

VERIFICA SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

Parte 4a: I DISSESTI TIPICI DEGLI EDIFICI IN MURATURA



I DISSESTI NEGLI EDIFICI IN MURATURA

- DISSESTI DI NATURA FISIOLOGICA:

dipendono dalla **tipologia della costruzione**,
cioè dalla concezione e dalle modalità di
costruzione dell'edificio.

- DISSESTI DI NATURA PATOLOGICA:

a) derivanti dalla **trasformazione dei dissesti fisiologici** a causa di:

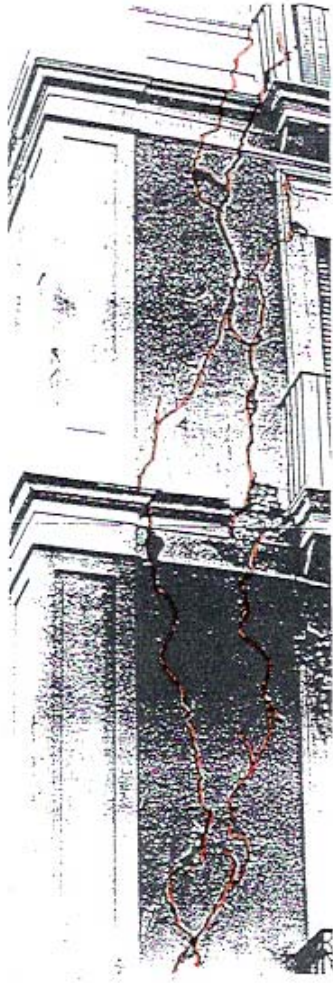
- scarsa qualità dei materiali
- insufficienza intrinseca della costruzione
- degrado connesso all'invecchiamento

b) causati da **eventi esterni accidentali**
(o eccezionali) oppure da **interventi umani**

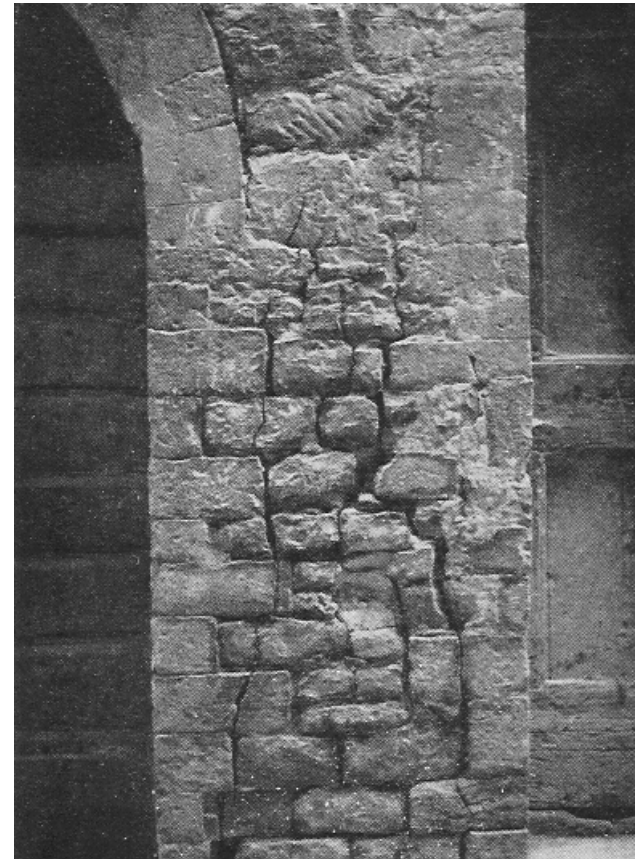
c) causati da **eventi sismici**

Il dissesto da SCHIACCIAMENTO

Lo schiacciamento di un muro

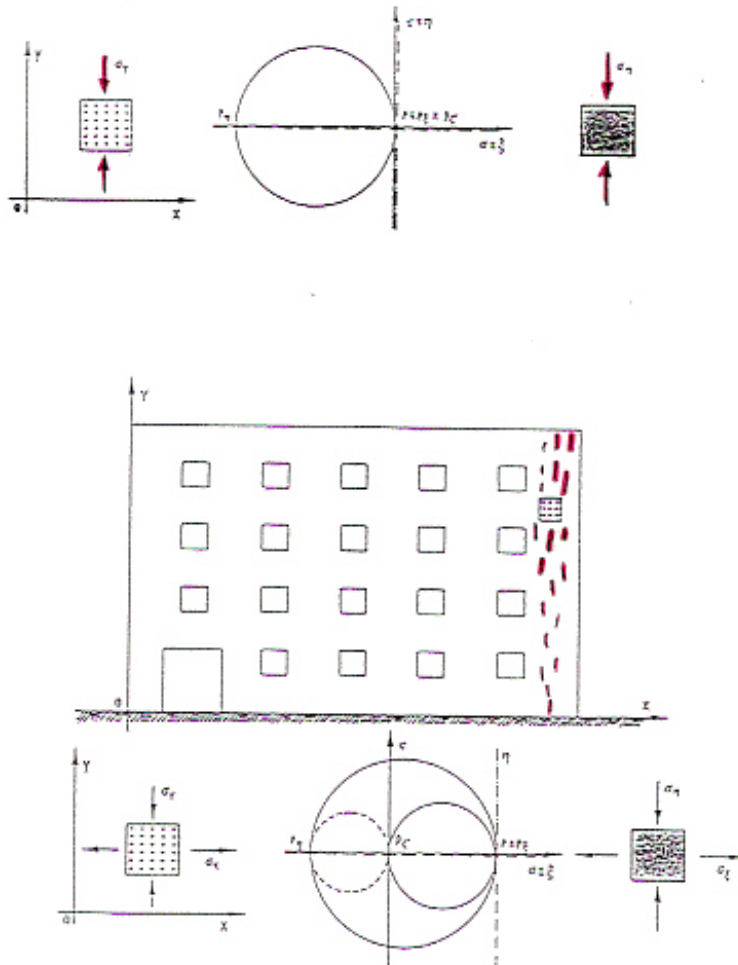


Lo schiacciamento alla base di un maschio murario



Nei fenomeni di schiacciamento le lesioni si sviluppano in direzione prevalentemente verticale, parallela alle tensioni di compressione

La presenza di tensioni di trazione in orizzontale non modifica sostanzialmente la direzione delle lesioni

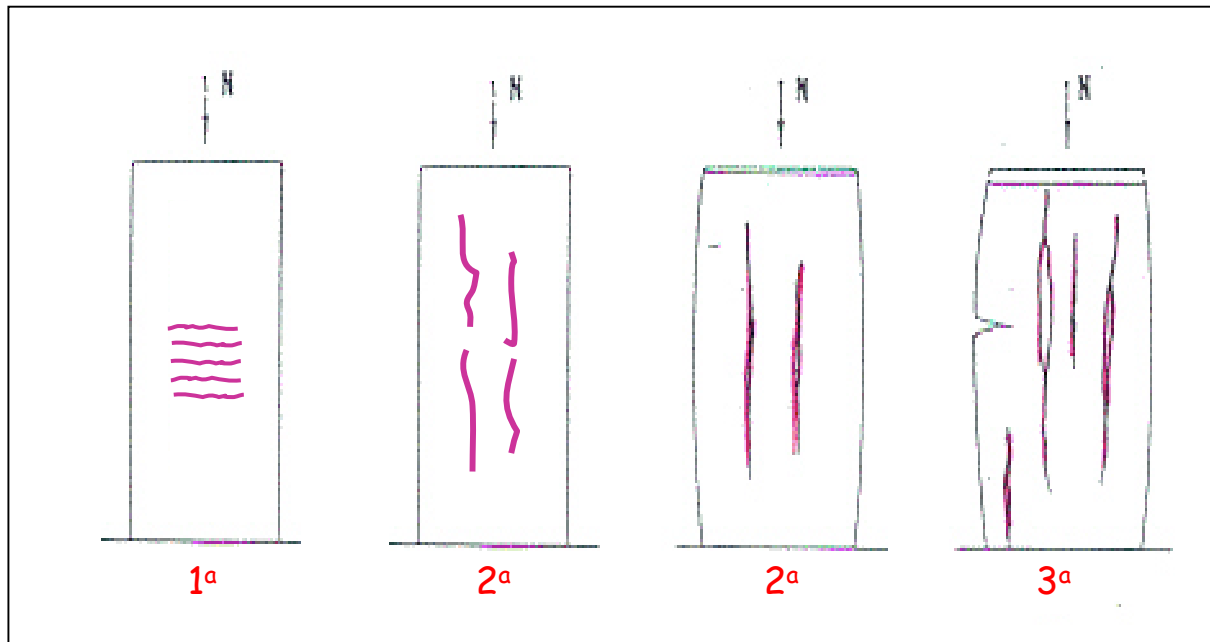


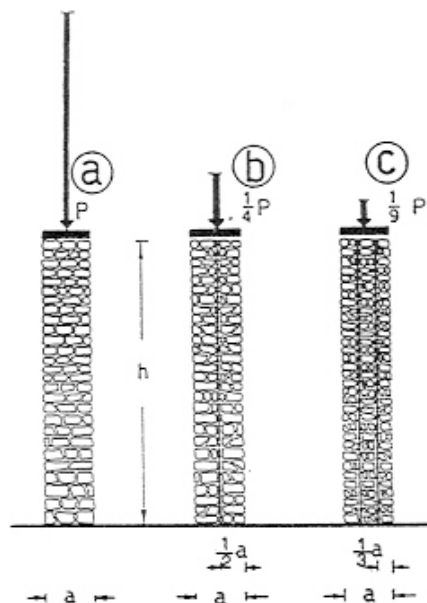
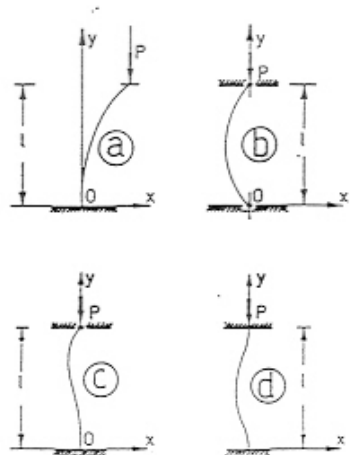
Lo schiacciamento, una volta innescato, è un fenomeno evolutivo molto pericoloso, caratterizzato da varie fasi

1ª fase: piccole increspature nell'intonaco con lesioni orizzontali dovute alla rottura della malta dei giunti

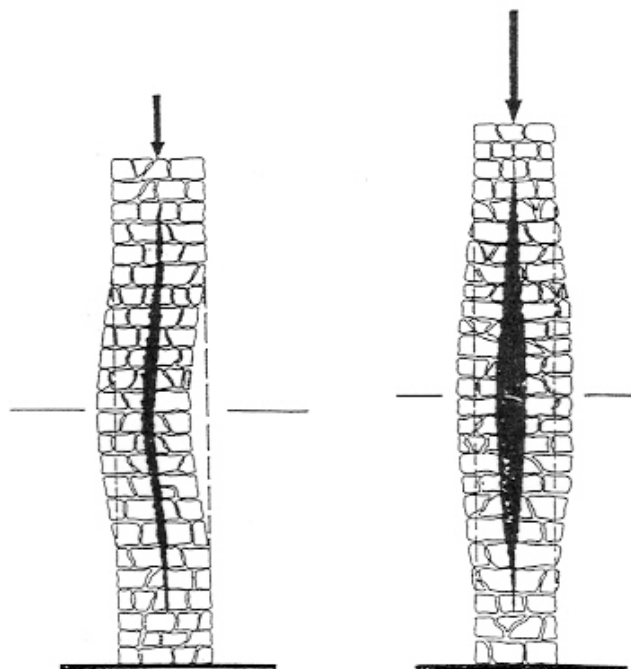
2ª fase: per la successiva rottura delle pietre che vanno in contatto tra loro nascono lesioni diffuse verticali a rami corti, che via via si intensificano e si uniscono

3ª fase: le lesioni si unificano in fratture di maggiore estensione che suddividono l'elemento murario (in direzione sia longitudinale che trasversale) in più elementi sottili separati tra loro e quindi di inerzia minore (fase molto pericolosa)





Lo schiacciamento porta al crollo per instabilità delle strisce di muratura che si sono separate tra loro con espulsione progressiva di materiale



Le cause dello SCHIACCIAMENTO

- A - insufficienza o riduzione della sezione resistente (errore di costruzione, allargamento o apertura di nuovi vani, eliminazione di pareti, creazione di nicchie)
- B - aumento dei carichi (sopraelevazioni, soppalchi, cambio di destinazioni d'uso, modifiche dello schema strutturale)
- C - diminuzione delle capacità di resistenza del materiale (degrado della malta per vetustà, vibrazioni, agenti atmosferici etc; separazione dei paramenti murari per insufficienza delle connessioni o per rottura di esse)
- D - incremento delle sollecitazioni dovute ad eventi imprevisti o eccezionali (cedimenti fondali, sisma etc.)

Lo schiacciamento di pilastri o colonne in muratura è più grave di quello dei muri continui (non c'è collaborazione delle parti non ancora interessate dal dissesto)

Il dissesto di un pilastro di una scala



Il fenomeno di schiacciamento in un pilastro evolve in tempi molto rapidi

Fase iniziale



1 settimana dopo

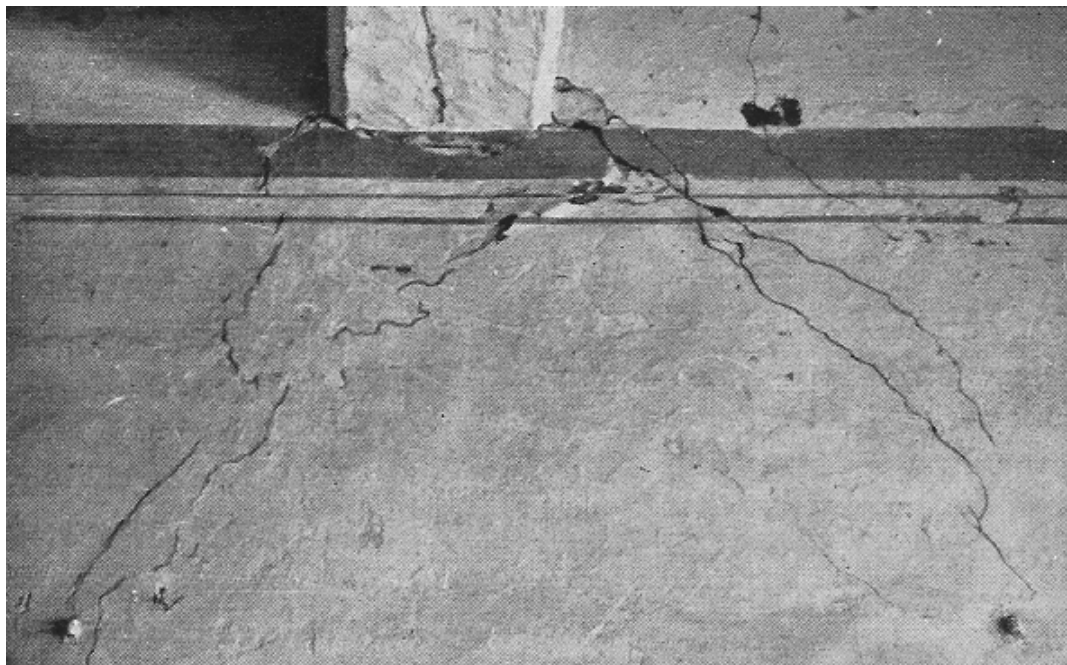


2 settimane dopo

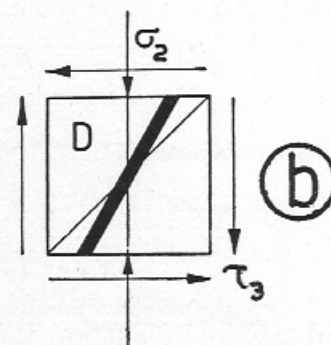
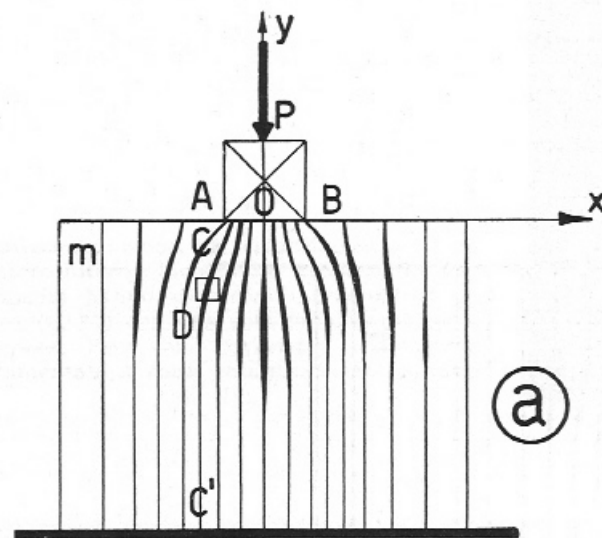


Lo schiacciamento localizzato per carichi concentrati

Le lesioni sub verticali che si dipartono dalle travi dei solai sono di schiacciamento (fenomeno locale di solito stabile)



Manca l'elemento di ripartizione del carico sotto la trave (cuscino in mattoni pieni)

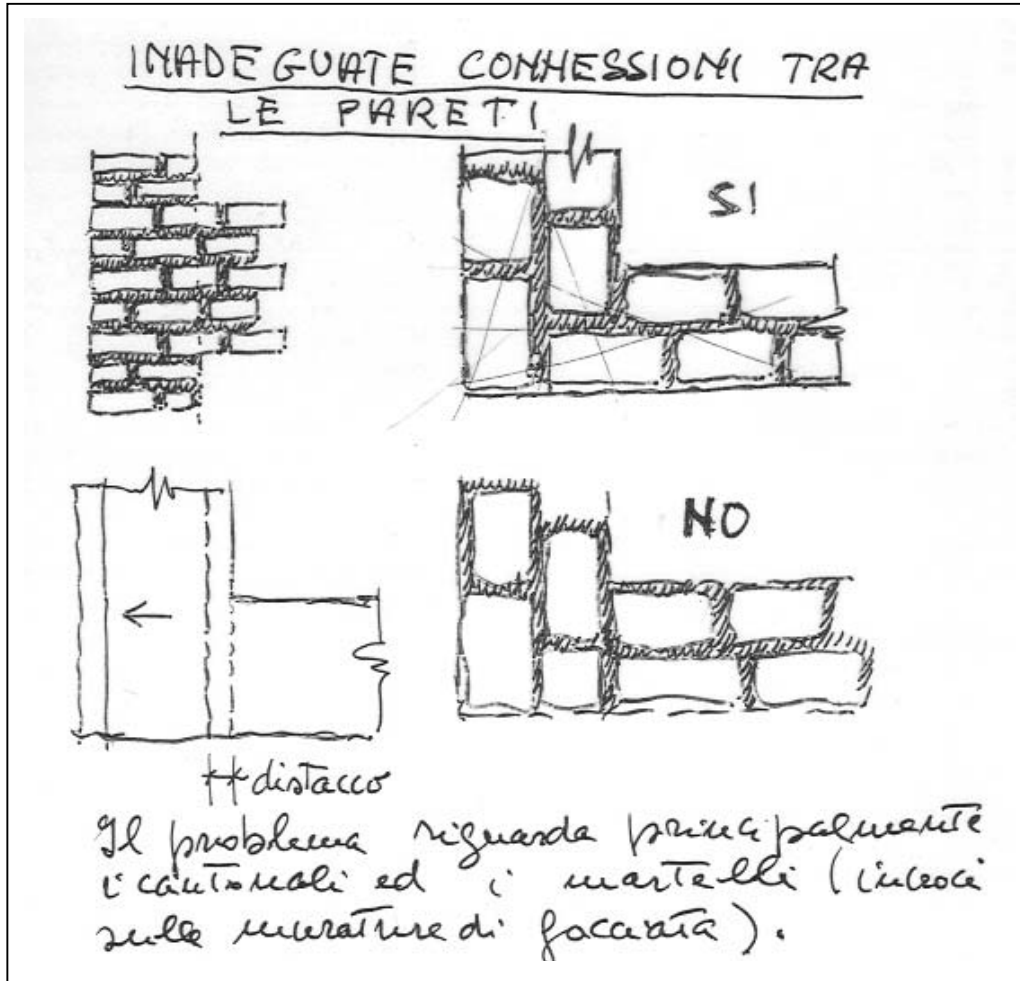


Dissesti dovuti a SCARSO CONCATENAMENTO MURARIO

Lesioni a prevalente andamento verticale in corrispondenza degli angoli e delle croci di muro

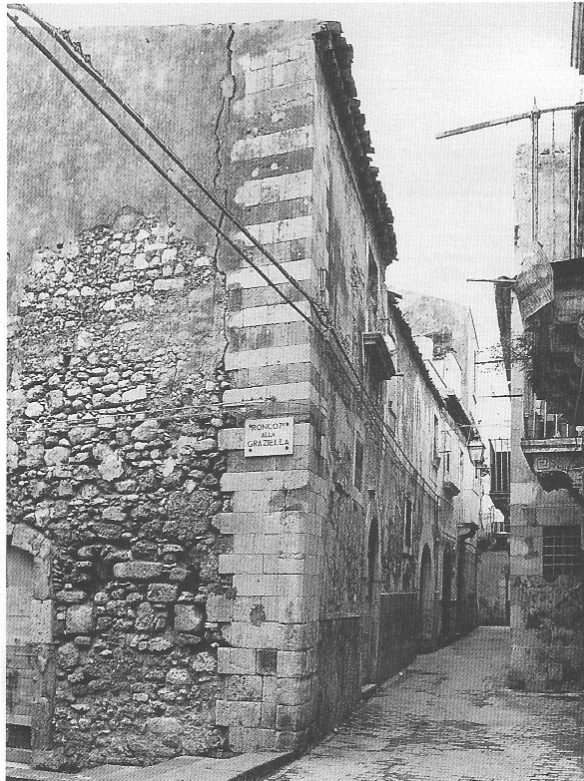


Le cause che favoriscono le DISCONNESSIONI

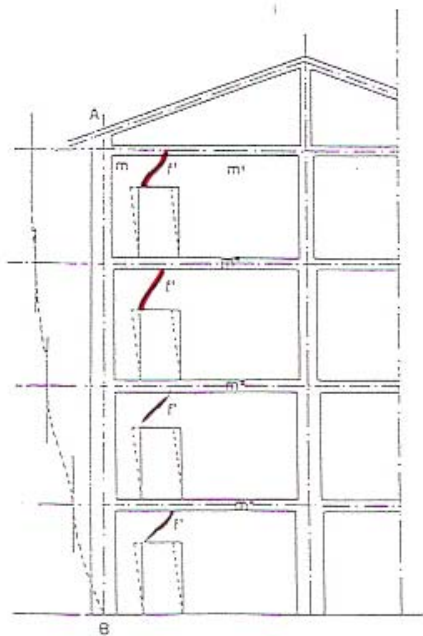
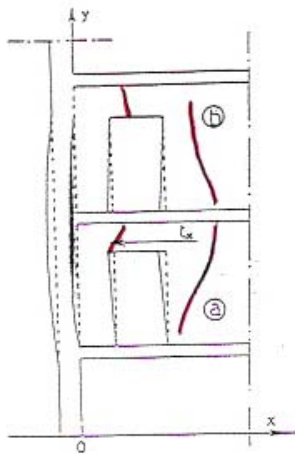


- A - inadeguata tessitura della muratura negli incroci e negli angoli
- B - differenze di carichi verticali sulle pareti che si incrociano
- C - variazioni termiche
- D - effetti degradativi delle vibrazioni da traffico
- D - spinte delle arcotravi delle pareti ortogonali etc.

Le pareti di facciata tendono a separarsi da quelle interne ad esse trasversali, con rottura delle croci di muro e rotazioni rigide verso l'esterno



L'ampiezza delle lesioni aumenta dal basso verso l'alto (lungo l'altezza dell'edificio)



La distribuzione delle aperture nella parete ortogonale, o altro indebolimento, può favorire la formazione delle lesioni anche al di là della croce di muro

Anche parte del muro
ortogonale viene
interessato dal distacco e
trascinato nella rotazione
verso l'esterno



La muratura al di sopra
della piattabanda è
particolarmente vulnerabile
costituendo la sezione più
debole del muro ortogonale



Nei solai orditi parallelamente alla facciata, si evidenziano anche fessurazioni, nella direzione delle travi, da trascinamento o da caduta di spinta



I solai a voltine di laterizio contrastano sulle travi e quindi sulla parete di facciata

Le lesioni longitudinali possono provocano cadute di intonaco o crollo delle voltine o delle spaccatelle di tufo

Le discontinuità costruttive favoriscono i distacchi

Ripresa di parete muraria
senza ammorsatura



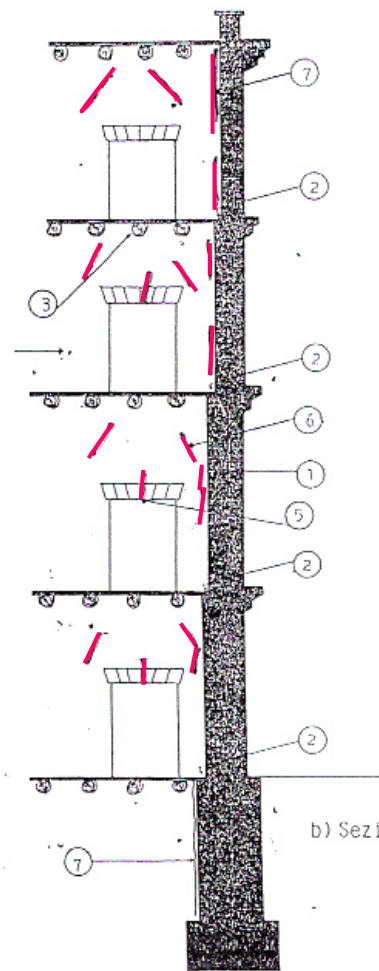
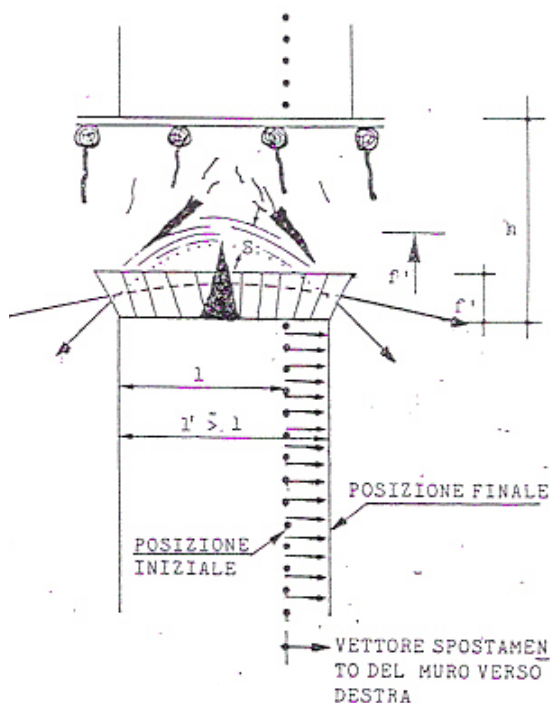
Ripresa di parete muraria
con insufficiente
ammorsatura



I DISSESTI LEGATI ALLE SPINTE

Le lesioni inclinate sulle piattabande ad arco delle aperture

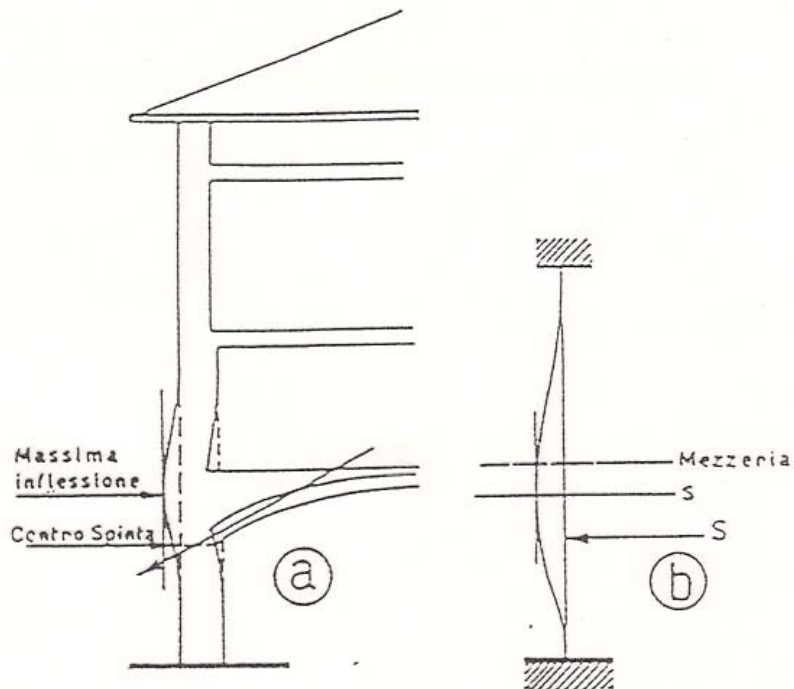
Sono lesioni di tipo fisiologico
che tendono a stabilizzarsi



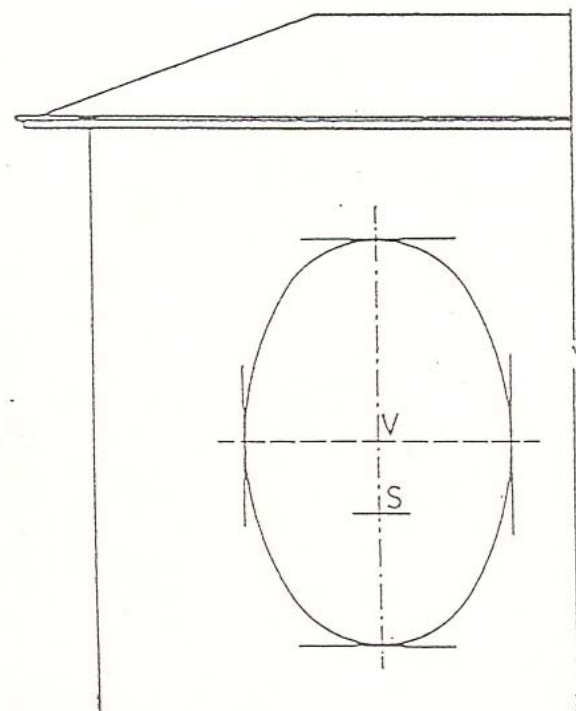
Favoriscono comunque il
distacco della
parete di
facciata

Gli spancamenti delle pareti di facciata per effetto della spinta di archi e volte

La massima inflessione si ha al disopra del centro di spinta

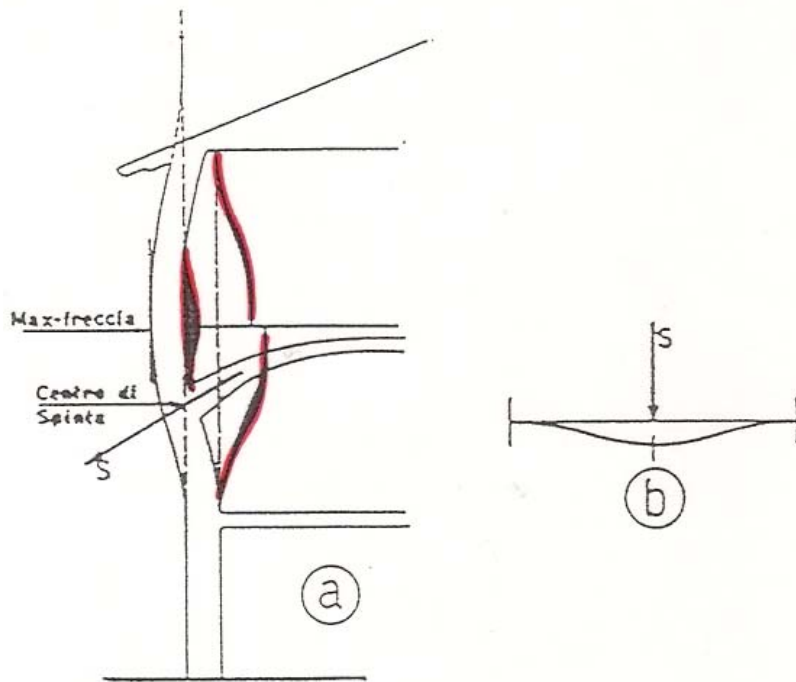


La zona di parete deformata è corrispondente ad una ellisse

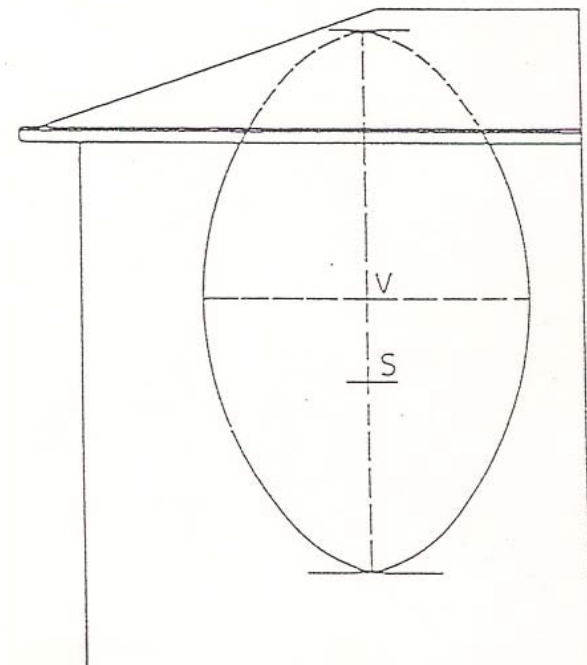


Il caso di scarsa solidarietà tra parete di facciata e muri ortogonali

Il muro di facciata si distacca da quello interno

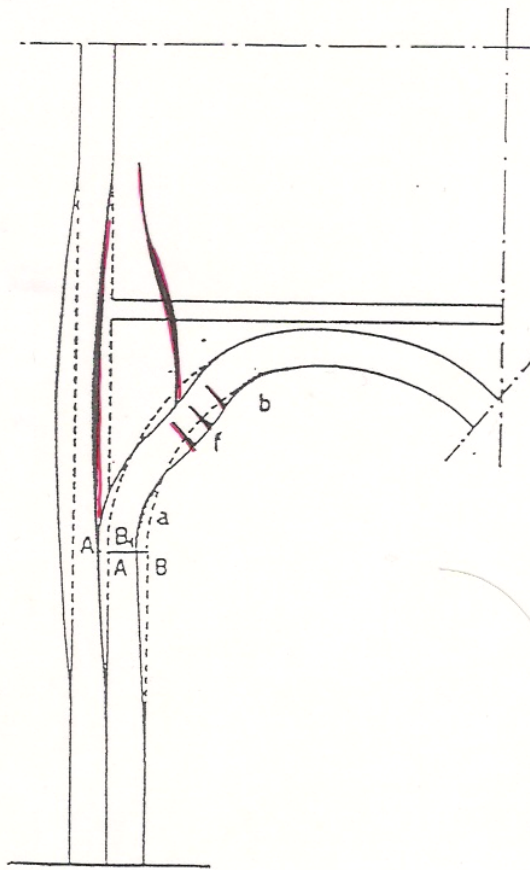


La zona di parete interessata dallo spanciamento è più ampia



Le lesioni di distacco tra la struttura interna e la parete di facciata

Al distacco si associa spesso una depressione della volta

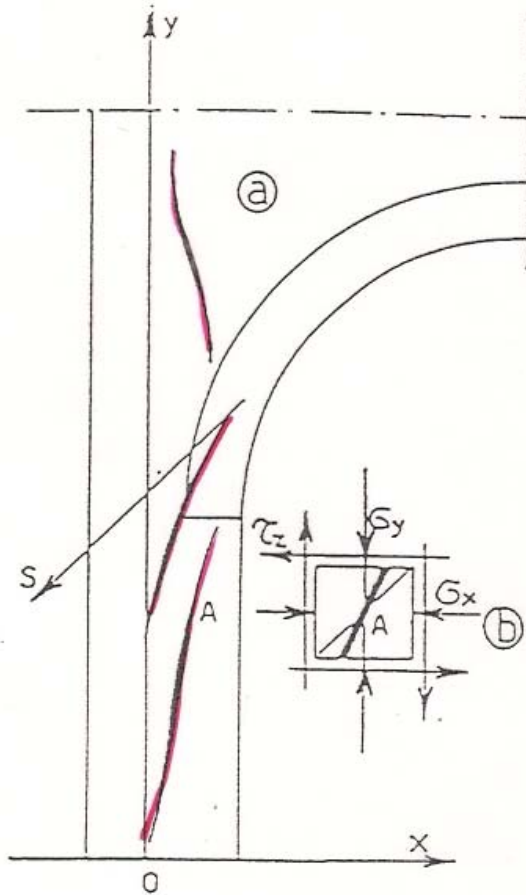


La lesione di distacco sopra le reni dell'arco

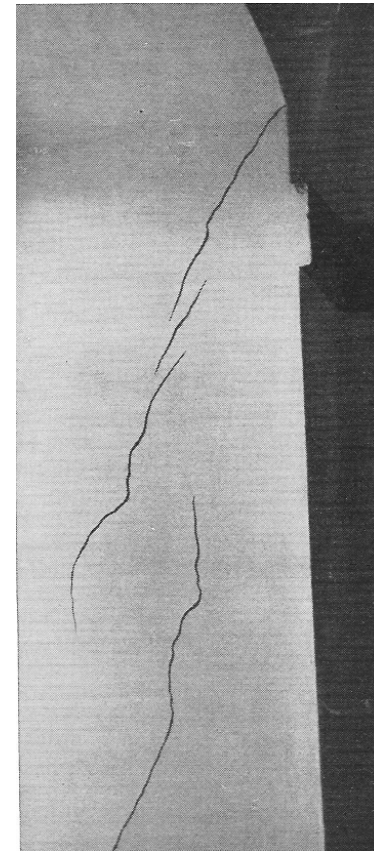


I dissesti, meno gravi, dovuti alle spinte di archi e volte agenti nel piano della parete muraria

La spinta è fronteggiata da una massa muraria maggiore

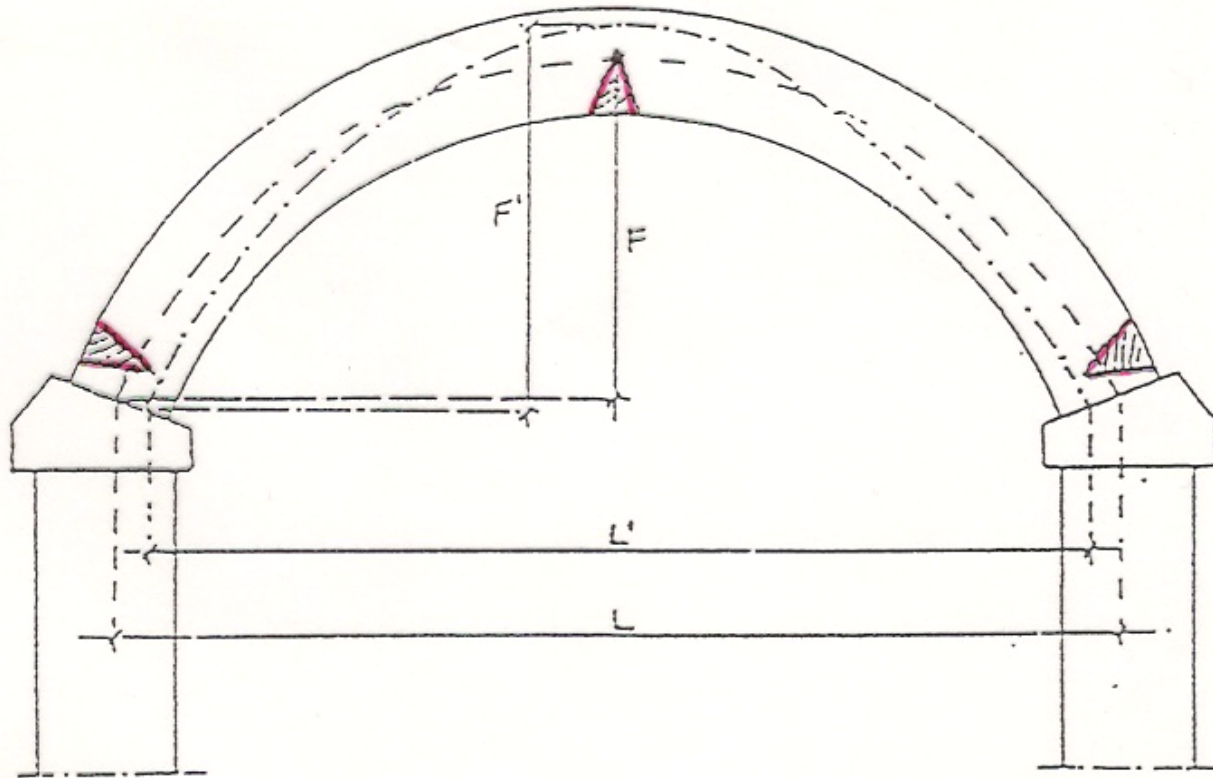


Le lesioni sono da schiacciamento inclinate come la risultante di spinta e peso

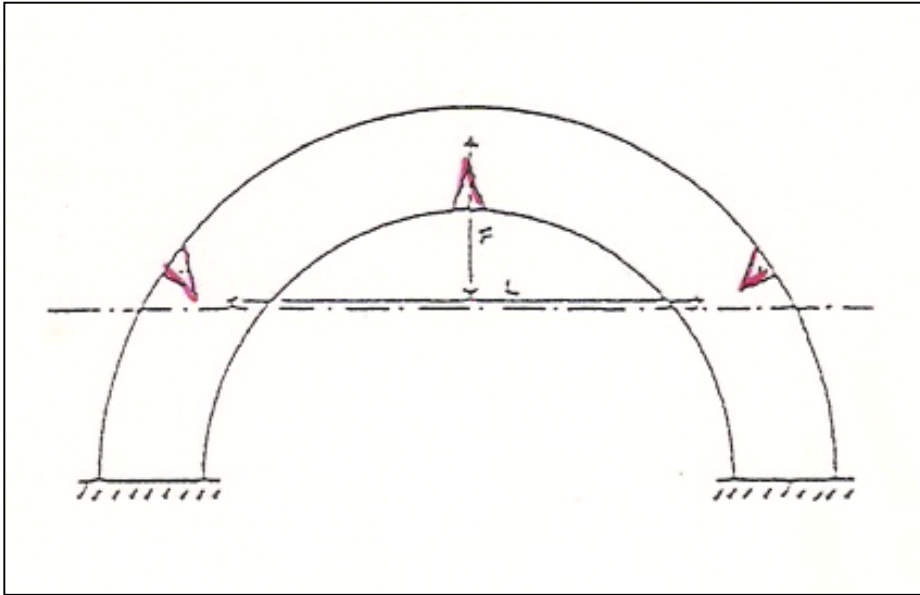


I DISSESTI TIPICI DI ARCHI E VOLTE

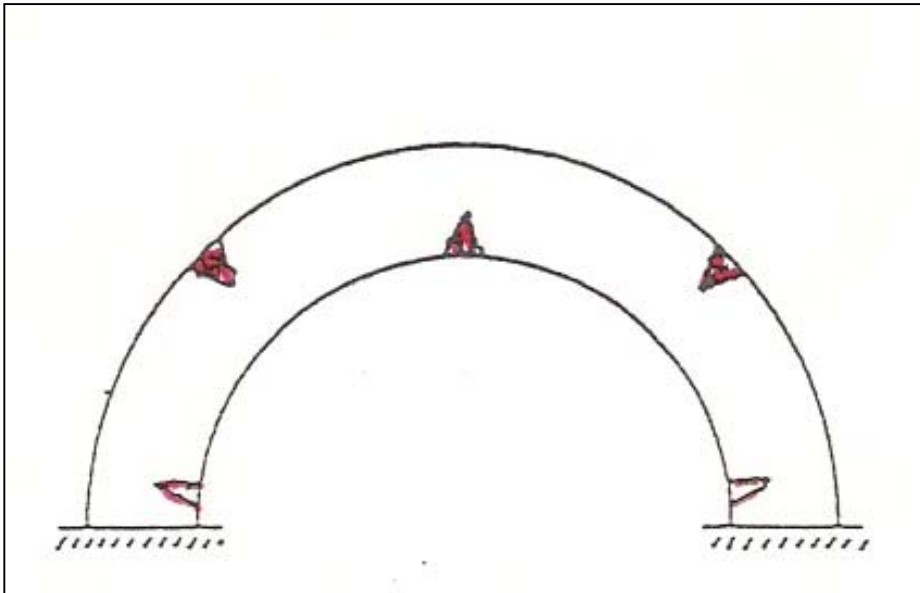
Le lesioni in chiave (inferiore) e alle reni (superiori)



Queste lesioni sono (di norma) di tipo fisiologico: l'arco si configura in modo che il flusso delle tensioni segua il percorso più vantaggioso per resistere al meglio ai carichi esterni, aumentando la freccia

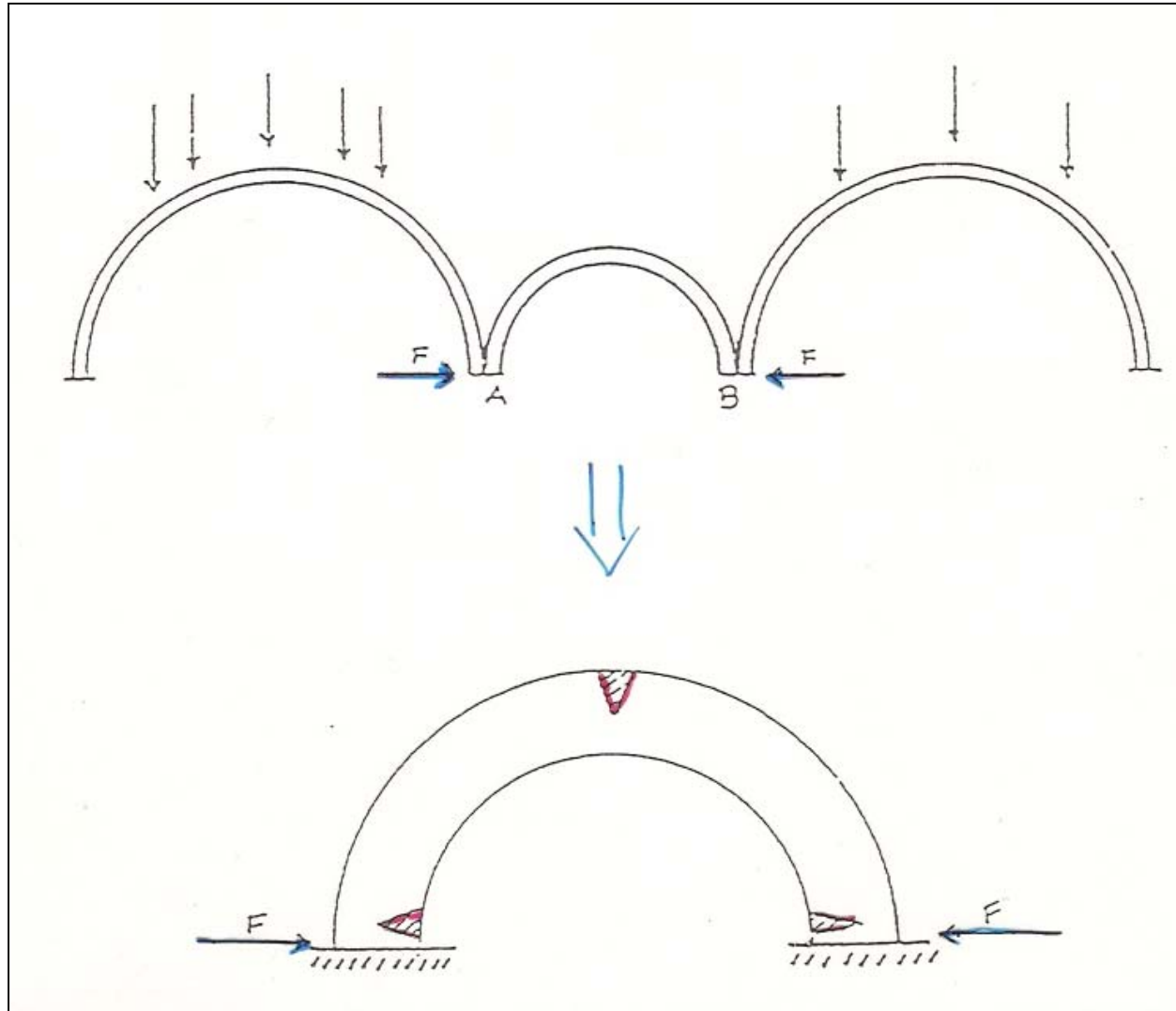


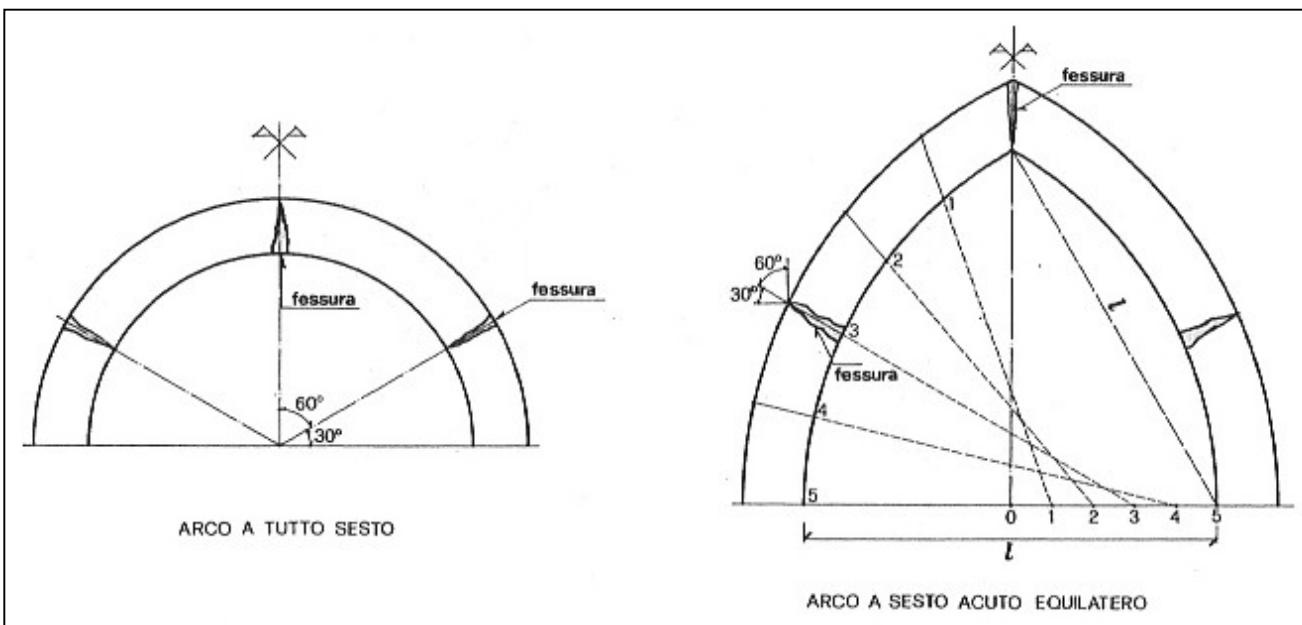
Nell'arco a tutto sesto le lesioni superiori non si verificano alle imposte ma comunque alle reni



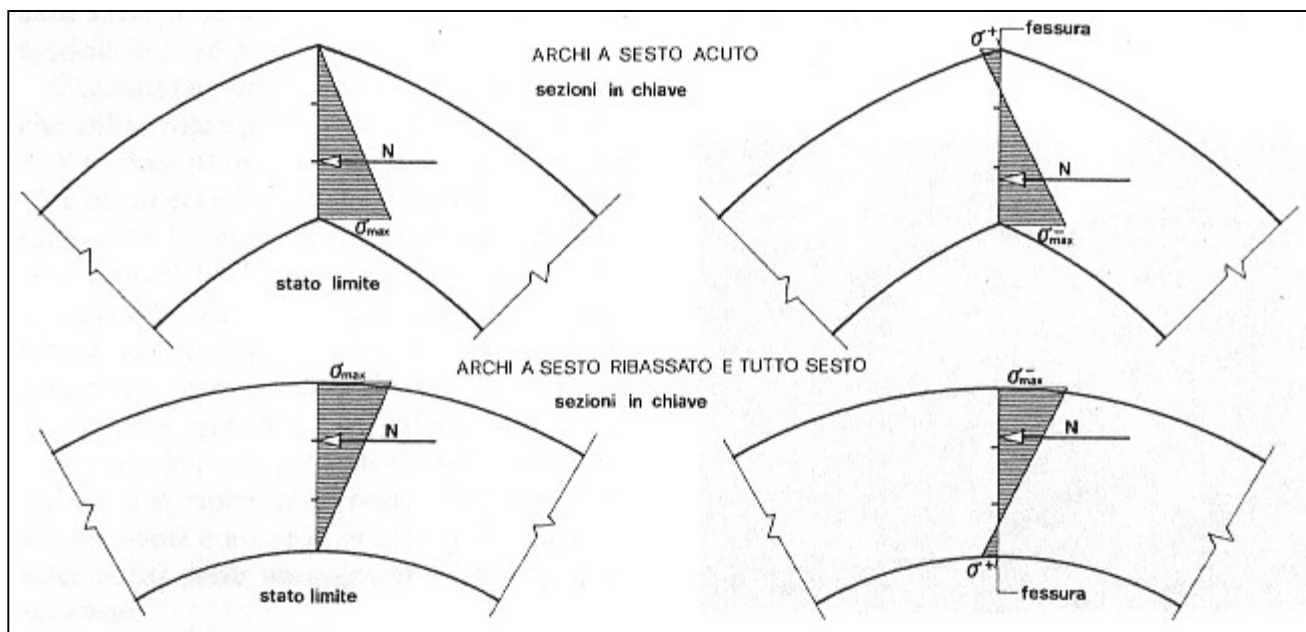
La formazione di altre cerniere rappresenta una situazione di incipiente collasso

In situazioni particolari si possono avere lesioni in
posizione invertita

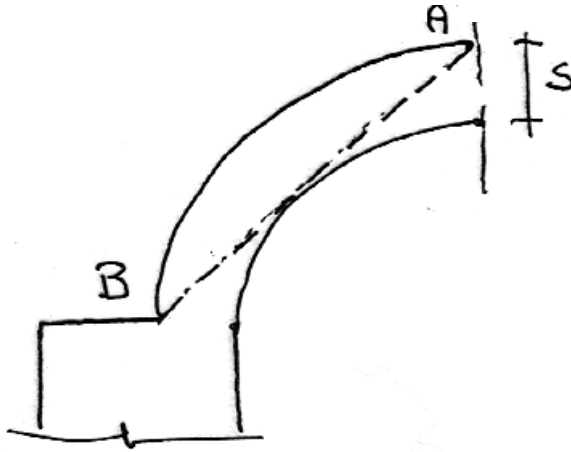




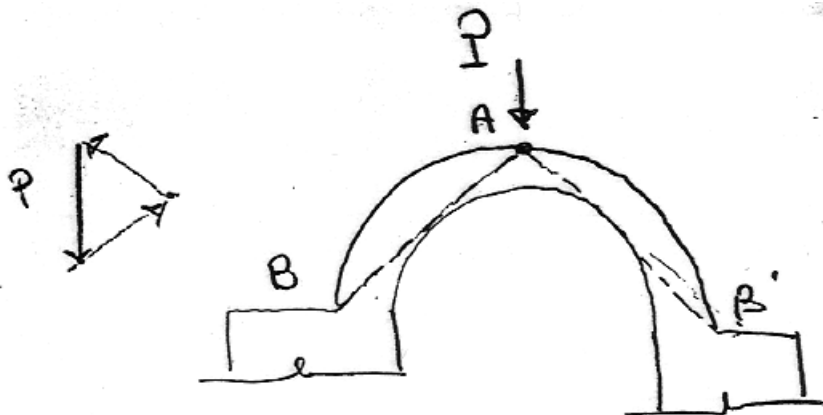
Anche
nell'arco a
sesto acuto le
lesioni si
manifestano
in posizione
invertita



Il concetto strutturale dell'arco nella storia delle costruzioni



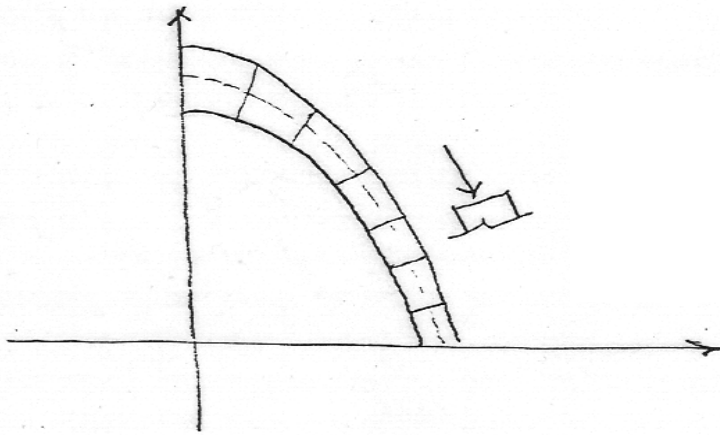
Le antiche regole dell'Arte:
assegnata la curva di intradosso,
lo spessore (s) dell'arco deve
essere tale che la congiungente
A-B sia contenuta in tale
spessore



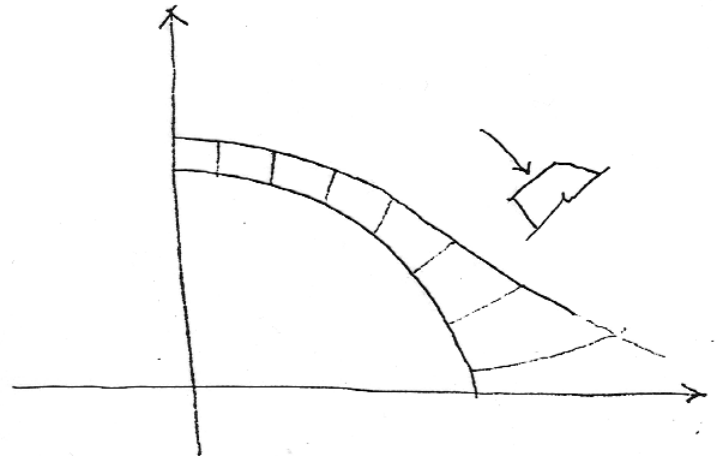
Ciò equivale a considerare la
curva delle pressioni rettilinea,
come se il carico totale P venisse
equilibrato dai puntoni AB e AB'

Il contributo di De La Hire (1695)

L'ipotesi di conci "lisci": la curva delle pressioni deve essere ortogonale e centrata sulla faccia di ogni concio

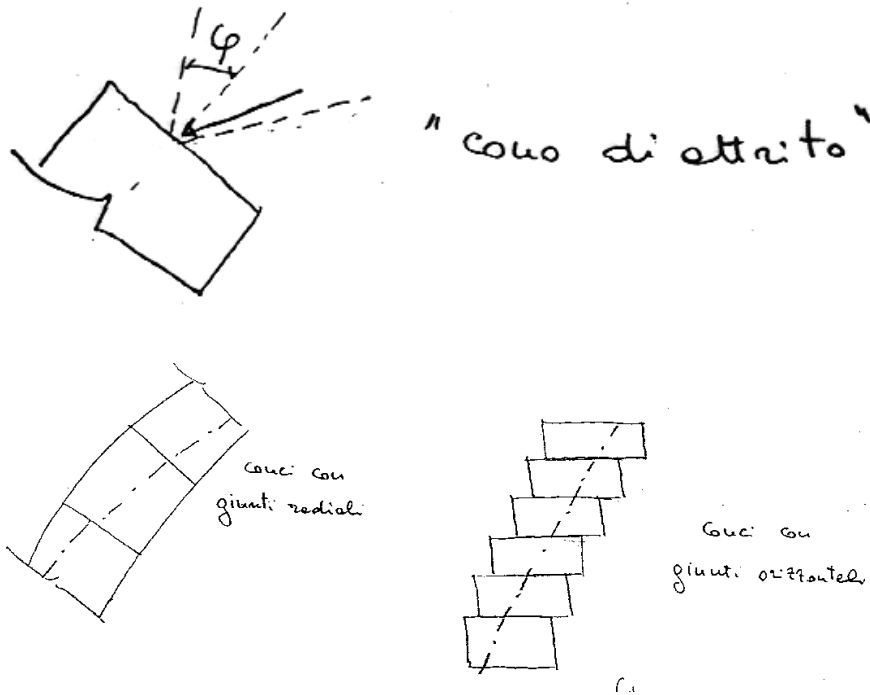


Per l'arco a sagoma parabolica (all'intradosso) lo spessore deve decrescere dalla chiave all'imposta

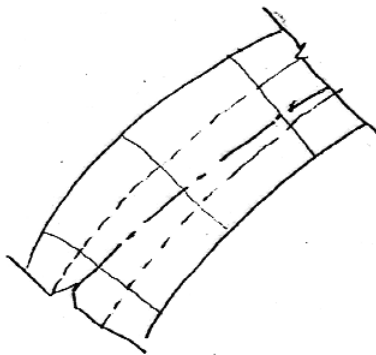


Per l'arco a sagoma ellittica (all'intradosso) lo spessore deve crescere dalla chiave all'imposta

La teoria dei conci "scabri" di Coulomb (1773)

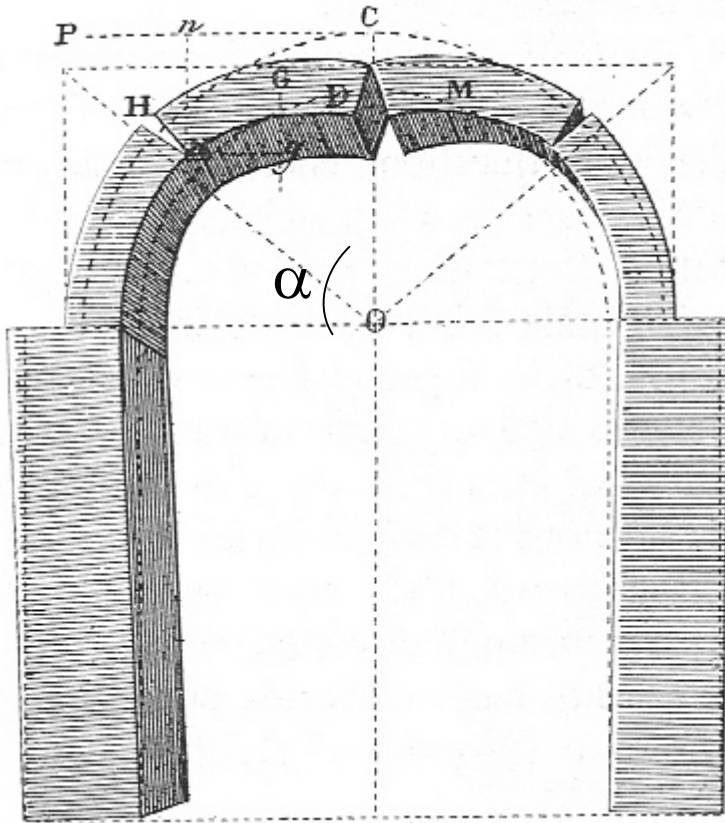


La "pressione" sulla faccia di ogni concio può essere inclinata rispetto alla normale alla superficie, al massimo dell'angolo di attrito ϕ



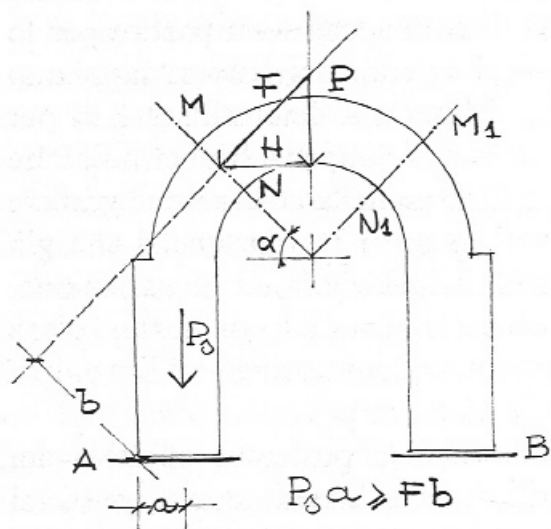
La curva delle pressioni deve restare sempre nel terzo medio (sezione interamente reagente)
(Navier 1807)

Il meccanismo di collasso dell'arco

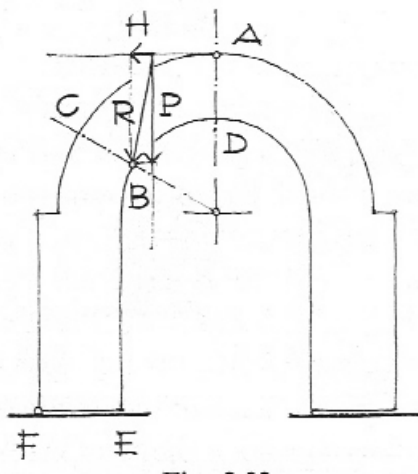


La posizione dei "giunti di rottura" (in chiave e alle reni) corrisponde alle sezioni riconosciute sperimentalmente come le più pericolose
(De La Hire - Belidor $\alpha=45^\circ$)

La ricerca della spinta per la verifica dell'arco



La forza F trasmessa dalla zona centrale è centrata ed ortogonale alla sezione del giunto di rottura MN . Quindi si può ricavare la spinta H (De La Hire)



La spinta H si fa passare per A. La risultante R deve passare per il punto B. La sezione CB si trova per tentativi massimizzando la spinta (Coulomb)

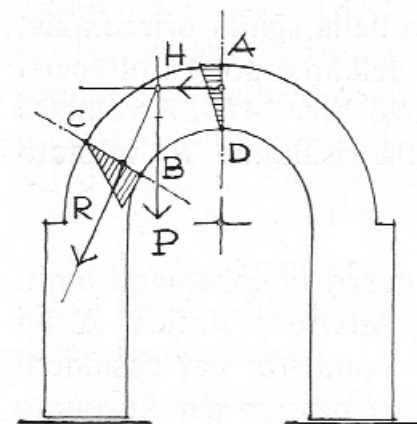
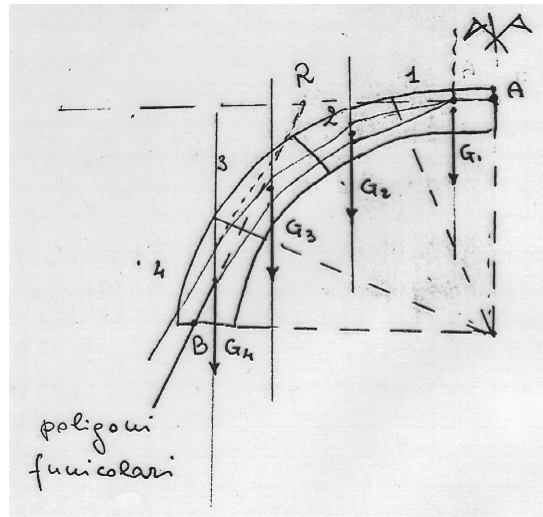


Fig. 2.33.

La spinta H passa per il terzo medio di AD . La risultante R deve passare per il terzo medio di CB . Si verifica la resistenza del materiale (Navier-Mery)

Il procedimento grafico di Mery (1840)

La curva delle pressioni si determina come poligono funicolare delle successive risultanti delle forze

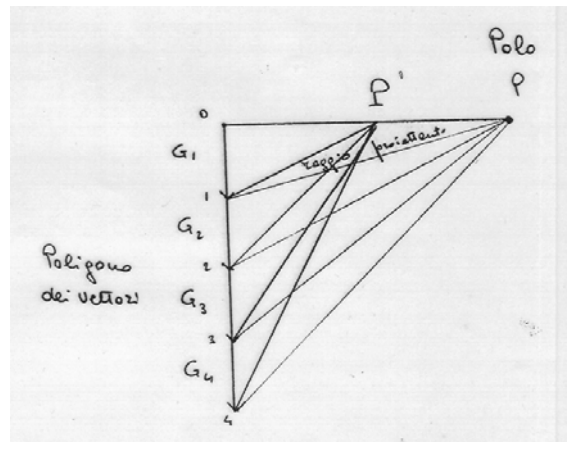


Esistono ∞^3 poligoni funicolari che connettono un sistema piano di vettori (polo P e direzione del primo lato arbitrari)

Per l'arco si impone il passaggio per A (in chiave) e B (all'imposta) nonché il primo lato orizzontale (spinta in chiave orizzontale)

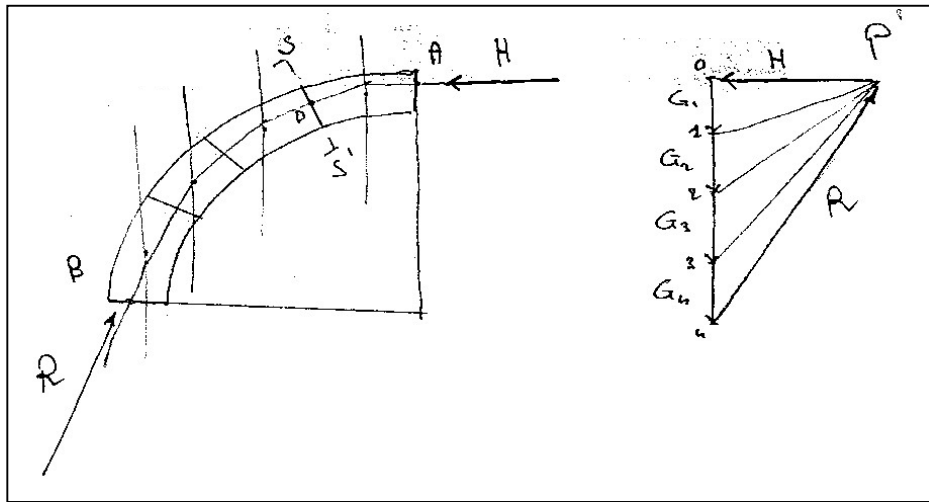
La procedura operativa:

- si divide l'arco in conci di peso G_i ;
- si traccia il poligono dei vettori G_i e, scelto un polo P arbitrario sull'orizzontale per O, si ottiene un poligono che non passa per B;
- si prolunga l'ultimo lato sul primo (punto R);
- la congiungente R-B rappresenta l'ultimo lato del vero poligono e consente di trovare il polo P'



Il significato statico del poligono funicolare

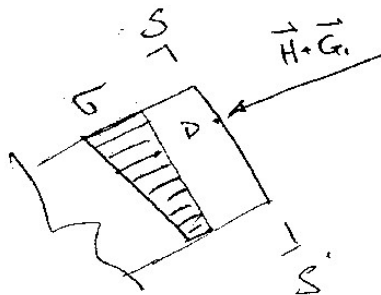
I vettori H ed R chiudono il poligono delle forze e quindi assicurano l'equilibrio globale dell'arco



H è lo sforzo di compressione in chiave, cioè la "spinta" dell'arco

R è l'azione globale sulla spalla.
 R_v = peso di mezzo arco
 R_0 = spinta dell'arco H

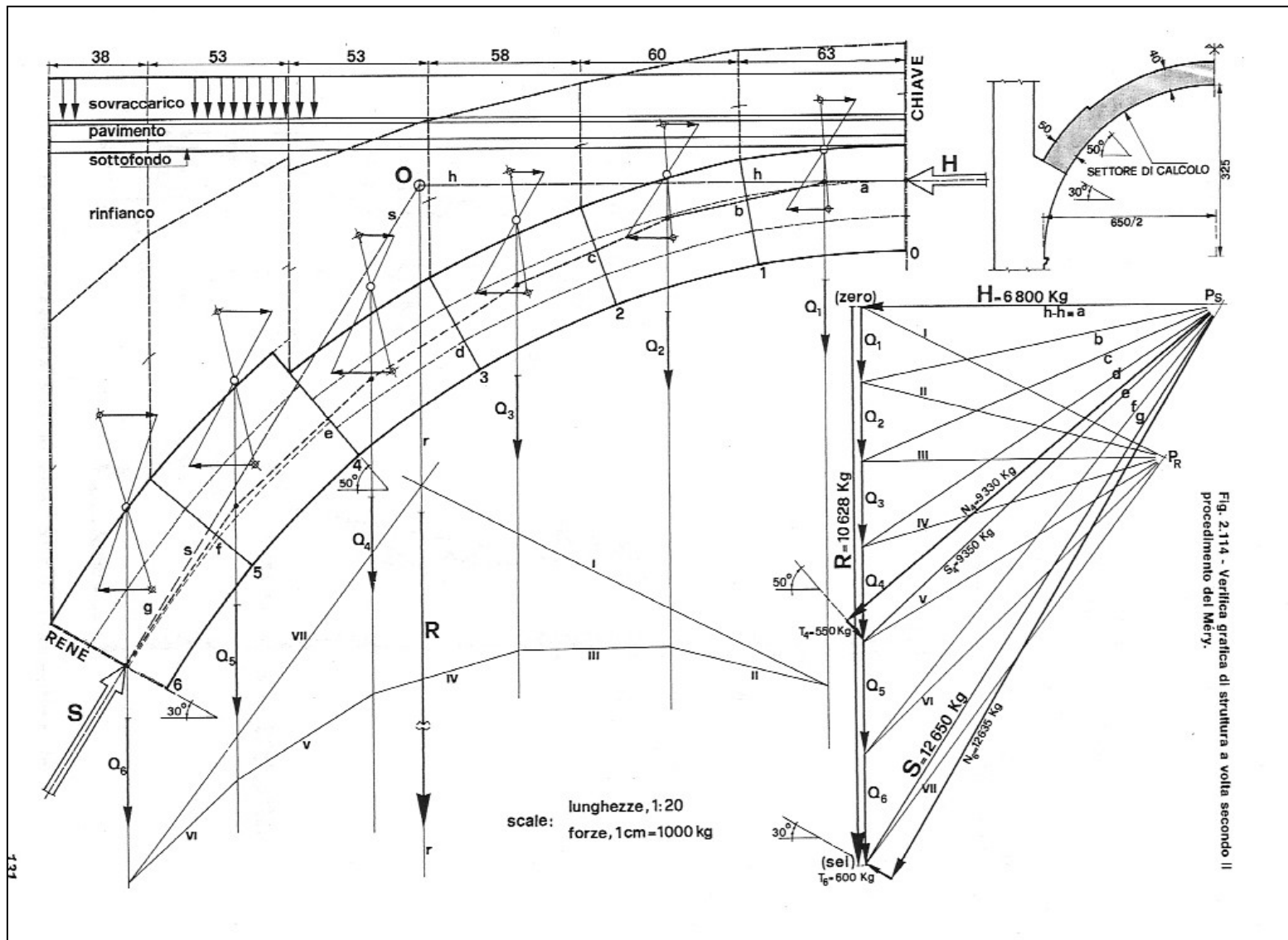
Il poligono funicolare per A e B è una delle possibili "curve delle pressioni" e consente di verificare l'arco

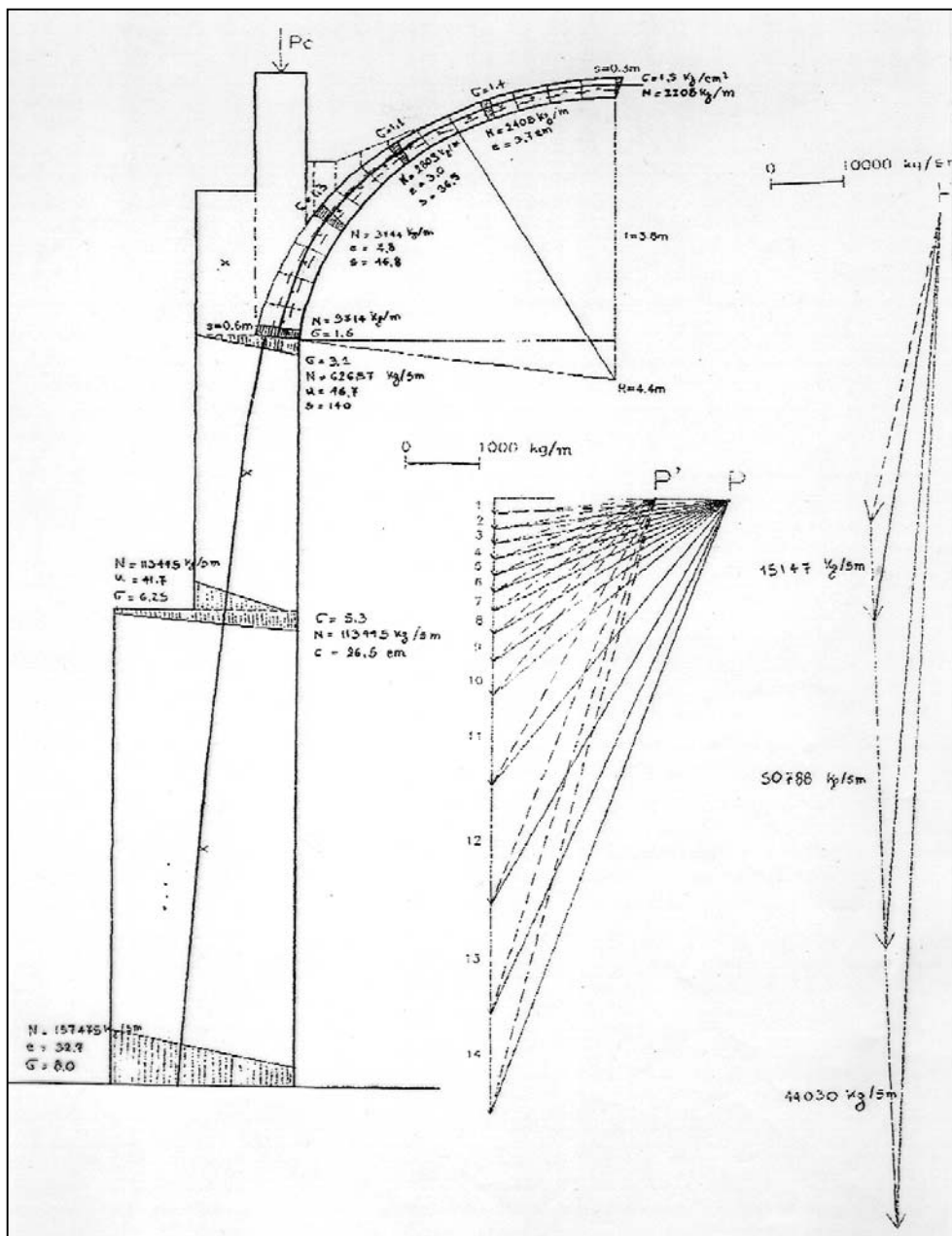


La curva deve essere contenuta nel terzo medio di tutte le sezioni e le tensioni di compressione devono essere inferiori alla resistenza del materiale

Es.: nella sezione $S-S'$ agisce la risultante di H e G_1 , parallela a $P'-1$ e passante per il punto D

La verifica di un arco



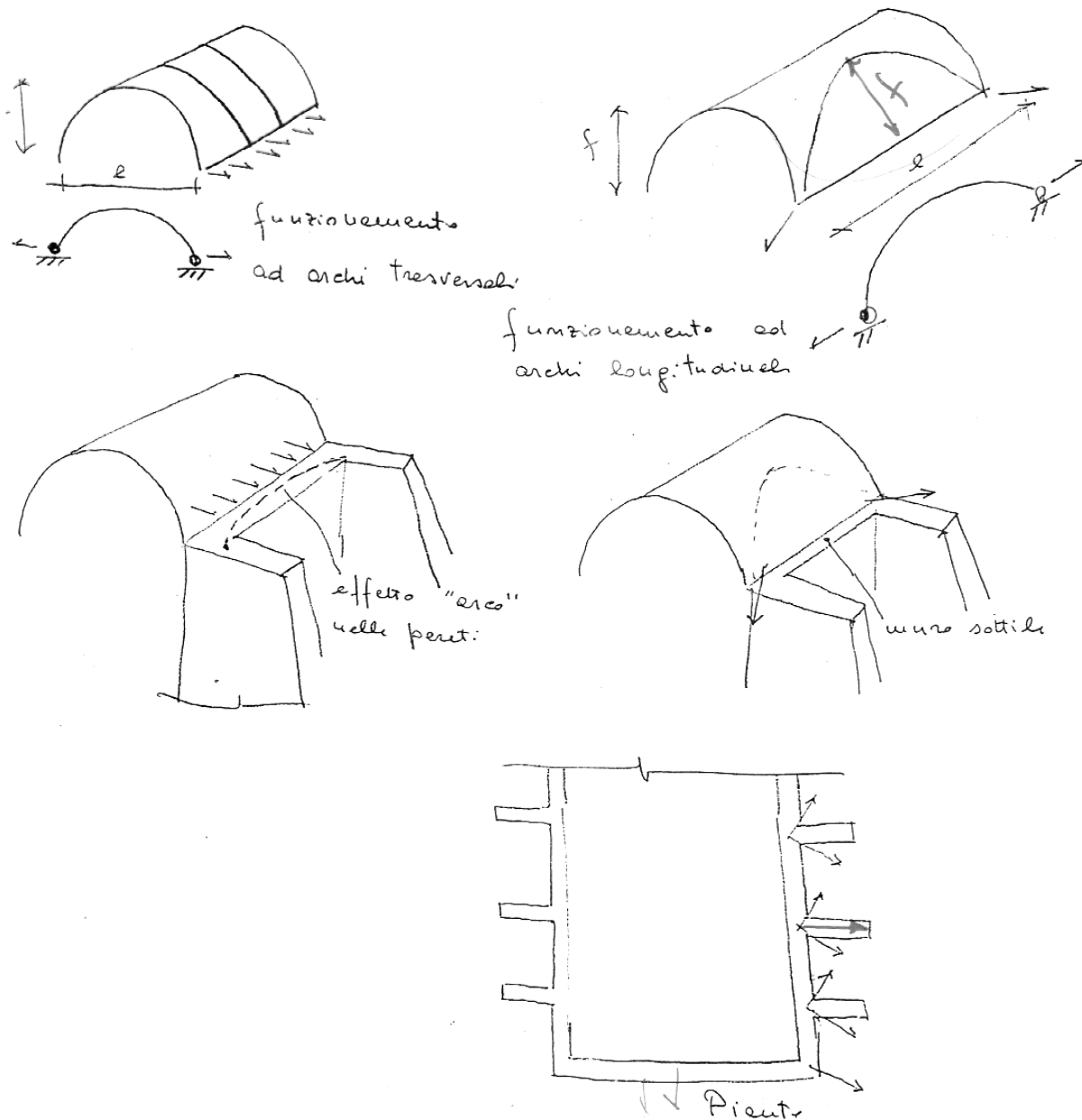


Con la determinazione della curva delle pressioni si può effettuare la verifica statica di macroelementi murari

Se la curva delle pressioni è ovunque interna alla sezione trasversale è assicurato l'equilibrio

Occorre poi svolgere le verifiche di resistenza sulle tensioni di compressione

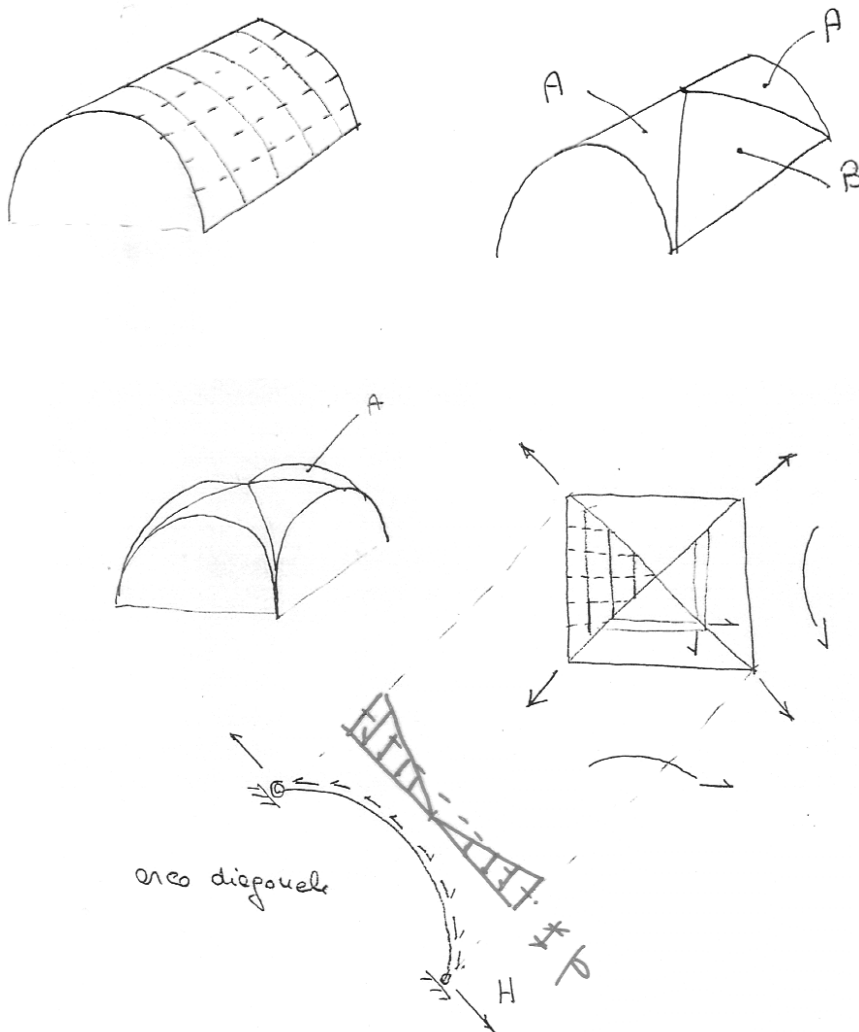
Dall'arco alla volta: la volta cilindrica a botte



Il funzionamento principale è ad archi trasversali

Esiste anche un funzionamento secondario ad archi longitudinali

Dall'arco alla volta: la volta a crociera



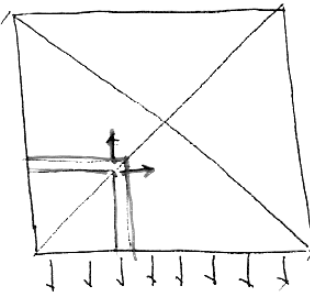
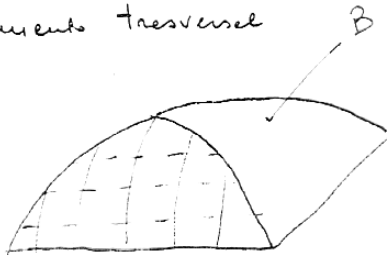
E' formata da quattro "unghie" (A) di una volta a botte

Il funzionamento è ad archi piani di luce variabile sostenuti da due archi diagonali

$$H \approx \frac{p l^2}{18 f}$$

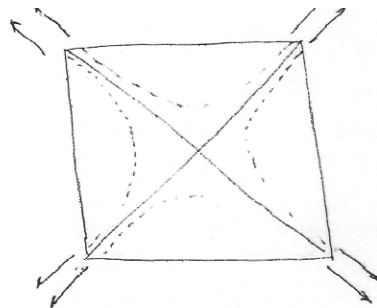
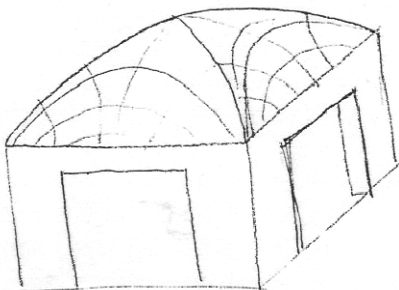
Dall'arco alla volta: la volta a padiglione

e) funzionamento trasversale



"travi" curve diagonali

b) funzionamento longitudinale



E' formata da quattro "spicchi" (B) di una volta a botte

Il funzionamento trasversale è a semi-archi sostenuti da "travi" curve diagonali

Esiste anche un funzionamento secondario ad archi longitudinali

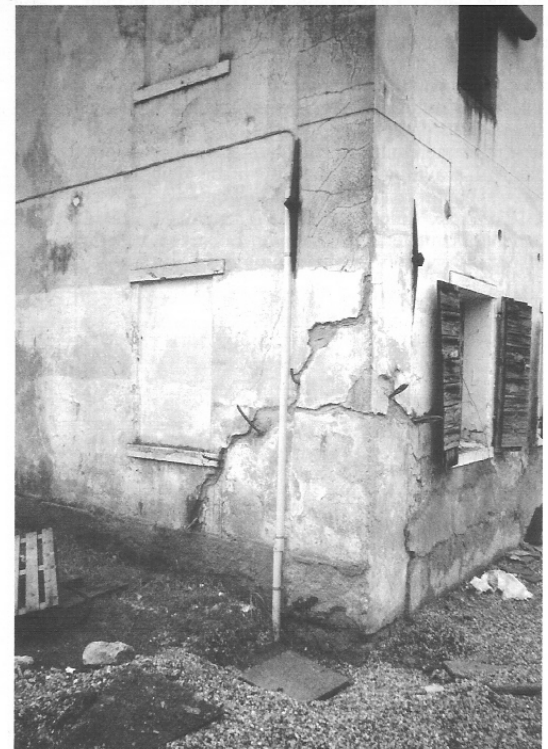
DISSESTI CAUSATI DA CEDIMENTI IN FONDAZIONE

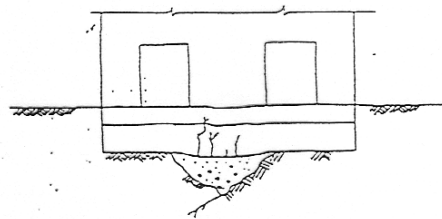
Gli abbassamenti differenziali del terreno provocano lesioni da distacco e/o rotazione nei muri

Traslazione verticale e rotazione di estremità in muri senza aperture

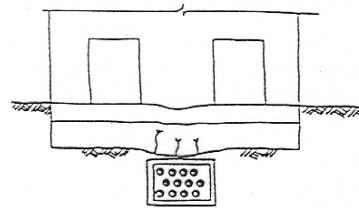


Cedimento d'angolo in pareti con tiranti





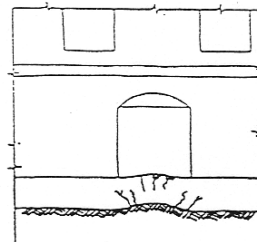
PRESENZA DI ZONE CON
TERRENO PIÙ CEDEVOLE



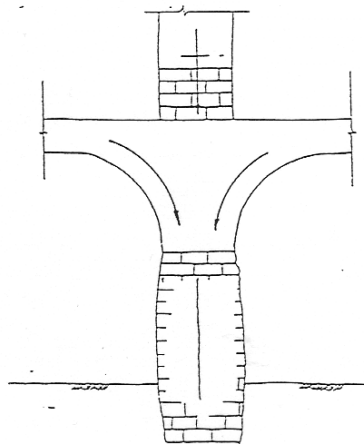
PASSAGGIO CUNICOLI SOTTO
IL PIANO DI FONDAZIONE



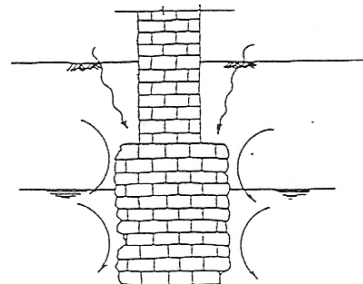
- AUMENTO LOCALIZZATO
DEI SOVRACCARICHI



APERTURA DI GROSSI VANI
AL PIANO TERRA



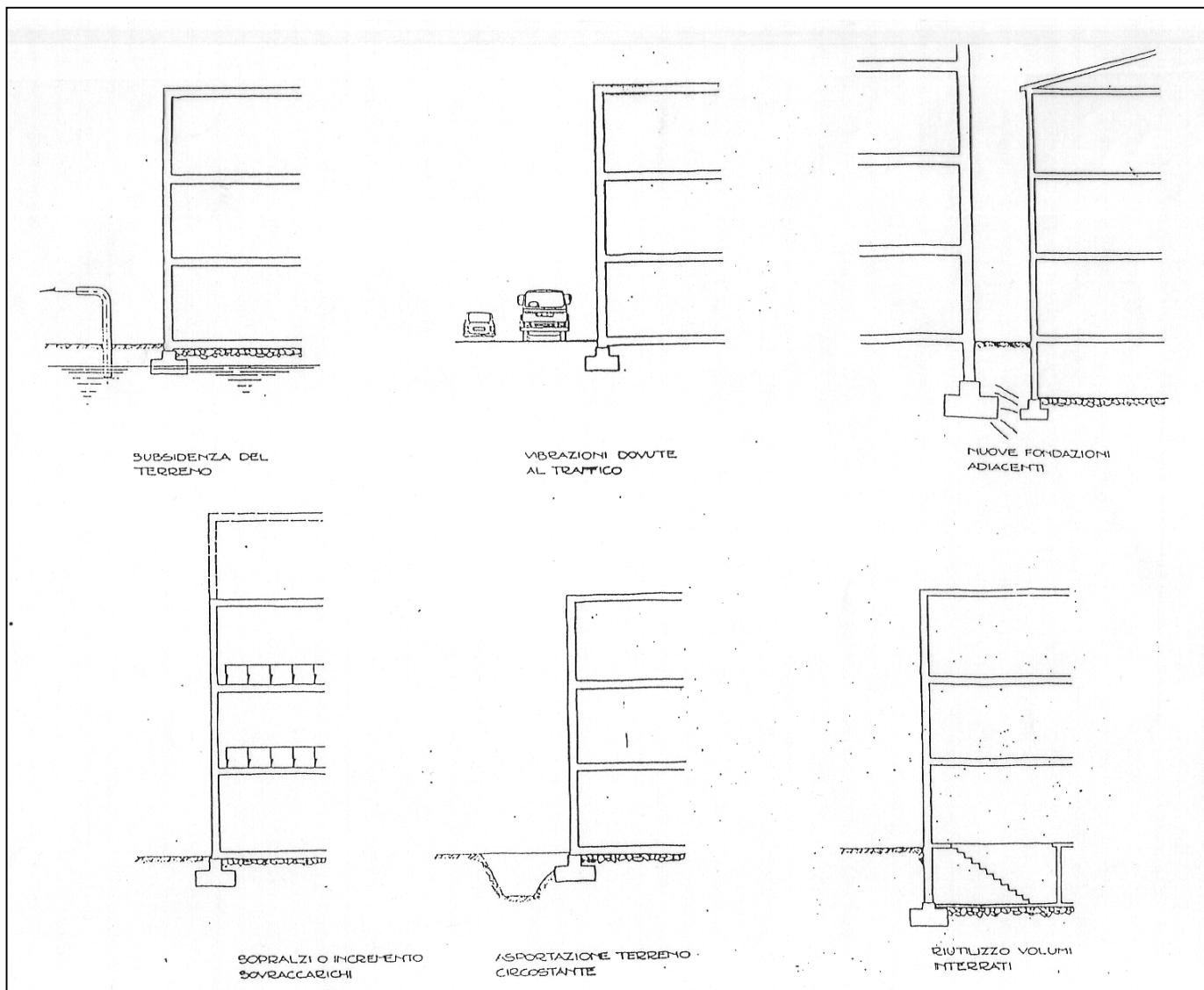
FORTI CARICHI TRASMESSI DAL
PRIMO SOLOIO

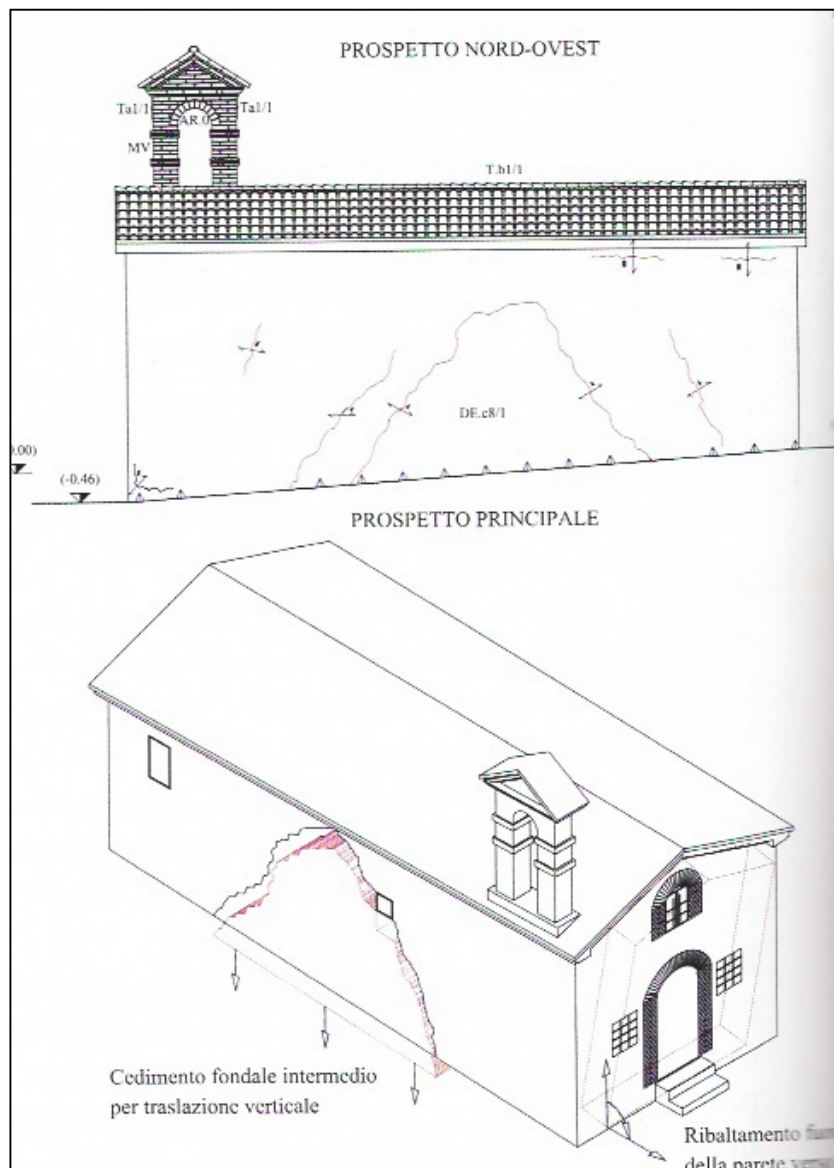


EROSIONE PER INFILTRAZIONI
O PRESENZA DI FALDA

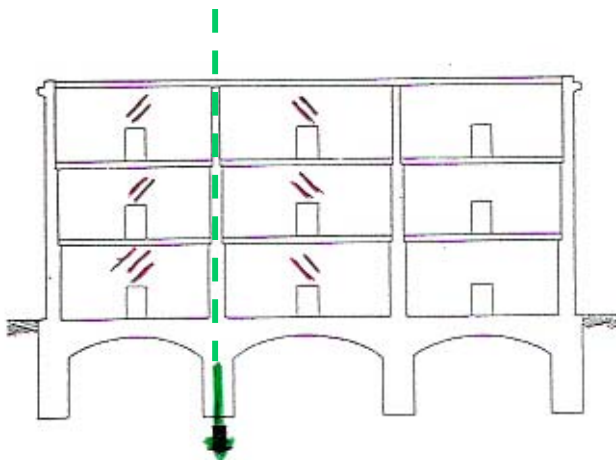
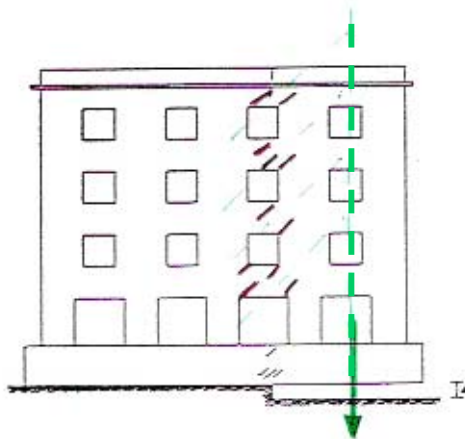
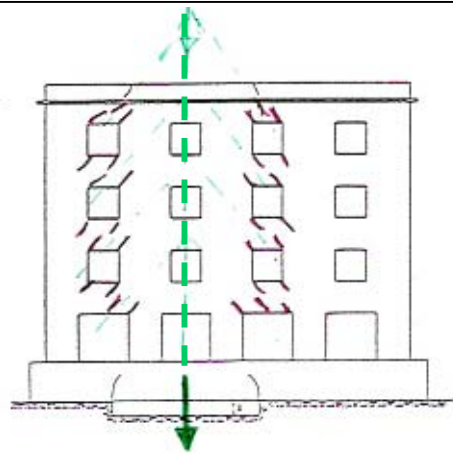
LE CAUSE DEI CEDIMENTI FONDALI

ALTRE CAUSE DI CEDIMENTI FONDALI



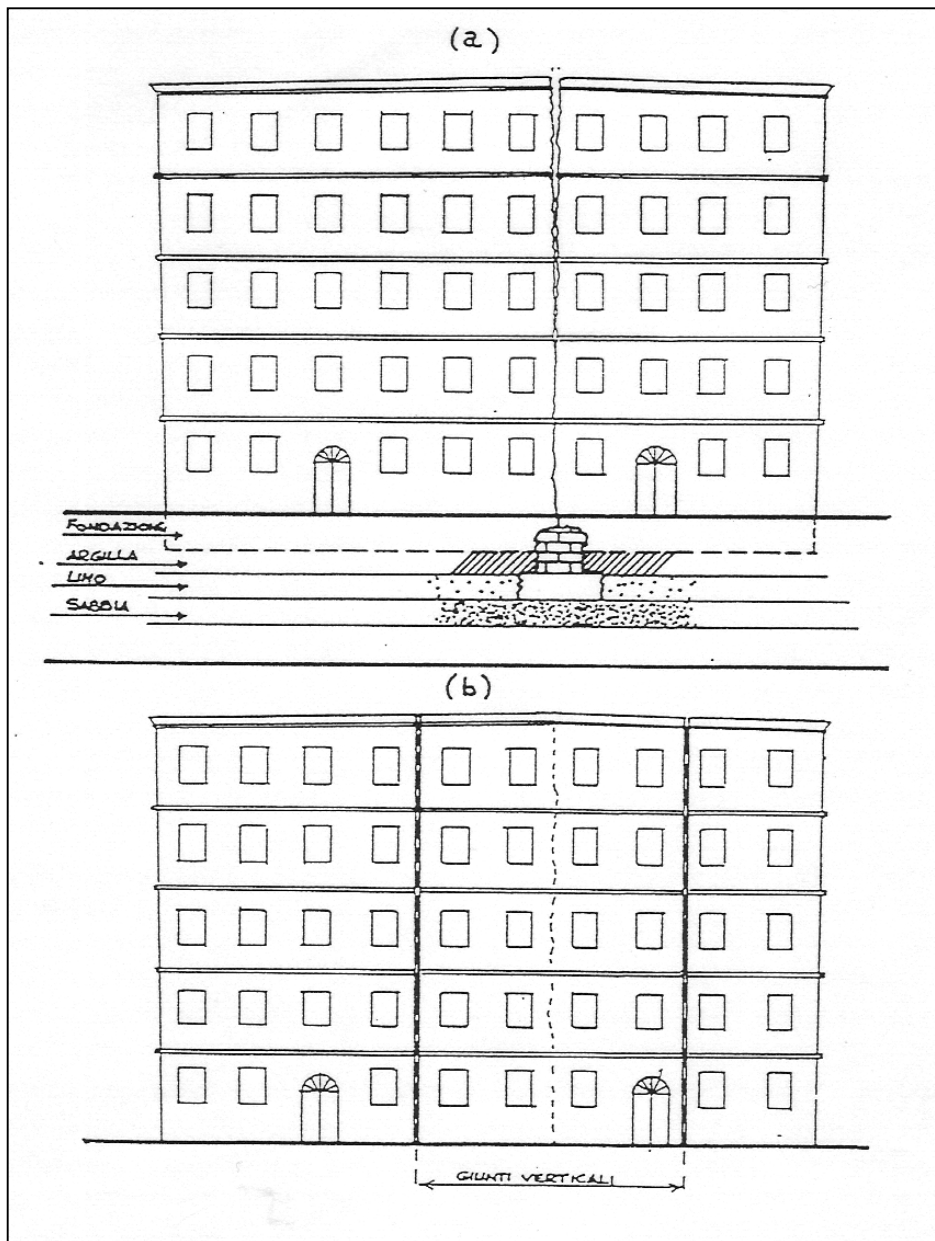


A seguito del cedimento alla base si forma un arco di scarico nella parete muraria piena, alla ricerca di una nuova possibile configurazione di equilibrio



Nelle pareti con aperture
il cedimento fondale
produce in genere lesioni
inclinate da taglio
soprattutto nelle fasce di
piano (elementi più deboli)

Seguendo la direzione
delle lesioni si individua
l'epicentro del cedimento



Differenze di deformabilità del terreno possono causare distacchi con lesioni verticali lungo tutta l'altezza dell'edificio