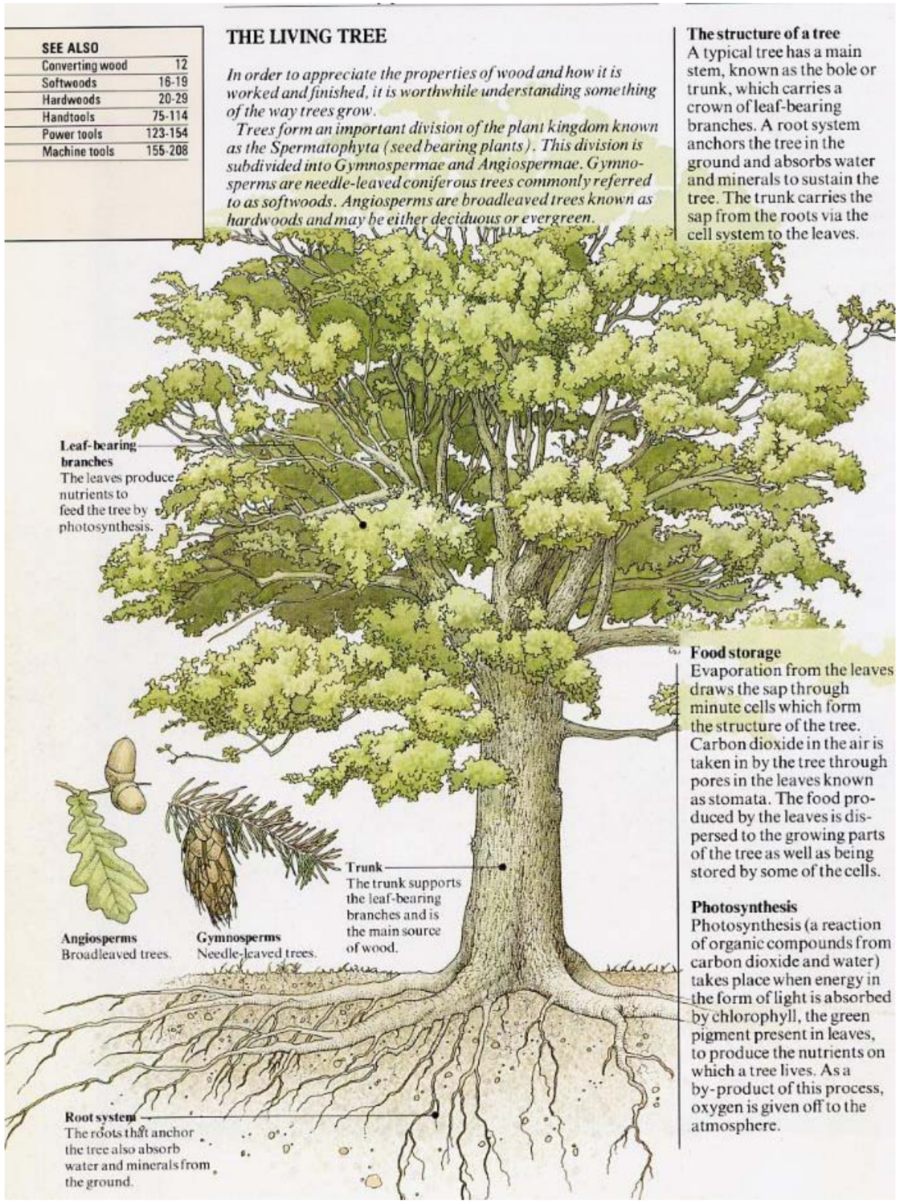
Πέτρος Μ. Κουφόπουλος, Καθηγητής. Τμήμα Αρχιτεκτόνων Παν/μίου Πατρών

Ενδεικτική Βιβλιογραφία

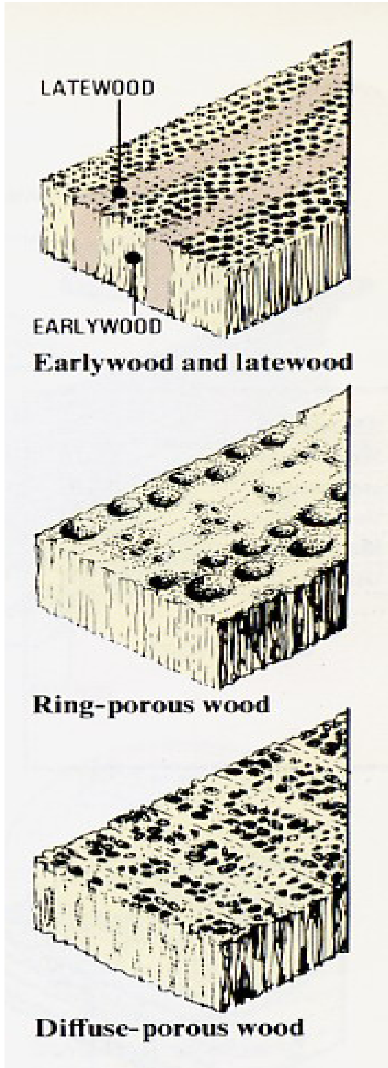
- B. Martin & C. Wood (Ed.), *TIMBER*, English Heritage – Practical Building Conservation, Ashgate, 2012
- G. Tampone, *Il Restauro del Legno*, Vol.1, Firenze, 1989
- G. Tampone, *Il Restauro delle Strutture di Legno*, Milano 1996
- G. Tampone, *Mechanical Failures of the Timber Structural Systems*, Proceedings of ICOMOS IWC – XVI International Symposium, Florence, Venice and Vicenza, 2007
- E. Tsakanika, *Byzantine and Post-Byzantine Historical Timber Roofs in Greece. Typical Failures, Misunderstanding of their Structural Behabiour, Restoration Proposals*, Proceedings of ICOMOS IWC – XVI International Symposium, Florence, Venice and Vicenza, 2007
- Άρθρα από τον ιστότοπο: www.buildingconservation.com
- Knut Einar Larsen & Nils Marstein, *Conservation of Historic Timber Structures - An ecological approach,* Oslo 2016
- Luís Pinto, INVENTORY OF REPAIR AND STRENGTHENING METHODS - TIMBER, Master's Dissertation, Univ. Catalunya.
- J.Cramer-S.Breitling, *Architecture in Existing Fabric*, Ed. Birkhauser, 2007

Προέλευση εικόνων: Από τις ανωτέρω δημοσιεύσεις, το αρχείο του ομιλητή και το διαδίκτυο.

Το ξύλο στη φύση και ιδιότητες



Είναι ο συμπαγής, σκληρός, πορώδης και ινώδης δομικός ιστός που βρίσκεται στον κορμό, τους βλαστούς και στις ρίζες των δέντρων. Χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο για χιλιάδες χρόνια ως καύσιμο αλλά και ως δομικό υλικό.

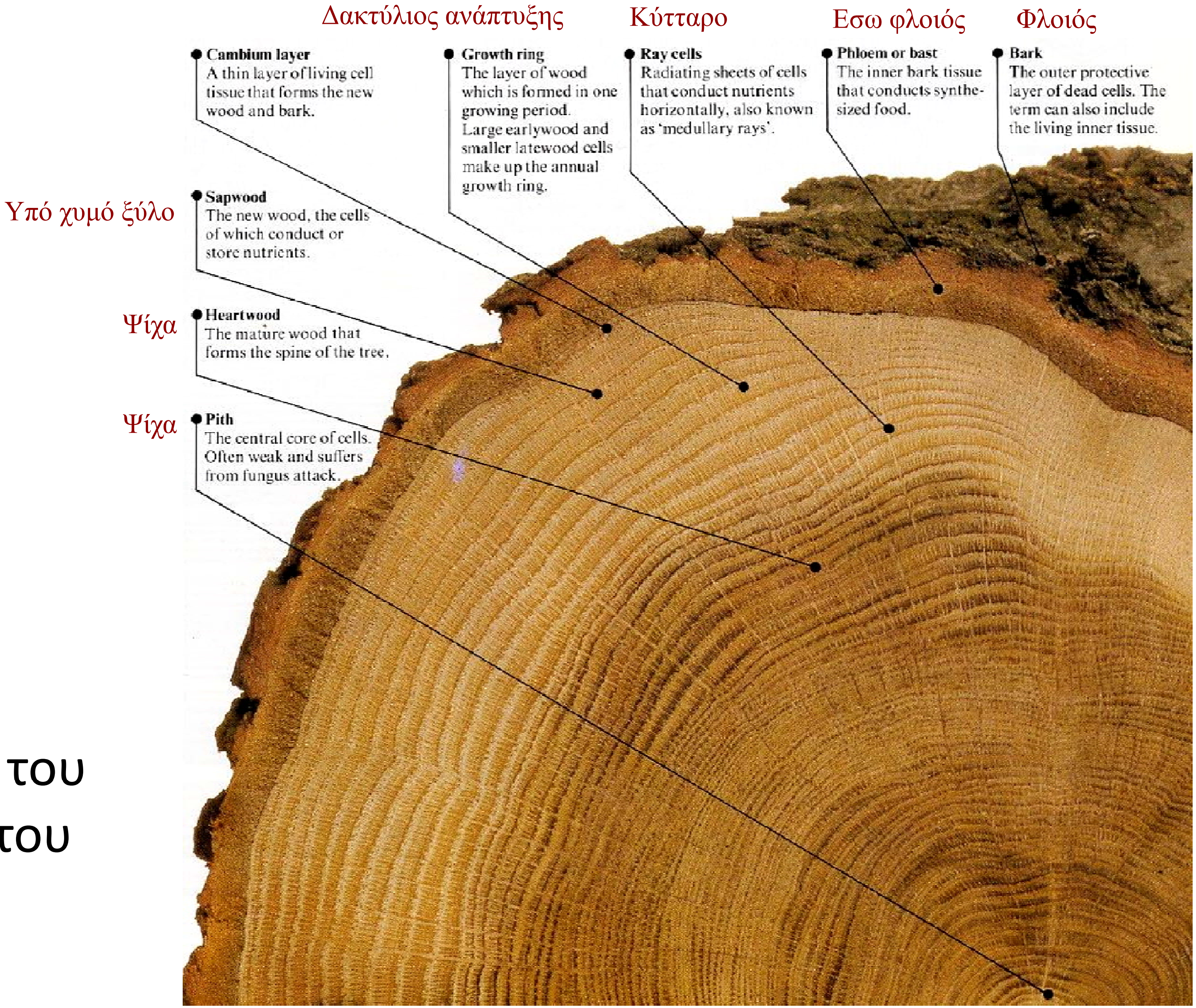


Υλοτόμηση την κατάλληλη εποχή, μεταφορά και ξήρανση

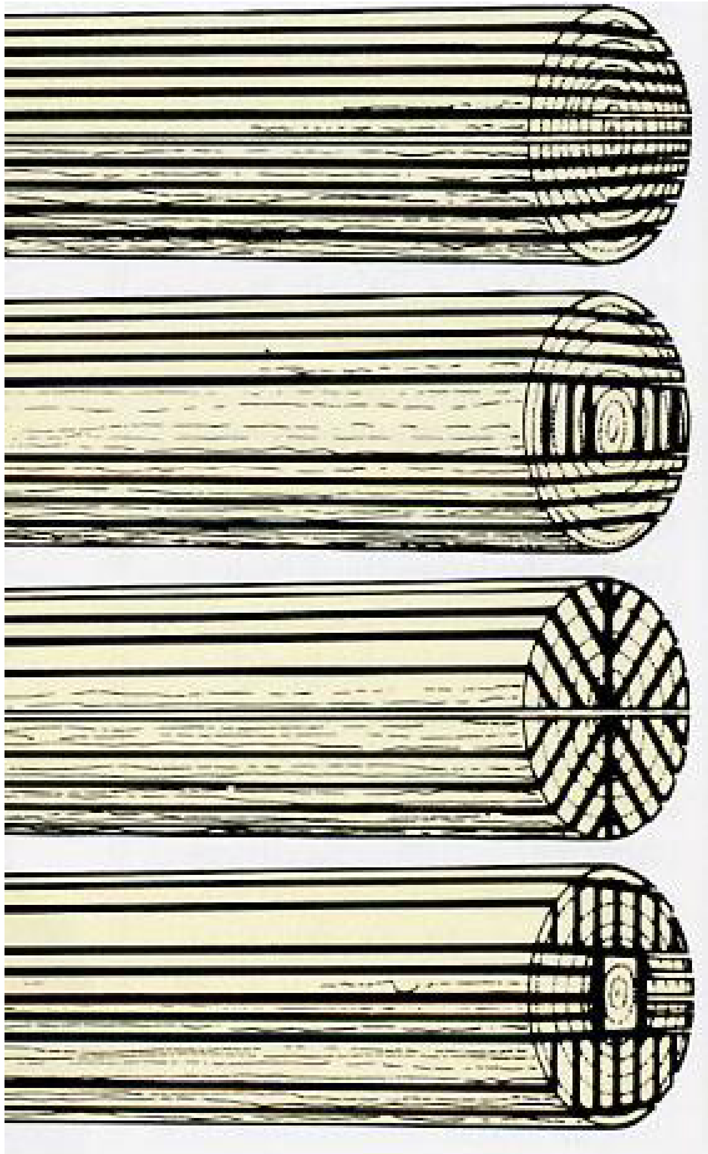
Συνιστώμενη περιεκτικότητα σε υγρασία:

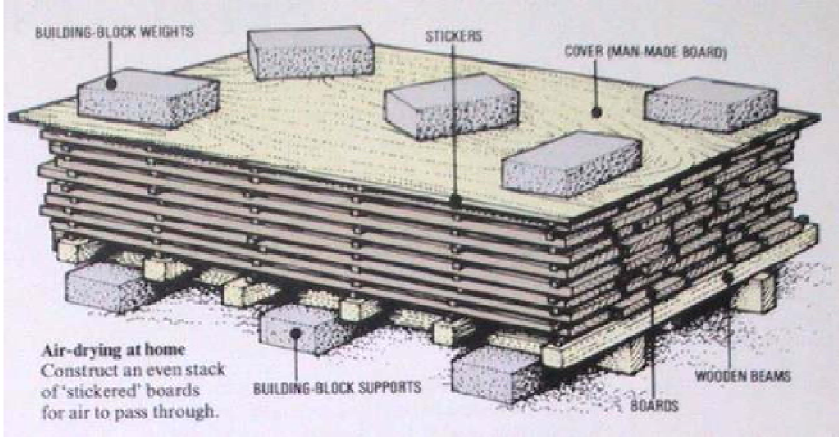
Για υπαίθριες κατασκευές	12-16%
Κουφώματα	10-12%
Έπιπλα – εσωτερικοί χώροι	7-9%

Τα μέρη του κορμού του δέντρου

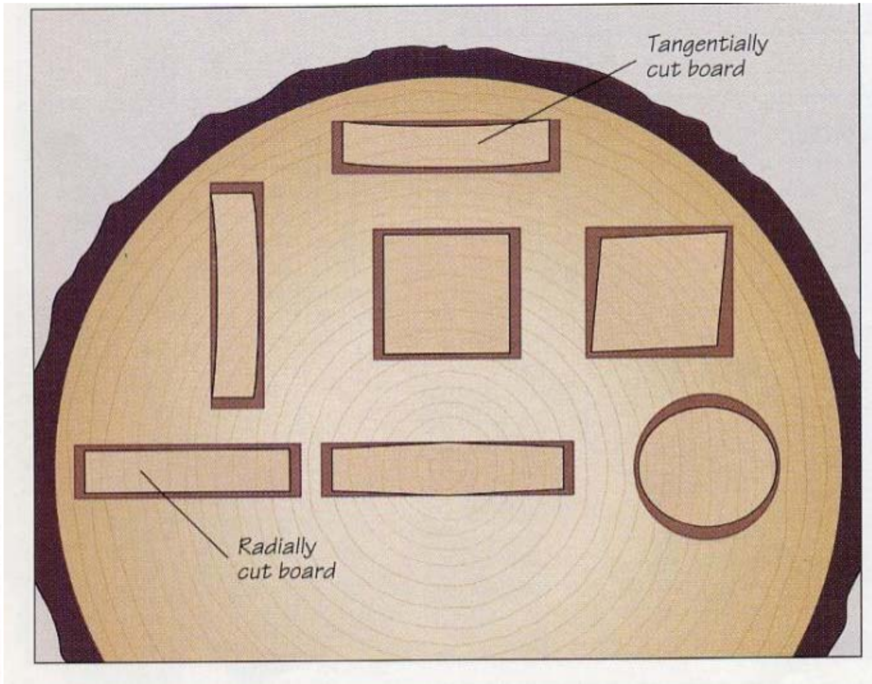


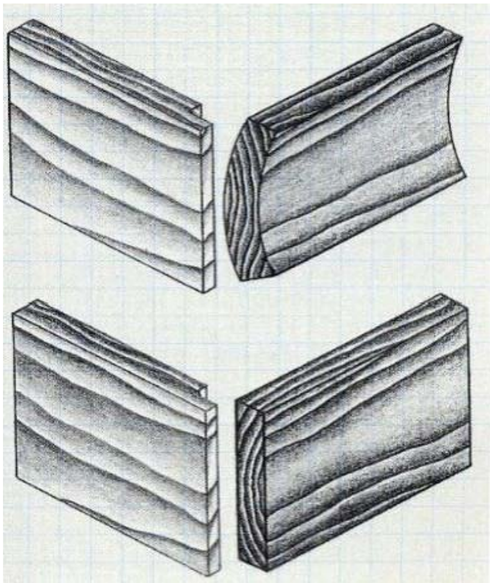
Το σχίσιμο του ξύλου στον καταρράκτη
& η αποθήκευσή του για ξήρανση



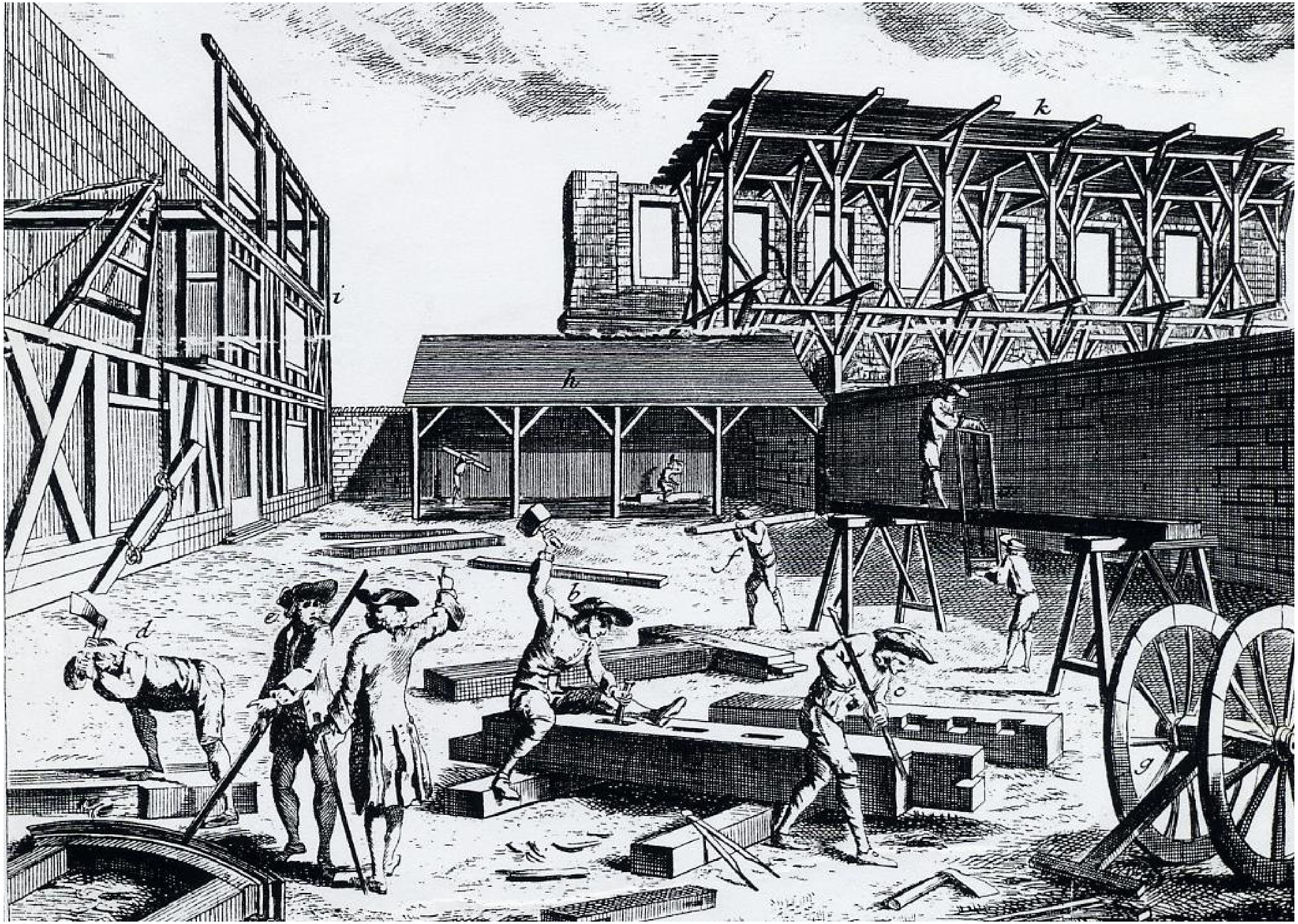


Παραμόρφωση ξήρανσης σε σχέση με τους δακτύλιους ανάπτυξης





Ελαττώματα του ξύλου λόγω κακής ξήρανσης και ακατάλληλης αποθήκευσης.



Φορείς από ξύλο στην ιστορική και παραδοσιακή δόμηση
& σύνθεση φορέων από γραμμικά στοιχεία

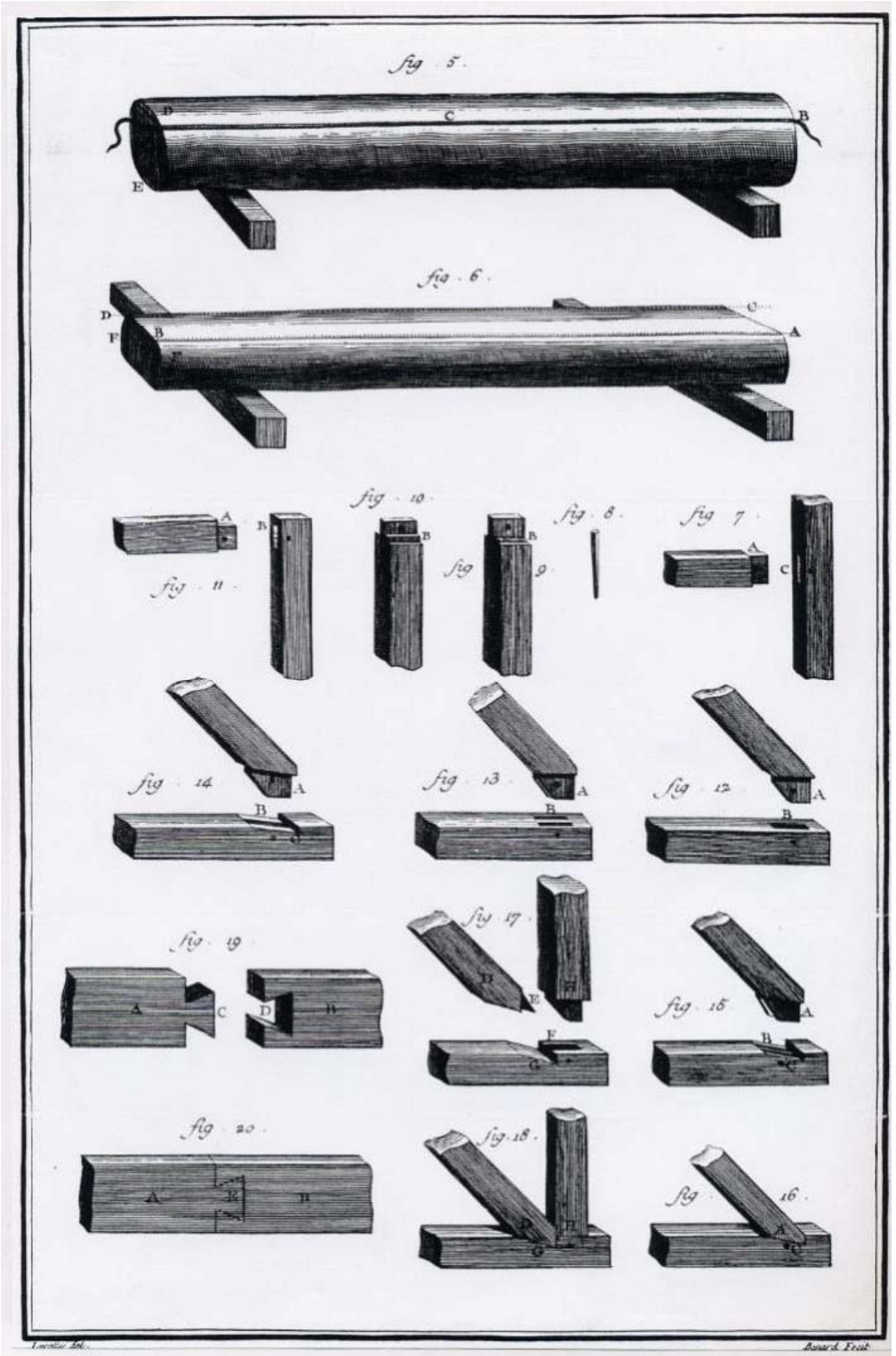


fig. 5.
fig. 6.
fig. 10.
fig. 8.
fig. 7.
fig. 11.
fig 9.
fig. 14.
fig. 13.
fig. 12.
fig. 19.
fig. 17.
fig. 15.
fig. 20.
fig. 18.
fig. 16.

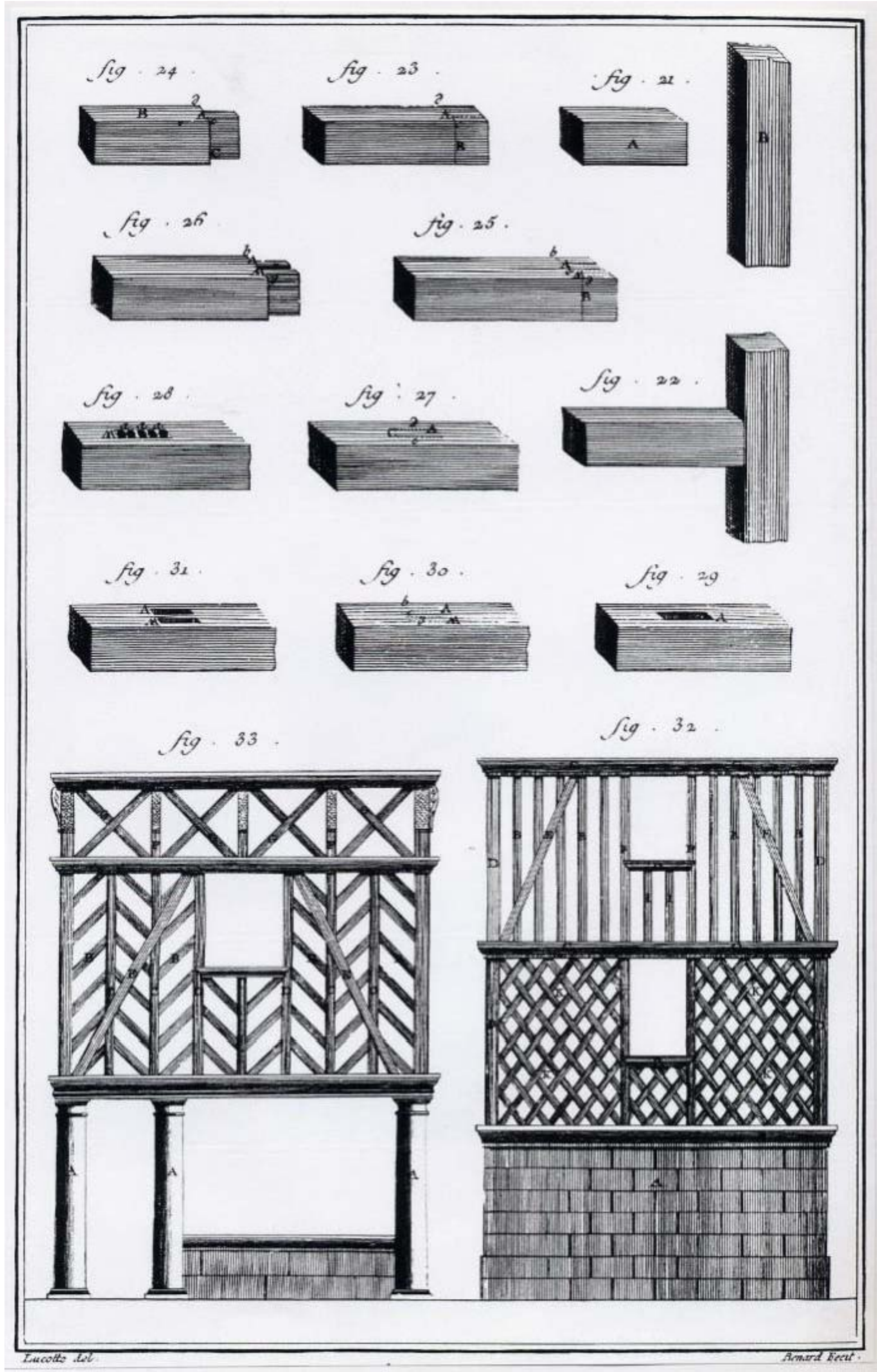


fig. 24.
fig. 23.
fig. 21.
fig. 26.
fig. 25.
fig. 28.
fig. 27.
fig. 22.
fig. 31.
fig. 30.
fig. 29.
fig. 33.
fig. 32.
Lucotte del.
Benard Fecit.

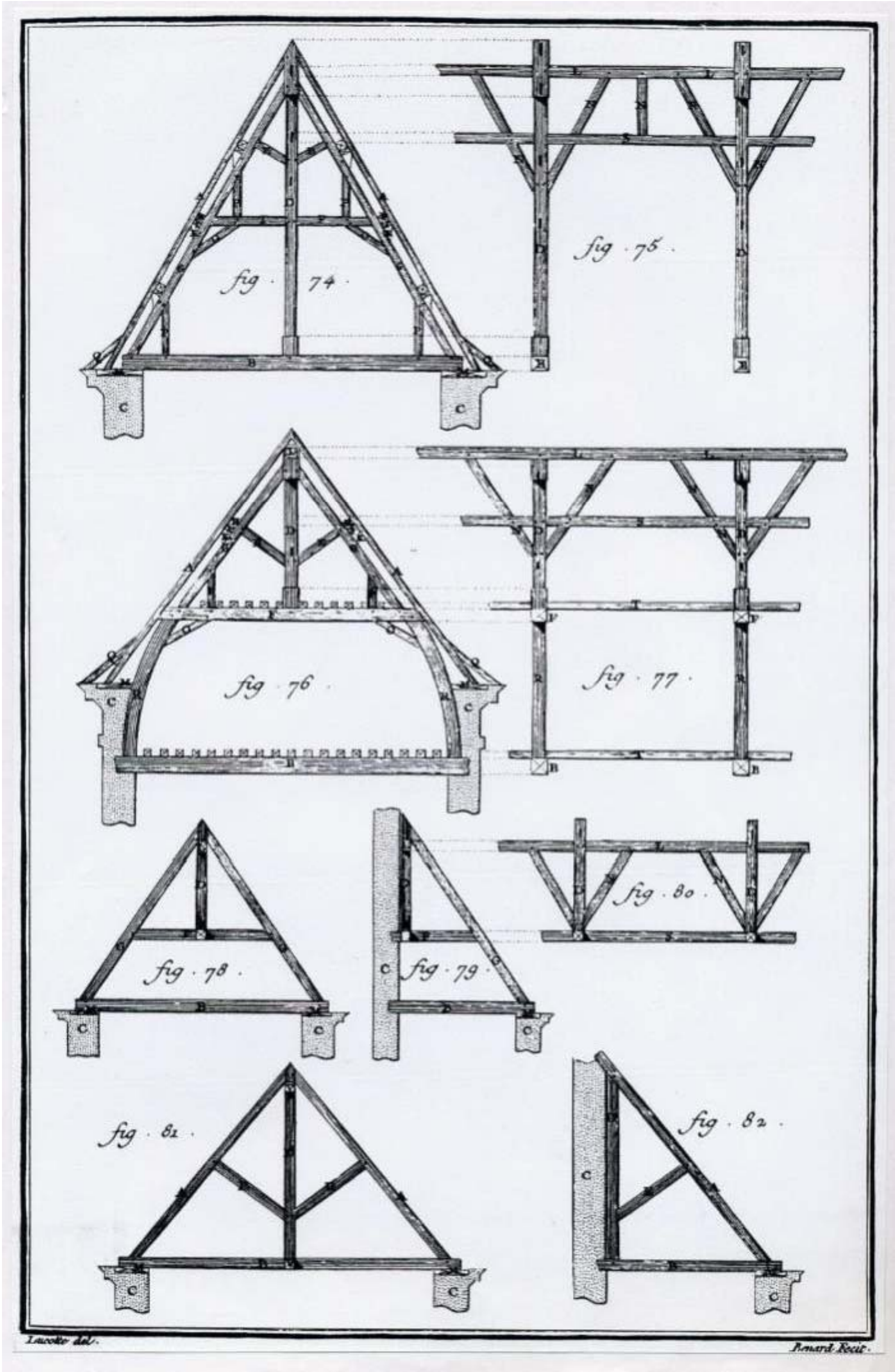
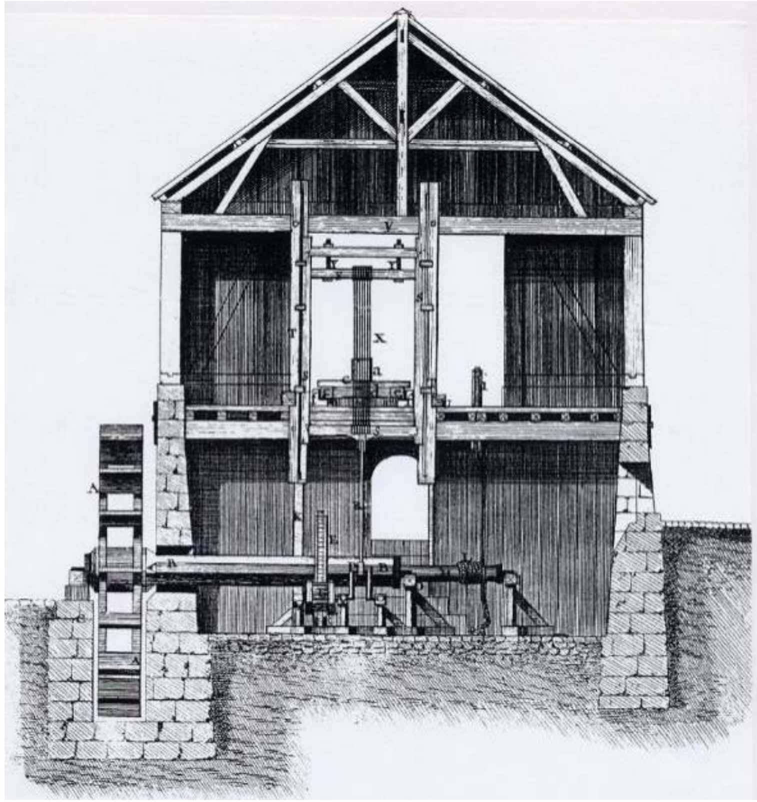
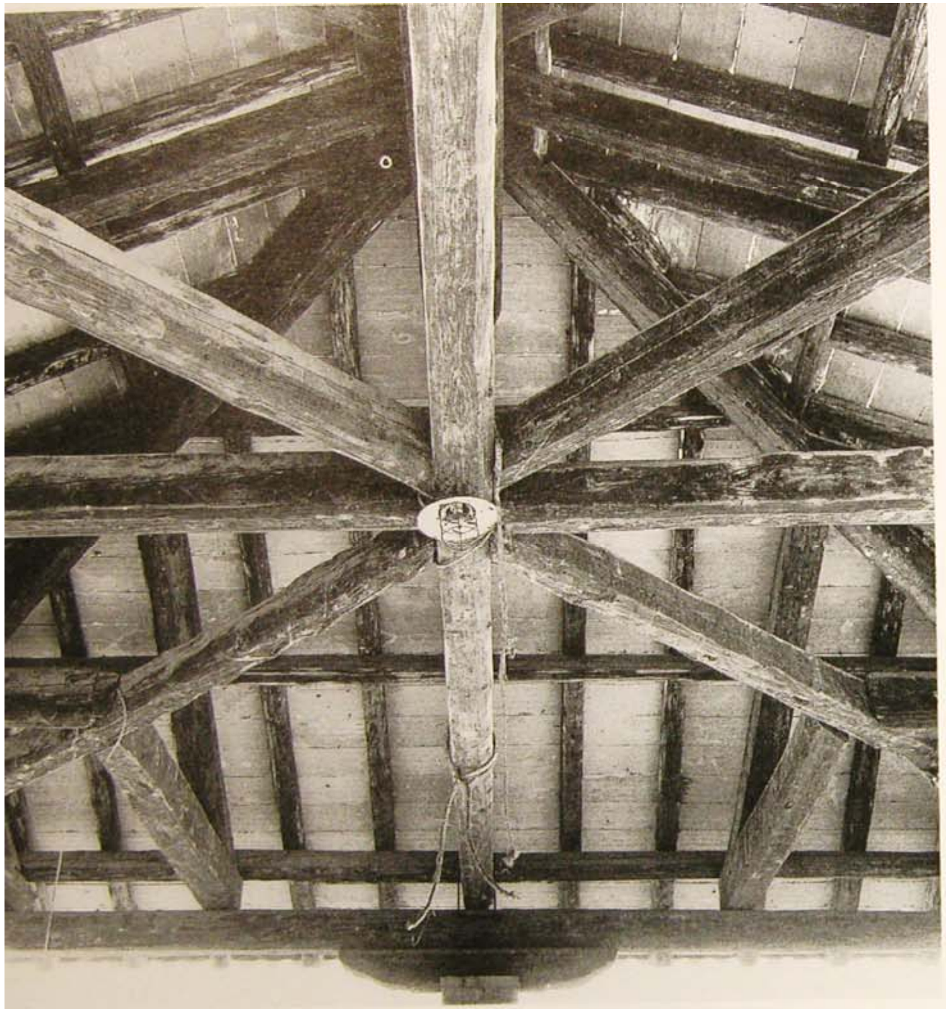
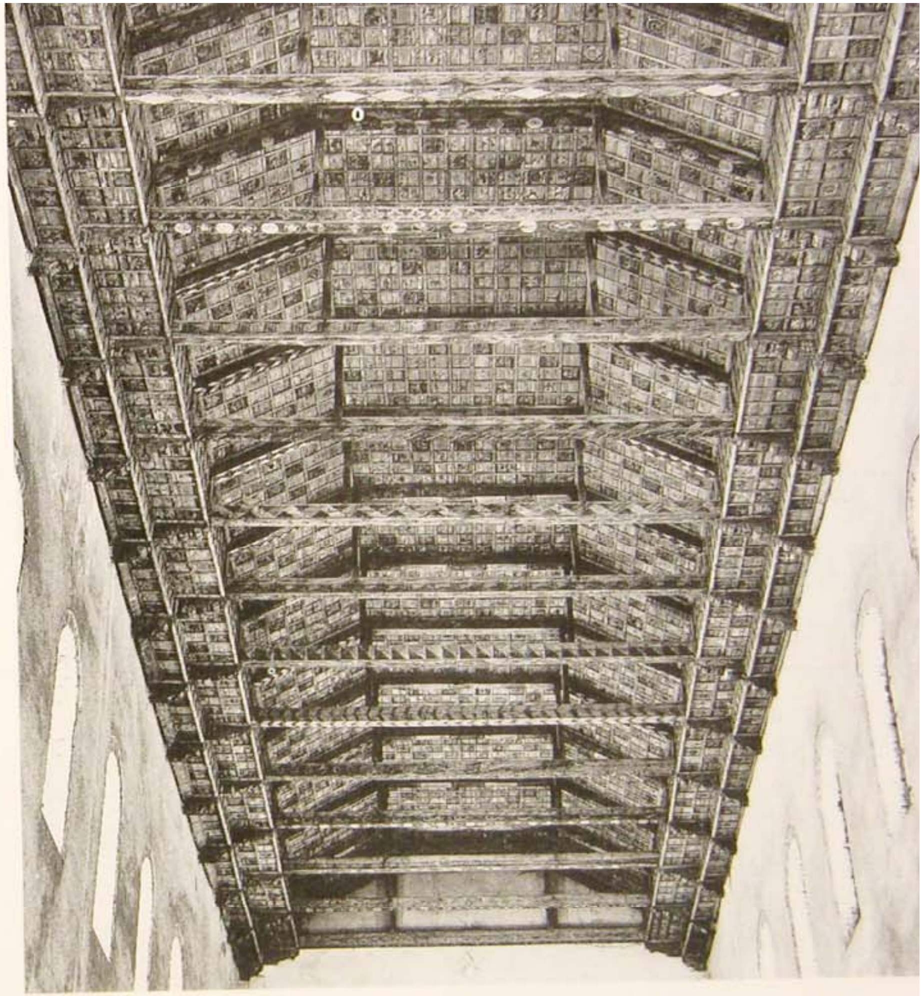


fig . 74 .
fig . 75 .
fig . 76 .
fig . 77 .
fig . 78 .
fig . 79 .
fig . 80 .
fig . 81 .
fig . 82 .
Lucotte del.
Benard Fecit.



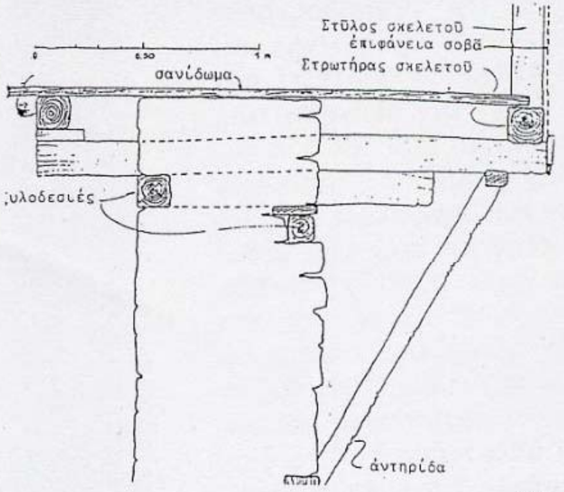


Roof truss of a hall for drying clothes, Burano, Veneto

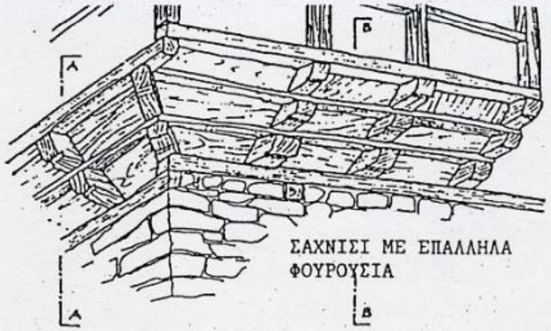


Roof truss of the San Francesco church, Ravenna

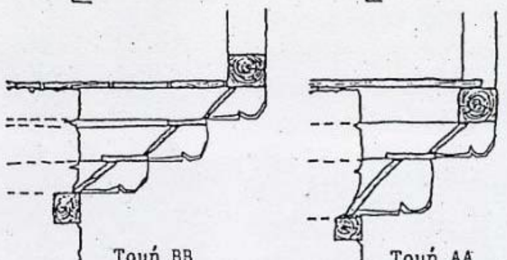
ΣΑΧΝΙΣΙ ΜΕ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ



220



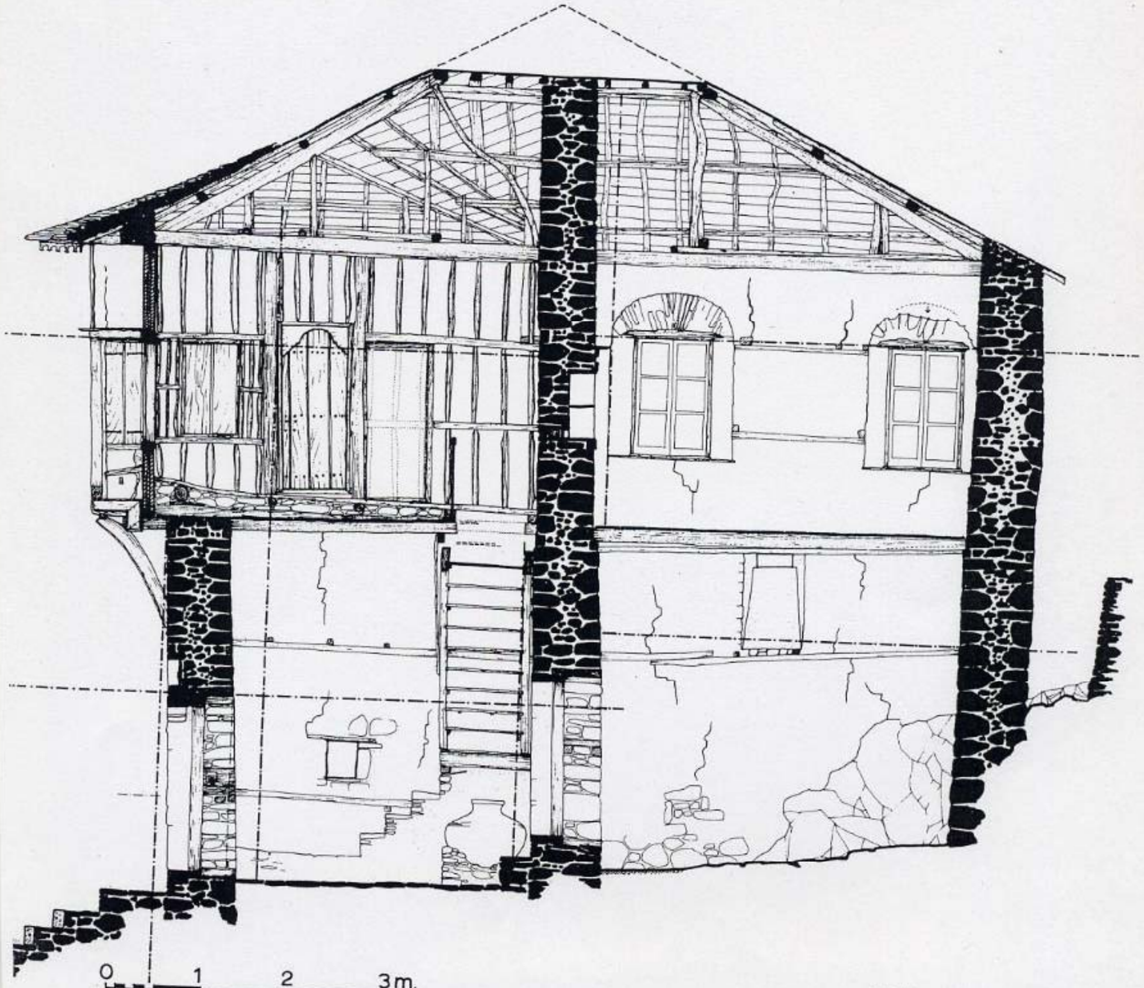
ΣΑΧΝΙΣΙ ΜΕ ΕΠΑΛΛΗΛΑ ΦΟΥΡΟΥΣΙΑ



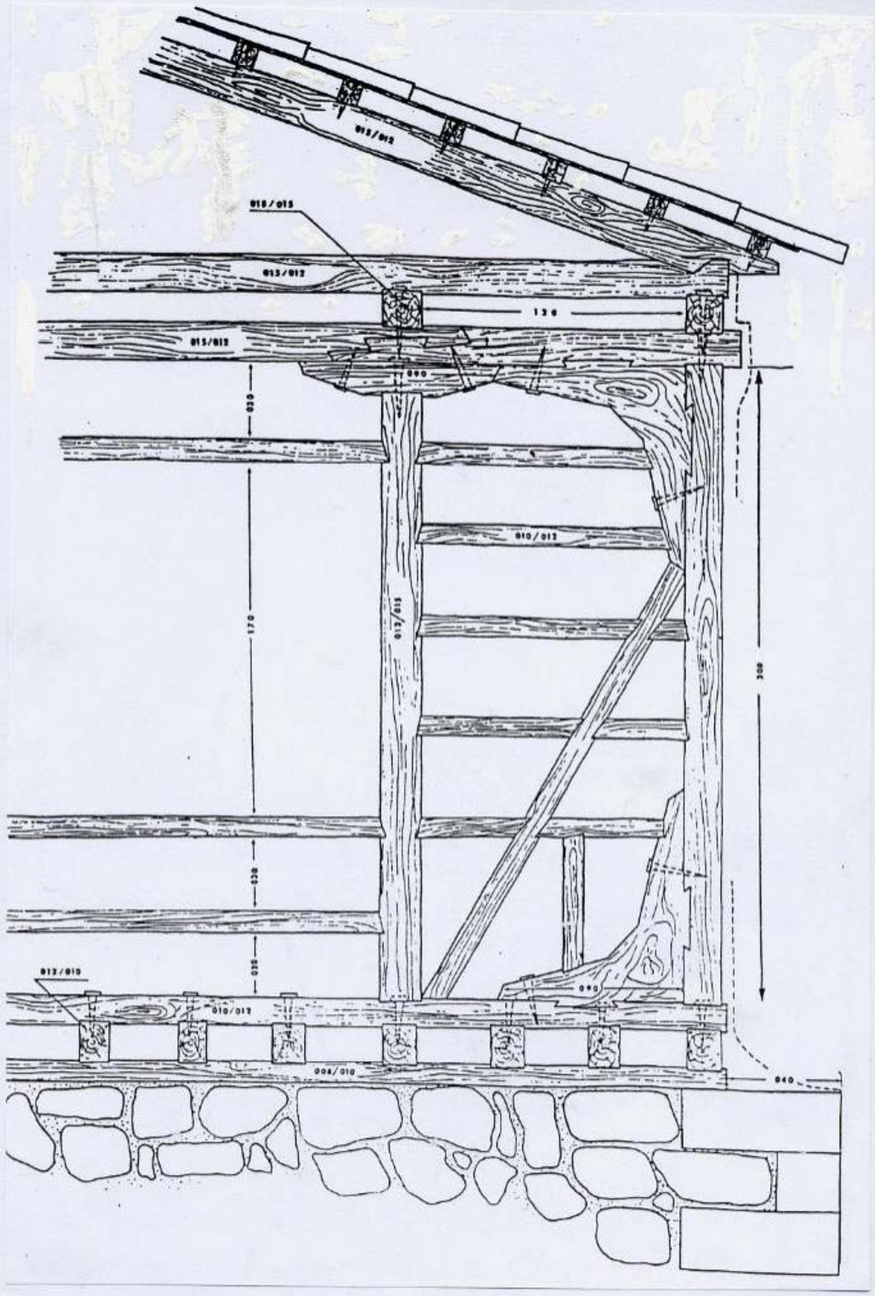
Τομή ΒΒ

Τομή ΑΑ

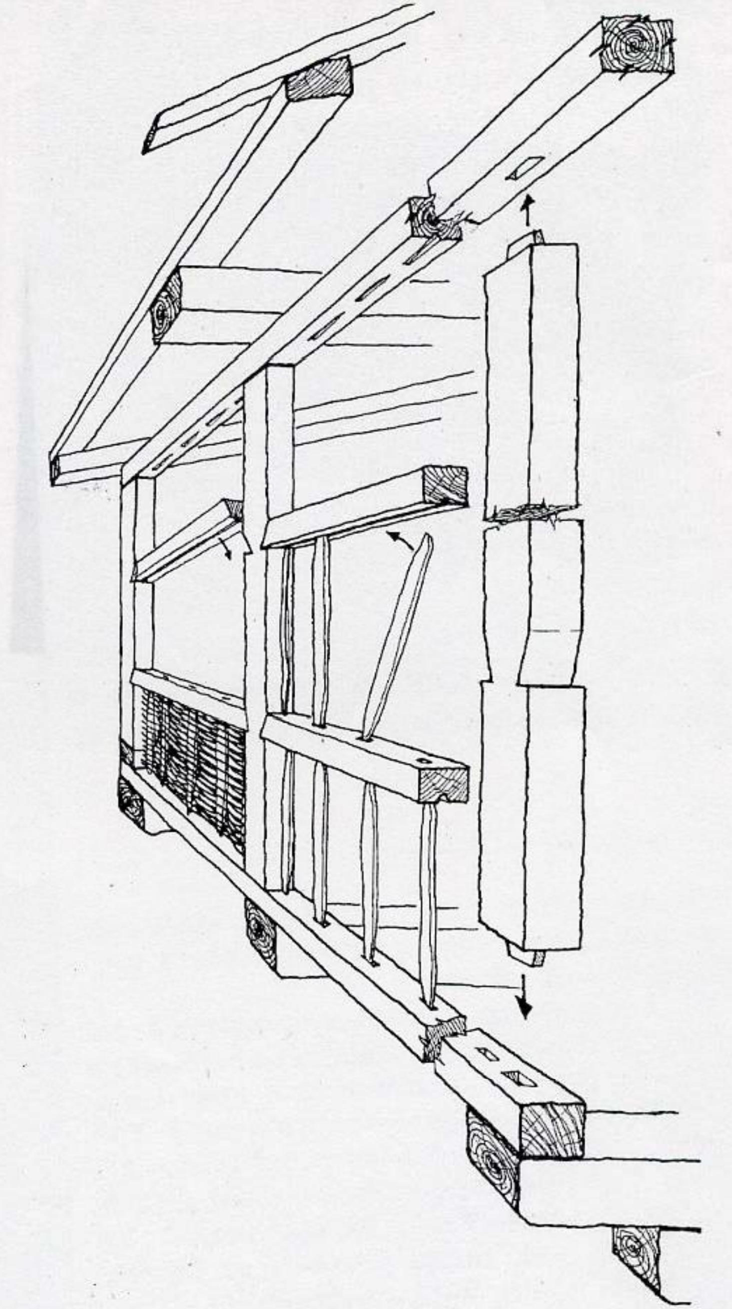
0.45



ΤΟΜΗ ΓΓ



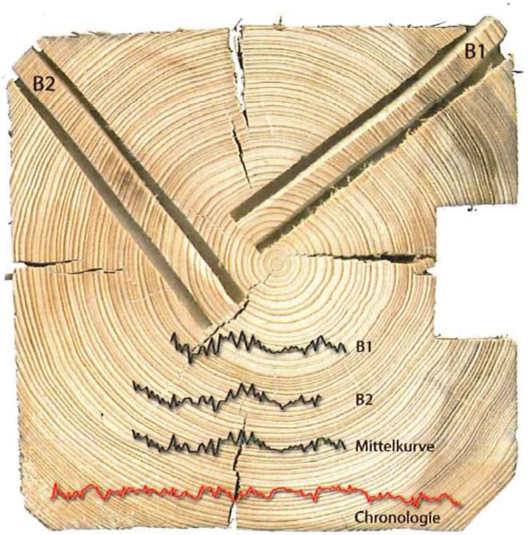
Παραδοσιακή αντισεισμική ξύλινη κατασκευή από το νησί της Λευκάδας.
Demetrius Porphyrios
Journal of the Society of Architectural Historians, vol XXX, March 1971



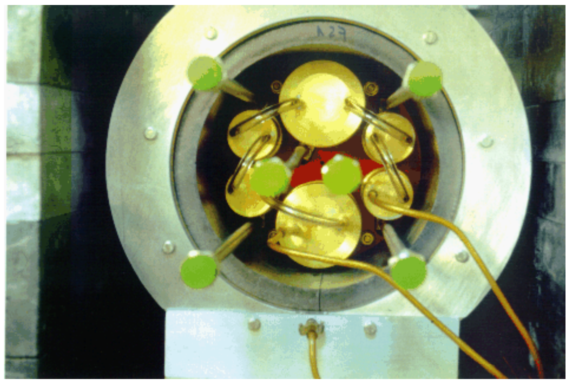
Εἰκ. 241. *Οἱ διαδοχικές φάσεις συναρμογῆς τοῦ σκελετοῦ.*




Χρονολόγηση της ξυλείας

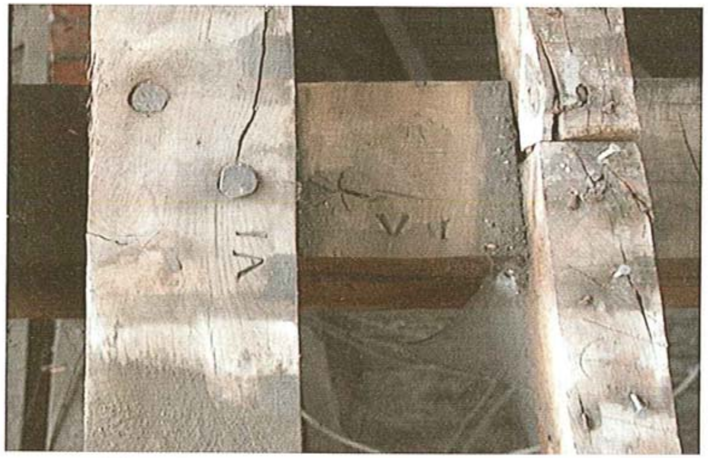


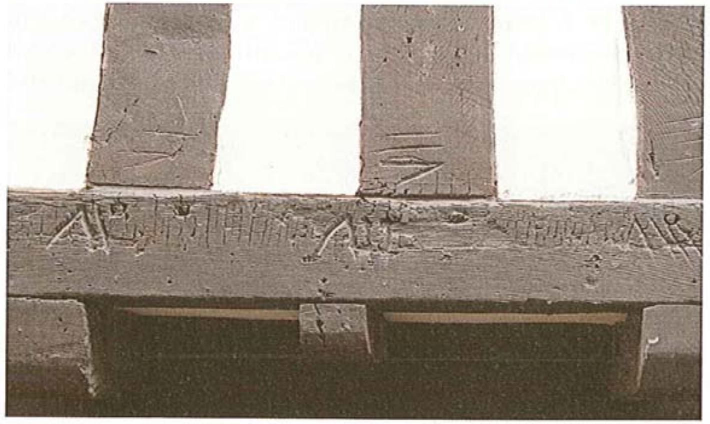
Δενδροχρονολογηση
Με βάση τη διαδοχή των άνισων σε πάχος ετήσιων δακτυλίων ανάπτυξης.



Χρονολόγηση με τη ραδιομετρική μέθοδο με τη χρήση του ραδιενεργού άνθρακα -14.
Αξιοπιστία περί το +/- 1%.

CARPENTERS' MARKS



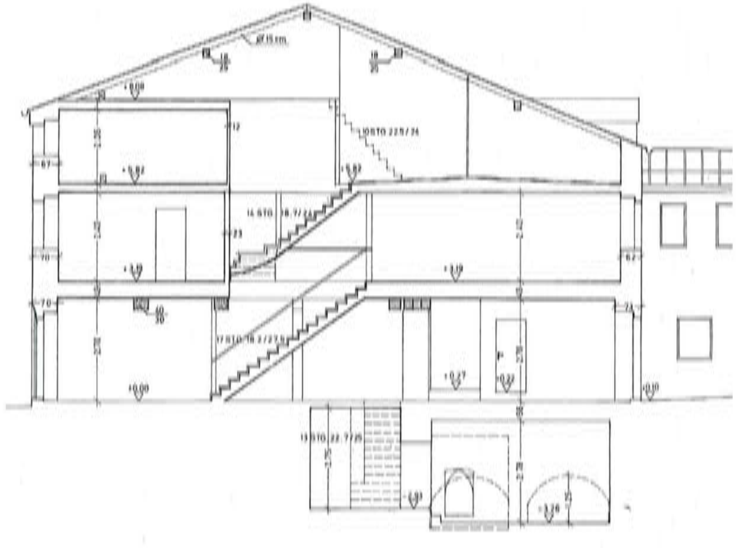


Carpenters' marks, used to number the components of a frame so that the joints could be reassembled on site, are commonly seen on roof trusses and wall frames. They are sometimes seen on rafters and floor joists. In roof trusses the practice continued through the 19th century.

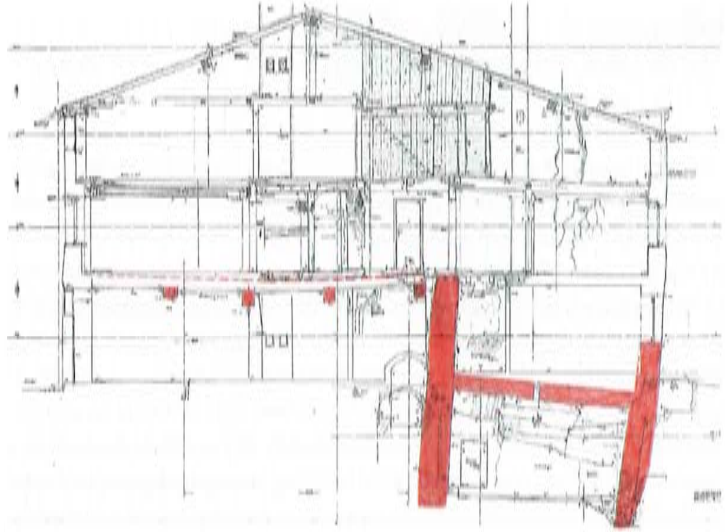
Early carpenters' marks tend to be bold and sweeping in character and were incised with a race knife. By the 17th century, they tended to be more carefully formed, using a chisel or gouge. In the 1700s and 1800s, marks were small and quite deeply cut with a chisel.

With the resurgence of heavy timber frame construction in recent years, the making of carpenters' marks has been revived.

Λεπτομερής αποτύπωση και καταγραφή της παθολογίας της ξύλινης κατασκευής



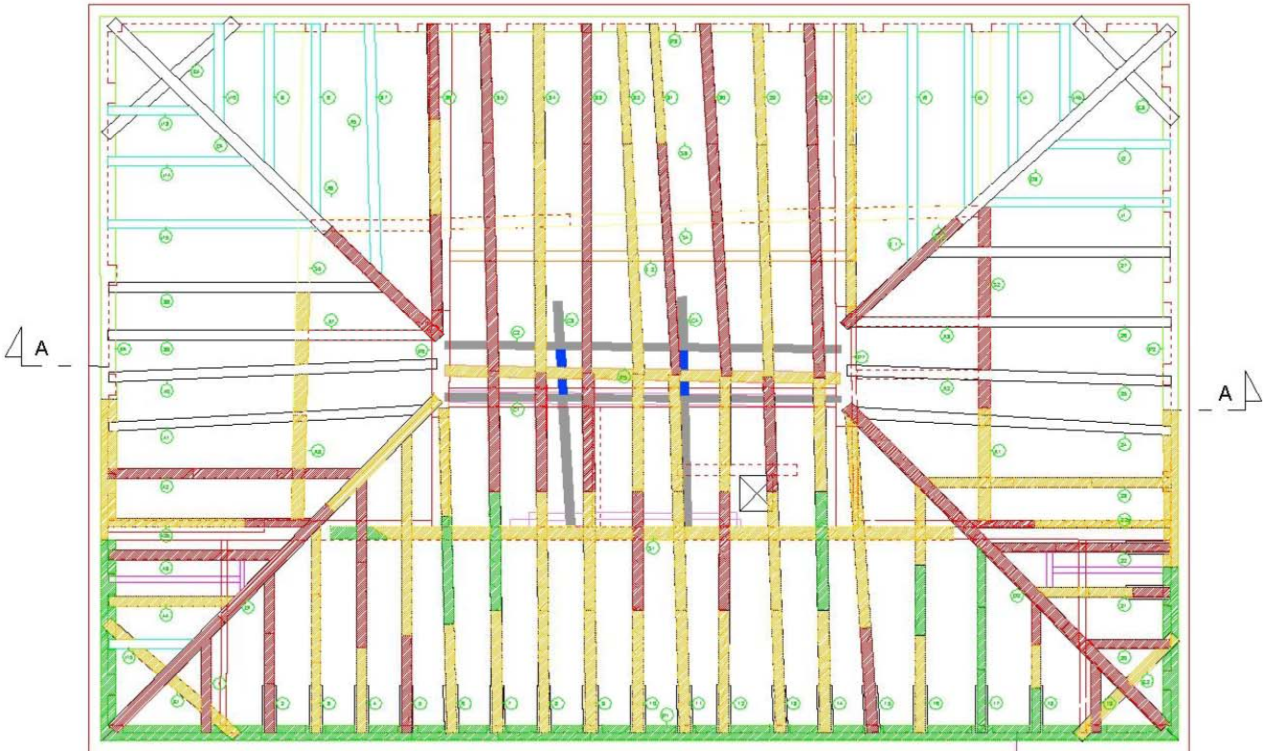
Standard survey of a medieval building in Regensburg, German
Too simple: no evidence of building distortion – no damage

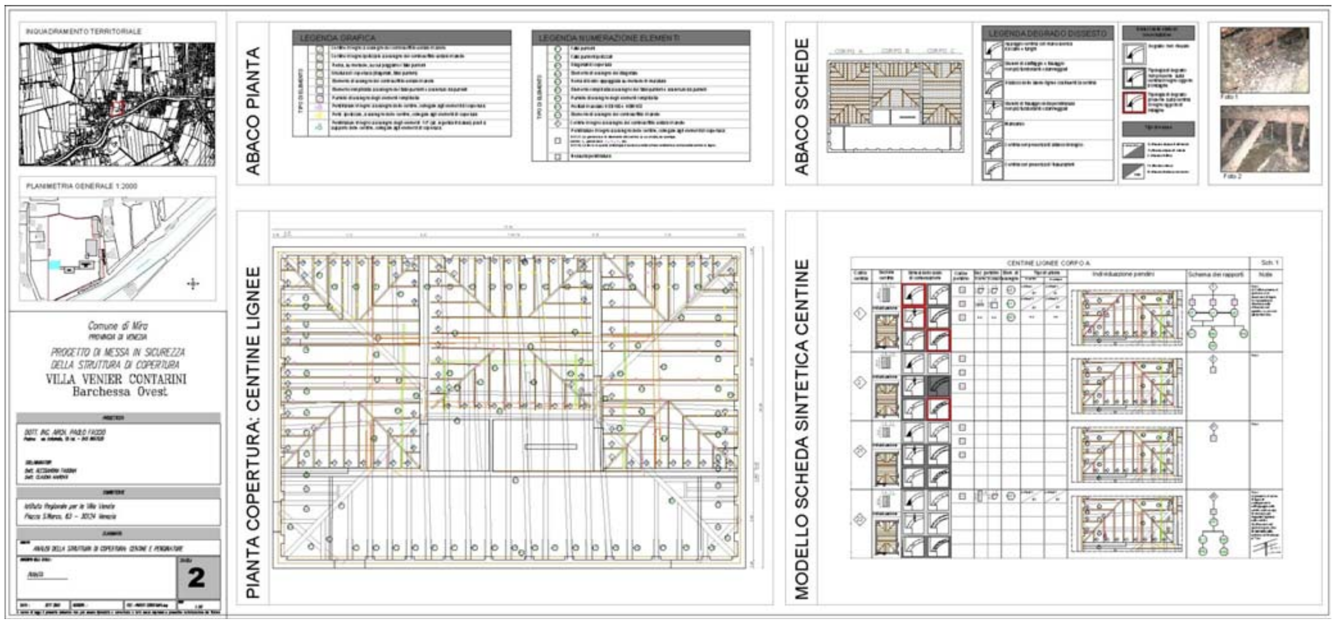


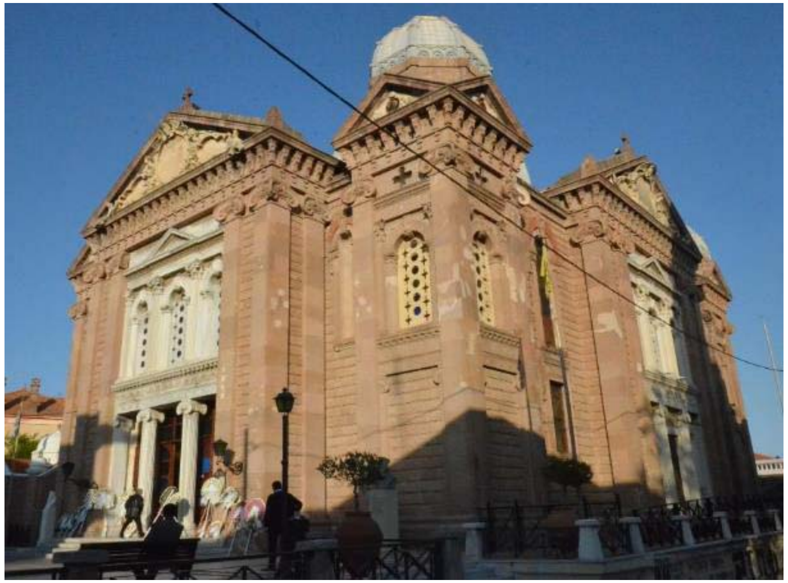
Measured drawing of the same building showing deformation
Serious distortion is evident: building works will be complicatec

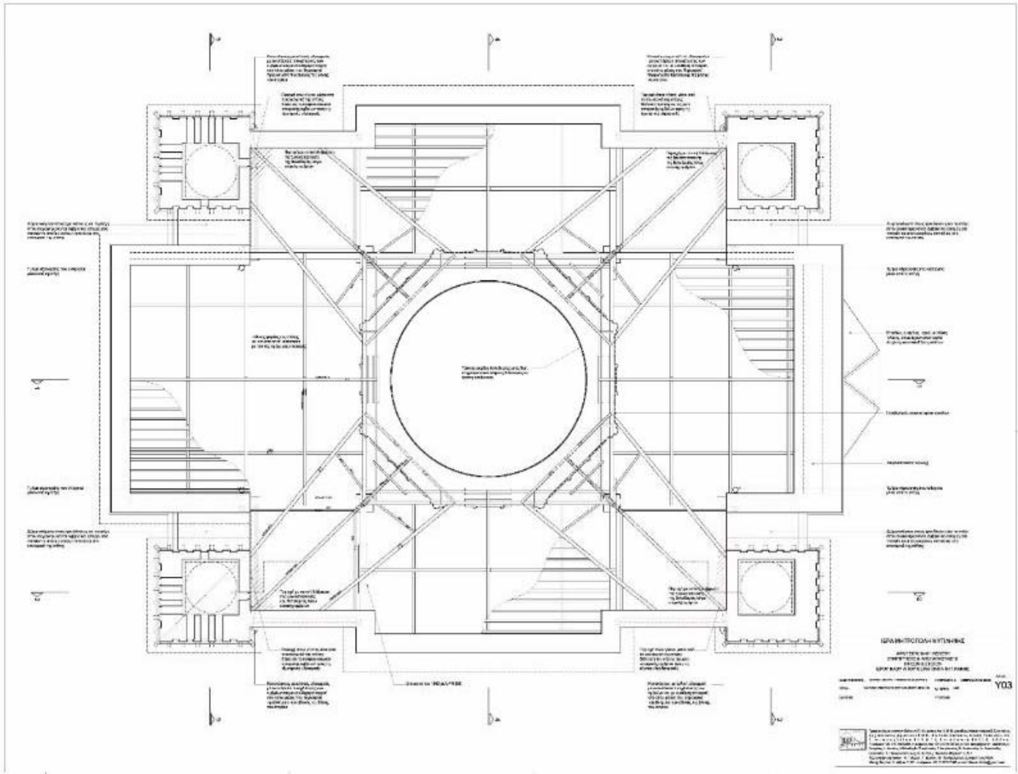
RECUPERO DELLA
COPERTURA DELLA
BARCHESSA DI VILLA
VENIER A MIRA VENEZIA

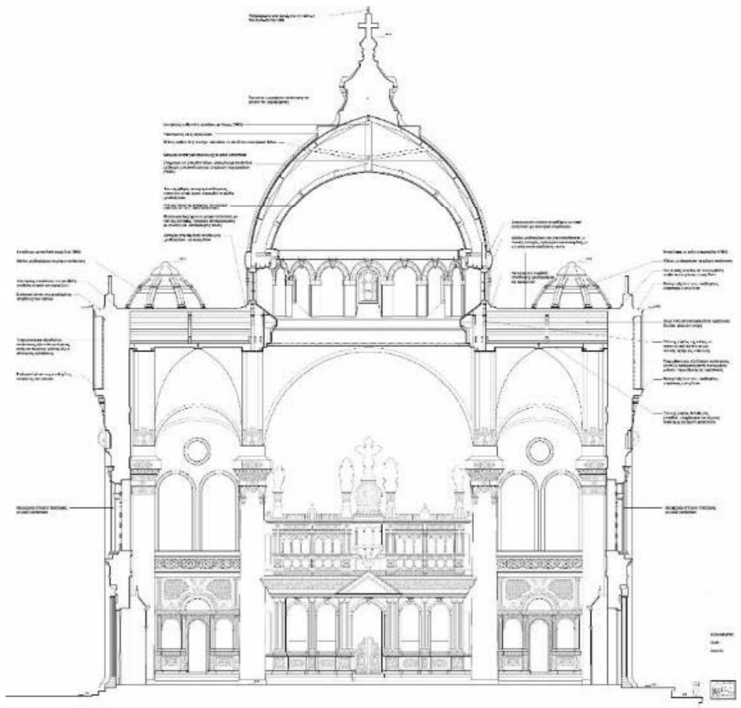
2011
prof. Paolo Facciocoll

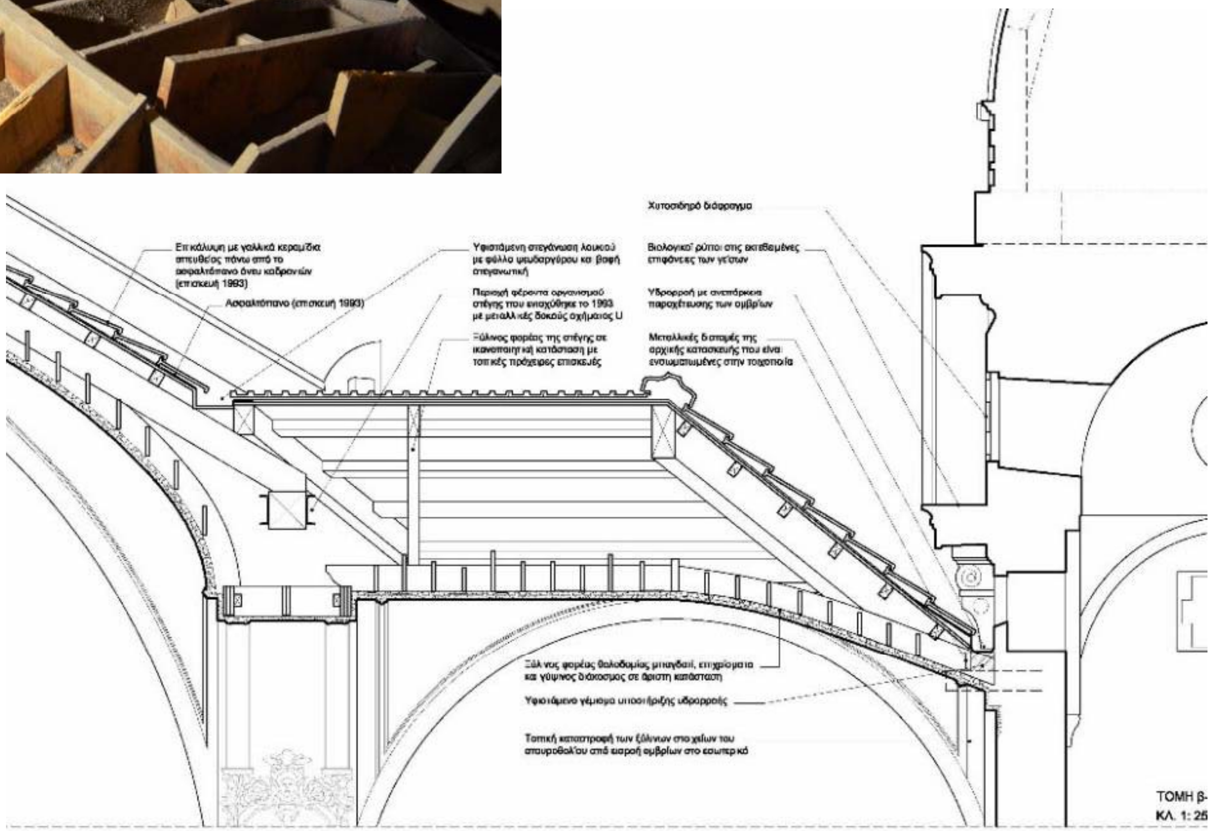




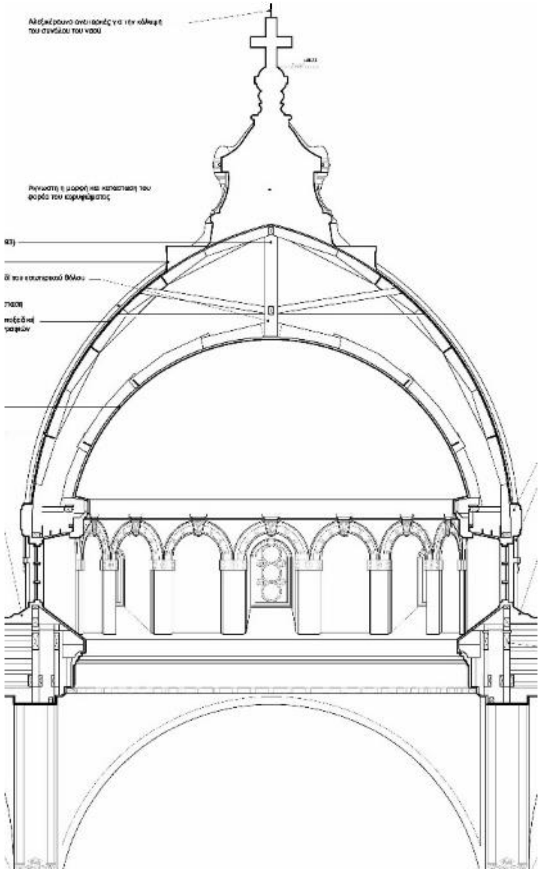




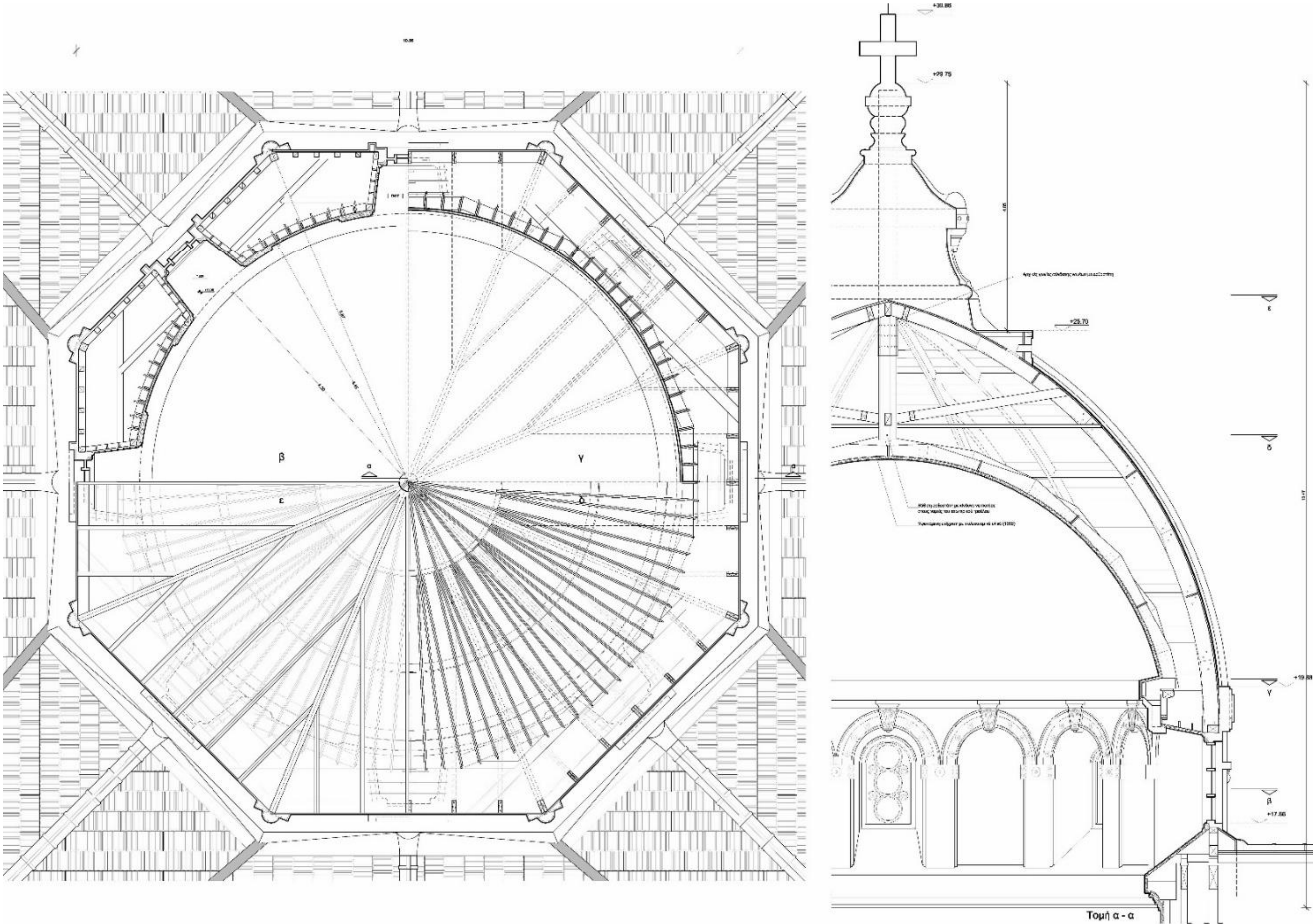




Χυτοσιδηρό διάφραγμα
Επικάλυψη με γαλλικά κεραμίδια απευθείας πάνω από το ασφαλτόπανο άνευ καδρονιών (επισκευή 1993)
Ασφαλτόπανο (επισκευή 1993)
Υφιστάμενη στεγάνωση λουκιού με φύλλο ψευδαργύρου και βαφή στεγανωτική
Περιοχή φέροντα οργανισμού στέγης που ενισχύθηκε το 1993 με μεταλλικές δοκούς σχήματος U
Ξύλινος φορέας της στέγης σε ικανοποιητική κατάσταση με τοπικές πρόχειρες επισκευές
Βιολογικοί ρύποι στις εκτεθειμένες επιφάνειες των γείσων
Υδρορροή με ανεπάρκεια παροχέτευσης των ομβρίων
Μεταλλικές διατομές της αρχικής κατασκευής που είναι ενσωματωμένες στην τοιχοποιία
Ξύλινος φορέας θολοδομίας μπαγδατί, επιχρίσματα και γύψινος διάκοσμος σε άριστη κατάσταση
Υφιστάμενο γέμισμα υποστήριξης υδρορροής
Τοπική καταστροφή των ξύλινων στοιχείων του σταυροθολίου από εισροή ομβρίων στο εσωτερικό
ΤΟΜΗ β-
ΚΛ. 1: 25

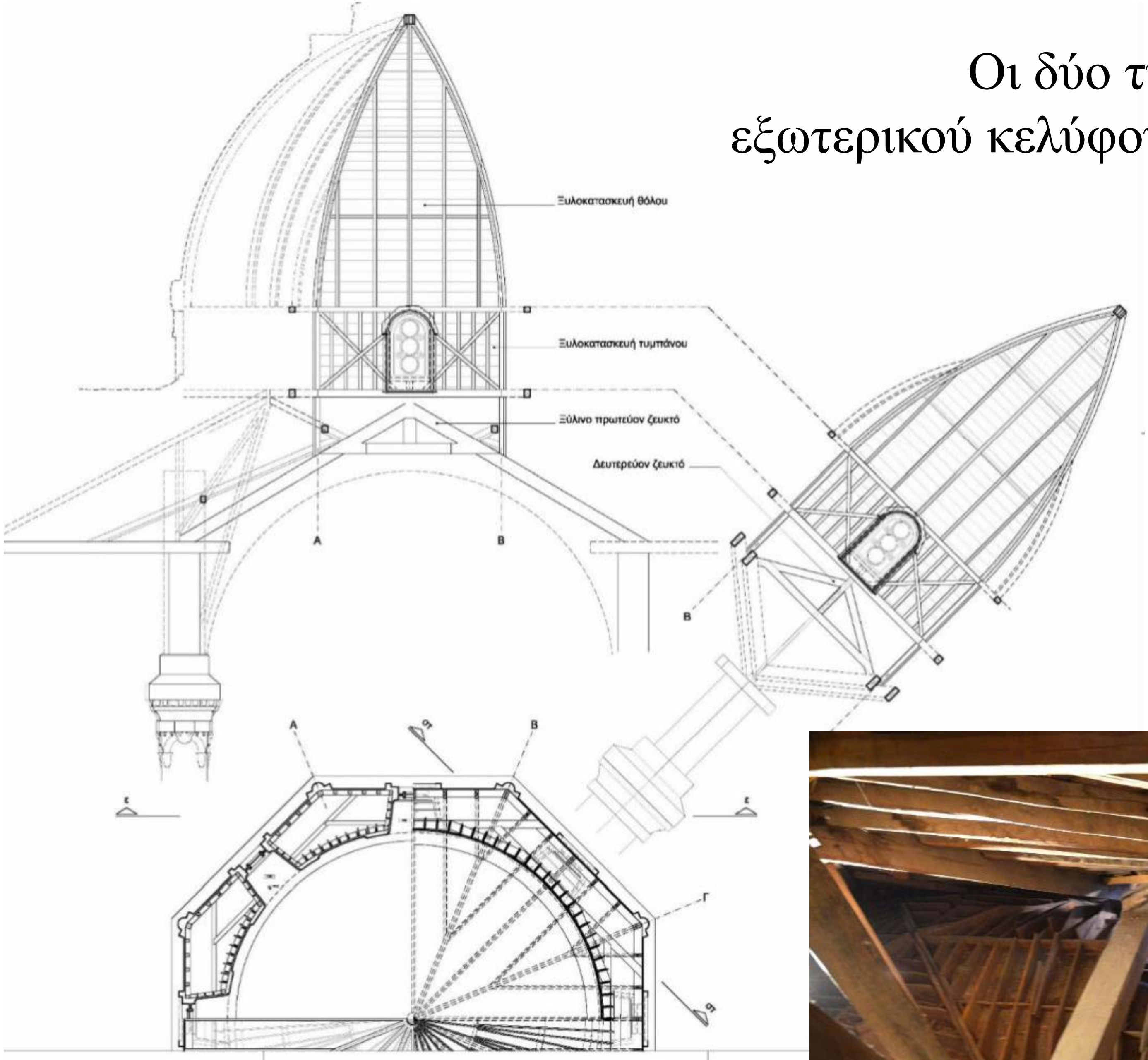


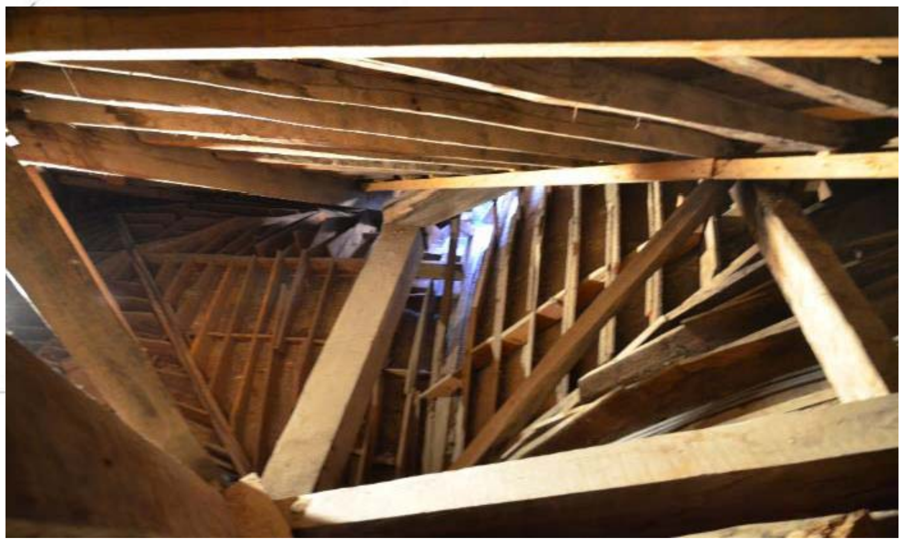
Το εσωτερικό κενό μεταξύ των δύο ξύλινων θόλων του κεντρικού τρούλου

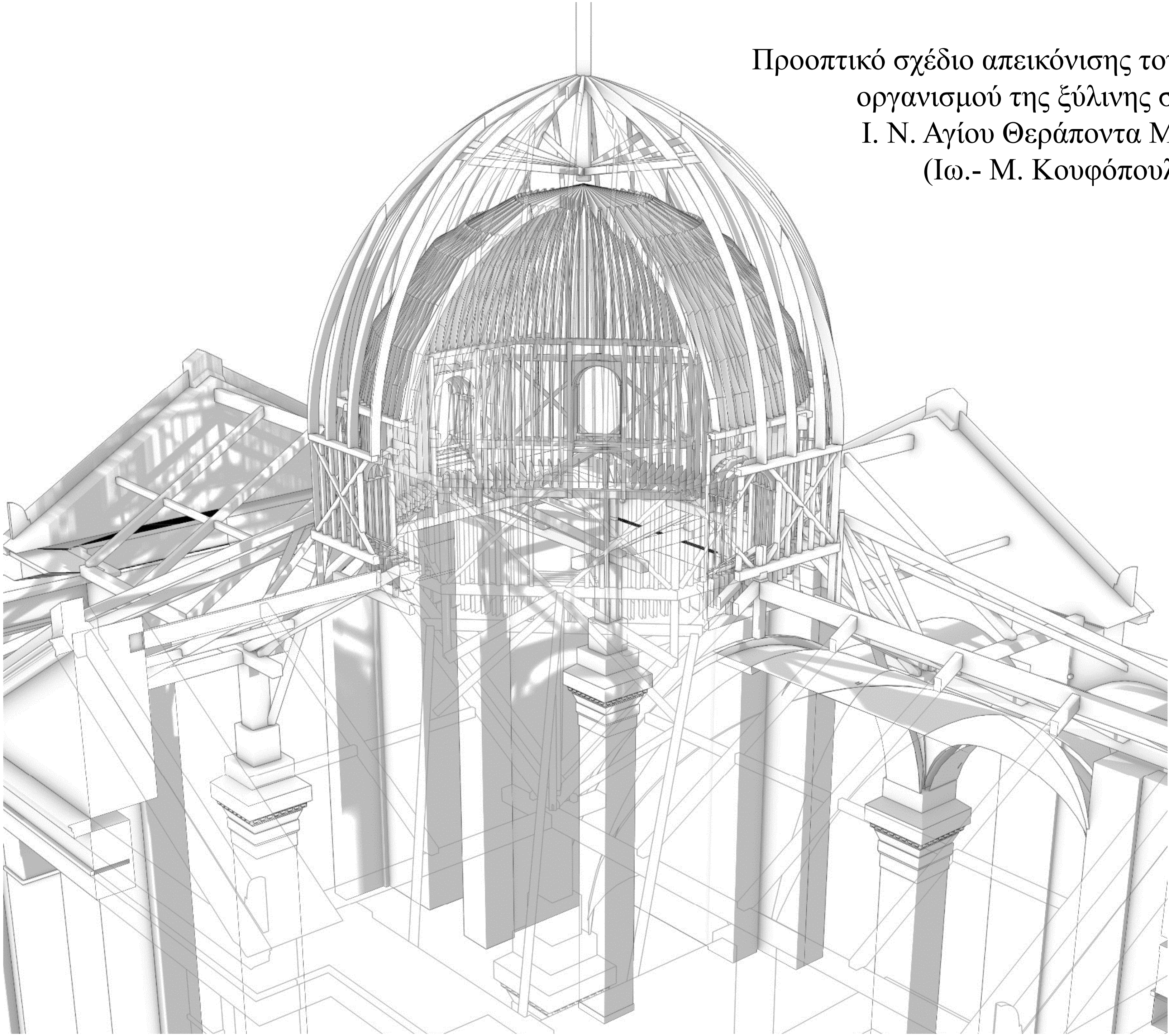


Κατακόρυφη και οριζόντιες και τομές που τεκμηριώνουν τη γεωμετρία και το κατασκευαστικό σύστημα του κεντρικού τρούλου

Οι δύο τύποι φορέων του εξωτερικού κελύφους του κεντρικού τρούλου







Προοπτικό σχέδιο απεικόνισης του φέροντα οργανισμού της ξύλινης στέγης του Ι. Ν. Αγίου Θεράποντα Μυτιλήνης. (Ιω.- Μ. Κουφόπουλος, 2016)

Παράγοντες που οδηγούν στην υποβάθμιση και αστοχία της δομικής ξυλείας

ΑΒΙΟΤΙΚΟΙ

- Υγρασία
- Θερμοκρασία
- Ακτινοβολία
- Χημικοί παράγοντες

ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ

- Βακτήρια
- Έντομα
- Μύκητες

ΔΟΜΙΚΟΙ

- Κακός σχεδιασμός/κατασκευή
- Υπερφόρτιση

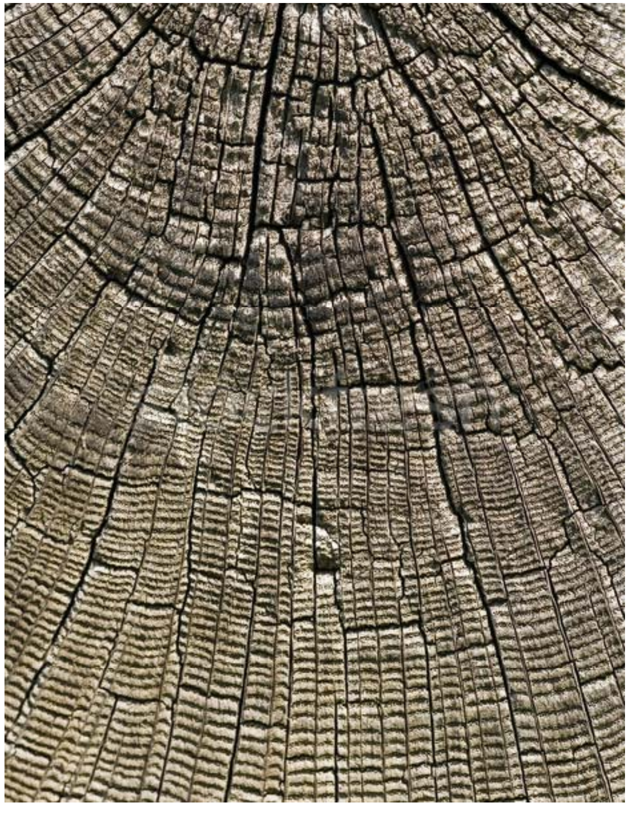
ΑΒΙΟΤΙΚΟΙ

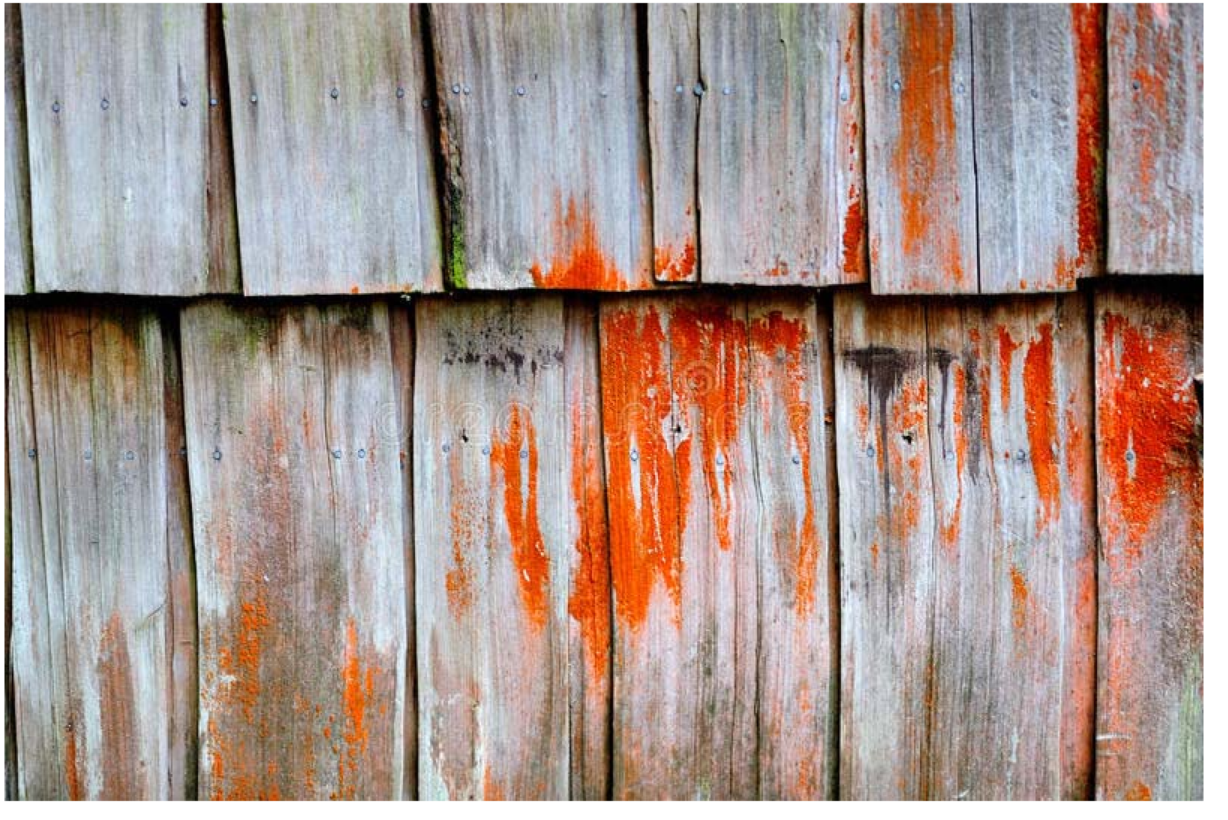
Υγρασία

Θερμοκρασία

Ακτινοβολία

Χημικοί παράγοντες





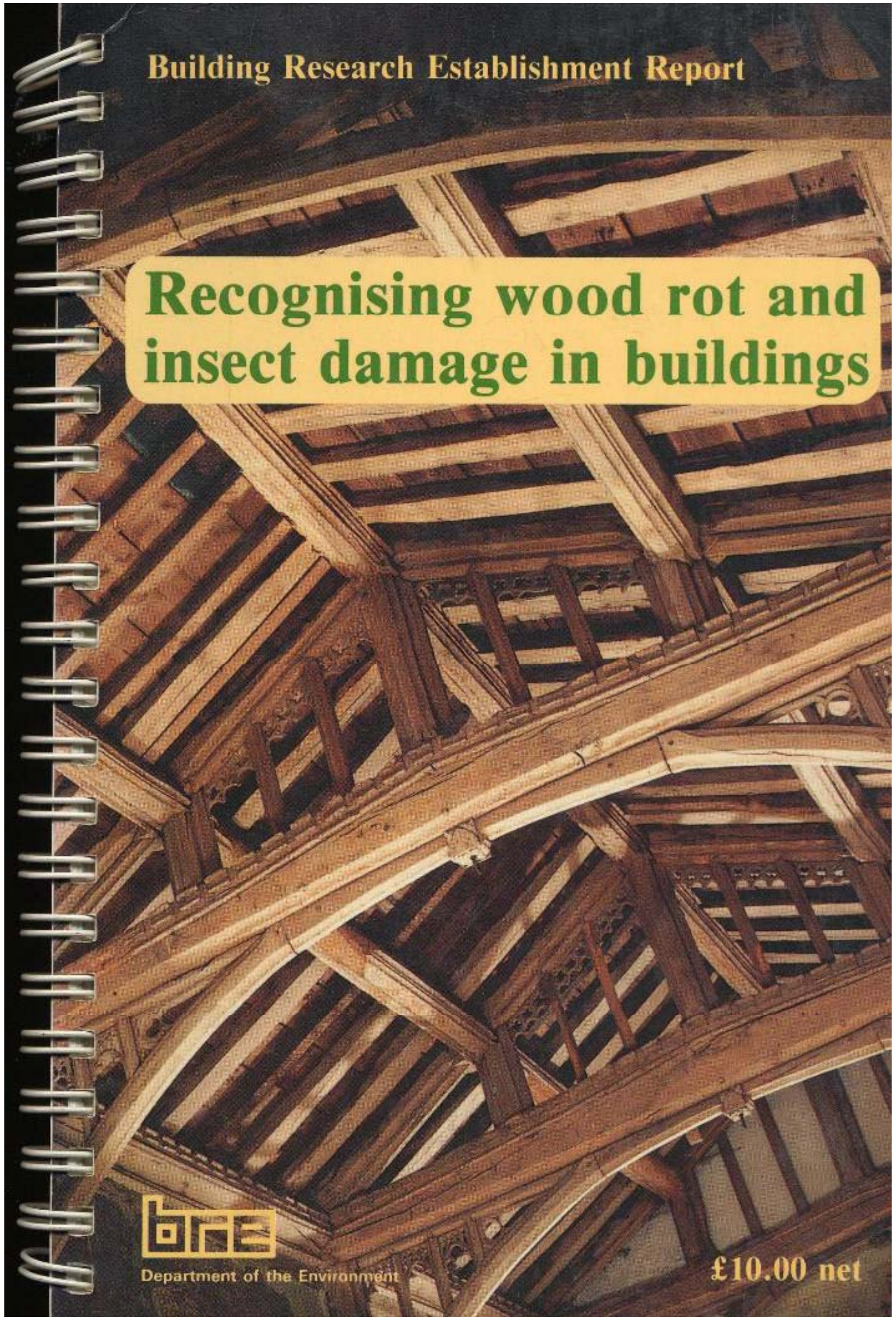
Χημικές αλλοιώσεις της ξυλείας

Chemical damage to wood

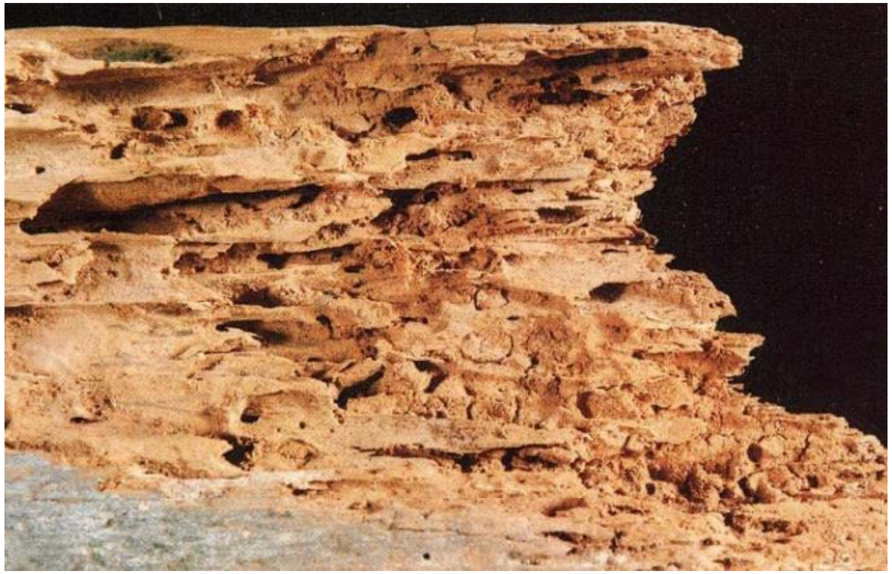
Χημική καταστροφή ξύλινων φορέων από τη φωτιά

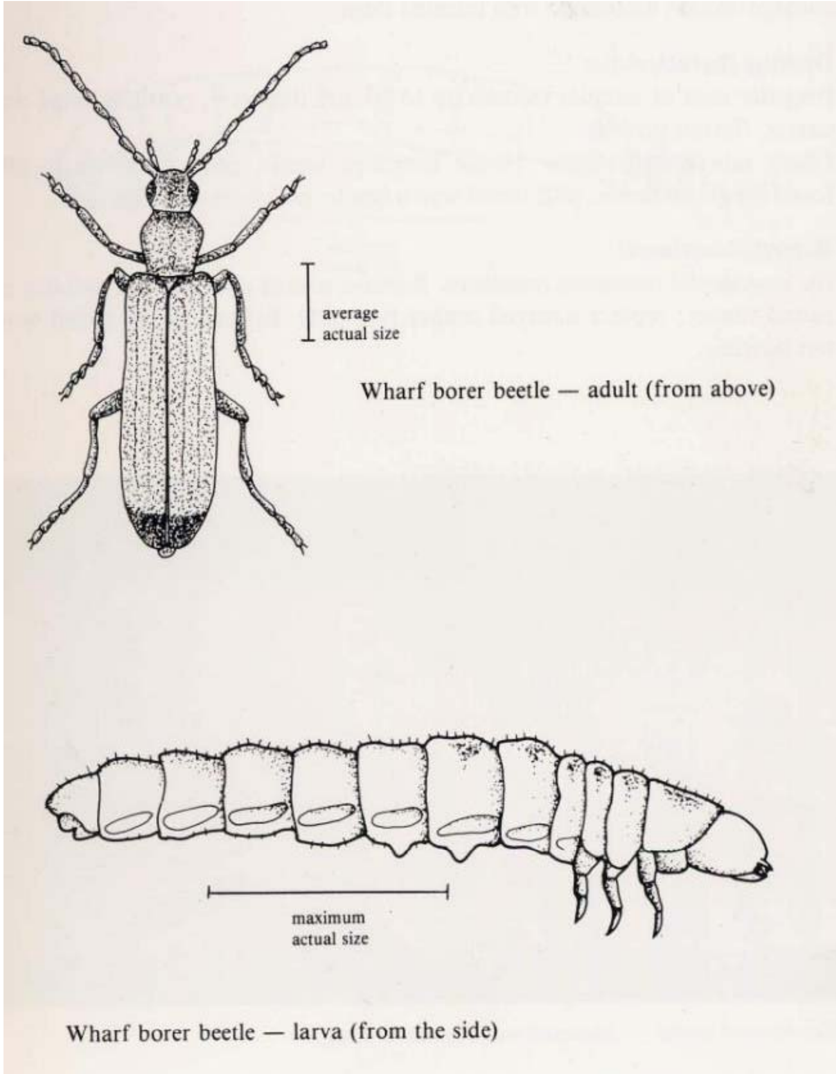
ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
Φθοράς της ξυλείας

Έντομα
Μύκητες
Βακτήρια



Προσβολή του ξύλου από έντομα



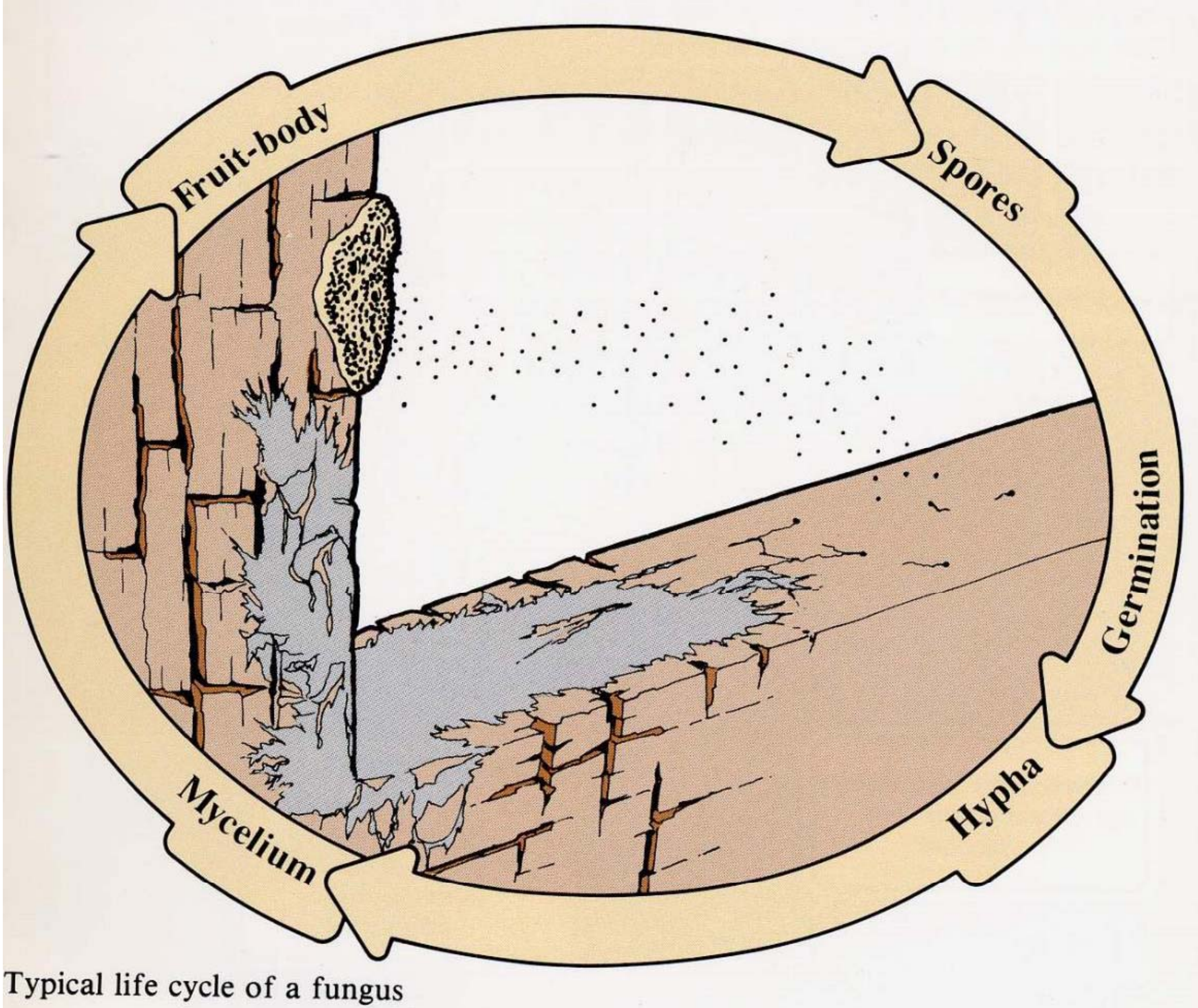


Powderpost Beetles
Lyctus spp.

Powderpost beetles belong to the family Lyctidae, although confusingly this common name is also used in the USA to describe the Anobiidae. The only indigenous UK species is thought to be *Lyctus linearis Goeze*, but others have been introduced, and the commonest species is now *Lyctus brunneus*. The name powderpost is derived from their ability to reduce the sapwood of oak and some other hardwood species to dust, held in place by a thin veneer of surface timber. They do not digest cell wall materials, but their mandibles are designed like chisels to pulverise the woody material in their quest for starch so that they can cause significant damage.

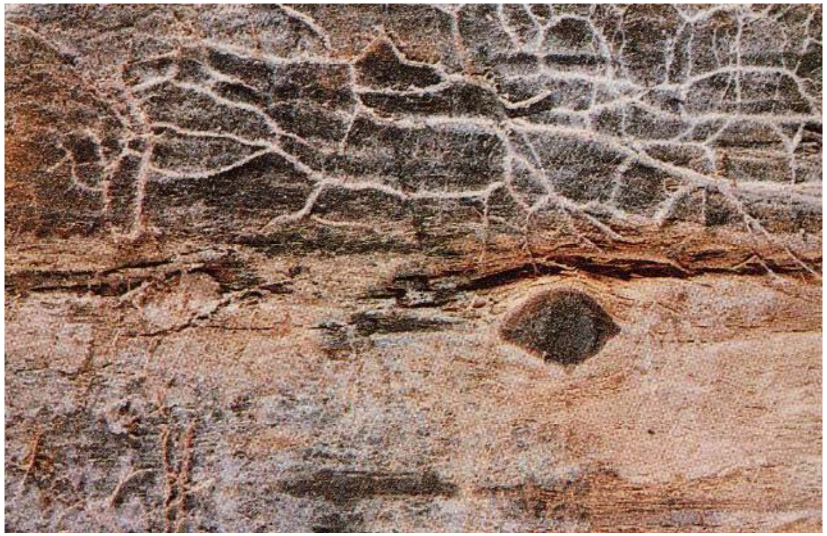
House Longhorn Beetle
Hylotrupes bajulus

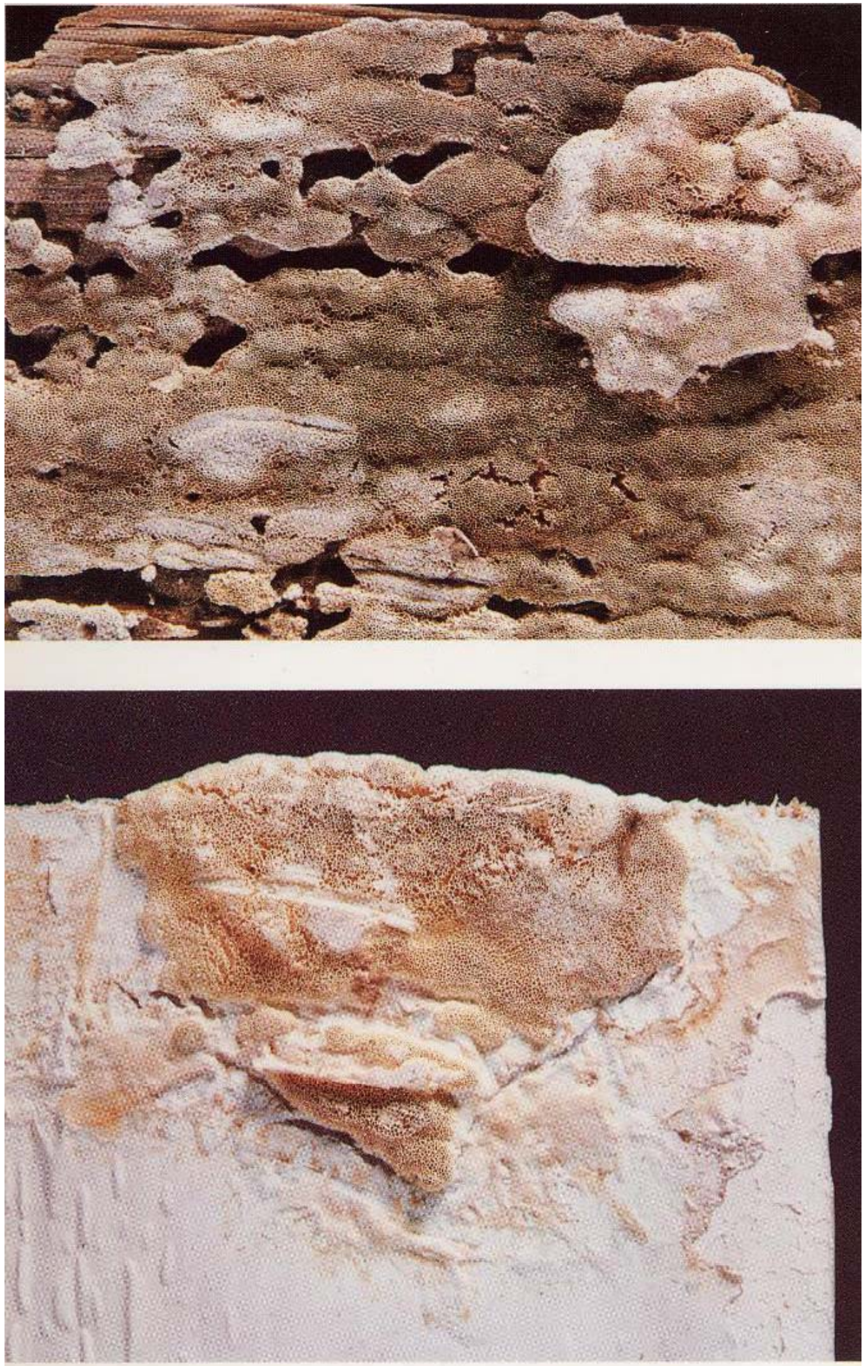
Προσβολή της ξυλείας από μύκητες



Typical life cycle of a fungus





'Poria' fruit-bodies — *Poria placenta* (top) and *Amyloporia xantha*

Dry rot — fruit-body in the corner of a ceiling (note spores collected on cobwebs)

Βλάβες από υπερφόρτιση της ξυλείας

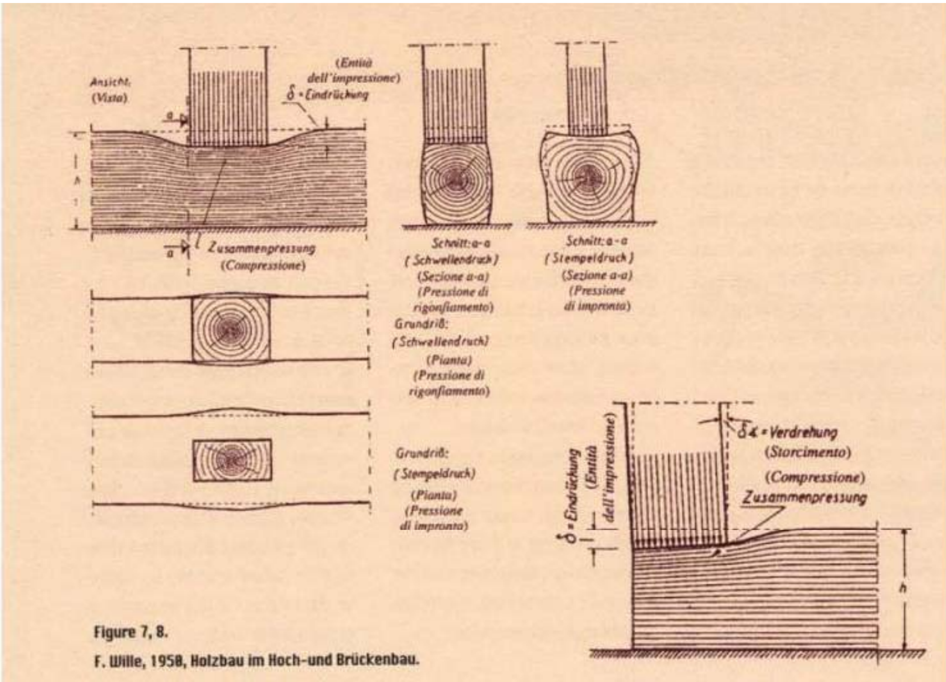
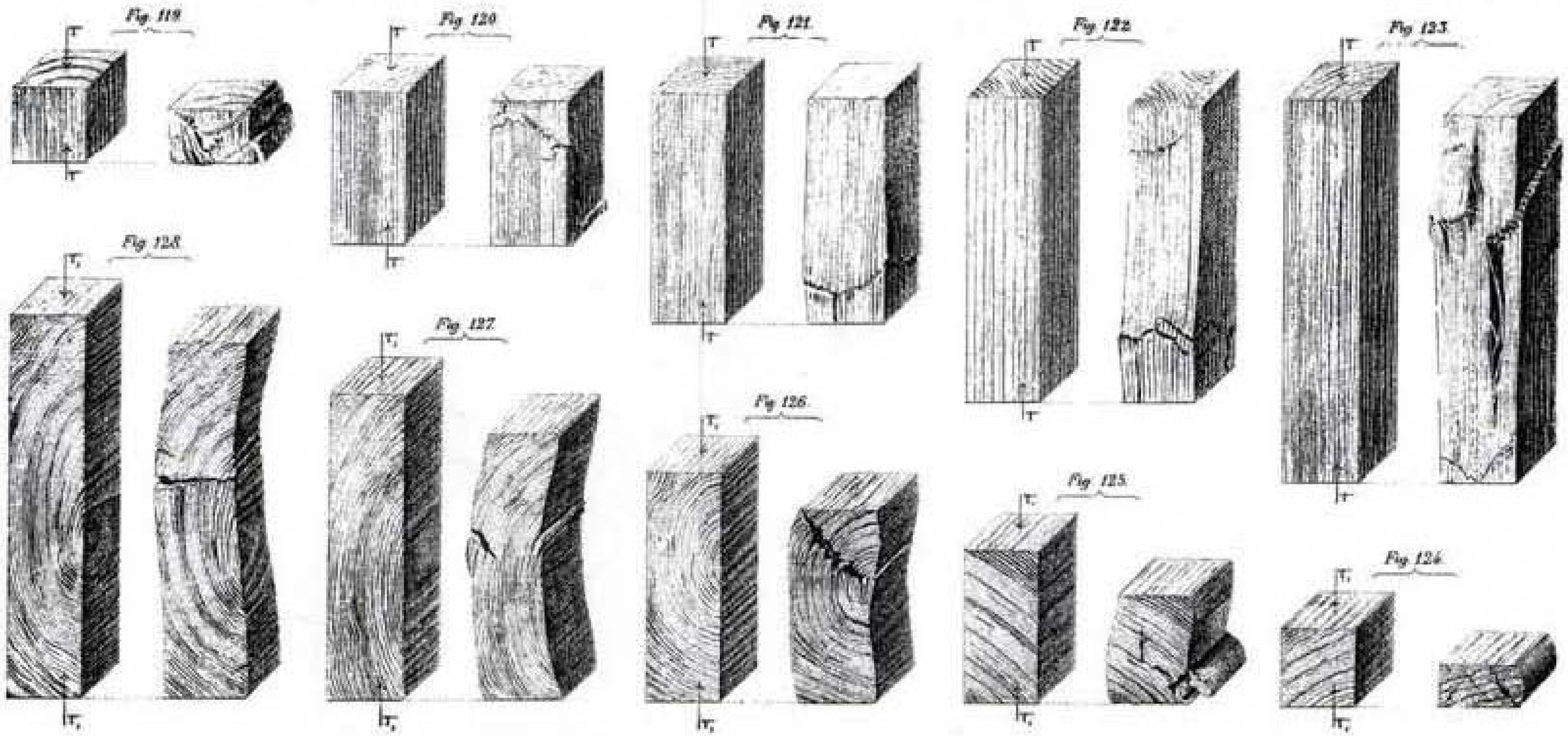


Figure 7, 8.
F. Wille, 1958, Holzbau im Hoch-und Brückenbau.

Αστοχίες ξυλείας από υπέρβαση του ορίου φόρτισης



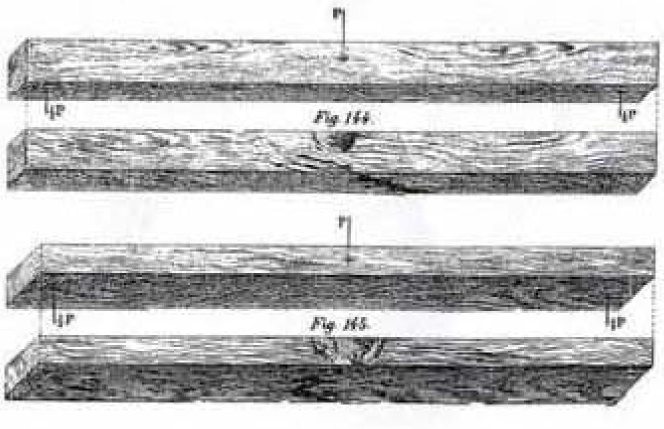
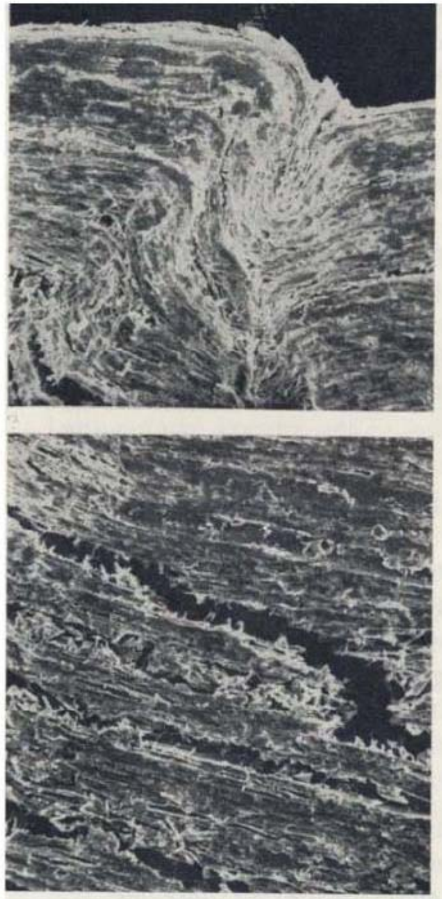


Figure 119, 120, 121, 122 e 123 — Saggi parallelepipedi di legno nel loro stato primitivo (posizione sinistra di ogni coppia) e dopo la rottura per compressione (posizione destra di ogni coppia) nel senso della fibra,

Figure 124, 125, 126, 127 e 128 — Saggi parallelepipedi di legno prima e dopo la rottura per compressione in senso perpendicolare alla fibra,

Figure 144 e 145 — Esempi di rottura per flessione di solidi prismatici di legno. (Dal CURIONI, Torino, 1885)

Παραμόρφωση και θραύση δομικών ξύλων



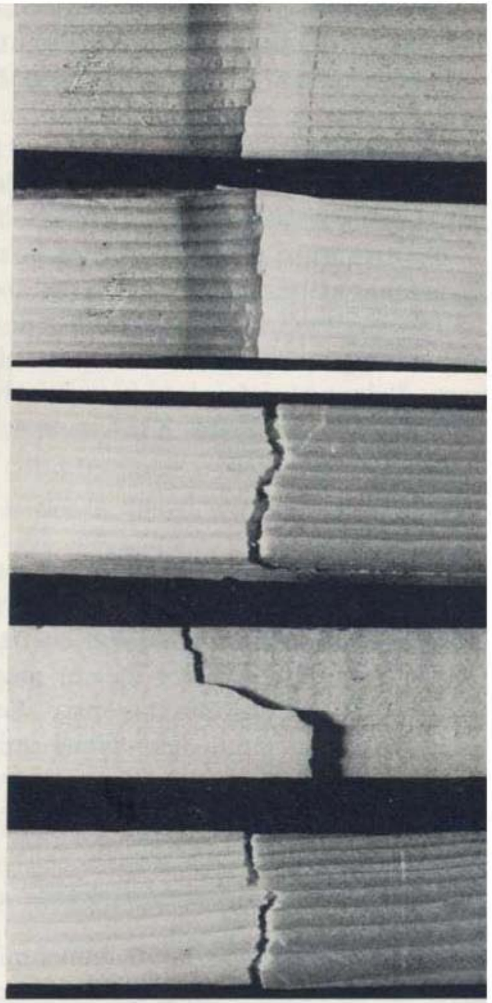


Figure 9. Failures caused by bending of clear specimens. Compressed (left) and tended edges (by Giordano, cit.)

The crack is generally characterized by the fact that the line(s) of rupture crosses the intrados edge of the member, not necessarily with straight breaking edges because its form can be influenced by specific factors such as irregular squaring, position of the member in the shaft, peculiarities of the grain and defects (mainly knots) or decay of the wood, presence of drying shakes or checks, imperfection of the working, mode (direction, regimen etc.) of the loading etc.

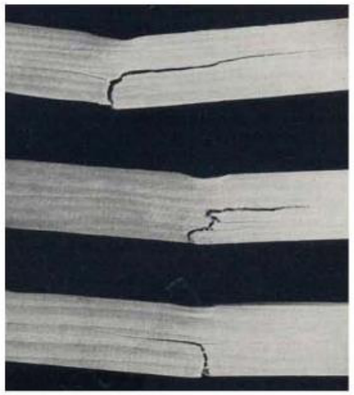
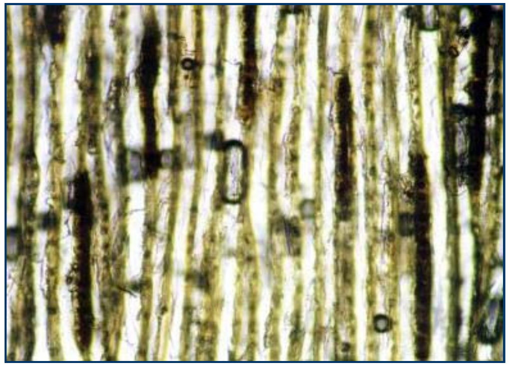
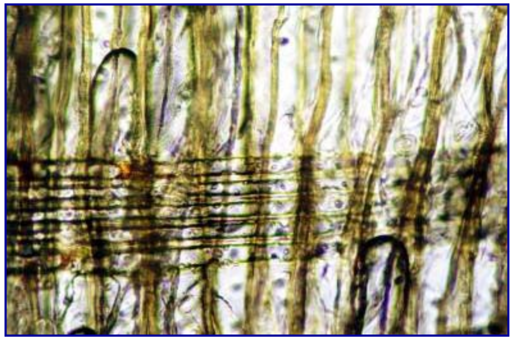


Figure 10. Typical start of the failure in neat coniferous samples loaded in the medium section

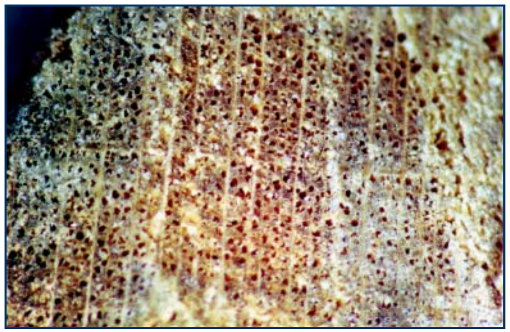
Το πρώτο βήμα στη διάγνωση είναι η
Αναγνώριση του είδους της ξυλείας με τη συνδρομή ειδικού



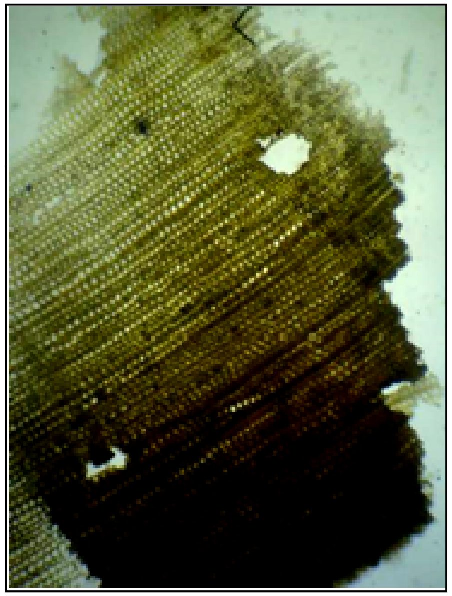
Έλατο



Κυπαρίσι



Σφένδαμο



Πεύκο

Διάγνωση της παθολογίας του ξύλου με μη καταστρεπτικές τεχνικές

Στόχοι μη καταστρεπτικών τεχνικών:

1.Τον ακριβή προσδιορισμό των ιδιοτήτων του ξύλου,
2.Την καταγραφή του βαθμού και της έκτασης των βλαβών και των φθορών του,
3.Τον χαρακτηρισμός της φύσης και την ένταση της φθοράς,
4.Τον προσδιορισμός της αιτίας των ελαττωμάτων και των φθορών,
5.Την παρακολούθηση των θεραπειών αποκατάστασης.

Συνήθεις μη καταστρεπτικές τεχνικές σε δομική ξυλεία:

Οπτική αξιολόγηση και εκτίμηση του βαθμού φθοράς.

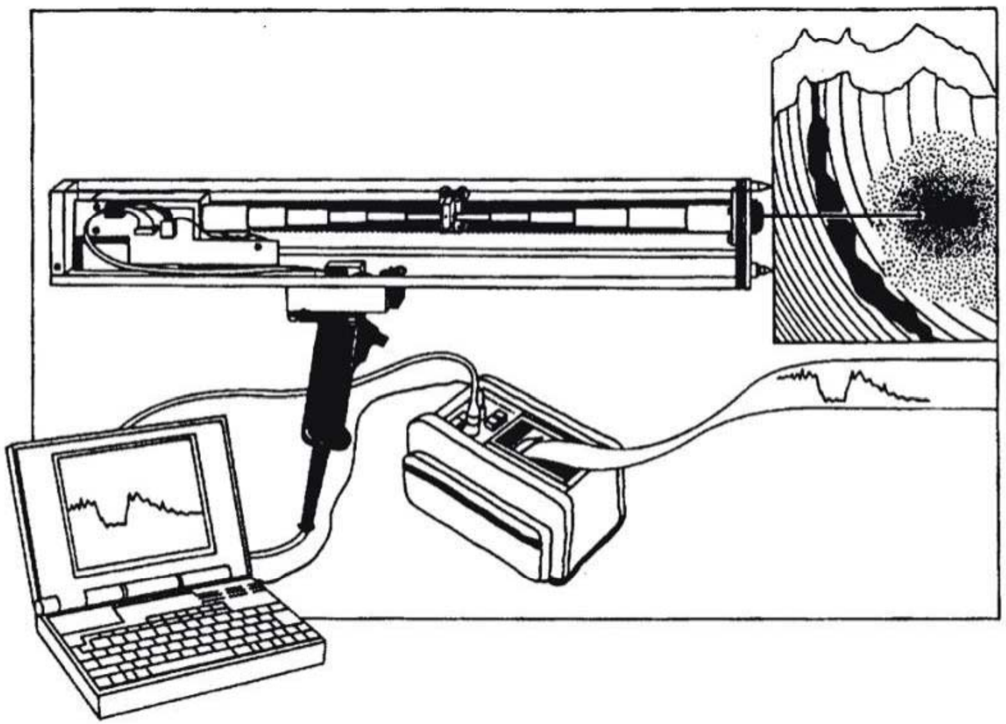
Ενόργανη μέτρηση του βαθμού φθοράς:
1.Stress wave
2.Ultrasound
3.Acoustic emission- Acoustic ultrasonic
4.Drill resistance
5.Screw withdrawal
6.Pilodyn method
7.X- ray technique

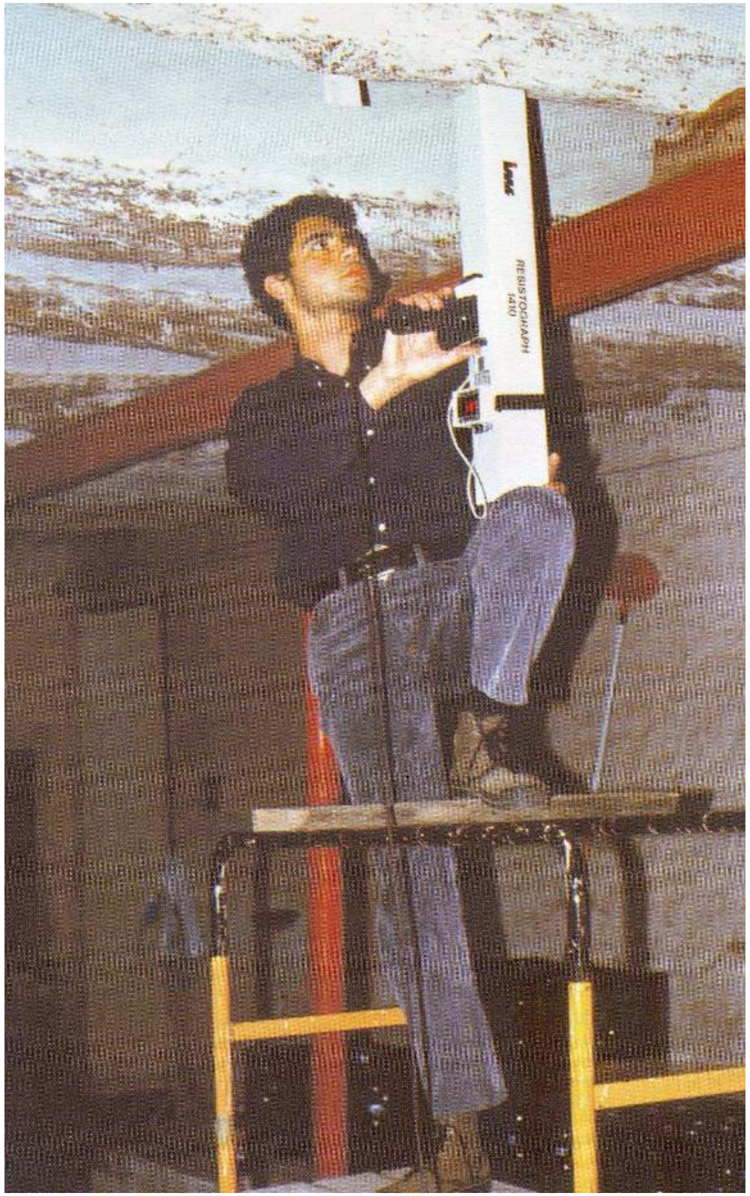
Προβλήματα

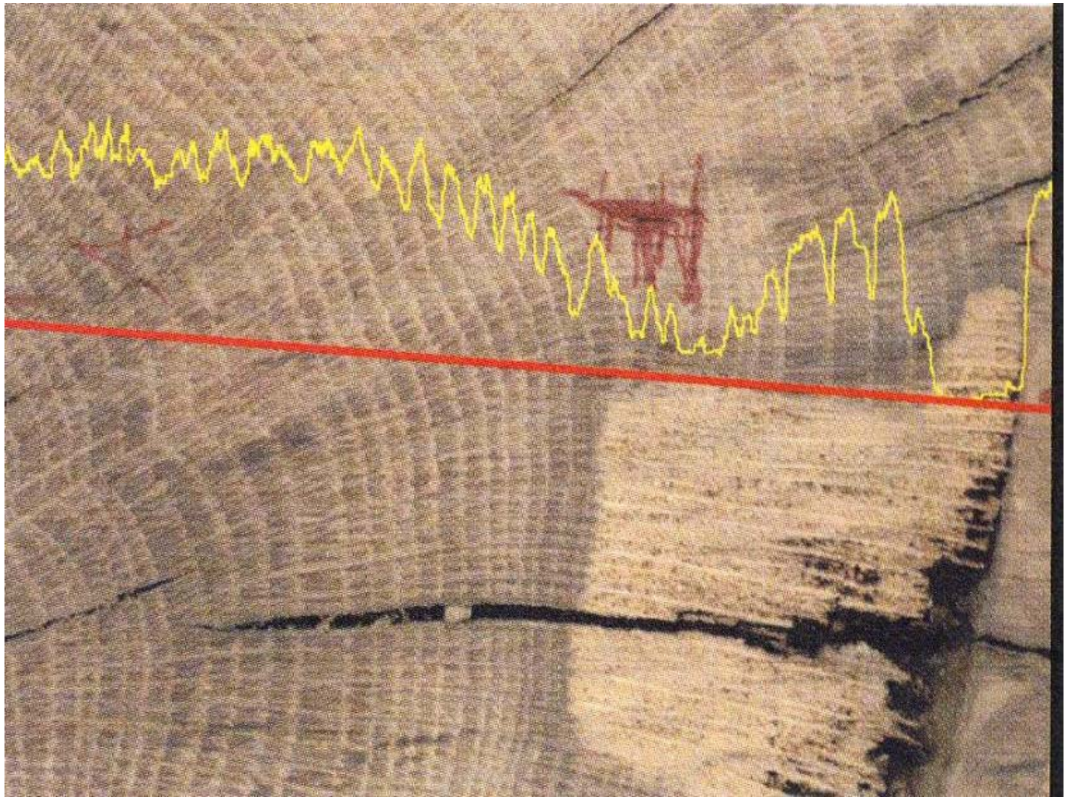
- Έλλειψη προτυποποίησης των μεθόδων, θέτοντας σε αβεβαιότητα την τεχνική τους αξιοπιστία
- Μεγάλο κόστος εφαρμογής.

Ρεζιστογράφος
(Drill Resistance)

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται σχέση της πυκνότητας του ξύλου με την ενέργεια που απαιτείται για την διάτρηση αυτού καταγράφοντας τα εσωτερικά στοιχεία ενός ξύλου σε ένα διάγραμμα όπου στον άξονα χ αποτυπώνεται το βάθος της διάτρησης και στον άξονα γ ενέργεια που καταναλώθηκε από το μηχάνημα εκφρασμένη σε επί τοις εκατό αντίσταση.

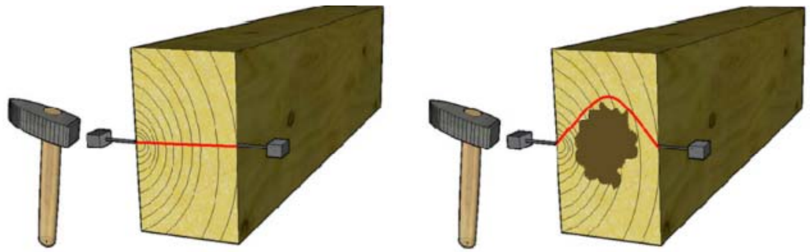


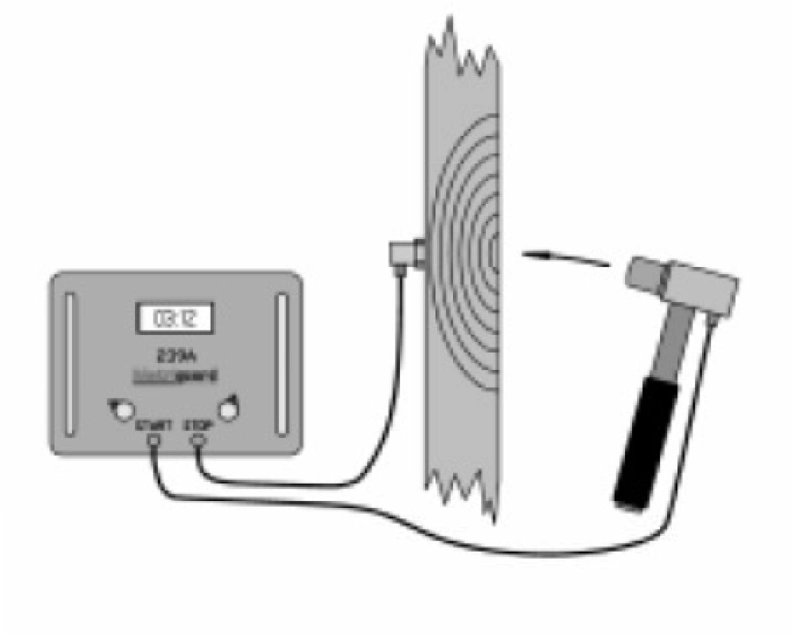

RESISTOGRAPH
1410



Υπέρηχοι - Sonar

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στην ύπαρξη μιας άμεσης σχέσης μεταξύ της ταχύτητας διάδοσης ενός διαμήκους κύματος υπερήχων και της πυκνότητας του ξύλου.





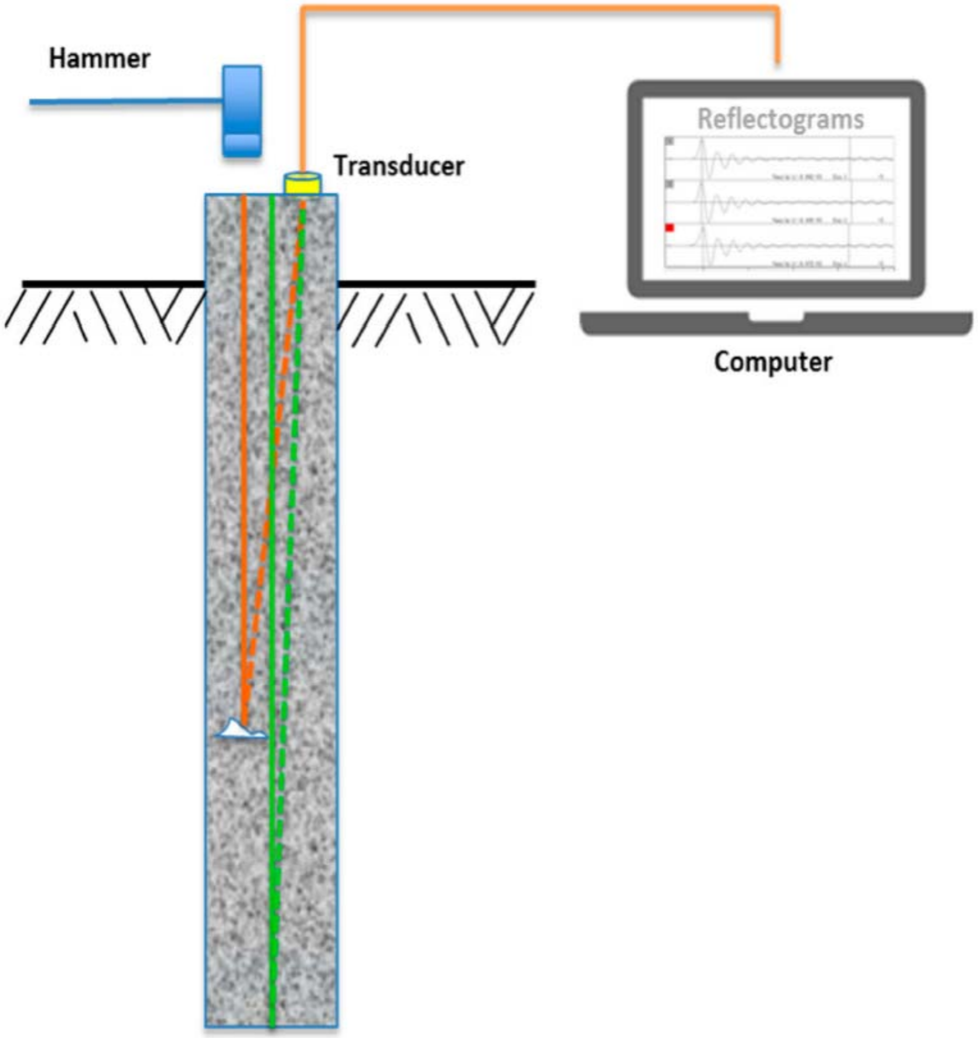


Figure 44 – Sound waves device.

Ακτινογραφίες Χ

Η τεχνική της μεθόδου, σε γενικές γραμμές, συνίσταται στην εξής απλή διεργασία: Μια δέσμη ακτινών Χ διαπερνά το αντικείμενο και προσβάλλει ένα ειδικό ακτινογραφικό φιλμ. Η εικόνα, που αποκτάται με αυτόν τον τρόπο είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση της ακτινοβολίας Χ, που εξέρχεται από το αντικείμενο, δεδομένου, ότι ένα μέρος της απορροφάται εκλεκτικά από τα υλικά του έργου, που διαπερνά

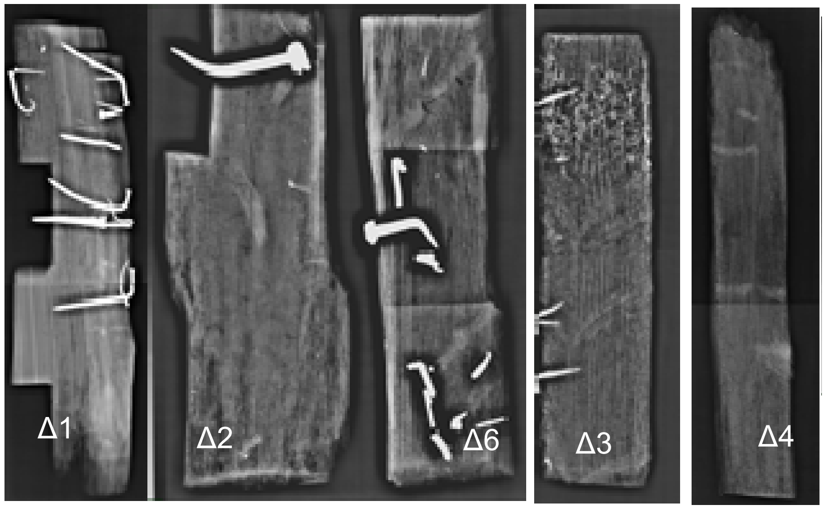
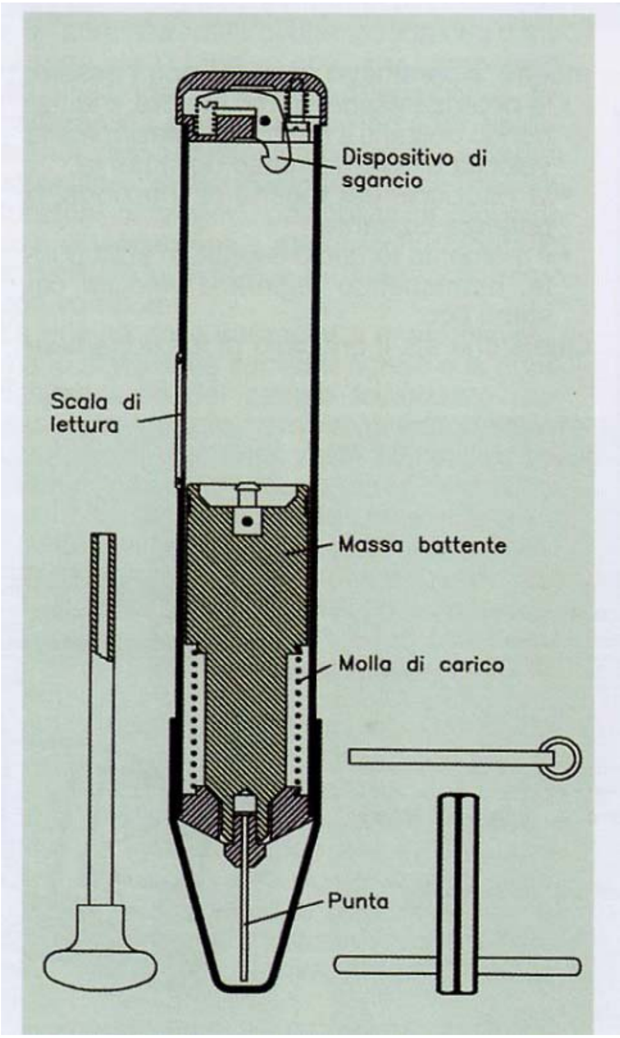


Figure 45 – X-Ray equipment.

Κρουσιμέτρηση - PILODYN

Γίνεται με απλό όργανο που βυθίζει βελόνα στο ξύλο και μετρά την πυκνότητα/σκηρότητα του ξύλου



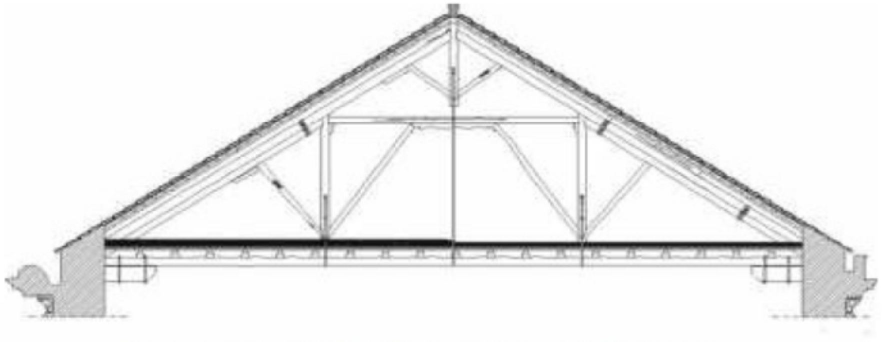


Figure 50 – Naples Royal Palace studied truss.

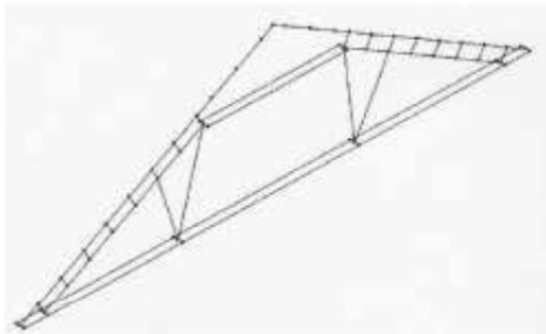
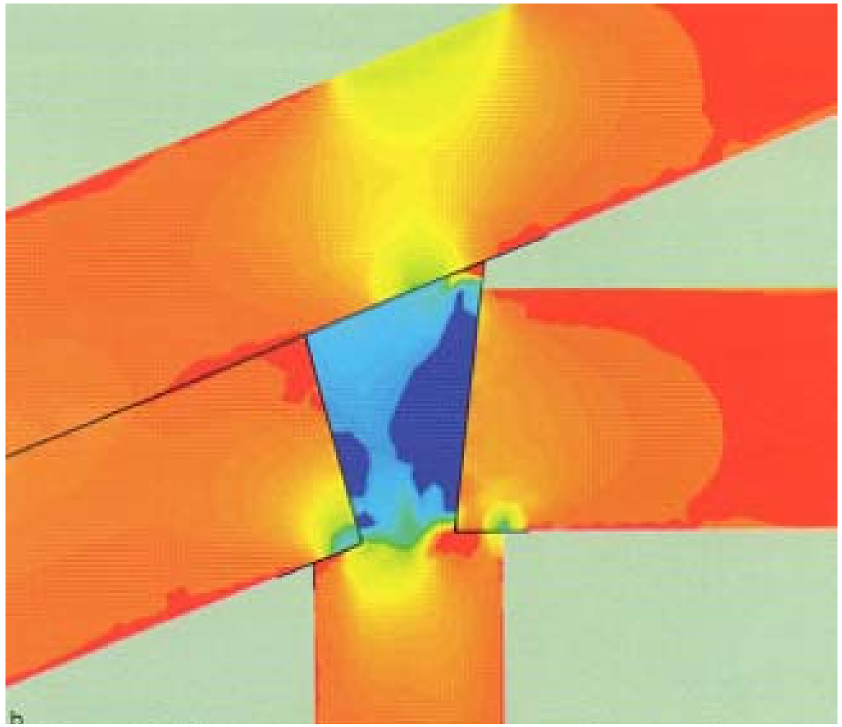
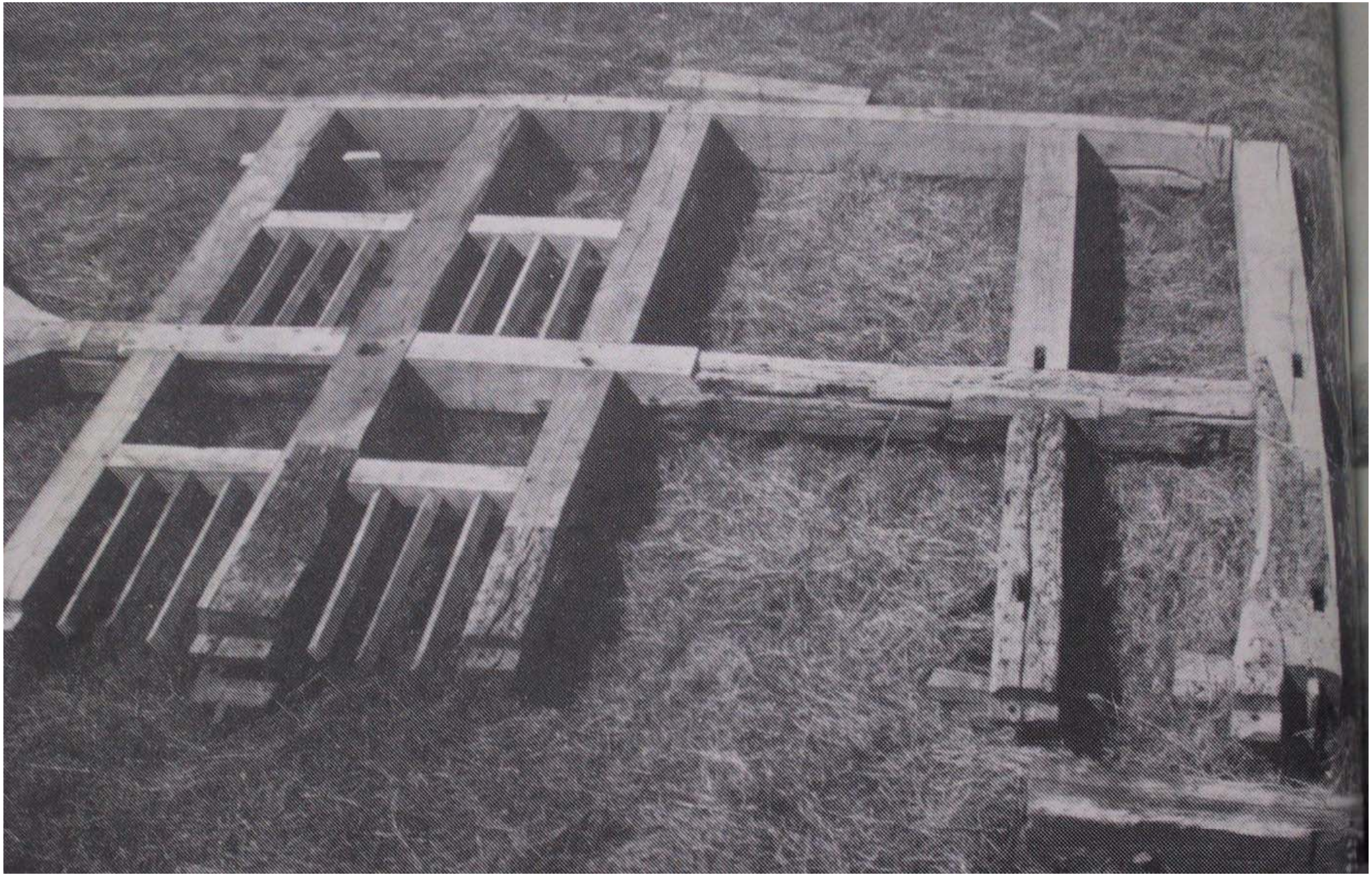


Figure 51 – Numerical model of prototype.



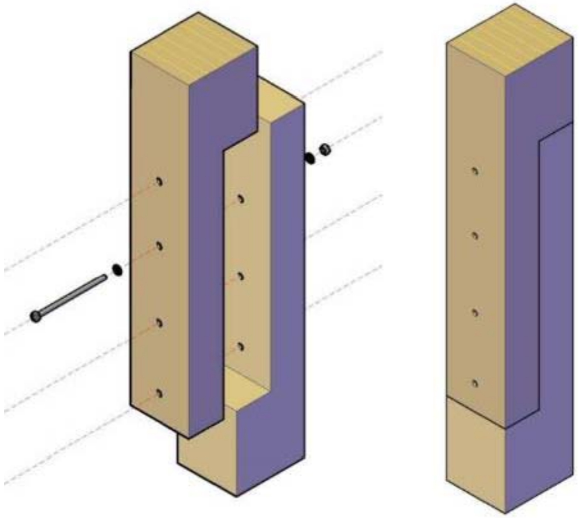
Μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων (FEM) είναι χρήσιμα ιδιαίτερα για την αξιολόγηση των περιοχών όπου αναπτύσσονται τάσεις που ξεπερνούν την αντοχή των υλικών.

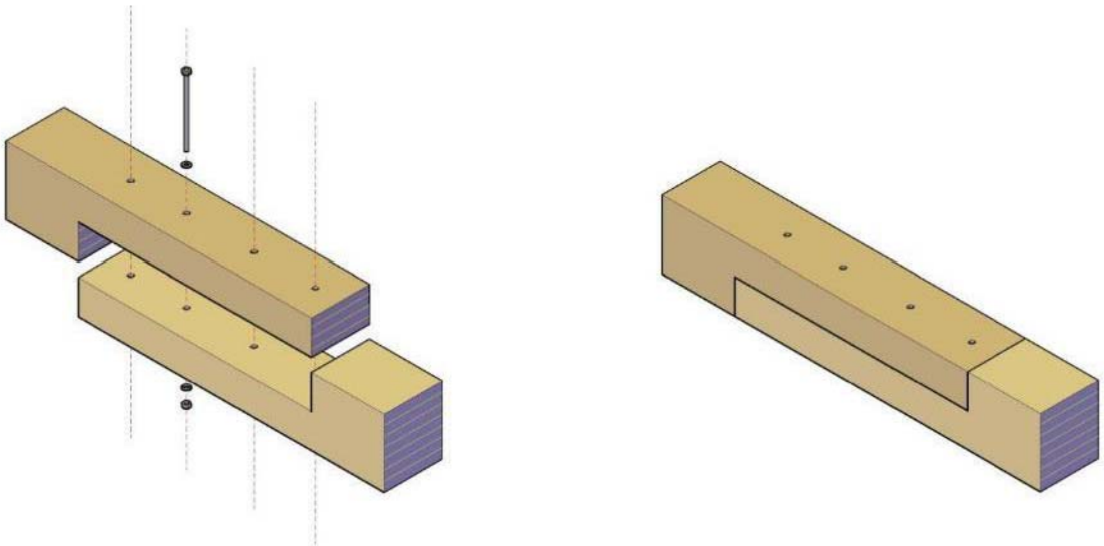
Τρόποι αποκατάστασης της δομικής ξυλείας

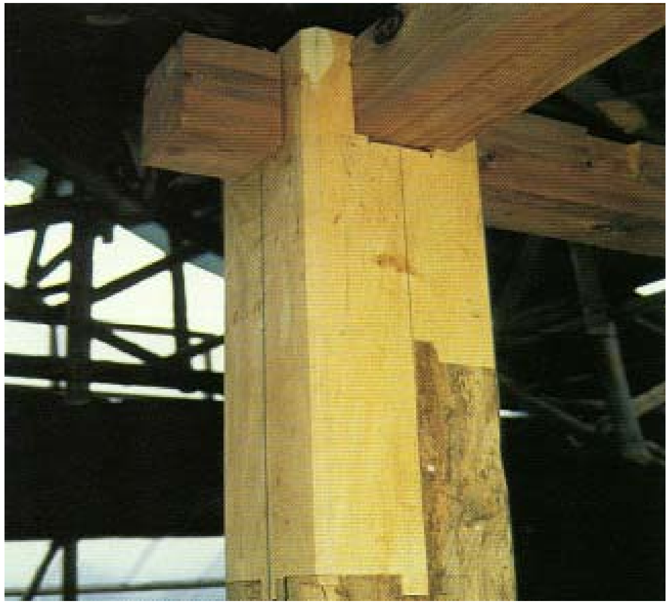


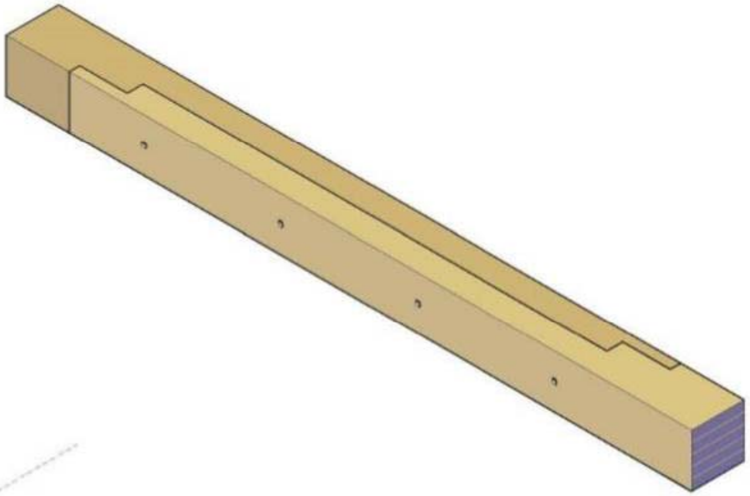
Αντικατάσταση φθαρμένων μελών ή τμημάτων με νέο ξύλο.

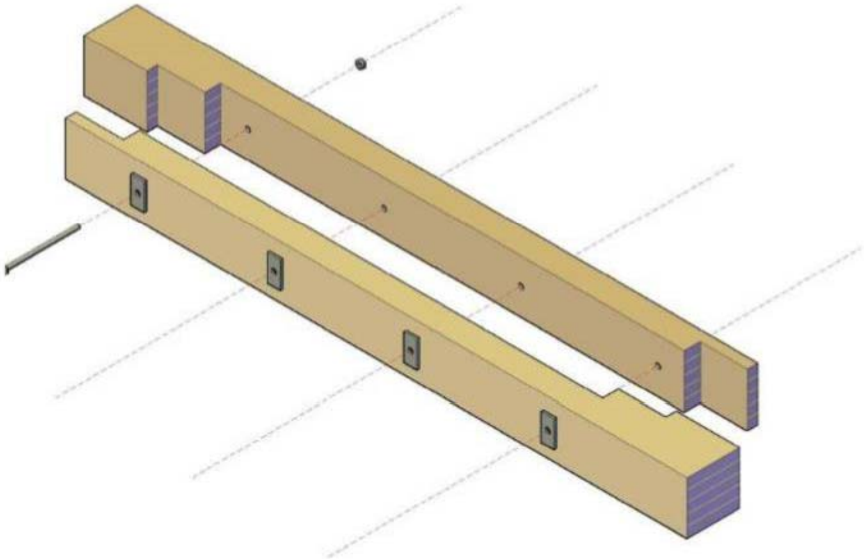

Αντικατάσταση φθαρμένων άκρων με μισοχαρακτές ενώσεις





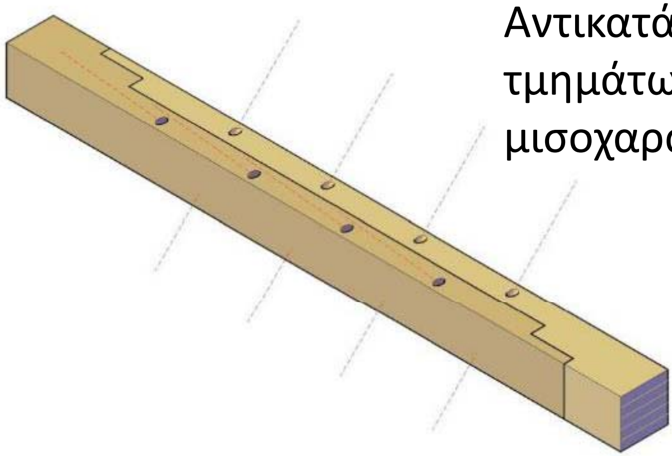


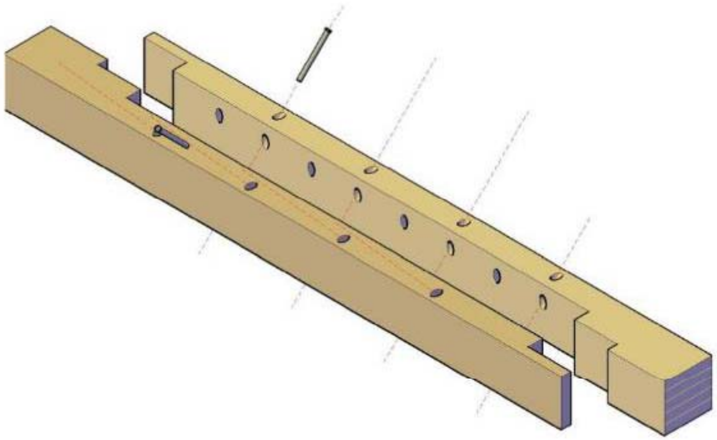


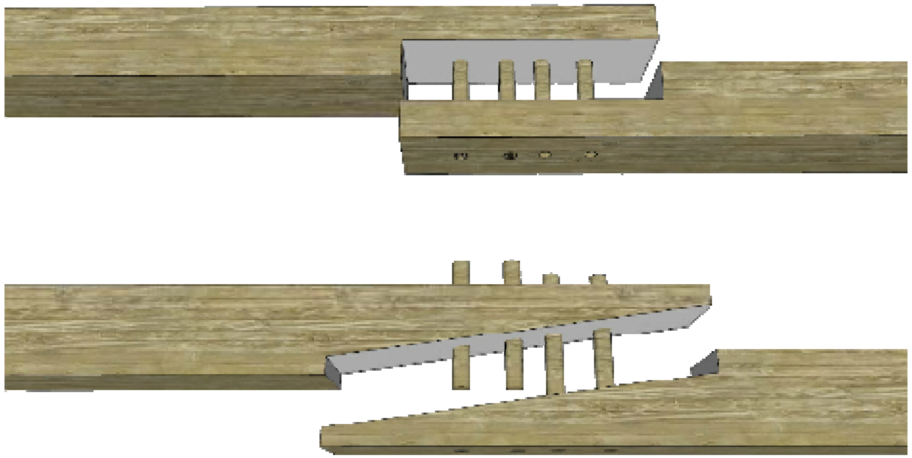


Αντικατάσταση φθαρμένων άκρων ή τμημάτων δομικών μελών με σύνθετες μισοχαρακτές ενώσεις

Αντικατάσταση φθαρμένων άκρων ή τμημάτων δομικών μελών με σύνθετες μισοχαρακτές ενώσεις



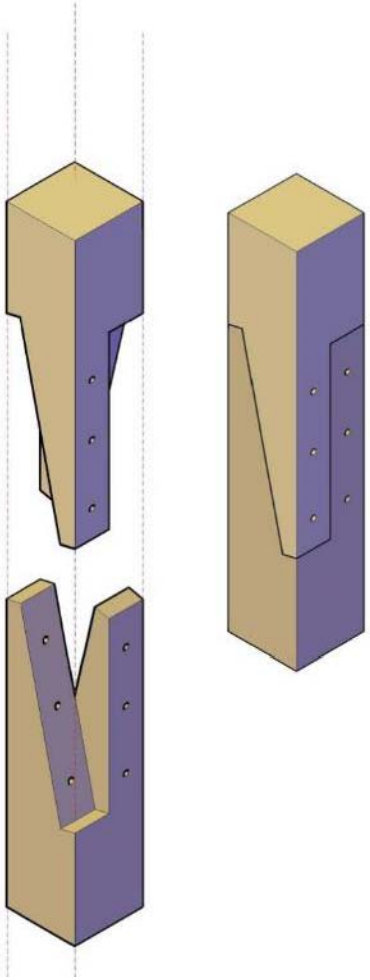


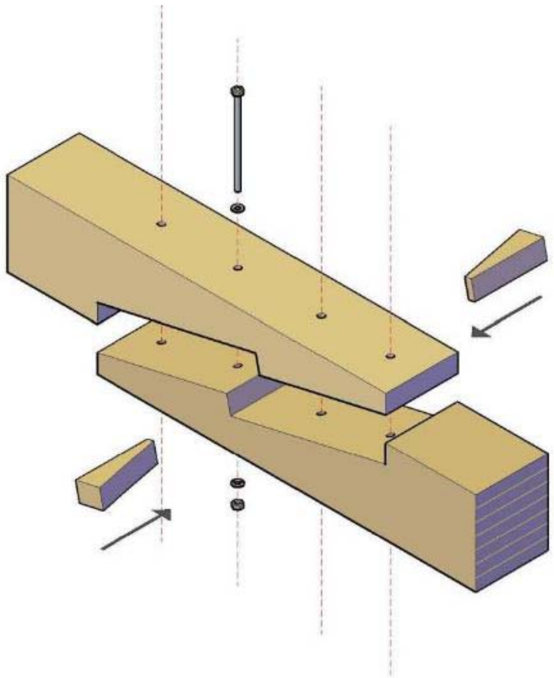


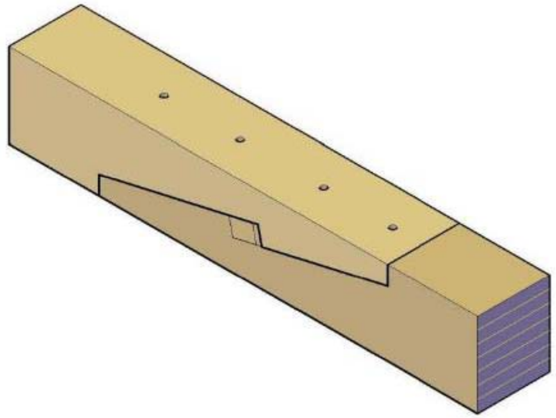
(a)

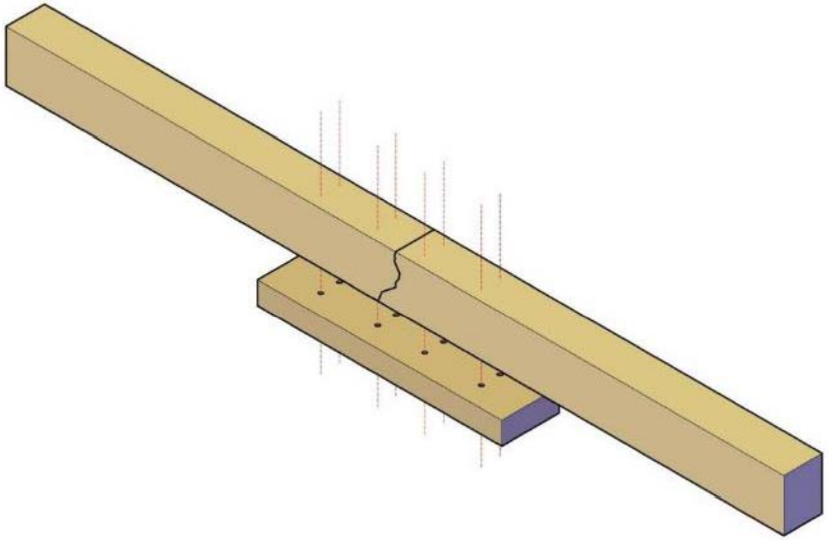
Figure 72 – Example of prosthesisation with steel bolts as connectors (Buštehrad Castle).

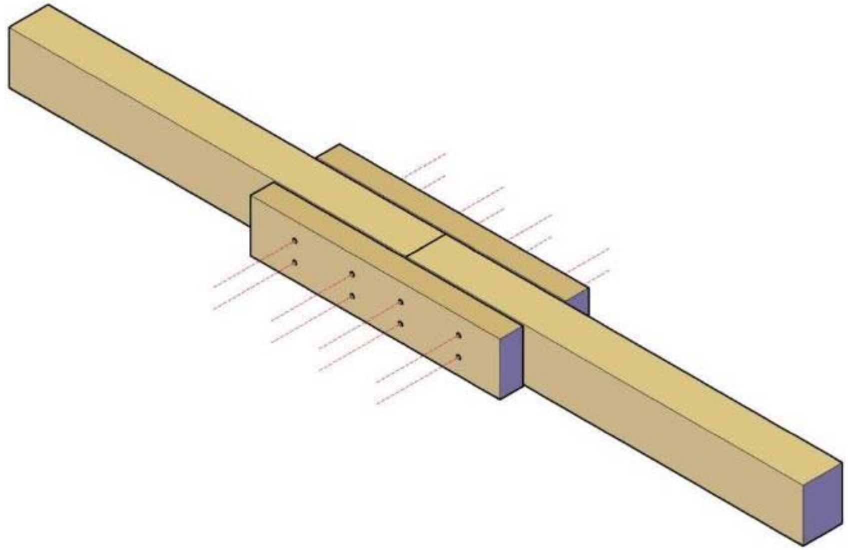
Αντικατάσταση φθαρμένων άκρων ή τμημάτων δομικών μελών με σύνθετες μισοχαρακτές ενώσεις Ιαπωνικού τύπου

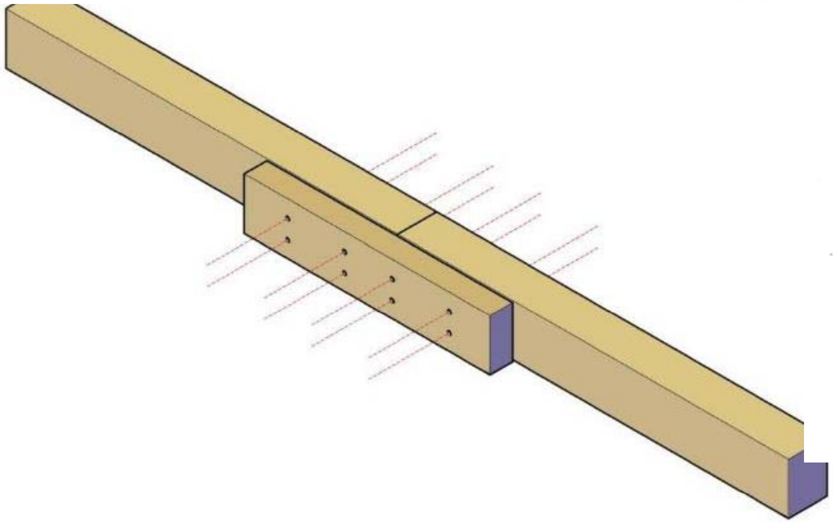


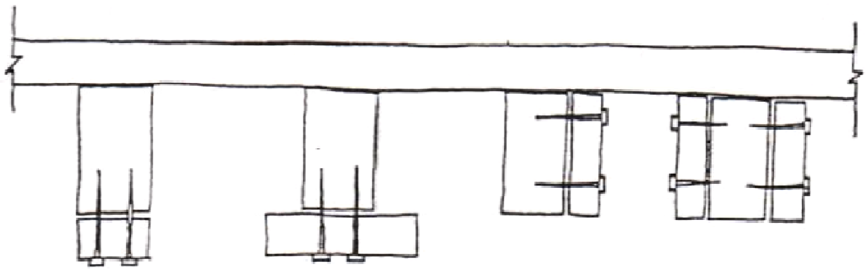


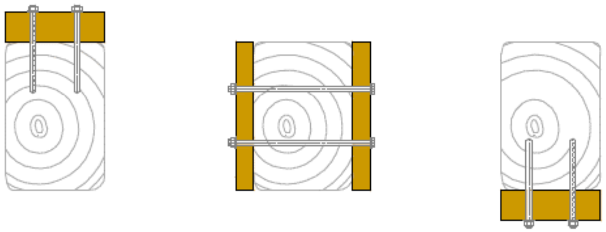




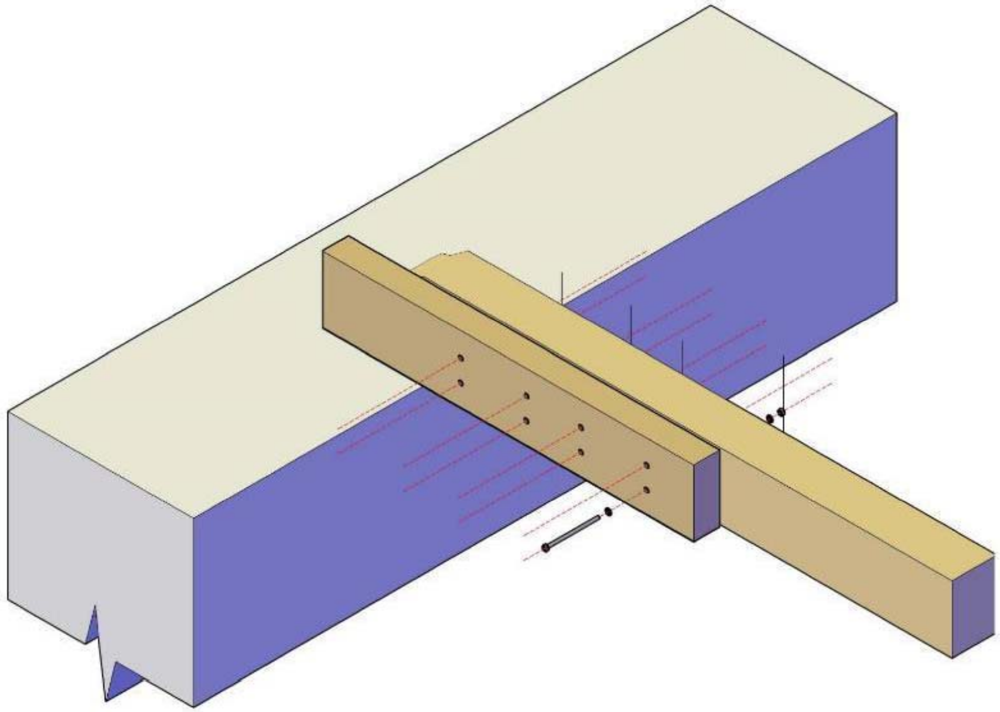


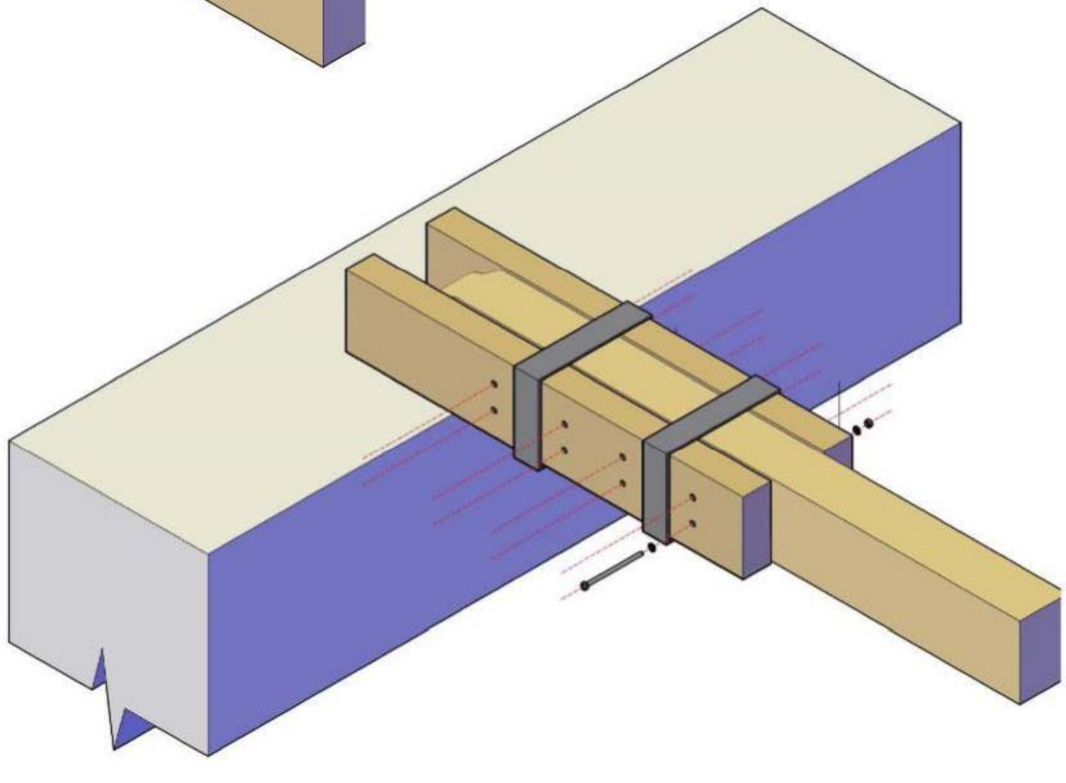


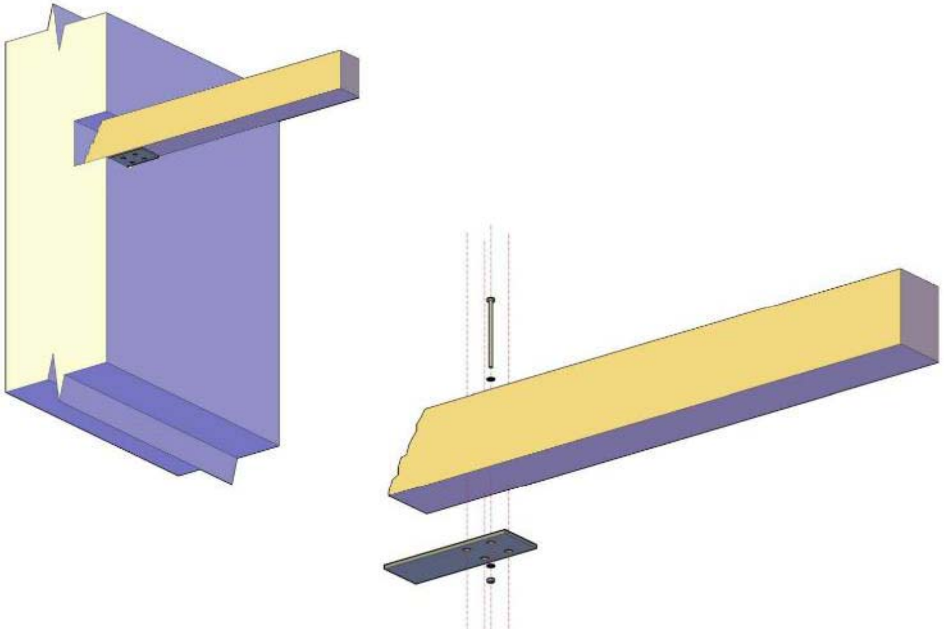


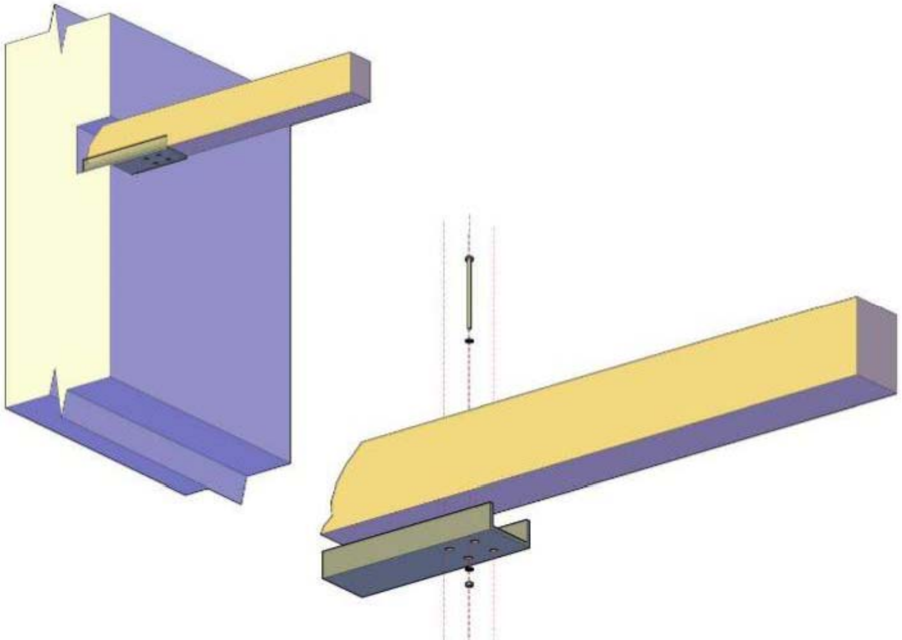


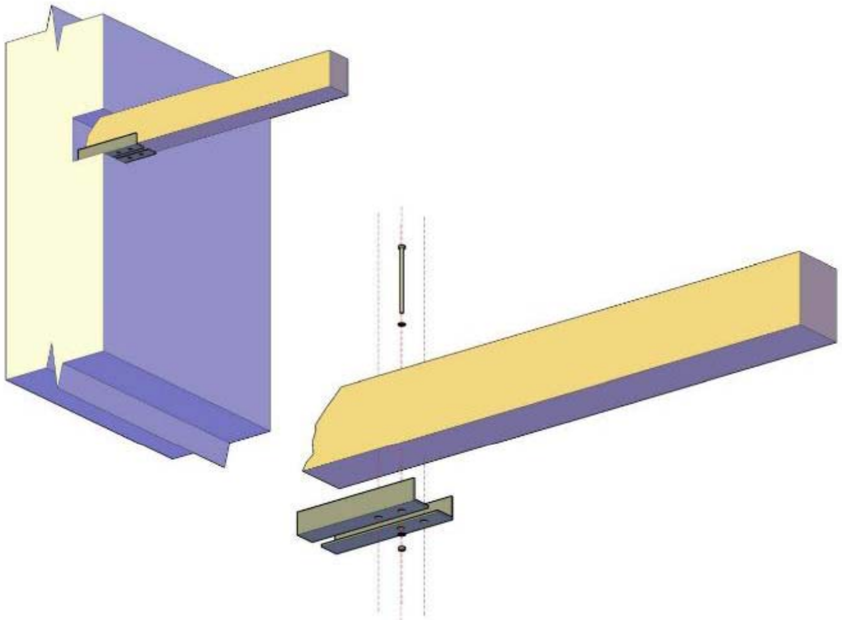
Ενίσχυση σπασμένων δοκών με προσθήκη κατά μήκος νέων ξύλων (πλάι, κάτω, και από τις δύο πλευρές).

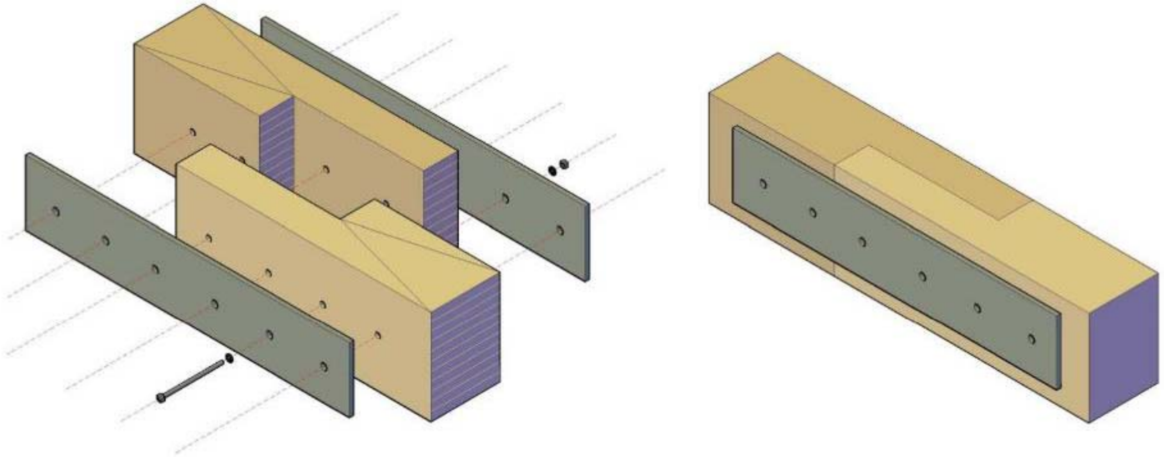


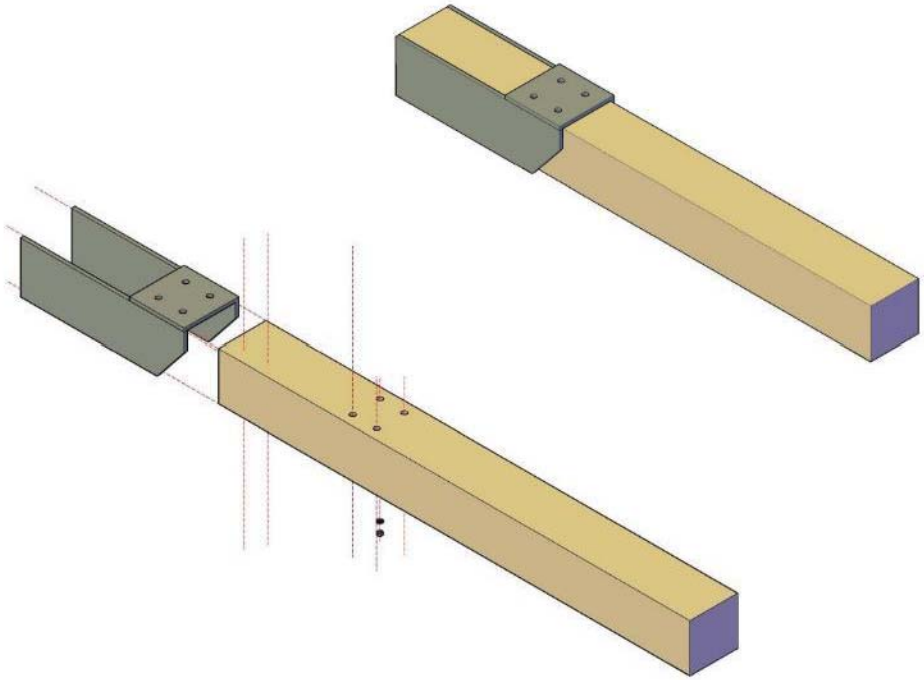


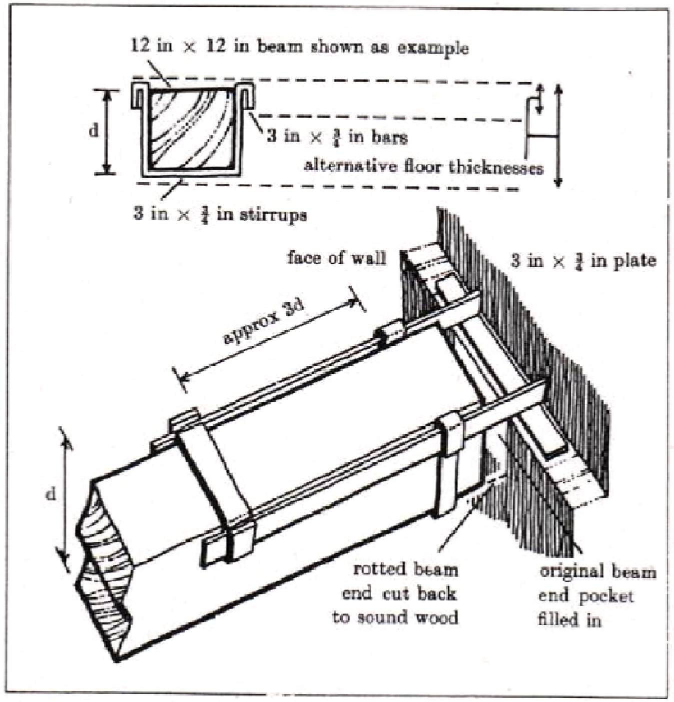


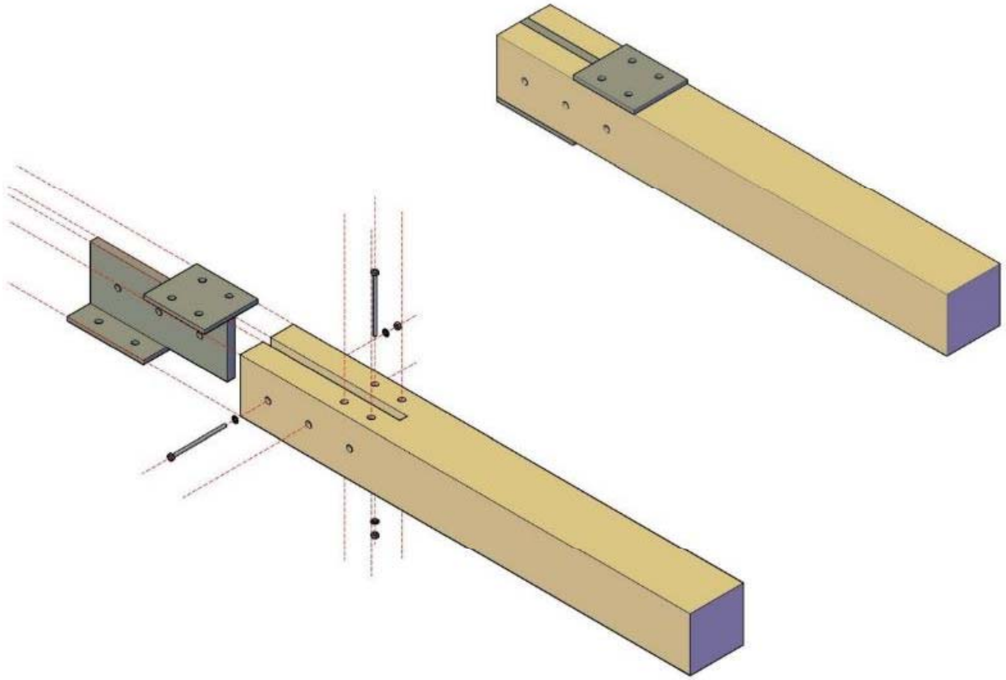


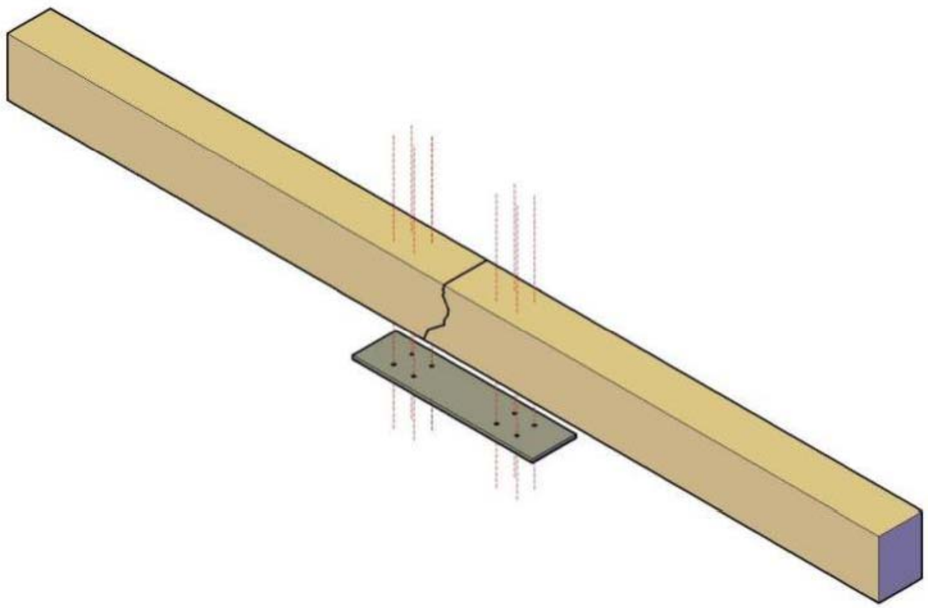


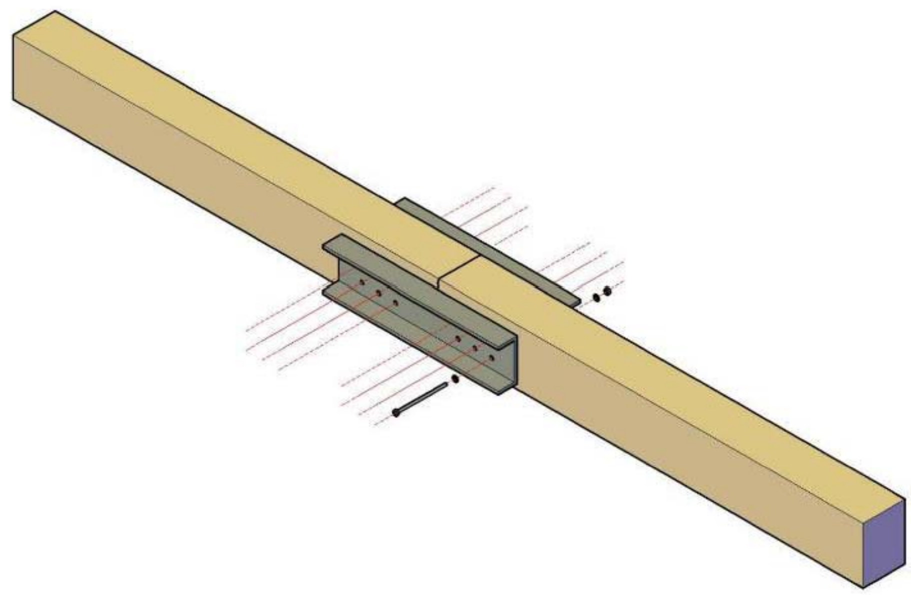


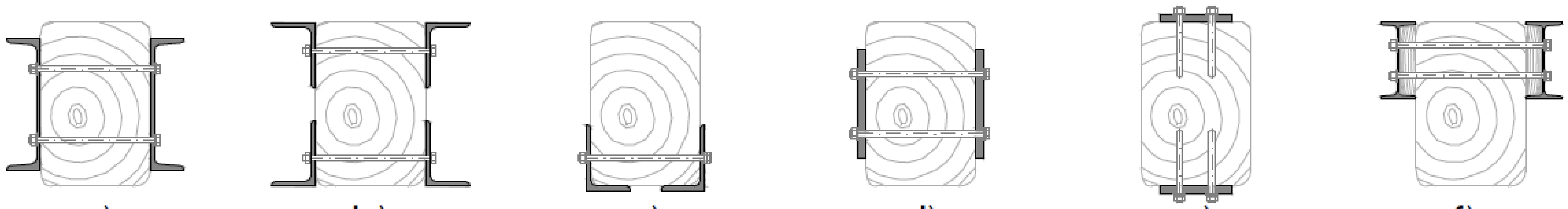



12 in × 12 in beam shown as example
d
3 in × ¾ in bars
alternative floor thicknesses
3 in × ¾ in stirrups
face of wall
3 in × ¾ in plate
approx 3d
d
rotted beam
end cut back
to sound wood
original beam
end pocket
filled in

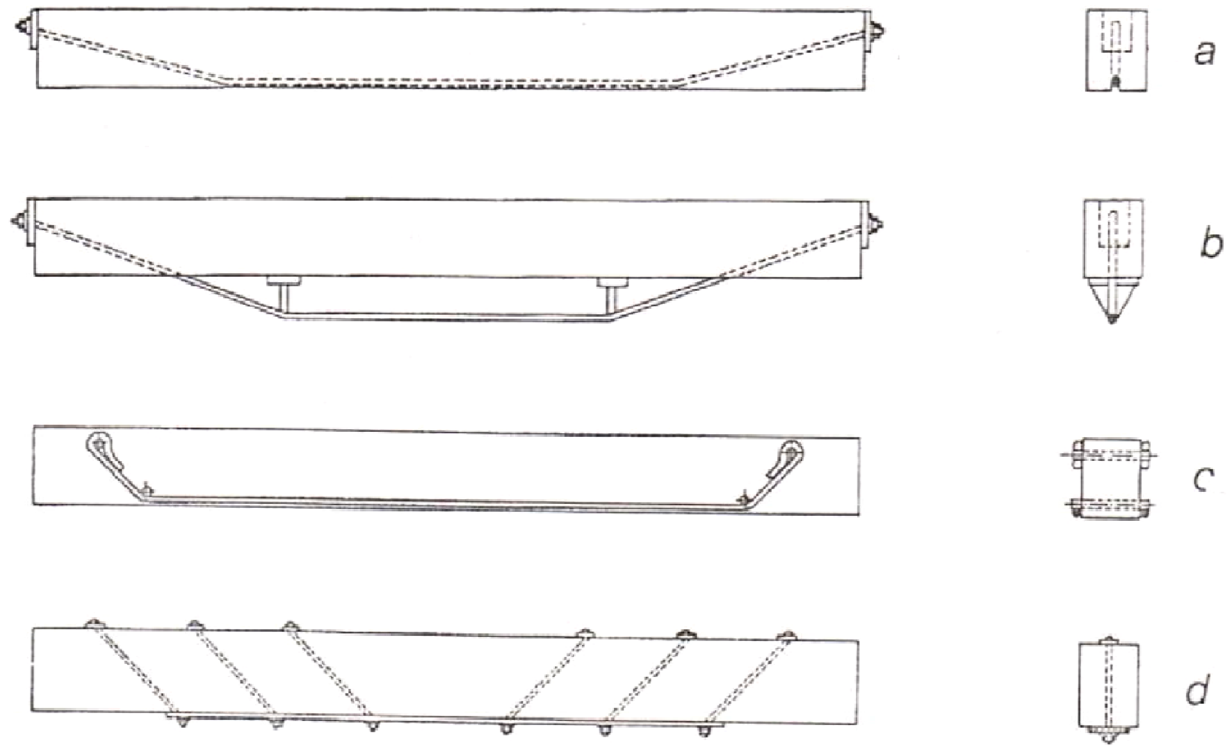


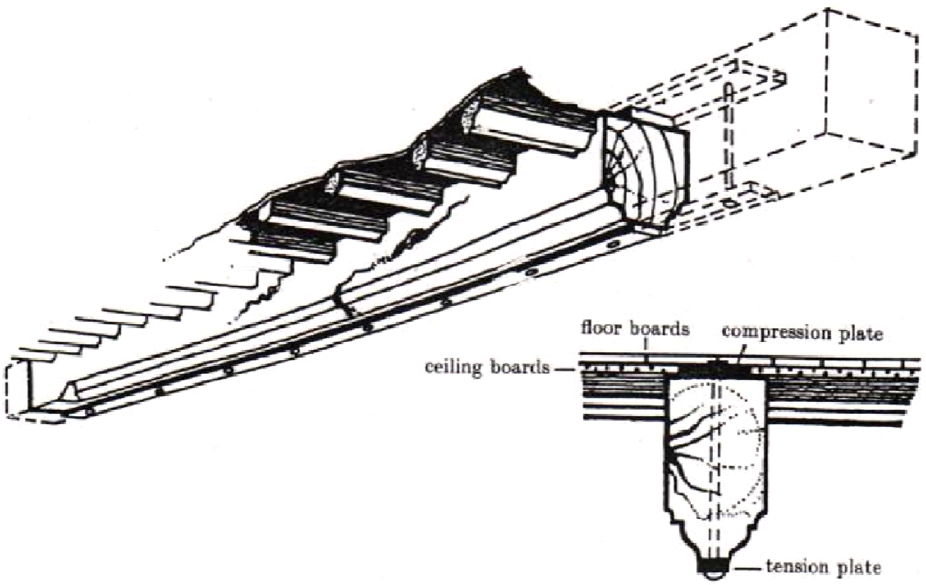


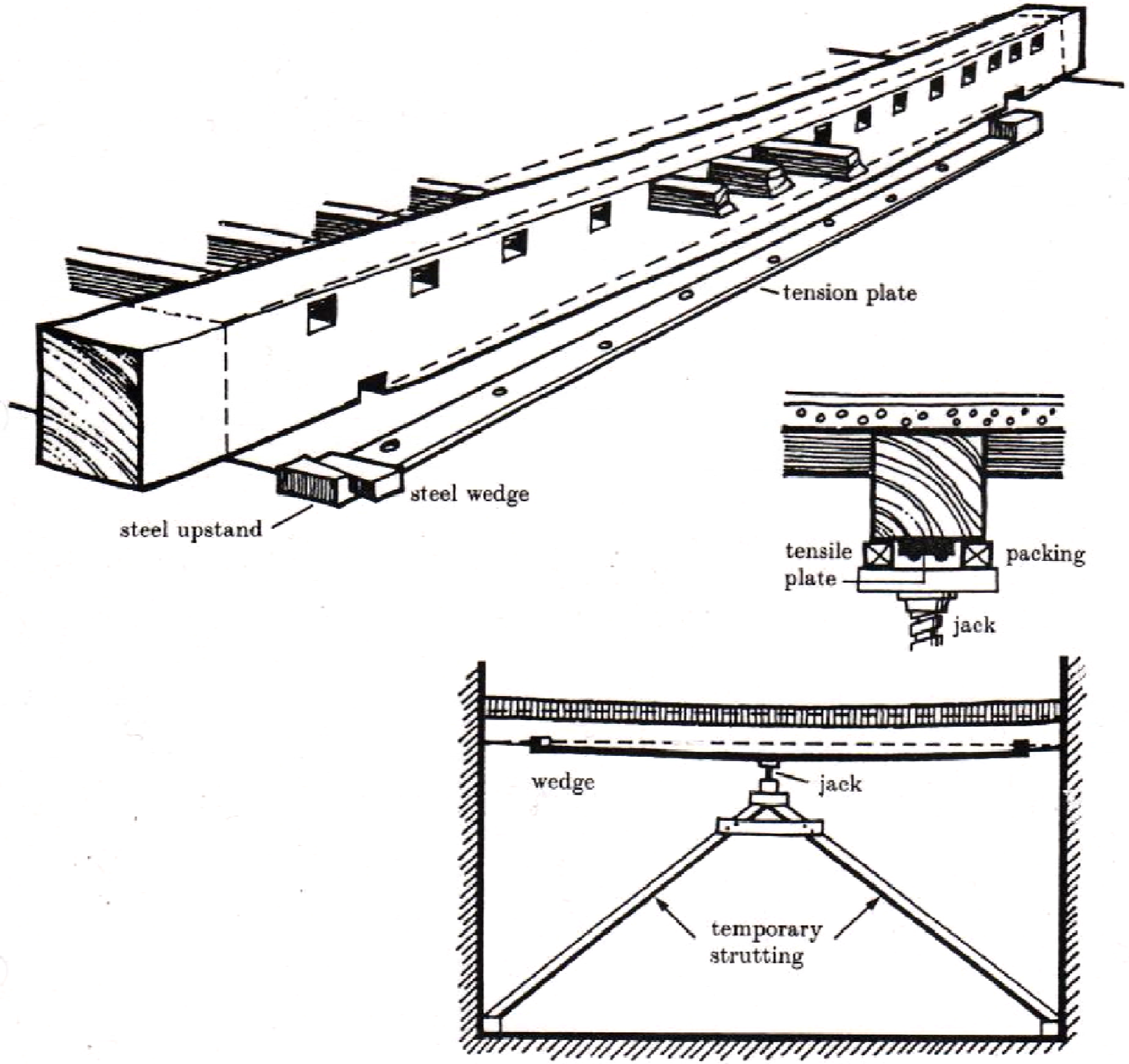


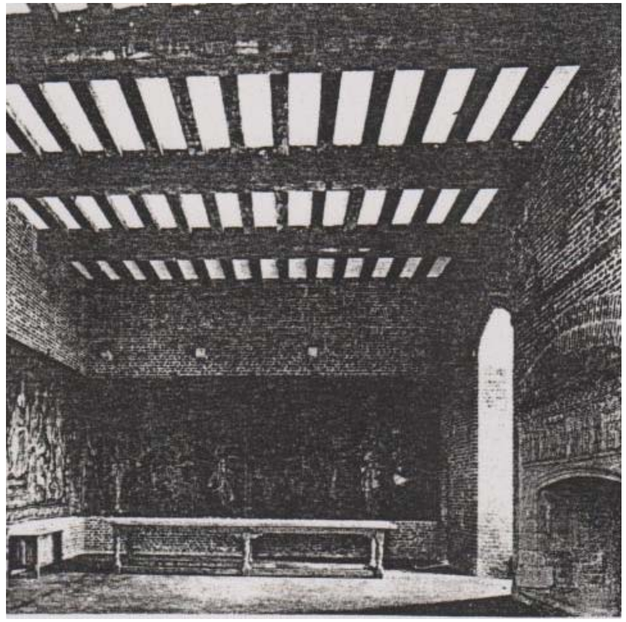


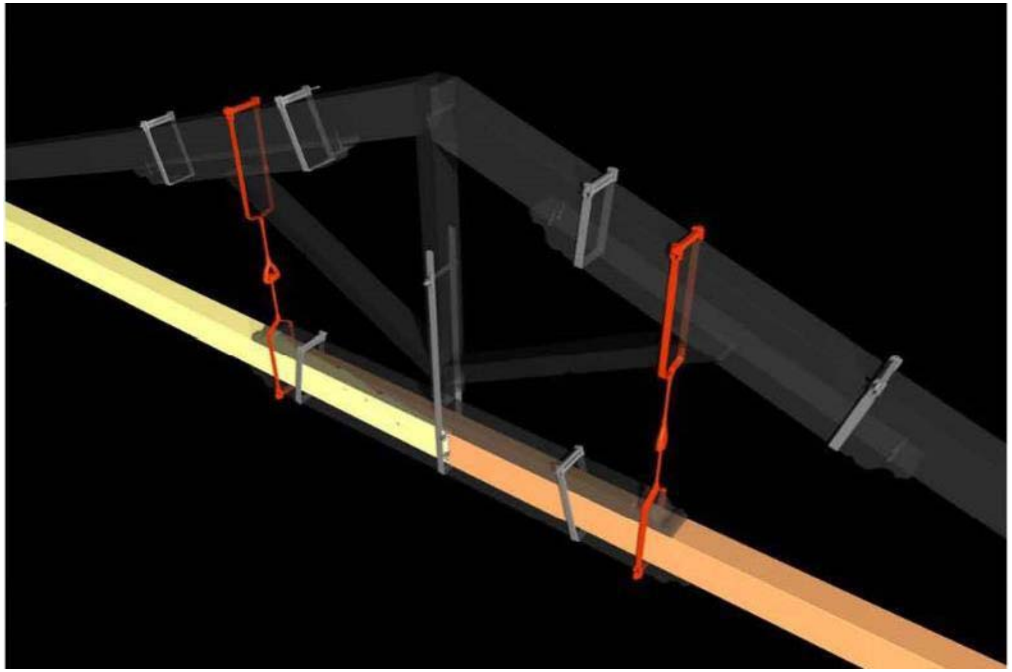
a) b) c) d) e) f)

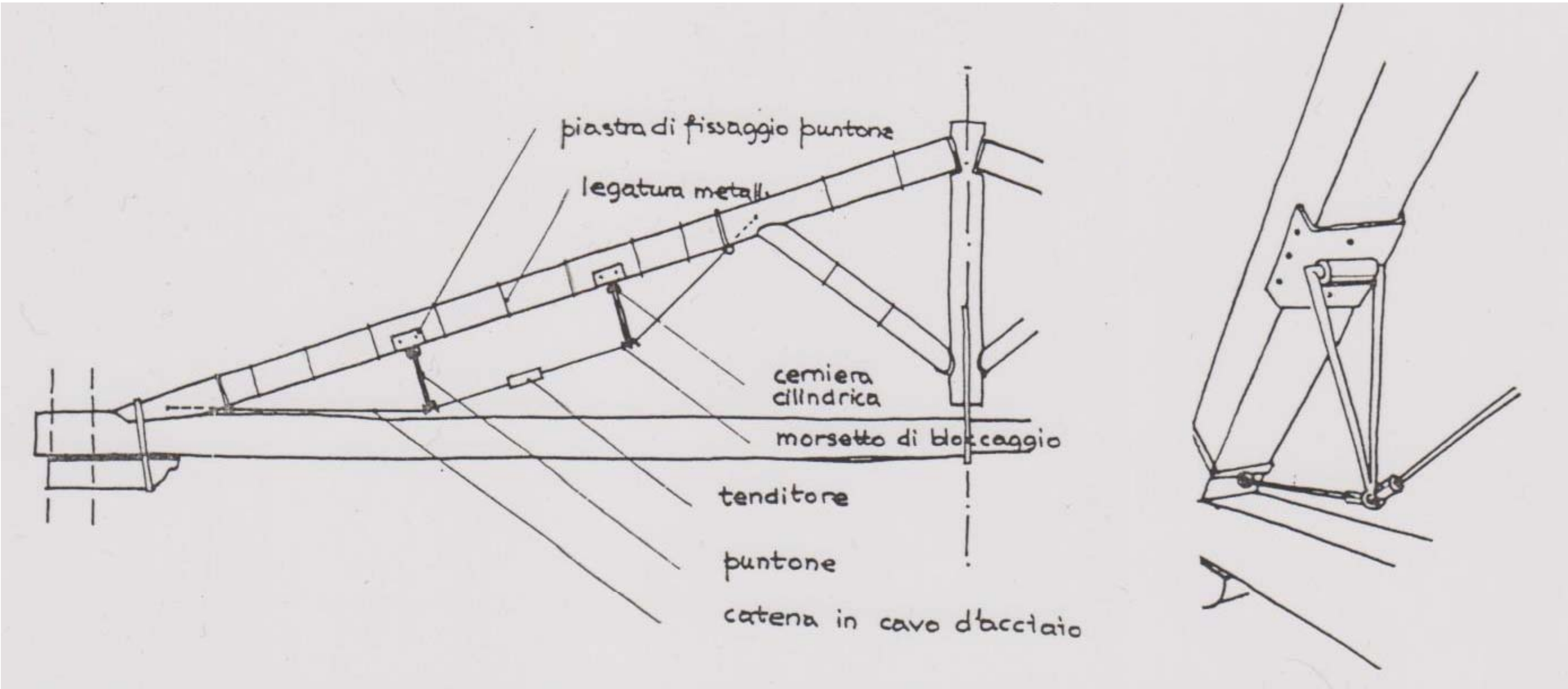

a
b
c
d

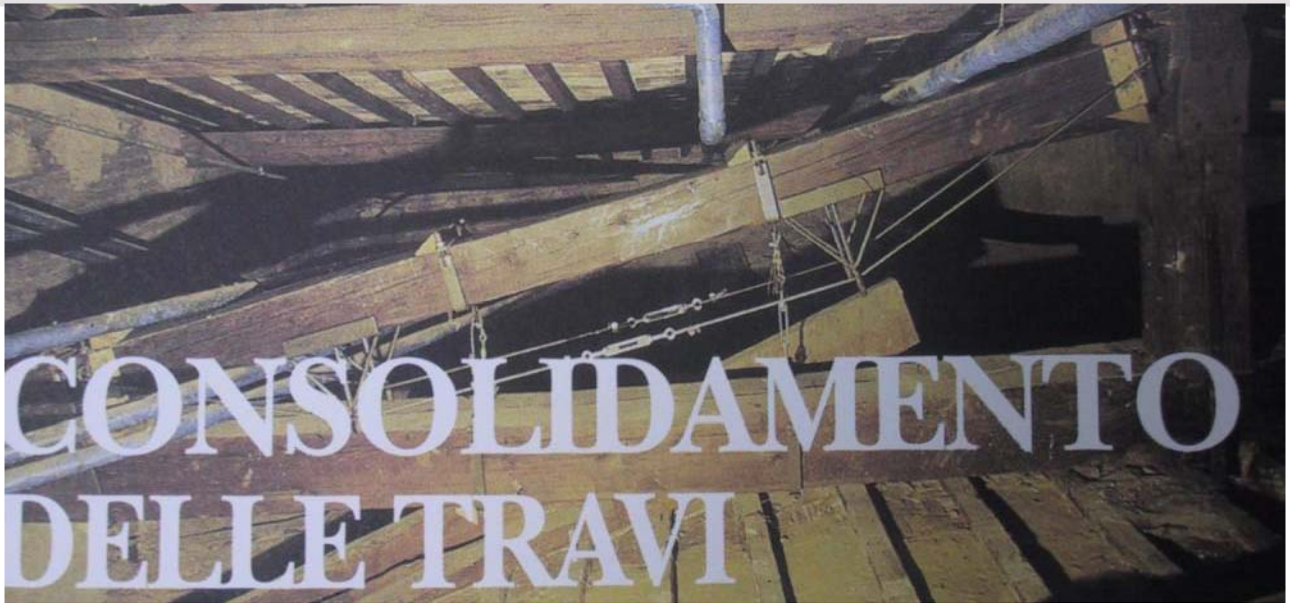

floor boards
compression plate
ceiling boards
tension plate


tension plate
steel wedge
steel upstand
tensile
plate
packing
jack
wedge
jack
temporary
strutting

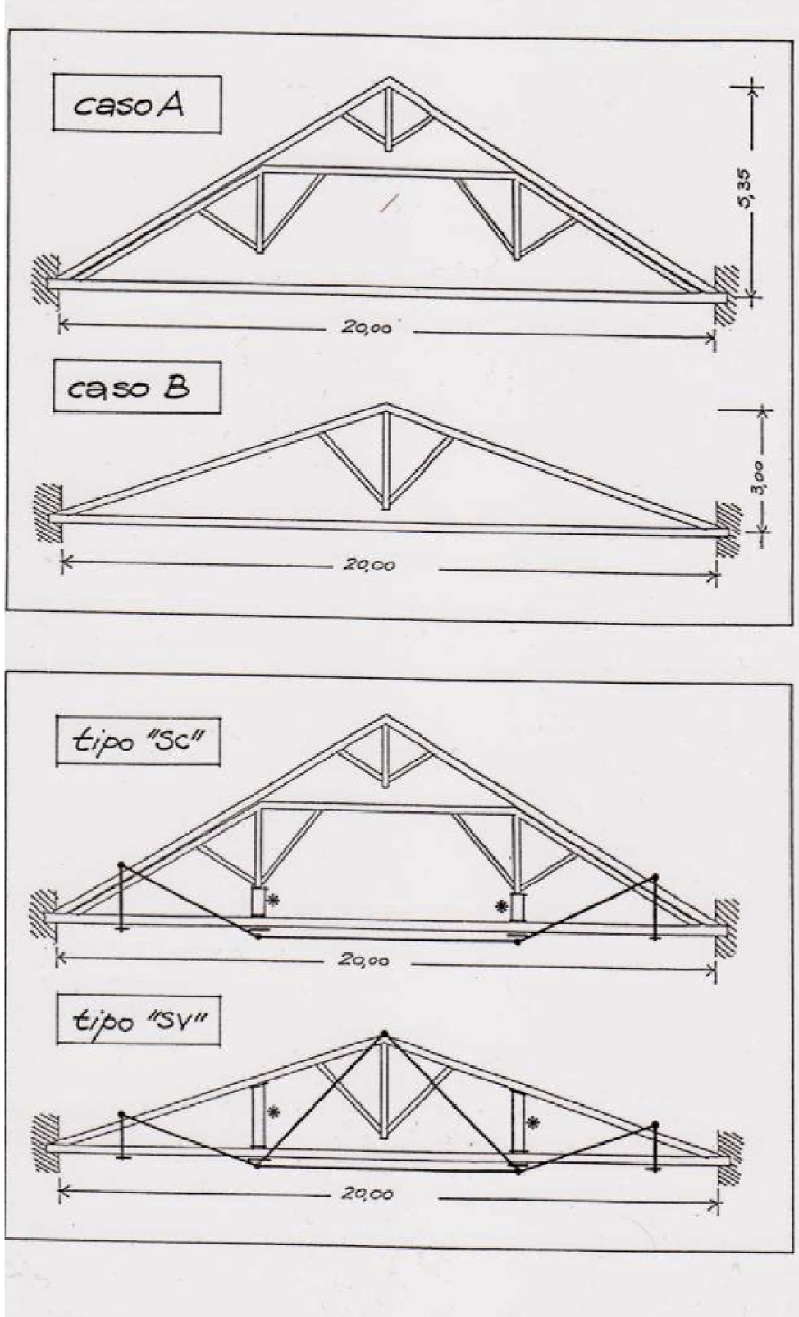


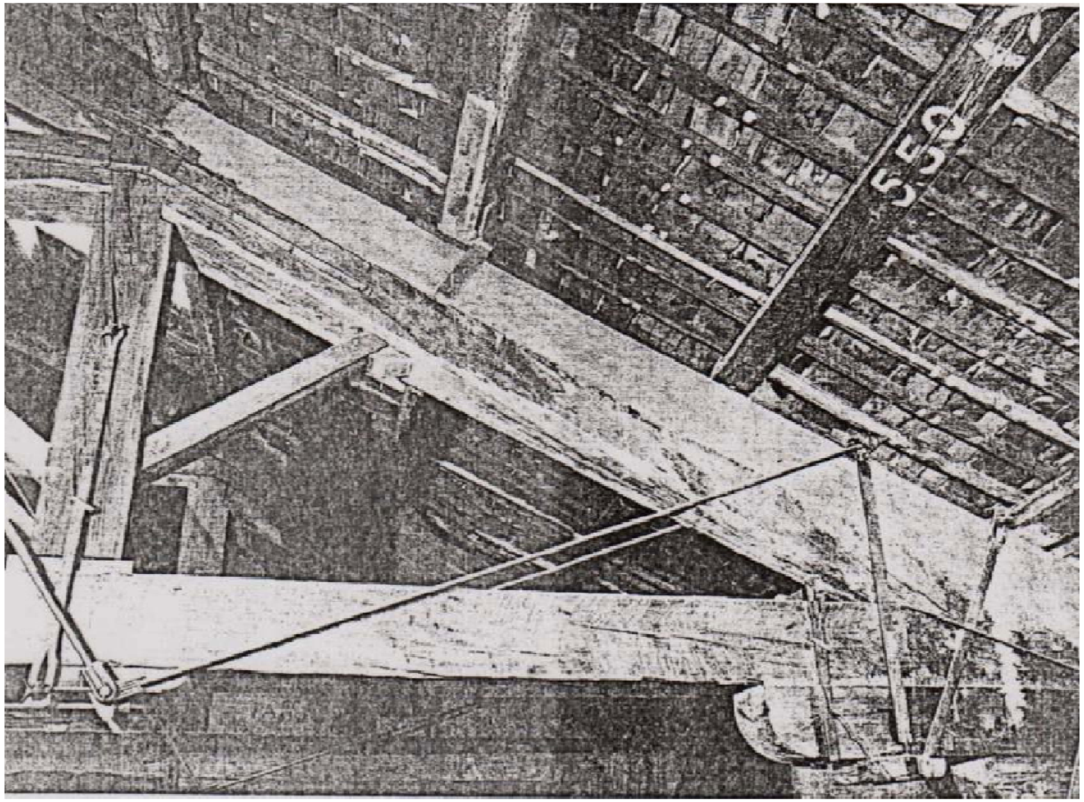






CONSOLIDAMENTO DELLE TRAVI


caso A
5,35
20,00
caso B
3,00
20,00
tipo "SC"
20,00
tipo "SV"
20,00


550

Luís Pinto

Figure 101 – Post-stressing of a beam.

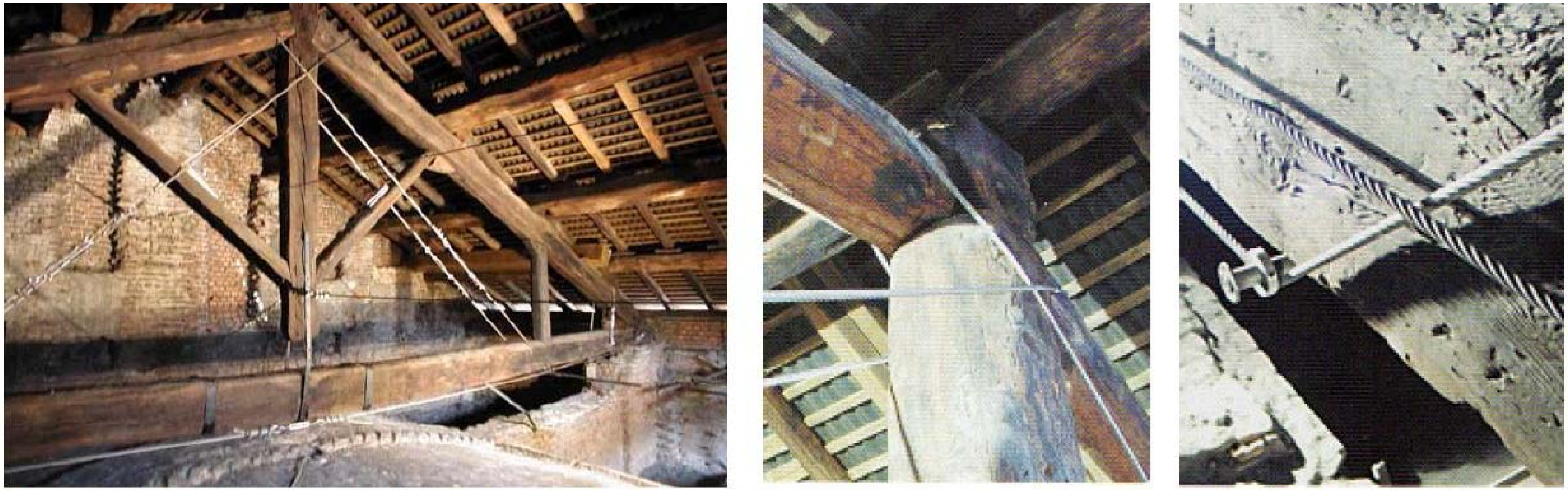


Figure 102 – Scheme and details of an intervention using post-tensioned steel cables and the addition of a timber member, giving the rafters an extra support and loosening the bending on the tie-beam at the same time.

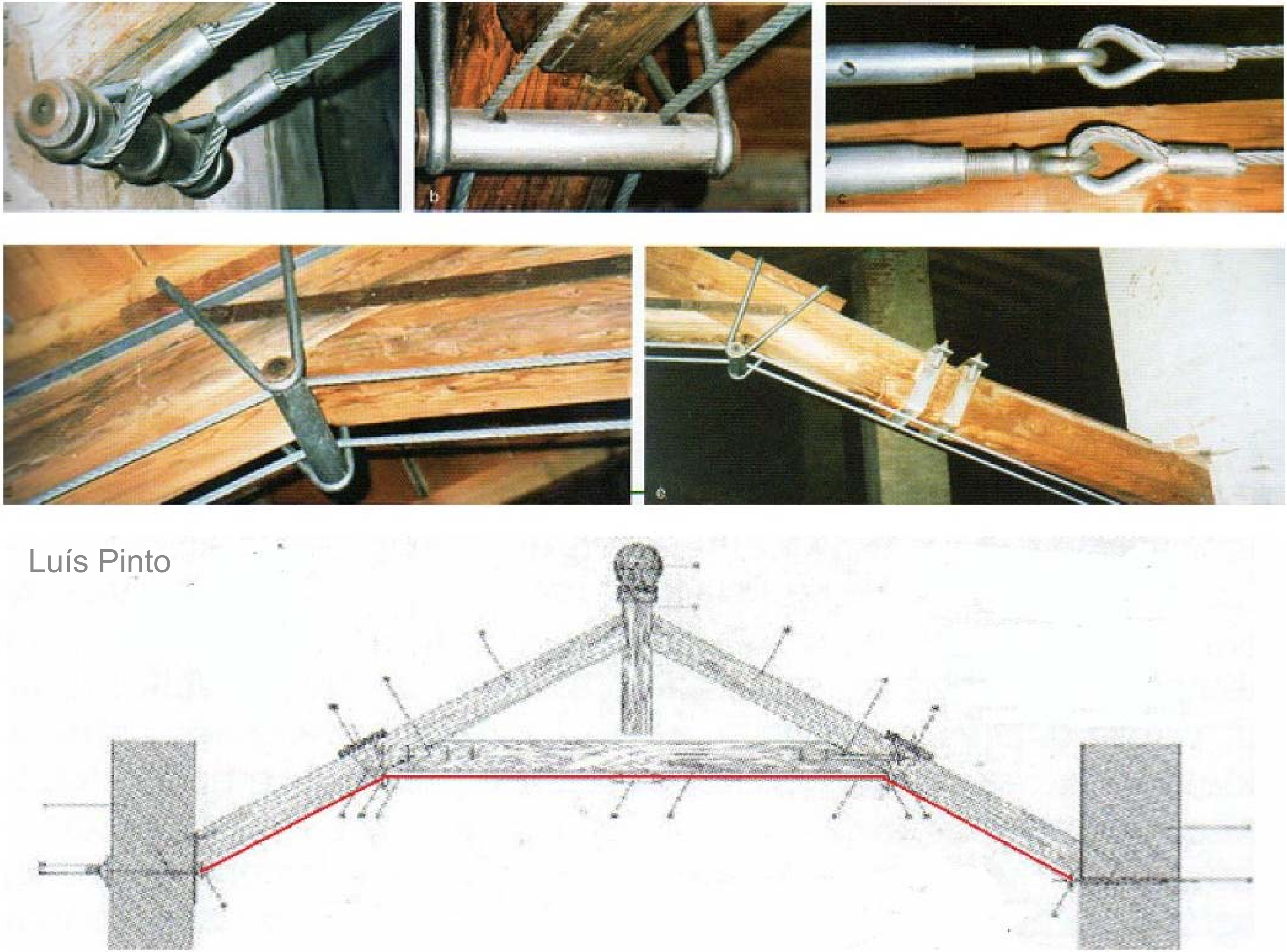
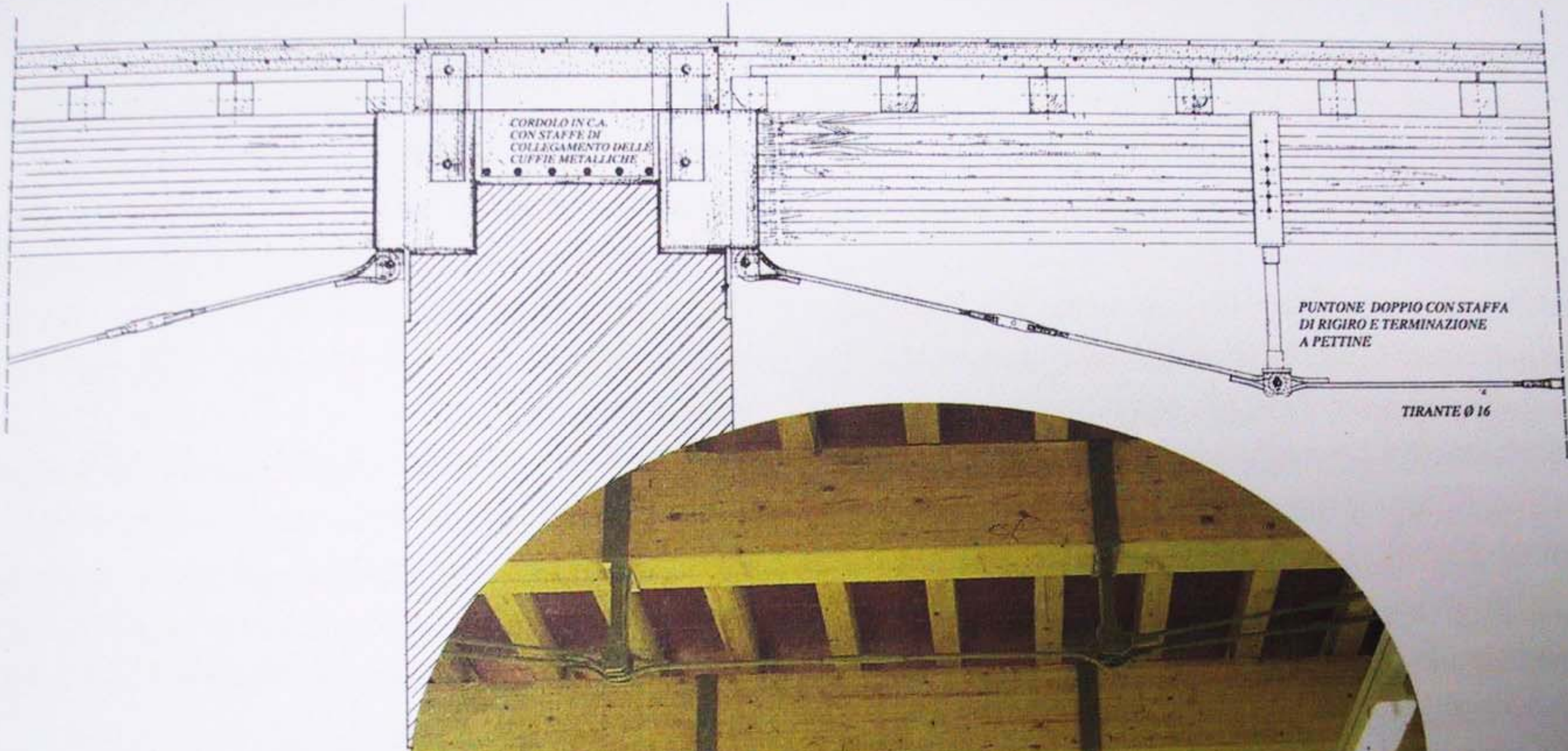


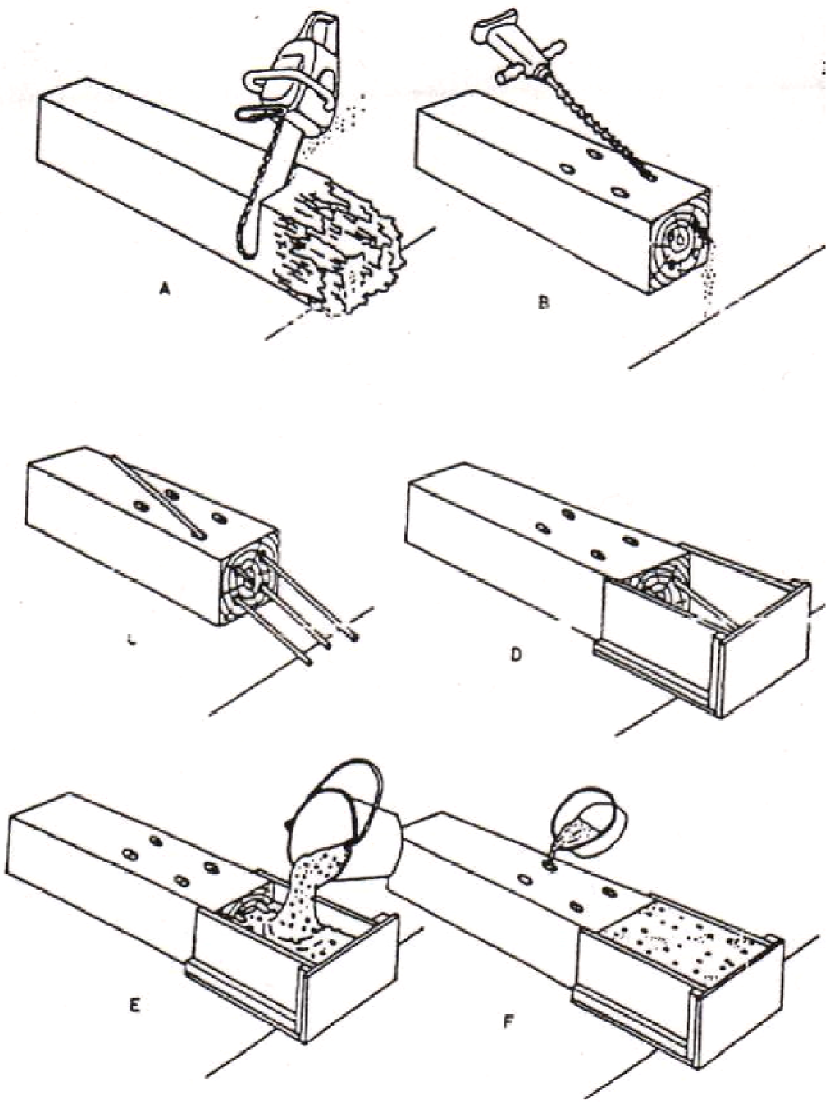
Figure 103 – Scheme and details of an intervention using post-tensioned steel cables that correct the original state of stress by forcing the structure in the opposite way to the one done by the external loads.



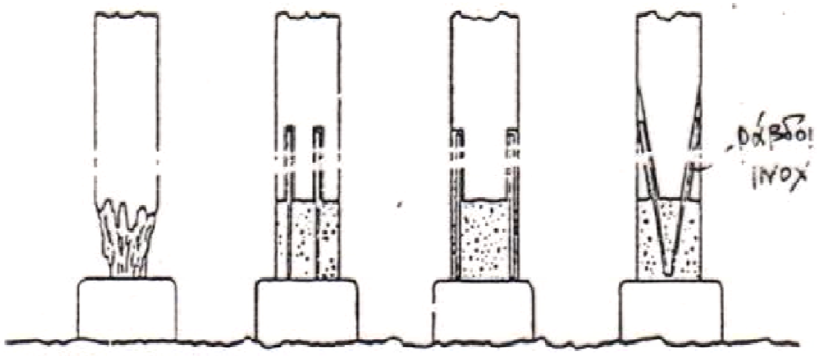
plicazione di cuffie di ghisa alle testate delle membrature (i puntoni lignei) al fine di realizzare un appiglio per l'ancoraggio delle barre; le cuffie di ghisa però comportarono un peggioramento del disegno perché provocavano condense al loro

generale ha comportamento molto prossimo a quello di una cerniera) con la catena e all'appoggio (che in generale funge da incastro) sul

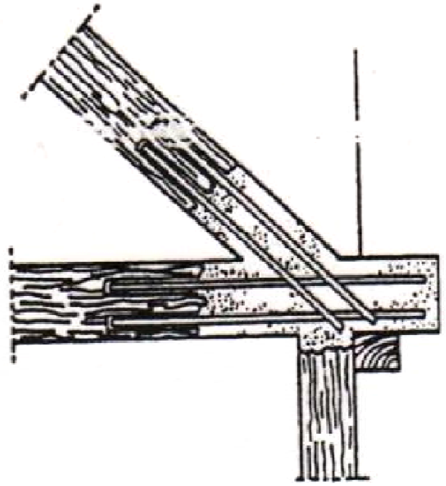
Επισκευές ξύλινων στοιχείων με χυτά συμπληρώματα από εποξειδική ρητίνη.



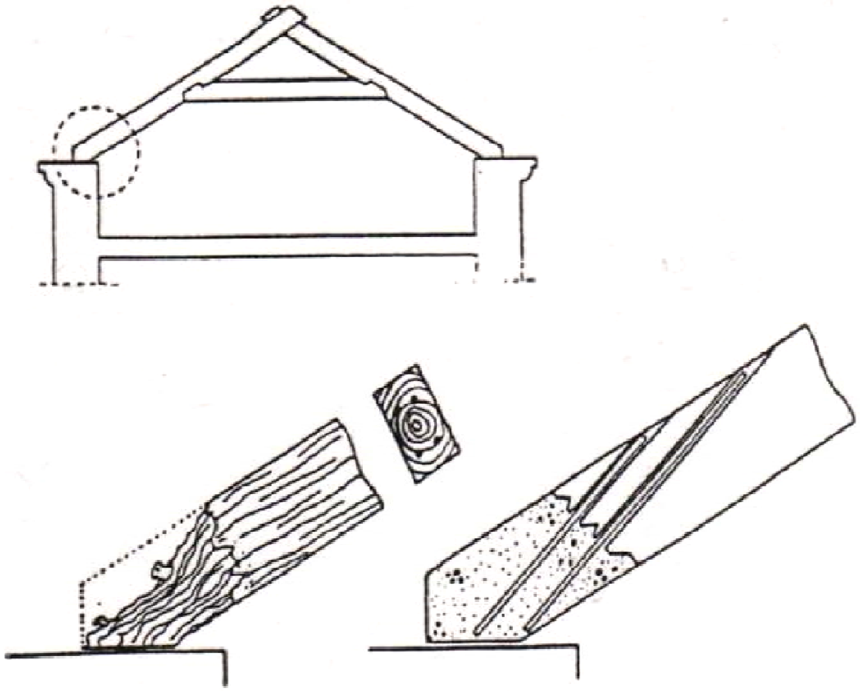
Επισκευές ξύλινων στοιχείων με χυτά συμπληρώματα από εποξειδική ρητίνη.



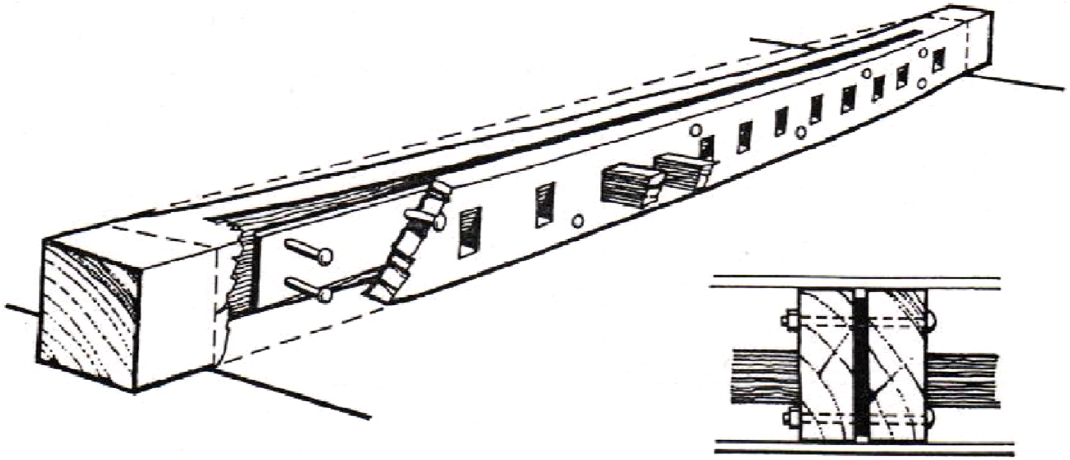
ΧΥΤΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΣΤΥΛΟΥ

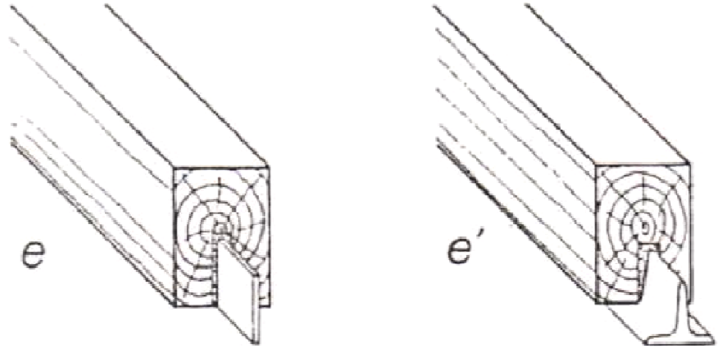


ΧΥΤΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΚΟΜΒΟΥ
(ΟΧΙ ΕΝΔΕΔΕΙΓΜΕΝΗ)



ΧΥΤΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΑΜΕΙΒΟΝΤΑ ΣΤΕΓΗΣ.





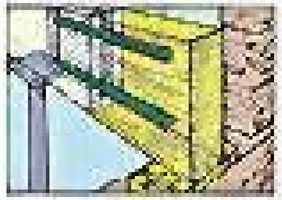
b) c) d) e) f)

The reinforcing bars are slotted into pre-drilled holes

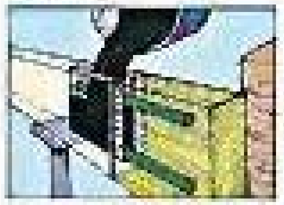
Step 1

Step 2

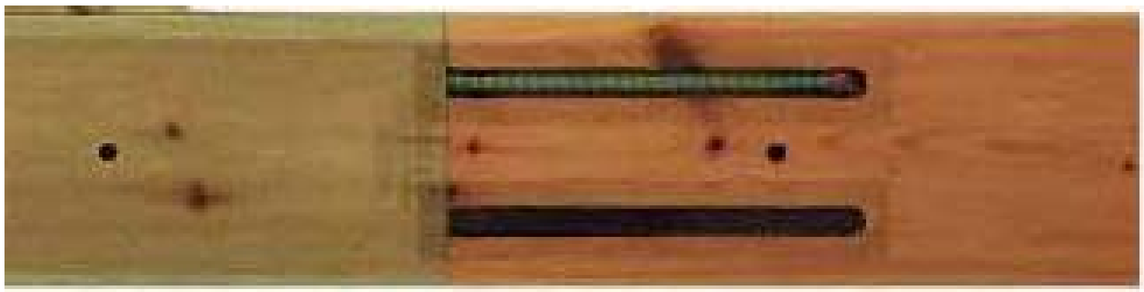
Step 3

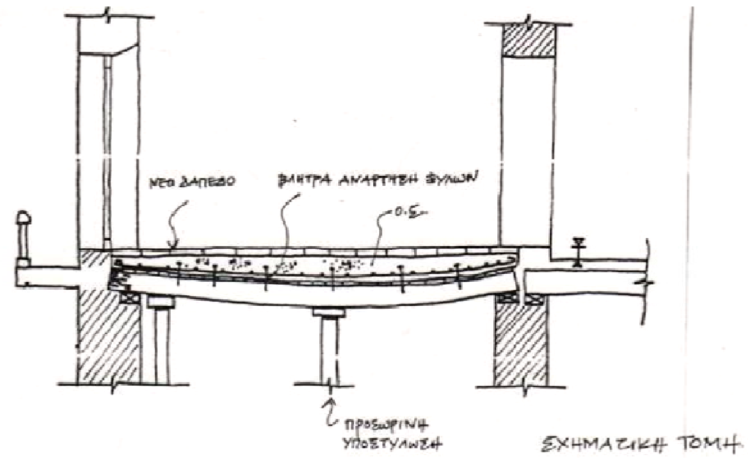


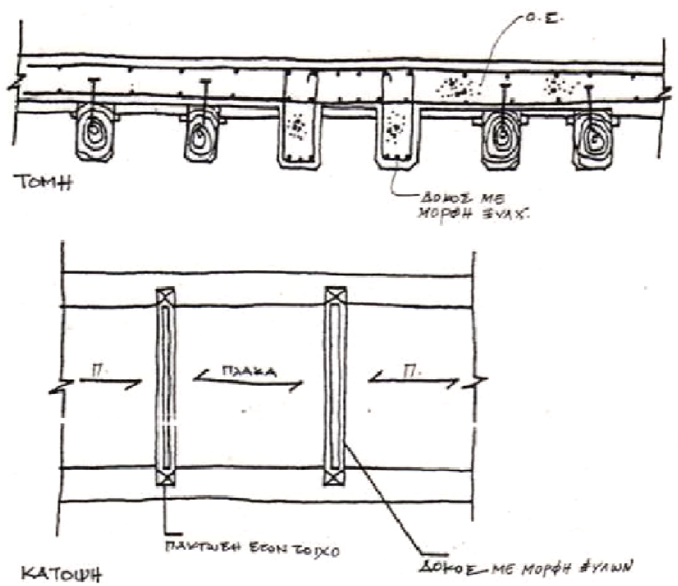
Step 4

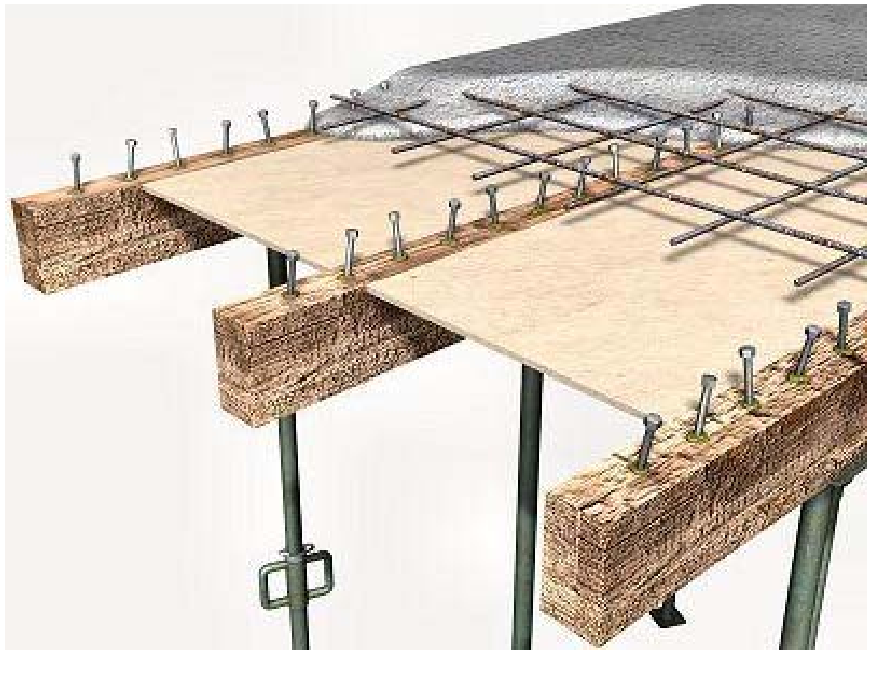


Step 5









ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΙΝΟΥ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ & ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΩΣ ΞΥΛΟΤΥΠΟ ΓΙΑ ΤΗ ΣΚΥΡΟ-ΔΕΤΗΣΗ ΠΛΑΚΑΣ ΜΠΕΤΟΝ. (ΩΣ ΕΣΧΑΤΗ ΛΥΣΗ)