

riabilitazione delle strutture

**Corso di laurea Magistrale in Ingegneria Civile per
la Protezione dai Rischi Naturali**

Orientamento: Strutture e Rischio Sismico

Crediti formativi: CFU 6

Docente: Gianmarco de Felice









Finale Emilia 20 Maggio 2012



Finale Emilia 20 Maggio 2012



Amatrice 24 Agosto 2016



Roma 20 Gennaio 2016





Roma 24 Settembre 2016





Roma 24 Settembre 2016

<https://youtu.be/9e0Jahmgafc>

<https://youtu.be/0P8n-HHREZ8>

<https://youtu.be/dIboczuomWI>





















Obiettivi del Corso

La valutazione della sicurezza e l'intervento sulle costruzioni esistenti acquista sempre maggior rilievo nella pratica professionale

Gran parte del patrimonio edilizio esistente nel nostro paese è costituito da edifici in muratura per i quali l'ingegnere spesso non ha una competenza specifica.

L'obiettivo del corso è quello di fornire gli strumenti di base per valutare la sicurezza delle costruzioni esistenti in muratura

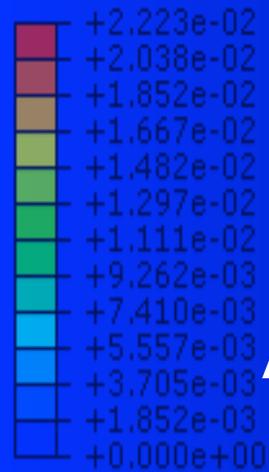
Con questo proposito lo studente viene posto di fronte ad alcuni temi di meccanica delle strutture in muratura, sono descritte le fenomenologie di dissesto ricorrenti, i metodi di indagine, i criteri e le tecniche di intervento per la riabilitazione strutturale.

Programma del corso

A. La verifica della sicurezza

Il problema fondamentale per la valutazione della sicurezza strutturale

U, Magnitude



B. La teoria del calcolo a rottura



Formulazione diretta e duale;

Approccio statico e approccio cinematico;

Formulazione di alcuni criteri di resistenza ed esempi applicativi

Modello con corpi rigidi e interfacce con attrito alla Coulomb

C. Le murature

- Tipologie murarie e materiali costituenti le murature.
- La muratura tra materiale e struttura: le proprietà meccaniche: dai trattatisti alla normativa
- Caratteristiche meccaniche delle murature: fenomenologia, sperimentazione e modelli; resistenza a compressione, pseudo resistenza a trazione, resistenza a taglio.
- Prove di compressione assiale, compressione diagonale, prove con martinetti piatti, prove su carote
- Metodi di indagine; determinazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche dei materiali. Prove meccaniche di tipo distruttivo, metodi di indagine non distruttivi.
- Modellazione: determinazione della resistenza della muratura di mattoni a partire da quella dei suoi componenti: approccio elastico (Hilsdorf) e a rottura; il criterio di Mor Coulomb per i materiali lapidei

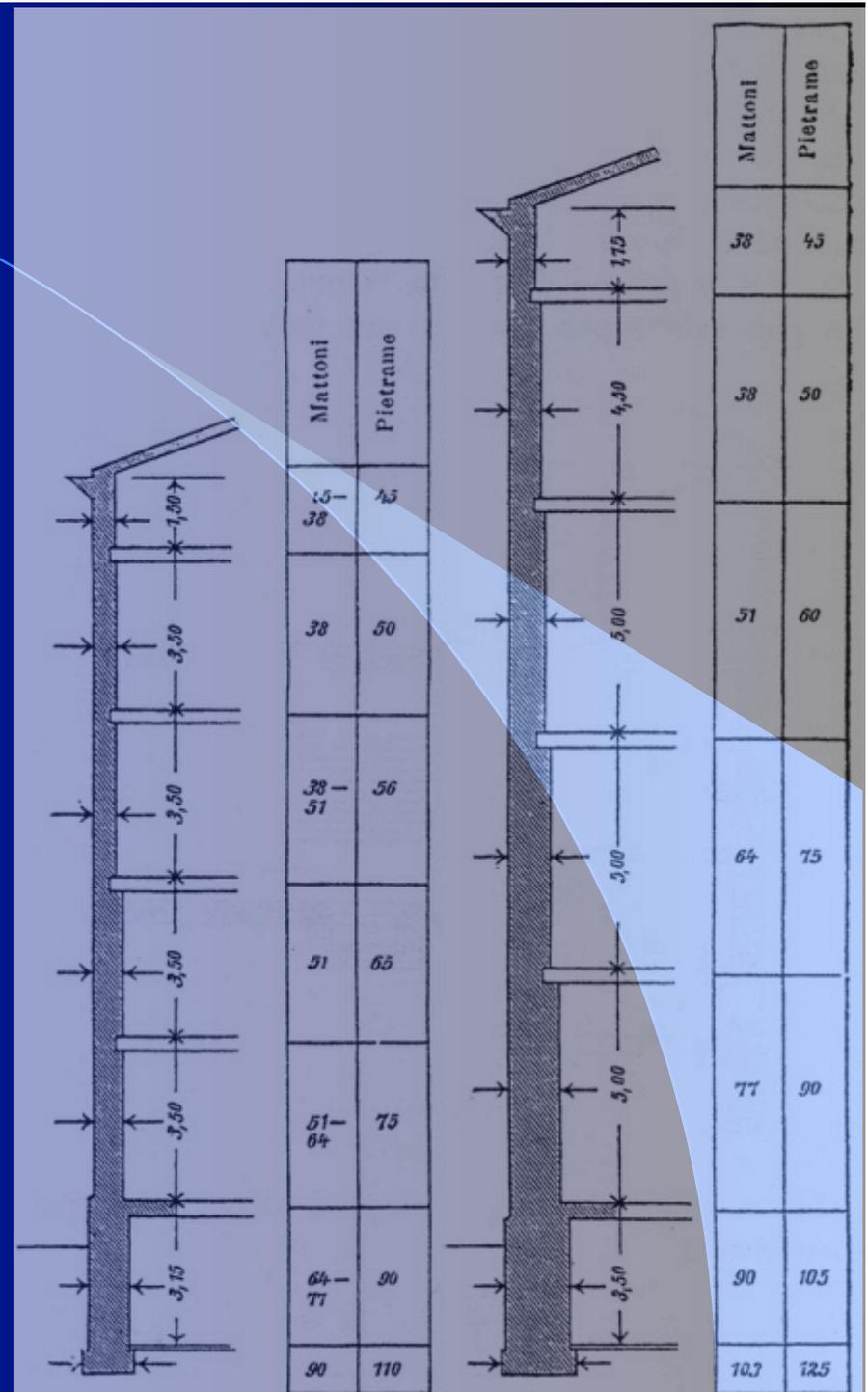
D. Le strutture murarie

Gli elementi costruttivi;

L'edificio murario nell'aggregato storico;

L'edificio murario ottocentesco;

La determinazione dello spessore dei muri e le riseghe.





F. Diagnosi dei dissesti

Rottura per schiacciamento e presso flessione;

Rottura nei prismi elementari: tensioni e deformazioni principali

Lesioni per depressione di un impalcato;

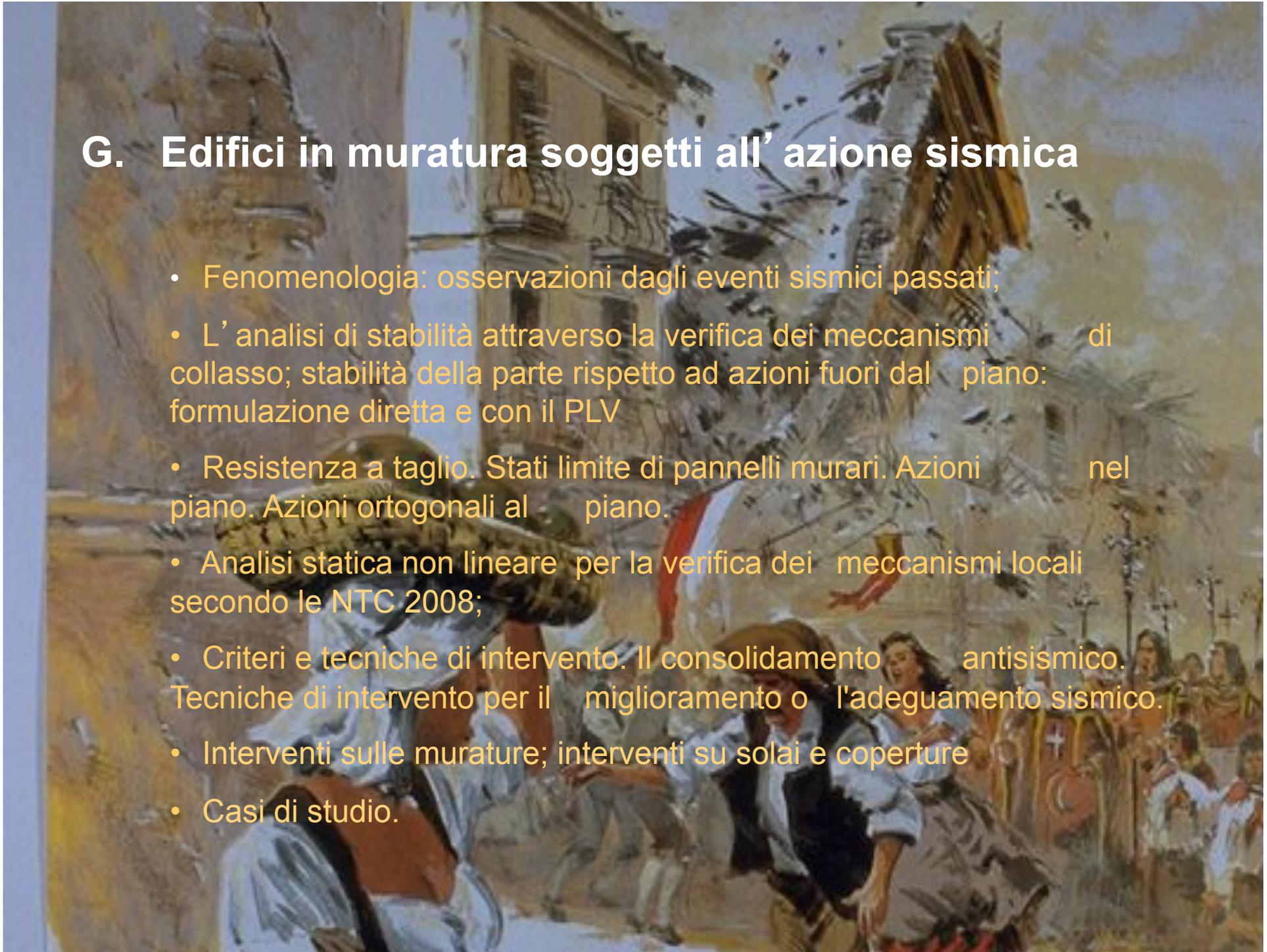
Cedimenti fondali

Lesioni negli archi e nelle volte

Lesioni prodotte dal terremoto

G. Edifici in muratura soggetti all'azione sismica

- Fenomenologia: osservazioni dagli eventi sismici passati;
- L'analisi di stabilità attraverso la verifica dei meccanismi di collasso; stabilità della parte rispetto ad azioni fuori dal piano: formulazione diretta e con il PLV
- Resistenza a taglio. Stati limite di pannelli murari. Azioni nel piano. Azioni ortogonali al piano.
- Analisi statica non lineare per la verifica dei meccanismi locali secondo le NTC 2008;
- Criteri e tecniche di intervento. Il consolidamento antisismico. Tecniche di intervento per il miglioramento o l'adeguamento sismico.
- Interventi sulle murature; interventi su solai e coperture
- Casi di studio.





H. Tecniche di consolidamento

Rinforzo di strutture murarie: tiranti, cuciture, cordoli;

Rinforzo di pilastri : cerchiatura;

Rinforzo di archi e volte in muratura;

Rinforzi in materiali compositi;

Casi di studio.

Motivi della valutazione

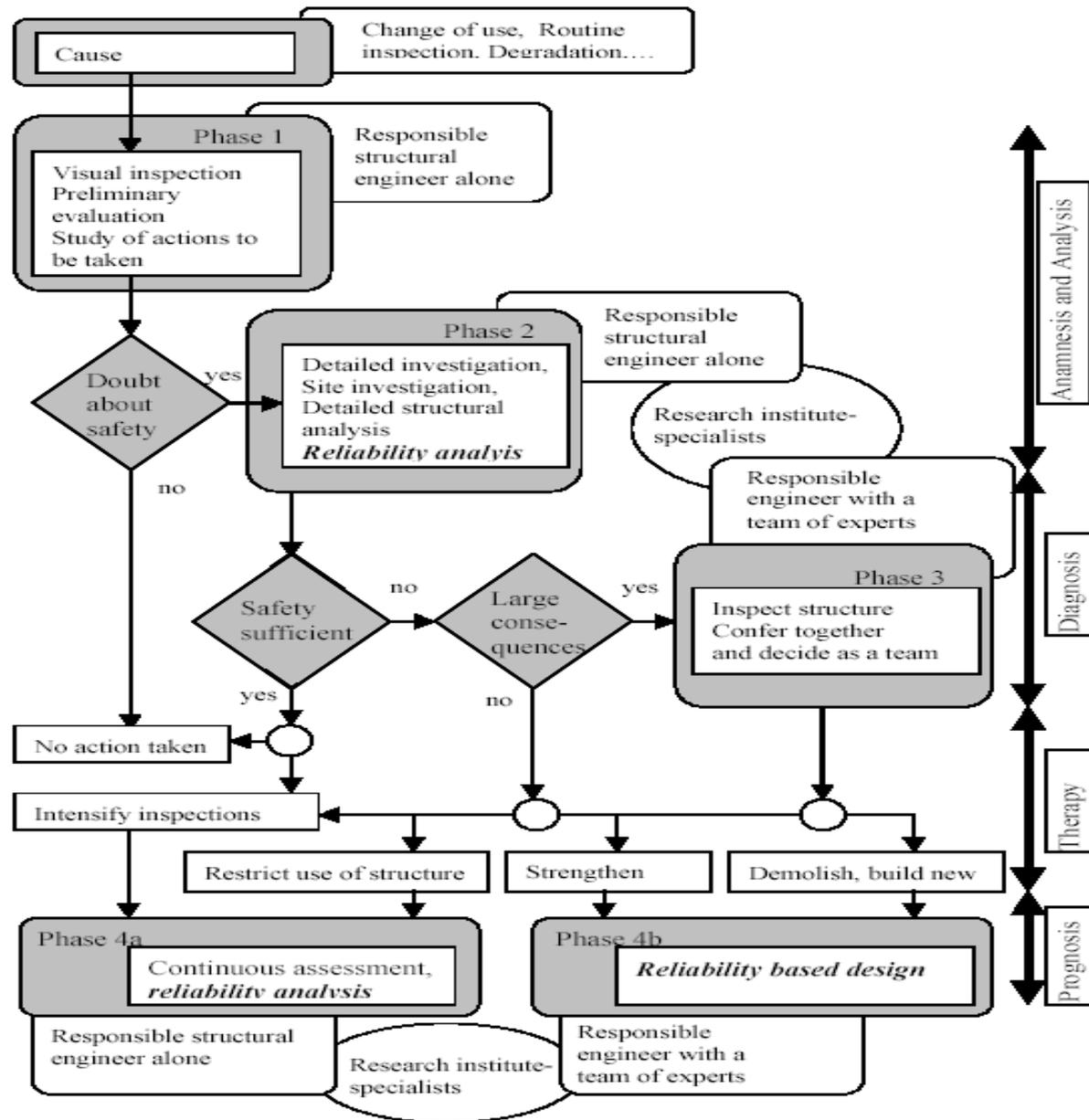
- Manifestazione di dissesti
- Importanti variazioni nella destinazione d'uso
- Pianificazione della manutenzione periodica di un patrimonio di costruzioni
- Adeguamento a disposizioni normative più recenti o a più avanzati standard di sicurezza
- Stima economica del bene

Fasi della valutazione

1. Raccolta di informazioni e dati disponibili relativi alla struttura
2. Ispezione visiva dell'opera
3. Rilievo della struttura
4. Indagini strumentali
5. Valutazione dell'affidabilità dell'opera
6. Conclusioni



Fasi della valutazione



Raccolta di informazioni

Principali fonti di informazioni:

- Disegni strutturali
- Relazione di calcolo
- Dati di contabilità, certificati dei materiali
- Relazioni su precedenti indagini o di interventi di ristrutturazione
- Normativa e letteratura tecnica del periodo di realizzazione dell'opera

Ispezione visiva

- Fornisce un primo livello di conoscenza dell'opera
- Consente di individuare eventuali manifeste situazioni di degrado
- Consente una sommaria verifica della congruenza tra dati di progetto eventualmente disponibili e quanto realizzato

Le osservazioni dell'ispezione dovrebbero essere documentate da una relazione scritta e da registrazioni fotografiche e/o video.

In alcuni casi un'ispezione visiva non è realizzabile senza l'ausilio di impalcature o di altri sistemi di supporto.

Rilievo della struttura

E' necessario un rilievo accurato della geometria della struttura.

Negli edifici in muratura questa fase è relativamente facile per quanto concerne la geometria e le dimensioni delle strutture, mentre presenta difficoltà per quanto riguarda i materiali e i dettagli costruttivi.

Indagini strumentali: resistenza dei materiali

Metodi non distruttivi:

- Micropenetrometro
- Ultrasuoni
- Son-Reb
- Monitoraggio

Parzialmente distruttivi:

- Martinetti piatti

Metodi distruttivi:

- Carote
- Prove in situ di compressione diagonale

Altre indagini strumentali

Technique	D/SD/ND ID/IL	Principle, application, reference
Historic research	ND IS+IL	Information about the geometry of the structure, used materials, loads, strengthening, structural events,... (Van de Vijver, 2001)
Visual inspection	ND IS	Is being used in all cases. This still is the cheapest and often also the most efficient, non-destructive test method. Use of additional guidance, e.g.: Damage Atlas and expert system (Van Balen, 1998)
Foto-grammetry	ND IS	Evolution of large cracks en relative displacements. Is often used for measuring and documenting of damage of structural elements and materials (Santana, 1999)
Electric resistivity	ND IS	Qualitative interpretation of the global condition of masonry (cavities, layering of material,...) Very valuable to check the effectiveness of executed consolidation injection (Venderickx, 1999; Van Rickstal, 2000)
Radiography	ND IS	By radiation of the element by gamma-rays discontinuities that are located deep in the masonry (reinforcement, cavities, trusses,...) can be identified and located. Both sides of the element have to be admissible. Only very powerful apparatus can be used for masonry. Safety precautions have to be taken into consideration (Silman et al., 1993; Wenzel et al., 1993)
Infra-red thermo-graphy	ND IS	Identification of the layering of the structure (e.g.: hidden behind stucco), traces of hidden cavities and discontinuities (Silman et al., 1993; Wenzel et al., 1993)
Magnetic methods	ND IS	Locating of iron elements in thick masonry walls (e.g.: reinforcement bars, connection clamps,...) (Silman et al., 1993; Wenzel et al., 1993)
Radar	ND IS	Receiving of transmitted or reflected electric energy allows to identify different layers, hidden cavities, old foundations, ... (Silman et al., 1993; Wenzel et al., 1993)
Mechanical pulse velocity	ND IS	By the impact, waves of 0.3-5.0 kHz are sent into the material. The wave velocity is a measure for the density and integrity of the material (Silman et al., 1993; Wenzel et al., 1993).
Ultra sonic	ND IS	Only useful for homogeneous materials, like natural stones. In case of heterogeneous materials (masonry) the penetration depth is too small.
Vibration tests	ND IS	Relative stiffness, control of possible progressive damage of the structure in time
Endoscopy	ND/SD IS	Check out of the inner structure of the masonry. Use in drilling holes. Can be combined with photographs or video images (Thomassen et al., 1993).
Flat jack	(S)D IS	Quantitative determination of the stress-strain relation of masonry (SD) and possibly also compressive strength (D) (Schaerlaekens et al., 1999)
Proof loading	ND IS	Check of the resistance of the structure for the expected loading. Is ND when the loading remains in the elastic area

Prove di carico

Consentono di verificare la capacità della struttura (più spesso di una sua parte limitata) nei confronti delle azioni di esercizio, ma non danno indicazioni sufficienti per stimarne la distanza dai valori di collasso, pertanto, da sole, forniscono una informazione limitata sull'effettivo margine di sicurezza dell'opera.

Prove dinamiche

L'analisi della risposta dinamica di una struttura ad eccitazioni di bassa o media intensità può essere impiegata per evidenziare eventuali danni che modificano la rigidità di parti significative dell'opera.

Il metodo è soprattutto efficace per misurare l'importanza dei danni indotti da azioni eccezionali, specialmente se si dispone di registrazioni di confronto, eseguite prima dell'evento.

Negli edifici in muratura anche una sensibile discontinuità strutturale ha pochi effetti sul comportamento dinamico della struttura.

Valutazione dell'affidabilità

Eventuali specifici difetti localizzati (p.es. apertura di lesioni e discontinuità nell'apparecchio murario) dovrebbero in ogni caso essere eliminati mediante interventi opportuni.

Un giudizio globale sullo stato dell'intera struttura, dipendente dalle prestazioni dei materiali, dalle qualità del progetto e dell'esecuzione, deve essere ottenuto mediante analisi, fondate sui dati precedentemente raccolti.

Una misura adeguata ad esprimere tale giudizio globale è fornita, p. es., dall'indice di affidabilità di secondo livello.

Valutazione dell'affidabilità sismica

In campo statico le azioni di esercizio costituiscono una frazione significativa delle azioni massime prevedibili sulla struttura.

La resistenza ultima di una struttura generalmente non è molto maggiore di quella di esercizio.

Il rischio deriva principalmente da insufficienze strutturali che spesso si manifestano anche in condizioni di esercizio.

Le azioni sismiche sono al contrario eccezionali e non sono presenti nella quasi totalità della vita della struttura.

Una struttura può essere sicura nei confronti delle azioni statiche e fortemente inadeguata per le azioni sismiche.

Le forti azioni sismiche impongono alla struttura deformazioni molto superiori a quelle della soglia elastica.