

Statica per l'edilizia storica

Università degli Studi di Cagliari
Corso di Laurea Magistrale in
Architettura
A.A. 2016-2017

Prof. ing. Antonio Cazzani, Dr. ing. Flavio Stochino

antonio.cazzani@unica.it

<http://people.unica.it/antoniocazzani/ses/>

Lezione 18 – Dissesti statici nelle costruzioni murarie

Sommario

- Premessa
- Dissesti del piano di fondazione
- Dissesti per rotazione
- Dissesti per schiacciamento
- Dissesti statici da sisma
- Dissesti per degrado dei materiali
- Demolizioni

Premesse (1/3)

Con il termine dissesti statici "si intendono tutti gli effetti delle insufficienti condizioni di stabilità di una struttura muraria". In altre parole una struttura "dissestata" non è più in grado di garantire tutti i coefficienti di sicurezza necessari per il superamento delle verifiche strutturali.

In modo analogo a quanto si fa per le malattie del corpo umano di fronte ad una struttura dissestata è necessario:

- Individuare il male (dissesto) con una descrizione accurata.
- Determinarne le cause.
- Scegliere una terapia (intervento di ripristino)

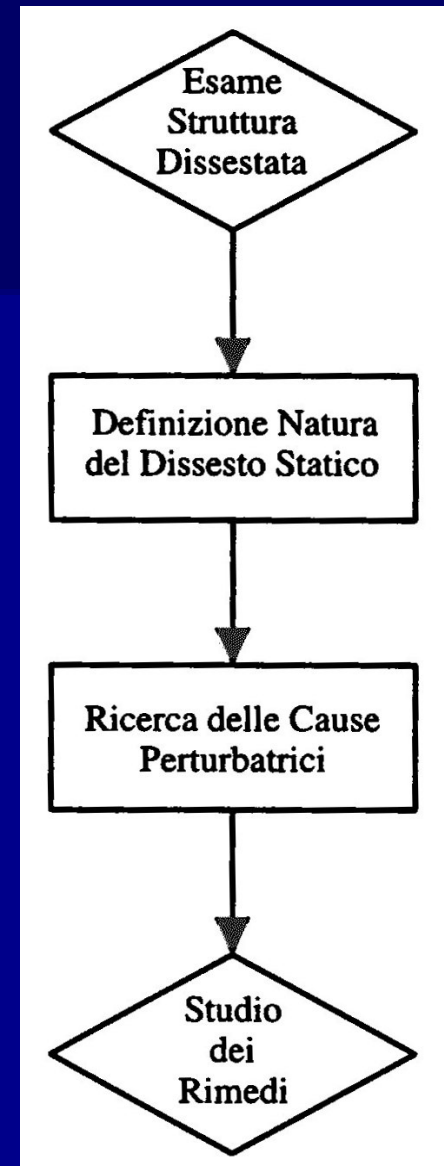
Premesse (2/3)

È possibile distinguere due tipologie di cause di dissesto:

- Immediate: cedimenti di fondazione, schiacciamento dei materiali etc.
- Non immediate o lontane: errori di progetto e di costruzione, incompleta o errata manutenzione, degrado dei materiali etc.

Anche i principali rimedi si possono distinguere in due categorie principali:

- Provvisori: puntellature, fasciature, cerchiature etc
- Definitivi: interventi ottenuti a valle di progettazioni esecutive complete di tutte le fasi operative.



(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Premesse (3/3)

Una struttura "dissestata" può essere vista anche come una struttura che presenta configurazioni diverse rispetto a quelle iniziali. Queste nuove configurazioni si sono rese necessarie per sopportare le azioni dovute ai carichi preesistenti ed alle cause sopravvenute.

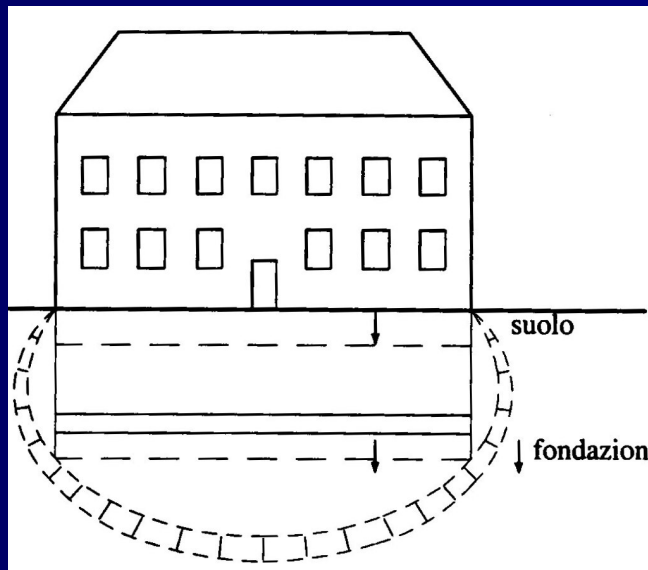
Da un punto di vista pratico una struttura si dissesta poiché:

- I collegamenti ed i vincoli non sono rispondenti alle azioni esercitate per effetto dei carichi applicati per effetto di errori di progettazione.
- Si affidano alla struttura nuovi carichi accidentali non previsti come terremoti, ma anche modifiche strutturali, cambi di destinazione d'uso.
- Modifica del collegamento tra struttura e piano di fondazione.
- Modifica per degrado delle proprietà dei materiali costituenti la struttura.

Per descrivere il comportamento strutturale degli edifici in muratura è caratterizzato da grossi volumi resistenti che assorbono gli sforzi e li convogliano alle fondazioni. Per questo si dice spesso che gli edifici in muratura si comportano a volumi continui resistenti tanto è maggiore il rapporto tra volumi pieni e volumi vuoti.

Dissesti del piano di fondazione (1/6)

Se il piano di posa (piano di fondazione) della struttura perde le sue qualità portanti, ad esempio a causa di un'infiltrazione d'acqua a parità di sforzi si verificano dei cedimenti.



Cedimento uniforme
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Se il cedimento fosse distribuito uniformemente lungo il piano di fondazione l'edificio si abbasserebbe pian piano (vedi immagine di lato) fino a trovare i terreni più compatti o fino a coinvolgere un volume di terreno maggiore per compensare le ridotte capacità portanti e nessuna lesione comparirebbe, poiché l'edificio sarebbe sottoposto ad una semplice traslazione verticale uniforme.

Purtroppo questo fortunato caso non si verifica quasi mai, al contrario i cedimenti di fondazione sono quasi sempre differenziali ed interessano localmente la struttura sovrastante. Per questo motivo insorgono le lesioni esattamente dove si verifica un nuovo equilibrio tra le parti di fondazione che si sono mosse a seguito del cedimento e quelle che sono rimaste intatte.

Tipo di fondazione, entità delle aperture finestrate, ubicazione del cedimento sono parametri importanti che influenzano la formazione delle lesioni.

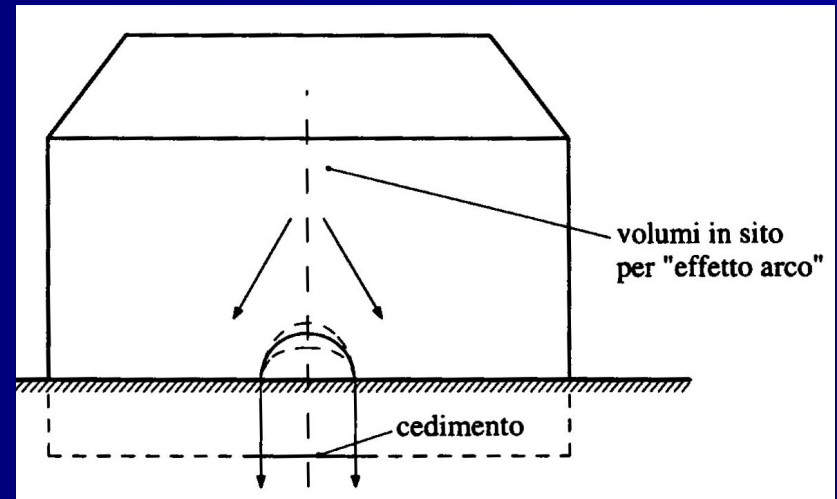
Dissesti del piano di fondazione (2/6)

Nel caso in cui il pannello murario sia privo di aperture, l'andamento del quadro fessurativo è di tipo parabolico con l'asse della parabola in corrispondenza della zona centrale del dissesto, rivolto verso il basso .

Generalmente, la base della parabola è ampia quanto l'estensione del dissesto mentre l'altezza varia in funzione dell'entità del dissesto e della qualità delle costruzioni (in particolare della malta).

Una costruzione di buona qualità coinvolgerà nel dissesto il minor volume possibile di muratura, mentre, a parità di dissesto, una muratura scadente tenderà a coinvolgere volumi maggiori.

Questo accade poiché la parte di muratura sopra la linea di frattura deve cercare un equilibrio che si instaura attraverso il cosiddetto: "effetto arco" scaricando lateralmente le forze.

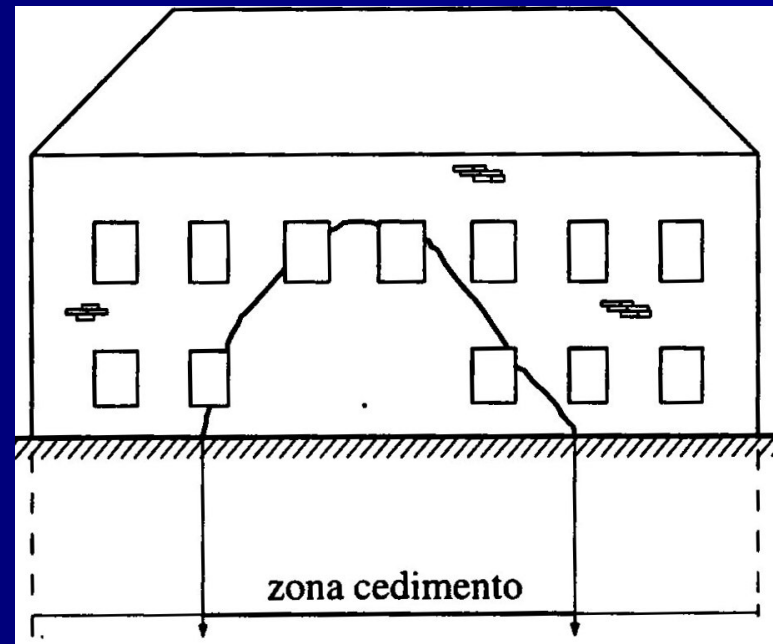


Parete continua senza aperture con cedimento centrale (schema ideale)
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti del piano di fondazione (3/6)

Le aperture in una parete muraria sono capaci di dare un indirizzo preferenziale alle lesioni che si manifestano nei punti in cui sono maggiori le sollecitazioni.

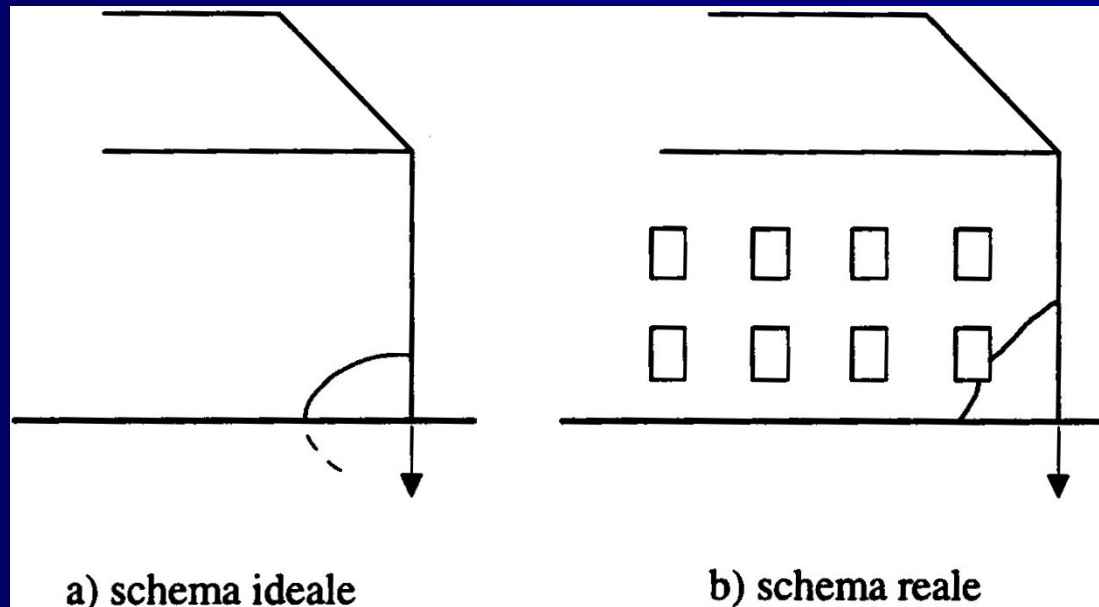
In tal caso (vedi figura di lato) il quadro fessurativo può ancora essere associato ad una parabola, ma si hanno delle discontinuità in corrispondenza delle aperture, le cui diagonali rappresentano, idealmente, i segmenti dei rami della parabola.



Parete con fondazione continua ed aperture, cedimento centrale.
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti del piano di fondazione (4/6)

Nel caso di cedimenti periferici le possibilità di collaborazione delle strutture restanti intorno al cedimento sono ridotte.



a) schema ideale

b) schema reale

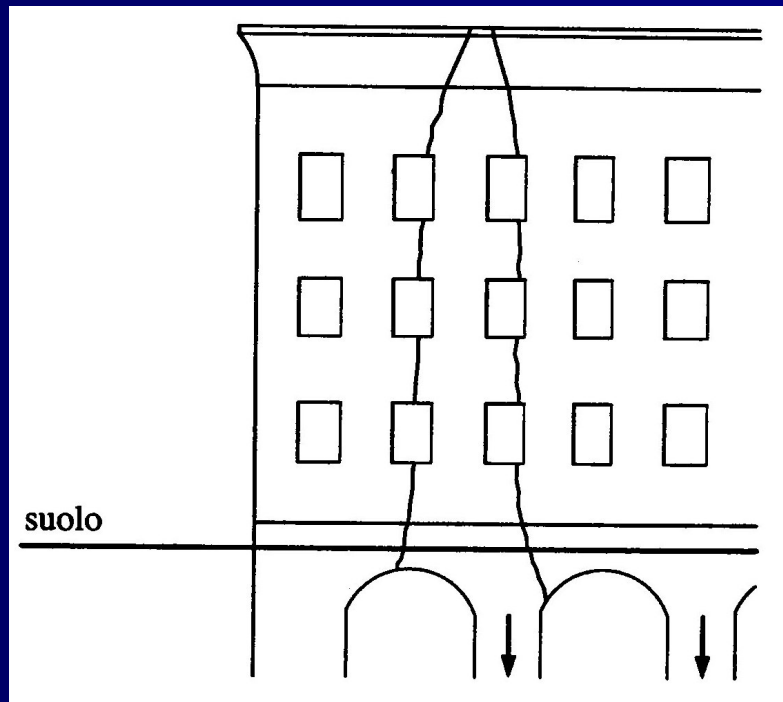
Fondazione continua e cedimento periferico
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Il quadro fessurativo corrisponde sempre a rami di mezza parabola con l'asse rivolto in basso verso il cedimento.

In figura sono mostrati il comportamento ideale (a) e quello reale con aperture (b).

Dissesti del piano di fondazione (5/6)

Nel caso di fondazioni discontinue possono presentarsi cedimenti localizzati sotto uno degli elementi di fondazione. In tal caso il cedimento interessa i volumi di muratura che gravitano su quell'elemento mentre gli altri permangono nelle loro posizioni.



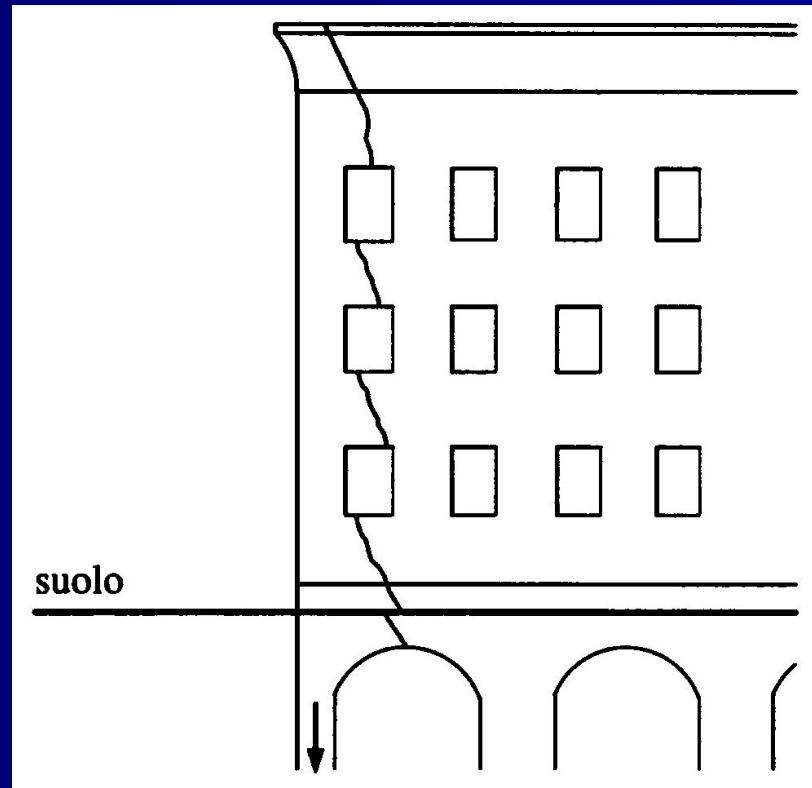
Fondazione discontinua e cedimento centrale
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Le lesioni sono ad andamento tipicamente verticale come mostrato in figura. Esse si propagano dalla base interessando l'intera altezza dell'edificio.

Nel caso di murature continue e senza aperture le lesioni sono verticali, ma tendono a scomparire con l'altezza poiché gli sforzi conseguenti al cedimento possono essere ripartiti tra gli elementi contigui di muratura con maggiori effetti di diffusione e conseguente riduzione degli stessi sforzi.

Dissesti del piano di fondazione (6/6)

Sempre nel caso di fondazioni discontinue, se il cedimento risulta periferico, i rami di parabola si dispongono in modo inclinato nelle zone di minore resistenza tra un'apertura e l'altra: si veda immagine sottostante.



Fondazione discontinua e cedimento periferico
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti per rotazione (1/2)

Cedimenti differenziali del piano di posa o spinte orizzontali possono causare la rotazione di una parete muraria.

L'ampiezza di questi dissesti aumenta con l'aumentare della quota.

La tipica lesione prodotta risulta generalmente di distacco, parallela all'asse di rotazione ed interessa tutte le strutture orizzontali appoggiate o incastrate nella parete.

Le strutture verticali presentano lesioni con andamento semiparabolico, con l'asse della parabola rivolto verso l'alto ed il vertice in basso poiché le murature trasversali, se ben ammorsate si oppongono alla rotazione.

Se le pareti trasversali non sono ben ammorsate rispetto alla parete in rotazione, il distacco avviene in corrispondenza del contatto: si crea una lesione con andamento a V caratterizzata da un vertice sempre rivolto in basso.

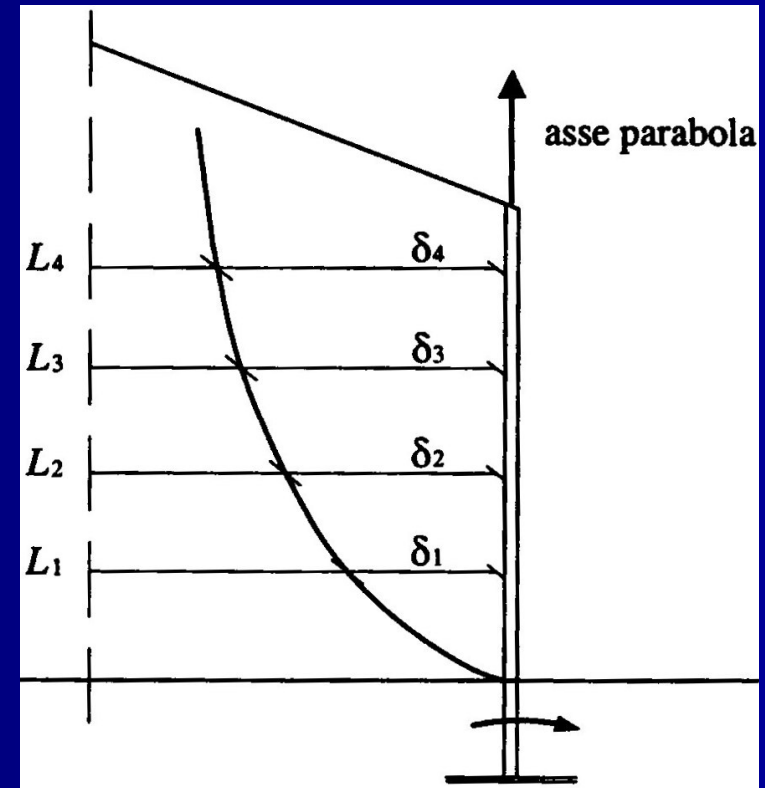
Spesso accade che la rotazione avvenga in corrispondenza delle pareti perimetrali, mentre più raramente avviene una rotazione complessiva di tutte le parti del fabbricato.

Dissesti per rotazione (2/2)

In figura si può notare che le tipiche lesioni di distacco per un dissesto per rotazione sono crescenti al crescere della quota.

Da un esame visivo di questo tipo di dissesto ci si accorge che:

- I punti delle superfici delle lesioni di distacco son tali che quelli posti sulla parete in movimento si abbassino maggiormente rispetto a quelli della parete che resta in sito.
- Se appare una lesione parabolica questa si estende fino all'asse del muro che ha ruotato.
- Se i punti corrispondenti di zone interne fessurate si trovano alla stessa quota significa che le due parti di fabbricato tendono a ruotare entrambe.
- La parete in rotazione presenta strapiombi corrispondenti al verso della rotazione.



Andamento ampiezza lesione di distacco al crescere dell'altezza

Dissesti per schiacciamento (1/3)

Quando la sezione muraria verticale si trova ad essere sottoposta a carichi superiori alla sua resistenza si presenta un cedimento verticale per schiacciamento.

Le cause principali per questo tipo di cedimento possono essere così sintetizzate:

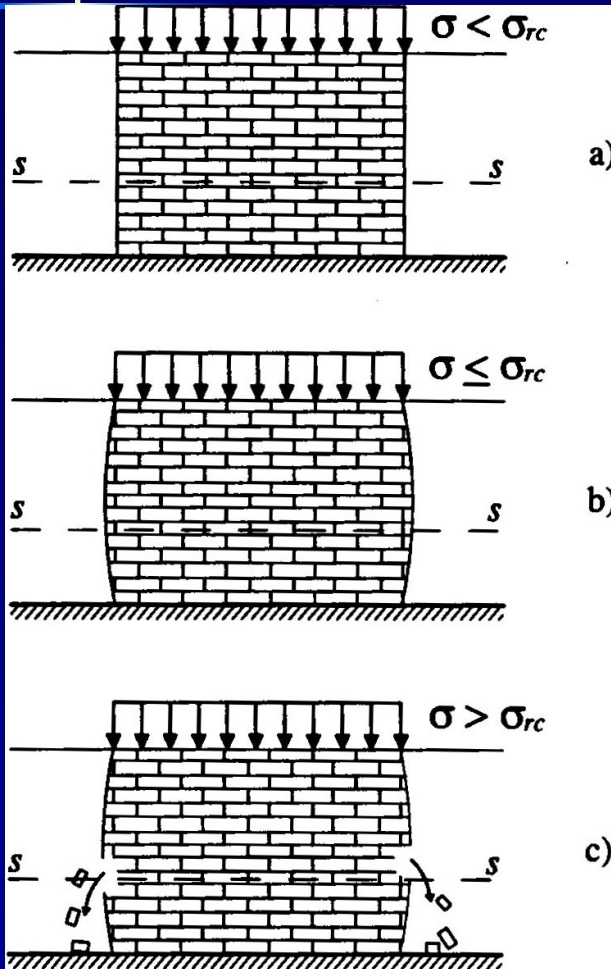
a) Decadimento dei materiali costituenti la muratura con conseguente riduzione della capacità portante di quest'ultima.

b) Variazione dei carichi rispetto a quelli originari di progetto che producono un aumento degli sforzi, fino al superamento della capacità resistente.

Questo tipo di fenomeno è molto pericoloso per la sicurezza della struttura e necessita di una diagnosi precoce, senza la quale la situazione può produrre crolli improvvisi.

(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti per schiacciamento (2/3)



E' possibile distinguere tra gli effetti della rottura riguardante materiali leganti o lapidei.

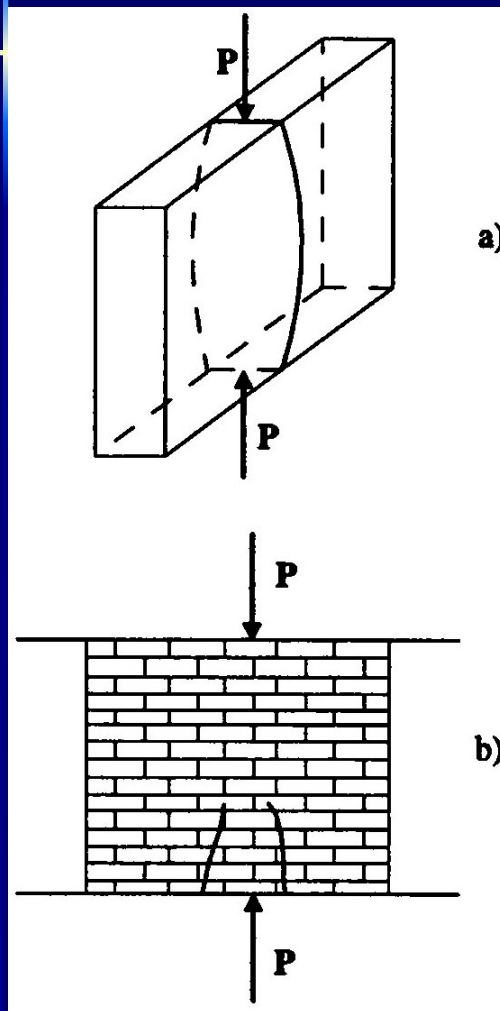
Se la malta cede per prima si assiste al suo sfarinamento e si può asportare facilmente dalla muratura con le sole mani; la muratura inizia a sconnettersi (figura a).

Mano a mano che aumenta il carico la sezione si rigonfia inizialmente (figura b) e quindi espelle gli elementi in muratura periferici (figura c). Quest'ultimo stadio causa una riduzione della sezione resistente con la conseguente esaltazione del fenomeno, che si auto-alimenta.

In sintesi il cedimento per sbriciolamento della malta appare come una sconnessione evidente della muratura che mantiene il materiale lapideo o laterizio integro. Dopo un iniziale rigonfiamento della muratura si arriva all'espulsione dei conci periferici.

Dissesto per schiacciamento: resistenza della malta inferiore a quella del materiale lapideo o laterizio.
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti per schiacciamento (3/3)



Se invece la resistenza della malta è superiore a quella del materiale lapideo, la rottura avviene prima nei blocchi:

Inizialmente il concio si rigonfia, aumentando la dimensione della sua sezione mediana (figura a), fino a che, con un'ulteriore crescita dello stato tensionale, si spacca con una lesione pressoché verticale in corrispondenza della mezzera (figura b).

La muratura subisce un aumento di sezione cui corrisponde successivamente uno sbriciolamento della malta ed il fenomeno dell'espulsione dei conci periferici.

In conclusione lo schiacciamento comporta una riduzione della quota a cui vengono a trovarsi le sezioni di muratura sovrastanti allo schiacciamento. Il conseguente quadro fessurativo in uno stadio avanzato sarà simile a quello di un cedimento localizzato come se questo si fosse verificato in quota e non in fondazione.

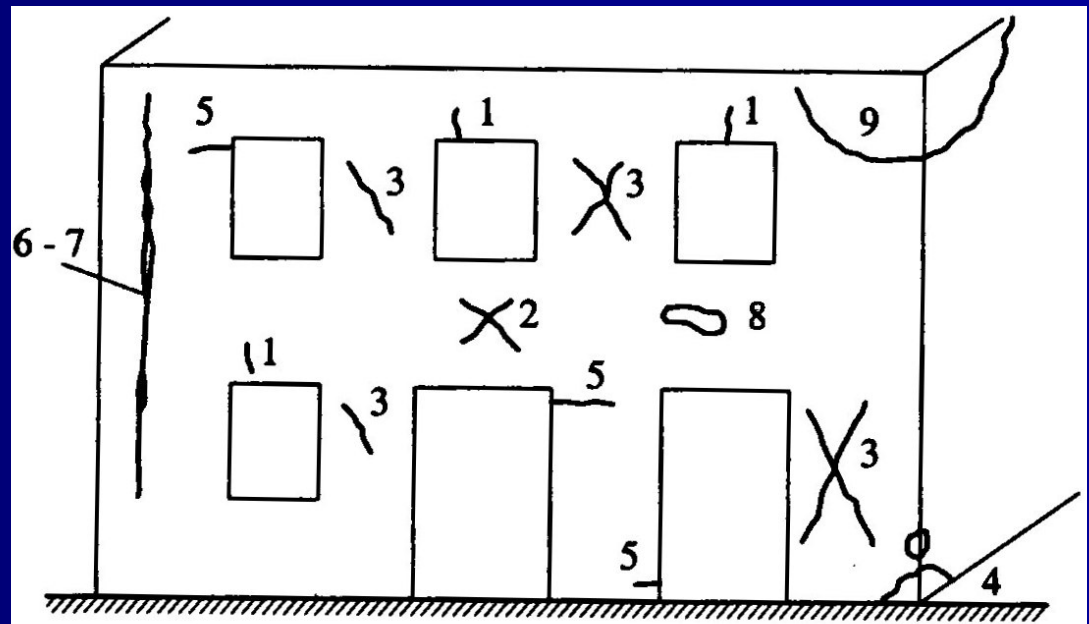
Dissesto per schiacciamento: resistenza della malta superiore a quella del materiale lapideo o laterizio.
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti statici da sisma (1/3)

Le forze orizzontali del sisma sollecitano un insieme di strutture precariamente collegate tra loro e quindi soggette a distaccarsi l'una dall'altra offrendo una sempre minore resistenza.

È possibile catalogare i dissesti statici da sisma in alcuni gruppi mostrati in figura:

- 1) Lesioni ad andamento verticale sugli architravi di porte e finestre.
- 2) Lesioni ad andamento diagonale nei parapetti delle finestre e nelle architravi.
- 3) Lesioni ad andamento diagonale negli elementi verticali (maschi murari) tra due aperture contigue.



Dissesti statici da sisma in pareti murarie
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti statici da sisma (2/3)

4) Schiacciamento locale della muratura con sgretolamento della malta e/o di elementi lapidei o laterizi.

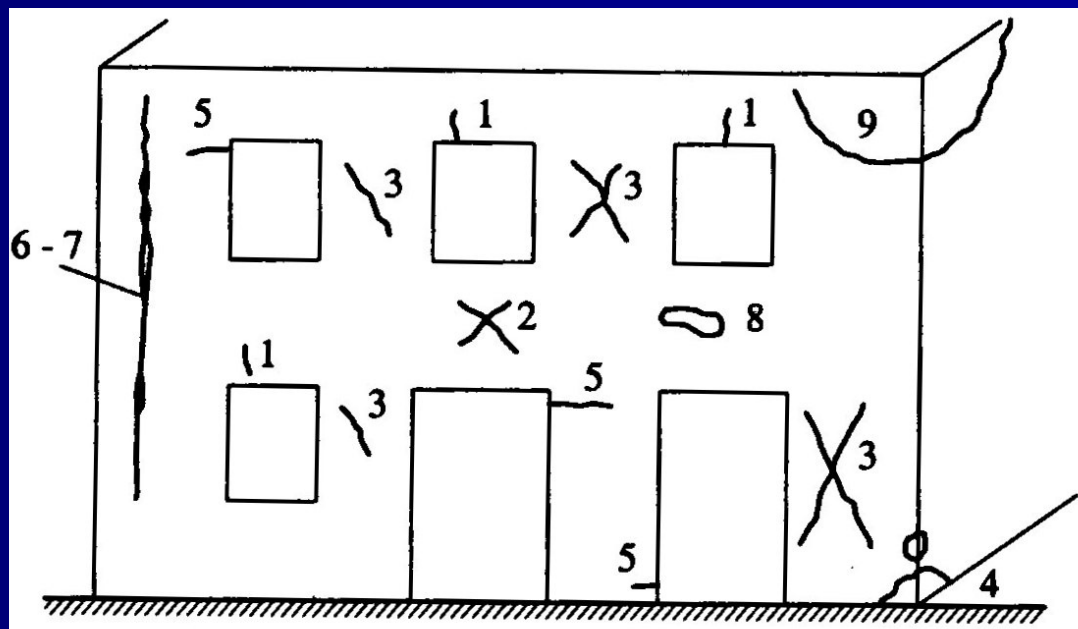
5) Lesioni ad andamento orizzontale per flessione in testa e/o piede dei maschi murari.

6) Lesioni ad andamento verticale in corrispondenza degli incroci (innesti di muratura).

7) Lesioni ad andamento verticale negli incroci e di tipo passante.

8) Espulsione di materiale in corrispondenza di travi principali e/o secondarie dei solai, dovuta al martellamento.

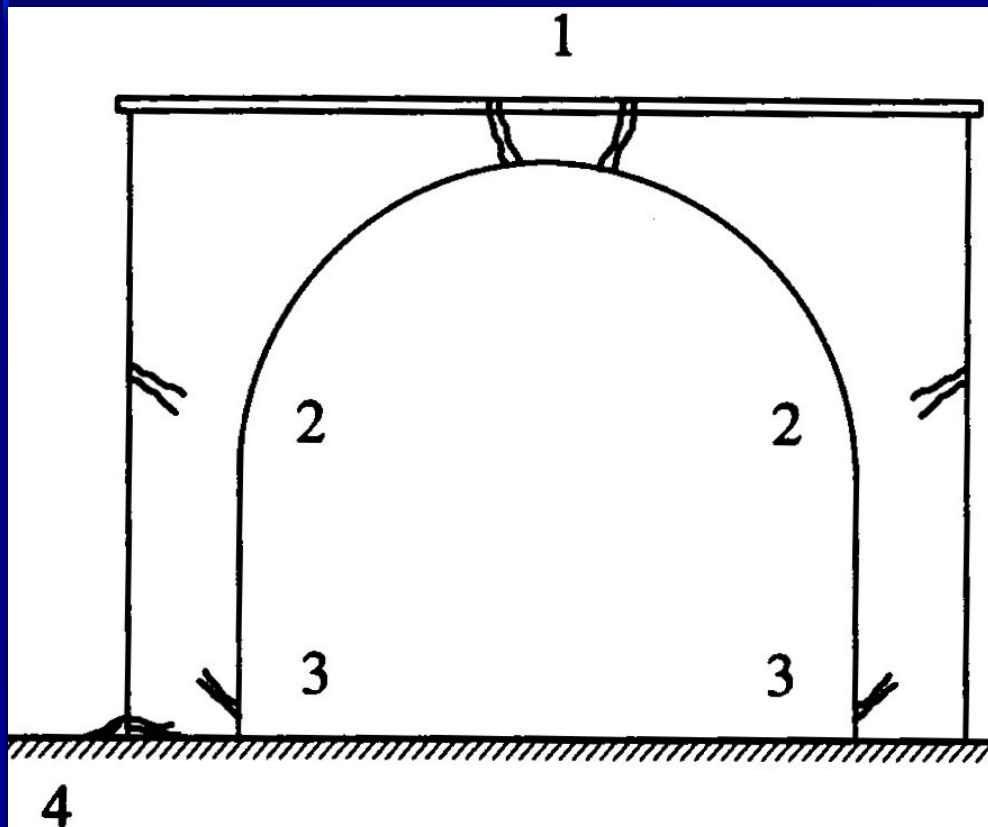
9) Distacco ed espulsione della zona di intersezione tra due pareti formanti tra loro un angolo.



Dissesti statici da sisma in pareti murarie
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti statici da sisma (3/3)

Analoghe considerazioni possono essere fatte per le strutture a volta in muratura dove si possono definire le seguenti tipologie di lesioni con riferimento alla figura:



- 1- lesioni in chiave;
- 2- lesioni all'imposta;
- 3- lesioni al piede;
- 4- lesioni da schiacciamento al piede.

Per le pareti e per le volte in muratura, per i solai di qualunque tipo è possibile stabilire una scala qualitativa per misurare e distinguere i dissesti in lievi, medi, gravi, gravissimi.

Dissesti statici in volte murarie
(immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Dissesti per degrado dei materiali



Le principali cause del degrado dei materiali sono attribuibili a:

- a) Verificarsi di fenomeni chimici, fisico-meccanici o biologici.
- b) Presenza di acqua.

Per il rilievo diretto del degrado si predispongono dei reticoli di forma quadrata suddivisa al suo interno da maglie quadrate di fili. In tal modo è possibile effettuare rilievi periodici con una certa precisione.

Importante per questo rilievo è la simbologia utilizzata di cui è riportato un esempio in figura. L'operazione di rilievo del degrado è sintesi del passato ed elemento predominante nelle successive fasi di intervento.

Tavola per il rilievo del quadro fessurativo e delle patologie di degrado (immagine tratta da Olivito, op. cit.)

Demolizioni

Quando i dissesti statici hanno raggiunto un livello di danno gravissimo è necessario provvedere alla demolizione di alcune parti o di tutta la struttura.

La demolizione va considerata come un processo di smontaggio dell'opera, la quale deve essere sottoposta a fasi inverse rispetto quelle di costruzione. Per questo motivo è necessario un attento progetto dell'intervento di demolizione. Aspetti fondamentali da individuare sono:

- Caratteristiche dell'opera e documentazione tecnica.
- Strategie d'intervento che individuino con precisione il comportamento strutturale durante la seguente successione di operazioni
 - ✓ rimozione dei carichi permanenti non strutturali,
 - ✓ demolizione progressiva degli elementi strutturali,
 - ✓ progressiva riduzione del grado di iperstaticità della costruzione,
 - ✓ individuazione delle zone critiche dell'opera con conseguente scelta delle zone d'intervento che conducono alla labilità,
 - ✓ frazionamento degli elementi strutturali,
 - ✓ pilotaggio ed orientamento della caduta degli elementi strutturali.
- Verifiche strutturali transitorie durante la demolizione

Riferimenti bibliografici e iconografici

- M. Como, *Statica delle costruzioni storiche in muratura. Archi, volte, cupole, architetture monumentali edifici sotto carichi verticali e sotto sisma*, Aracne: Roma, 2010
- S. Mastrodicasa, *Dissesti Statici nelle Strutture Edilizie*, Hoepli: Milano, 1980.
- R. S. Olivito, *Statica e Stabilità delle Costruzioni Murarie*, Pitagora: Bologna, 2009².