



POLITECNICO DI MILANO

Piazza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 Milano
Tel. +39.02.2399.1 - <http://www.polimi.it>



Corso di Diagnostica e Conservazione

A. Anzani

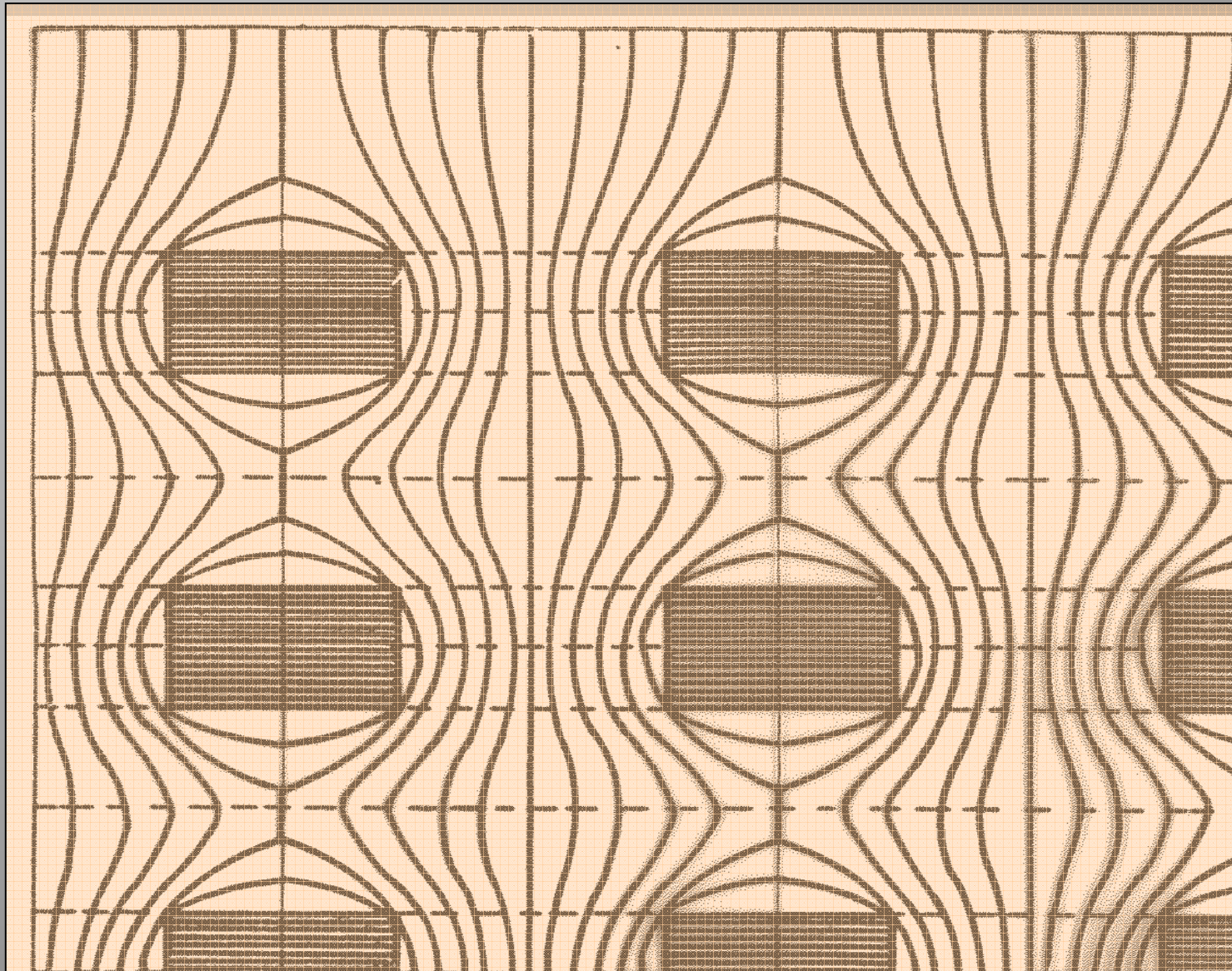
DISSESTI STATICI DEGLI EDIFICI

Messa a punto del progetto di conoscenza e di intervento sul patrimonio architettonico esistente

- Analisi ed interpretazione dei sintomi di dissesto strutturale con l'individuazione delle loro cause
- Indagini per la diagnosi strutturale: prove distruttive, non distruttive e parzialmente distruttive
- Proposte di intervento per il consolidamento strutturale

Causa	Effetto	Durata
<i>1. Variazioni termiche</i>	Espansione e contrazione	Diurne intermittenti, stagionali
<i>2. Variazioni del contenuto di umidità'</i>	Ritiro	Breve, dovuta alla maturazione iniziale;
*essiccazione	Espansione	Breve, dovuta ad assorbimento iniziale;
*assorbimento d'acqua	Contrazione ed espansione	Stagionale
*cicli di secco-umido		
<i>3. Altri cambiamenti di carattere fisico</i>	Rigonfiamento e fessurazione	Con cadenza ciclica, stagionale
*formazione di cristalli di ghiaccio	Espansione e delaminazione	Con cadenza ciclica, stagionale
*formazione di cristalli di sale		
<i>4. Carichi</i>	Normalmente non significativi	Possono variare stagionalmente
*Sulle strutture	Inflessioni e distorsioni eccessive	
•carichi permanenti e accidentali entro i limiti progettuali	Cedimenti	
•sovraccarichi strutturali		
*Sul terreno		
<i>5. Movimenti del terreno</i>	Cedimenti	
*subsidenza		
*scavo di gallerie		
*frane		
*viscosità'		
*terremoti		
<i>6. Vibrazioni dovute al traffico</i>	Normalmente non distruttivi	
<i>7. Variazioni di carattere chimico</i>	Espansione	Continua
*corrosione	Espansione	Continua
*attacco da parte di solfati	Ritiro	Continua
*carbonatazione		

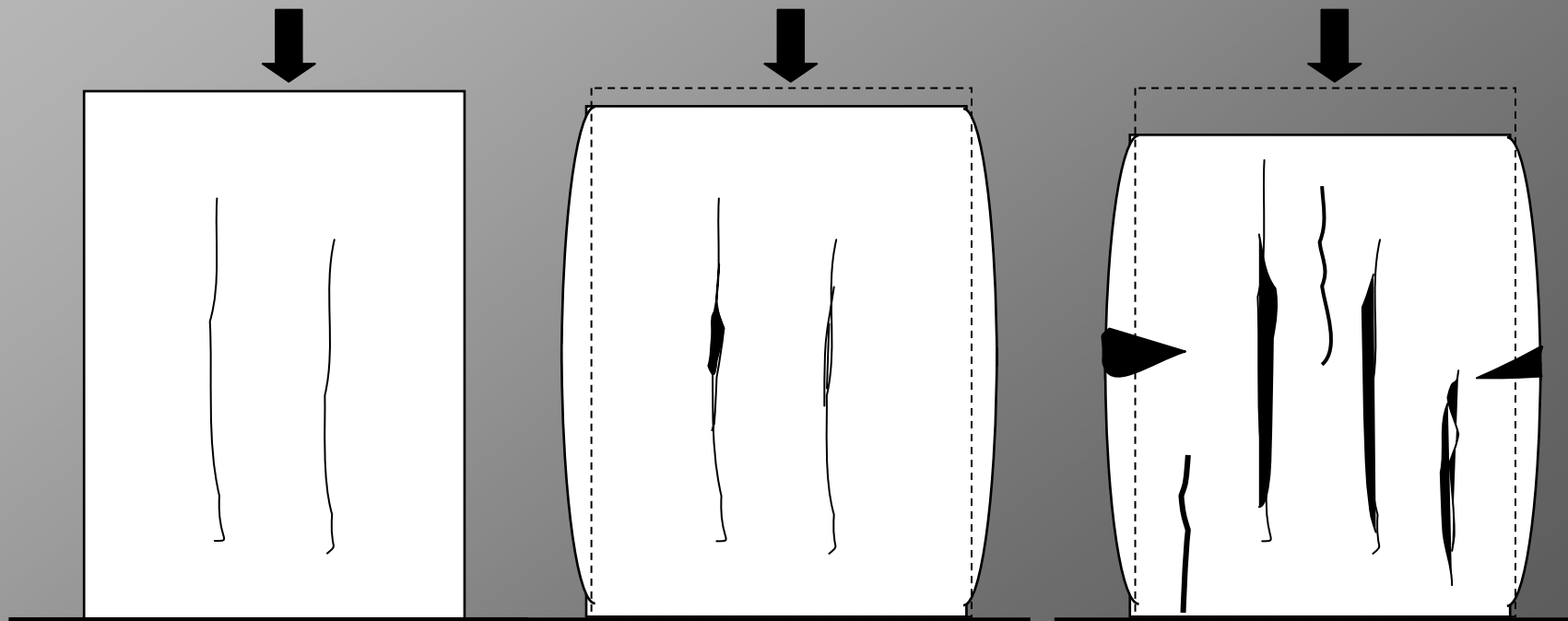
ISOSTATICHE DI SFORZO



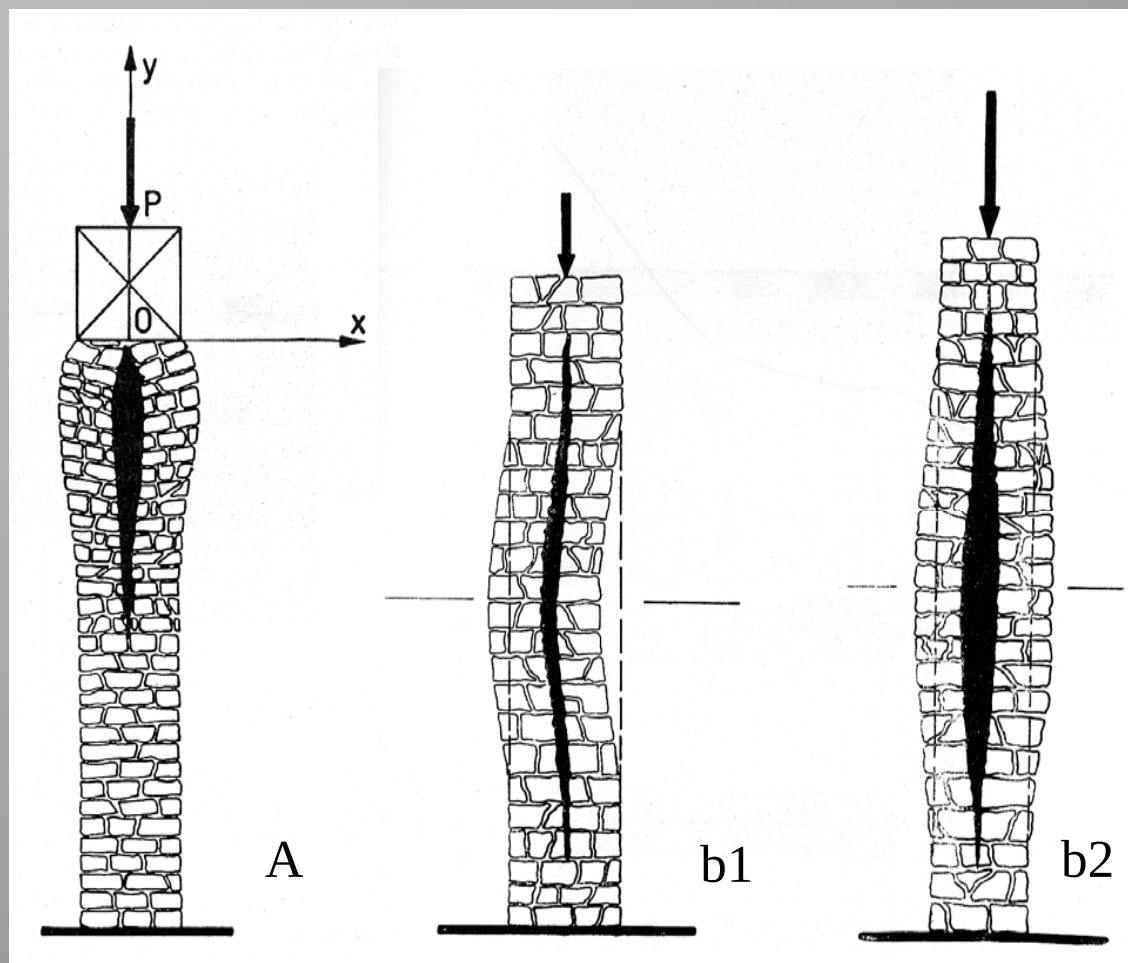
Le lesioni nascono per effetto di stati tensionali che la struttura muraria non è in grado di sopportare.

Conseguenza di una tensione di compressione eccessiva, per la resistenza della muratura è il manifestarsi di lesioni di SCHIACCIAMENTO.

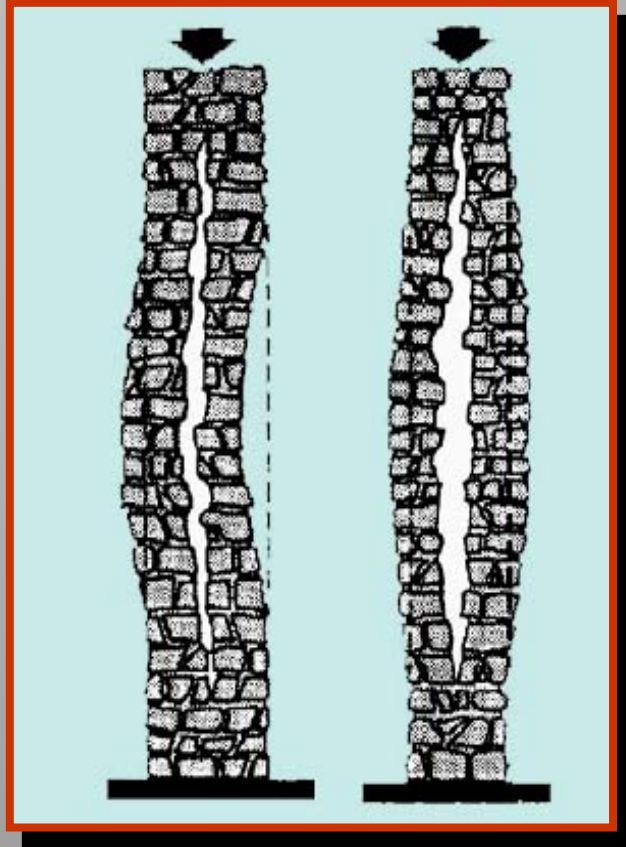
L'andamento delle lesioni è parallelo alle tensione; seguono fenomeni di rigonfiamento e prima del collasso da lesioni orizzontali.







Le lesioni per schiacciamento producono sottostrutture più snelle, a rischio di sbandamento.



CEDIMENTI DELLE STRUTTURE VERTICALI PER SCHIACCIAMENTO



Mileto, Particolare di un pilastro posto all'ingresso della Moschea (Riva S. 2004)



Istanbul, Particolare dell'obelisco nella piazza dell'Ippodromo (Riva S. 2004)

TORRE CIVICA, Pavia (1989)



CAMPANILE di S.MARCO, Venezia (1902)



**TORRE S.M.MAGDALENA,
Goch (1993)**



CATTEDRALE di NOTO (1996)

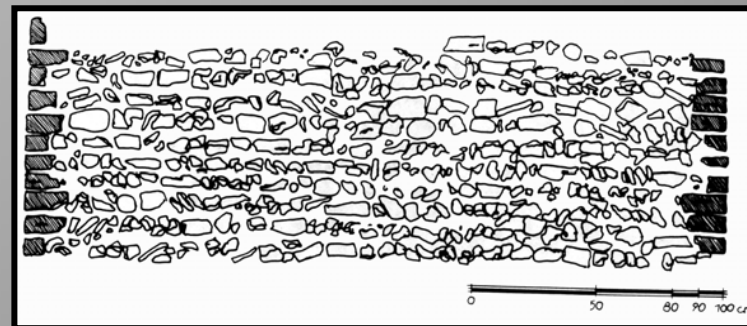
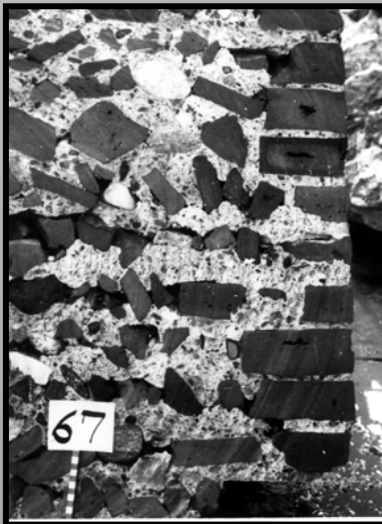
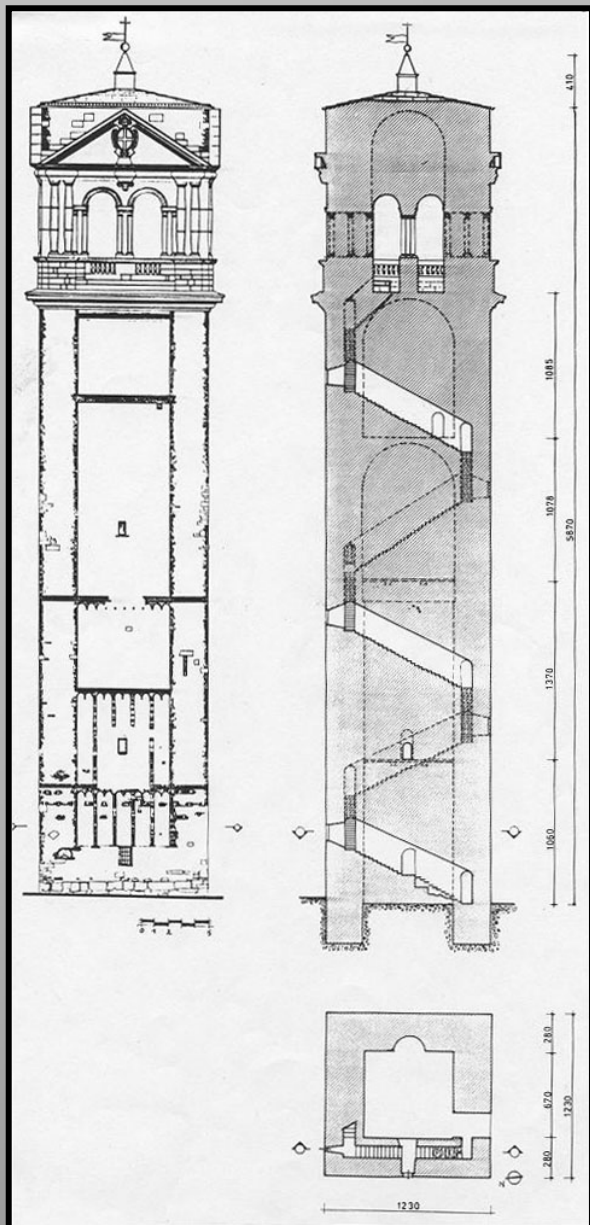
TORRE CIVICA DI PAVIA



Crollo: venerdì 17 Marzo 1989



Muratura Cinquecentesca



**3 fasi costruttive
a partire dal 1060**

**Prima dell'aggiunta della cella campanaria
(1583 – 1598) il peso della Torre si stima pari a
79.000 KN**

Con la cella il peso aumenta sino a 113.000 KN

Sforzo verticale massimo alla base:

(analisi elastica per EF)

1.7 – 2.0 N/mm²

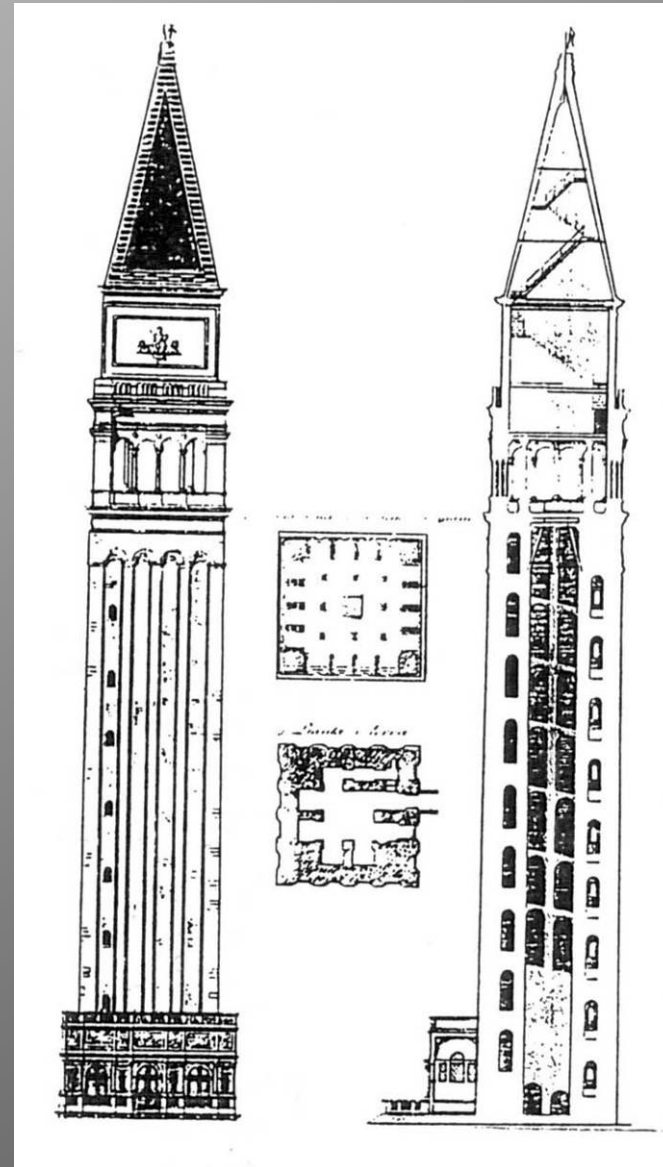
Crollo del Campanile di S. Marco a Venezia, 1902

Portato a termine nel XII secolo.

Struttura in muratura piena di mattoni sovrastata da una cella campanaria con polifore.

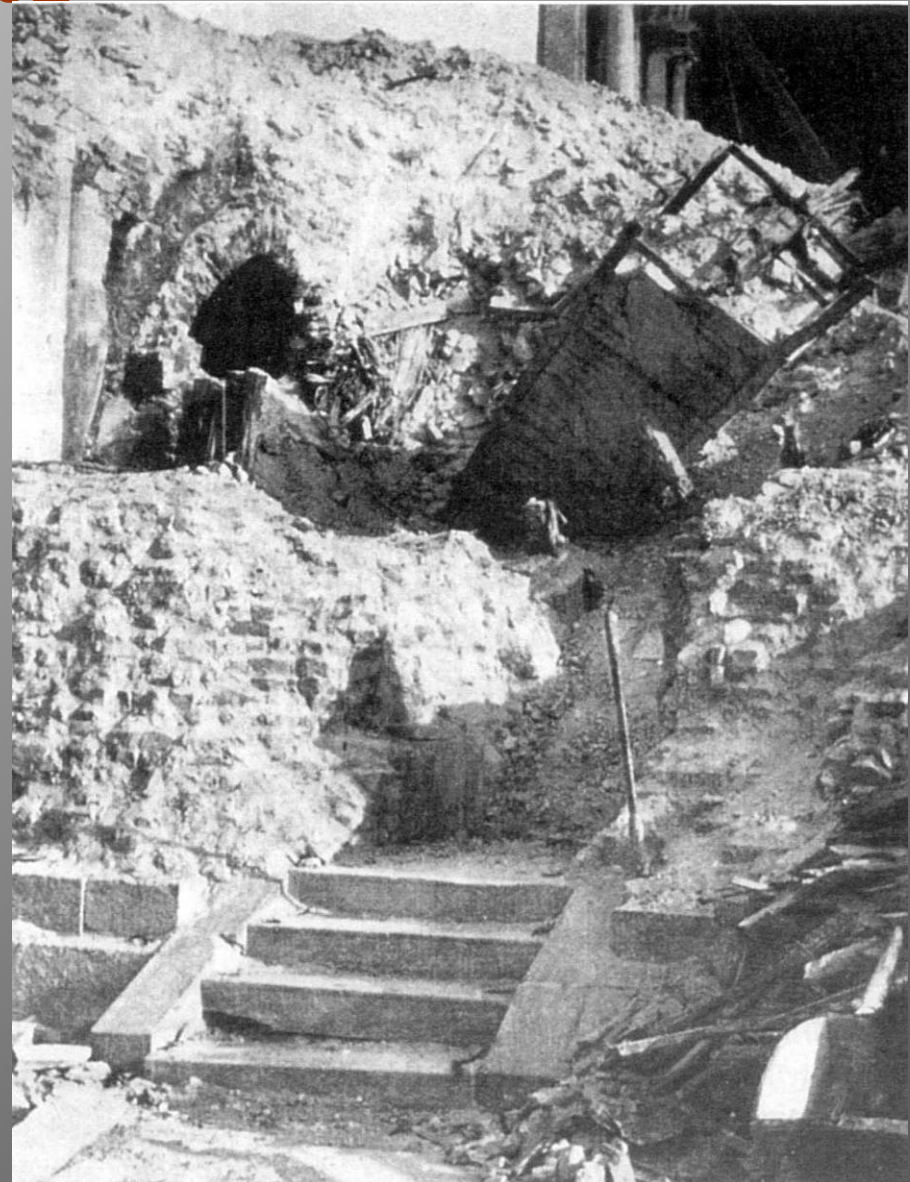
Spessore alla base di 1.8 - 2.0 m, rastremato sino a 0.5 m all'innesto con la cella campanaria.

All'interno era posta una seconda struttura costituita da otto pilastri di sezione pari a 1.0 - 1.2 m collegati da un sistema di archi; tra il muro esterno e la struttura interna 37 rampe di scale di larghezza pari a 1.0 m. sorrette da piccole volte.



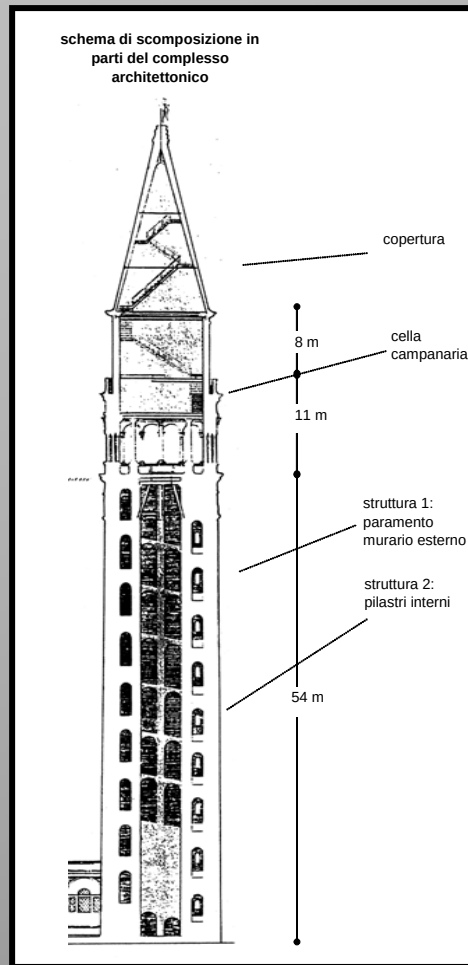
Crollo del Campanile di S. Marco a Venezia, 1902

- numerosi interventi di restauro e di riparazione, compreso il completo rifacimento della cella campanaria eseguita in marmo nel XVI secolo;
- numerosi fulmini sulla struttura prima dell'installazione, alla fine del 700, del parafulmini;
- continui interventi nel corso del XIX secolo compresa la fasciatura in ferro su alcuni tratti dei pilastri interni per contrastare il visibile disgregamento della muratura;
- il crollo avvenne nel 1902 nell'ambito di un'opera di riparazione del paramento murario esterno;
- le indagini, condotte da Beltrami per la ricostruzione del campanile sullo stesso sito, dimostrarono il buono stato delle fondazioni e l'assenza di cedimenti localizzati del terreno.

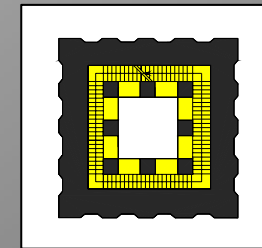


Il campanile di San Marco: sforzo alla base del pilastro

Carico totale



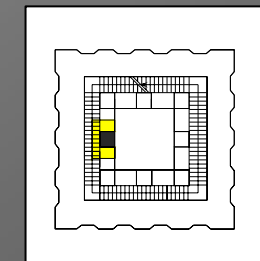
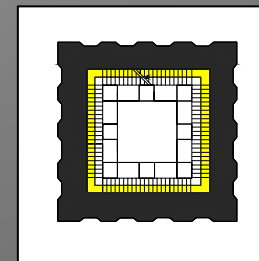
1° ipotesi: strutture collaboranti



Sforzo alla base del pilastro = 2,94 MPa

Sforzo alla base della muratura = 1,93 MPa

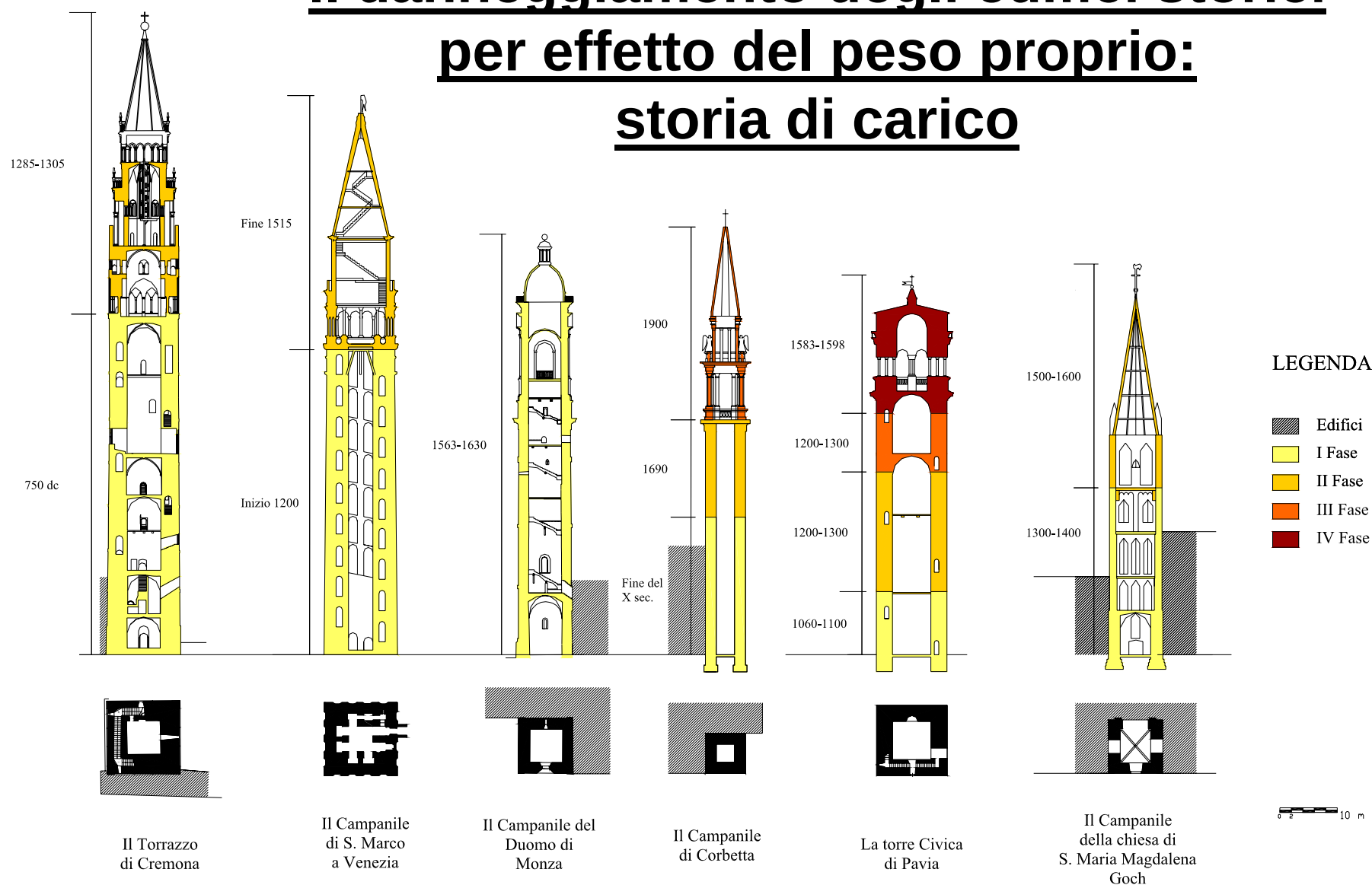
2° ipotesi: strutture non collaboranti



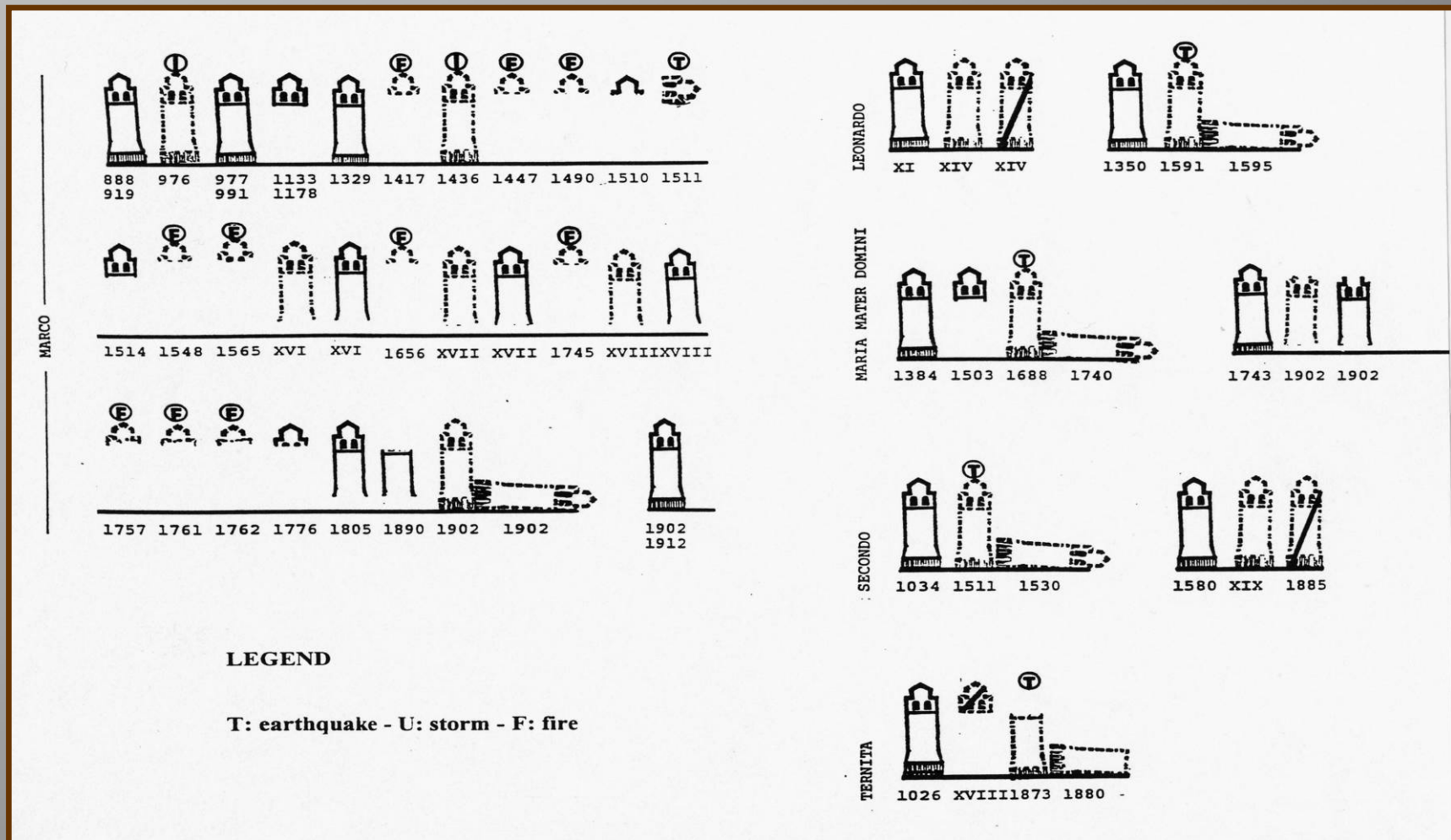
Sforzo alla base del pilastro = 2,89 MPa

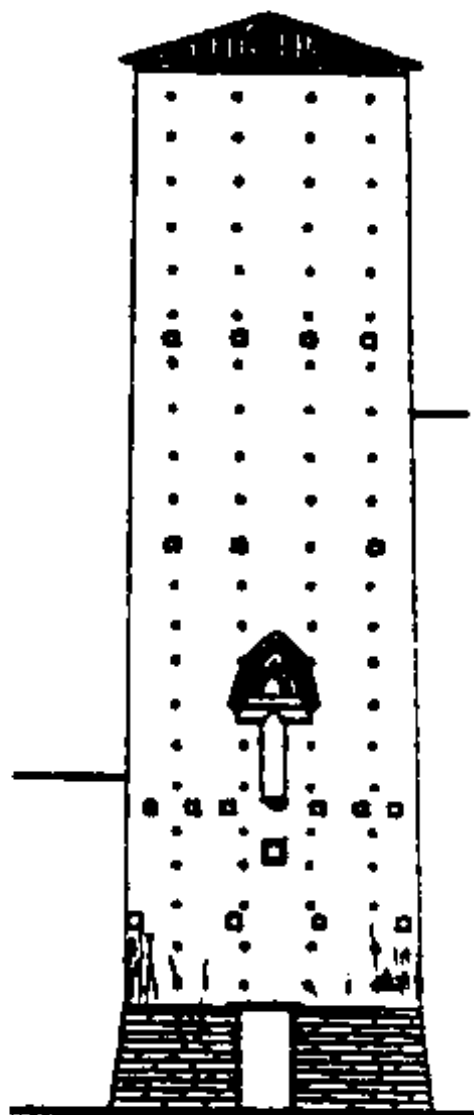
Sforzo alla base della muratura = 1,97 MPa

Il danneggiamento degli edifici storici per effetto del peso proprio: storia di carico

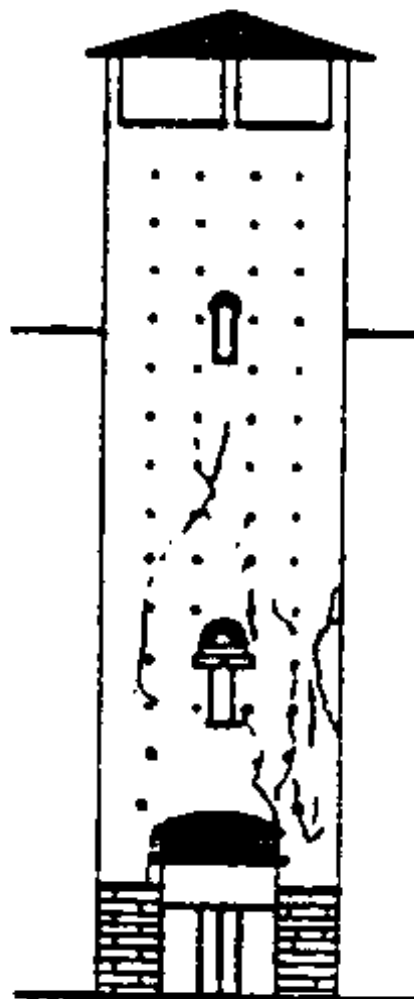


Campanili crollati a Venezia

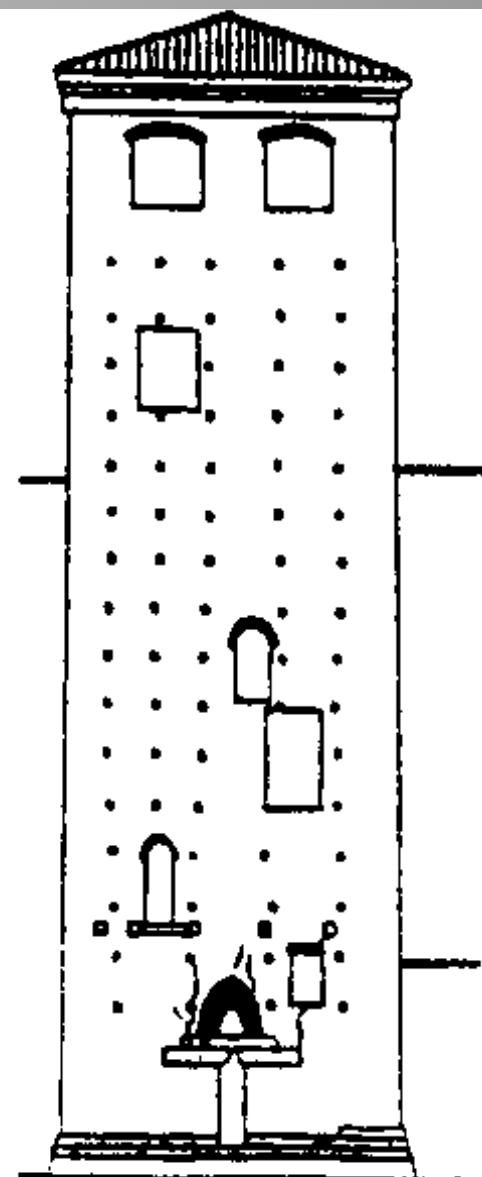




Torre Galluzzi

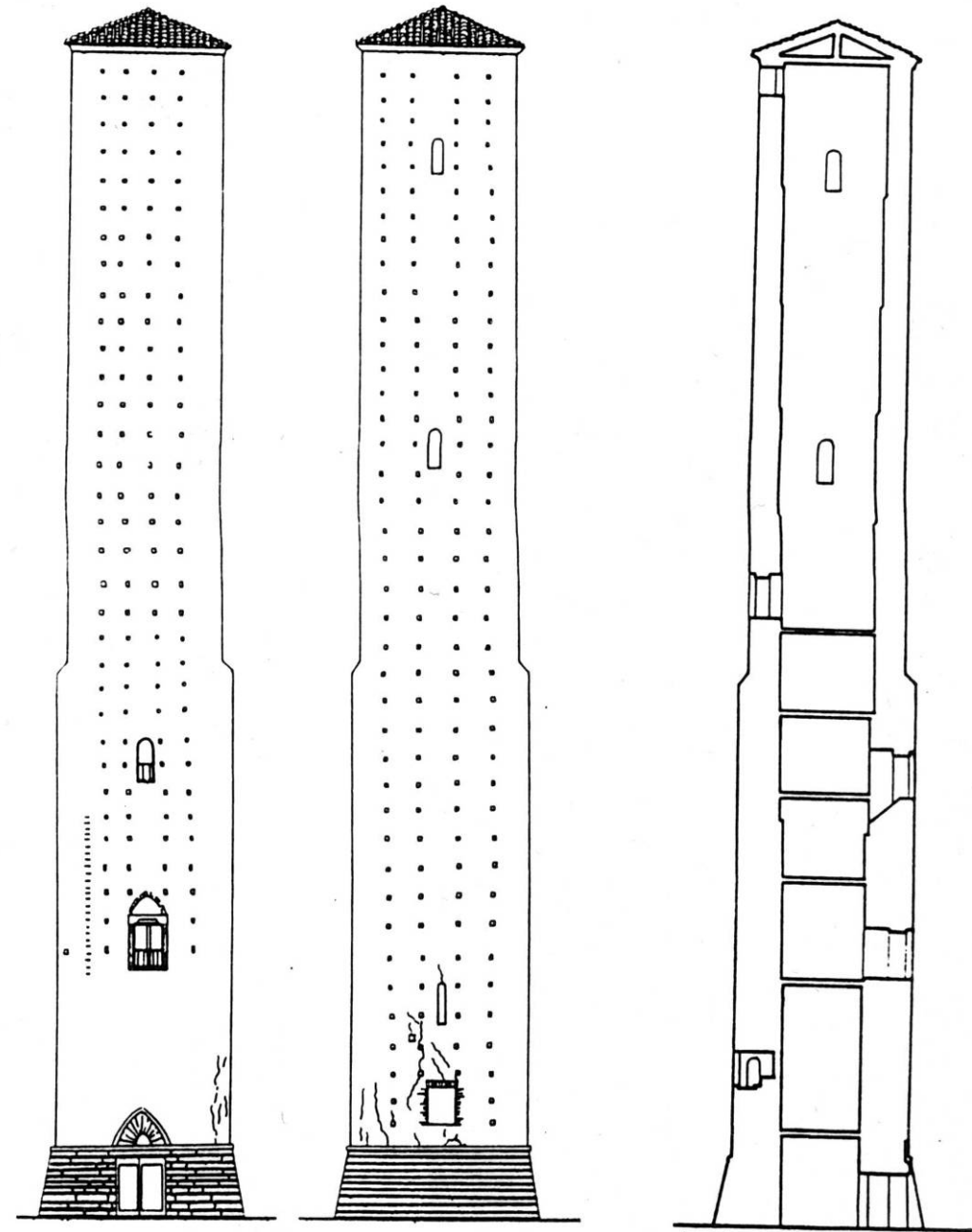


Torre Alberici
Bologna

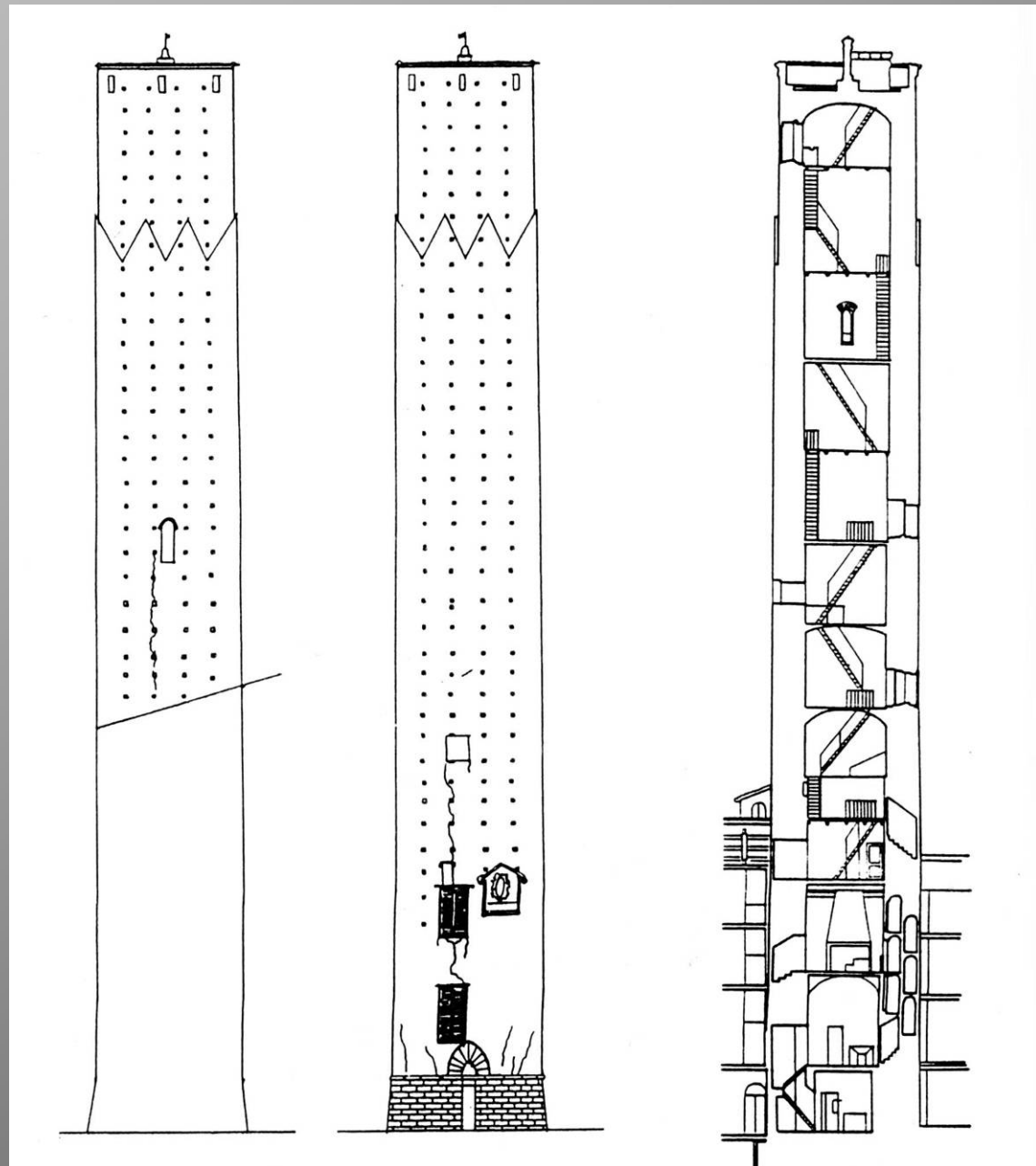


Casa-torre Uguzzoni

**Torre Altabella,
Bologna, XIII sec.**



**Torre Coronata,
Bologna, XII sec.**



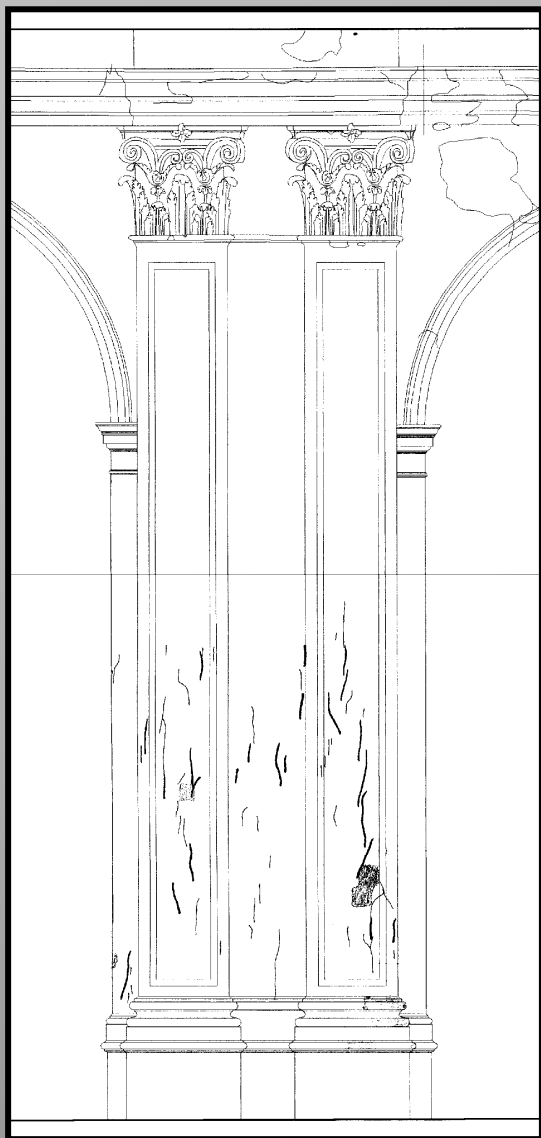


Torre Coronata, Bologna



Crollo della Cupola della Cattedrale di Noto, 1996.

Crollo della Cupola della Cattedrale di Noto, 1996



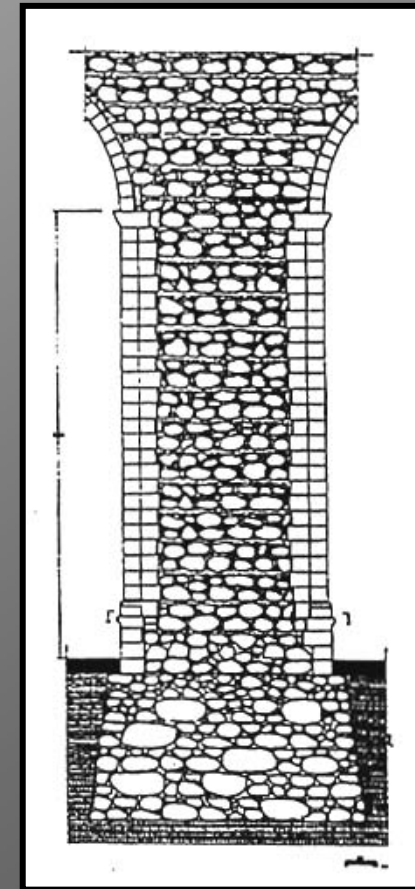
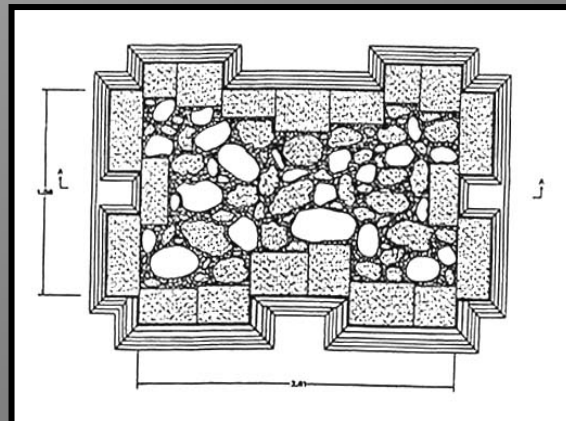
**Corona
esterna in
blocchi di
calcarenite e
travertino;
interno
irregolare e
disomogeneo
scarsa
connessione.**

Il terremoto del 1990 aveva provocato la fessurazione dei pilastri, per altro già danneggiati prima dell' intervento di riparazione degli anni '60.

Il crollo (marzo 1996) coinvolge tutti i pilastri di destra della navata centrale, la volta a botte, la copertura e parte della cupola.

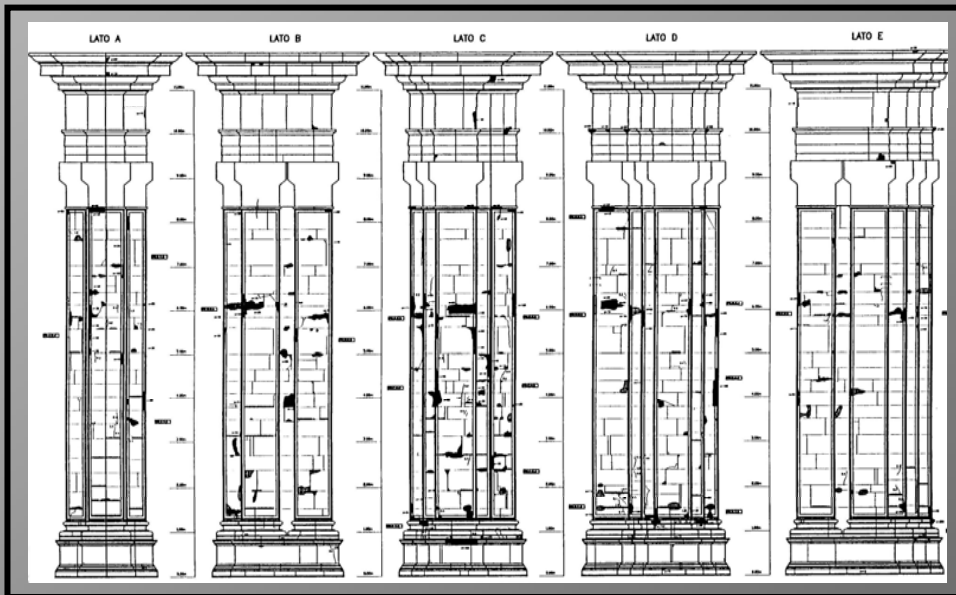
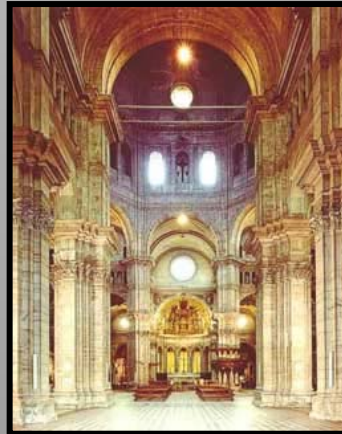
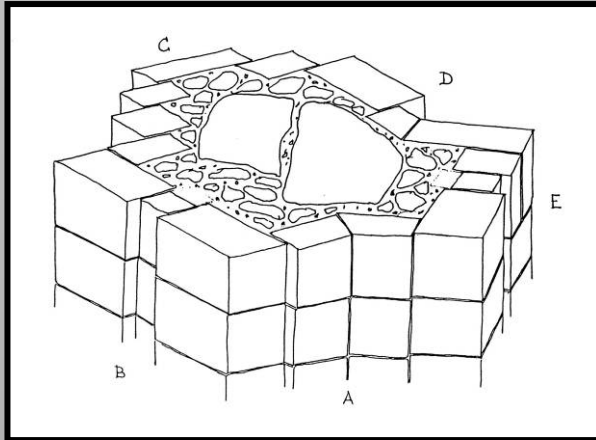
Danneggiamento dei pilastri a sezione disomogenea

CATTEDRALE DI NOTO

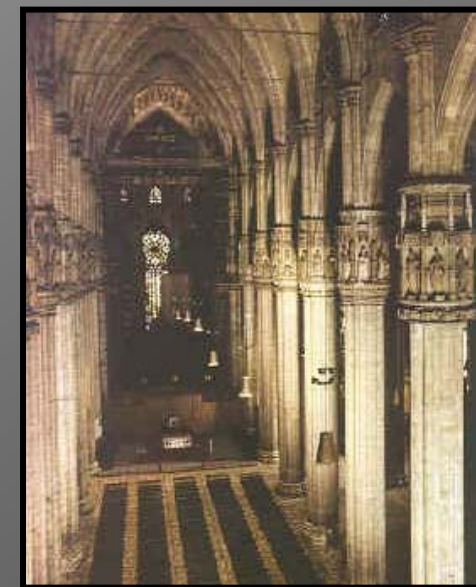
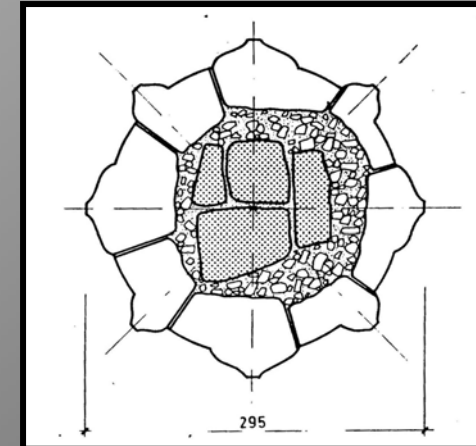


Danneggiamento dei pilastri a sezione disomogenea

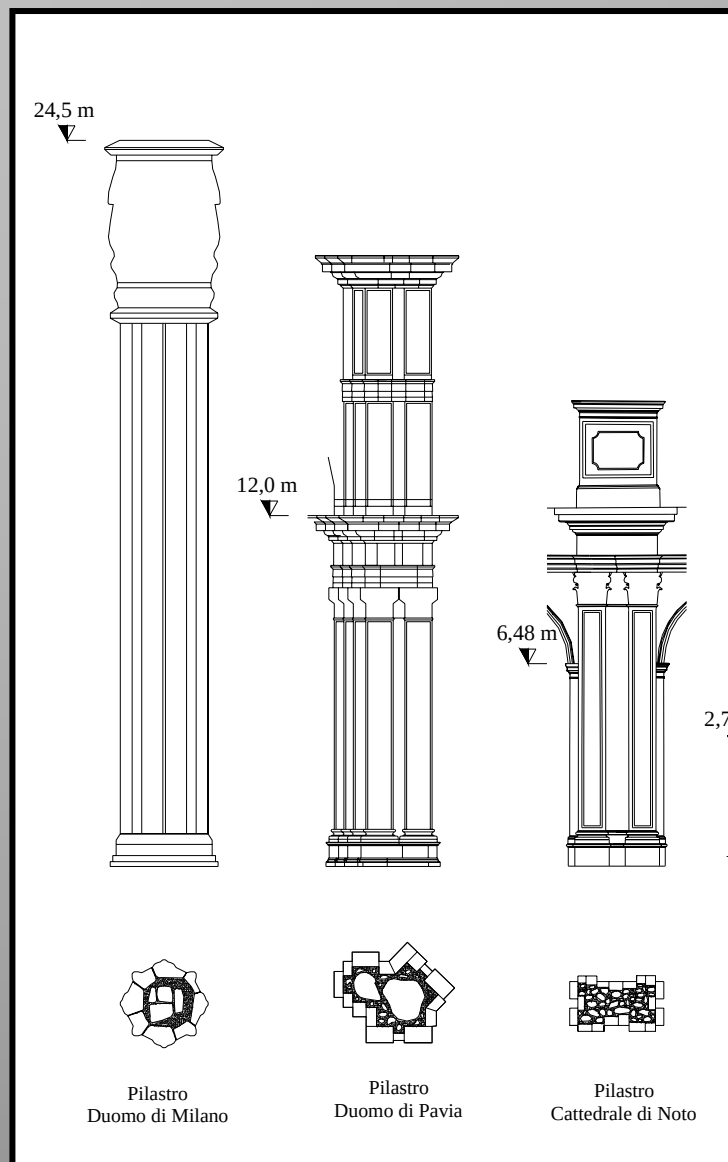
DUOMO DI PAVIA



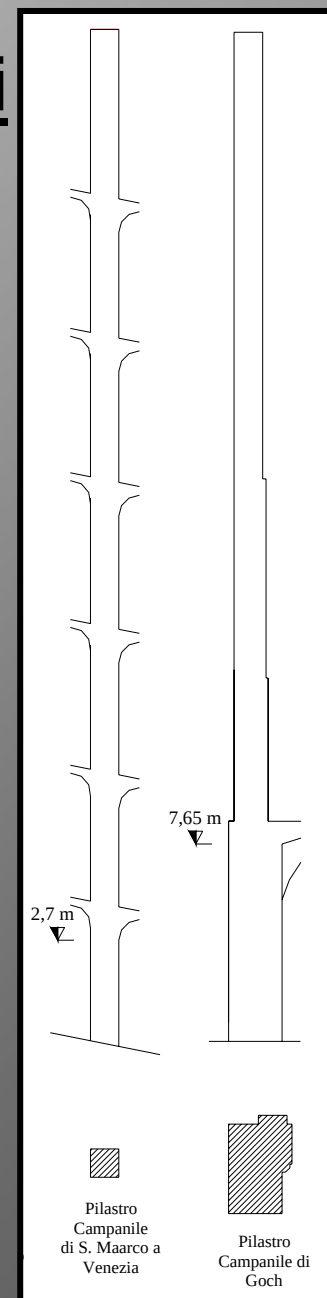
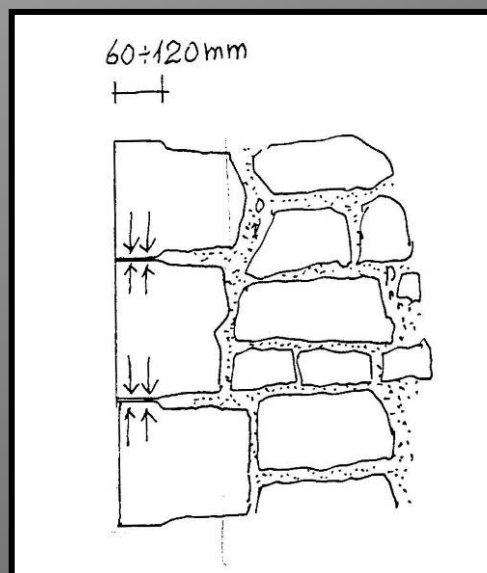
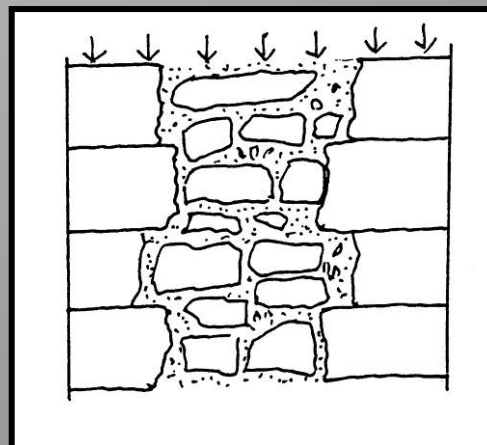
DUOMO DI MILANO

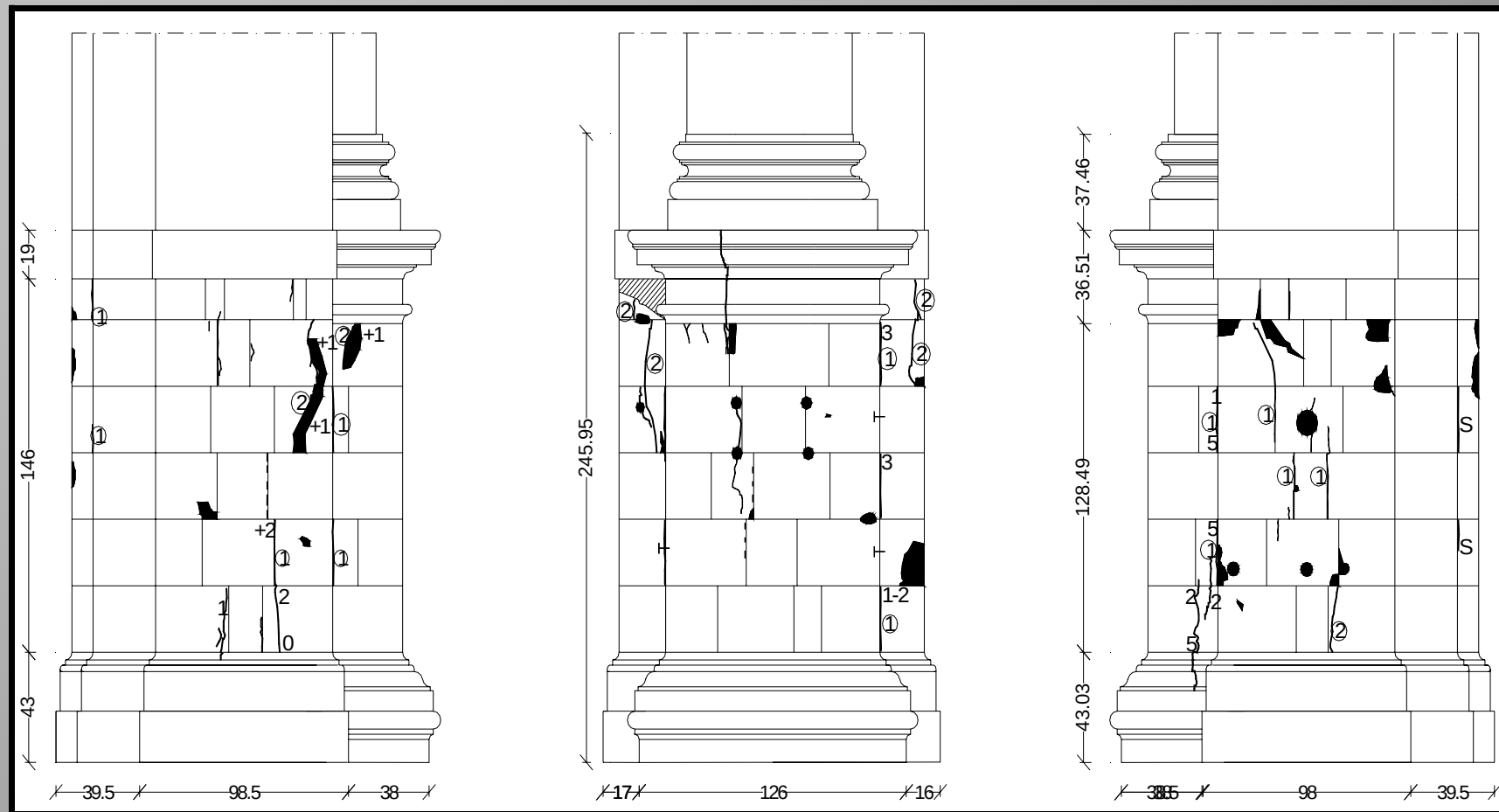


Il danneggiamento dei pilastri



Particolari costruttivi

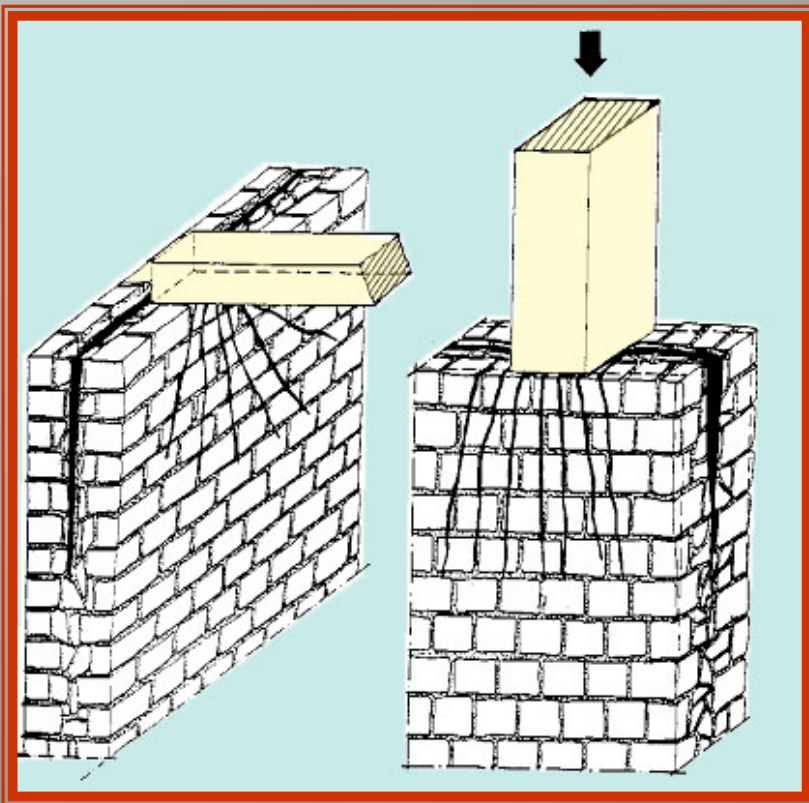




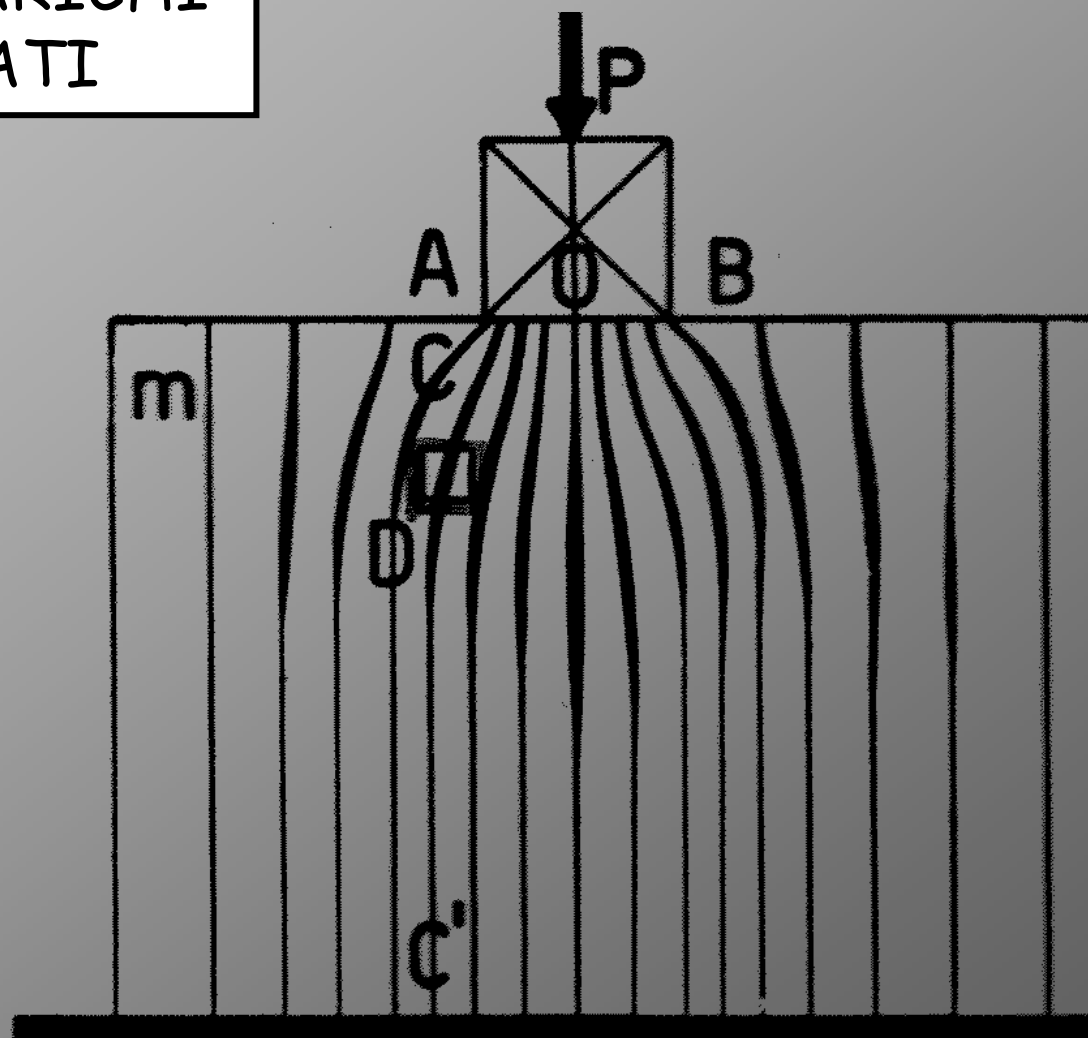
Chiesa del SS. Crocifisso a Noto

Fessure in
corrispondenza
dell'appoggio di travi da
solaio

EFFETTO DI CARICHI
CONCENTRATI



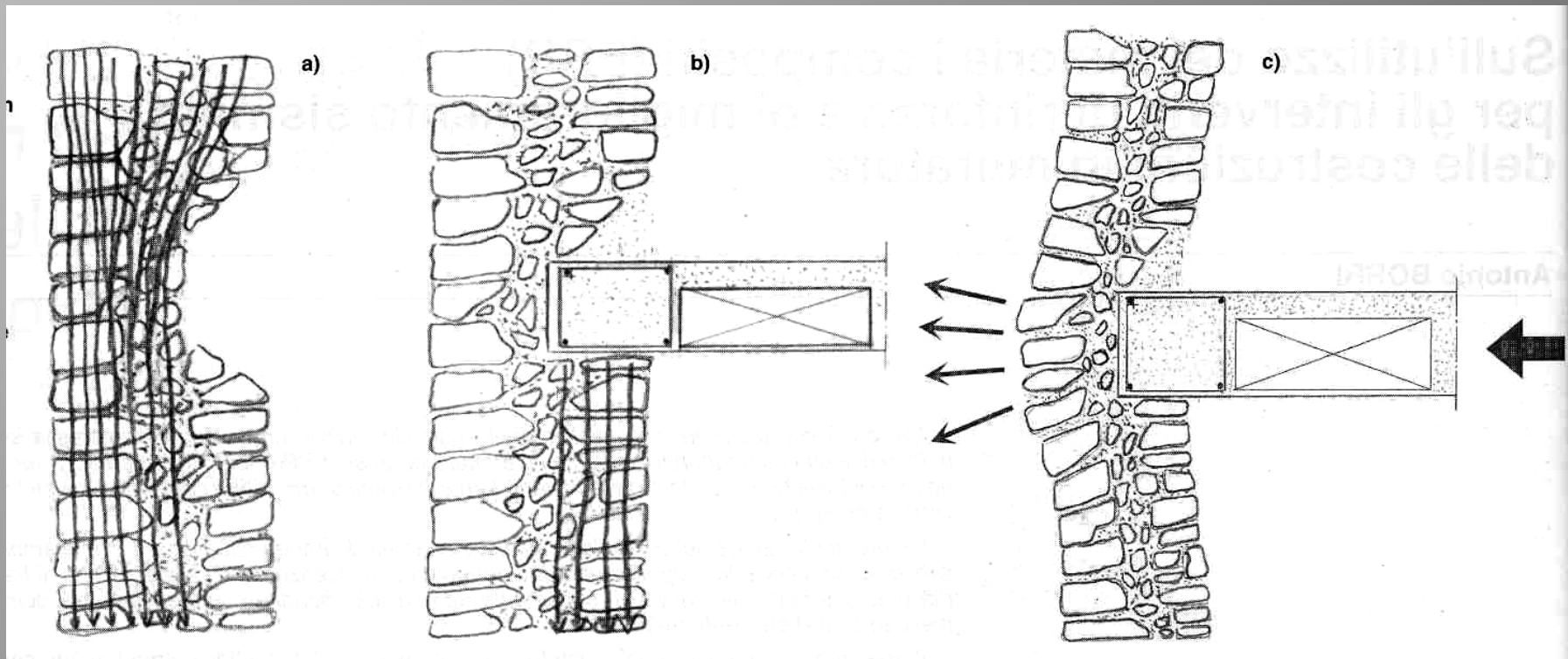
EFFETTO DI CARICHI CONCENTRATI



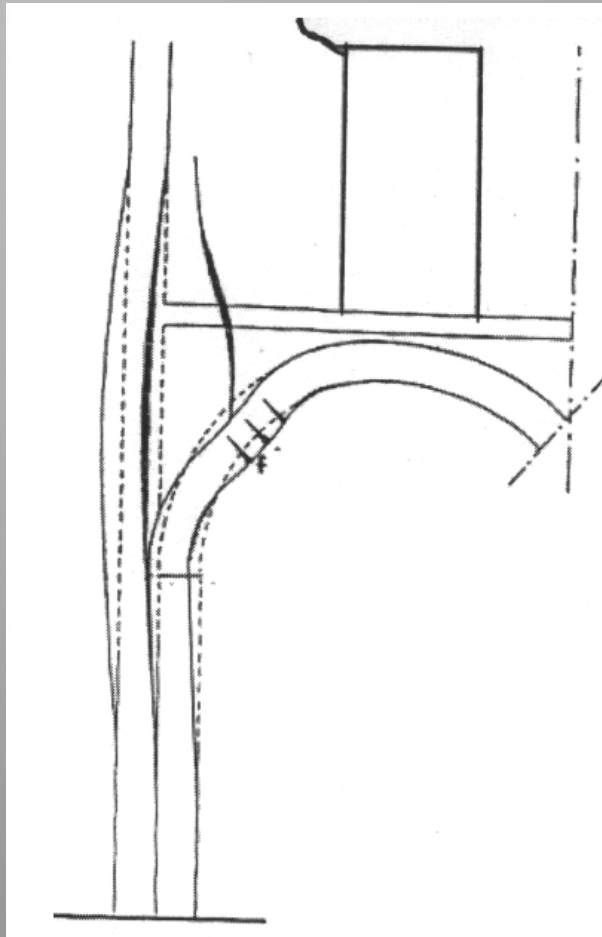
Fessure in
corrispondenza
dell'appoggio di cordoli in
breccia di c.a.



**EFFETTO DI CARICHI
CONCENTRATI**

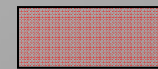


CEDIMENTI DELLE STRUTTURE MURARIE VERTICALI PER SPINTE DEGLI ARCHI E DELLE VOLTE



Schema del Cedimento delle strutture murarie verticali per spinte degli archi e delle volte e particolare di un edificio in Valtellina soggetto a tale danno (Folini E., 2000/2001)

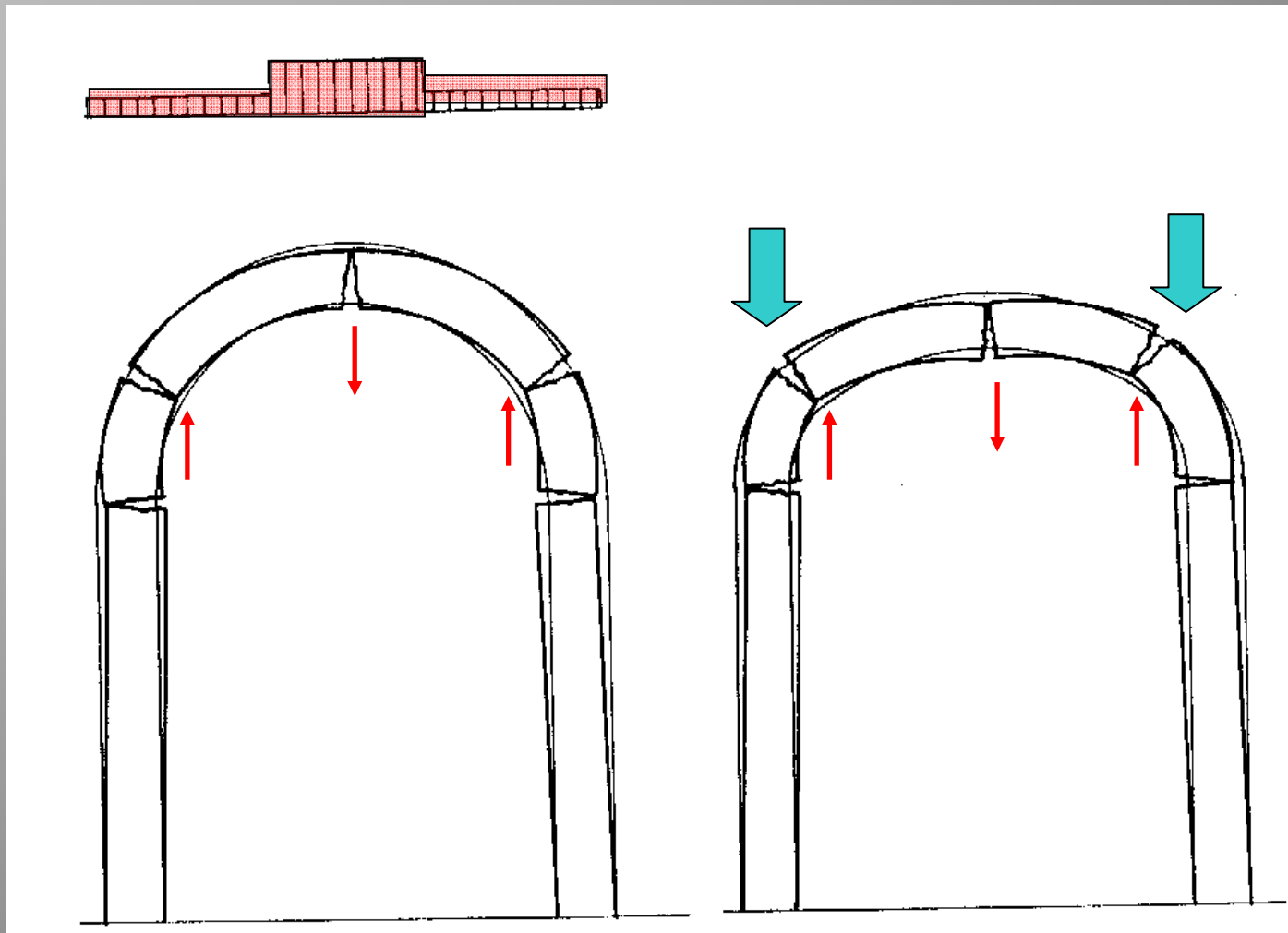
DISSESTI SUGLI ARCHI E SULLE VOLTE effetti di carichi concentrati



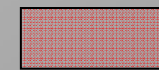
Dannoso



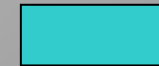
Stabilizzante



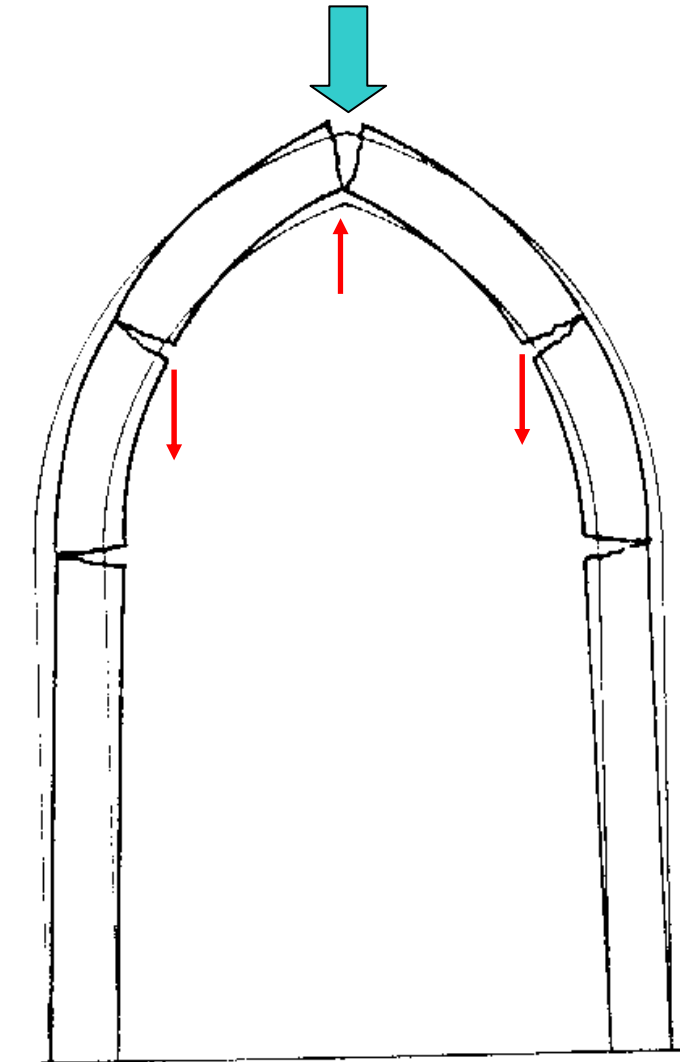
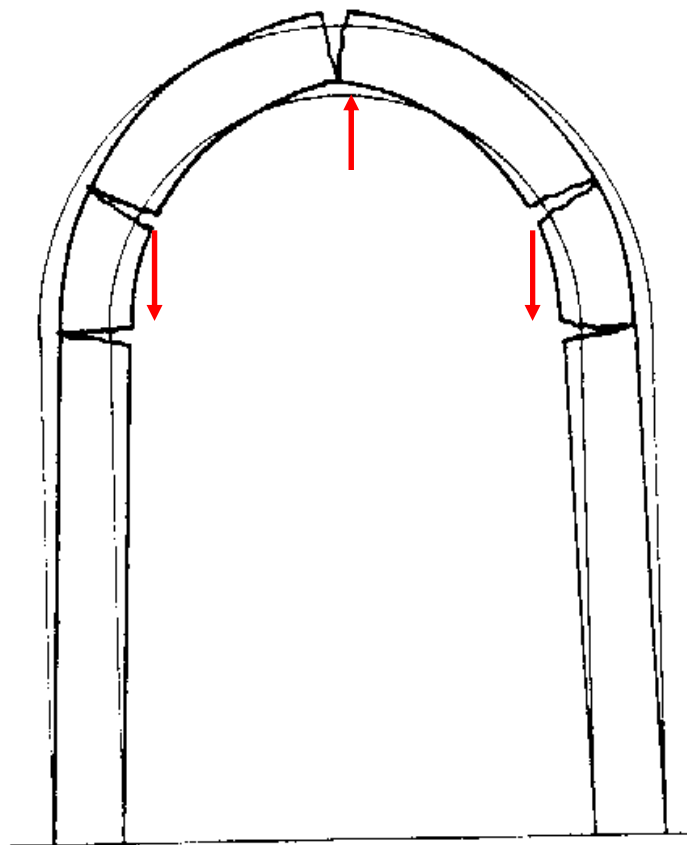
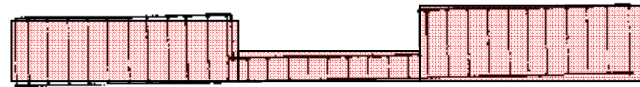
DISSESTI SUGLI ARCHI E SULLE VOLTE effetti di carichi concentrati



Dannoso



Stabilizzante



DISSESTI SUGLI ARCHI E SULLE VOLTE



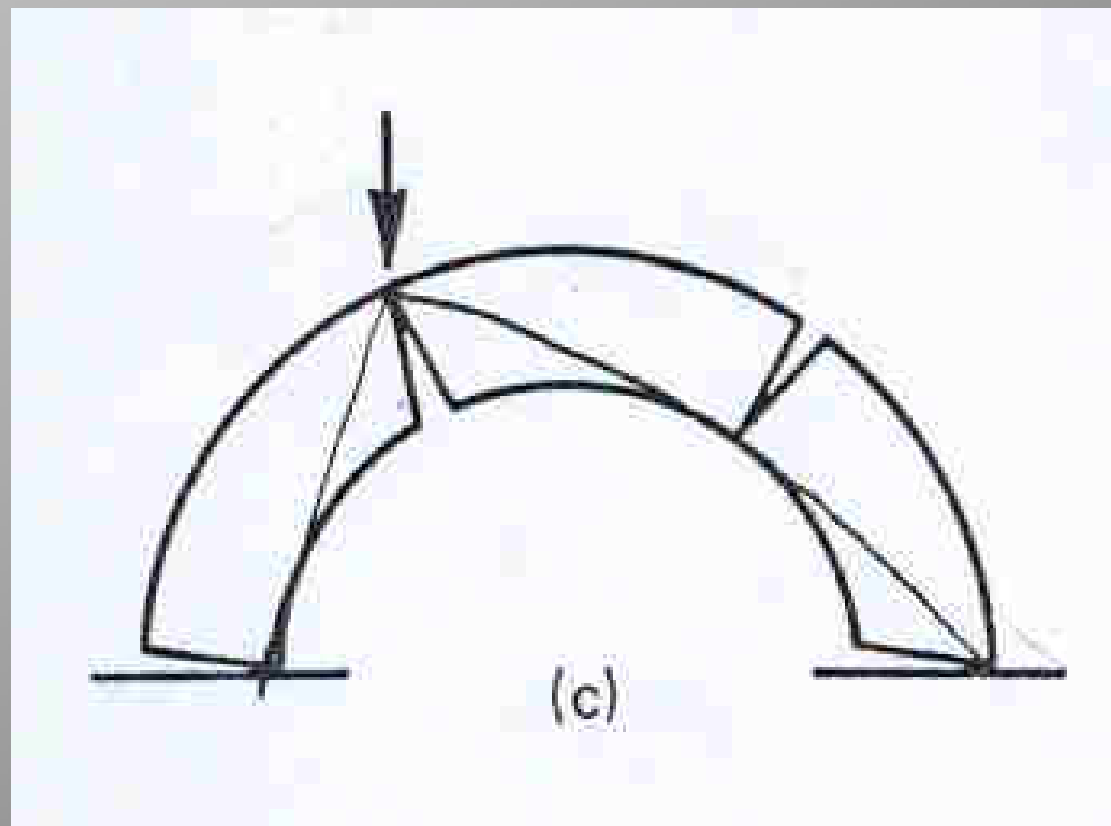
Mileto, Terme di Faustina,
particolare di un arco.



Antalya, Chiesa di S. Nicola, particolare di
una fessura intradossale in chiave.

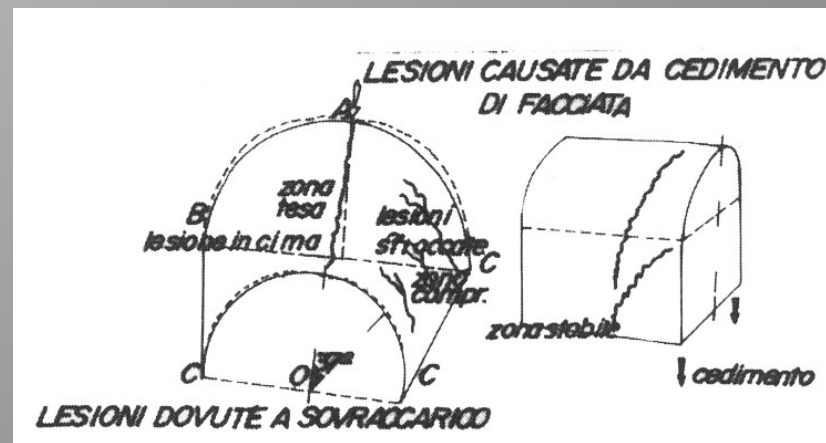
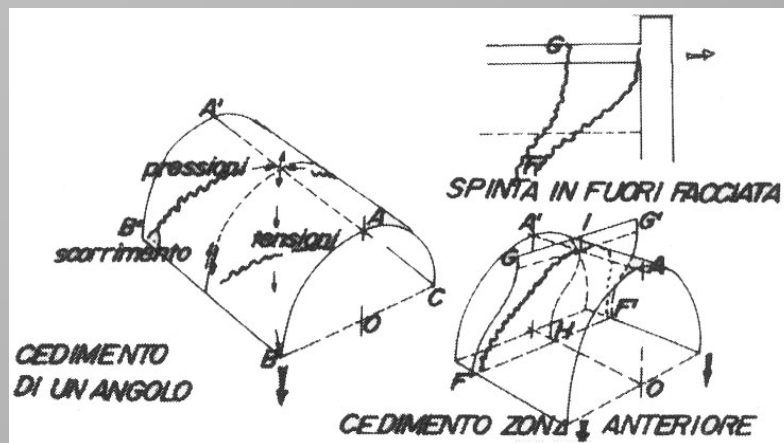


Istanbul, Santa Sofia, particolare dei dissesti sugli archi e sulle volte

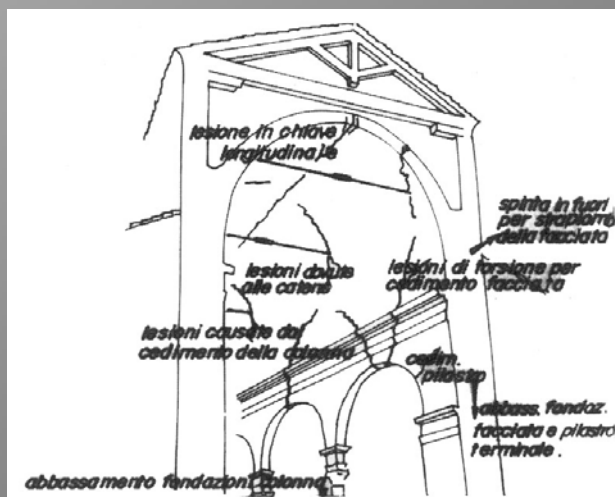


Fessurazioni intradossali ai fianchi

DISSESTI SULLE VOLTE: VOLTE A BOTTE

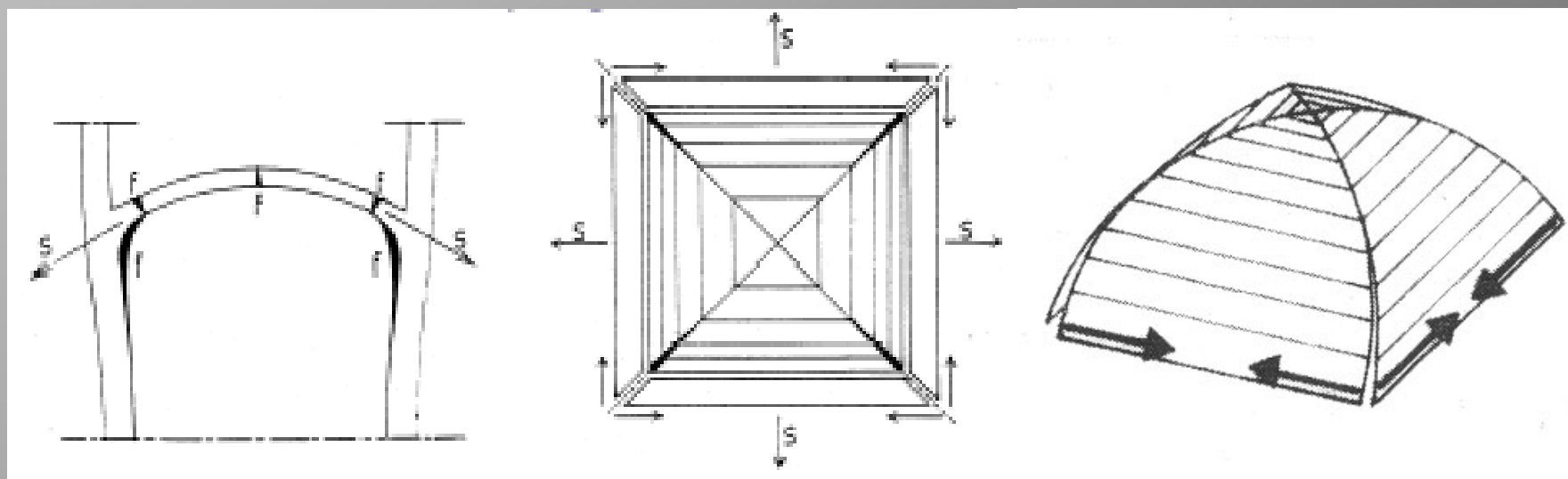


Schemi di dissesti sulle volte a botte (Piccirilli C.)



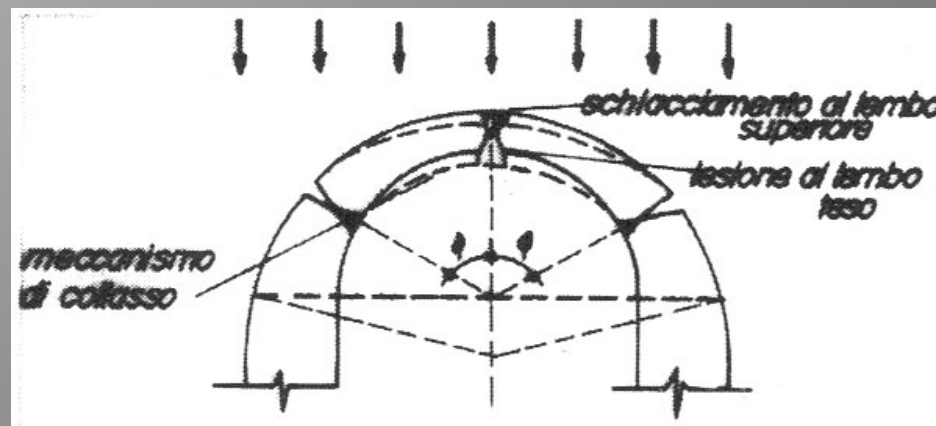
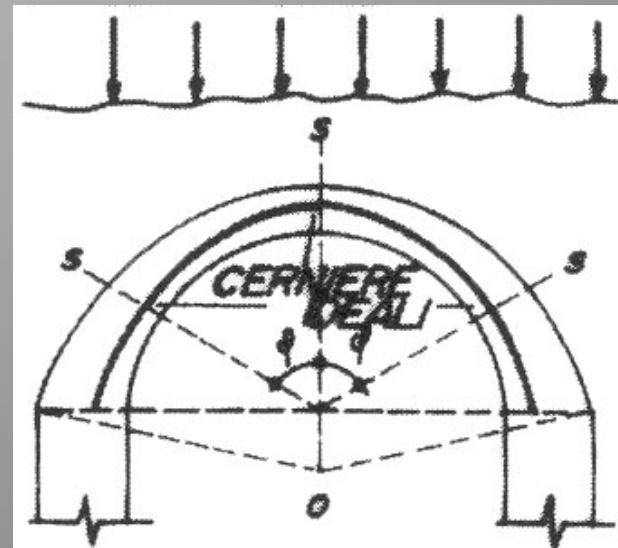
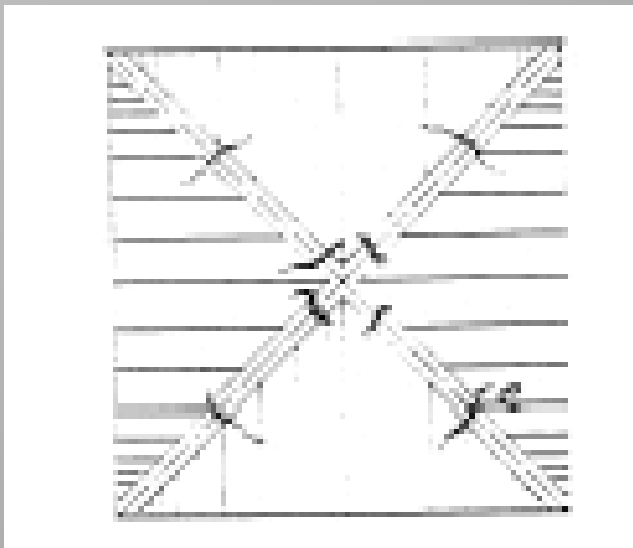
Veduta di insieme delle lesioni di una volta a botte su colonne (Piccirilli C.)

DISSESTI SULLE VOLTE: VOLTE A PADIGLIONE



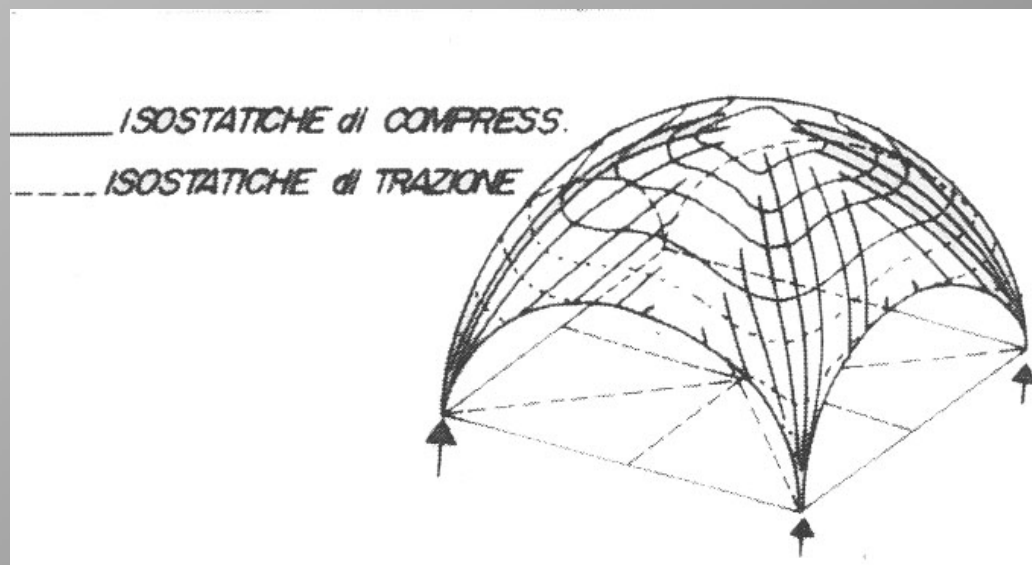
**Schemi di dissesti e spanciamento delle volte a padiglione
(Piccirilli C.)**

DISSESTI SULLE VOLTE: VOLTE A CROCIERA

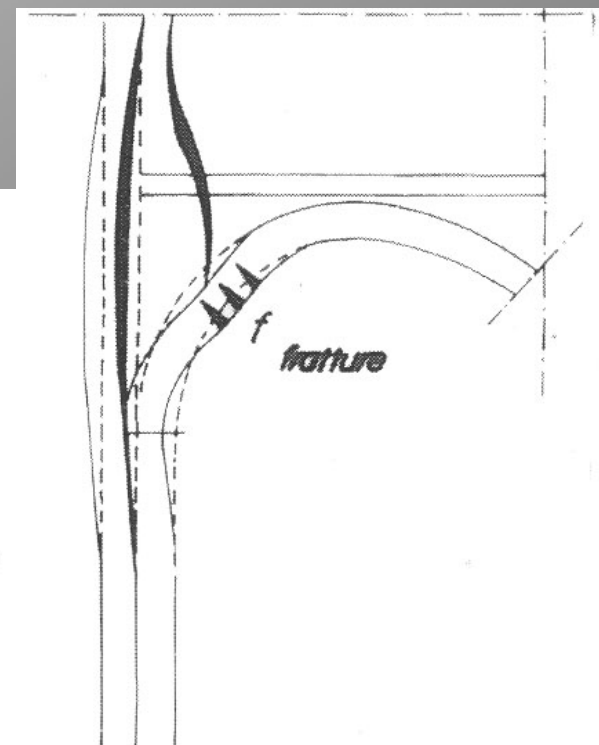


Schema dei dissesti delle volte a crociera (Piccirilli C., 1989)

DISSESTI SULLE VOLTE: VOLTE A VELA

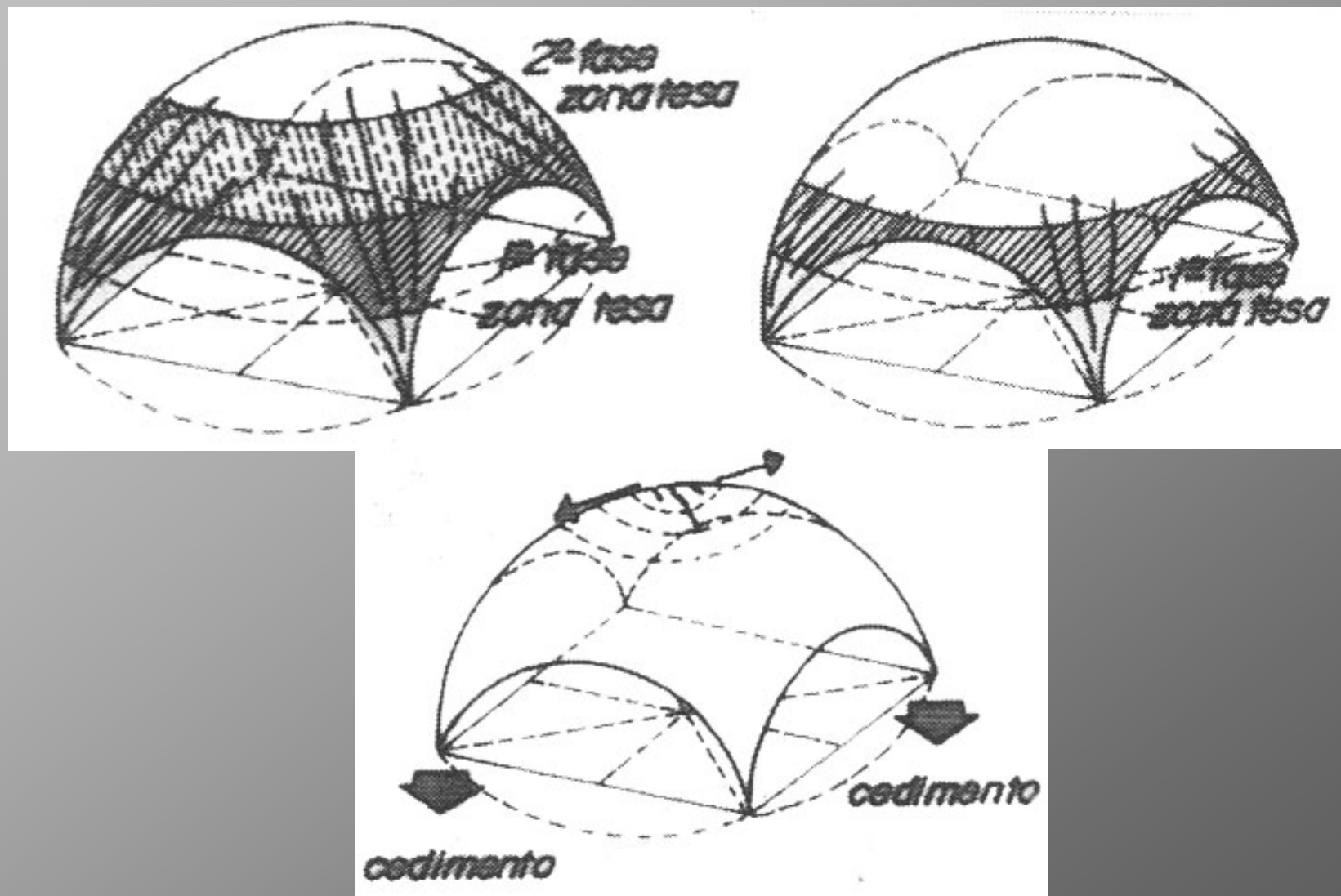


Andamento delle tensioni principali di compressione e trazione nella volta a vela
(Piccirilli C., 1989)



Schema di depressione nelle volte a vela

DISSESTI SULLE VOLTE: VOLTE A VELA



Manifestazioni del quadro fessurativo nelle volte a vela
(Piccirilli C., 1989)

DISSESTI SULLE VOLTE

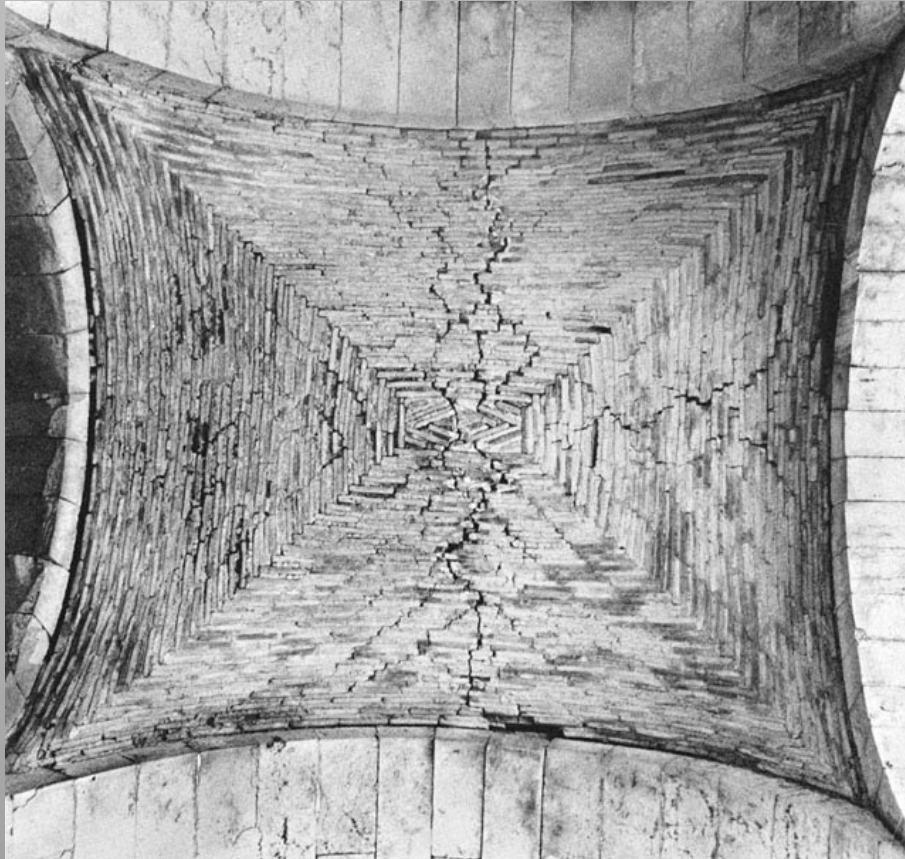


Firenze, Uffizi, particolare di lesioni su una volta a botte



Firenze, Ospedale degli Innocenti, particolare di lesioni su una volta a crociera

DISSESTI SULLE VOLTE

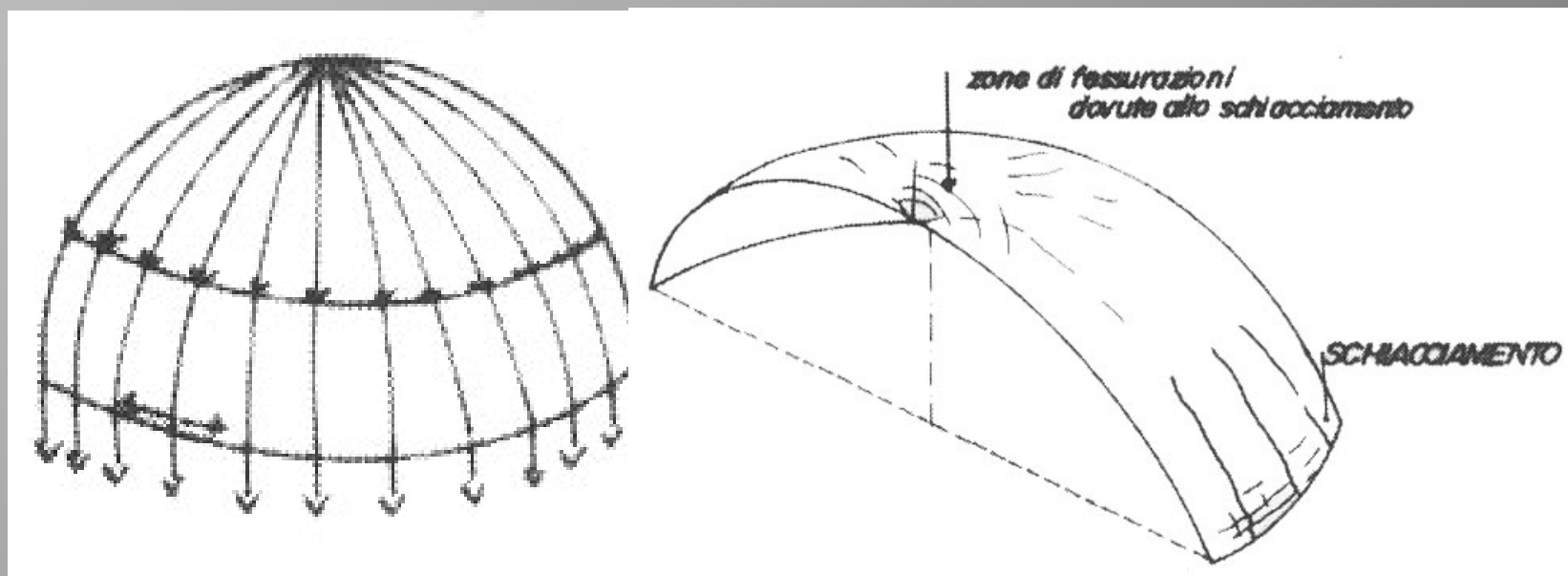


Lesioni su una volta a crociera

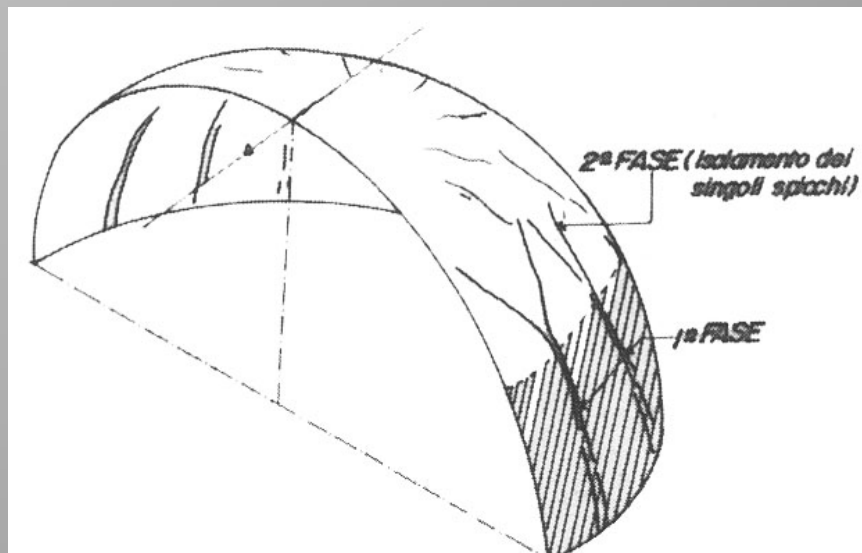


Lesioni su volte a vela

DISSESTI SULLE CUPOLE: CUPOLE SEMPLICI
(CUPOLE EMISFERICHE E CUPOLE RIBASSATE)



Manifestazioni del quadro fessurativo nelle cupole ribassate (Piccirilli C., 1989)

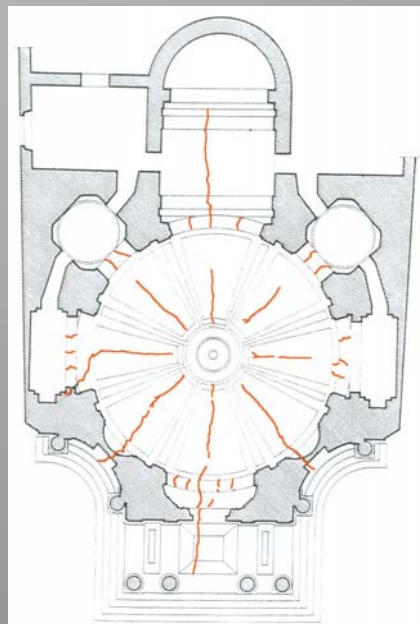
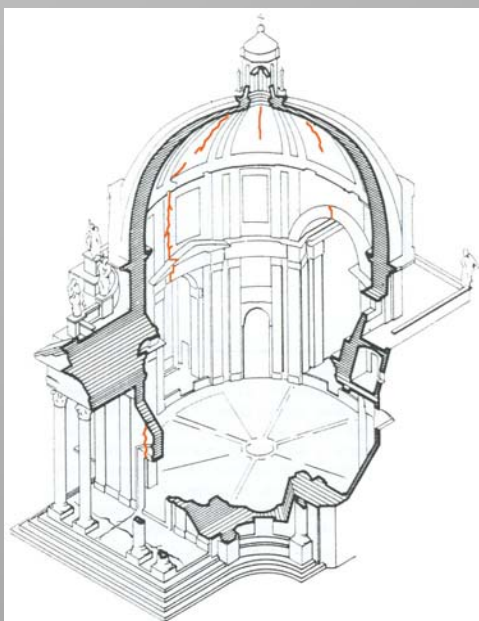


Manifestazioni del quadro fessurativo nelle cupole semplici (Piccirilli C., 1989)



Bursa, Moschea Verde, particolare di una lesione nella cupola semplice

DISSESTI SULLE CUPOLE: CUPOLE COMPOSTE CON COSTOLONI



Roma, Santa Maria dei Miracoli, posizione sul prospetto e in pianta delle principali fessure sulla cupola (Fiengo G., 1978)



Roma, Santa Maria dei Miracoli, vista dal basso della cupola

DISSESTI SULLE CUPOLE: CUPOLE COMPOSTE CON COSTOLONI

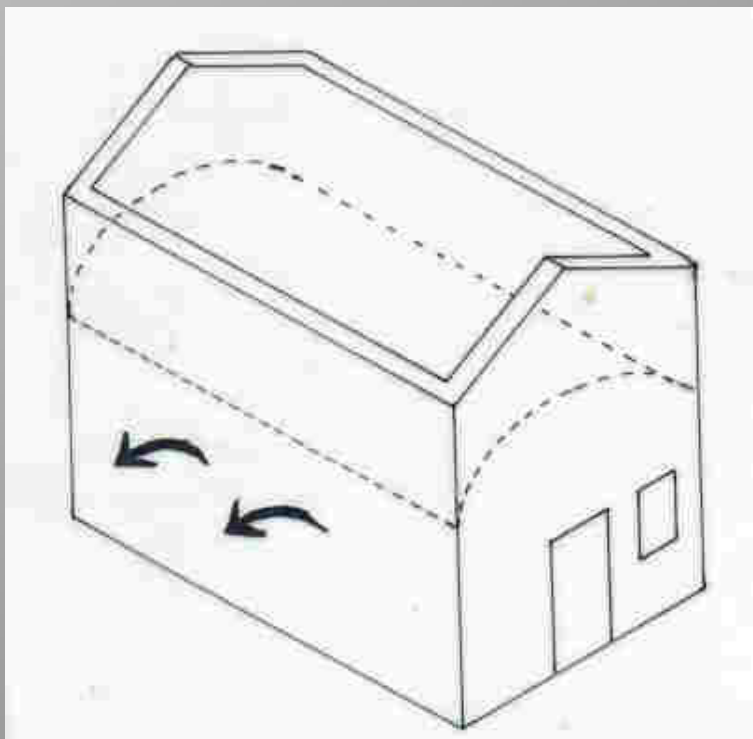


Firenze, Santa Maria del Fiore, posizione in pianta delle principali fessure sulla cupola
(Docci M., Maestri D., 1994)



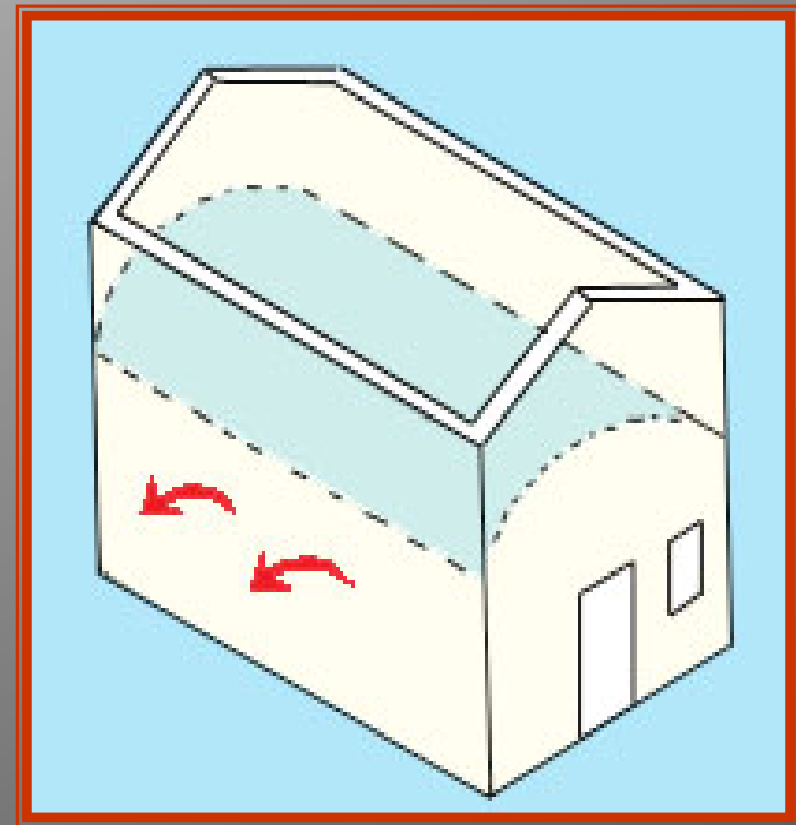
Firenze, Santa Maria del Fiore, particolare di lesioni sulla cupola

CEDIMENTI DELLE STRUTTURE MURARIE VERTICALI PER SPINTE DEGLI ARCHI E DELLE VOLTE



Edificio in Valtellina. (Folini E. 2001)

CEDIMENTI DELLE STRUTTURE MURARIE VERTICALI PER SPINTE DEGLI ARCHI E DELLE VOLTE



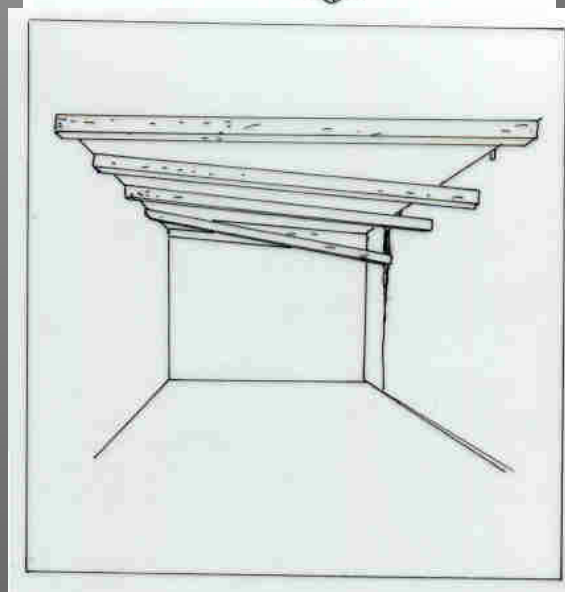
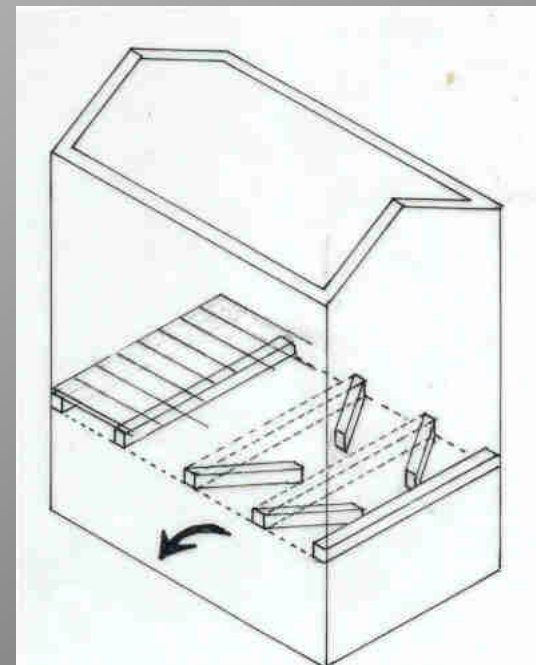
CEDIMENTI DELLE STRUTTURE MURARIE VERTICALI PER SPINTE DEGLI ARCHI E DELLE VOLTE

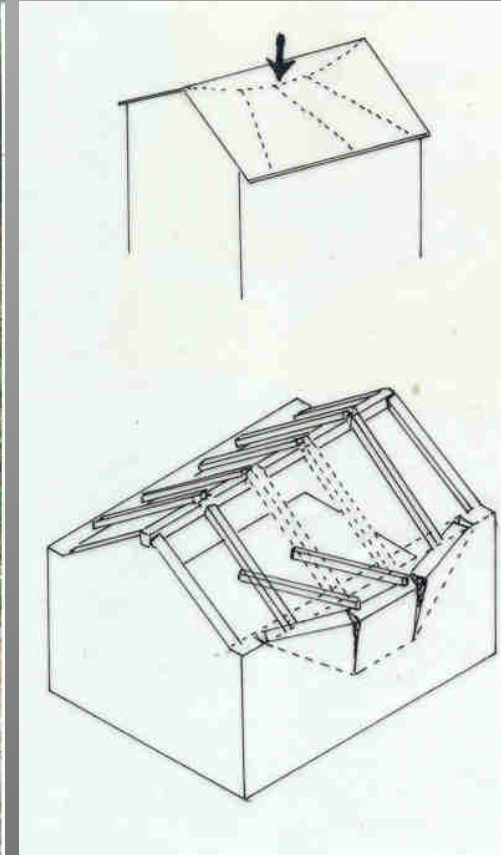


Firenze, particolare di un edificio situato sul Ponte Vecchio e soggetto a cedimento delle strutture murarie verticali per presenza di strutture spingenti

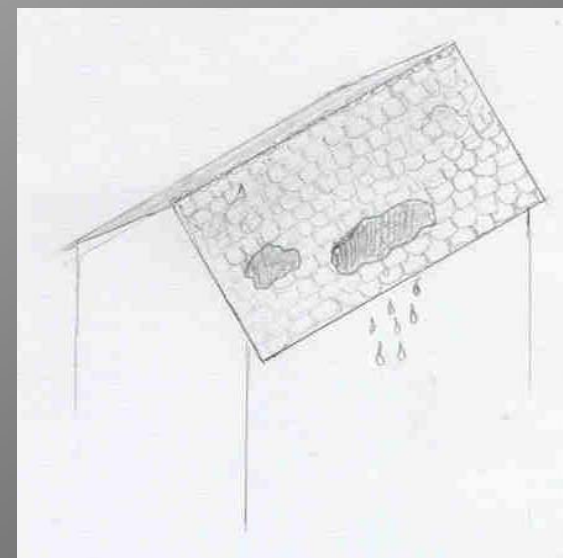


Edificio in Valtellina: Esempio di cedimento della struttura orizzontale.
Presenza di fessure in corrispondenza degli orizzontamenti causato da degrado delle murature per deterioramento delle strutture in legno (Folini E., 2000/2001)





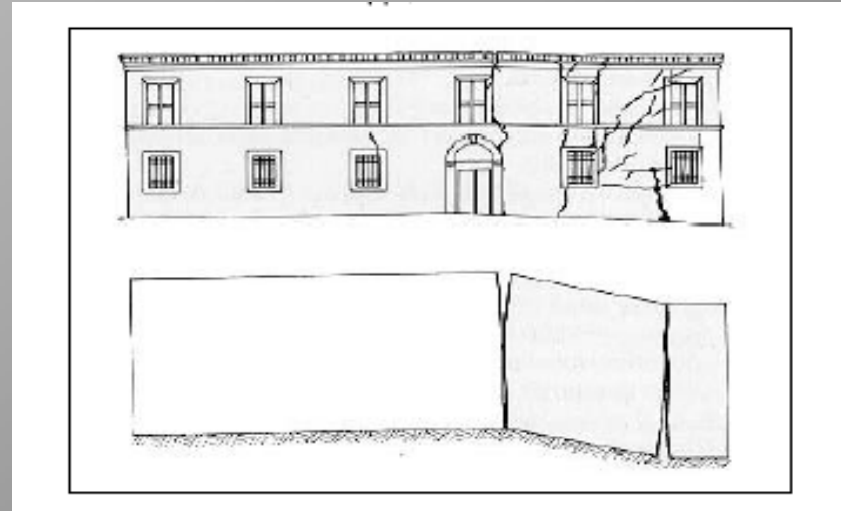
**Edificio in Valtellina: Esempio di cedimento causato dalla presenza di coperture spingenti
Presenza di fessure in corrispondenza degli orizzontamenti causato dal degrado delle
murature per deterioramento delle strutture in legno (Folini E., 2000/2001)**



Edificio in Valtellina: Esempio di presenza di infiltrazioni d'acqua dalle coperture
Presenza di fessure in corrispondenza degli orizzontamenti causato dal degrado
delle murature per deterioramento delle strutture in legno (Folini E., 2000/2001)

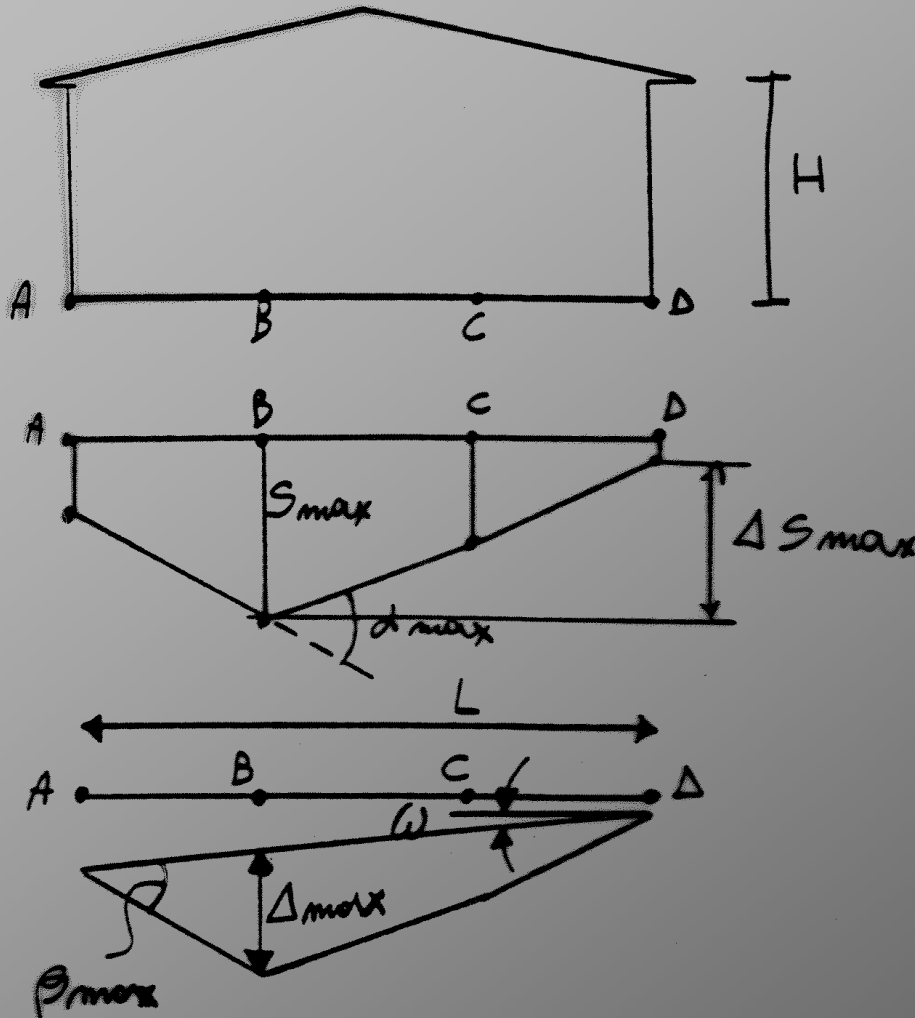
CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI

Minacciano (Garfagna) - Particolare di una
lesione per traslazione (Lagomarsino S.)



Interpretazione del quadro fessurativo di una parete in muratura con spostamento rigido
congruente tra blocchi parzialmente separati.(Caterina, 1989)

CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI



S = CEDIMENTO

ω = ROTAZIONE RIGIDA

ΔS = CEDIM. DIFFERENZIALE

α = DEFORMAZ. ANGOLARE

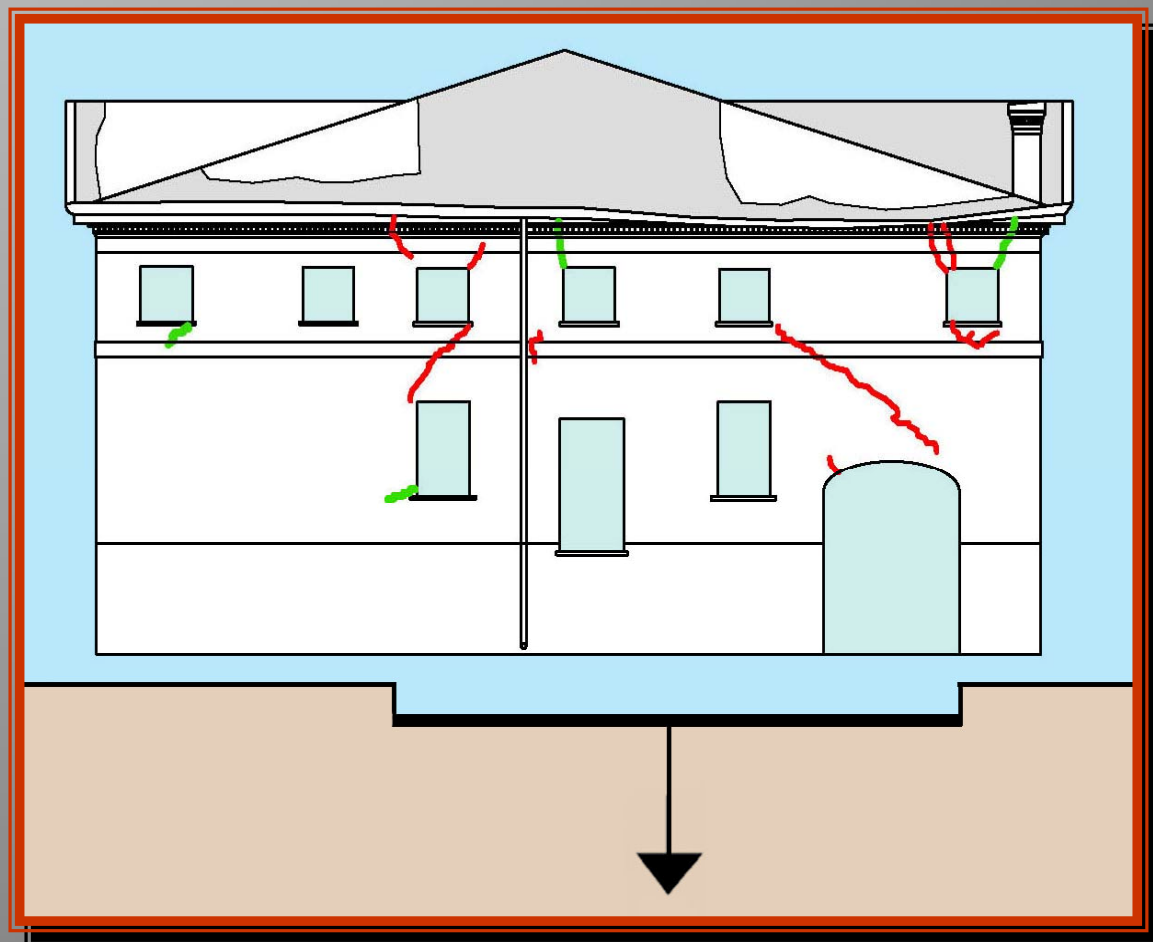
Δ = INFLESSIONE

Δ/L = RAPP. DI INFLESSIONE

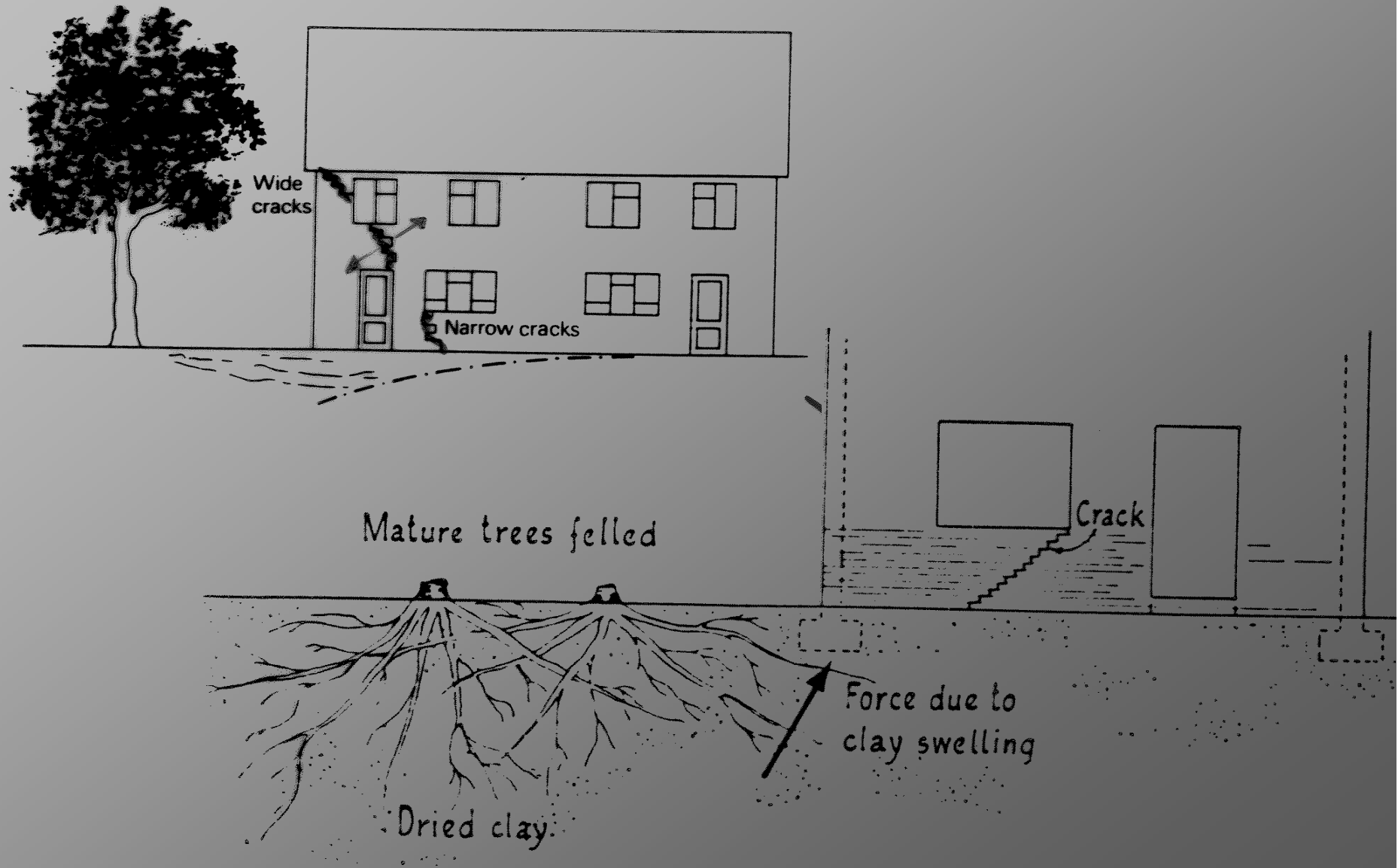
(CURVATURA)

β = ROTAZIONE RELATIVA

CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI



CEDIMENTI INDOTTI DALLA PRESENZA DI VEGETAZIONE



CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI

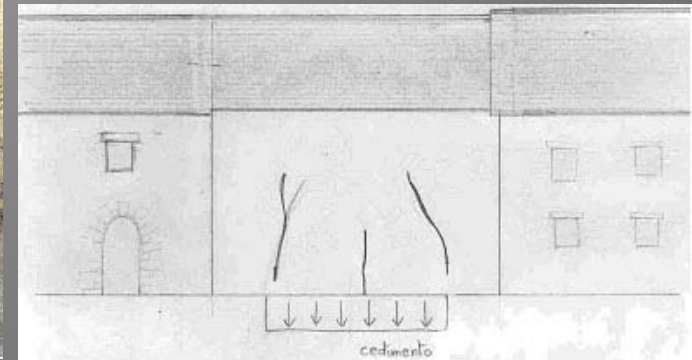


Chiesa di San Matteo:, particolare del crollo della facciata. Movimenti di traslazione verticale dovuto a scalzamento al piede del pendio causato dal torrente. (Folini E., 2000/2001)



Chiesa di San Matteo: particolare della fessurazione posta nell'angolo a sud-ovest, verso valle. (Folini E., 2000/2001)

CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI



Edificio in Valtellina. Traslazione verticale intermedia presumibilmente a causa di cedimenti differenziali del terreno di fondazione. (Folini E., 2000/2001)

CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI



Villa sull'isola Boschina di Ostiglia. Traslazione verticale intermedia (Moretti C., 2001-02)



Villa sull'isola Boschina di Ostiglia. Particolare di una fessura sotto la finestra (Moretti C., 2001-02)

CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI



Chiesa di Santa Cristina in Valtellina. Scivolamento al piede del terreno di fondazione dovuto a scarsa profondità d'imposta delle fondazioni (Folini E., 2000/2001)



Chiesa di Santa Cristina in Valtellina. Abside in pietra, prospetto nord. Sono evidenziate le fessurazioni presenti sulla muratura (Folini E., 2000/2001)



Edificio in Valtellina. Fessurazioni dei materiali costituenti la muratura dovute ad un movimento di rotazione dell'angolo dell'edificio. (Folini E.)

CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI



Edificio in Valtellina. La fessurazione a gola rovescia con i cigli divergenti sta ad annunciare il moto rotatorio della testata destra in sede di cedimento. (Folini E., 2000/2001)

CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI



Torre Rotonda di Ortonovo (La Spezia) – Veduta e particolare del basamento soggetto a cedimento globale di rotazione (Lagomarsino S.)

CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI



Particolari di lesioni sotto le finestre e sopra alle porte, indice di cedimenti di fondazione

CEDIMENTI PER SUBSIDENZA

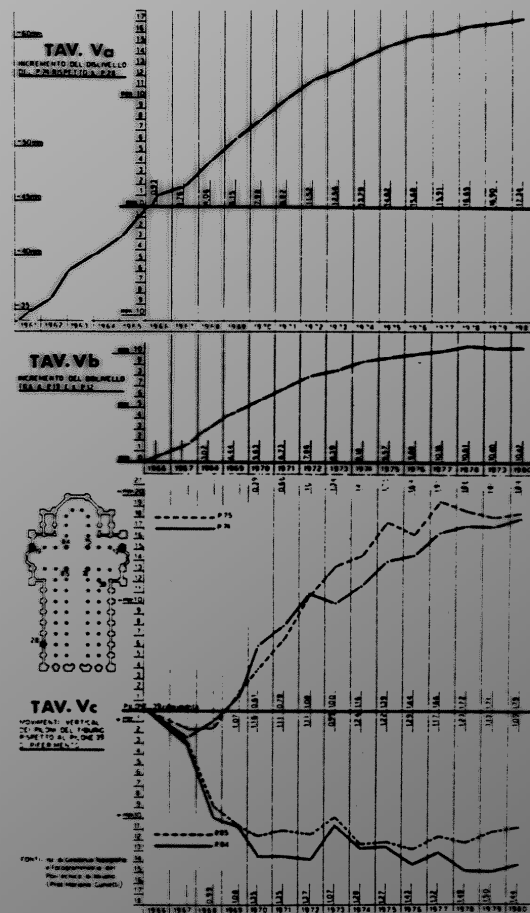
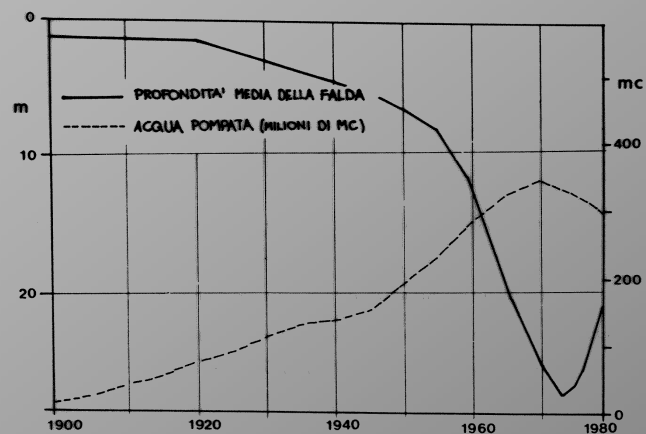


Fig. 7 - Milano

Incremento del dislivello dei piloni P74-P28 (tav. Va) e dei piloni P19-P12 (tav. Vb); movimenti verticali dei piloni del tiburio (tav. Vc).



“SAGGING” E “HOGGING”

