



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



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 .

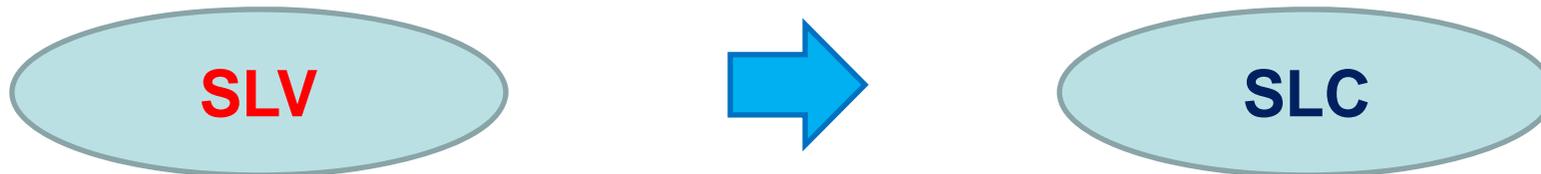
EDIFICI ESISTENTI

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

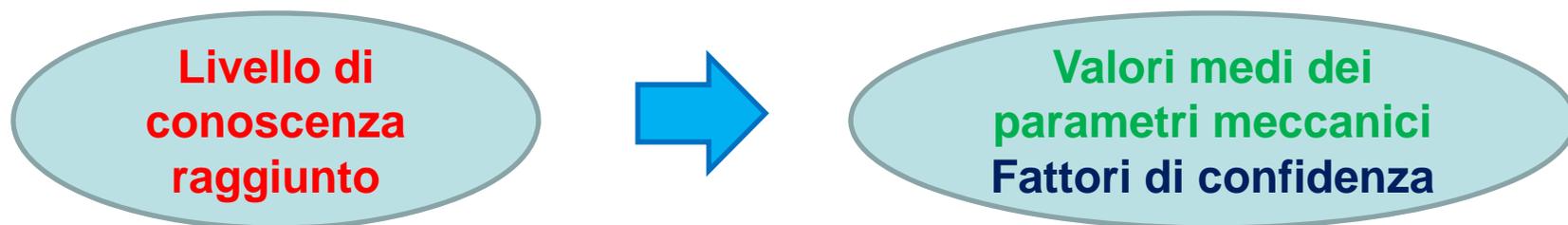
eventuale valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche

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).

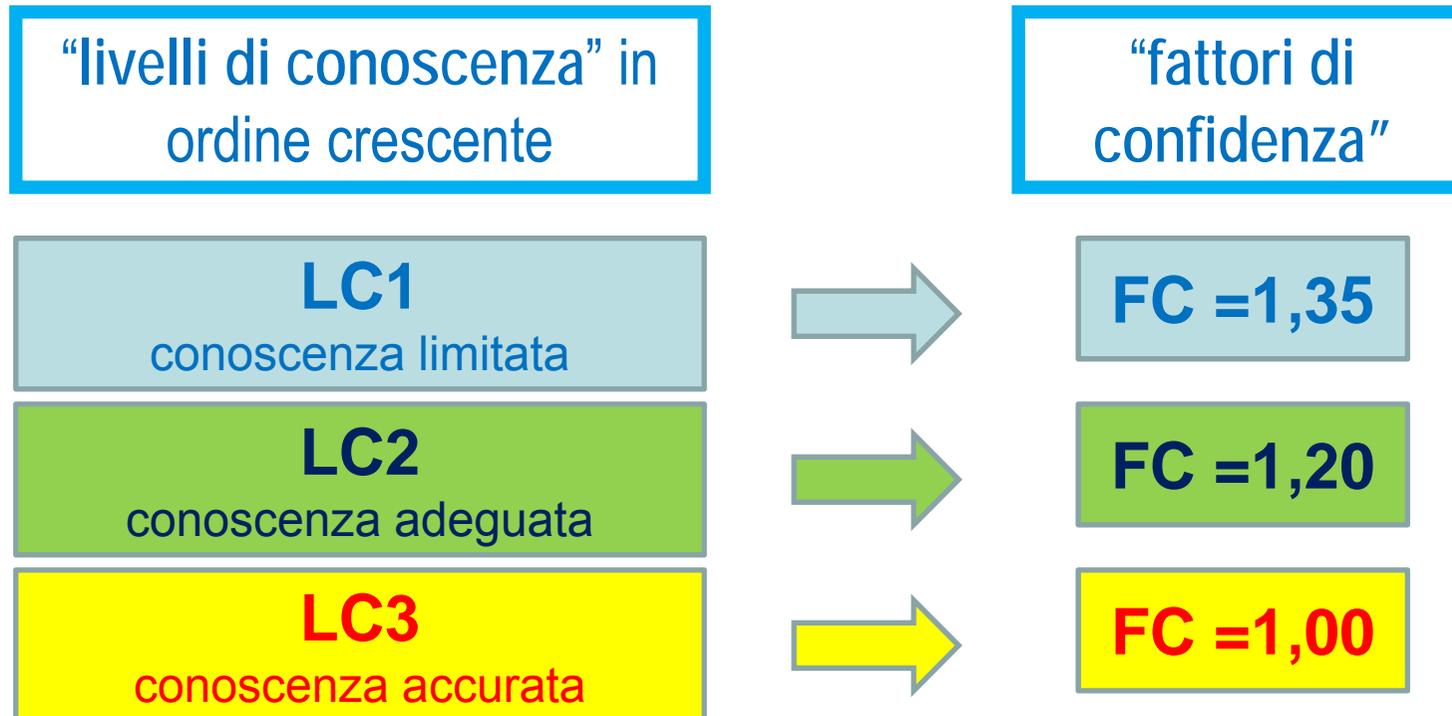
C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: **livelli di conoscenza**

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
verifiche in situ estese ed esaustive	indagini in situ esaustive	LC3



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 γ_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^2	2,5	5	10	15	20	d

d è una resistenza a compressione maggiore di $25 N/mm^2$ 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 γ_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	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 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 τ_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

τ_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	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	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	

σ_k Circ.
1981

50

200

200

250

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

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	300	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	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%)	150	9,5	1200	300	12
	300	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	≥ 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_{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 $\text{media}(f_{\text{sperim.}}) < f_{\text{min}}(\text{tab.})$</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 ²]	24	32	40*
f_d [kg/cm ²] per carichi verticali	5,92	8,89	13,33
f_d [kg/cm ²] per carichi sismici (analisi lineare)	8,89	13,33	20
f_d [kg/cm ²] 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 $f_{m,max}$</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)

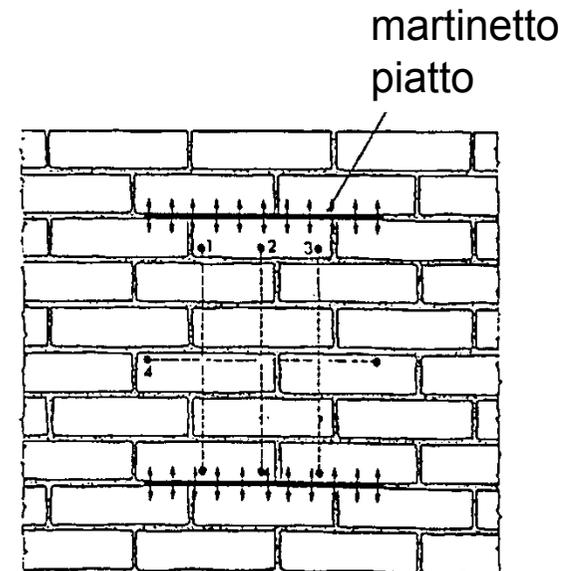
C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: prove in situ

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:

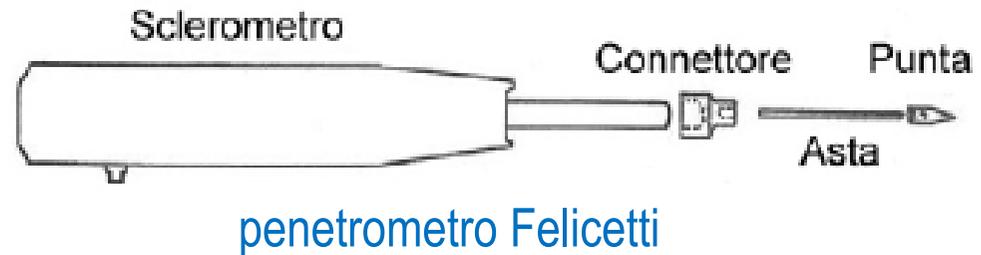
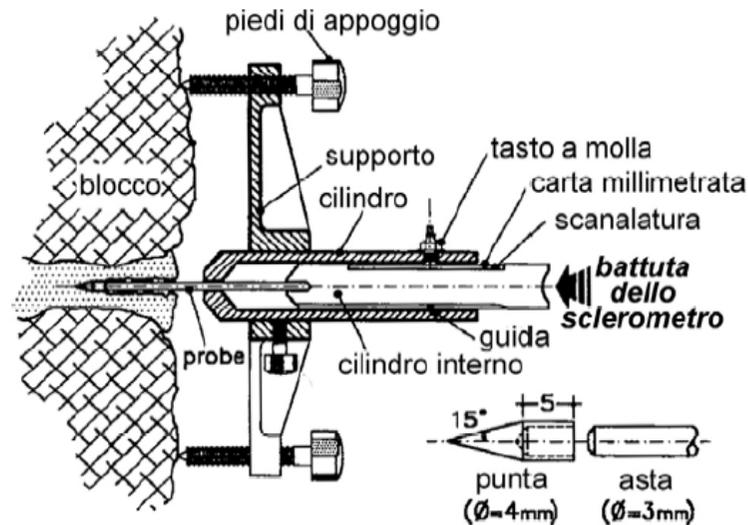
- **malta di buone caratteristiche**: si applica il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G)



*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 τ_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 τ_0)

TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE

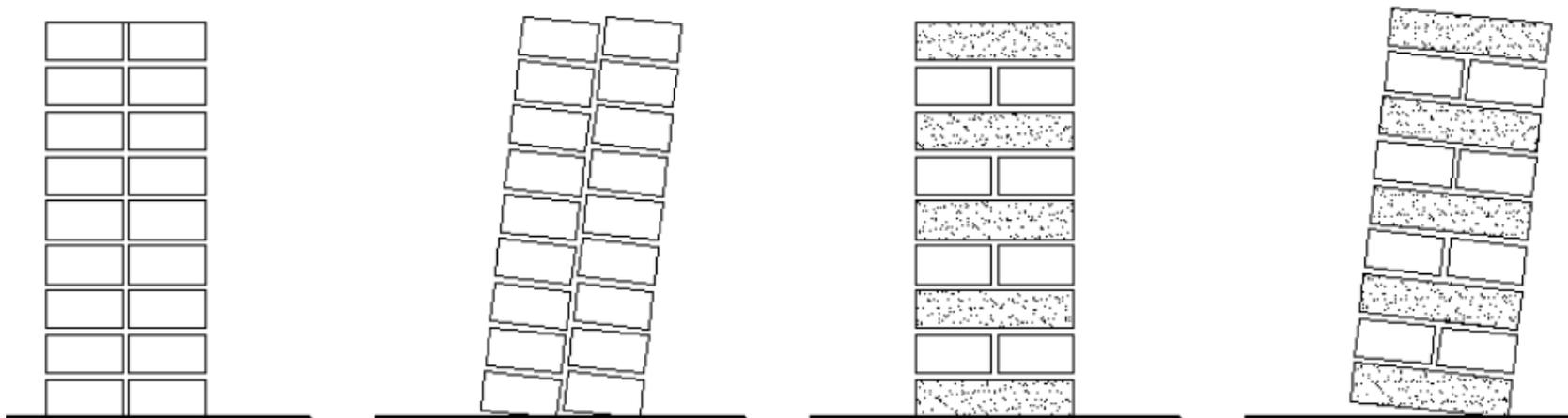
- **presenza di ricorsi (o listature)**: si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza (f_m e τ_0); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in quanto nelle altre non si riscontra tale tecnica costruttiva



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 τ_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 τ_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 τ_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

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

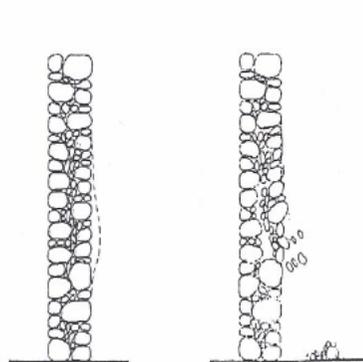


da Manuale per la Ricostruzione post-sismica dell'Umbria e delle Marche

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

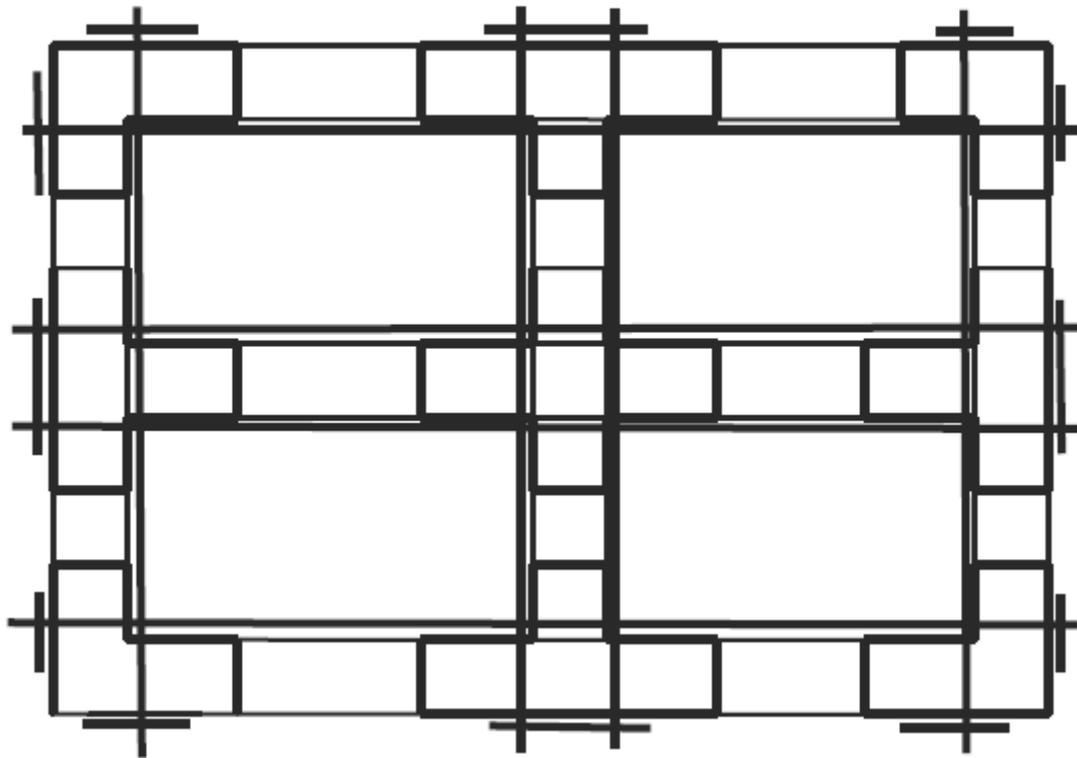
ammorsatura

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

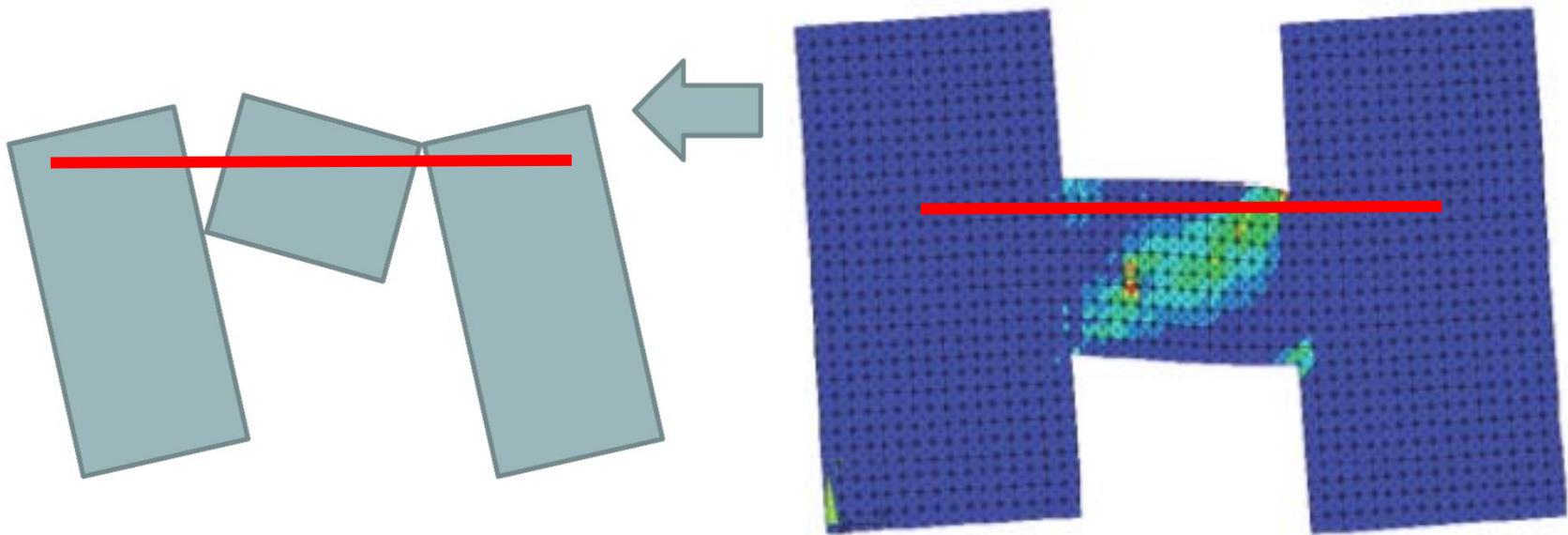


favoriscono il comportamento d'insieme del fabbricato

CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

TIRANTI

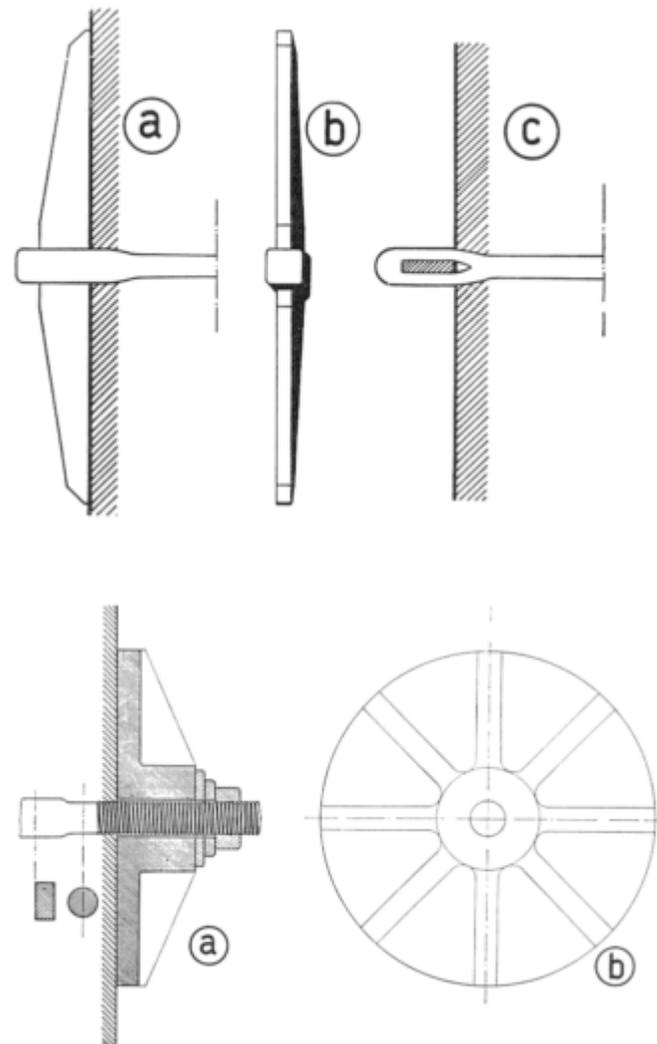
migliorano il comportamento nel piano di pareti forate, in quanto consentono la formazione del meccanismo tirante-puntone nelle fasce murarie sopra porta e sotto finestra



CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

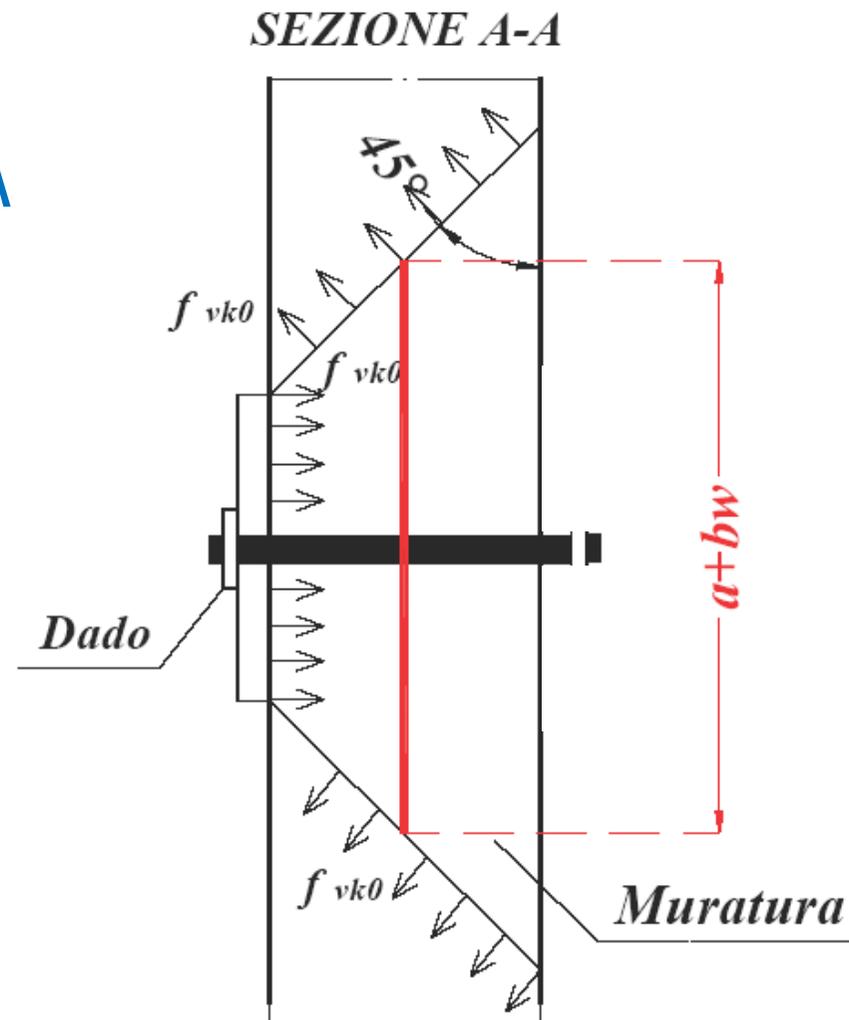
CAPOCHIAVE

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



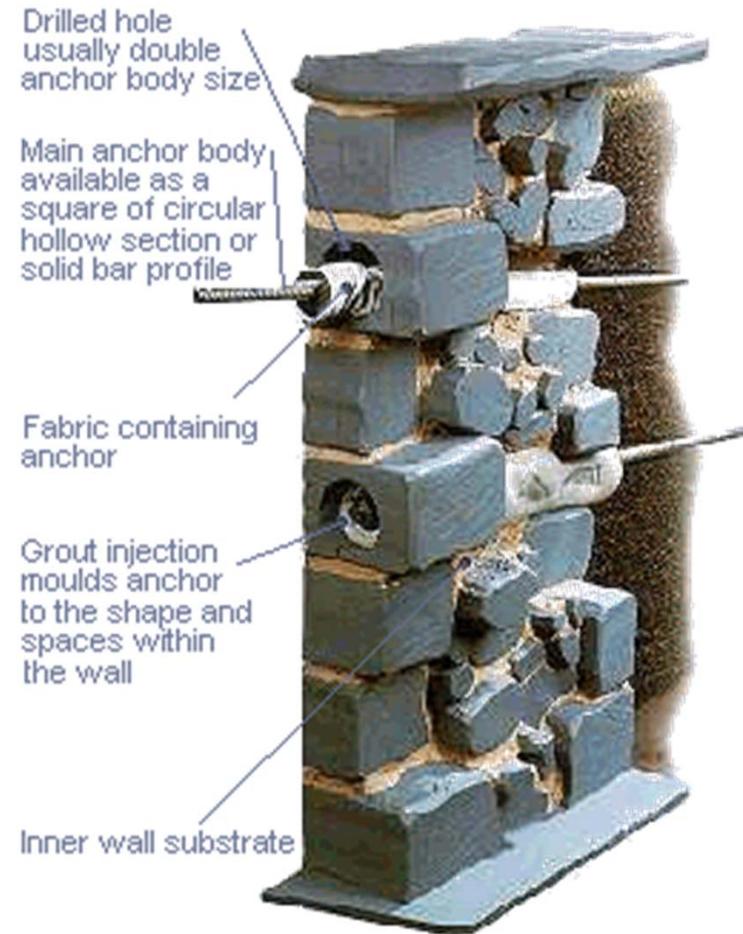
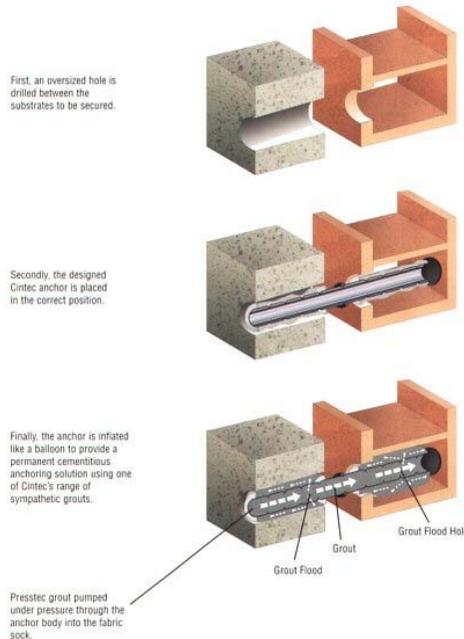
CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

VERIFICA DELLA MURATURA IN CORRISPONDENZA DEL CAPOCHIAVE



CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

TIRANTI CON CALZA



www.cintec.co.uk

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

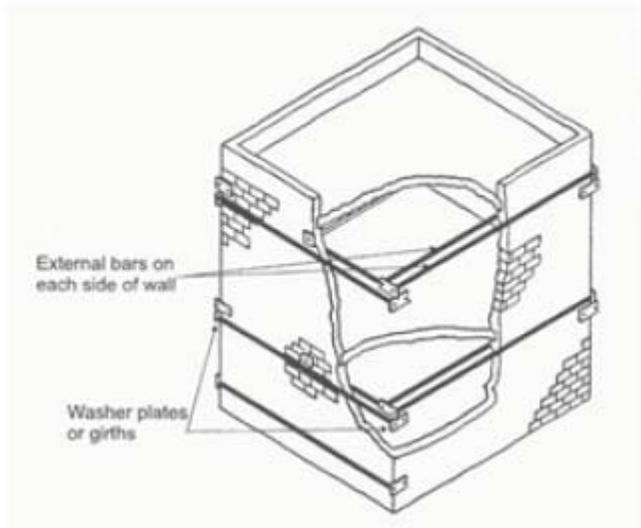
CERCHIATURE ESTERNE

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

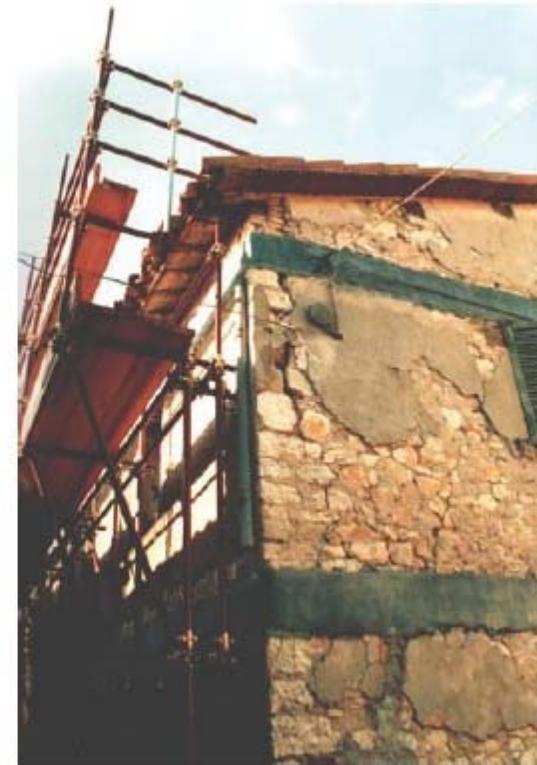


inserimento di opportune piastre di ripartizione o in alternativa, nel caso si usino fasce in materiale composito, procedendo allo smusso degli spigoli

CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA



EDILSYSTEM.srl

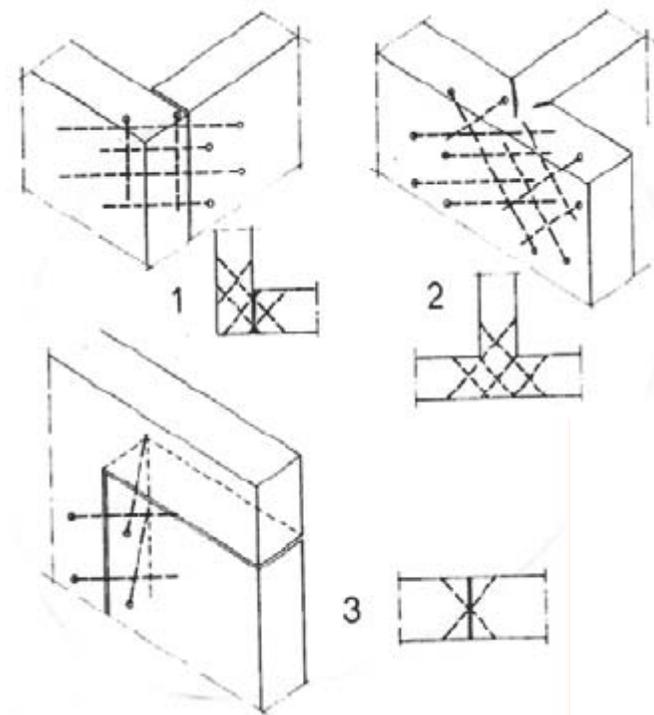


Casareto, Oliveri, Romelli, UMR

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

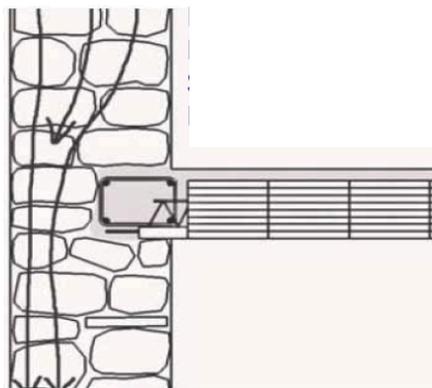
occorre garantire la durabilità degli elementi inseriti (acciaio inox, materiali compositi o altro) e la compatibilità delle malte iniettate

Christ Church Cathedral
Newcastle, New South Wales, Australia
www.cintec.co.uk

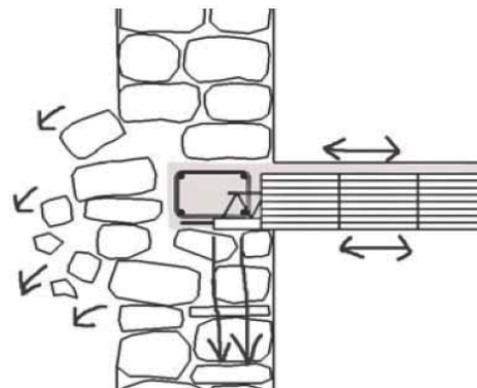


CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

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

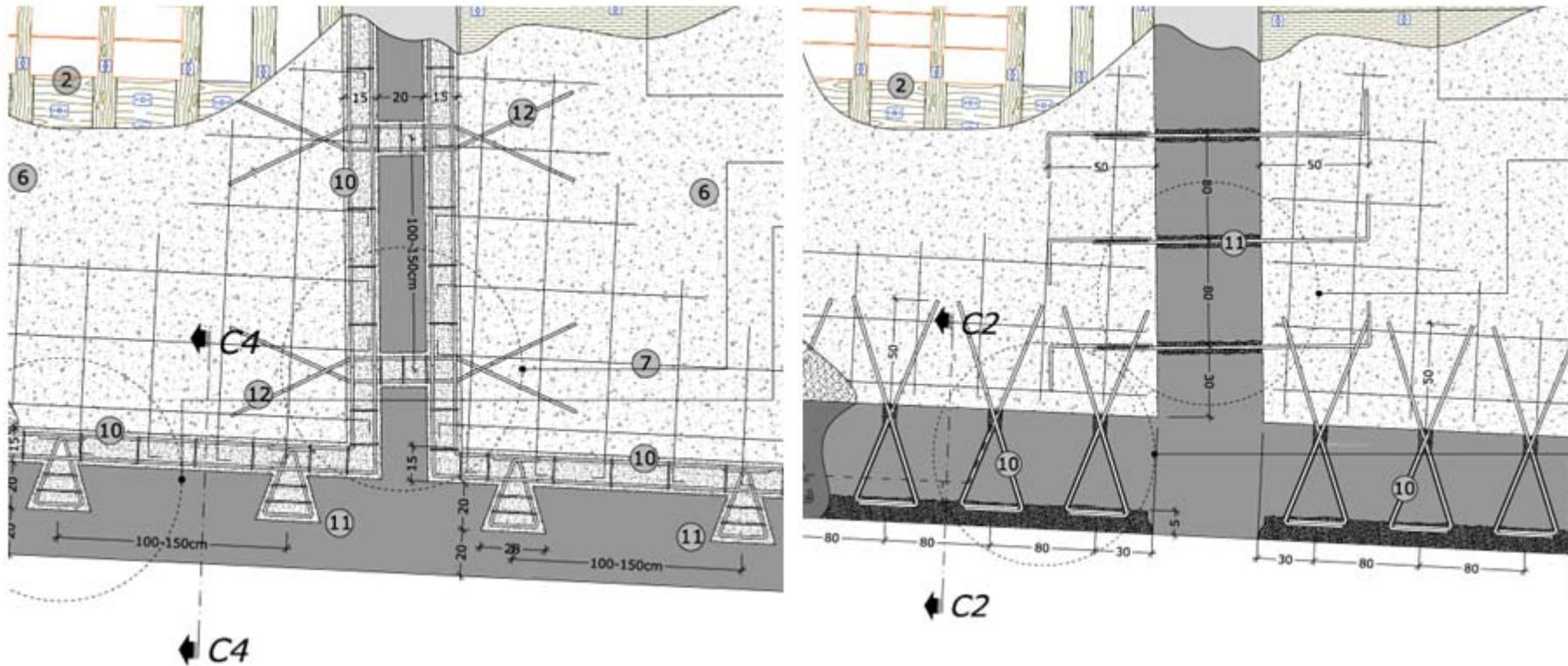
evita lo sfilamento delle travi, con conseguente crollo del solaio

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

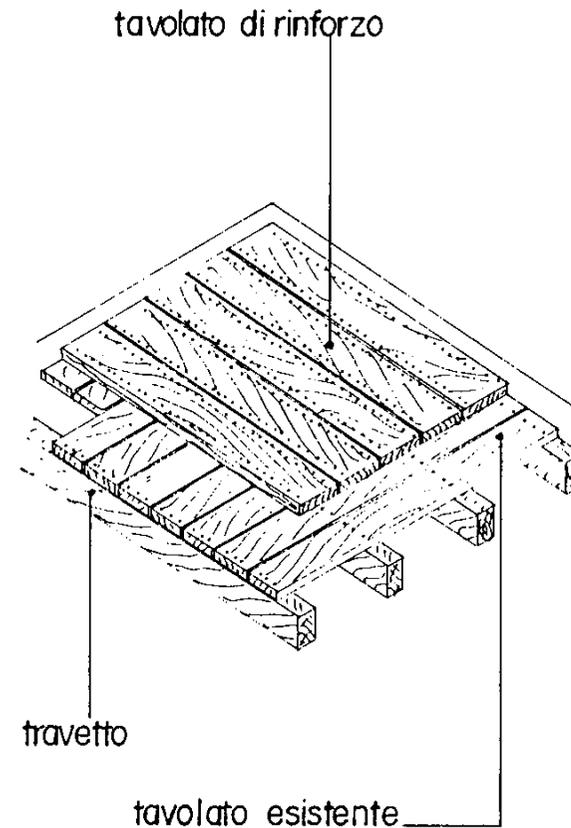
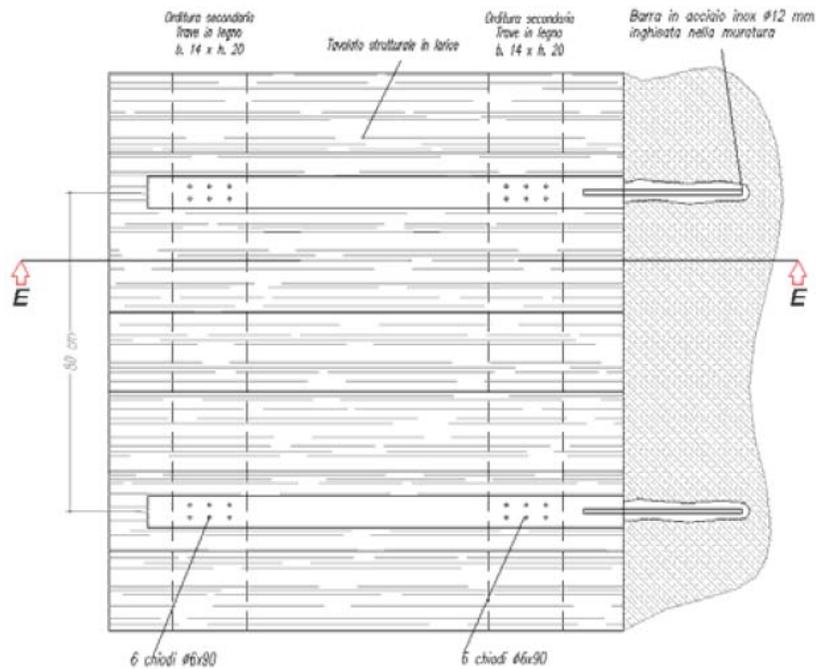
ruolo dei solai

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



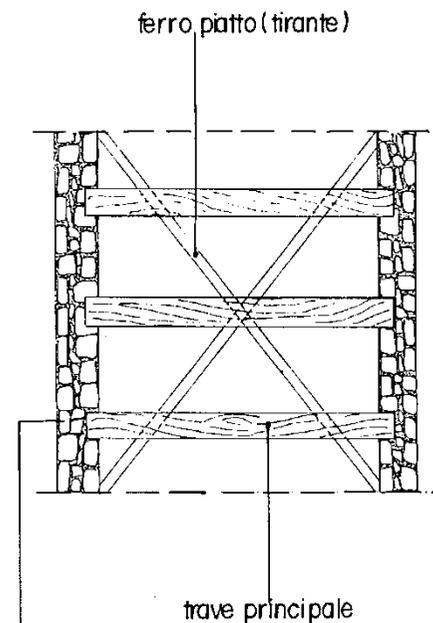
CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

Tecniche di rinforzo solai lignei



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

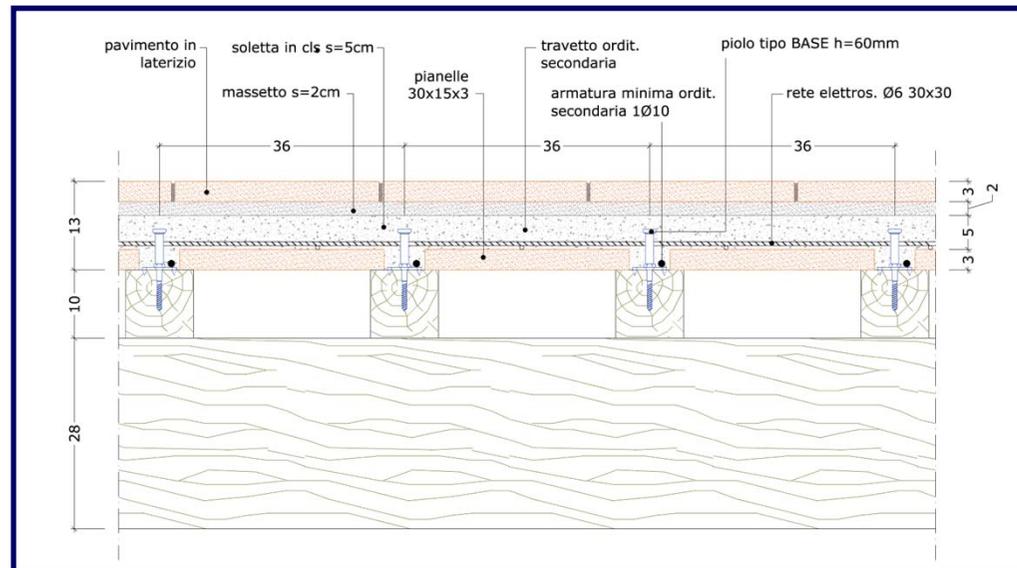
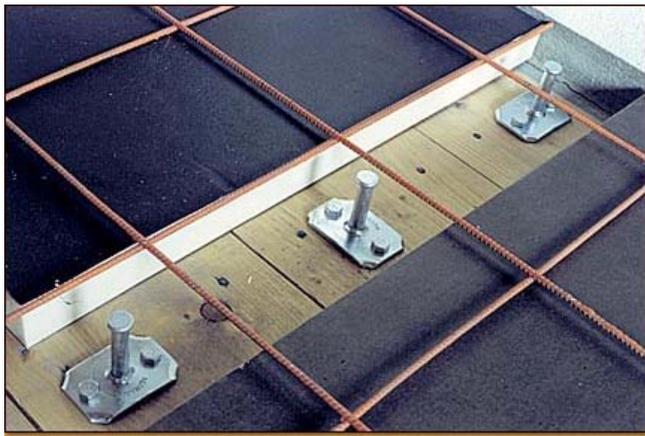
in alternativa, o in aggiunta, si possono usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato



CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

Tecniche di rinforzo solai lignei

soletta collaborante in c.a.



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 α_u e α_1 sono definiti al § 7.8.1.3 delle NTC. In assenza di più precise valutazioni, potrà essere assunto un rapporto α_u / α_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/

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



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



$H_3 = 3.70 \text{ m}$



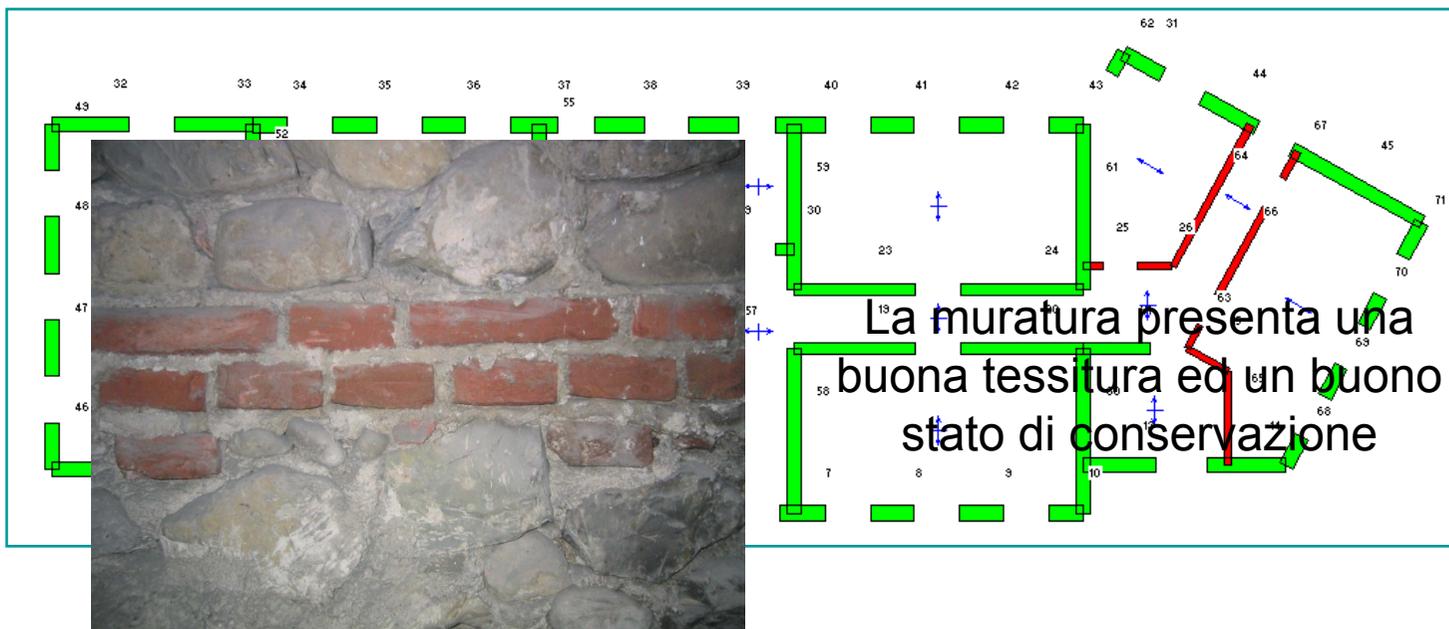
Rilievo strutturale



1. Murature in elevazione

Pietra calcarea s=40÷60 cm

Mattoni pieni s=25 cm

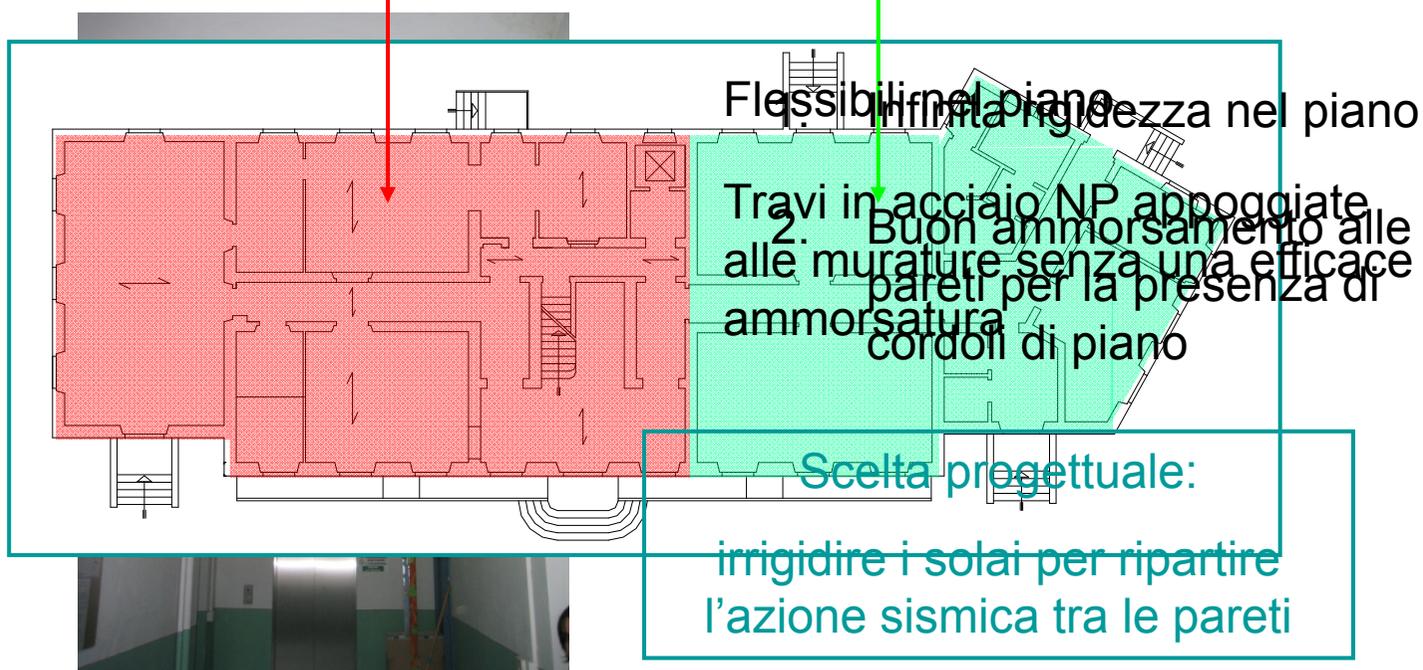


Rilievo strutturale

2. Solai

Acciaio e voltine in laterizio

Latero-cemento



Flessibile nel piano / Infinita rigidità nel piano

Travi in acciaio NP appoggiate alle murature senza una efficace ammorsatura / Buon ammortamento alle pareti per la presenza di cordoni di piano

Scelta progettuale:
irrigidire i solai per ripartire l'azione sismica tra le pareti

Rilievo strutturale

3. Copertura

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



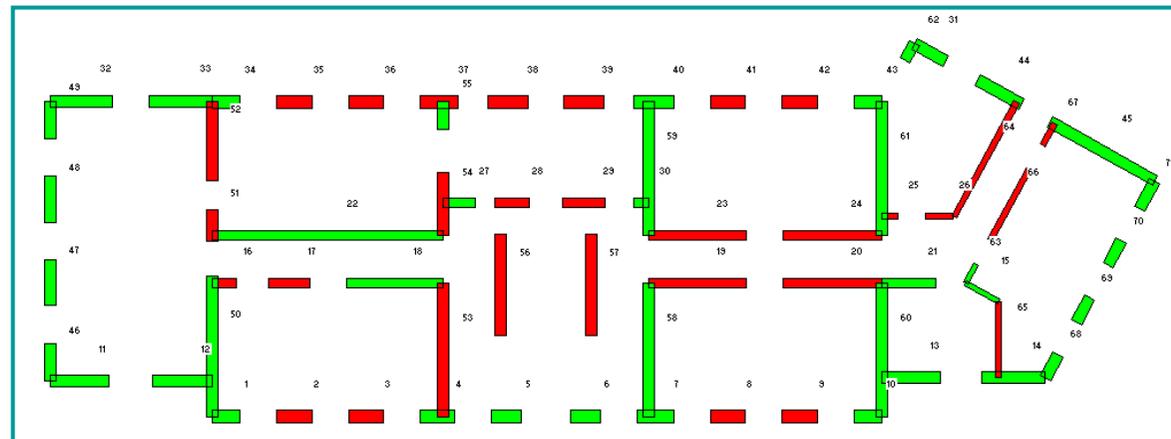
Analisi statica per carichi verticali

Stato attuale: Risultati delle analisi

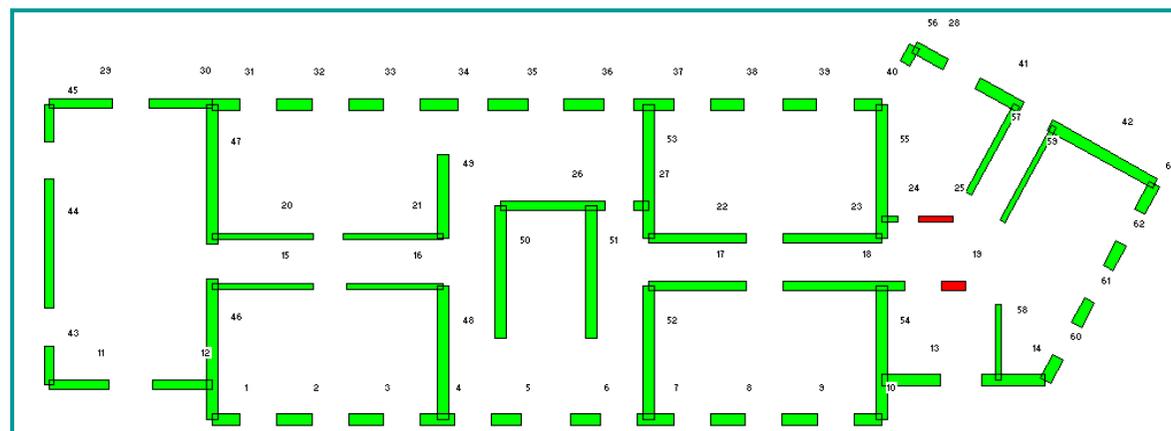
Legenda

- 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.

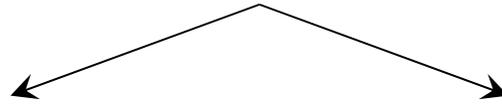


Analisi sismica

COMPORTAMENTO SCATOLARE DELLA STRUTTURA



Adeguate connessioni

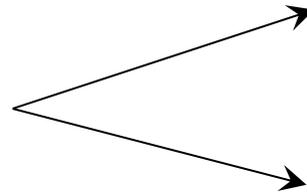


tra pareti

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

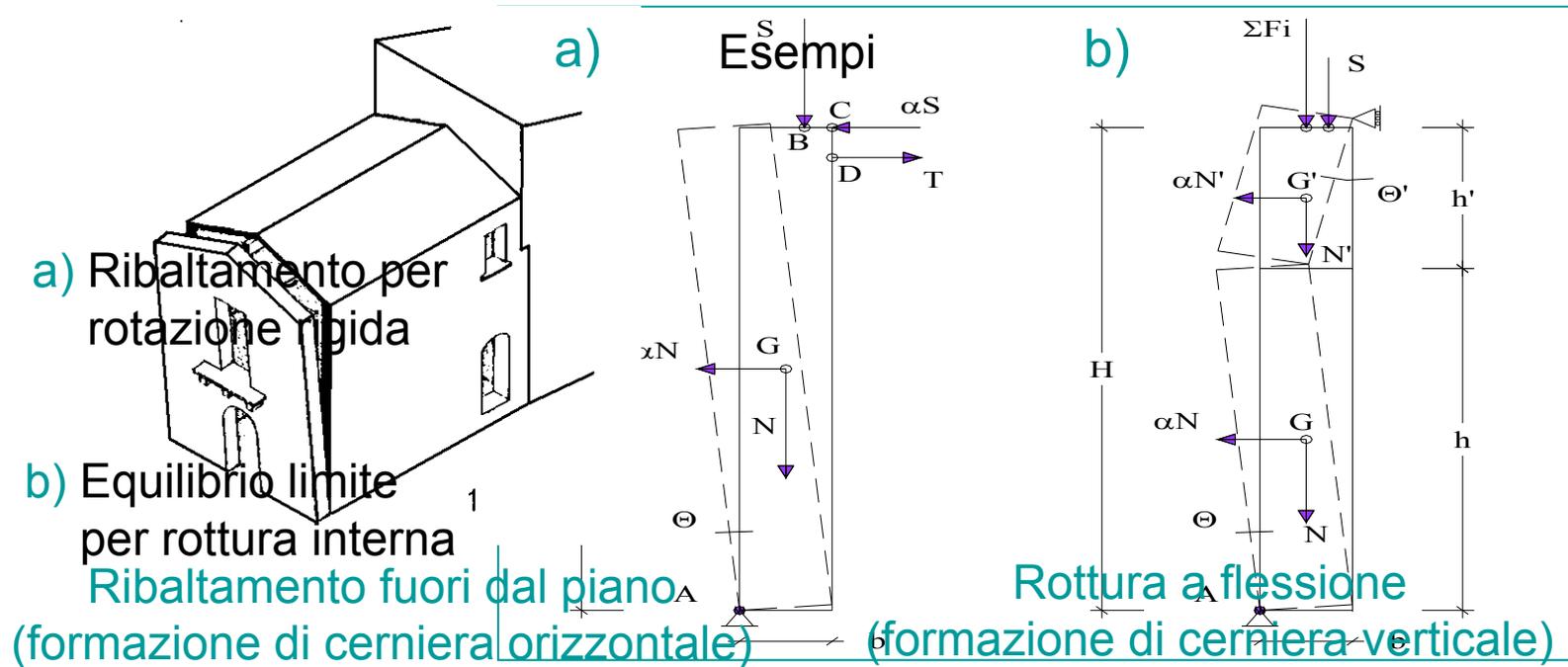
cinematismi di collasso

Vantaggi

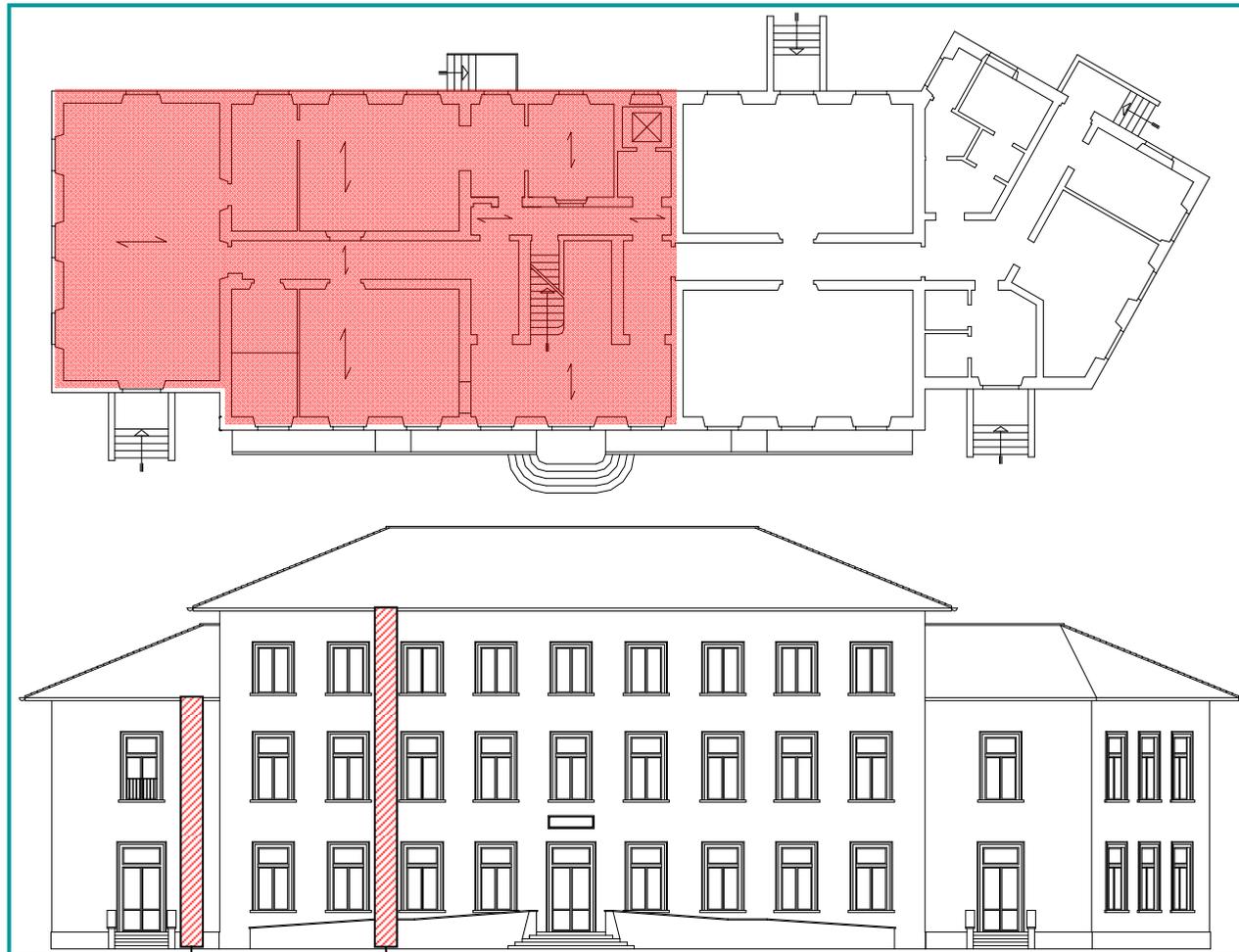
Indipendenza dalle caratteristiche meccaniche

Svantaggi

Grande numero di possibili meccanismi di danno



a) Ribaltamento

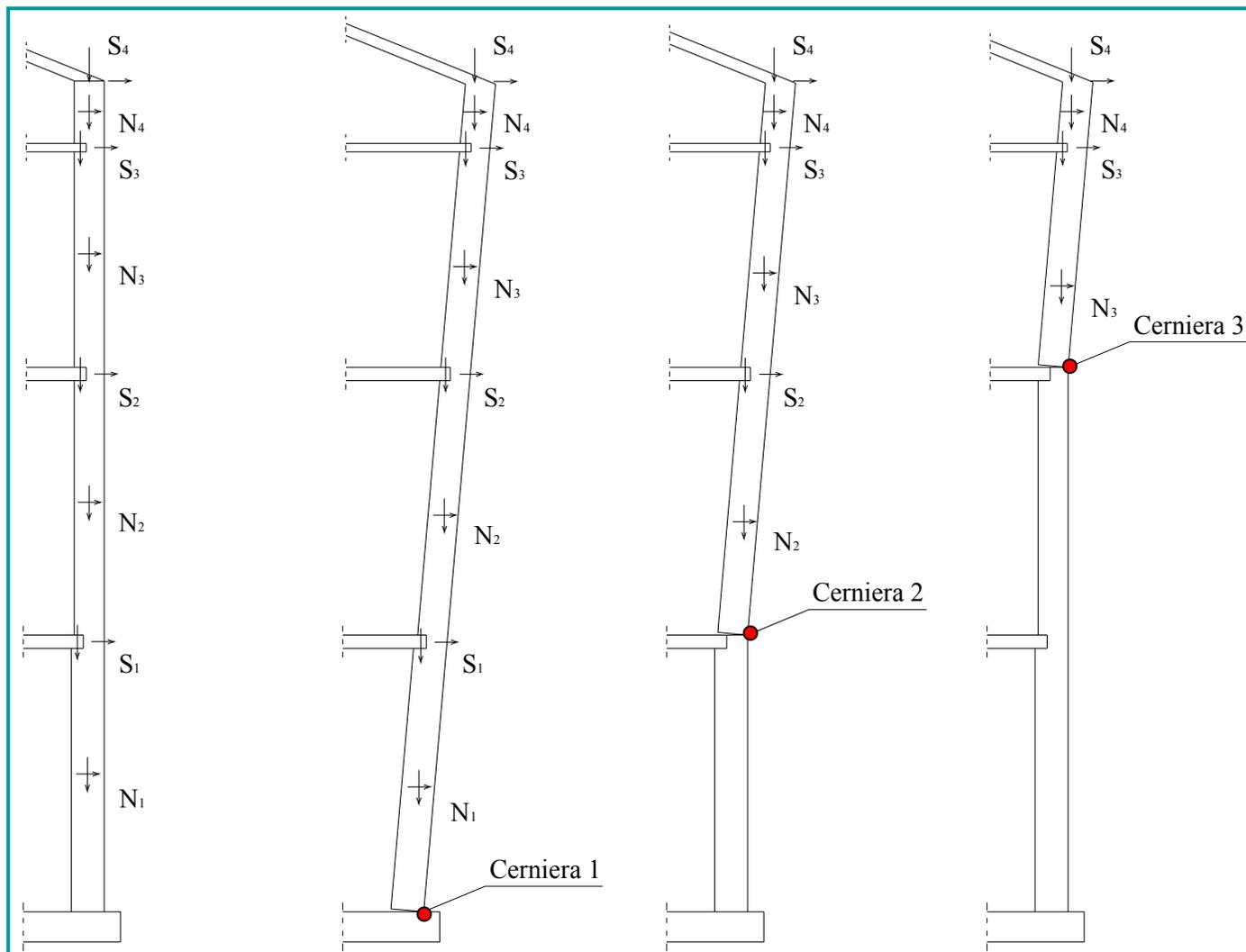


Setto A Maggiormente caricato

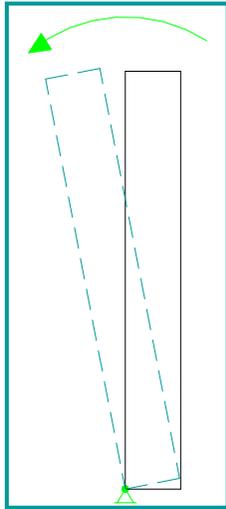
Setto B Meno caricato // orditura solai

a) Ribaltamento Stato attuale

MECCANISMI ANALIZZATI



a) Ribaltamento Stato attuale



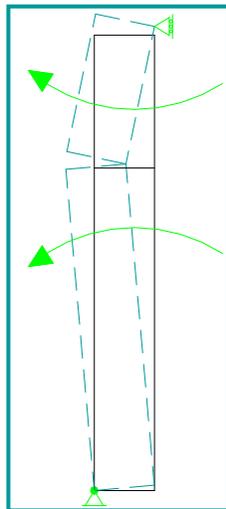
SETTO A → Coeff. Sicurezza 24%

SETTO B → Coeff. Sicurezza 19%

Necessità di collegamenti tra solai e pareti

b) Rottura interna

Stato di progetto

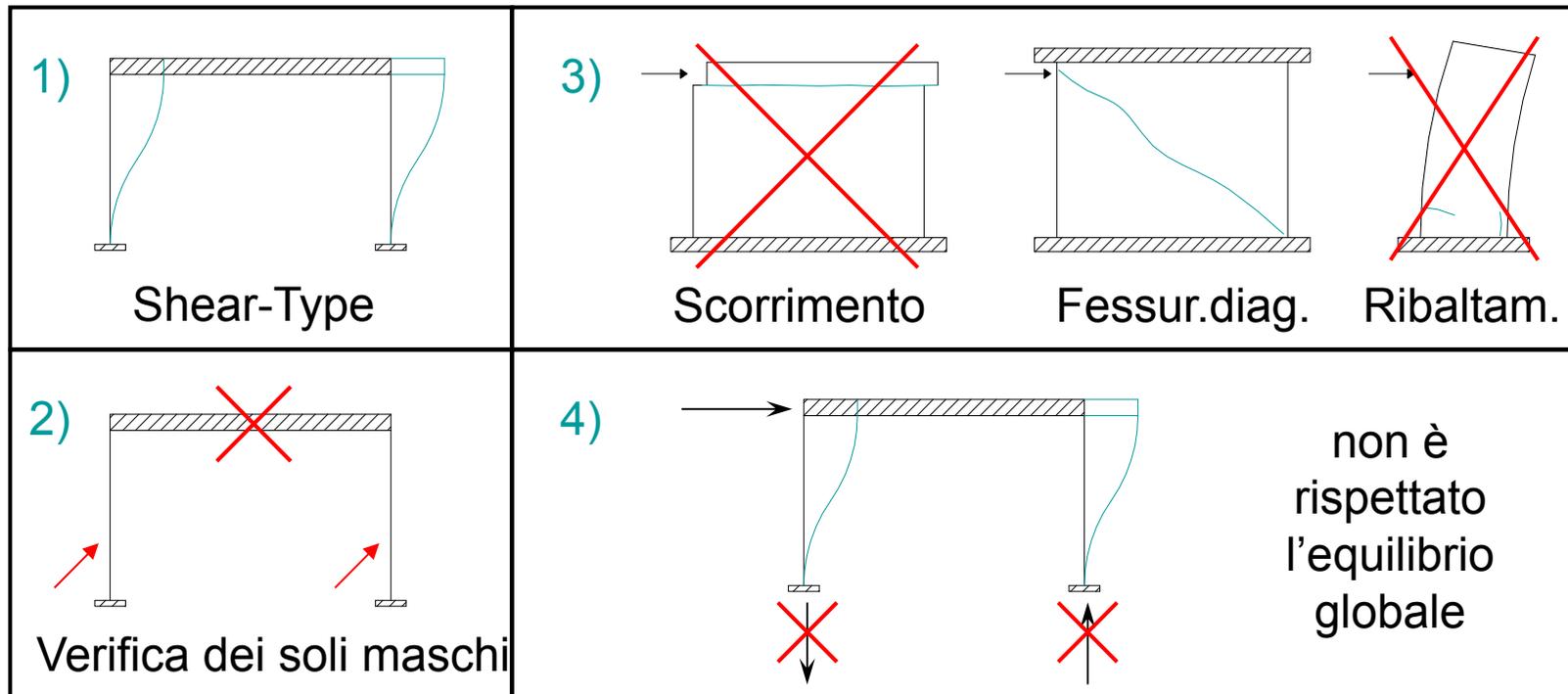


SETTO B → Coeff. Sicurezza 126%

Metodo POR

Normativa di riferimento: D.M. 16.1.1996

IPOSTESI (→limiti di applicazione)



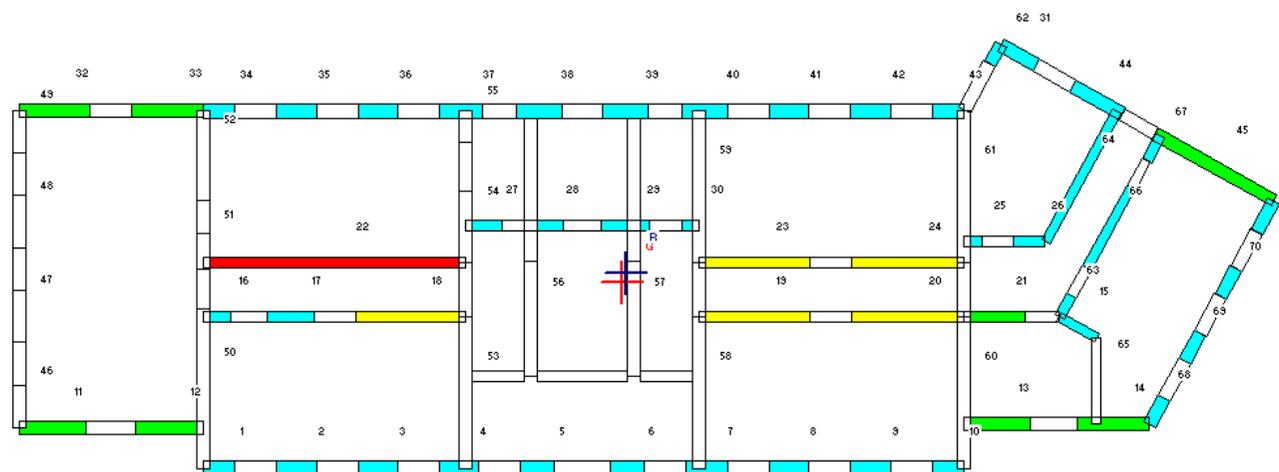
- 1) infinita rigidezza delle fasce → modello shear-type
- 2) infinita resistenza delle fasce → non vengono verificate
- 3) verifiche solo a taglio per fessurazione diagonale
- 4) lo sforzo normale costante non è modificato dal sisma

Metodo POR

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

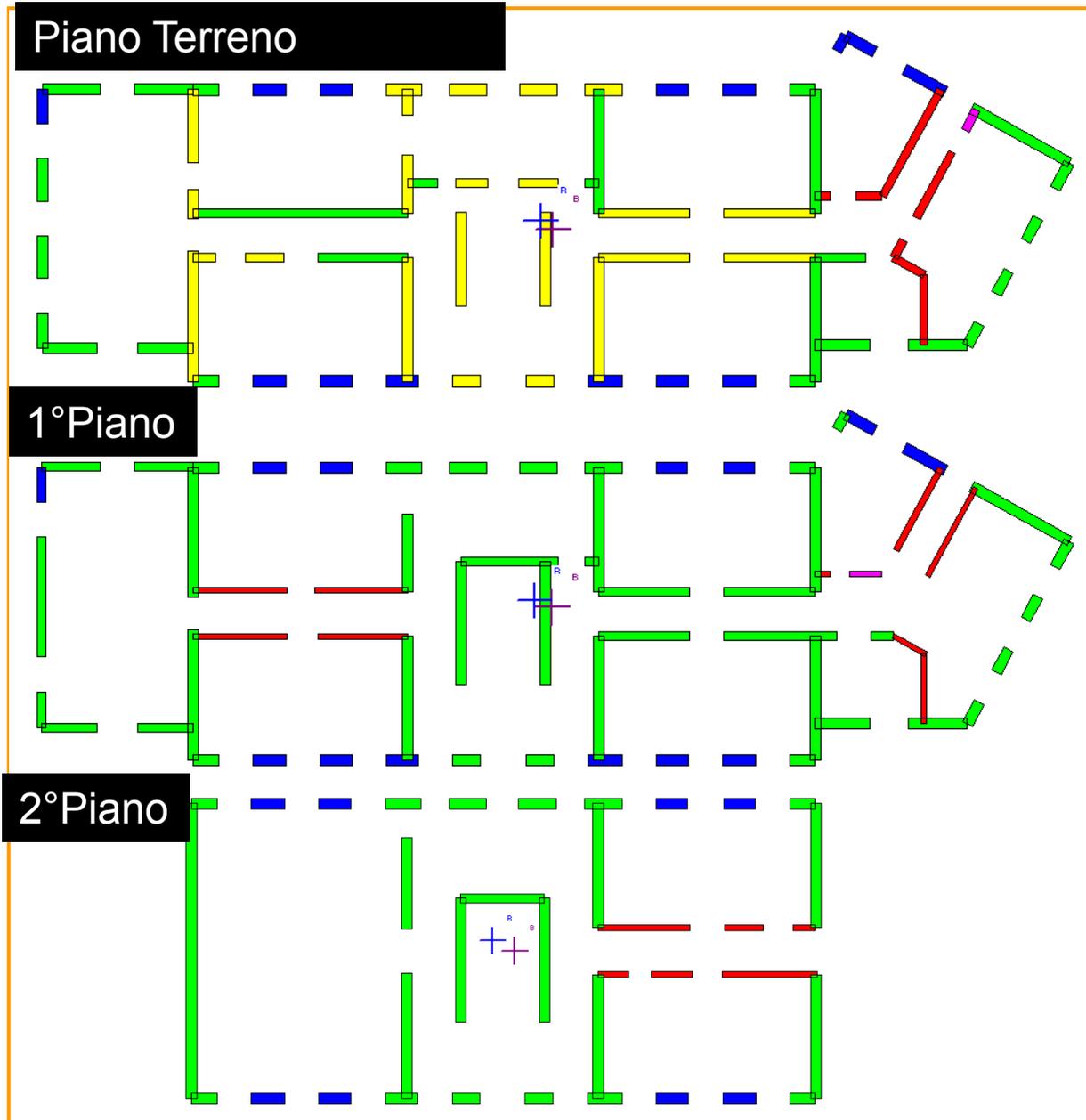
Legenda

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



Adeguamento col metodo POR

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



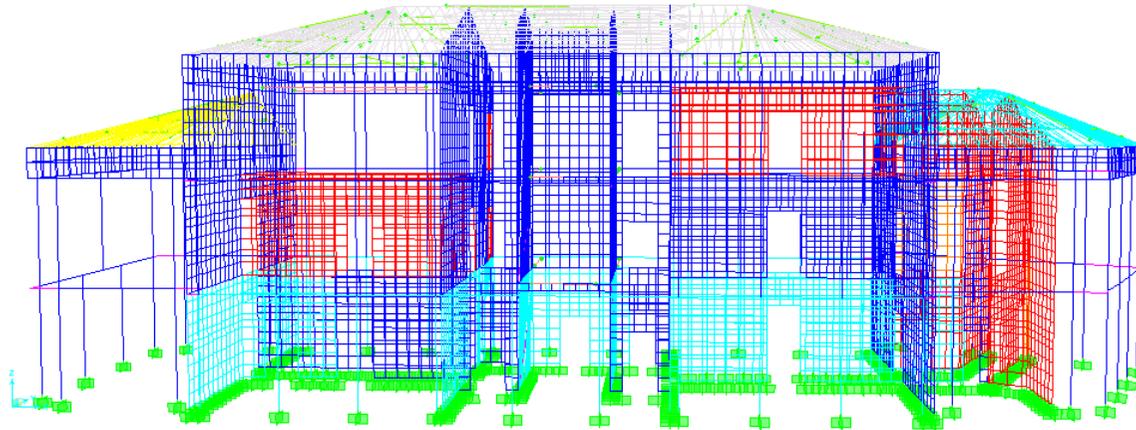
VERIFICA
soddisfatta

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

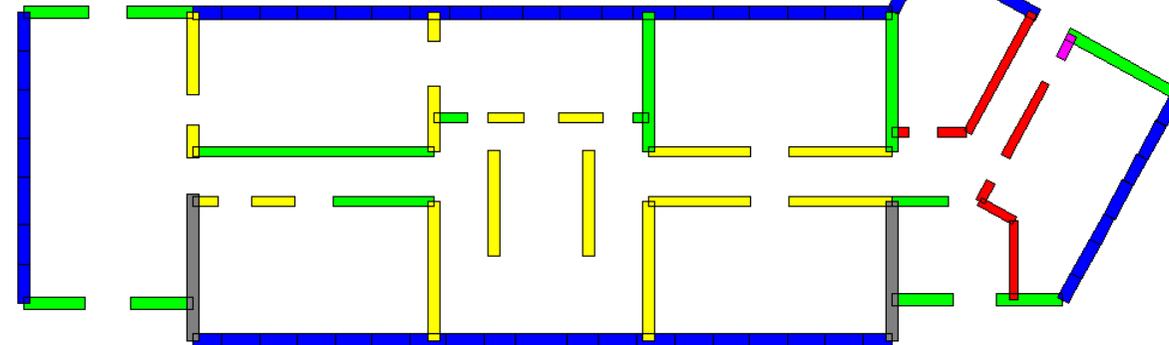


Adeguamento col metodo PUSHOVER

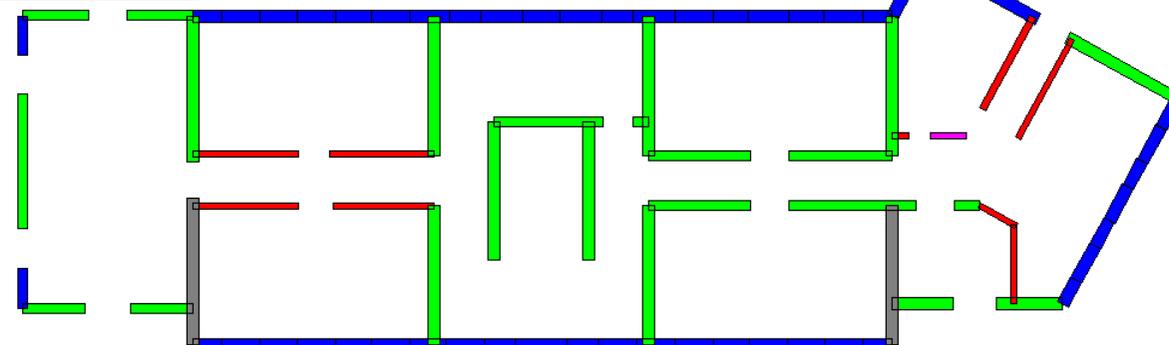
Legenda

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

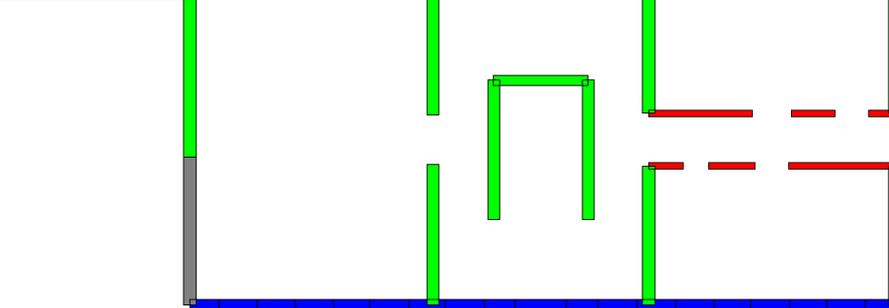
Piano Terreno



1° Piano

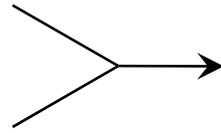


2° Piano



Interventi sui solai

1. Irrigidimento nel piano



solai in acciaio e voltine

2. Collegamento alle pareti

2. Collegamento alle pareti

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

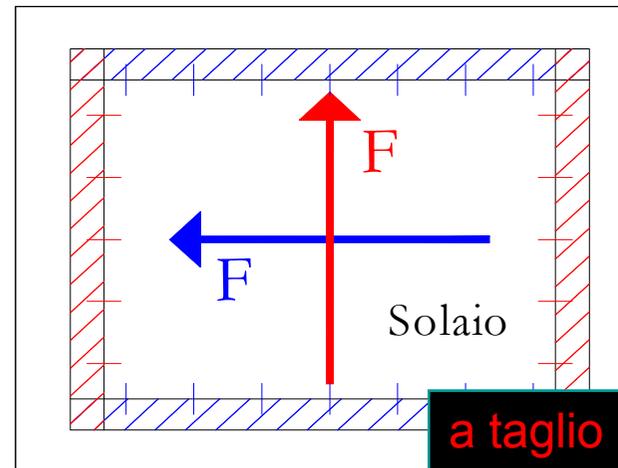
inseriti nelle murature

affogati nella soletta

SPINOTTI INTERNI



evitare ribaltamenti
delle pareti esterne



trasferire il taglio
alle pareti

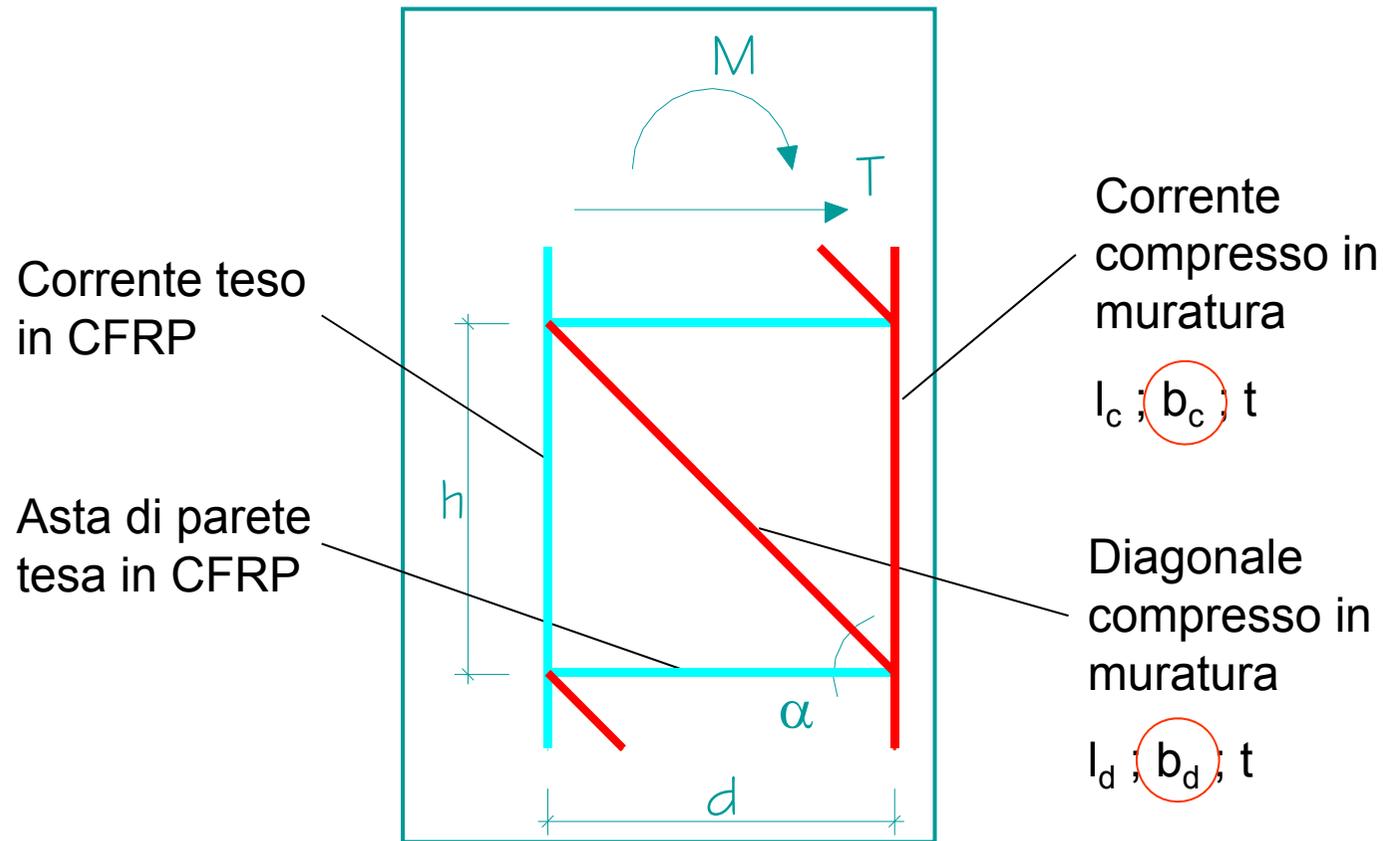
Rinforzo pareti esterne con FRP

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



Rinforzo con FRP

Meccanismo resistente → struttura reticolare

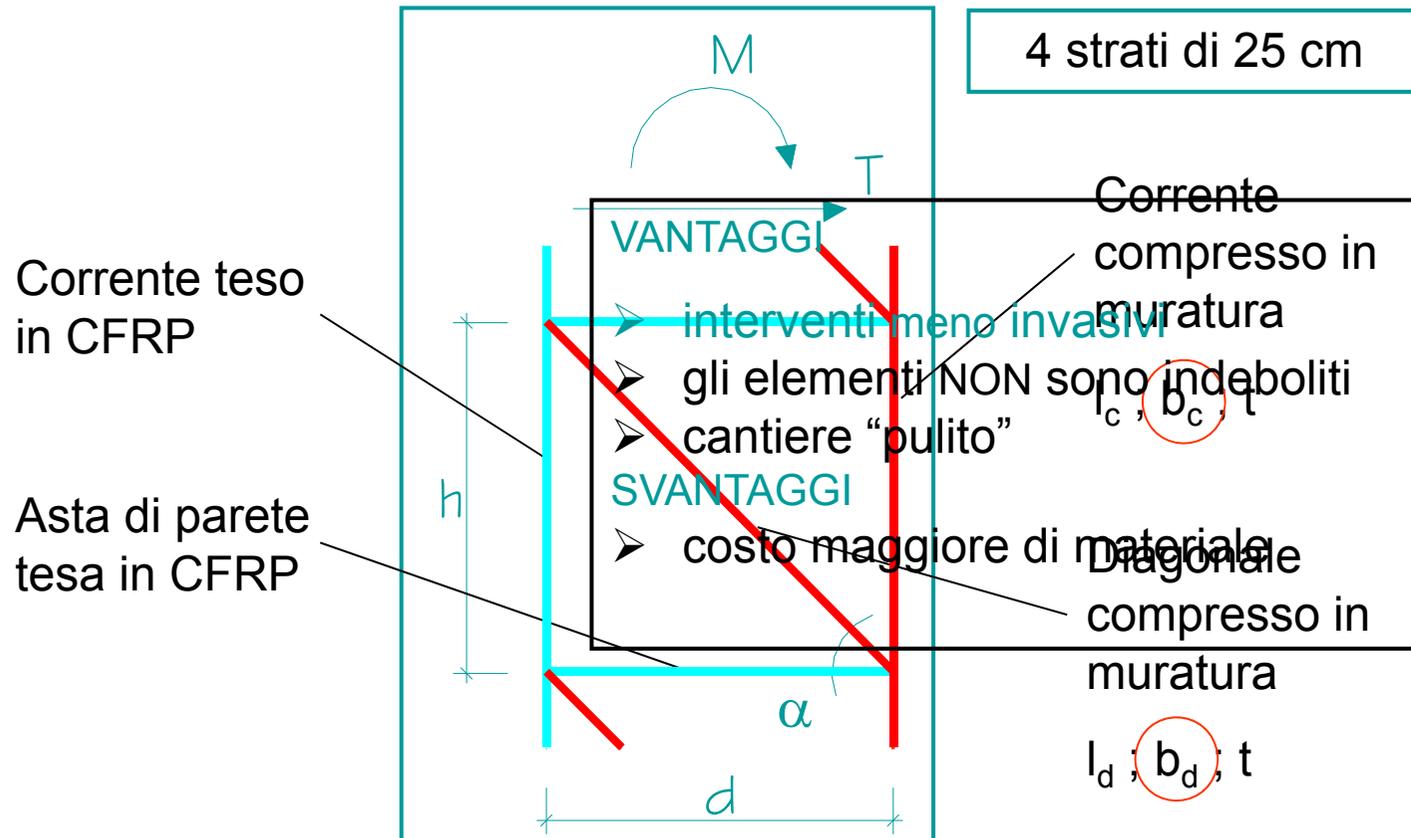


Verifiche

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

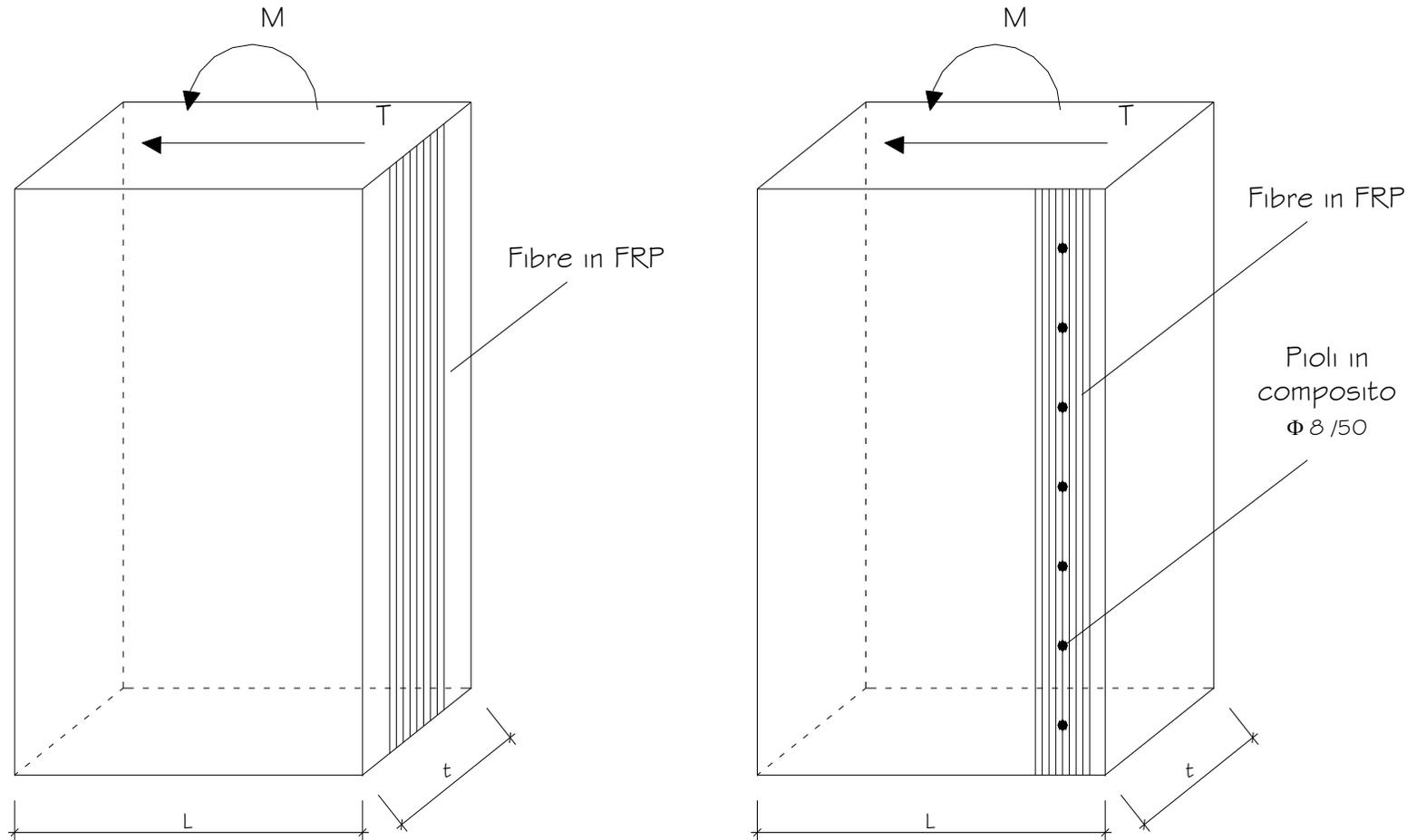


Verifiche

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)

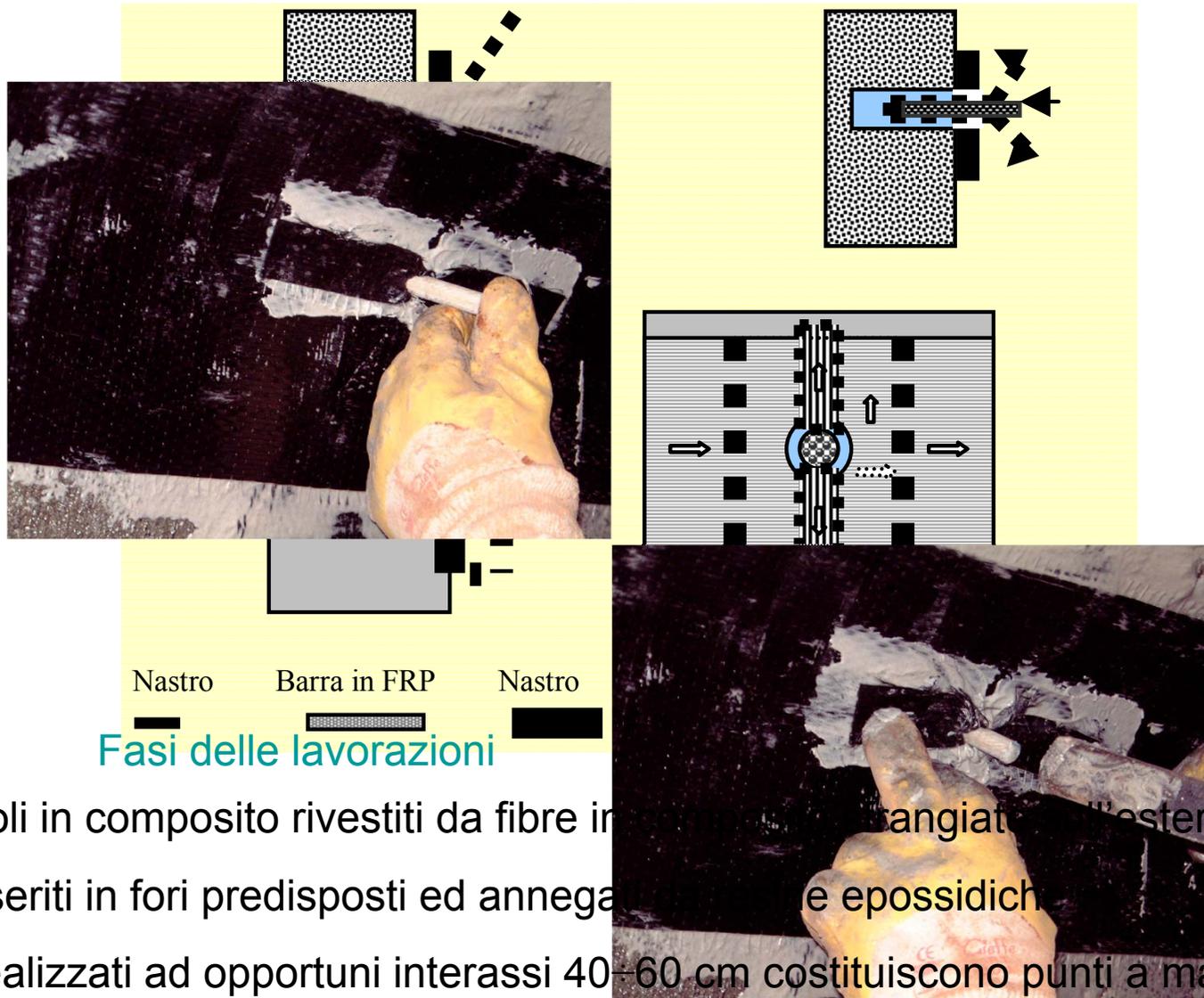


Vantaggi

- 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 C_60 e angiate all'esterno
- ✓ Inseriti in fori predisposti ed annegati in resine epossidiche
- ✓ Realizzati ad opportuni interassi 40-60 cm costituiscono punti a maggior aderenza per la fibra longitudinale principale che viene sovrapposta