

LA NUOVA NORMATIVA ANTISISMICA PER GLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA



Prof. Ing. Antonio Borri

Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale

Facoltà di Ingegneria

Università degli Studi di Perugia

Riferimenti:

- E-mail: borri@unipg.it
- Sito: www.mastrodicasa.com
- “Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici”, Regione Umbria, Ed. DEI, Roma, 1999.
- “Trattato sul Consolidamento”, Ed. Mancosu, Roma, 2003.

Ordinanza n.3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri
[GU n. 105 dell' 8.5.2003 - Suppl. Ordinario n. 72]

Ordinanza

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

**IL PRESIDENTE
DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI**

VISTO l'articolo 5, comma 3, della legge 24 febbraio 1992, n. 225;

VISTO il decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, convertito, con

Edifici esistenti in muratura



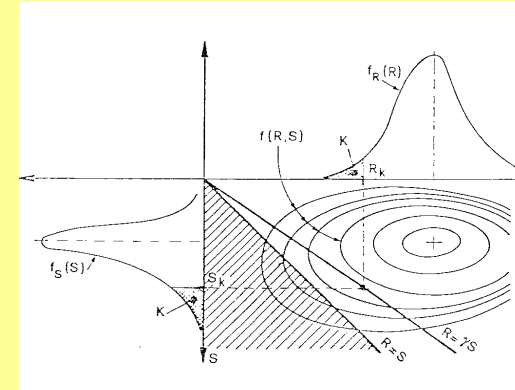
S. Giuliano di Puglia, 31 Ottobre 2002

Premesse

- Procedura inusuale ...
- Forzatura voluta: “.. Non è la migliore normativa possibile però è qualcosa..”
- Iniziativa meritoria (nonostante tutti i distinguo ...)
- Tempi di gestazione molto brevi ...
- Opportunità/necessità di migliorare alcune parti

Innovazioni

- Tutte le zone classificate (1,2,3,4)
- Norme di tipo “prestazionale”
- Verifiche agli SL (Pb minore...)
- Introduzione del “miglioramento controllato”
- Rilievo alle prove sperimentali
- Richiesta di quantificazione della deroga per edifici tutelati
- ...
- Campagna di verifica nazionale su edifici strategici
- ...



Per gli edifici esistenti:

“..il rischio sismico non si riduce per decreto”

(G. Grandori)

(... nè per Ordinanza)

Occorre far seguire alle verifiche gli interventi di
prevenzione

Prime considerazioni

- Nuovi edifici: molti aspetti positivi
- Impostazione molto ingegneristica (“edificio”, FEM, calcolo,...)
- Edifici esistenti:
in muratura → è la parte che appare più bisognosa di miglioramenti ed aggiustamenti
- “scollamento” tra realtà scientifico-accademiche e realtà professionali (→ pericolo di prassi non corrette ...)
- cultura del c.a. e dell'acciaio....

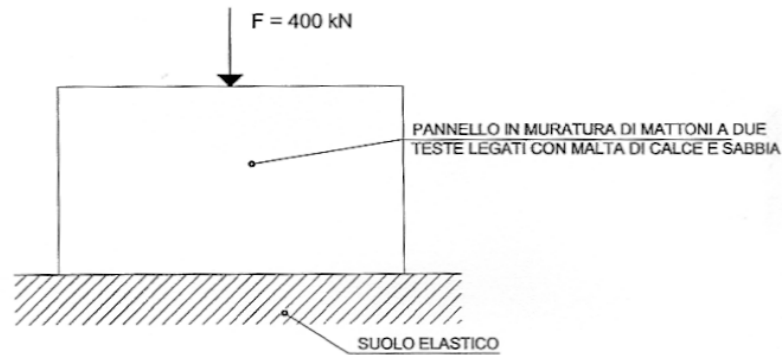
“Conoscere” per intervenire

Acquedotto di Segovia (I sec)



Edifici esistenti in muratura

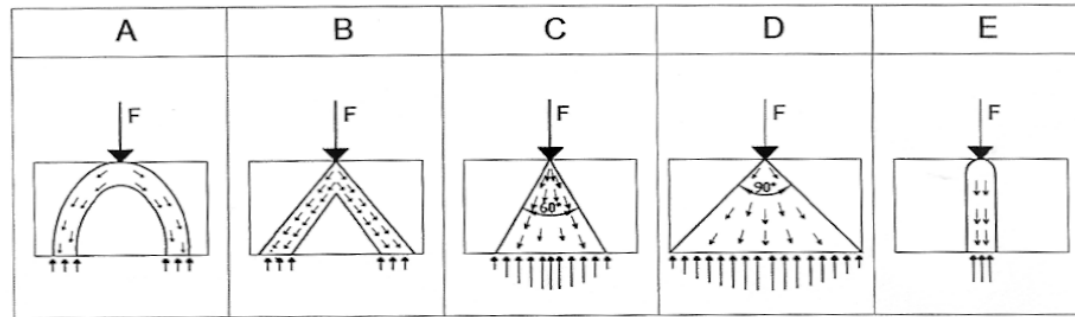
Questionario
 Corso Murature
 Centro Studi
 Sisto
 Mastrodicasa



Quale è l'andamento (schematico) delle tensioni principali di compressione nel pannello murario?

(scegliere una delle seguenti risposte, barrando una delle caselle sottostanti)

- A B C ~~D~~ E
-



Della risposta sono:

- assolutamente certo
- certo
- incerto
- ...molto incerto

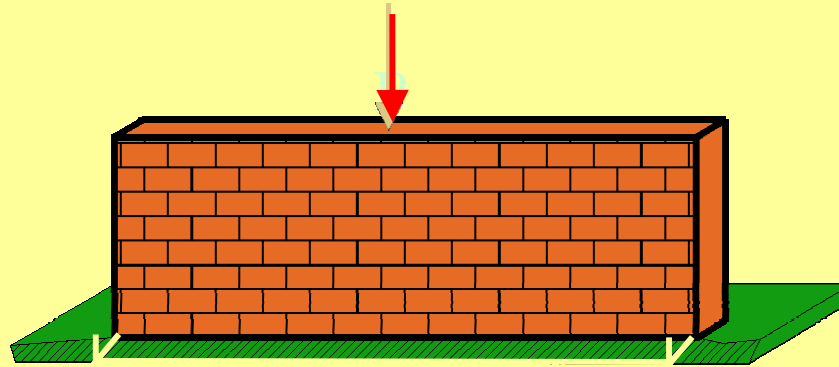
7% A - B

90% C - D

→ 3% E

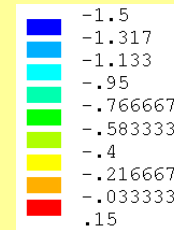
(2000 sk ca)

Es.: Comportamento di pannelli murari per azioni verticali

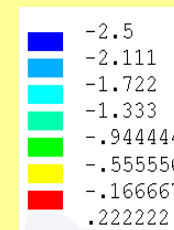


- $B = 4$ m
- $H = 2$ m
- $S = 0.3$ metri
- $P = 40$ Kn
- $\sigma_{cr} = 5$ N/mm²
- $\sigma_{tr} = 0.5$ N/mm²
- $E = 2000$ N/mm²

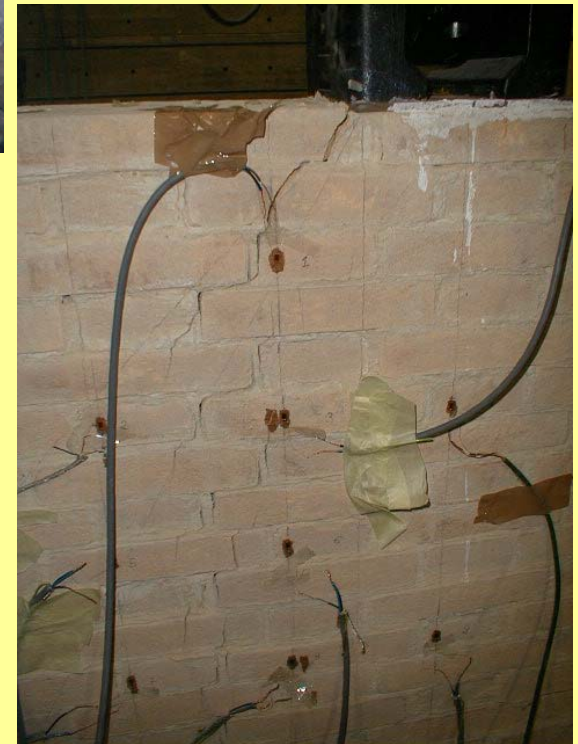
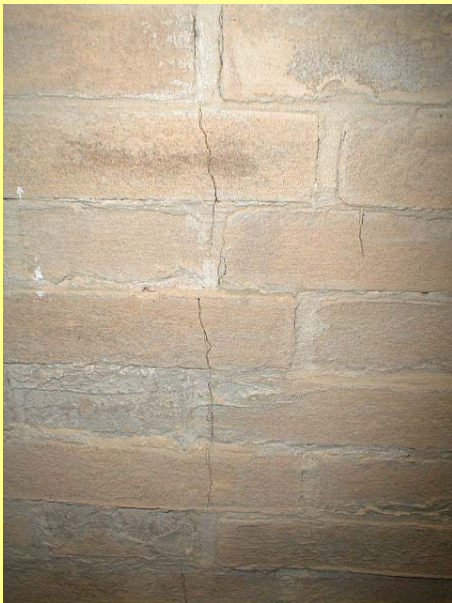
a) Materiale elastico perfetto



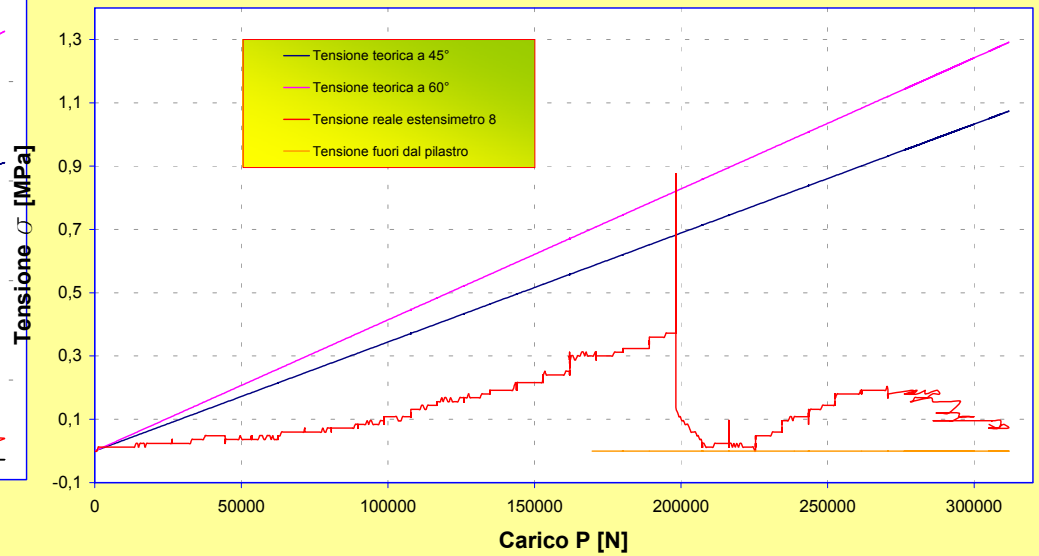
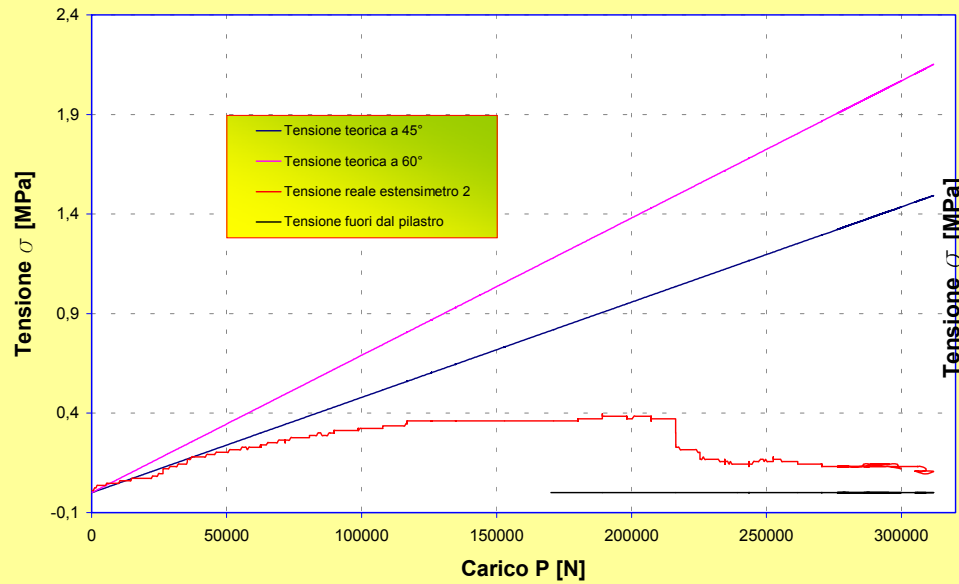
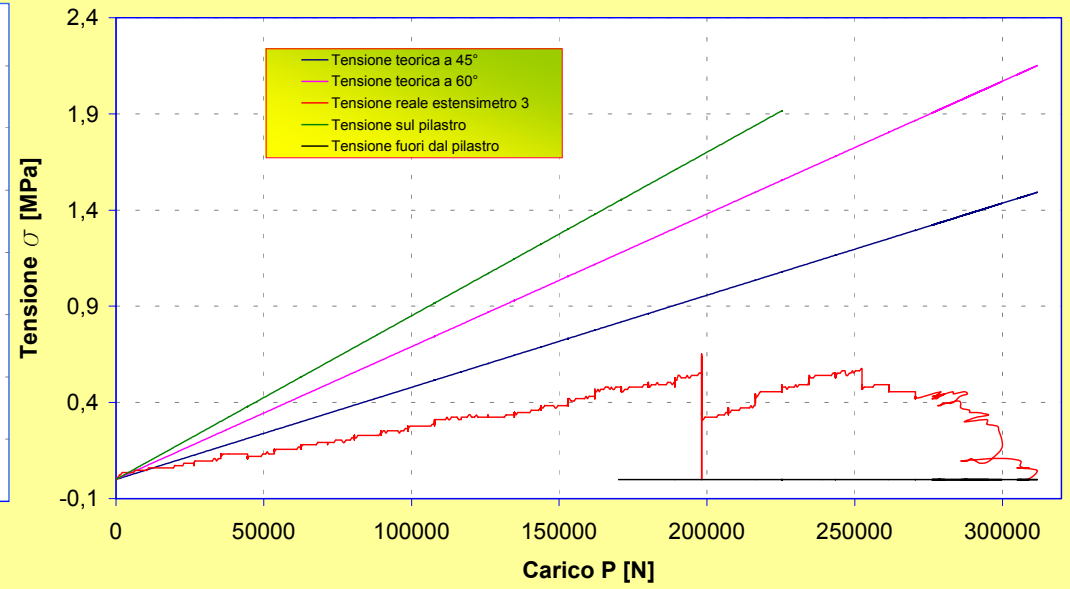
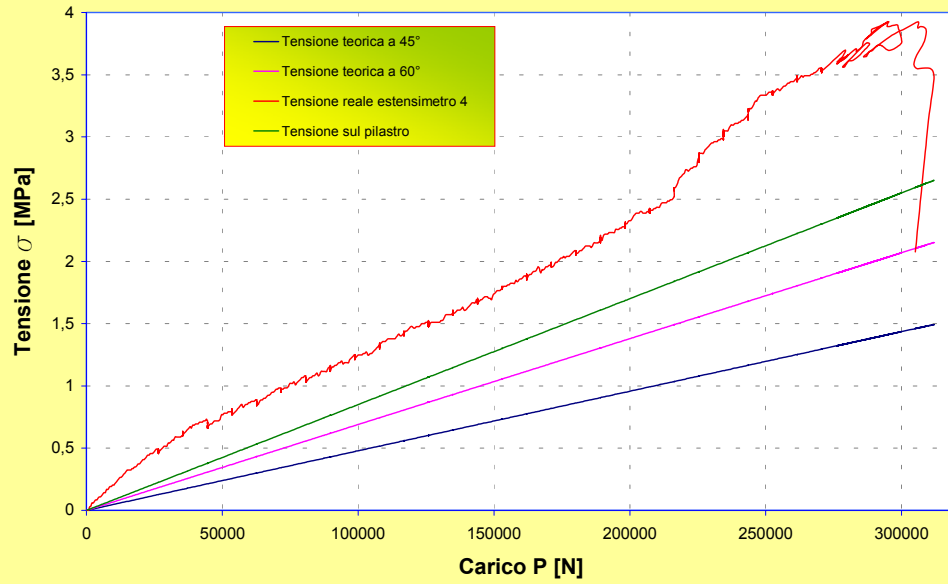
b) Materiale scarsamente resistente a trazione



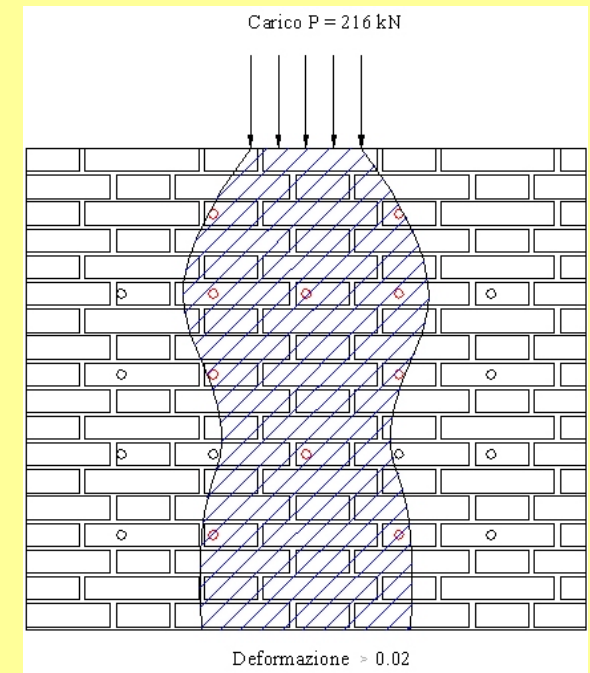
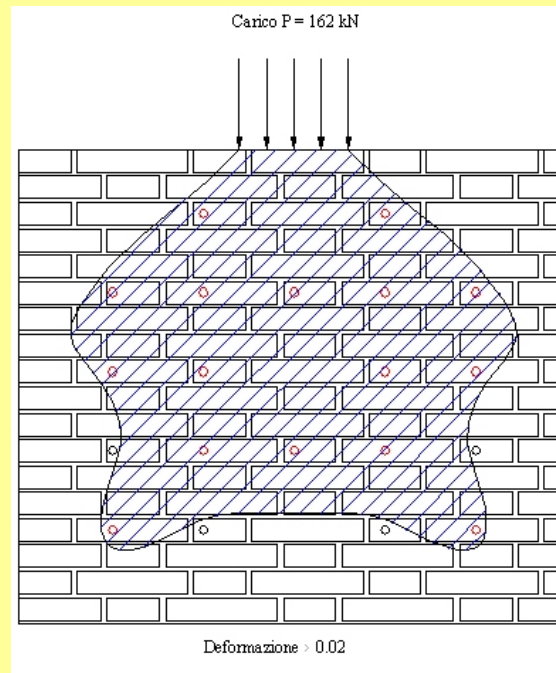
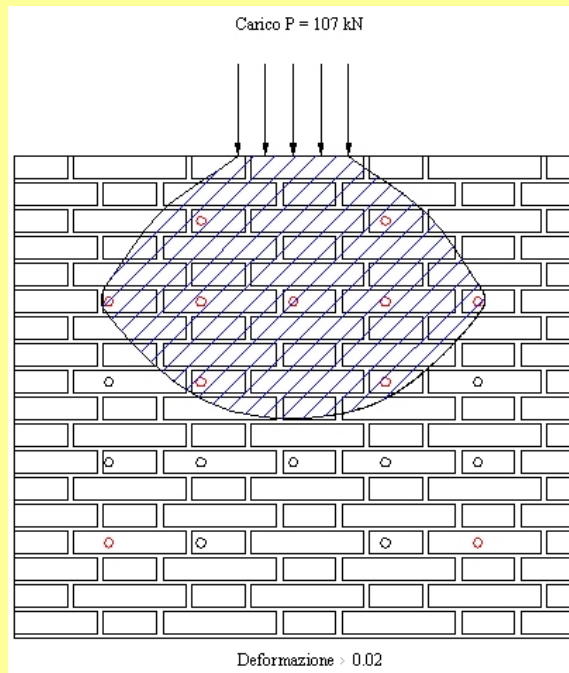
Prove sperimentali



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



“Struttura” della normativa

Ordinanza n.3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri
[GU n. 105 dell' 8.5.2003 - Suppl. Ordinario n. 72]

Ordinanza

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

**IL PRESIDENTE
DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI**

VISTO l'articolo 5, comma 3, della legge 24 febbraio 1992, n. 225;

VISTO il decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, convertito, con

ART. 2

1. Le regioni provvedono, ai sensi dell'articolo 94, comma 2, lettera a), del decreto legislativo n. 112 del 1998, e sulla base dei criteri generali di cui all'allegato 1, all'individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche. In zona 4 è lasciata facoltà alle singole regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica.

Art.2 c.2

2. Per le opere i cui lavori siano già iniziati e per le opere pubbliche già appaltate o i cui progetti siano stati già approvati alla data della presente ordinanza, possono continuare ad applicarsi le norme tecniche e la classificazione sismica vigenti.

Per il completamento degli interventi di ricostruzione in corso continuano ad applicarsi le norme tecniche vigenti.

In tutti i restanti casi, fatti salvi gli edifici ed le opere di cui al comma 3, la progettazione dovrà essere conforme a quanto prescritto dalla nuova classificazione sismica di cui al comma 1, con la possibilità, per non oltre 18 mesi, di continuare ad applicare le norme tecniche vigenti,.

I documenti di cui agli allegati 1, 2, 3 e 4 potranno essere oggetto di revisione o aggiornamento, anche sulla base dei risultati della loro sperimentazione ed applicazione e con particolare riferimento agli interventi di riduzione del rischio sismico nei centri storici, con il concorso di tutte le componenti istituzionali e scientifiche interessate.

Art.2 c.3

3. È fatto obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei rispettivi proprietari, ai sensi delle norme di cui ai suddetti allegati, sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso. Le verifiche di cui al presente comma dovranno essere effettuate entro cinque anni dalla data della presente ordinanza e riguardare in via prioritaria edifici ed opere ubicate nelle zone sismiche 1 e 2, secondo quanto definito nell'allegato 1.

Allegato 2 - EDIFICI

Normativa sismica – Edifici – bozza aggiornata al 25/03/03

pagina 1/104

NORME TECNICHE PER IL PROGETTO, LA VALUTAZIONE E L'ADEGUAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI

1 LOGGETTO DELLE NORME 7

2 REQUISITI DI SICUREZZA E CRITERI DI VERIFICA 7

2.1 SICUREZZA NEI CONFRONTI DELLA STABILITÀ (STATO LIMITE ULTIMO – SLU) 7

2.2 PROTEZIONE NEI CONFRONTI DEL DANNO (STATO LIMITE DI DANNO – SLD) 7

2.3 SODDISFACIMENTO DEI REQUISITI GENERALI 7

2.4 PRESCRIZIONI RELATIVE AI TERRENI DI FONDAZIONE 7

2.5 LIVELLI DI PROTEZIONE ANTISISMICA 8

3 AZIONE SISMICA 8

3.1 CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE 8

3.2 CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA 9

3.2.1 Zone sismiche 9

3.2.2 Descrizione dell'azione sismica 9

3.2.3 Spettro di risposta elastico 9

3.2.4 Spostamento e velocità del terreno 10

3.2.5 Spettri di progetto per lo stato limite ultimo 10

3.2.6 Spettro di progetto per lo stato limite di danno 11

3.2.7 Impiego di accelerogrammi 11

3.3 COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON LE ALTRE AZIONI 12

4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE 13

4.1 SISTEMI COSTRUTTIVI 13

4.2 DISTANZE ED ALTEZZE 13

4.3 CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI EDIFICI 14

4.3.1 Regolarità 14

4.3.2 Elementi strutturali secondari 15

<u>4.11.1.5 Giunti sismici</u>	21
<u>4.11.1.6 Diaframmi orizzontali</u>	21
<u>4.11.2 Stato limite di danno</u>	21

5 EDIFICI CON STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO.....22

<u>5.1 PRINCIPI GENERALI</u>	22
<u>5.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</u>	22
<u>5.2.1 Conglomerato</u>	22
<u>5.2.2 Acciaio</u>	22
<u>5.3 TIPOLOGIE STRUTTURALI E FATTORI DI STRUTTURA</u>	23

<u>5.7.4 Dimensionamento dei collegamenti</u>	32
5.7.4.1 Strutture intelaiate.....	32
5.7.4.2 Strutture a pilastri isostatici.....	33

<u>5.8 EDIFICI IN ZONA 4</u>	33
------------------------------------	----

6 EDIFICI IN ACCIAIO.....34

<u>6.1 GENERALITÀ</u>	34
<u>6.1.1 Premessa</u>	34
<u>6.1.2 Principi di progettazione</u>	34
<u>6.2 MATERIALI</u>	34
<u>6.3 TIPOLOGIE STRUTTURALI E FATTORE DI STRUTTURA</u>	34
<u>6.3.1 Tipologie strutturali</u>	34
<u>6.3.2 Criteri di dimensionamento</u>	35
<u>6.3.3 Fattore di struttura</u>	35
<u>6.4 ANALISI STRUTTURALE</u>	36

<u>6.5.6.6 Controventi eccentrici a bassa duttilità</u>	43
<u>6.5.6.7 Controventi eccentrici ad alta duttilità</u>	43
<u>6.5.6.7.1 Controventi eccentrici ad alta duttilità</u>	44
<u>6.5.6.7.2 Controventi eccentrici ad alta duttilità</u>	44
<u>6.5.7 Strutture a mensola o a pendolo invertito</u>	44
<u>6.5.8 Strutture intelaiate controventate</u>	44

<u>6.6 EDIFICI IN ZONA 4</u>	45
------------------------------------	----

7 EDIFICI IN STRUTTURA COMPOSTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO.....45

<u>7.1 GENERALITÀ</u>	45
<u>7.1.1 Premessa</u>	45
<u>7.1.2 Principi di progettazione</u>	45
<u>7.2 MATERIALI</u>	46
<u>7.2.1 Calcestruzzo</u>	46
<u>7.2.2 Acciaio per armatura</u>	46
<u>7.2.3 Acciaio strutturale</u>	46
<u>7.3 TIPOLOGIE STRUTTURALI E FATTORE DI STRUTTURA</u>	46

8 EDIFICI CON STRUTTURA IN MURATURA	57
<u>8.1 REGOLE GENERALI</u>	57
<u>8.1.1 Premessa</u>	57
<u>8.1.2 Materiali</u>	57
<u>8.1.3 Modalità costruttive e fattori di struttura</u>	58
<u>8.1.4 Criteri di progetto e requisiti geometrici</u>	58
<u>8.1.5 Metodi di analisi</u>	58
<u>8.1.5.1 Generalità</u>	58
<u>8.1.5.2 Analisi statica lineare</u>	58
<u>8.1.5.3 Analisi dinamica modale</u>	59
<u>8.1.5.4 Analisi statica non lineare</u>	59
<u>8.1.5.5 Analisi dinamica non lineare</u>	59
<u>8.1.6 Verifiche di sicurezza</u>	59
<u>8.1.7 Principi di gerarchia delle resistenze</u>	60
<u>8.1.8 Fondazioni</u>	60
<u>8.1.9 Edifici semplici</u>	60
8.2. EDIFICI IN MURATURA ORDINARIA	61
<u>8.2.1 Criteri di progetto</u>	61
<u>8.2.2 Verifiche di sicurezza</u>	61
<u>8.2.2.1 Pressoflessione nel piano</u>	61
<u>8.2.2.2 Taglio</u>	61
<u>8.2.2.3 Pressoflessione fuori piano</u>	62
<u>8.2.3 Particolari costruttivi</u>	62
8.3. EDIFICI IN MURATURA ARMATA	62
<u>8.3.1 Criteri di progetto</u>	62
<u>8.3.2 Verifiche di sicurezza</u>	62
<u>8.3.2.1 Pressoflessione nel piano</u>	62
<u>8.3.2.2 Taglio</u>	62
<u>8.3.2.3 Pressoflessione fuori piano</u>	63
<u>8.3.3 Particolari costruttivi</u>	63
<u>8.4. EDIFICI IN ZONA 4</u>	63

<i>8.3.3 Particolari costruttivi</i>	63
<u>8.4. EDIFICI IN ZONA 4</u>	63
9 EDIFICI CON STRUTTURA IN LEGNO	63
10 EDIFICI ISOLATI	64
<u>10.1 SCOPO</u>	64
<u>10.2 DEFINIZIONI E SIMBOLI</u>	64

Edifici esistenti in muratura

11 EDIFICI ESISTENTI

<u>11.1 GENERALITÀ</u>	78
<u>11.2 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA</u>	78
<u>11.2.1 Requisiti di sicurezza</u>	78
<u>11.2.2 Criteri di verifica</u>	79
<u>11.2.3 Dati necessari per la valutazione</u>	79
<u>11.2.3.1 Generalità</u>	79
<u>11.2.3.2 Dati richiesti</u>	80
<u>11.2.3.3 Livelli di conoscenza</u>	80
<u>11.2.4 Coefficienti parziali di sicurezza</u>	83
<u>11.2.5 Valutazione della sicurezza</u>	84
<u>11.2.5.1 Livelli di protezione antisismica e fattori di importanza</u>	84
<u>11.2.5.2 Azione sismica</u>	84
<u>11.2.5.3 Modellazione della struttura</u>	84
<u>11.2.5.4 Metodi di analisi</u>	84
<u>11.2.5.5 Combinazione delle componenti dell'azione sismica</u>	85
<u>11.2.6 Verifiche di sicurezza</u>	85
<u>11.2.6.1 Analisi lineare (statica o dinamica)</u>	85
<u>11.2.6.2 Analisi non lineare (statica o dinamica)</u>	85
<u>11.3 EDIFICI IN CEMENTO ARMATO</u>	86
<u>11.3.1 Criteri per la scelta dell'intervento</u>	86
<u>11.3.1.1 Indicazioni generali</u>	86
<u>11.3.1.2 Tipo di intervento</u>	86
<u>11.3.1.3 Elementi non strutturali ed impianti</u>	86
<u>11.3.2 Progetto dell'intervento</u>	86
<u>11.3.3 Modelli di capacità per la valutazione</u>	86
<u>11.3.3.1 Travi e pilastri: flessione con e senza sforzo normale</u>	86
<u>11.3.3.2 Travi e pilastri: taglio</u>	87
<u>11.3.3.3 Nodi trave-pilastro</u>	87
<u>11.3.4 Modelli di capacità per il rinforzo</u>	87
<u>11.3.4.1 Incamiciatura in c.a.</u>	87
<u>11.3.4.2 Incamiciatura in acciaio</u>	88
<u>11.3.4.3 Placcatura e fasciatura in materiali fibrorinforzati (FRP)</u>	89
<u>11.4 EDIFICI IN ACCIAIO</u>	89
<u>11.4.1 Criteri per la scelta dell'intervento</u>	89
<u>11.4.1.1 Indicazioni generali</u>	89

Edifici esistenti in muratura

segue: EDIFICI ESISTENTI

<u>11.5 EDIFICI IN MURATURA</u>	91
<u>11.5.1 Requisiti di sicurezza e criteri di verifica</u>	91
<u>11.5.2 Dati necessari e identificazione del livello di conoscenza</u>	91
<u>11.5.2.1 Geometria</u>	91
<u>11.5.2.2 Dettagli costruttivi</u>	91
<u>11.5.2.3 Proprietà dei materiali</u>	92
<u>11.5.3 Coefficienti parziali di sicurezza</u>	92
<u>11.5.4 Valutazione della sicurezza</u>	92
<u>11.5.4.1 Livelli di protezione antisismica e fattori di importanza</u>	92
<u>11.5.4.2 Azione sismica</u>	92
<u>11.5.4.3 Modellazione della struttura</u>	92
<u>11.5.4.4 Metodi di analisi</u>	92
<u>11.5.4.5 Combinazione delle componenti dell'azione sismica</u>	92
<u>11.5.5 Verifiche di sicurezza</u>	93
<u>11.5.6 Criteri per la scelta dell'intervento</u>	93
11.5.6.1 Indicazioni generali.....	93
<u>11.5.6.3 Elementi non strutturali ed impianti</u>	93
<u>11.5.7 Progetto dell'intervento</u>	93
<u>11.5.8 Modelli di capacità per la valutazione</u>	94
<u>11.5.8.1 Pareti murarie</u>	94
<u>11.5.8.2 Solai</u>	94
<u>11.5.9 Modelli di capacità per il rinforzo</u>	94
<u>11.5.9 Edifici semplici</u>	94

(ultimo paragrafo dell'ultimo capitolo, che, peraltro, rimanda spesso al capitolo degli edifici nuovi

Considerazioni generali

Passaggio da norme di tipo prescrittivo a norme di tipo prestazionale

Implica che le norme sono prescrittive solo per quanto riguarda gli obiettivi da raggiungere ?

- sicurezza nei confronti della stabilità
- protezione nei confronti del danno

Se così: le norme indicano un modo possibile per perseguire gli obiettivi

Passaggio da norme di tipo prescrittivo a norme di tipo prestazionale.

Significa che si passa dal concetto in cui tutto ciò che non è esplicitamente permesso e previsto è proibito al concetto in cui tutto ciò che consente di raggiungere gli obiettivi è consentito ???

Le norme, per soddisfare i requisiti prestazionali richiesti, indicano i processi da seguire in merito a:

- scelta dell'azione
- adozione del modello di calcolo
- adozione del metodo di analisi
- esecuzione delle verifiche
- adozione delle regole di dettaglio

quindi ... (???)

Interventi su costruzioni esistenti

- **adeguamento**
sono riportate le situazioni nelle quali è prescritto
- **miglioramento**
esecuzione di un complesso di opere sufficienti a far conseguire alla costruzione un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche
- **miglioramento controllato**
è consentito alle Regioni, tenuto conto della specificità delle tipologie costruttive del proprio territorio, consentire un miglioramento controllato della vulnerabilità riducendo i livelli di protezione sismica e quindi l'entità delle azioni sismiche da considerare

Coefficienti di sicurezza

Il progetto riflette lo stato delle conoscenze al tempo della costruzione.

Il progetto può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione non immediatamente visibili.

“Tali edifici possono essere stati soggetti a terremoti passati o ad altre azioni accidentali i cui effetti non sono manifesti”.

“di conseguenza la valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici di nuova progettazione.

Ciò comporta l'impiego di coefficienti di sicurezza parziali adeguatamente modificati, ...”

Coefficienti di sicurezza

Si esprime per la prima volta il concetto che

maggior conoscenza vuol dire maggior sicurezza

e quindi si possono variare i coefficienti da applicare per la verifica sismica in funzione del livello di conoscenza

Eseguire più indagini sperimentali significa conoscere meglio l'edificio.

Può voler dire che i dati relativi ad una costruzione esistente possono diventare più affidabili rispetto ai dati di una costruzione nuova (?????)

→ Pb costi

Valutazione della sicurezza

1.- Requisiti di sicurezza e criteri di verifica

SL di Collasso

SL di Danno

2.- Dati necessari per la valutazione e identificazione del livello di conoscenza

Dati richiesti: geometria, dettagli costruttivi, proprietà materiali

Rilievi e verifiche: conducono a 3 possibili livelli di conoscenza

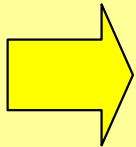
3.- Definizione dei coefficienti parziali di sicurezza

In funzione del livello di conoscenza acquisito

I livelli di conoscenza

Definiti dalla conoscenza di: geometria, dettagli costruttivi, caratteristiche dei materiali

Influenzano: metodo di analisi, resistenze di calcolo, coefficienti parziali di sicurezza



LC1 – Conoscenza limitata

LC2 – Conoscenza adeguata

LC3 – Conoscenza accurata

I 3 livelli di conoscenza sono descritti nel testo di norma con molto dettaglio in funzione della procedura di acquisizione dei dati, della documentazione disponibile e delle **indagini eseguite in sito**.

Geometria

- Rilievo sommario:
 - rilievo dei principali elementi strutturali resistenti a taglio (piano per piano) e delle volte in muratura;
 - stima a campione dell'andamento e della rigidezza dei solai.
- Rilievo completo:
 - rilievo completo piano per piano di tutti gli elementi in muratura;
 - rilievo delle volte e della loro tipologia;
 - rilievo dell'andamento di tutti i solai con valutazione accurata della loro rigidezza;
 - valutazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete;
 - ~~- verifica sperimentale a campione della effettiva rigidezza dei solai.~~

Dettagli costruttivi

- a) Qualità del collegamento tra pareti ortogonali
- b) Qualità del collegamento tra solai e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano
- c) Esistenza di architravi dotate di resistenza flessionale
- d) Presenza di elementi strutturali spingenti e di eventuali elementi atti ad eliminare la spinta
- e) Presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità
- f) Tipologia e qualità della muratura (a un paramento, a due o più paramenti con e senza collegamenti trasversali) eseguita in mattoni o in pietra (regolare, irregolare)
- g) Presenza e rappresentazione dell'eventuale quadro fessurativo.

Dettagli strutturali: tipi di verifiche

- Verifiche in situ limitate:
sono basate solo su rilievi di tipo visivo e per campione.
- Verifiche in situ estese ed adeguate:
rilievi di tipo visivo effettuati rimuovendo l'intonaco e mettendo a nudo le caratteristiche di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti.
Il rilievo dei collegamenti **e della qualità muraria** può essere fatto a campione.
L'esame degli altri dettagli strutturali deve estendersi in modo sistematico all'intero edificio.
L'efficacia degli elementi atti ad eliminare le spinte deve essere verificata sperimentalmente.

Proprietà dei materiali

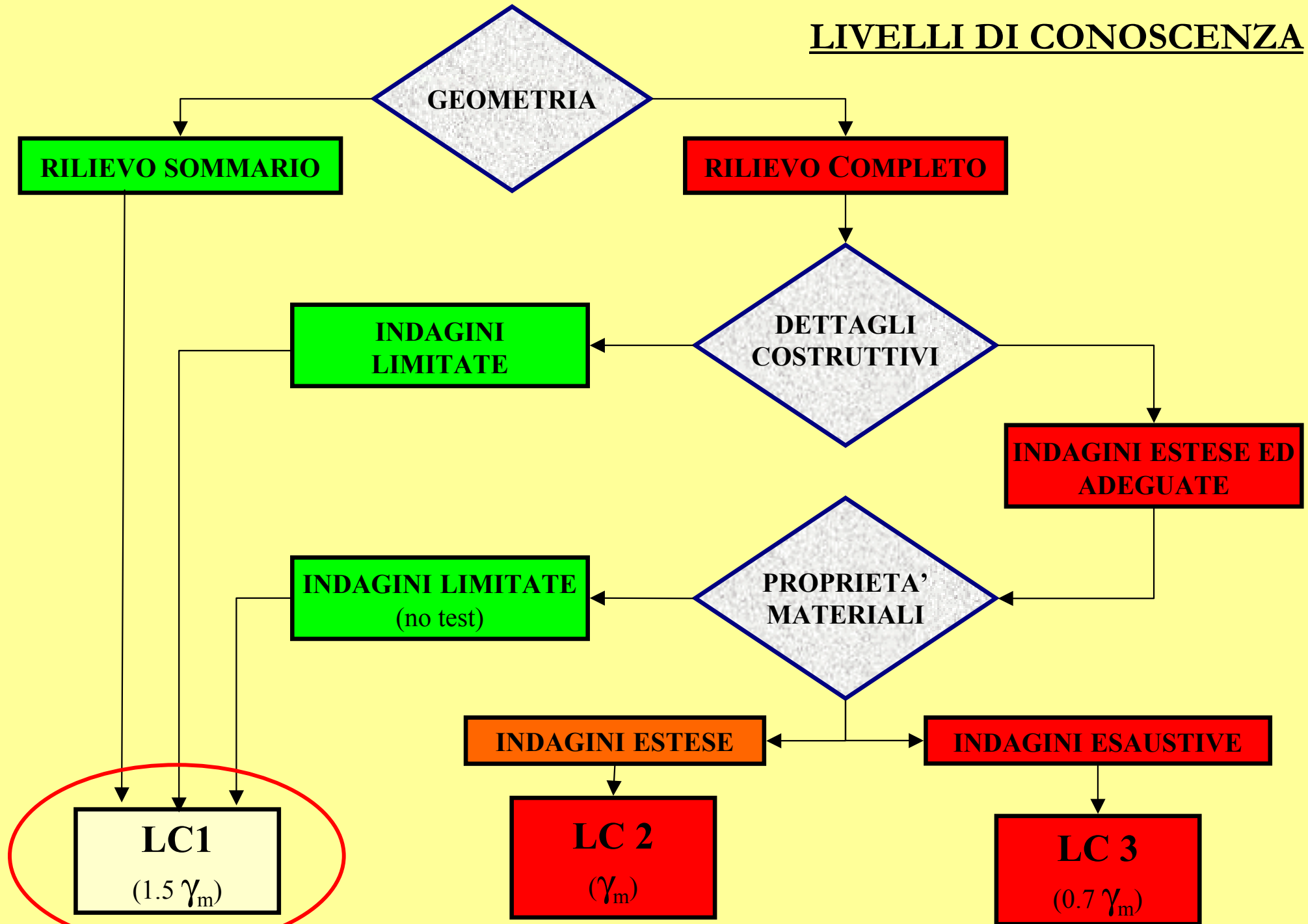
- La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante esecuzione di prove, in situ o in laboratorio su elementi prelevati dalle strutture dell'edificio.
- Tipologie di prove: martinetti piatti in combinazione con prove di resistenza a taglio dei letti di malta, prove di compressione diagonale e prove di taglio compressione. Metodi non distruttivi possono essere usati in combinazione non in sostituzione dei precedenti.

Proprietà dei materiali

- La qualità della muratura dovrà essere verificata: a) in situ, mediante il rilievo della tessitura muraria in superficie e in sezione (mediante piccoli scassi); b) in laboratorio mediante la caratterizzazione delle malte, pietre e/o mattoni prelevate in situ.
- Tipologie di prove: martinetti piatti doppi, prove di compressione diagonale e prove di taglio compressione. Metodi non distruttivi (soniche, radar, etc) possono essere usati in combinazione non in sostituzione dei precedenti.

Edifici esistenti in muratura

LIVELLI DI CONOSCENZA

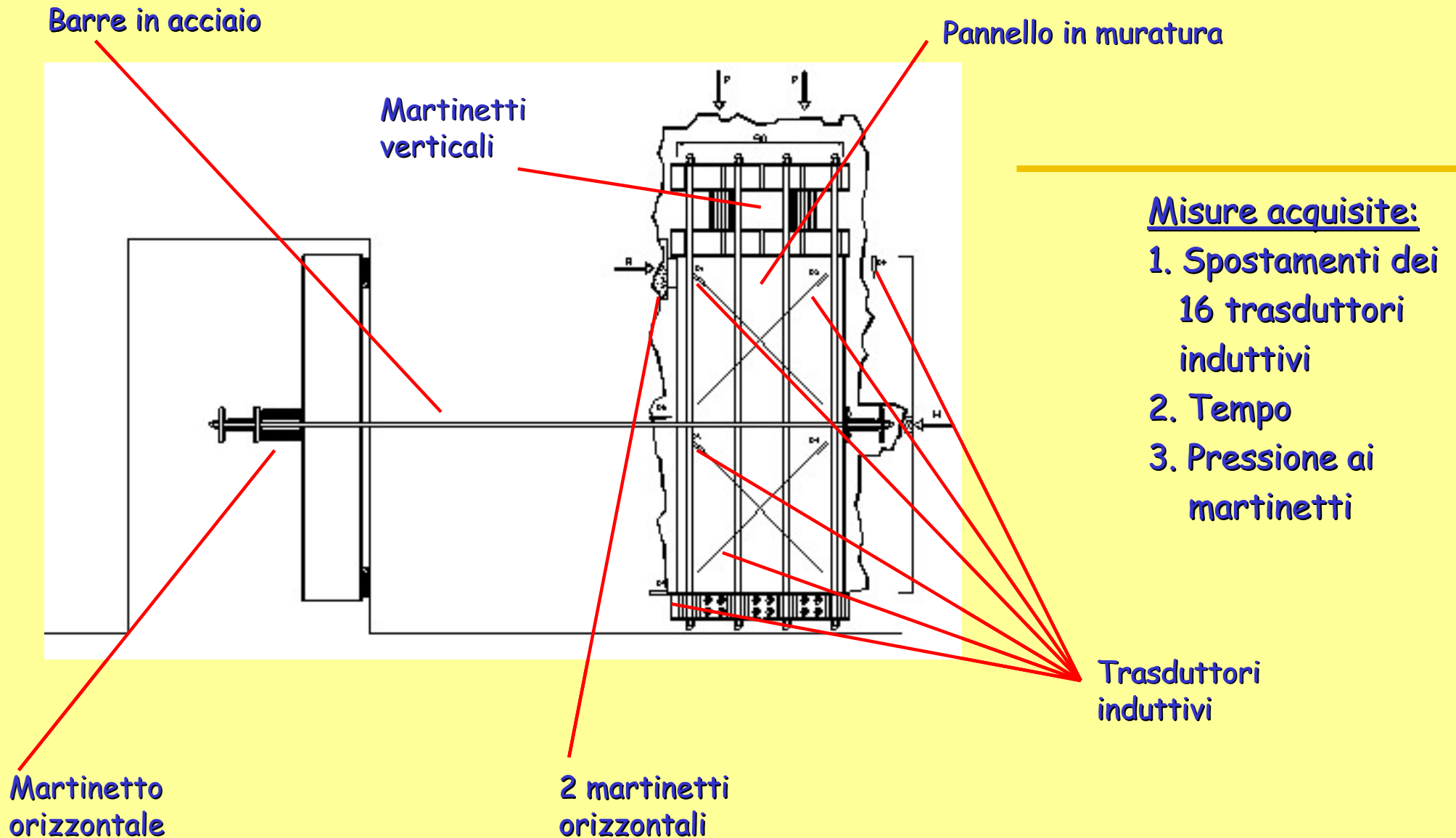


LC1
($1.5 \gamma_m$)

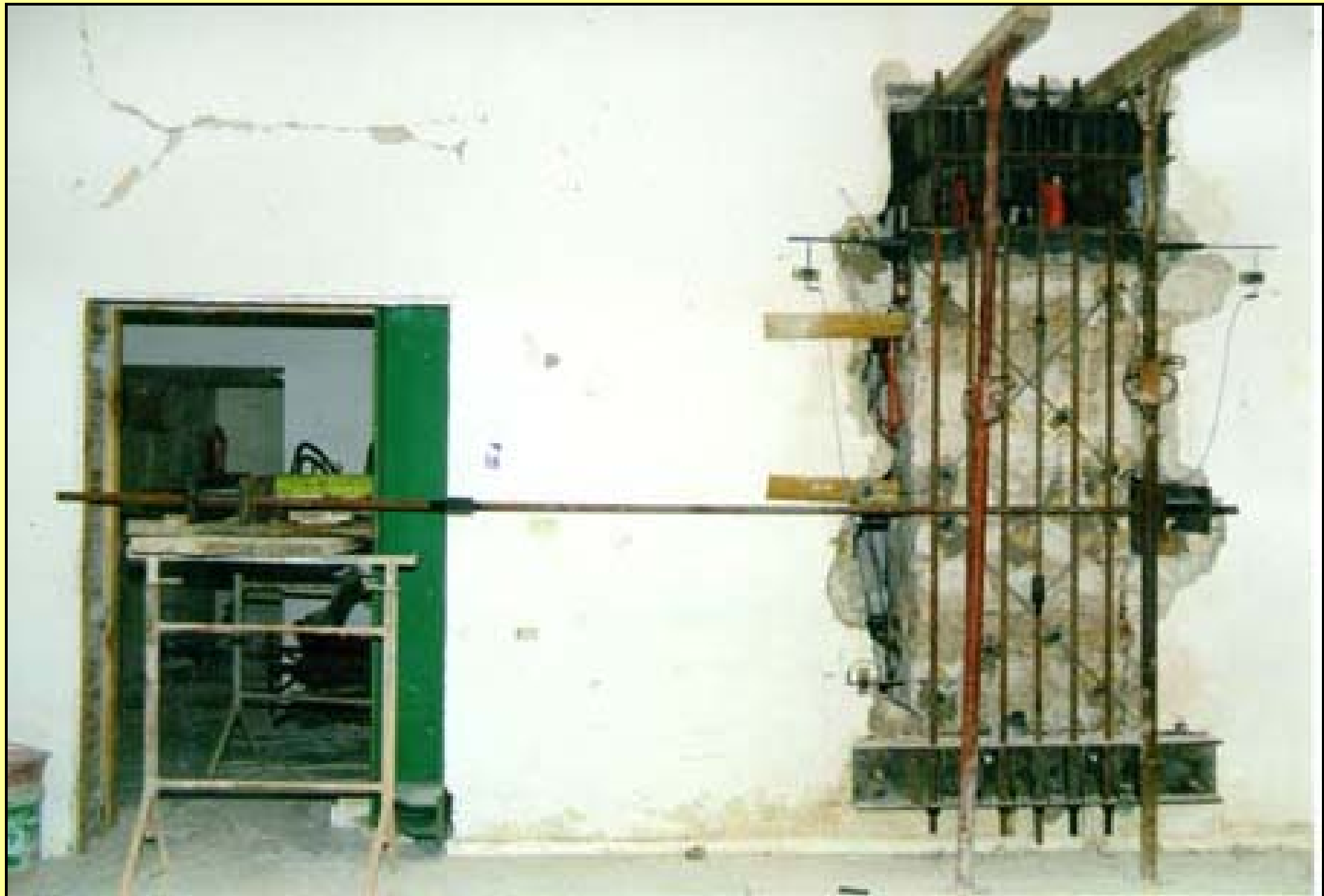
Può far sentire il tecnico “esonerato” dall’acquisire la necessaria conoscenza, evitando così di effettuare rilievi ed indagini di impegno non trascurabile.

Tale coefficiente non mette assolutamente al riparo da fattori peggiorativi ben più elevati (da 2 in su) che vengono fuori da situazioni frequenti (meccanismi di ribaltamento in murature a due paramenti o a sacco, instabilità in murature a più paramenti, tessiture non a regola d’arte, etc)

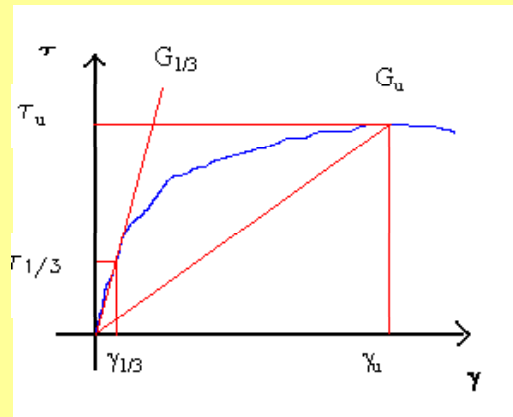
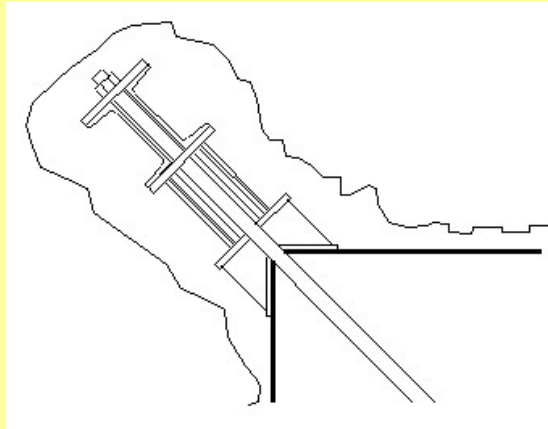
Prova di taglio-compressione



Edifici esistenti in muratura



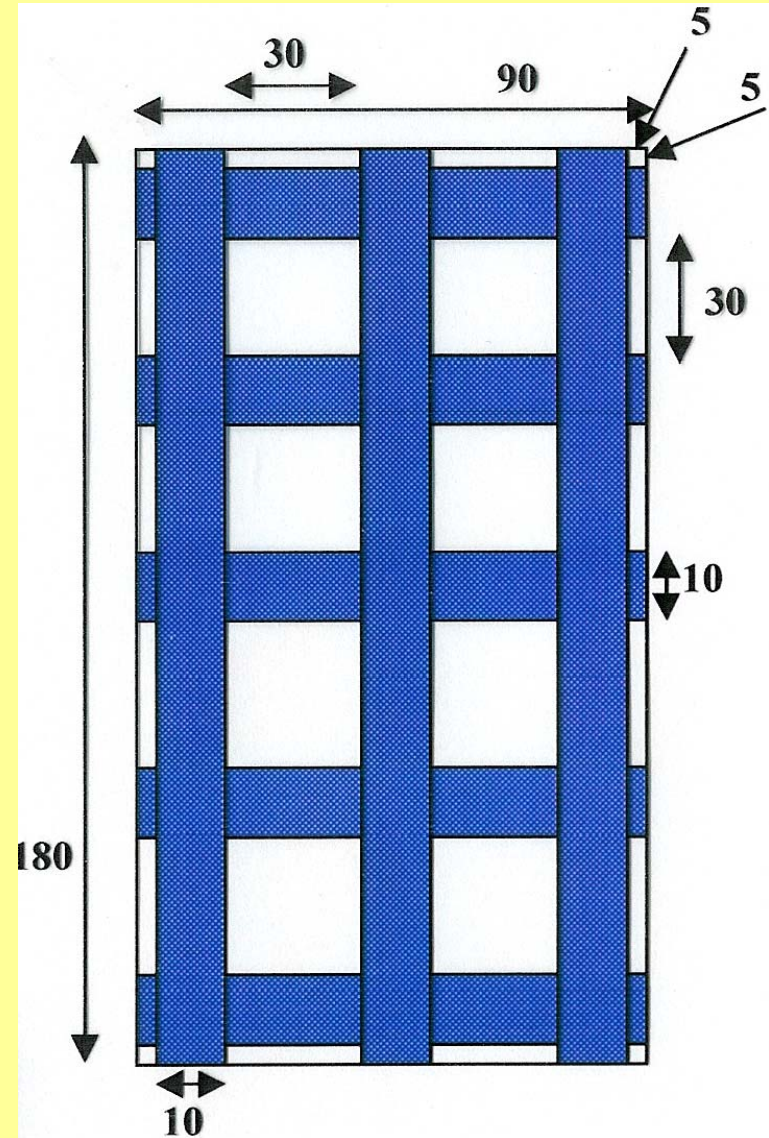
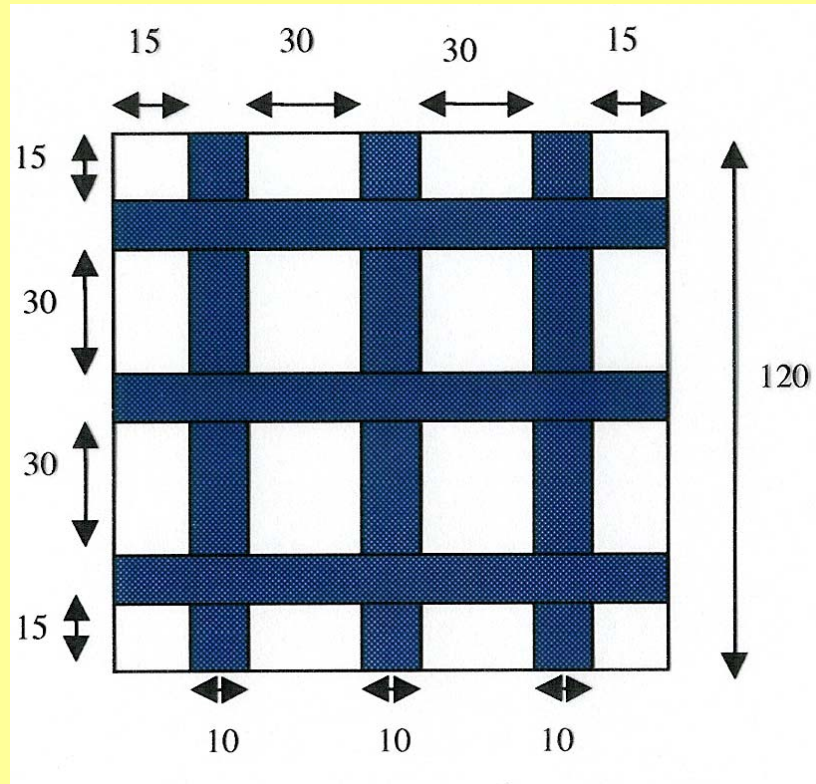
Prova di compressione diagonale



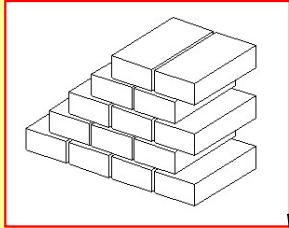
Rinforzo con iniezioni



Rinforzo con FRP



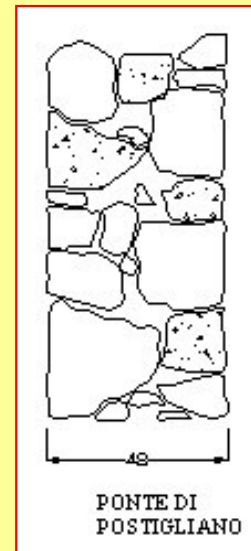
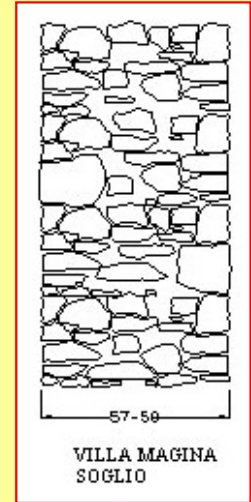
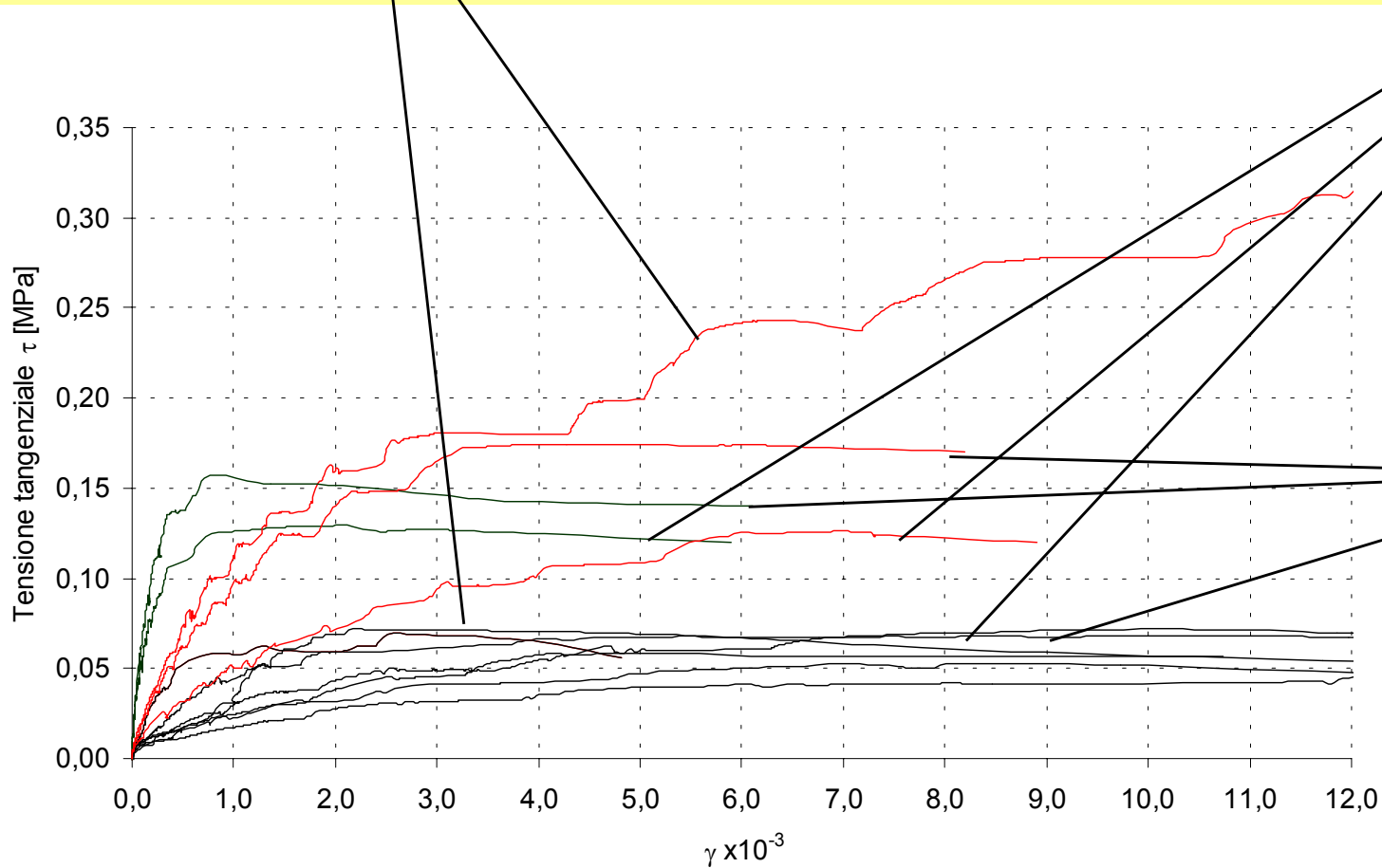
Prove diagonali



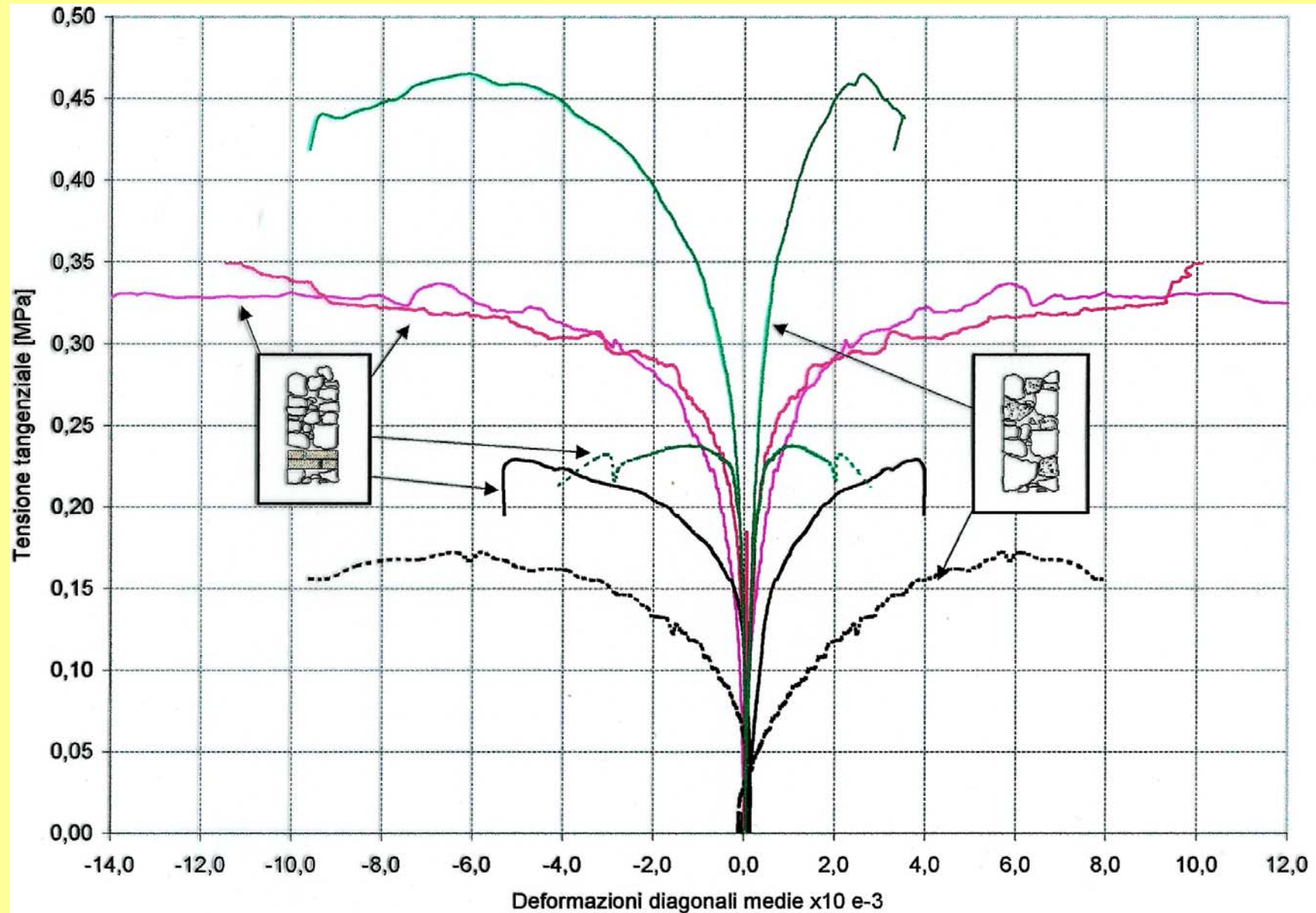
**TESSITURA IN MATTONI PIENI POSTI DI TESTA
(diatoni) E CALCE AEREA**

Pannello rinforzato con CFRP:

Incremento del 453% in termini di resistenza a taglio



Prove taglio-compressione



????

Come tratto i dati sperimentali ?
(teoria dei campioni)

Impatto sulle costruzioni esistenti (effetto EURO)

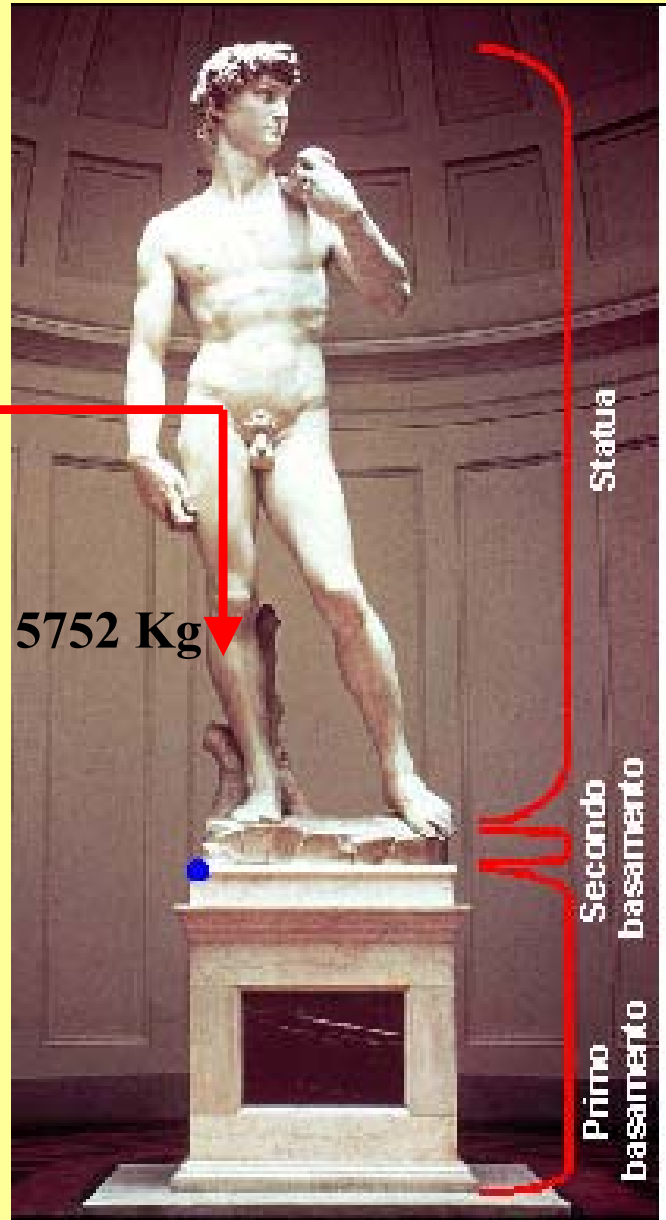
Livelli di accelerazione più che raddoppiati rispetto ai livelli di base.

Non è molto coerente con la storia

Edifici esistenti in muratura

6700 Kg

5752 Kg



Statua

Secondo
basamento

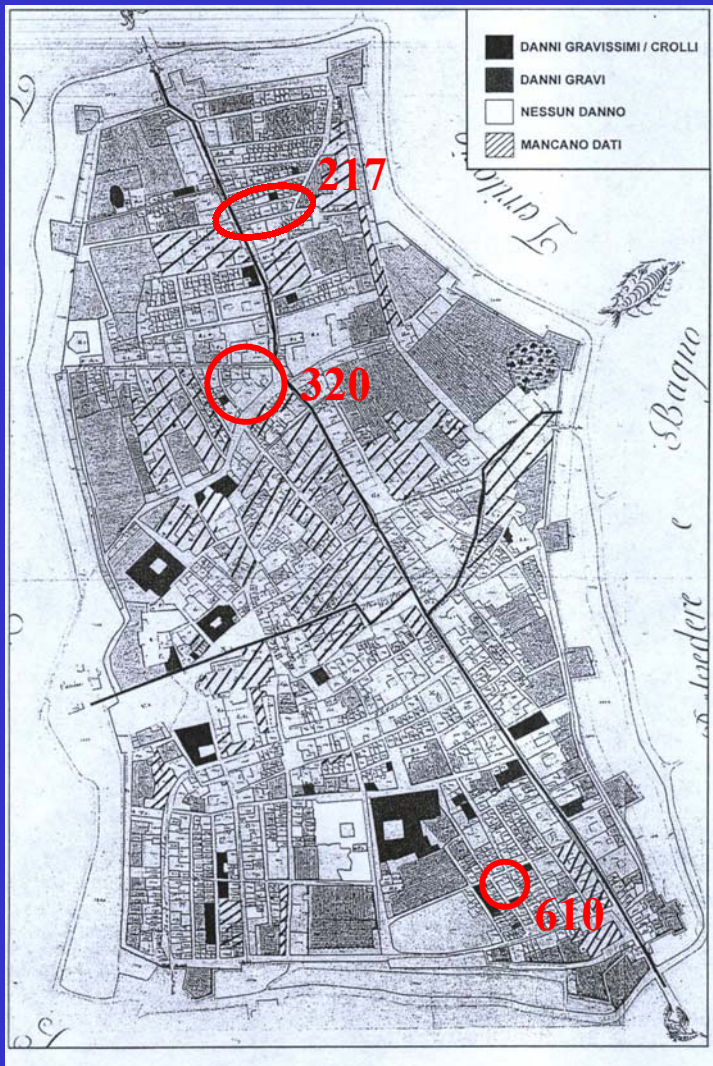
Primo
basamento

Edifici esistenti in muratura



Arena di Verona

Moltiplicatori di collasso di edifici illesi nel terremoto del 1789



217

320

610

Edificio	λ
UMI 217	0,230
UMI 320	0,252
UMI 610	0,252

λ = moltiplicatore dei carichi verticali che innesca il meccanismo esaminato. E' riportato il λ minore tra quelli trovati per i meccanismi considerati su ogni edificio.

Edifici considerati:

- Non danneggiati nel 1789
- Non modificati
- Analisi di tipo "A"

DGR 5180 miglioramento con $FA = 1,3$: $\lambda = C \times \beta \times C_{sic} \times (FA) = 0,07 \times 4 \times 0,65 \times 1,3 = 0,237$

DGR 5180 miglioramento con $FA = 2,5$: $\lambda = C \times \beta \times C_{sic} \times (FA) = 0,07 \times 4 \times 0,65 \times 2,5 = 0,455$

Edifici esistenti in muratura



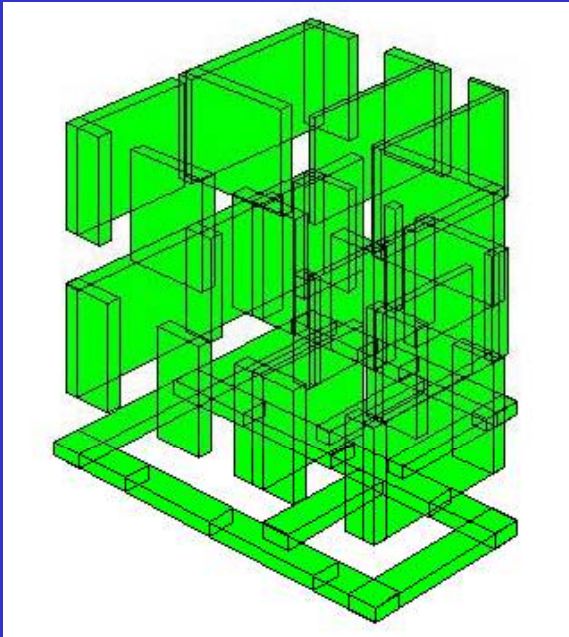
AZIONI ----- RESISTENZE

Incremento delle azioni

→ per il nuovo: maggiori dimensioni

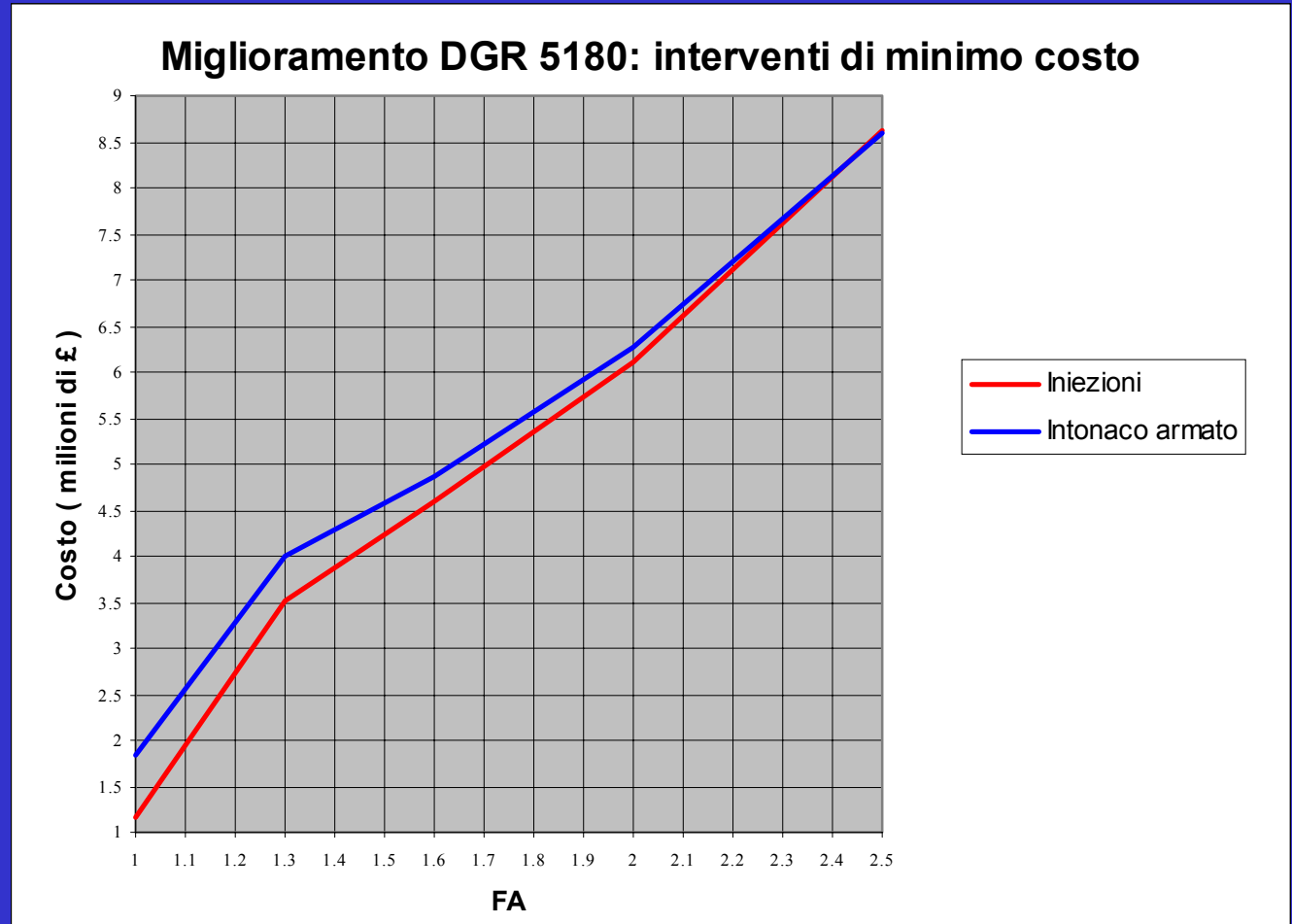
→ per l'esistente: necessità di interventi pesanti

Costi in funzione delle azioni sismiche



Edificio in muratura

$C = 0,045$



Prezziario regionale Umbria

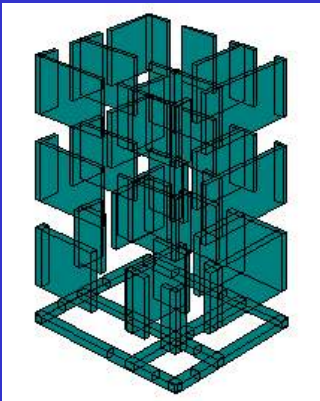
Intonaco armato su due facce : £ 107.000 m² $\tau_k = 18 \text{ t/m}^2$

Iniezioni : £ 130.000 m³ $\tau_k = 11 \text{ t/m}^2$

Al crescere di FA:

- Aumento costi
- Convenienza dell'intonaco armato rispetto alle iniezioni

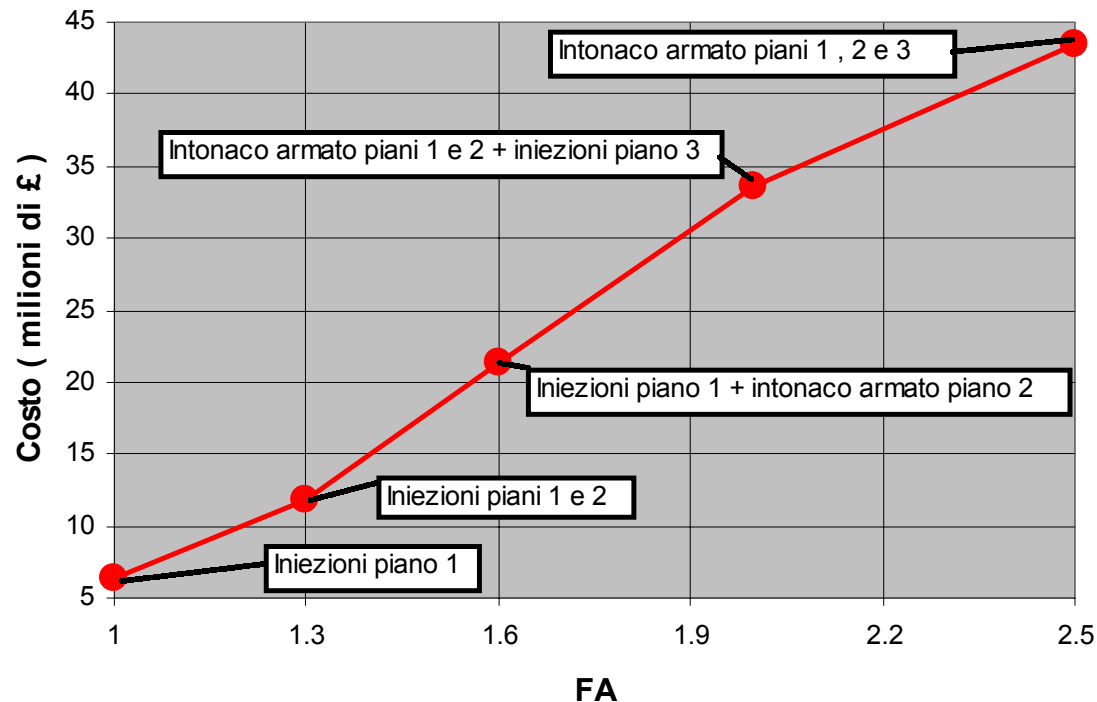
Interventi in funzione delle azioni sismiche: Pb CONSERVAZIONE



Edificio in muratura
Miglioramento

Miglioramento DGR 5180 con intervento diffuso				
FA	C (POR)	Intervento	Costo	
1	0,055	Iniezioni P1	6325800	£
1.3	0,043	Iniezioni P1	6325800	£
1.3	0,054	Iniezioni P1+P2	11778000	£
1.6	0,043	Iniezioni P1+P2	11778000	£
1.6	0,048	Iniezioni P1 + int.armato P2	21284400	£
2	0,038	Iniezioni P1 + int.armato P2	21284400	£
2	0,049	Int.armato P1 e P2 + iniezioni P3	33591150	£
2.5	0,039	Int.armato P1 e P2 + iniezioni P3	33591150	£
2.5	0,045	Int.armato P1 , P2 e P3	43383150	£

Interventi diffusi: costo in funzione di FA



Al crescere di FA:

- Aumento costi
- Necessità dell'intonaco armato per elevati valori di FA
- Necessità dell'intonaco armato su tutto l'edificio per ottenere il miglioramento con FA = 2,5

RISCHIO
CEMENTIFICAZIONE

Impatto sulle costruzioni di importanza artistica

“Per gli edifici di speciale importanza artistica, di cui all'art. 16 della legge 2 febbraio 1974 n. 64, è consentito derogare da quanto prescritto nelle presenti norme, in quanto incompatibile con le esigenze di tutela e di conservazione del bene culturale.”

“In tal caso, peraltro, è richiesto di calcolare i livelli di accelerazione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite previsto per la tipologia strutturale dell'edificio, nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento.”

In sostanza, è possibile derogare ma è richiesto di valutare di quanto si sta derogando, “in modo che sia noto il rischio teorico”.

Pb: Come si esce dal vicolo cieco del: “**ora so che dovrei, ma non posso**” ?

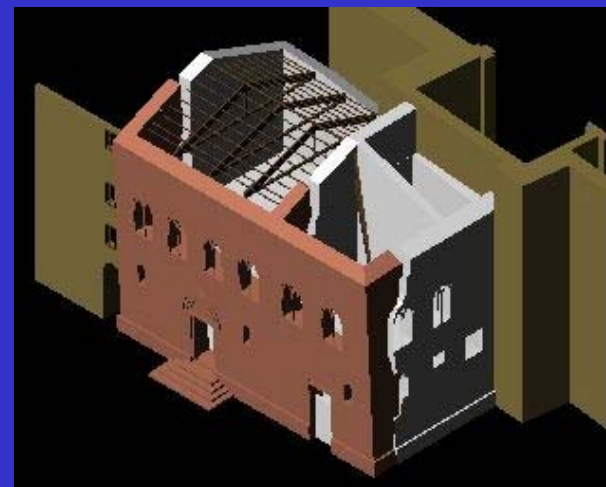
Palazzo dei Priori (Città di Castello-PG)



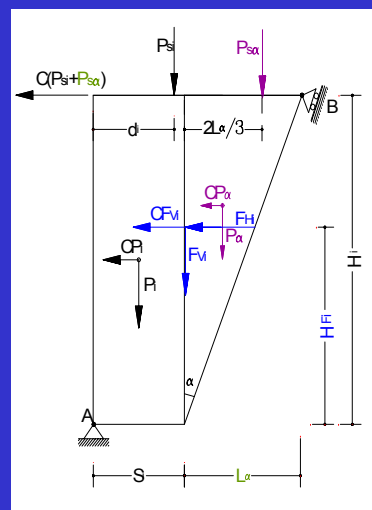
Rilievo
strutturale
dettagliato



Individuazione
cinematismi



Algoritmo
di calcolo



Valore
numerico

$$\mu_{coll} = 0,25$$

Meccanismo di
ribaltamento
della facciata

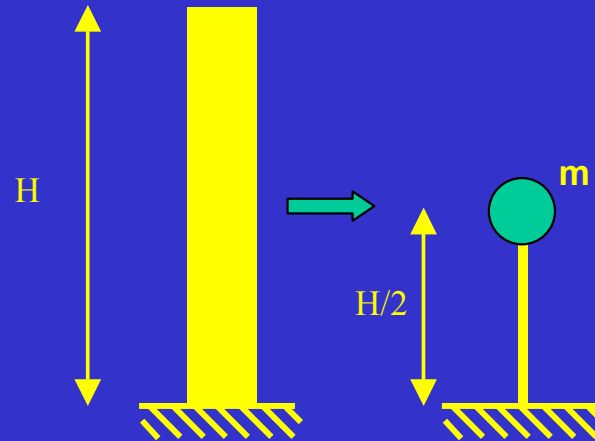
Da confrontare
con 0,39
(DM96)

Ordinanza 3274: azione sismica su Palazzo dei Priori

L'effetto dell'azione sismica potrà essere valutato considerando una forza F_a applicata al baricentro dell'elemento

$$F_a = \frac{W_a S_a \gamma_I}{q_a}$$

$$S_a = \frac{3 S a_g \left(1 + \frac{Z}{H}\right)}{g \left[1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2\right]}$$

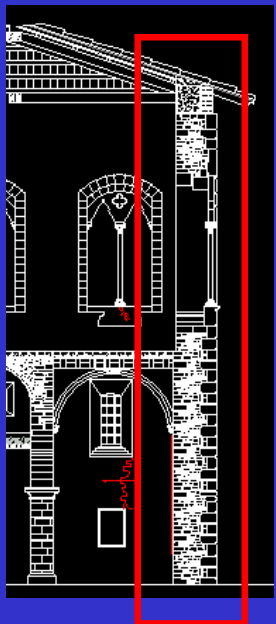


$$T_1 = 0,05 (H_{\text{edificio}})^{0,75}$$

$$T_a = 2\pi (m / K)^{0,5}$$

$$K = 12EJ / (H/2)^3$$

$$E = 1000 f_k$$



- Si trascura la spinta della volta
- Collegamenti in copertura non efficaci
- Collegamenti volta – parete assenti

$$S a_g = 0,25g$$

$$Z = 7,7 \text{ m}$$

$$H = 15,4 \text{ m}$$

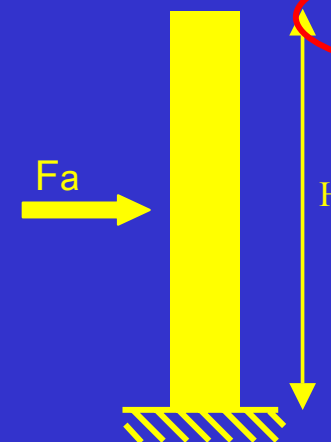
$$T_1 = 0,39 \text{ sec}$$

$$T_a = 0,33 \text{ sec}$$

$$f_k = 300 \text{ t/m}^2$$

$$q_a = 2$$

$$\gamma_I = 1,4 \text{ (edificio strategico)}$$



$$F_a = 30890 \text{ kg}$$

$$H = 15,4 \text{ m}$$

$$W_a = 40040 \text{ kg}$$

$$\lambda = F_a / W_a = 0,77$$

DM 16/1/96:

$$\lambda = 0,39$$

Ordinanza 3274: azione sismica su Palazzo dei Priori



Momento di collasso:

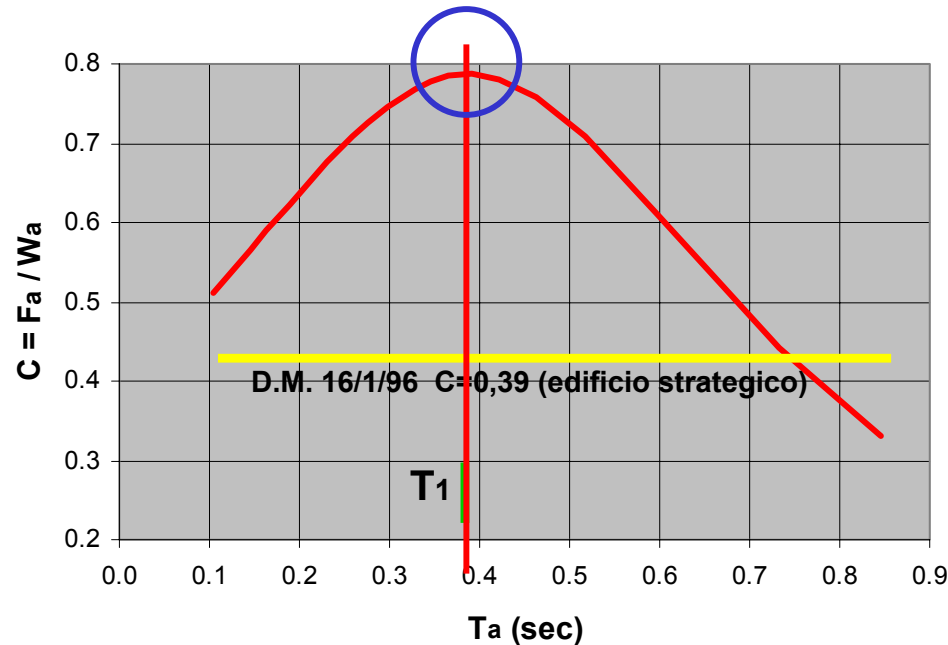
Il valore del momento di collasso sarà valutato con un diagramma delle compressioni rettangolare e un valore della sollecitazione di 0,85 fd.

$$f_d = f_k / 1,5 \gamma_M$$

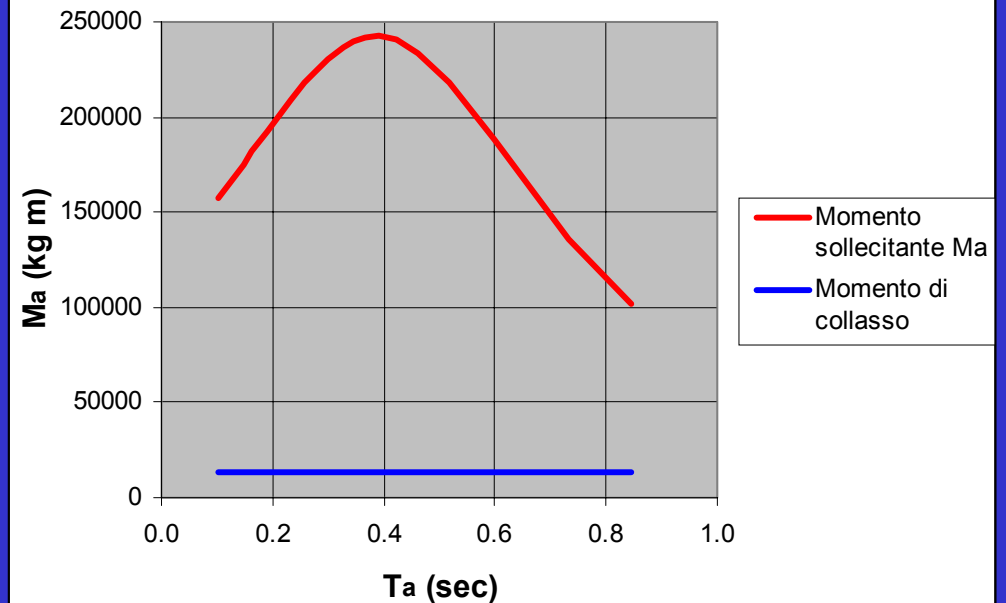
$$f_d = 300 / 3 = 100 \text{ t/m}^2$$

$$M_{\text{collasso}} = 13.192 \text{ kg m} \ll M_a = 237.849 \text{ kg m}$$

C in funzione di Ta



Ma in funzione di Ta



EDIFICI ESISTENTI

La norma riporta in dettaglio il percorso da seguire:

- 1.- Requisiti di sicurezza e criteri di verifica
- 2.- Dati per la valutazione e identificazione livello di conoscenza
- 3.- Definizione dei coefficienti parziali di sicurezza
- 4.- Valutazione della sicurezza
- 5.- Verifiche di sicurezza
- 6.- Criteri per la scelta dell'intervento
- 7.- Progetto dell'intervento
- 8.- Modelli di capacità per la valutazione
- 9.- Modelli di capacità per il rinforzo

Modellazione ed analisi

Le modifiche più sostanziali coinvolgono l'analisi globale della costruzione:

- Le verifiche devono riguardare tutti i possibili meccanismi resistenti [pressoflessione, taglio per fessurazione diagonale, taglio per scorrimento].
- Lo schema statico deve essere formulato in modo da garantire tutti gli equilibri globali e locali, considerando tutti gli elementi resistenti della costruzione.
- Nel modello devono essere considerate sia la rigidità a flessione che quella a taglio.
- La rigidità degli elementi deve tener conto della fessurazione.

Edifici esistenti in muratura

**INTERVENTI
SULL'ESISTENTE**

**VALUTAZIONE SICUREZZA
(ART. 2 - C3 ORDINANZA)**

11 - EDIFICI ESISTENTI

**VALUTAZIONE SICUREZZA
STATO FINALE**

**VALUTAZIONE SICUREZZA
STATO ATTUALE**

Comportamento globale

Comportamenti locali

**EDIFICIO
"SEMPLICE"
?**

SI

NO

**NESSUN
OBBLIGO**

**LIVELLO
CONOSCENZA**

STOP

segue...

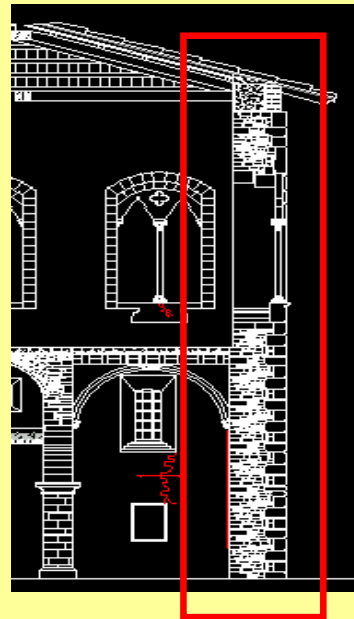
Edifici esistenti in muratura

Verifiche per *azioni ortogonali al piano*

Sono riportate a quelle di tamponature inserite all'interno di un telaio in c.a..

I valori delle azioni che devono essere applicate risultano da 2 a 4 volte superiori a quelle della precedente normativa.

Con tali valori le verifiche risultano, specie per i piani più alti, sempre negative.

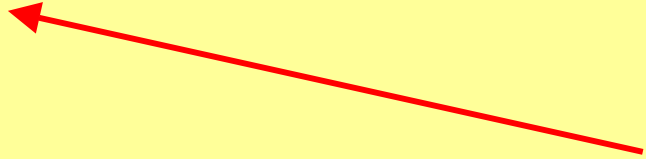


EDIFICI “SEMPLICI”

Non è necessario effettuare verifiche se l'edificio è “regolare” e, dopo l'intervento:

- le pareti ortogonali sono ben collegate
- i solai sono ben collegati alle pareti con tasselli o cordoli di piano
- le aperture sono dotate di architravi resistenti a flessione
- sono state eliminate o equilibrate le spinte degli elementi spingenti
- sono eliminati tutti gli elementi ad alta vulnerabilità, strutturali e non
- tutti i solai sono considerabili rigidi nel piano

(istigazione...)



Alcuni esempi di edifici “semplici”

Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



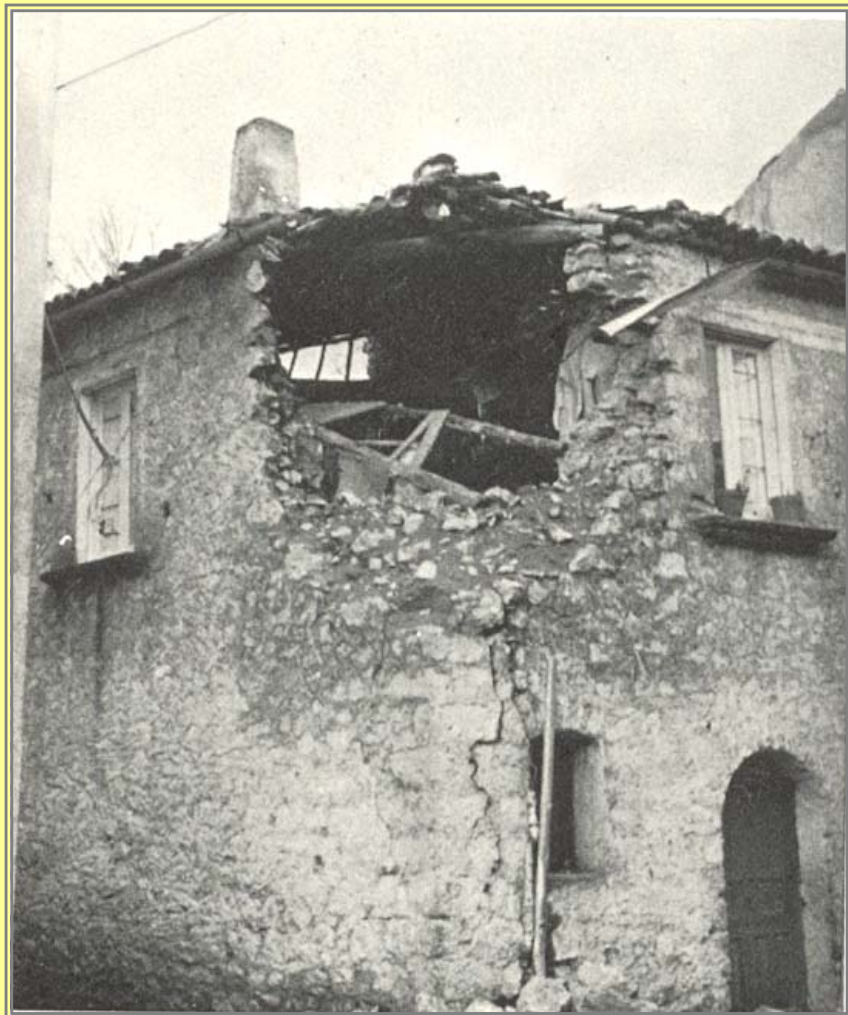
Edifici esistenti in muratura



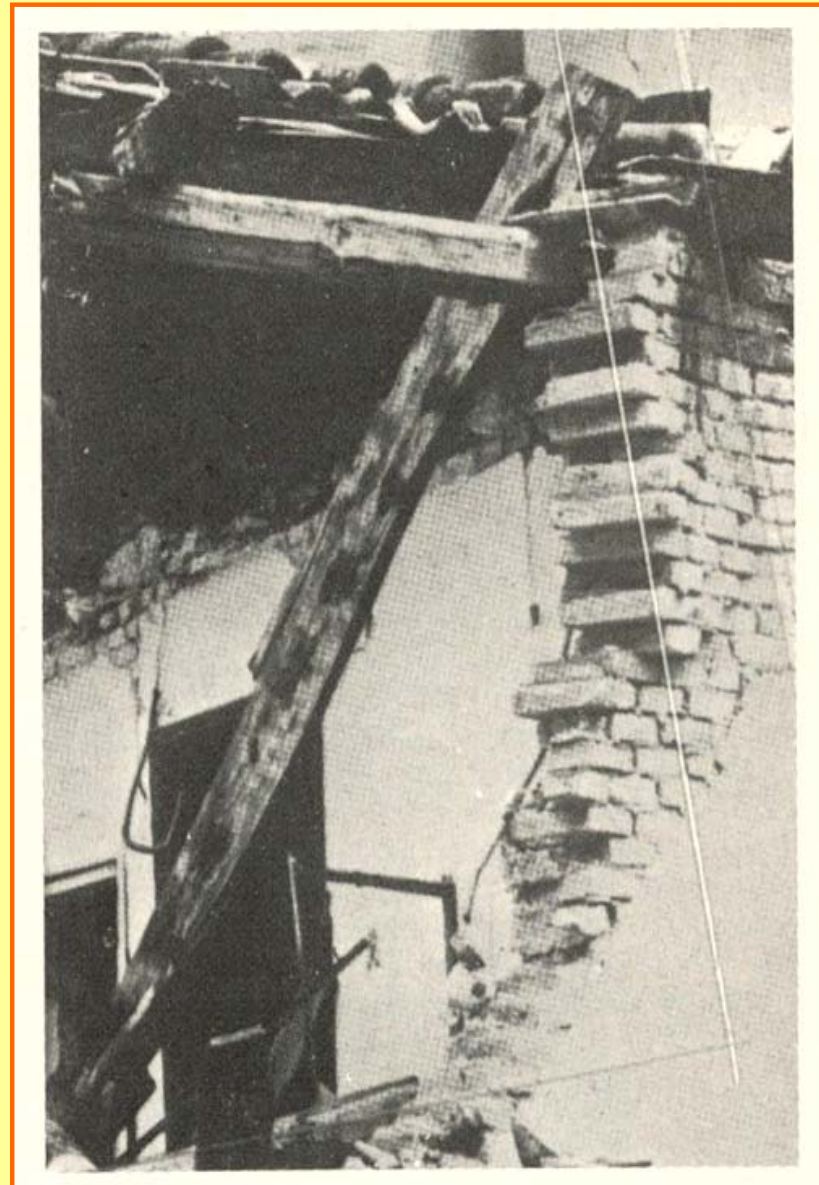
Edifici esistenti in muratura

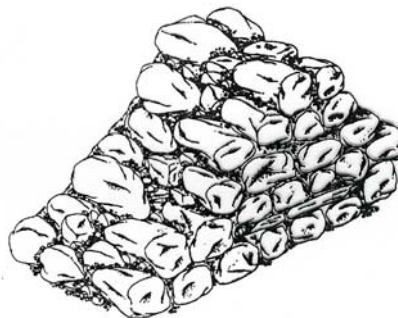
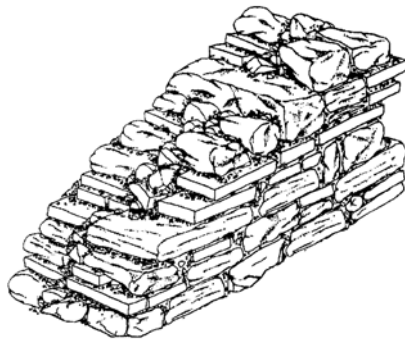
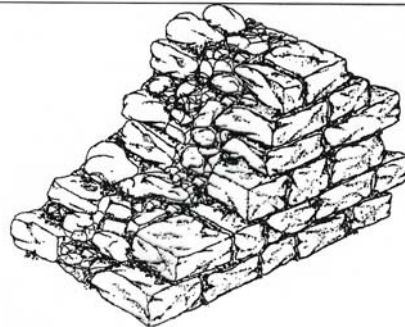
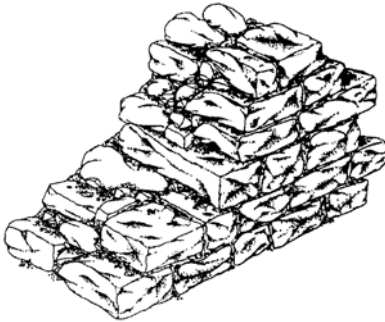
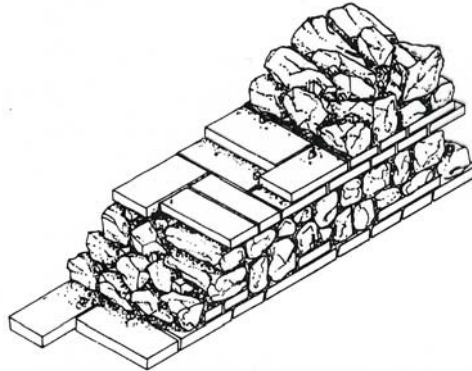
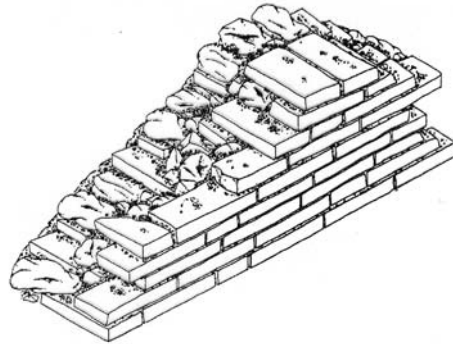
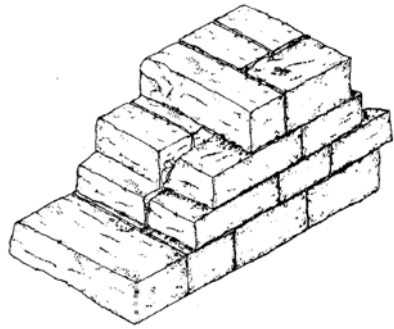


Importanza della qualità muraria



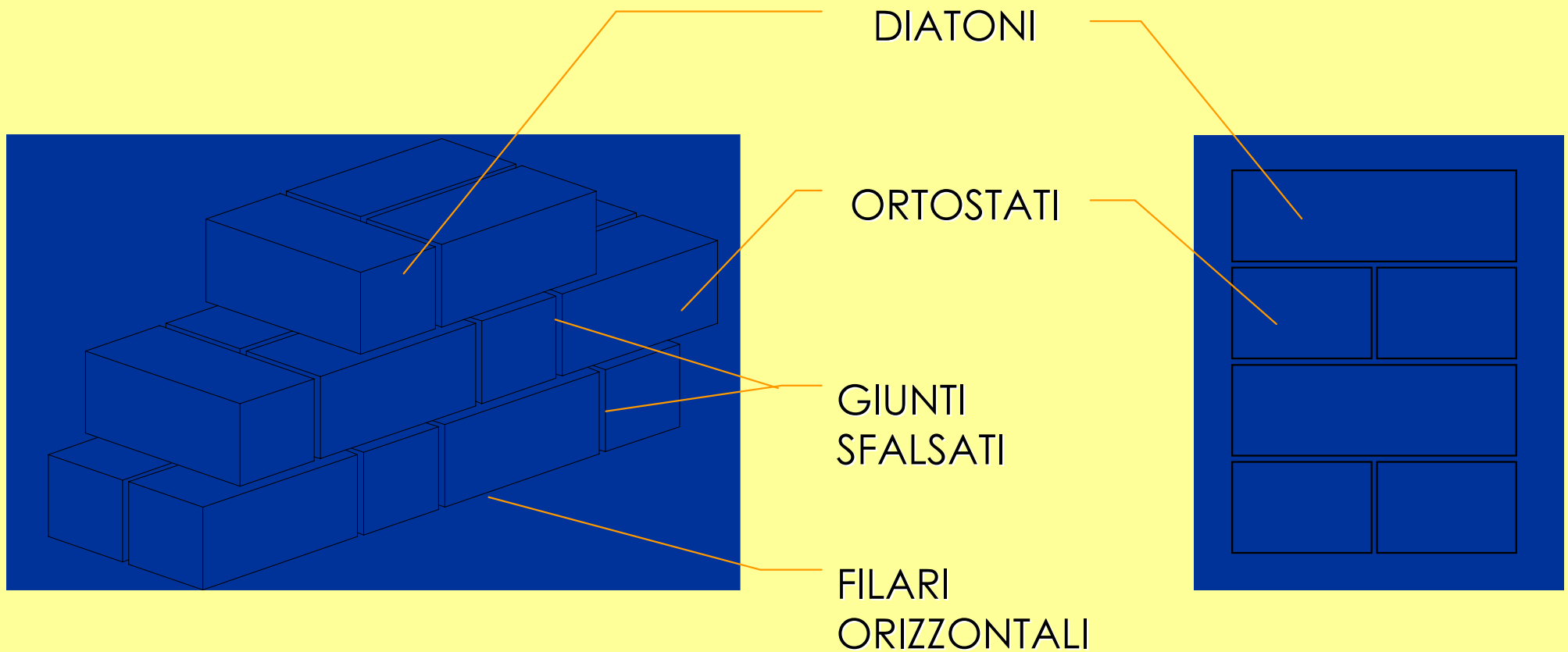
Edifici esistenti in muratura



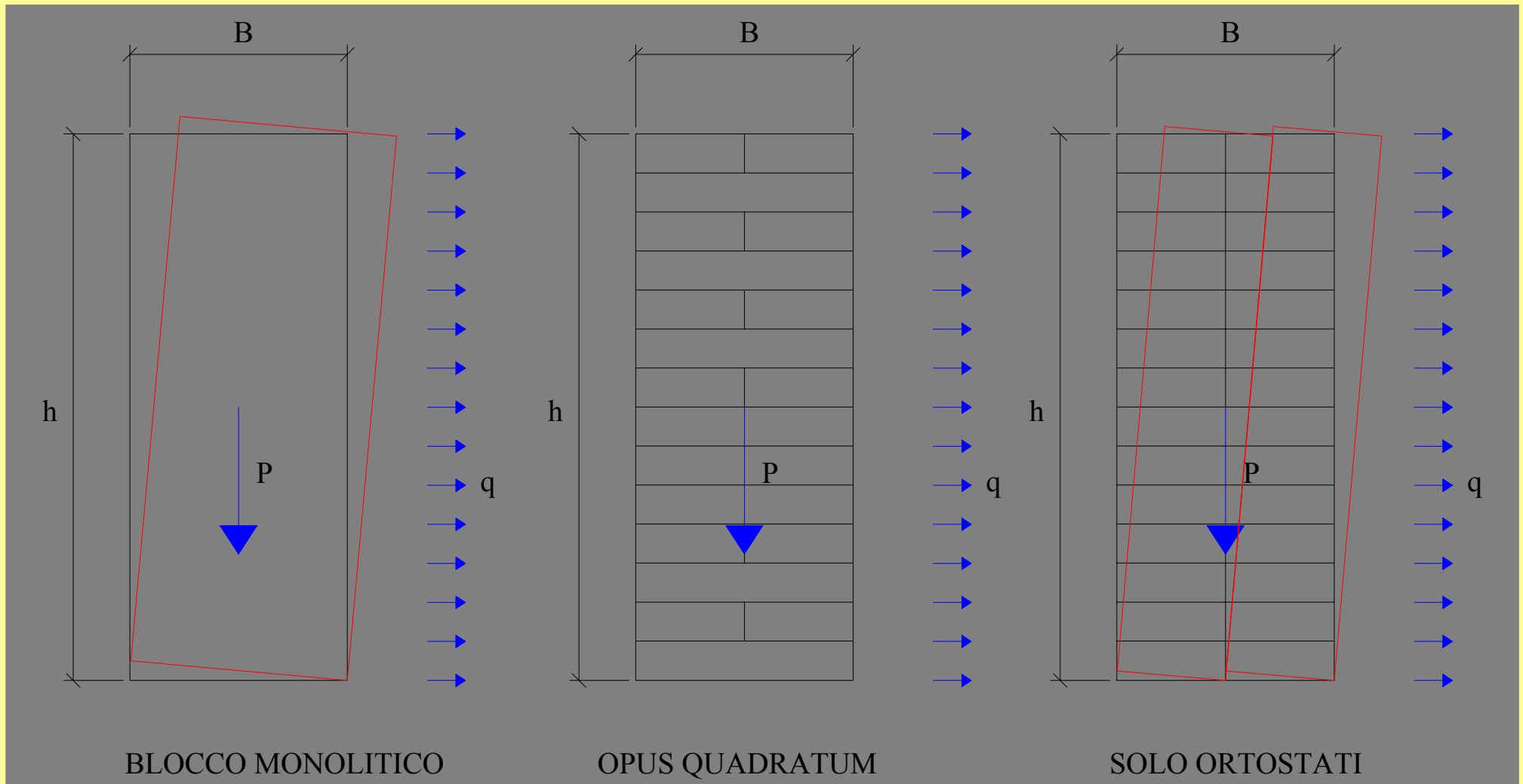


**Tipologie murarie
e comportamento
meccanico**

- Il modello di muratura isodoma per la comprensione della meccanica muraria



Edifici esistenti in muratura



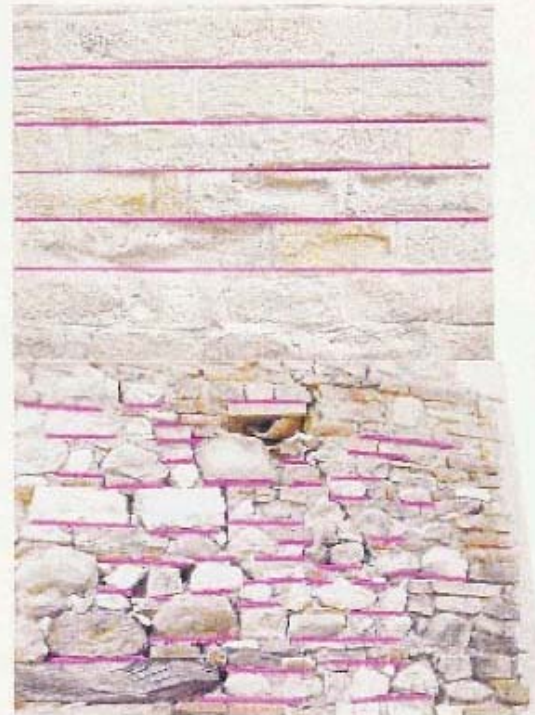
Edifici esistenti in muratura

all'altro estremo...





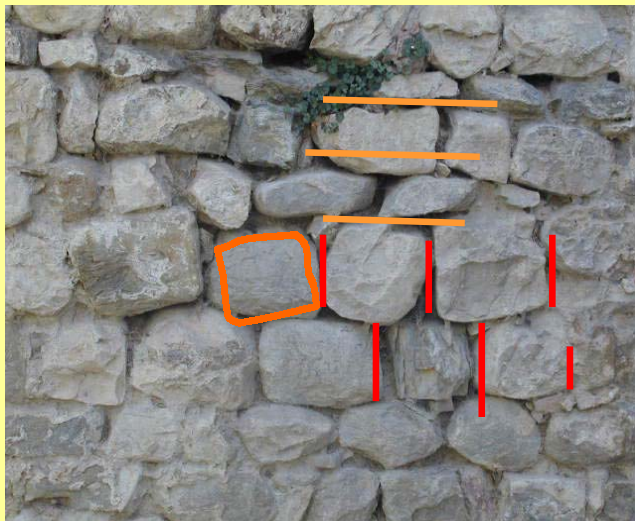
**Legge Regionale
23/10/2002 n. 18
Norme tecniche**



Attribuzione del giudizio sulla qualità muraria

Si valuta in base a:

- Orizzontalità dei filari
- Sfalsamento dei giunti verticali di malta
- Forma e dimensione degli elementi
- Presenza di diatoni
- Qualità della malta



Si ottiene un giudizio complessivo per cui si distinguono:

•Murature di tipologia “A”:

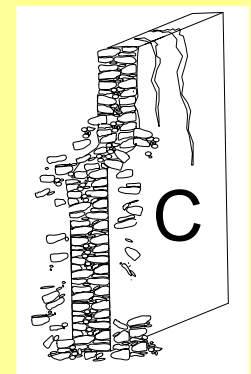
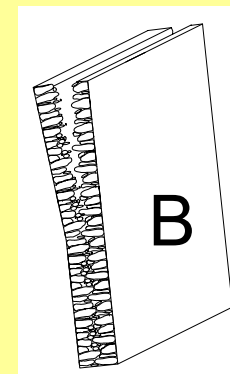
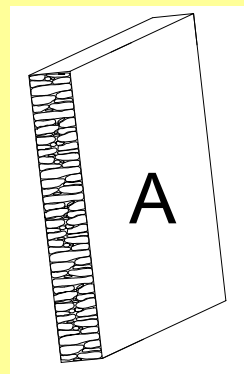
Di buona qualità, realizzata secondo le indicazioni suggerite dalla “regola dell’arte”. Comportamento monolitico

Murature di tipologia “B”:

di media qualità, realizzata secondo alcune indicazioni della “regola dell’arte”. Comportamento a “doppia cortina”

Murature di tipologia “C”:

di qualità scadente, non realizzata nel rispetto della “regola dell’arte”, associabile a situazioni di insufficienza statica (schiacciamento e pressoflessione) e non valutabili in uno studio di carattere sismico con il metodo dei macroelementi



Edifici esistenti in muratura

ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ' MURARIA

PRESENZA DI FILARI ORIZZONTALI	OR	Rispettati Parzialmente rispettati Non rispettati
SFALSAMENTO DEI GIUNTI VERTICALI	SF	Rispettati Parzialmente rispettati Non rispettati
FORMA E DIMENSIONE DELLE PIETRE	FD	Regolari – Grandi Regolari - Medie Parzialmente regolari – Medio piccole Irregolari – Medio piccole Irregolari - Piccole
PRESENZA DI DIATONI	PD	Presenti (o muratura ad 1 testa) Parzialmente presenti Non presenti
QUALITÀ DELLA MALTA	MA	Malta idraulica in buono stato Malta a base di calce in buono stato Malta scadente

Edifici esistenti in muratura

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA			
TIPOLOGIA MURARIA		Esempio: B3	
OR	Rispettati	2	2
	Parzialmente rispettati	1	
	Non rispettati	0	
SG	Rispettati	2	2
	Parzialmente rispettati	1	
	Non rispettati	0	
FD	Regolari – Grandi	2	1
	Regolari – Medie	1.5	
	Parzialmente regolari – Medio piccole	1	
	Irregolari – Medio piccole	0.5	
	Irregolari - Piccole	0	
PD	Rispettati (o muratura ad 1 testa)	2	0
	Parzialmente rispettati	1	
	Non rispettati	0	
MA	Malta idraulica in buono stato	2	0
	Malta a base di calce in buono stato	1	
	Malta scadente	0	
	INDICE DI QUALITA' MURARIA	I.Q.	5
	CATEGORIA CORRISPONDENTE		B

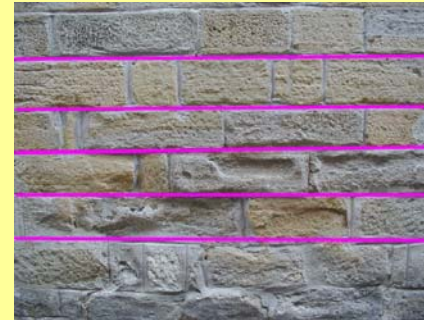
GUIDA ALLA COMPILAZIONE DELLE SCHEDE DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA

OR - ORIZZONTAMENTI

ORIZZONTAMENTI RISPETTATI

Si definiscono orizzontamenti rispettati, quando occupano interamente la lunghezza del paramento murario.

Inoltre devono essere diffusi per tutta l'altezza del muro, senza presentare interruzioni di continuità.



PARZIALMENTE RISPETTATI

Quando la loro diffusione interessa parzialmente (3/4) l'intera lunghezza della parete muraria.

Devono inoltre essere diffusi per gran parte dell'altezza del pannello murario, presentando solo localmente delle interruzioni di continuità.



NON RISPETTATI

Quando gli orizzontamenti sono continuamente interrotti o presentano evidenti sfalsamenti lungo l'intera parete muraria.



Edifici esistenti in muratura

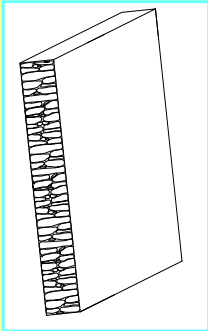
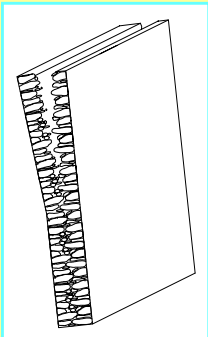
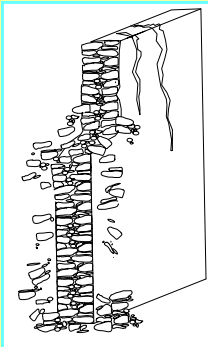
GUIDA ALLA COMPILAZIONE DELLE SCHEDE DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA

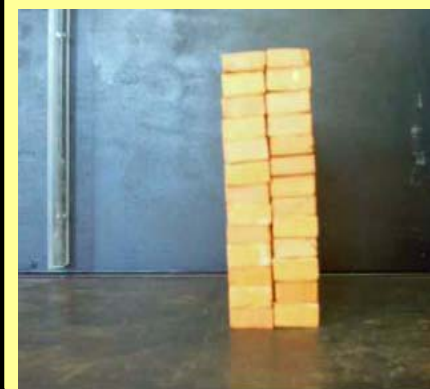
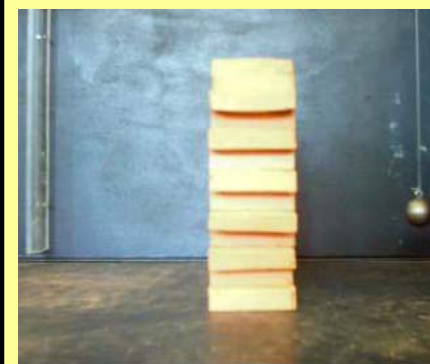
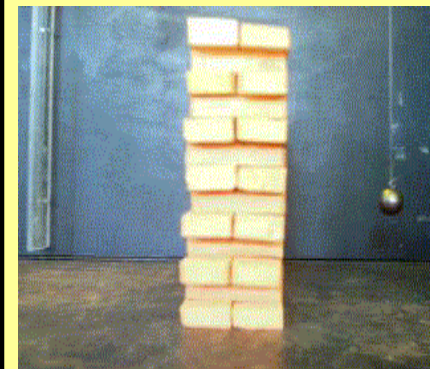
SG - SFALSAMENTO DEI GIUNTI VERTICALI DI MALTA

<p>RISPETTATI</p> <p>Quando, diffusamente nella muratura, il giunto verticale di malta si trova in corrispondenza della zona centrale dell'elemento inferiore.</p>	
<p>PARZIALMENTE RISPETTATI</p> <p>Quando, diffusamente nella muratura, il giunto verticale di malta si trova nelle vicinanze del giunto verticale inferiore, ma non è allineato con esso.</p>	
<p>NON RISPETTATI</p> <p>Quando i giunti verticali di malta, relativi ai vari orizzontamenti (se presenti) si trovano allineati; oppure come nel caso in figura i giunti si allineano verticalmente interessando 2 o più elementi.</p>	

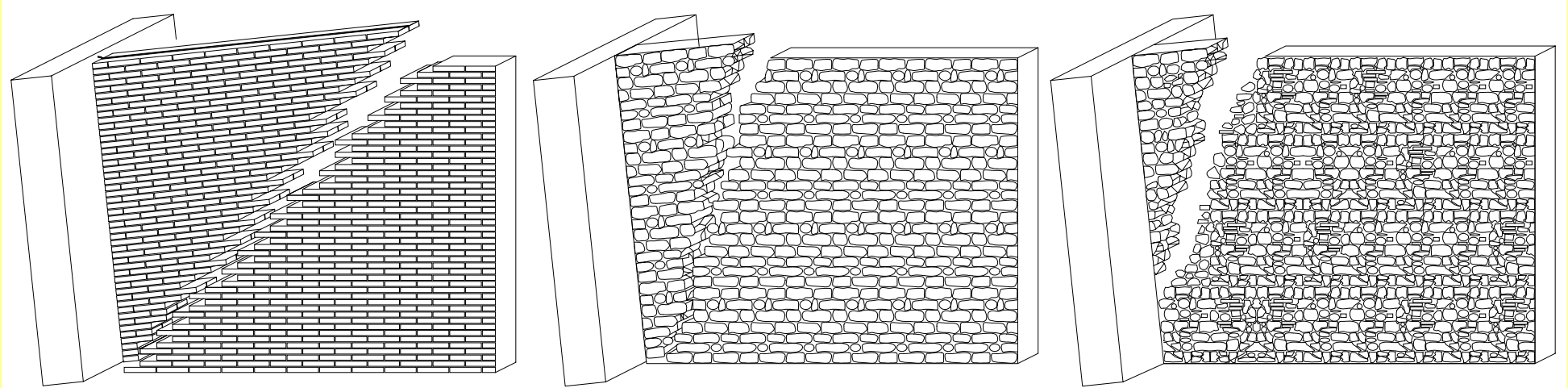
Edifici esistenti in muratura

INDIVIDUAZIONE DELLE CATEGORIE (FUORI DEL PIANO)

CATEGORIA	DESCRIZIONE	COMPORAMENTO	INDICE QUALITA'
A	Muratura di ottima qualità, realizzata secondo le indicazioni suggerite dalla "regola dell'arte", caratterizzata da un possibile meccanismo di collasso di primo modo.		$10 \geq I.Q. \geq 8$
B	Muratura di media qualità, realizzata secondo alcune indicazioni suggerite dalla "regola dell'arte", che manifesta comportamenti dipendenti al tipo di apparecchio murario.		$7.5 \geq I.Q. \geq 3$
C	Muratura di qualità scadente, non realizzata nel rispetto della "regola dell'arte", per la quale è prevedibile un tipo di collasso che consiste nella frantumazione dell'opera muraria.		$2.5 \geq I.Q. \geq 0$



INDIVIDUAZIONE DELLE CATEGORIE PER AZIONI NEL PIANO



A - muro di buona qualità con un angolo caratteristico tra 30 e 45 gradi

B - muro di media qualità con un angolo caratteristico tra 15 e 30 gradi


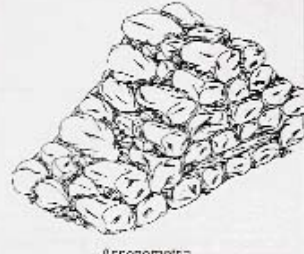




C - muro di scarsa qualità con un angolo caratteristico tra 0 e 15 gradi

“angolo
caratteristico”



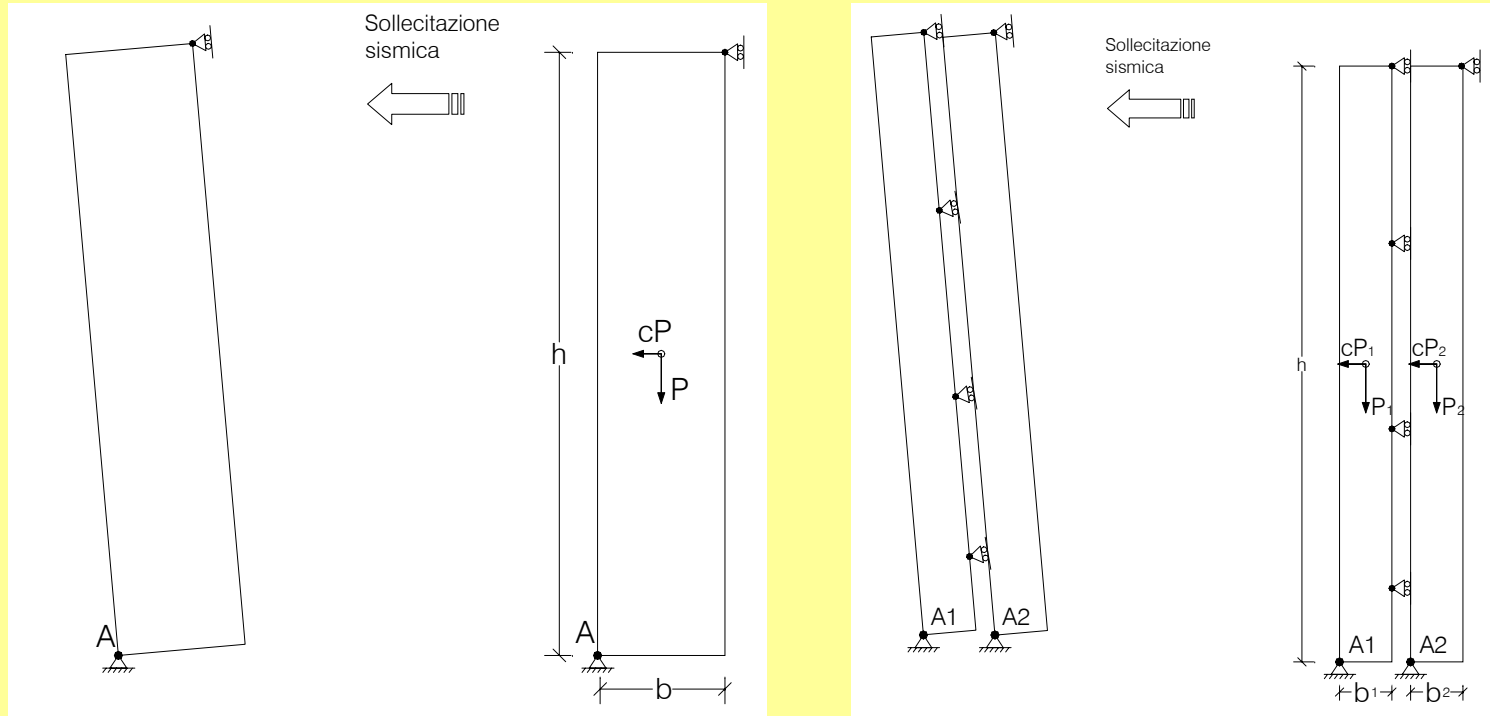
Esempi di schede

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA					NUM. 18			
					FOTO			
 <p>Assonometria</p>			 <p>Prospetto</p>		 <p>Sezione</p>		SCHEMI	
<p>Muratura mista di ciottoli e pietrame con paramento di pietra perfettamente squadrata.</p> <p>Il paramento esterno è costituito da conci di pietra lavorati: si tratta in genere della pietra calcarea bianca o rosa e talvolta di arenaria. Gli elementi sono posti in opera a filari regolari di altezze non molto diverse. I conci posti di chiave si alternano con una certa regolarità a quelli di fascia e possono raggiungere dimensioni di 70-80 cm. Spesso si riscontra questa muratura al piano terra di edifici che ai piani superiori presentano invece murature di altro tipo. All'interno sono presenti ciottoli e pietre appena sbazzate.</p>							DESCRIZIONE	
<p>Calcani bianchi e rossi, duri e compatti. Macigno di Scheggia o Gubbio; grigio, simile alla pietra serena toscana. Pietra serena del Trasimeno e dell'altotevere: colore grigiastro, con talvolta infiltrazioni giallo marronastre.</p> <p>Malta di calce e sabbia spesso polverulenta ma sufficiente ad assicurare il contatto tra i blocchi. I giunti esterni sono di malta di calce con sabbia o polvere di cava (da qui il colore rosa che spesso si osserva nelle malte con cui sono murati i calcari rossi).</p>							MATERIALI	
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 20 ÷ 60 cm h = 15 ÷ 20 cm l = 15 ÷ 70 cm</p>							GEOMETRIA	
OR	SG	FD	PD	MA	INDICE QUALITÀ	CATEGORIA	CLASSE	
2	1	1	3	1	8	A		

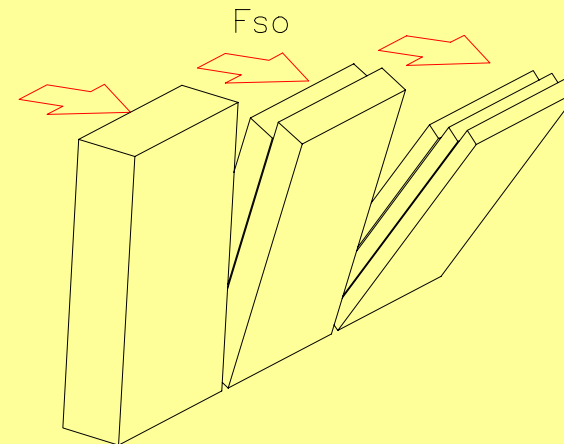
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA					NUM. 24			
					FOTO			
 <p>Assonometria</p>			 <p>Prospetto</p>		 <p>Sezione</p>		SCHEMI	
<p>Muratura di ciottoli legati con malta di calce e sabbia misti a pietrame e scaglie di pietra.</p> <p>Il paramento esterno è costituito da grossi ciottoli spaccati nel mezzo e posti con il lato fratturato sul fronte del muro e la dimensione maggiore secondo la profondità. I ciottoli sono sistemati a filari orizzontali di differenti altezze, con i letti regolarizzati da frammenti di pietrame e malta grossa o da scaglie di pietra poste orizzontalmente. Il paramento interno si differenzia da quello esterno solo per una minore cura nella scelta degli elementi e nella regolarità dei filari. Per elevati spessori dei muri si possono formare superfici di distacco lungo piani verticali interni al sotto per la presenza di un nucleo irregolare formato da piccoli ciottoli o materiale minuto.</p> <p>Ciottoli di fiume spesso di arenaria. Malta di calce e sabbia spesso polverulenta.</p>							DESCRIZIONE	
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 15 ÷ 25 cm h = 8 ÷ 15 cm l = 15 ÷ 30 cm</p>							MATERIALI	
OR	SG	FD	PD	MA	INDICE QUALITÀ	CATEGORIA	CLASSE	
1	0	0	0	0,5	1,5	C		

Comportamento per azioni ortogonali al piano

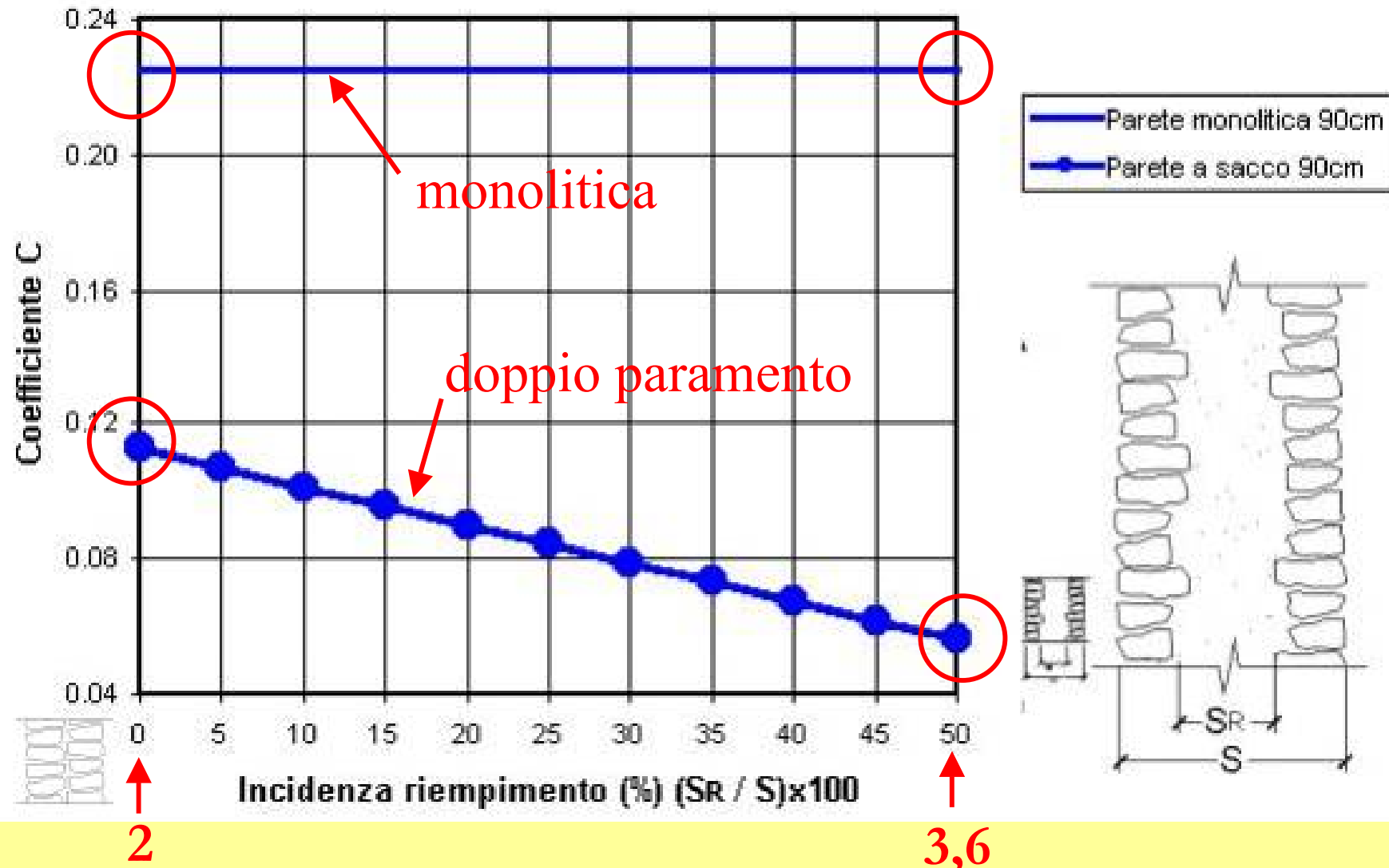
Qualità muraria:
singolo
e doppio
paramento



**Rapporto tra i
coefficienti di
collasso $\gg 50\%$**



Coefficiente C per pareti a sacco e monolitiche

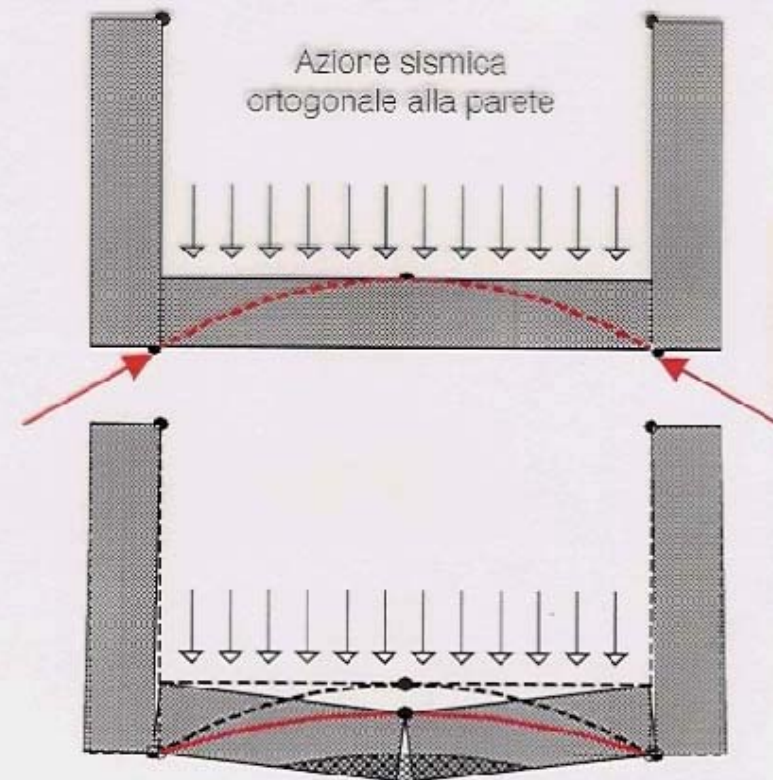


Edifici esistenti in muratura

DANNI DERIVANTI DALLA CATTIVA QUALITA' DELLE MURATURE

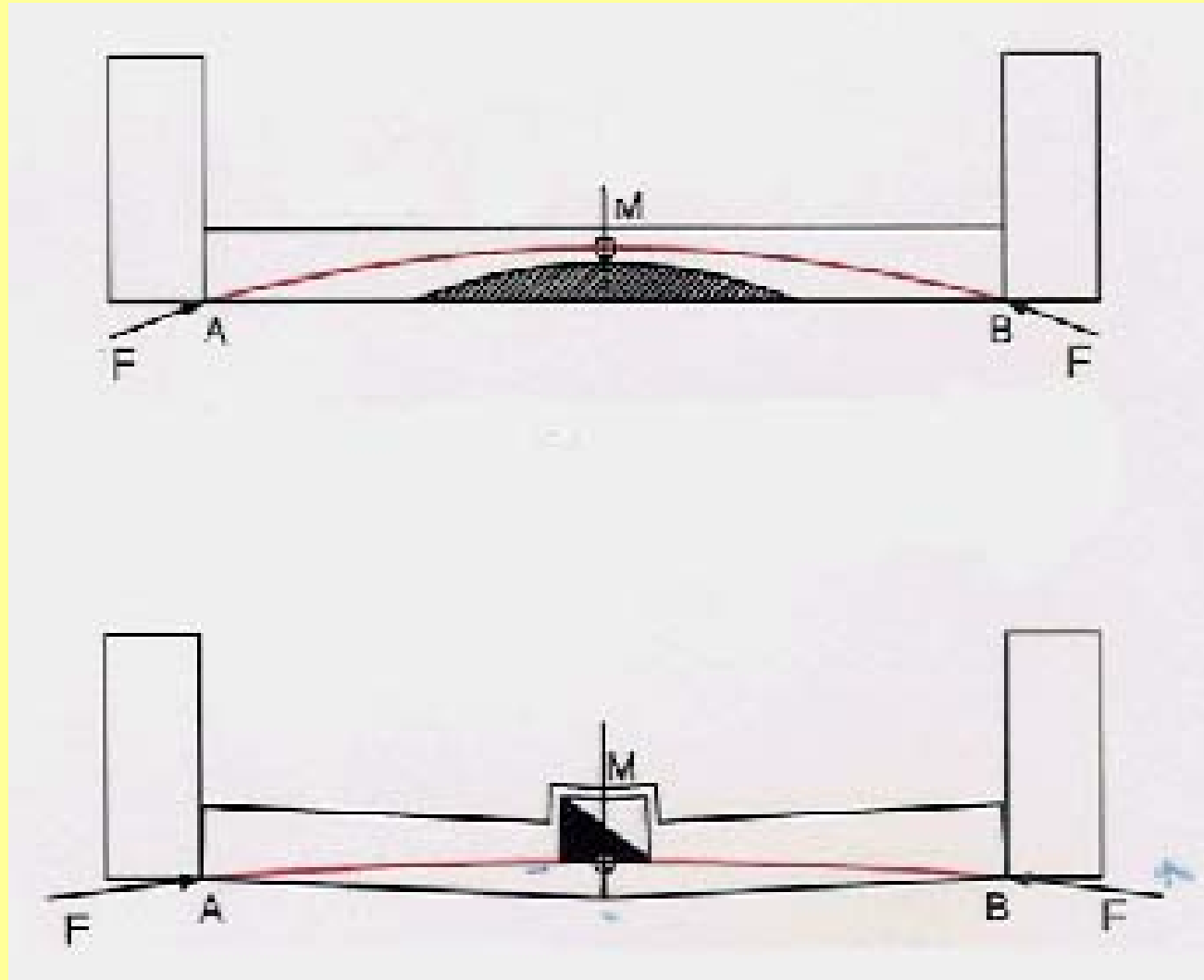
(fotografie relative al sisma del Settembre '97 e successivi)

Sche
MU

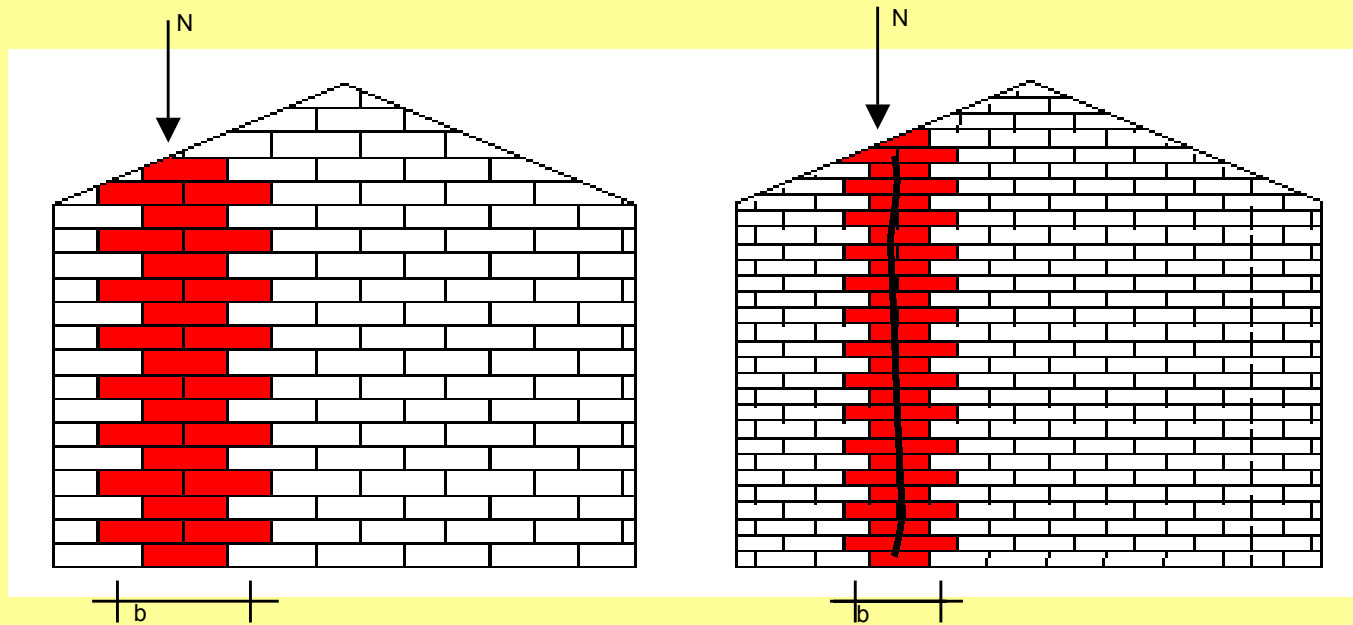


Una modalità di collasso tipica per le tipologie murarie C riconducibile al funzionamento ad «arco» che si innesca nel spessore del paramento per azioni sismiche ortogonali.

Qualità muraria: i vuoti

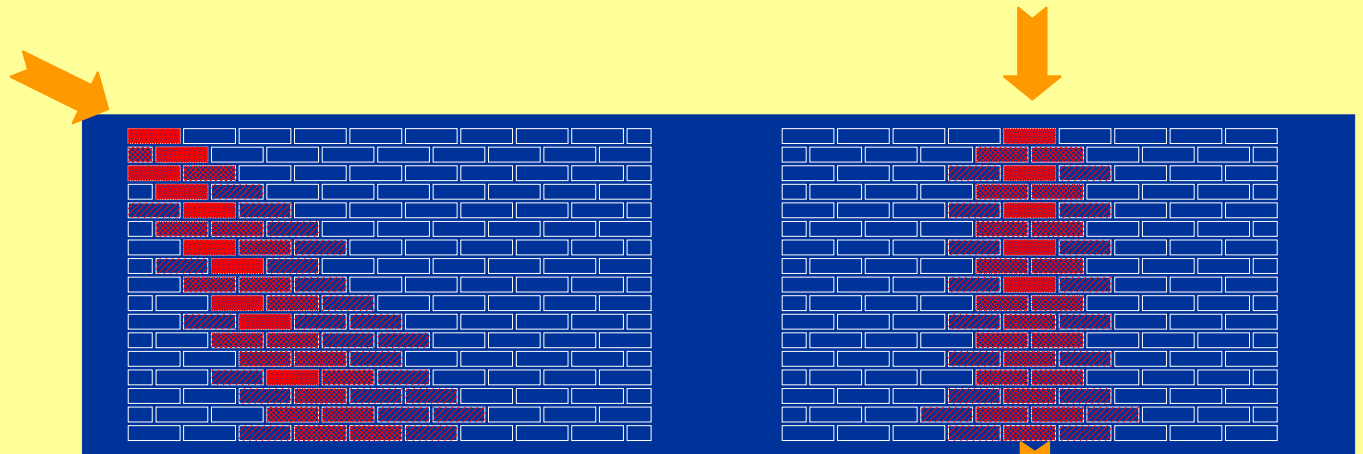


Dimensione degli inerti

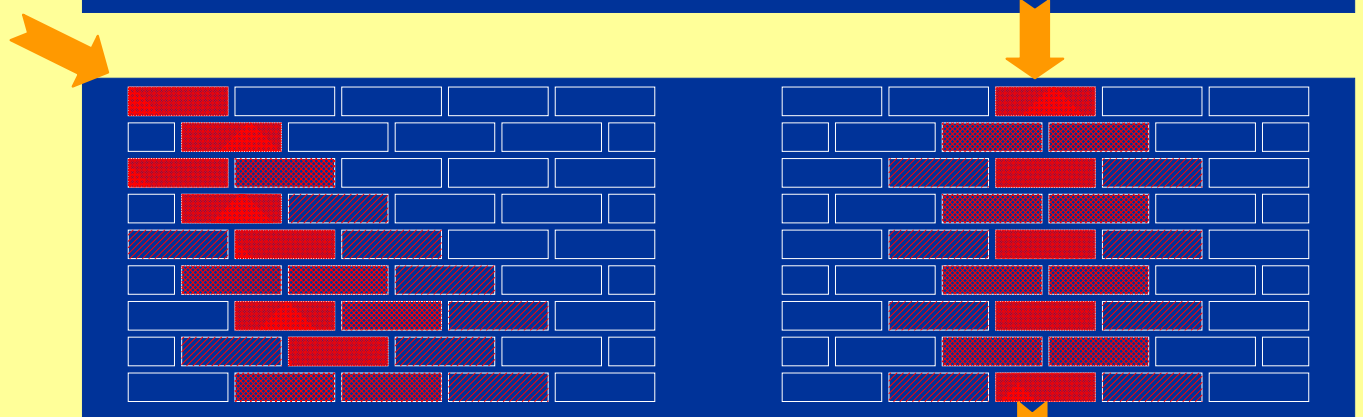


Edifici esistenti in muratura

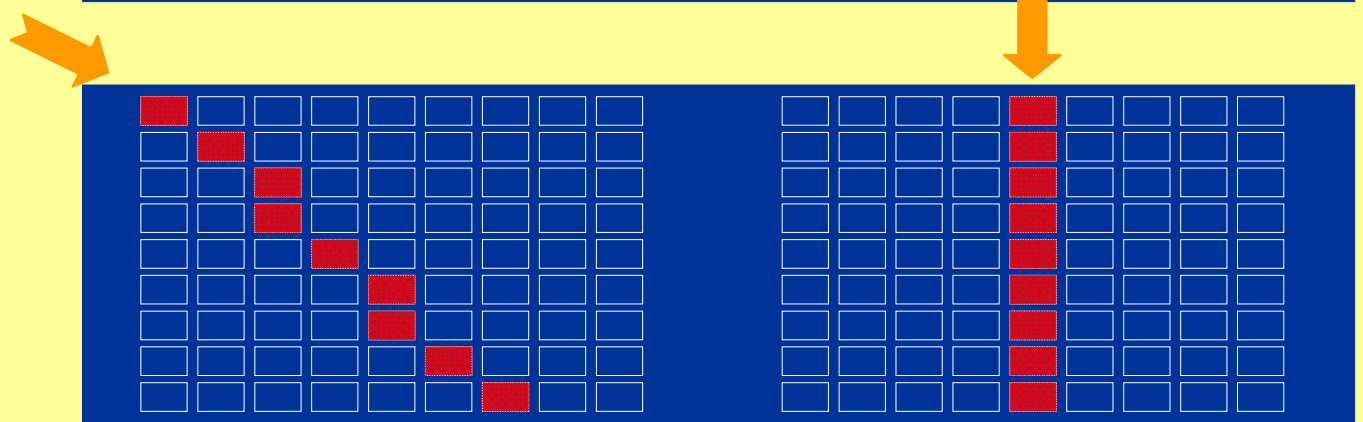
Muratura con inerti di piccola dimensione correttamente posti in opera



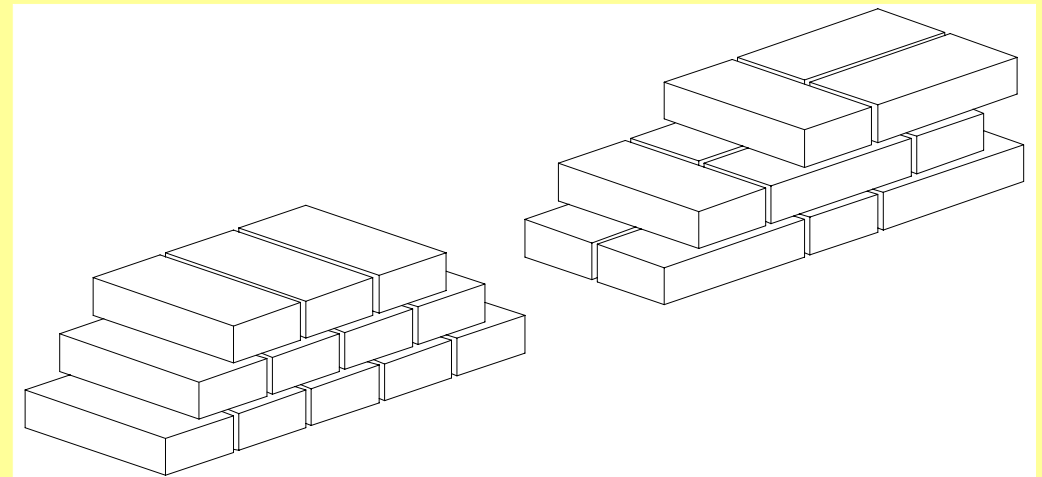
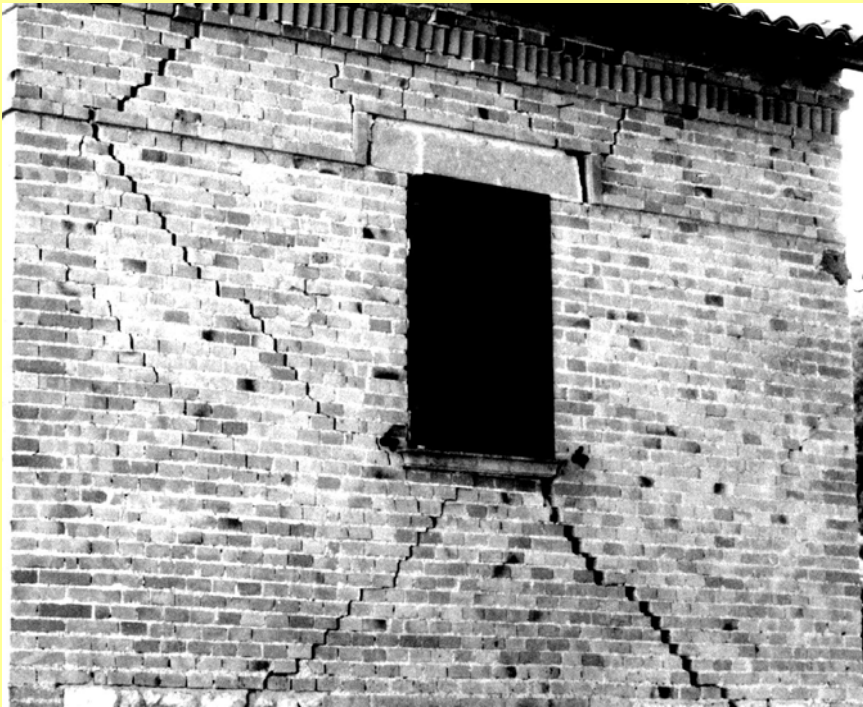
Muratura con inerti di dimensione rilevante correttamente posti in opera



Muratura con inerti di piccola dimensione scorrettamente posti in opera



Qualità muraria: tipo di tessitura

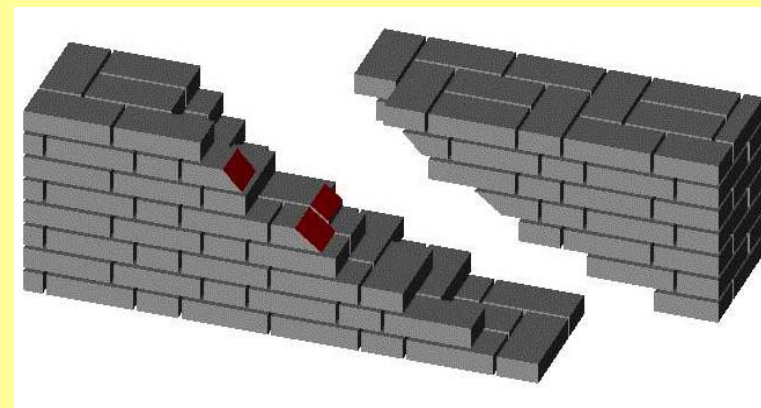
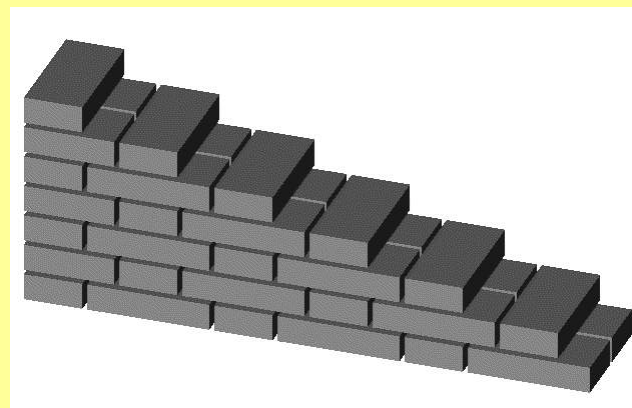
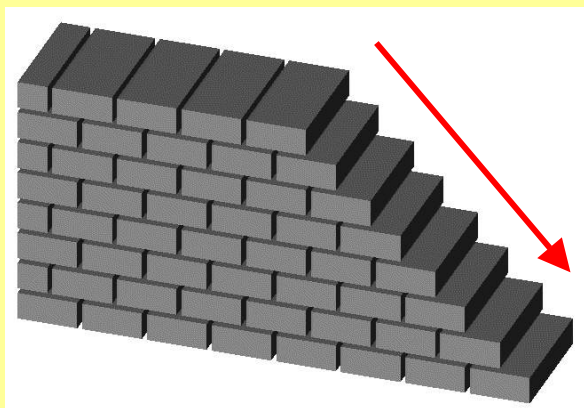


Edifici esistenti in muratura

Revisione della tab. 1 della Circolare 1981

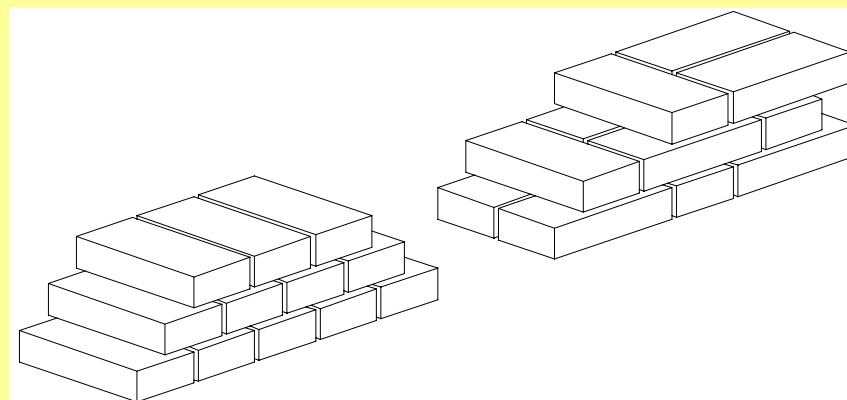
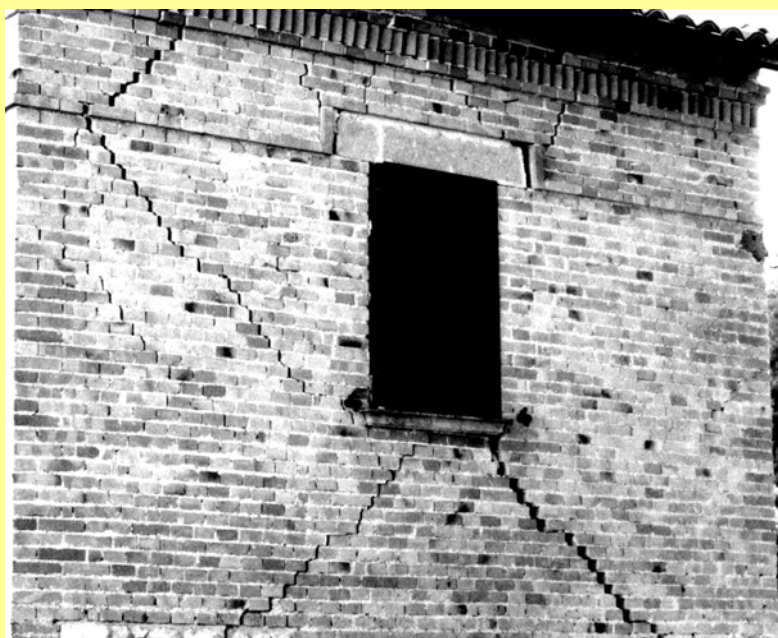
	Tipo di Muratura	τ_k [t/m ²]	σ_k [t/m ²]
MURATURE NON CONSOLIDATE NON LESIONATE	Mattoni pieni Malta bastarda	12	300
	Blocco modulare (con caratteristiche rispondenti alla prescrizioni DM 3-3-1975) (29x19x19 cm) Malta bastarda	8	250
	Blocco in argilla espansa o calcestruzzo Malta bastarda	18	300
	Murature in pietra (in presenza di ricorsi di mattoni estesi a tutto lo spessore del muro, il valore rappresentativo di τ_k può essere incrementato del 30%)		
	• Pietrame in cattive condizioni	2	50
	• Pietrame grossolonomente squadrate e ben organizzato	7	200
• A sacco in buone condizioni	4	150	
	Blocchi di tufo di buona qualità	10	250
MURATURE NUOVE	Mattoni pieni con fori circolari Malta cementizia $R_m 1450$	20	500
	Forati doppio UNI rapp. vuoto/pieno=40% Malta cementizia R_m	24	500
MURATURE CONSOLIDATE	Mattoni pieni, pietrame squadrate, consolidate con 2 lastre in calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	18	500
	Pietrame iniettato	11	300
	Murature in pietra a sacco consolidate con 2 lastre in calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	11	300

Qualità muraria: tipo di tessitura



3-5 t/m²

12 t/m²

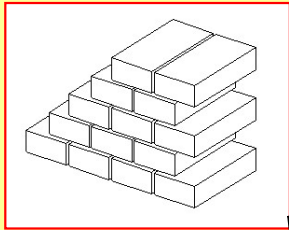


Rinforzo con iniezioni (perplessità sui valori di riferimento)



	Tipo di Muratura	τ_k [t/m ²]	σ_k [t/m ²]
MURATURE NON CONSOLIDATE NON LESIONATE	Mattoni pieni Malta bastarda	12	300
	Blocco modulare (con caratteristiche rispondenti alla prescrizioni DM 3-3-1975) (29x19x19 cm) Malta bastarda	8	250
	Blocco in argilla espansa o calcestruzzo Malta bastarda	18	300
	Murature in pietra (in presenza di ricorsi di mattoni estesi a tutto lo spessore del muro, il valore rappresentativo di τ_k può essere incrementato del 30%)		
	<ul style="list-style-type: none"> • Pietrame in cattive condizioni • Pietrame grossolanamente squadrate e ben organizzato • A sacco in buone condizioni 	2 7 4	50 200 150
	Blocchi di tufo di buona qualità	10	250
MURATURE NUOVE	Mattoni pieni con fori circolari Malta cementizia R_m 1450	20	500
	Forati doppio UNI rapp. Vuoto/pieno=40% Malta cementizia R_m	24	500
MURATURE CONSOLIDATE	Mattoni pieni, pietrame squadrate, consolidate con 2 lastre in calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	18	500
	<ul style="list-style-type: none"> • Pietrame iniettato 	11	300
	Murature in pietra a sacco consolidate con 2 lastre in calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	11	300

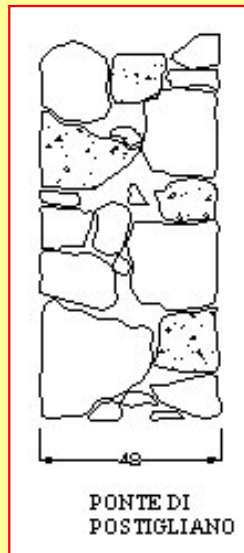
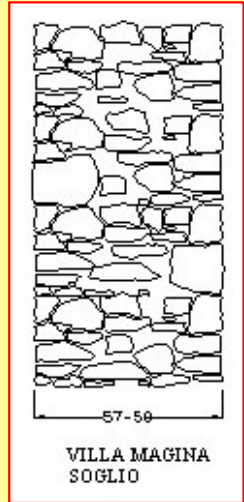
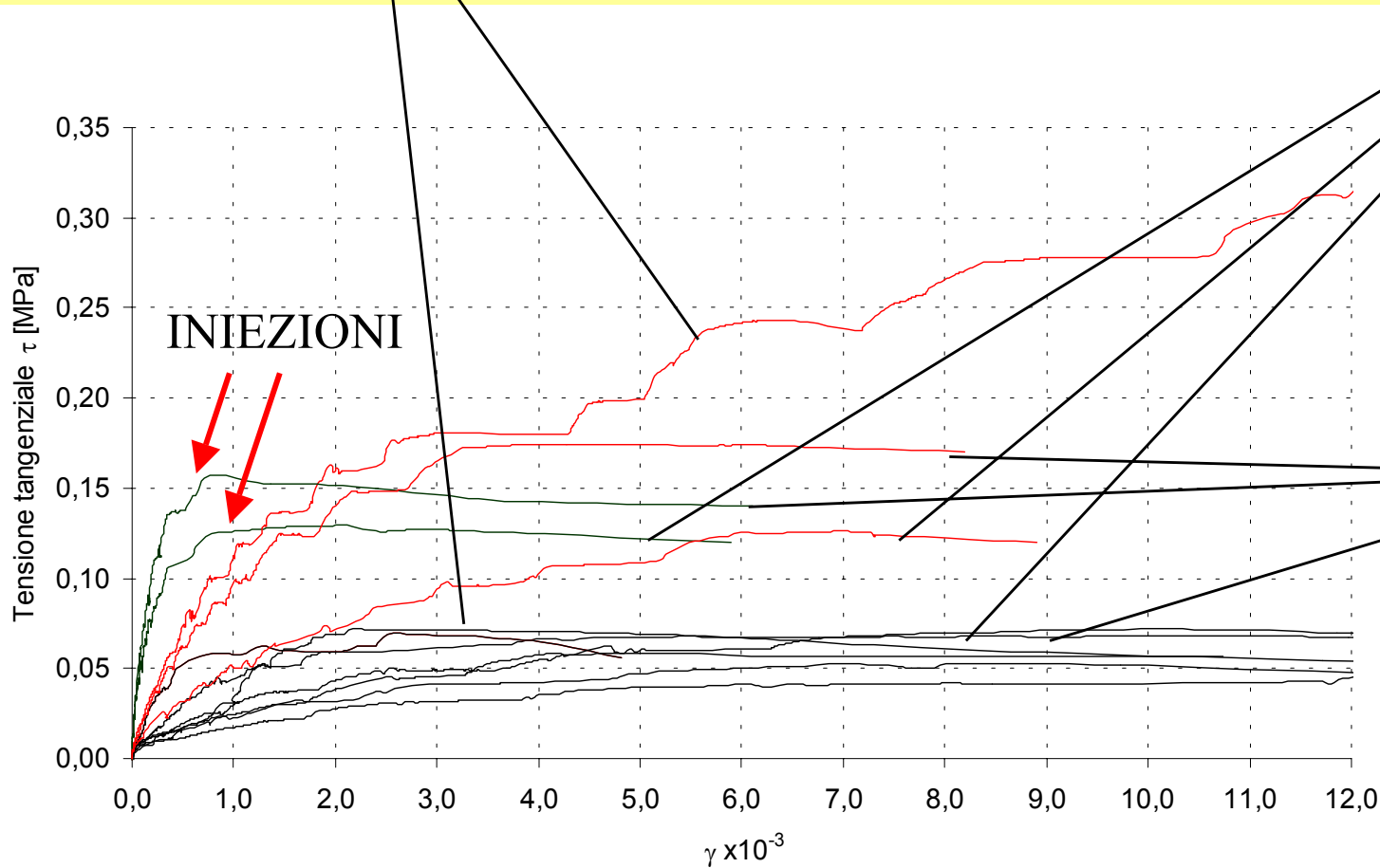
Prove diagonali



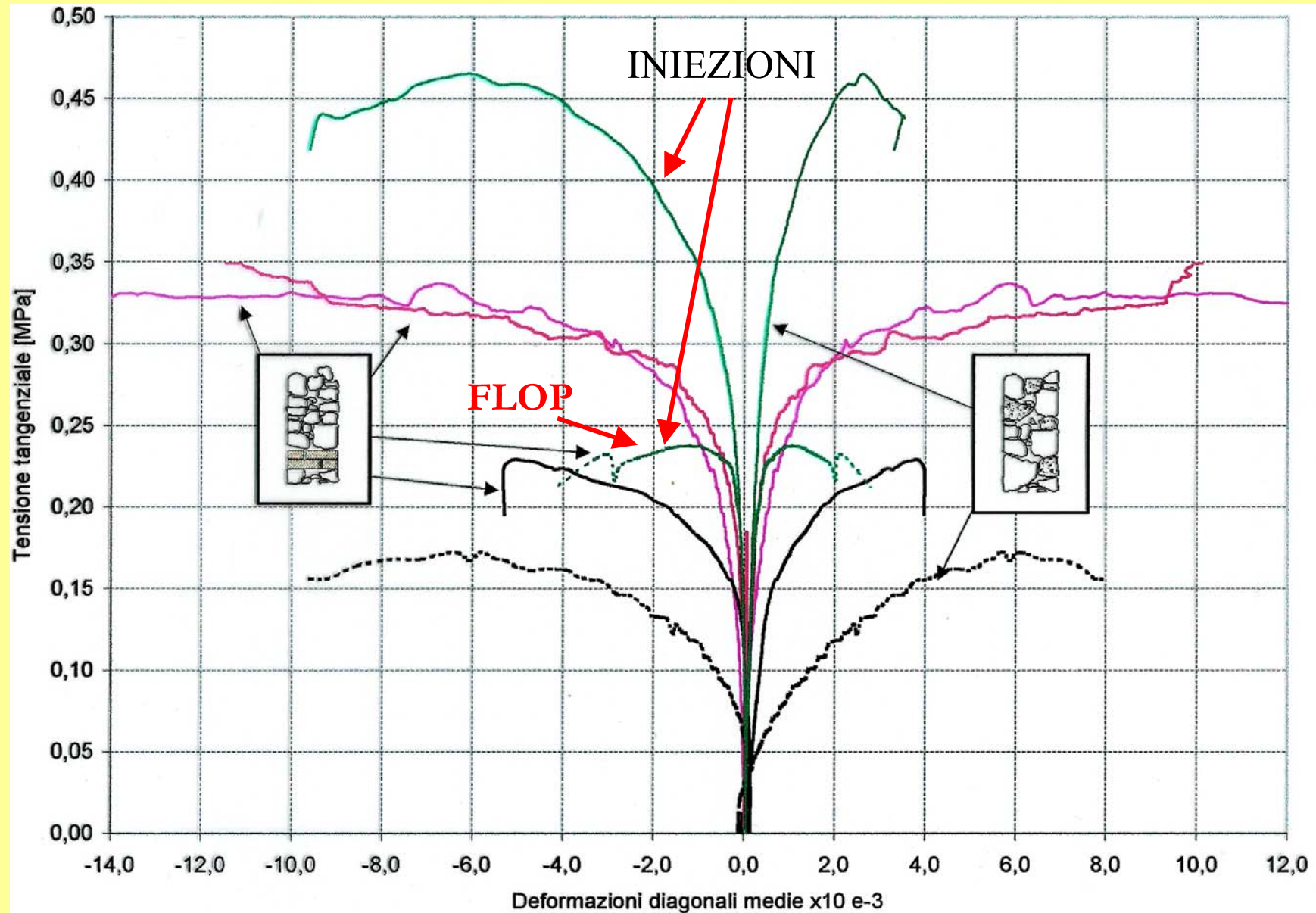
TESSITURA IN MATTONI PIENI POSTI DI TESTA (diatoni) E CALCE AEREA

Pannello rinforzato con CFRP:

Incremento del 453% in termini di resistenza a taglio



Prove taglio-compressione



Vincoli (muri d'angolo)

Muro d'angolo non connesso

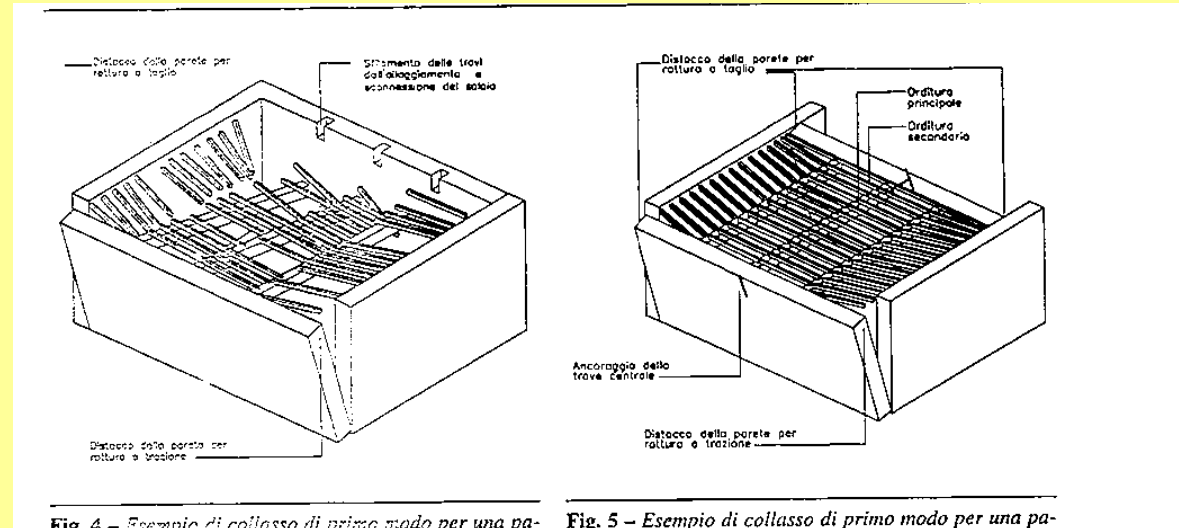
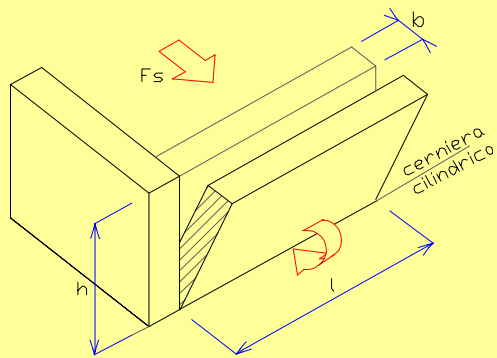
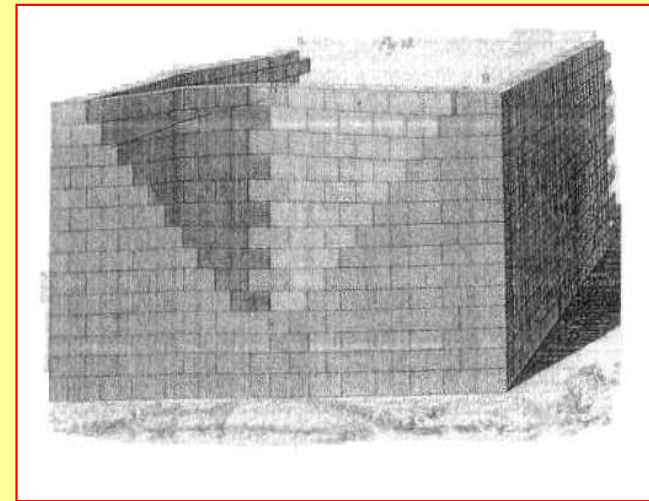
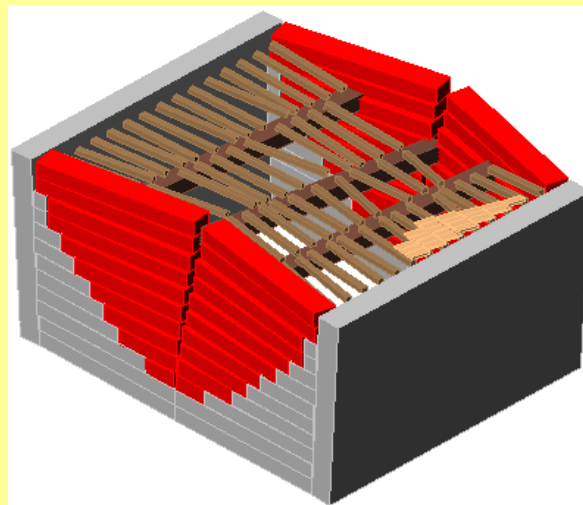
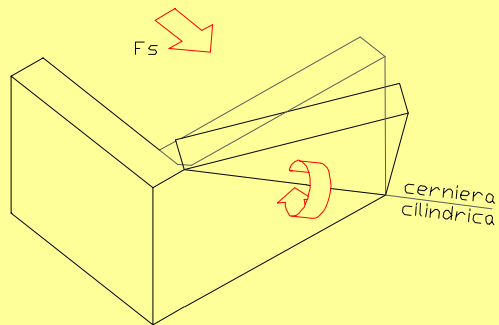


Fig. 4 – Esempio di collasso di primo modo per una pa-

Fig. 5 – Esempio di collasso di primo modo per una pa-

Cantonale ben connesso

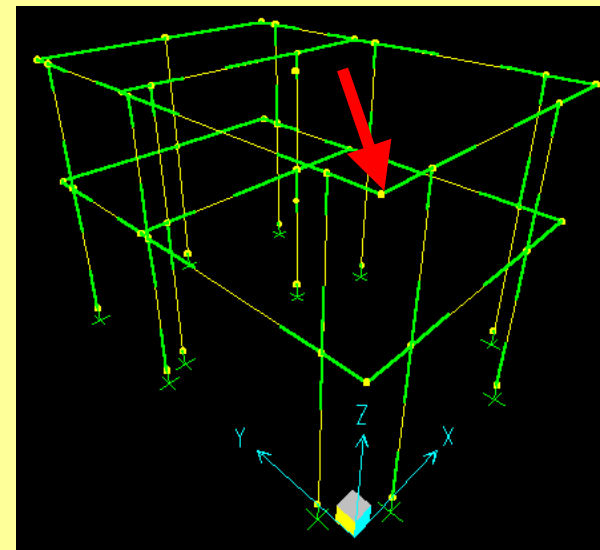
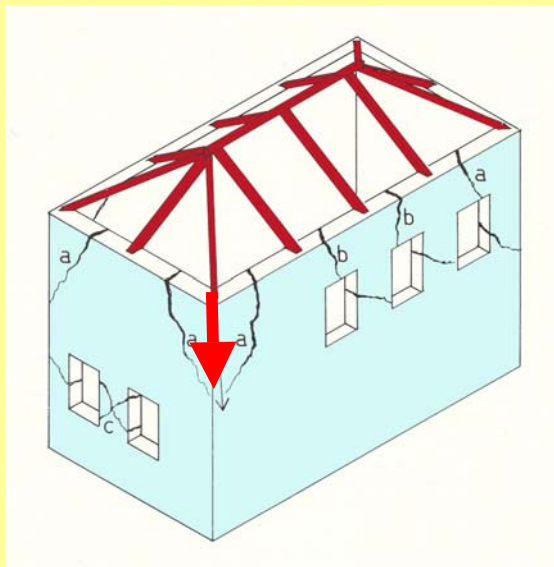


Distinzione tra “costruzione” e “struttura resistente” per gli edifici in muratura

- NRT
- Vincoli monolateri

(almeno per gli edifici
“non manomessi”)

Meccanismi locali e non comportamento globale



tornando alla Ordinanza

EDIFICI “SEMPLICI”

Non è necessario effettuare verifiche se l'edificio è “regolare” e, dopo l'intervento:

- le pareti ortogonali sono ben collegate
- i solai sono ben collegati alle pareti con tasselli o cordoli di piano
- le aperture sono dotate di architravi resistenti a flessione
- sono state eliminate o equilibrate le spinte degli elementi spingenti
- sono eliminati tutti gli elementi ad alta vulnerabilità, strutturali e non
- tutti i solai sono considerabili rigidi nel piano
- le murature non siano a sacco o a doppio paramento, od in generale di cattiva qualità e scarsa resistenza (es. muratura di foratoni o con spessori chiaramente insufficienti).

come per le nuove costruzioni in
muratura

Valutazione della sicurezza

- livelli di protezione antisismica: categorie e fattori di importanza
- azione sismica: come per le nuove costruzioni
- modellazione della struttura:
regolarità in pianta ed in elevazione
caratteristiche modello
- metodi di analisi: (... “possono” essere:)

- statica lineare
- dinamica modale

??? (CARICHI ELEVATI, materiale imperfettamente elastico NRT, vincoli monolateri ,...) (ved. Giuffrè, Di Pasquale)

- statica non lineare
- dinamica non lineare

Difficoltà di modellare le murature storiche.

Valutazione della sicurezza

Verifiche di sicurezza

- **analisi lineare:**

verifiche di resistenza per:

- pressoflessione nel piano
- taglio
- scorrimento nel piano
- pressoflessione fuori piano

- **analisi non lineare:**

verifica in termini di spostamenti

(solo per edifici "regolari")

(???)

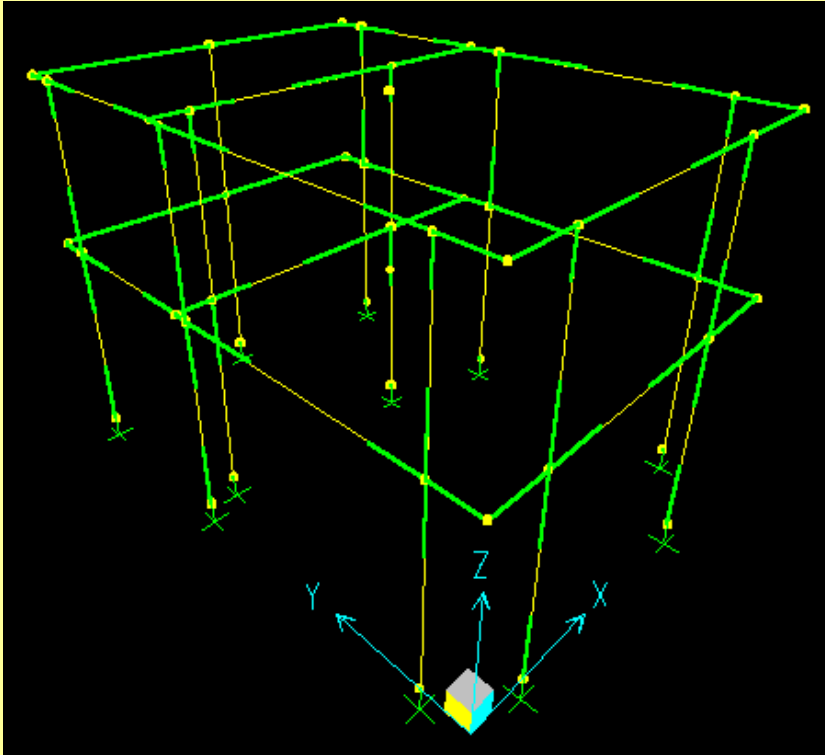
??? rigidezze "fessurate"

Modello per l'analisi



pochi edifici ce la fanno

Analisi statica n.l.



Problemi:

Strumento sensibile a scelte non sempre facili

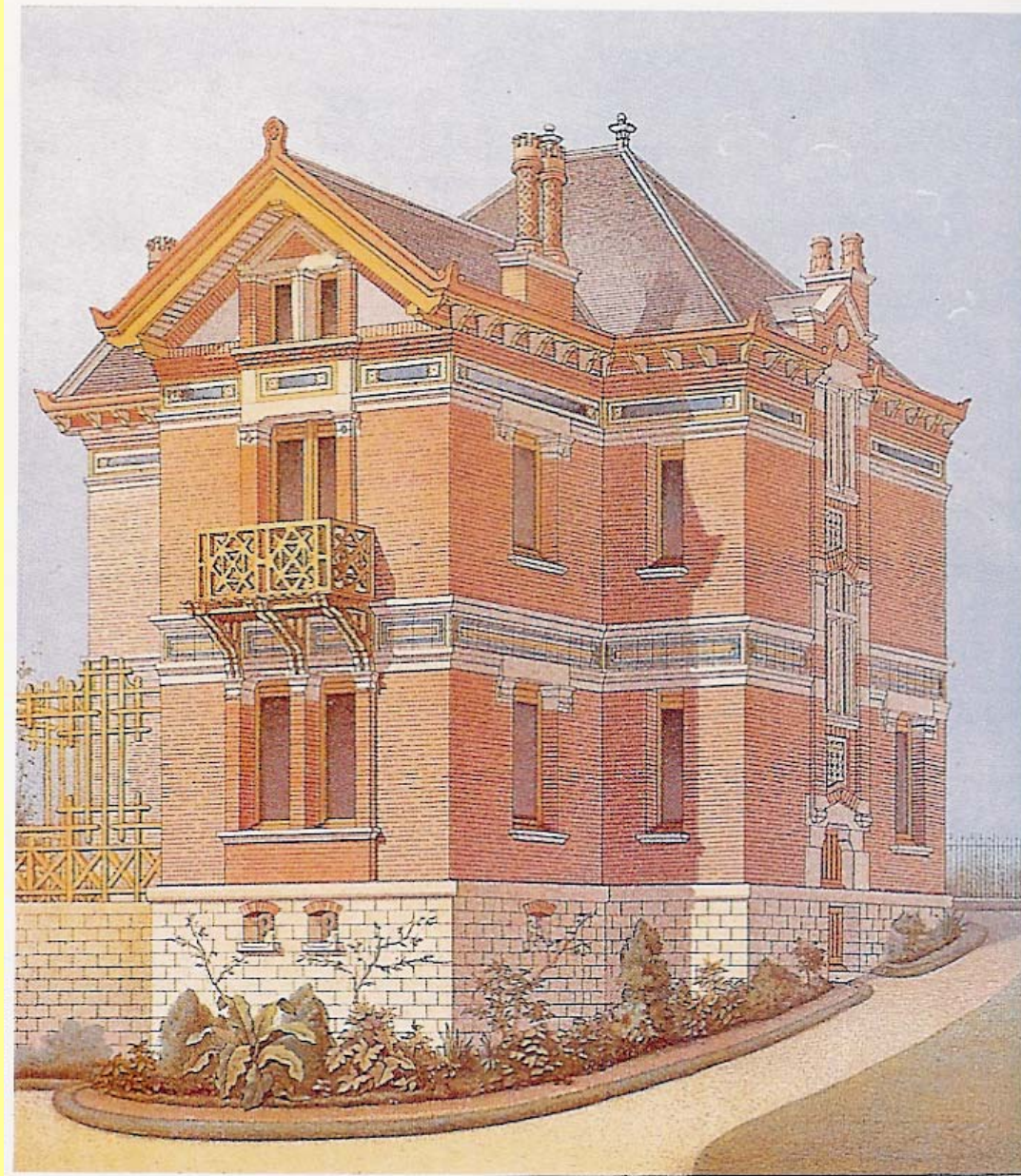
Applicazione nella realtà professionale ed edilizia

Pragmatismo del sw (e delle case di software)

Occorrerebbe esemplificare:

“come e quando si schematizza cosa”

Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Università di Pisa

Casa trampoliere



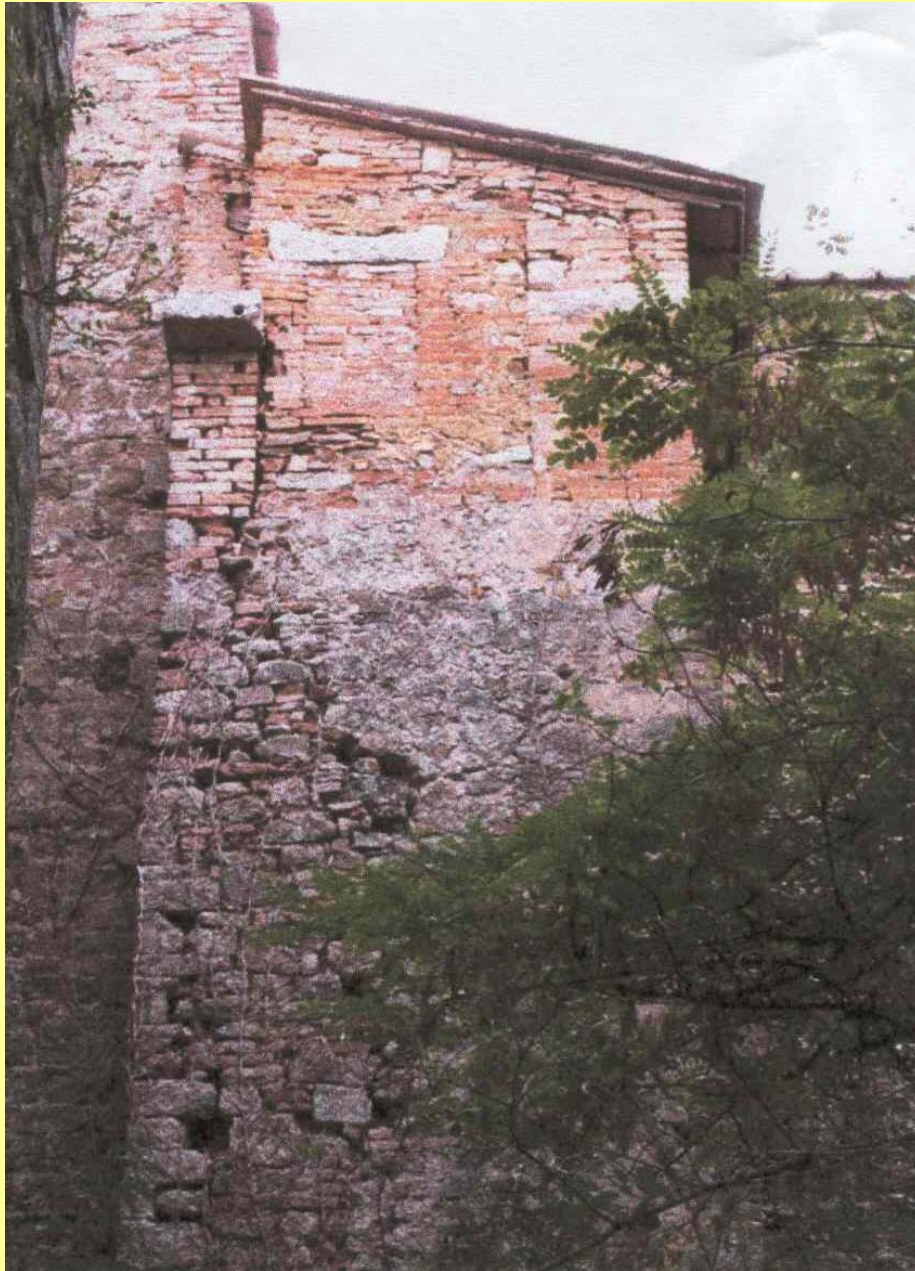
Da: "Mostri Edilizi" di
Gaggero e Luccardini

Pompeiana (IM)

Schematizzazioni problematiche



Schematizzazioni problematiche



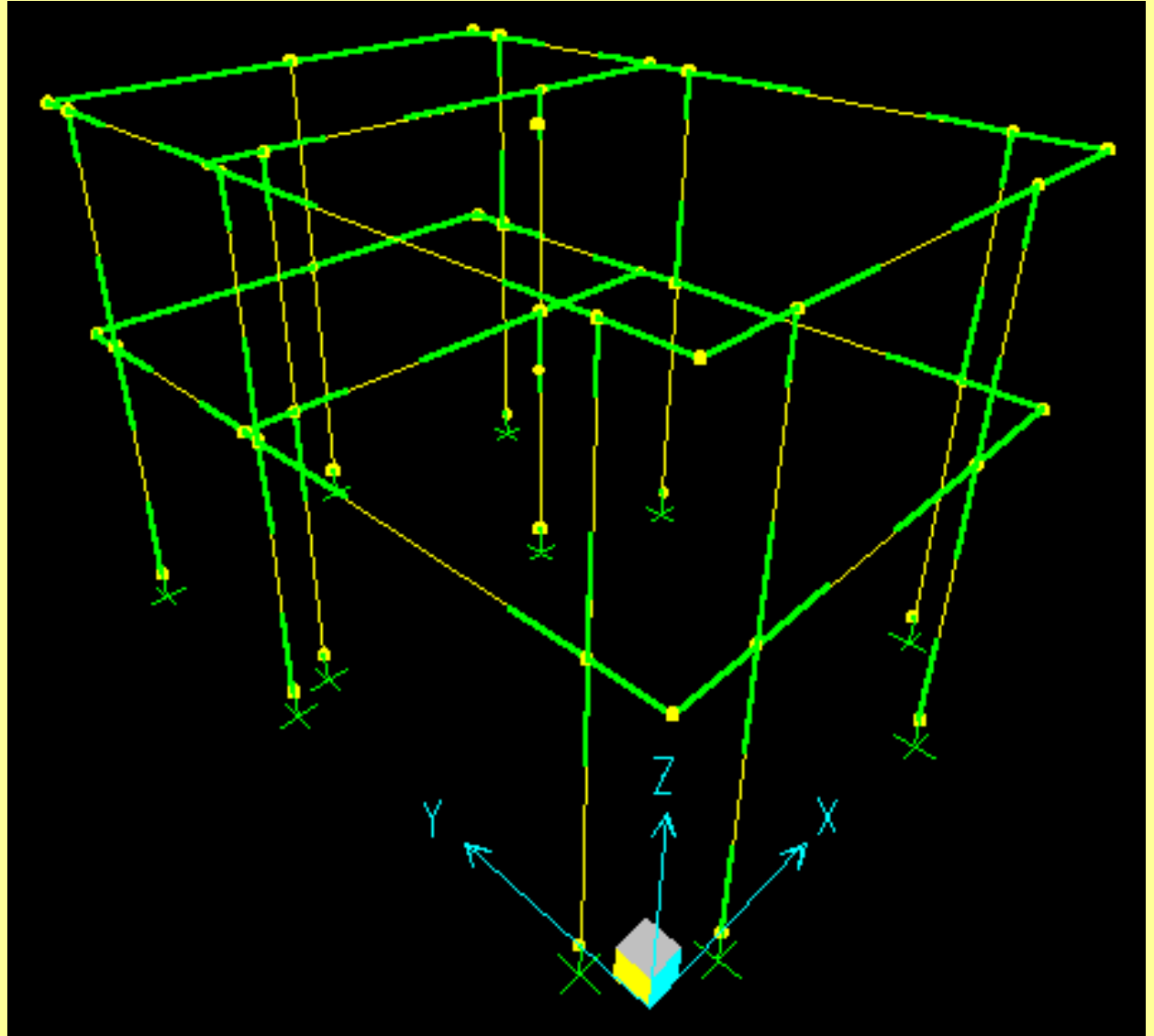
Edifici esistenti in muratura



Per evitare rischi:

→ instaurarsi di prassi operative ...

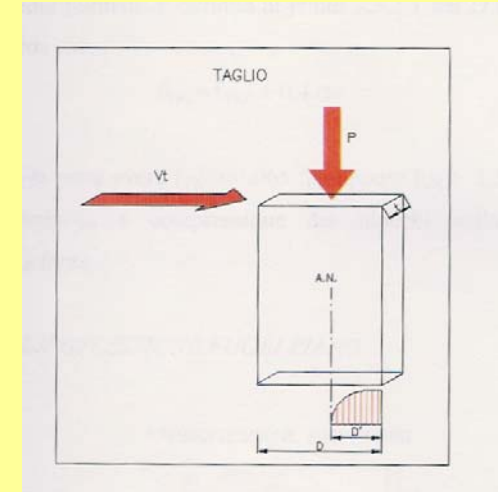
→ analisi accuratissima di un edificio inesistente



Verifiche di sicurezza

Verifica di resistenza per pressoflessione nel piano

$$V_f = \left(\frac{D^2 t p}{2 H_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{p}{0.85 f_d} \right)$$



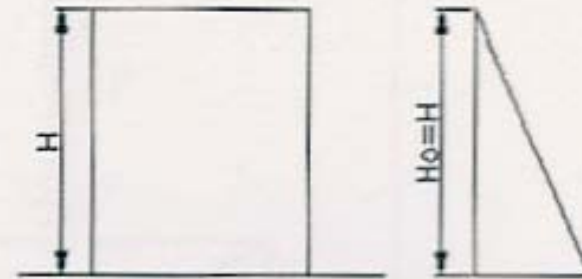
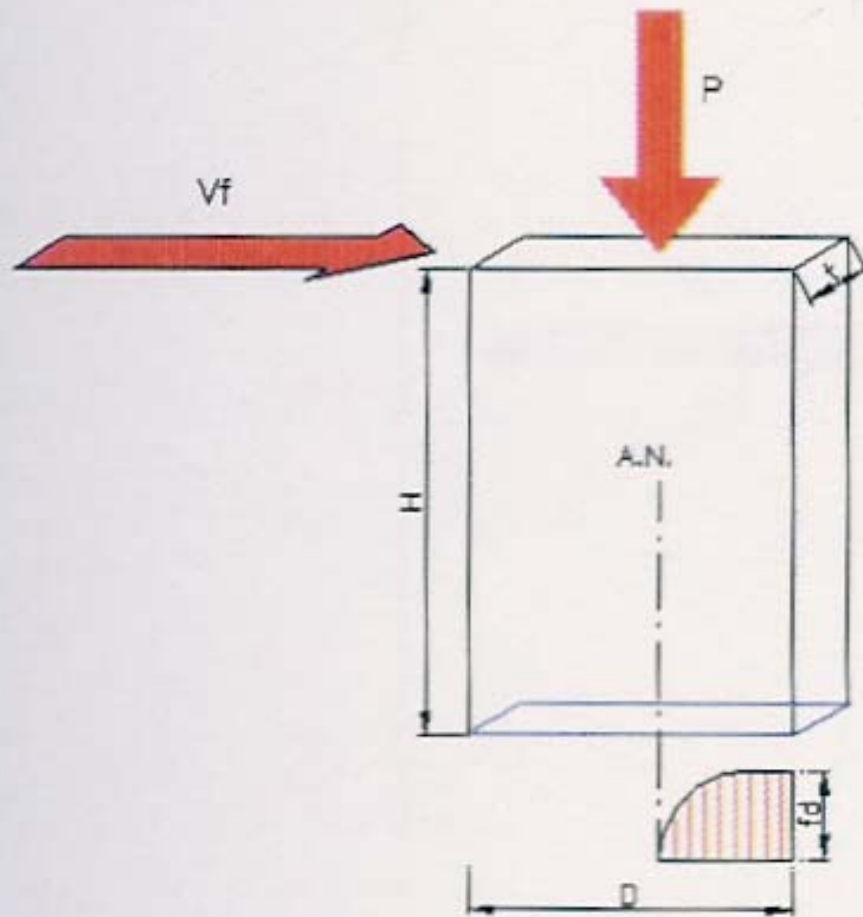
- V_f forza orizzontale corrispondente al collasso per flessione
 D larghezza parete
 t spessore parete
 p tensione verticale media
 H_0 distanza tra sezione in verifica e sezione con momento nullo
 f_d valore di progetto della resistenza a compressione

$$[f_d = f_{mk} / \gamma_m]$$

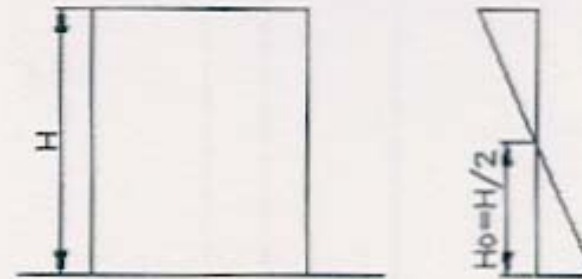
Edifici esistenti in muratura

PRESSOFLESSIONE NEL PIANO

Supposto di verificare la sezione di base si ha per H_0 :



SOLAIO NON EFFICACEMENTE COLLEGATO



SOLAIO EFFICACEMENTE COLLEGATO

Verifiche di sicurezza

Verifica di resistenza per taglio:

$$V_t = D_1 \cdot t \cdot f_{vd}$$

V_t forza di taglio al collasso

D_1 larghezza parte compressa della parete

t spessore parete

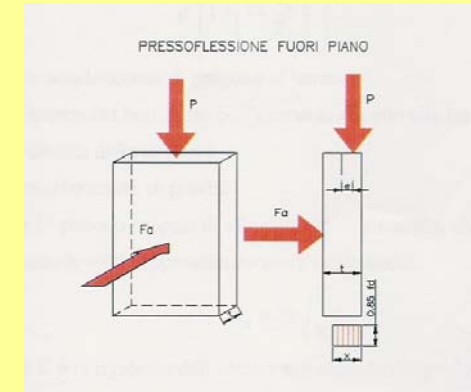
f_{vd} valore di progetto della resistenza a taglio

$$[f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m]$$

con f_{vk} valutata calcolando la tensione normale media sulla sola parte compressa della sezione, di area $D_1 \cdot t$

Verifiche fuori del piano

Forza F_a da applicare nel baricentro dell'elemento



$$F_a = \frac{W_a \cdot S_a \cdot \gamma_I}{q_a} \quad \text{con} \quad S_a = \frac{3 \cdot S_{a_g}}{g} \cdot \frac{1 + Z/H}{1 + (1 - T_a/T_1)^2}$$

W_a peso dell'elemento

γ_I fattore di importanza della costruzione

q_a fattore di struttura dell'elemento

S_a coefficiente di amplificazione

S_{a_g} accelerazione di progetto al suolo

Z altezza del baricentro dell'elemento rispetto alla fondazione

H altezza della struttura

g accelerazione di gravità

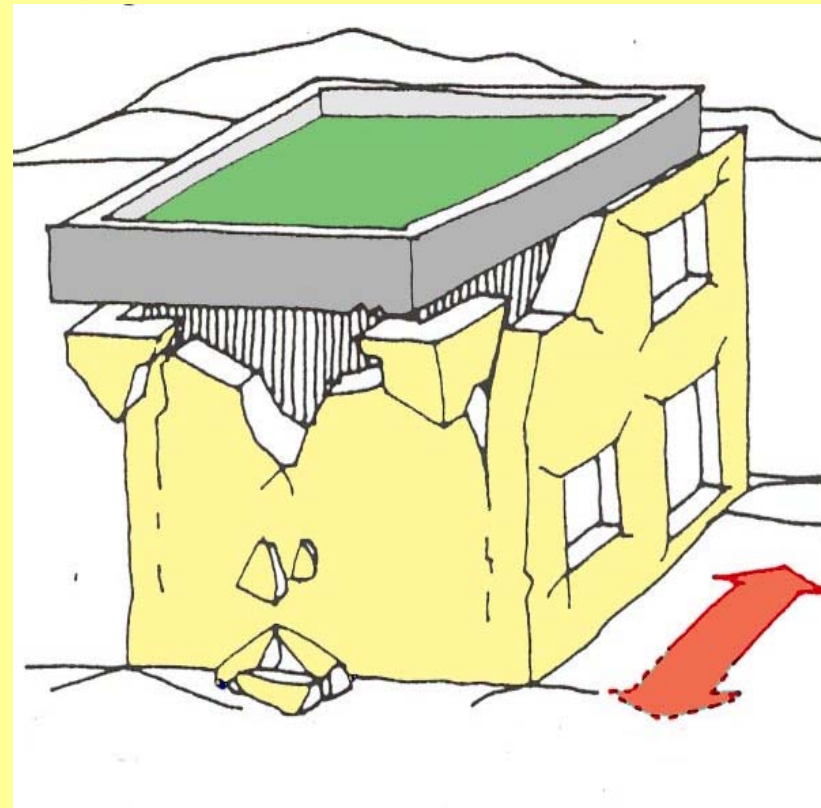
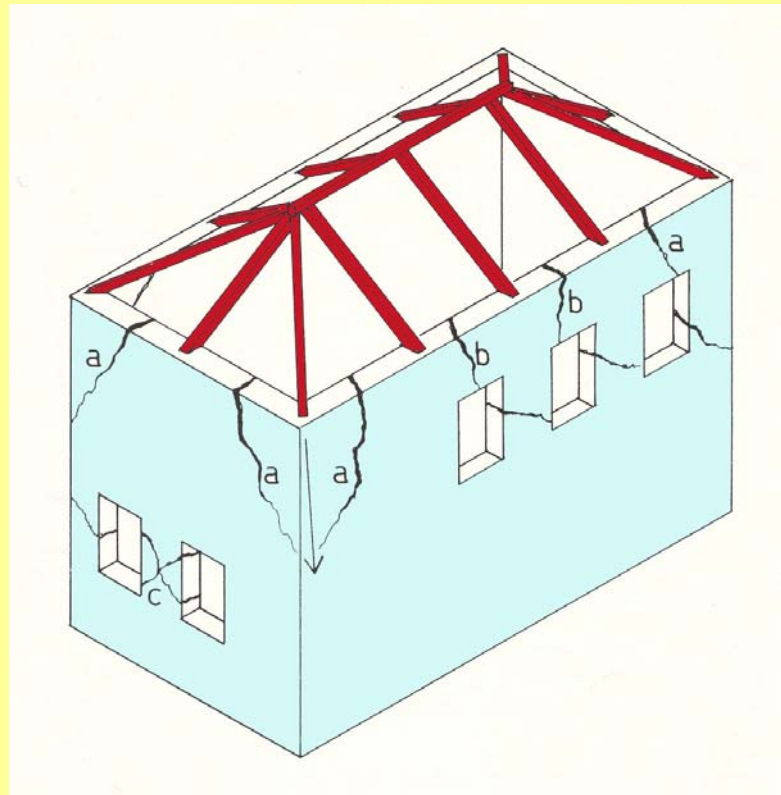
T_a primo periodo di vibrazione dell'elemento nella direz. considerata

T_1 primo periodo di vibrazione della struttura nella direz. considerata

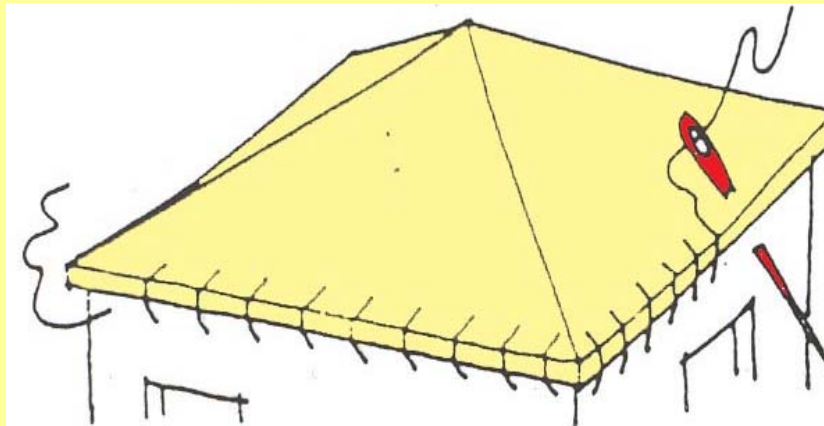
Meccanismi di I modo

- Non vengono considerati i meccanismi di I modo perché (forse) si pensa che siano comunque impediti da cordoli o catene.
- Questo è vero solo se stiamo facendo un intervento (verifica nello stato di progetto) e comunque solo se i cordoli sono ben collegati (e se la qualità muraria è adeguata)

Cordolo di sommità



Cordolo di sommità

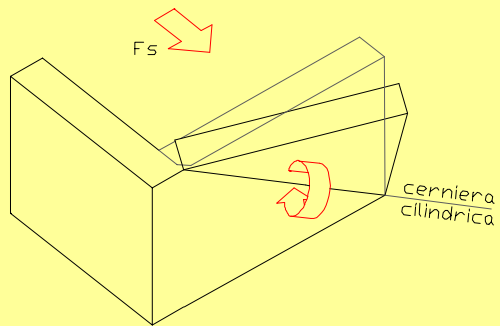


Obiettivi: connettività, ripartizione carichi verticali, mantenimento forma, leggerezza.

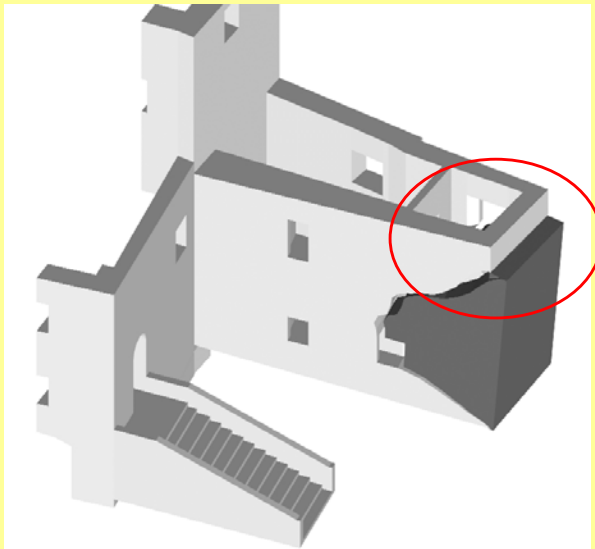
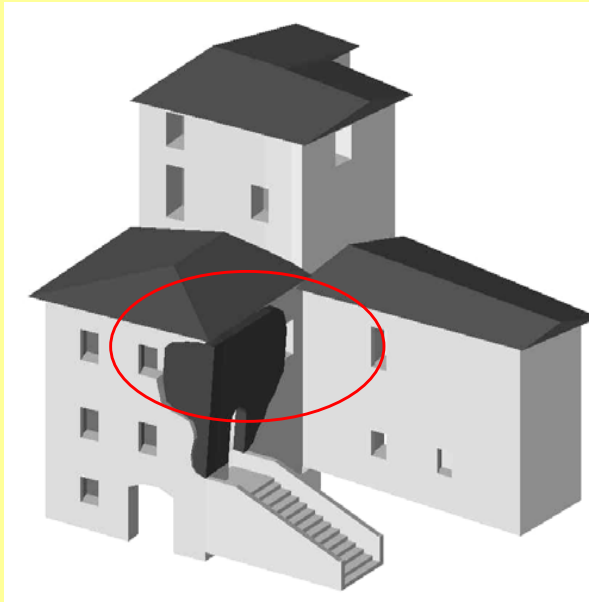
Edifici esistenti in muratura



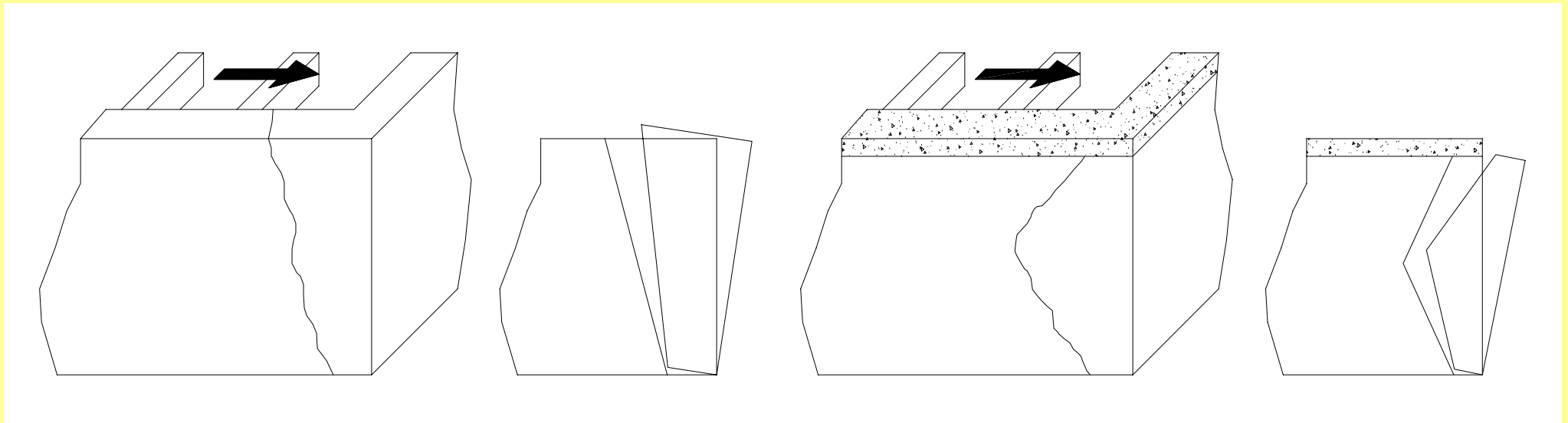
Inefficacia dei cordoli



Inefficacia dei cordoli



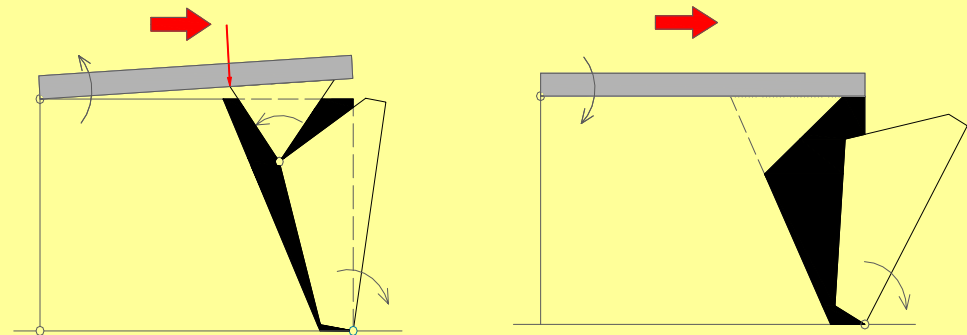
Modifica (e non impedimento) dei meccanismi di ribaltamento



Senza cordolo

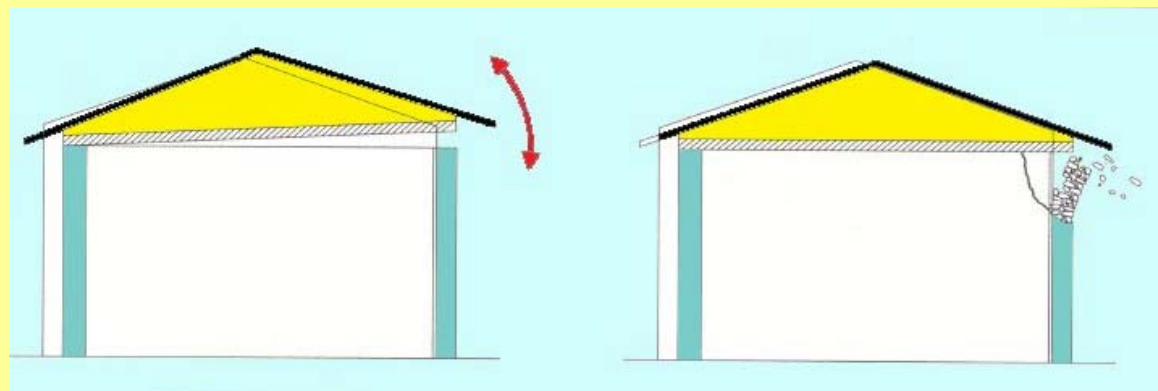
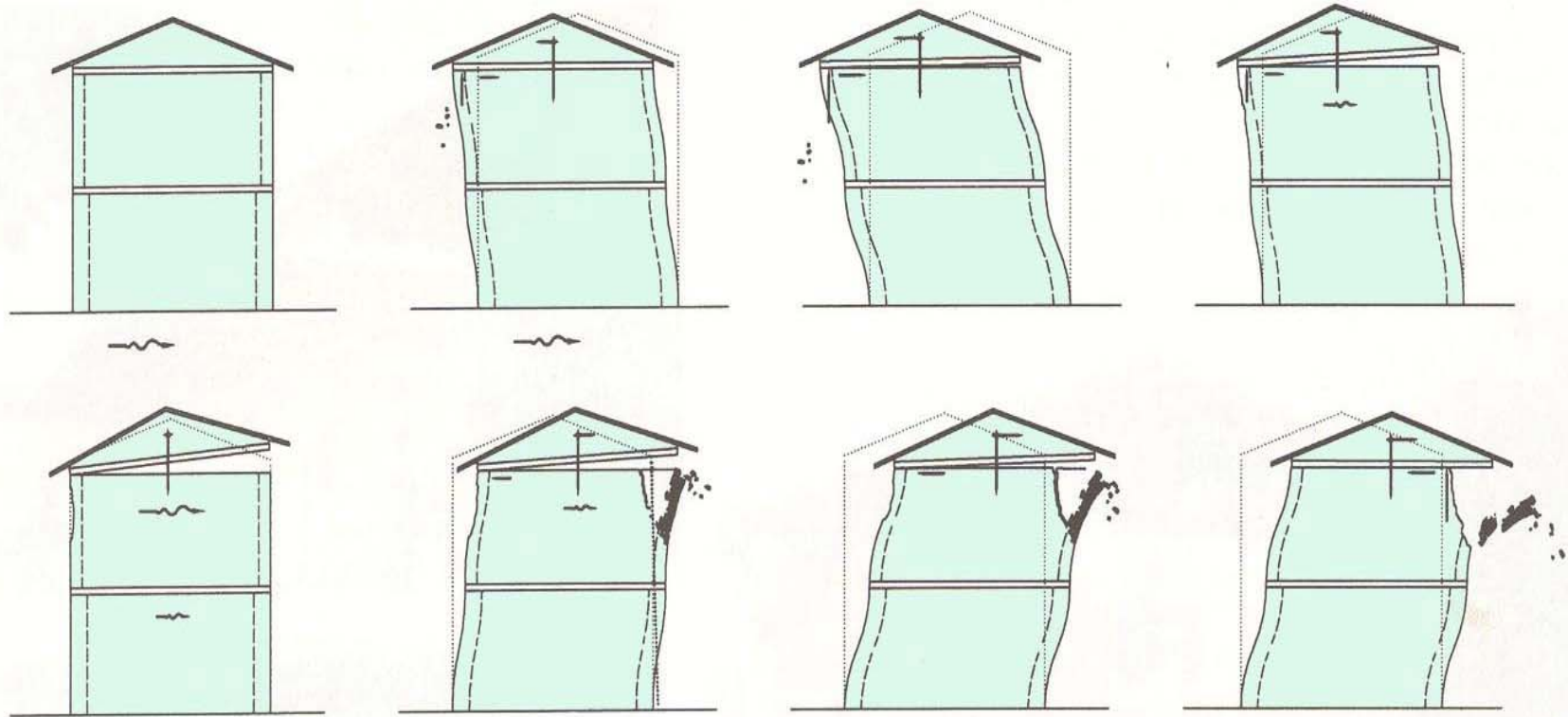
Con cordolo rigido

Occorrono indicazioni sulle
connessioni e sul rapporto
tipo di intervento-tipo di
muratura



Edifici esistenti in muratura

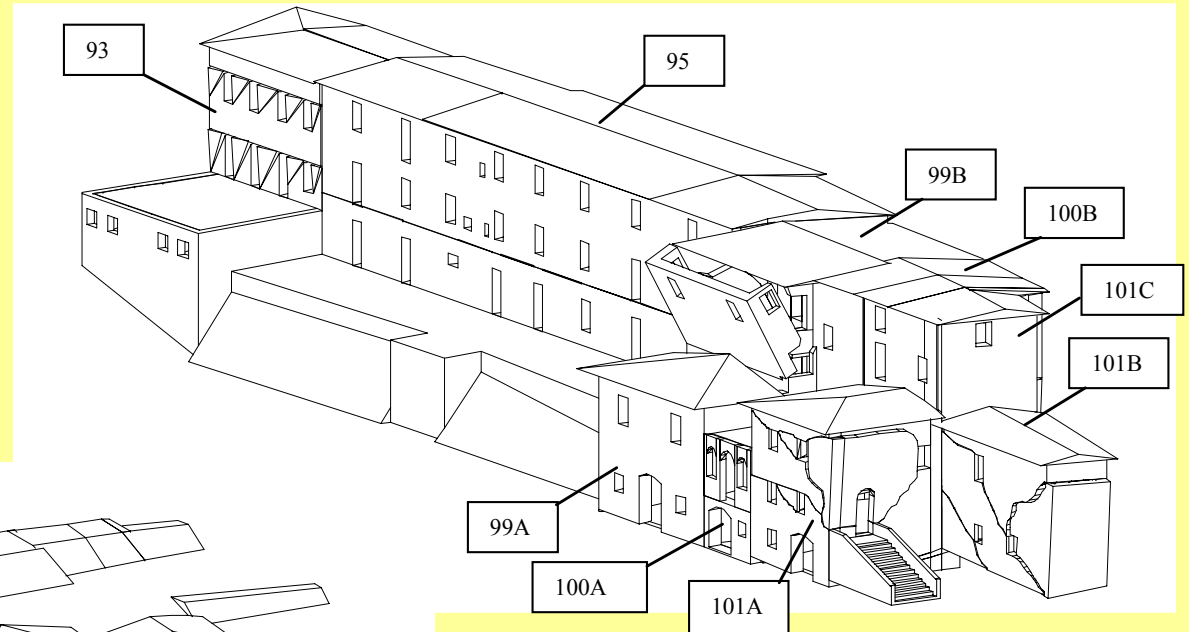
Fasi di dissesto delle pareti sommitali in presenza di cordoli in c.a. e strutture di copertura indeformabili



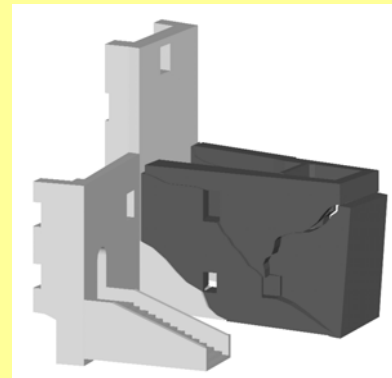
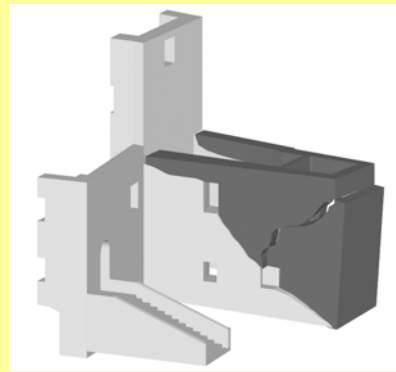
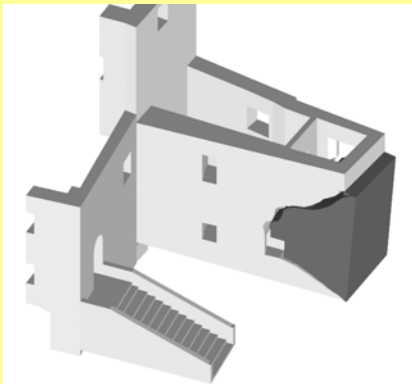
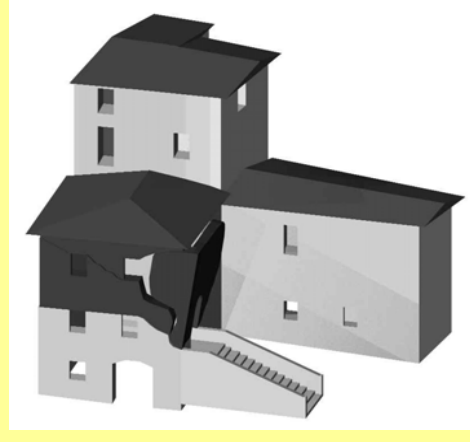
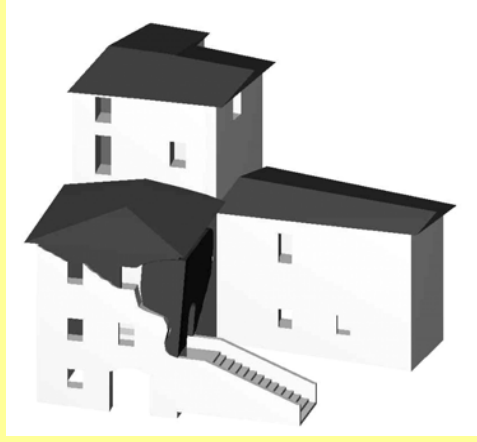
Edifici esistenti in muratura



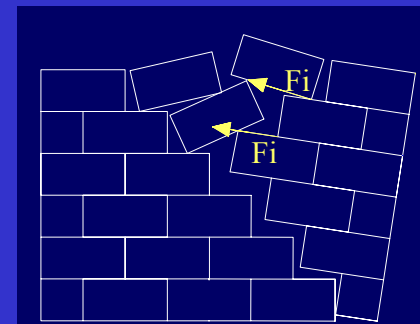
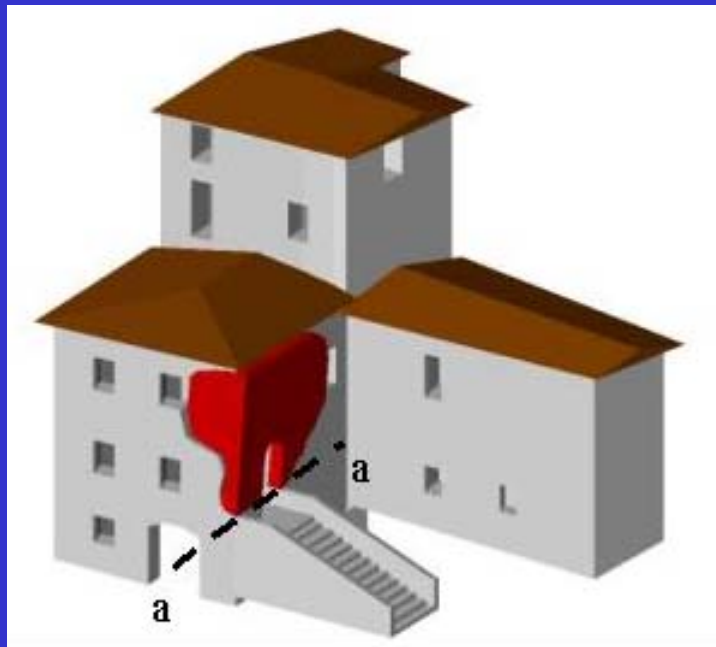
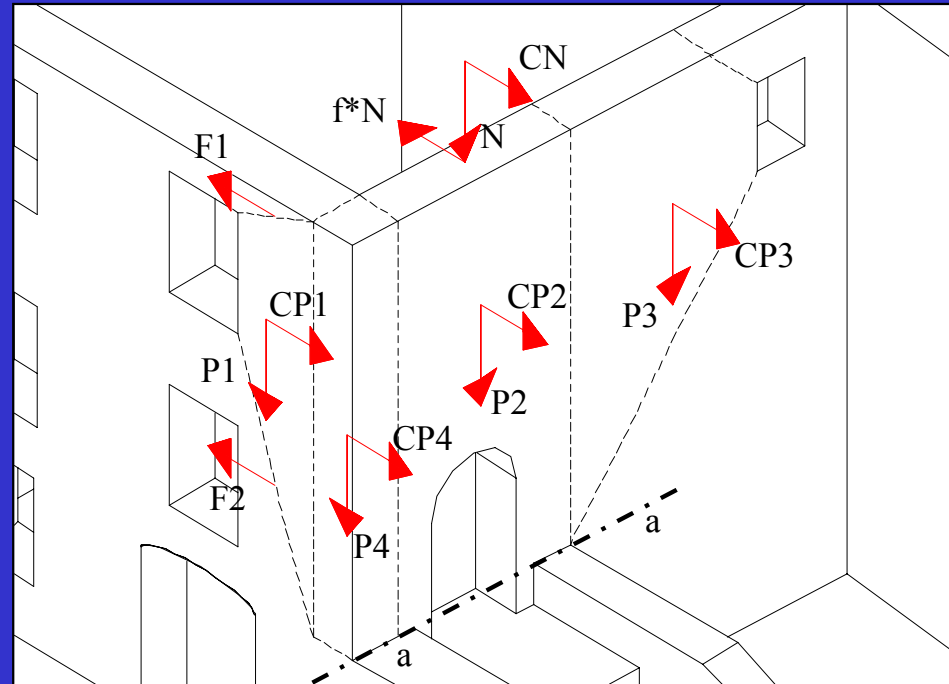
Sellano (1997)



Sellano (1997)



Edifici esistenti in muratura



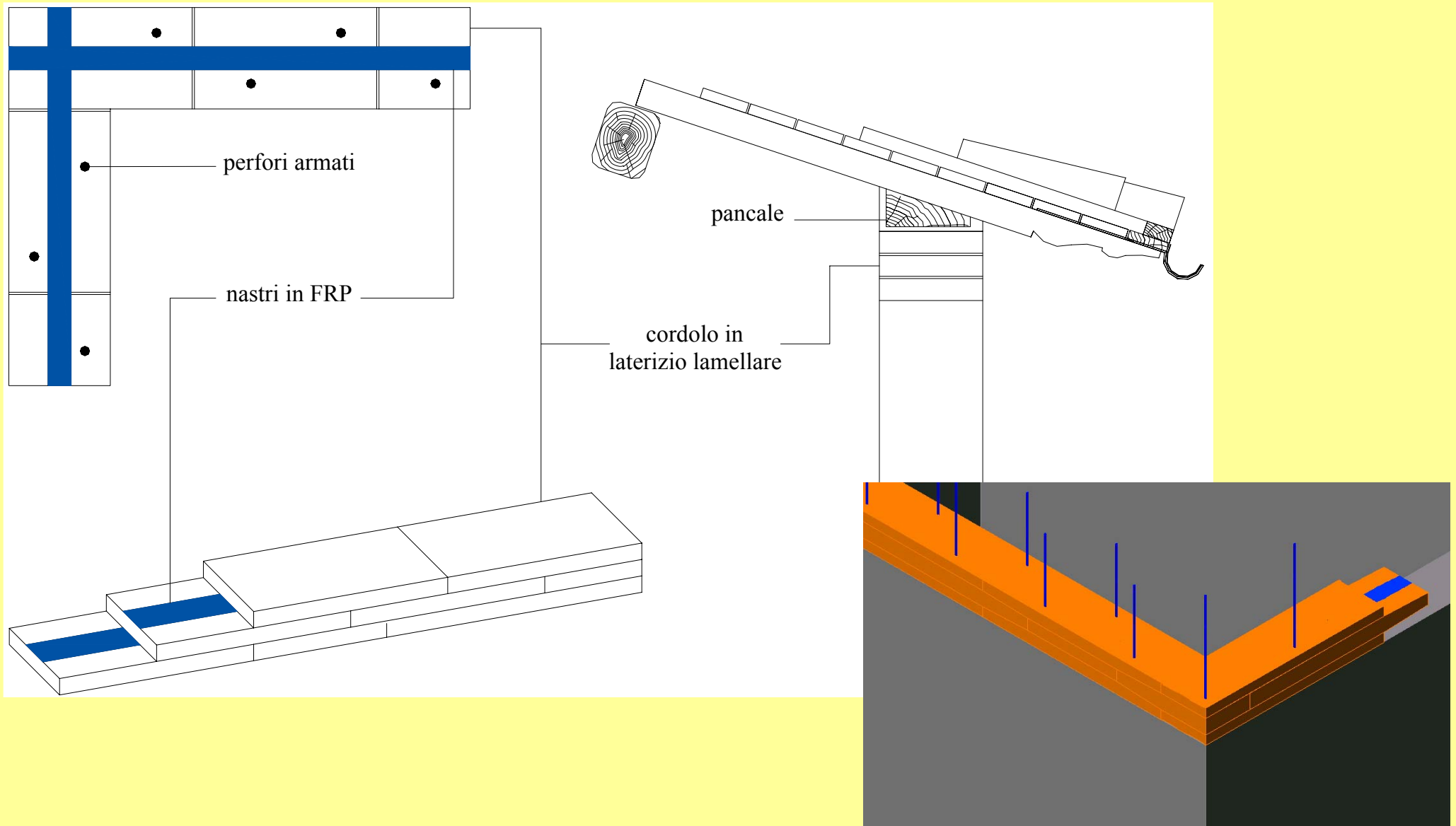
Contributo di attrito ed incastro tra i blocchi

Equilibrio alla rotazione

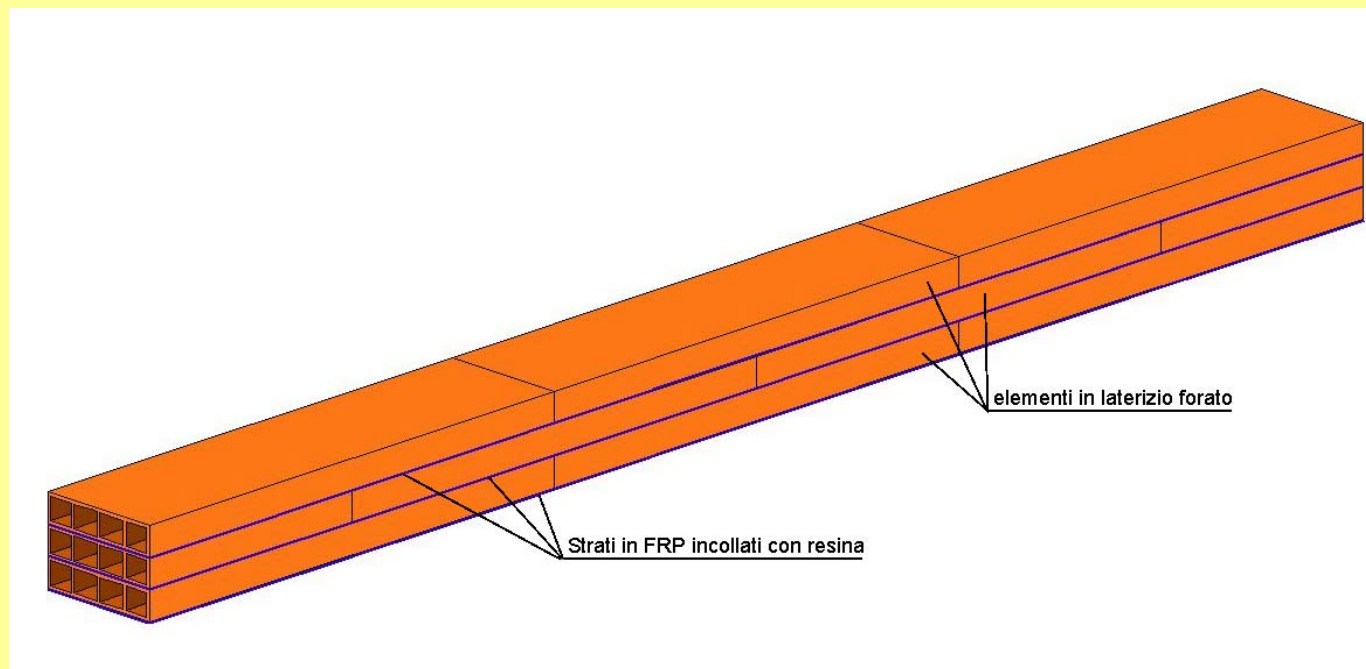
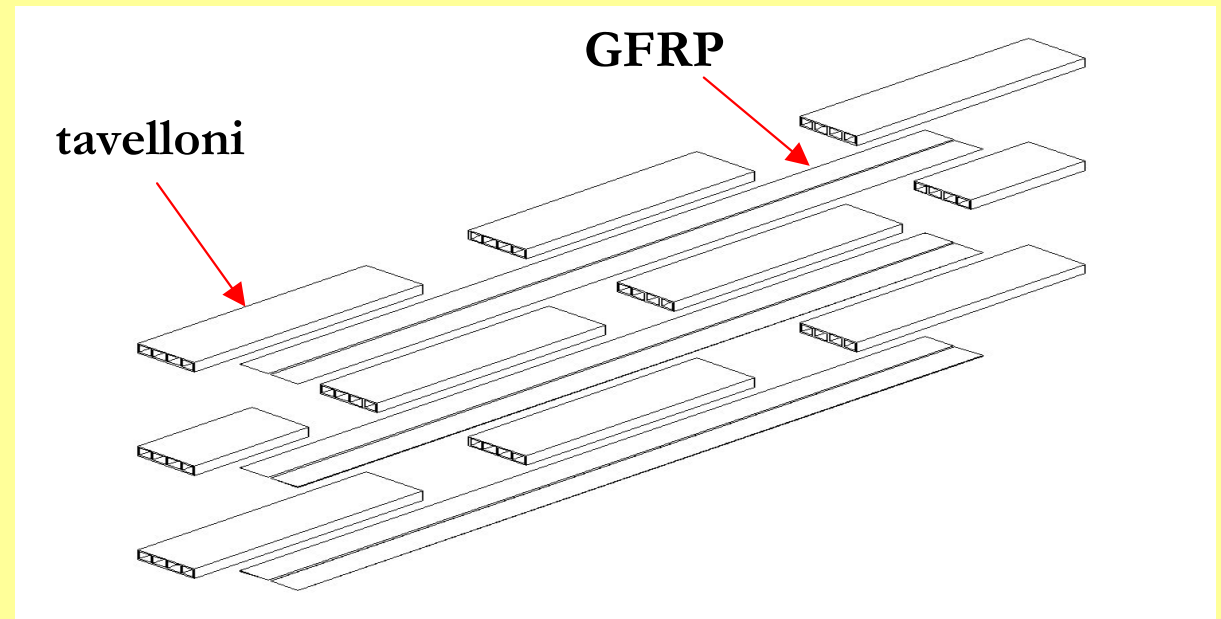


$C = 0.205$

Cordolo in laterizio armato con FRP



LATERIZIO LAMELLARE®



Prima realizzazione: Collelungo (Foligno)



Progettista Ing. Andrea Giannantoni; Impresa Alberto Fagotti; Fibre e resina: Kimia

Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura



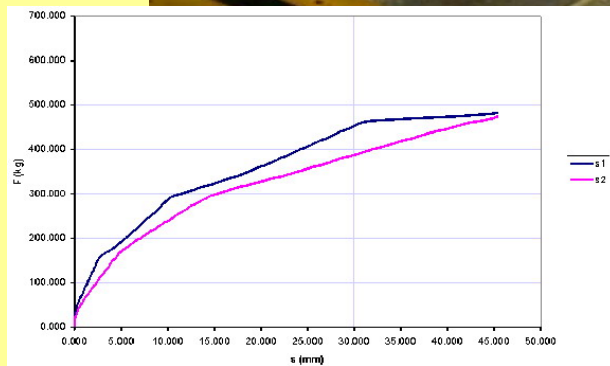
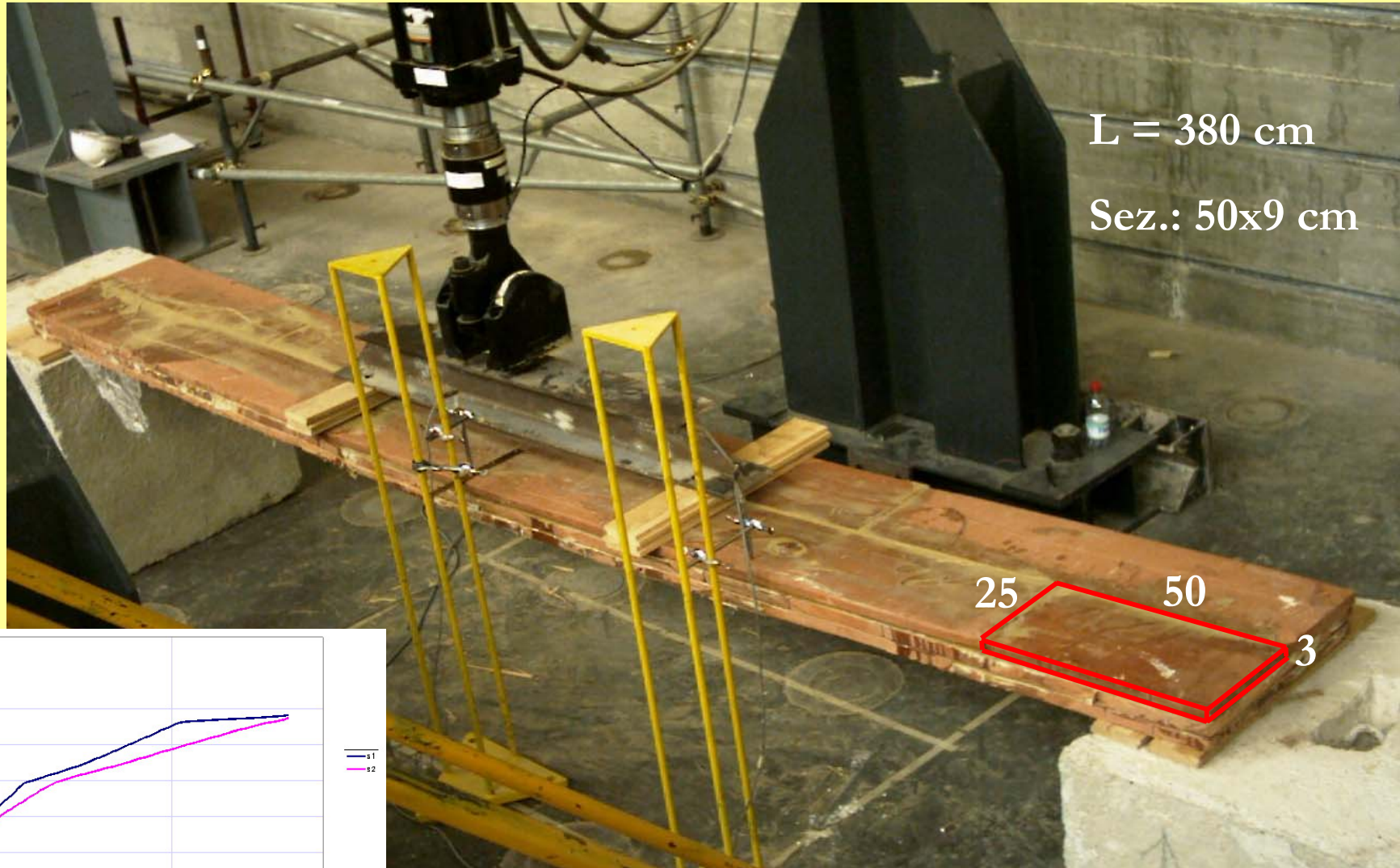
Edifici esistenti in muratura



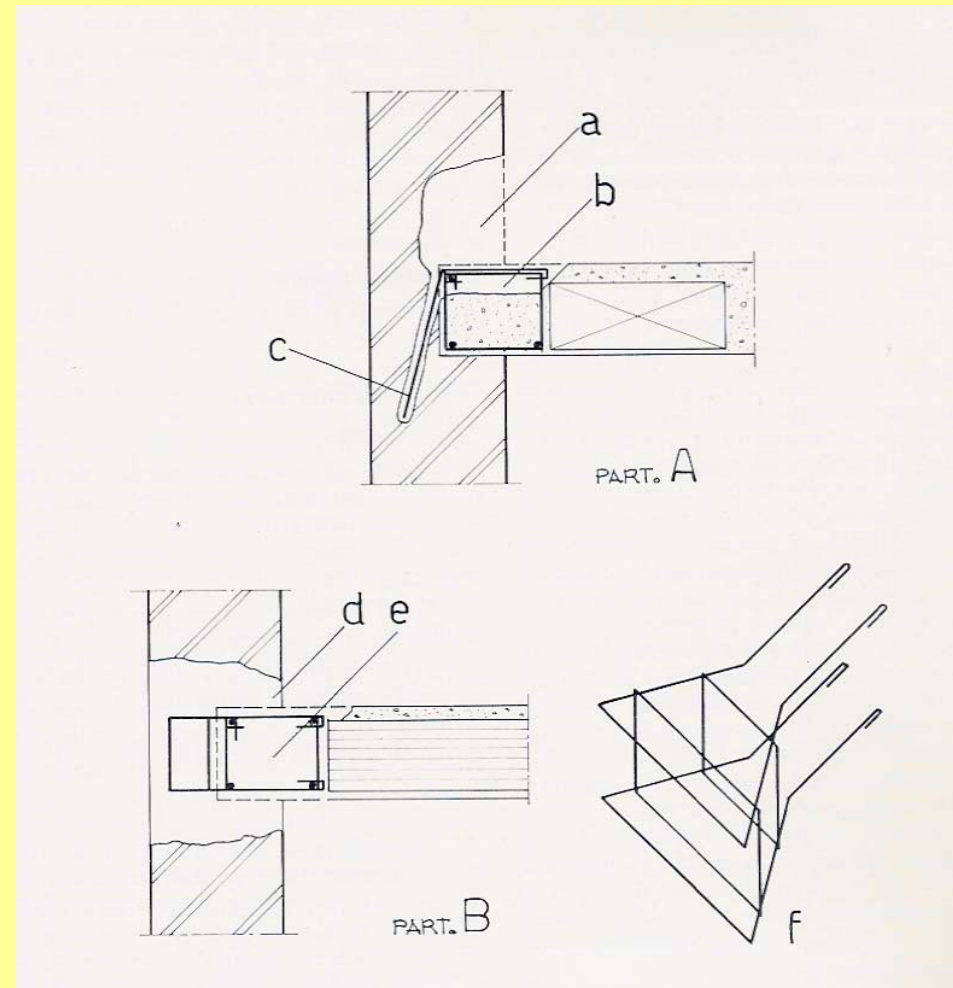
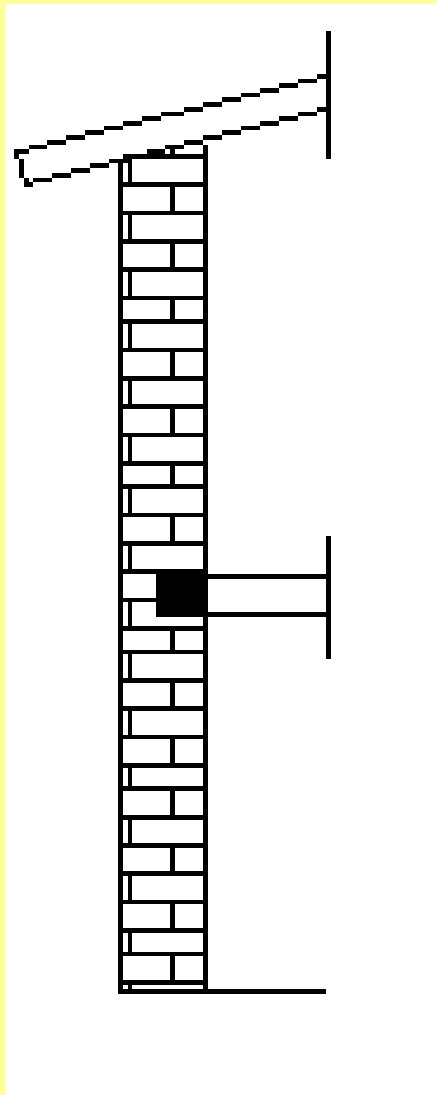
Edifici esistenti in muratura



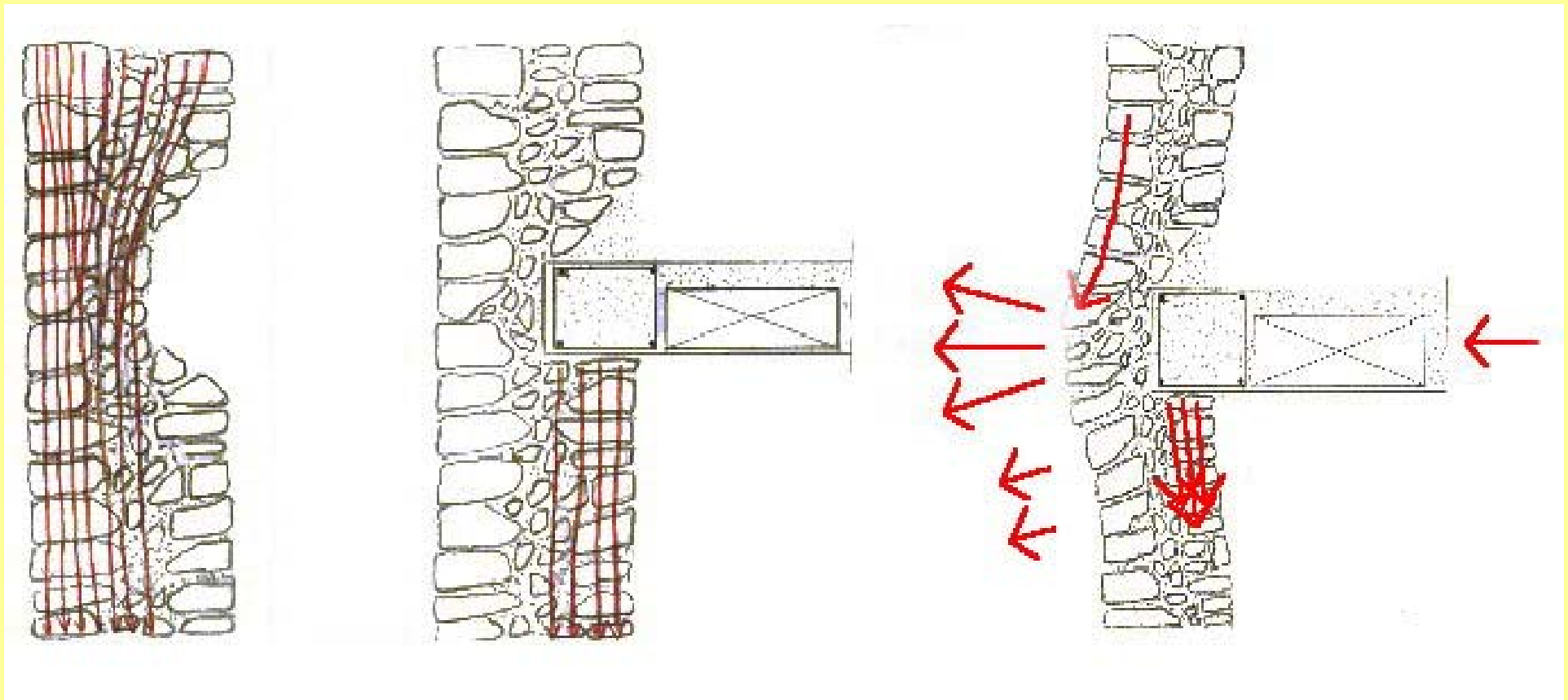
Prove sperimentali



Cordolo in breccia



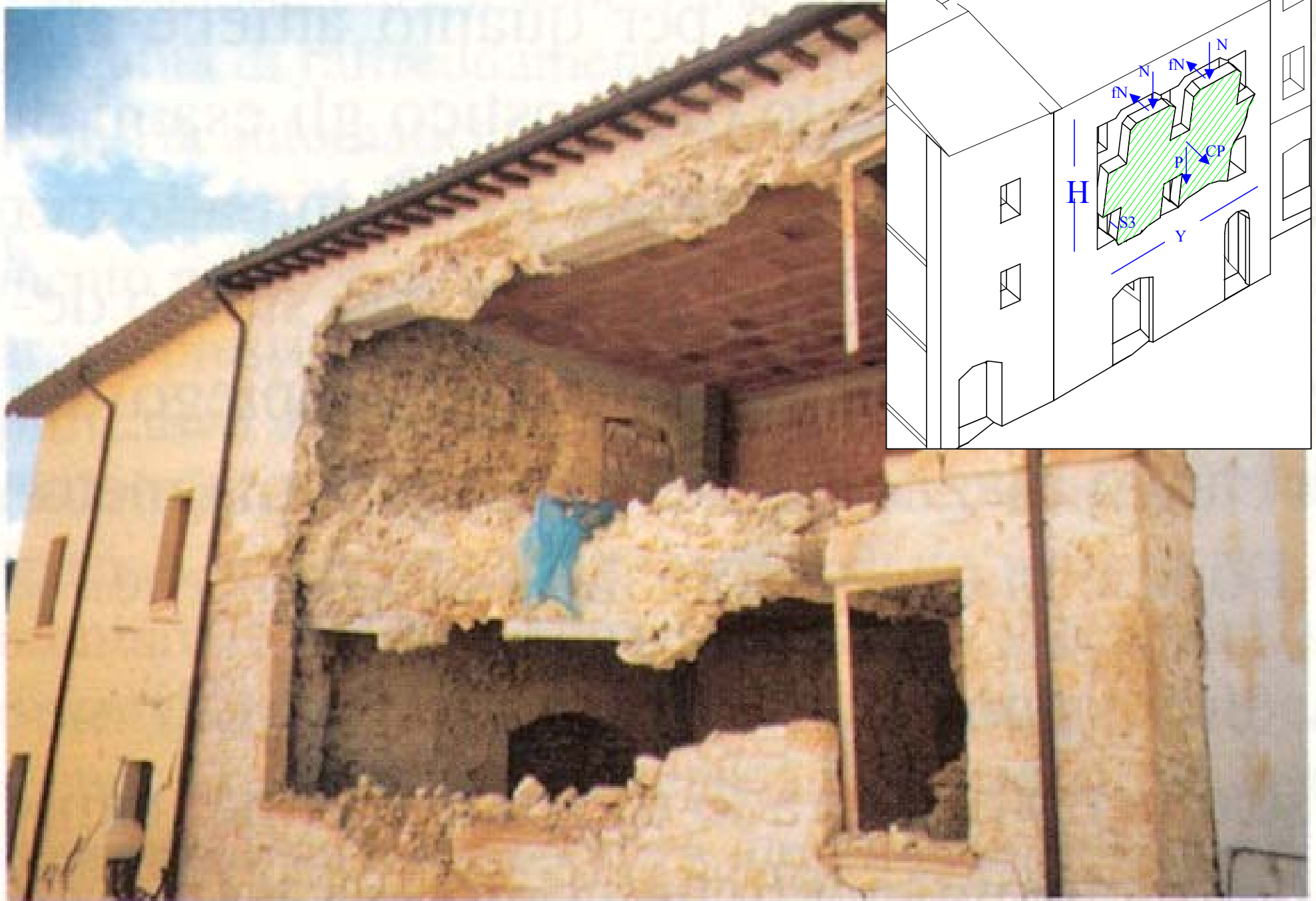
Cordolo in breccia



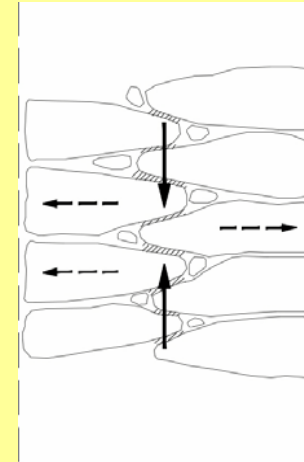
Edifici esistenti in muratura



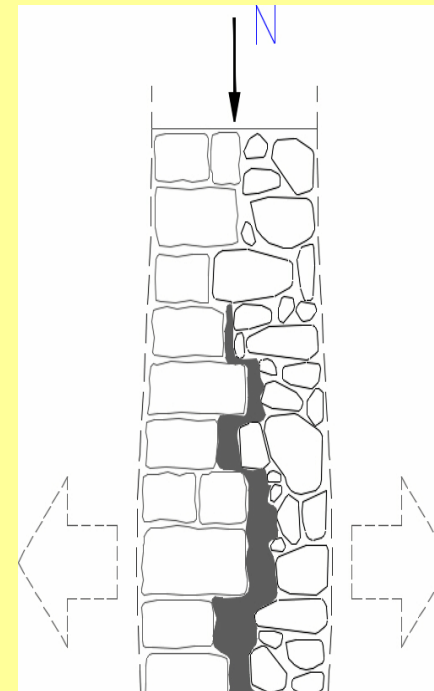
Edifici esistenti in muratura



Intonaco armato solo su una faccia



Espulsione per schiacciamento



G.B. Milani (1910)

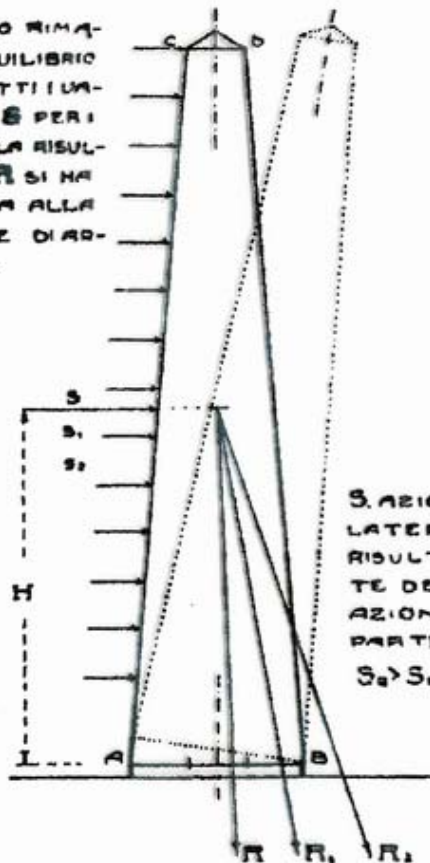
LA STABILITA' DEGLI ORG. ARCH.

AZIONI ESTERNE ORIZZONTALI (VENTO TERREMOTO ECC)

SISTEMI STATICI ELEMENTARI

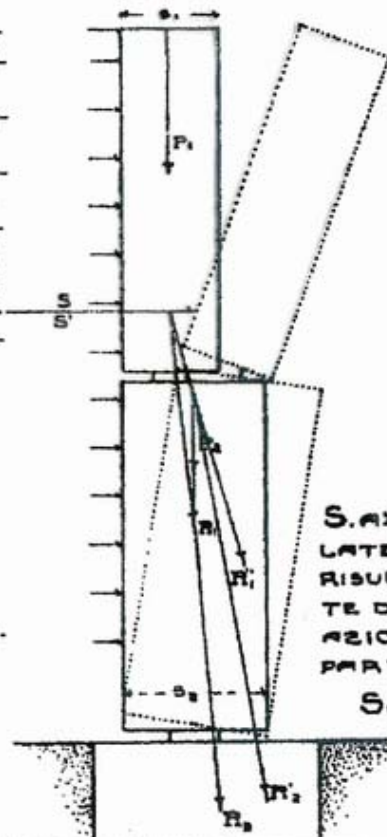
MONOLITE VERTICALE APPOGGIATO SOLIDO MURALE APPOGGIATO TRAVE ELASTICA VERTICALE INCASTRATA

IL SOLIDO RIMANE IN EQUILIBRIO PER TUTTI I VALORI DI S PER I QUALI LA RISULTANTE R SI HA INTERNA ALLA SEZIONE D'APPOGGIO.



S. AZIONE LATERALE RISULTANTE DELLE AZIONI RIPARTITE $S_2 > S_1 > S$

IL SOLIDO RIMANE IN EQUILIBRIO PER TUTTI I VALORI DI S PER I QUALI LA RISULTANTE R SI HA INTERNA AL NOCCIO CENTRALE DELLA SEZIONE D'APPOGGIO.



S. AZIONE LATERALE RISULTANTE DELLE AZIONI RIPARTITE $S_1 > S$

LA TRAVE RIMANE IN EQUILIBRIO ANCHE PER I VALORI DI S . PER I QUALI LA RISULTANTE R SI HA COMPLETAMENTE ESTERNA ALLA SEZIONE D'INCASTRO. IL SOLIDO SI DEFORMA COME IN FIGURA

(Quanto al limite dei valori di S vedi testo)



S. AZIONE LATERALE RISULTANTE DELLE AZIONI RIPARTITE.

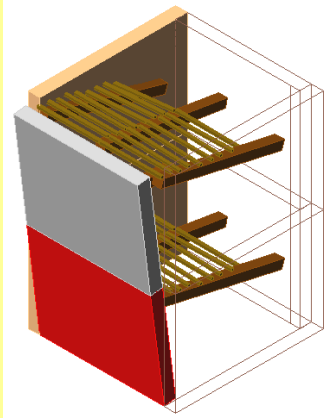
Edifici esistenti in muratura

COLLASSO

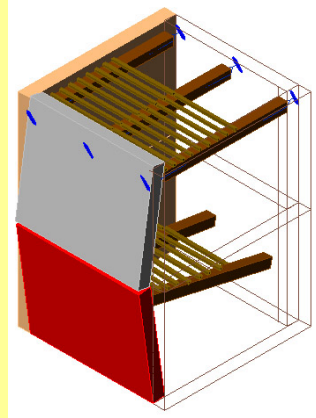
DI

MECCANISMI

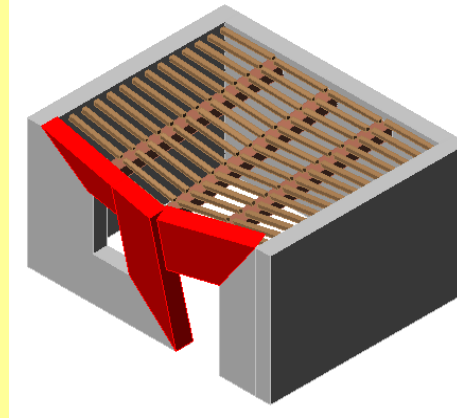
PRINCIPALI



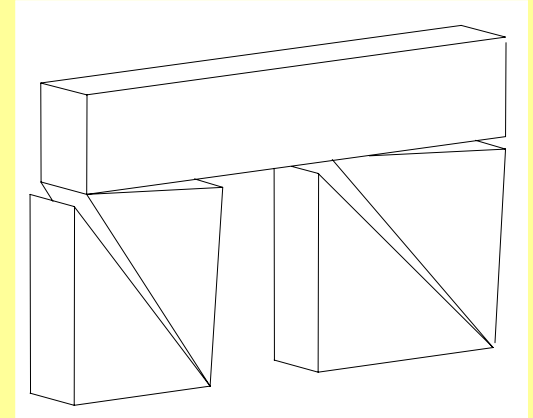
Ribaltamento
semplice



Flessione
verticale

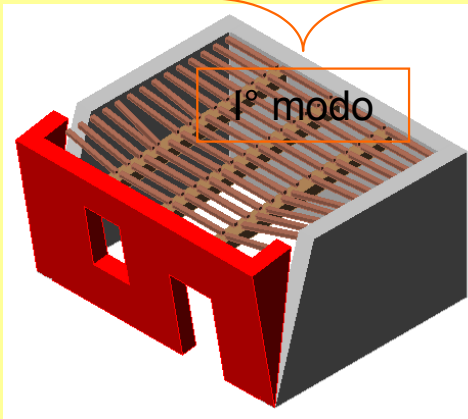


Flessione
orizzontale

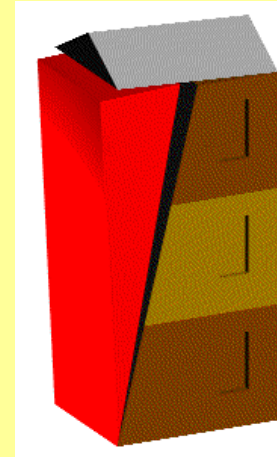


II° modo

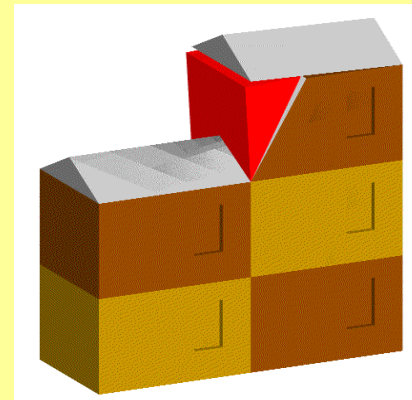
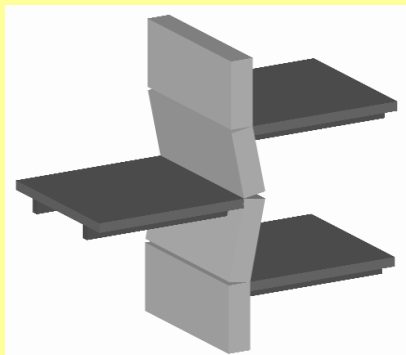
Meccanismi
"misti"



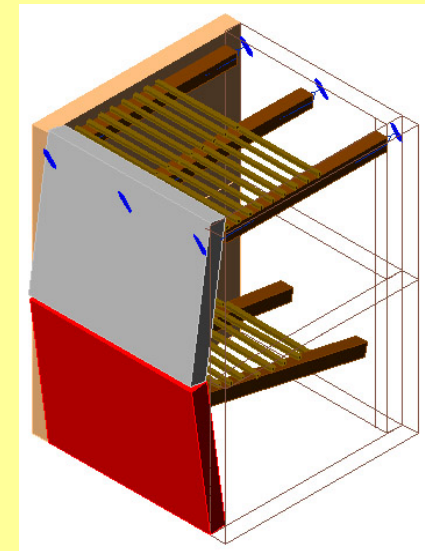
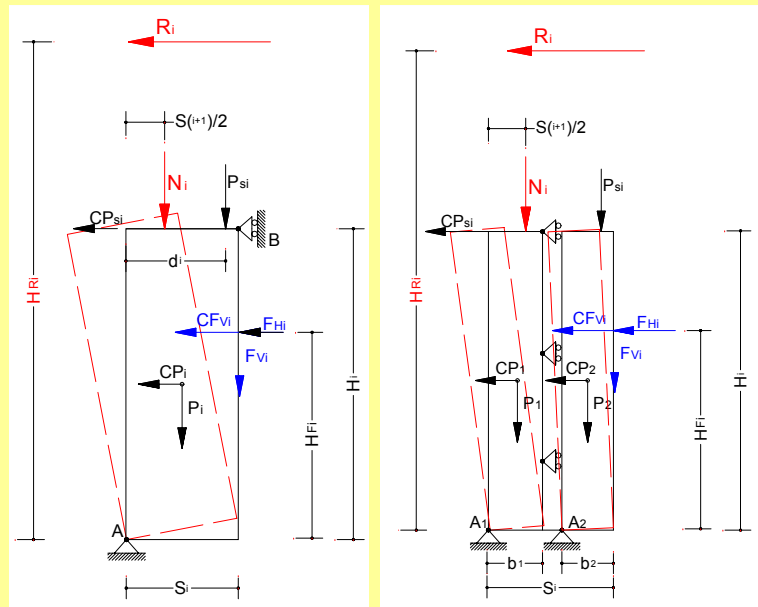
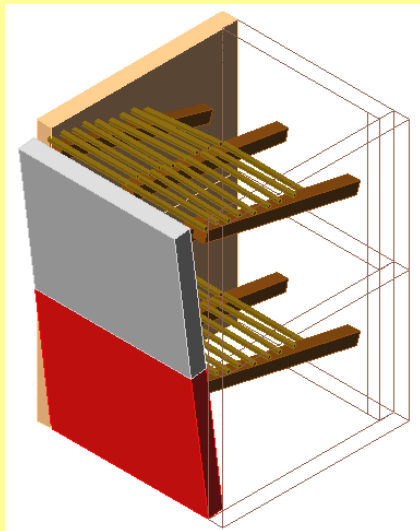
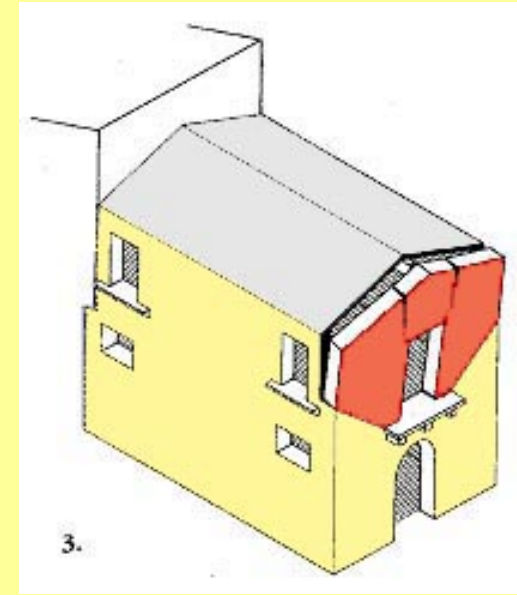
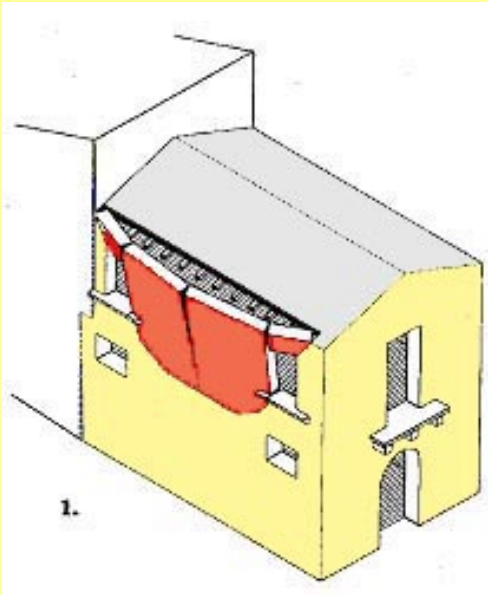
I° modo



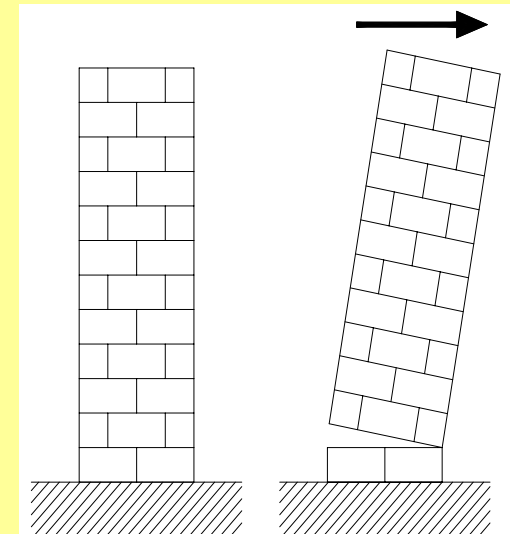
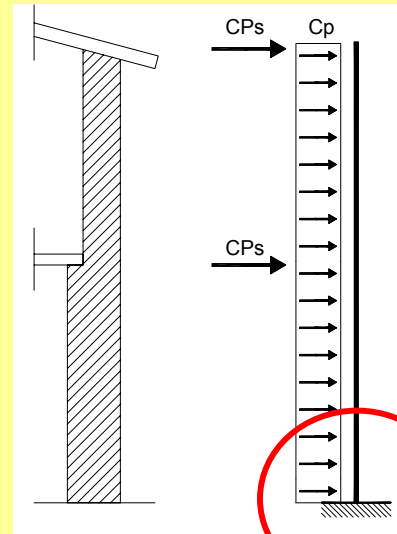
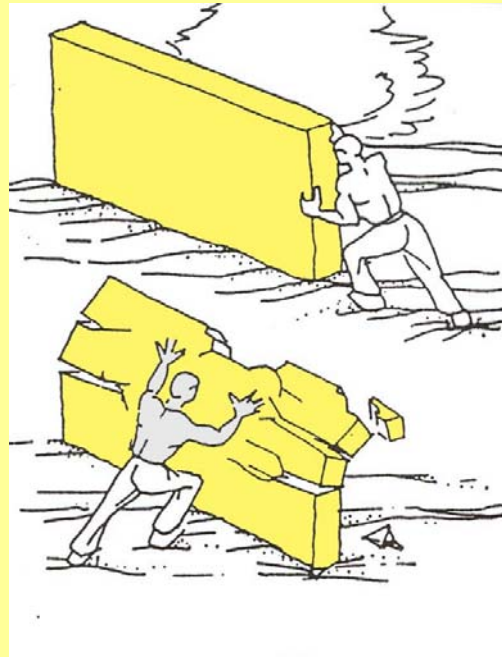
Condizioni
al contesto



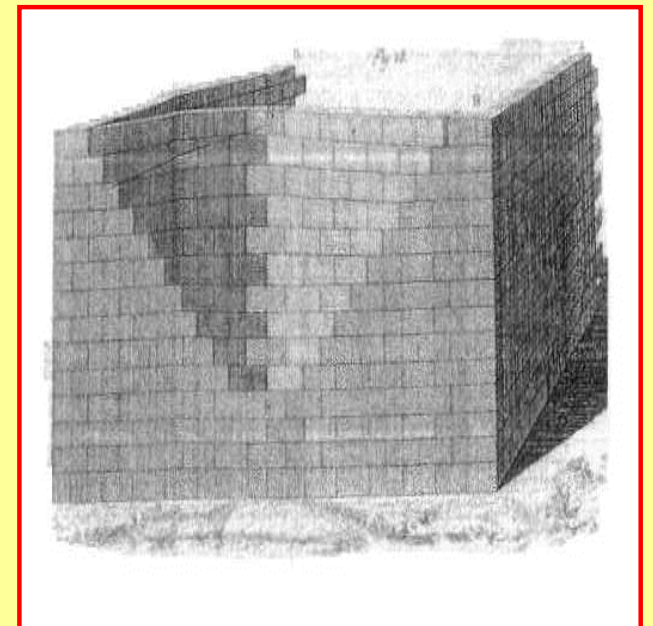
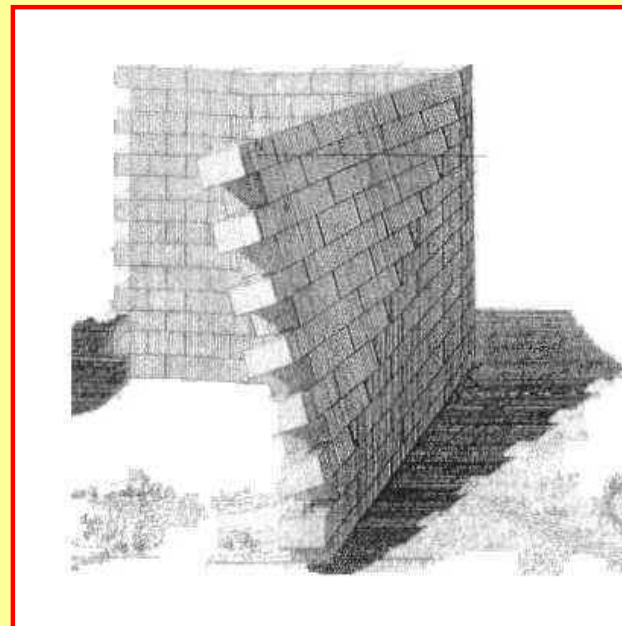
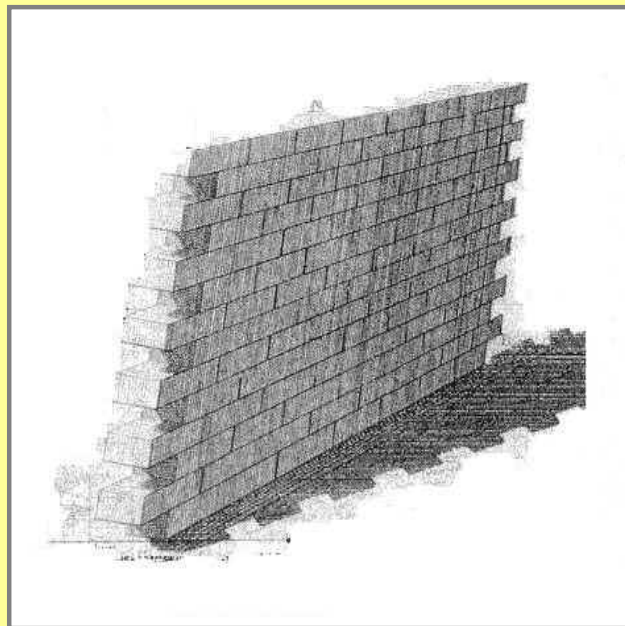
Cinematismi di collasso



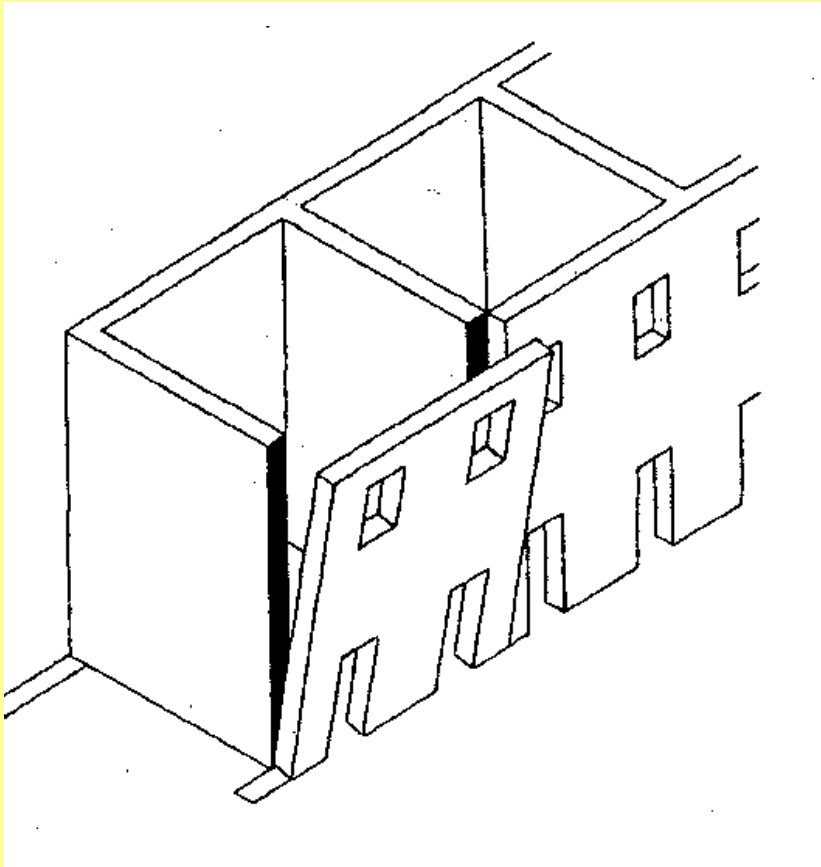
Edifici esistenti in muratura



Ricordarsi di verificare ...



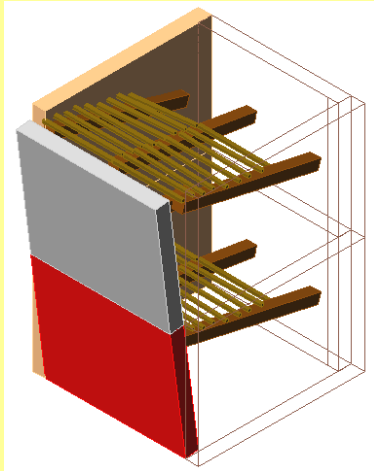
Ribaltamenti



Ribaltamento semplice

Per edificio integro:

- Assenza di collegamento verticale nei martelli murari
- Parete di facciata svincolata in sommità
- Efficace collegamento orizzontale alla base della tesa

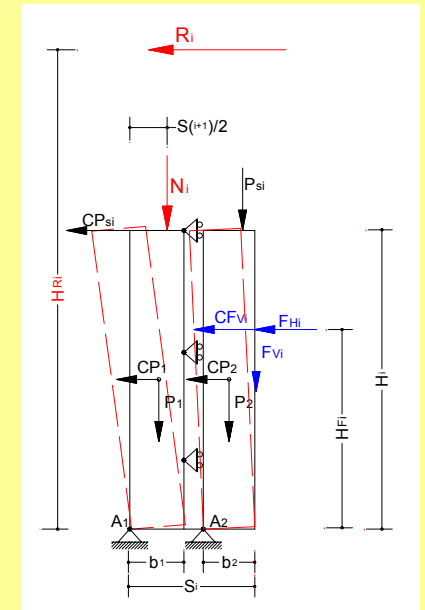
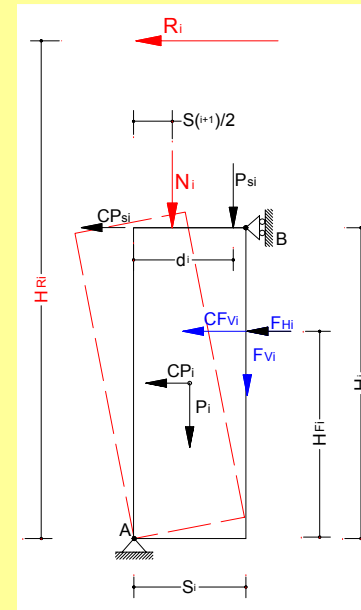


Per edificio lesionato:

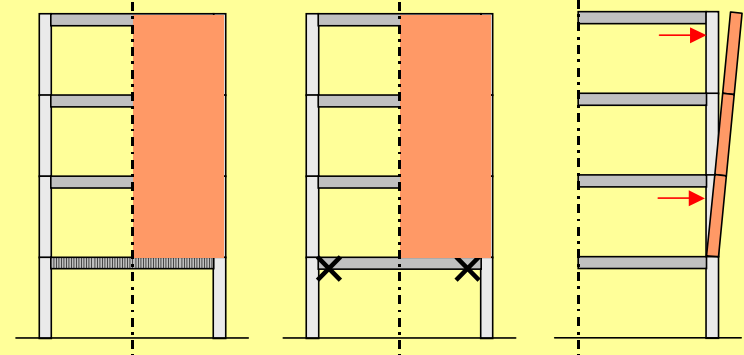
- Singola lesione verticale
- Sfilamento di travi ai piani superiori



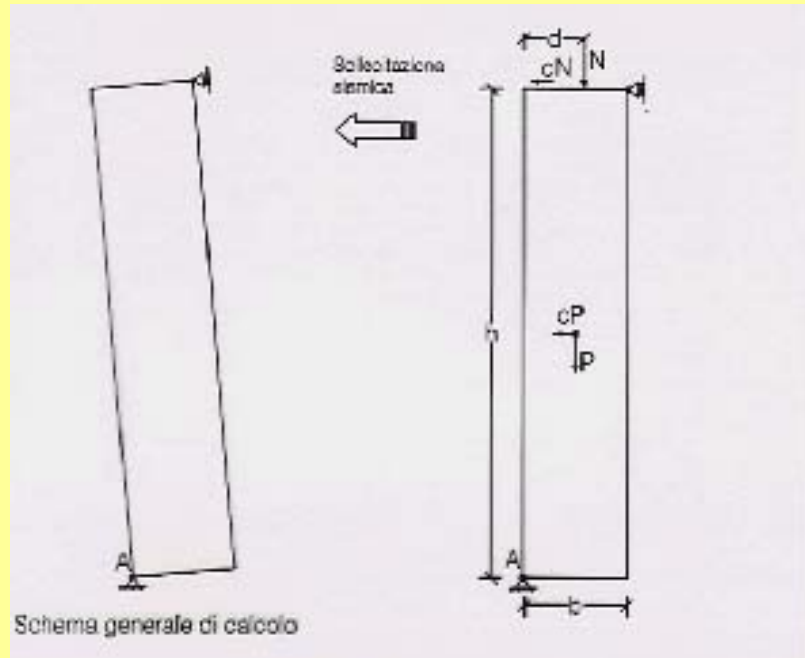
Algoritmi di calcolo



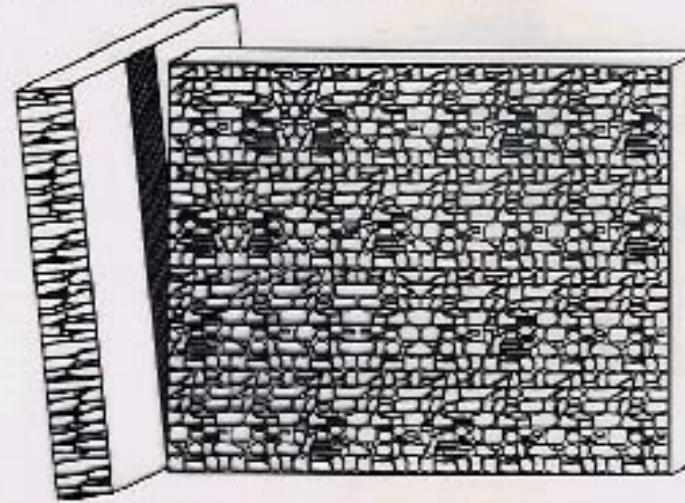
Abachi



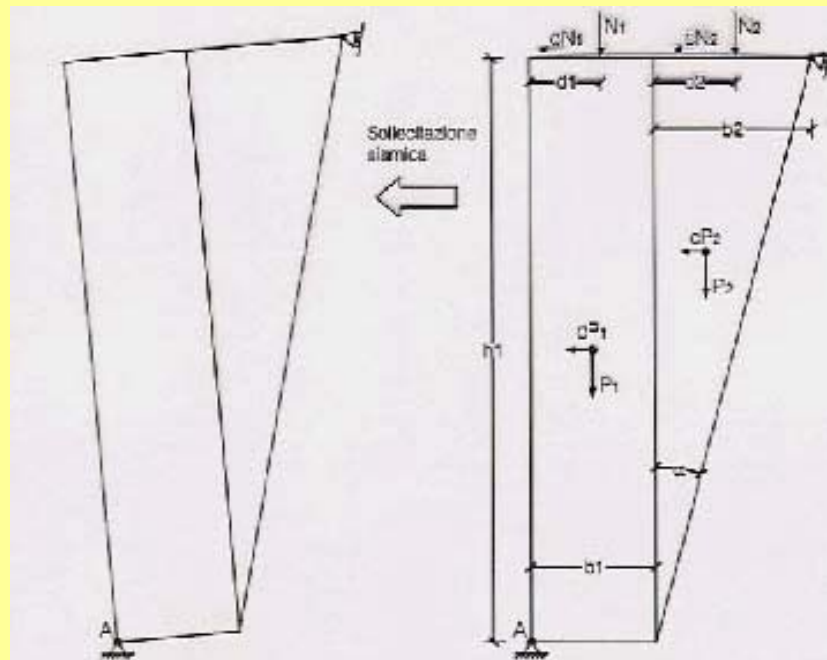
Edifici esistenti in muratura



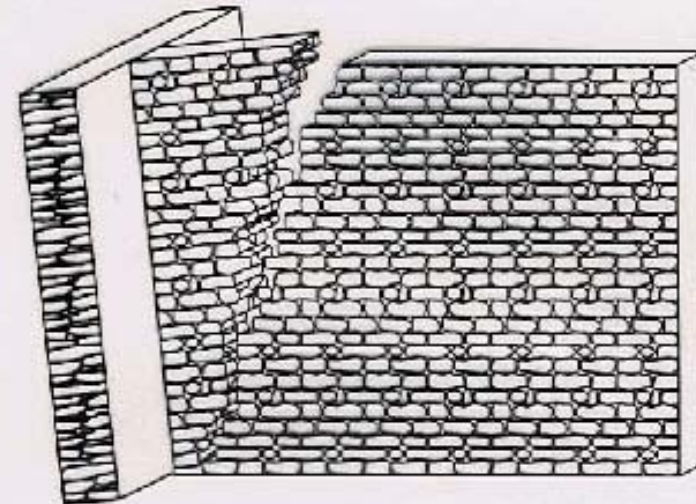
I vincoli rappresentati dal carrello, se non specificato, devono intendersi di tipo monolatero, reagenti solo a compressione.



Anche in questo caso, il collasso avviene per ribaltamento su cerniera cilindrica del muro sollecitato fuori dal proprio piano. I valori del coefficiente di collasso sono superiori (circa il doppio) rispetto il caso precedente.



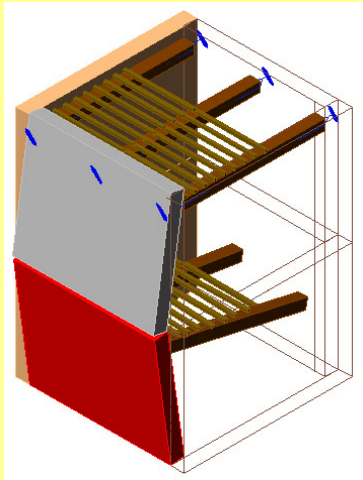
I vincoli rappresentati dal carrello, se non specificato, devono intendersi di tipo monolatero, reagenti solo a compressione.



Flessione verticale

Per edificio integro:

- Assenza di collegamento verticale nei martelli murari
- Presenza di connessione orizzontale inferiore e superiore

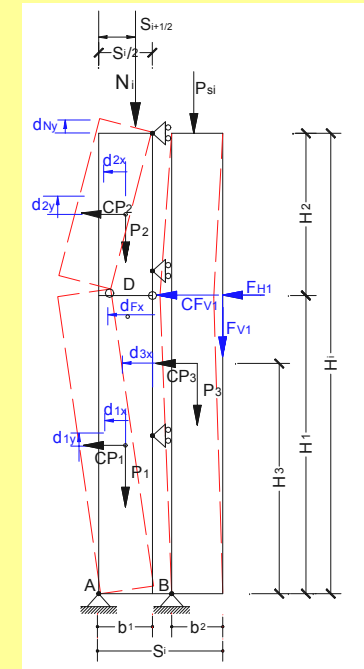
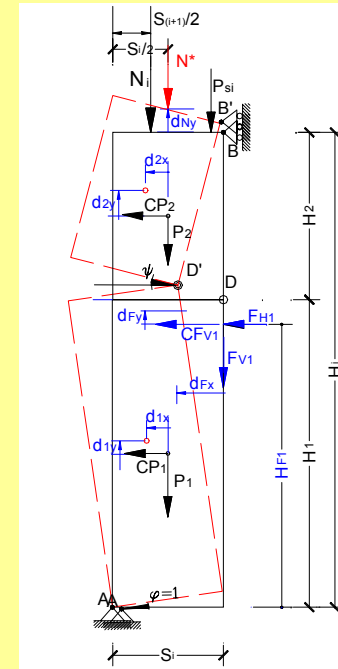


Per edificio lesionato:

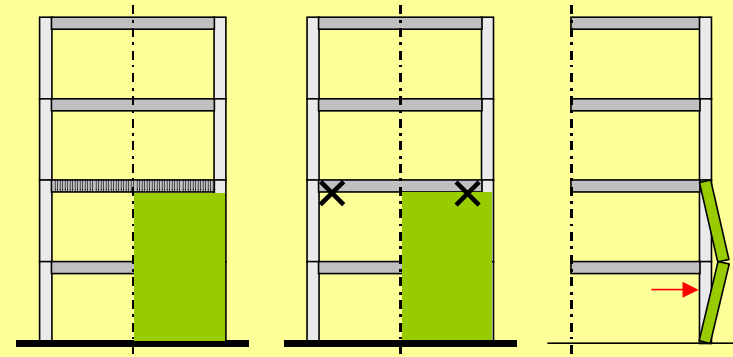
- Presenza di fuoripiombo
- Sfilamento di travi ai piani intermedi



Algoritmi di calcolo



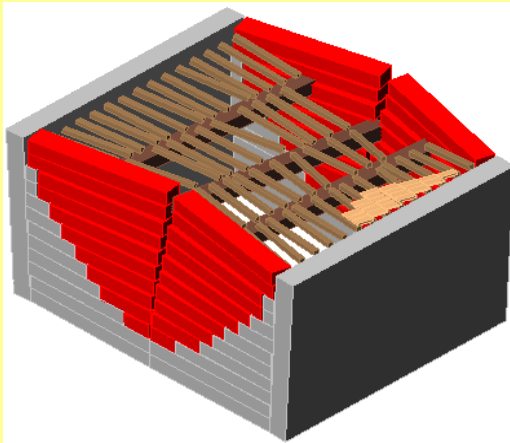
Abachi



Flessione orizzontale (non considerata nella Ordinanza)

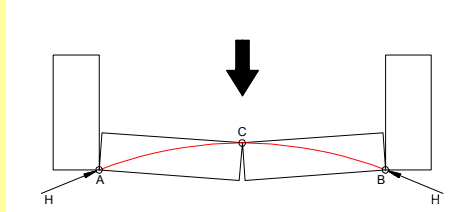
Per edificio integro:

- Pannelli murari efficacemente vincolati alle pareti di spina (tiranti)
- Assenza di elementi che trattengano la parete esposta in zona sommitale (cordoli o solette armate)

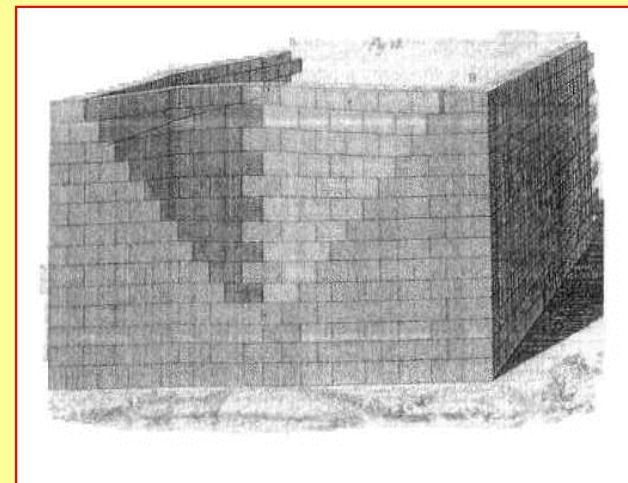
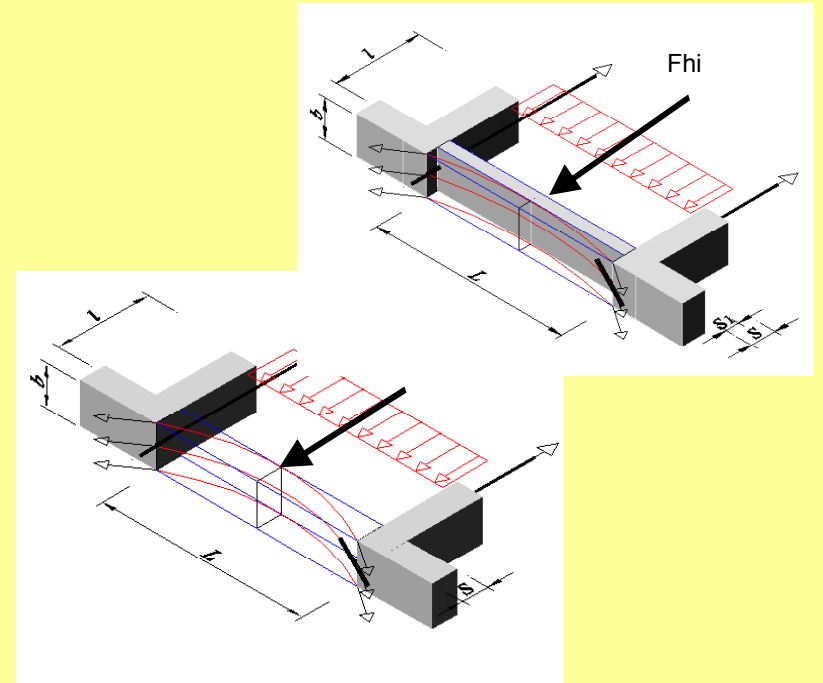


Per edificio lesionato:

- Lesione verticale sul piano in corrispondenza del punto di contatto della curva delle pressioni con il bordo interno della muratura
- Lesioni diagonali al di sotto del profilo parabolico (taglio delle spinte orizzontali dell'arco resistente)



Algoritmi di calcolo



Ribaltamento composto (distacco cuneo a diagonale semplice o doppia)

Per edificio integro:

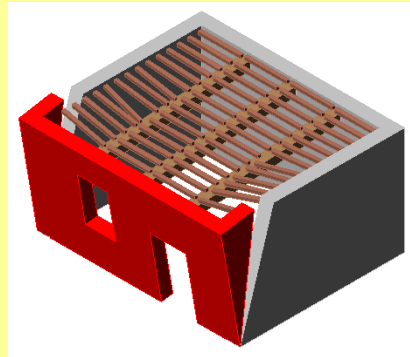
- Buon collegamento verticale nei martelli murari
- Assenza di vincoli in sommità
- Presenza di un'efficace collegamento trasversale al livello più basso della tesa individuata

e

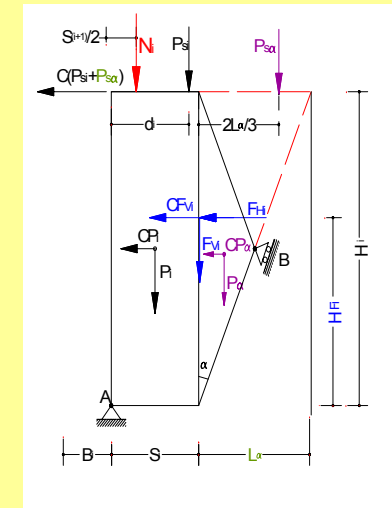
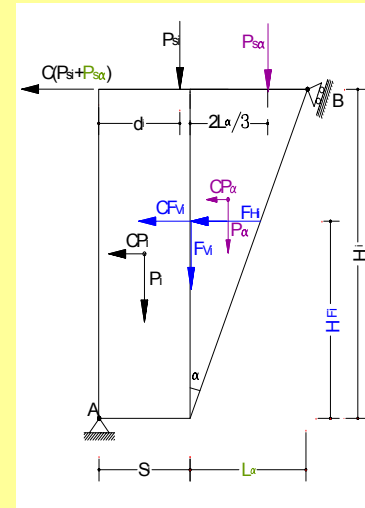
- Presenza di un solaio con soletta rigida al di sopra della tesa interessata dal cinematismo (per cuneo a doppia diagonale)

Per edificio lesionato:

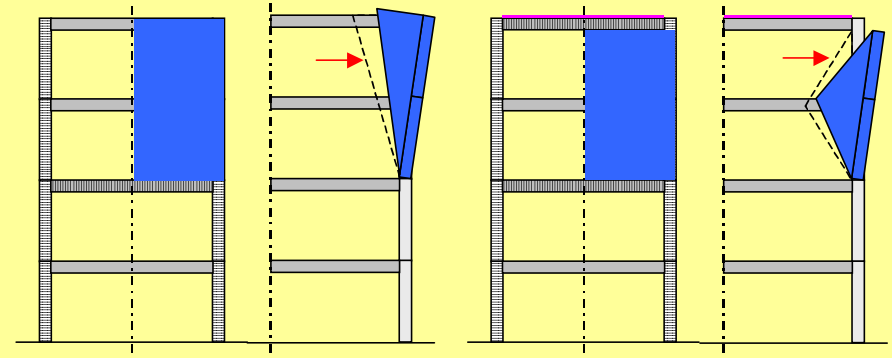
- Lesioni diagonali o a doppia diagonale con angolo di distacco differente a seconda della tipologia muraria caratterizzante l'edificio



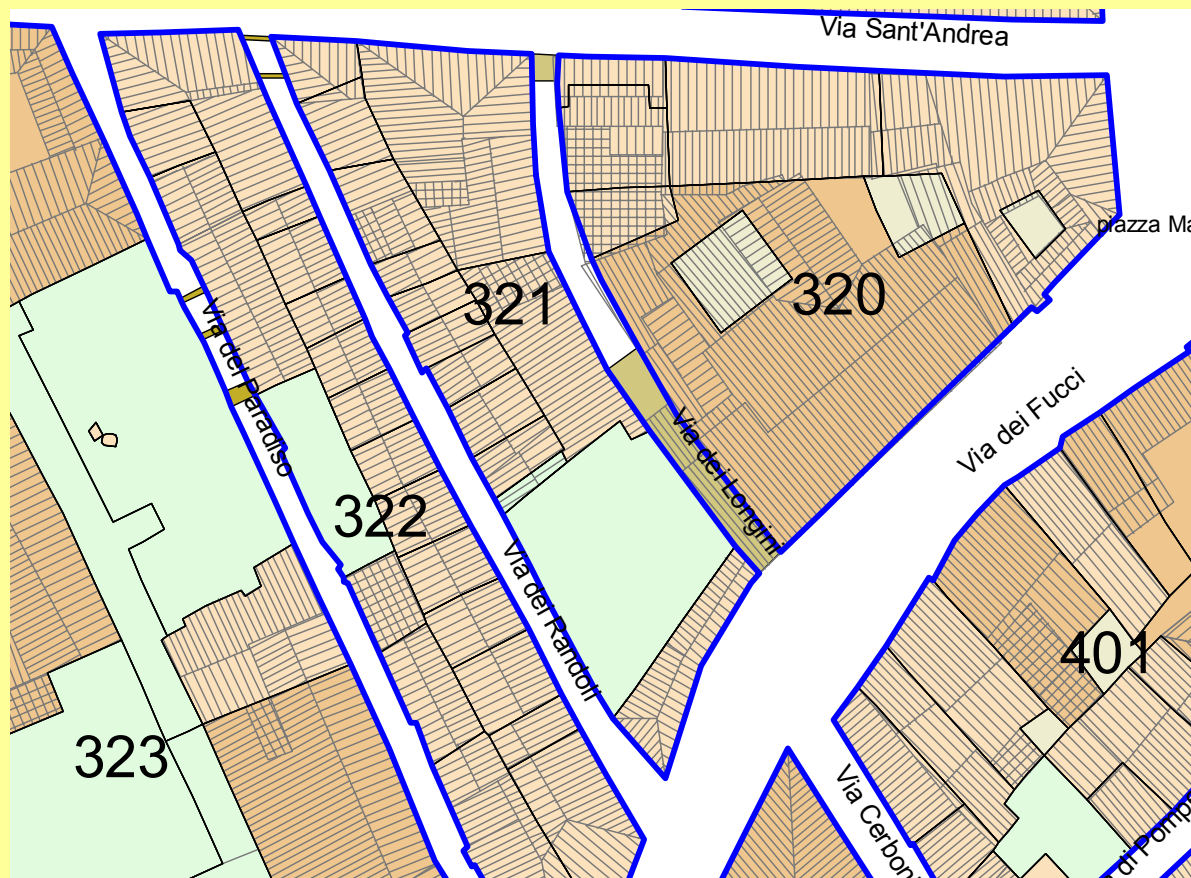
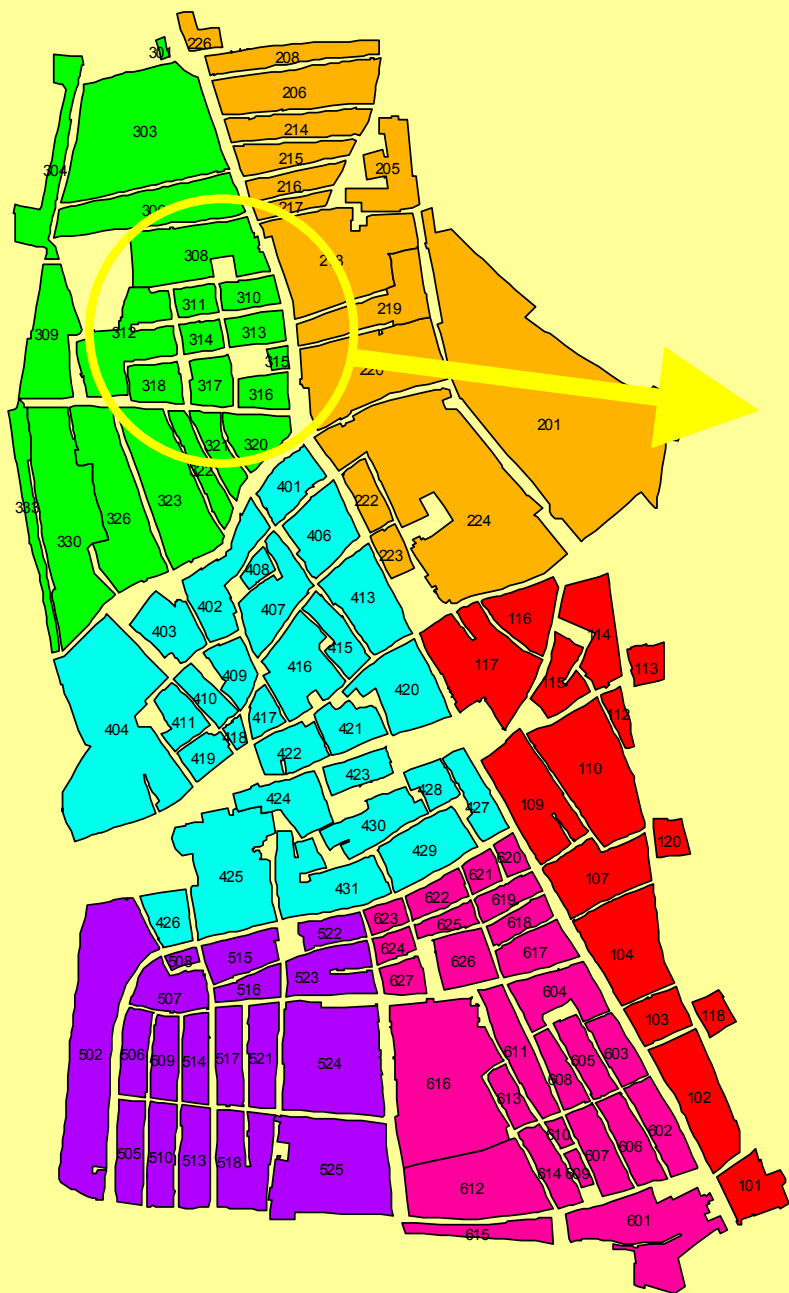
Algoritmi di calcolo



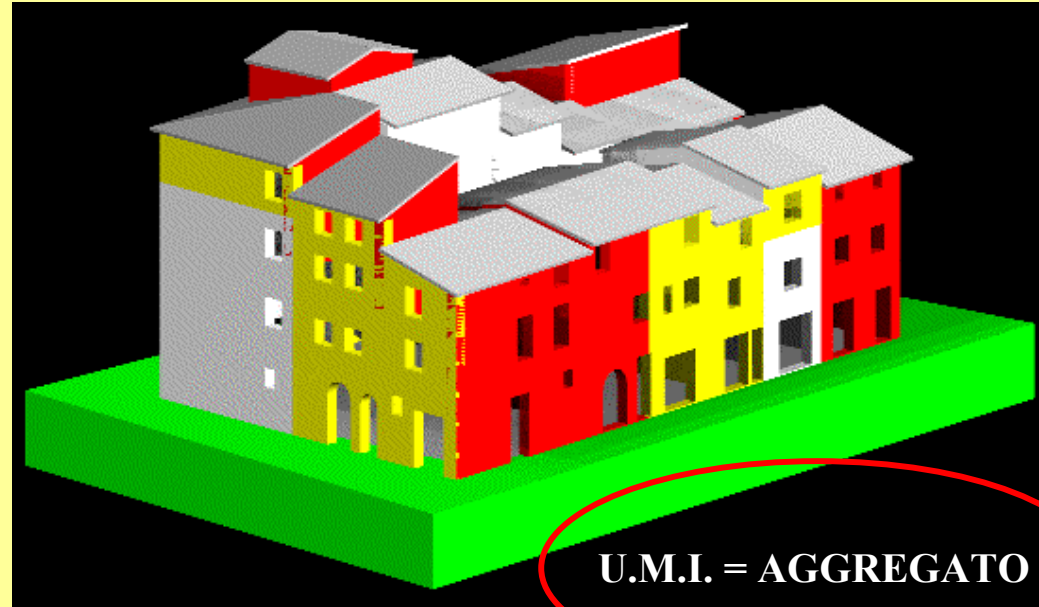
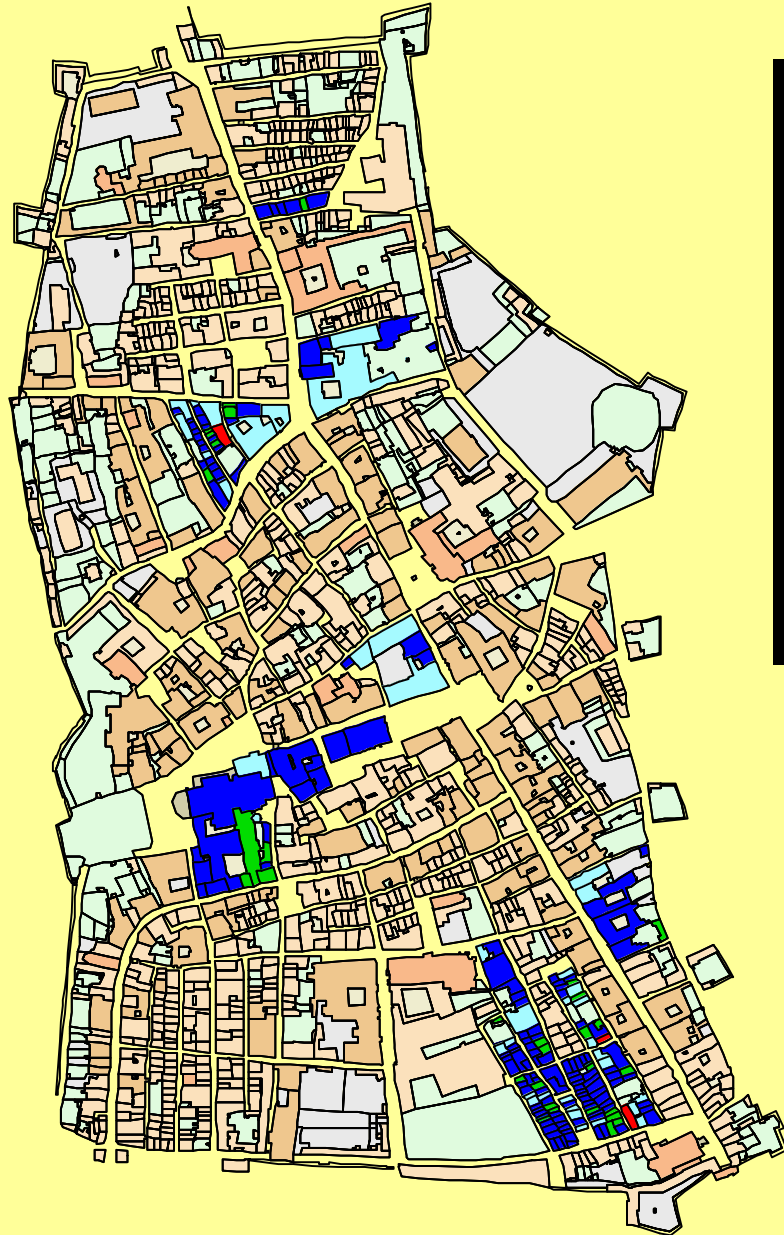
Abachi



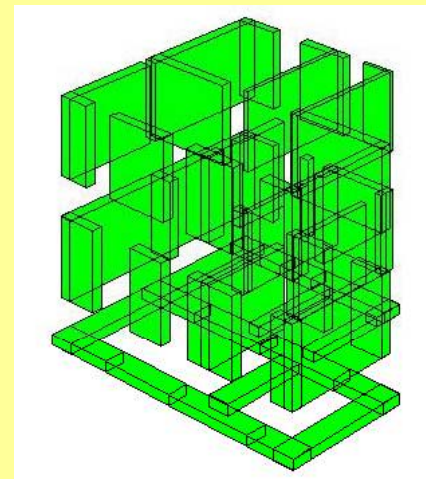
Complessità degli aggregati di un Centro storico



Edifici esistenti in muratura



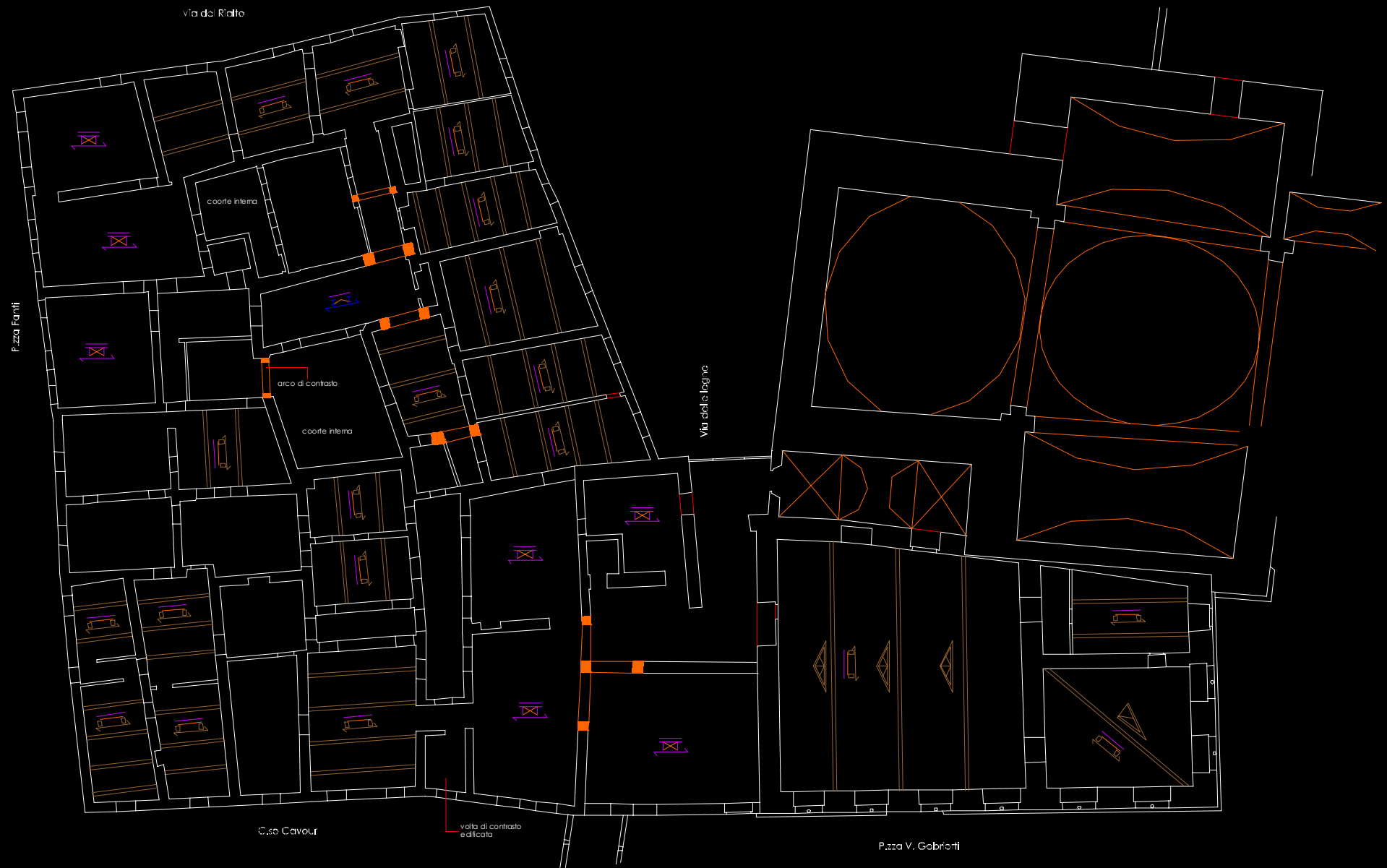
U.M.I. = AGGREGATO



EDIFICIO SINGOLO

Letture strutturale del contesto: il rilievo dell'aggregato

PIANTA PIANO SECONDO Scala 1:200



Letture strutturale del contesto: il rilievo dell'aggregato






C.so Cervia

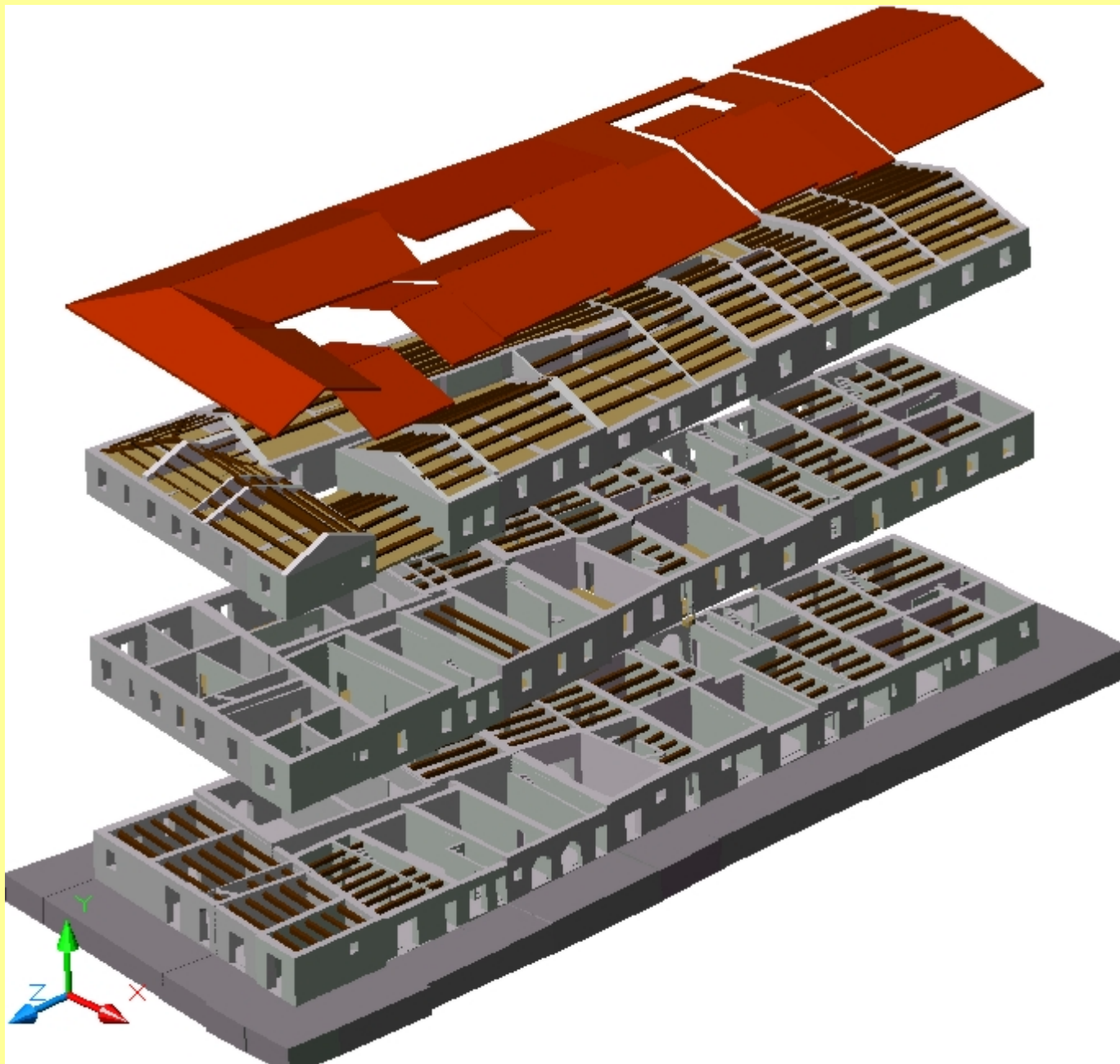
P.zza V. Gabriotti

Rilievo: prospetto su Piazza Gabriotti. Sono individuati gli ingombri degli ambienti e la tipologia dei solai presenti. La campitura delle murature ne indica il tipo (colore) e la qualità (tratteggio più o meno rado)

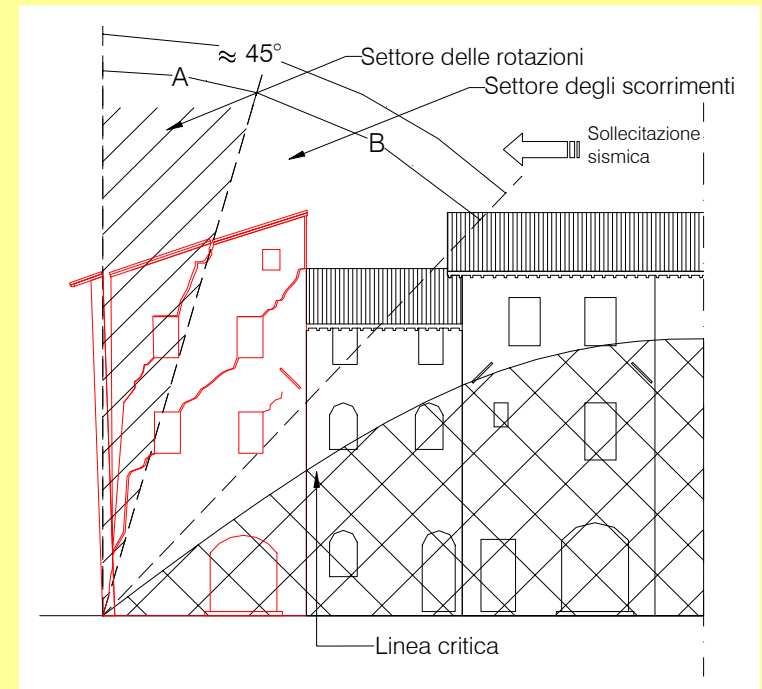
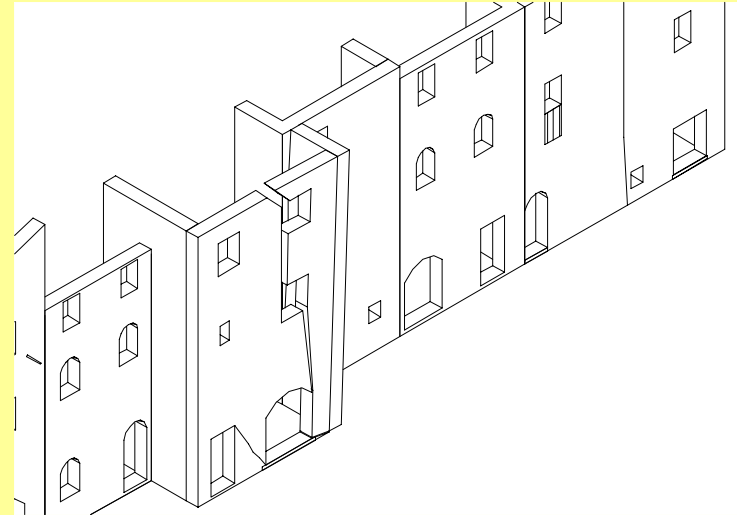
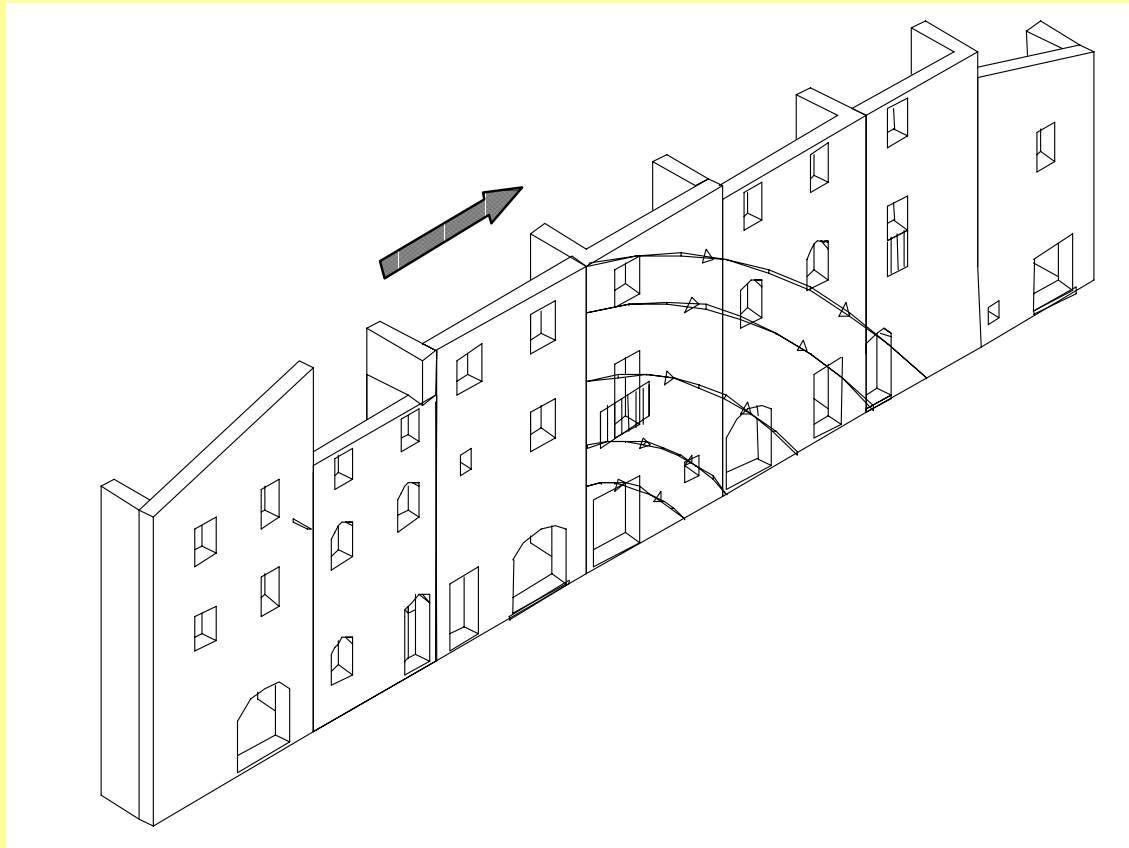
STRUTTURE MURARIE

PROSP.	CAT.	DESCRIZIONE SIMBOLO
	A	pietrame squadrato a filari regolari e con paramenti ben ingranati
	B	pietrame squadrato con filari irregolari o pietrame non squadrato, ma ben organizzato
	C	pietrame non squadrato, filari irregolari e paramenti non ingranati

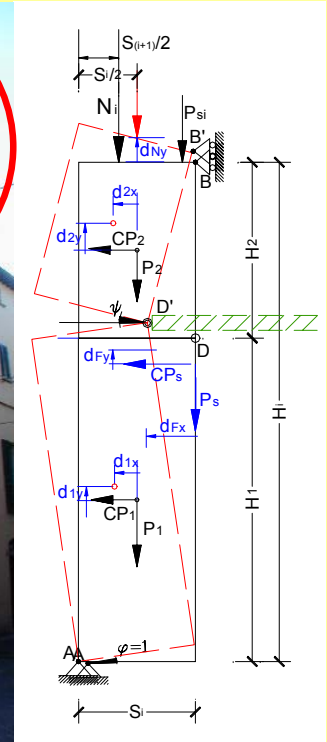
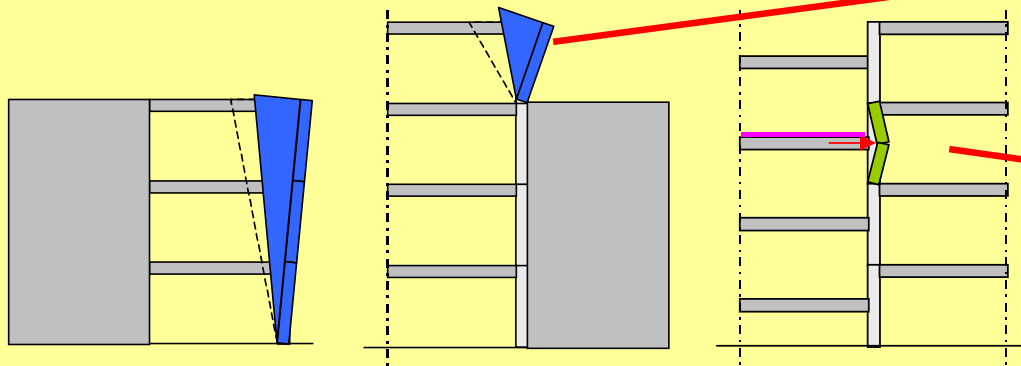
Edifici esistenti in muratura



Edifici esistenti in muratura

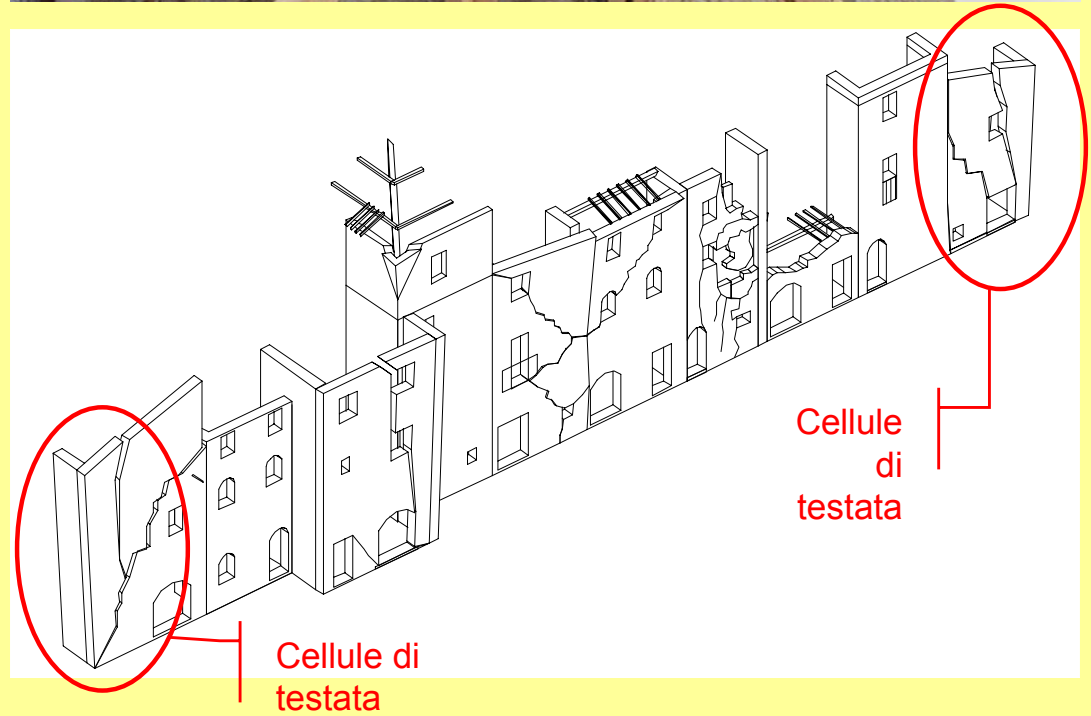


Interazioni: condizioni al contorno



- **Edifici affiancati da altri di altezza diversa** (meccanismo di ribaltamento con cuneo a diagonale semplice con spinta agente proporzionale al numero di piani dell'edificio affiancato)
- **Edifici di testata della schiera** (meccanismo di ribaltamento con cuneo a diagonale semplice con spinta agente dovuta ad un cuneo fittizio maggiorato)
- **Sfalsamento di solai di edifici adiacenti** (meccanismo di flessione verticale con spinta agente prodotta da un solaio pesante o leggero)

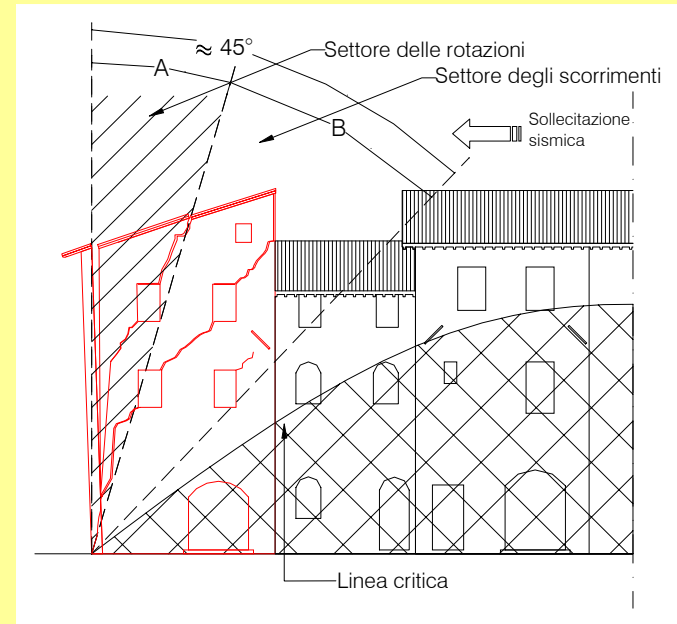
Edifici esistenti in muratura



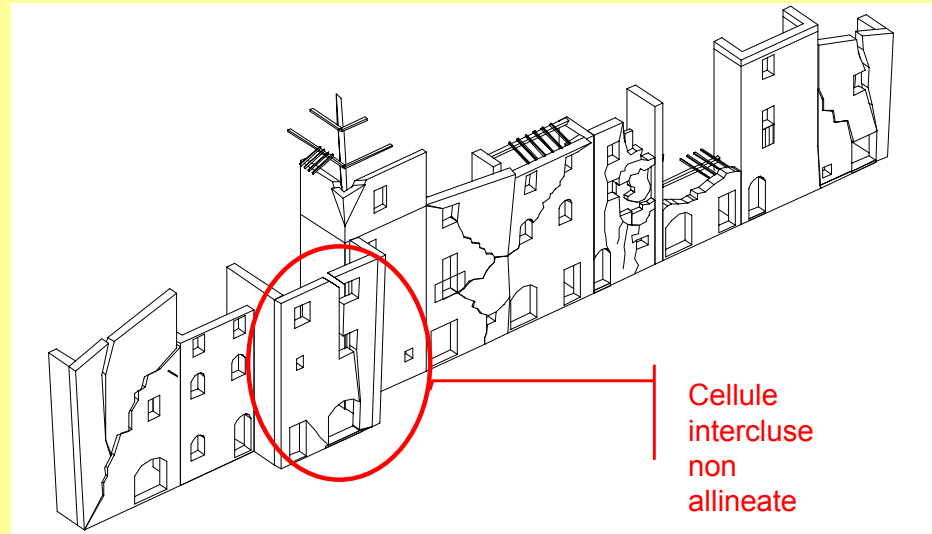
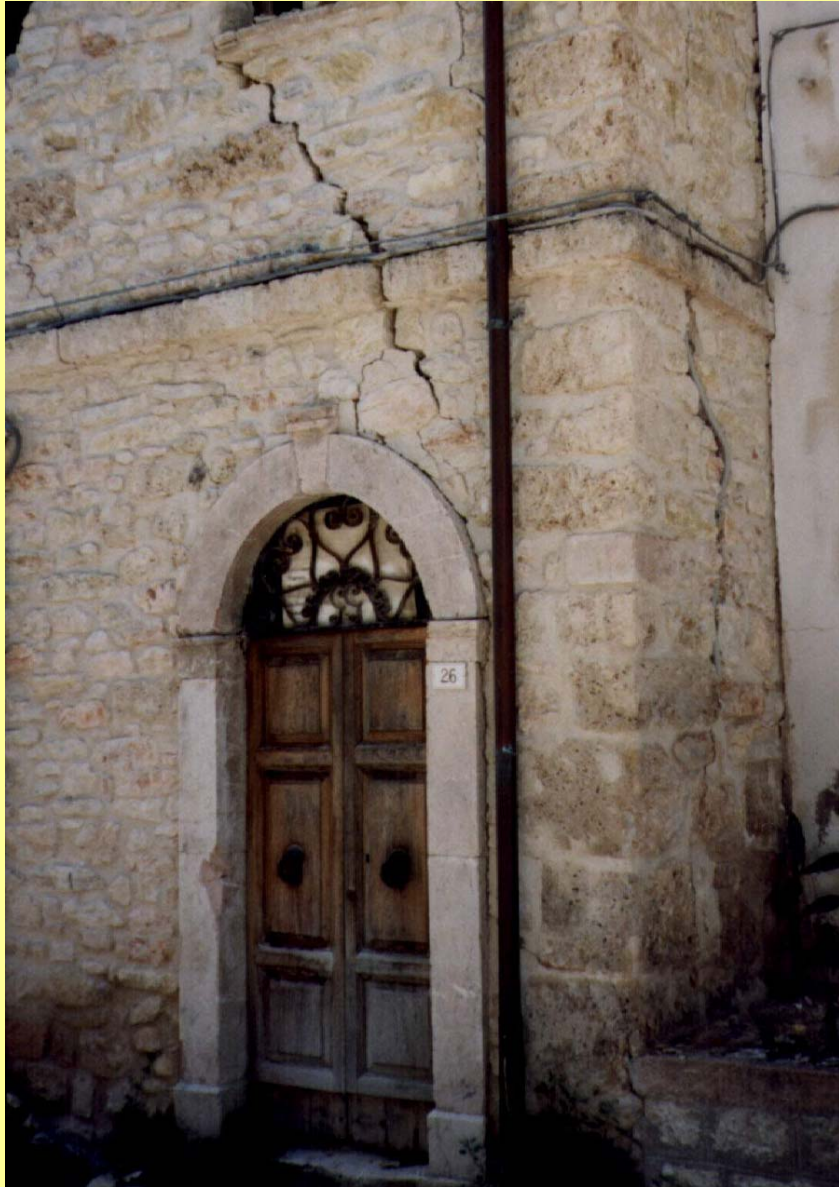
Cellule di testata

Cellule di testata

Edifici esistenti in muratura



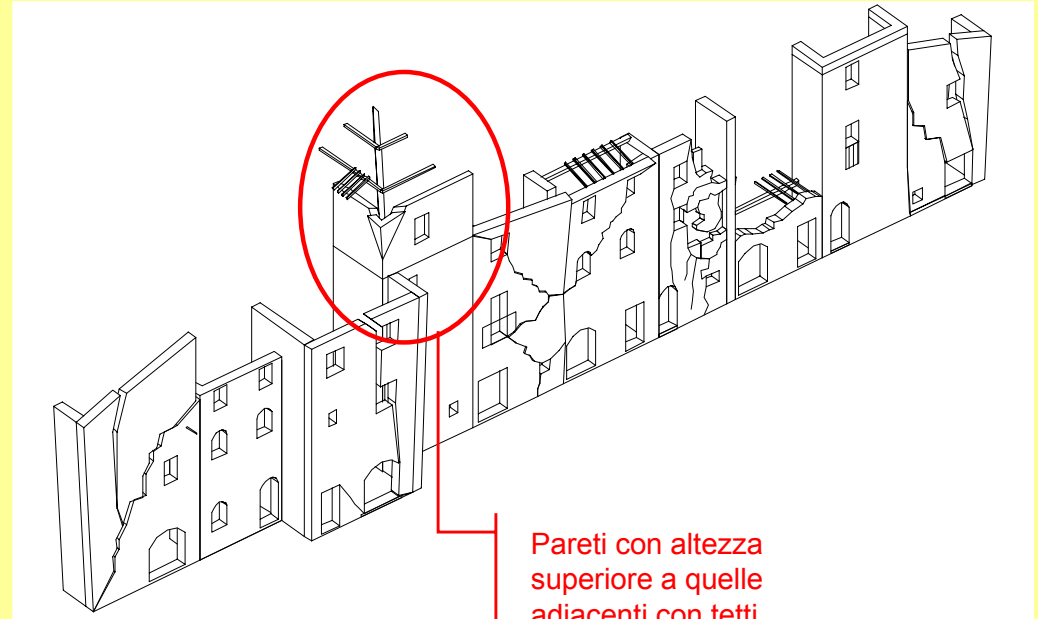
Edifici esistenti in muratura



Cellule
intercluse
non
allineate



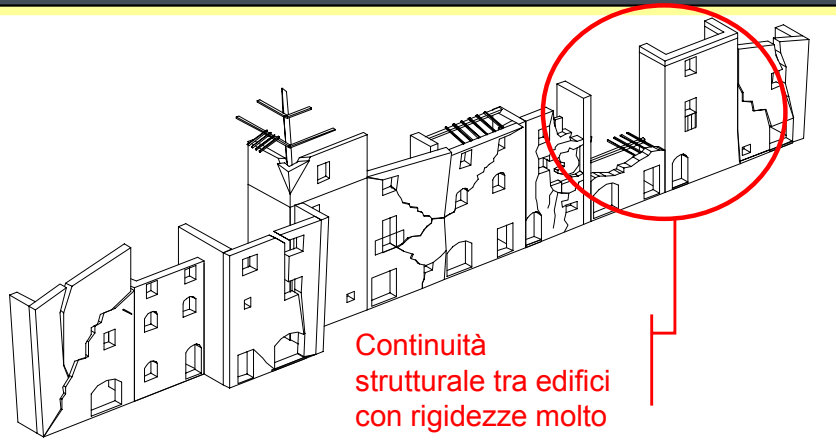
Edifici esistenti in muratura



Pareti con altezza superiore a quelle adiacenti con tetti spingenti



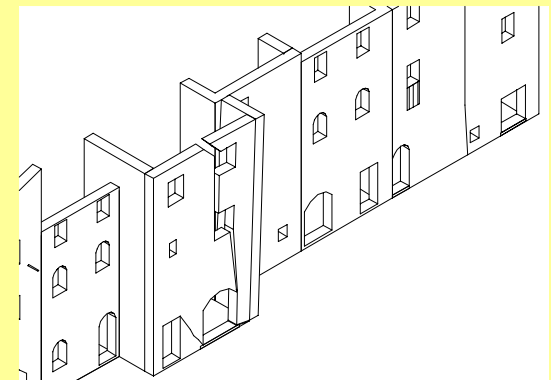
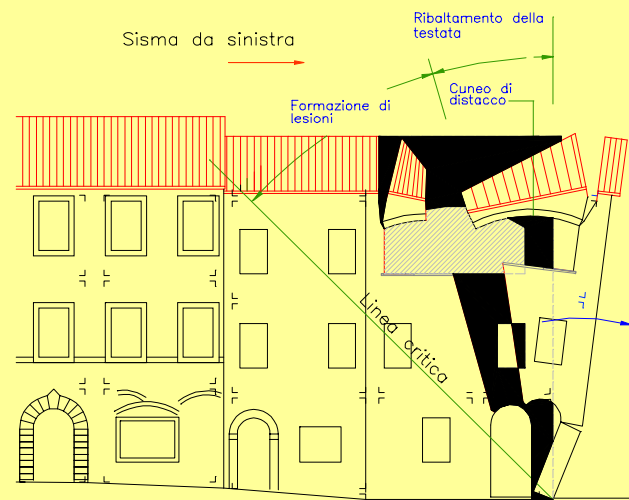
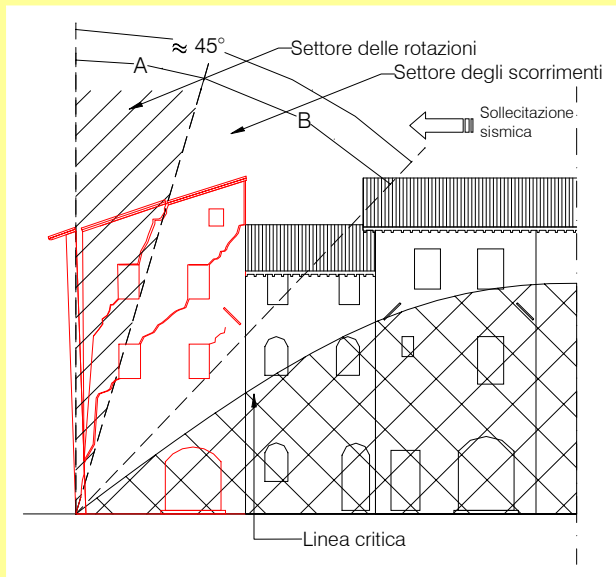
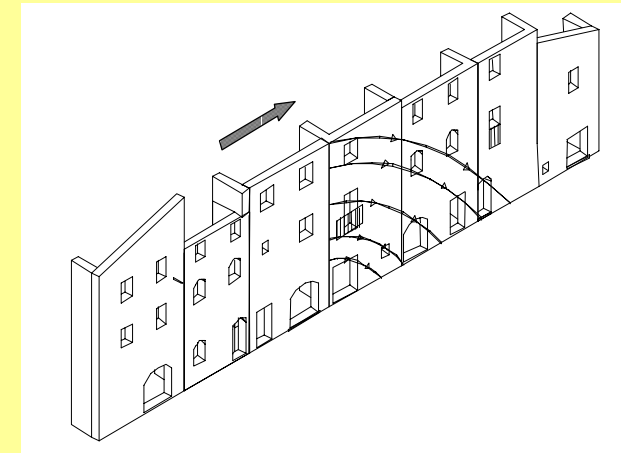
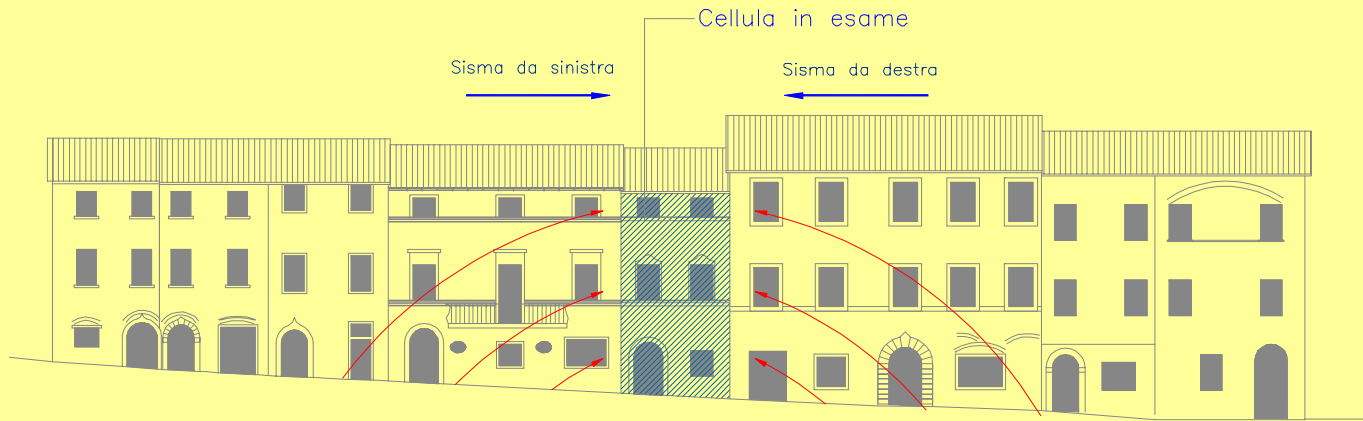
Edifici esistenti in muratura



Continuità
strutturale tra edifici
con rigidzze molto
diverse



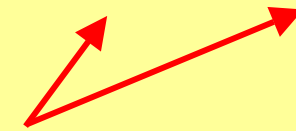
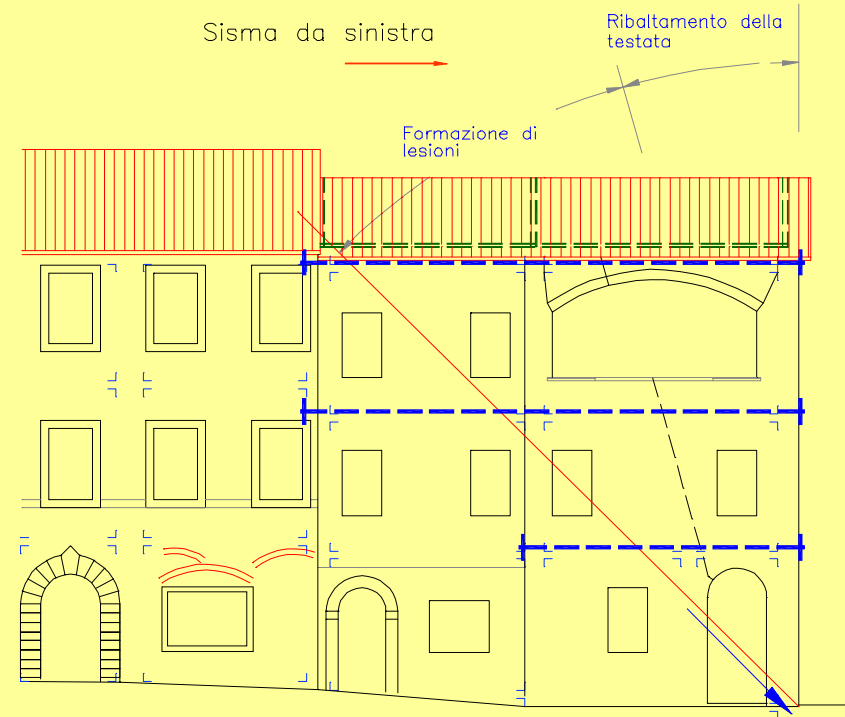
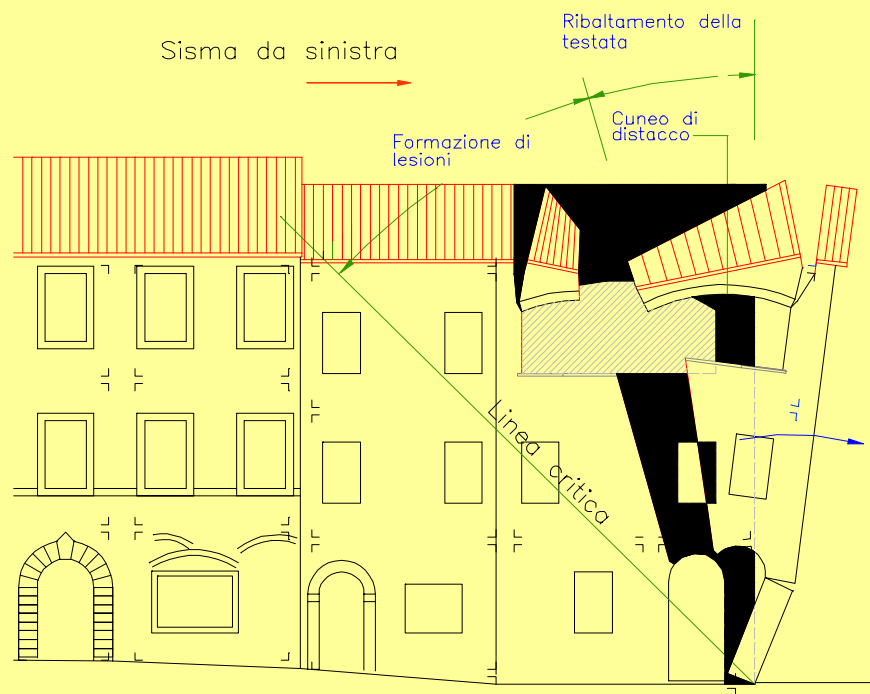
Edifici esistenti in muratura



Cellule di testata

Prospetti non allineati

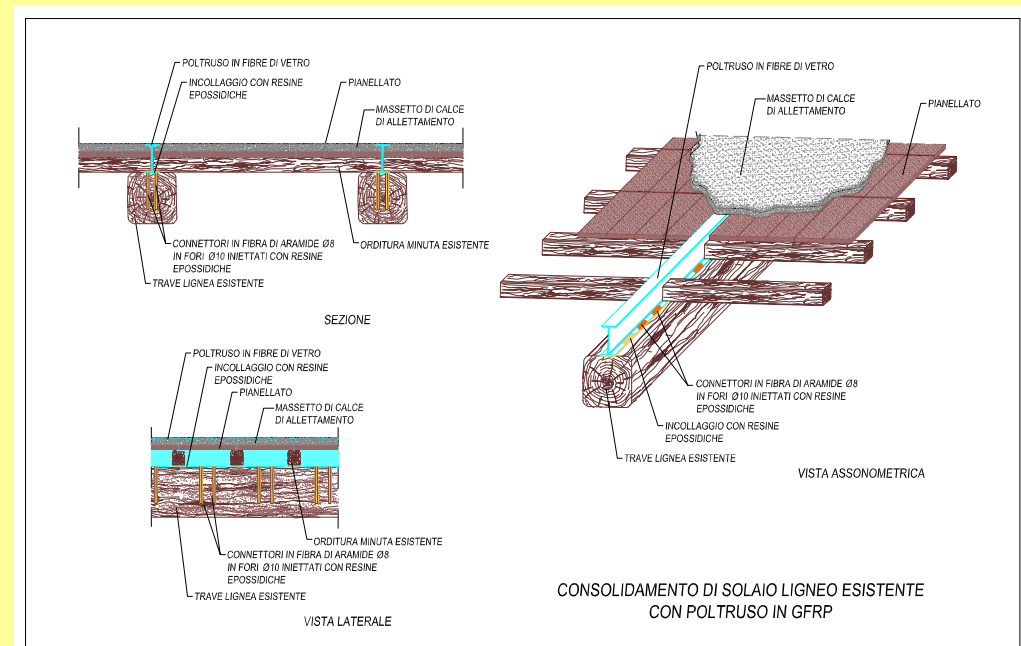
Edifici esistenti in muratura



Possibilità di intervenire anche se le proprietà sono diverse ...

SOLAI: norma sbilanciata verso i solai rigidi

- Ci vorrebbero indicazioni di percorsi diversi di modellazione e di analisi che consentano il mantenimento di solai flessibili.



“Introduzione di un sistema strutturale aggiuntivo in grado di resistere per intero all’azione sismica di progetto”

Indicazione esplicita che apre all’instaurarsi di prassi “non sempre opportune”.



Conclusioni e proposte

- Perplessità per analisi statica lineare e modale
- No a cordoli in breccia (o limitazioni)
- No a intonaco armato solo su una faccia
- Non codificare interventi di sostituzione della struttura orig.
- Introduzione metodo dei cinematismi
- Precisazioni per prove sperimentali
- Indicazioni per aggregati edilizi
- Indicazioni per volte
- Indicazioni più positive per solai non rigidi

“Riscrittura” per gli edifici esistenti in muratura

Commissione ad hoc:

- Prof.ssa L. Binda (Polit. MI)
- Prof. A. Borri (Univ. PG)
- Prof. S. Lagomarsino (Univ. GE)
- Prof. G. Magenes (Univ. PV)
- Prof. C. Modena (Univ. PD)