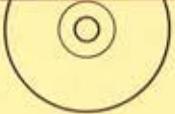


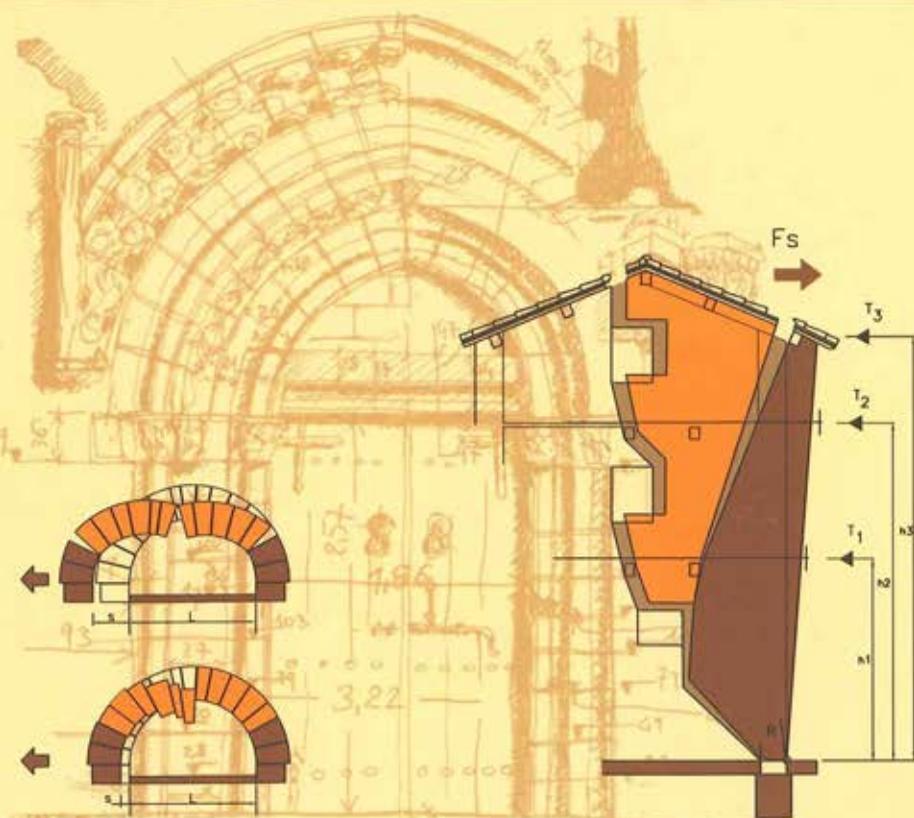
Giovanni Cangi

# MANUALE DEL RECUPERO STRUTTURALE E ANTISISMICO

Introduzione di **Francesco Giovanetti**



nel CD Rom  
una Banca Dati  
di 503  
illustrazioni  
ricche di  
schemi e  
particolari  
costruttivi



**dei**  
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE













Le travi maestre sono disposte ad interassi variabili di 1,50-2,00 m; i travicelli hanno un interasse corrispondente alla lunghezza della mezzana (33 cm) più lo spessore del giunto di malta.

L'esemplare in *figura 3.4* è costruito con travi disposte a ventaglio per adattarsi all'irregolarità dell'ambiente. Travi e travicelli sono appoggiati sul muro portante per una profondità di circa 2/3 dello spessore. L'alloggiamento, regolarizzato con pietra e laterizi, lascia ai lati e superiormente un gioco che consente all'aria di circondare l'appoggio della trave, contro il ristagno dell'umidità.

Le mezzane sono appoggiate a secco sui castagnoli e murate lungo le coste e le teste con un sottile strato di malta di calce. La sovrastruttura è costituita da uno strato di detriti sciolti e calcinacci battuti, con sovrastante strato di allettamento in malta di calce e sabbia e mattonato di finitura.

Il riempimento con calcinacci e malta nello spazio tra le travi principali ed il manto di mezzane tiene il luogo del più complesso apparecchio della bussola e testimonia la semplicità della tecnologia impiegata, a carico delle competenze del solo muratore.

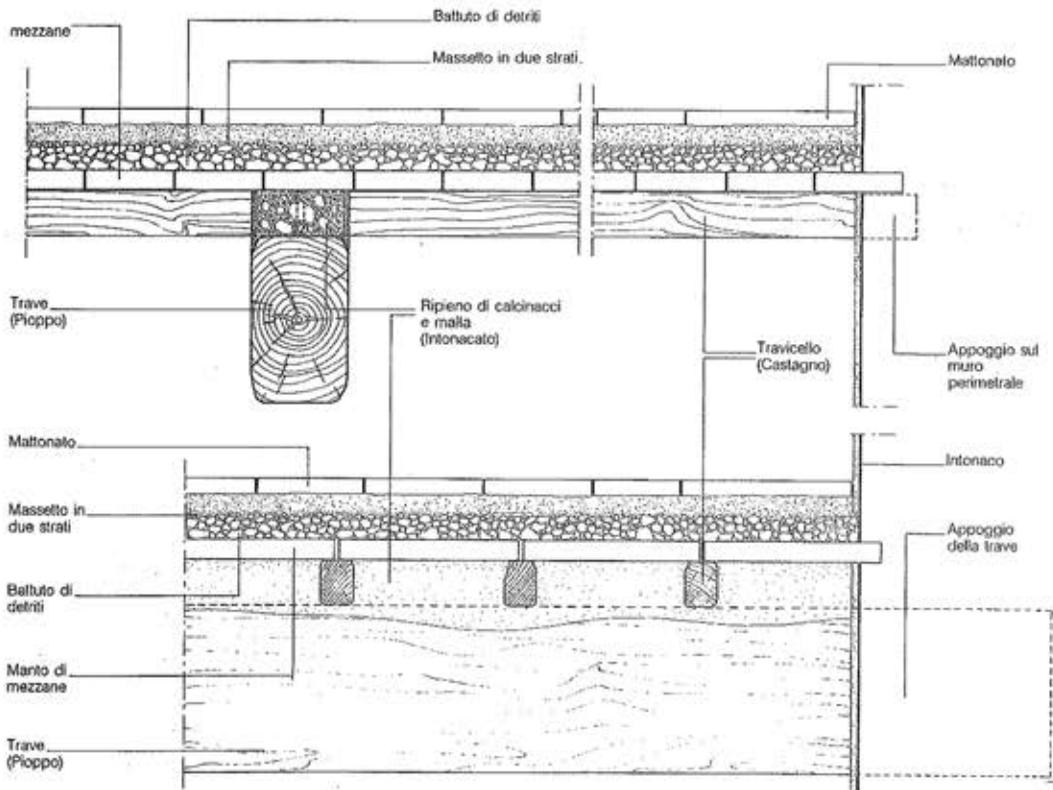


Fig. 3.5 – Sezioni longitudinale e trasversale del solaio in legno. Particolari.

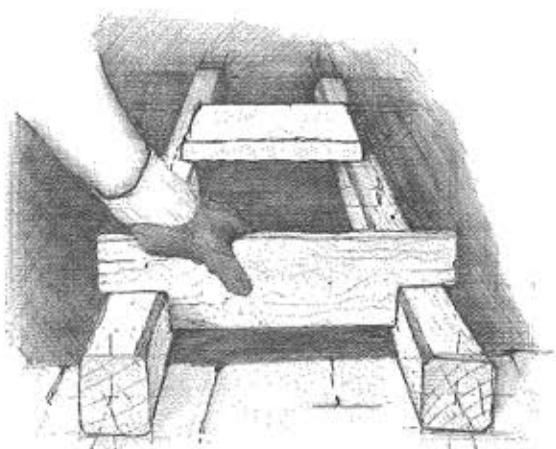


Fig. 3.6 – Distanziatore per travicelli nei solai di mezzane.<sup>2</sup>

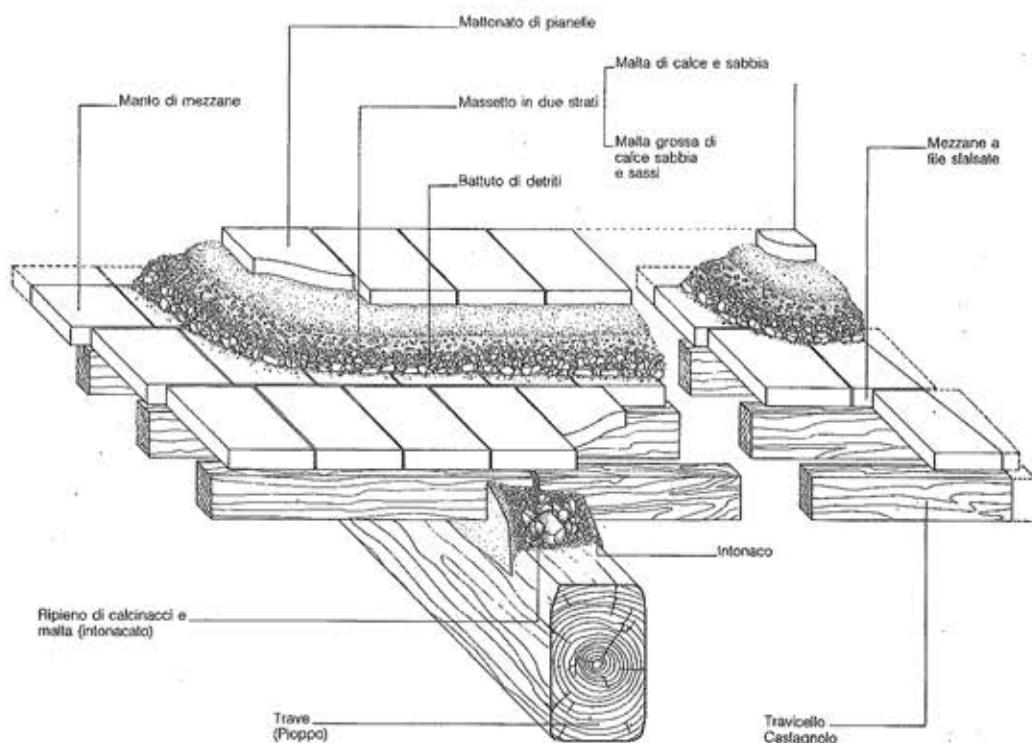
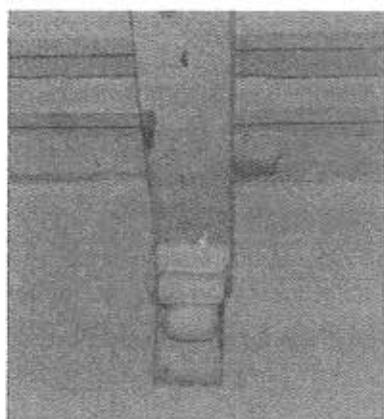
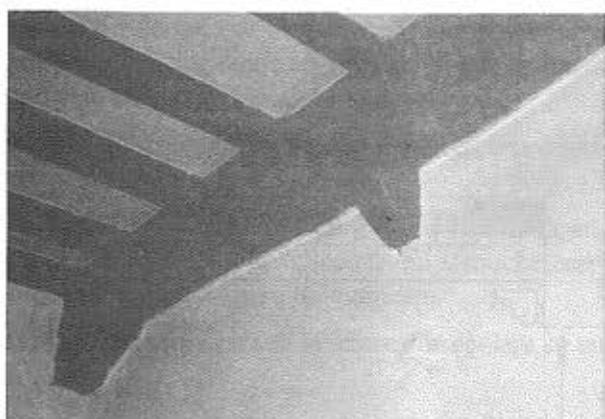


Fig. 3.7 – Particolare assometrico del solaio di mezzane con le orditure lignee e la sovrastuttura.

<sup>2</sup> Fase costruttiva di un solaio in legno a doppia orditura nell'ambito del "Cantiere Scuola" attivato dalle Scuole Professionali Edili di Firenze e di Perugia presso il Monastero di Santa Chiara delle Murate a Città di Castello (PG).



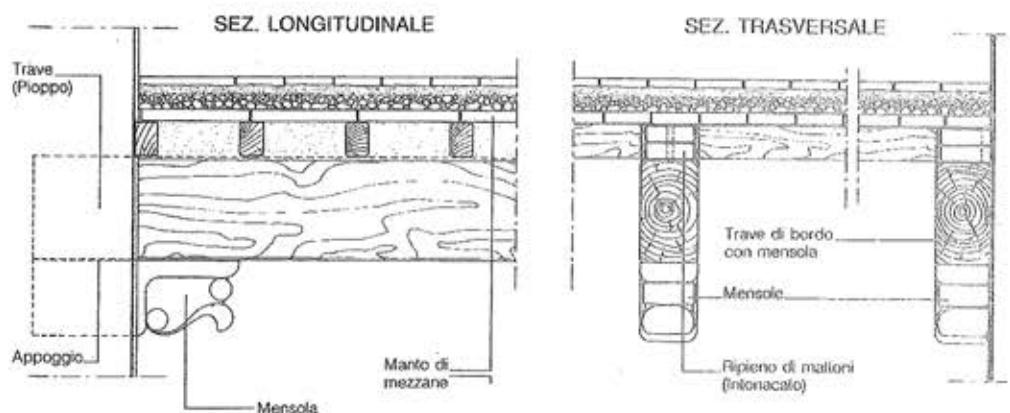
**Fig. 3.8** – Trave maestra con mensola d'appoggio.



**Fig. 3.9** – Trave di bordo con mensola d'appoggio e mensoleta rompitratte sulla mezzera.<sup>3</sup>

L'esemplare illustrato in *figura 3.8* è frutto di una soluzione ricercata, che comunque conserva alcuni elementi tipici dei solai più arcaici.

Le mensole sotto le travi maestre ne migliorano l'appoggio a muro, mentre per i travicelli sono preferibili le travi di bordo, che evitano lo scasso delle pareti per l'innesto delle testate. Se le travi di bordo migliorano l'appoggio a muro dei travicelli, possono tuttavia manifestare una deformazione visibile a contatto con la parete, cui si può ovviare, quando le luci sono elevate, con l'introduzione di una mensola rompitratte (*fig. 3.9*), collocata in mezzera.



**Fig. 3.10** – Sezioni longitudinale e trasversale di un solaio di mezzane con mensole a muro e travi di bordo per appoggiare i travicelli della campata laterale.

<sup>3</sup> Soffitto ligneo al piano nobile del castello di Montegiove dei Marchesi Misciattelli, presso Montegabbione (TR).

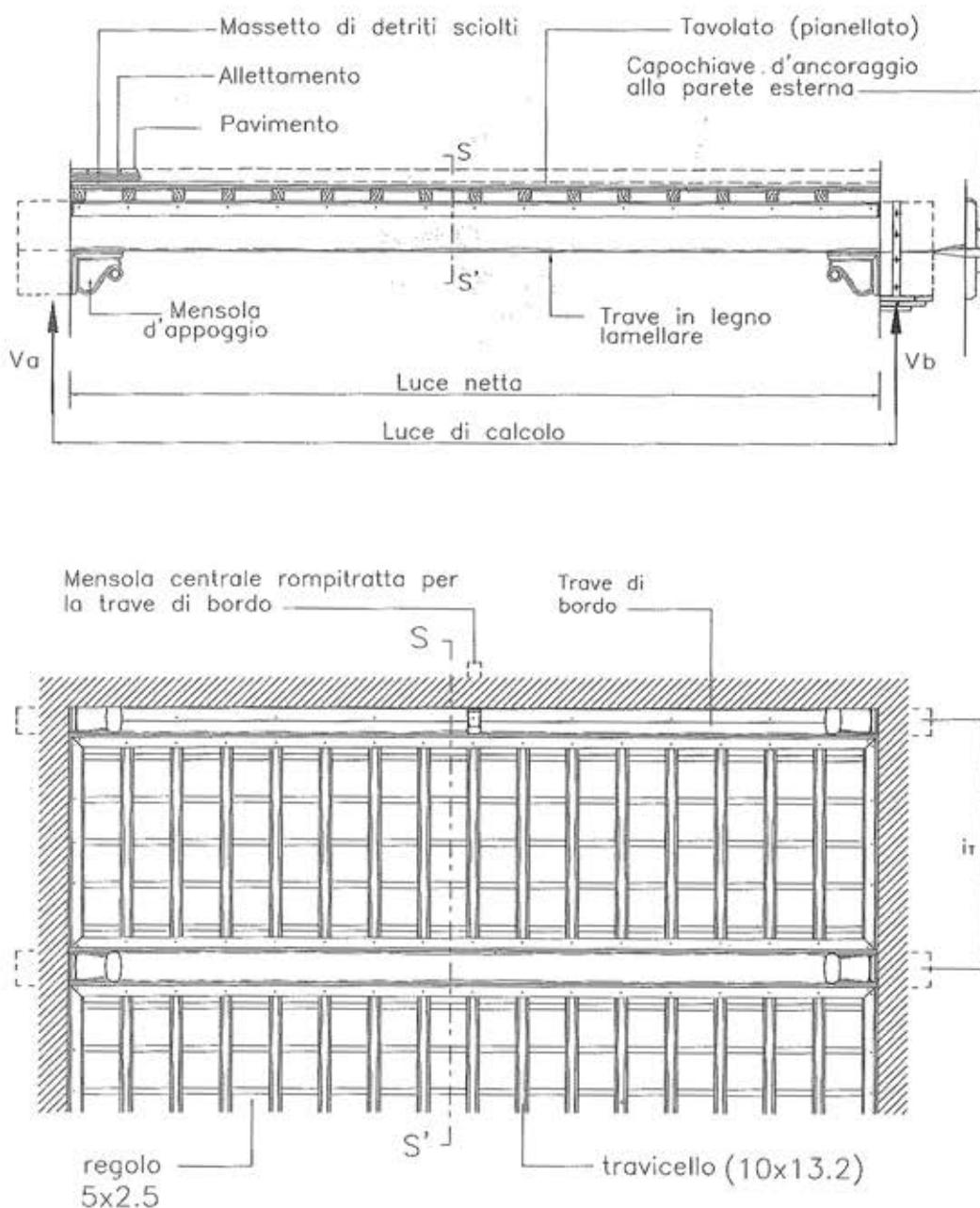


Fig. 3.11 – Solaio in legno di travi con mensole ed elemento di bordo (sezione e vista da sotto).

Se opportunamente realizzate, le mensole permettono di migliorare il comportamento statico della trave, che nella configurazione d'insieme tende ad avvicinarsi alla forma di un arco con conseguente riduzione degli stati tensionali (fig. 3.51 b).

Nell'esemplare in figura 3.12 (secolo XVI), si osservano la bussola lignea ed una cornice di bordo che riquadra il campo tra le travi maestre.

Questo solaio, come quelli precedenti, è privo di particolari accorgimenti strutturali atti a rendere solidale l'impalcato con la muratura, pertanto le sollecitazioni sismiche orizzontali possono provocare lo sfilamento delle travi dal loro alloggiamento.

Le travi, ricavate da un tronco d'albero spaccato, conservano lo smusso irregolare su un lato ed il taglio a spigolo vivo dall'altro.

I travicelli sono scanalati alle estremità, per ospitare le bussole che assieme alle cornici regolarizzano i riquadri delle campate.

La finitura del legno, lucidato a cera è la migliore per la durata del materiale, cui nuocerebbe una verniciatura a smalto foriera di ristagno d'umidità.

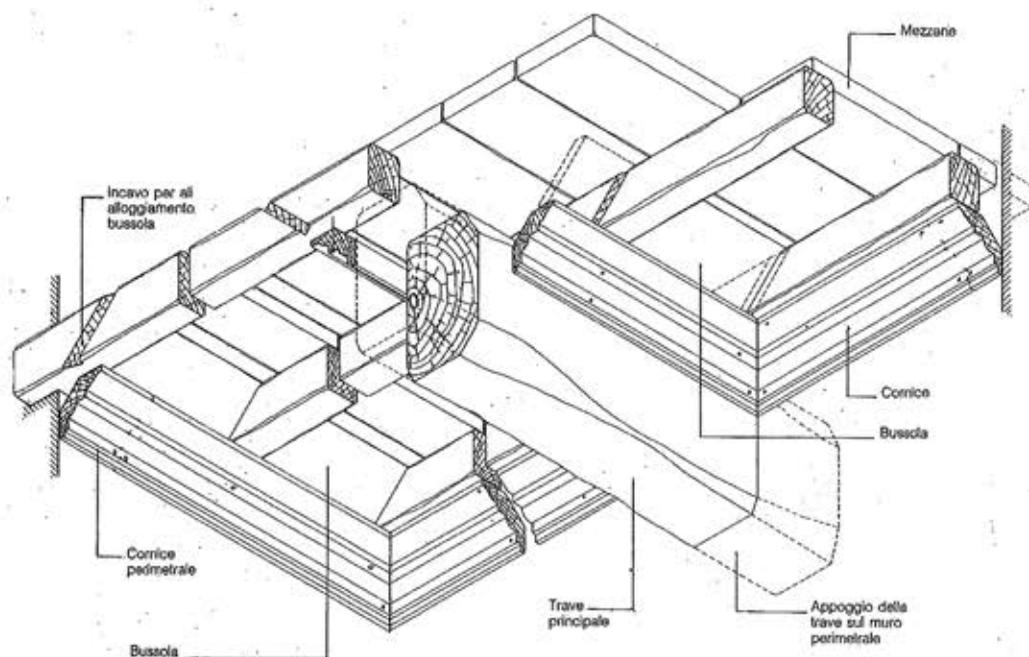
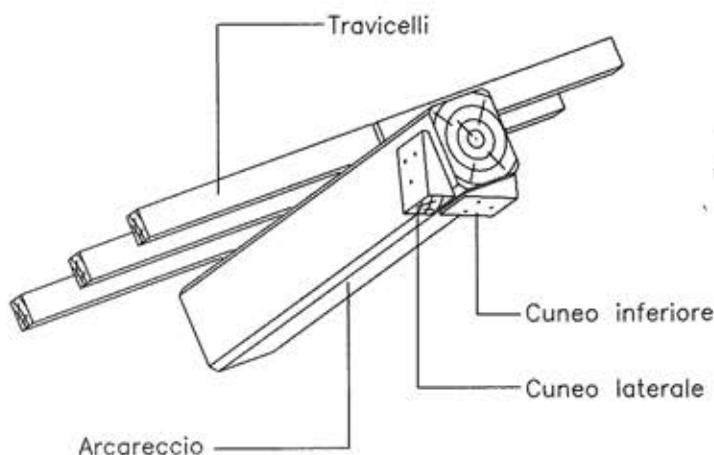


Fig. 3.12 - Solaio di mezzane con bussola e cornice intagliata. Vista assonometrica della soluzione d'angolo.



**Fig. 4.15** - Cunei inchiodati all'estremità dell'arcareccio per la realizzazione dell'appoggio piano orizzontale.

#### 4.5. COMPORTAMENTO SISMICO DELLE COPERTURE RIGIDE: EFFETTI STATICI, CINEMATICI E DINAMICI

Fin qui sono state evidenziate alcune delle principali criticità statiche proprie delle coperture, da mettere in relazione al modo di assemblare gli elementi lignei ed al tipo di connessioni create con i muri d'appoggio.

Si è potuto osservare che i tetti, rispetto ai solai di piano, hanno una maggiore influenza sui fenomeni di dissesto e spesso i difetti costruttivi del tetto ne costituiscono la causa scatenante. Proprio per questa criticità strutturale, gli interventi di consolidamento del tetto sono capaci di produrre un forte miglioramento della configurazione statica e della risposta sismica dell'intero organismo edilizio.

Prima di illustrare alcune tecniche di miglioramento sismico dei tetti in legno è opportuno, per meglio comprendere le cause stesse dei dissesti, soffermare ancora l'attenzione su alcuni aspetti costruttivi di grande importanza.

In particolare è necessario valutare gli effetti prodotti da alcune recenti tecniche di consolidamento che hanno trovato larga applicazione a partire dagli anni settanta.

Le norme antisismiche in vigore da quel periodo prevedevano la sostituzione sistematica dei solai in legno con nuovi orizzontamenti in latero-cemento, soprattutto a livello delle coperture.

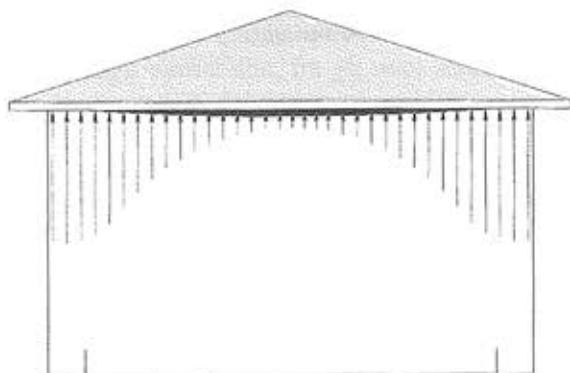
In effetti queste aspettative erano legittime. La resistenza dei nuovi solai e l'irrigidimento prodotto sulla struttura dovevano permettere di ottenere configurazioni scatolari rispondenti ai modelli di verifica correnti.

Oltre a questo, va considerato l'effetto positivo introdotto dal maggiore peso della copertura. In parte l'aumento di peso andava ad amplificare le forze sismiche, ma si veni-

va in compenso a determinare un incremento più che proporzionale della resistenza a taglio della muratura: gli effetti positivi di questo intervento a carattere irreversibile sembrano quindi prevalere sulle chiare controindicazioni.

L'esperienza dimostra che la risposta sismica degli edifici consolidati con questi criteri non è poi così semplice da valutare e molti modelli di calcolo di vasto uso non tengono conto di effetti "secondari" capaci di modificare negativamente il comportamento statico atteso.

Un primo fenomeno, di natura statica è dovuto all'eccessiva rigidezza dei cordoli in c.a. e, più in generale, dei solai in latero-cemento. Si tratta del cosiddetto *effetto trave*: il cordolo che dovrebbe distribuire i carichi in modo uniforme sulla muratura sottostante si trova invece a trasmettere azioni concentrate alle estremità, per cui si comporta come una trave, scaricando la muratura sottostante.



**Fig. 4.16** – *Effetto trave dei cordoli in cemento armato. Distribuzione disomogenea delle tensioni sulla muratura.*

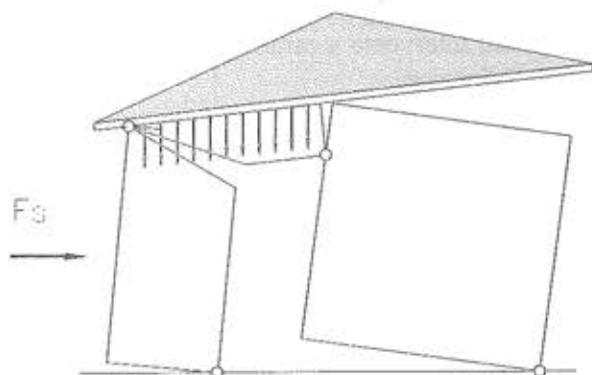
Le fessure che a volte si formano fra cordolo e muratura costituiscono un chiaro indizio di questo pericoloso fenomeno. In questo caso i pochi benefici determinati dall'introduzione di un tetto pesante vengono completamente annullati, mentre si verifica un incremento delle forze sismiche.

Le porzioni di muratura private della compressione stabilizzante tendono a ribaltare per effetto delle azioni ortogonali come se si trattasse di muri isolati scarichi, mentre il tetto mantiene la sua integrità.

Un altro aspetto comportamentale emerge attraverso una lettura cinematica della risposta sismica: si osserva chiaramente che i movimenti rotazionali delle pareti non sono congruenti con il profilo d'imposta della copertura rigida, per cui è inevitabile il distacco di alcuni tratti di muratura.

I fenomeni osservati sono invece scongiurati in presenza dei tetti tradizionali deformabili, capaci cioè di adeguarsi alle diverse configurazioni e di mantenere la muratura costantemente sotto carico.

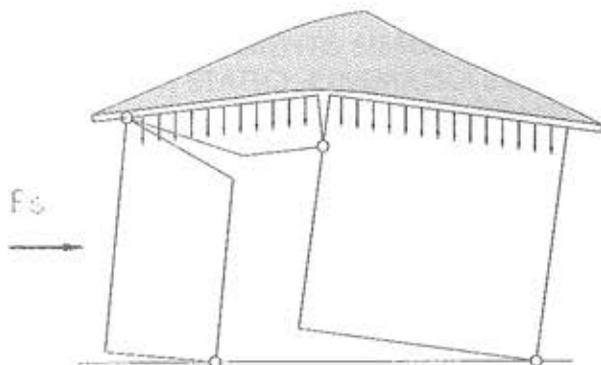
L'effetto dinamico è ancora più pericoloso, perché sfugge alla tradizionale analisi statica equivalente.



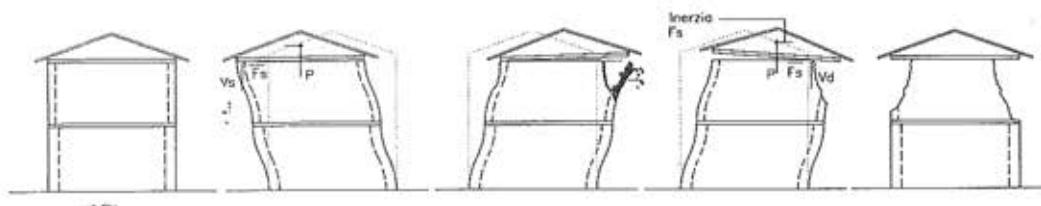
**Fig. 4.17** – I tetti indeformabili subiscono rotazioni rigide con conseguente distacco di alcune pareti.



**Fig. 4.18** – La foto evidenzia una risposta sismica anomala in presenza di solai rigidi. Terremoto in Umbria-Marche 1997. (Ing. Antonello Anastasi)



**Fig. 4.19** – Il tetto deformabile si modella aderendo alla nuova configurazione della parete ruotata per effetto del cinematismo strutturale e va a distribuire il carico in modo più uniforme.



**Fig. 4.20** – Fasi dell'effetto sismico dinamico sulle pareti sommitali in presenza di coperture rigide, che per inerzia del tetto (fasi 2 e 3) tendono a sollevarsi dalla parete sottovento che viene così completamente scaricata.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> La sequenza delle fasi sismiche prende a riferimento una struttura elastica che non risponde al reale comportamento delle murature, ma che tuttavia serve a meglio evidenziare il fenomeno dinamico.

Il tetto rigido viene trascinato nel moto oscillatorio dalla forza di taglio trasmessa dai muri sottostanti a livello del piano d'imposta. Con il baricentro della copertura, situato ad una quota superiore, si genera una coppia d'inerzia che fa impennare il corpo rigido, riducendo di fatto le compressioni sulla parete sottovento.

La stessa analisi eseguita con il metodo statico equivalente porta a considerazioni completamente opposte, per il fatto che la forza sismica sembra produrre uno stato di compressione della parete sottovento e quindi un effetto stabilizzante che si traduce in un sensibile incremento della resistenza a taglio.

L'analisi dinamica mostra che tale effetto è generalmente ritardato, per cui la compressione della parete di valle si verifica dopo che la stessa ha ricevuto un pericoloso colpo di frusta. Il fenomeno, pertanto, produce conseguenze disastrose su una parete sommitale sostanzialmente scarica. Lo sveltamento di materiale in questi casi è una conseguenza inevitabile.

Il sisma del 1997 che ha interessato il territorio umbro-marchigiano ha mostrato questi effetti sugli edifici che, fra gli anni settanta e ottanta, erano stati consolidati a seguito dei danni prodotti dai terremoti coevi.

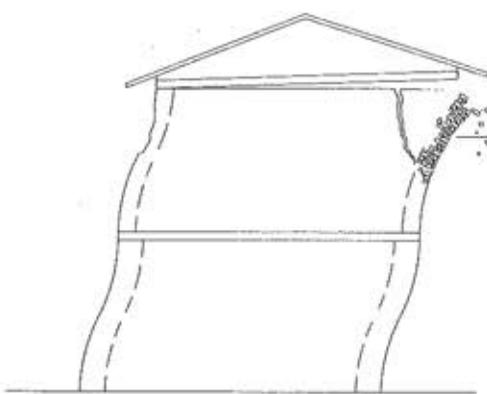


Fig. 4.21 - Colpo di frusta sulla parete sommitale sottovento: effetto catapulta.

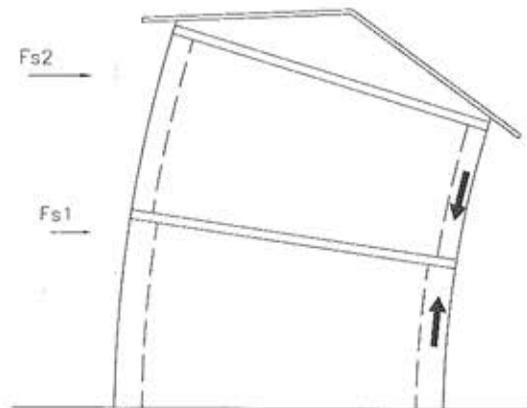


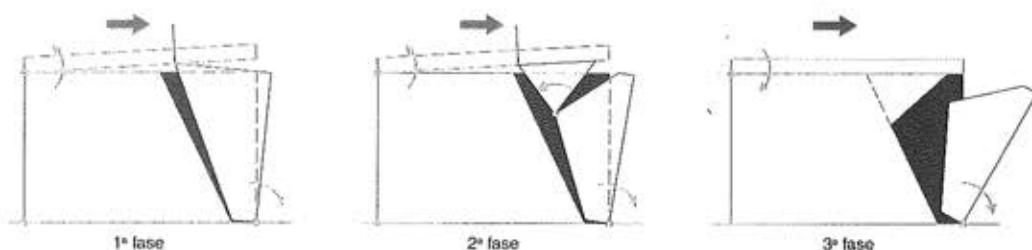
Fig. 4.22 - Stato di compressione teorico (perché ritardato) indotto dall'azione statica equivalente sulla parete sottovento.

Gran parte degli edifici che si sono nuovamente danneggiati hanno manifestato comportamenti anomali rispetto ai modelli di analisi utilizzati per le verifiche sismico-statiche; ovvero, è emersa un'interazione fra elementi verticali e orizzontali che non era stata prevista.

Per questo motivo si è cercato di correggere e migliorare i modelli strutturali adottati per le verifiche sismiche, consapevoli della scarsa attendibilità che questi avevano dimostrato, quando forse era opportuno abbandonare del tutto l'originaria impostazione.

I cordoli in cemento armato, in conseguenza dell'effetto dinamico che porta a scaricare

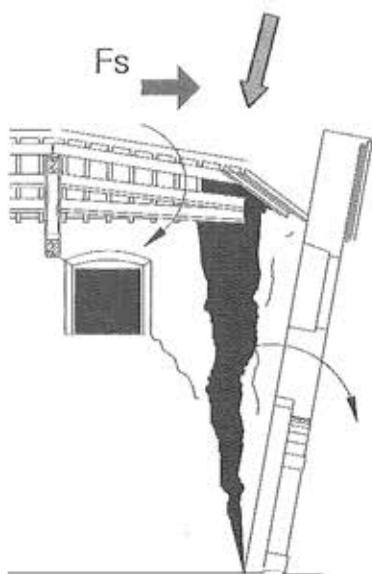
la parete sottovento, vanno pure a modificare i cinematismi di collasso del muro di controvento in senso peggiorativo, secondo le modalità illustrate in *figura 4.23*.



**Fig. 4.23** – Evoluzione del meccanismo di rottura per azioni complanari in presenza di cordoli rigidi in cemento armato.

L'eccessivo irrigidimento della copertura rende imprevedibile il comportamento della struttura, a differenza delle costruzioni tradizionali, che per secoli hanno mostrato meccanismi ripetitivi e quindi meglio controllabili.

Una prova concreta si ottiene dal riscontro fra il cinematismo di ribaltamento rilevato nella facciata della chiesa di Santo Stefano a Bonsciano - PG (*fig. 4.24*), danneggiata dal sisma del 1997, e quello rappresentato da Benozzo Gozzoli, alla fine del '400, nel ciclo pittorico di San Francesco a Montefalco - PG, dove l'artista riproduce un meccanismo identico, probabilmente osservato dal vero ed utilizzato nella raffigurazione simbolica del santo che sostiene la Chiesa pericolante (*fig. 4.25*).



**Fig. 4.24** – Santo Stefano di Bonsciano - Città di Castello (PG). Cinematismo classico di ribaltamento della facciata.



**Fig. 4.25** – Particolare tratto dal ciclo pittorico di S. Francesco - Benozzo Gozzoli, Montefalco (PG).

- ▶ Manuale del recupero del Comune di Roma  
Ufficio Speciale per il Centro Storico
- ▶ Manuale del recupero di Città di Castello  
Comune di Città di Castello
- ▶ Manuale del recupero urbano della Città di Jesi  
di M. Agostinelli, P. Diotallevi, M. M. Scoccianti
- ▶ Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici, con *CD Rom*  
Regione dell'Umbria
- ▶ Ricerche per la ricostruzione  
Regione dell'Umbria  
di A. Avorio, A. Borri, M. Corradi
- ▶ Recupero edilizio e prevenzione sismica, con *CD Rom*
- ▶ Manuale Operativo per il Restauro Architettonico, con *CD Rom*  
di S. Franceschi, L. Germani
- ▶ Manuale del Recupero della Regione Abruzzo, 2 volumi con *CD Rom*  
di S. Ranellucci
- ▶ Capitolato Speciale d'Appalto Restauro Architettonico - Edilizia storica e restauro archeologico, con *CD Rom*  
di S. Franceschi, L. Germani
- ▶ Diagnosi dei dissesti e consolidamento delle costruzioni  
di L. Baruchello, G. Assenza
- ▶ Consolidamento delle strutture lignee con l'acciaio, con *CD Rom*  
di M. Mariani

per informazioni tel. 064416371  
fax 06.4403307 www.bulk.it dei@bulk.it

▶ Questo nuovo Manuale, che si pone sulla scia dei Manuali del Recupero di Roma e di Città di Castello, propone ai professionisti del settore un set di strumenti operativi indispensabili per affrontare il delicato tema degli interventi strutturali e, particolarmente, antisismici negli edifici storici, con principi, criteri e tecniche compatibili con la conservazione. Il volume, che prende in esame l'edificio e le sue singole componenti (murature, volte, solai e tetti), propone metodi innovativi per l'analisi delle strutture, per la valutazione del rischio sismico e per la progettazione, con numerosi esempi pratici e l'illustrazione di opere realizzate.

#### ▶ REQUISITI TECNICI

Per l'utilizzo del CD Rom allegato è necessario possedere uno dei seguenti sistemi operativi:  
Windows 9X / Windows ME / Windows XP / Windows NT.  
Risoluzione video consigliata: 1024 x 768 pixel

€ 49,00

ISBN 88-496-1421-7



9 788849 614213