



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA

*Analisi e Interventi Strutturali su Edifici in Muratura secondo le NTC 2008*

Pistoia, 26 ottobre 2012

# EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA



Maurizio Orlando

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*

*Università degli Studi di Firenze*

*[www.dicea.unifi.it/maurizio.orlando](http://www.dicea.unifi.it/maurizio.orlando)*



# EDIFICI ESISTENTI

## 8.3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti possono essere eseguiti con riferimento ai soli **SLU**

*(se si effettua la verifica anche nei confronti degli SLE, i relativi livelli di prestazione sono stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente)*

### VERIFICHE AGLI SLU PER EDIFICI ESISTENTI

- stato limite di salvaguardia della vita umana (SLV)  
oppure, in alternativa,
  - stato limite di collasso (SLC)

# EDIFICI ESISTENTI

## Richiami sugli SLU

per SLV e SLC si accetta che la struttura possa sostenere danni di grave entità, anche strutturali, conservando però la capacità di sopportare i carichi verticali e quindi senza collassare

**SLV** (per sisma con probabilità di accadimento pari al 10% durante  $V_R$ ): alla struttura è richiesta anche una residua capacità di resistere ad azioni orizzontali, ossia di resistere a repliche sismiche di intensità inferiore

**SLC** (per sisma con probabilità di accadimento pari al 5% durante  $V_R$ ): è richiesto unicamente di sostenere i carichi verticali nella fase post - sismica, senza ulteriori riserve

# EDIFICI ESISTENTI

## C8.3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Lo Stato limite di collasso viene considerato solo per costruzioni (*esistenti*) di calcestruzzo armato o di acciaio.

La verifica nei confronti di tale Stato limite può essere eseguita in alternativa a quella di Stato limite di salvaguardia della vita.

### C8.7.2 COSTRUZIONI IN CEMENTO ARMATO O IN ACCIAIO

#### C8.7.2.1 Requisiti di sicurezza

##### Stato Limite di Collasso

**Questo Stato limite non può essere verificato con l'impiego del fattore  $q$ .**

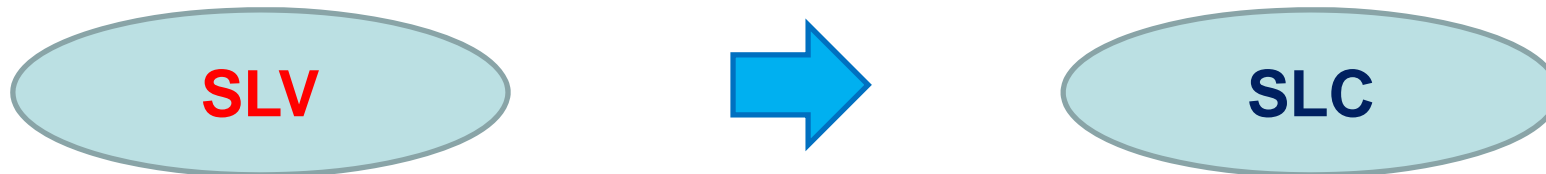
# EDIFICI ESISTENTI

## C8.7.1 COSTRUZIONI IN MURATURA

### C8.7.1.1 Requisiti di sicurezza

..... si assume che il soddisfacimento della verifica allo Stato limite di salvaguardia della vita implichi anche il soddisfacimento della verifica dello Stato limite di collasso

## COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA



## 8.5 PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E LA REDAZIONE DEI PROGETTI

- le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse
- è impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi



il modello per la valutazione della sicurezza definito e giustificato dal Progettista, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale attendibile della costruzione, sulla base di:

1. ANALISI STORICO-CRITICA
2. RILIEVO
3. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

## 8.5.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

analisi storico-critica

rilievo

materiali



“livelli di conoscenza” dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali)

fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello

## C8A.1.A.1 Costruzioni in muratura: **geometria**

**operazioni di rilievo** piano per piano, di tutti gli elementi in muratura, incluse eventuali nicchie, cavità, canne fumarie, il rilievo delle volte (spessore e profilo), dei solai e della copertura (tipologia e orditura), delle scale (tipologia strutturale), la individuazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete e la tipologia delle fondazioni

**risultati del rilievo** rappresentati attraverso piante, alzati e sezioni

**rilievo e rappresentazione del quadro fessurativo**, classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.), e deformativo (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.)



## C8A.1.A.2 Costruzioni in muratura: **dettagli costruttivi**

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità
- f) tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, etc.), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, etc.)

## C8A.1.A.2 Costruzioni in muratura: **dettagli costruttivi**

**Verifiche in-situ limitate:** rilievi di tipo visivo (rimozione dell'intonaco, saggi nella muratura sia in superficie sia nello spessore murario, ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai ai muri)

**I dettagli costruttivi di cui ai punti a) e b)** anche sulla base di una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura

**Verifiche in-situ estese ed esaustive:** rilievi di tipo visivo (rimozione dell'intonaco, saggi nella muratura sia in superficie sia nello spessore murario, ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai ai muri)

Esame degli elementi di cui ai punti da a) ad f) esteso in modo sistematico all'intero edificio

## C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: **proprietà dei materiali**

esame della qualità muraria

presenza o meno di elementi di collegamento trasversali (es. diatoni), forma, tipologia e dimensione degli elementi, tessitura, orizzontalità delle giaciture, regolare sfalsamento dei giunti, qualità e consistenza della malta

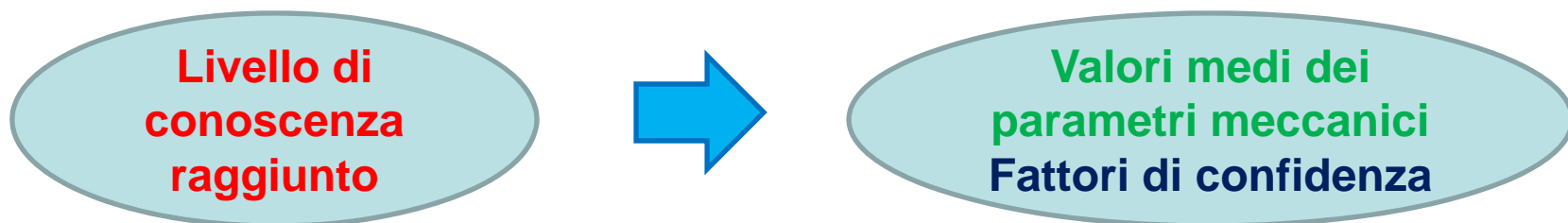
**eventuale** valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche

caratterizzazione di malte (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), e di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) mediante prove sperimentali  
malte e pietre sono prelevate in situ, avendo cura di prelevare le malte all'interno (ad almeno 5-6 cm di profondità nello spessore murario).

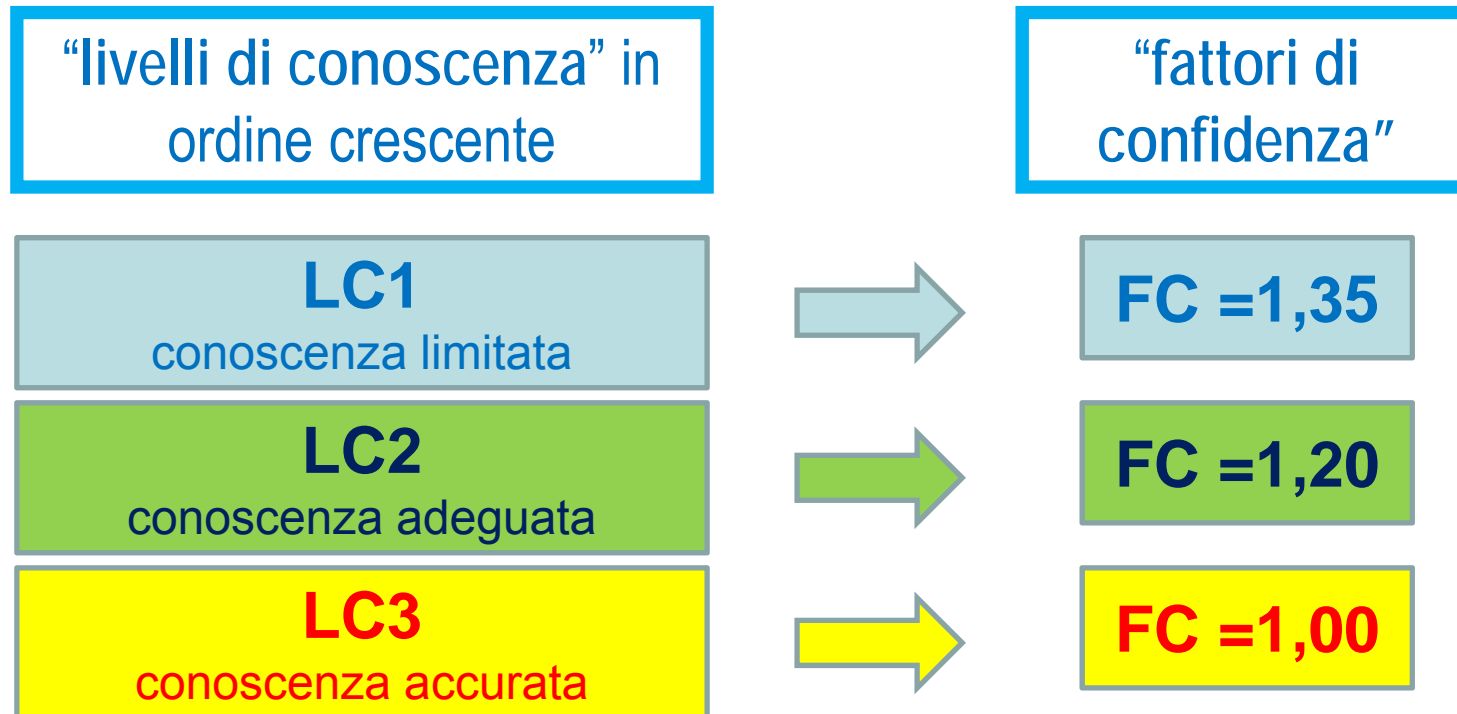
### C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: **livelli di conoscenza**

Nota la geometria dalle operazioni di rilievo, il livello di conoscenza dipende dal tipo di verifiche eseguite sui dettagli costruttivi e sulle proprietà dei materiali

Dettagli costruttivi	Materiali	Livello di conoscenza
verifiche in situ limitate	indagini in situ limitate	LC1
verifiche in situ estese ed esaustive	indagini in situ estese	LC2
<b>verifiche in situ estese ed esaustive</b>	<b>indagini in situ esaustive</b>	<b>LC3</b>



## 8.5.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA



## 4.5.6.1 Resistenze di progetto $f_d$ e $f_{vd}$ per murature nuove

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$$

Tabella 4.5.II. Valori del coefficiente  $\gamma_M$  in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

In ogni caso occorre (Classe 2):

- disponibilità di specifico personale qualificato e con esperienza, dipendente dell'impresa esecutrice, per la supervisione del lavoro (capocantiere);
- disponibilità di specifico personale qualificato e con esperienza, indipendente dall'impresa esecutrice, per il controllo ispettivo del lavoro (direttore dei lavori).

La Classe 1 è attribuita qualora siano previsti, oltre ai controlli di cui sopra, le seguenti operazioni di controllo:

- controllo e valutazione in loco delle proprietà della malta e del calcestruzzo;
- dosaggio dei componenti della malta "a volume" con l'uso di opportuni contenitori di misura e controllo delle operazioni di miscelazione o uso di malta premiscelata certificata dal produttore.

## 4.5.6.1 Resistenze di progetto $f_d$ e $f_{vd}$ per murature nuove

### Elementi per muratura

#### 11.10.1 ELEMENTI PER MURATURA

Gli elementi per muratura portante devono essere conformi alle norme europee armonizzate della serie UNI EN 771 e, secondo quanto specificato al punto A del § 11.1, recare la Marcatura CE, secondo il sistema di attestazione della conformità indicato nella seguente tabella

Tabella 11.10.I

Specifica Tecnica Europea di riferimento	Categoria	Sistema di Attestazione della Conformità
Specifica per elementi per muratura - Elementi per muratura di laterizio, silicato di calcio, in calcestruzzo vibrocompresso (aggregati pesanti e leggeri), calcestruzzo aerato autoclavato, pietra agglomerata, pietra naturale UNI EN 771-1, 771-2, 771-3, 771-4, 771-5, 771-6	CATEGORIA I	2+
	CATEGORIA II	4

Gli elementi di categoria I hanno un controllo statistico, eseguito in conformità con le citate norme armonizzate, che fornisce resistenza caratteristica dichiarata a compressione riferita al frattile 5%. Gli elementi di categoria II non soddisfano questi requisiti.

## 4.5.6.1 Resistenze di progetto $f_d$ e $f_{vd}$ per murature nuove

### Malta

Tabella 11.10.III - *Classi di malte a prestazione garantita*

Classe	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistenza a compressione N/mm <sup>2</sup>	2,5	5	10	15	20	d
d è una resistenza a compressione maggiore di 25 N/mm <sup>2</sup> dichiarata dal produttore						

Tabella 11.10.IV - *Classi di malte a composizione prescritta*

Classe	Tipo di malta	Composizione				
		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana
M 2,5	Idraulica	--	--	1	3	--
M 2,5	Pozzolonica	--	1	--	--	3
M 2,5	Bastarda	1	--	2	9	--
M 5	Bastarda	1	--	1	5	--
M 8	Cementizia	2	--	1	8	--
M 12	Cementizia	1	--	--	3	--



## 4.5.6.1 Resistenze di progetto $f_d$ e $f_{vd}$ per murature nuove

### Muratura

Tabella 11.10.V - Valori di  $f_k$  per murature in elementi artificiali pieni e semipieni (valori in  $N/mm^2$ )

Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$ dell'elemento $N/mm^2$	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2,0	1,2	1,2	1,2	1,2
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
40,0	14,3	12,0	10,4	--

## 4.5.6.1 Resistenze di progetto $f_d$ e $f_{vd}$ per murature esistenti

### C8.7.1.5 Resistenza di progetto $f_d$

analisi elastica con fattore di struttura  $q$

$$f_d = f_m / (\gamma_M \text{ FC})$$

analisi non lineare

$$f_d = f_m / \text{FC}$$

7.8.1.1 NTC - il coefficiente parziale di sicurezza da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura è pari a **2**

e per carichi verticali ?

Tabella 4.5.II. Valori del coefficiente  $\gamma_M$  in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

## Resistenza media $f_m$ per murature esistenti

VECCHIA TABELLA CONTENUTA NELLA CIRC. 21745 – 30 luglio 1981

	TIPO DI MURATURA	$\tau_k$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_k$ (t/m <sup>2</sup> )
MURATURE non consolidate non lesionate	Mattoni pieni Malta bastarda	12	300
	Blocco modulare (con caratteristiche corrispondenti alle prescrizioni del D.M. 3.3.1975 (29x19x19 cm) Malta bastarda	8	250
	Blocco in argilla espansa o calcestruzzo Malta bastarda	18	300
	Muratura in pietra (in presenza di ricorsi di mattoni estesi a tutto lo spessore del muro, il valore rappresentativo di $\tau_k$ può essere aumentato del 30%):		
	- a) pietrame in cattive condizioni	2	50
	- b) pietrame grossolanamente squadrate e ben organizzato	7	200
- c) a sacco in buone condizioni	4	150	
	Blocchi di tufo di buona qualità	10	250
MURATURE Nuove	Mattoni "pieni" con fori circolari Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	20	500
	Forati doppio UNI rapp. vuoto/pieno = 40% Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	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 due lastre in cls armato da cm 3 (minimo)	11	300

# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE - **TAB. C8A.2.1**

$f_m$ : resistenza media a compressione

$\tau_0$ : resistenza media a taglio

E: val. medio del modulo di elasticità

G: val. medio del mod. di el. tangenziale

w: peso specifico

Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	

$\sigma_k$  Circ.  
1981

50

200

200

250

## TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE - **TAB. C8A.2.1**

Tipologia di muratura	$\sigma_k$ Circ. 1981	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
		(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )
		Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	300	240	6,0	1200	400	18
		400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura $\leq 40\%$ )	500	500	24	3500	875	15
		800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)		400	30,0	3600	1080	12
		600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)		300	10,0	2700	810	11
		400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	300	150	9,5	1200	300	12
		200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)		300	18,0	2400	600	14
		440	24,0	3520	880	

## TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE - TAB. C8A.2.1

Tabella C8A.2.1: per varie tipologie murarie fornisce valori di riferimento dei parametri meccanici che possono essere adottati nelle analisi in funzione del livello di conoscenza acquisito

l'inquadramento della muratura in una delle tipologie della tabella può risultare problematico alla luce della notevole varietà di murature per tecniche costruttive e materiali impiegati

i moduli di elasticità normale  $E$  e tangenziale  $G$  sono da considerarsi relativi a condizioni non fessurate, per cui le rigidità dovranno essere opportunamente ridotte

## C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

Definizione dei valori medi dei parametri meccanici per LC1 e LC2

Livello di conoscenza	Resistenza	Modulo di elasticità
LC1	minimi degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione $f_m = \min(\text{tab. C8A.2.1})$	valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1 $E = \text{media} [\min(\text{tab.}), \max(\text{tab.})]$
LC2	medie degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione $f_m = \text{media} [\min(\text{tab.}), \max(\text{tab.})]$	valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1 $E = \text{media} [\min(\text{tab.}), \max(\text{tab.})]$

## C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

Definizione dei valori medi dei parametri meccanici per LC3

LC3: si distinguono tre casi, a seconda del numero di valori sperimentali disponibili

caso	numero di prove
a	$\geq 3$
b	2
c	1



## C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

### Definizione dei valori medi dei parametri meccanici per LC3

Livello di conoscenza	Resistenza	Modulo di elasticità
LC3 (caso a)	media dei risultati delle prove $f_m = \text{media}(f_{\text{sperim.}})$	media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1
LC3 (caso b)	media dei risultati delle prove, ma non maggiore del valore max $f_{\text{max}}$ indicato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione:  $f_m = \text{media}(f_{\text{sperim.}}) \leq f_{\text{max}}(\text{tab.})$	media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1

## C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

Definizione dei valori medi dei parametri meccanici per LC3

Livello di conoscenza	Resistenza	Modulo di elasticità
LC3 (caso c)	$f_m = \text{media}(f_{\text{sperim.}})$ <p>se <math>\text{media}(f_{\text{sperim.}}) &lt; f_{\text{min}}(\text{tab.})</math></p> <p>altrimenti</p> $f_m = \text{media} [f_{\text{min}}(\text{tab.}), f_{\text{max}}(\text{tab.})]$	media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1

## TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE - TAB. C8A.2.1

Esempio di valutazione delle resistenza di progetto per edificio  
esistente in muratura di mattoni:

mattoni pieni e malta di calce

dalla tab. C8A.2.1 si ha:  $24 \text{ kg/cm}^2 \leq f_m \leq 40 \text{ kg/cm}^2$

livello di conoscenza: LC1  $\rightarrow f_m = 24 \text{ kg/cm}^2$

$f_d$  per carichi verticali:  $f_d = f_m / (\gamma_m FC) = 24 / (3 \cdot 1,35) = 5,92 \text{ kg/cm}^2$

$f_d$  per carichi sismici:

analisi lineare  $f_d = f_m / (\gamma_m FC) = 24 / (2 \cdot 1,35) = 8,89 \text{ kg/cm}^2$

analisi non lineare  $f_d = f_m / FC = 24 / 1,35 = 17,78 \text{ kg/cm}^2$

# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE - **TAB. C8A.2.1**

Esempio di valutazione delle resistenza di progetto per edificio esistente in muratura di mattoni:

mattoni pieni e malta di calce

livello di conoscenza	LC1	LC2	LC3
$f_m$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	24	32	40*
$f_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ] per carichi verticali	5,92	8,89	13,33
$f_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ] per carichi sismici (analisi lineare)	8,89	13,33	20
$f_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ] per carichi sismici (analisi non lineare)	17,78	26,67	40
<i>* nell'ipotesi che vengano eseguite almeno due prove e che la media dei risultati delle prove non sia inferiore a <math>f_{m,max}</math></i>			

### C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: **prove in situ**

Indagini in-situ limitate: esami visivi della superficie muraria

Indagini in-situ estese: prove con martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta ed eventualmente di pietre e/o mattoni **per individuare la tipologia della muratura** (almeno una prova per ogni tipo di muratura presente)

a complemento delle prove richieste si possono utilizzare metodi di prova non distruttivi (prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, etc.)

se esiste una chiara, comprovata corrispondenza tipologica, si possono utilizzare prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona (la Regione definisce le zone omogenee a cui riferirsi)

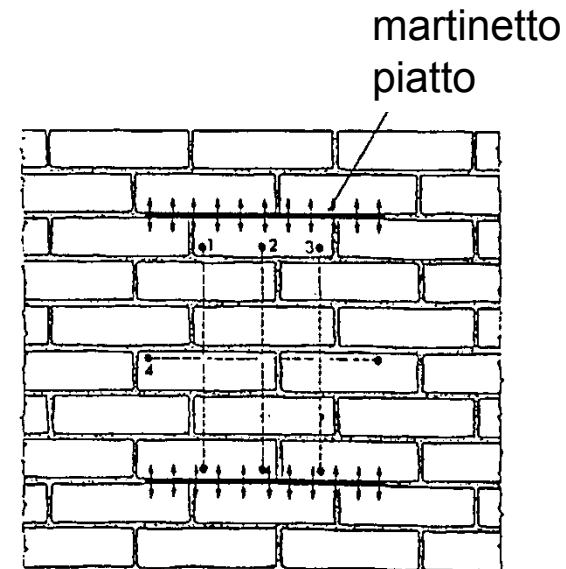
## C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: prove in situ

### Martinetto piatto

stima dello stato tensionale



### Doppio martinetto piatto



stima del modulo di elasticità della muratura

### C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: prove in situ

Indagini in-situ esaustive: forniscono **informazioni quantitative sulla resistenza del materiale**

oltre a quanto previsto per le indagini limitate ed estese, si effettuano prove in situ o in laboratorio (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio) :

- prove di compressione diagonale su pannelli
- prove combinate di compressione verticale e taglio

metodi di prova non distruttivi in combinazione, ma non in sostituzione delle prove dirette

se esiste una chiara, comprovata corrispondenza tipologica, si possono utilizzare prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona (la Regione definisce le zone omogenee a cui riferirsi)

# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

Nel caso delle murature storiche, i valori indicati nella Tabella C8A.2.1 (**relativamente alle prime sei tipologie**) sono da riferirsi a:

1. malta di scadenti caratteristiche
2. giunti non particolarmente sottili
3. assenza di ricorsi o listature che, con passo costante, regolarizzino la tessitura e l'orizzontalità dei corsi
4. paramenti scollegati, ovvero assenza di sistematici elementi di connessione trasversale (o di ammorsamento per ingranamento tra i paramenti murari)



## TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE – Tabella C8A.2.2

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

\* Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

## TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

Se la muratura presenta caratteristiche migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, ai valori della Tabella C8A.2.1 si applicano coefficienti migliorativi fino ai valori indicati nella Tabella C8A.2.2:

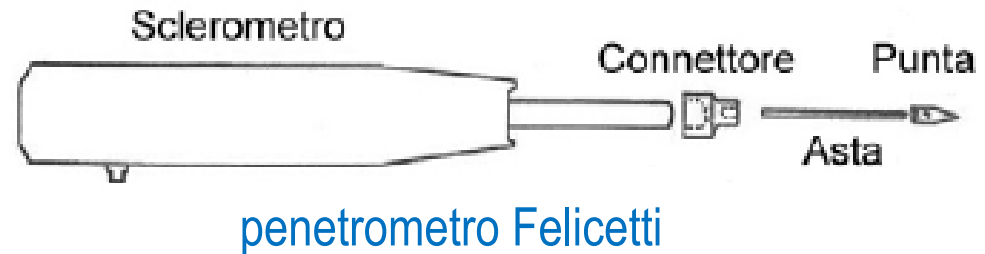
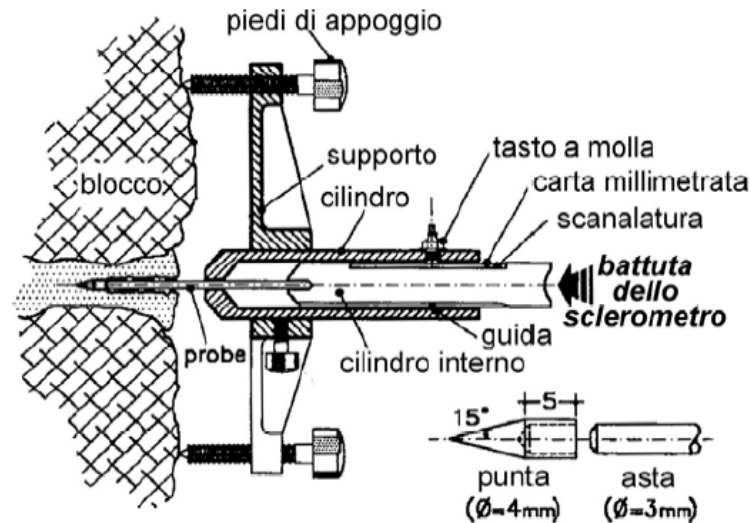
- **malta di buone caratteristiche**: si applica il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ( $f_m$  e  $\tau_0$ ), sia ai moduli elastici (E e G)



*determinazione resistenza  
malta in situ: misura del lavoro  
speso per praticare con un  
trapano un foro nella malta  
(trapano PNT-G)*

# Strumenti per misure in situ di resistenza della malta

## penetrometro Felicetti-Gattesco



- **giunti sottili (< 10 mm)**: si applica il coefficiente, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ( $f_m$  e  $\tau_0$ ), sia ai moduli elastici (E e G); nel caso della resistenza a taglio l'incremento percentuale da considerarsi è metà rispetto a quanto considerato per la resistenza a compressione (es. 1,5 per  $f_m$  diventa 1,25 per  $\tau_0$ )

# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

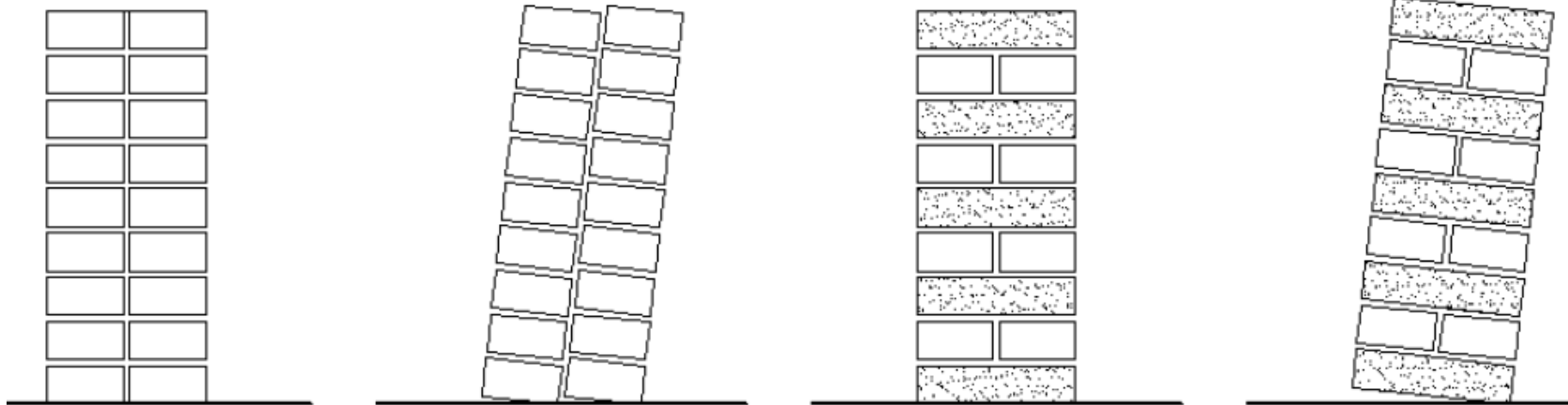
- **presenza di ricorsi (o listature)**: si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza ( $f_m$  e  $\tau_0$ ); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in quanto nelle altre non si riscontra tale tecnica costruttiva



# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

-**presenza di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti:**  
si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza ( $f_m$  e  $\tau_0$ );

*tale coefficiente ha significato solo per le murature storiche, in quanto quelle più recenti sono realizzate con una specifica e ben definita tecnica costruttiva*



# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

se è presente un nucleo interno ampio rispetto ai paramenti e/o particolarmente scadente, è opportuno ridurre opportunamente i parametri di resistenza e deformabilità,

attraverso una omogeneizzazione delle caratteristiche meccaniche nello spessore

in assenza di valutazioni più accurate è possibile penalizzare i suddetti parametri meccanici attraverso il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2.

Tipologia di muratura	Nucleo scadente e/o ampio
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	0,9
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	0,8
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	0,8
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	0,9
Muratura a blocchi lapidei squadrati	0,7
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	0,7

# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

in presenza di **murature consolidate**, o nel caso in cui si debba valutare la sicurezza dell'edificio rinforzato, è possibile valutare le caratteristiche meccaniche per alcune tecniche di intervento, attraverso i coefficienti indicati in Tabella C8A.2.2, secondo le seguenti modalità:

- consolidamento con iniezioni di miscele leganti: si applica il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, **sia ai parametri di resistenza ( $f_m$  e  $\tau_0$ ), sia ai moduli elastici (E e G)**

# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

## - consolidamento con iniezioni di miscele leganti:

nel caso in cui la muratura originale fosse stata classificata con malta di buone caratteristiche, **il coefficiente va applicato al valore di riferimento per malta di scadenti caratteristiche,**

infatti il risultato ottenibile attraverso questa tecnica di consolidamento è, in prima approssimazione, indipendente dalla qualità originaria della malta (in altre parole, nel caso di muratura con malta di buone caratteristiche, l'incremento di resistenza e rigidità ottenibile è percentualmente inferiore)



# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

-consolidamento con intonaco armato: per definire i parametri meccanici equivalenti è possibile applicare il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ( $f_m$  e  $\tau_0$ ), sia ai moduli elastici (E e G);

per i parametri di partenza della muratura non consolidata **non si applica il coefficiente relativo alla connessione trasversale**, in quanto l'intonaco armato, se correttamente eseguito collegando con barre trasversali uncinata i nodi delle reti di armatura sulle due facce, realizza, tra le altre, anche questa funzione. Nei casi in cui le connessioni trasversali non soddisfino tale condizione, il coefficiente moltiplicativo dell'intonaco armato deve essere diviso per il coefficiente relativo alla connessione trasversale riportato in tabella.

# TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

-consolidamento con diatoni artificiali: in questo caso si applica il coefficiente indicato per le murature dotate di una buona connessione trasversale

i valori indicati per le murature consolidate possono essere considerati come riferimento nel caso in cui non sia comprovata, con opportune indagini sperimentali, la reale efficacia dell'intervento e siano quindi misurati, con un adeguato numero di prove, i valori da adottarsi nel calcolo

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA – ALLEGATO C8A.5

Le tab. C8A.2.1 e C8A.2.2 contenute nell'Appendice si ritrovano già, anche se con valori diversi, in alcuni documenti della Regione Molise del 2006



**REGIONE MOLISE**  
**IL PRESIDENTE DELLA REGIONE MOLISE COMMISSARIO DELEGATO**  
(Legge del 27 Dicembre 2002 n.286)

Decreto n. 76 del 3 agosto 2005  
**Protocollo di Progettazione per la Realizzazione degli Interventi di Ricostruzione  
Post-Sisma sugli Edifici Privati**

Decreto n.10 del 25 gennaio 2006  
**Approvazione “Protocollo di Progettazione per gli Interventi su Immobili Privati per la Ricostruzione  
Post-Sisma redatti in attuazione della Direttiva Tecnica del C.T.S.  
approvata con Decreto Commissariale n. 35/2005”**

[www.regione.molise.it/sis](http://www.regione.molise.it/sis)

## CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA – ALLEGATO C8A.5

criteri generali di guida agli interventi di consolidamento degli edifici in muratura, con riferimento ad alcune tecniche di utilizzo corrente

non sono a priori escluse eventuali tecniche di intervento non citate, metodologie innovative o soluzioni particolari che il professionista individui come adeguate per il caso specifico

gli interventi descritti non vanno eseguiti comunque e dovunque, ma rappresentano solo possibili soluzioni da adottare nei casi in cui siano dimostrate la carenza dello stato attuale del fabbricato ed il beneficio prodotto dall'intervento; i criteri e le tecniche esposte possono essere estesi ad altre tipologie costruttive in muratura

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

gli interventi di consolidamento vanno applicati, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme alle strutture

l'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata calcolando l'effetto in termini di variazione nella distribuzione delle rigidità

particolare attenzione deve essere posta anche alla fase esecutiva degli interventi, onde assicurare l'efficacia degli stessi, in quanto **l'eventuale cattiva esecuzione può comportare il peggioramento delle caratteristiche della muratura o del comportamento globale dell'edificio**

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## 1. INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI

realizzazione di un buon ammorsamento tra le pareti  
e  
di efficaci collegamenti dei solai alle pareti



assicurare alla costruzione un buon comportamento d'assieme

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## 1. INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI

verificare che eventuali spinte prodotte da strutture voltate siano efficacemente contrastate

correggere il malfunzionamento di tetti spingenti

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

gli interventi di consolidamento costituiscono un prerequisito essenziale per l'applicazione dei metodi di analisi sismica globale dell'edificio

metodi di analisi  
sismica globale  
dell'edificio

si basano sul comportamento delle pareti murarie nel proprio piano, presupponendone la stabilità nei riguardi di azioni sismiche fuori dal piano



# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## CATTIVA QUALITA' MURARIA

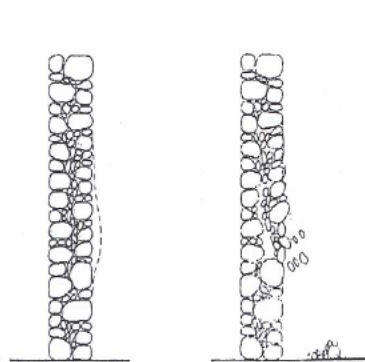


da Manuale per la Ricostruzione post-sismica dell'Umbria e delle Marche

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## CATTIVA QUALITA' MURARIA

Sfogliamento della muratura a sacco.



Sfogliamento della muratura a sacco.



# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## DANNI FUORI DAL PIANO



da Manuale per la Ricostruzione post-  
sismica dell'Umbria e delle Marche



# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## C8A.5.1 INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI

inserimento di tiranti metallici

cerchiature esterne

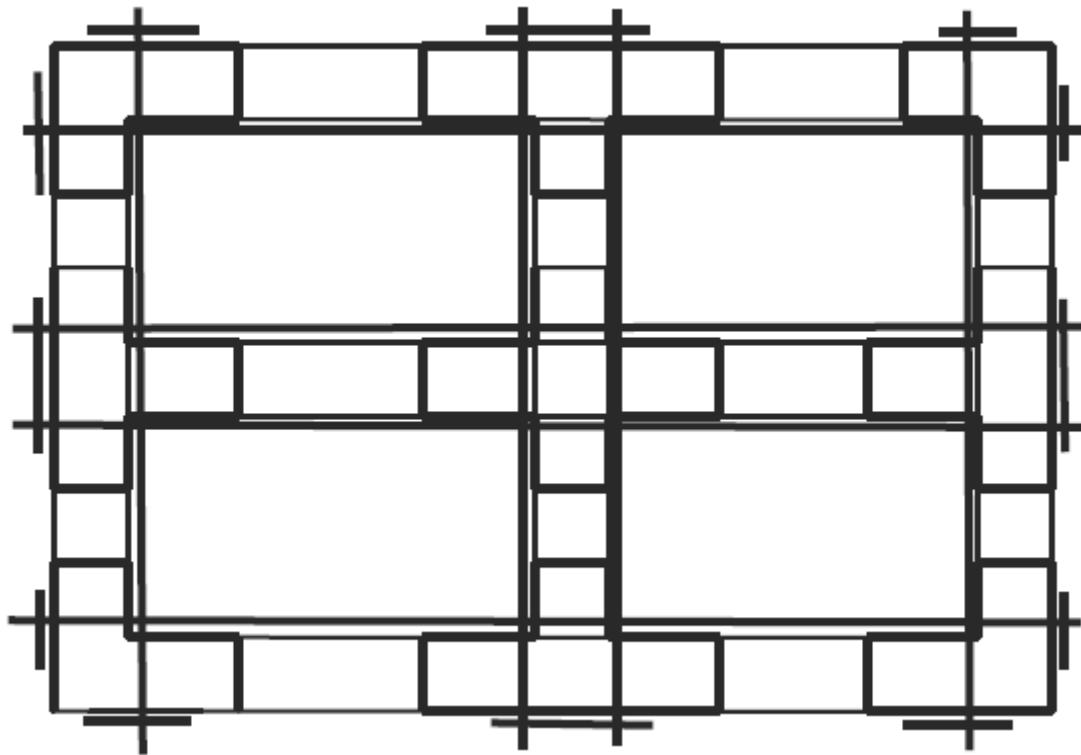
ammorsatura

perforazioni armate

cordoli in sommità

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

**TIRANTI** - disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, a livello dei solai ed in corrispondenza delle pareti portanti, ancorati alle murature mediante capochiave (a paletto o a piastra)



# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

**TIRANTI** - disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, a livello dei solai ed in corrispondenza delle pareti portanti, ancorati alle murature mediante capochiave (a paletto o a piastra)

forniscono un efficace vincolo contro il ribaltamento fuori piano dei pannelli murari

conferiscono un elevato grado di connessione tra le murature ortogonali

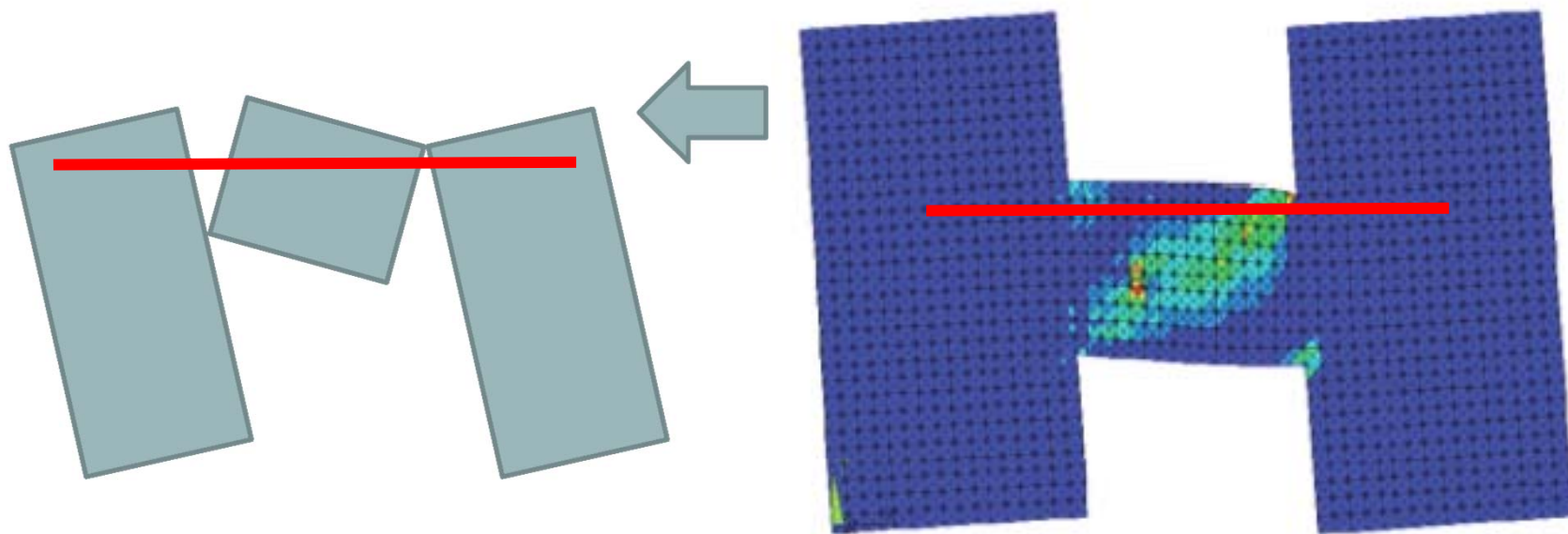


favoriscono il comportamento d'insieme del fabbricato

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## TIRANTI

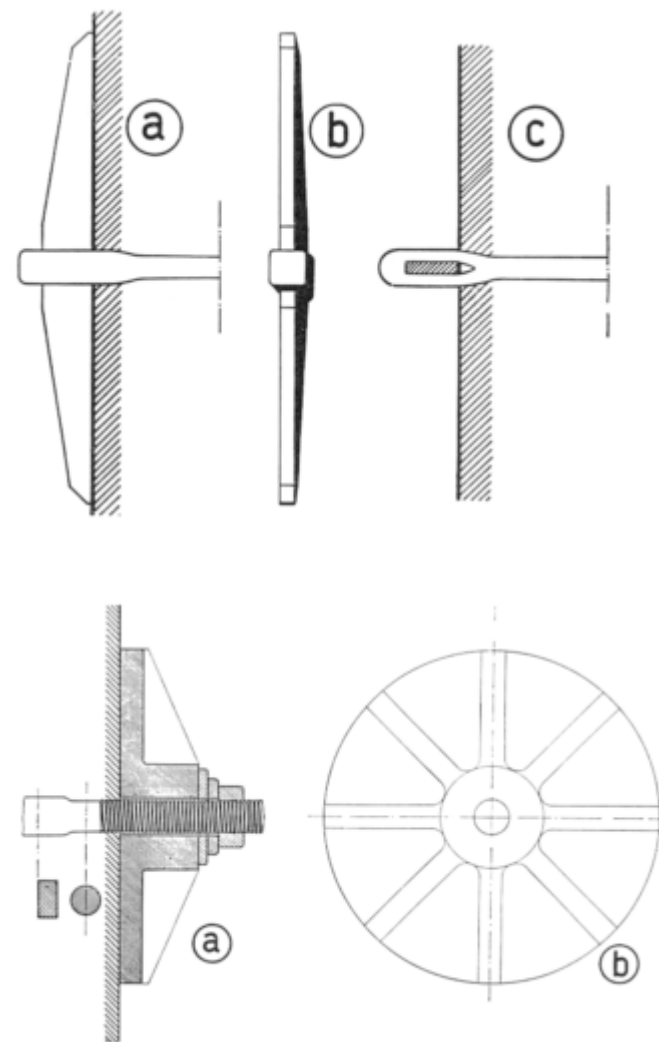
migliorano il comportamento nel piano di pareti forate, in quanto consentono la formazione del meccanismo tirante-puntone nelle fasce murarie sopra porta e sotto finestra



# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## CAPOCHIAVE

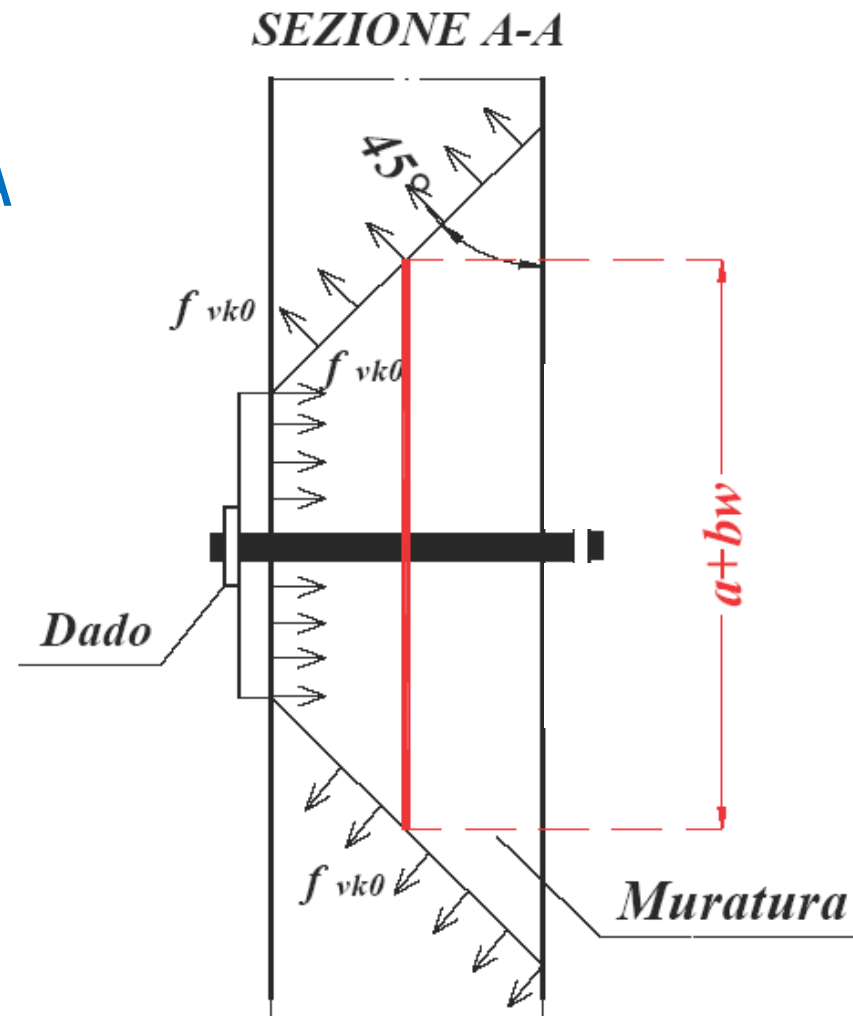
in generale i paletti semplici sono da preferirsi alle piastre perché interessano una porzione di muratura maggiore, le piastre sono preferibili per murature particolarmente scadenti, realizzate con elementi di piccole dimensioni (è in genere necessario un consolidamento locale della muratura, nella zona di ancoraggio)  
È sconsigliabile incassare il capochiave nello spessore della parete, specie nel caso di muratura a più paramenti scollegati





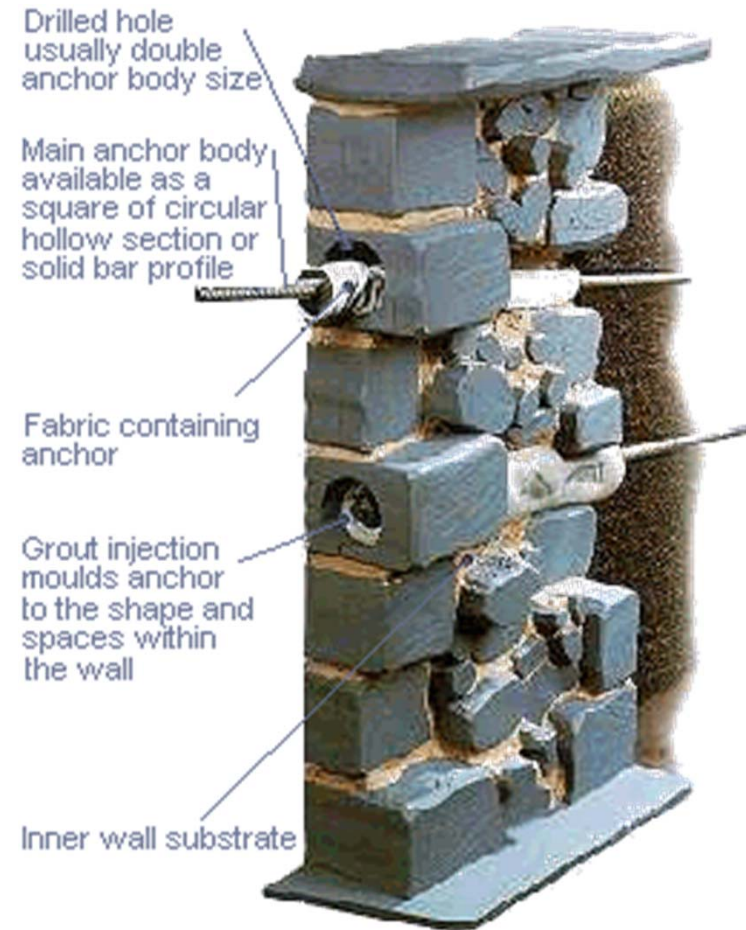
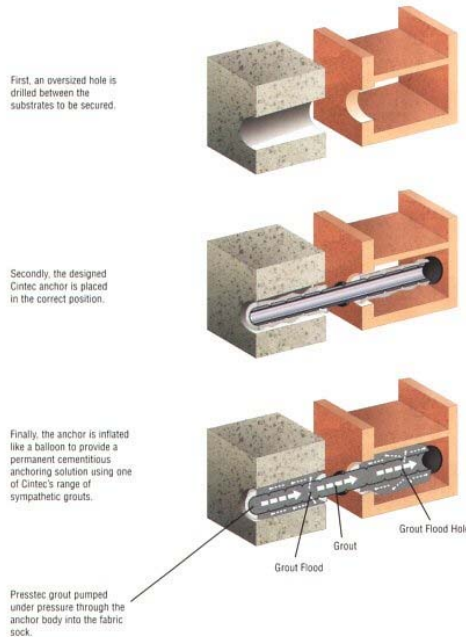
# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## VERIFICA DELLA MURATURA IN CORRISPONDENZA DEL CAPOCHIAVE



# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## TIRANTI CON CALZA



[www.cintec.co.uk](http://www.cintec.co.uk)

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## CERCHIATURE ESTERNE

si possono realizzare con elementi metallici o materiali compositi, allo scopo di “chiudere” la scatola muraria e di offrire un efficace collegamento tra murature ortogonali

### efficaci

1. nel caso di edifici di dimensioni ridotte, dove i tratti rettilinei della cerchiatura non sono troppo estesi
2. quando vengono realizzati ancoraggi in corrispondenza dei martelli murari

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

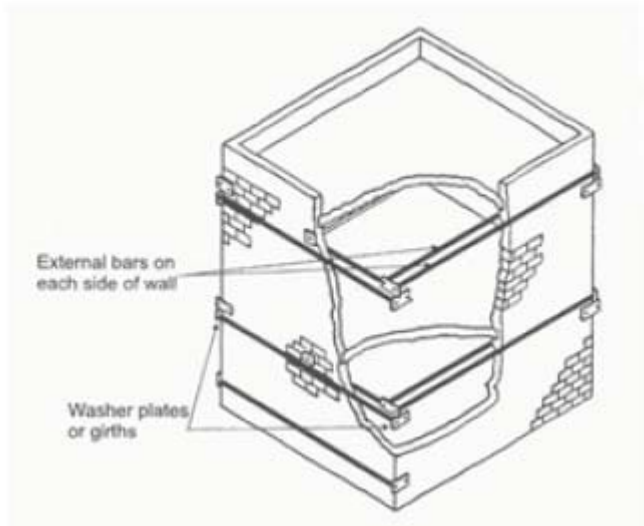
## CERCHIATURE ESTERNE

necessità di evitare concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli delle murature



inserimento di opportune piastre di ripartizione o in alternativa, nel caso si usino fasce in materiale composito, procedendo allo smusso degli spigoli

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA



EDILSYSTEM.srl

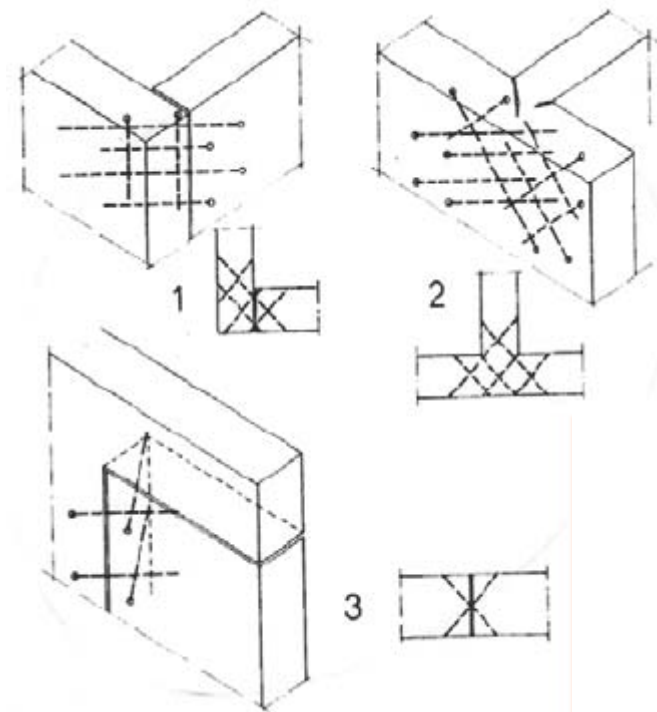


Casareto, Oliveri, Romelli, UMR

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## AMMORSATURA TRA PARTI ADIACENTI O TRA MURATURE CHE SI INTERSECANO

l'intervento si realizza o attraverso  
elementi puntuali di cucitura (tecnica  
"scuci e cuci" con elementi lapidei o in  
laterizio) o  
collegamenti locali con elementi  
metallici o in altro materiale



# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## AMMORSATURA TRA PARTI ADIACENTI O TRA MURATURE CHE SI INTERSECANO

### EFFICACIA DELL'INTERVENTO

efficaci per il comportamento d'insieme della costruzione in presenza di murature di buone caratteristiche

per murature scadenti è preferibile l'inserimento di tiranti, che garantiscono un miglior collegamento complessivo

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## PERFORAZIONI ARMATE

da limitare ai casi dove non siano percorribili altre soluzioni, per la notevole invasività di tali elementi e la dubbia efficacia, specie in presenza di muratura a più paramenti scollegati

occorre garantire la durabilità degli elementi inseriti (acciaio inox, materiali compositi o altro) e la compatibilità delle malte iniettate

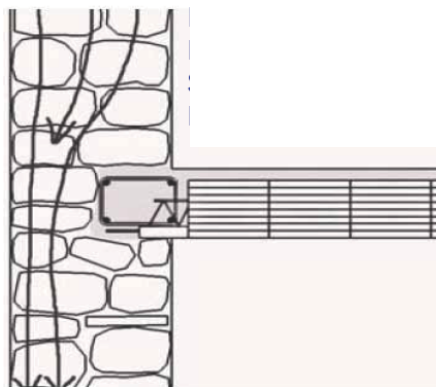
Christ Church Cathedral  
Newcastle, New South Wales, Australia  
[www.cintec.co.uk](http://www.cintec.co.uk)



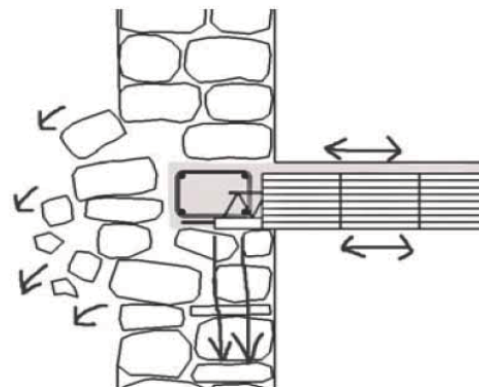


# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

va invece evitata l'esecuzione di cordolature ai livelli intermedi, eseguite nello spessore della parete (specie se di muratura in pietrame), dati gli effetti negativi che le aperture in breccia producono nella distribuzione delle sollecitazioni sui paramenti



deviazione delle isostatiche di compressione



azione di martellamento sulla muratura

inoltre cordoli in breccia su murature a doppio paramento:

1. scarico del solaio solo sul paramento interno
2. pb. di stabilità per il paramento esterno

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## CORDOLI IN SOMMITA': MODALITA' DI ESECUZIONE

in muratura armata

in acciaio

in c.a.

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## CONNESSIONE DEI SOLAI DI PIANO E DELLE COPERTURE

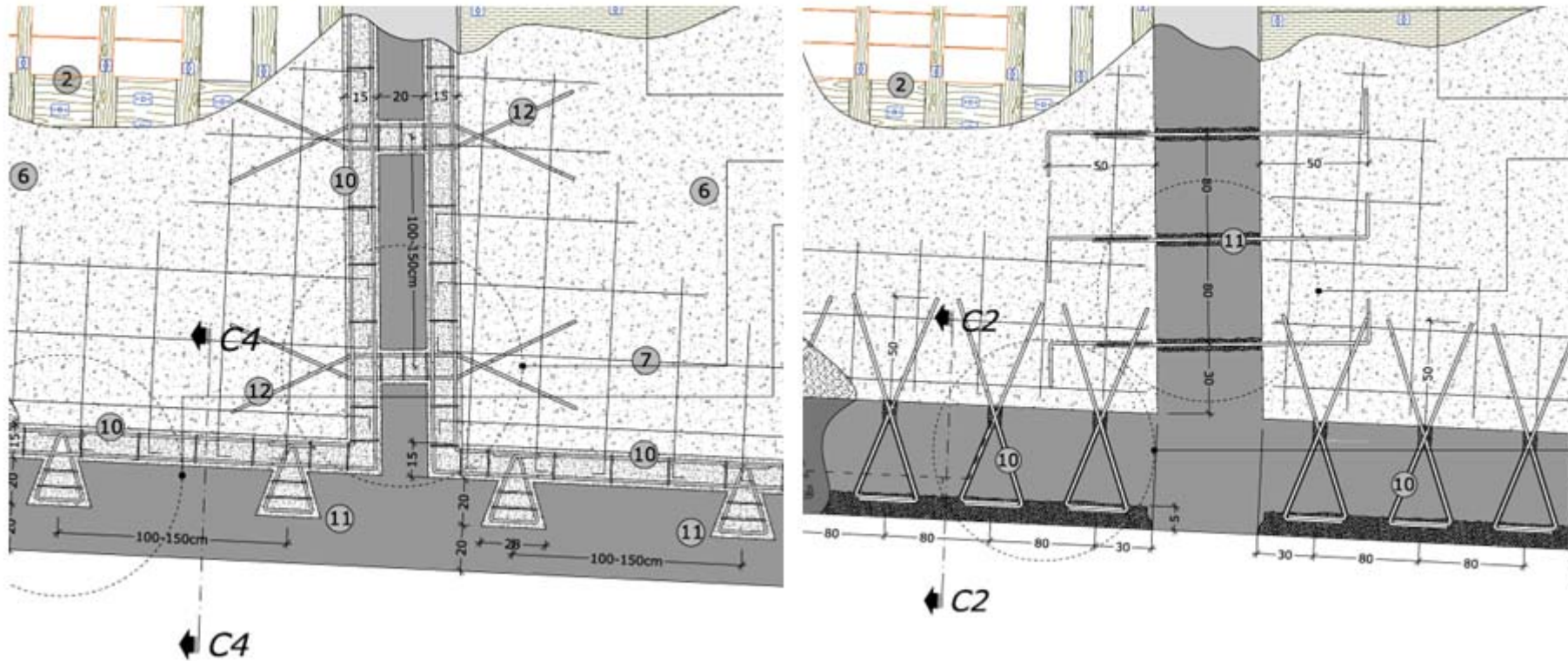
evita lo sfilamento delle travi, con conseguente crollo del solaio

permette ai solai di svolgere un'azione di distribuzione delle forze orizzontali e di contenimento delle pareti

i collegamenti possono essere effettuati in posizioni puntuali, eseguiti ad esempio in carotaggi all'interno delle pareti, e allo stesso tempo non devono produrre un disturbo eccessivo ed il danneggiamento della muratura

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

collegamenti da utilizzare ai livelli intermedi



# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## 2. INTERVENTI SUGLI ARCHI E SULLE VOLTE



Oss.ne: il placcaggio all'intradosso con materiali compositi è efficace se associato alla realizzazione di un sottarco, in grado di evitare le spinte a vuoto, o attraverso ancoraggi puntuali, diffusi lungo l'intradosso

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## INTERVENTI VOLTI A RIDURRE L'ECCESSIVA DEFORMABILITA' DEI SOLAI

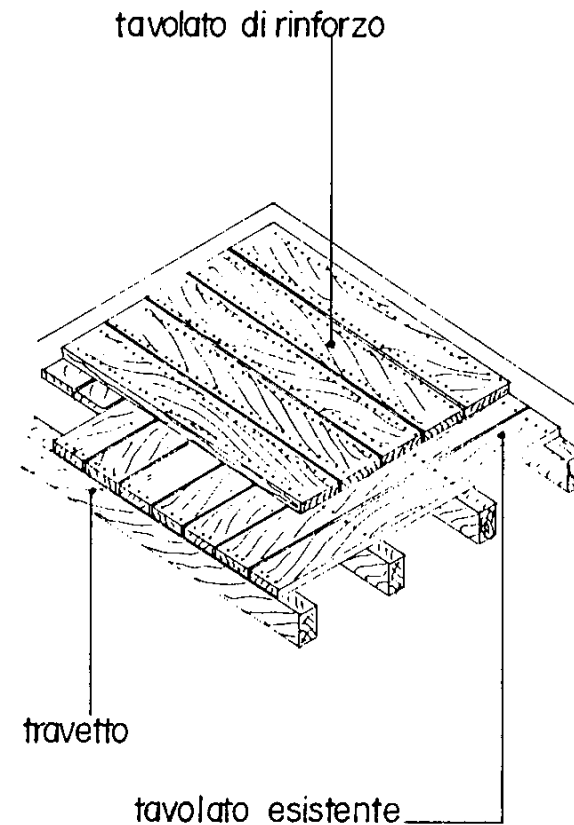
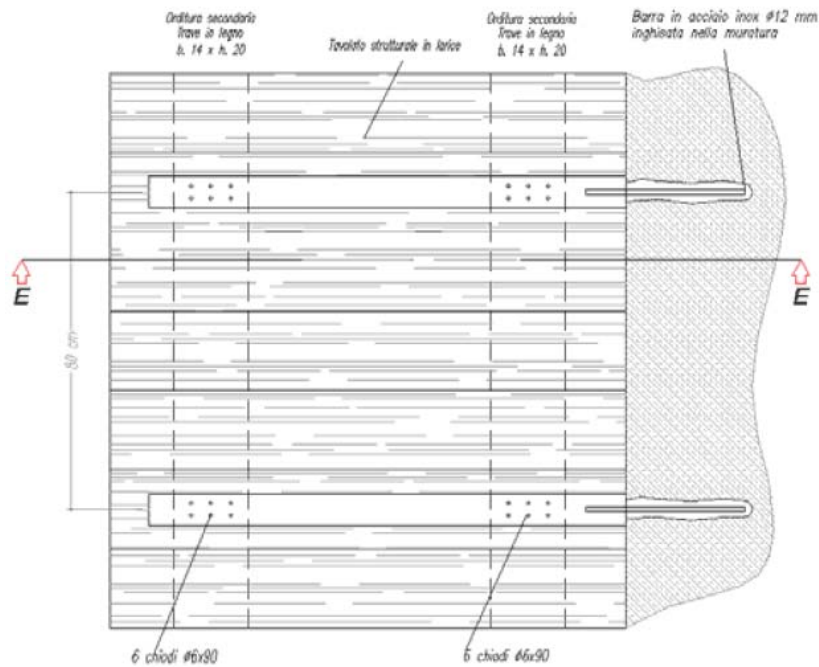
### ruolo dei solai

1. trasferire le azioni orizzontali di loro competenza alle pareti disposte nella direzione parallela al sisma
2. costituire un vincolo per le pareti sollecitate da azioni ortogonali al proprio piano

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## Tecniche di rinforzo solai lignei

secondo tavolato su quello esistente



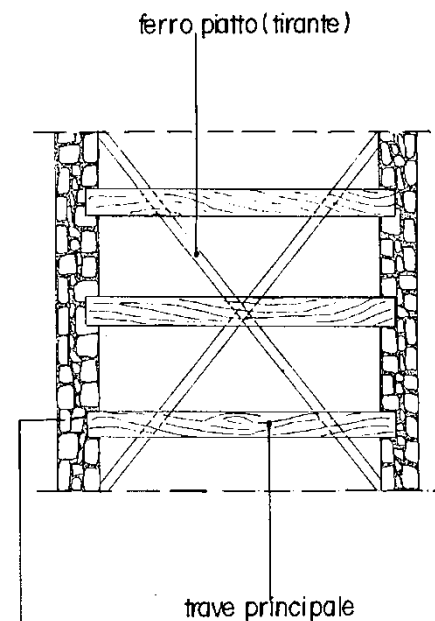
# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## Tecniche di rinforzo solai lignei



in alternativa, o in aggiunta, si possono usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato

un analogo beneficio può essere conseguito attraverso controventature realizzate con tiranti metallici

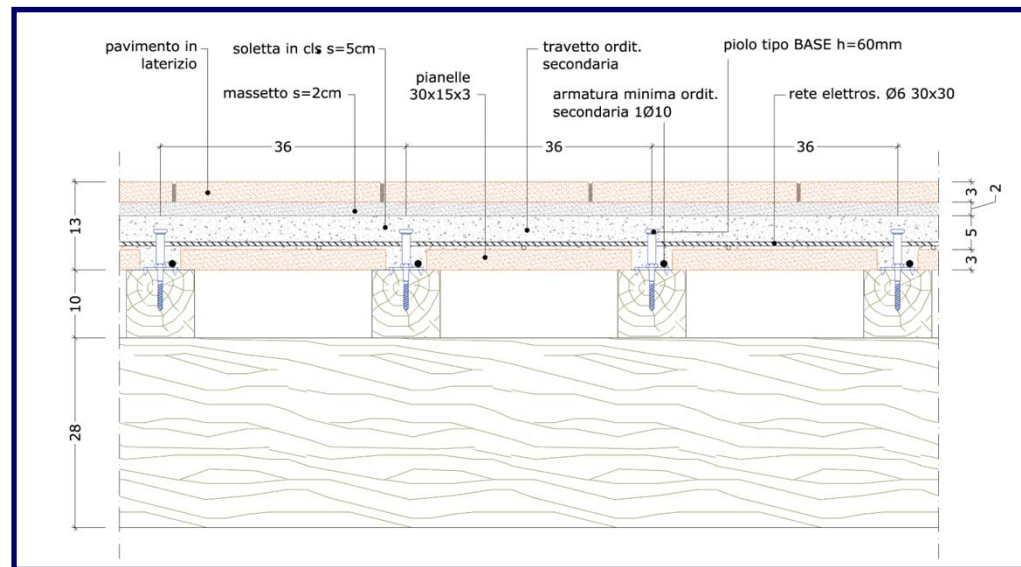
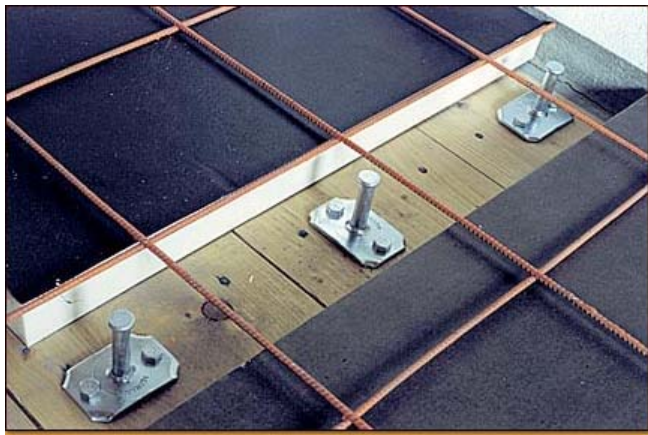




# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## Tecniche di rinforzo solai lignei

soletta collaborante in c.a.



[www.tecnaria.it](http://www.tecnaria.it)

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## 4. INTERVENTI IN COPERTURA

È in linea generale opportuno il mantenimento dei tetti in legno, in quanto limitano l'entità delle masse nella parte più alta dell'edificio e garantiscono un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## 5. INTERVENTI CHE MODIFICANO LA DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI VERTICALI RESISTENTI

l'inserimento di nuove pareti può consentire di limitare i problemi derivanti da irregolarità planimetriche o altimetriche ed aumentare la resistenza all'azione sismica; tali effetti devono ovviamente essere adeguatamente verificati

la realizzazione di nuove aperture, se non strettamente necessaria, va possibilmente evitata; nel caso in cui la conseguente riduzione di rigidità risulti problematica per la risposta globale, sarà disposto un telaio chiuso, di rigidità e resistenza tali da ripristinare per quanto possibile la condizione preesistente

# CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

## 6. INTERVENTI VOLTI A INCREMENTARE LA RESISTENZA DEI MASCHI MURARI E DELLE FONDAZIONI

- scuci e cucì
  - ristilatura dei giunti
  - tirantini antiespulsivi
  - placcaggio con tessuti o lamine
  - allargamento della fondazione mediante cordoli in c.a. o una platea armata
  - consolidamento dei terreni di fondazione
  - inserimento di sottofondazioni profonde
- iniezioni di miscele leganti
  - diatoni artificiali
  - intonaco armato
  - tiranti verticali post-tesi

# METODI DI ANALISI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

## C8.7.1.1 Requisiti di sicurezza

La valutazione della sicurezza degli costruzioni esistenti in muratura richiede la verifica degli stati limite definiti al § 3.2.1 delle NTC, con le precisazioni riportate al § 8.3 delle NTC e nel seguito.

In particolare si assume che il soddisfacimento della verifica allo Stato limite di salvaguardia della vita implichi anche il soddisfacimento della verifica dello Stato limite di collasso.

Per la valutazione degli edifici esistenti, oltre all'analisi sismica globale, da effettuarsi con i metodi previsti dalle norme di progetto per le nuove costruzioni (con le integrazioni specificate nel seguito), **è da considerarsi anche l'analisi dei meccanismi locali.**

# METODI DI ANALISI

## C8.7.1.2 Azione sismica

Per lo Stato limite di salvaguardia della vita e lo Stato limite di esercizio l'azione sismica è definita al § 3.2 delle NTC, tenuto conto del periodo di riferimento definito al § 2.4 delle NTC.

Per la verifica di edifici con analisi lineare ed impiego del fattore  $q$ , il valore da utilizzare per quest'ultimo è pari a:

- $q = 2,0 \alpha_u / \alpha_1$  per edifici regolari in elevazione
- $q = 1,5 \alpha_u / \alpha_1$  negli altri casi

in cui  $\alpha_u$  e  $\alpha_1$  sono definiti al § 7.8.1.3 delle NTC. In assenza di più precise valutazioni, potrà essere assunto un rapporto  $\alpha_u / \alpha_1$  pari a 1,5. La definizione di regolarità per un edificio esistente in muratura è quella indicata al § 7.2.2 delle NTC, in cui il requisito d) (*piano rigido*) è sostituito da: i solai sono ben collegati alle pareti e dotati di una sufficiente rigidezza e resistenza nel loro piano.

## METODI DI ANALISI

L'analisi della risposta sismica globale può essere effettuata con uno dei metodi di cui al § 7.3 delle NTC, con le precisazioni e restrizioni indicate al § 7.8.1.5.

le travi di accoppiamento in muratura si considerano se:

- la trave è sorretta da un architrave o da un arco o da una piattabanda strutturalmente efficace,
- la trave è efficacemente ammorsata alle pareti che la sostengono o si possa instaurare nella trave un meccanismo resistente a puntone diagonale (ad esempio per l'azione di una catena o di un elemento resistente a trazione in prossimità della trave)

## METODI DI ANALISI

Nella verifica allo Stato limite ultimo di salvaguardia della vita, qualora si esegua l'analisi non lineare, lo spostamento ultimo per azioni nel piano di ciascun pannello sarà assunto pari a:

0,4 % dell'altezza del pannello, nel caso di rottura per taglio,

0,6%, nel caso di rottura per pressoflessione

i predetti limiti sono definiti al netto degli spostamenti dovuti ad un eventuale moto rigido del pannello (ad esempio conseguente alla rotazione della base), e si incrementano di un'aliquota fino al 100% nel caso di rottura per pressoflessione di pannelli che esibiscono un comportamento a mensola



## EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA SEMPLICI

### C8.7.1.7 - EDIFICI SEMPLICI (4.5.6.4 e 7.8.1.9 - NTC 2008)

È consentito applicare le norme semplificate di cui al § 7.8.1.9 delle NTC, utilizzando al posto della resistenza caratteristica a compressione  $f_k$  il valore medio  $f_m$ , diviso per il fattore di confidenza.

Oltre alle condizioni ivi prescritte, dopo l'eventuale intervento di adeguamento, è necessario che risulti verificato quanto segue:

- a) le pareti ortogonali siano tra loro ben collegate;
- b) i solai siano ben collegati alle pareti;
- c) tutte le aperture abbiano architravi dotate di resistenza flessionale;
- d) tutti gli elementi spingenti eventualmente presenti siano dotati di accorgimenti atti ad eliminare o equilibrare le spinte orizzontali;
- e) tutti gli elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità siano stati eliminati;
- f) le murature non siano a sacco o a doppio paramento, ed in generale di cattiva qualità e scarsa resistenza (es. muratura in "foratoni")

# Tesi di Laurea di Riccardo e Vincenzo Tesse

1. Studio storico effettuato presso l'Archivio Comunale di Prato
2. Rilievo metrico e strutturale
3. Documentazione fotografica

1920



1937



Prospetto principale dell'edificio

a) Anno di costruzione 1920

b) Dopo l'ampliamento del 1937 → STATO ATTUALE

# Rilievo architettonico

D/

$H_{\max} = 16.70 \text{ m}$



$B = 16,5 \text{ m}$



$H_3 = 3.70 \text{ m}$



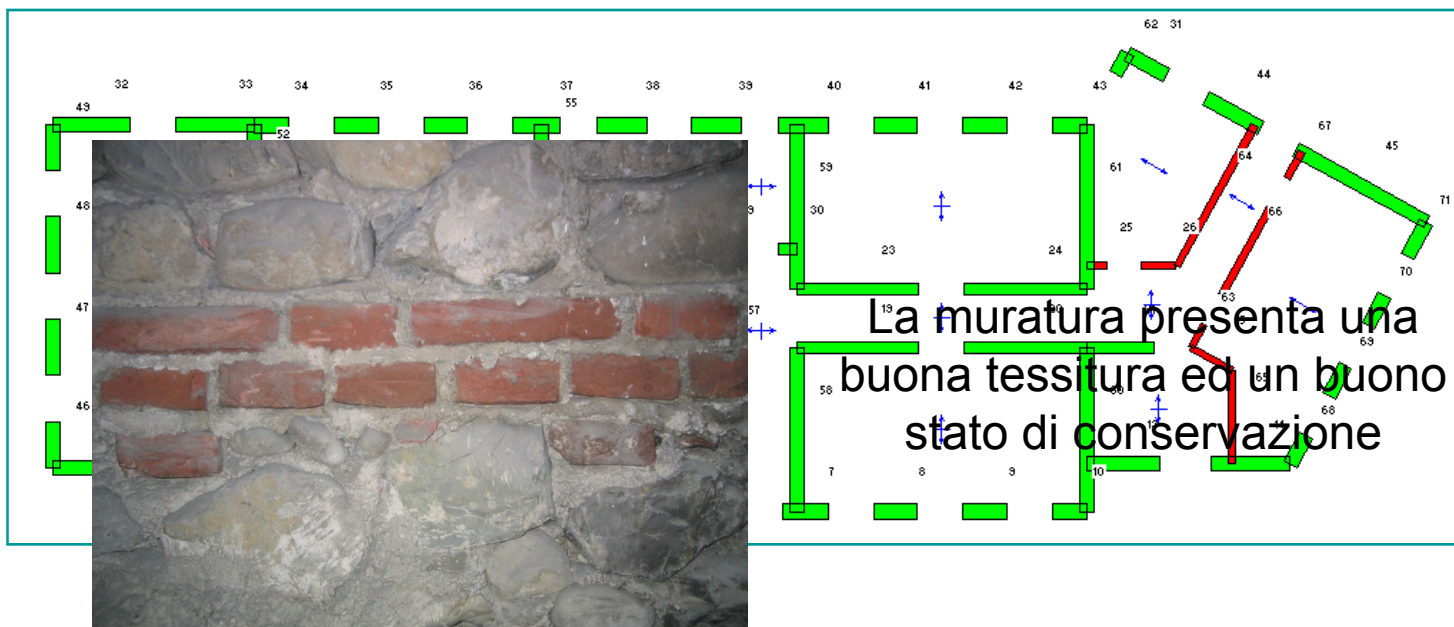
# Rilievo strutturale



## 1. Murature in elevazione

Pietra calcarea s=40÷60 cm

Mattoni pieni s=25 cm

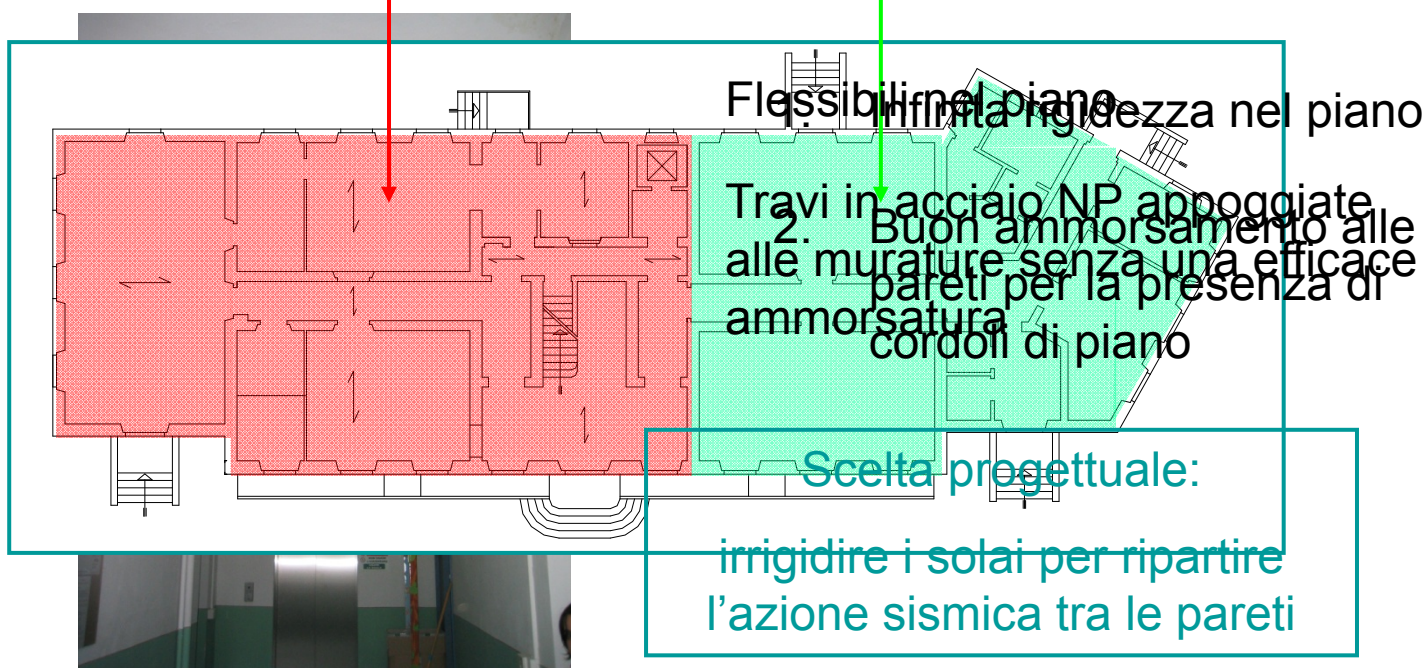


# Rilievo strutturale

## 2. Solai

Acciaio e voltine in laterizio

Latero-cemento



# Rilievo strutturale

## 3. Copertura

- a) interamente in legno
- b) soletta in cemento armato dello spessore di 5 cm



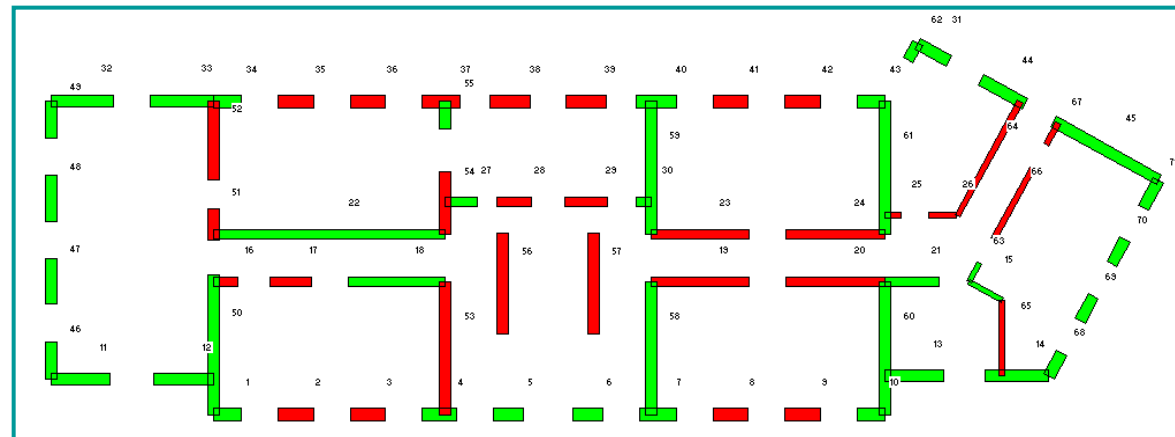
# Analisi statica per carichi verticali

*Stato attuale: Risultati delle analisi*

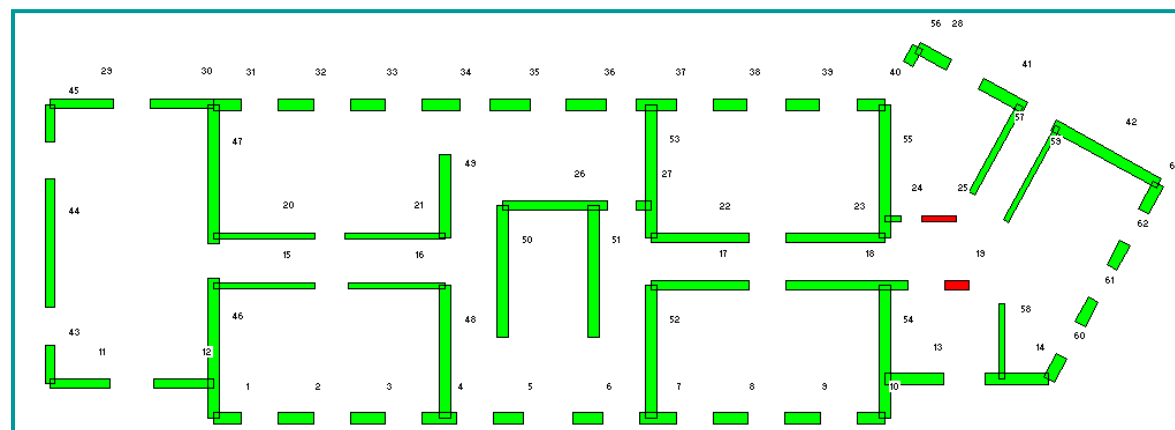
Legenda

- verificata
- non verificata

Piano terreno



1° piano



# Analisi statica per carichi verticali

## Stato di progetto – Interventi di consolidamento

**Obiettivo:** determinazione degli interventi minimi per tutti i maschi che non sono verificati per i carichi verticali.



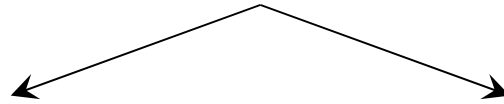


# Analisi sismica

COMPORTAMENTO SCATOLARE DELLA STRUTTURA



Adeguate connessioni

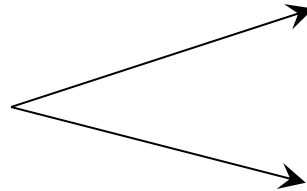


tra pareti

tra pareti e solai

In mancanza di adeguate connessioni

si possono verificare



MECCANISMI DI COLLASSO  
di pareti fuori dal piano

SFILAMENTO dei solai

# Analisi sismica locale

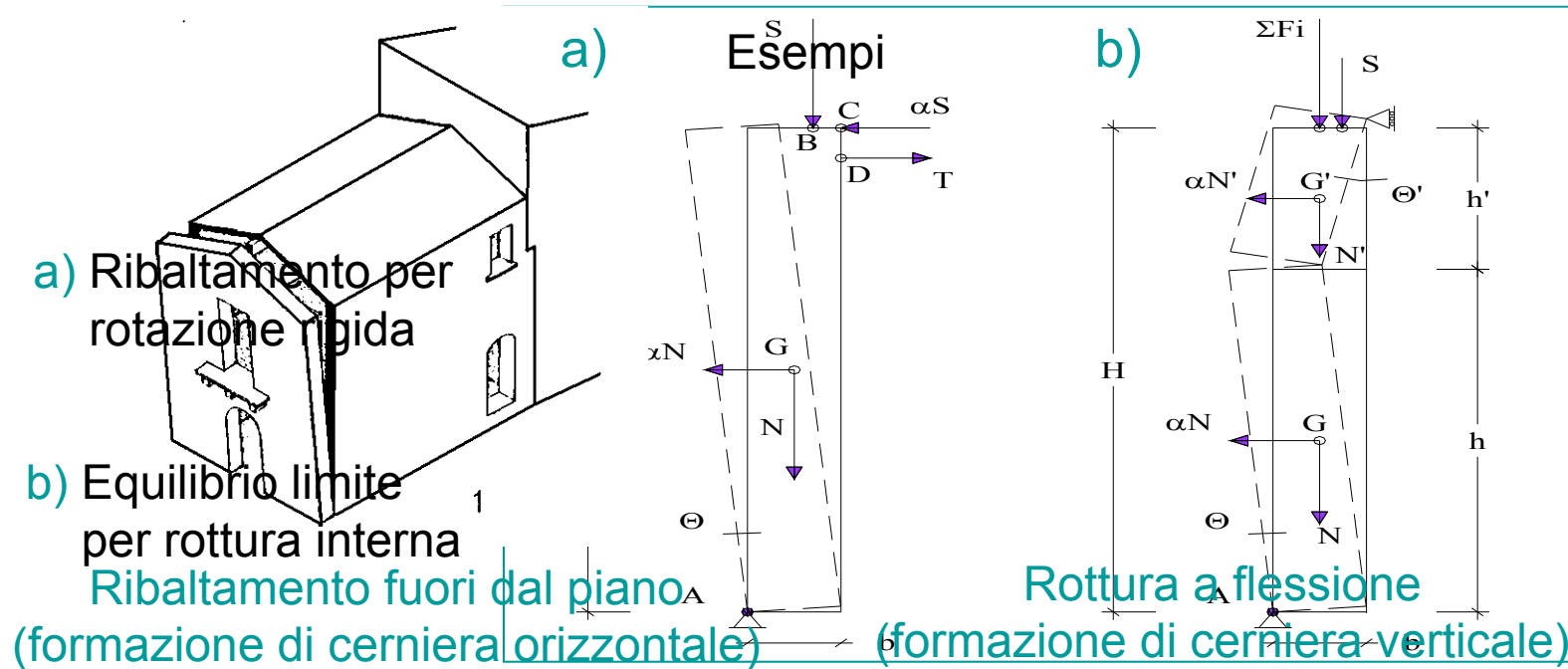
cinematismi di collasso

Vantaggi

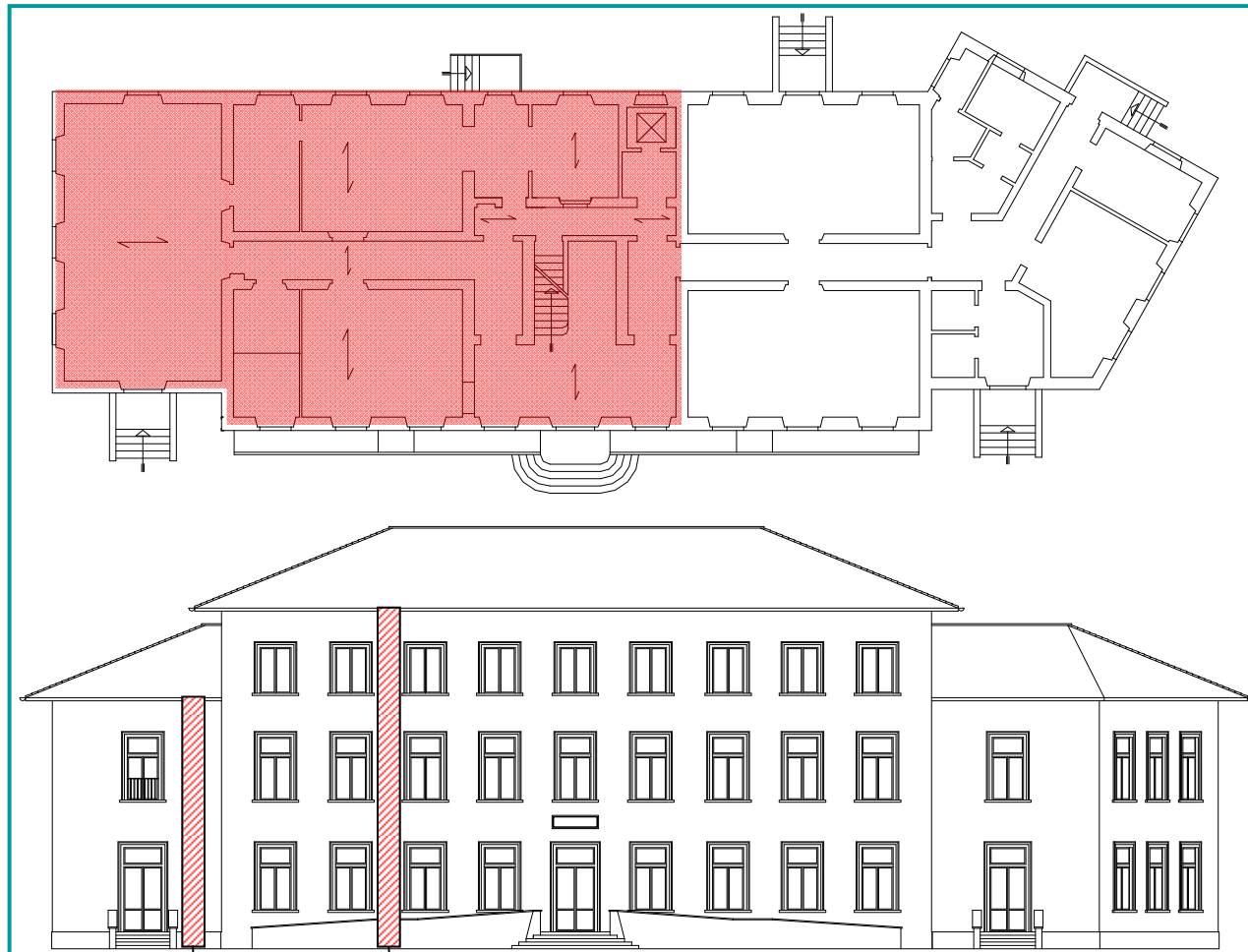
Indipendenza dalle caratteristiche meccaniche

Svantaggi

Grande numero di possibili meccanismi di danno



## a) Ribaltamento

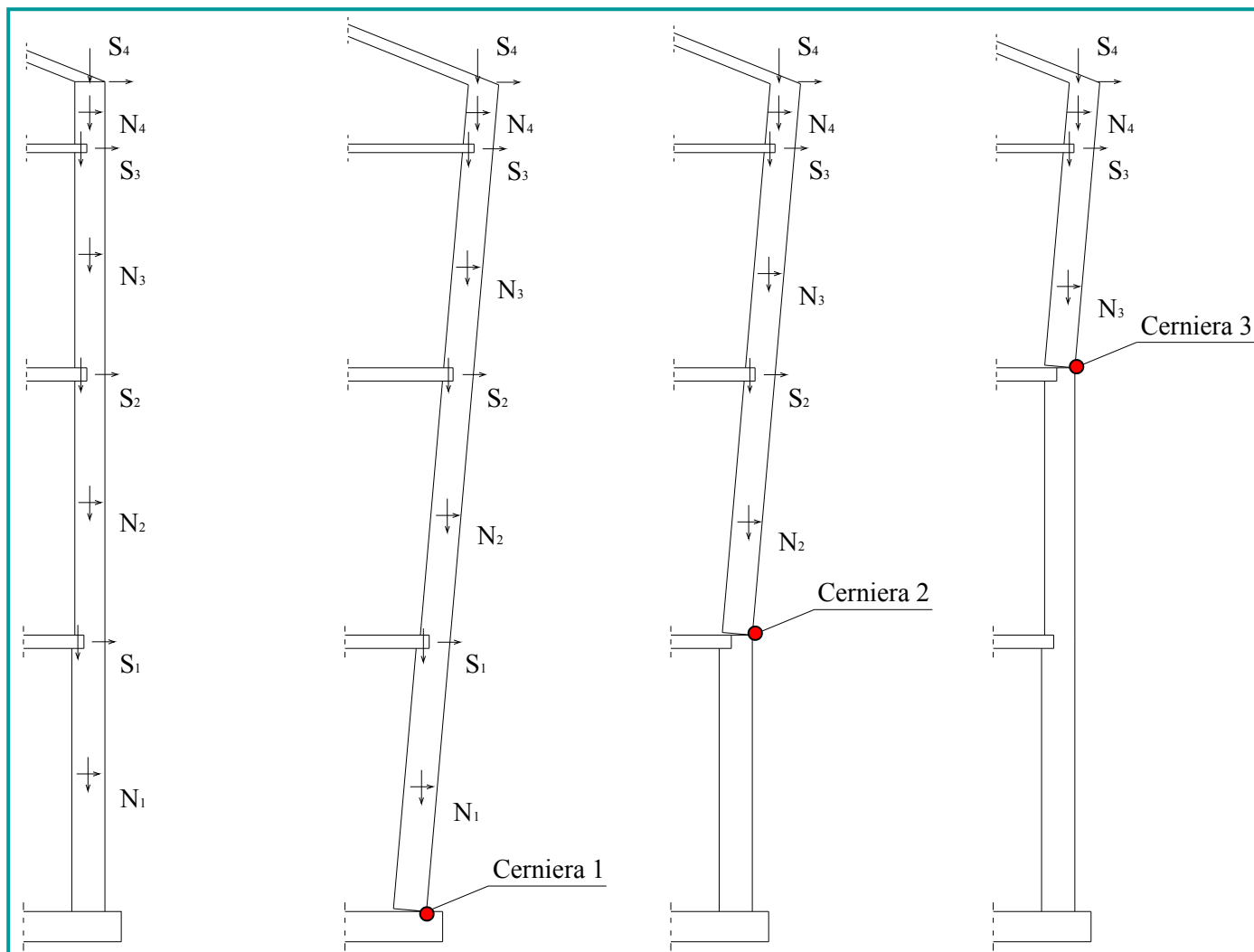


Setto A Maggiormente caricato

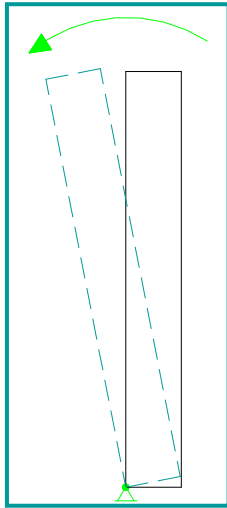
Setto B Meno caricato // orditura solai

*a) Ribaltamento Stato attuale*

MECCANISMI ANALIZZATI



*a) Ribaltamento Stato attuale*



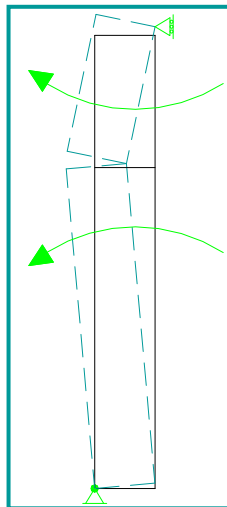
SETTO A → Coeff. Sicurezza 24%

SETTO B → Coeff. Sicurezza 19%

Necessità di collegamenti tra solai e pareti

*b) Rottura interna*

*Stato di progetto*

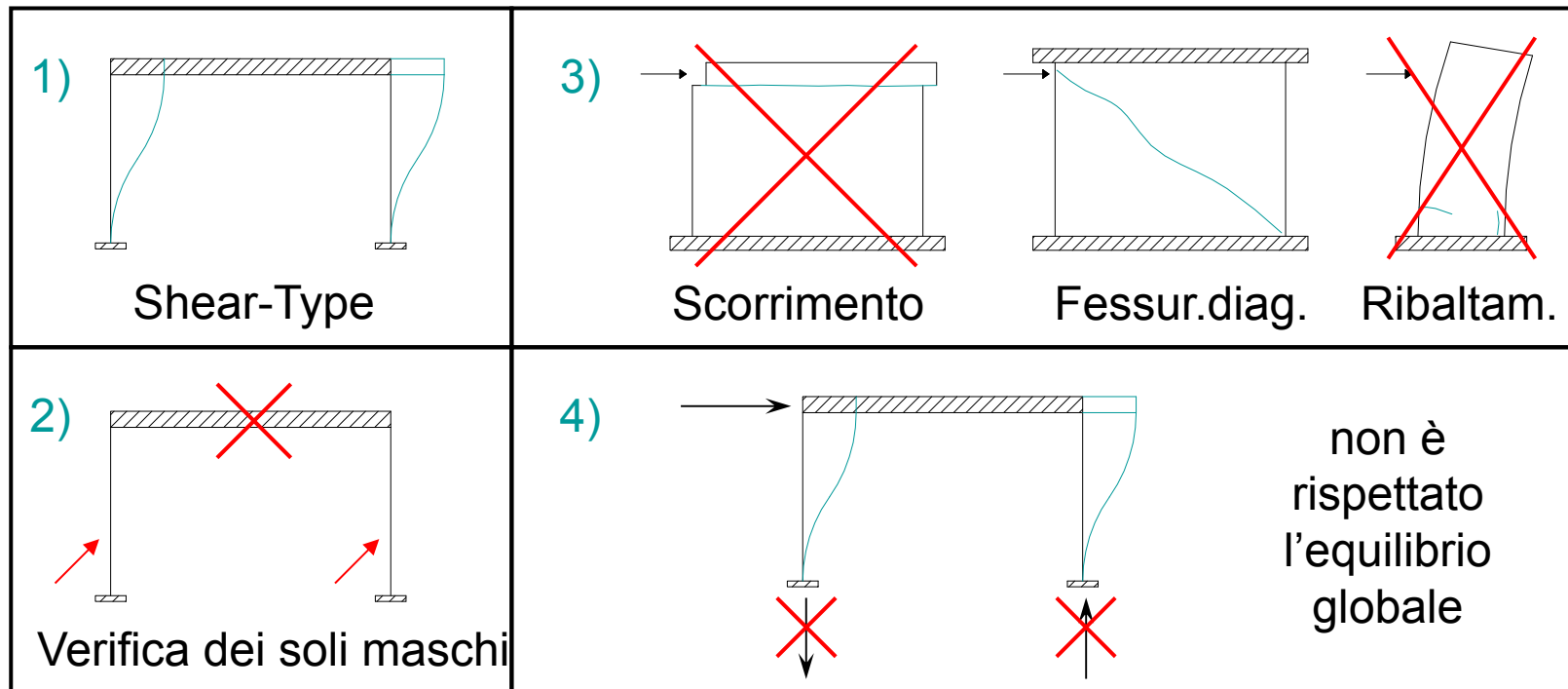


SETTO B → Coeff. Sicurezza 126%

# Metodo POR

Normativa di riferimento: D.M. 16.1.1996

IPOSTESI (→limiti di applicazione)



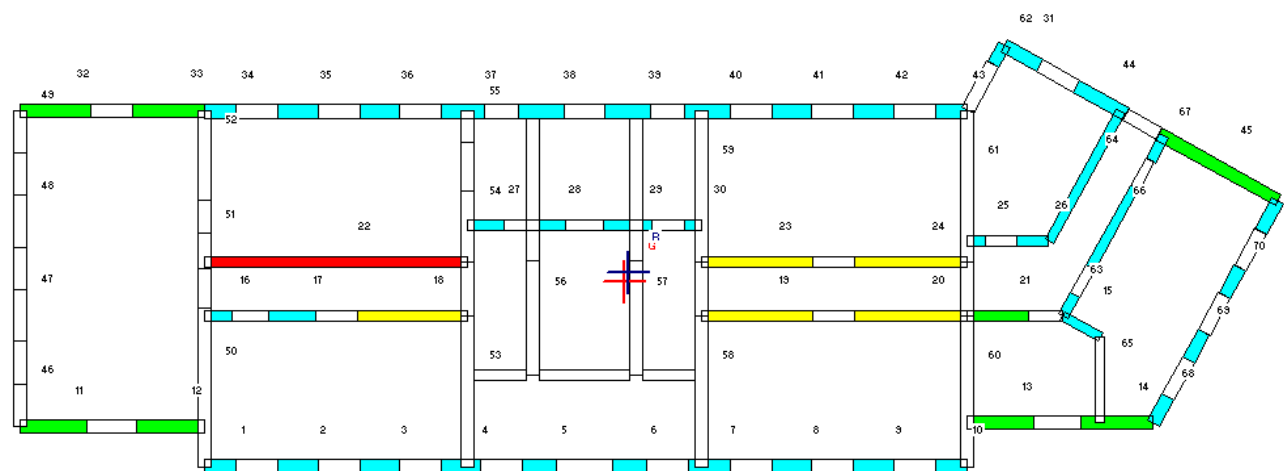
- 1) infinita rigidezza delle fasce → modello shear-type
- 2) infinita resistenza delle fasce → non vengono verificate
- 3) verifiche solo a taglio per fessurazione diagonale
- 4) lo sforzo normale costante non è modificato dal sisma

# Metodo POR

Modello di base: Struttura consolidata per carichi verticali e il vento

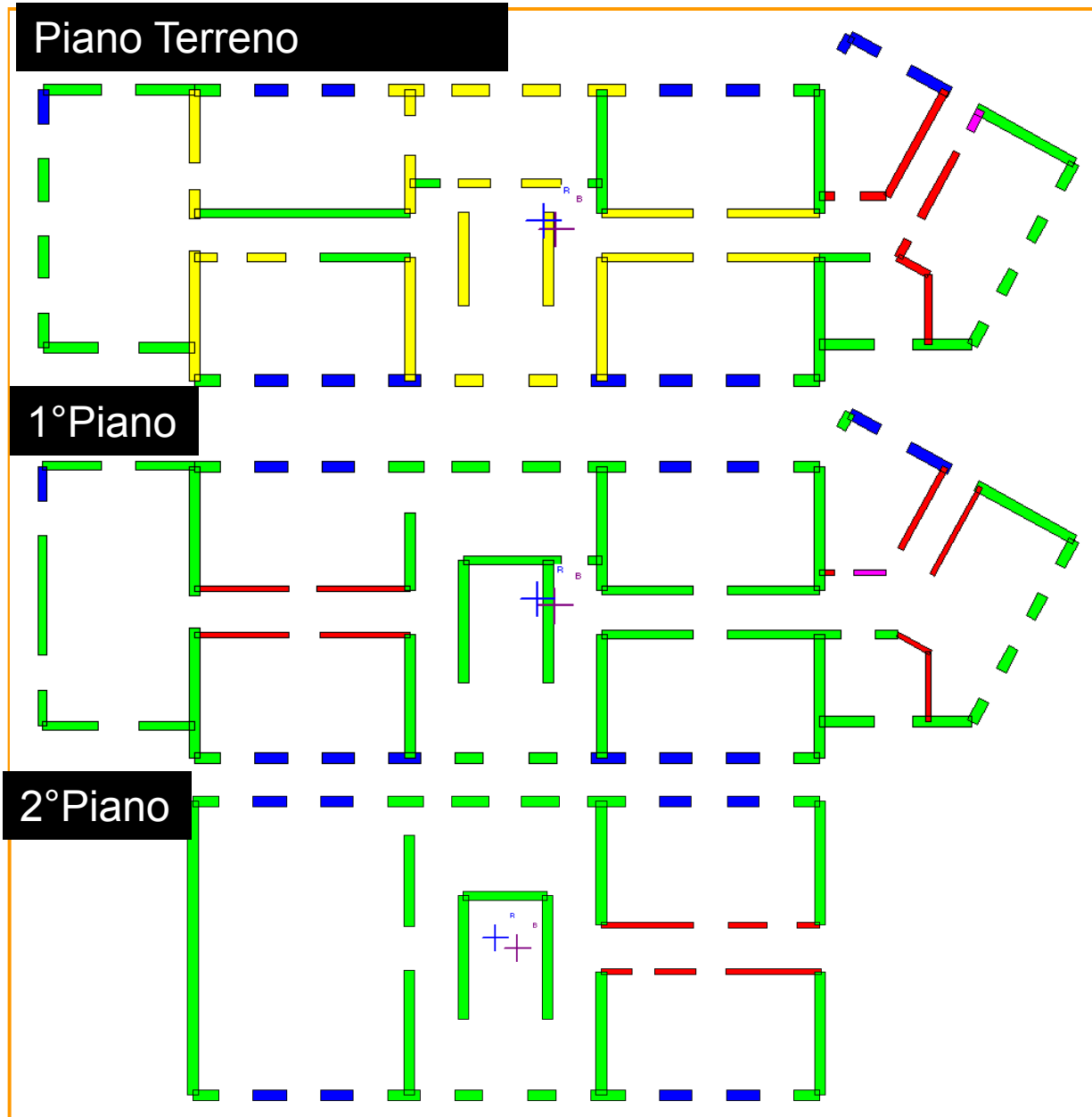
Legenda

-  elastico
-  oltre elastico
-  oltre fessur.
-  al collasso



# Adeguamento col metodo POR

Legenda	
	pietra
	pietra int.armato
	mattoni
	mattoni int. armato
	angolari L90x90x9



VERIFICA  
*soddisfatta*

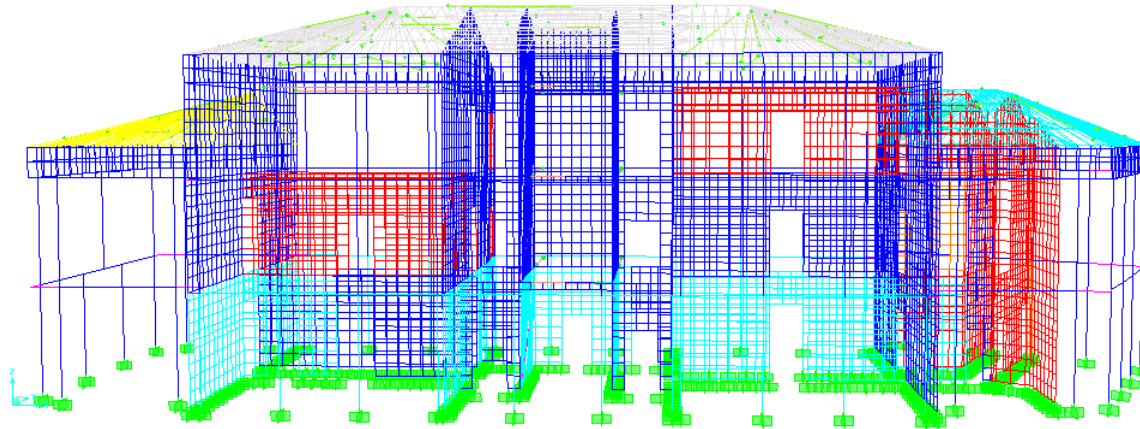


# Metodi di analisi lineari

- A) Analisi statica lineare
- B) Analisi dinamica modale

Modello di riferimento: Struttura consolidata per carichi verticali

Codice di calcolo utilizzato: Sap 2000 Non linear



Modellazione

Pareti interne	Elementi bidimensionali "shell"
Pareti esterne	Elementi monodimensionali "frame"
Copertura	Elementi "shell"
Solai	Infinitamente rigidi nel proprio piano

***Le fasce non sono verificate***

# Analisi statica non lineare PUSHOVER

A differenza delle analisi lineari, **le analisi statiche non lineari** di una struttura, soggetta a terremoti di notevole intensità consentono di analizzare il comportamento post-elastico e la relativa redistribuzione delle forze sismiche fra i vari elementi resistenti.



**Metodo di analisi PUSHOVER**  
metodo nato per le analisi strutturali  
di telai in c.a.



studio delle murature  
**non resistenza a trazione**

# Analisi statica non lineare PUSHOVER

## CONCETTO BASE DELL'ANALISI PUSHOVER

La **capacità** complessiva della struttura di sostenere le azioni sismiche può essere descritta dal comportamento della stessa sottoposta ad un sistema di forze statiche equivalenti, incrementate fino a raggiungere il collasso.



La procedura può essere svolta attraverso una serie di analisi elastiche sequenziali sovrapposte dove il modello matematico della struttura, e cioè la sua **matrice delle rigidezze**, viene continuamente aggiornato per tener conto della riduzione di rigidezza degli elementi che rientrano in campo plastico. Il sistema solutore diviene:

$$K(u) u = F$$

**CONCETTI BASE DELL'ANALISI PUSHOVER**

**CAPACITA'**

**DOMANDA**

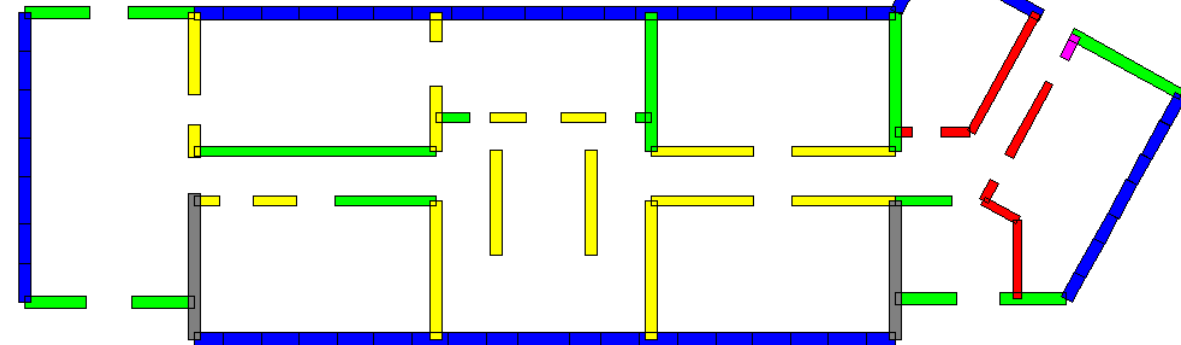


# Adeguamento col metodo PUSHOVER

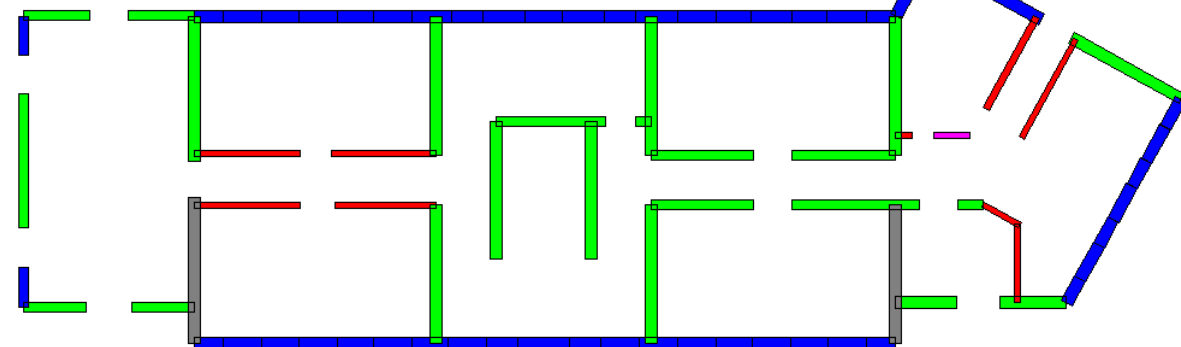
## Legenda

- pietra
- pietra int.armato
- mattoni
- mattoni int. armato
- muri rinforzati
- setto in c.a. 20 cm

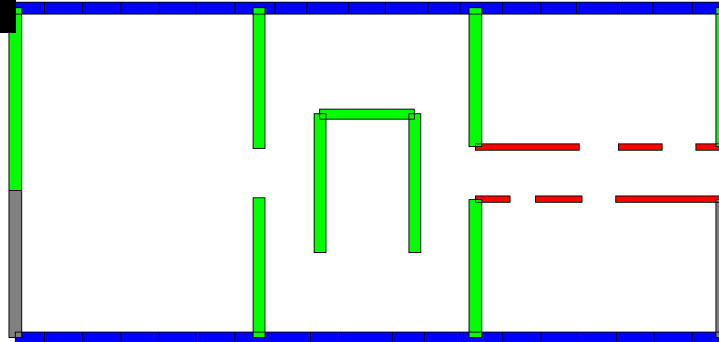
### Piano Terreno



### 1° Piano

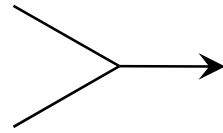


### 2° Piano



# Interventi sui solai

1. Irrigidimento nel piano



solai in acciaio e voltine

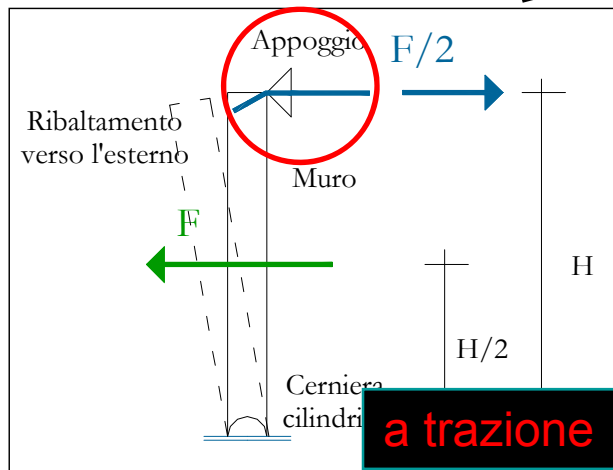
2. Collegamento alle pareti

2. Collegamento alle pareti →

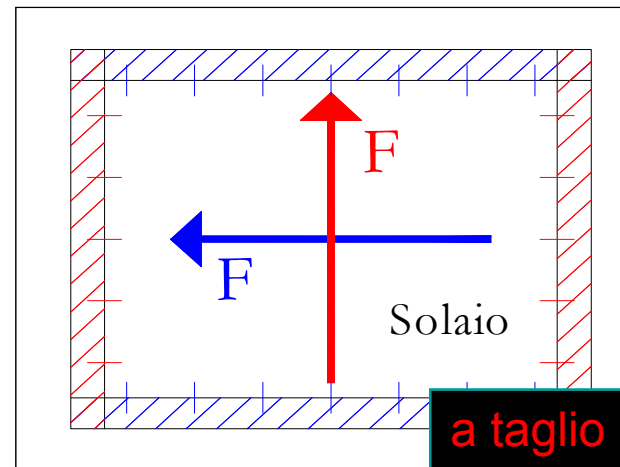
Spinotti  
 $\Phi 8/50\text{cm}$

inseriti nelle murature  
affogati nella soletta

SPINOTTI INTERNI



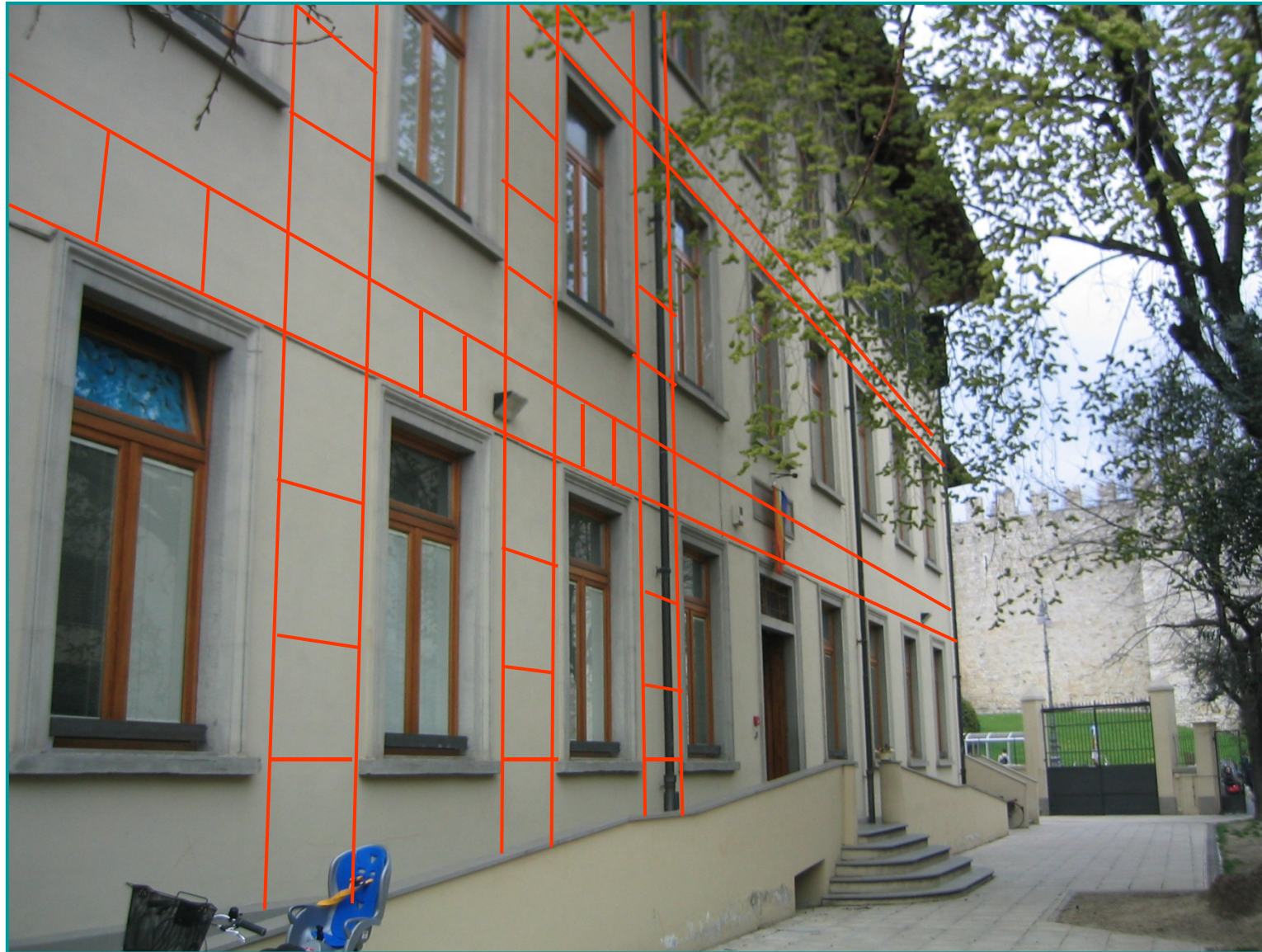
evitare ribaltamenti  
delle pareti esterne



trasferire il taglio  
alle pareti

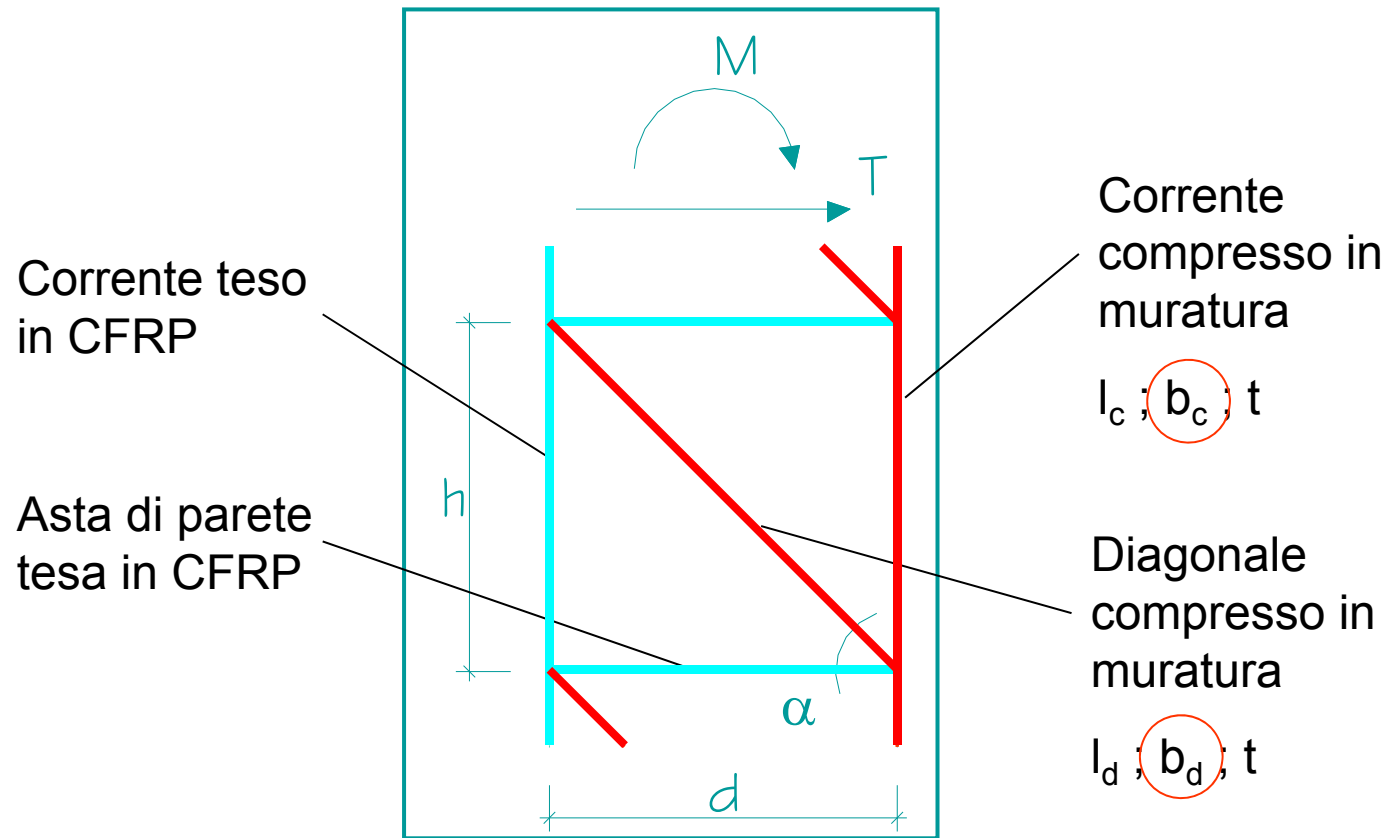
# Rinforzo pareti esterne con FRP

(intervento efficace anche per impedire il ribaltamento fuori dal piano)



# Rinforzo con FRP

Meccanismo resistente → struttura reticolare

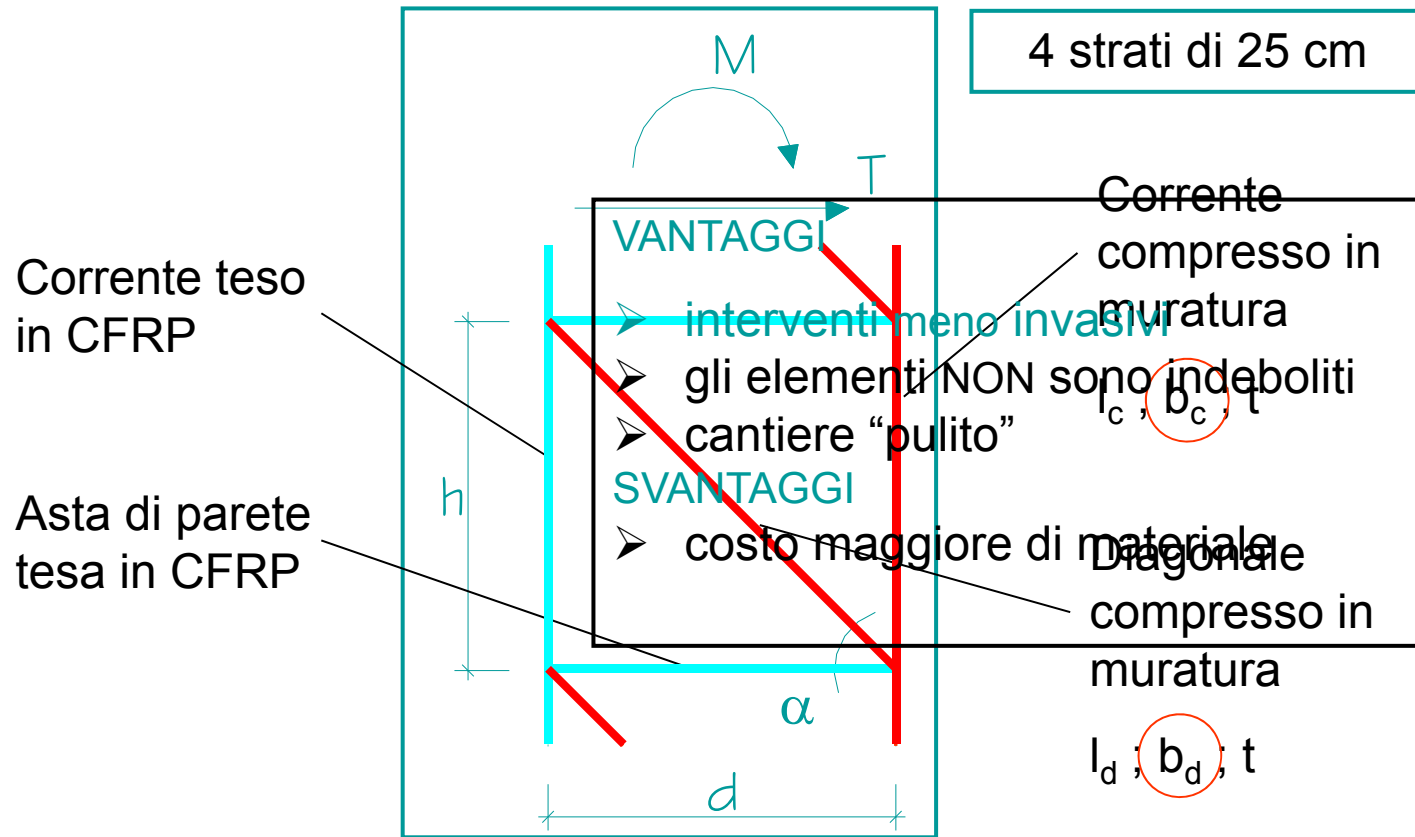


## Verifiche

CFRP	Muratura
Assumiamo in sicurezza: 1 cm di fibra → 200 ÷ 300 kg	Corrente $b_c = 2 \div 3 t$ Diagonale $b_D = 1/10 l_D$

# Rinforzo con FRP

Meccanismo resistente → struttura reticolare



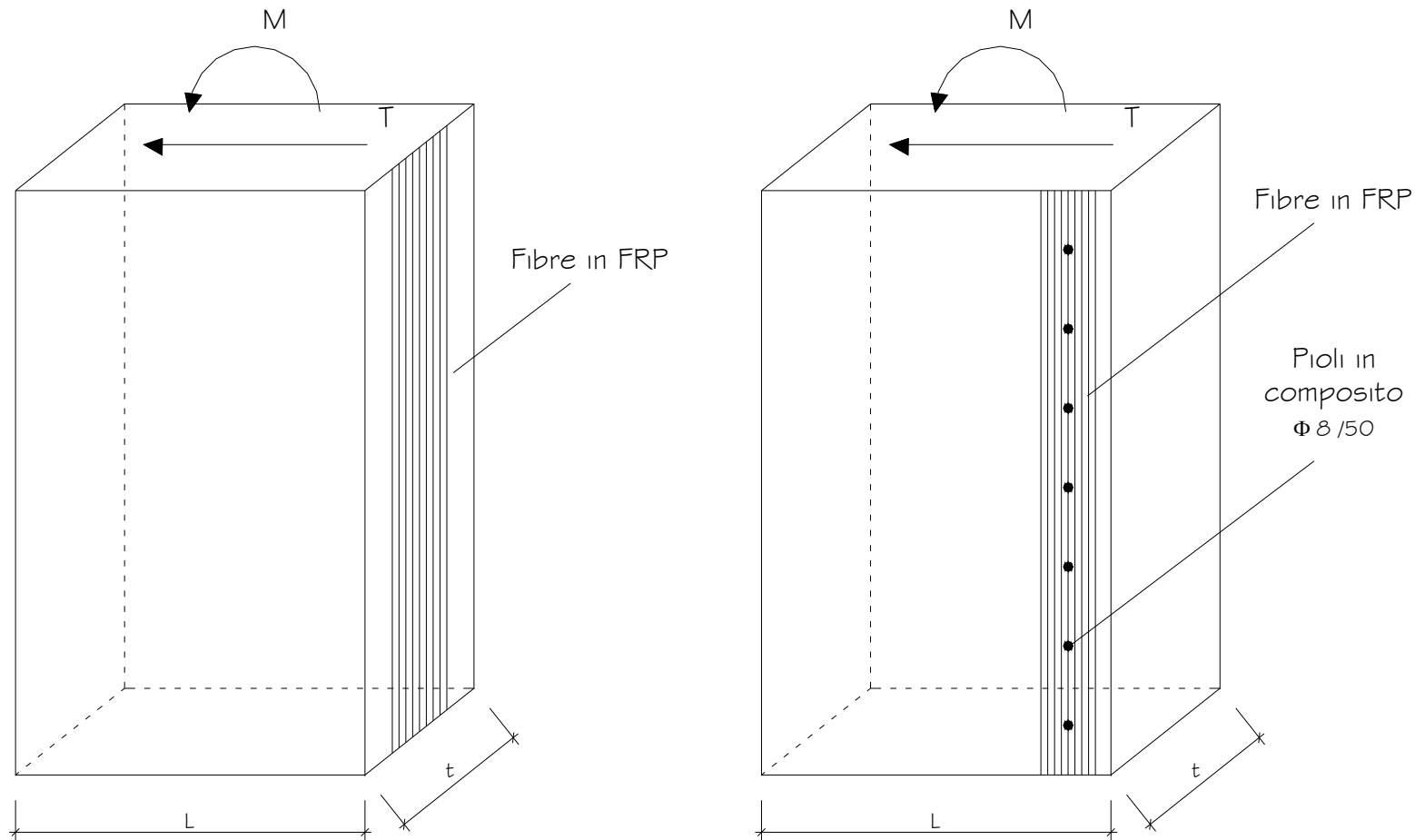
## Verifiche

CFRP	Muratura
Assumiamo in sicurezza 1 cm di fibra → 200 ÷ 300 kg	Corrente $b_c = 2 \div 3 t$ Diagonale $b_D = 1/10 l_D$



# Rinforzo con FRP

Tecnologia utilizzata: sistema ArdFix (brevettato)

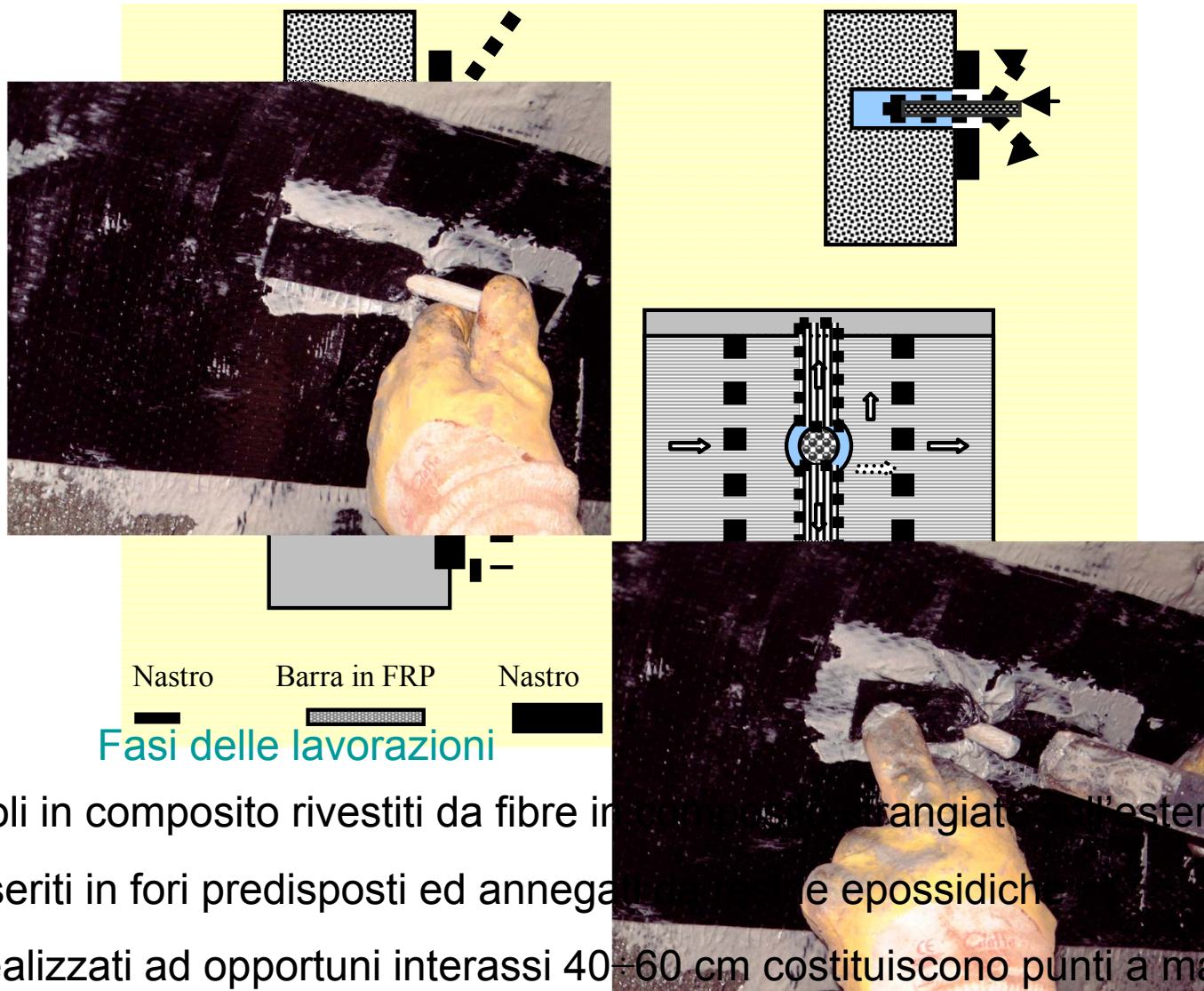


## Vantaggi

- aumento considerevole dell'aderenza
- le fibre possono essere applicate sulle facce esterne

# Rinforzo con FRP

Tecnologia utilizzata: sistema ArdFix (brevettato)



## Fasi delle lavorazioni

- ✓ Pioli in composito rivestiti da fibre in ... angiate ... esterno
- ✓ Inseriti in fori predisposti ed annegati in ... e epossidiche
- ✓ Realizzati ad opportuni interassi 40-60 cm costituiscono punti a maggior aderenza per la fibra longitudinale principale che viene sovrapposta