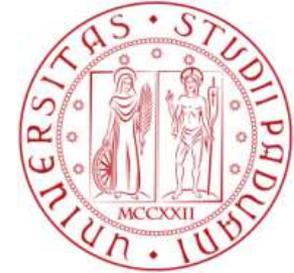




ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA



Analisi e interventi strutturali su edifici in muratura secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2008



Prof. Ing. Claudio Modena
claudio.modena@dicea.unipd.it

Università di Padova
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia
Via Panciatichi n. 11 - Pistoia
Lunedì 5 novembre 2012

COMPORAMENTO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

L'ANALISI DEGLI EDIFICI ESISTENTI

- Conoscenza
- Metodi di analisi

CRITERI PER LA SCELTA DEGLI INTERVENTI

- Criteri generali
- Tecniche d' intervento e attività di ricerca

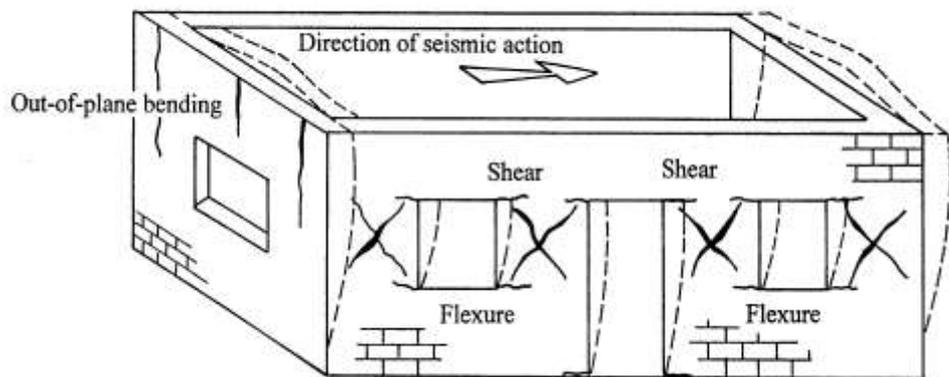
CASI STUDIO



L' esperienza dei recenti terremoti – in particolare quelli che hanno colpito l' Umbria e le Marche (1997), l' Abruzzo (2009) e l' Emilia (2012) - ha evidenziato che le **modalità di collasso** per le strutture in muratura esistenti consistono nella formazione di **meccanismi cinematici** con perdita di equilibrio per pareti o interi assemblaggi di pareti, con prevalenza dei meccanismi fuori piano sia a livello globale che locale.

Essi hanno inoltre messo in luce i **limiti di alcune tecniche di rinforzo** adottate in Italia a partire dal dopo terremoto del Friuli, spesso inserite anche in documenti normativi .

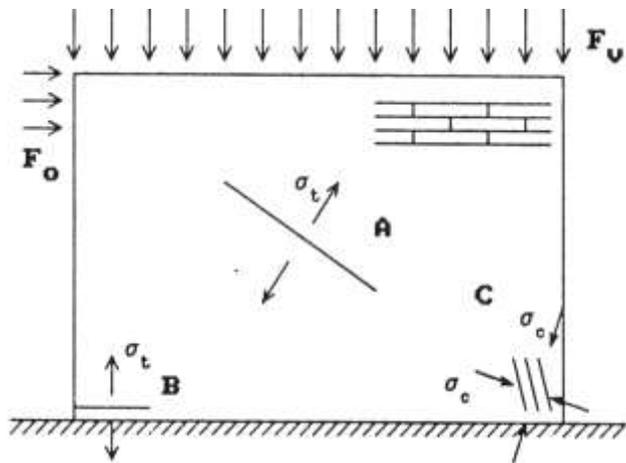




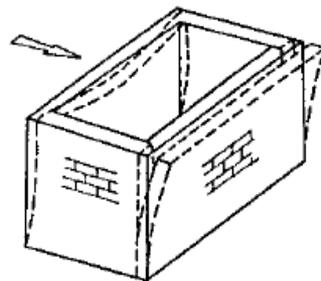
Deformazione dell' edificio e danni agli elementi della struttura portante in muratura

EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN OF MASONRY BUILDINGS, Tomazevic, Imperial College Press, 1999

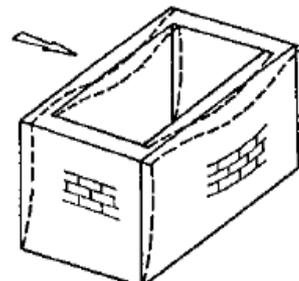
Danneggiamento delle pareti per azioni nel piano



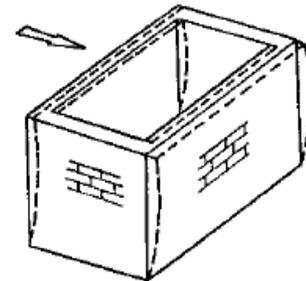
Comportamento in funzione delle **connessioni con le pareti e del **tipo di solai****



Solai flessibili e pareti senza connessioni



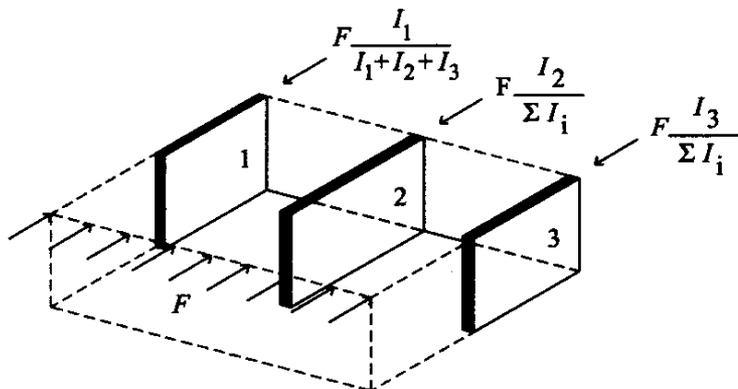
Solai flessibili e pareti con connessioni



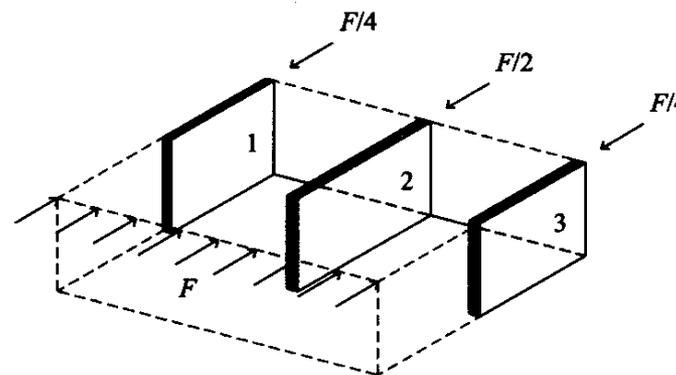
Solai rigidi con pareti connesse

Comportamento a diaframma sotto azioni orizzontali

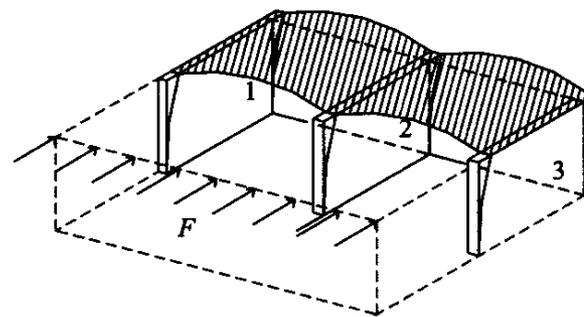
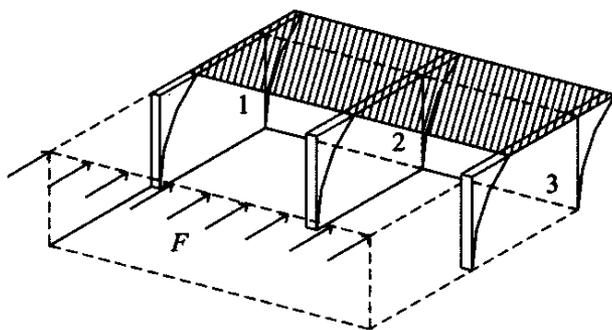
Solaio rigido



Solaio flessibile



Distribuzione del taglio



Spostamenti laterali

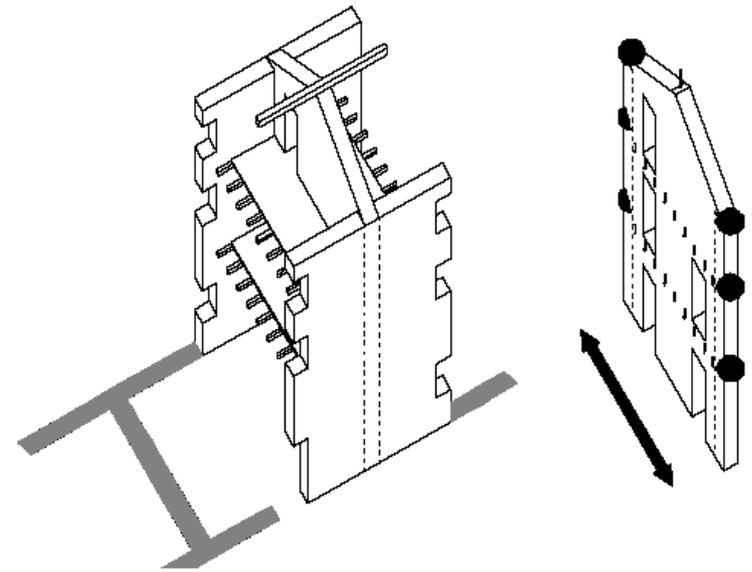
Effetti della deformabilità di piano

Diaframmi deformabili sono molto comuni nella costruzione di muratura esistenti (in genere pavimenti in legno e tetti, o volte sottili in muratura).

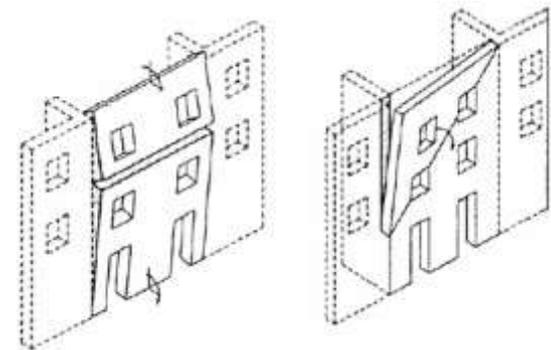
collegamenti corretti tra pareti e solai permettono di evitare i meccanismi locali di primo modo.

In ogni caso, in edifici in muratura con solai deformabili la risposta globale sismica è abbastanza complessa. Infatti risulta trascurabile o quasi l'effetto di accoppiamento che può essere fornito dal diaframma orizzontale, le strutture verticali (pareti) tendono a comportarsi in maniera indipendente.

Un approccio accettabile, in pratica, potrebbe essere quello di analizzare separatamente la risposta sismica nel piano di ogni parete in muratura come se estrapolata dalla struttura globale con i suoi carichi e le relative masse inerziali (Magenes et Penna 2009)

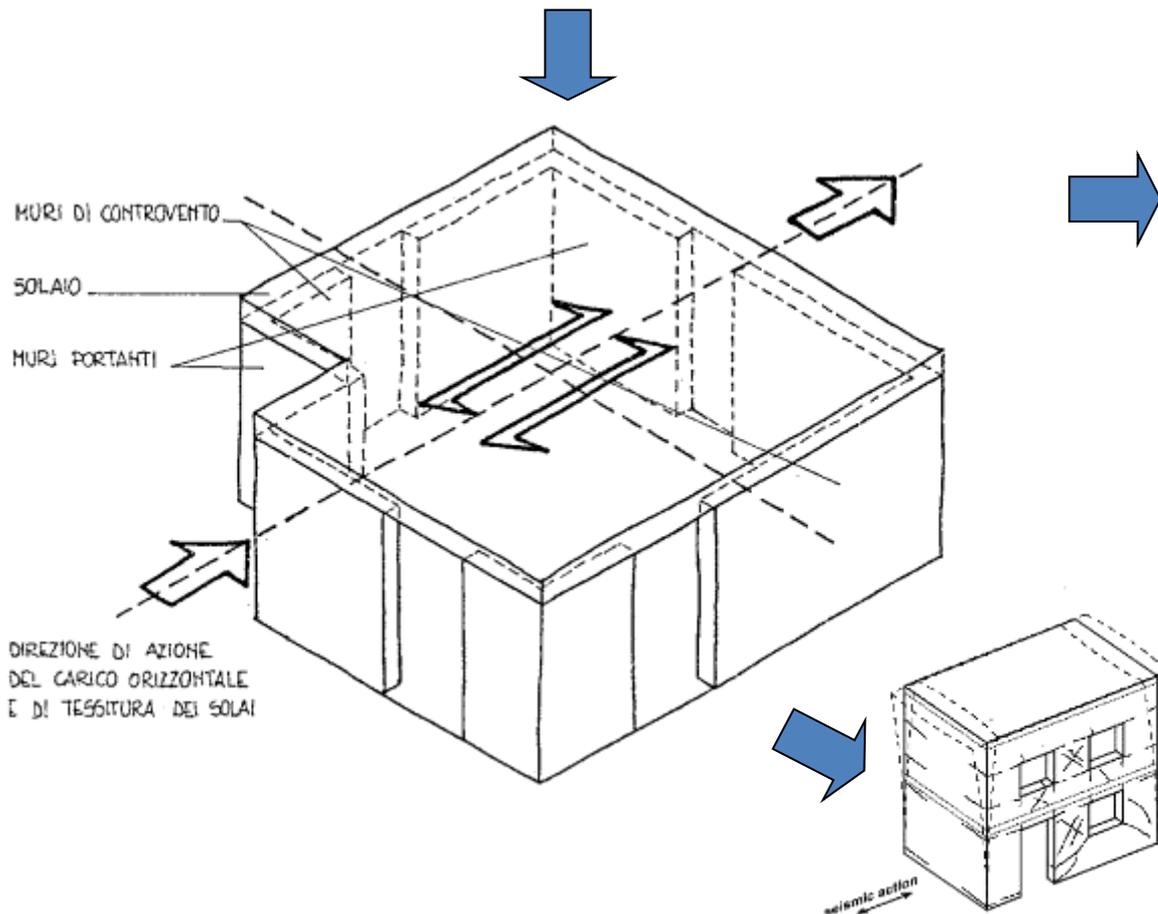


Modellazione dei muri a taglio nel caso di solai deformabili (Magenes et Penna 2009).



Meccanismo di collasso locale di primo modo (Magenes et Penna 2009).

L'edificio a muratura portante deve essere concepito come una *struttura tridimensionale*. I sistemi resistenti di pareti di muratura, gli orizzontamenti e le fondazioni devono essere collegati tra di loro in modo da resistere alle azioni verticali ed orizzontali.

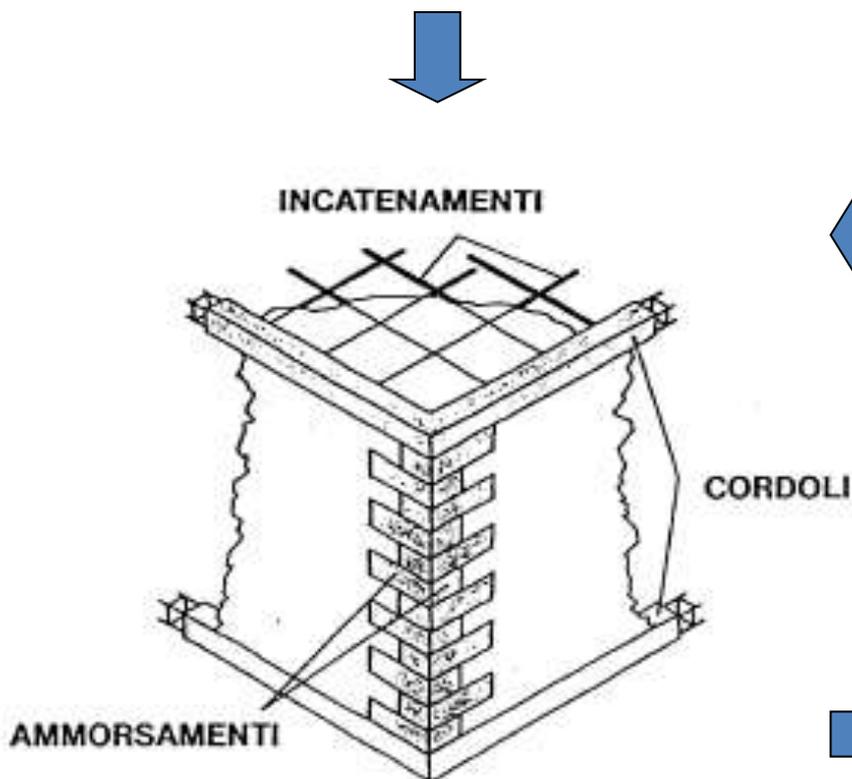


Ai fini di un adeguato comportamento statico e dinamico dell'edificio, tutti le pareti devono assolvere, per quanto possibile, sia la *funzione portante che di controventamento*.

Gli orizzontamenti... devono assicurare, per resistenza e rigidità, *la ripartizione delle azioni orizzontali fra i muri di controventamento*.

L'organizzazione dell'intera struttura e l'interazione ed il collegamento tra le sue parti devono essere tali da assicurare appropriata resistenza e stabilità, ed un *comportamento d'insieme "scatolare"*.

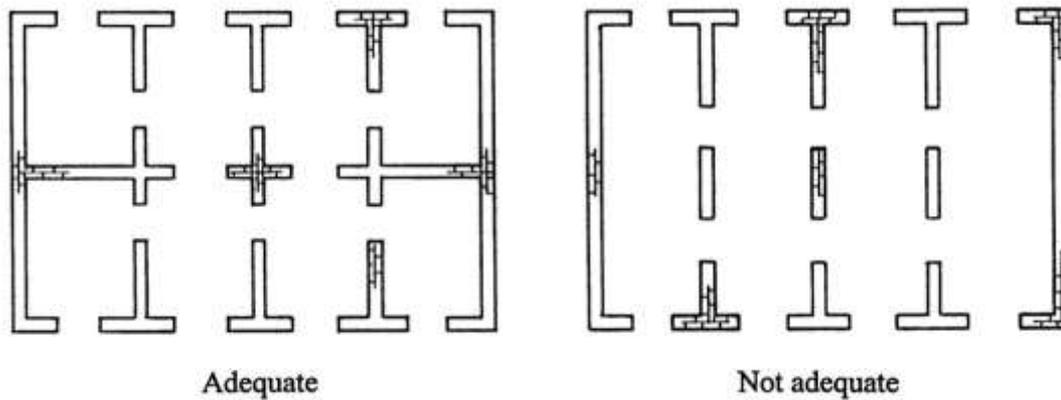
Muri ed orizzontamenti devono essere opportunamente collegati fra loro. Tutte le pareti devono essere collegate al livello dei solai mediante *cordoli di piano di calcestruzzo armato* e, tra di loro, mediante *ammorsamenti* lungo le intersezioni verticali. Devono inoltre essere previsti opportuni *incatenamenti* al livello dei solai, aventi lo scopo di collegare tra loro i muri paralleli della scatola muraria.



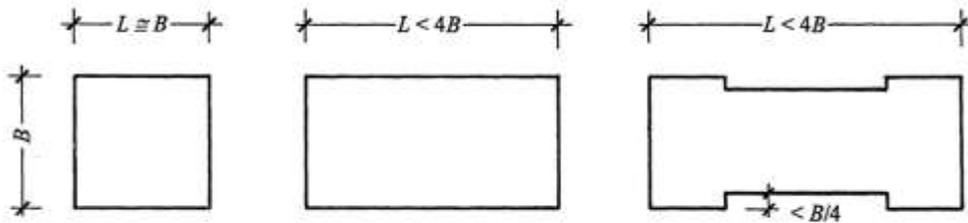
Le pareti portanti sono considerate resistenti anche alle azioni orizzontali quando hanno una lunghezza non inferiore a 0,3 volte l' altezza di interpiano; e devono avere spessore minimo di:

- muratura in elementi resistenti artificiali pieni	150 mm
- muratura in elementi resistenti artificiali semipieni	200 mm
- muratura in elementi resistenti artificiali forati	240 mm
- muratura di pietra squadrata	240 mm
- muratura di pietra listata	400 mm
- muratura di pietra non squadrata	500 mm

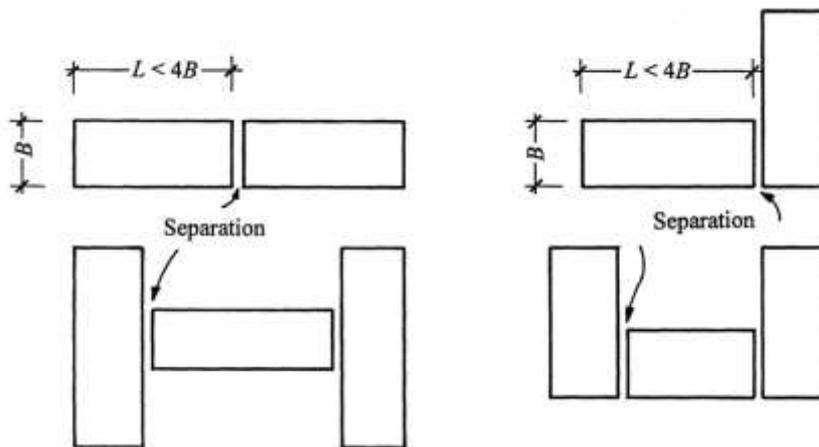
La buona concezione strutturale ed una corretta realizzazione dei dettagli strutturali garantisce un adeguato comportamento strutturale. Ciò è riconosciuto dalle NTC: *'edifici semplici'*.



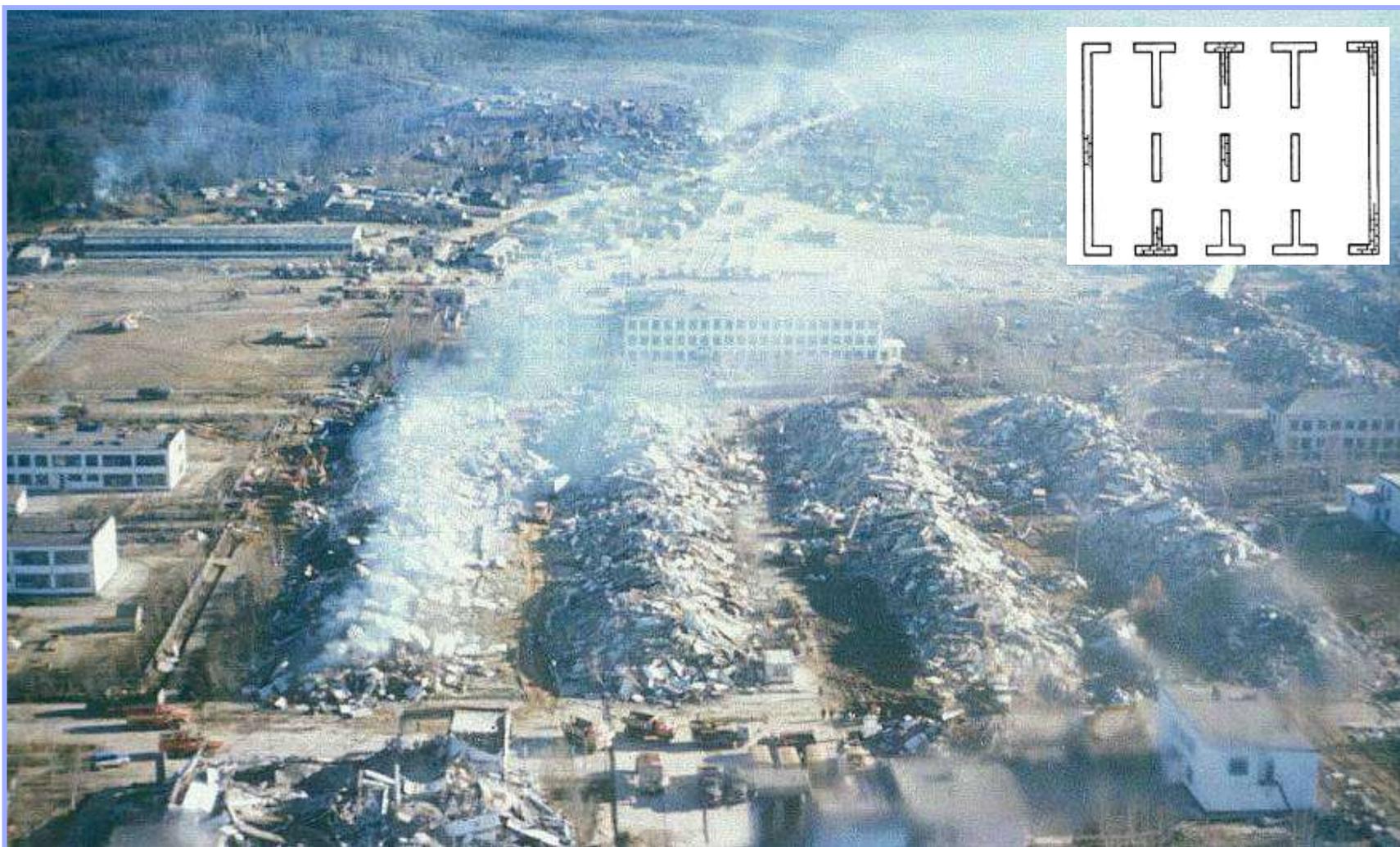
Distribuzione dei setti in pianta (Tomazevic 1999).



Esempi di configurazioni regolari in pianta di edifici in muratura (Tomazevic 1999)

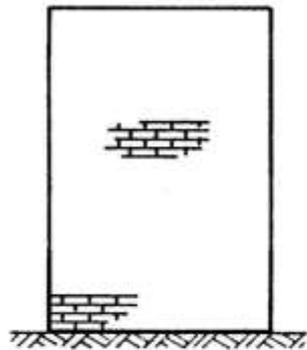


Edifici irregolari in muratura dovrebbero essere separati in sezioni regolari (Tomazevic 1999)

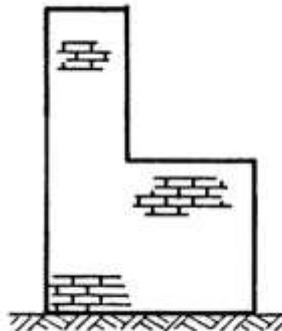


Neftegorsk, 1995 (foto di G.Koff, da M. Tomazevic)

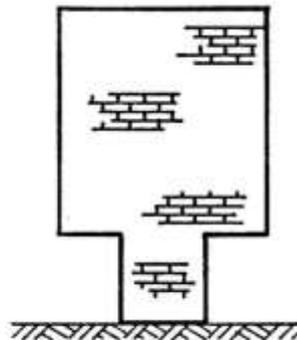
Semplicità e regolarità strutturale



Adequate

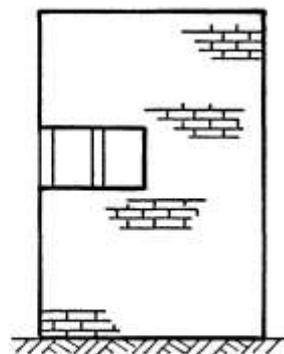
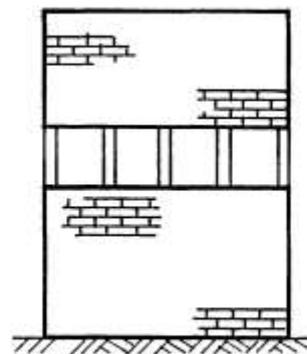
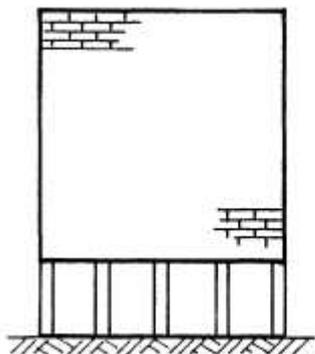


Not adequate



Bad

Principi di regolarità in altezza
(Tomazevic 1999)



Sistemi strutturali misti dovrebbero essere evitati (Tomazevic 1999)

COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

L'ANALISI DEGLI EDIFICI ESISTENTI

• Conoscenza

- Metodi di analisi

CRITERI PER LA SCELTA DEGLI INTERVENTI

- Criteri generali
- Tecniche d' intervento e attività di ricerca

CASI STUDIO

EDIFICI ESISTENTI (§ 8.2)

Gli edifici esistenti si distinguono da quelli di nuova progettazione perché:

- *la costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione (regole dell'arte);*
- *possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;*
- *la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;*
- *le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.*

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

*Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla **completezza** e dall'**affidabilità** dell'informazione disponibile e l'uso di adeguati "**fattori di confidenza**" (F_c), che modificano i parametri di capacità in funzione del **livello di conoscenza** (LC) relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali.*

CATEGORIE D'INTERVENTO (§ 8.4)

ADEGUAMENTO

interventi atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;

MIGLIORAMENTO

interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;

ALTRI INTERVENTI

Riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

“Gli interventi di adeguamento e miglioramento devono essere sottoposti a collaudo statico.

*Per i beni di interesse culturale in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del D. lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio”, è in ogni caso possibile **limitarsi ad interventi di miglioramento** effettuando la **relativa valutazione della sicurezza.**”*

ADEGUAMENTO E MIGLIORAMENTO (§ 8.4)

È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda:

- a) **sopraelevare**;
- b) **ampliare**;
- c) **incrementare i carichi globali** in fondazione superiori al 10%;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione e che portino ad un **organismo edilizio diverso** dal precedente.

Il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le **verifiche** dell'intera struttura post-intervento

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che, non rientrando nella categoria dell'adeguamento, siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.

La valutazione della sicurezza è finalizzata a determinare l'entità massima delle azioni cui la struttura può resistere con il grado di sicurezza richiesto.

LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA (Circolare § C8A.1)

Dati necessari alla identificazione del livello di conoscenza

GEOMETRIA

da rilievi, inclusi rilievi sul quadro fessurativo

DETTAGLI COSTRUTTIVI

- verifiche *in situ limitate*
- verifiche *in situ estese ed esaustive*

PROPRIETA' DEI MATERIALI

- indagini *in situ limitate*
- indagini *in situ estese*
- indagini *in situ esaustive*

GEOMETRIA

La conoscenza della geometria strutturale di edifici esistenti in muratura deriva di regola da **operazioni di rilievo**

Tale operazione comprende il **rilievo, piano per piano, di tutti gli elementi in muratura** e di eventuali nicchie, cavità, canne fumarie, il rilievo delle volte, dei solai e della copertura, delle scale, la individuazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete e la tipologia delle fondazioni.

La rappresentazione dei risultati del rilievo verrà effettuata attraverso piante, alzati e sezioni.

Dovrà inoltre essere rilevato e rappresentato l'eventuale quadro fessurativo, e deformativo

La finalità è di consentire, nella successiva fase diagnostica, l'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio.



DETTAGLI COSTRUTTIVI

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- 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 collegamenti trasversali...), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare...)





I rilievi di tipo visivo sono effettuati ricorrendo a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche in superficie e nello spessore murario e l'ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. Si distinguono:

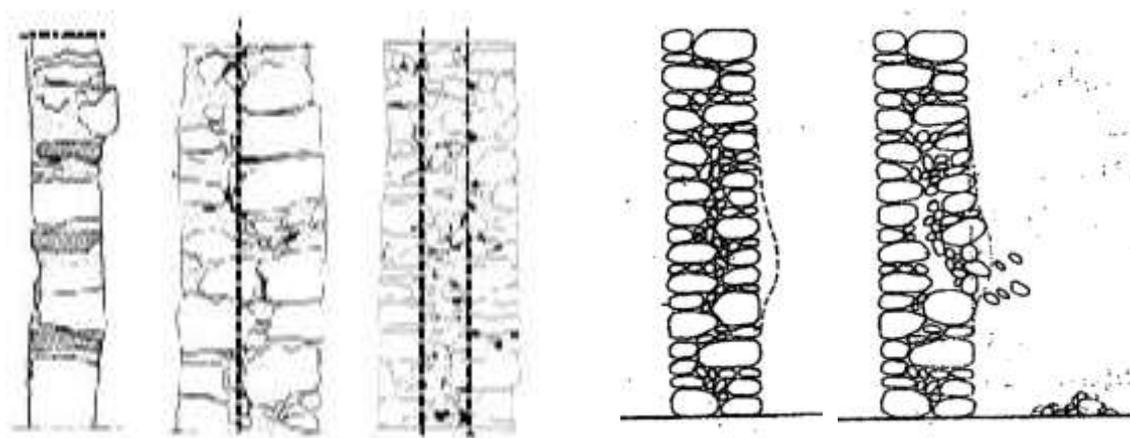
Verifiche in-situ limitate: rilievi limitati in estensione. In assenza di un rilievo diretto, o di dati sufficientemente attendibili, dovranno comunque essere assunte, nelle successive fasi di modellazione, analisi e verifiche, le ipotesi più cautelative.

Verifiche in-situ estese ed esaustive: l'esame degli elementi dovrà estendersi in modo sistematico all'intero edificio.

PROPRIETÀ DEI MATERIALI E LORO DEGRADO

Particolare attenzione dovrà essere riservata alla valutazione della **qualità muraria**, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della “**regola dell’arte**” (presenza o meno di elementi di collegamento trasversali - es. diatoni -, la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la tessitura, l’orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e consistenza della malta).

Di rilievo risulta anche la 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 si preleveranno in situ, avendo cura di prelevare le malte all’interno (ad almeno 5-6 cm di profondità nello spessore murario).



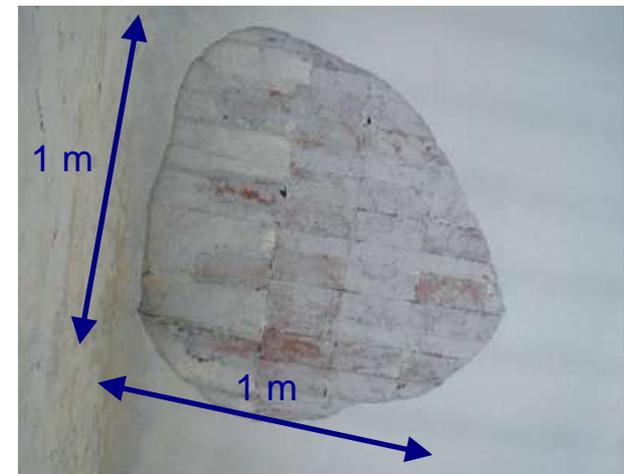
Nel caso delle proprietà dei materiali si distinguono:

Indagini in-situ limitate

“Sono basate su rilievi di tipo visivo effettuati ricorrendo, generalmente, a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti.

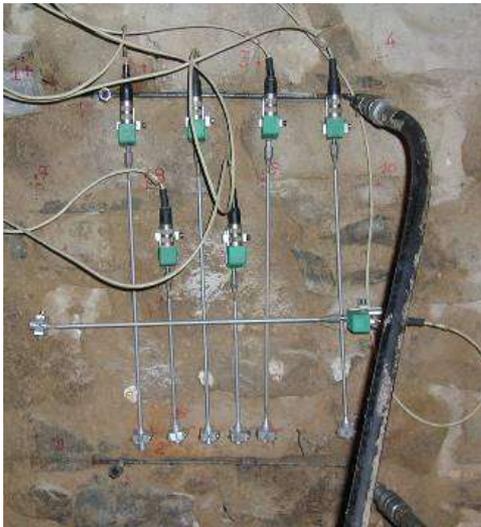
I dettagli costruttivi [...] possono essere valutati anche sulla base di una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura. In assenza di un rilievo diretto, o di dati sufficientemente attendibili, è opportuno assumere, nelle successive fasi di modellazione, analisi e verifiche, le ipotesi più cautelative.”

Un esame visivo dovrebbe comportare la rimozione di una zona di intonaco di almeno **1m x 1m**, al fine di individuare: forma e dimensione dei blocchi, ammorsature tra le pareti murarie, compattezza della malta, qualità della connessione interna e trasversale degli elementi murari (attraverso **saggi localizzati**).



Indagini in-situ estese

“Sono basate su rilievi di tipo visivo, effettuati ricorrendo, generalmente, a saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. L'esame [...] è opportuno sia esteso in modo sistematico all'intero edificio.”



Le indagini limitate devono essere effettuate in maniera estesa e sistematica, con **saggi superficiali ed interni** per ogni tipo di muratura presente.

Prove con **martinetto piatto doppio** e prove di **caratterizzazione della malta** (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato...) e eventualmente di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) consentono di individuare la tipologia della muratura.



Metodi di prova non distruttivi (**prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, ...**) o ulteriori indagini debolmente distruttive possono essere impiegati a complemento delle prove richieste.

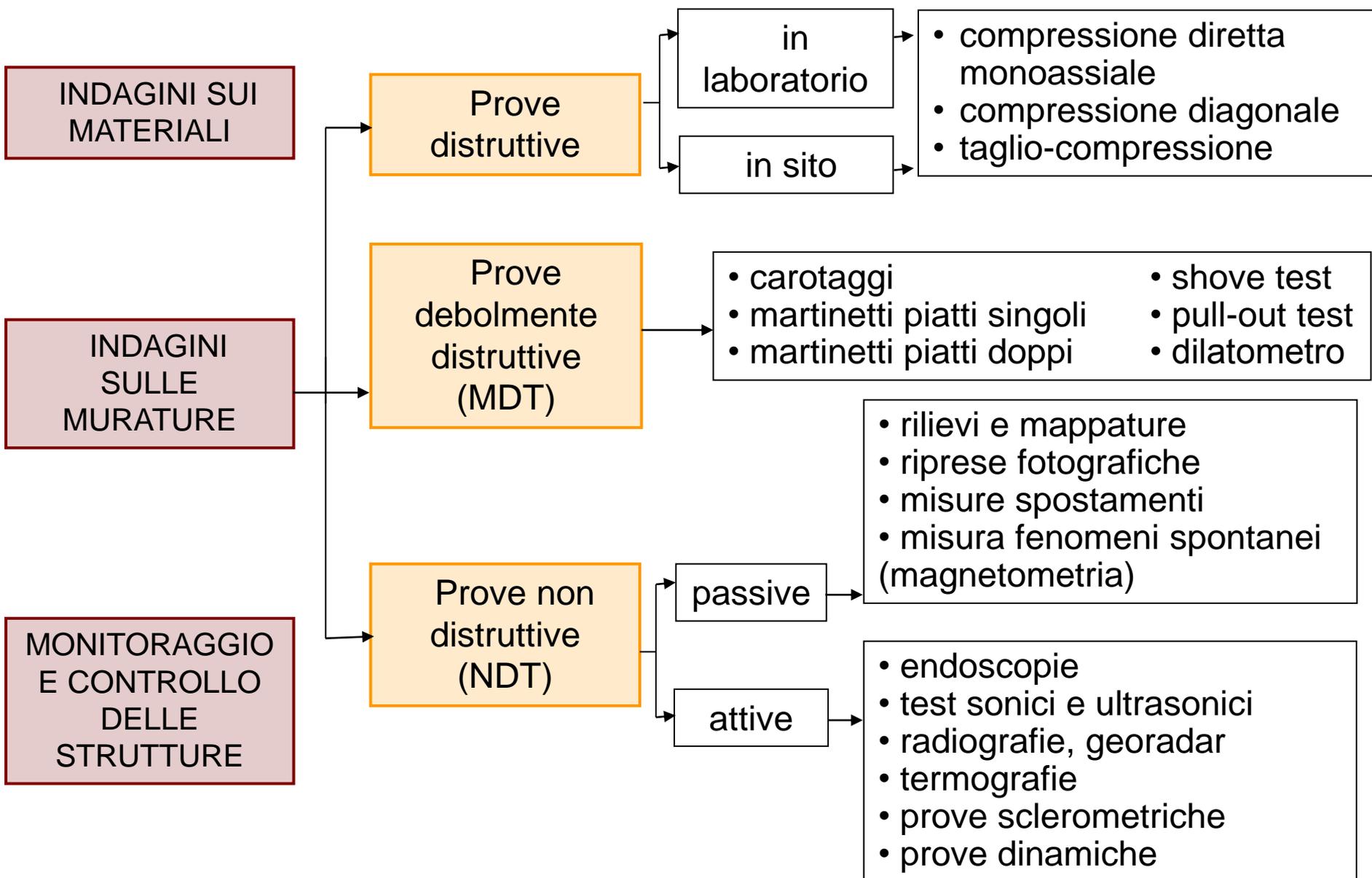
Indagini in-situ esaustive

Servono per ottenere informazioni quantitative sulla resistenza del materiale.

La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante **esecuzione di prove, in situ o in laboratorio** (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio).

Le prove possono in generale comprendere **prove di compressione diagonale su pannelli o prove combinate di compressione verticale e taglio**.





LIVELLI DI CONOSCENZA / FATTORI DI CONFIDENZA

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive, saranno individuati i **livelli di conoscenza (LC)** dei parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati **fattori di confidenza (FC)**, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello

Si riconoscono tre diversi livelli di conoscenza, attraverso i quali è possibile definire i valori medi dei parametri meccanici:

LC1	raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1.35$.	FC = 1.35
LC2	raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1.2$.	FC = 1.20
LC3	raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1$.	FC = 1.00

TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE (Circolare § C8A.2)

TIPOLOGIA MURARIA	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (KN/m ³)
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, etc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei quadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24,0 32,0	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Tabella C8A.2.1

Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura

f_m = resistenza media a compressione della muratura

τ_0 = resistenza media a taglio della muratura

E = valore medio del modulo di elasticità normale

G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale

w = peso specifico medio della muratura

Nel caso di **analisi elastica** con il fattore q (analisi lineare statica ed analisi dinamica modale con coefficiente di struttura), i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi Fattori di Confidenza (FC) e per il coefficiente parziale di sicurezza dei materiali (γ_m).

$$f_d = \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_m}$$

Nel caso di **analisi non lineare**, i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza

(§ C8.7.1.5)

$$f_d = \frac{f_m}{FC}$$

Il **coefficiente parziale di sicurezza** da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura è pari a $\gamma_m = 2$ (§ 7.8.1.1)

COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

L'ANALISI DEGLI EDIFICI ESISTENTI

- Conoscenza
- Metodi di analisi

CRITERI PER LA SCELTA DEGLI INTERVENTI

- Criteri generali
- Tecniche d' intervento e attività di ricerca

CASI STUDIO

NTC2008 § 8.7.1

Nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare **meccanismi locali** e **meccanismi d'insieme**.

La **sicurezza** della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.

Edifici esistenti in muratura



Analisi e verifica
globale



Analisi e verifica locale

0. ANALISI INSTABILITA' LOCALE DELLA MURATURA

1. ANALISI E VERIFICHE LOCALI (MECCANISMI DI COLLASSO)

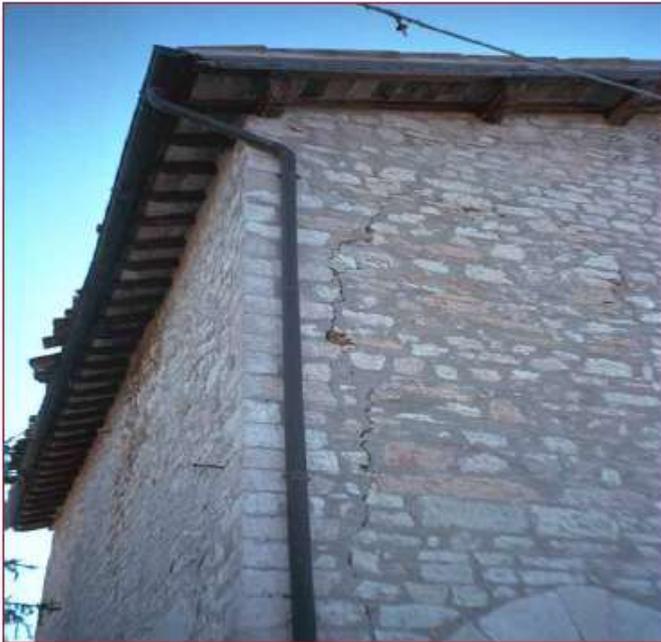
2. MODELLAZIONE E METODI DI ANALISI GLOBALI

Instabilità locale

Negli edifici esistenti in muratura spesso avvengono collassi parziali per cause sismiche, in genere per **perdita dell'equilibrio** di porzioni di muratura.

Muratura di buona qualità

Formazione di lesioni e comportamento per blocchi rigidi

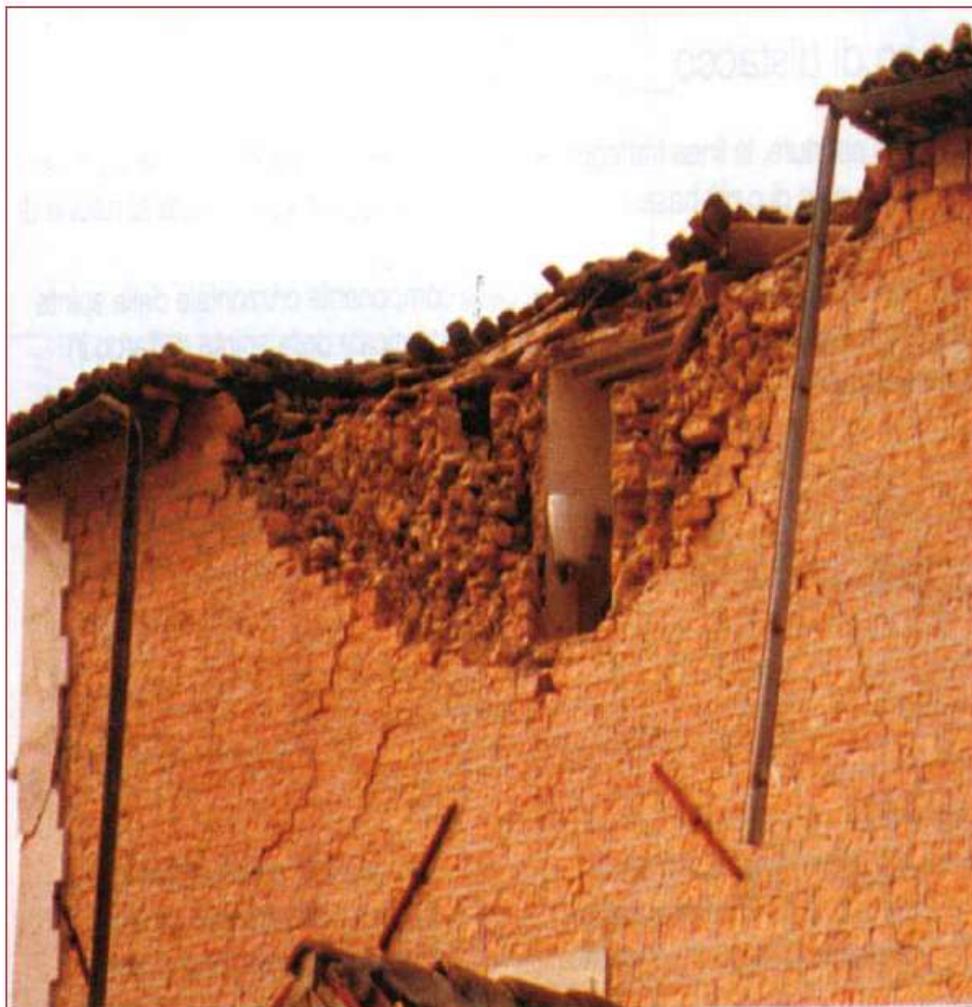
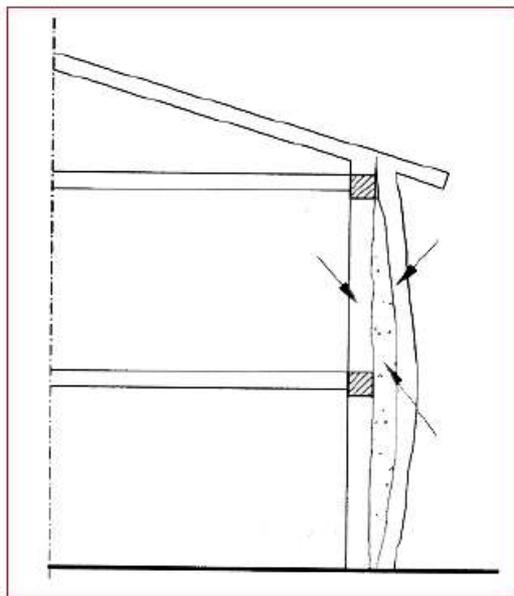


Muratura di qualità scadente

Fessurazione diffusa, disgregazione e distacco tra i paramenti



Cattiva qualità della muratura (crolli o sganciamenti)



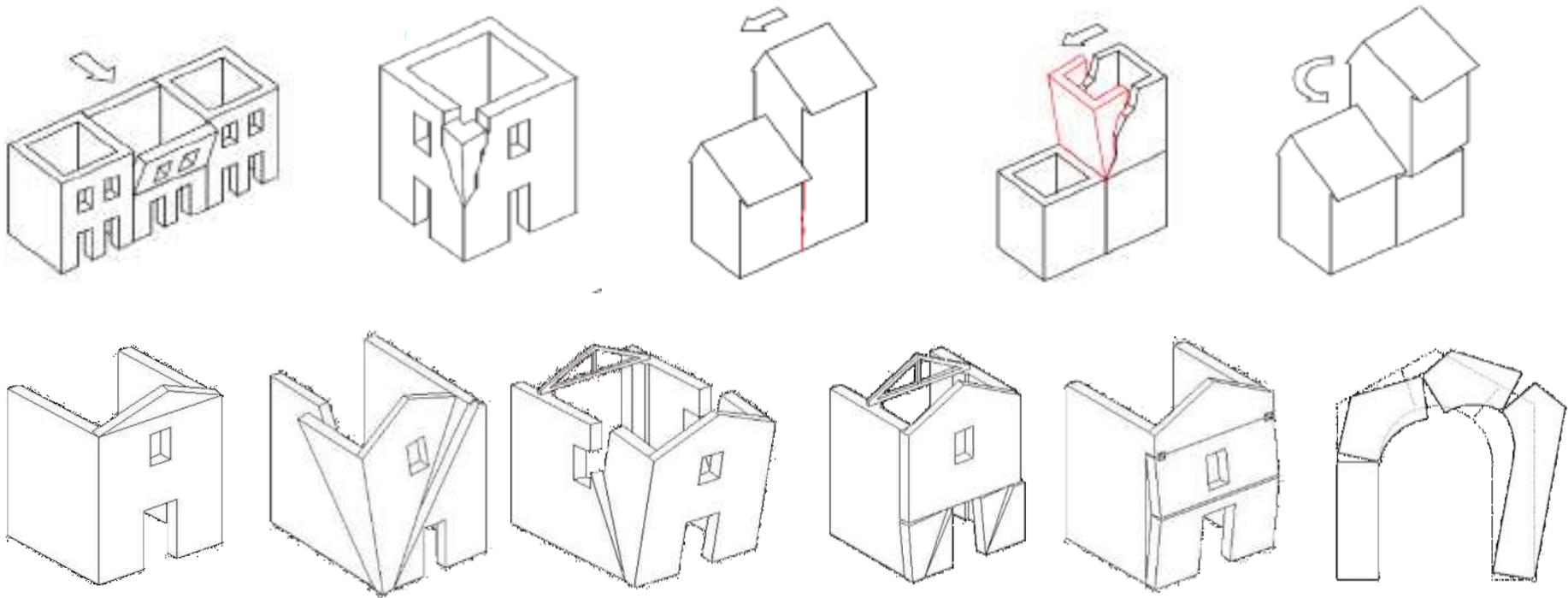
0. ANALISI E VERIFICA INSTABILITA' LOCALE DELLA MURATURA

1. ANALISI E VERIFICHE LOCALI (MECCANISMI DI COLLASSO)

2. MODELLAZIONE E METODI DI ANALISI

MACROELEMENTO: parte costruttivamente riconoscibile del manufatto, di caratteristiche omogenee in riferimento al comportamento strutturale. Può coincidere con una porzione identificabile anche sotto l'aspetto architettonico e funzionale.

I macroelementi interagiscono tra loro **evidenziando lesioni** in corrispondenza della zona di contatto (fascia d'influenza). Le fasce d'influenza sono individuate da connessioni carenti o mancanti o da effetti di danneggiamento (lesioni)

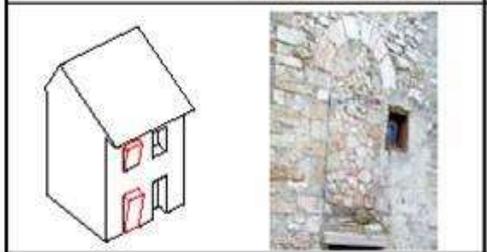
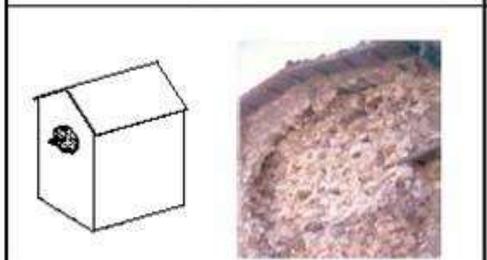
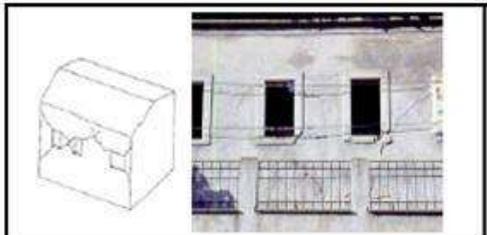


La verifica nei riguardi dei meccanismi di macroelementi strutturali assume significato se è garantita una certa **monoliticità della parete** muraria, tale da impedire collassi puntuali per disgregazione della muratura.

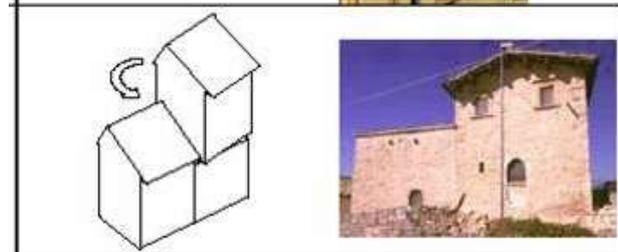
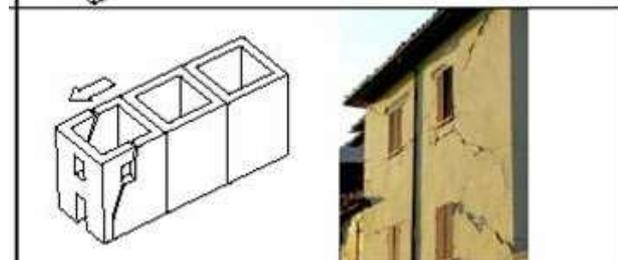
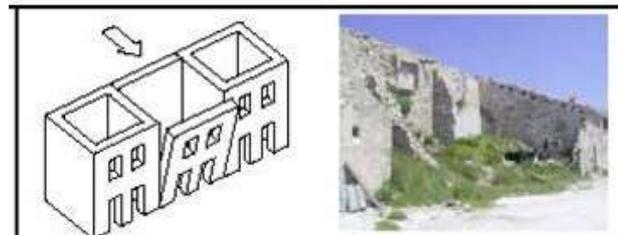
Le verifiche possono essere svolte tramite l' **analisi limite dell' equilibrio, secondo l' approccio cinematico (teorema dei lavori virtuali) descritta nell' ALLEGATO C8A.4 delle Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14/01/08 - ANALISI DEI MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO IN EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA** che si basa:

1. sulla scelta del meccanismo di collasso
2. sulla successiva valutazione dell' azione orizzontale che attiva tale cinematismo.

L' applicazione del metodo presuppone l' **analisi dei meccanismi locali ritenuti significativi per la costruzione**, che possono essere:



Meccanismi locali



Aggregati edilizi

a) ipotizzati sulla base della conoscenza del comportamento sismico di strutture analoghe, già danneggiate dal terremoto (**abachi** distinti per le varie tipologie costruttive: edifici isolati, schiere di edifici, chiese...)

b) individuati considerando la presenza di eventuali **stati fessurativi**, anche di natura non sismica

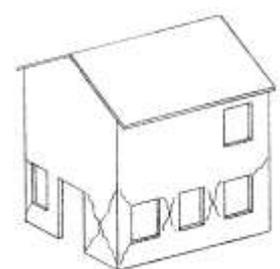
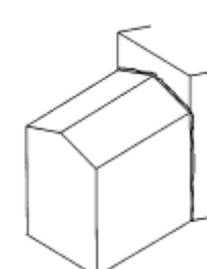
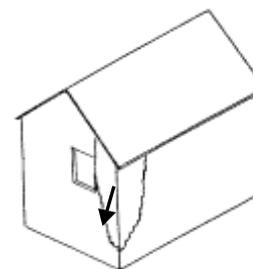
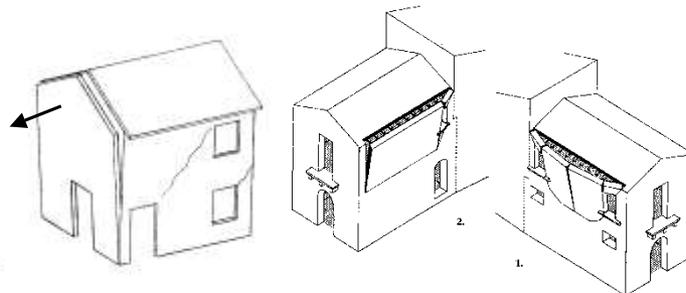
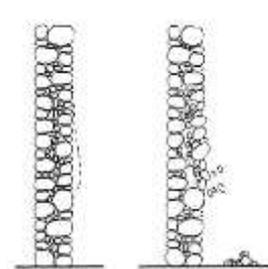
Inoltre andranno tenute presente la qualità della connessione tra le pareti murarie, la tessitura muraria, la presenza di catene, le interazioni con altri elementi della costruzione o degli edifici adiacenti

OSSERVAZIONE DEI DANNI SUGLI EDIFICI

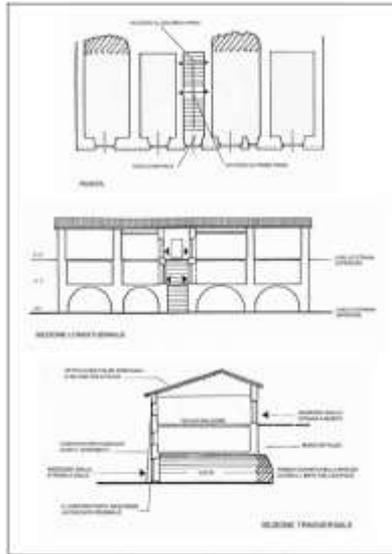
- Scarso collegamento tra i paramenti murari
- Collegamento inadeguato tra muri e tra muri e solai
- Inefficienti collegamento tra i muri d'ambito e tra questi e i solai; presenza di aperture in vicinanza degli spigoli
- Scadente collegamento tra corpi a contatto
- Scarsa qualità della muratura e presenza di aperture e discontinuità



- Espulsione del paramento esterno
- Ribaltamento globale della facciata o di porzioni di edificio
- Crollo dell'angolata
- Lesioni in corrispondenza dell'attacco degli edifici
- Collasso a taglio delle pareti- rotazione e ribaltamento nel piano



- Analisi storico tipologica
- Evidenziazione delle vulnerabilità comuni
- Redazione dell' abaco dei meccanismi di danno



MURATURE	
1. MECCANISMO FONDOPILANO	1. MECCANISMO LOCALE DELLA PARETE
<p>Mechanismi: crollo del piano della parete, con distacco di una certa altezza ed un'eventuale compressione delle spesse parti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>	<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>

2. MECCANISMO FONDOPILANO	2. MECCANISMO LOCALE DELLA PARETE
<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>	<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>

MURATURE	
3. MECCANISMO FONDOPILANO	3. MECCANISMO LOCALE DELLA PARETE
<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>	<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>

MURATURE	
4. MECCANISMO FONDOPILANO	4. MECCANISMO LOCALE DELLA PARETE
<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>	<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>

MURATURE	
5. MECCANISMO FONDOPILANO	5. MECCANISMO LOCALE DELLA PARETE
<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>	<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>

MURATURE	
6. MECCANISMO FONDOPILANO	6. MECCANISMO LOCALE DELLA PARETE
<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>	<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>

MURATURE	
7. MECCANISMO FONDOPILANO	7. MECCANISMO LOCALE DELLA PARETE
<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>	<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>

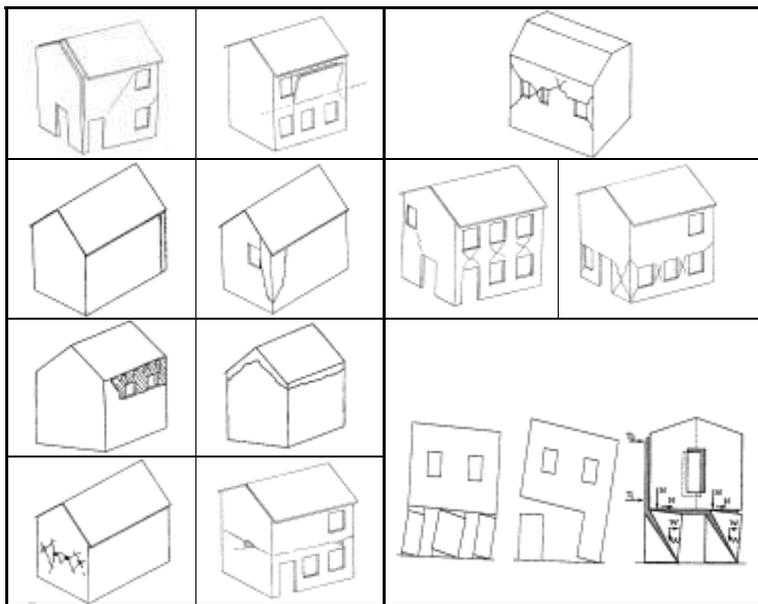
MURATURE	
8. MECCANISMO FONDOPILANO	8. MECCANISMO LOCALE DELLA PARETE
<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>	<p>Mechanismi: crollo del piano della parete in presenza di un'azione di compressione sui punti superiori.</p> <p>Causa: insufficiente spessore della parete.</p> <p>Effetti dell'azione dell'inquinamento: effetto di sovraccarico nei punti degli spigoli.</p> <p>Casi: crollo simultaneo con la parete sottostante.</p>



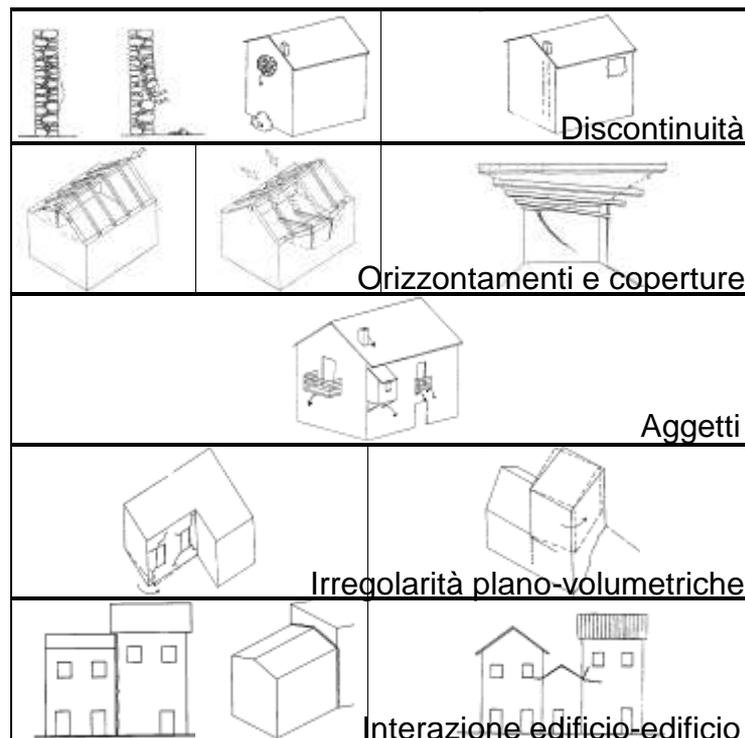
ABACHI DI MECCANISMI DI DANNO: EDIFICI ORDINARI

Murature d'ambito

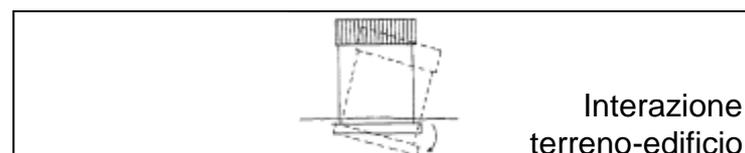
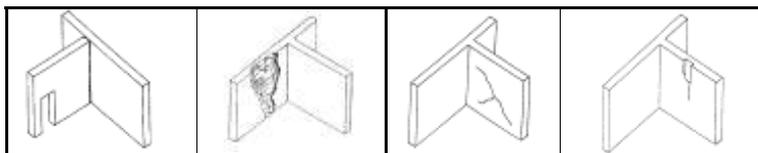
AZIONI FUORI PIANO



AZIONI NEL PIANO



Murature interne



ABACHI DI MECCANISMI DI DANNO: CHIESE



Santa Gemma, Goriano Sicoli (AQ)



San Biagio D'Amiterno, L'Aquila

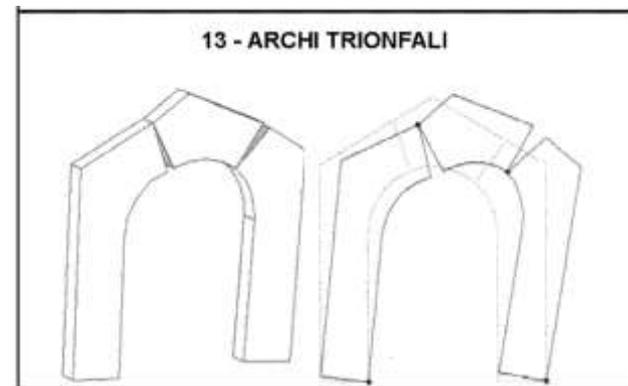


ABACHI DI MECCANISMI DI DANNO: CHIESE

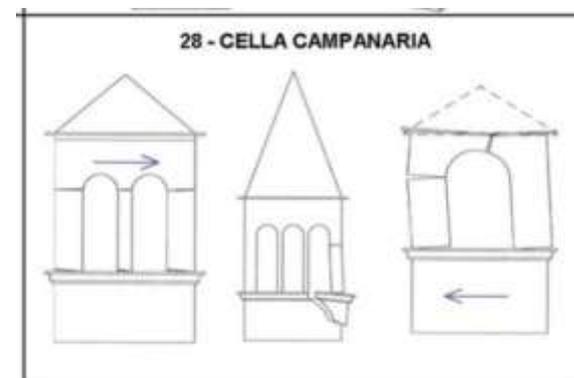
Santa Margherita
(dei Gesuiti),
L'Aquila



San Marciano e
Nicandro, L'Aquila



ABACHI DI MECCANISMI DI DANNO: CHIESE



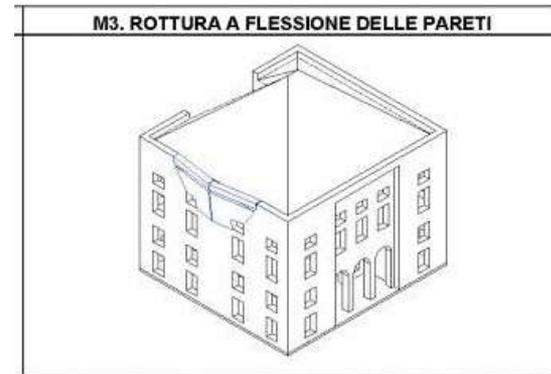
Chiesa di San Michele e Chiesa Parrocchiale, Villa Sant'Angelo (AQ)



ABACHI DI MECCANISMI DI DANNO: PALAZZI



Palazzo in Via Roma e Palazzo in Piazza San Domenico, L'Aquila



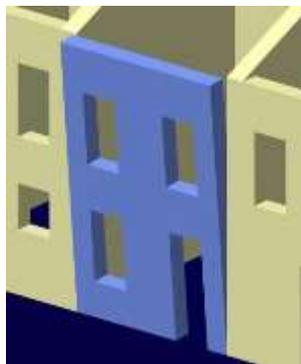
Palazzo in Piazza San Pietro, L'Aquila



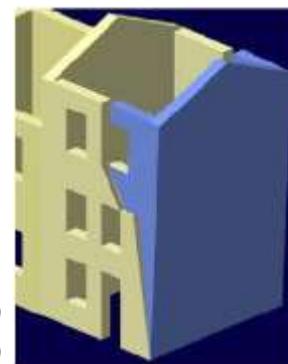
MECCANISMI FUORI PIANO

Strisce verticali:

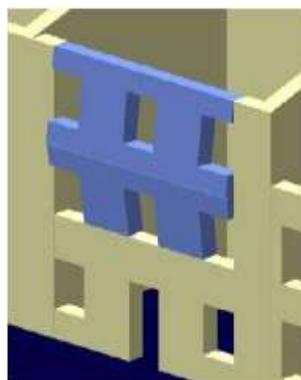
Ribaltamento semplice



Ribaltamento composto



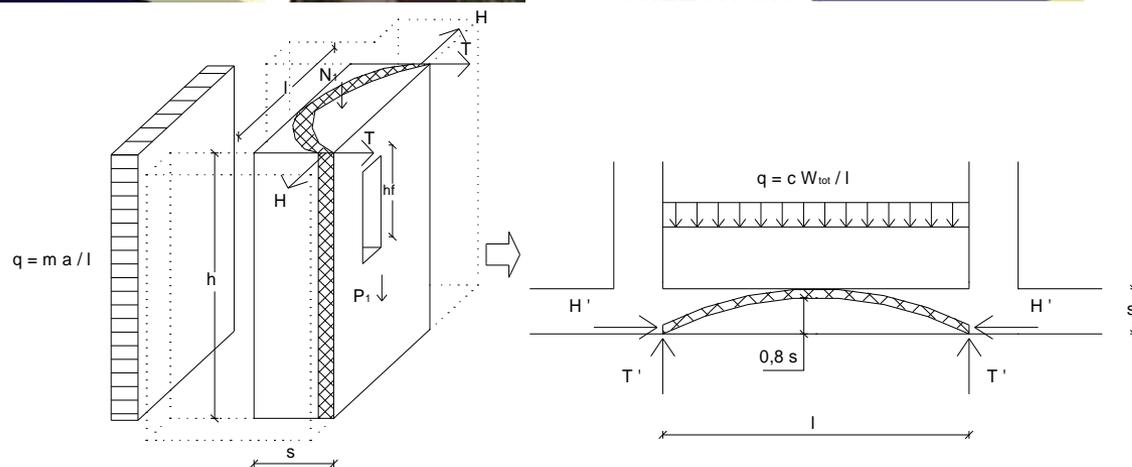
Flessione verticale



Flessione orizzontale



Strisce orizzontali:



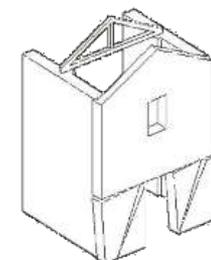
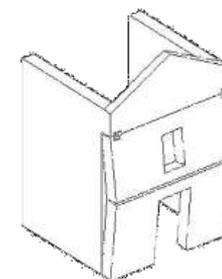
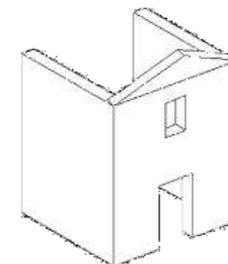
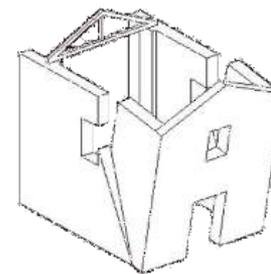




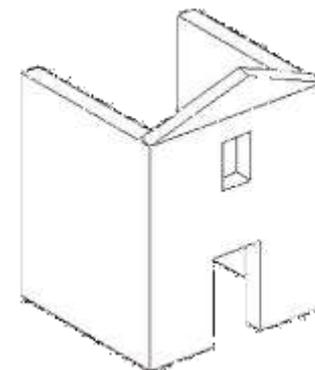
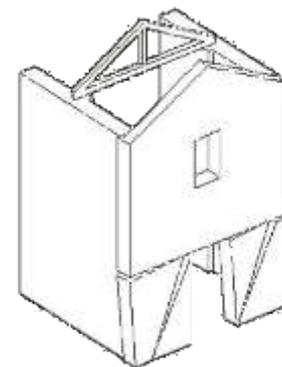
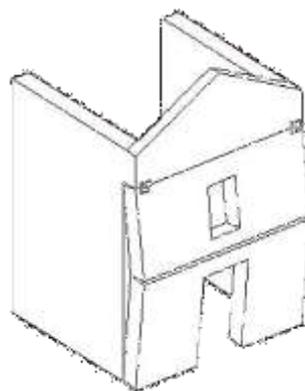
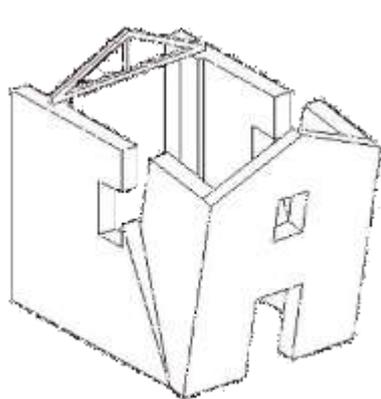
Analisi locale di vulnerabilità attraverso la
 applicazione di **singoli modelli cinematici** alle
 componenti più significative selezionate all'interno
 degli edifici

Per ciascun cinematismo elementare scelto tra quelli disponibili:

- calcolo automatico del coefficiente di attivazione $c = \alpha_0$ dei singoli meccanismi di macroelementi strutturali individuabili negli edifici: l'azione sismica orizzontale viene schematizzata come forza statica equivalente data dal prodotto dei carichi verticali che agiscono sulla parete per l'accelerazione sismica, considerata costante lungo l'altezza della parete stessa
- svolgimento delle verifiche di sicurezza imposte dall'Allegato C8A.4 – NTC 2008 (SLD e SLU semplificata e mediante spettro di capacità) fino alle condizioni ultime di collasso (controllo dell'evoluzione del cinematismo)



- 1 - Scelta del tipo di meccanismo
- 2 - Inserimento dei dati
 - dati geometrici e dei materiali
 - carichi e sovraccarichi
- 3 - Impostazione dei valori previsti dalla normativa
- 4 - Calcolo dei coefficienti di attivazione dei meccanismi considerati
- 5 - Verifiche SLD e SLU mediante le procedure semplificate
- 6 - Verifica SLU mediante spettro di capacità e interpretazione grafica



0. ANALISI E VERIFICA INSTABILITA' LOCALE DELLA MURATURA

1. ANALISI E VERIFICHE LOCALI (MECCANISMI DI COLLASSO)

2. MODELLAZIONE E METODI DI ANALISI GLOBALI

MODELLAZIONE E METODI DI ANALISI

Per **valutazione della sicurezza** si intende un procedimento quantitativo volto a stabilire se un edificio esistente è in grado o meno di resistere alla combinazione sismica di progetto:

Adozione di un **modello meccanico della struttura** in grado di descriverne con accuratezza la risposta sotto azione dinamica (distribuzione di massa e di rigidezza effettiva).

La rigidezza degli elementi può essere riferita a condizioni fessurate.

Scelta di un **metodo di analisi** adeguato alle caratteristiche della struttura:

- statica lineare
- dinamica modale
- statica non lineare
- dinamica non lineare

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

Nella modellazione di **edifici esistenti** possono essere considerate le travi di accoppiamento in muratura.

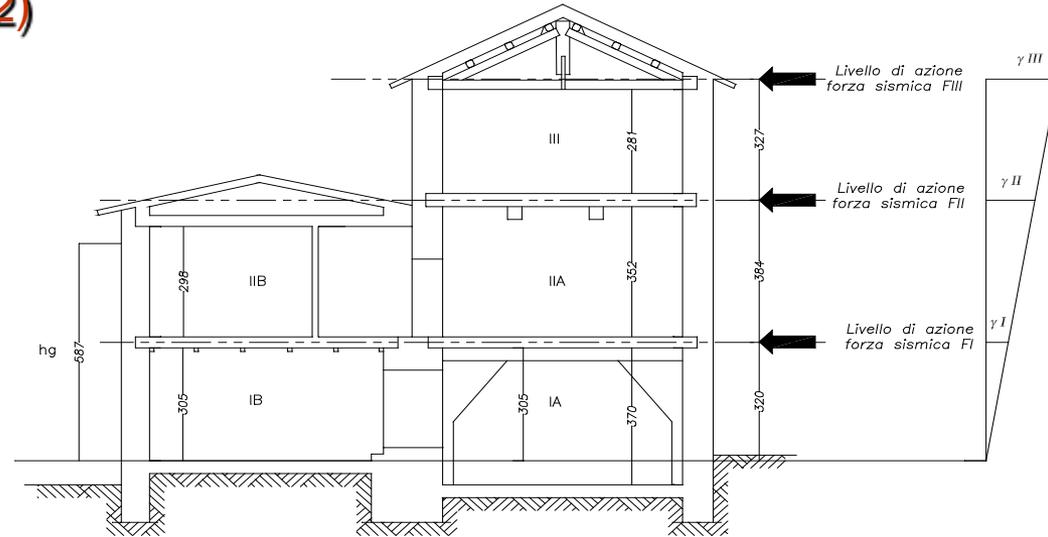
ANALISI STATICA LINEARE (§ 7.3.3.2)

L'analisi statica lineare consiste nell'applicazione all'edificio dei carichi gravitazionali e di un sistema di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica, distribuite lungo l'altezza dell'edificio, assumendo una distribuzione lineare degli spostamenti.

Può essere effettuata per costruzioni regolari in altezza, a condizione che il **primo periodo di vibrazione della struttura** (T_1), nella direzione in esame, non superi $(2,5 \cdot T_C)$ o T_D . Per edifici che non superino i 40 m di altezza, in assenza di calcoli più dettagliati, T_1 può essere stimato utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

con : H altezza dell'edificio in metri dal piano di fondazione
 C_1 costante pari a 0,050 nel caso di edifici in muratura



$$F_i = \frac{F_h \cdot z_i \cdot W_i}{\sum (z_j \cdot W_j)} \quad \text{con : } F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \frac{\lambda}{g}$$

dove:

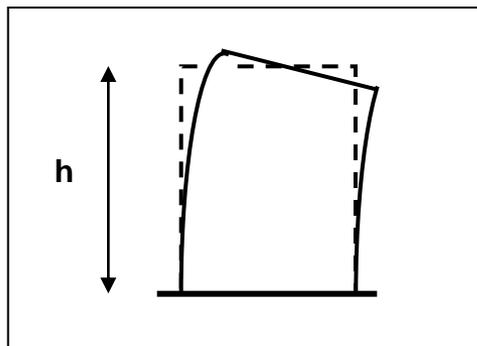
- F_i è la forza da applicare al piano i
- W_i e W_j sono i pesi delle masse ai piani i e j rispettivamente
- z_i e z_j sono le altezze dei piani i e j rispetto alle fondazioni
- W è il peso complessivo della costruzione
- λ è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T_1 < 2 \cdot T_C$, pari a 1,0 in tutti gli altri casi
- g è l'accelerazione di gravità
- $S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto

ANALISI STATICA LINEARE (§ 7.8.1.5.2)

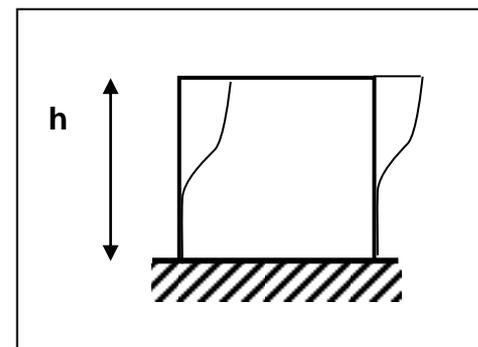
È applicabile nei casi previsti al § 7.3.3.2 (edifici regolari in altezza con $T_1 \leq 2,5 T_C$ o T_D), *anche nel caso di costruzioni irregolari in altezza, purché si ponga $\lambda = 1,0$.*

Le *rigidezze* degli elementi murari debbono essere calcolate considerando sia il *contributo flessionale sia quello tagliante*. L'utilizzo di *rigidezze fessurate* è da preferirsi; in assenza di valutazioni più accurate le rigidezze fessurate possono essere assunte pari alla metà di quelle non fessurate.

$$K_i = \frac{1}{\left[\frac{h_i^3}{3EJ_i} + \frac{\chi h_i}{GA_i} \right]}$$



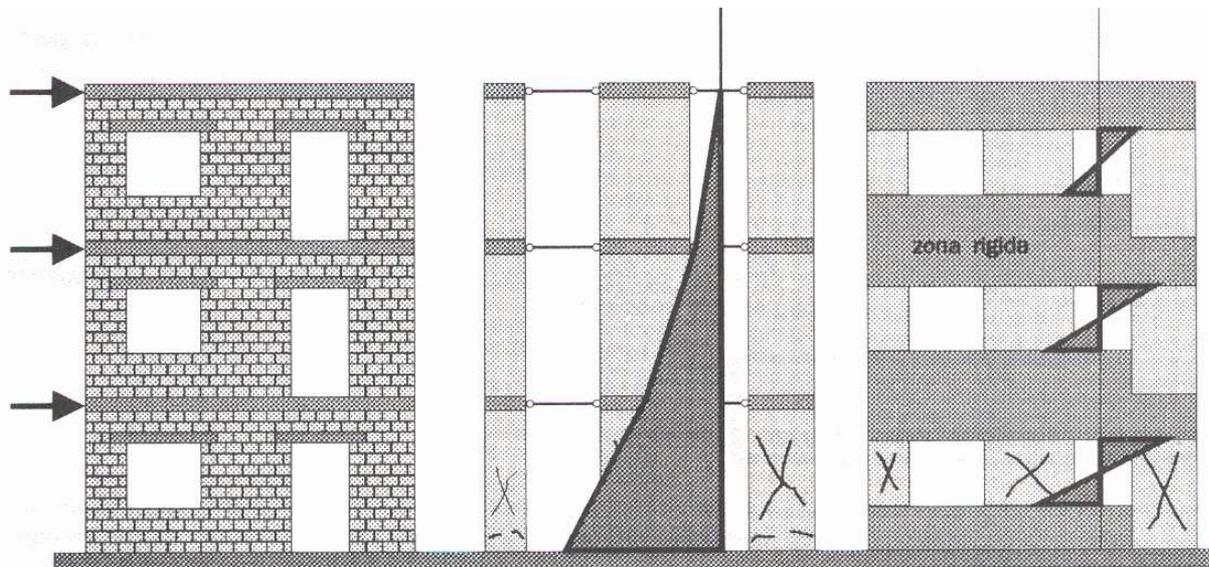
$$K_i = \frac{1}{\left[\frac{h_i^3}{12EJ_i} + \frac{\chi h_i}{GA_i} \right]}$$



ANALISI STATICA LINEARE

MODELLI PER EDIFICI IN MURATURA

- l'azione orizzontale è riportata dal solaio alle pareti su di esso collegate
- I solai possono essere considerati infinitamente rigidi nel proprio piano e quindi indeformabili
- La quota di forza assorbita da ogni parete è proporzionale alla rigidezza della stessa rispetto alla rigidezza totale di piano
- La rigidezza di ogni parete dipende dallo schema statico assunto
- La verifica a carichi orizzontali può essere condotta separatamente lungo le due direzioni principali di sviluppo dell'edificio



a)

Schema a mensole accoppiate
Tipo di rottura flettente e
tagliante

b)

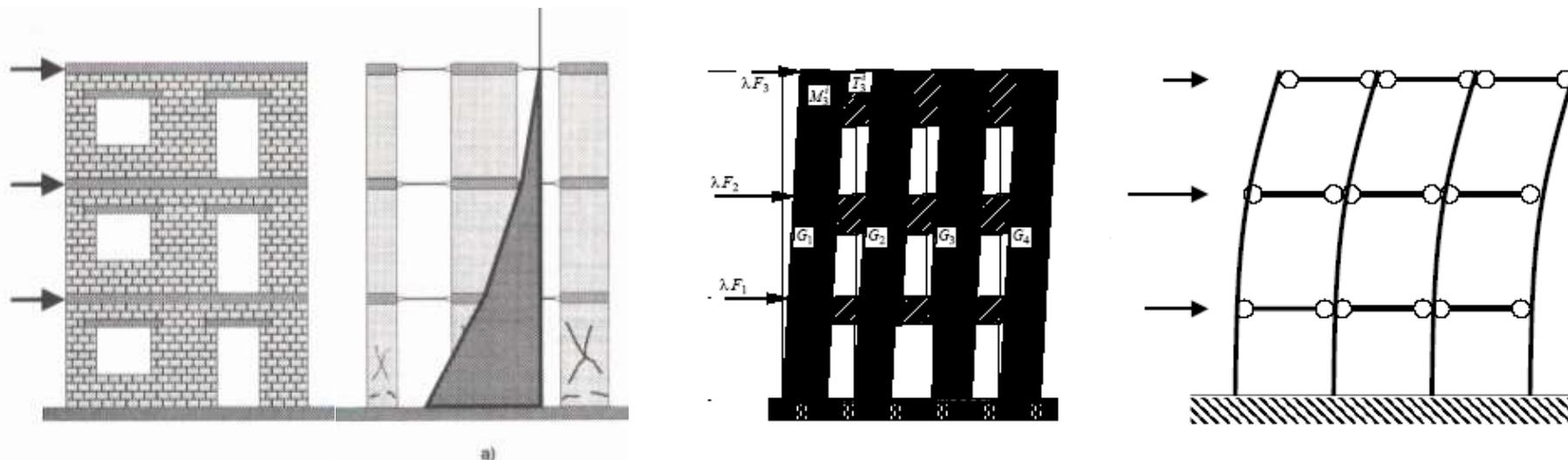
Schema a mensole doppiamente
incastrate - Tipo di rottura
esclusivamente a taglio

ANALISI STATICA LINEARE (§ 7.8.1.5.2)

(par. 7.2.6) Gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano, a condizione che siano realizzati in *cemento armato*, oppure in *latero-cemento con soletta in c.a. di almeno 40 mm* di spessore, o in *struttura mista con soletta in cemento armato di almeno 50 mm di spessore collegata da connettori a taglio* opportunamente dimensionati agli elementi strutturali in acciaio o in legno e purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidità.

→ MODELLI A MENSOLE

Nell'ipotesi di infinita rigidità nel piano dei solai, *il modello può essere costituito dai soli elementi murari continui dalle fondazioni alla sommità, collegati ai soli fini traslazionali alle quote dei solai.*

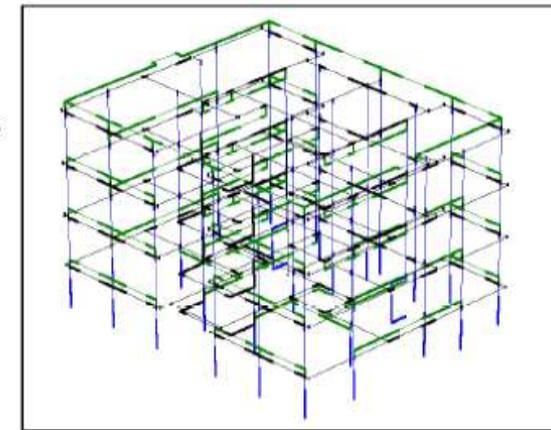
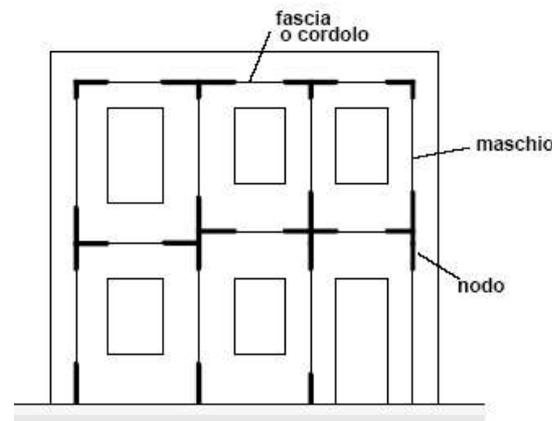
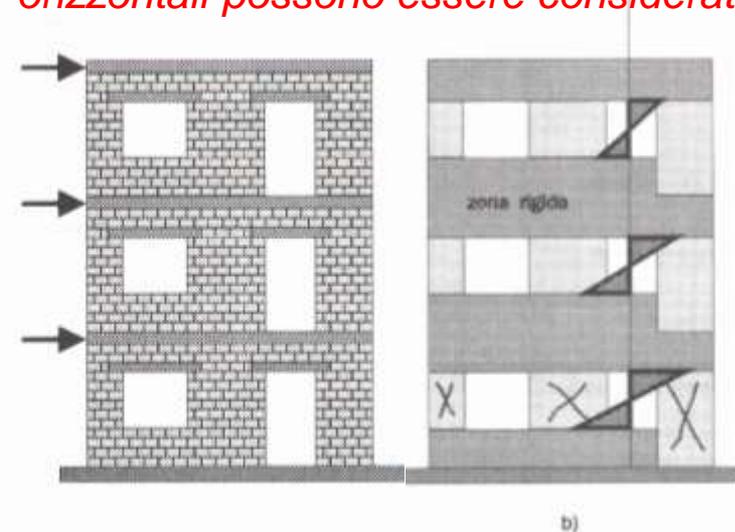


ANALISI STATICA LINEARE (§ 7.8.1.5.2)

→ MODELLI A TELAIO EQUIVALENTE

In alternativa, gli elementi di accoppiamento fra pareti diverse, quali travi o cordoli in cemento armato e travi in muratura (qualora efficacemente ammortate alle pareti), possono essere considerati nel modello, a condizione che le verifiche di sicurezza vengano effettuate anche su tali elementi.

Possono essere considerate nel modello travi di accoppiamento in muratura ordinaria solo se sorrette da un cordolo di piano o da un architrave resistente a flessione efficacemente ammortato alle estremità. Per elementi di accoppiamento in cemento armato si seguono i criteri di cui al § 7.4.4.6, considerando efficaci per l'accoppiamento elementi aventi altezza almeno pari allo spessore del solaio. In presenza di elementi di accoppiamento l'analisi può essere effettuata utilizzando *modelli a telaio, in cui le parti di intersezione tra elementi verticali e orizzontali possono essere considerate infinitamente rigide.*



ANALISI STATICA LINEARE (§ 7.8.1.5.2)

In caso di *solai rigidi*, la *distribuzione del taglio* nei diversi pannelli di uno stesso piano risultante dall'analisi lineare *può essere modificata, a condizione che l'equilibrio globale di piano sia rispettato* (il modulo e la posizione della forza risultante di piano restino invariati) e a condizione che il valore assoluto della variazione del taglio in ciascun pannello, ΔV , soddisfi la relazione

$$\Delta V \leq \max\{0.25|V|, 0.1|V_{\text{piano}}|\}$$

dove V è il taglio nel pannello e V_{piano} è il taglio totale al piano nella direzione parallela al pannello.

Prima della redistribuzione					RIDISTRIBUZIONE			Dopo la redistribuzione			Parete		
M_{Rd}	M_{Ed}		V_{Rd}	V_{Ed}	$0,1V_{\text{TOT}}$	$0,25V_{\text{Ed}}$	ΔV	M_{Ed}		V_{Ed}			
kNm	kNm		kN	kN	kN	kN	kN	kNm		kN			
90,0	104,2	Mu non ver	78,7	20,8	OK	13,3	5,2	-5,0	89,2	OK	15,8	OK	1X
100,0	66,8	OK	72,0	13,3	OK	13,3	3,3	5,0	81,8	OK	18,3	OK	2X
63,4	36,8	OK	65,6	7,3	OK	13,3	1,8		36,8	OK	7,3	OK	3X
188,5	114,1	OK	108,0	22,8	OK	13,3	5,7		114,1	OK	22,8	OK	4X
210,9	123,3	OK	117,3	24,6	OK	13,3	6,2		123,3	OK	24,6	OK	5X
100,0	111,4	Mu non ver	14,0	22,2	Vu non ver	13,3	5,6	-8,3	86,5	OK	13,9	OK	6X
86,5	71,4	OK	48,6	14,3	OK	13,3	3,6	4,3	84,3	OK	18,6	OK	7X
51,9	39,4	OK	44,1	7,9	OK	13,3	2,0	4,0	51,4	OK	11,9	OK	8X
264,9	148,4	OK	141,2	29,6	OK	13,9	7,4		148,4	OK	29,6	OK	1Y
232,4	101,4	OK	148,8	20,3	OK	13,9	5,1		101,4	OK	20,3	OK	2Y
305,8	120,5	OK	180,1	24,1	OK	13,9	6,0		120,5	OK	24,1	OK	3Y
287,6	77,2	OK	185,2	15,4	OK	13,9	3,9		77,2	OK	15,4	OK	4Y
254,8	149,1	OK	134,1	29,8	OK	13,9	7,4		149,1	OK	29,8	OK	5Y
234,6	101,9	OK	149,7	20,3	OK	13,9	5,1		101,9	OK	20,3	OK	6Y

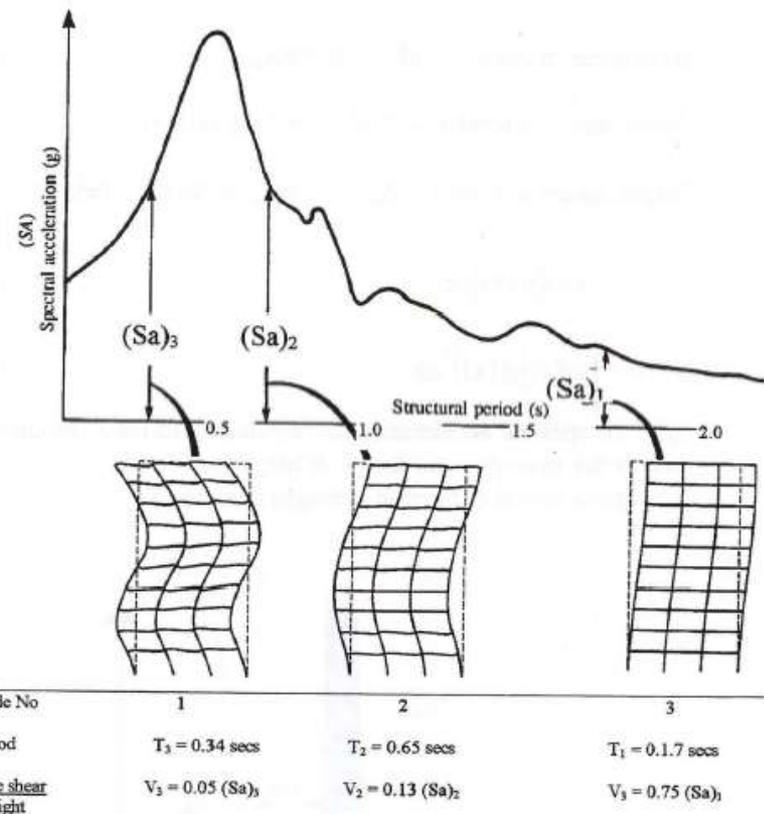
Nel caso di *solai deformabili* la *ridistribuzione* può essere effettuata solamente *tra pannelli complanari collegati da cordoli o incatenamenti ovvero appartenenti alla stessa parete*. In tal caso, nel calcolo dei limiti per la redistribuzione, V_{piano} è da intendersi come la somma dei tagli nei pannelli complanari ovvero appartenenti alla stessa parete.

ANALISI LINEARE DINAMICA (§ 7.3.3.1)

L'analisi dinamica lineare consiste:

- nella *determinazione dei modi di vibrare* della costruzione (analisi modale),
- nel *calcolo degli effetti dell'azione sismica*, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, *per ciascuno dei modi di vibrare* individuati,
- nella *combinazione di questi effetti*.

Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. È opportuno a tal riguardo considerare *tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%*.



Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi deve essere utilizzata una *combinazione quadratica completa* (CQC) degli effetti relativi a ciascun modo, quale quella indicata nell'espressione:

$$E = \left(\sum_j \sum_i \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j \right)^{1/2}$$

dove E_j valore dell'effetto relativo al modo j ; ρ_{ij} coefficiente di correlazione tra il modo i e il modo j , calcolato con formule di comprovata validità quale:

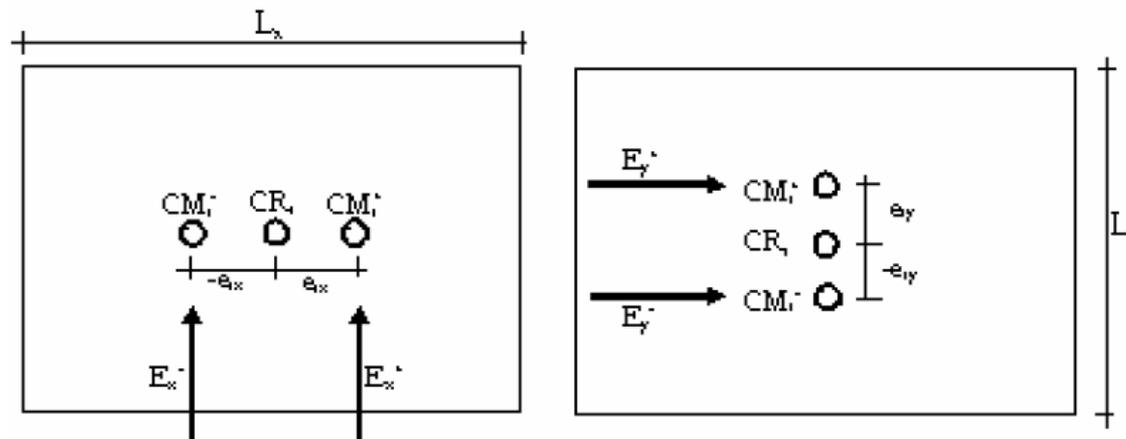
$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2\beta_{ij}^{3/2}}{(1+\beta_{ij}) \left[(1-\beta_{ij})^2 + 4\xi^2\beta_{ij} \right]}$$

ANALISI LINEARE DINAMICA (§ 7.8.1.5.3)

È applicabile in tutti i casi, con le limitazioni di cui al § 7.3.3.1. *Quanto indicato per modellazione e possibilità di redistribuzione nel caso di analisi statica lineare vale anche in questo caso.*

Le verifiche fuori piano possono essere effettuate separatamente, adottando le forze equivalenti indicate al punto precedente per l'analisi statica lineare (§ 7.8.1.5.3).

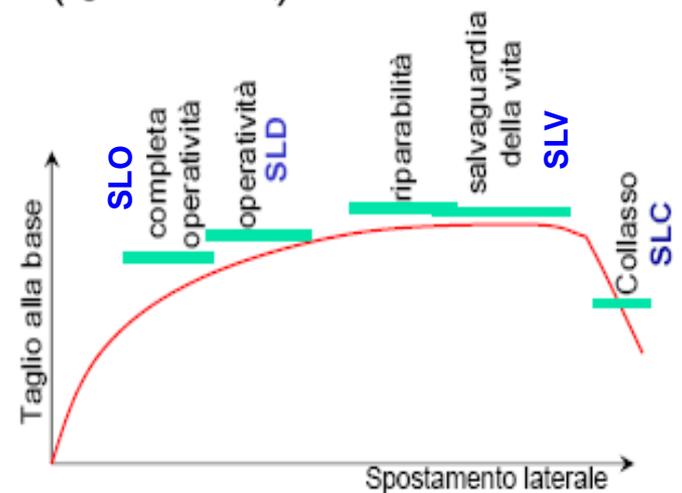
Per gli edifici, gli effetti della *eccentricità accidentale del centro di massa* possono essere determinati mediante l'applicazione di carichi statici costituiti da momenti torcenti di valore pari alla risultante orizzontale della forza agente al piano, determinata come in § 7.3.3.2, moltiplicata per l'eccentricità accidentale del baricentro delle masse rispetto alla sua posizione di calcolo, determinata come in § 7.2.6 (*0,05 volte la dimensione dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell'azione sismica*).



METODI DI ANALISI: ANALISI NON LINEARE STATICA (§ 7.3.4.1)

L'analisi non lineare statica consiste nell'applicare alla struttura i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, un sistema di forze orizzontali distribuite, ad ogni livello della costruzione, proporzionalmente alle forze d'inerzia ed aventi risultante F_b (taglio alla base).

Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale d_c di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione. Il diagramma $F_b - d_c$ rappresenta la *curva di capacità della struttura*.



Almeno due distribuzioni di forze d'inerzia:

Gruppo 1 - Distribuzioni principali:

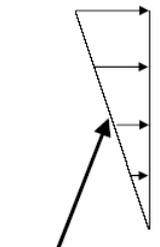
- distribuzione proporzionale alle forze statiche (se il modo di vibrare fondamentale ha massa part. ≥ 75)...;
- distribuzione proporzionale alla forma del modo di vibrare (se la massa part. $\geq 75\%$);
- distribuzione corrispondente alla distribuzione dei tagli di piano da analisi din. lineare (se $T_1 > T_C$).

Gruppo 2 - Distribuzioni secondarie:

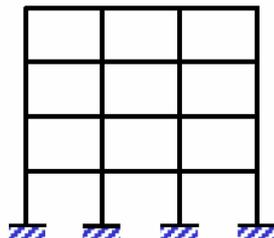
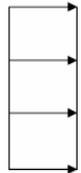
- distribuzione uniforme di forze;
- distribuzione adattiva, che cambia al crescere dello spostamento del punto di controllo.

Enfatizza le richieste inelastiche ai piani bassi ed il taglio

$$F_i = m_i \Phi_i^1 \quad F_i = m_i$$



simile al profilo adottato nell'analisi statica lineare

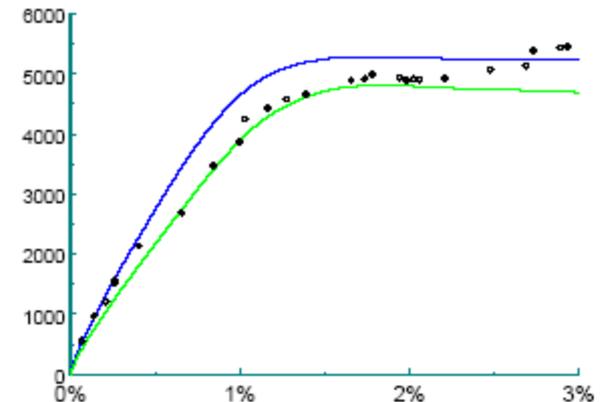
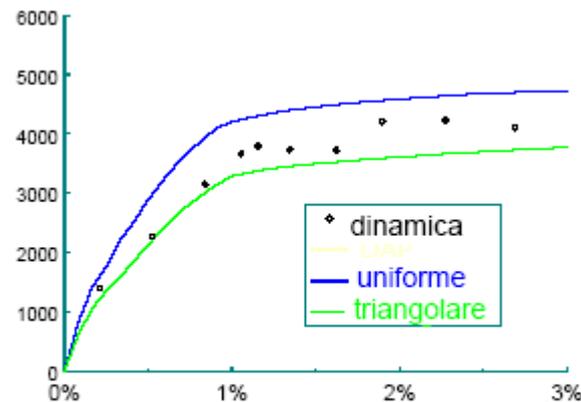
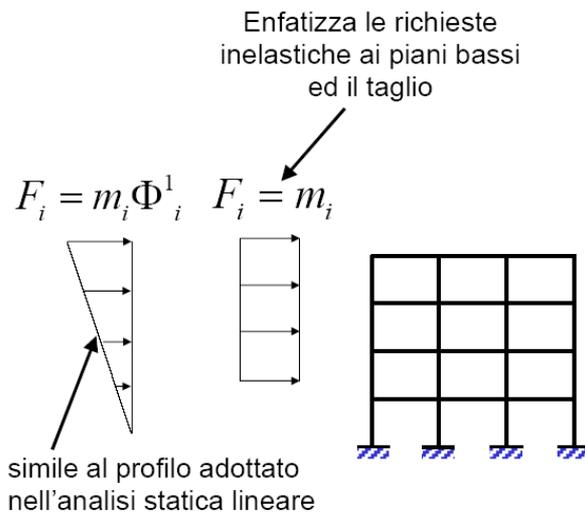


ANALISI STATICA NON LINEARE: PUSH-OVER CLASSICA

Tale scelta nasce dalla considerazione che la distribuzione delle forze laterali dovrebbe approssimare la distribuzione delle forze d'inerzia presenti durante il sisma.

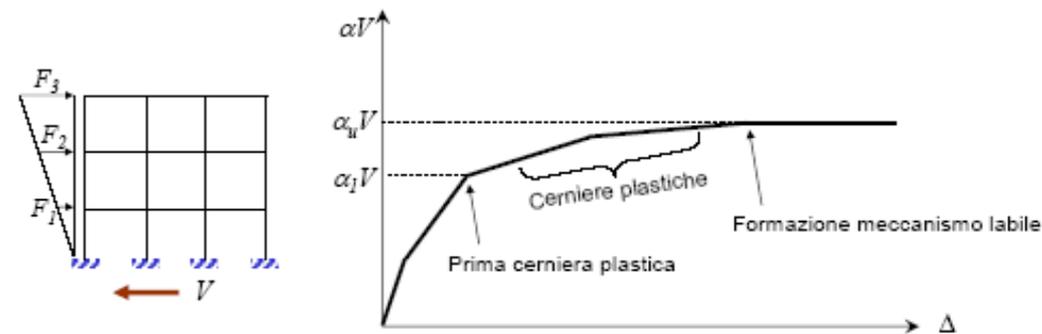
Confronti coi risultati di analisi dinamiche non-lineari hanno evidenziato che distribuzioni di **forze proporzionali al primo** modo colgono meglio la risposta dinamica finché la struttura rimane in campo elastico, mentre quando si raggiungono grandi deformazioni la risposta può essere meglio rappresentata da distribuzioni di **forze proporzionali alle masse**.

Nel caso di strutture regolari i 2 andamenti scelti definiscono i limiti delle possibili distribuzioni delle forze d'inerzia di un terremoto.



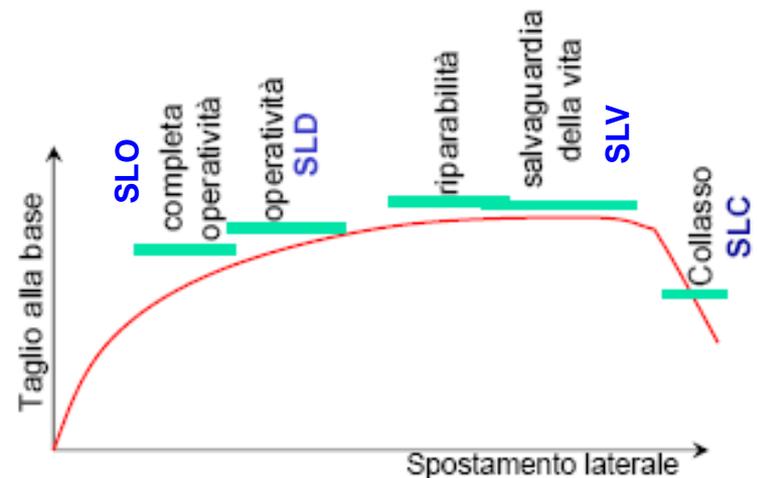
ANALISI STATICA NON LINEARE: USO

- valutare i rapporti di sovraresistenza α_u / α_1
- verificare l'effettiva distribuzione della domanda inelastica negli edifici progettati con il fattore di riduzione q ; quindi l'individuazione delle zone critiche dove è richiesta una maggiore duttilità;
- l'individuazione di una realistica richiesta di resistenza per gli elementi fragili e di una realistica richiesta di deformazione su elementi che devono avere comp. duttile;
- come metodo di progetto per gli edifici di nuova costruzione sostitutivo dei metodi di analisi lineari; come metodo per la valutazione della capacità di edifici esistenti.



α_1 : moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la sua resistenza flessionale

α_u : moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile

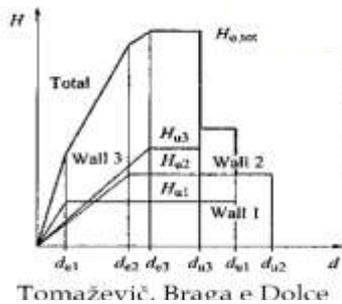


METODI DI ANALISI: ANALISI STATICA NON LINEARE (§ 7.8.1.5.4)

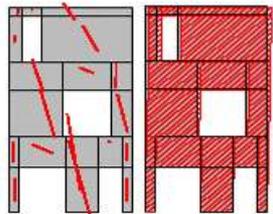
L'analisi statica non lineare *è applicabile agli edifici in muratura anche nei casi in cui la massa partecipante del primo modo di vibrare sia inferiore al 75% della massa totale ma comunque superiore al 60%.*

Il modello geometrico della struttura può essere conforme a quanto indicato nel caso di analisi statica lineare ovvero essere ottenuto utilizzando modelli più sofisticati.

MECCANISMO DI PIANO

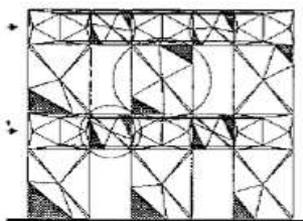


→ Edifici fino a 2 piani modelli a “meccanismi di piano” (es. POR-FLEX, POR-90, etc.)



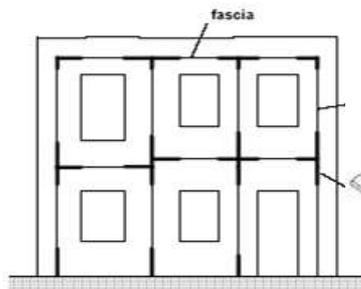
MAS3D

Braga, Liberatore, Spera



PEFV

D'Asdia e Viskovic

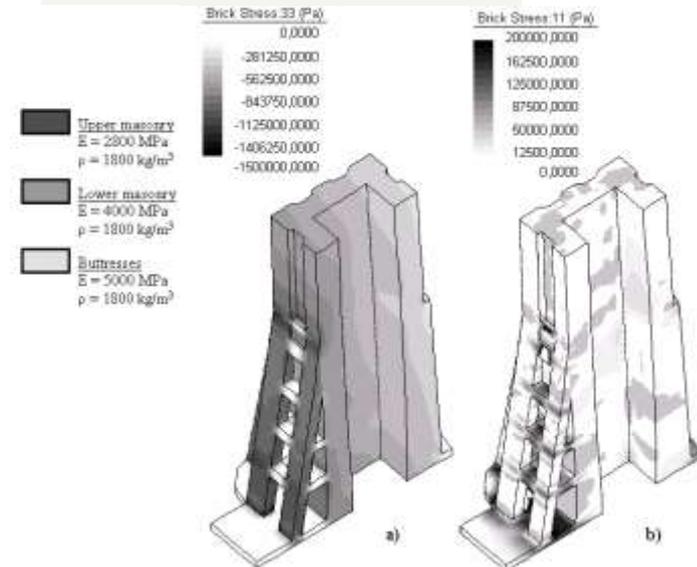


SAM

Magenes, Della Fontana, Bolognini



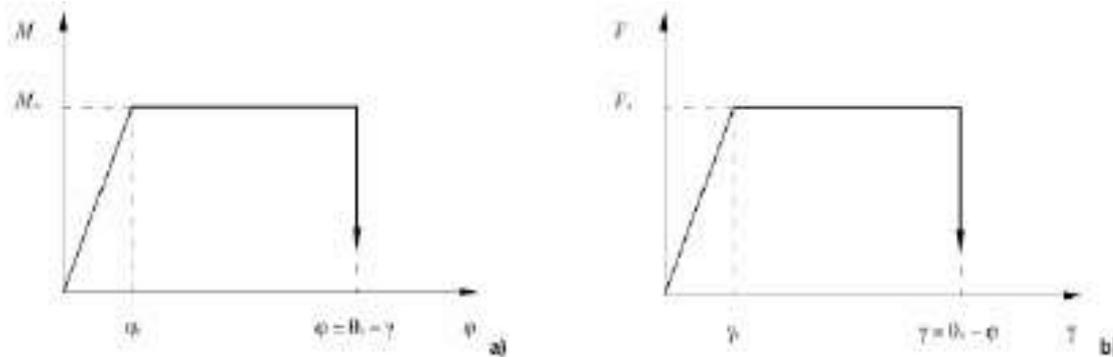
ELEMENTI FINITI



MACROELEMENTI

METODI DI ANALISI: ANALISI STATICA NON LINEARE (§ 7.8.1.5.4)

I pannelli murari possono essere caratterizzati da un *comportamento bilineare elastico perfettamente plastico, con resistenza equivalente al limite elastico e spostamenti al limite elastico e ultimo definiti per mezzo della risposta flessionale o a taglio* di cui ai §§ 7.8.2.2 e 7.8.3.2. Gli elementi lineari in c.a. (cordoli, travi di accoppiamento) possono essere caratterizzati da un comportamento bilineare elastico perfettamente plastico, con resistenza equivalente al limite elastico e spostamenti al limite elastico e ultimo definiti per mezzo della risposta flessionale o a taglio.



(par. 7.8.2.2.1) In caso di analisi statica non lineare, la resistenza a *pressoflessione* può essere calcolata ponendo f_d pari al valore medio della resistenza a compressione della muratura, e *lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,8% dell'altezza del pannello*.

In caso di analisi statica non lineare, la resistenza a *taglio* può essere calcolata ponendo $f_{vd} = f_{vm0} + 0,4\sigma_n$ con f_{vm0} resistenza media a taglio della muratura ... e *lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,4% dell'altezza del pannello*.

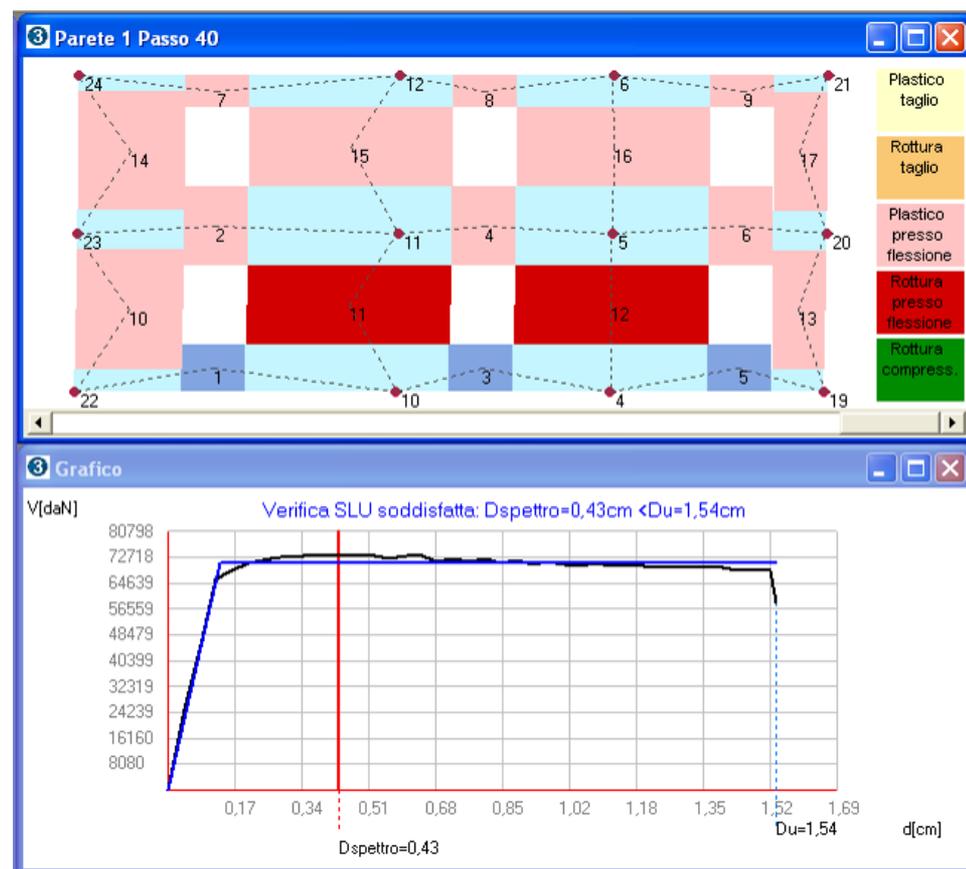
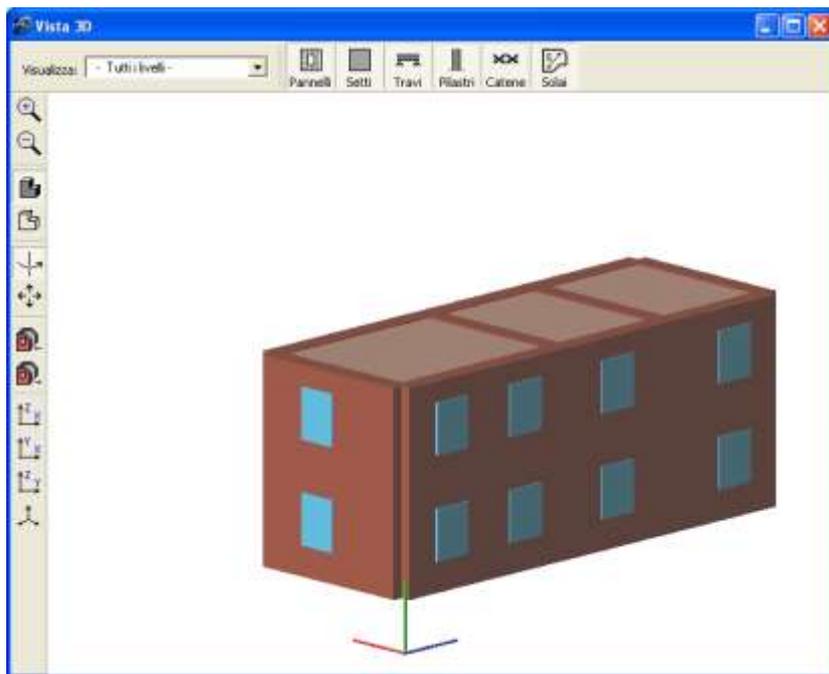
ANALISI STATICA NON LINEARE: PROCEDURA

Il metodo statico nonlineare si articola nei passi seguenti:

1. Modello nonlineare della struttura
2. Applicazione dei carichi nonsismici
3. Analisi di pushover (curva di capacità)
4. Riduzione a sistema 1-GDL
5. Bilinearizzazione della curva di capacità
6. Calcolo del target displacement
7. Conversione a spostamento sistema N-GDL
8. Verifiche agli stati limite di interesse

ANALISI STATICA NON LINEARE: VERIFICHE

Per gli edifici in muratura il metodo prevede solo una verifica globale in spostamento, e non le verifiche nei singoli elementi.

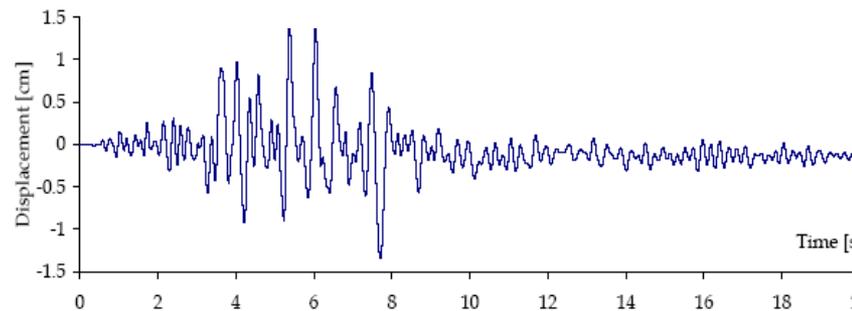
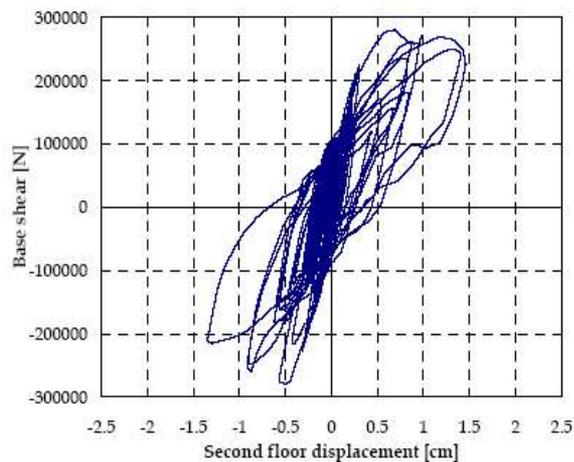
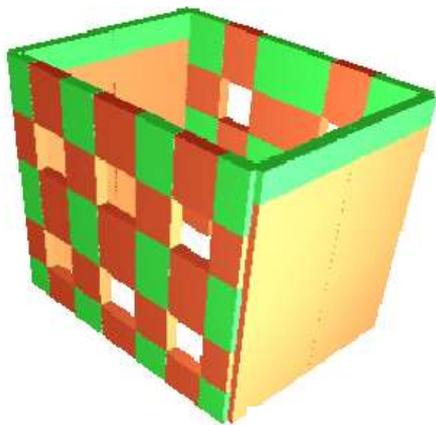


METODI DI ANALISI: ANALISI NON LINEARE DINAMICA (§ 7.3.4.2÷7.8.1.5.5)

L'analisi non lineare dinamica consiste nel *calcolo della risposta sismica della struttura mediante integrazione delle equazioni del moto*, utilizzando un modello non lineare della struttura e gli accelerogrammi definiti al § 3.2.3.6.

L'analisi dinamica non lineare deve essere confrontata con una analisi modale con spettro di risposta di progetto, al fine di controllare le differenze in termini di sollecitazioni globali alla base delle strutture.

Nel caso delle costruzioni con isolamento alla base l'analisi dinamica non lineare è obbligatoria quando il sistema d'isolamento non può essere rappresentato da un modello lineare equivalente, come stabilito nel § 7.10.5.2.



Esempio col programma
TREMURI

Per edifici in muratura, si applica integralmente il § 7.3.4.2 facendo uso di modelli meccanici non lineari di comprovata e documentata efficacia.

COMPORAMENTO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

L'ANALISI DEGLI EDIFICI ESISTENTI

- Conoscenza
- Metodi di analisi

CRITERI PER LA SCELTA DEGLI INTERVENTI

- • Criteri generali
- Tecniche d' intervento e attività di ricerca

CASI STUDIO



Modello di edificio in muratura di mattoni senza tiranti, con tiranti e solai deformabili, con solaio rigido in c.a. dopo prove su tavola vibrante

(ZAG Slovenia, M. Tomazevic)

SOSTITUZIONE DI SOLAI E COPERTURE

La sostituzione di solai in legno **con solai in laterocemento**, ovvero sia l'irrigidimento di strutture orizzontali, non ha prodotto l'atteso miglioramento del comportamento strutturale.

Cordolo appoggiato **solo sul lato interno** della muratura a più paramenti: eccentricità di carico ed indebolimento della sezione

La muratura non è adeguatamente consolidata



Espulsione della facciata



Le pareti ortogonali non sono adeguatamente collegate tra loro



INTERVENTI SULLE MURATURE

L' applicazione di tecniche di intervento di **non sperimentata** efficacia, o di interventi **mal progettati ed eseguiti**, è risultata **inutile ...**

Iniezioni armate



Onna (L' Aquila), 2009

- Alta invasività;
- dubbia efficacia nel cucire fessure e paramenti;
- problemi di aderenza delle barre.

Iniezioni

- Tecnica sperimentalmente provata;
- inefficacia legata a problemi esecutivi;
- verificato nel terremoto di Bovec (Slovenia, 2004).



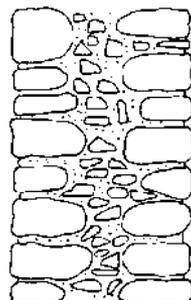
Bovec (Kobarid, SI)

INTERVENTI SULLE MURATURE

Inefficacia della connessione trasversale



... o addirittura dannosa

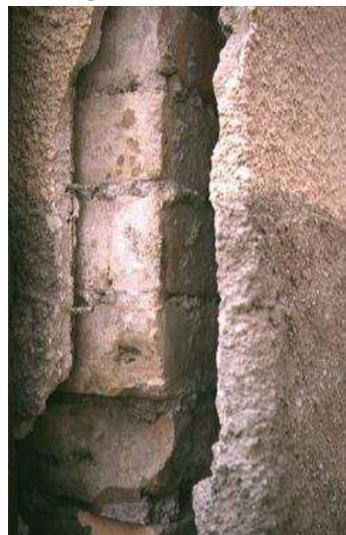


Pareti armate

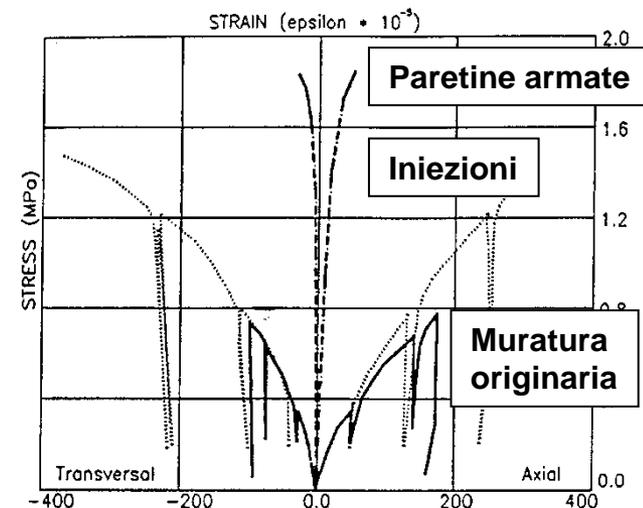


Ossidazione delle reti (copriferro inadeguato e problemi di risalita)

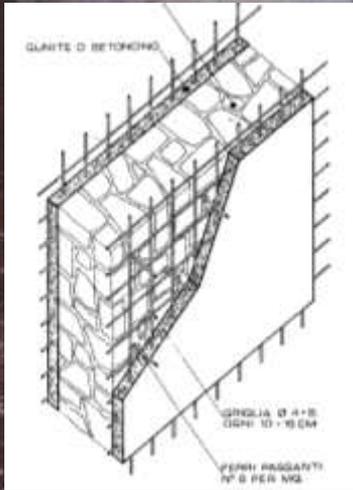
Inadeguata sovrapposizione negli angoli e lungo le pareti



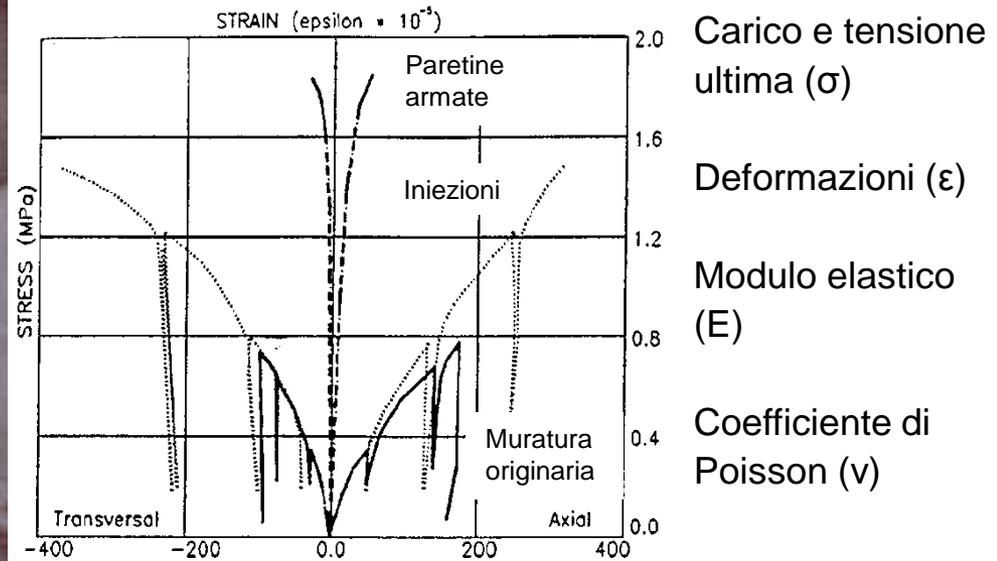
Eccessiva rigidezza



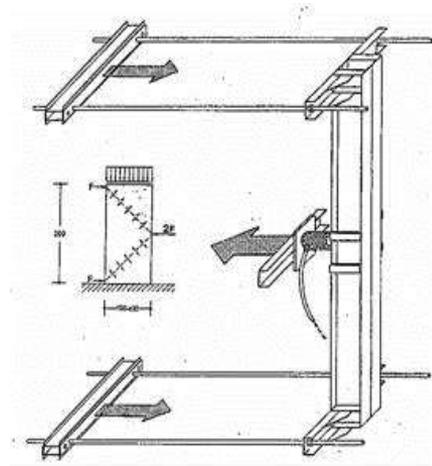
Caratteristiche meccaniche per azioni verticali



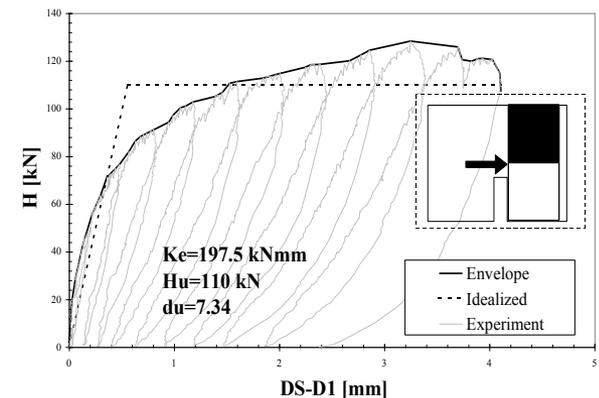
(Bettio, Modena 1993)



Caratteristiche meccaniche per azioni orizzontali e verticali



Prove effettuate prima e dopo gli interventi



Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti

Interventi sugli archi e sulle volte

Interventi volti a ridurre l' eccessiva deformabilità dei solai

Interventi in copertura

Interventi che modificano la distribuzione degli elementi verticali resistenti

Interventi volti ad incrementare la resistenza nei maschi murari

Interventi su pilastri e colonne

Interventi volti a rinforzare le pareti intorno alle aperture

Interventi alle scale

Interventi volti ad assicurare i collegamenti degli elementi non strutturali

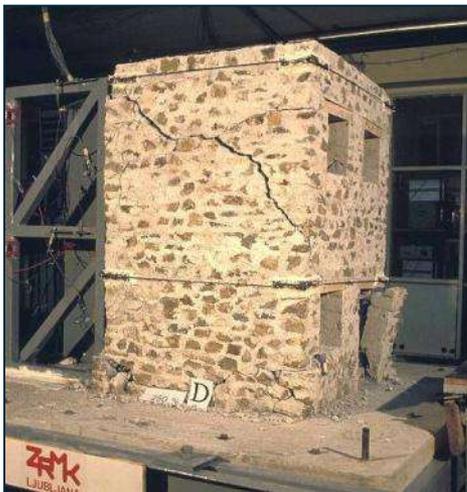
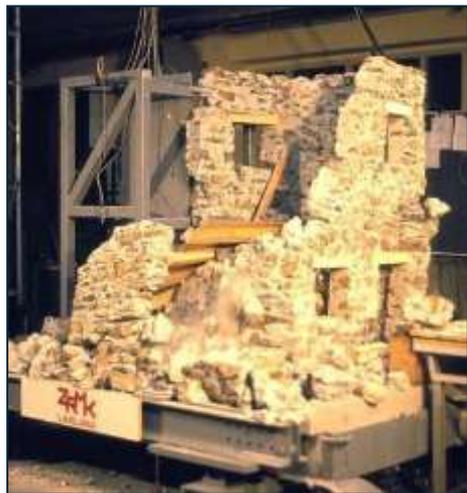
Interventi in fondazione

Realizzazione di giunti sismici

E TECNICHE D' INTERVENTO

Nella scelta degli interventi deve essere posta particolare attenzione ai **principi della conservazione**. Inoltre, la valutazione della sicurezza e una chiara comprensione della struttura devono essere alla base delle decisioni e delle scelte degli interventi. Pertanto, l'intervento non deve essere finalizzato solo al raggiungimento di un appropriato livello di sicurezza della costruzione, ma deve garantire anche (**miglioramento controllato**):

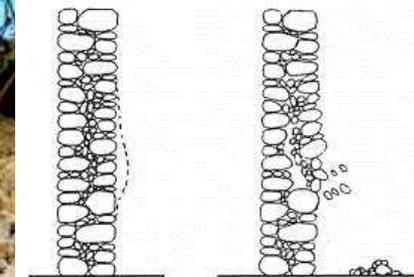
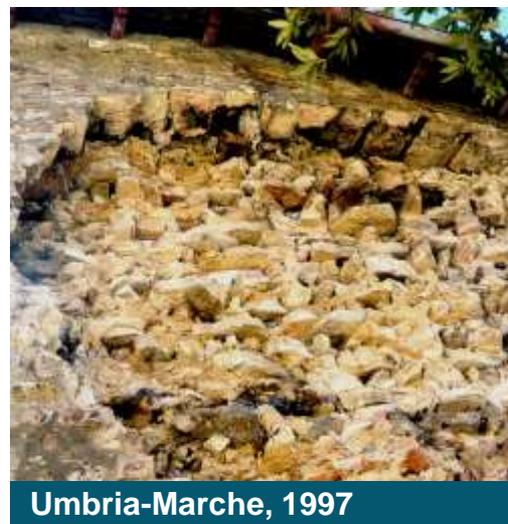
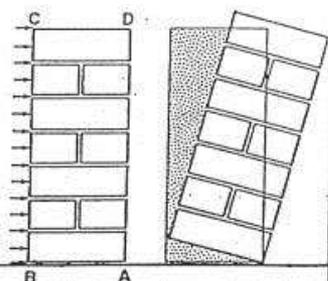
- compabilità e durabilità;**
- integrazione e non trasformazione della struttura;**
- rispetto di concezione e tecniche originarie della struttura;**
- bassa invasività;**
- se possibile, reversibilità o rimovibilità;**
- minimizzazione dell'intervento.**



Tomažević, ZRMK,
Ljubljana, Slovenia

E' emersa la riconsiderazione di **tecniche tradizionali di intervento**, l' utilità della **valutazione accurata** dell' intervento, della sua **applicazione in modo regolare ed uniforme**, del **controllo in fase esecutiva**. Gli interventi sono in particolare mirati a:

- a) **RENDERE EFFICACI I COLLEGAMENTI**, mediante inserimento di tiranti, cerchiature esterne, idonea ammorsatura fra pareti confluenti in martelli murari ed angolate, cordoli in sommità, connessione dei colai di piano e delle coperture alle murature, etc.
- b) **MIGLIORARE LA CONFIGURAZIONE STRUTTURALE**, con l' introduzione di nuovi elementi resistenti, la riduzione di spinte di volte e coperture, l' eliminazione o l' ampliamento di giunti tra corpi di fabbrica, l' eliminazione di piani deboli e di elementi vulnerabili, etc.
- c) **MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLE MURATURE**, mediante consolidamento e, se necessario, sostituzione



IL PROBLEMA DELLA QUALITA' MURARIA



San Giovanni, San
Demerio nei Vestini



San Michele, Villa Sant'Angelo



COMPORAMENTO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

L'ANALISI DEGLI EDIFICI ESISTENTI

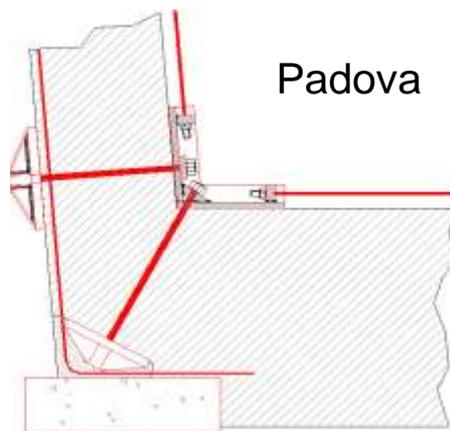
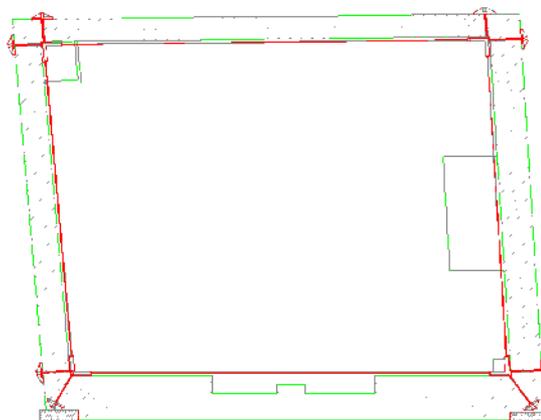
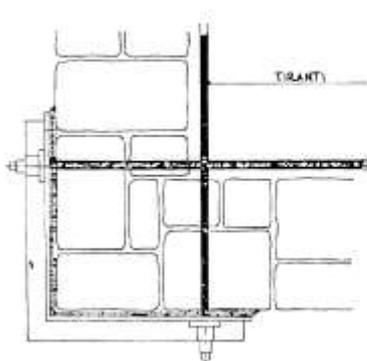
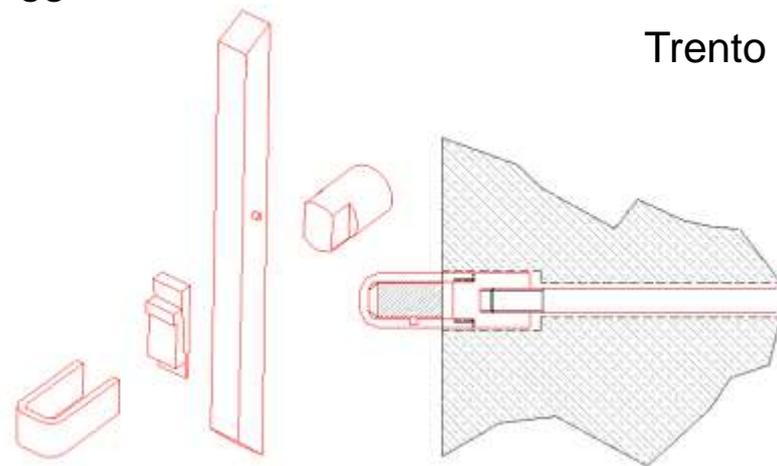
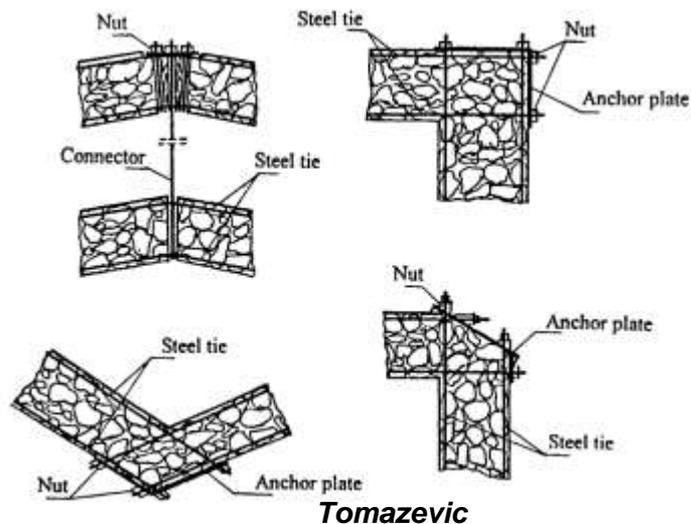
- Conoscenza
- Metodi di analisi

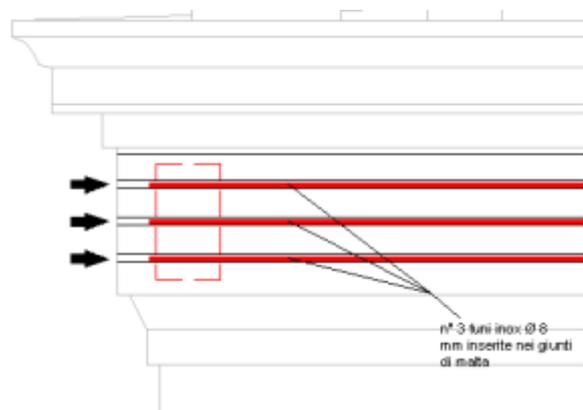
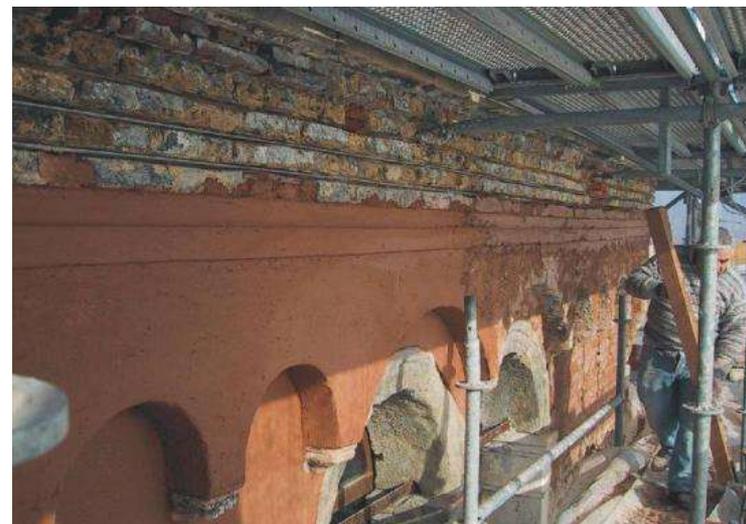
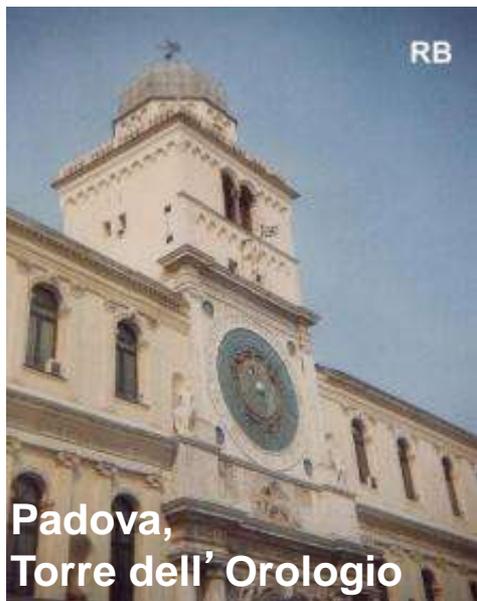
CRITERI PER LA SCELTA DEGLI INTERVENTI

- Criteri generali
- Tecniche d'intervento e attività di ricerca

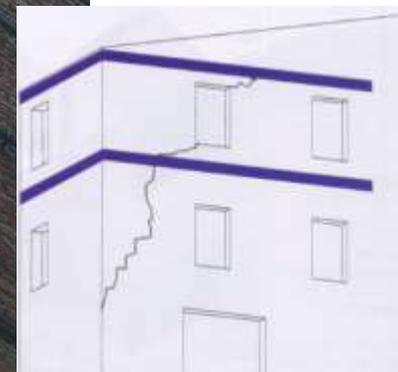
CASI STUDIO

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), **possono favorire il comportamento d'insieme** del fabbricato. **Migliorano il comportamento nel piano di pareti forate**. Per i capochiave sono consigliati **paletti semplici**; è in genere necessario un consolidamento locale della muratura nella zona di ancoraggio.





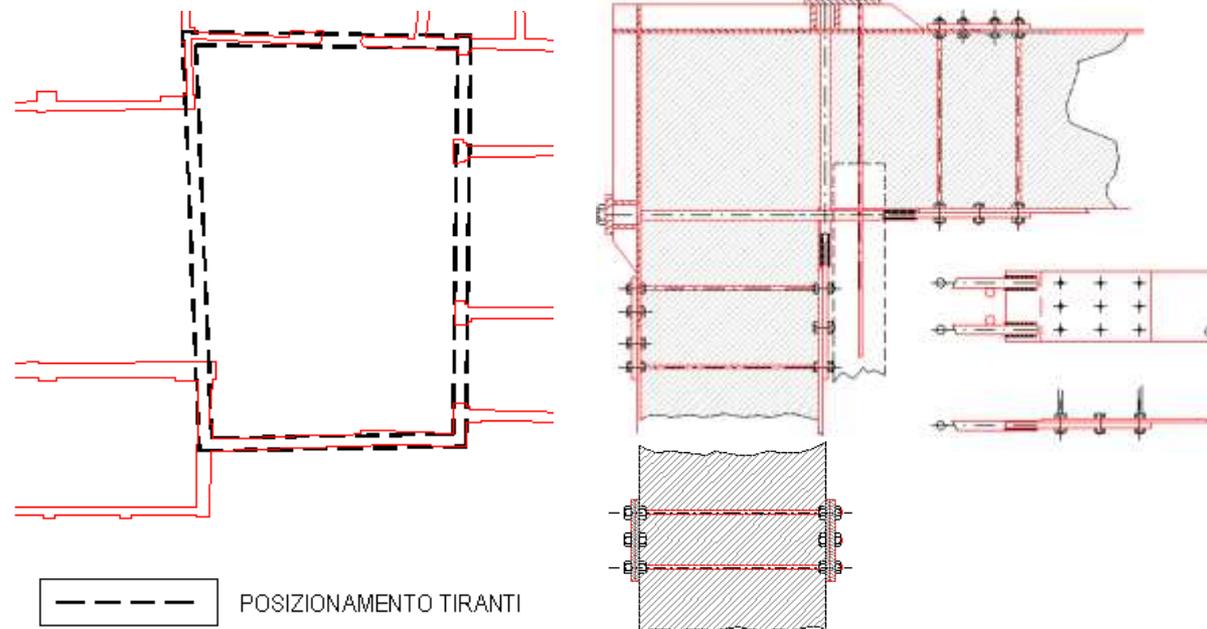
Realizzate **con elementi metallici o materiali compositi**. E' necessario evitare l'insorgere di concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli delle murature. Cerchiature di tipo particolare, per elementi di piccole dimensioni, con inserimento di barre nei giunti.



In sommità alla muratura possono costituire una soluzione efficace per collegare le pareti, in una zona dove la muratura è meno coesa a causa del limitato livello di compressione, e per migliorare l'interazione con la copertura.

Possono essere realizzati:

- ❑ in **calcestruzzo armato**, solo se di altezza limitata, per evitare eccessivi appesantimenti ed irrigidimenti
- ❑ in **muratura armata**, consentendo di realizzare il collegamento attraverso una tecnica volta alla massima conservazione delle caratteristiche murarie esistenti.
- ❑ in **acciaio**, rappresentando una valida alternativa per la loro leggerezza e la limitata invasività. Si prestano particolarmente bene al collegamento degli elementi lignei della copertura



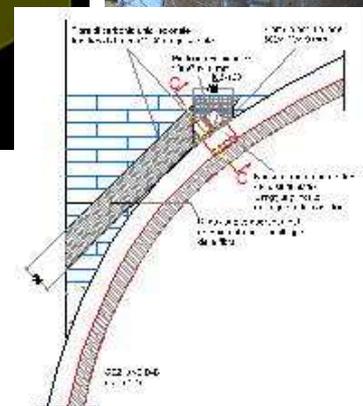
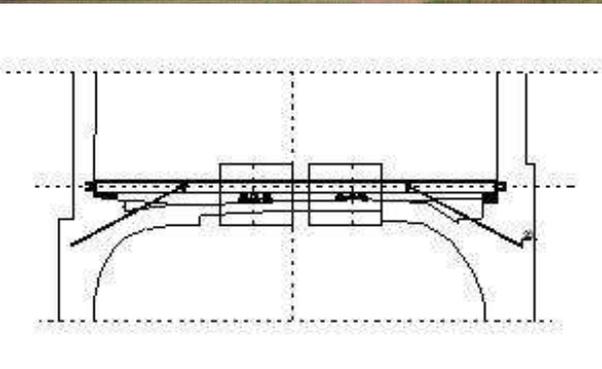
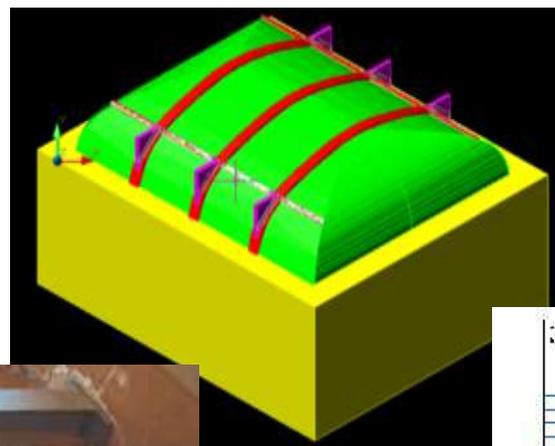
Gli interventi sulle strutture ad arco o a volta sono principalmente finalizzati a **ridurre le spinte** di tali strutture, e si possono realizzare mediante la **tradizionale tecnica delle catene**. Si potranno collocare le catene a livelli diversi rispetto alle reni purché ne sia dimostrata l'efficacia. Tali elementi dovranno essere dotati di adeguata rigidezza, e posti in opera con un' adeguata presollecitazione, previa riparazione delle porzioni di muratura. Non deve essere esclusa a priori la possibilità di realizzare **contrafforti o ringrossi murari**: presentano un certo impatto visivo ma risultano reversibili. La loro efficacia è subordinata alla creazione di un buon ammorsamento con la parete esistente, ed alla possibilità di realizzare una fondazione adeguata.



TIRANTI ED ELEMENTI METALLICI ESTRADOSSALI

Odeo Cornaro, Padova

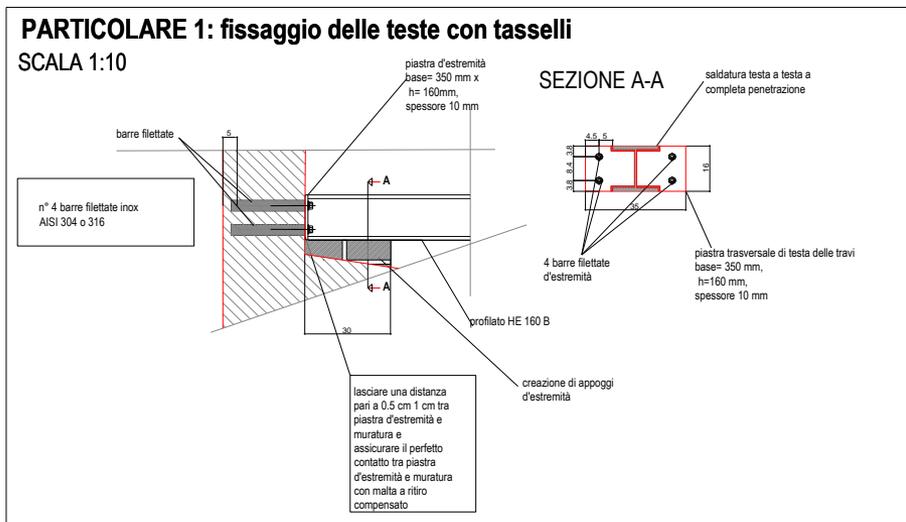
Urbino, Palazzo Ducale



ODEO CORNARO, Padova, Piazza del Santo

CONFINAMENTO DELLA MURATURA PERIMETRALE

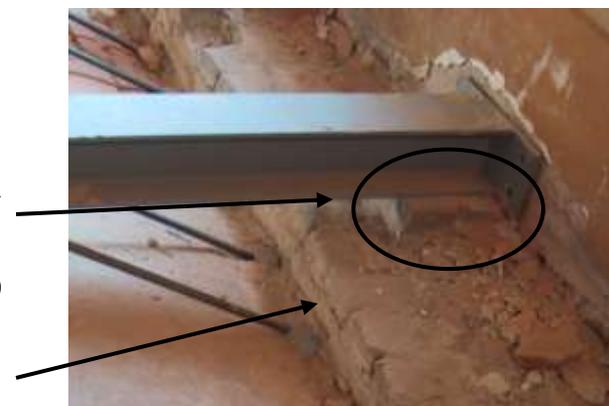
Realizzazione di un confinamento del paramento murario mediante piastre inox d'estremità e barre filettate



Piastra d'estremità

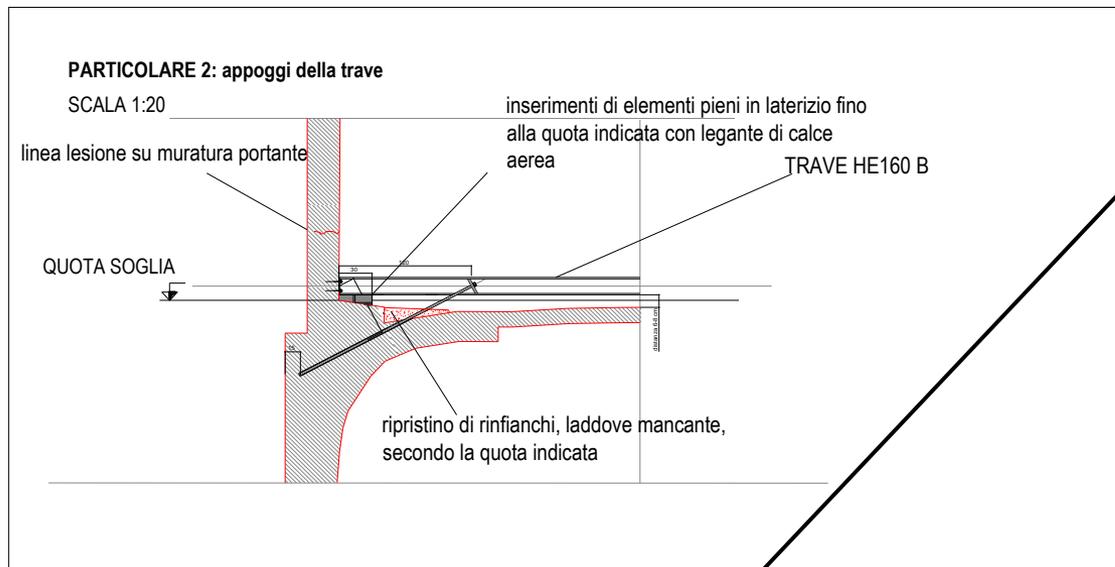
Ripristino dei rinfianchi laterali per stabilizzazione

Creazione degli appoggi d'estremità in elementi pieni in laterizio

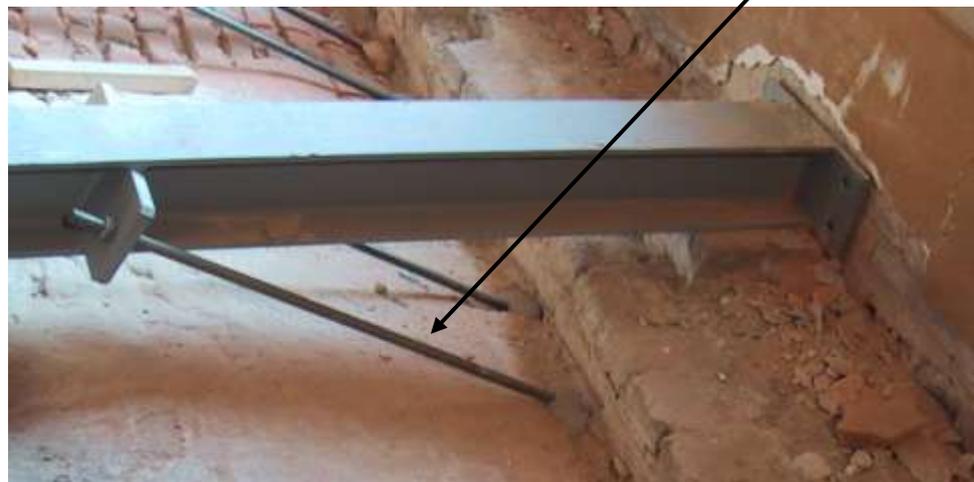


ODEO CORNARO, Padova, Piazza del Santo

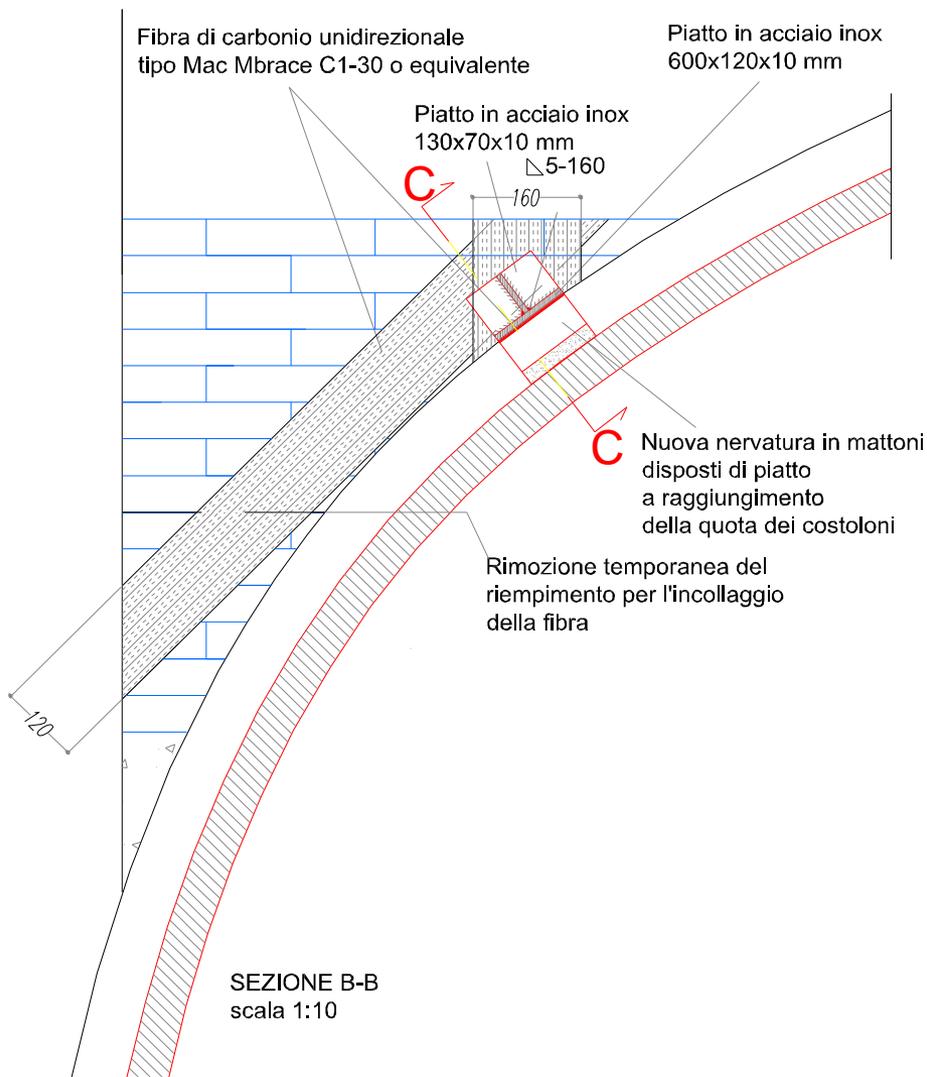
INSERIMENTO COPPIA DI TIRANTI



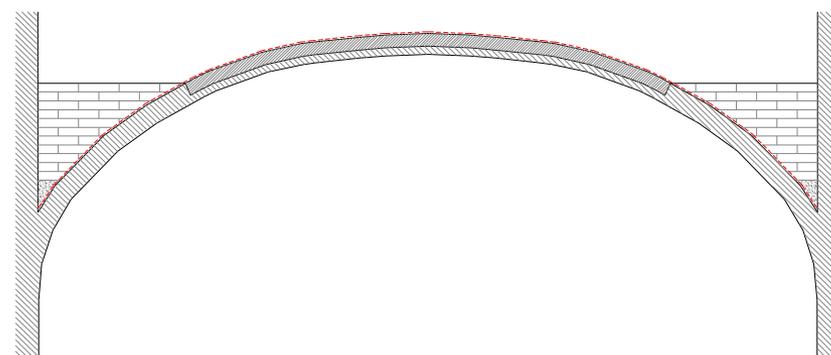
- 1) Inserimento di coppia di tiranti inox f 20 mm
- 2) Ancoraggio su piastra saldata su trave con bullone d' estremità
- 3) Inghisaggio delle barre con resina
- 4) A presa avvenuta, lieve pretensionamento della coppia di tiranti



PALAZZO DUCALE DI URBINO



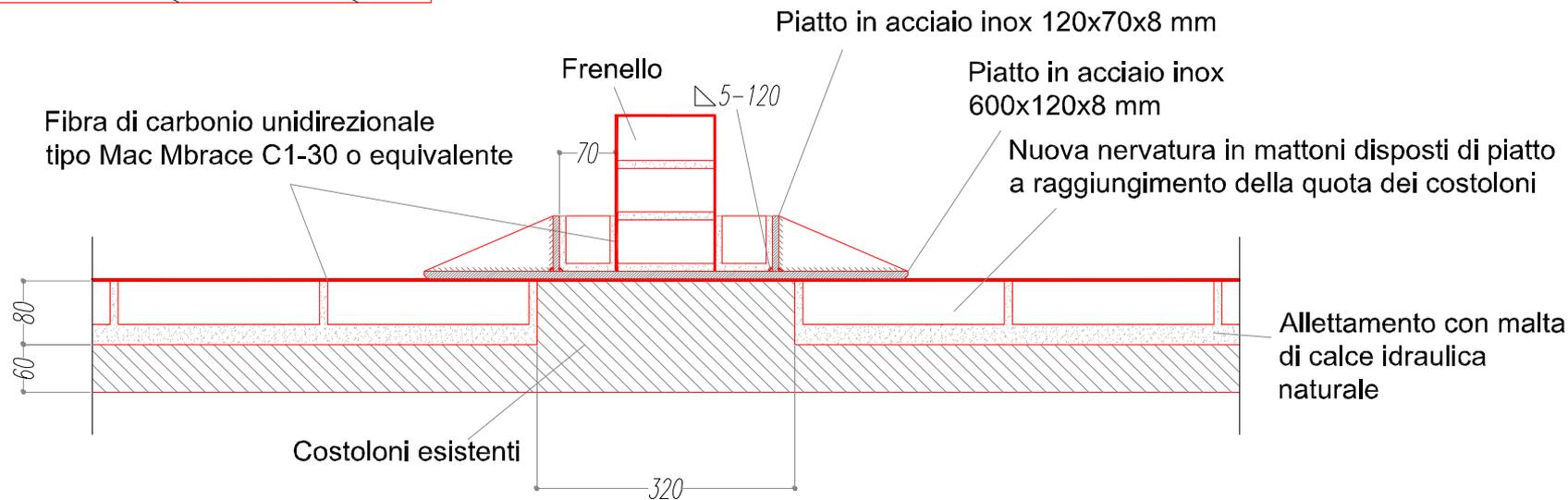
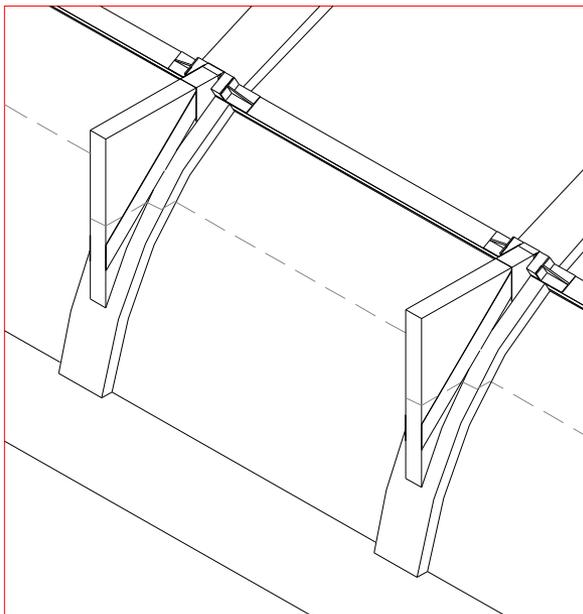
- ❑ sostituzione dei frenelli in foglio (spessore 5 cm) con frenelli in mattoni pieni a una testa (spessore 16 cm).
- ❑ incollaggio ai due lati dei frenelli strisce di fibra di carbonio inclinate. In questo modo si può creare una specie di tirante ed il frenello può essere considerato attivo sino alla sua estremità.
- ❑ messa in opera di nervature trasversali collegate all'estremità dei frenelli esistenti realizzate con file di mattoni disposti di piatto su un letto di malta con un nastro continuo in fibra di carbonio incollato superiormente



sezione A-A
scala 1:20

PALAZZO DUCALE DI URBINO

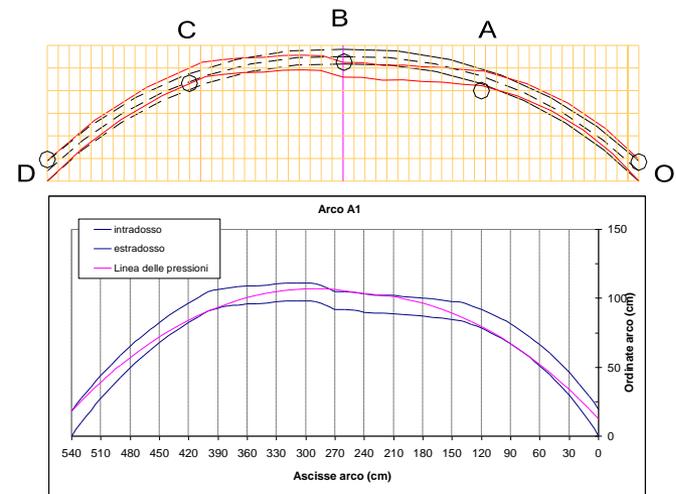
Interventi su nervature e frenelli



E' possibile il ricorso a tecniche di **placcaggio all'estradosso con fasce di materiale composito FRP**. Il placcaggio all' intradosso con materiali compositi è efficace se associato alla realizzazione di un sottarco, in grado di evitare le spinte a vuoto. La realizzazione di controvolte in calcestruzzo o simili, armate o no, è da evitarsi.



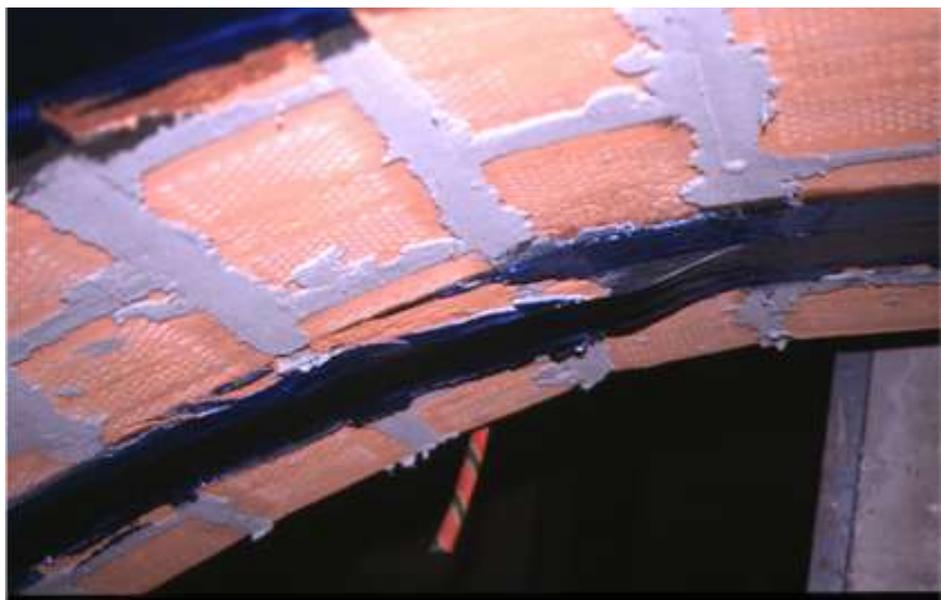
Verona, San Fermo



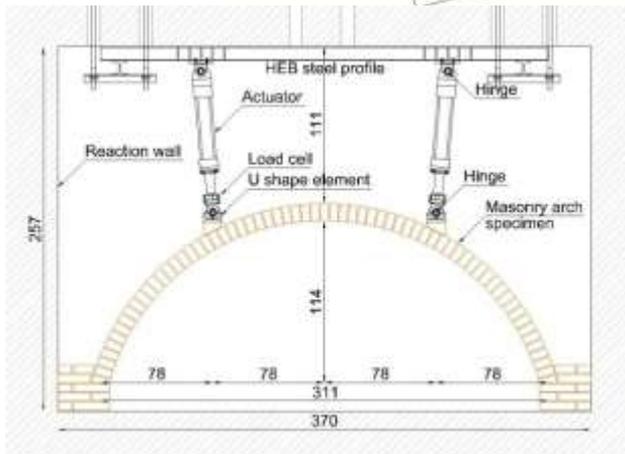
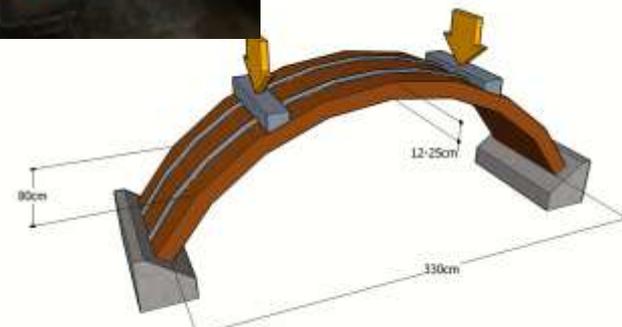


Rinforzo estradossale: rottura a taglio alle imposte.

Rinforzo intradossale: distacco del rinforzo



Test monotoni e ciclici su 8 volte in muratura, non rinforzate e rinforzate con materiali compositi innovativi: CFRP, SRP, SRG, BTRM



Fibra di Acciaio e Rete in Basalto con matrice a base di calce idraulica naturale rappresentano un sistema di rinforzo alternativo alle tradizionali tecniche e FRP

Risultati

	F_{max}	δ_{max}	F_{max} / F_{VM}	$\delta_{max} / \delta_{VM}$
	[kN]	[mm]	-	-
VM	1,40	16,79	-	-
VM-SRG	13,55	50,12	9,70	2,99
VC_SRG	15,45	70,06	11,06	4,17
VC_BTRM	12,08	24,14	8,65	1,44
VC_SRP	24,82	26,87	17,78	1,60
VC_CFRP	12,93	30,22	9,26	1,80

Ancoraggi prevengono il taglio alla base



BTRM – rottura per blocchi rigidi, collasso fragile (4 cerniere)

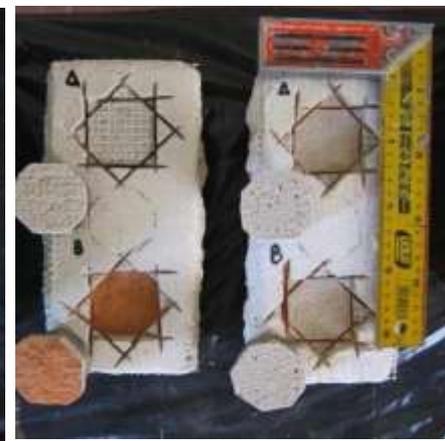
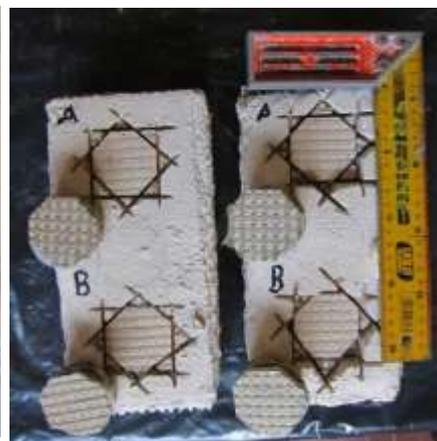
SRG – rottura a taglio con lesioni diffuse sul rinforzo



CFRP – rottura a taglio degli ancoraggi e scorrimento alla base

Risultati

Campagna di test preliminari: pull-off e shear per la caratterizzazione dei sistemi di rinforzo innovativi



VILLA BRUNI IN MEGLIADINO SAN VITALE (Padova)

Volta a botte in muratura di mattoni dello spessore di una testa (circa 13 cm) molto ribassata



VILLA BRUNI IN MEGLIADINO SAN VITALE (Padova)

Applicazione di tessuti in
materiale composito

Estradosso

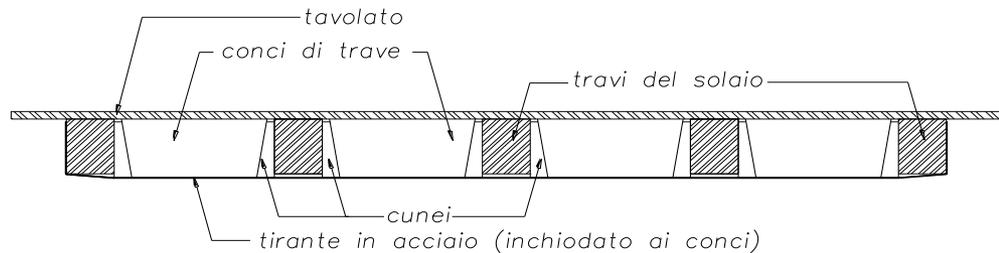
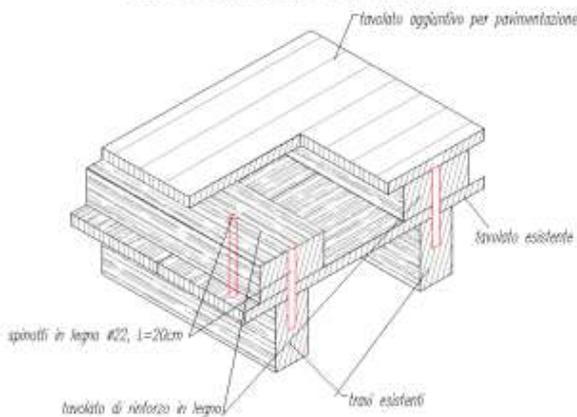


Intradosso

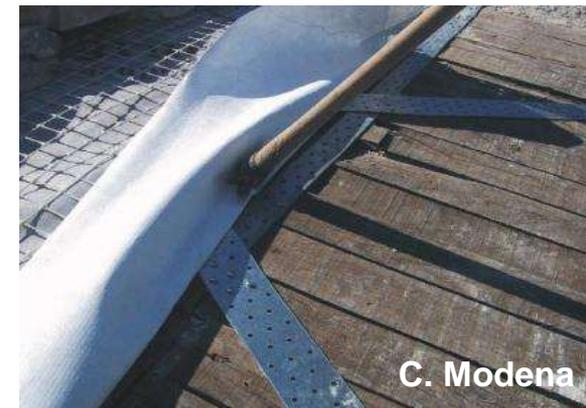
Ruolo dei solai nel comportamento sismico: trasferire e ripartire le azioni orizzontali e costituire un vincolo per le pareti. La trasformazione di solai flessibili in solai rigidi comporta una diversa distribuzione delle azioni agenti sulle pareti, che può rivelarsi **favorevole o sfavorevole** in funzione della geometria della struttura. Di ciò si dovrà adeguatamente tenere conto nella modellazione e nelle analisi.

- ❑ irrigidimenti nel piano e flessionali con tecnica a ‘secco’
- ❑ irrigidimenti estradossali con tavolati, applicazioni bandelle, FRP
- ❑ interventi intradossali e controventature con tiranti metallici

Vista assonometrica del rinforzo

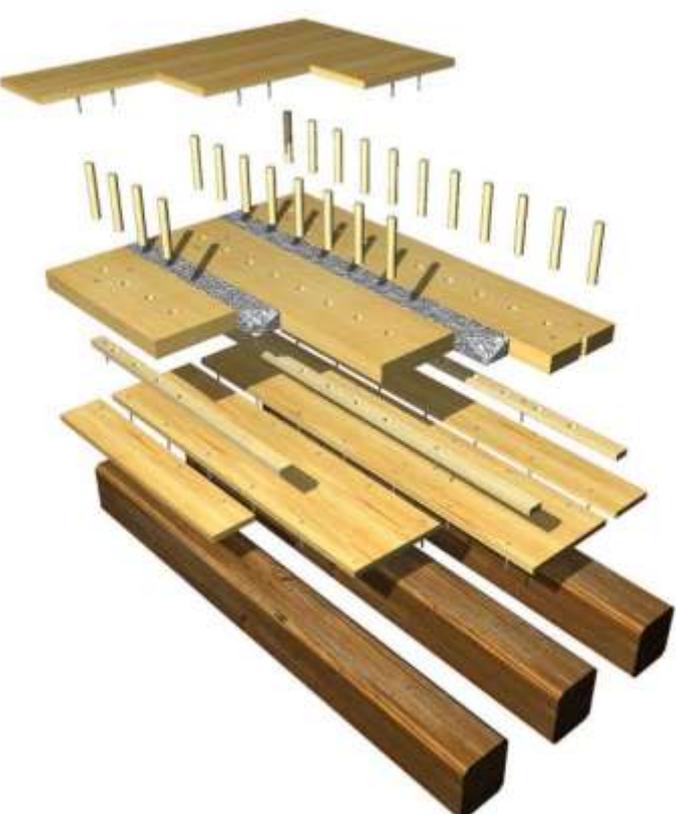


Inserimento concii lignei e tiranti metallici all' intradosso

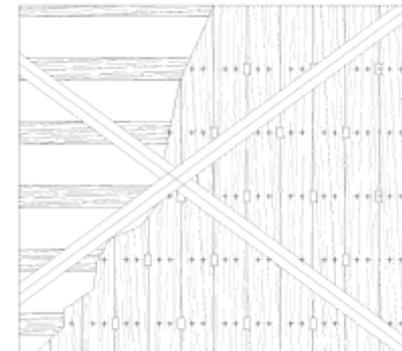
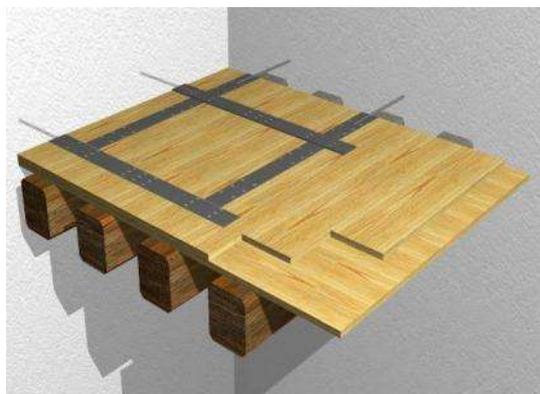


Applicazione bandelle all' estradosso

Se risulta necessario un consolidamento statico del solaio per le **azioni flessionali**, è possibile, con le **tecniche legno-legno**, conseguire contemporaneamente **l'irrigidimento nel piano e fuori dal piano**, posando sul tavolato esistente, longitudinalmente rispetto alle travi dell'orditura, dei nuovi tavoloni continui, resi collaboranti alle travi mediante perni anche di legno, irrigiditi nel piano del solaio con l'applicazione di un secondo tavolato di finitura.



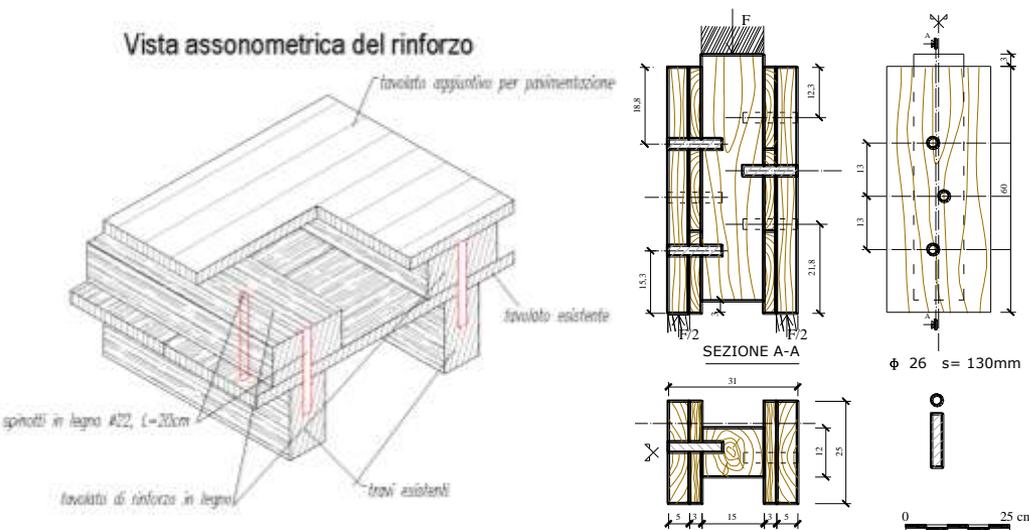
- ❑ Irrigidimenti nel piano e flessionali con tecniche a ‘secco’
- ❑ Irrigidimenti estradossali mediante applicazione di tavolati, bandelle metalliche, FRP
- ❑ Interventi intradossali e controventature con tiranti metallici



A. Borri

Applicazione FRP all' estradosso

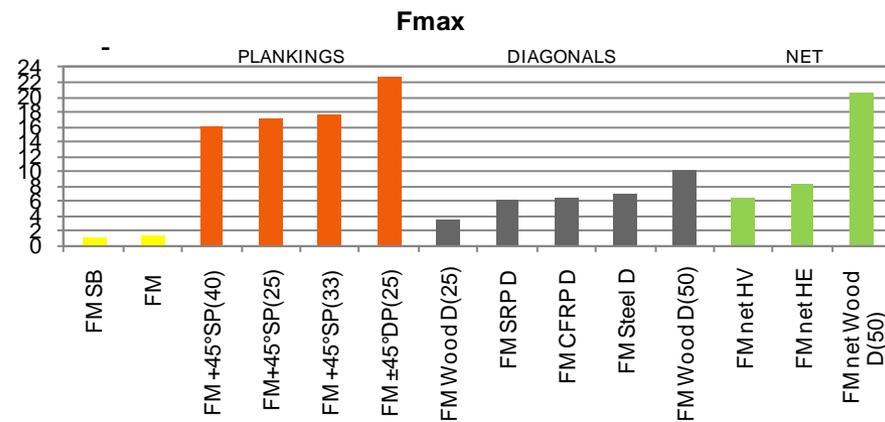
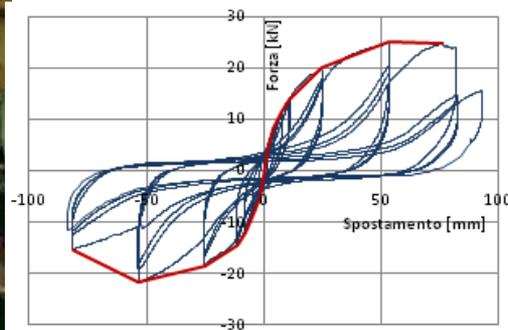
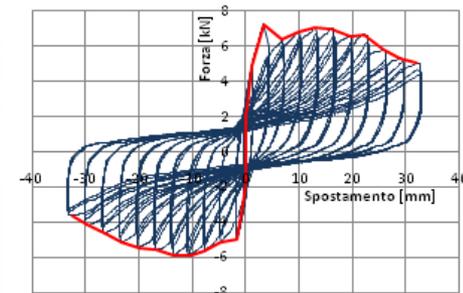
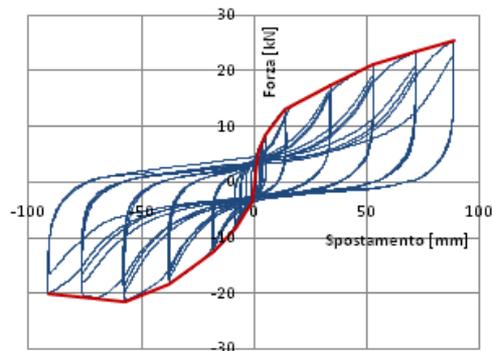
Irrigidimenti a ‘secco’



Test monotoni e ciclici su solai in legno, rinforzati e non rinforzati



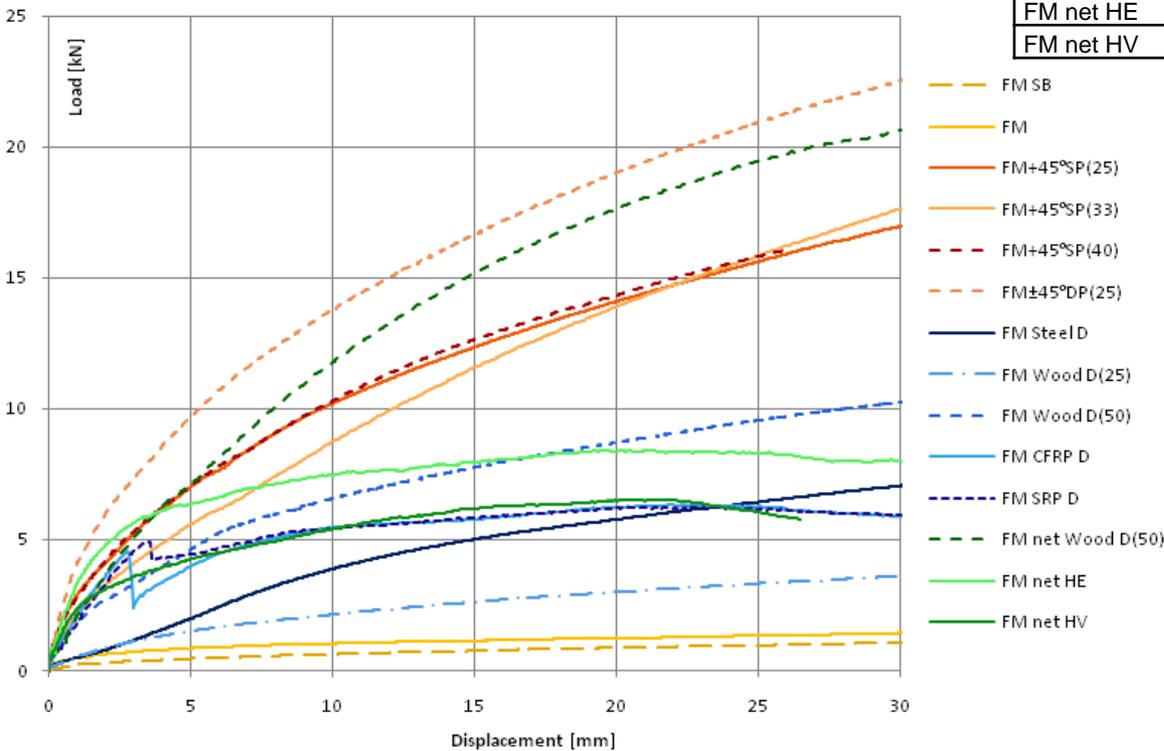
Risultati

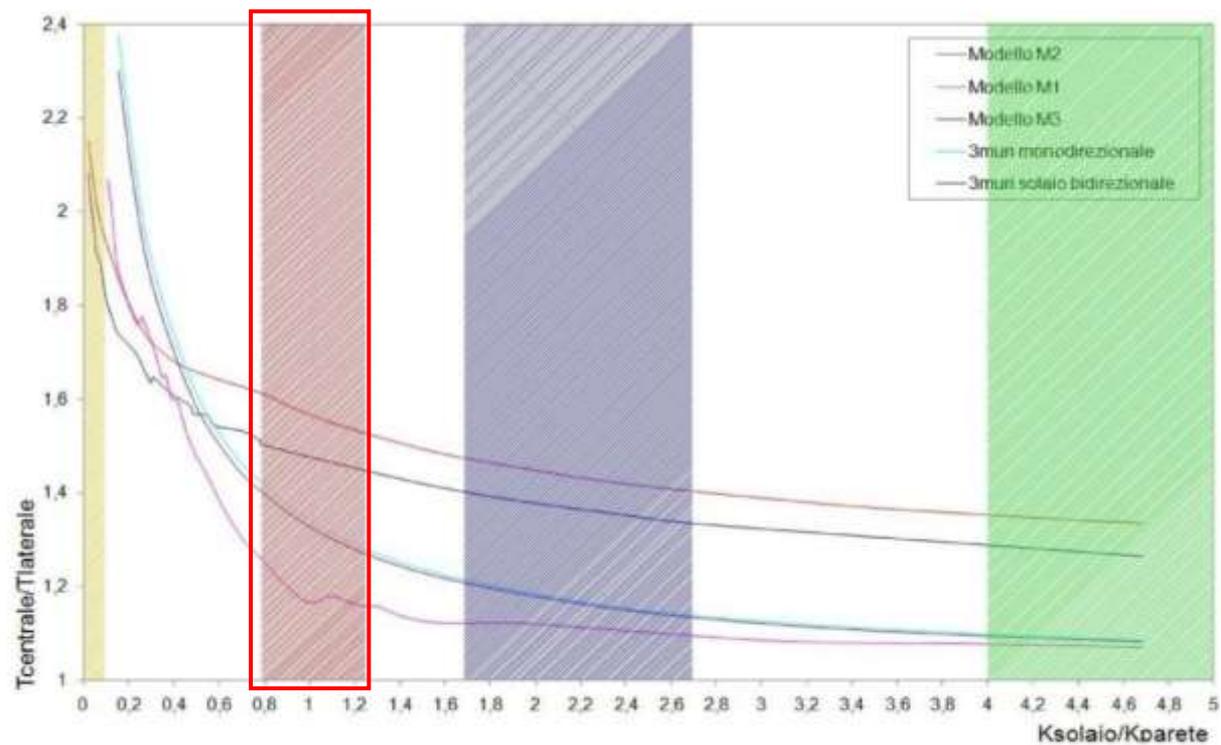


Risultati

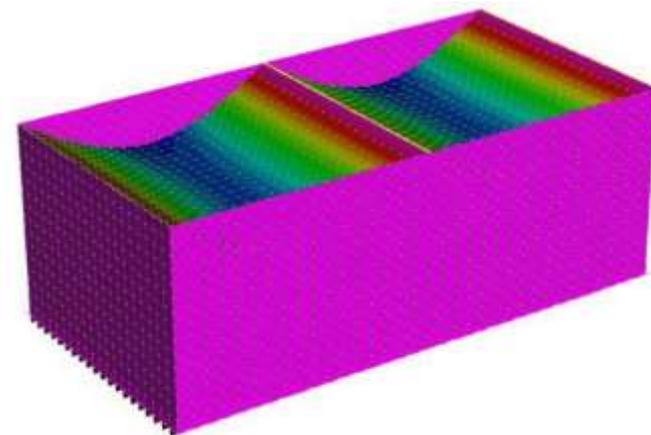
L'intervento con il doppio tavolato risulta il più efficace, seguito dal tavolato singolo con diagonali in legno.

Sample	Fmax [kN]	Vmax [mm]	Fy [kN]	Vy [mm]
FM SB	1,047	30	0,774	8,606
FM	1,435	30	0,901	2,668
FM+45° SP(25)	16,961	30	14,031	10,870
FM+45° SP(33)	17,63	30	17,86	21,162
FM+45° SP(40)	16,080	30	12,610	9,190
FM±45° DP(25)	22,590	30	16,589	8,758
FM Steel D	7,045	30	6,118	14,928
FM Wood D(25)	3,604	30	2,913	10,077
FM Wood D(50)	10,248	30	7,406	8,335
FM CFRP D	6,336	22,02	3,157	1,5932
FM SRP D	6,218	22,76	3,737	2,283
FM net Wood D(50)	20,616	30	17,621	14,033
FM net HE	8,409	24,88	4,985	1,59
FM net HV	6,534	24,69	3,197	1,55



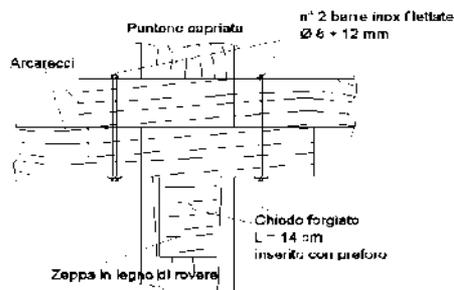
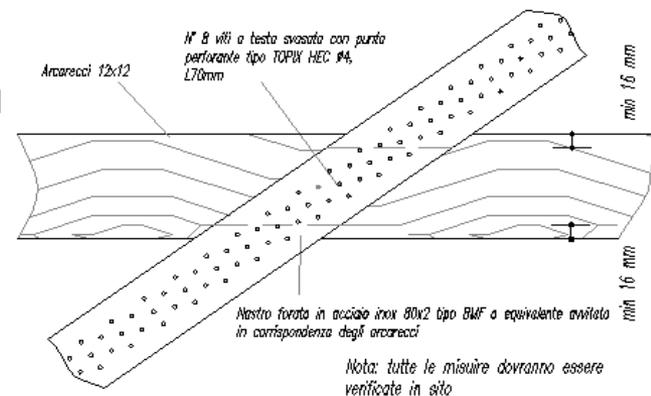
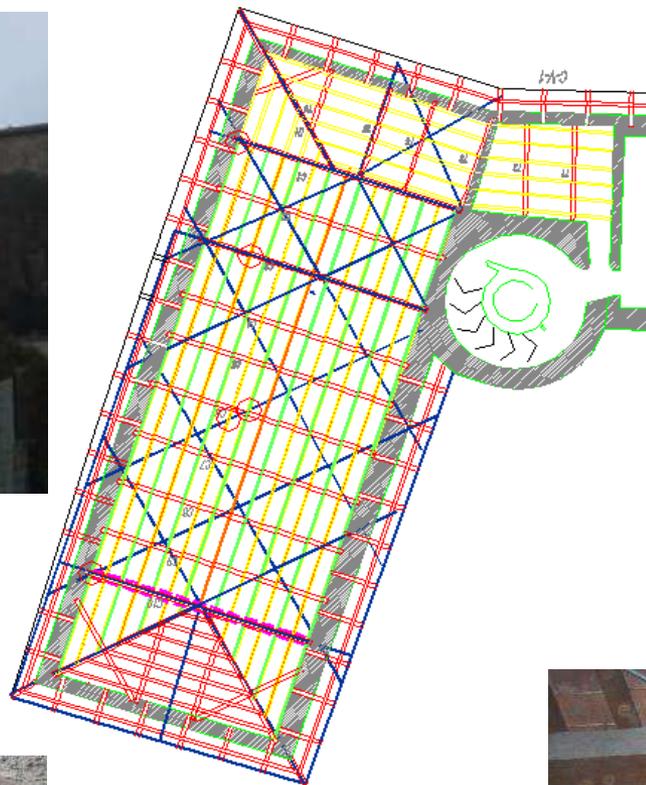


SOLAI IN LEGNO
IRRIGIDIMENTO CON DOPPIO TAVOLATO
SOLAI IN LATEROCEMENTO
SOLAI IN C.A.

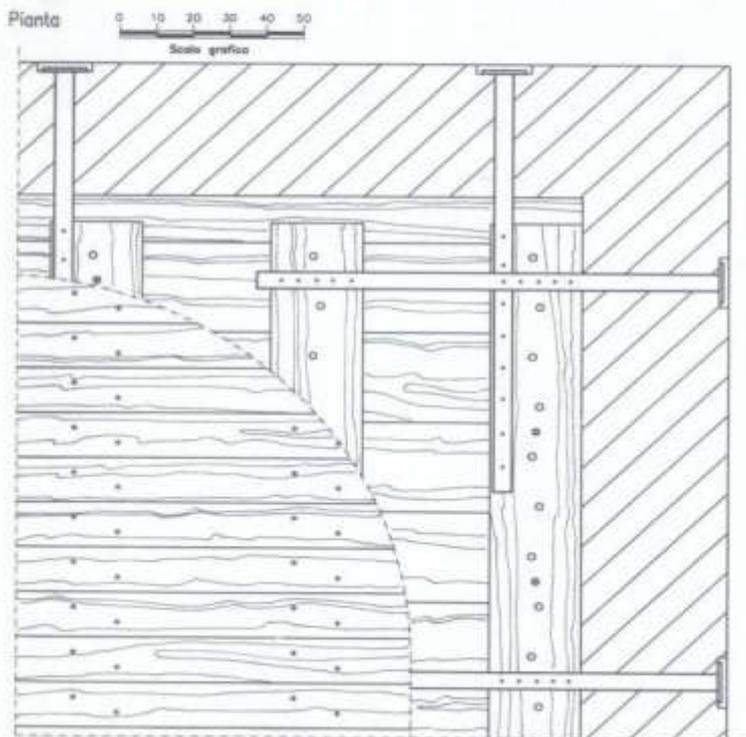
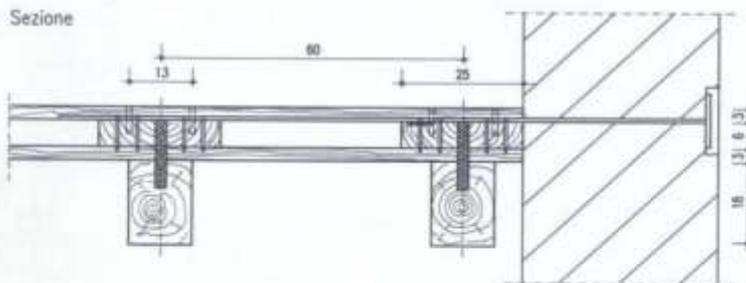




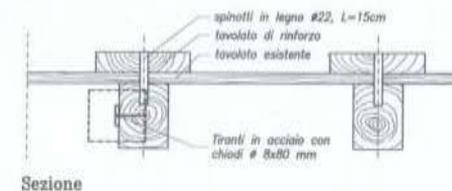
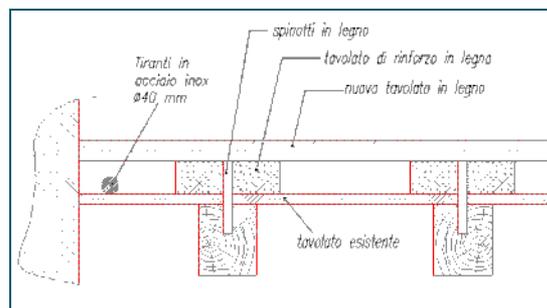
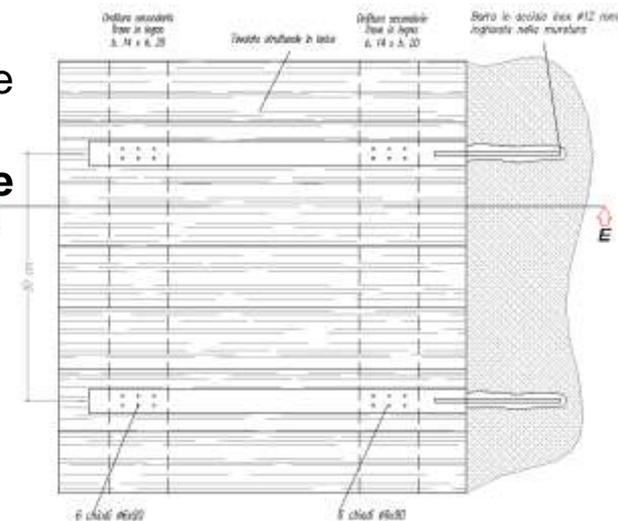
PALAZZO DUCALE,
URBINO



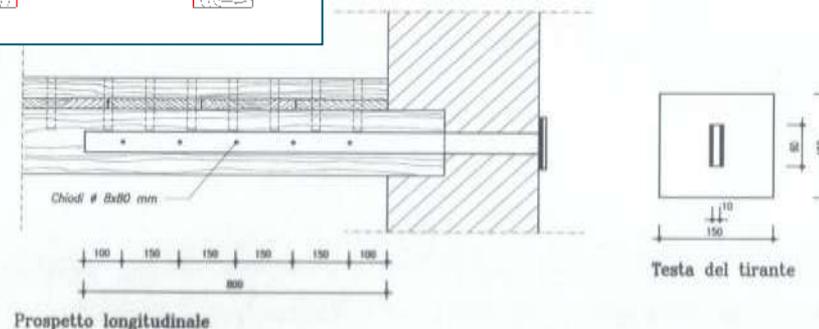
I solai vengono poi **ancorati** alle pareti per **evitare lo sfilamento** delle travi, e per svolgere un'azione di **distribuzione** delle forze orizzontali e di contenimento delle pareti. I collegamenti possono essere effettuati in **posizioni puntuali**.



Soluzione con tiranti all'interno della "soletta" in legno



Sezione



Prospecto longitudinale

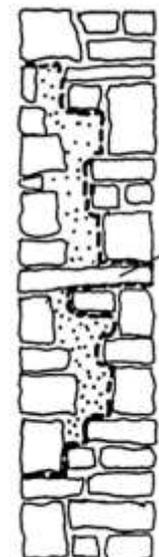
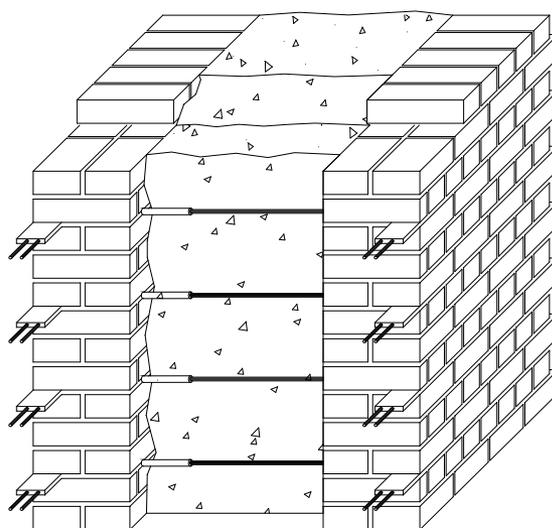
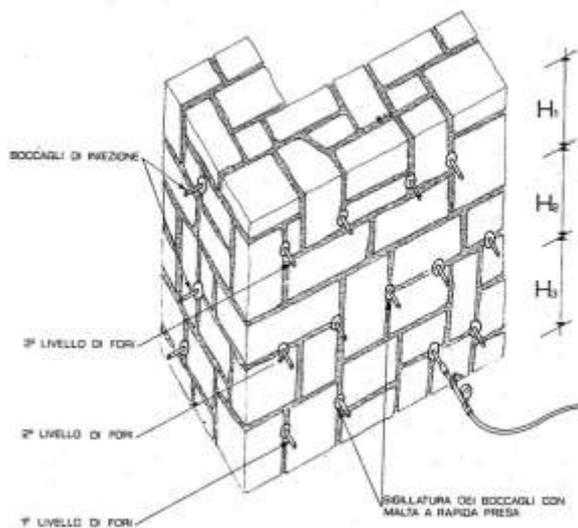
- ❑ scuci-cuci
- ❑ iniezioni di miscele
- ❑ ristilatura dei giunti
- ❑ ristilatura armata
- ❑ inserimento diatoni
- ❑ inserimento tirantini
- ❑ intonaci armati
- ❑ placcaggi con FRP
- ❑ tiranti verticali post-tesi



Mirati al **risanamento** e **riparazione** di murature deteriorate e danneggiate ed al **miglioramento** delle proprietà meccaniche. Da soli non sono pertanto sufficienti, in generale, a ripristinare o a migliorare l'integrità strutturale complessiva della costruzione.

Tipo intervento: dipende dalla tipologia e qualità della muratura.

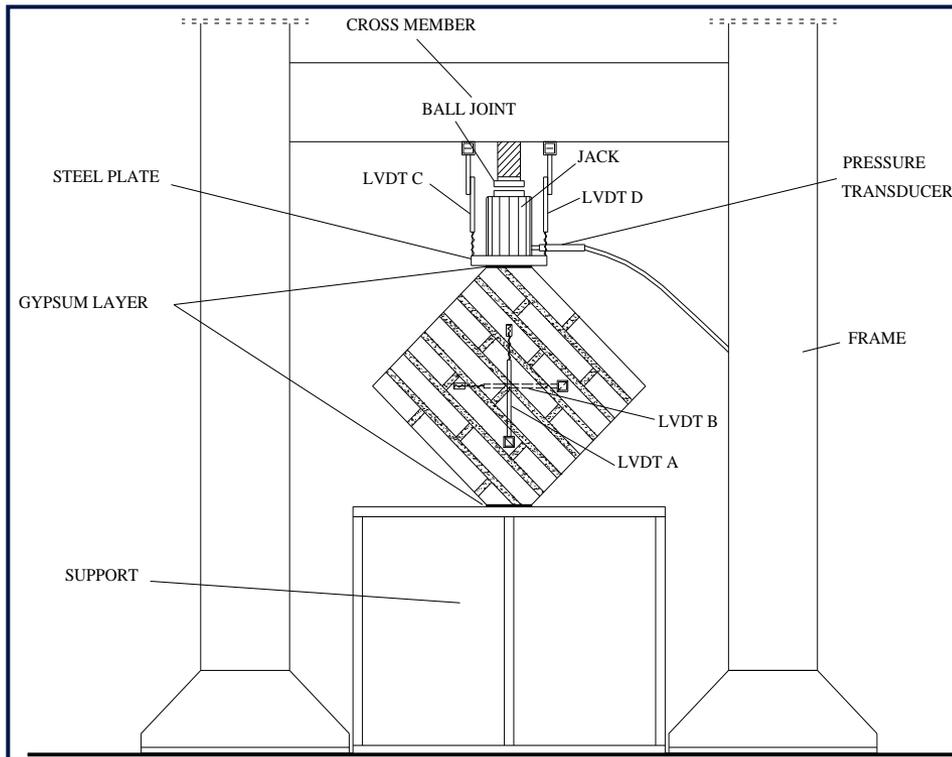
Materiali con caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche analoghe e **compatibili** con quelle dei materiali in opera. L'inserimento di materiali diversi, ed in particolare di elementi in conglomerato cementizio, va operato con **cautela**.



Una tecnica d'intervento che impiega materiali innovativi è l'utilizzo di fasce in fibra di carbonio applicate alla superficie muraria.

La realizzazione di prove diagonali permette di investigare ed approfondire la variazione di resistenza meccanica a sollecitazioni di taglio.

Sono state impiegate diverse configurazioni al fine di valutare l'influenza di diversi parametri.



(Valluzzi et al., 2002)

Studi per l'aggiornamento delle formulazioni per la resistenza a taglio di pannelli rinforzati con compositi in FRP.

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{fw} \cdot f_{fd}}{\rho_f}$$

CNR-DT200

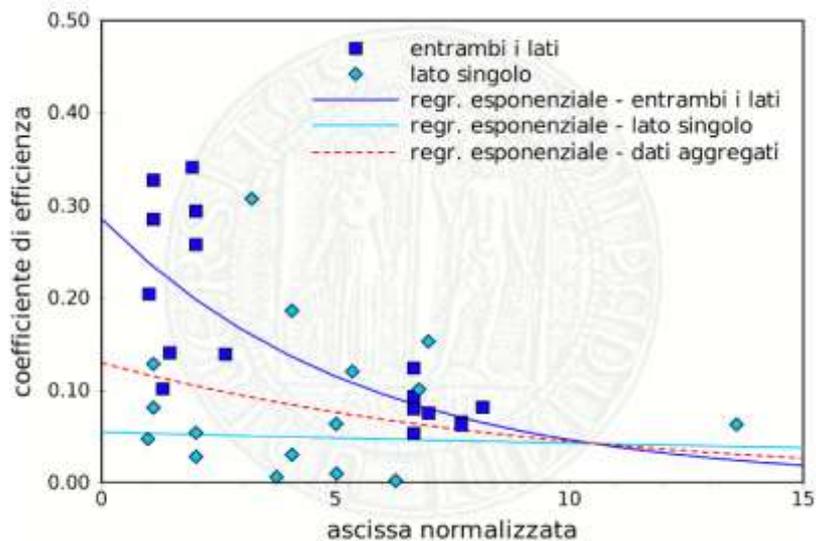
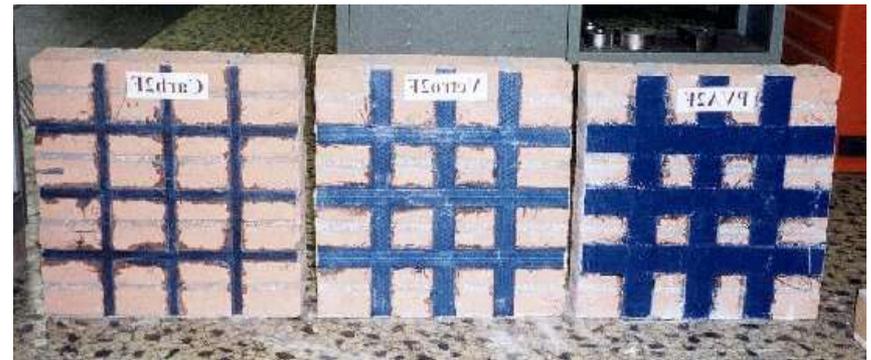
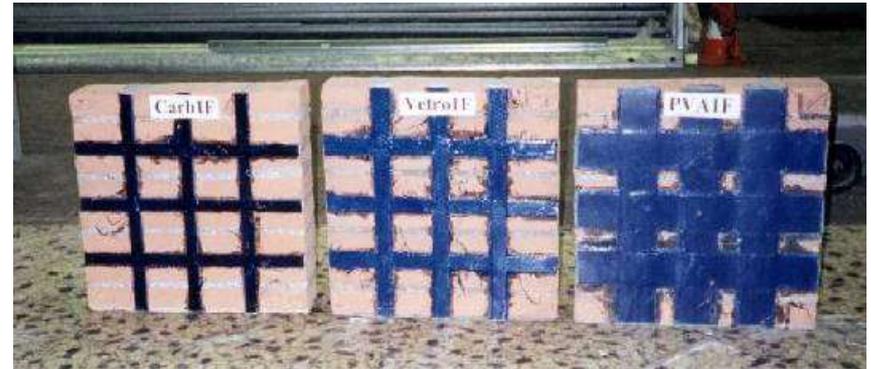
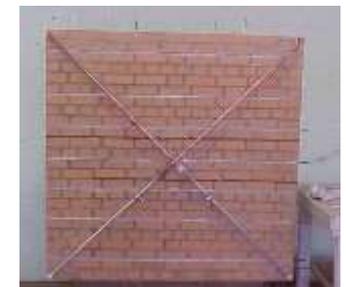


Figura 3.8: Curve di efficienza – tutte le disposizioni del rinforzo



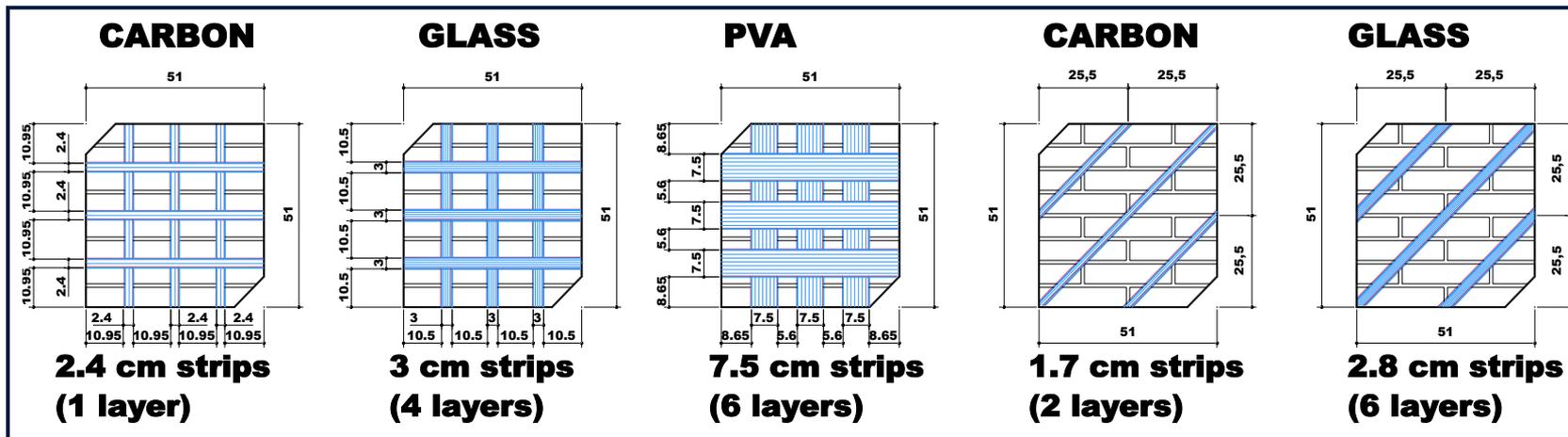
Valluzzi (2001)



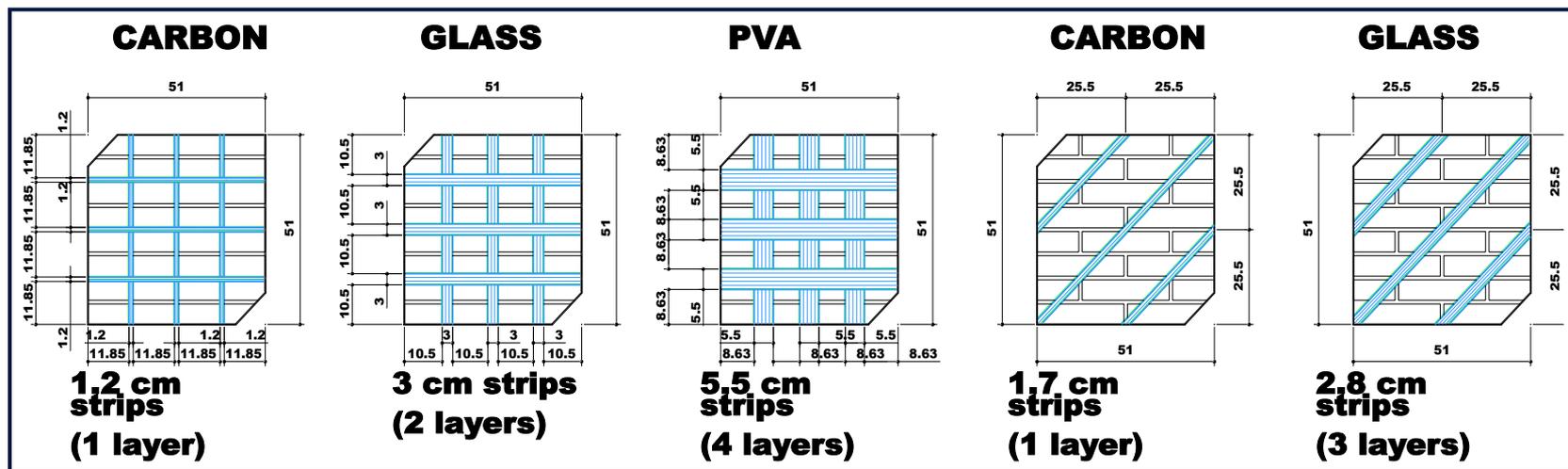
Grando (2002)

(Valluzzi et al., 2002)

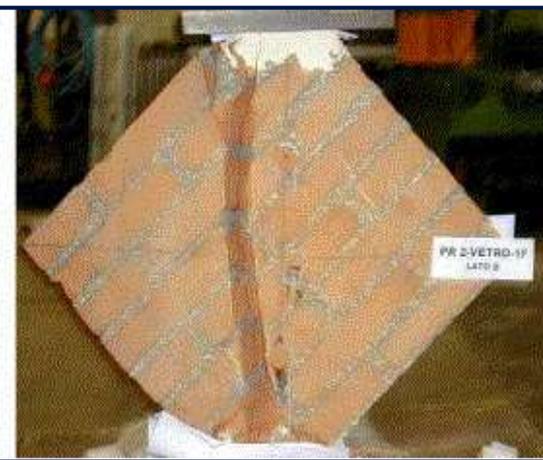
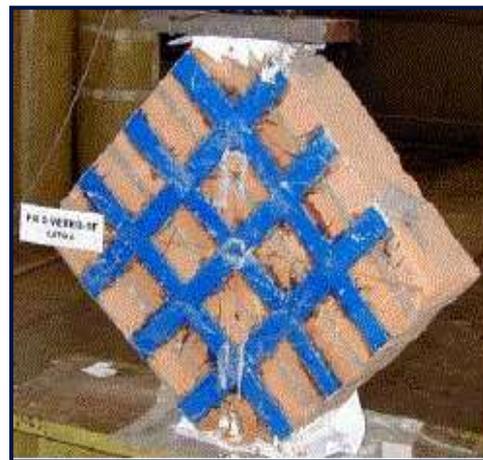
Panelli Rinforzati su un lato (configurazione ortogonale e diagonale)



Panelli Rinforzati su entrambi i lati (configurazione ortogonale e diagonale)



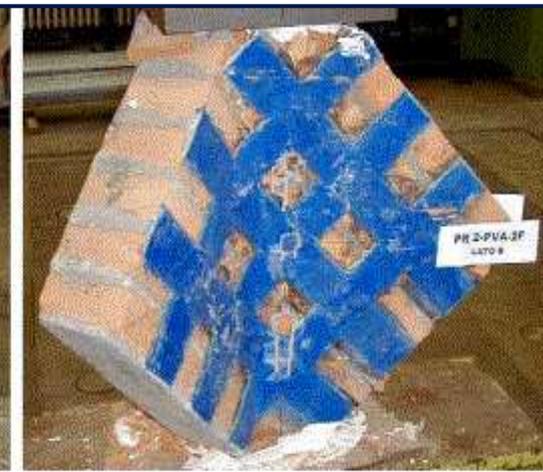
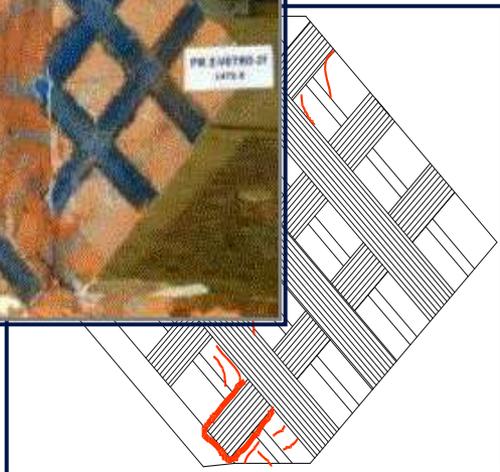
(Valluzzi et al., 2002)



Pannelli rinforzati su un lato



Pannelli rinforzati su due lati



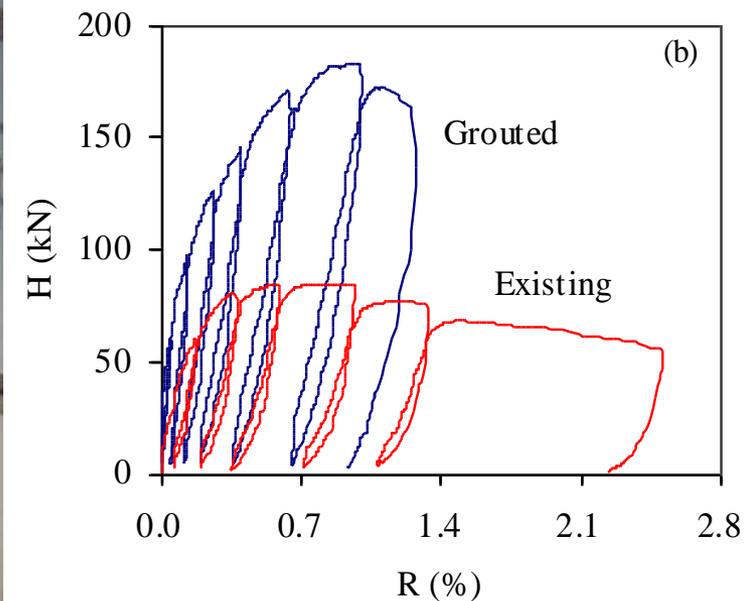
Penetrazione di miscele fluide attraverso fori praticati in superficie:

- ❑ risarcimento delle lesioni
- ❑ riempimento dei vuoti
- ❑ collegamento dei componenti sciolti
- ❑ protezione dal degrado fisico



Iniezioni di miscela all' interno di una volta





**Prova sperimentale in situ
tipo Sheppard**

Le iniezioni risultano essere efficaci per il rinforzo/riparazione sia a compressione che a taglio

1) Preparazione della parete

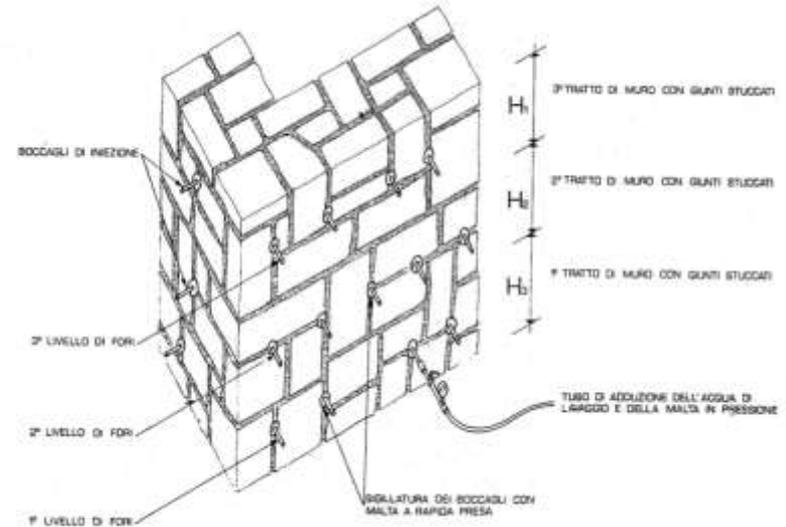
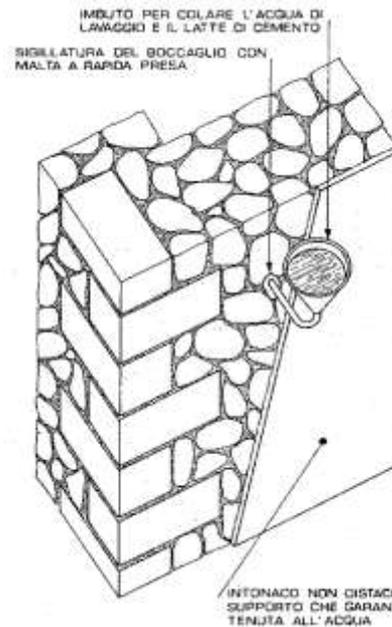
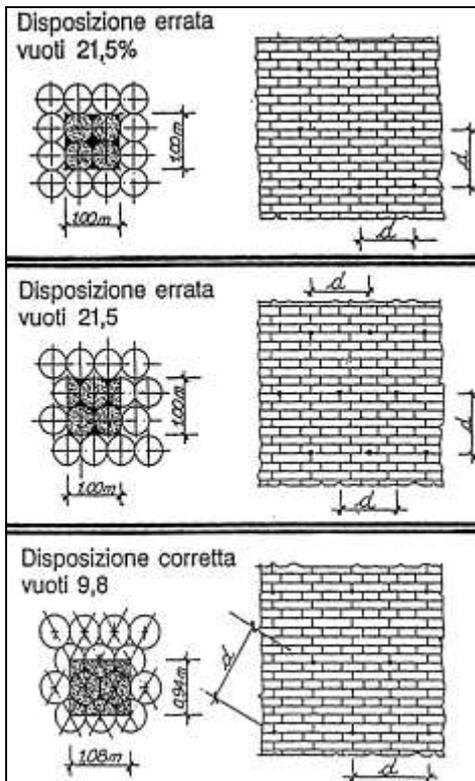
- ❑ Rimozione eventuale intonaco
- ❑ Lavaggio della superficie muraria con acqua o con getti di vapore, pulizia meccanica abrasiva, impacchi
- ❑ Stilatura dei giunti e delle lesioni

2) Perforazione ed inserimento cannule (4/10 mq)

3) Lavaggio con acqua o aria

- ❑ Con acqua o aria per rimuovere eventuali impurità
- ❑ Con acqua per imbibire la parete ed evitare segregazione della miscela

4) Iniezione per gravità o per pressione



Torre campanaria di S. Giustina (Padova, XIII-XVII sec.)

- iniezioni
- ricostruzioni locali
- tiranti metallici
- ristilatura armata



Considerazioni di notevole rilevanza, ai fini di una corretta applicazione di iniezioni di miscele leganti:

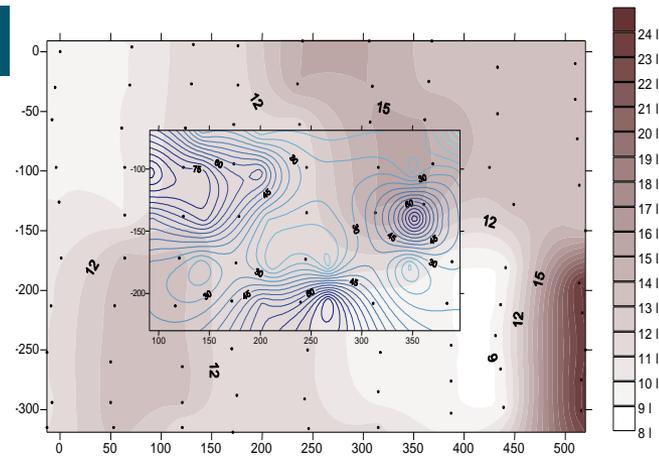
- 1) conoscenza della sezione trasversale della muratura, per valutarne l'iniettabilità;
- 2) scelta corretta della miscela di iniezione: compatibilità chimica – fisica - meccanica;
- 3) scelta del numero dei fori di iniezione, la disposizione di questi, la pressione ed il tempo di iniezione;
- 4) valutazione dell'esito delle iniezioni mediante adeguate tecniche di controllo

CONOSCENZA DELLA MURATURA



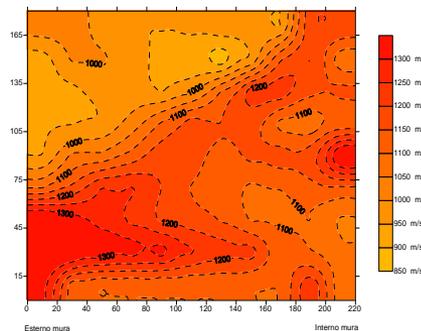
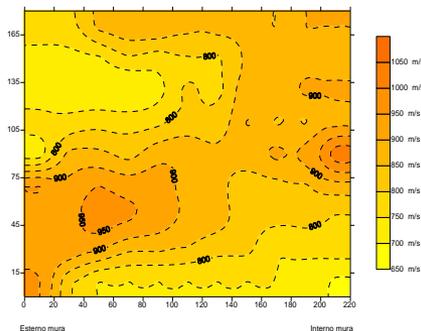
S. Giustina

CONTROLLO IN FASE ESECUTIVA

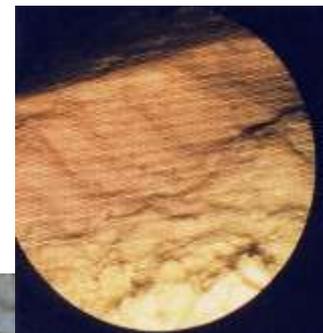


Controllo dei percorsi e delle fuoriuscite di miscela, rilievo delle quantità di miscela

CONTROLLO DELL'EFFICACIA



Cinta muraria di Cittadella (Pd)



Prove non distruttive (prove soniche ed ultrasoniche) e debolmente distruttive (carotaggi, endoscopie, martinetti piatti)

CINTA MURARIA DI CITTADELLA (PADOVA)



INTERVENTI:

- Iniezione consolidante (FenxB)
- Sostruzione muraria

INDAGINI:

- Prove soniche dirette
- Tomografia sezione verticale
- Carotaggi
- Endoscopie

CINTA MURARIA DI CITTADELLA (PADOVA)

PREPARAZIONE DELLA PARETE:

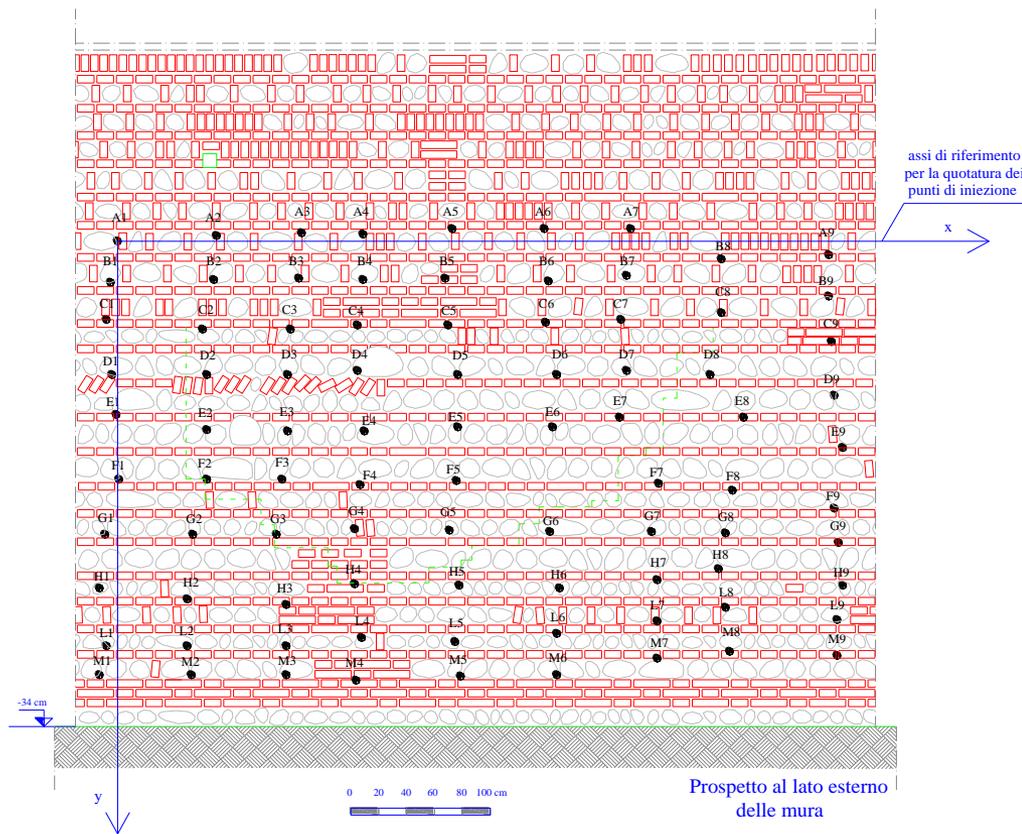
- Lavaggio con acqua
- Rinzafo delle principali fessure



PERFORAZIONE ED INSERIMENTO CANNULE:

- Maglia rettangolare 60x30 cm
- Rilievo delle posizioni

ESECUZIONE



CINTA MURARIA DI CITTADELLA (PADOVA)

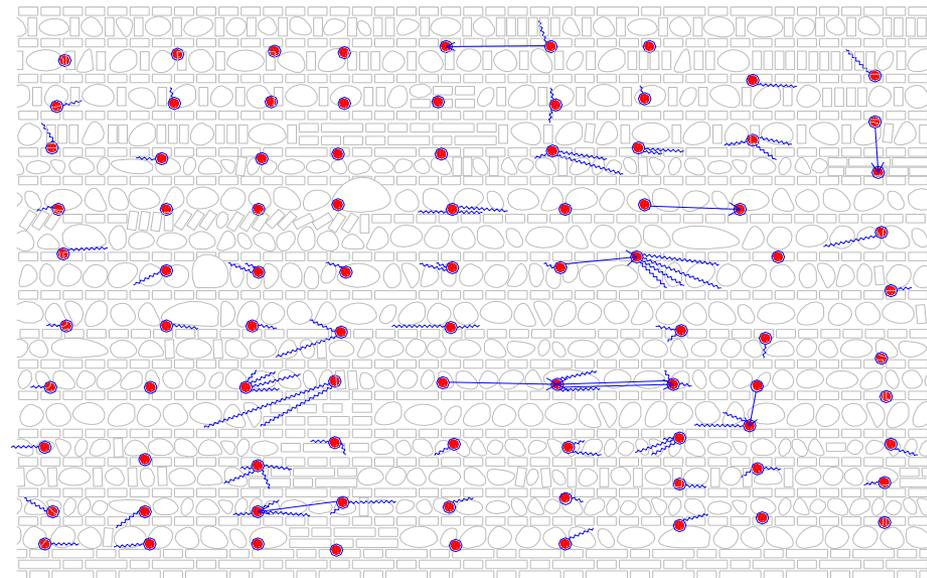
ESECUZIONE



Controllo sui lati non
iniettati

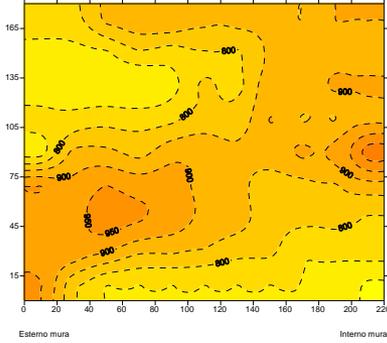
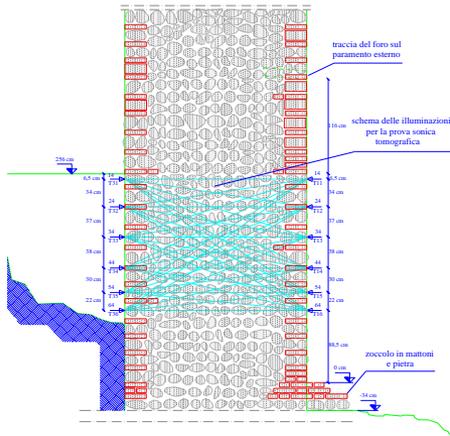


Rilievo delle fuoriuscite e
dei percorsi della miscela

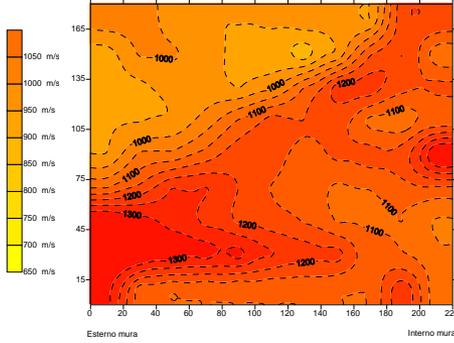


CINTA MURARIA DI CITTADELLA (PADOVA)

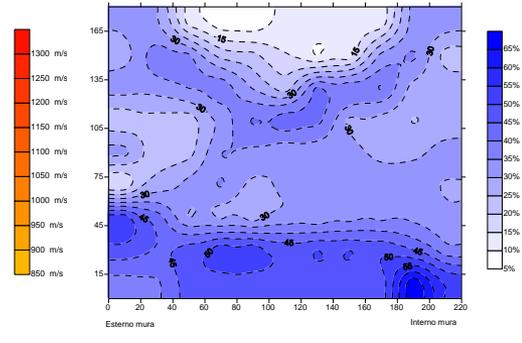
PROVE NDT / MDT



Ante iniez.: 950 m/s



Post iniez.: 1350 m/s



+ 10 ÷ 90%



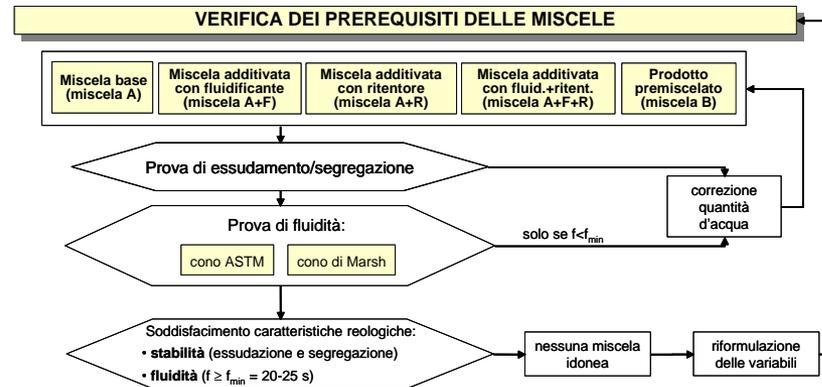
- ❑ Conferma dei dati ottenuti dalla tomografia con quelli delle endoscopie;
- ❑ importanza del controllo incrociato carotaggi/endoscopie (dilavamento materiali)

La validazione dei metodi di consolidamento comprende sia lo studio dei materiali di base che la loro applicazione ed influenza sul comportamento dell'elemento rinforzato

FLUIDITÀ



INIETTABILITÀ



Individuazione delle miscele idonee all'iniezione per caratteristiche intrinseche, composizione e proprietà:

- acqua/legante
- additivi
- fluidità

STABILITÀ

segregazione

essudamento



PROVE SU CILINDRI

Impiego di tre tipi di supporto a diversa granulometria e di un supporto come da riempimento muri

- S1** $d_m=6-9$ mm
- S2** $d_m=18-30$ mm
- S3** $d_m=35-60$ mm
- SM** Scaglie A/B

PROVE DI INIETTABILITÀ

- misura dei tempi di riempimento
- stima della quantità di miscela introdotta
- altezza di risalita

Prove sui cilindri induriti

- ispezione visiva:
 - verifica riempimento dei vuoti
 - diffuse della miscela
 - aderenza al supporto
- prove meccaniche

Individuazione della miscela più idonea per ciascun tipo di granulometria del supporto

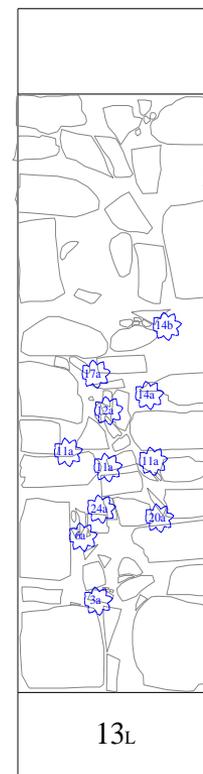
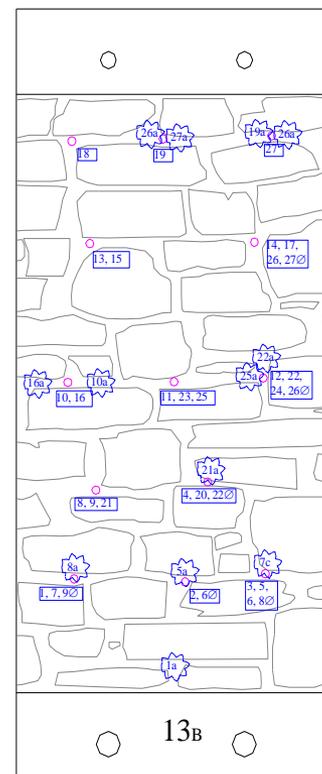
Individuazione della/e miscela/e più idonea/e per l'intervento d'iniezione dei modelli sperimentali

INIETTARE DEI MURI

INIETTARE SU MURI MULTISTRATO



MURI: 1, 5, 6, 8, 12, 13, 14, 16, 17



- posizionamento cannule di controllo sulle sezioni trasversali e sulla facciata opposta
- rilievo dei percorsi della miscela, fuoriuscite, quantità e tempi d'iniezione



MURI: 3, 7, 10, 14, 15, 17



← scarnitura



ristilatura



MURI: 2, 9, 10, 11, 17

barre ripiegate

barre filettate



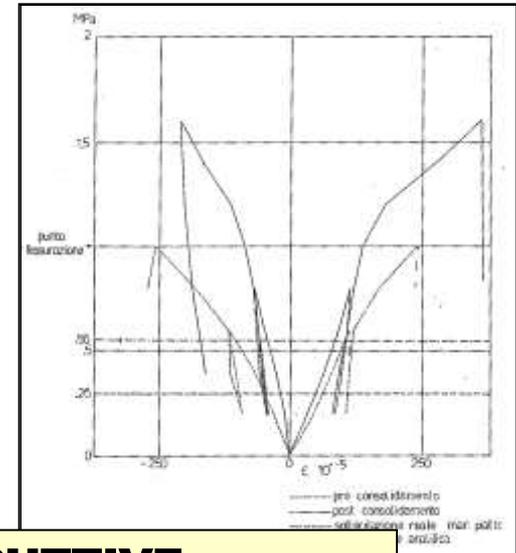
PROVE DEBOLMENTE DISTRUTTIVE

CAROTAGGI

- analisi visiva della carota
- vuoti
- presenza di miscela
- aderenza miscela-materiale originario

MARTINETTI PIATTI DOPPI

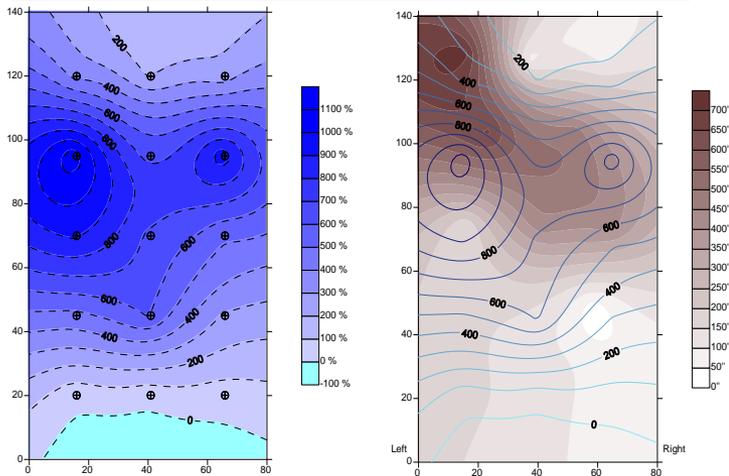
- variazione delle proprietà meccaniche



PROVE NON DISTRUTTIVE

PROVE SONICHE E ULTRASONICHE

- confronto tra le velocità prima e dopo l'intervento
- confronto tra gli incrementi di velocità e le quantità di miscela iniettate e/o i tempi d'iniezione

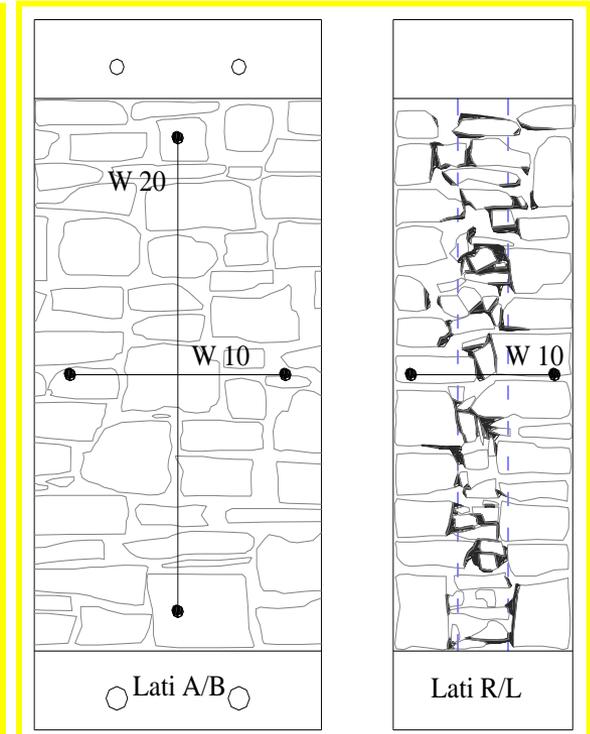


**Variazione percentuale velocità
Confronto con le quantità iniettate**

ENDOSCOPIA

- visione dell'interno della muratura (presenza di vuoti e/o miscela)

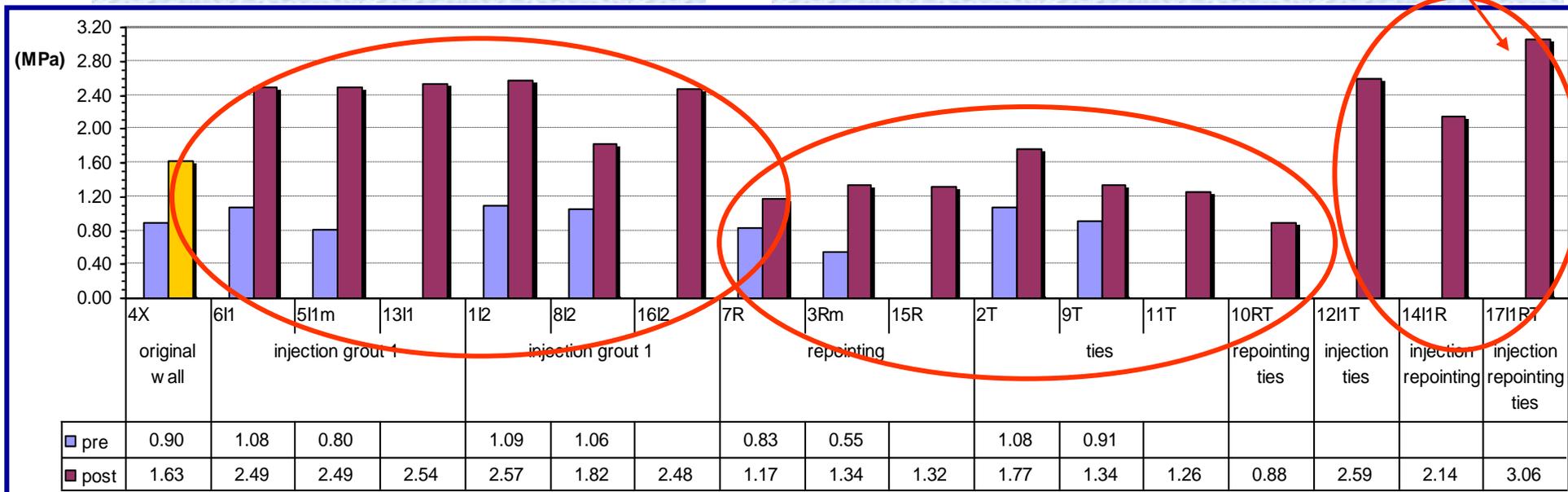
PROVE PRE/POST CONSOLIDAMENTOMURI: 9 MURI
PROVE POST-CONSOLIDAMENTO: 8 MURI



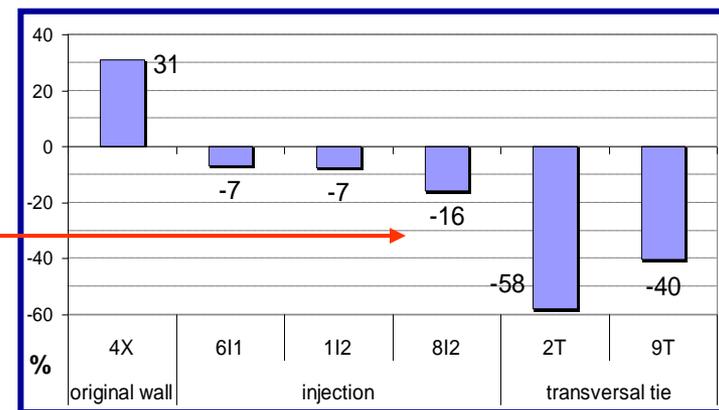
- Prova di compressione ciclica (controllo di carico)
- Rilievo spostamenti sulle 4 facce mediante trasduttori induttivi

Muri ristilati:

Muri con tirantini: "Intervento integrato"

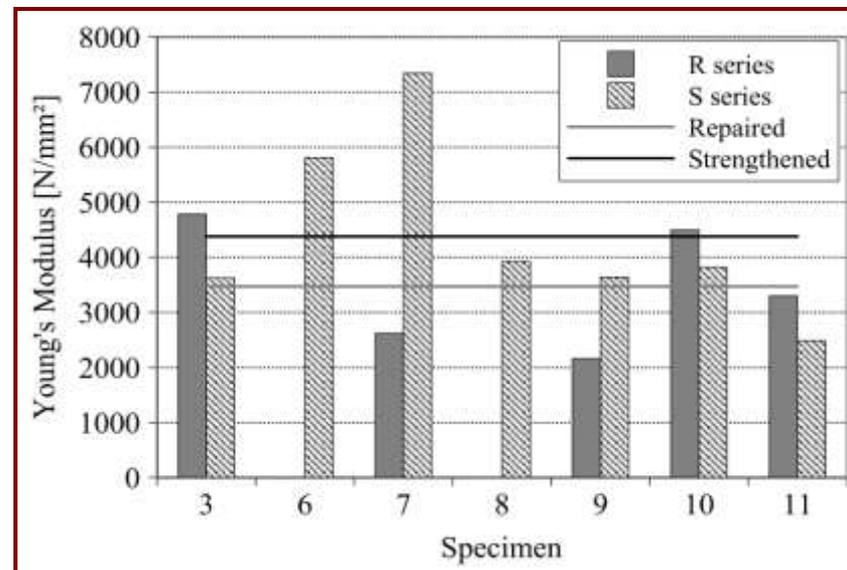
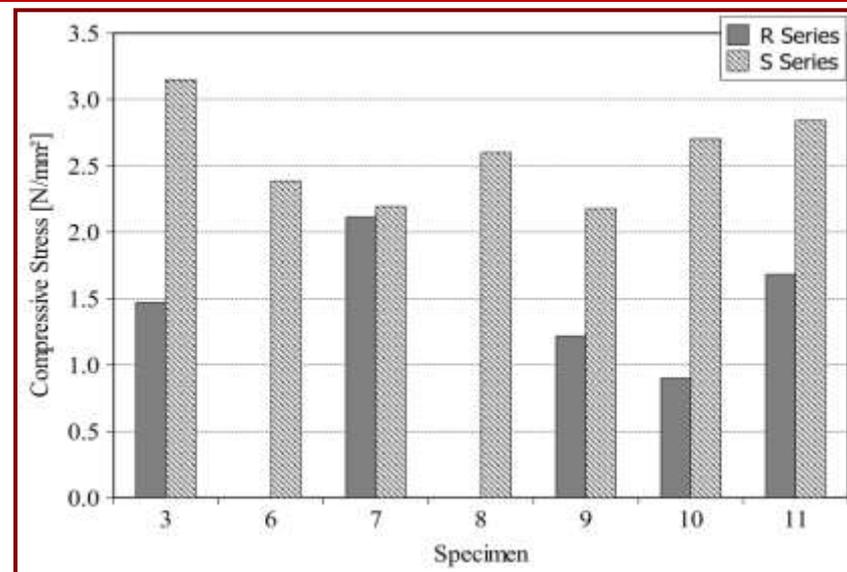


- Ristilatura dei giunti e inserimento di tirantini non aumentano resistenza e rigidità dei muri
- I tirantini danno il massimo contributo nella riduzione della def. trasversale dei muri
- L'iniezione è la tecnica più efficace
- Le tecniche combinate migliorano il comportamento globale





- Le prime fessure si manifestano sulle pietre per entrambe le serie di pannelli;
- I pannelli R iniziano la fessurazione a tensioni minori:
 - $s_{Icr,R} = 1.48 \text{ N/mm}$
 - $s_{Icr,S} = 2.21 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico medio di 4021 N/mm^2



- La miscela ha principalmente manifestato due diverse modalità di rottura:
- Pannelli R: il nucleo mantiene una certa consistenza al termine della prova;
- Pannelli S: si osserva un danno grave ed in alcuni casi la completa rottura del nucleo;
- In entrambe le serie la rottura inizia a presentarsi all'interfaccia;



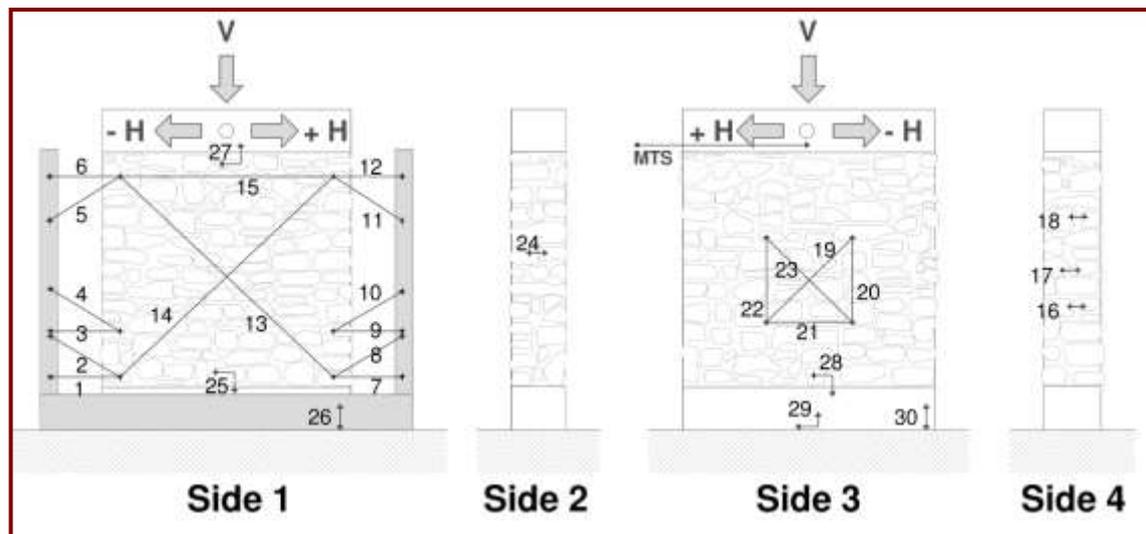
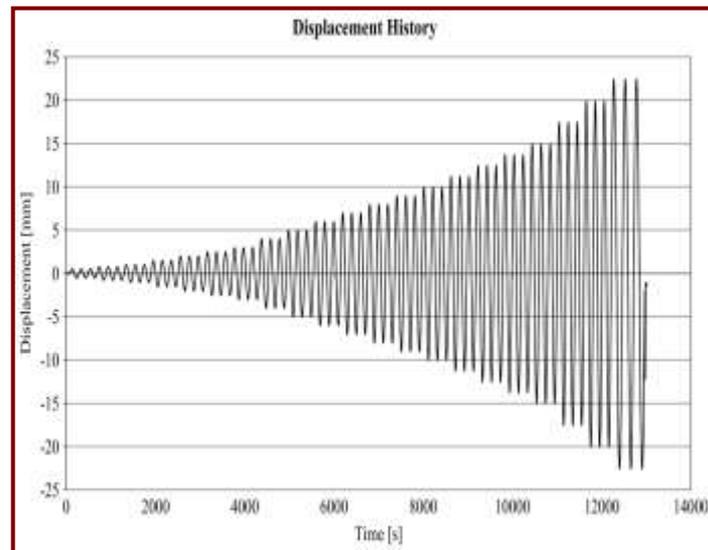
Rottura all'interfaccia

Sei campioni sono stati sottoposti a prova di taglio compressione considerando due diversi livelli di carico verticale;

I campioni hanno due diversi rapporti di snellezza;

Tale fase permette di approfondire il comportamento nel piano di elementi iniettati;

P.	s_0 [N/mm ²]	h/l [-]
R2	1.0	0.8
S2	2.0	0.9
R4	1.0	1.4
S4	1.0	1.4
R5	2.0	1.5
S5	2.0	1.5





S5

$s_0=2\text{N/mm}^2$ $h/l=1.5$



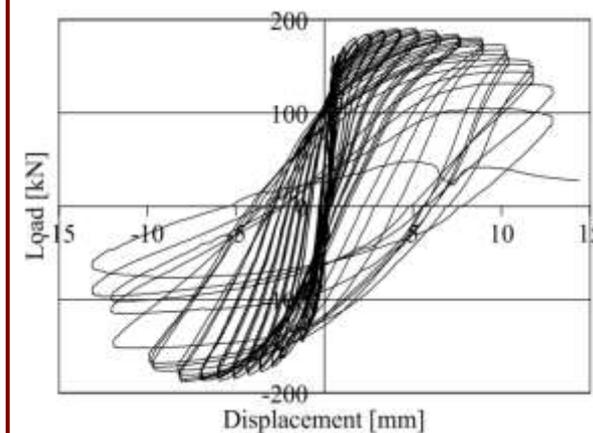
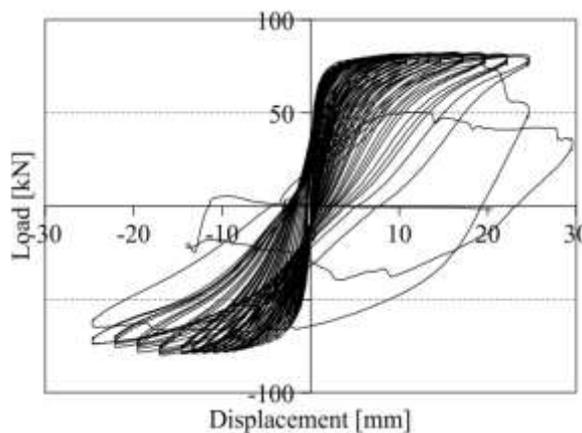
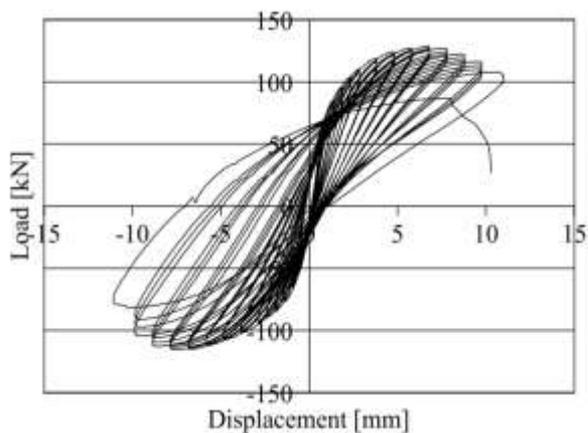
R4

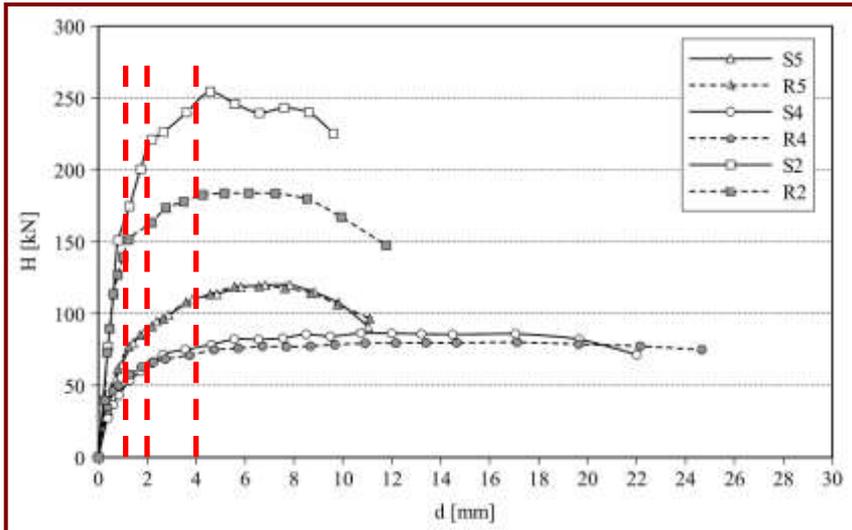
$s_0=1\text{N/mm}^2$ $h/l=1.4$



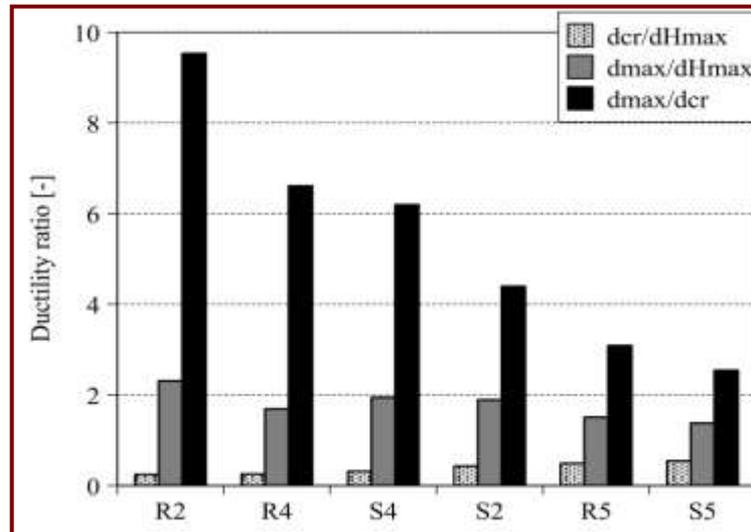
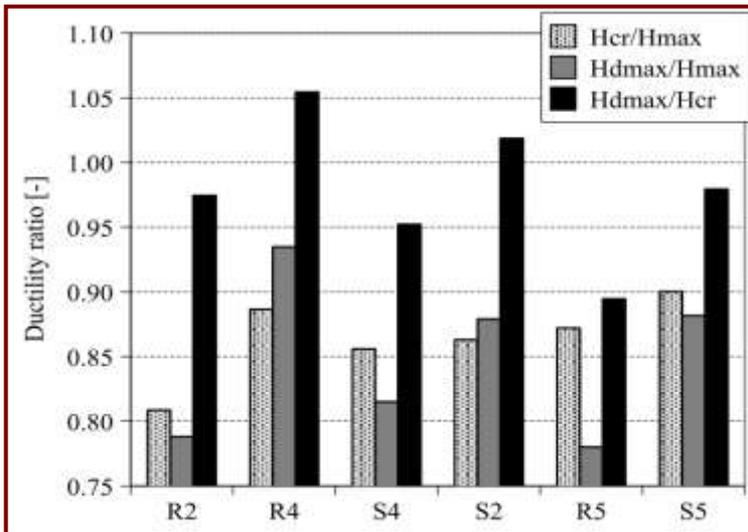
R2

$s_0=1\text{N/mm}^2$ $h/l=0.8$





- Maggiore è σ_0 e più fragile risulta la modalità di rottura, a parità di snellezza;
- Si sono potuti identificare quattro stati limite:
 - Comparsa della prima fessura
 - Limite di fessurazione (relativo al meccanismo di rottura tipico)
 - Raggiungimento della forza laterale massima
 - Raggiungimento dello spostamento laterale massimo



E' stato realizzato un unico muro continuo della lunghezza complessiva di 11.5m. Da tale muro sono stati successivamente ricavati tramite taglio 8 pannelli murari di uguali dimensioni.

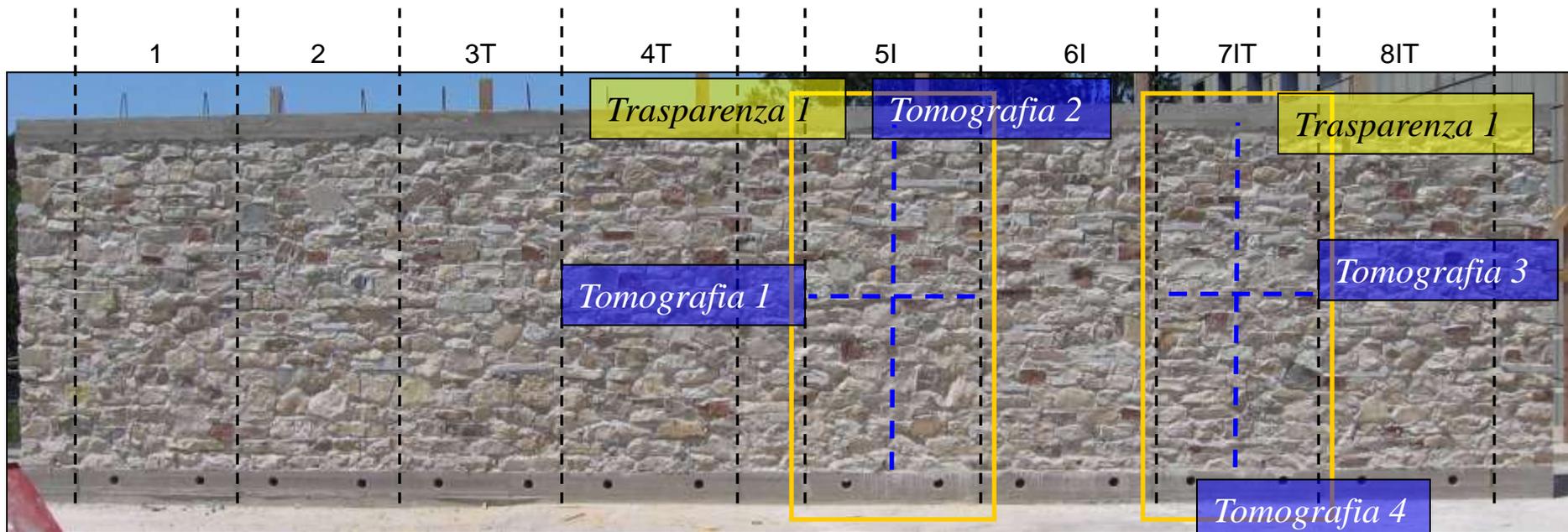


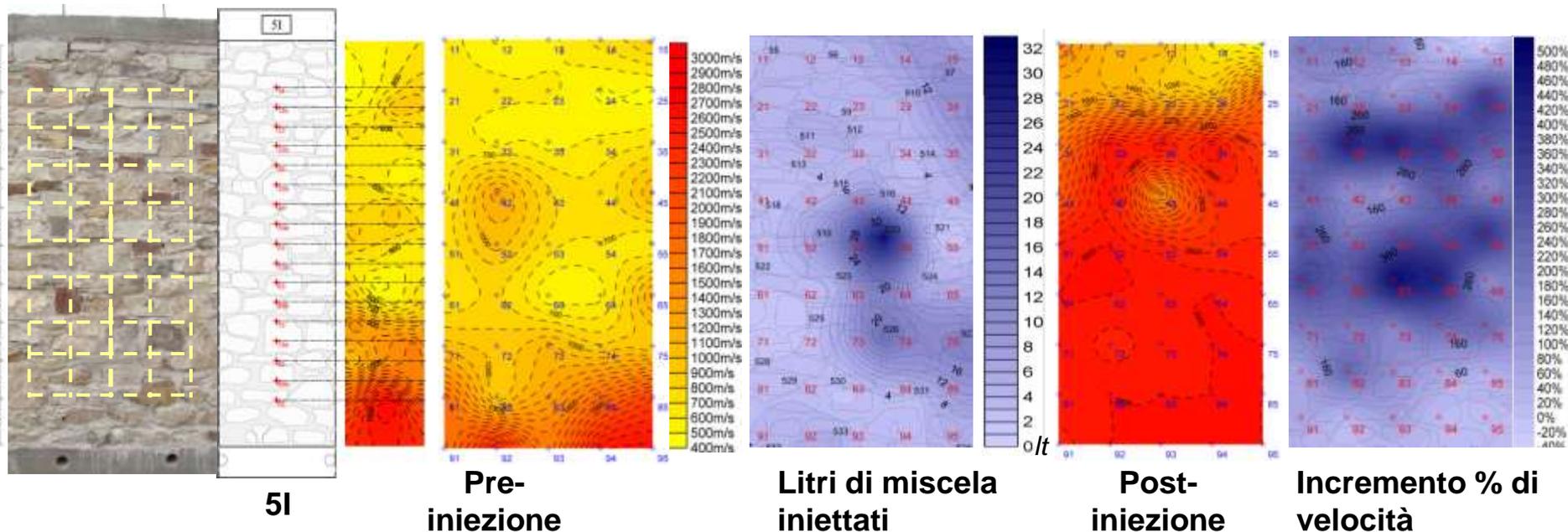
Sono stati dunque ottenuti 8 pannelli che sono stati sottoposti ad intervento secondo le seguenti configurazioni:

- 2 in condizioni originarie;
- 2 consolidati mediante tirantini;
- 2 consolidati mediante iniezioni;
- 2 consolidati mediante tirantini e iniezioni;

In due dei quattro pannelli consolidati con iniezione di miscela si sono condotte prove soniche per valutare l'omogeneità dell'intervento di rinforzo:

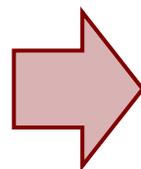
- 4 tomografie soniche;
- 2 trasparenze soniche;



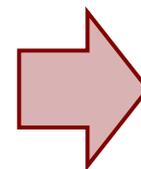


Le velocità più alte sono state rilevate alla base del muro:

- Il primo strato di muro poggia su un piano regolare;
- Effetto dell'assestamento sotto il peso proprio



- Miscela iniettata in modo non uniforme;
- Si riscontrano elevati incrementi percentuali di velocità.



- L'intervento di iniezione ha reso le velocità omogenee nella sezione indagata;
- Soltanto la parte superiore denota una lieve differenza.

Il sistema di prova è rappresentato da un telaio in acciaio che permette di riprodurre le reali condizioni di vincolo normalmente esistenti nel caso di un edificio storico. Si è dunque progettato un sistema che permettesse di evitare lo spostamento relativo fra la base e la sommità del pannello murario.

Il telaio di contrasto è stato progettato in modo da garantire che le frequenze proprie del sistema di prova fossero differenti da quelle dei campioni sottoposti a prova.

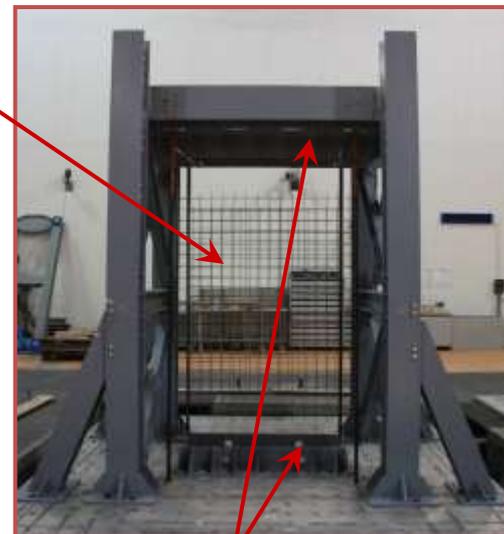


Direzione dell'azione sismica

Parte sommitale
rimovibile



Rete protettiva
in acciaio



Elementi di
controvento

Profili ad L per il
fissaggio sommitale ed
alla base del pannello

La campagna sperimentale ha lo scopo principale di indagare l'influenza delle tecniche di consolidamento considerate sulla resistenza ultima dei pannelli rinforzati. Inoltre si vuole indagare l'influenza del consolidamento sulle modalità di rottura e sulle caratteristiche dinamiche (frequenze, forme modali, smorzamento) degli elementi murari.

Vengono riportate in basso le accelerazioni medie massime raggiunte al collasso dei campioni rinforzati mediante le diverse tecniche d'intervento.



Condizione non rinforzata
0.25g



Rinforzo mediante tiranti trasversali
0.45g



Rinforzo mediante iniezione
0.60g



Rinforzo mediante iniezione e tiranti
0.75g - non collassato



- Limitata insorgenza di danni precedentemente al collasso;
- Deformazione trasversale considerevole causata dalla separazione graduale dei paramenti esterni;
- Collasso solamente di uno dei due paramenti esterni;
- Il collasso ha coinvolto un'estesa porzione del pannello;
- Considerevole sollecitazione indotta dal nucleo interno incoerente sui paramenti esterni;

Pannelli in condizione non rinforzata:

Accelerazione massima: 0.25g



- Limitata insorgenza di danni prima del collasso;
- Espulsione solamente di uno dei due paramenti esterni;



- I danni ed il collasso finale hanno coinvolto un'area limitata del pannello;
- Il collasso è stato limitato alla porzione di pannello superiore ai tiranti posti in posizione più elevata;
- Comportamento monolitico fino a sollecitazioni maggiori di quelle che hanno causato il collasso nel caso non rinforzato;

**Pannelli rinforzati mediante tiranti trasversali:
Accelerazione massima: 0.45g**



- Limitata insorgenza di danni precedentemente al collasso;
- La rottura ha coinvolto l'intera sezione muraria;
- Collasso di entrambi i paramenti esterni;



- I danni ed il collasso hanno riguardato una porzione limitata dei pannelli e sempre confinata nella parte superiore;
- Rottura notevolmente influenzata dalla qualità di esecuzione del rinforzo;
- Rottura localizzata nella porzione muraria in cui si è evidenziata scarsa penetrazione della miscela;

**Pannelli rinforzati mediante iniezione di miscela legante:
Accelerazione massima: 0.60g**



- Alla sollecitazione massima indotta (0.75g) non è stato raggiunto il collasso dei pannelli;
- Limitata insorgenza di danni sulla superficie dei pannelli;

- Limitata insorgenza di fessurazioni solamente nella parte superiore del pannello;
- Comportamento monolitico del campione anche per le sollecitazioni maggiori
- Considerevole sollecitazione indotta dal nucleo interno incoerente;

Pannelli rinforzati mediante iniezione di miscela ed inserimento di tiranti trasversali:

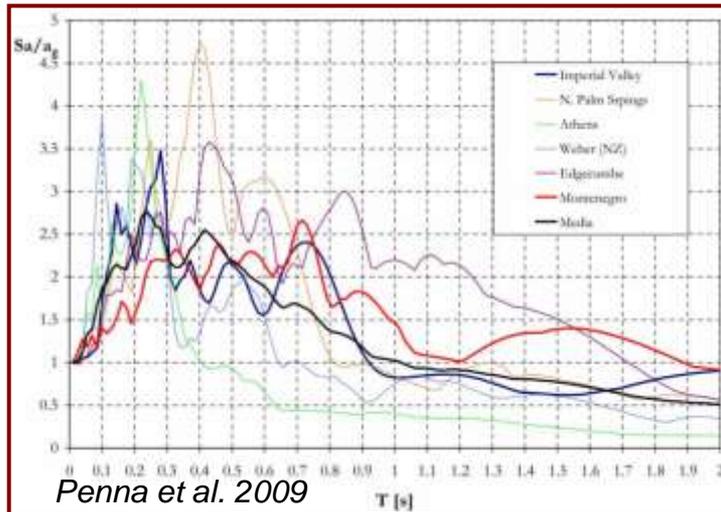
Accelerazione massima: 0.75g

Entrambi i modelli sono stati realizzati con una geometria uguale:

Dimensioni in pianta: Spessore murario globale: 0.33m
 2.40m x 2.8m (12cm strati esterni e 9cm nucleo interno)

Altezza: 3.60m Solai lignei a doppio tavolato

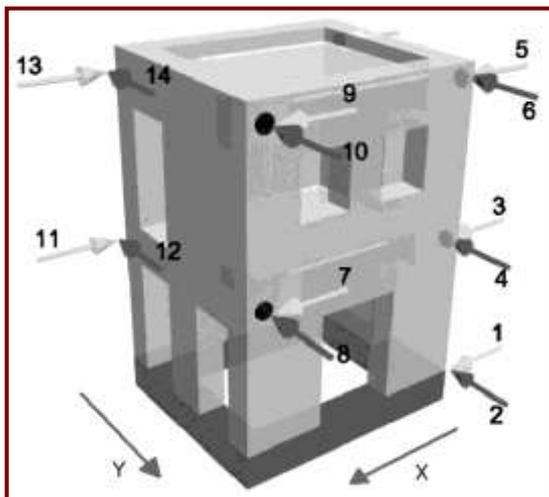
Aperture regolari Masse aggiuntive (500kg per piano)



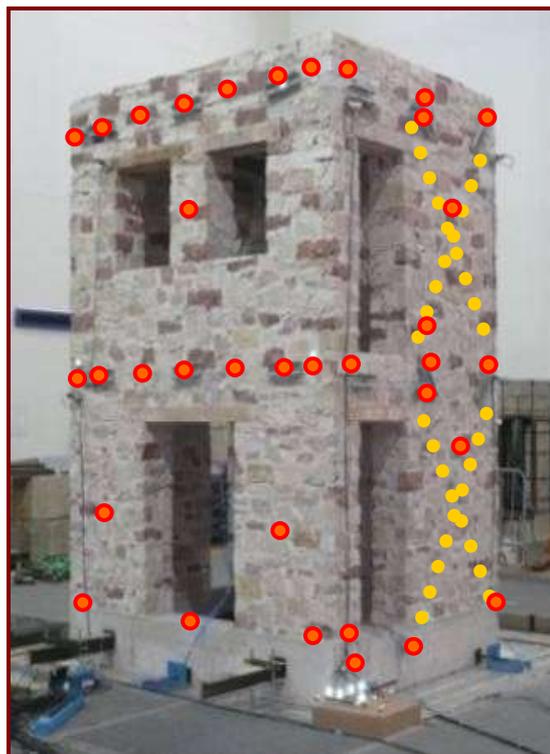
Si è scelto il sisma del Montenegro (14/4/1979), fra numerosi altri segnali sismici, e lo si è elaborato secondo il fattore di scala di 2:3;



Il comportamento dinamico è stato monitorato utilizzando più sistemi contemporaneamente:
Le accelerazioni sono state registrate mediante due apparati:



- 16 Sensori fissati esternamente al modello;
- 6 Sensori fissati internamente ai solai;



Fasi sperimentali

Modello URM	Modello SM	Modello RM
0.05g XY	0.05g XY	0.05g XY
0.10g XY	0.10g XY	0.10g XY
0.15g XY	0.15g XY	0.15g XY
0.20g XY	0.20g XY	0.20g XY
0.25gI XY	0.25g XY	0.25g XY
0.25gII XY	0.30g XY	0.30g XY
0.30g XY	0.35g XY	0.35g XY
0.35g XY	0.40g XY	0.40g XY
0.40g XY	0.45g XY	0.45g XY
0.45g XY	0.50g XY	0.50g XY
-	0.55g XY	0.55g XY
-	0.55g X	0.55g XY
-	0.60g X	0.60g XY
-	0.65g X	-
-	0.70g I X	-
-	0.70g II X	-

Per valutare lo spostamento si sono utilizzati più sistemi:

- Sono stati monitorati più di 100 punti mediante sistema ottico;
- Deformazione di 3 pannelli;
- Spostamento alla base;



URM (0.45g)



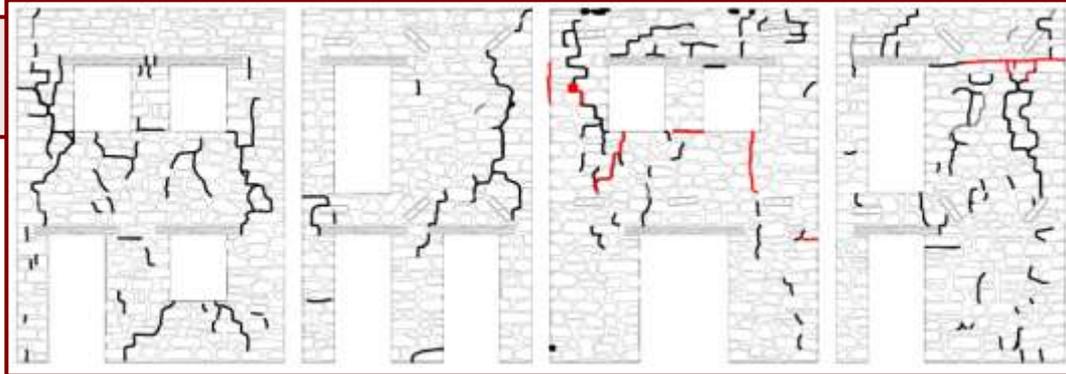
RM (0.45g)



SM (0.45g)

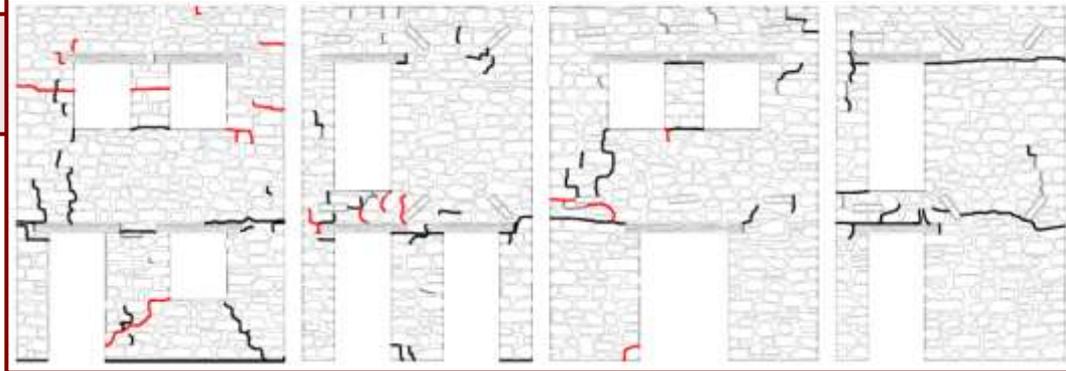
Allo stesso livello di sollecitazione (0.45g) i Modello URM, RM ed SM hanno esibito comportamenti diversi fra loro:

- URM:** Ha evidenziato un comportamento non monolitico, in particolare al secondo piano;
- RM:** La muratura ha esibito un comportamento monolitico;
- SM:** Si nota la formazione di macro-elementi;



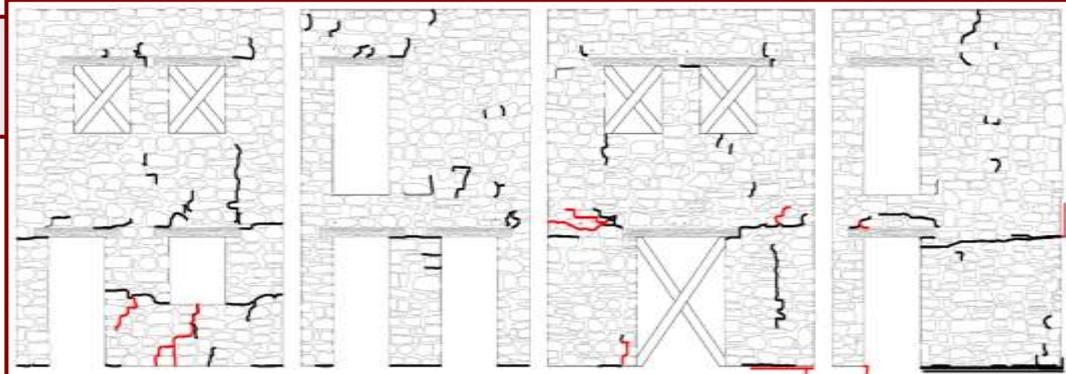
Modello URM

- Fessurazione particolarmente diffusa, al secondo piano;
- Locale separazione degli strati esterni della muratura (angoli);
- Non si evidenziano macroelementi;



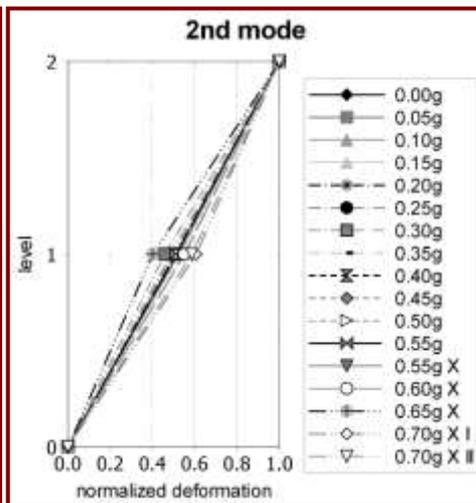
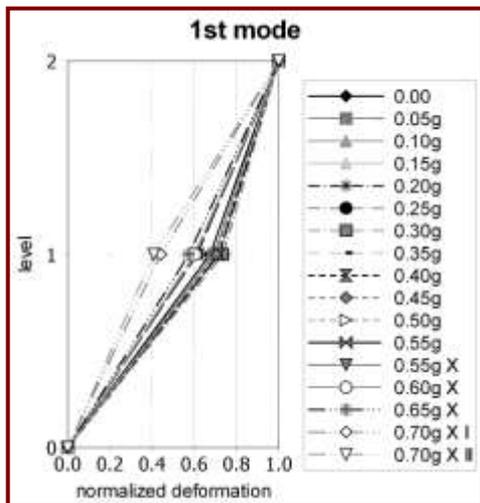
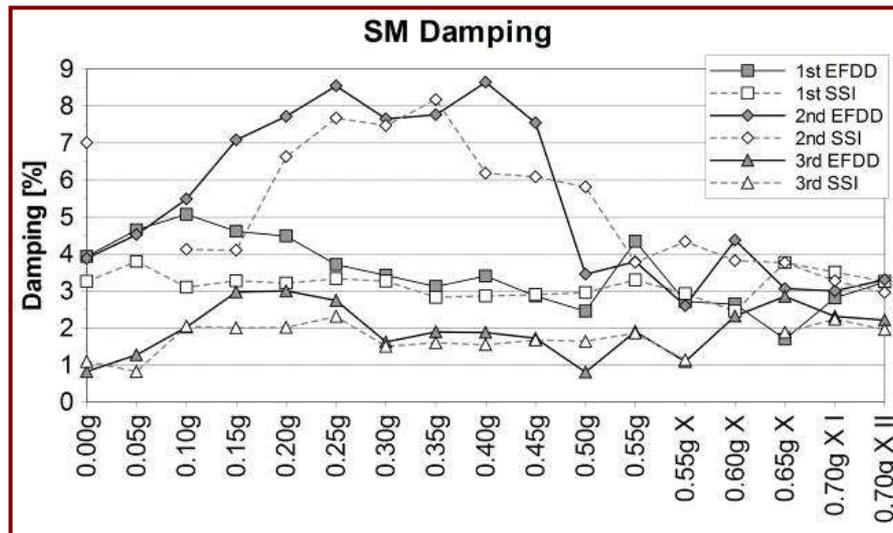
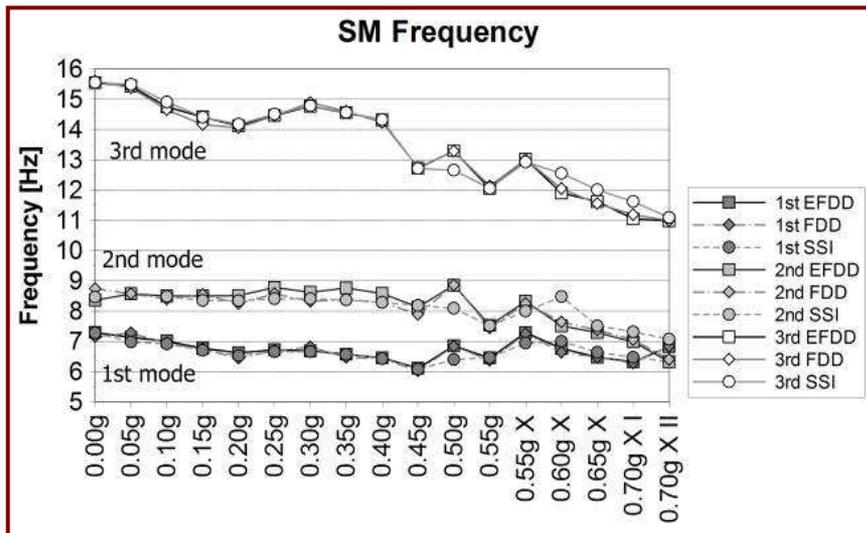
Modello RM

- Numero limitato di fessure;
- Fessure con maggiore estensione e larghezza;
- Danni localizzati al I livello;
- Riapertura di lesioni precedenti;



Modello SM

- Numero limitato di fessure;
- Fessure con maggiore estensione e larghezza;
- Danni localizzati al I livello;
- Nessuna separazione fra gli strati esterni;



Sulla base dei risultati sperimentali si sono potute svolgere considerazioni sull'andamento delle frequenze, delle forme modali e dei fattori di smorzamento a diversi livelli di danno. Il confronto fra i vari modelli ha inoltre permesso di validare l'uso di queste tecniche d'intervento e di valutare l'incremento di resistenza indotto.



Onna

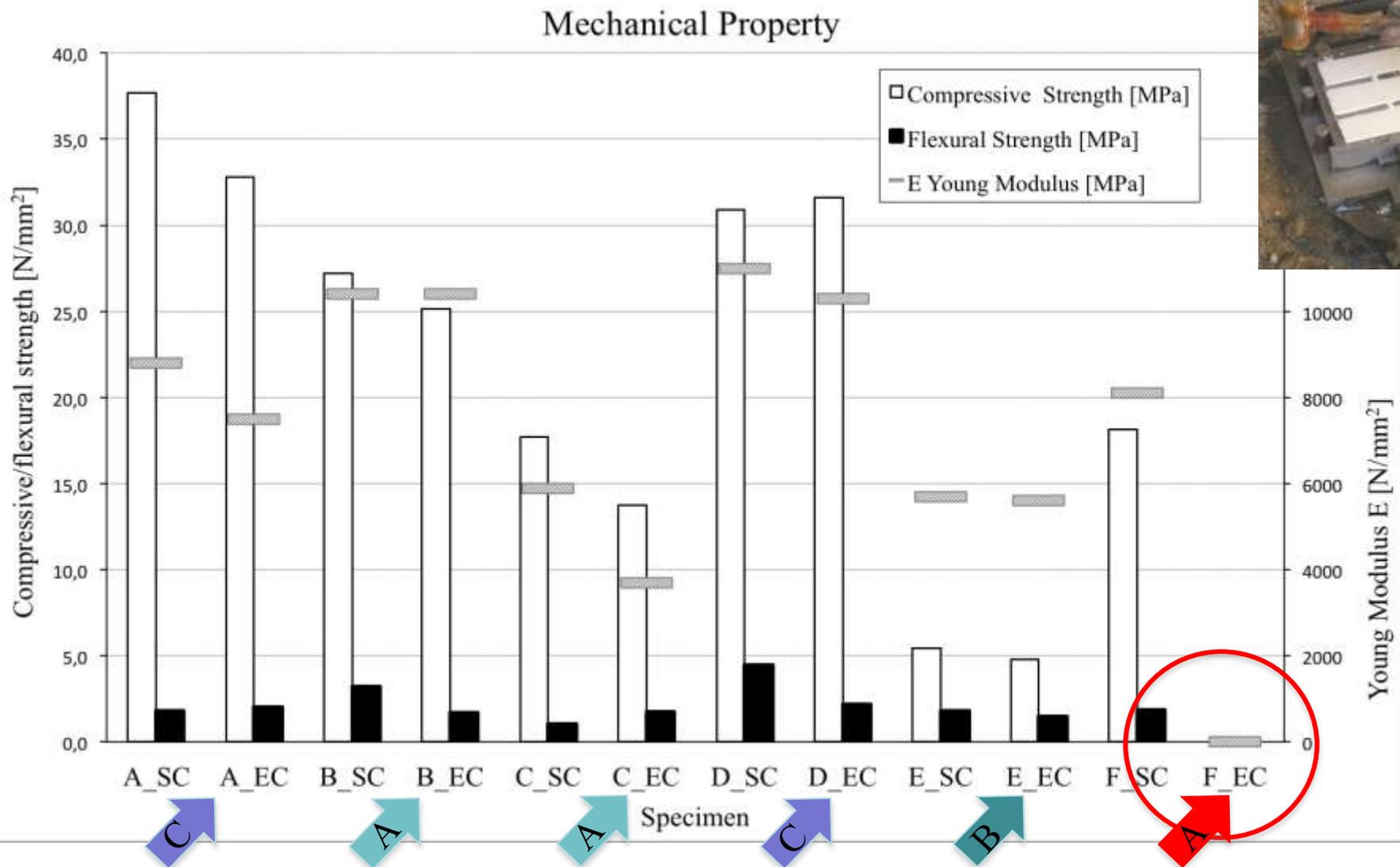


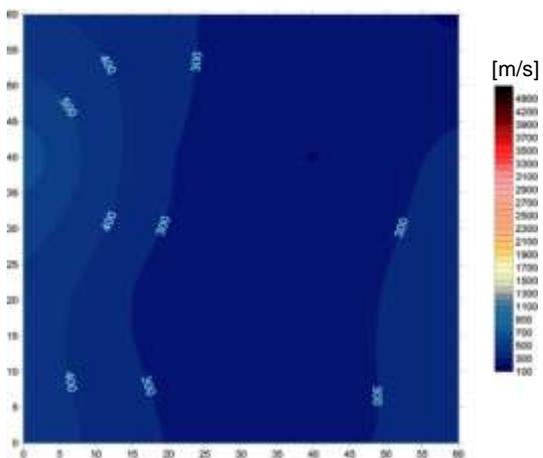
Tempera



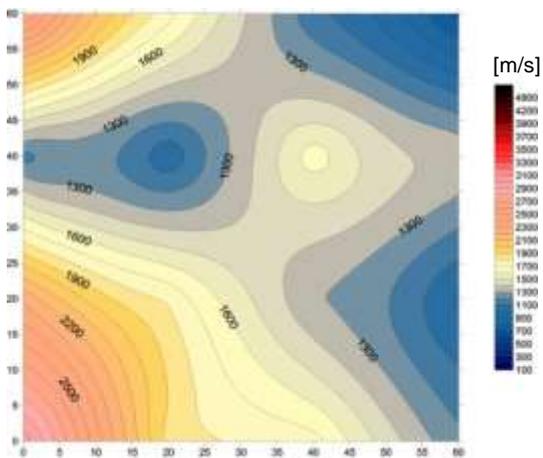


Caratterizzazione meccanica delle miscele

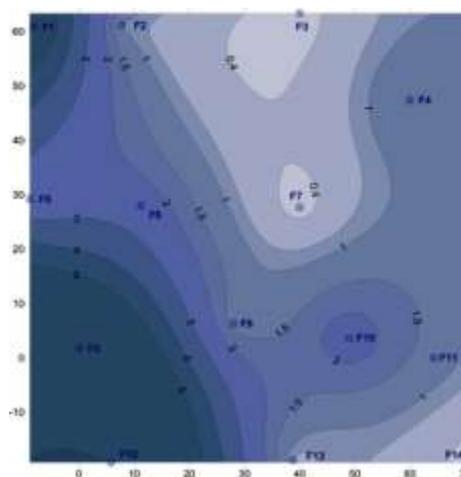




Velocità soniche pre-iniezione



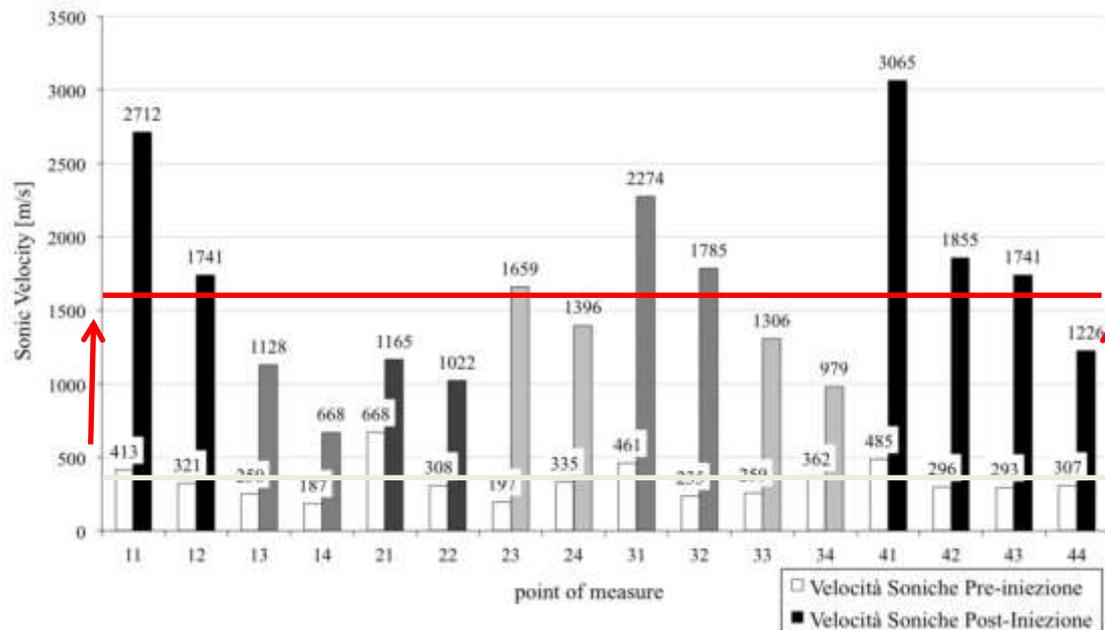
Velocità soniche post-iniezione

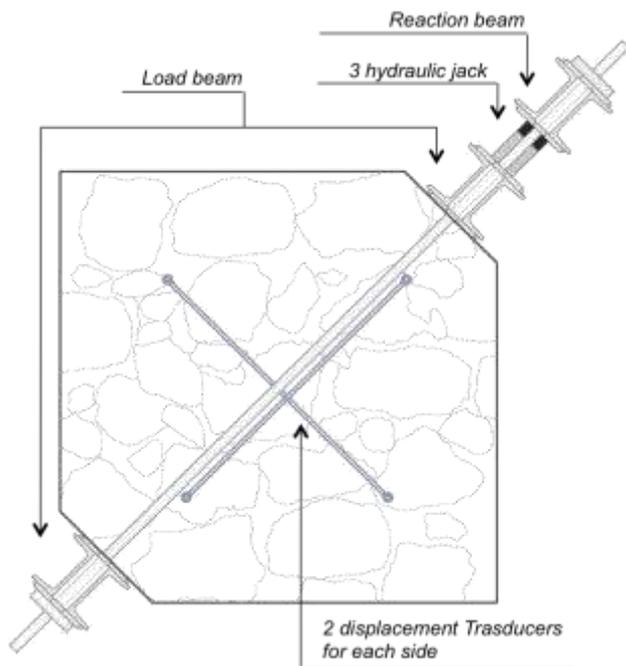


Volume di miscela iniettata

Prove soniche pre- e post-intervento per la valutazione dell'efficacia delle iniezioni

Pre e post-injection Sonic Velocity on Specimen 10-O_C/C





$$S_s = \frac{0.707 P}{A_n}$$

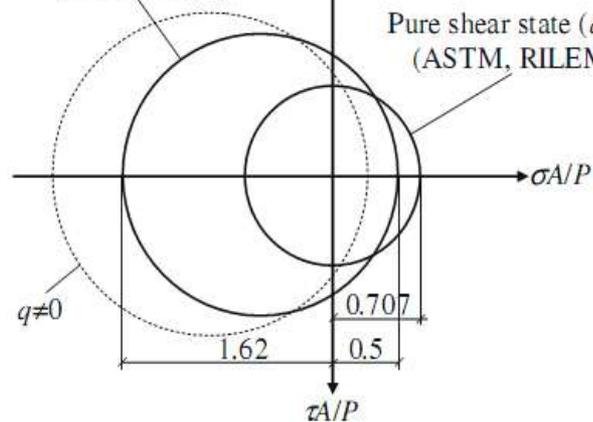
$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}$$

$$G = \frac{S_s}{\gamma}$$

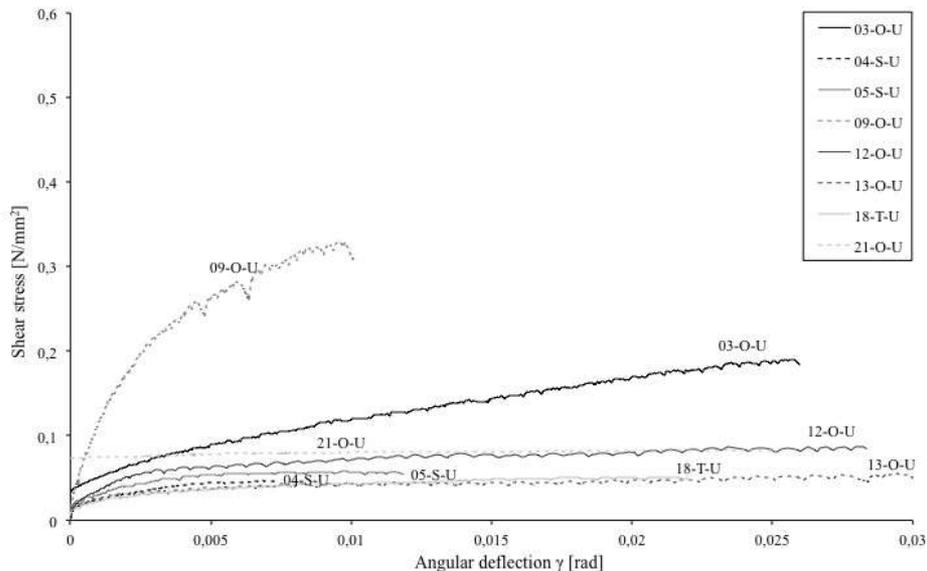
Theoretical elastic solution ($q=0$)

(Frocht, 1931)

Pure shear state ($q=0$)
(ASTM, RILEM)



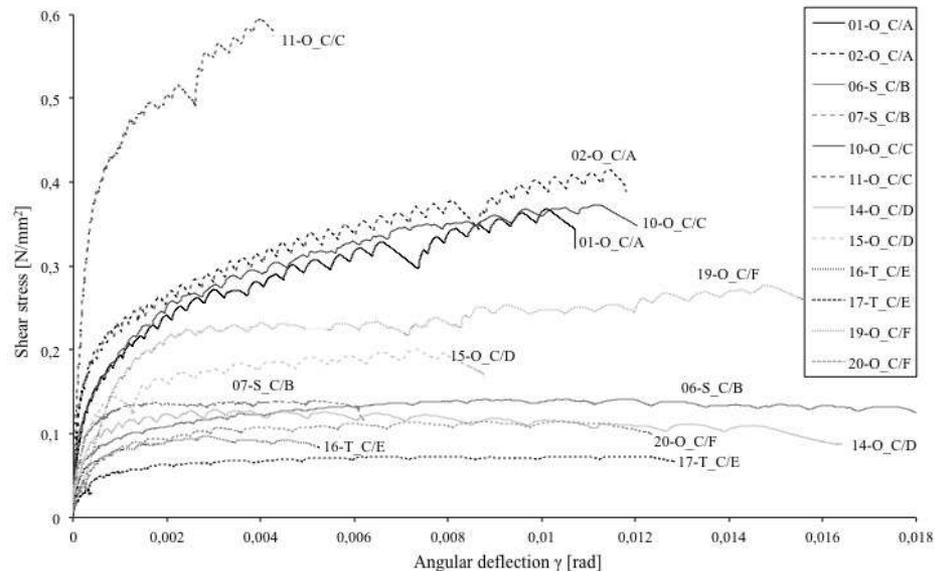
Relation τ - γ unconsolidated specimens



Campioni non consolidati

Prove di compressione diagonale – 2/3

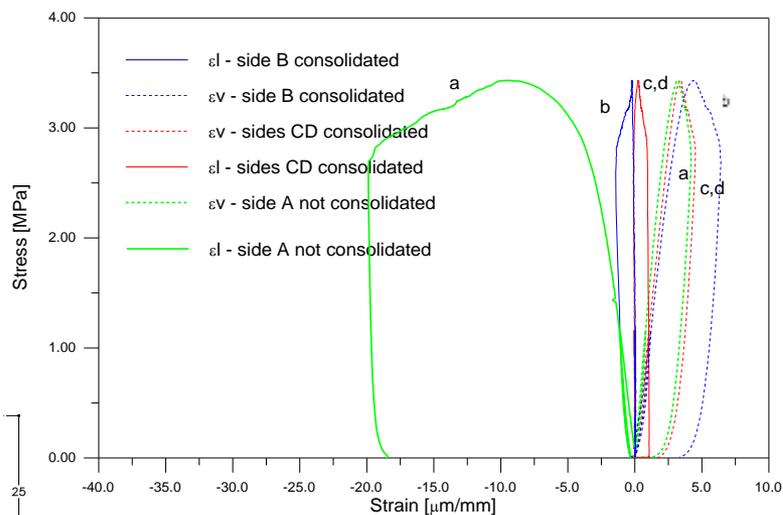
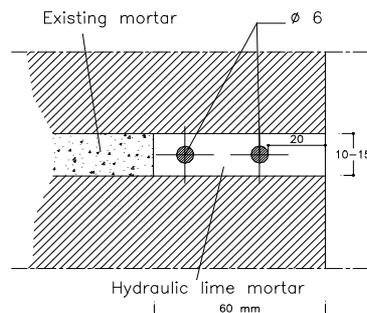
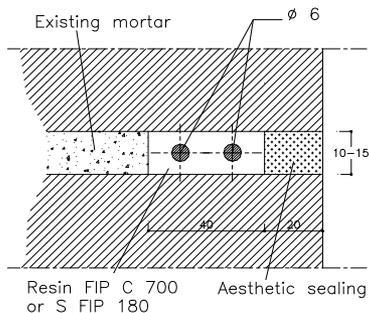
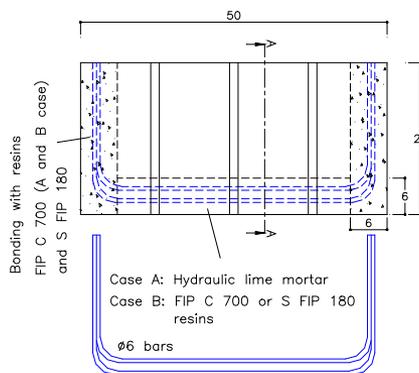
Relation τ - γ consolidated specimens



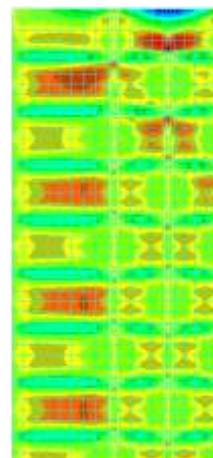
Campioni iniettati

Test di compressione monotonica:

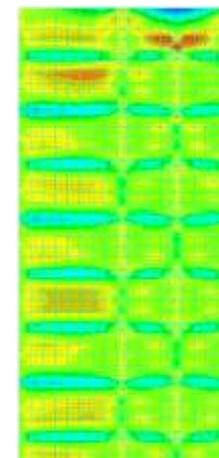
- Rinforzo con **barre di acciaio** ($2\varnothing 6\text{mm}$)
- Materiali di ristilatura:
 - calce idraulica
 - resine sintetiche (2 tipi)



Risultati sperimentali: comparazione tra le facce (lato A non consolidato)

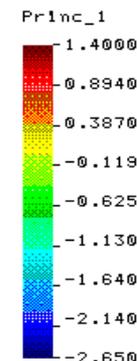


prima intervento



dopo intervento

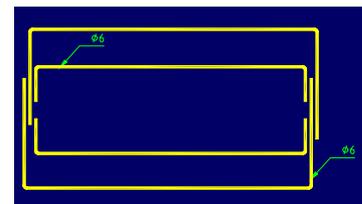
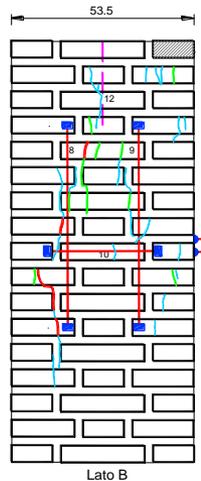
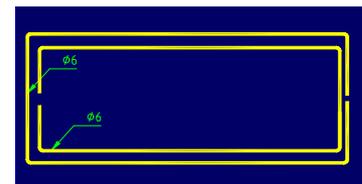
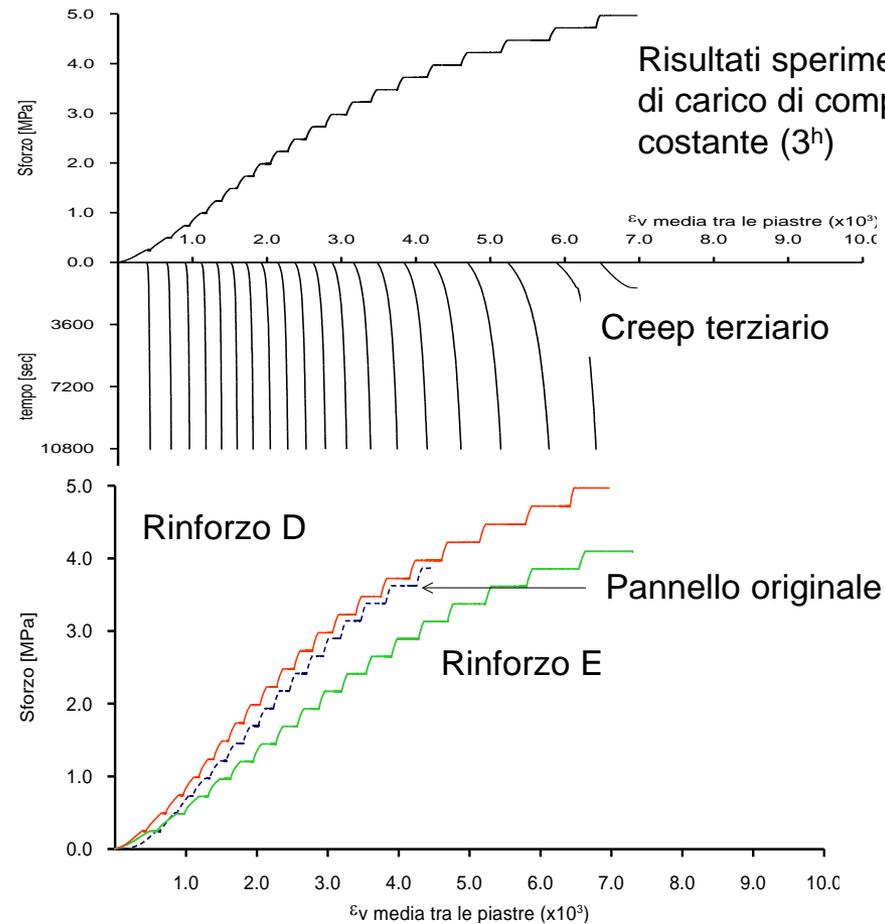
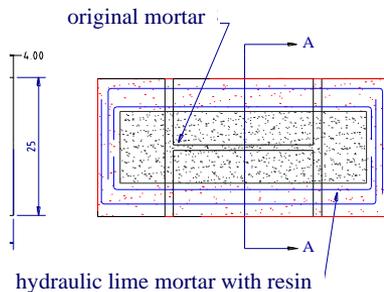
Modello FEM



- nessun miglioramento di resistenza del muro
- dilatazione ridotta e modesto quadro fessurativo
- riduzione dello stato tensionale nei mattoni (40%)

Test di creep :

- Rinforzo con **barre di acciaio** ($2\varnothing 6\text{mm}$)
- Malte di ristilatura:
 - calce idraulica
 - pozzolanica


Rinforzo D

Rinforzo E

 Risultati sperimentali: step di carico di compressione costante ($3h$)

Creep terziario

Rinforzo D

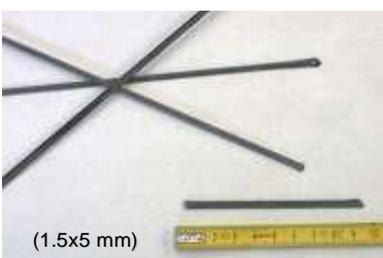
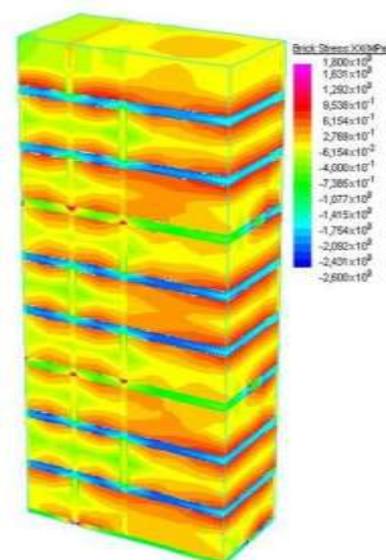
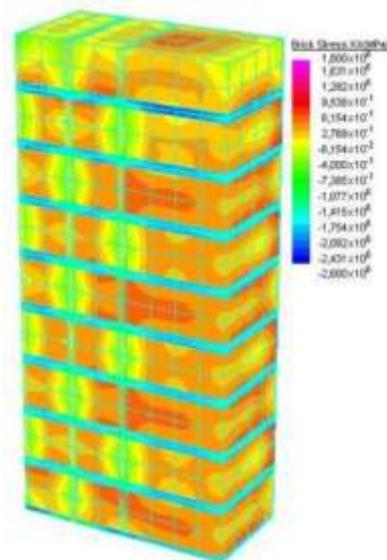
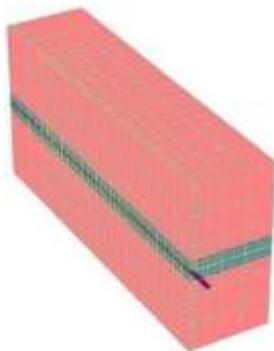
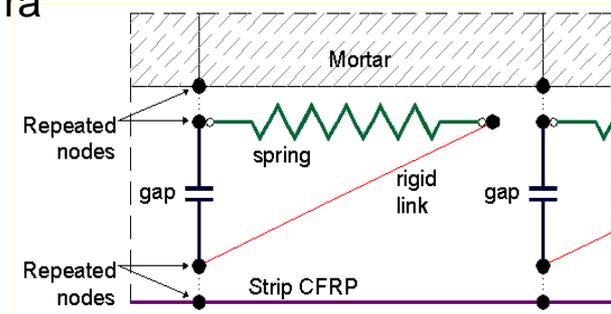
Pannello originale

Rinforzo E

- quadro fessurativo diffuso**
- riduzione della dilatazione** dei muri
- condizioni di **creep terziario** nei muri rinforzati per deformazioni del 70% maggiori rispetto al caso originale

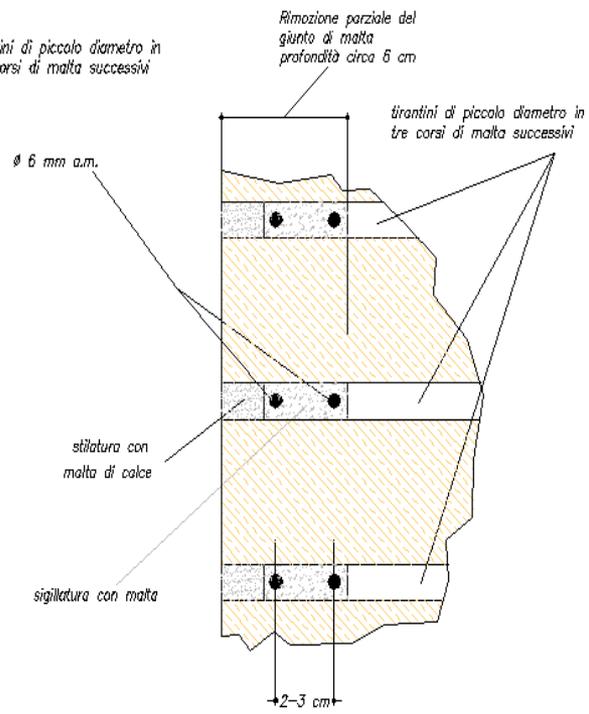
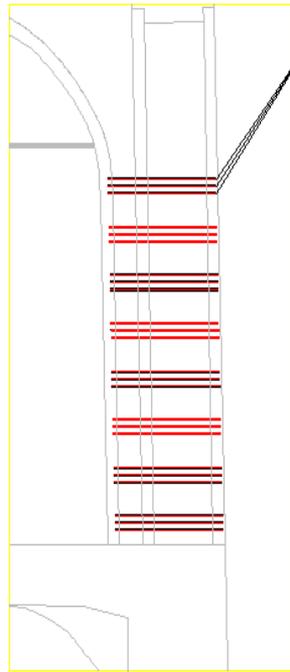
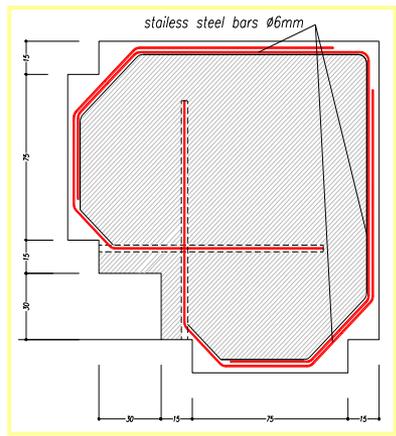
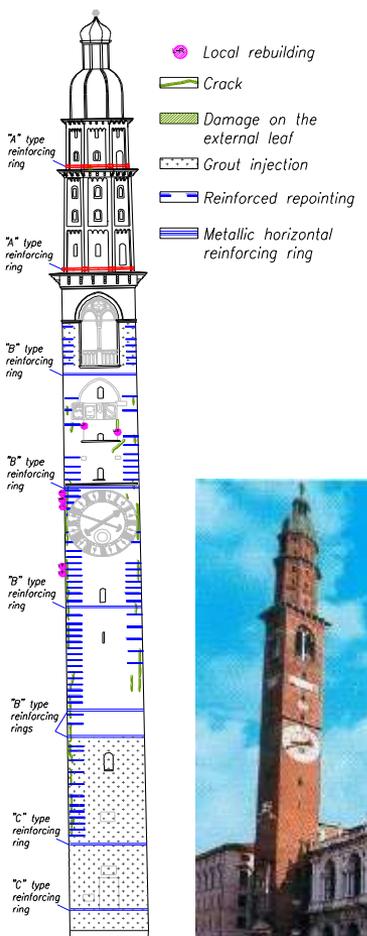
Utilizzo di barre e piattine in FRP per la ristilatura armata:

- ❑ scarnitura (almeno 5-7 cm) con appositi raschietti o con scalanatrice dei giunti di malta;
- ❑ ispezione dell' interno della muratura e rimozione di polvere e detriti;
- ❑ introduzione di un primo strato di legante e posizionamento di una prima barra;
- ❑ inserimento e compattazione di un secondo strato di legante-barra
- ❑ eventuale sigillatura con prodotti di finitura estetica.



TORRE CIVICA, VICENZA, XII-XV SEC.

Intervento localizzato di ristilatura armata con funzione di cerchiatura – miglioramento delle caratteristiche meccaniche di un pilastro



COMPORAMENTO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

L'ANALISI DEGLI EDIFICI ESISTENTI

- Conoscenza
- Metodi di analisi

CRITERI PER LA SCELTA DEGLI INTERVENTI

- Criteri generali
- Tecniche d' intervento e attività di ricerca

CASI STUDIO



**PIAZZA DEL
DUOMO**

**DUOMO DE
L'AQUILA**

**AGGREGATO PIAZZA
DELLA PREFETTURA**

**CHIESA DELLE
ANIME SANTE**

**CHIESA DI SAN
MARCO**

**PALAZZO DELLA
PREFETTURA**

INDIVIDUAZIONE DELL'AGGREGATO

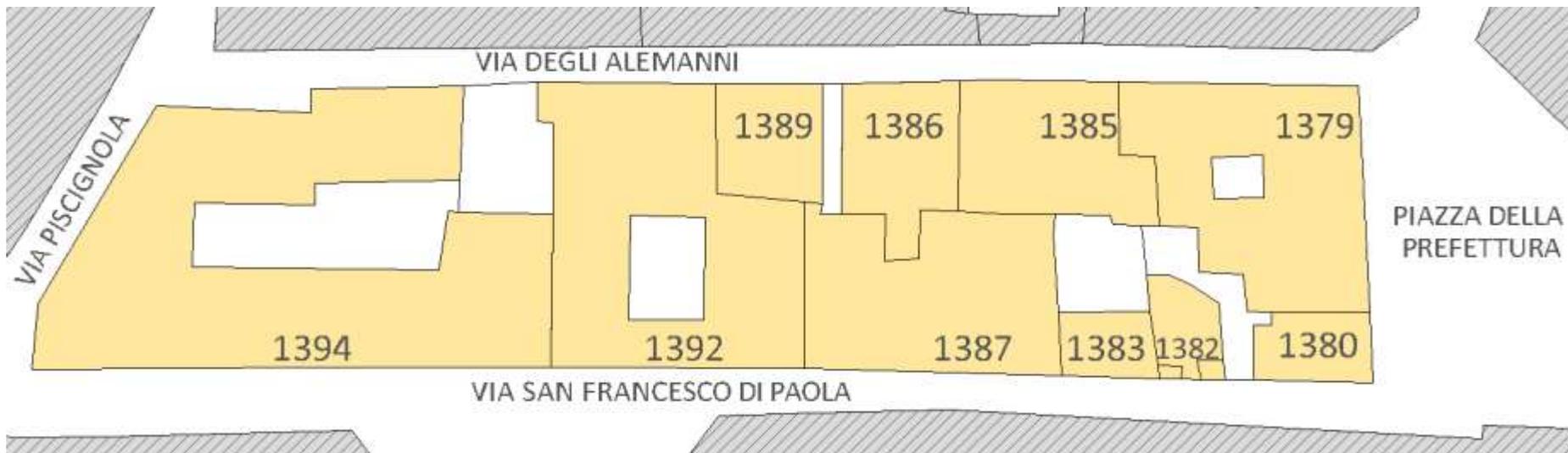
INDIVIDUAZIONE DELL'AGGREGATO

PLANIMETRIE – CTR – ORTOFOTO
MAPPE CATASTALI

INDIVIDUAZIONE DI PALAZZI,
EDIFICI VINCOLATI, ELEMENTI DI
INTERESSE STORICO-ARTISTICO

SCHEDATURA PROPRIETARI E
DESTINAZIONI D'USO

RICONOSCIMENTO UNITÀ
STRUTTURALI OMOGENEE

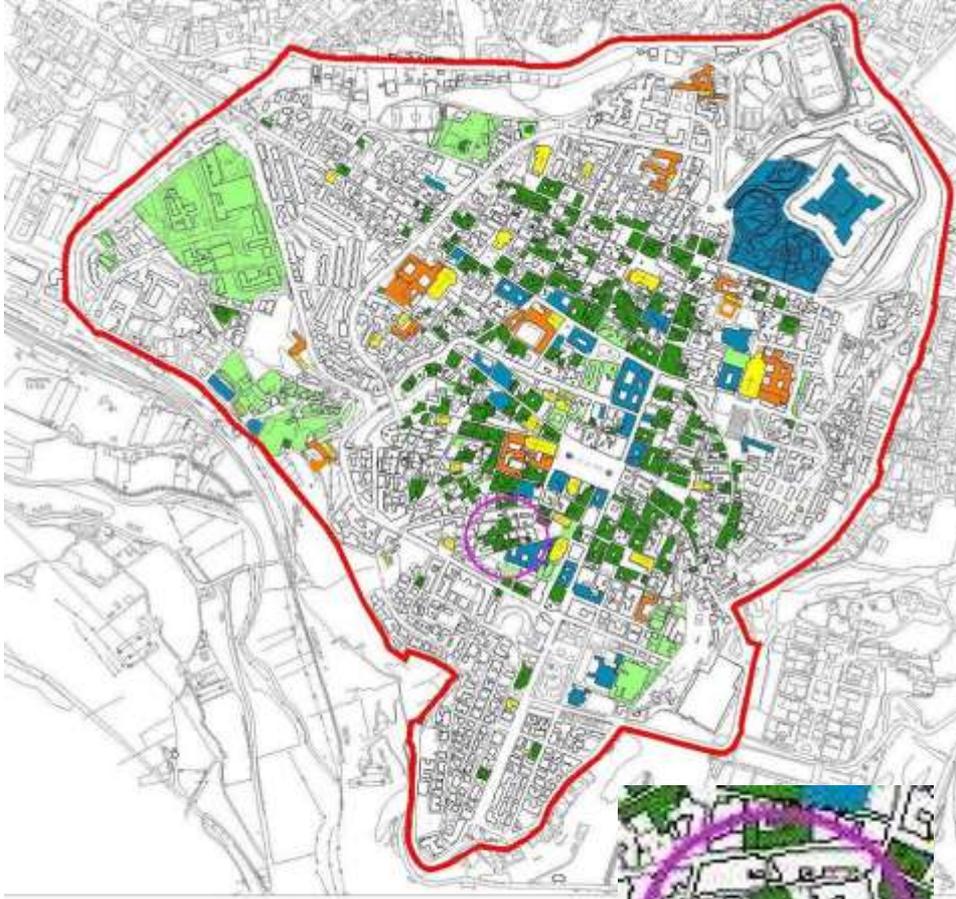


INDIVIDUAZIONE DELL'AGGREGATO

INDIVIDUAZIONE DELL'AGGREGATO ALL'INTERNO DEL CENTRO STORICO



INDIVIDUAZIONE DI PALAZZI E DI EDIFICI VINCOLATI



LEGENDA

VINCOLI PRIVATI (173)	CHIESE E COMPLESSIVITÀ (14)
VINCOLI PUBBLICI (69)	INDIVIDUAZIONE CENTRO STORICO
VINCOLI INDIRETTI (43)	INDIVIDUAZIONE ISOLATO

PROBLEMATICHE E PECULIARITÀ RICORRENTI NEGLI AGGREGATI EDILIZI DEL CENTRO STORICO



INDIVIDUAZIONE DELL'AGGREGATO



SCHEDATURA DELLE PROPRIETA' E DELLE DESTINAZIONI D'USO

IDENTIFICATIVI CATASTALI	PROPRIETARI	USO
foglio X part 0 sub a	MARIO ROSSI	abitazione
foglio X part 0 sub a	MARIO ROSSI	garage
foglio X part 1 sub a	MARIO BIANCHI 25% LUCA VERDI 75%	commerciale
foglio X part 1 sub b	MARIO BIANCHI 25% LUCA VERDI 75%	magazzino
foglio X part 0 sub c	MARIO BIANCHI	ufficio

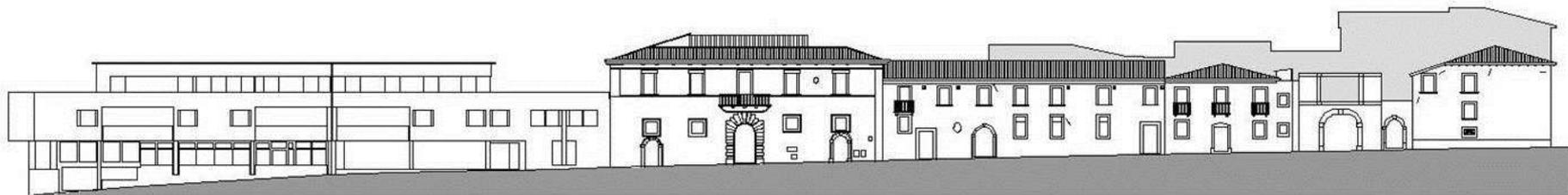


PIANTA PIANO TERRA

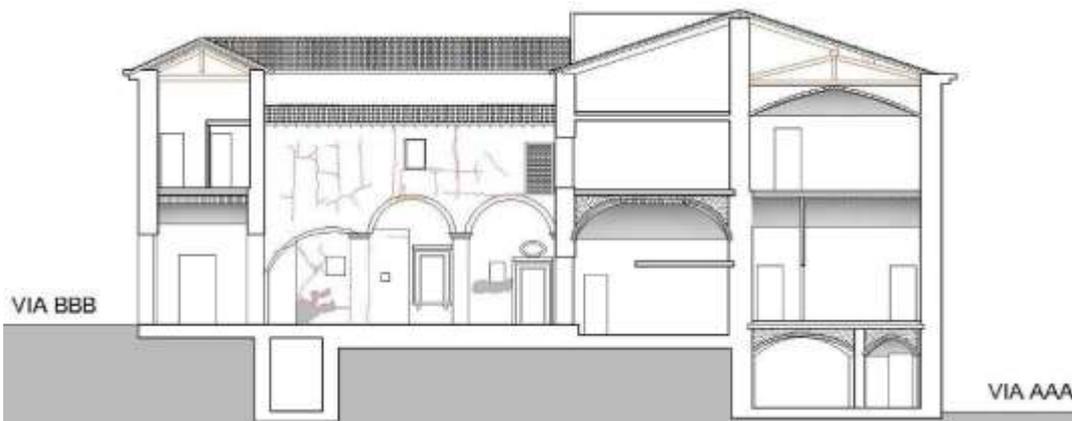
- Proprietà A
- Proprietà B
- Proprietà C
- Proprietà D
- Proprietà E
- Proprietà F
- Proprietà G

INDIVIDUAZIONE DELL'AGGREGATO

STUDIO DELLA MORFOLOGIA DEL SITO



1 - SVILUPPO
MORFOLOGICO
DELL'AGGREGATO:
PRESENZA DI
DISLIVELLI, PENDII,
PIANI SFALSATI

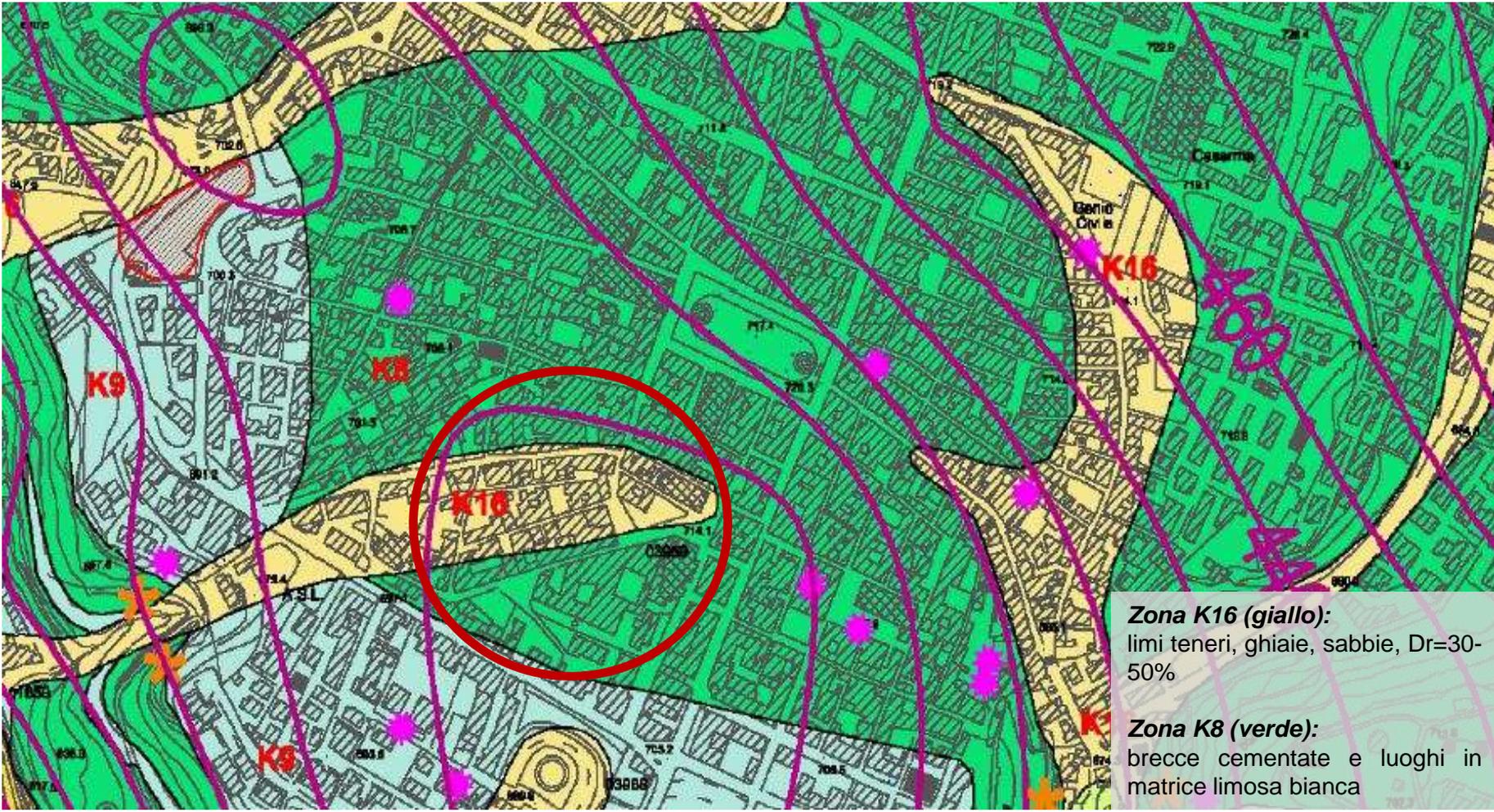


2 - ANALISI GEOTECNICA
PRELIMINARE DEL TERRENO:
CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

INDIVIDUAZIONE DELL'AGGREGATO

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

Protezione Civile – dicembre 2009

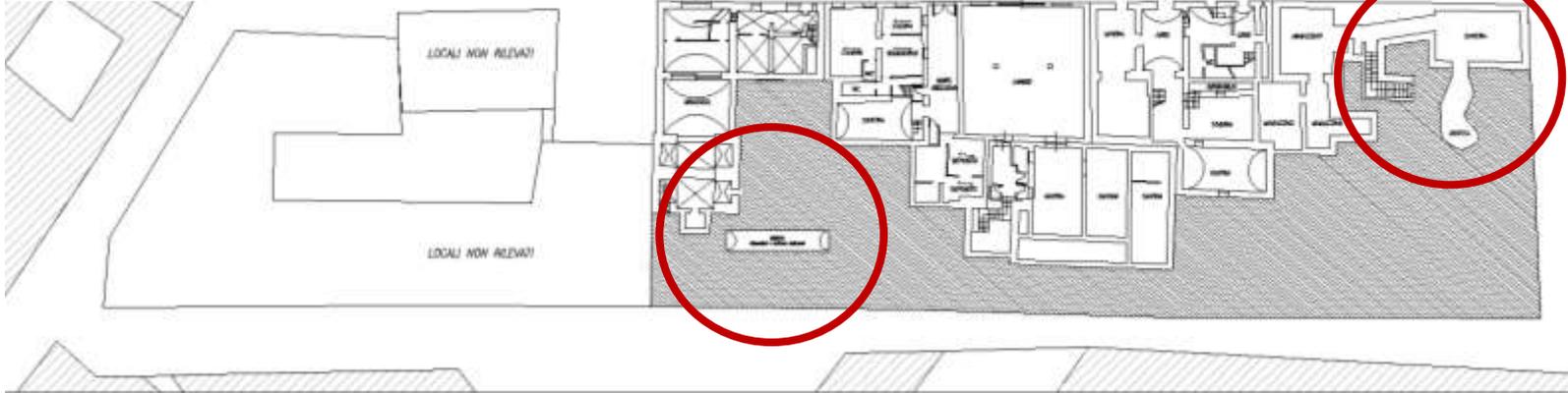


INDIVIDUAZIONE DI ZONE SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

INDIVIDUAZIONE DELL'AGGREGATO



LIVELLO -1



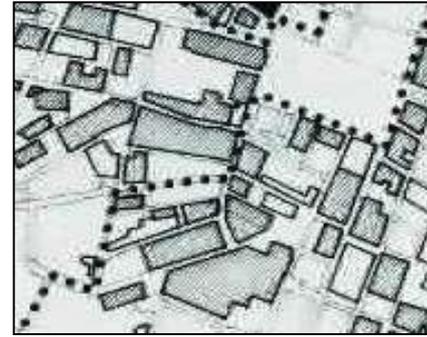
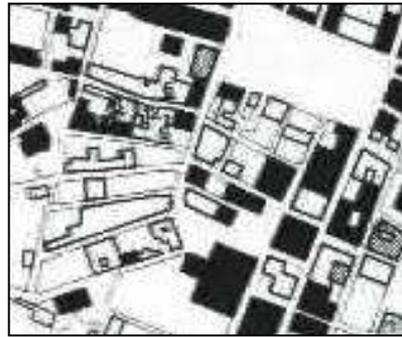
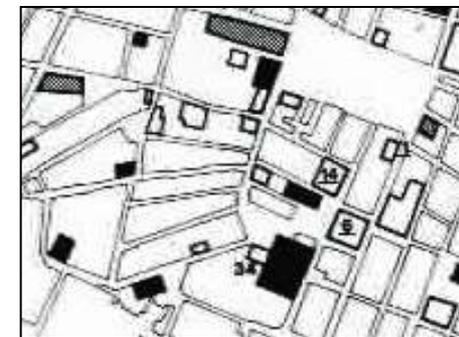
PRESENZA DI CISTERNE INTERRATE E GROTTESCAVATE

LIVELLO 0



STUDIO EVOLUTIVO DELL'AGGREGATO

ANALISI DI SEZIONI STORICHE E MATERIALE D'ARCHIVIO



Sezione storica del **1500**.

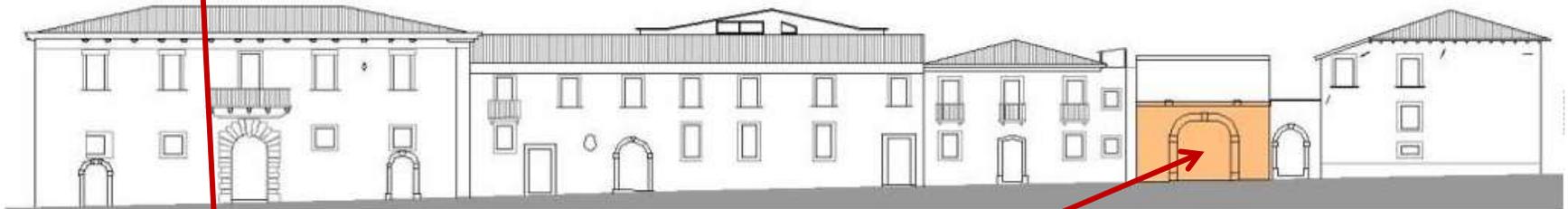
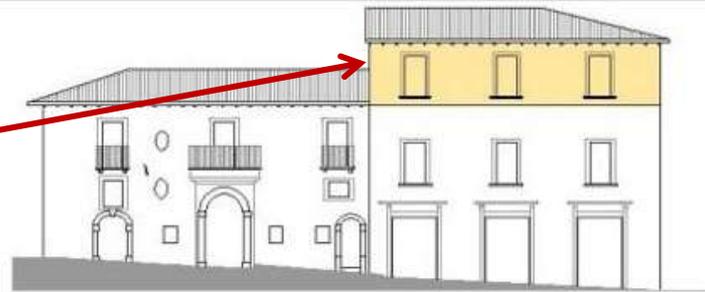
Sezione storica del **1700**.

Sezione storica del **1703**.
*In evidenza i danni riportati
in seguito al sisma*

Sezione storica del **1858**.

LETTURA CRITICA DEGLI ELEMENTI ARCHITETTONICI E STRUTTURALI

SOPRAELEVAZIONI



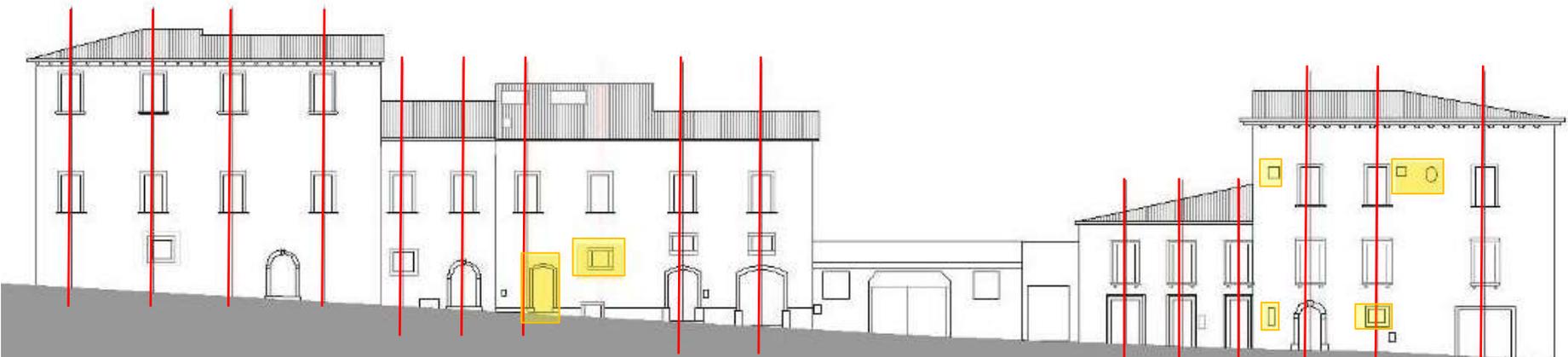
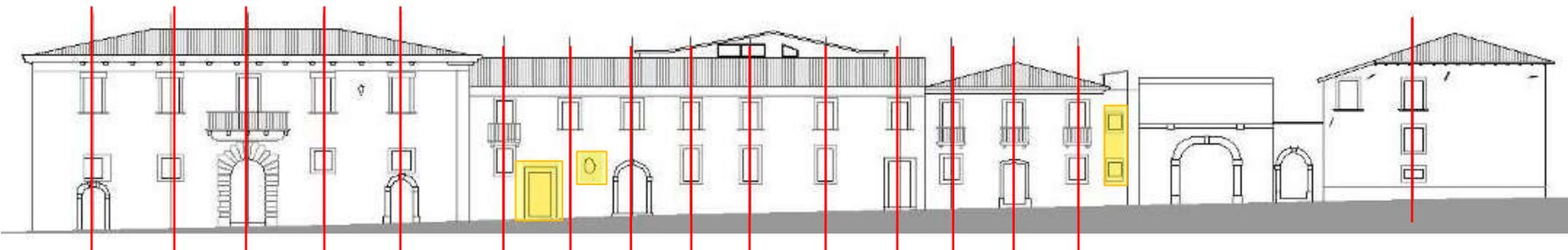
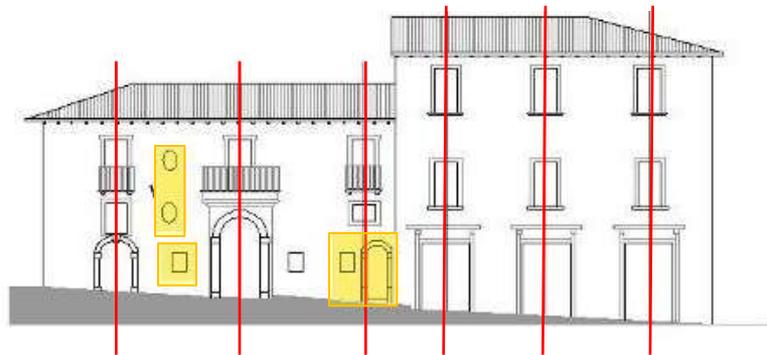
**RIEMPIMENTO DI VUOTI
UNITA' AD UN PIANO**



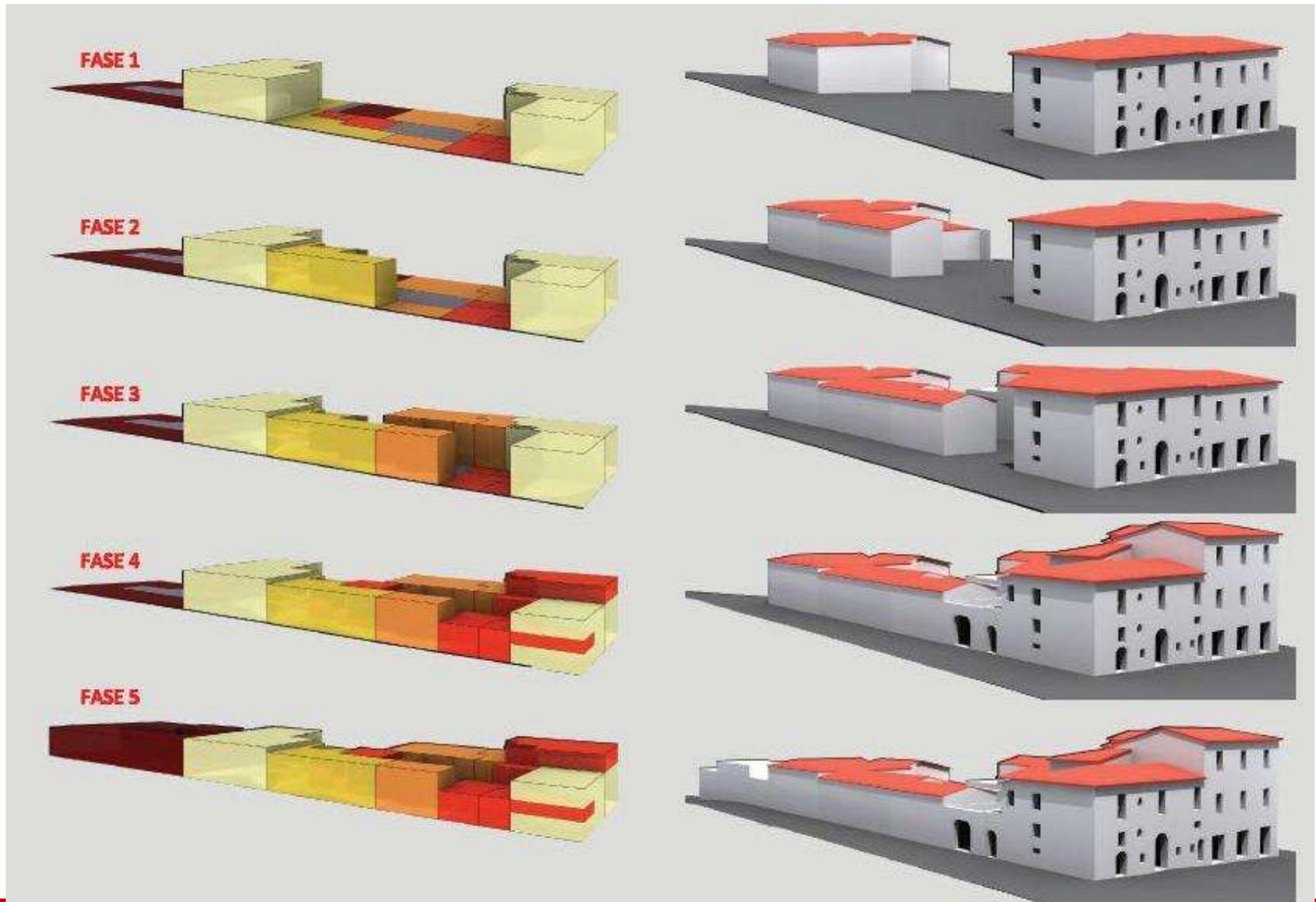
LETTURA CRITICA DEGLI ELEMENTI ARCHITETTONICI E STRUTTURALI

ALLINEAMENTO APERTURE

INDIVIDUAZIONE
APERTURE NON ORIGINALI



IPOTESI EVOLUTIVE DELL'AGGREGATO



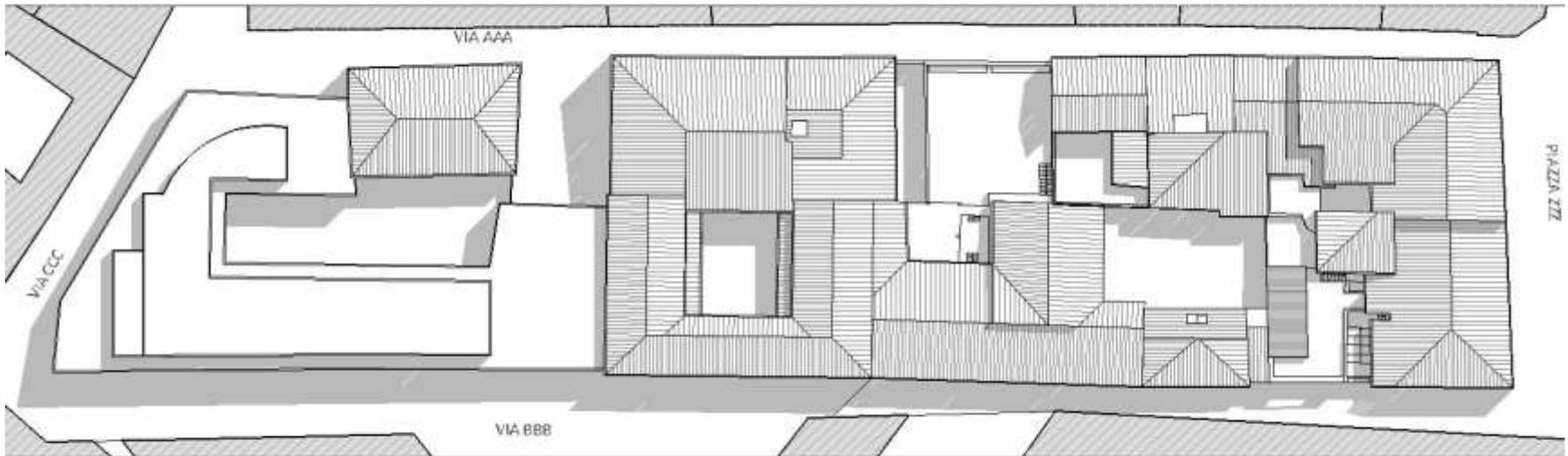
INDIVIDUAZIONE DELLE CARATTERISTICHE PLANOALTIMETRICHE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI



PROSPETTO VIA AAA



PROSPETTO PIAZZA ZZZ

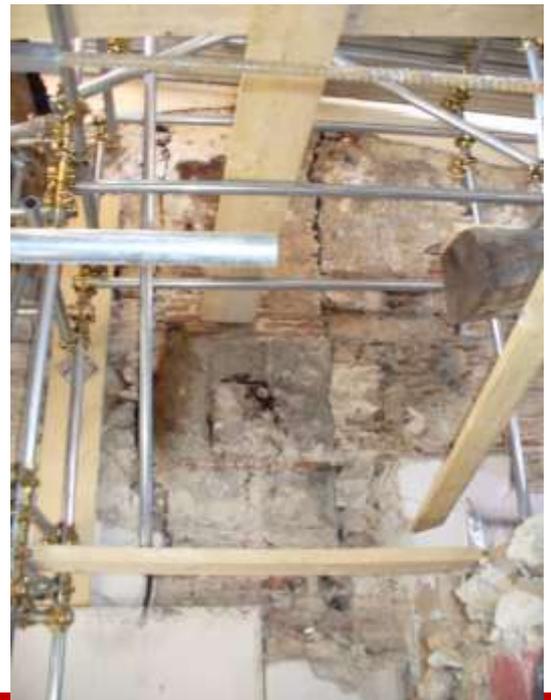
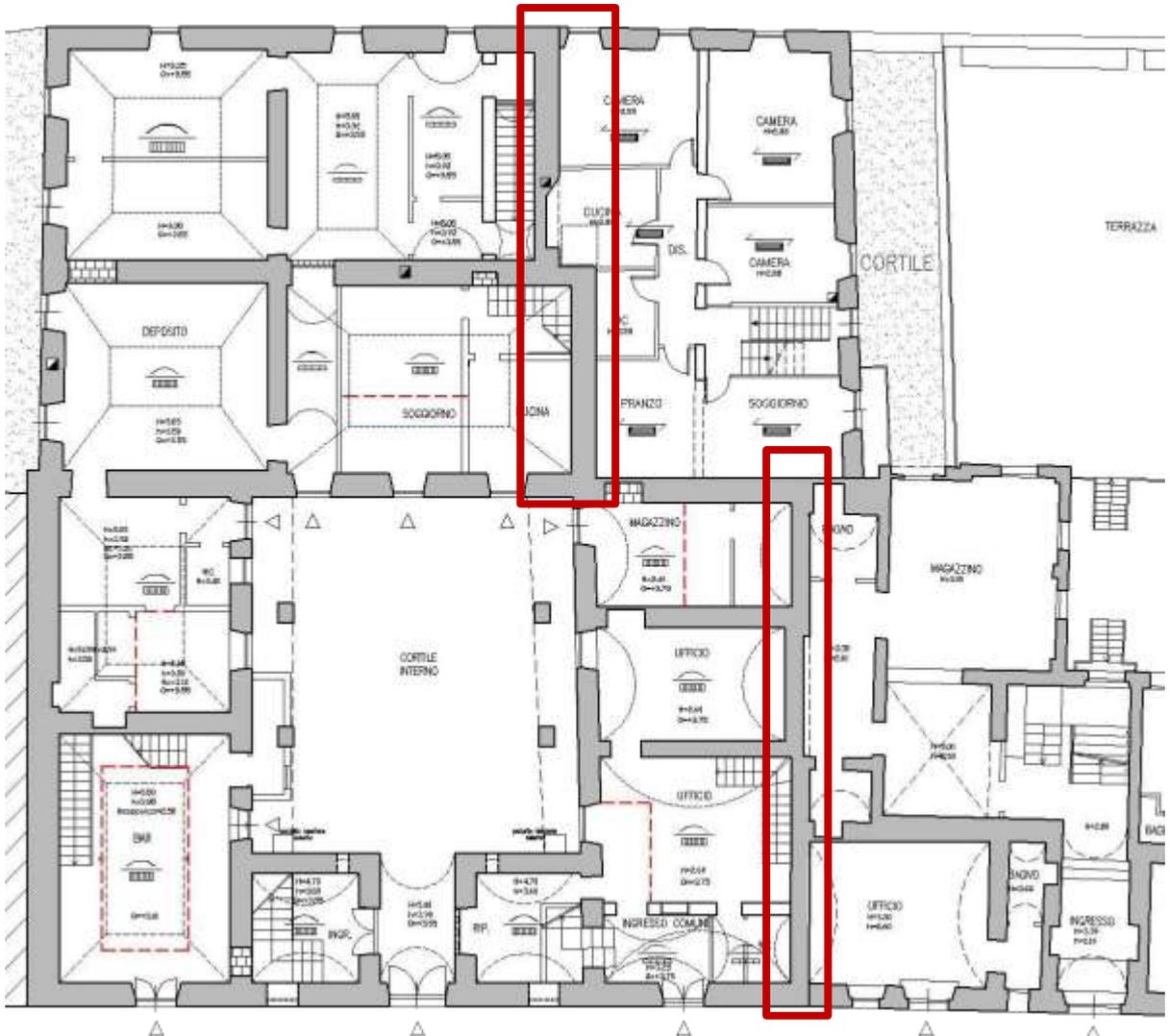


PROSPETTO VIA BBB

RILIEVO GEOMETRICO



STUDIO DELLE CONNESSIONI TRA EDIFICI



MURI IN COMUNE TRA UNITA'

RILIEVO GEOMETRICO



STUDIO DELLE CONNESSIONI TRA EDIFICI



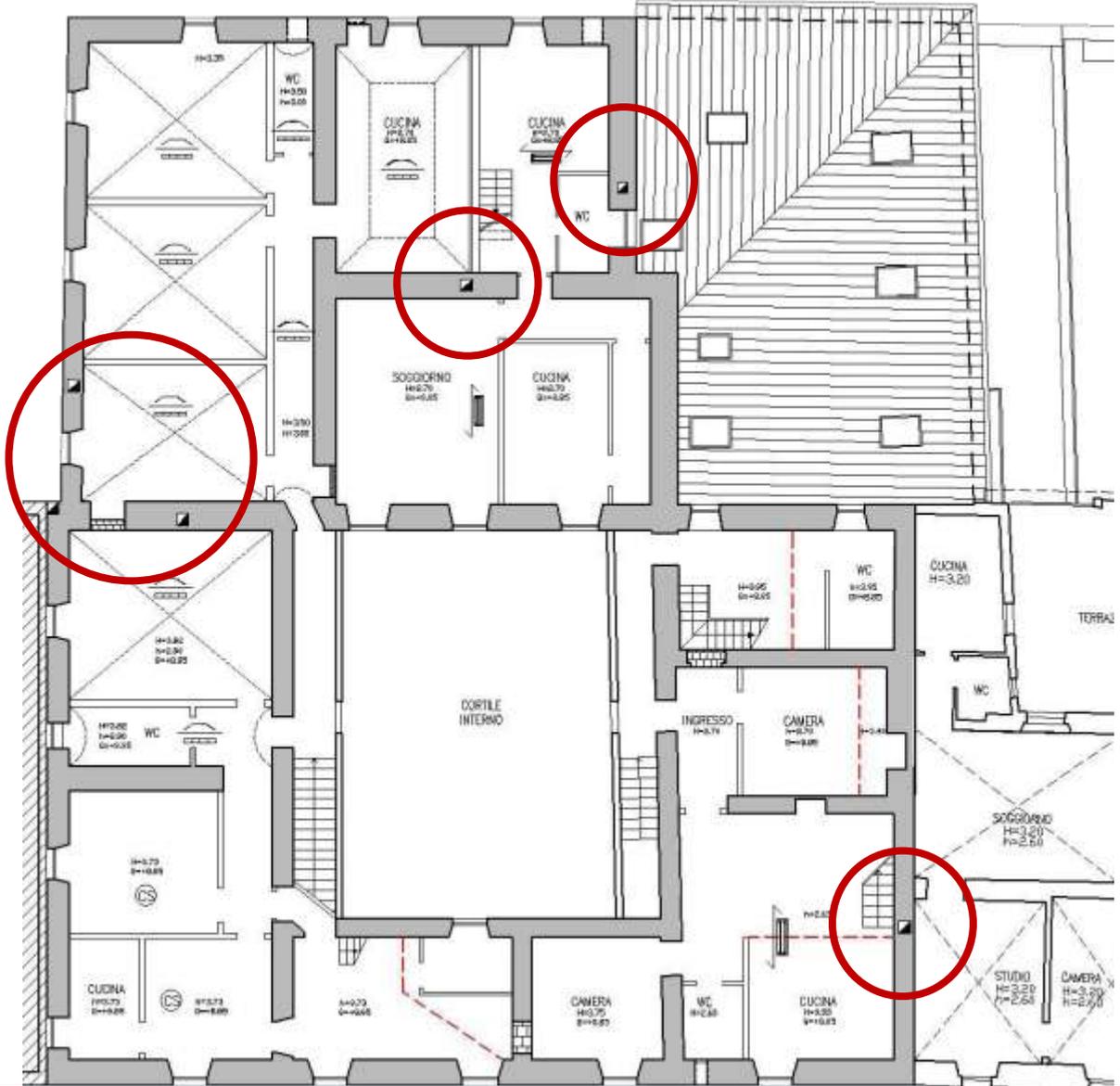
GIUNTI TRA EDIFICI



PARETI ACCOSTATE

RILIEVO GEOMETRICO

ELEMENTI PECULIARI DEL RILIEVO



PRESENZA DI CANNE FUMARIE NELLO SPESSORE MURARIO

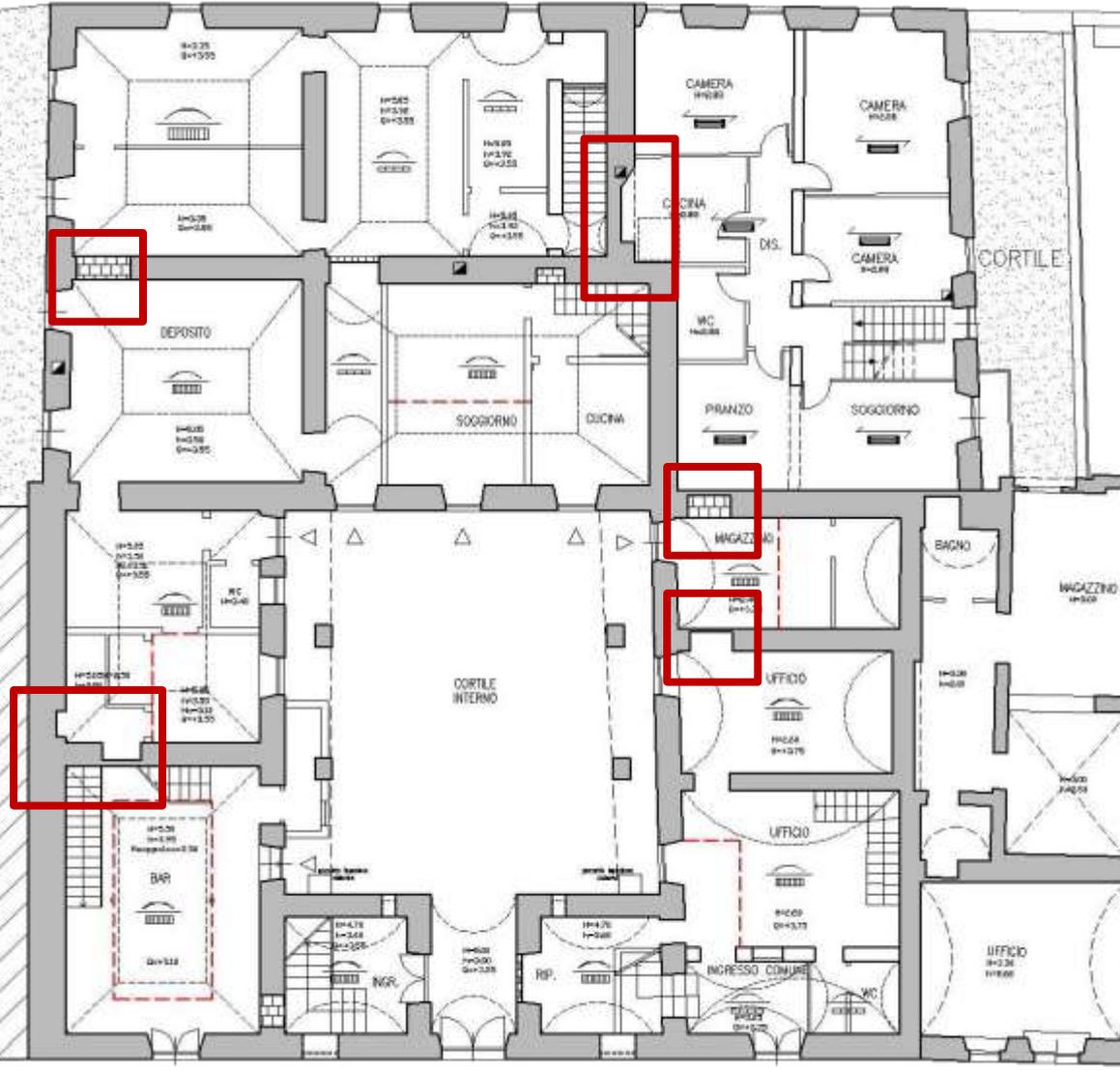


RILIEVO GEOMETRICO

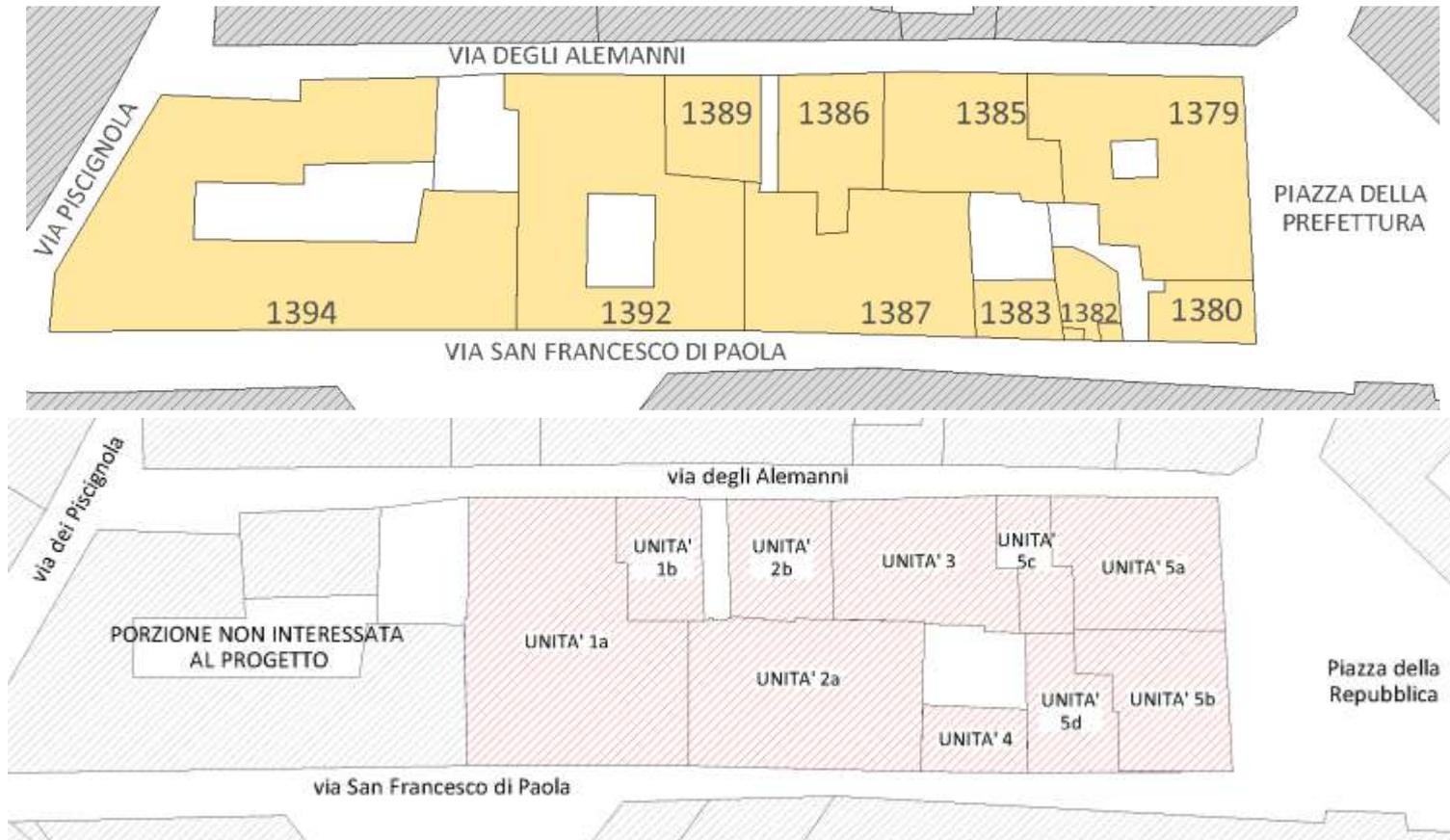


ELEMENTI PECULIARI DEL RILIEVO

PRESENZA DI NICCHIE E APERTURE TAMPONATE



DEFINIZIONE DELLE UNITA' STRUTTURALI



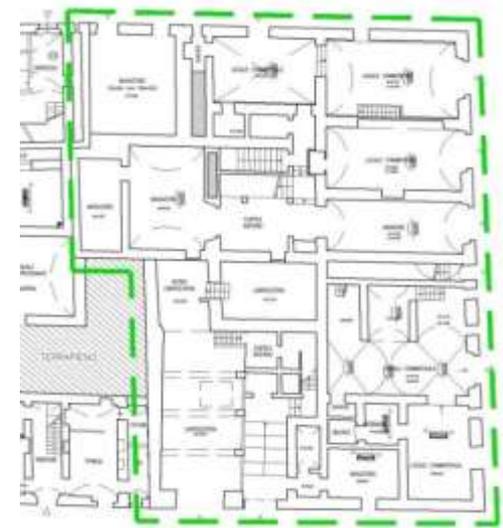
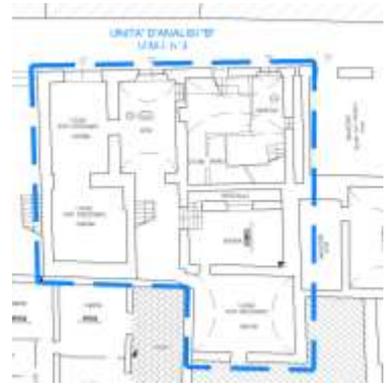
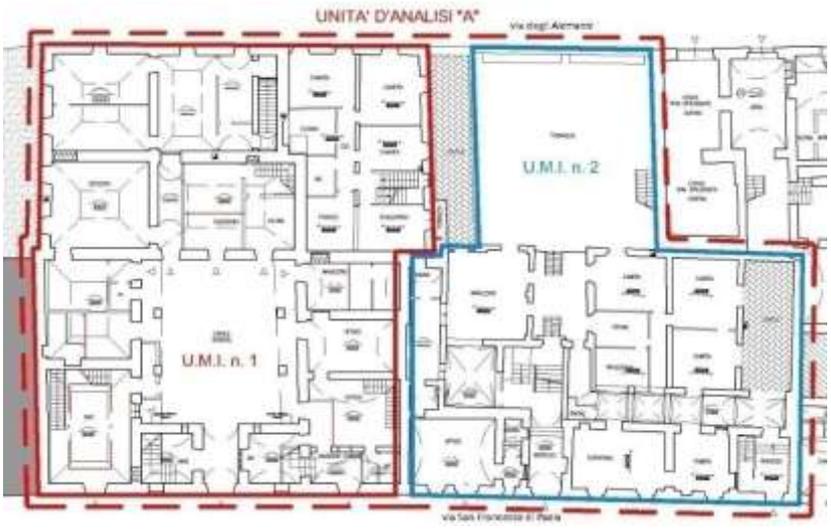
INDIVIDUAZIONE U.S.:

- composta da una o più unità immobiliari
- comportamento strutturale unitario nei confronti dei carichi (statici e dinamici)
- delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui costruiti, ad esempio, con tipologie strutturali diverse o con materiali diversi o in epoche diverse

RILIEVO GEOMETRICO

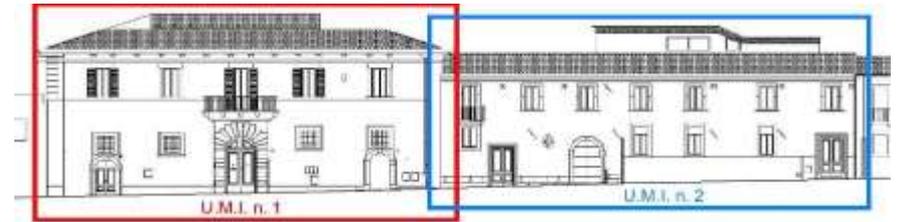


DEFINIZIONE DELLE UNITA' MINIME DI INTERVENTO



INDIVIDUAZIONE U.M.I. e U.A.:

- UNIFORMITA' TIPOLOGICA E STRUTTURALE
- MURI IN COMUNE O ACCOSTATI
- GIUNTI TRA EDIFICI
- CARICO DEGLI ORIZZONTAMENTI E DELLE VOLTE
- PROPRIETA'



IDENTIFICAZIONE DELLO SCHEMA STRUTTURALE RESISTENTE



ANALISI TIPOLOGICA

RICONOSCIMENTO TIPOLOGIE ORIGINARIE E VARIANTI



MANOMISSIONI STRUTTURALI, AGGIUNTE E MODIFICHE DISTRIBUTIVE

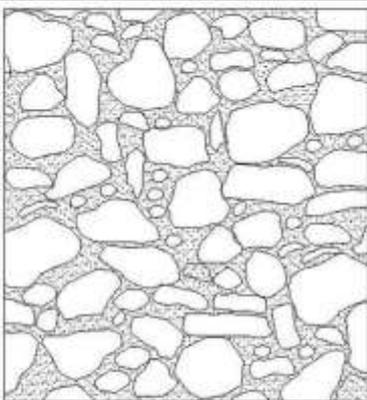
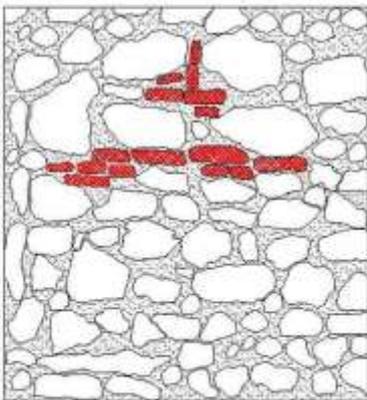


- qualità del collegamento tra pareti verticali;
- qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- tipologia ed efficienza strutturale degli architravi al di sopra delle aperture;
- presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- elementi di discontinuità determinati da cavedi, canne fumarie ecc.;
- tipologia della muratura;
- tipologia degli orizzontamenti;
- presenza di presidi antisismici esistenti (tiranti, ecc.)

RILIEVO COSTRUTTIVO STRUTTURALE

ANALISI DELLA TECNICA COSTRUTTIVA LOCALE

TIPOLOGIA MURARIA

TIPOLOGIA MURARIA: MURATURA IN PIETRAMA 		
 <p>FOTOGRAFIA PARAMENTO</p>	 <p>RESTITUZIONE GRAFICA PARAMENTO</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div> PIETRA</div> <div> MATTONI</div> <div> FODERA IN LATERIZIO</div> <div> MALTA</div> </div> <p>TIPOLOGIA: MURATURA DI PIETRAMA A CONCI PARZIALMENTE SBOZZATI DI PICCOLE E MEDIE DIMENSIONI CON SUPERFICIE INTONACATA SU AMBO I LATI</p> <p>ELEMENTI BASE:</p> <ul style="list-style-type: none"> -INTONACO SU ENTRAMBI I LATI DI SPESSORE PARI A 6 cm - CONCI DI PIETRA CALCAREA CON DIMENSIONI VARIABILI DA 10 x 15cm A 15 x 30 cm - SCAGLIE DI PIETRA - MALTA DI CALCE E SABBIA
TIPOLOGIA MURARIA: MURATURA MISTA 		
 <p>FOTOGRAFIA PARAMENTO</p>	 <p>RESTITUZIONE GRAFICA PARAMENTO</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div> PIETRA</div> <div> MATTONI</div> <div> FODERA IN LATERIZIO</div> <div> MALTA</div> </div> <p>TIPOLOGIA: MURATURA DI PIETRAMA A CONCI IRREGOLARI DI PICCOLE E MEDIE DIMENSIONI CON PRESENZA DI ORIZZONTAMENTI E ZEPPE IN LATERIZIO CON SUPERFICIE INTONACATA SU ENTRAMBI I LATI</p> <p>ELEMENTI BASE:</p> <ul style="list-style-type: none"> -INTONACO SU ENTRAMBI I LATI DI SPESSORE PARI A 6 cm - CONCI DI PIETRA CALCAREA CON DIMENSIONI VARIABILI DA 10 x 15cm A 15 x 30 cm - MATTONI IN LATERIZIO 26 x 11 x 3 cm - SCAGLIE DI PIETRA E LATERIZIO - MALTA DI CALCE E SABBIA

INDIVIDUAZIONE TIPOLOGICA



CATALOGAZIONE

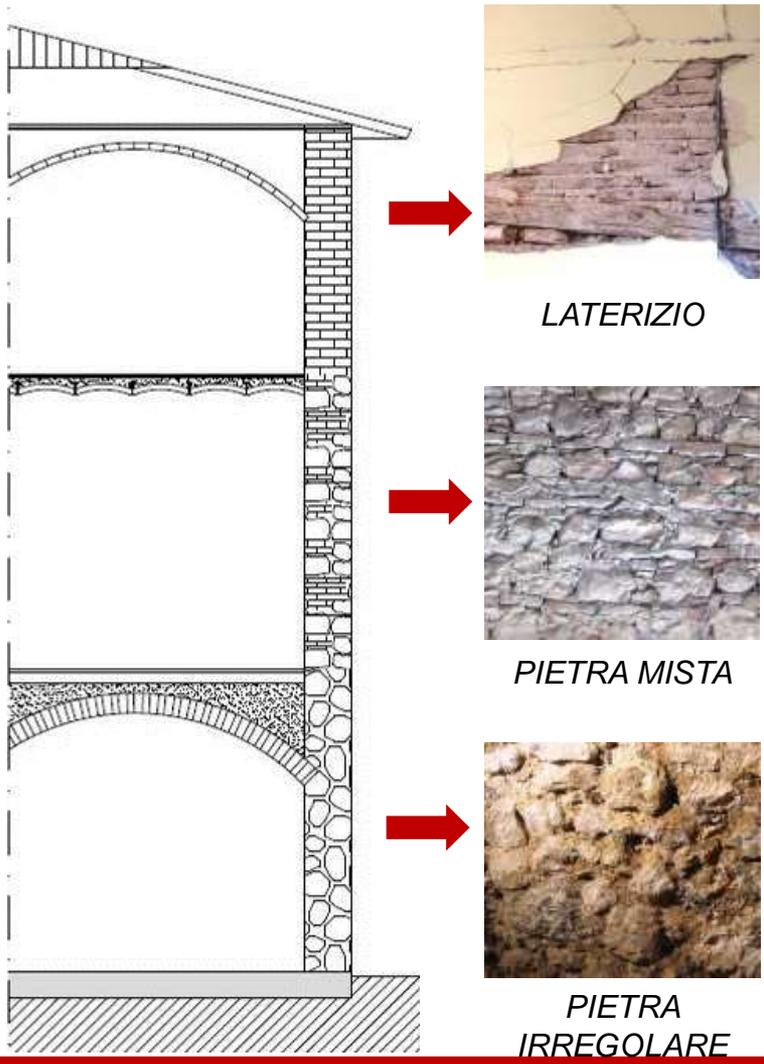


RAPPRESENTAZIONE TAVOLE GRAFICHE

RILIEVO COSTRUTTIVO STRUTTURALE

ANALISI DELLA TECNICA COSTRUTTIVA LOCALE

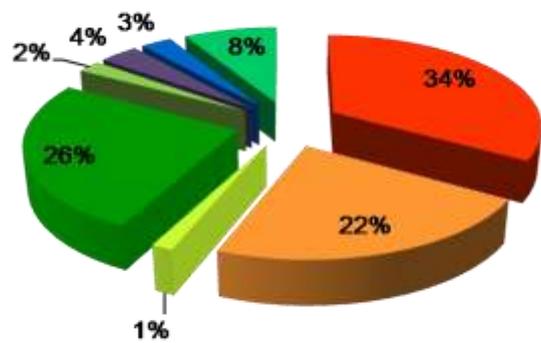
ELEMENTI VERTICALI



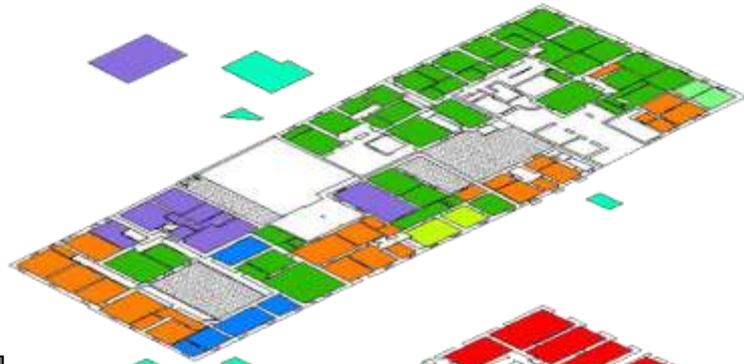
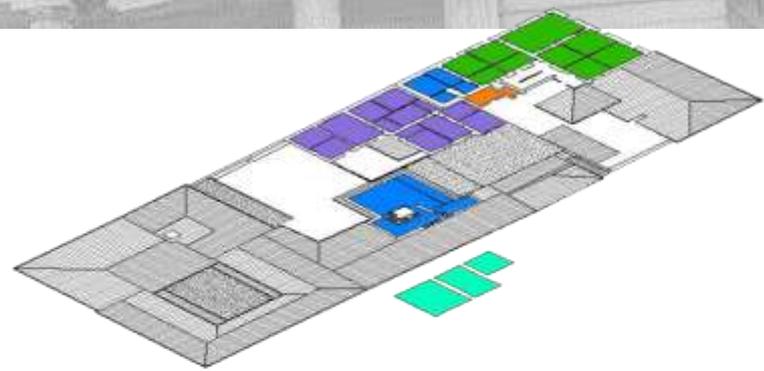
RILIEVO COSTRUTTIVO STRUTTURALE

ANALISI DELLA TECNICA COSTRUTTIVA LOCALE

ORIZZONTAMENTI



- VOLTE IN SPESSORE
- VOLTE IN FOGLIO
- PUTRELLE TAVELLE
- PUTRELLE TAVELLONI
- PUTRELLE VOLTINE
- LATEROCEMENTO
- SOLAI O COPERTURE LIGNEI A VISTA
- SOPPALCHI LEGGERI

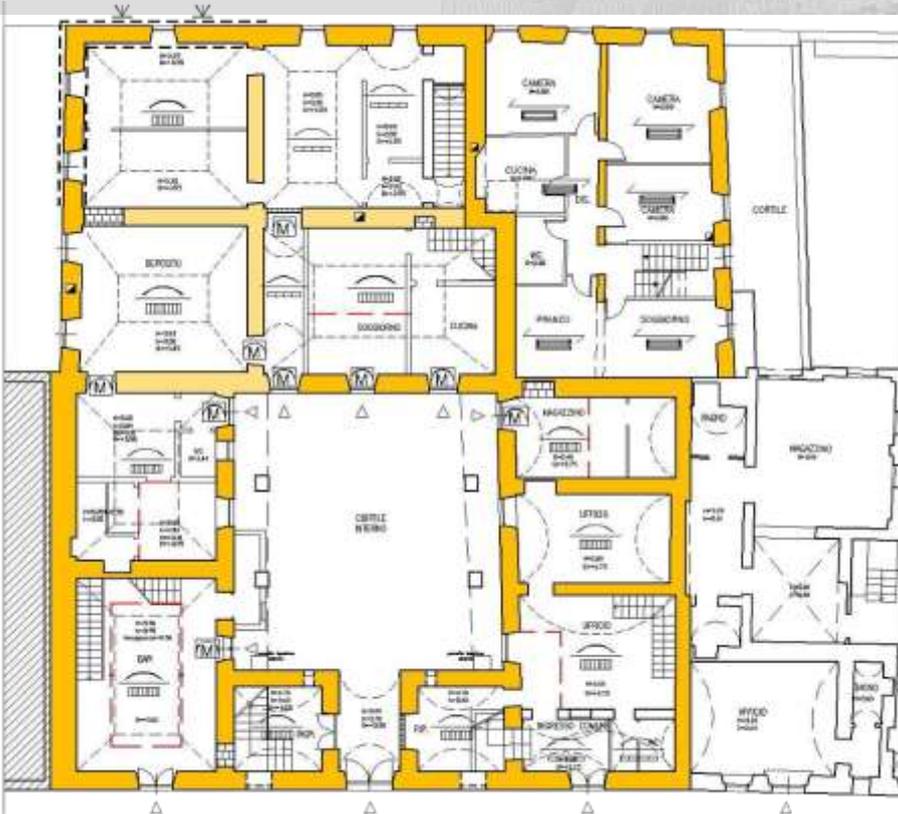


**SOLAIO
PUTRELLE e TAVELLONI**

VOLTA IN FOGLIO



RILIEVO COSTRUTTIVO STRUTTURALE

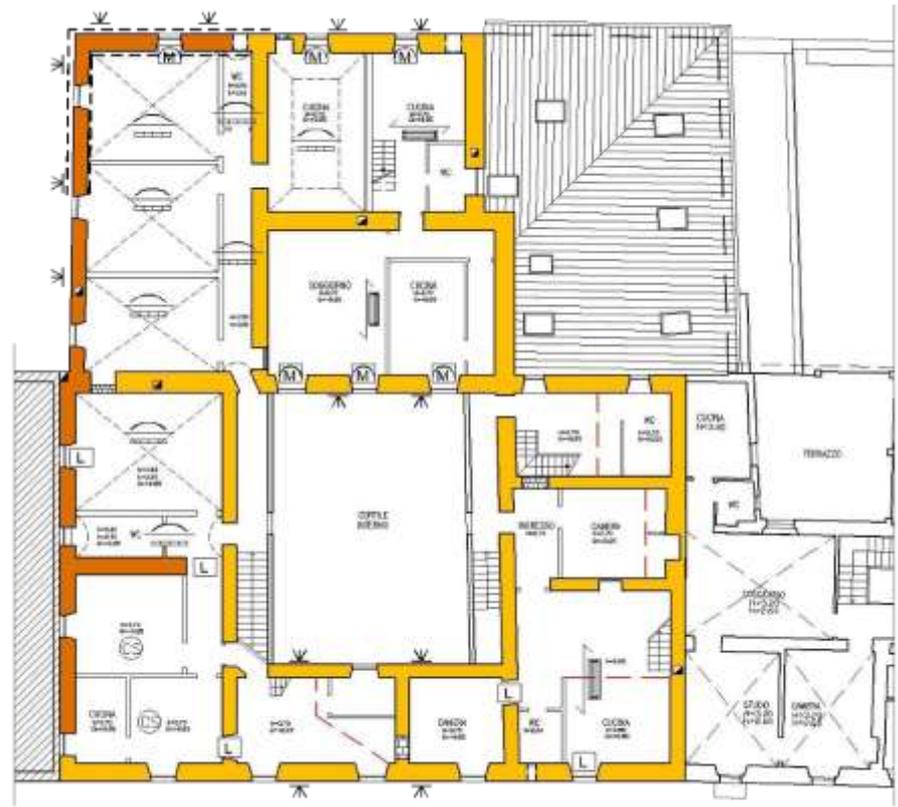


PIANTA PIANO TERRA

STRUTTURE IN ELEVAZIONE	ORIZZONTAMENTI	ARCHITRAVI
PIETREME	SOLAIO IN LEGNO	ARCHITRAVE IN LATERIZIO
PIETRA MISTA	SOLAIO PUTRELLE E TAVELLONI	ARCHIVOLTO IN LATERIZIO
PIETRA MISTA DI SCARSA QUALITA'	SOLAIO PUTRELLE E VOLTINE	ARCHITRAVE IN PIETRA
LATERIZIO	SOLAIO IN C.A.	ARCHIVOLTO IN PIETRA
PIETRA CON RICORSI IN LATERIZIO	VOLTA IN SPESSORE	ARCHITRAVE PUTRELLE E TAVELLONI
RIFODERA IN LATERIZIO	VOLTA IN FOGLIO	ARCHITRAVE IN LEGNO
PARETINA ARMATA	VOLTA IN CANNUCCIATO	ARCHITRAVE IN ACCIAIO
TIRANTE	CONTROSSOFFITTO	

TAVOLE DI SINTESI DELLE ANALISI PRECEDENTI

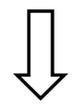
- STRUTTURE IN ELEVAZIONE
- ORIZZONTAMENTI
- ARCHITRAVI
- PRESIDI
- INTERVENTI PREGRESSI



PIANTA PIANO PRIMO

RILIEVO CRITICO DEL DANNO

LETTURA DEL QUADRO FESSURATIVO



INDIVIDUAZIONE DEI MECCANISMI ATTIVATI

RICONOSCIMENTO DELLE CAUSE DI DANNO E DELLE PRINCIPALI VULNERABILITÀ

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL COMPORTAMENTO GLOBALE



- lesione passante
- lesione non passante
- distacco dell'intonaco
- intonaco armato pre-esistente



- CROLLO
- LESIONE NON PASSANTE
- LESIONE PASSANTE
- LESIONE DIFFUSA
-
-
-

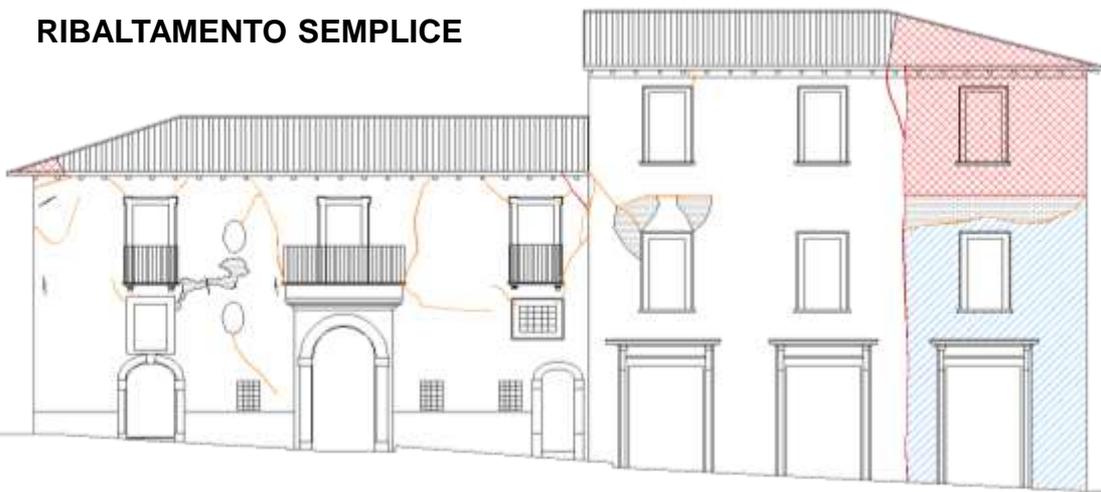
IN PIANTE, PROSPETTI E SEZIONI

RILIEVO CRITICO DEL DANNO

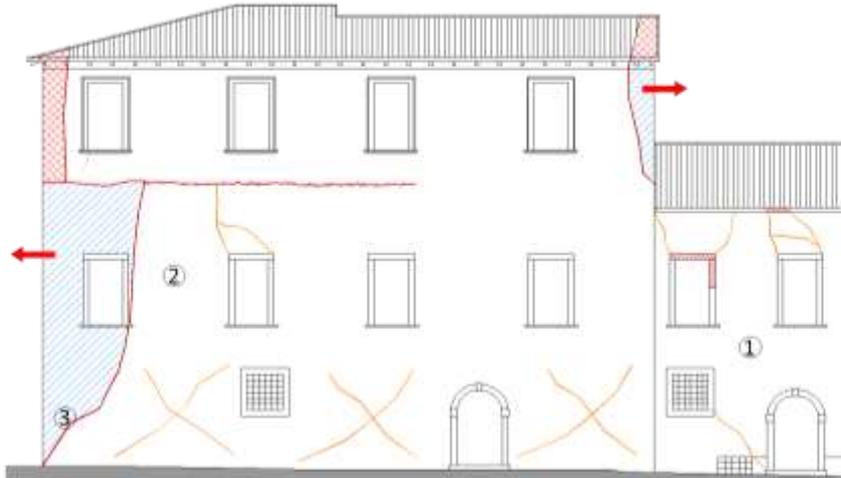


INDIVIDUAZIONE DEI MECCANISMI ATTIVATI

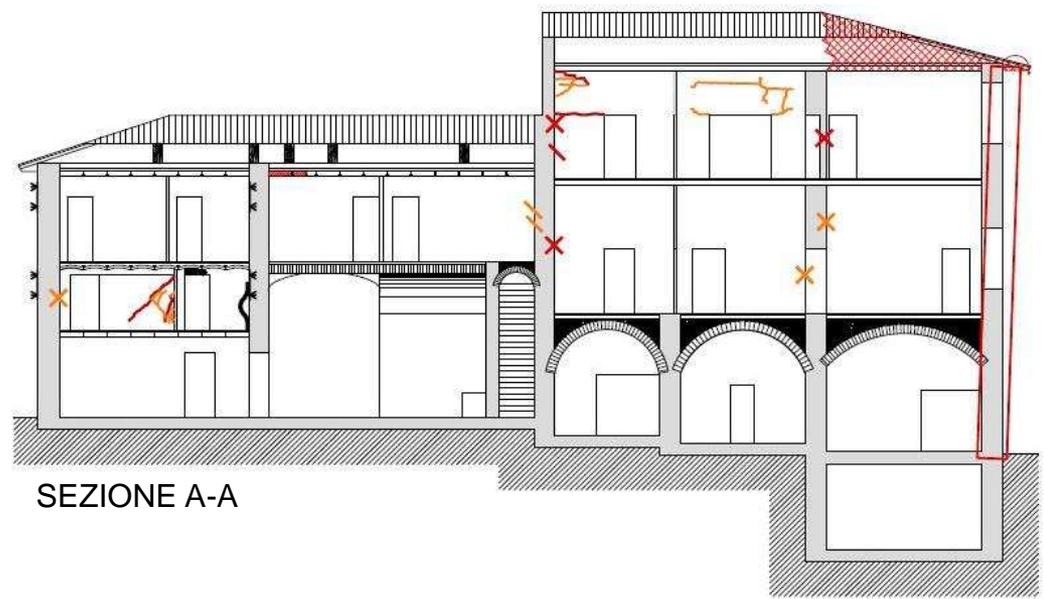
RIBALTAMENTO SEMPLICE



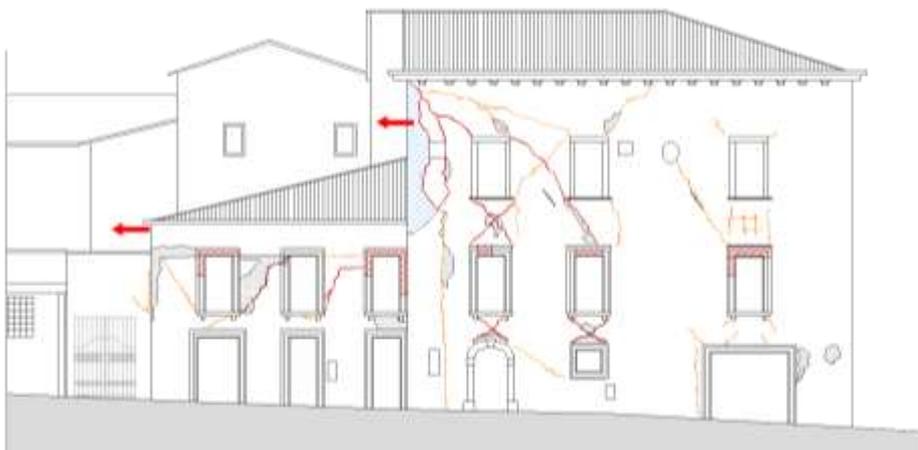
RIBALTAMENTO CON CUNEO



RILIEVO CRITICO DEL DANNO



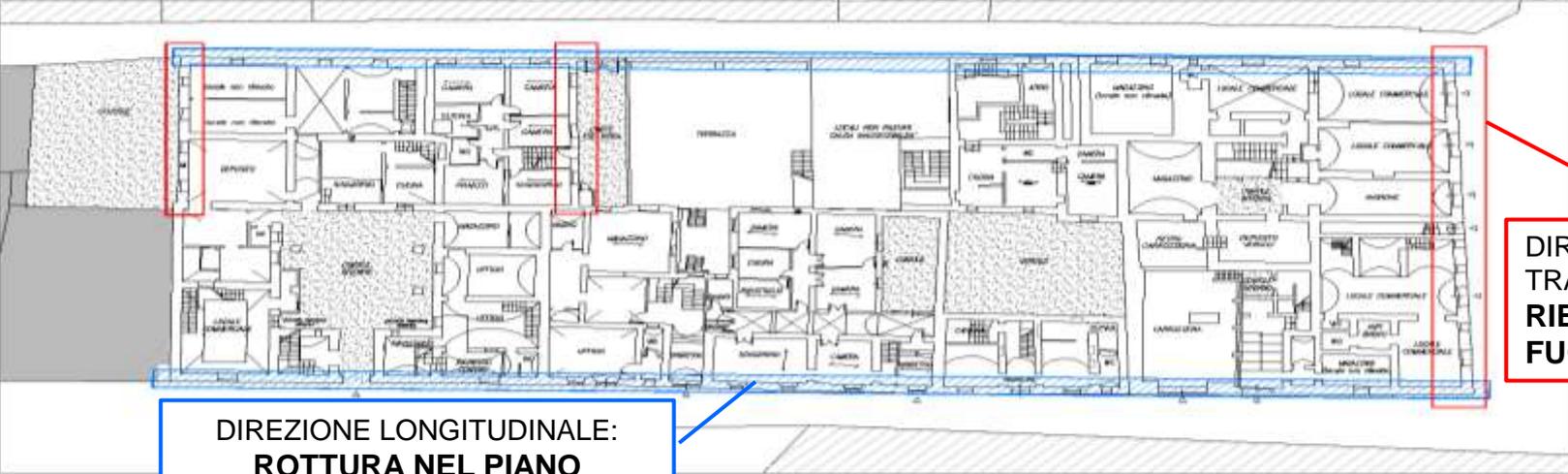
SEZIONE A-A



	spancimento		crollo		fessure su pavimenti e volte
	lesione non passante		lesione al cantonale	<p>TIRANTI</p>	
	lesione passante		martello		
	lesione diffusa		incrocio		
	lesione a croce		lesione all'architrave		

RILIEVO CRITICO DEL DANNO

COMPORAMENTO Globale DELL'AGGREGATO



RILIEVO CRITICO DEL DANNO

Più in dettaglio, studio del **DANNO** e delle **VULNERABILITÀ INTRINSECHE** per ogni US.

VULNERABILITA' ELEMENTI VERTICALI E ORIZZONTALI



ASSENZA DI COLLEGAMENTI



QUALITA' MURARIA INSUFFICIENTE

- ASSENZA DI INCATENAMENTI
- FATISCENZA e insufficienza statica

VULNERABILITA' LOCALIZZATE



DISTRIBUZIONE IRREGOLARE di aperture



presenza di SUPERFETAZIONI

- presenza di ELEMENTI SPINGENTI
- variazioni consistenti di AREA RESISTENTE da un piano all'altro
- ELEMENTI NON STRUTTURALI mal vincolati.

RILIEVO CRITICO DEL DANNO

CROLLO VOLTE IN FOGLIO



INDIVIDUAZIONE DELLE VULNERABILITÀ



INDEBOLIMENTO MURATURA



CORDOLO IN C.A.

RILIEVO CRITICO DEL DANNO

INDIVIDUAZIONE DELLE VULNERABILITÀ



INTONACO ARMATO



INDEBOLIMENTO SETTI PORTANTI



INSERIMENTO DI CORDOLI IN C.A.



PROVE IN SITU

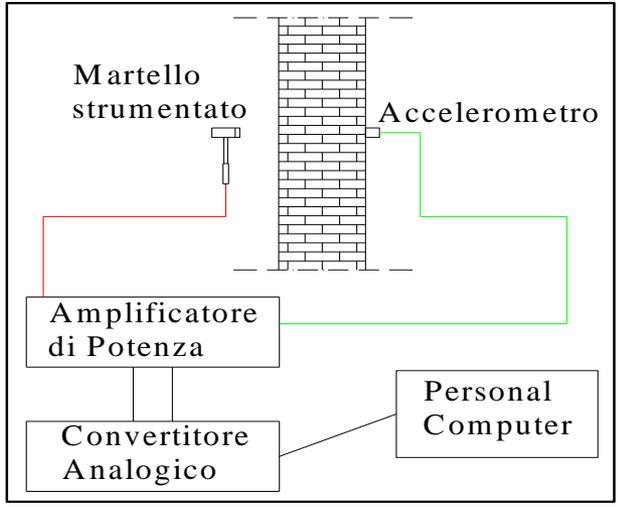
ESECUZIONE DI CAMPAGNA DI PROVE

1. PROVE SONICHE
2. PROVE TOMOGRAFICHE
3. PROVE CON MARTINETTI PIATTI
SINGOLI E DOPPI
4. **PROVE DI INIETTABILITA'**
5. PROVE DI VERIFICA CON MARTINETTI PIATTI
SINGOLI E DOPPI



Valutare il grado di compattezza della muratura, ossia l'eventuale presenza di vuoti all'interno della stessa, le caratteristiche della malta e degli elementi costitutivi. Verifica della possibilità di eseguire iniezioni di miscele per incrementare la resistenza della muratura.

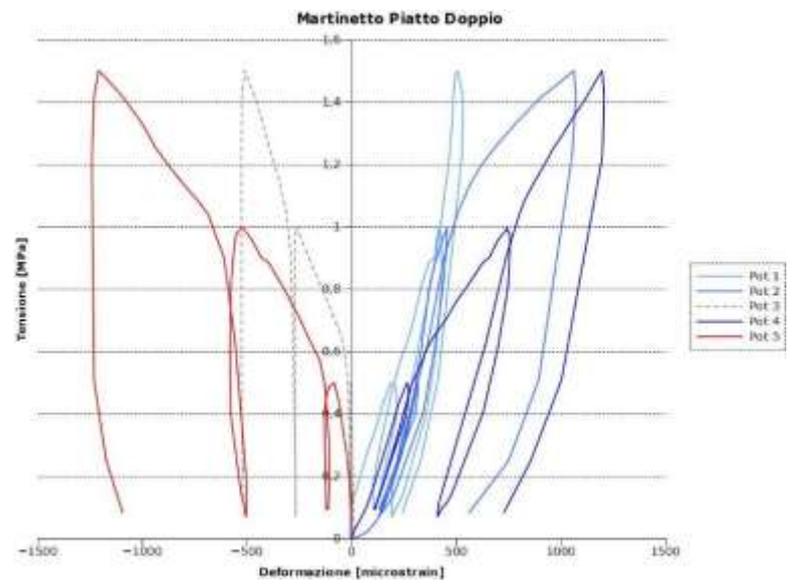
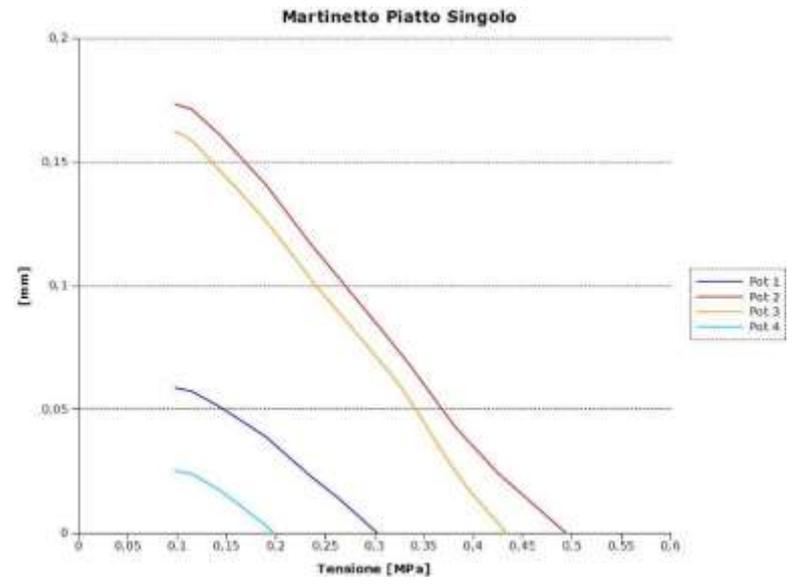
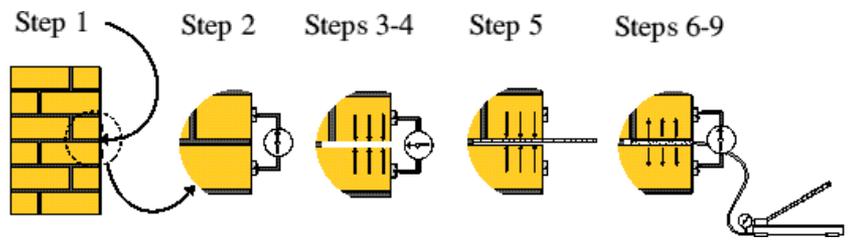
PROVE SONICHE



PROVE IN SITU

MARTINETTI PIATTI

- SINGOLI: misura dello stato di tensione nella muratura
- DOPPI: misura della proprietà elastiche



NTC 2008 - AGGREGATI EDILIZI (§ C8A.3)

Nell'analisi di un edificio facente parte di un aggregato edilizio occorre tenere conto delle **possibili interazioni** derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti, connessi o in aderenza ad esso, con il criterio di minimizzare la frammentazione in interventi singoli.



Tra le **interazioni strutturali** con gli edifici adiacenti si dovranno considerare:

- carichi provenienti da solai o da pareti di US adiacenti;
- spinte di archi e volte appartenenti ad US contigue;
- spinte provenienti da archi di contrasto o da tiranti ancorati su altri edifici; spinte non contrastate causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti;
- effetti locali causati da prospetti non allineati, o da differenze di altezza o di rigidità tra US adiacenti, azioni di ribaltamento e di traslazione che interessano le pareti nelle US di testata delle tipologie seriali (schiere);
- possibile martellamento nei giunti tra US adiacenti.

Circolare 617 2/2/2009 § C8A.3

L'analisi di una unità strutturale secondo i metodi utilizzati per edifici isolati, senza una adeguata modellazione oppure con una modellazione approssimata dell'interazione con i corpi di fabbrica adiacenti assume un significato convenzionale. Di conseguenza, si ammette che l'analisi della **capacità sismica globale** dell'US possa essere verificata attraverso **metodologie semplificate**.

VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER GLI EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI (§ C8A.3.1)

Sono inoltre obbligatorie le **verifiche dei meccanismi locali** significativi, in particolare con la finalità di garantire la sicurezza nei riguardi dello SL ultimo (§ C8A.4).

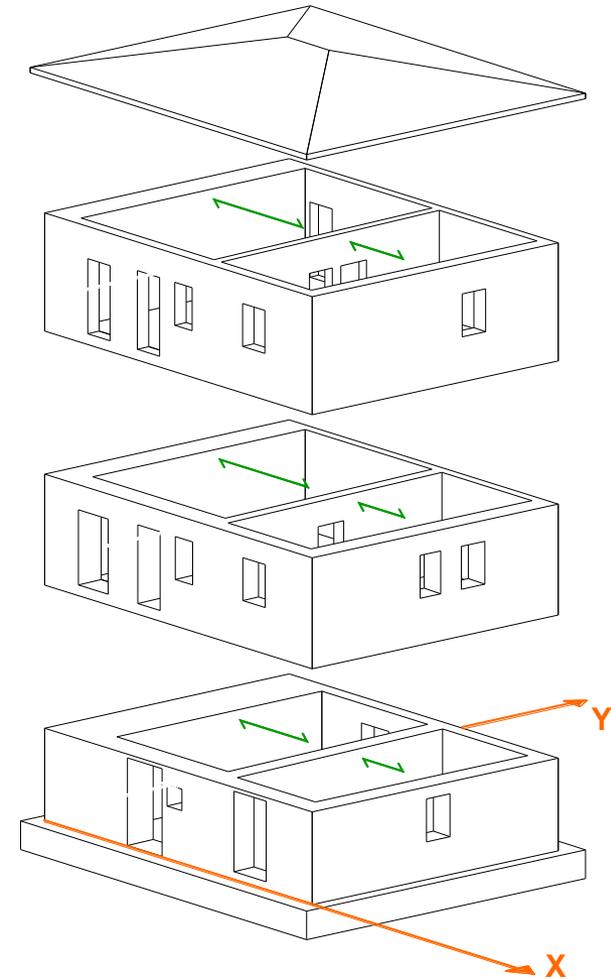
MECCANISMI D'INSIEME: ANALISI GLOBALE SEMPLIFICATA

VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

Circolare 617 2/2/2009 § C8A.3.1

Nel caso di **solai sufficientemente rigidi**, la verifica di una unità strutturale in aggregato può essere svolta mediante analisi statica non lineare analizzando e verificando separatamente ciascun interpiano dell'edificio e trascurando la variazione della forza assiale nei maschi murari dovuta all'effetto dell'azione sismica.

Con l'esclusione di **unità strutturali d'angolo o di testata**, così come di parti di edificio non vincolate o non aderenti su alcun lato ad altre unità strutturali (es. piani superiori di un edificio di maggiore altezza rispetto a tutte le US adiacenti), l'analisi potrà anche essere svolta trascurando gli effetti torsionali, ipotizzando che i solai possano unicamente traslare nella direzione considerata dell'azione sismica.

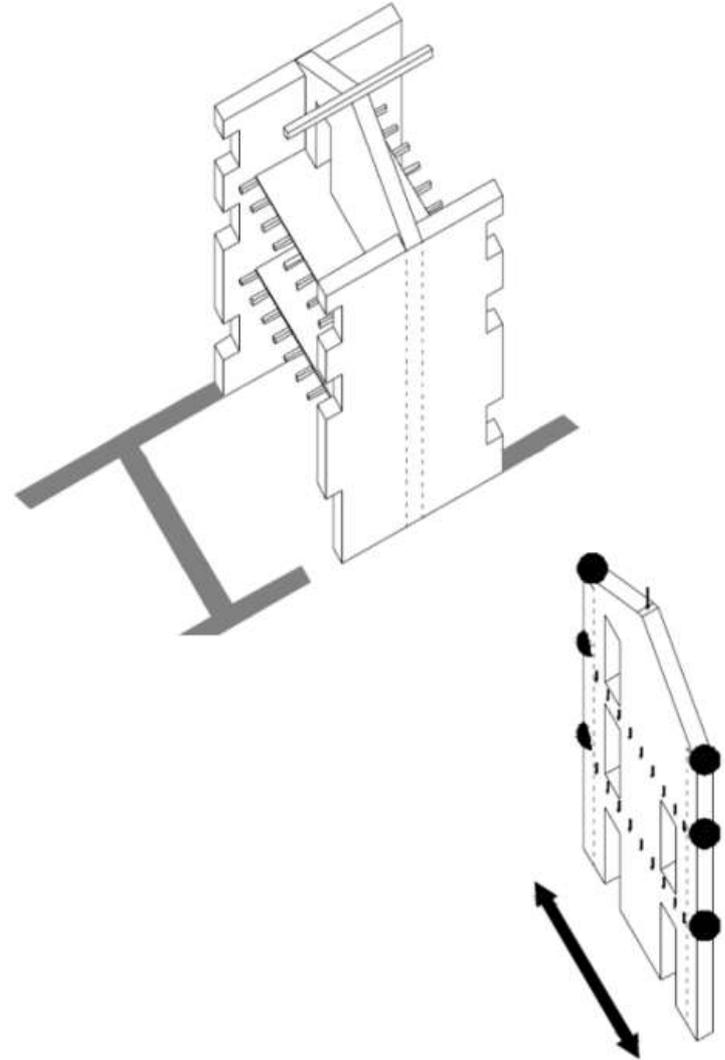


VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

Circolare 617 2/2/2009 § C8A.3.1

Qualora i solai dell'edificio siano **flessibili** si procederà all'analisi delle singole pareti o dei sistemi di pareti complanari che costituiscono l'edificio, ciascuna analizzata come struttura indipendente, soggetta ai carichi verticali di competenza ed all'azione del sisma nella direzione parallela alla parete.

In questo caso l'analisi e le verifiche di ogni singola parete seguiranno i criteri esposti al § 7.8.2.2 per gli edifici in muratura ordinaria di nuova costruzione, con le integrazioni riportate al § 8.7.1.5.

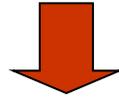


Circolare 617 2/2/2009 § C8.7.1.1

Quando la costruzione non manifesta un chiaro comportamento d'insieme, ma piuttosto tende a reagire al sisma come un insieme di sottosistemi (meccanismi locali), la verifica su un modello globale non ha rispondenza rispetto al suo effettivo comportamento sismico.

Particolarmente frequente è il caso di edifici estesi e di geometria complessa non dotati di solai rigidi e resistenti nel piano, né di efficaci e diffusi sistemi di catene o tiranti. In tali casi **la verifica globale può essere effettuata attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali**, purché la totalità delle forze sismiche sia coerentemente ripartita sui meccanismi locali considerati e si tenga correttamente conto delle forze scambiate tra i sottosistemi strutturali considerati.

Edifici esistenti in muratura in aggregato



**procedure di calcolo semplificato per l'analisi e la verifica
dei meccanismi d'insieme**



**tramite metodologie
semplificate**



**tramite insieme esaustivo
di verifiche locali**

ReLUI S Bozza – Ottobre 2010. *Linee guida per il rilievo, l'analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato.* www.reluis.it

§ B.5



analisi complessiva preliminare di edifici in aggregato



**effettuare valutazioni preliminari e, in particolare,
una verifica semplificata**

NTC 2008 - AGGREGATI EDILIZI

Circolare Min. delle Infr. e dei Trasp. n. 617 2/2/09

LGBC (Linee Guida per i Beni Culturali)



VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER GLI EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI (§ C8A.3.1)

1. VERIFICA COMPLESSIVA PRELIMINARE / SPEDITIVA

↳ **VULNUS:** valutazione quantitativa dell'accelerazione di collasso, nell'ipotesi che questo si verifichi per rottura di pareti nel proprio piano, nell'ambito di un comportamento complessivo del manufatto

2. VERIFICA DEI MECCANISMI LOCALI FUORI PIANO E NEL PIANO

3. MECCANISMI D'INSIEME

↳ Si utilizza quanto indicato al § 7.8.2.2 Verifiche di sicurezza:

- 7.8.2.2.1 Pressoflessione nel piano
- 7.8.2.2.2 Taglio
- 7.8.2.2.3 Pressoflessione fuori piano
- 7.8.2.2.4 Travi in muratura

con le precisazioni riportate nel § C8.7.1.5 (ad es. resistenza a taglio di calcolo per azioni nel piano)

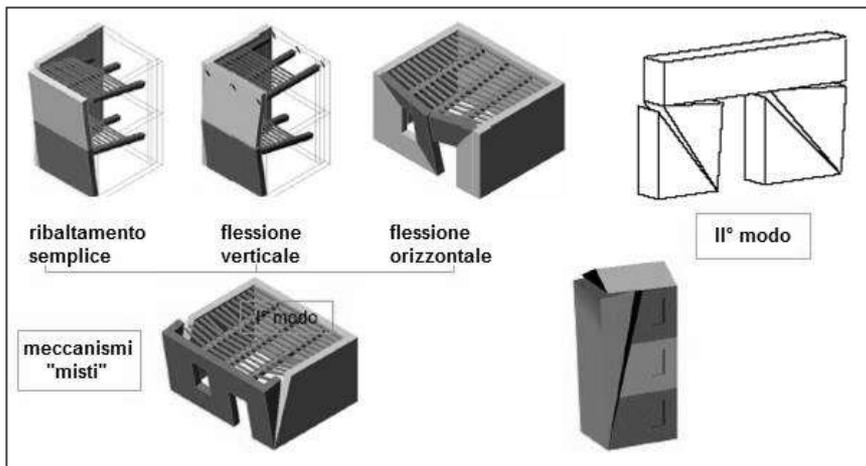
LV1: VALUTAZIONE QUALITATIVA BASATA SULL'ANALISI CINEMATICA PER MACROELEMENTI



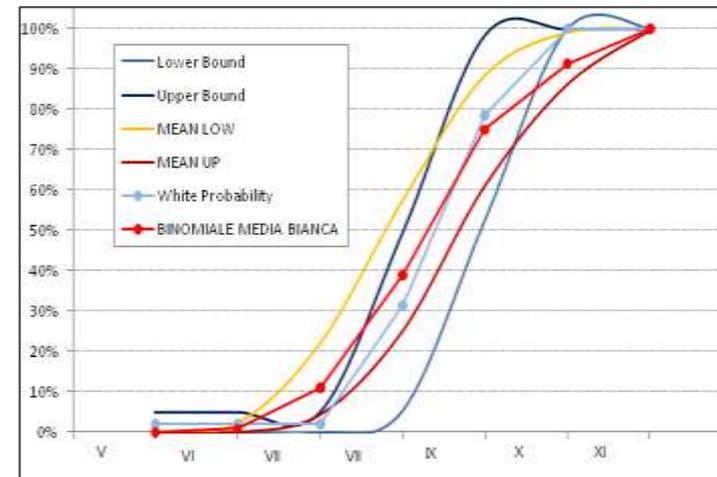
VULNUS (vers.3.2)



VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA
DI EDIFICI IN MURATURA ISOLATI O
FACENTI PARTE DI AGGREGATI COMPLESSI



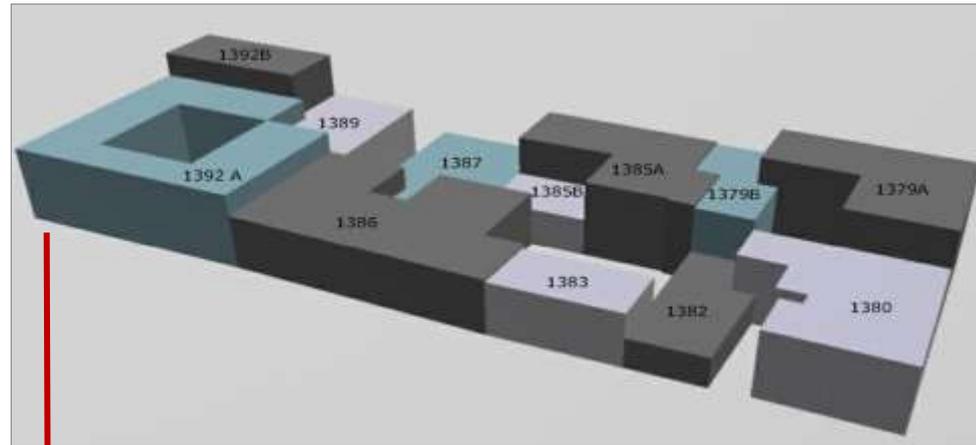
1-STUDIO DELL'ATTIVAZIONE DI MECCANISMI
DI COLLASSO FUORI E NEL PIANO



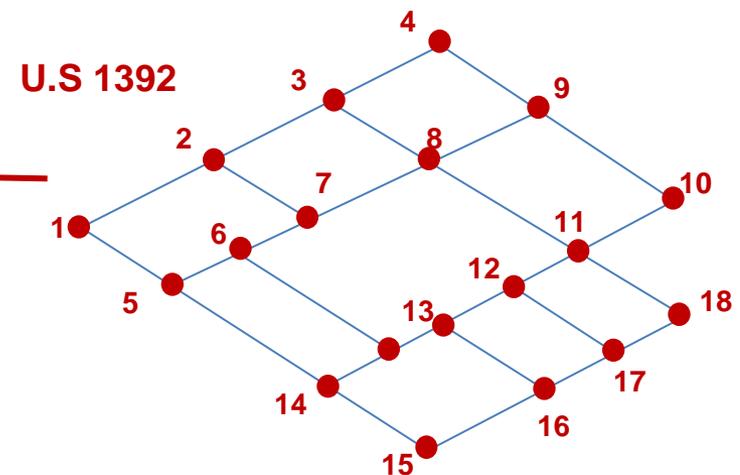
2- ANALISI DI VULNERABILITÀ DEI SINGOLI
EDIFICI E DEL GRUPPO E CALCOLO DEI
VALORI ATTESI DI DANNO GRAVE

VERIFICA TRAMITE MODELLI SEMPLIFICATI: VULNUS

SCHEMATIZZAZIONE AGGREGATO



1) SUDDIVISIONE DELL'AGGREGATO IN 12 UNITÀ STRUTTURALI (U.S)



2) SCHEMATIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE

-PARETI

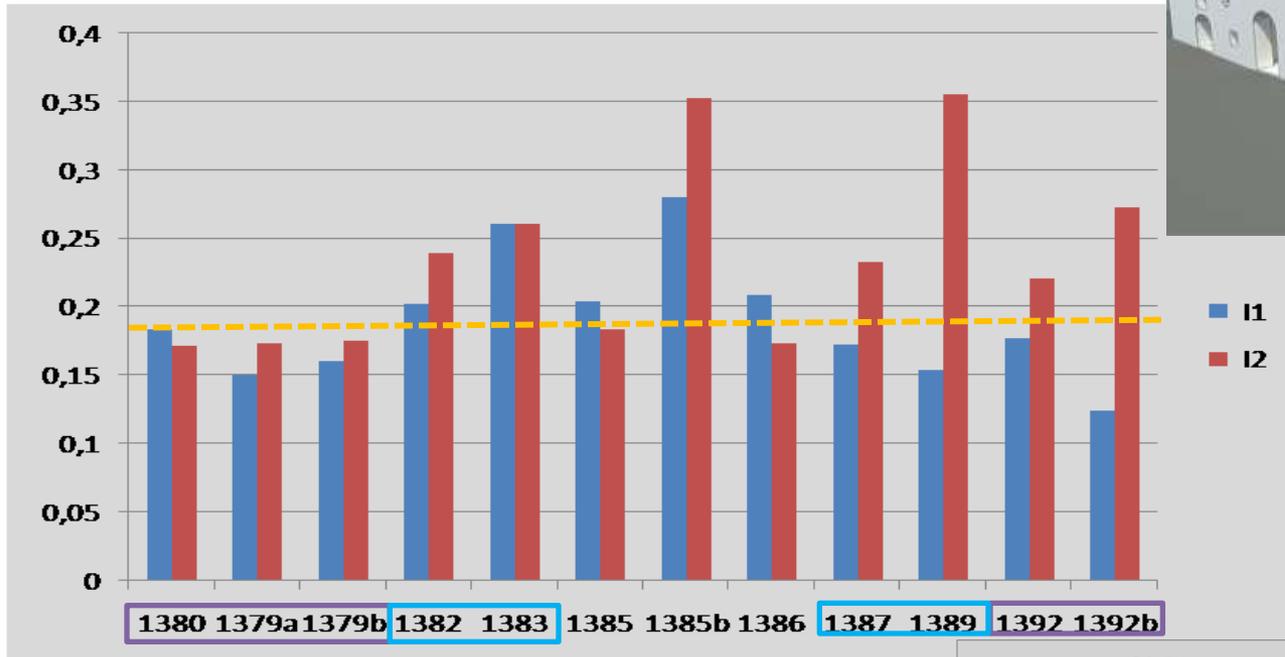
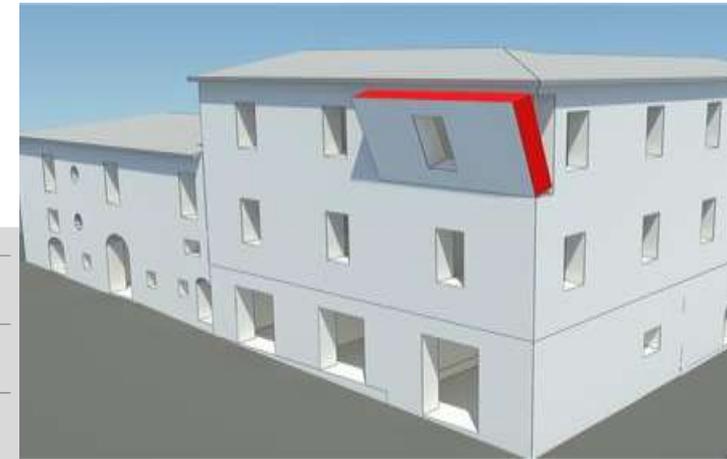
-SETTI

-NODI

VERIFICA TRAMITE MODELLI SEMPLIFICATI: VULNUS

I1: RESISTENZA A TAGLIO DEI PANNELLI MURARI PARALLELI ALL'AZIONE SISMICA

I2: RESISTENZA FLESSIONALE DI SETTI ORTOGONALI ALLA DIREZIONE SISMICA

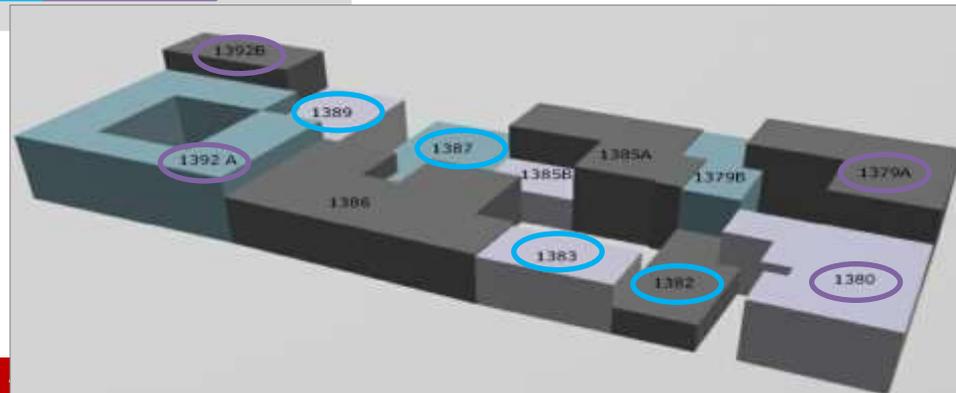


OBIETTIVO
INDIVIDUAZIONE
MECCANISMI PIÙ VULNERABILI
PER OGNI UNITÀ STRUTTURALE

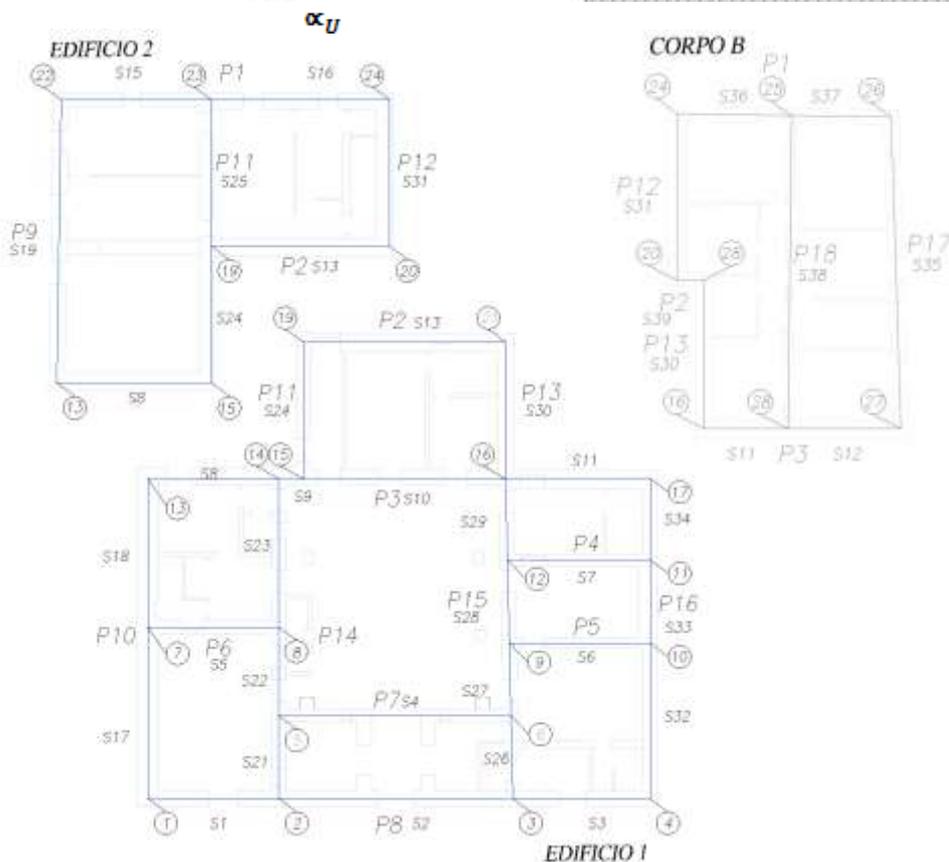
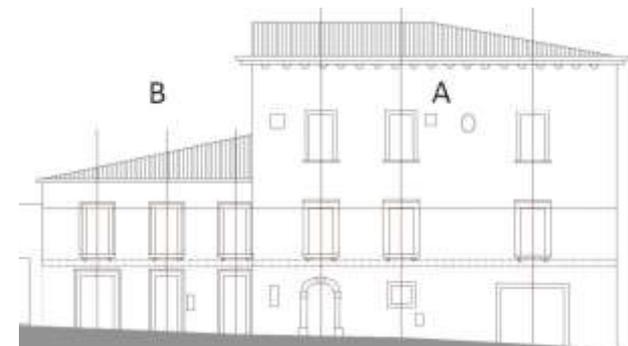
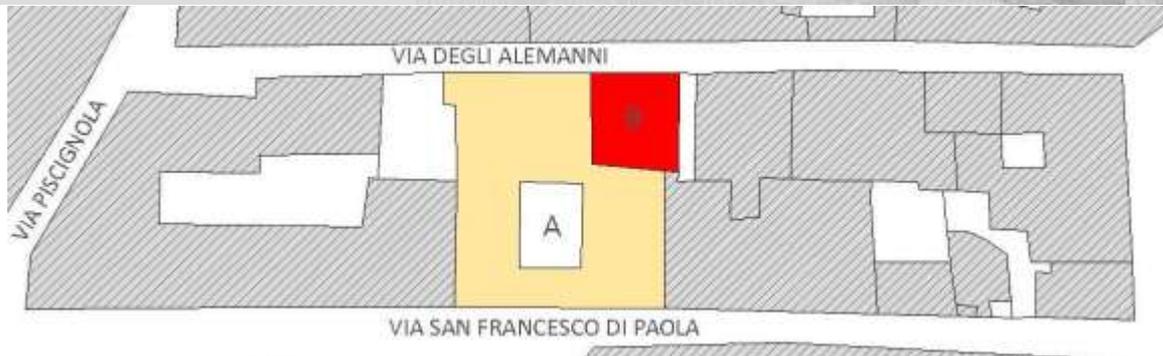
$I1 < I2$

MAGGIORE VULNERABILITÀ NEL
PIANO

- VALORI BASSI DI **I1** E **I2** PER EDIFICI ALTI O D'ESTREMITÀ
- MINOR VULNERABILITÀ PER EDIFICI IN POSIZIONE INTERNA O PIÙ BASSI



VERIFICA TRAMITE MODELLI SEMPLIFICATI: VULNUS



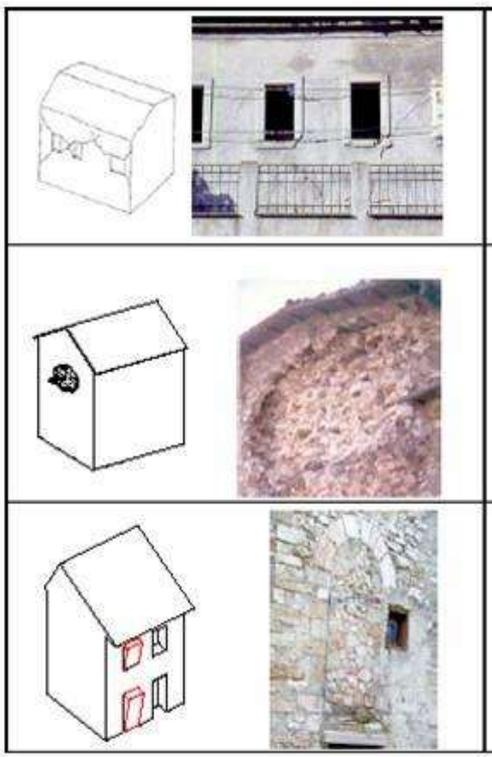
$$\alpha_U = \frac{PGA_C}{PGA_{10\%}}$$

$$\alpha_U = \frac{q l_1}{S F_0 a_g}$$

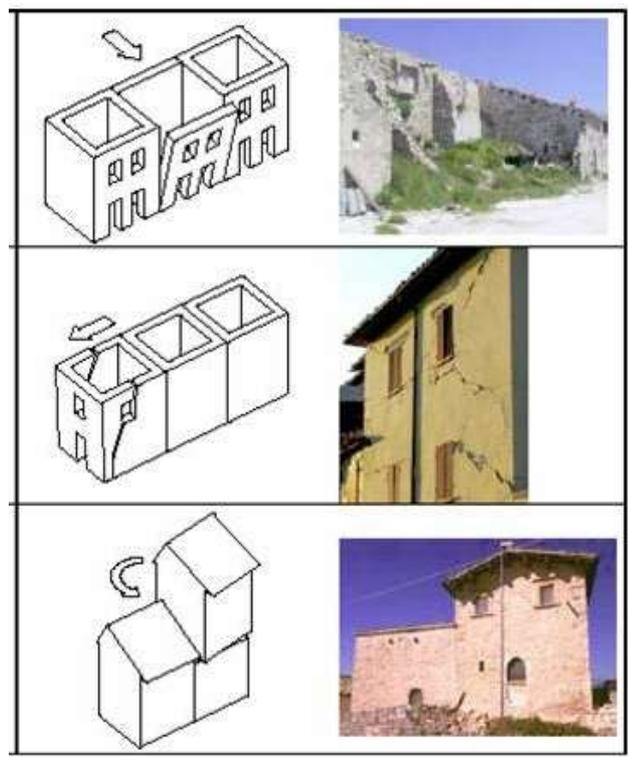
Unità strutturale	I1	α_U
Edificio 1 direzione X-X	0,135	0,417
Edificio1 direzione Y-Y	0,105	0,318
Edificio 2 direzione X-X	0,097	0,291
Edificio 2 direzione Y-Y	0,097	0,291
Corpo B direzione X-X	0,186	0,581
Corpo B direzione Y-Y	0,084	0,252

MECCANISMI LOCALI

L'applicazione del metodo presuppone l'analisi dei meccanismi locali ritenuti significativi per la costruzione, che possono essere:



Meccanismi locali



Aggregati edilizi

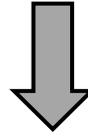
a) ipotizzati sulla base della conoscenza del comportamento sismico di strutture analoghe, già danneggiate dal terremoto (**abachi** distinti per le varie tipologie costruttive: edifici isolati, schiere di edifici, chiese...)

b) individuati considerando la presenza di eventuali **stati fessurativi**, anche di natura non sismica

Inoltre andranno tenute presente la qualità della connessione tra le pareti murarie, la tessitura muraria, la presenza di catene, le interazioni con altri elementi della costruzione o degli edifici adiacenti

VERIFICA MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO

VALUTAZIONI DI SINGOLI MACROELEMENTI CON RIFERIMENTO A MODELLI LOCALI TRA CUI QUELLI BASATI SULL'ANALISI CINEMATICA LIMITE PER MACROELEMENTI



ANALISI DELLE **PORZIONI PIÙ VULNERABILI** DELLA STRUTTURA EVIDENZIANDO I MECCANISMI DI DANNO PIÙ PREVEDIBILI E **CALCOLO DEI TIRANTI**

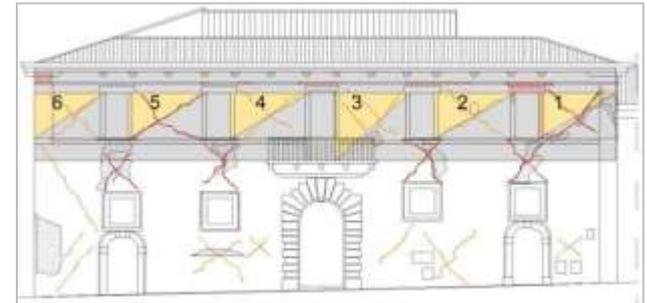
MECCANISMI FUORI PIANO

- RIBALTAMENTO GLOBALE FUORI PIANO
- RIBALTAMENTO PARZIALE FUORI PIANO
- RIBALTAMENTO DEL CUNEO
- RIBALTAMENTO DEL CANTONALE
- RIBALTAMENTO CON CORDOLO
- MECCANISMO AD ARCO

MODI DI COLLASSO



MECCANISMI NEL PIANO



VERIFICA MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO



RIBALTAMENTO GLOBALE

ANALISI LINEARE								
t [m]	M _S [kNm]	M _R [kNm]	α ₀	M* [t]	e*	a ₀ [*] [m/s ²]	a ₀ ⁺ [m/s ²]	a ₀ [*] ≥ a ₀ ⁺
0,15	46,24	11072,63	0,004	154,65	0,7495	0,040	1,313	NO
ANALISI NON LINEARE								
θ [rad]	d _{k0} [m]	d ₀ [*] [m]	d _u [*] [m]	d _u ⁺ [m]	d _u [*] ≥ d _u ⁺ [m]			
0,0204	0,1152	0,1536	0,0615	0,2209	NO			

NON VERIFICATO
CAPACITÀ DI SPOSTAMENTO ULTIMA **27%**

RIBALTAMENTI PARZIALI

ANALISI LINEARE								
t [m]	M _S [kNm]	M _R [kNm]	α ₀	M* [t]	e*	a ₀ [*] [m/s ²]	a ₀ ⁺ [m/s ²]	a ₀ [*] ≥ a ₀ ⁺
0,11	342,91	5146,99	0,067	96,18	0,8217	0,589	1,31	NO
ANALISI NON LINEARE								
θ [rad]	d _{k0} [m]	d ₀ [*] [m]	d _u [*] [m]	d _u ⁺ [m]	d _u [*] ≥ d _u ⁺ [m]			
0,067	0,300	0,365	0,1461	0,1804	NO			

NON VERIFICATO
CAPACITÀ DI SPOSTAMENTO ULTIMA **80%**

ELEVATE SPINTE ORIZZONTALI DOVUTE AD ELEMENTI SPINGENTI

ANALISI LINEARE								
t [m]	M _S [kNm]	M _R [kNm]	α ₀	M* [t]	e*	a ₀ [*] [m/s ²]	a ₀ ⁺ [m/s ²]	a ₀ [*] ≥ a ₀ ⁺
0,041	179,54	1080,87	0,166	48,04	0,947	1,274	2,64	NO
ANALISI NON LINEARE								
θ [rad]	d _{k0} [m]	d ₀ [*] [m]	d _u [*] [m]	d _u ⁺ [m]	d _u [*] ≥ d _u ⁺ [m]			
0,1648	0,3570	0,3764	0,1506	0,1245	SI			

VERIFICATO
CAPACITÀ DI SPOSTAMENTO ULTIMA **120%**

VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

Circolare 617 2/2/2009 § C8A.3.1

solai dell'edificio **rigidi** → singoli interpiani → statica non lineare

solai dell'edificio **flessibili** → singole pareti → statica lineare
statica non lineare

NTC2008 § 7.8.1.6

Analisi statica lineare

resistenza di ogni elemento strutturale resistente al sisma maggiore della sollecitazione agente per pressoflessione e taglio nel piano della parete (§ 7.8.2.2 Verifiche di sicurezza, con le precisazioni riportate nel § C8.7.1.5 ad es. per la resistenza a taglio)

Analisi statica non lineare:

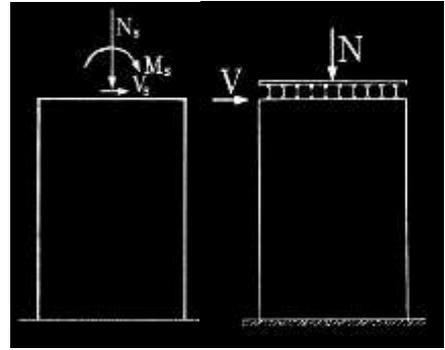
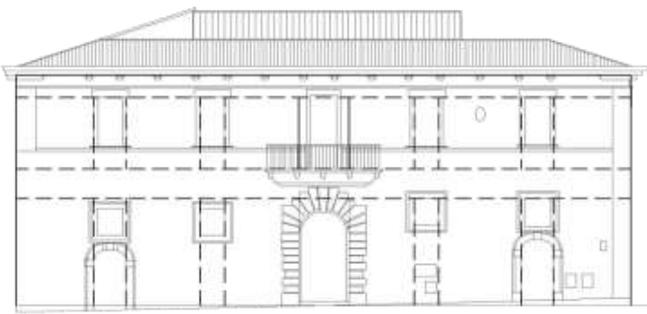
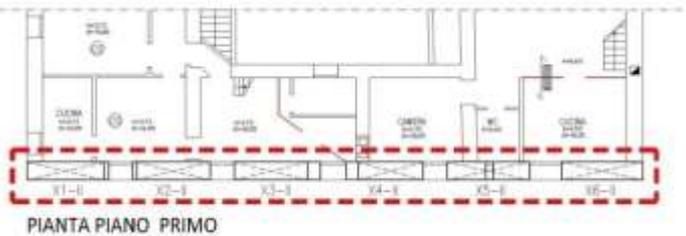
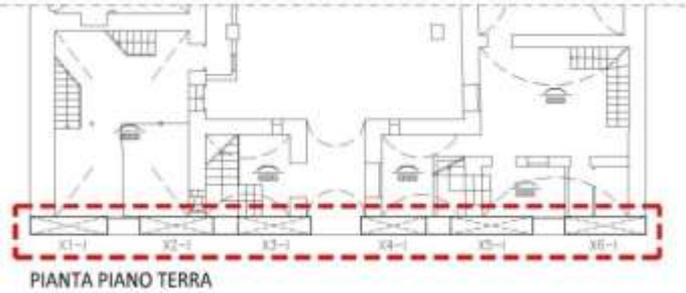
- confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e domanda di spostamento (procedimento illustrato al § 7.3.4.1)
- rapporto tra taglio totale agente sulla base del sistema equivalente ad 1 g.d.l. e taglio alla base resistente del sistema equivalente ad 1 g.d.l. ottenuto dall'analisi non lineare inferiore a 3,0

MECCANISMI D'INSIEME

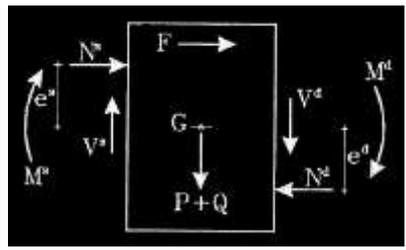
La **rigidezza e la resistenza dei solai** in ciascuna delle due direzioni dovrà essere valutata e considerata nel modello.

SOLAI FLESSIBILI: analisi delle singole pareti o di sistemi di pareti allineate

INDIVIDUAZIONE PARETI E SETTI RESISTENTI



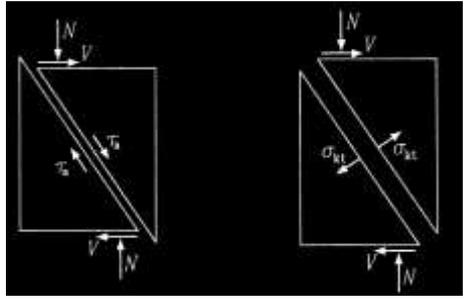
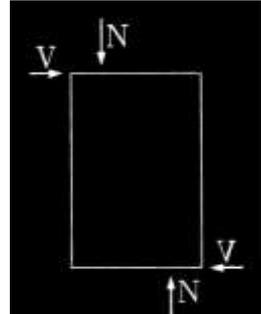
a mensola alla Grinter maschi



fasce

Pressoflessione

Taglio

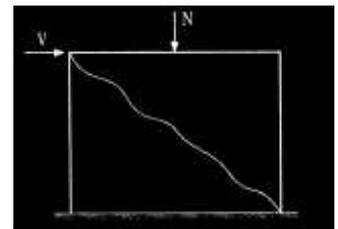
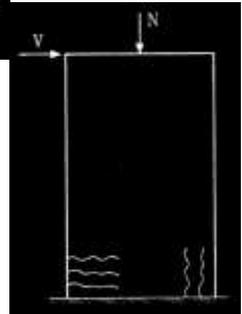


VERIFICHE

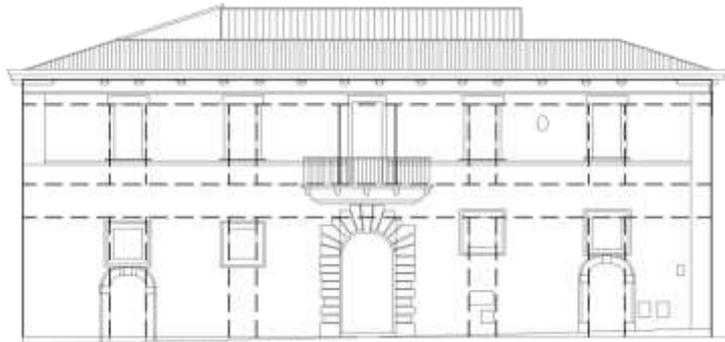
Pressoflessione

Taglio

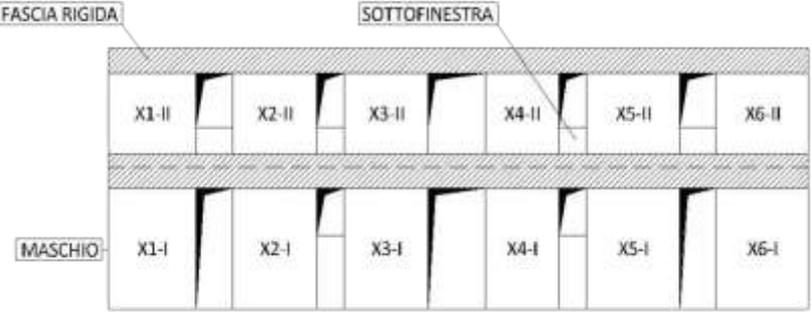
Travi in muratura



ANALISI STATICA LINEARE



PROSPETTO SUD



VERIFICA LINEARE LIVELLO I								
SETTO	V _{Sd,x} kN	M _{Sd,x} kNm	V _t kN	η=V _t /V _{Sd}	V _t >V _{Sd}	M _u kNm	η=M _u /M _{Sd}	M _u >M _{Sd}
X1	165,65	430,70	82,05	0,50	FALSO	137,00	0,32	FALSO
X2	152,41	396,26	77,66	0,51	FALSO	69,76	0,18	FALSO
X3	151,53	393,97	67,69	0,45	FALSO	196,16	0,50	FALSO
X4	121,26	315,27	61,68	0,51	FALSO	126,31	0,40	FALSO
X5	183,47	477,03	89,80	0,49	FALSO	194,68	0,41	FALSO
X6	180,79	470,06	84,74	0,47	FALSO	228,76	0,49	FALSO
TOTALE	955,11		463,63	0,49	FALSO			

VERIFICA LINEARE LIVELLO II								
SETTO	V _{Sd,x} kN	M _{Sd,x} kNm	V _t kN	η=V _t /V _{Sd}	V _t >V _{Sd}	M _u kNm	η=M _u /M _{Sd}	M _u >M _{Sd}
X1	102,76	223,50	72,71	0,71	FALSO	224,56	1,00	VERO
X2	96,01	208,83	72,72	0,76	FALSO	214,94	1,03	VERO
X3	95,56	207,85	70,72	0,74	FALSO	208,12	1,00	VERO
X4	79,77	173,50	61,36	0,77	FALSO	176,03	1,01	VERO
X5	111,72	243,00	89,12	0,80	FALSO	287,30	1,18	VERO
X6	110,38	240,08	85,17	0,77	FALSO	276,06	1,15	VERO
TOTALE	592,21		451,81	0,76	FALSO			

Pressoflessione

$$M_u = \frac{l^2 t \sigma_0}{2} \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 \cdot f_d} \right)$$

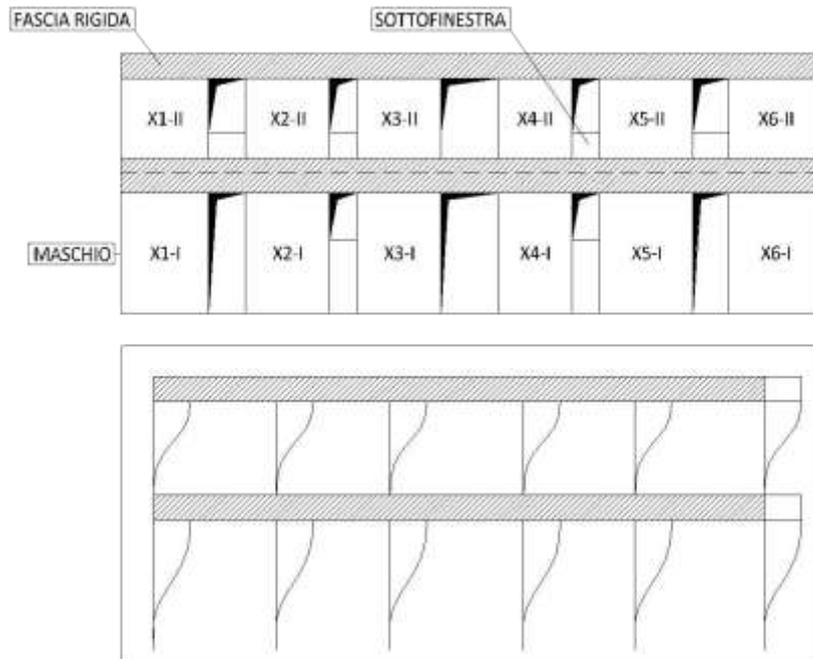
Taglio

$$V_t = l \cdot t \cdot \frac{1.5 \tau_{0,d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot \tau_{0,d}}}$$

ANALISI STATICA NON LINEARE

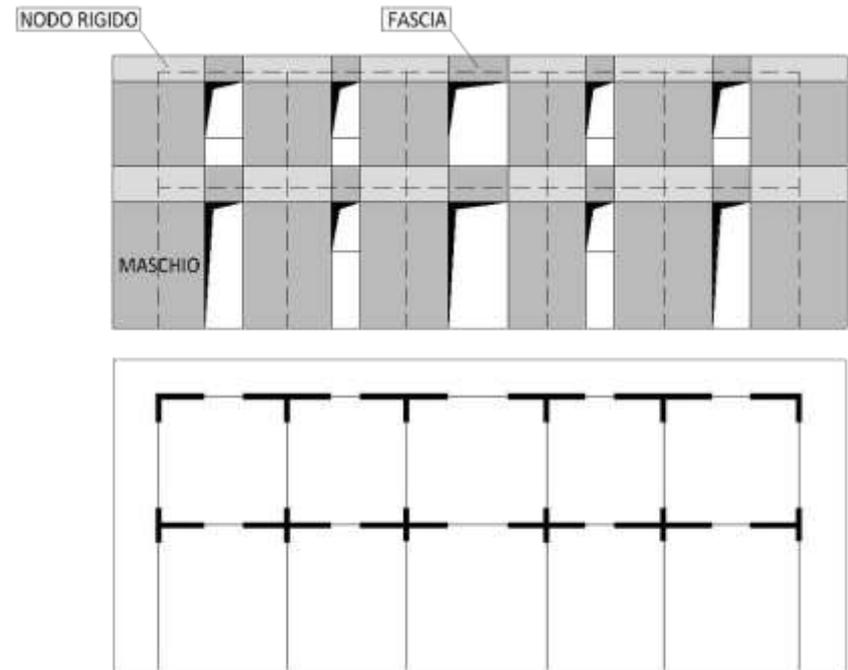
MODELLO DI CALCOLO

FASCE DI PIANO RIGIDE



MODELLO DI CALCOLO

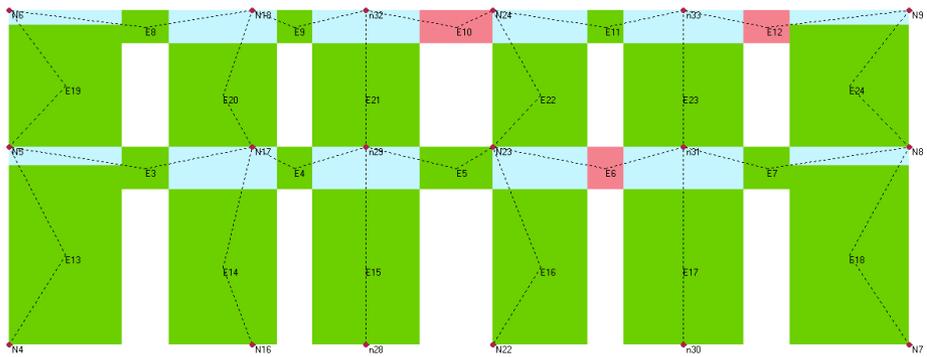
FASCE DI PIANO DEFORMABILI





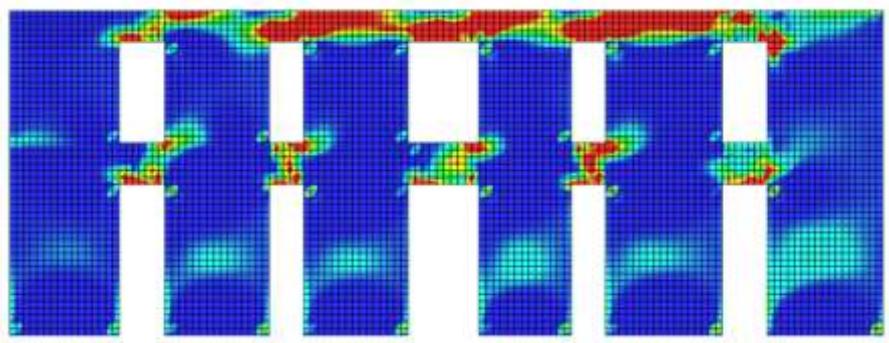
MODELLO DI CALCOLO

FASCE DI PIANO DEFORMABILI

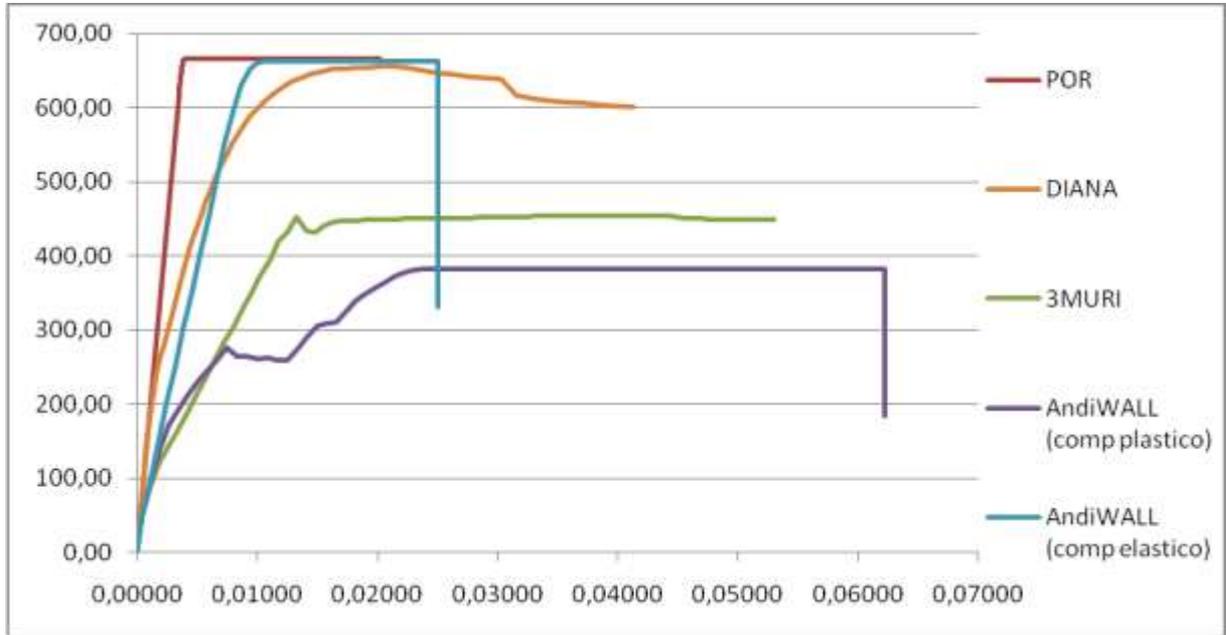


MODELLO DI CALCOLO

ELEMENTI FINITI



kN



non verificata
in resistenza

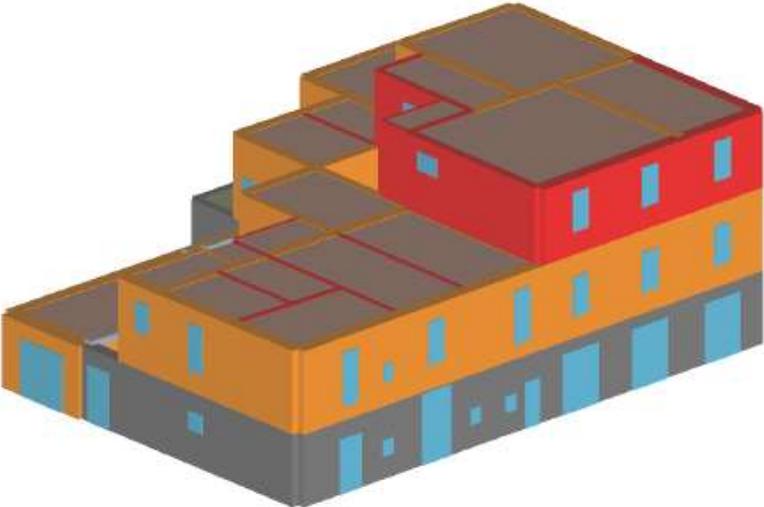
verificata in
spostamento

m

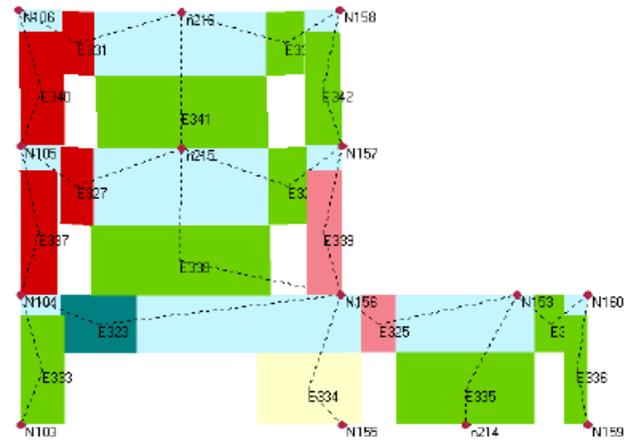
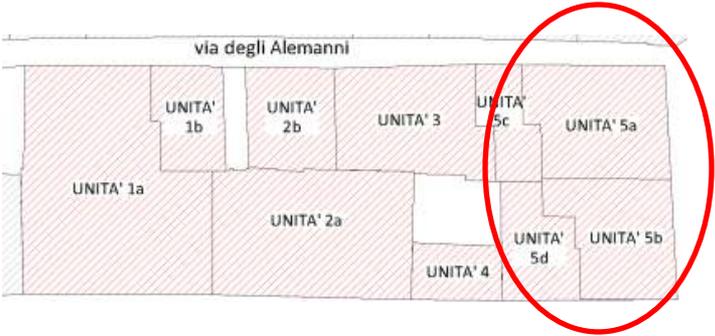
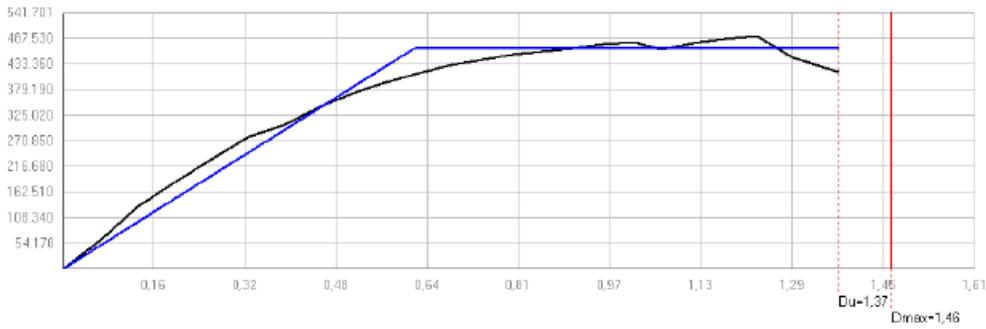
VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

Circolare 617 2/2/2009 § C8A.3.1

Risultati pre intervento



NT 08: Verifica SLU non soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta

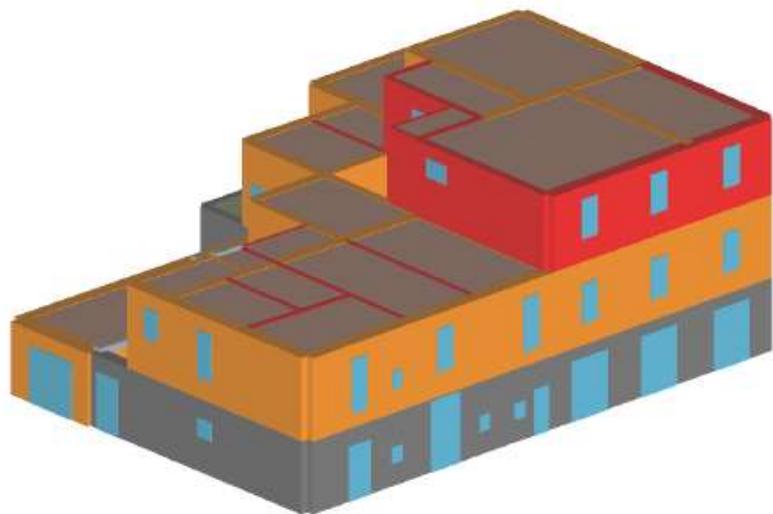


Muratura

- Integro
- Plastico per taglio
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione
- Rottura per trazione
- Rottura in fase elastica

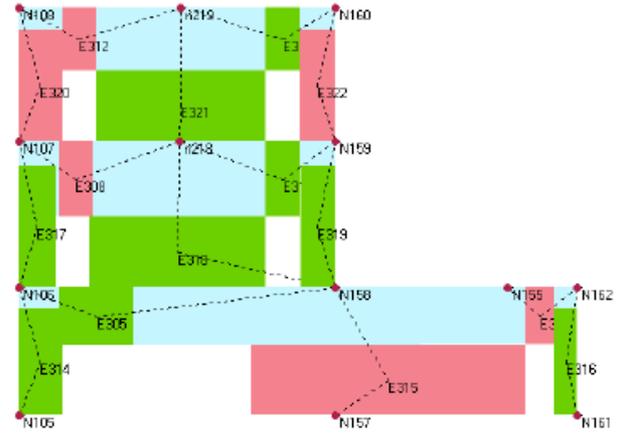
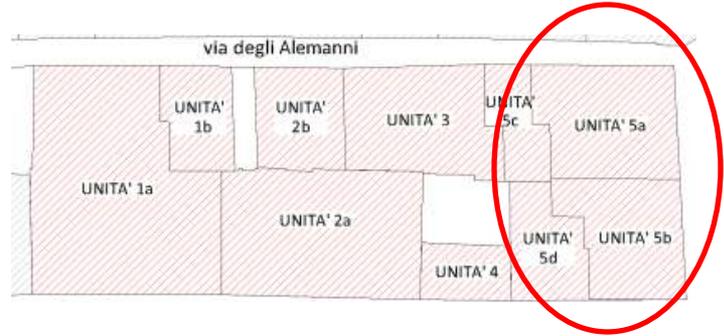
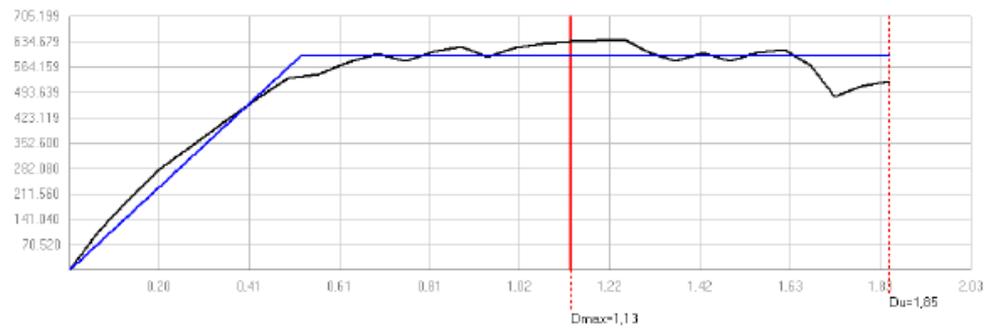
VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

Circolare 617 2/2/2009 § C8A.3.1



Risultati post intervento

NT 08: Verifica SLU soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta



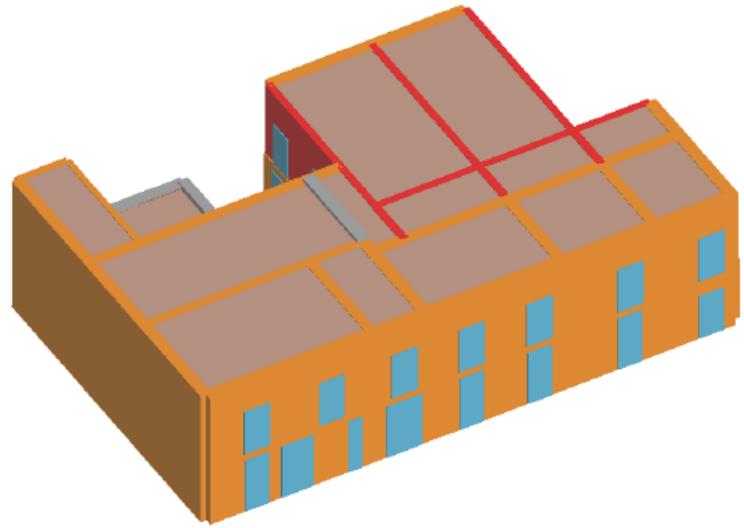
Muratura

- Integro
- Plastico per taglio
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione
- Rottura per trazione
- Rottura in fase elastica

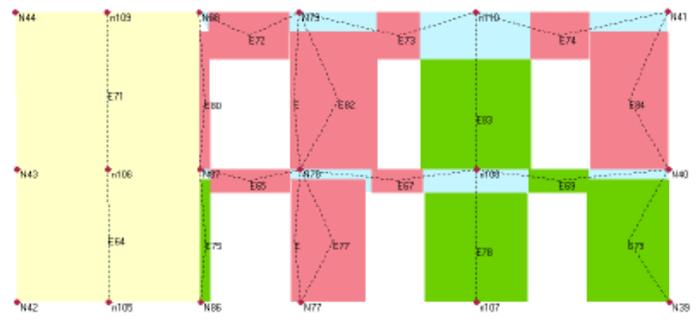
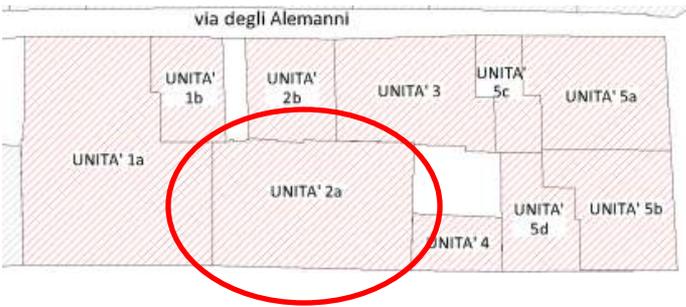
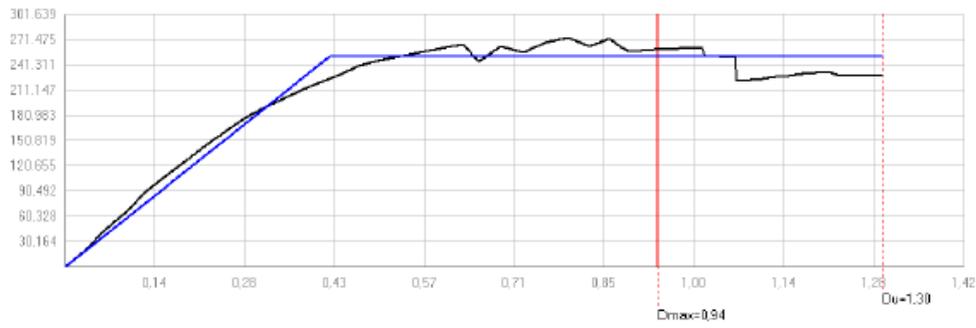
VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

Circolare 617 2/2/2009 § C8A.3.1

Risultati post intervento



NT 08: Verifica SLU soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta



Muratura

- Integro
- Plastico per taglio
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione
- Rottura per trazione
- Rottura in fase elastica

CORRELAZIONE TRA ANALISI DEL DANNO E TIPOLOGIA DI INTERVENTO

OBIETTIVO *	INTERVENTO
RIMOZIONE DELLE MODIFICHE DELL' <u>ASSETTO ORIGINARIO</u> CAUSA DI VULNERABILITÀ	1. RICOSTRUZIONE DELLA MURATURA
INCREMENTO DELLA <u>RESISTENZA DEGLI ELEMENTI MURARI</u>	2. SCUCI – CUCI 3. SCUCI-CUCI E INIEZIONI LOCALIZZATE SU LESIONI PROFONDE 4. RISTILATURA DEI GIUNTI 5. INIEZIONI DI MISCELE 6. TIRANTINI ANTI- ESPULSIVI 7. INTONACO ARMATO
RIDUZIONE DELLA CARENZA DI <u>COLLEGAMENTI</u> TRA ELEMENTI VERTICALI E TRA ELEMENTI VERTICALI E ORIZZONTALI	8. INSERIMENTO DI TIRANTI METALLICI 9. INSERIMENTO DI CORDOLI IN SOMMITA' 10. CONNESSIONE DI SOLAI E COPERTURE ALLE PARETI
RIDUZIONE DELLA DEFORMABILITÀ DEI <u>SOLAI</u> E LORO CONSOLIDAMENTO	11. IRRIGIDIMENTO DEI SOLAI 12. CONSOLIDAMENTO DEI SOLAI CON CAPPA IN CLS
CONSOLIDAMENTO DI <u>ARCHI E VOLTE</u> E RIDUZIONE DELLE SPINTE AD ESSI CORRELATE	12. INSERIMENTO DI CATENE 13. INSERIMENTI FRENELLI E PLACCAGGIO CON FASCE DI MATERIALE COMPOSITO 14. INTERVENTI VOLTE IN FOGLIO
INTERVENTI IN <u>COPERTURA</u>	15. REALIZZAZIONE DI CORDOLI – TIRANTI E BUONA CONNESSIONE DEI NODI

EFFICACIA

COMPATIBILITÀ

REVERSIBILITÀ

INVASIVITÀ

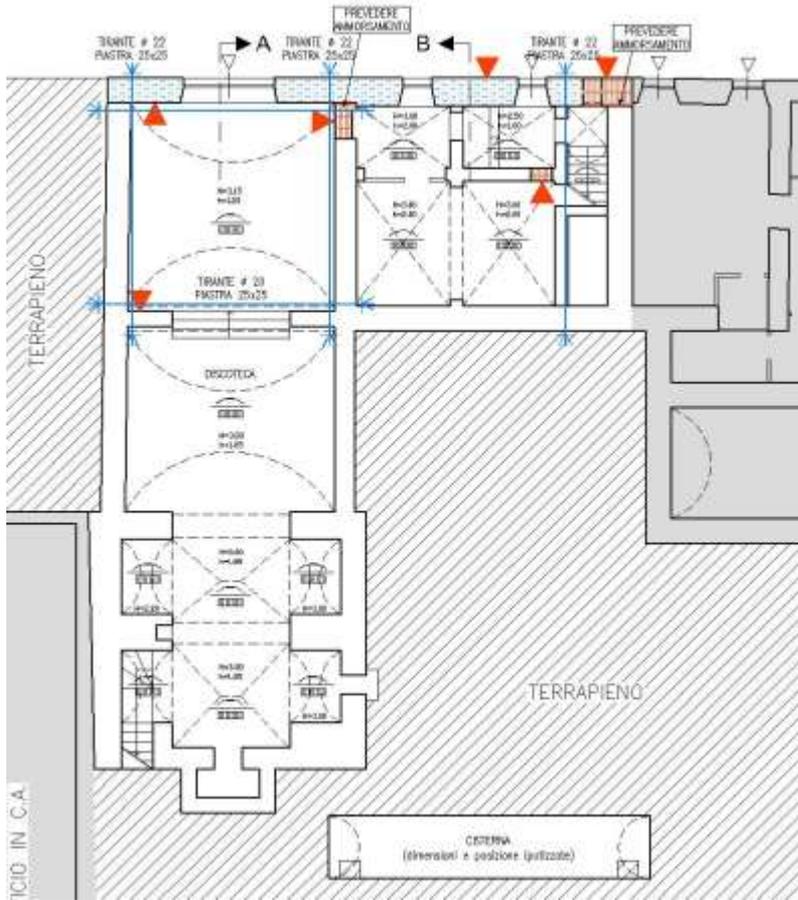
DURABILITÀ

COSTI

* Cap. C8A.5 Circolare 617: "Istruzioni per l'applicazione delle NTC del 14 gennaio 2008

PROGETTO DELL'INTERVENTO: U.M.I. 1

PIANTA PIANO SEMI-INTERRATO



INTERVENTI

- MURATURA DI NUOVA COSTRUZIONE IN MATTONI PIENI
- INIEZIONE DI MISCELE LEGANTI
- CORDOLO IN MURATURA ARMATA
- CONSOLIDAMENTO VOLTE CON FRENELLE E/O FRP
- INSERIMENTO DI TIRANTI IN ACCIAIO
- SMONTAGGIO MURATURA ESISTENTE E RIFACIMENTO

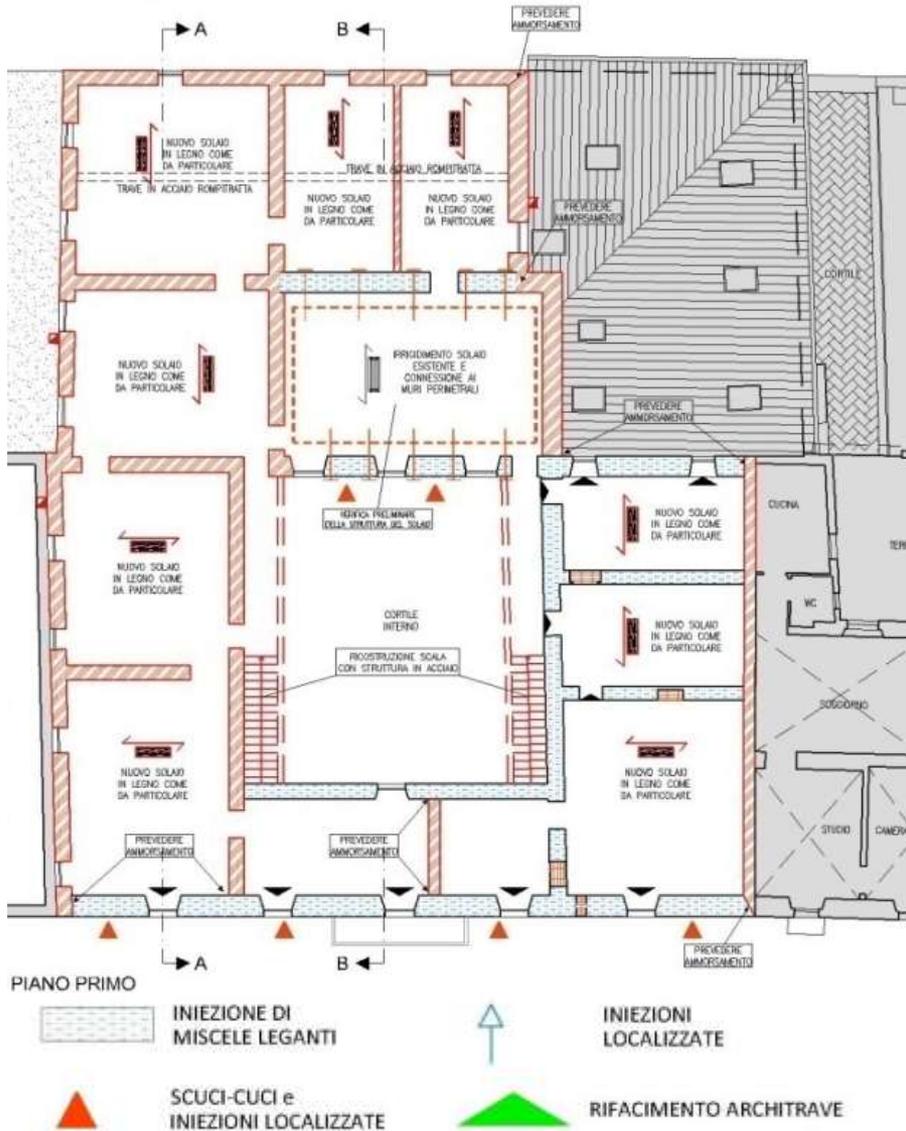


PIANTA PIANO TERRA

- INTONACO DI CALCE CON RETE ANTITIRIRO IN ACCIAIO INOX O FIBRA DI VETRO
- TIRANTINI ANTIESPULSIVI
- INIEZIONI LOCALIZZATE
- SCUCI-CUCI e INIEZIONI LOCALIZZATE
- RIFACIMENTO ARCHITRAVE

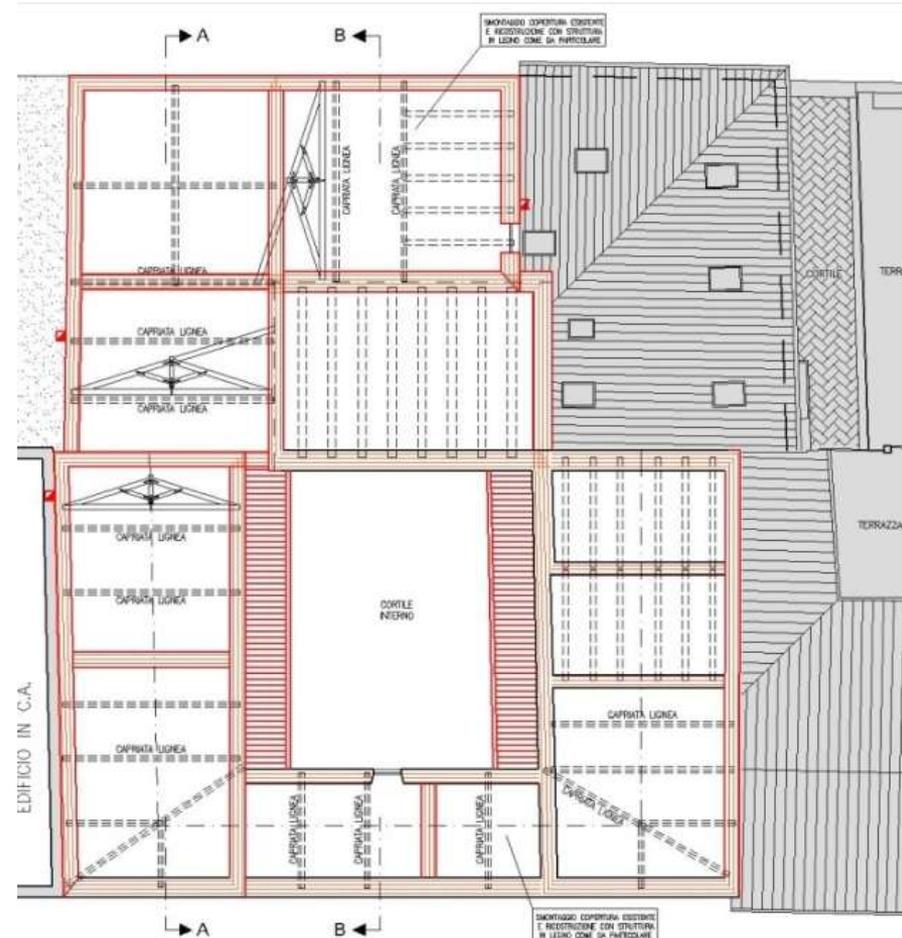
PROGETTO DELL'INTERVENTO: U.M.I. 1

PIANTA PIANO PRIMO



SCHEMA DISPOSIZIONE CORDOLO

INTERVENTI



EDIFICIO IN C.A.

MURATURE: NUOVA COSTRUZIONE

CHIUSURA DI APERTURE, NICCHIE, CANNE FUMARIE E QUALUNQUE MODIFICA DELL'ASSETTO ORIGINARIO CHE POSSA COMPROMETTERE LA CONTINUITÀ DEL PARAMENTO MURARIO E LA CONNESSIONE TRA MURI ORTOGONALI



CANNA FUMARIA



MANCATA CONNESSIONE TRA MURI ORTOGONALI



CHIUSURA DI PORTA PREESISTENTE

MURATURE: RICOSTRUZIONE



**SPOSTAMENTO
DEL CORDOLO**



**SPANCIAMENTO DI PARETI
FUORI DAL PIANO O
PRINCIPIO DI RIBALTAMENTO**



**PARETI GRAVEMENTE LESIONATE E/O RIMANEGGiate.:
APERTURA/CHIUSURA NICCHIE, SCUCI CUCI, ETC.**



MURATURE: SCUCI-CUCI



MURATURE CON LESIONI PROFONDE O PARTICOLARMENTE DANNEGGIATE, AL PUNTO DA ESSERE IRRECUPERABILI ED INCAPACI DI ASSolvere LA FUNZIONE STATICA.

LA TECNICA VIENE SOLITAMENTE ACCOPPIATA CON INIEZIONI LOCALIZZATE

LIMITI:

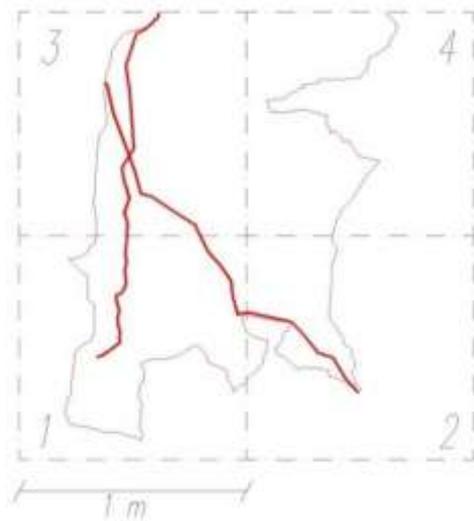
- TECNICA IMPIEGABILE QUANDO IL DEGRADO É LIMITATO A ZONE BEN DEFINITE DELLA MURATURA STESSA;
- TECNICA NON PARTICOLARMENTE INDICATA PER MURATURE INCOERENTI COMPOSTE DA PIETRA FORTEMENTE IRREGOLARE, MURATURE A SACCO, MURATURE COSTITUITE DA ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI;
- RICHIESTA DI MANO D'OPERA QUALIFICATA, IN GRADO DI ESEGUIRE UN BUON AMMORSAMENTO TRA NUOVO E PREESISTENTE.

MURATURE: SCUCI-CUCI

FASI D'INTERVENTO:

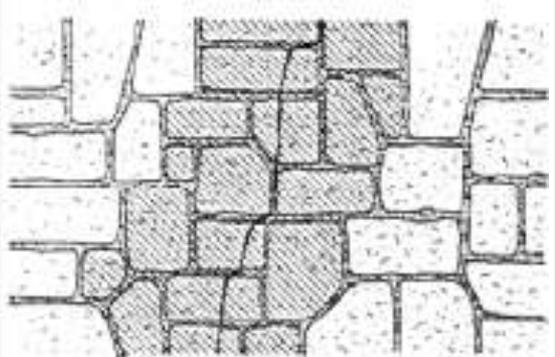
1) RILIEVO

ACCURATO DELLA PORZIONE DA SOSTITUIRE ED EVENTUALE MESSA IN OPERA DI PUNTELLAMENTI

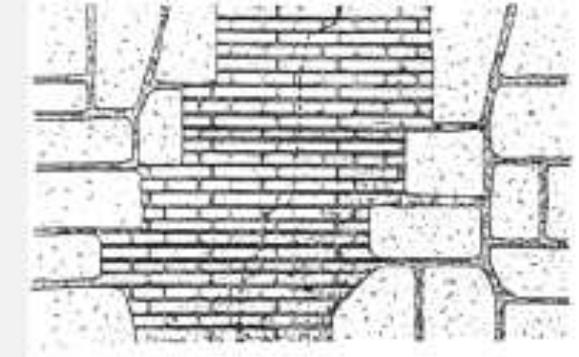


2) SUDDIVISIONE IN CANTIERI

LA SOSTITUZIONE AVVIENE PER ZONE NON CONTIGUE IN MODO DA TENERE SEMPRE ATTIVA LA SEZIONE RESISTENTE



PIETRA



LATERIZIO

MATERIALE

- PIETRA: MATERIALE COERENTE CON LA PREESISTENZA
- LATERIZIO: MATERIALE CHE PER LA POSA RICHIEDE MANODOPERA MENO SPECIALIZZATA, DI CONSEGUENZA MINOR COSTI

MURATURE: INIEZIONE DI MISCELE

MURATURE A PIÙ PARAMENTI CON PRESENZA DI LESIONI DIFFUSE, VUOTI E DISCONTINUITÀ INTERNE PRESENTI FIN DALL'ORIGINE O FORMATISI A CAUSA DI DISSESTI



NOTE:

- DIAGNOSI PRELIMINARI DI VERIFICA D'INIETTABILITÀ
- CURA NELL'ESECUZIONE DELL'INIEZIONE
- CONTROLLO DELL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO

MURATURE: INIEZIONE DI MISCELE

FASI D'INTERVENTO:

1) PREPARAZIONE DELLA MISCELA

2) PREPARAZIONE PARETE:

- ASPORTAZIONE INTONACO
- PULITURA PARETE TRAMITE ACQUA
- STILATURA GIUNTI E SIGILLATURA FESSURE

3) PERFORAZIONE E PREPARAZIONE CANNULE:

- ESECUZIONE E DISTRIBUZIONE FORI
- POSIZIONE CANNULE D'ADUZIONE

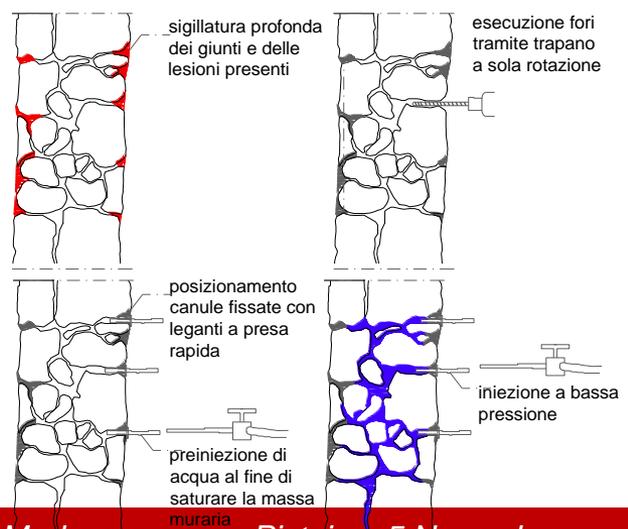
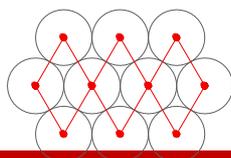
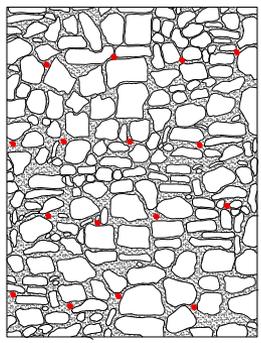
4) ESECUZIONE INIEZIONE

5) CONTROLLO IN FASE ESECUTIVA:

- RILIEVO TEMPI DI INIEZIONE, QUANTITÀ DI MISCELA INIETTATA E DEI PERCORSI

6) CONTROLLO DELL'EFFICACIA:

PROVE NON DISTRUTTIVE O DEBOLMENTE DISTRUTTIVE



MURATURE: INIEZIONE DI MISCELE

FASI D'INTERVENTO:

1) PREPARAZIONE DELLA MISCELA

2) PREPARAZIONE PARETE:

- ASPORTAZIONE INTONACO
- PULITURA PARETE TRAMITE ACQUA
- STILATURA GIUNTI E SIGILLATURA FESSURE

3) PERFORAZIONE E PREPARAZIONE CANNULE:

- ESECUZIONE E DISTRIBUZIONE FORI
- POSIZIONE CANNULE D'ADUZIONE

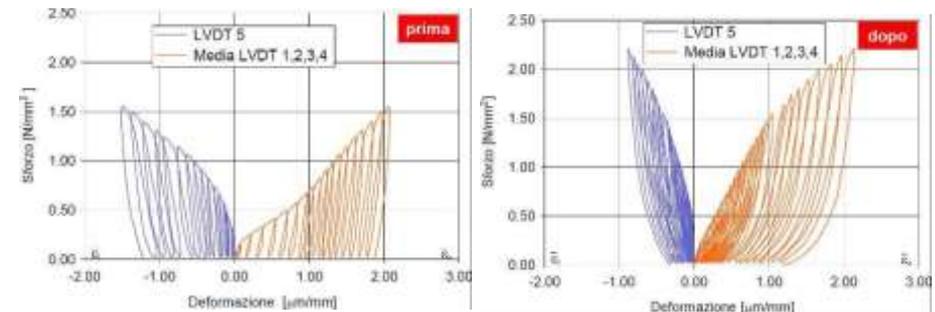
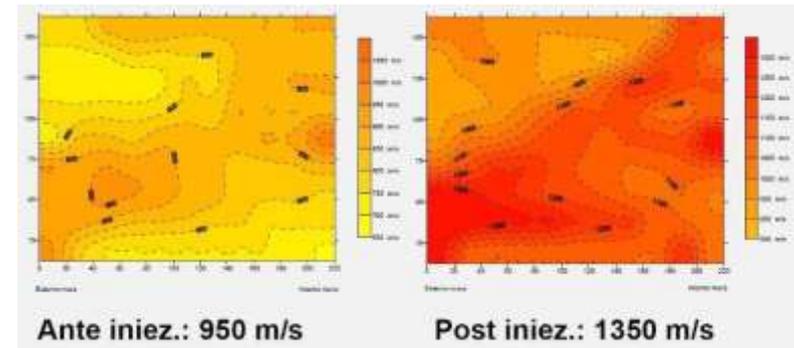
4) ESECUZIONE INIEZIONE

5) CONTROLLO IN FASE ESECUTIVA:

- RILIEVO TEMPI DI INIEZIONE, QUANTITÀ DI MISCELA INIETTATA E DEI PERCORSI

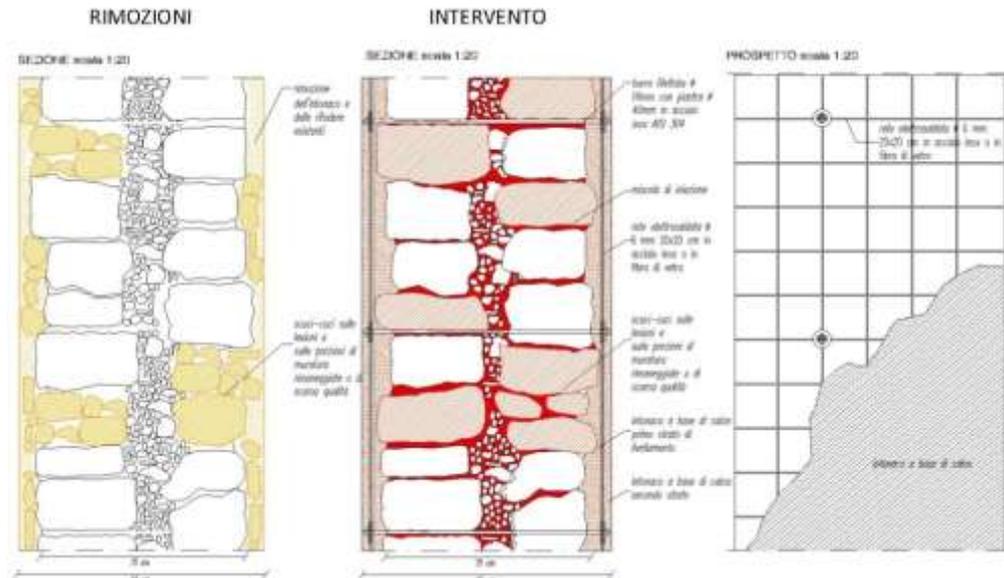
6) CONTROLLO DELL'EFFICACIA:

PROVE NON DISTRUTTIVE O DEBOLMENTE DISTRUTTIVE



MURATURE: TIRANTINI ANTIESPULSIVI

QUANDO SON PRSENTI EVIDENTI RIGONFIAMENTI DOVUTI AL DISTACCO DEI DIVERSI PARAMENTI, COME TECNICA PREVENTIVA ALL' INIEZIONE ED EVENTUALMENTE ALL'INTRODUZIONE DI INTONACO DI CALCE CON RETE ANTIRITIRO IN ACCIAIO INOX O FIBRA DI VETRO



FASI D'INTERVENTO:

1) REALIZZAZIONE FORI:

φ20-25 mm SOLITAMENTE UNO OGNI MQ

2) INTRODUZIONE DEL TIRANTE:

φ 16-20 mm COMPOSTI DA ACCIAIO INOX CON ESTREMITÀ FILETTATE PER CONSENTIRNE IL BLOCCAGGIO

3) BLOCCAGGIO TIRANTE:

PREVIA UNA LEGGERA PRESOLLECITAZIONE DEL TIRANTE STESSO



ARCHI E VOLTE

- ALLEGGERIMENTO DELLA SPINTA ATTRAVERSO L'ASPORTAZIONE DELLE MASSE NON STRUTTURALI DI RINFIANCO
- RIPRISTINO EQUILIBRIO CURVA DELLE PRESSIONI INTERNE e IRRIGIDIMENTO COMPLESSIVO: FRENELLI



LESIONI ALLE IMPOSTE

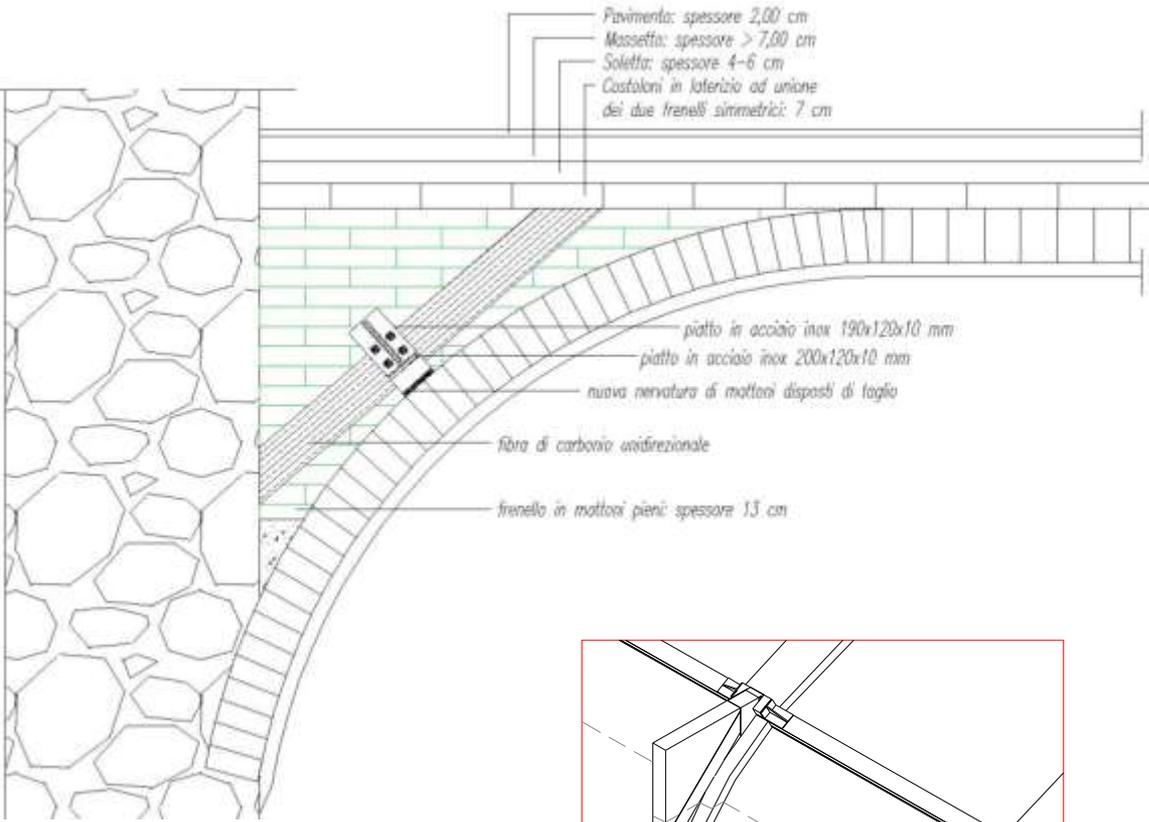


OPERAZIONI PRELIMINARI

- STUCCATURA INTRADOSSO
- PUNTELLATURA
- RIMOZIONE MATERIALE INERTE
- PULIZIA ESTRADOSSO

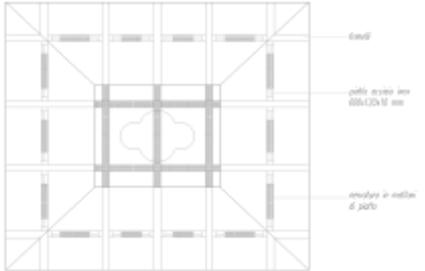
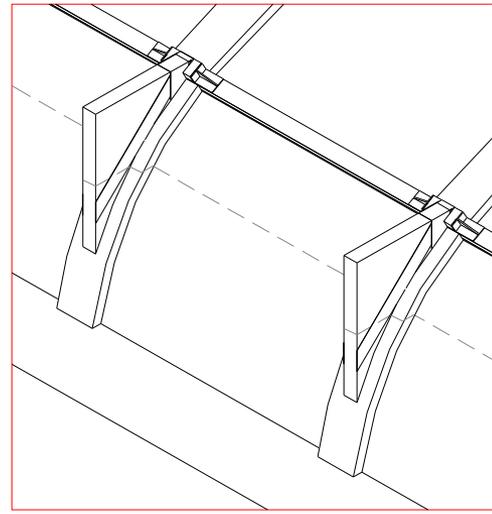
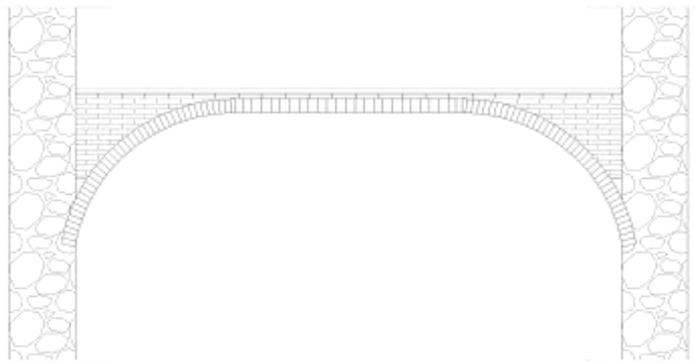


ARCHI E VOLTE: FRENELLI E FRP



INCOLLAGGIO AI DUE LATI DEI FRENELLI DI **STRISCE DI FIBRA DI CARBONIO INCLINATE**.

IN QUESTO MODO SI PUÒ CREARE UNA SPECIE DI TIRANTE ED IL FRENELLO PUÒ ESSERE CONSIDERATO ATTIVO SINO ALLA SUA ESTREMITÀ.



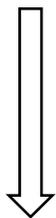
MESSA IN OPERA DI NERVATURE TRASVERSALI COLLEGATE ALL'ESTREMITÀ DEI FRENELLI ESISTENTI, REALIZZATE CON FILE DI MATTONI DISPOSTI DI PIATTO SU UN LETTO DI MALTA CON UN NASTRO CONTINUO IN FIBRA DI CARBONIO INCOLLATO SUPERIORMENTE

ARCHI E VOLTE: VOLTE IN FOGLIO

-VOLTE A BOTTE O A CROCIERA IN MATTONI DISPOSTI IN FOGLIO, DISPOSTE SOLITAMENTE AI PIANI ALTI CON NESSUNA FUNZIONE PORTANTE

-STRUTTURE PER LO PIÙ OTTOCENTESCHE, CON SCARSA VALENZA STORICA

-ALTA VULNERABILITÀ



-SOSTITUZIONE CON SOLAI LIGNEI
O CON STRUTTURE VOLTATE IN
CARTONGESSO

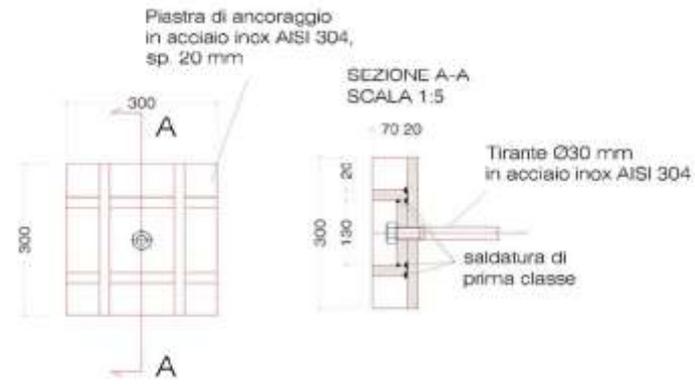
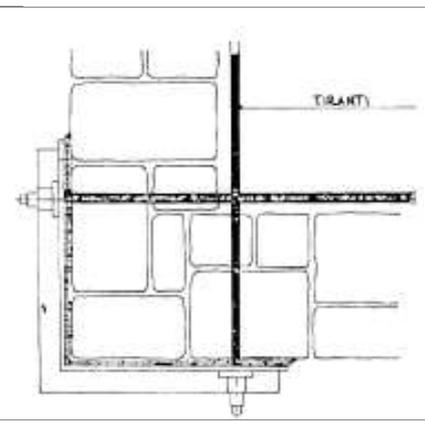
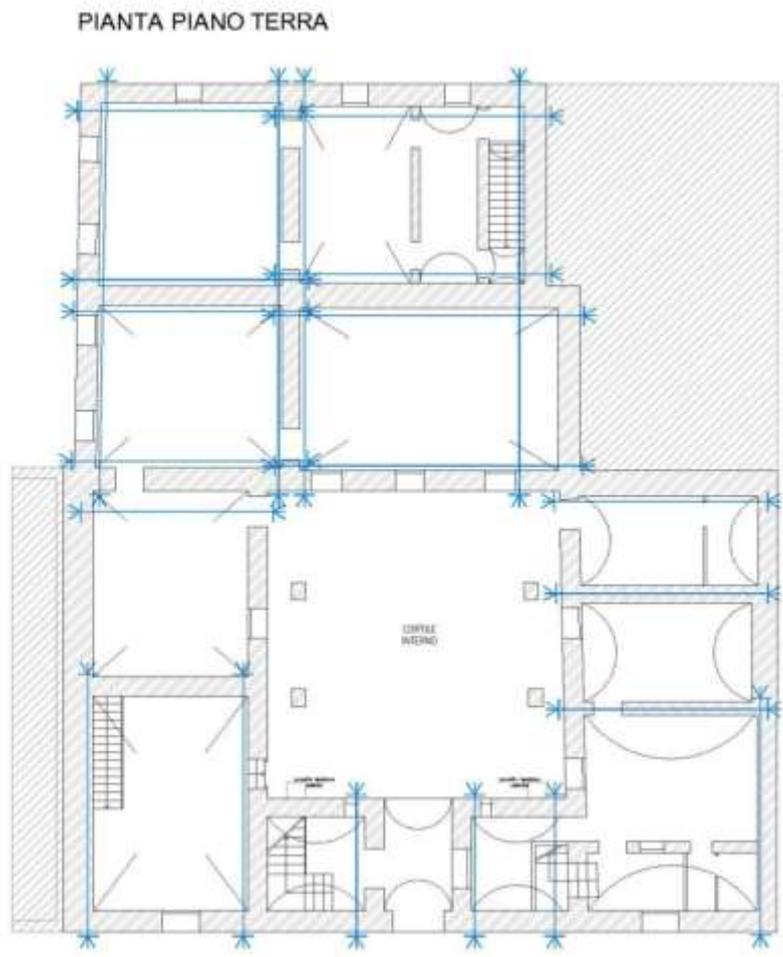


APPOGGIO VOLTA

NEL CASO IN CUI LE VOLTE
DEBBANO ESSERE CONSERVATE SI
INTERVERRÁ CON L'INTRODUZIONE
DI FRENELLI E FRP.

COLLEGAMENTI: 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), FAVORISCONO IL COMPORTAMENTO D'ASSIEME DEL FABBRICATO. PER I CAPOCHIAVE SONO CONSIGLIATI PALETTI SEMPLICI



COLLEGAMENTI: TIRANTI

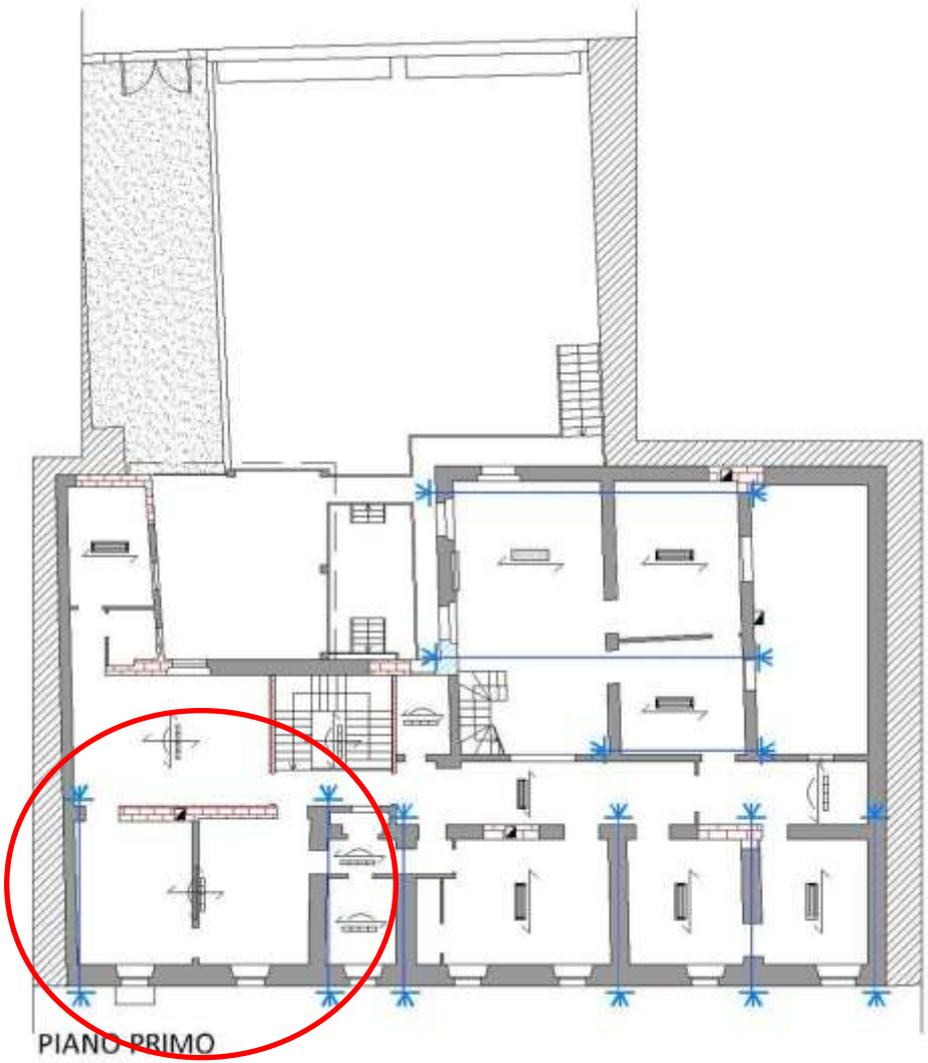
È IN GENERE NECESSARIO UN **CONSOLIDAMENTO** LOCALE DELLA MURATURA NELLA ZONA DI ANCORAGGIO



DISPOSIZIONE DI
PARETI ORTOGONALI
CHE CONTRASTINO LA
SPINTA DEL TIRANTE

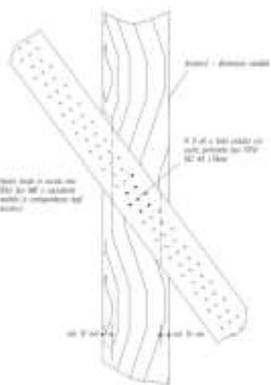
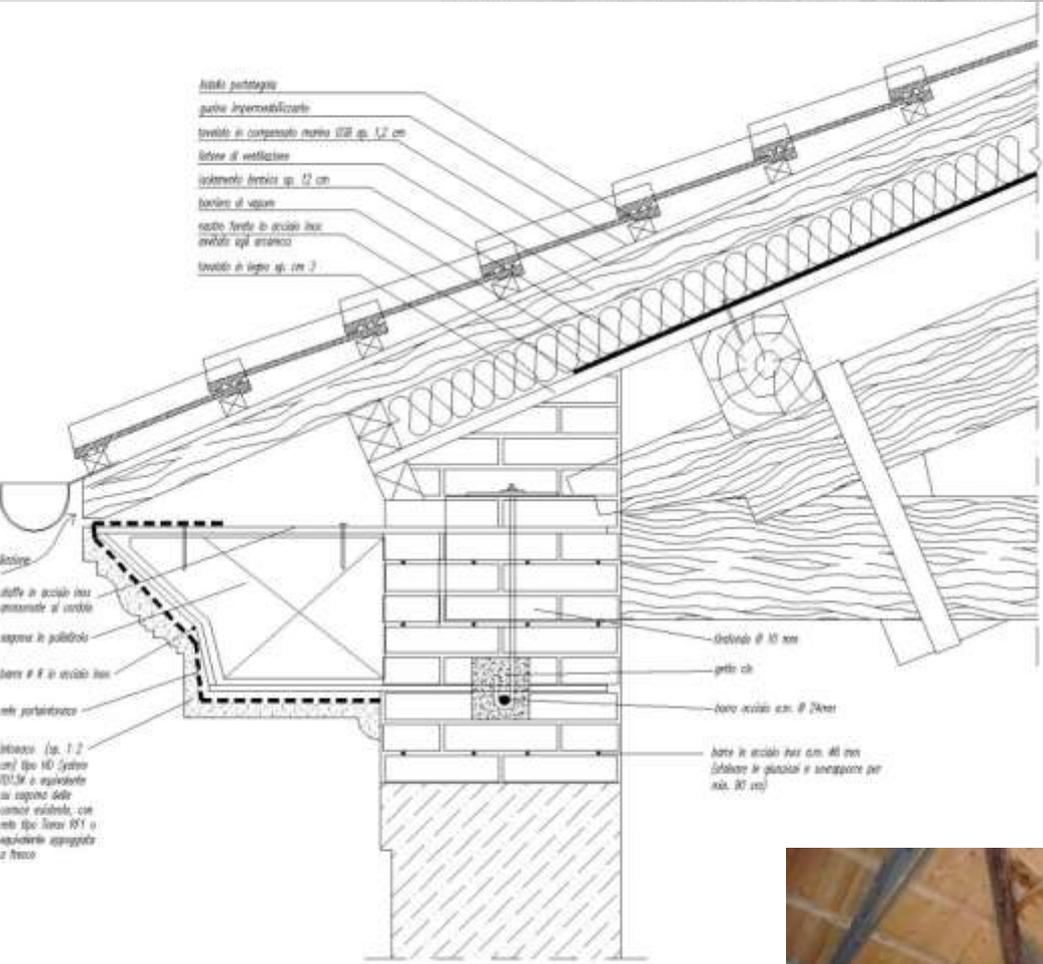


**NUOVE MURATURE:
RIPRISTINO CONTINUITA'
MURARIA**



COLLEGAMENTI: CORDOLO

PALAZZO DEL GOVERNO

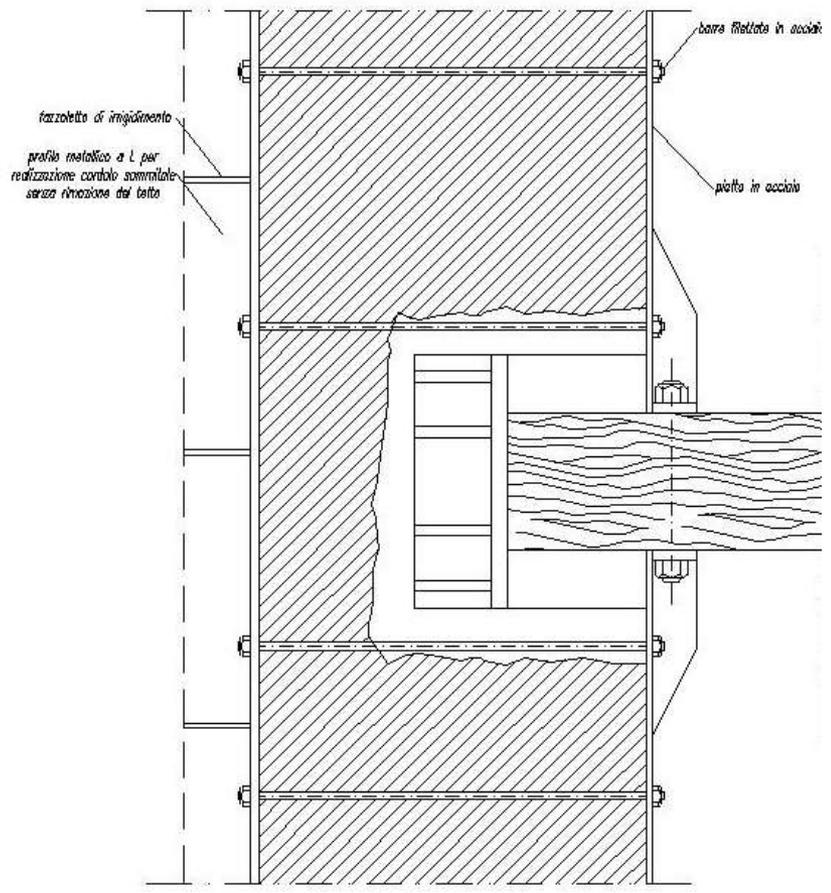
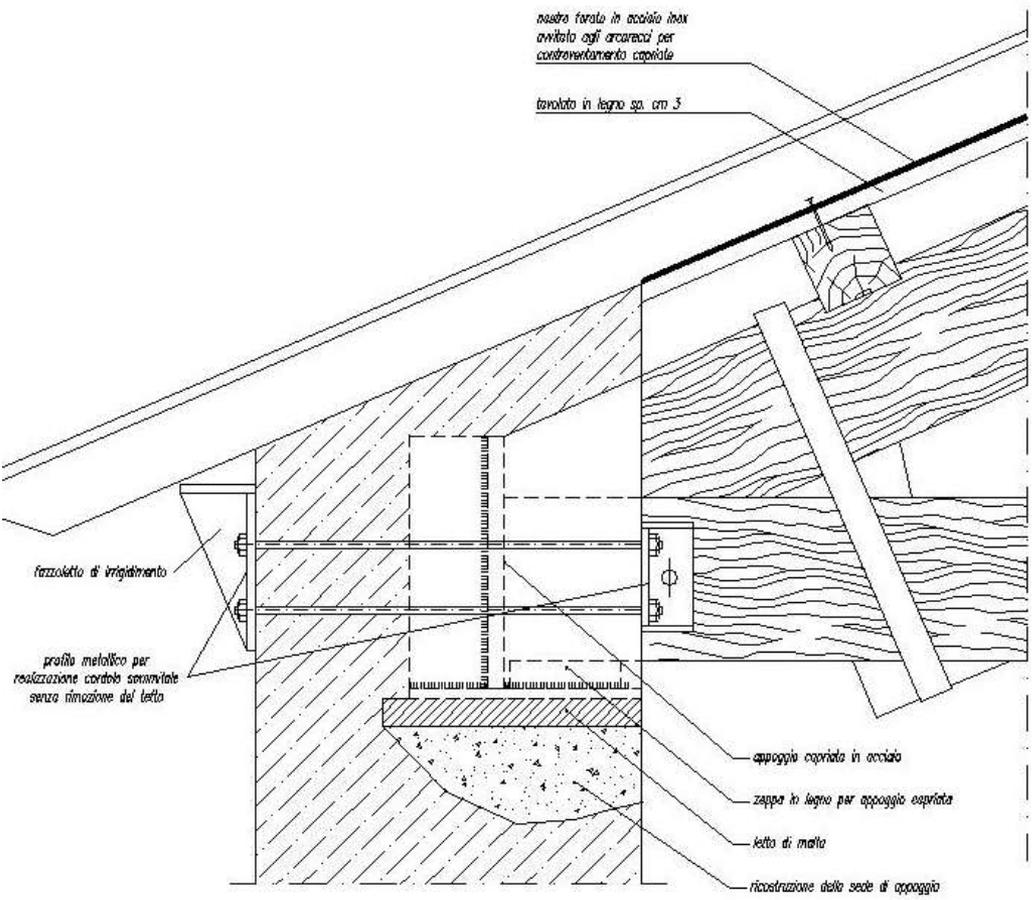


REALIZZAZIONE DI **CORDOLO** IN MURATURA O PIETRA ARMATA SECONDO SPECIFICHE DI PROGETTO



STUDIO **AMMORSAMENTO CORNICIONE**

COLLEGAMENTI: CORDOLO



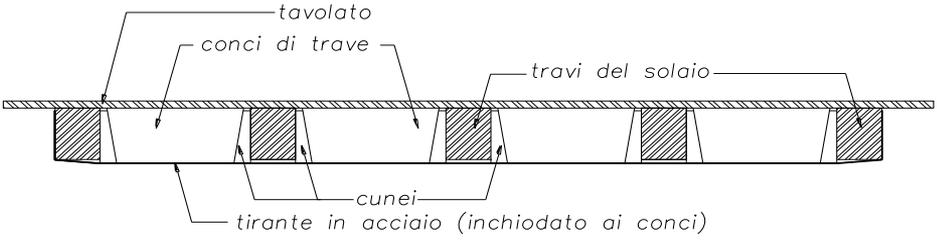
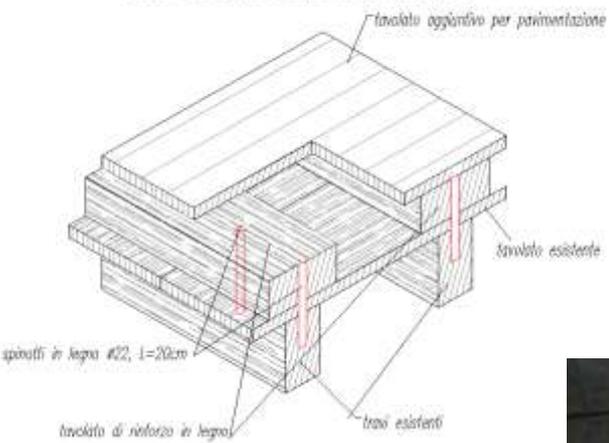
SOLAIO IN LEGNO: IRRIGIDIMENTO

Ruolo dei solai nel comportamento sismico: trasferire e ripartire le azioni orizzontali e costituire un vincolo per le pareti.

La trasformazione di solai flessibili in solai rigidi comporta una diversa distribuzione delle azioni agenti sulle pareti, che può rilevarsi favorevole o sfavorevole in funzione della geometria della struttura. Di ciò si dovrà adeguatamente tenere conto nella modellazione e nelle analisi.

- irrigidimenti nel piano e flessionali con tecnica a 'secco'
- irrigidimenti estradossali con soletta in c.a, tavolati, applicazioni bandelle, FRP
- interventi intradossali e controventature con tiranti metallici

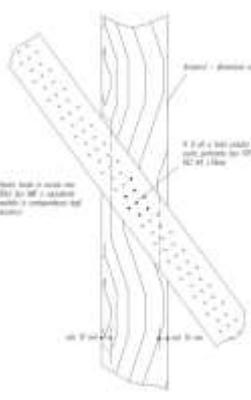
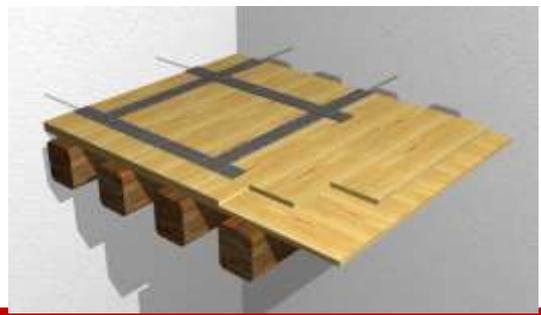
Vista assonometrica del rinforzo



sezione trasversale del solaio (rinforzo con conci di legno e tirante in acciaio)

INSERIMENTO CONCI LIGNEI E TIRANTI METALLICI ALL'INTRADOSSO

IRRIGIDIMENTO A 'SECCO'

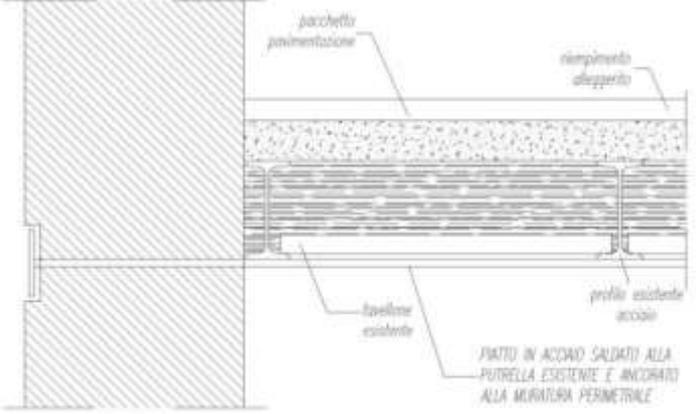


APPLICAZIONE BANDELLE ALL'ESTRADOSSO

SOLAI: IRRIGIDIMENTO

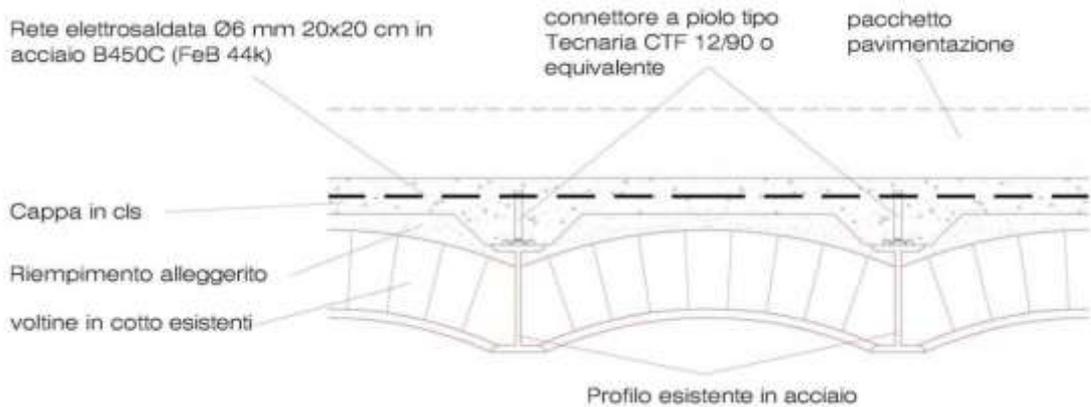
IRRIGIDIMENTO DEI SOLAI

Collegamento alle pareti delle putrelle tramite bandelle metalliche in entrambe le direzioni saldate all'ala inferiore della trave e collegate alla muratura tramite capo chiave.



CONSOLIDAMENTO DEI SOLAI CON CAPPA IN CLS

- per soddisfare le verifiche statiche previste da normativa
- collegata alle putrelle tramite **connettori** a pioli
- collegata anche alle murature perimetrali



COLLEGAMENTI: CONNESSIONE SOLAI MURATURE

ANCORAGGIO DEI SOLAI ALLE PARETI ALLO SCOPO DI EVITARE LO SFILAMENTO DELLE TRAVI E DI SVOLGERE UN'AZIONE DI DISTRIBUZIONE DELLE FORZE ORIZZONTALI E DI CONTENIMENTO DELLE PARETI



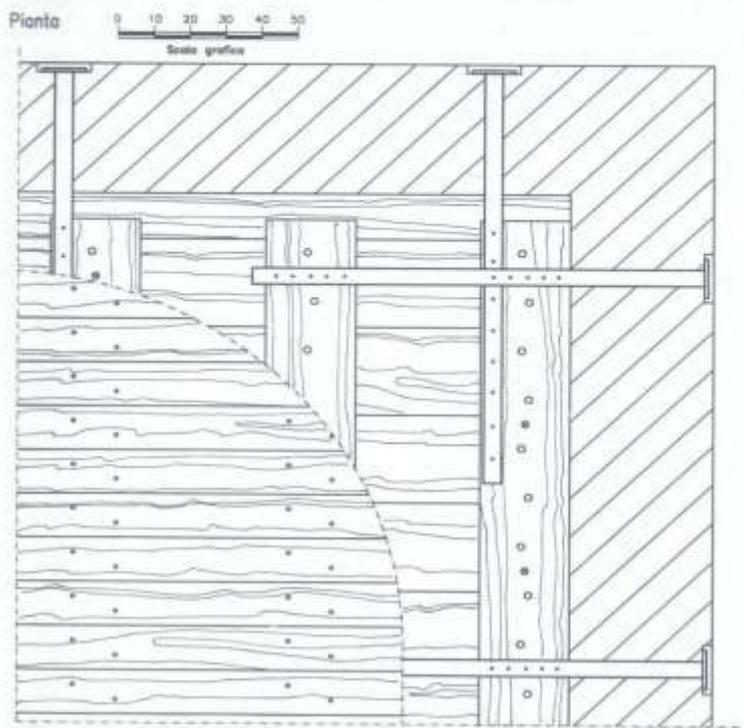
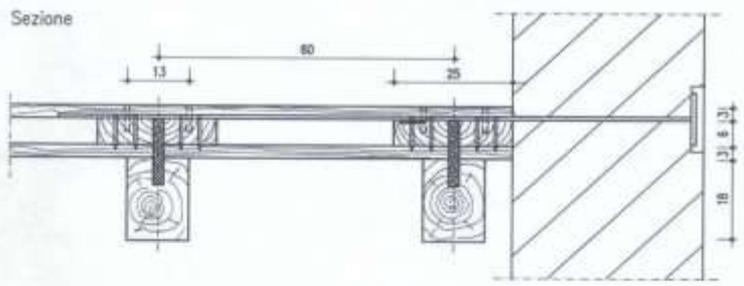
CROLLO PER MANCANZA DI CONNESSIONE ALLE PARETI ORTOGONALI E AL SOLAIO



DISTACCO PARETE A LIVELLO DI SOLAIO E RISPETTO LE MURATURE ORTOGONALI.

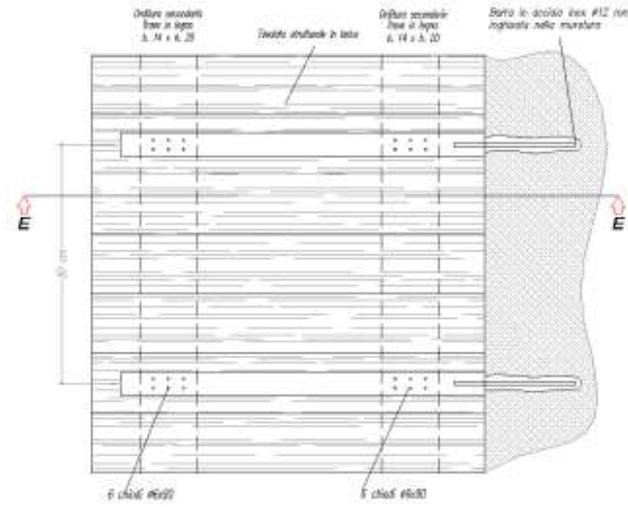


COLLEGAMENTI: CONNESSIONE SOLAI MURATURE



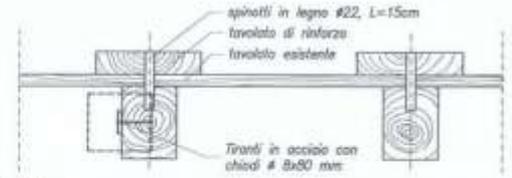
Soluzione con tiranti all'interno della "soletta" in legno

ESEMPI CONNESSIONE SOLAIO IN LEGNO

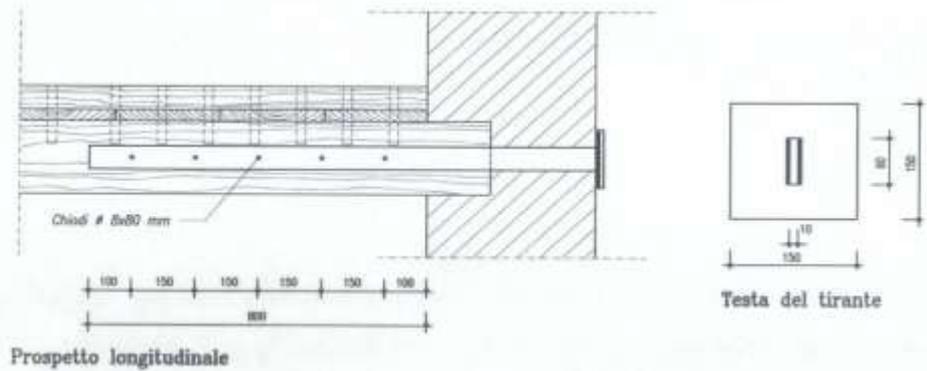


Particolare dei tiranti

N.B. Le travi del solaio gravanti sulle murature esterne vanno ad esse ancorate mediante tiranti in acciaio da applicare ogni tre travi.



Sezione

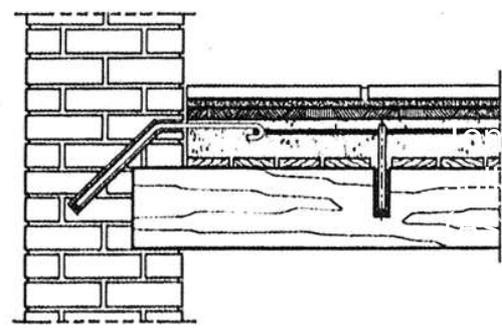
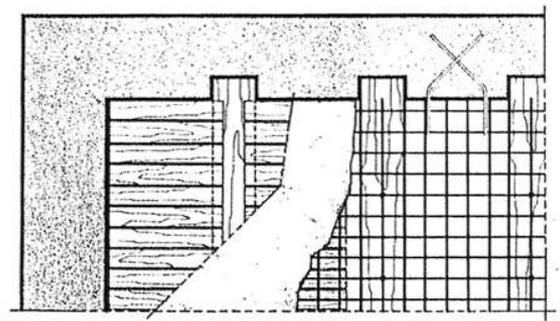
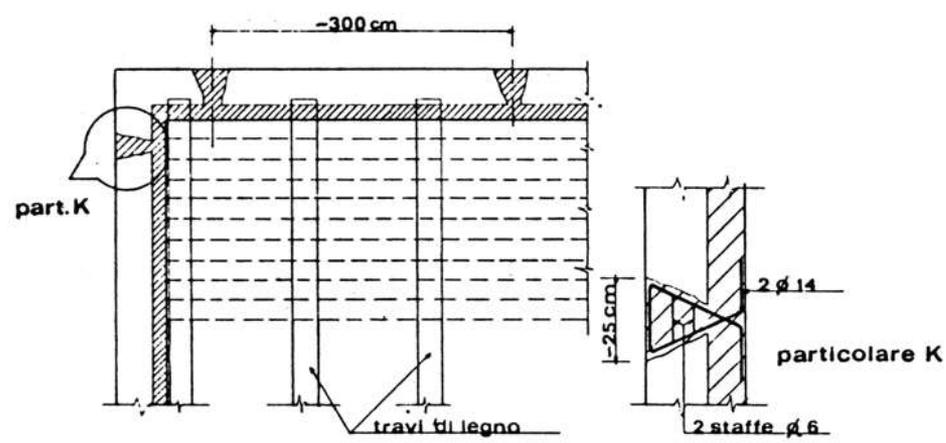


Prospetto longitudinale

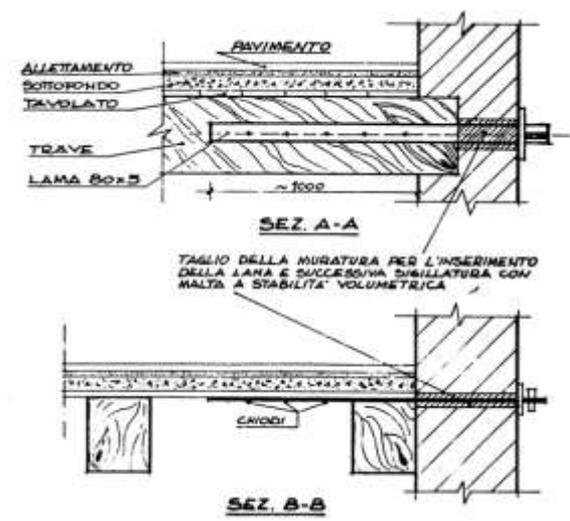
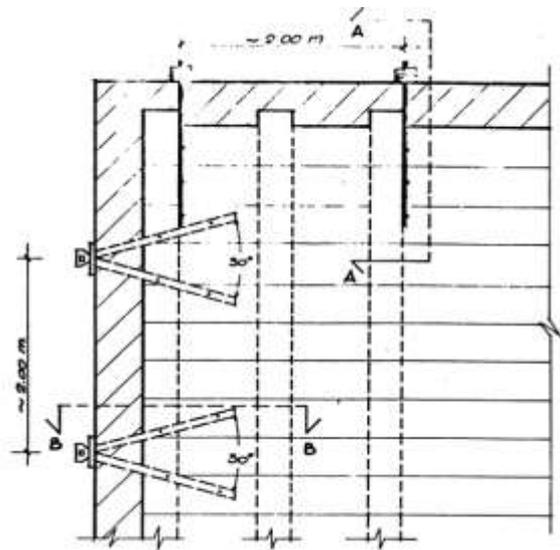
I COLLEGAMENTI POSSONO ESSERE EFFETTUATI IN POSIZIONI PUNTUALI

COLLEGAMENTI: CONNESSIONE SOLAI MURATURE

Cordolo con incastri a coda di rondine sulle murature (Rocchi, 1980)



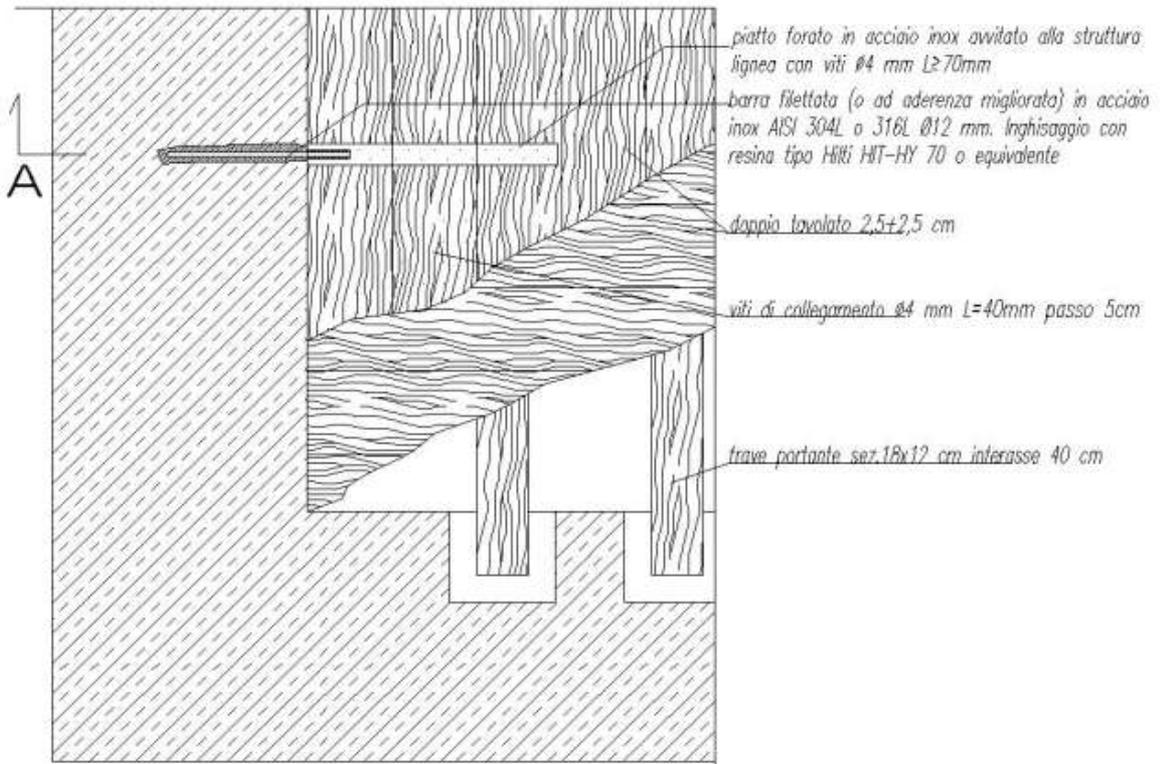
Tondi in fori inclinati sulla muratura (Asti, 1994)



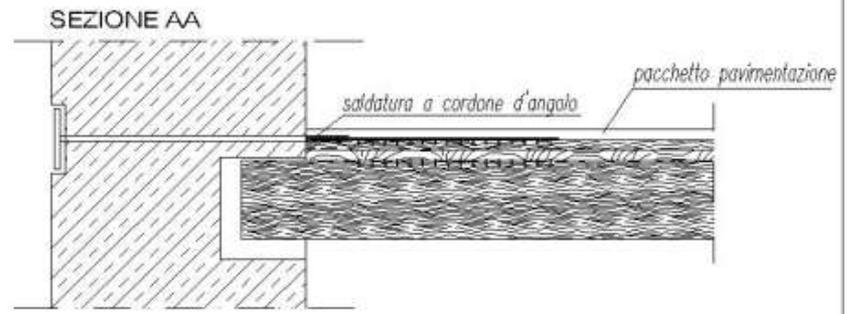
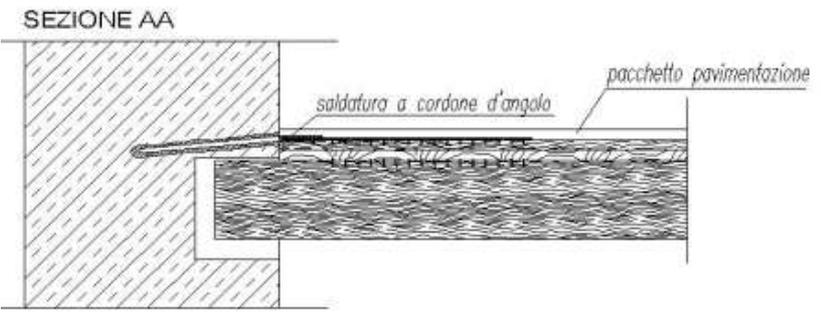
Collegamento dei solai in legno nelle murature in zona sismica (Rocchi, 1980)

COLLEGAMENTI: CONNESSIONE SOLAI MURATURE

CONNESSIONE SOLAIO IN LEGNO

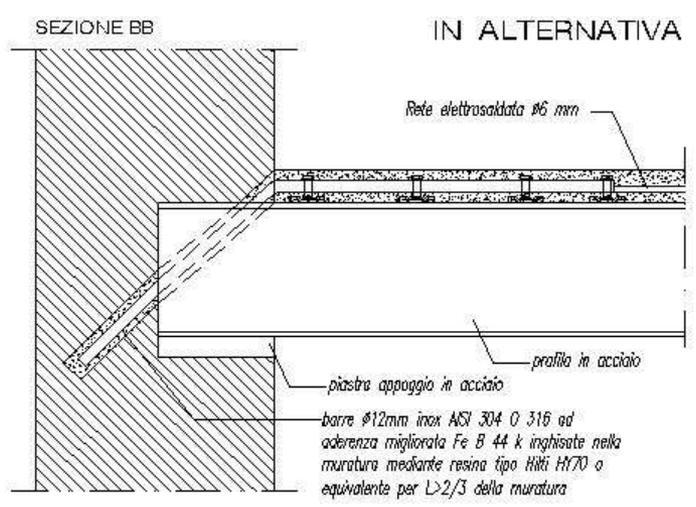
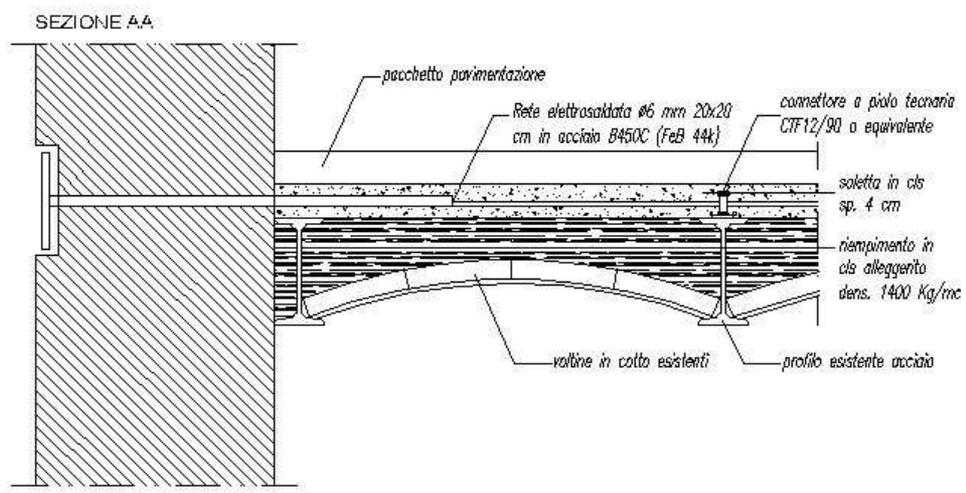
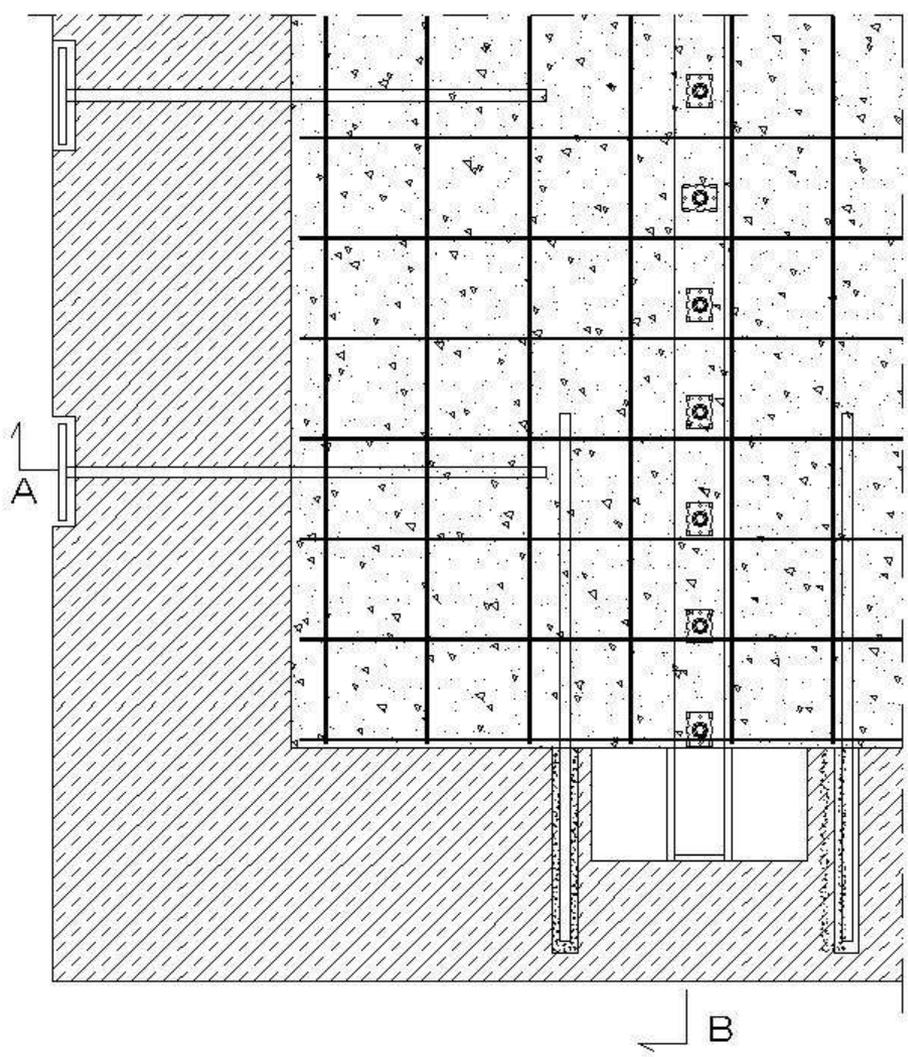


IN ALTERNATIVA



COLLEGAMENTI: CONNESSIONE SOLAI MURATURE

CONNESSIONE SOLAIO IN FERRO E LATERIZIO

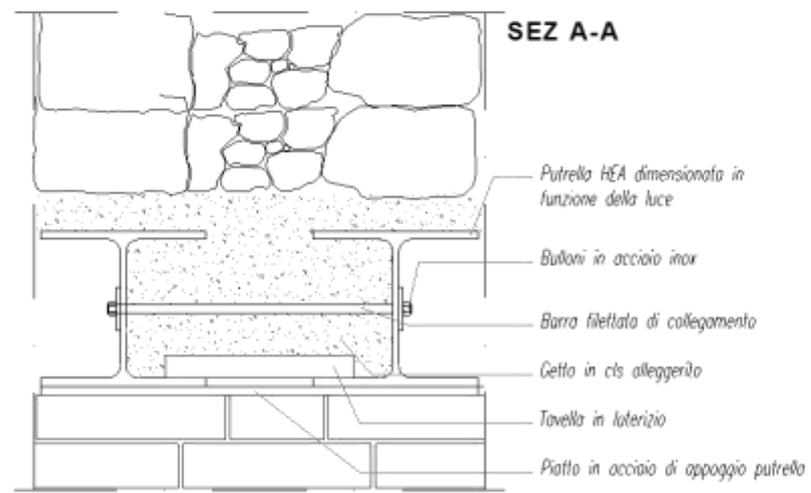
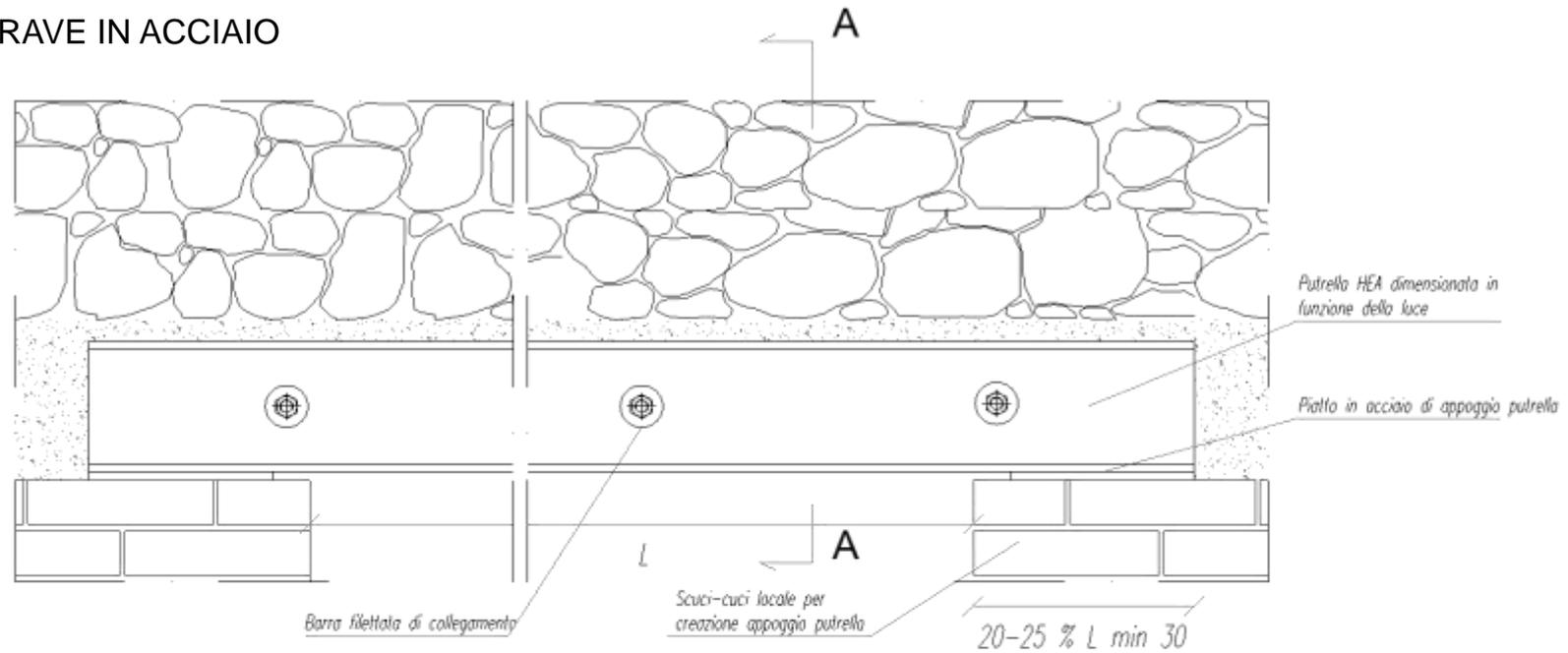


NOTA: DIAMETRI, I TIPI DI ANCORAGGI E INTERASSE DI QUEST'ULTIMI VANNO DIMENSIONATI DI VOLTA IN VOLTA. L'EFFICIENZA DEL FISSAGGIO DEI CONNETTORI ALLE TRAVI IN ACCIAIO ESISTENTI DOVRÀ ESSERE TESTATO

ARCHITRAVI: SOSTITUZIONE



ARCHITRAVE IN ACCIAIO

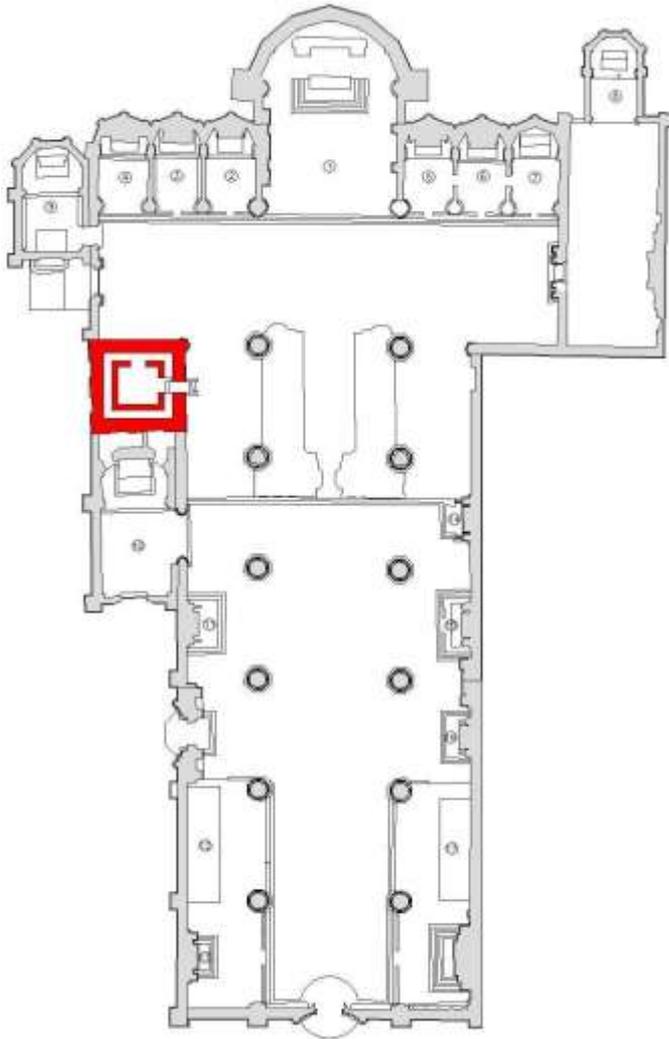




COSTRUITA TRA LA PRIMA METÀ DEL XIV SECOLO E LA SECONDA METÀ DEL XV SECOLO

ESEMPIO DI "GOTICO DEGLI ORDINI MENDICANTI" A VENEZIA, CARATTERIZZATO DALLA MASSIMA SOBRIETÀ E SEMPLICITÀ

FIN DALLA SUA REALIZZAZIONE L'EDIFICIO HA MOSTRATO GRAVI PROBLEMI STRUTTURALI CAUSATI DA CEDIMENTI DIFFERENZIALI DEL CAMPANILE RISPETTO ALLE STRUTTURE DELLA CHIESA AD ESSO COLLEGATE



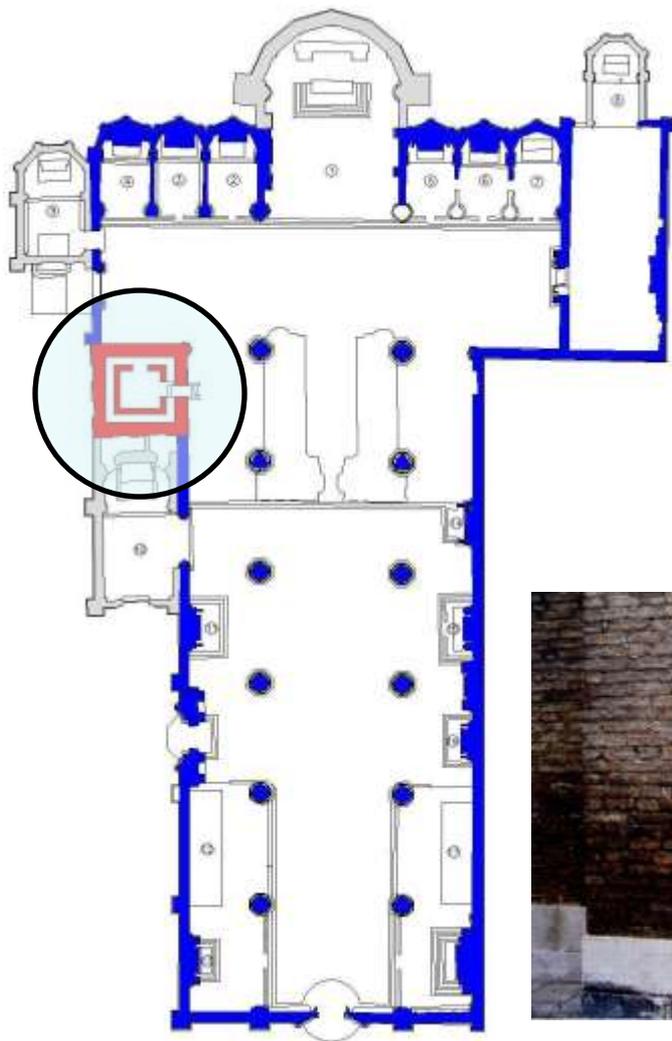
IL CAMPANILE È IL SECONDO PIÙ ALTO DI VENEZIA, CON I SUOI 67 m

BASAMENTO IN PIETRA D'ISTRIA

REALIZZATO CON STRUTTURA A DOPPIA CANNA INTERAMENTE IN MURATURA

RAMPE MURARIE PERIMETRALI PER L'ACCESSO ALLA CELLA CAMPANARIA

CONCEPITO COME ELEMENTO ARCHITETTONICO ISOLATO, STRUTTURALMENTE INDIPENDENTE DALLE ALTRE COSTRUZIONI



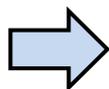
DEMOLIZIONE DELLA PRIMITIVA CHIESA DEI FRATI MINORI COSTRUITA A METÀ DEL XIII

INGLOBAMENTO PARZIALE DEL CAMPANILE IN CORRISPONDENZA DEL TRANSETTO DELLA NUOVA COSTRUZIONE

LE STRUTTURE MURARIE VERTICALI DI CHIESA E CAMPANILE NASCONO COMPLETAMENTE SVINCOLATE

LE DUE UNITA' VENGONO PERO' COLLEGATE DALLE STRUTTURE ORIZZONTALI





INIZI DEL '900: CROLLO DEL CAMPANILE DI SAN MARCO

IL CAMPANILE DEI FRARI VIENE MESSO SOTTO CONTROLLO

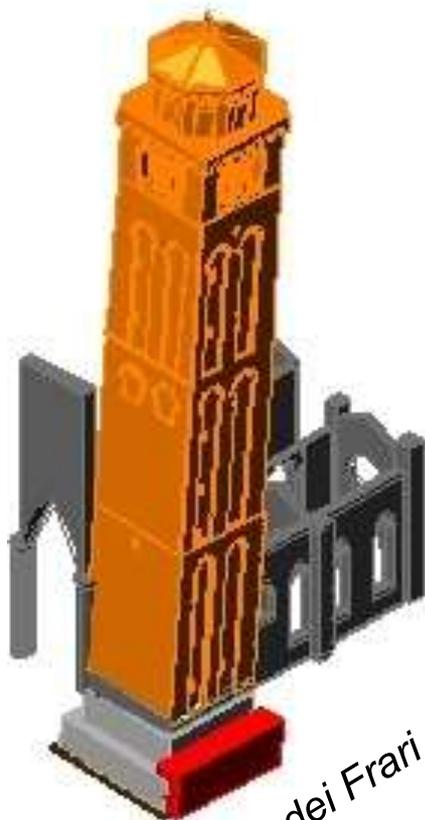
SI REGISTRANO:

- CEDIMENTI DIFFERENZIALI CHIESA-CAMPANILE: 30 cm
- FUORIPIOMBO DEL CAMPANILE: 76cm A 42.5m DI ALTEZZA

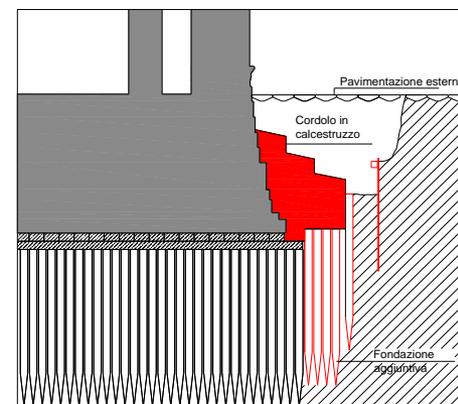
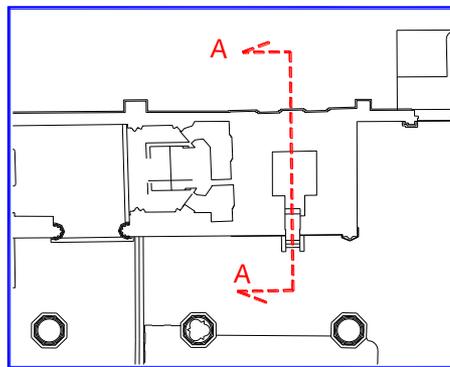
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DELLE FONDAZIONI

CONSEGUENZE:

- INVERSIONE DEL VERSO DI CRESCITA DEL FUORI PIOMBO
- PROBLEMI DI STABILITA' SU ELEMENTI STRUTTURALI DELLE ADIACENTI NAVATE



Campo dei Frari



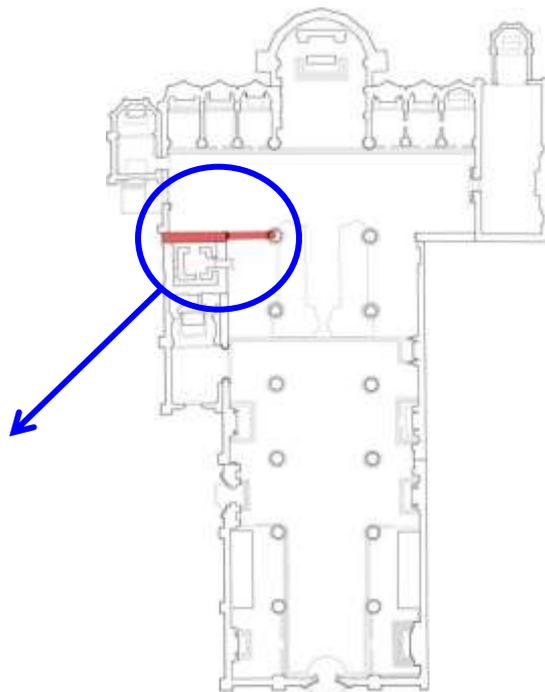
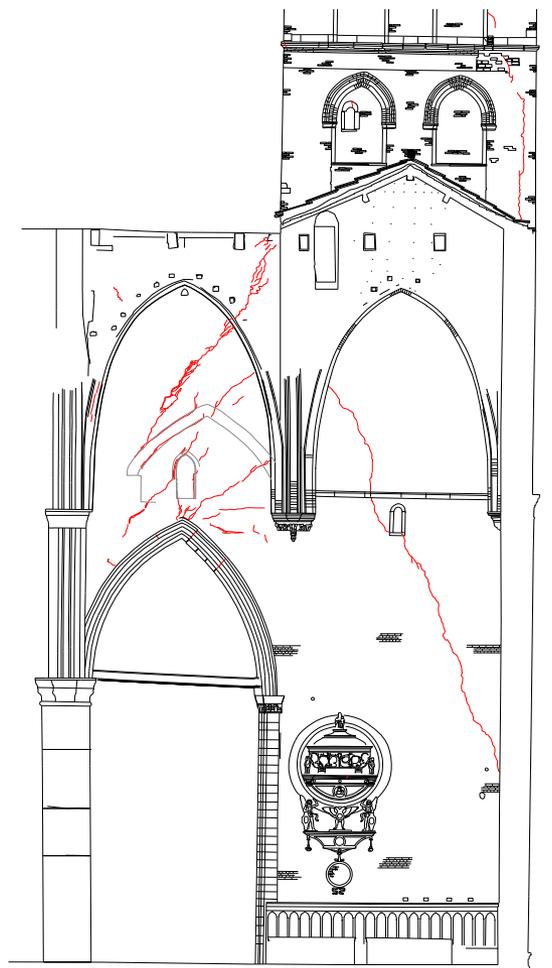
SECTION A-A

RILIEVO DEL DANNO

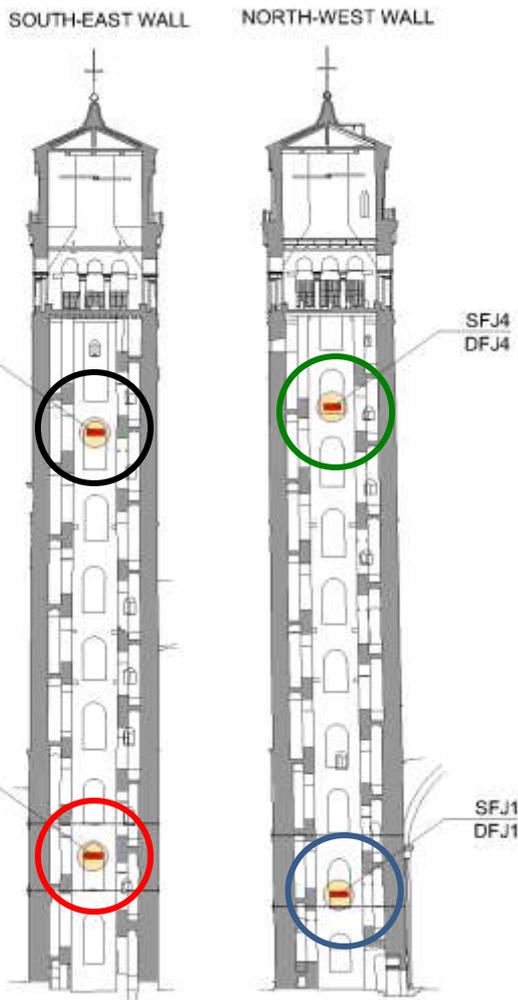


- AGGRAVAMENTO DI ALCUNE LESIONI GIÀ ESISTENTI
- NUOVE FESSURAZIONI NELLE VOLTE DELLA CAPPELLA DI S. PIETRO
- DISTACCO DELLE SUPERFICI INTONACATE

RILIEVO DEL DANNO



- AGGRAVAMENTO DI ALCUNE LESIONI GIÀ ESISTENTI
- NUOVE FESSURAZIONI NELLE VOLTE DELLA CAPPELLA DI S. PIETRO
- DISTACCO DELLE SUPERFICI INTONACATE
- DEFORMAZIONE AL LIMITE DELLA STABILITA' DELL'ARCATA IN PIETRA

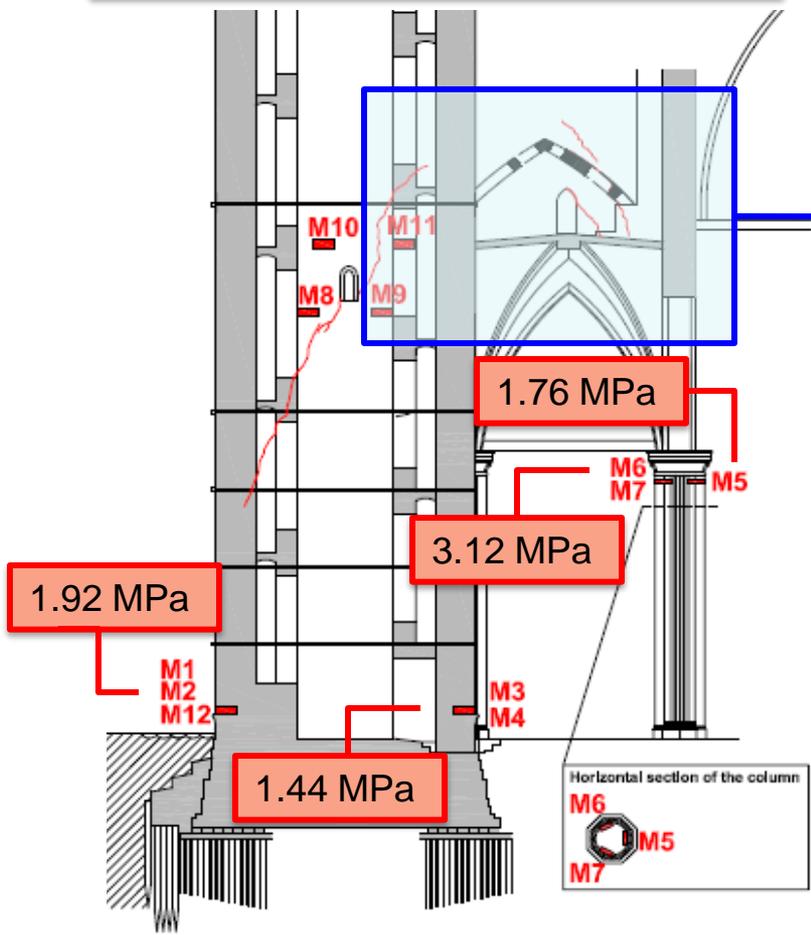


PRIMA CAMPAGNA DI PROVE

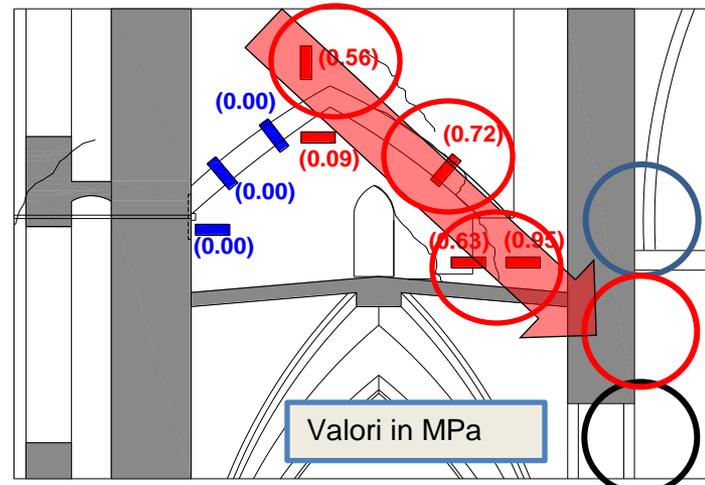
Test #	Wall type	Height location [m]	Young modulus [MPa]	Stress σ_v [MPa]
SFJ1	masonry	6.89		1.40
DFJ1	masonry	6.89	5400	
SFJ2	masonry	9.62		1.80
DFJ2	masonry	9.62	2000	
SFJ3	masonry	40.03		0.40
DFJ3	masonry	40.03	2450	
SFJ4	masonry	41.76		0.30
DFJ4	masonry	41.76	3240	

ANALISI DELLO STATO TENSIONALE

SECONDA CAMPAGNA DI PROVE



TERZA CAMPAGNA DI PROVE

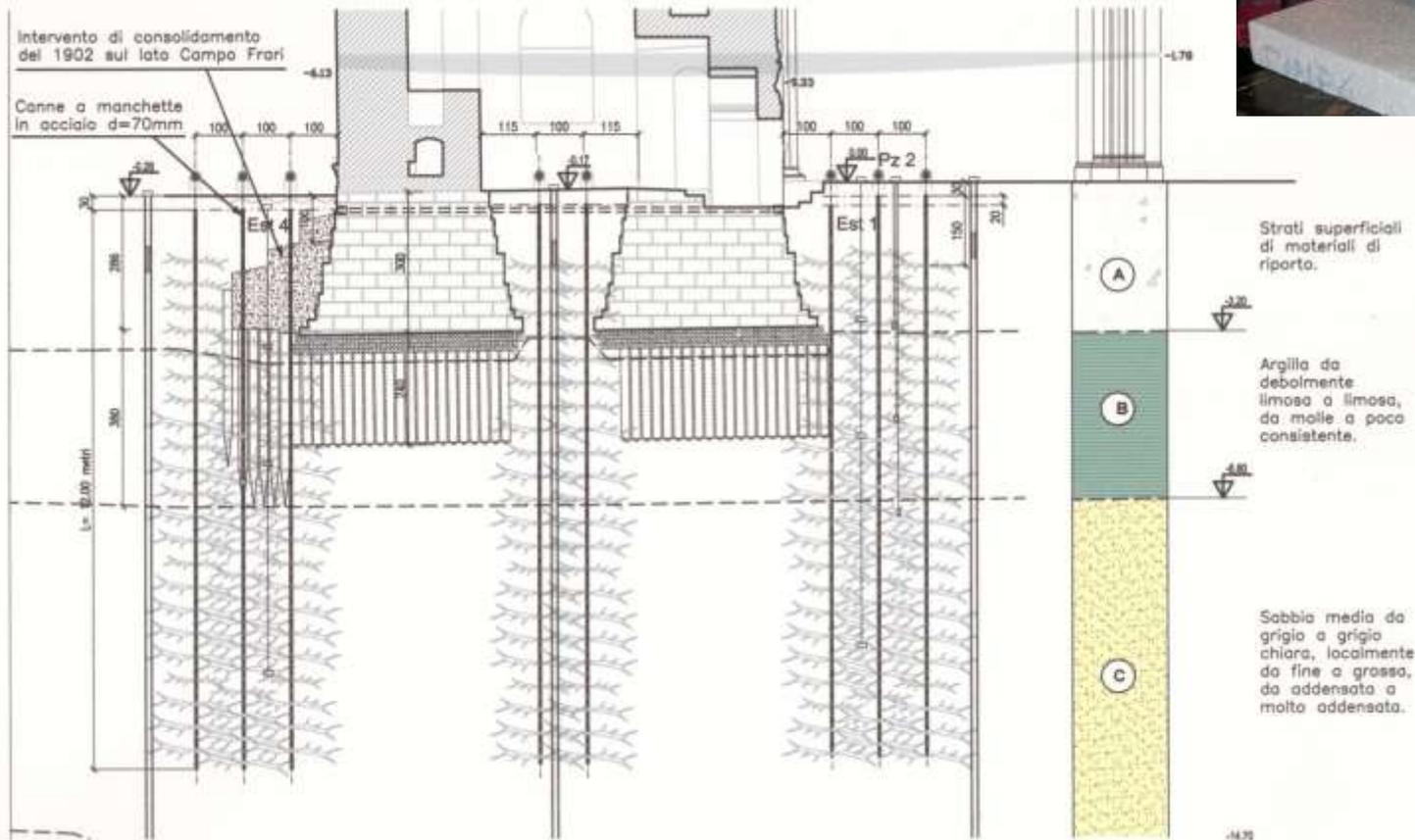


Valutazioni sul comportamento strutturale del complesso campanile-chiesa

LE INDAGINI SPERIMENTALI

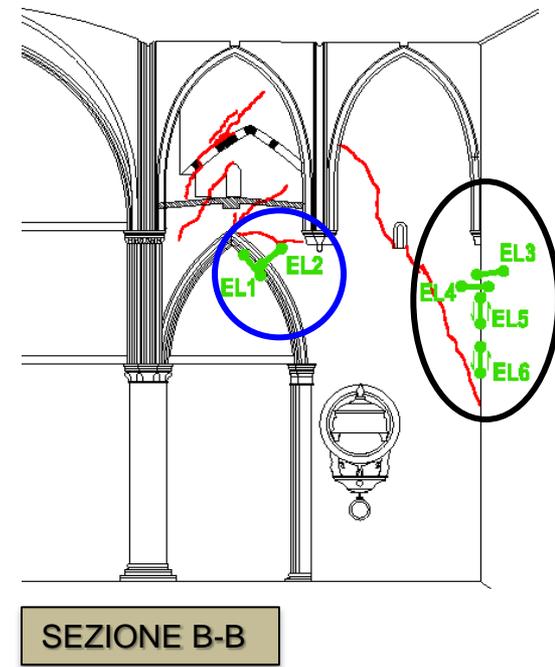
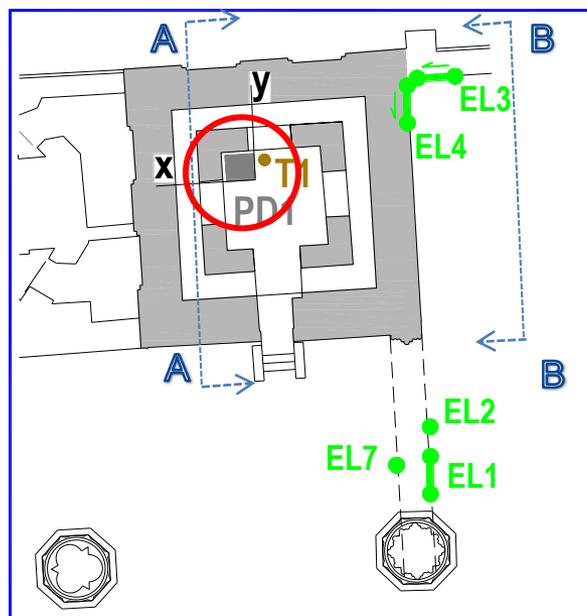
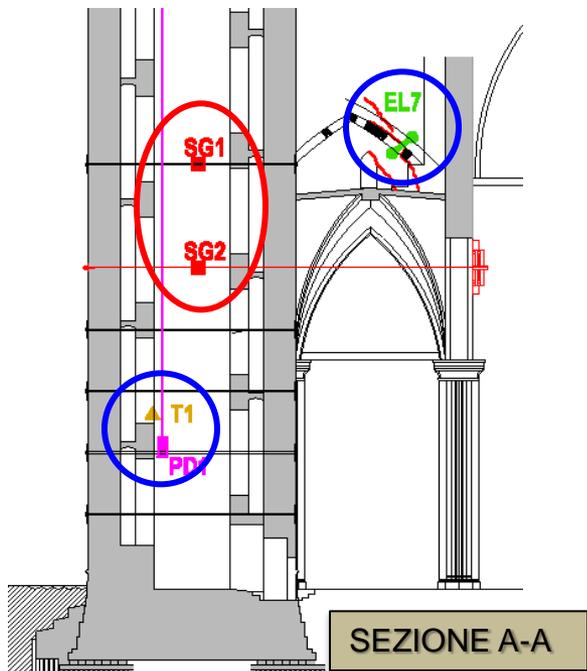
Indagini finalizzate ai seguenti interventi:

- 1- rendere compatibili gli abbassamenti di campanile e basilica
- 2- assicurare l'integrità fisica del masso fondale
- 3- consentire la calibrazione nel tempo



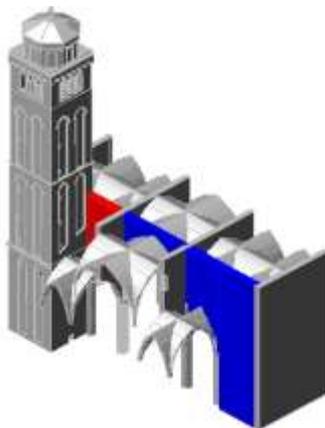


- PENDOLO DIRETTO
- ESTENSIMETRI SULLE LESIONI
- STRAIN GAUGES
- SENSORI DI TEMPERATURA



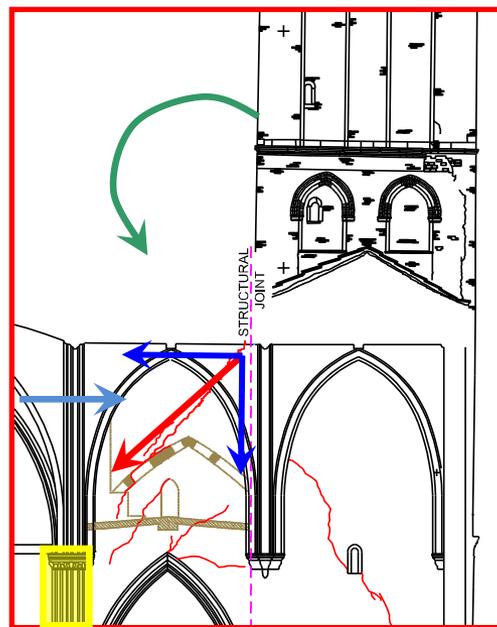
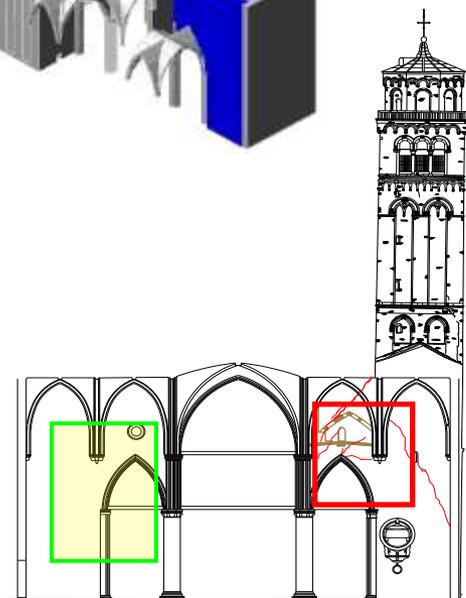


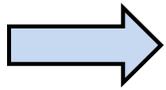
MANIFESTAZIONI DELL'INTERAZIONE MECCANICA CAMPANILE-CHIESA



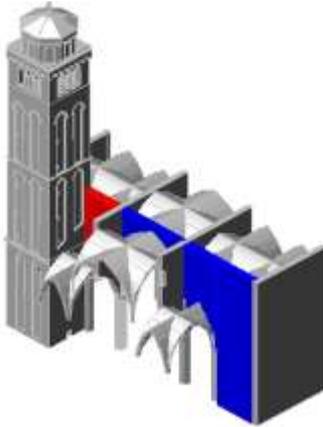
VISTOSO FUORIPOMBO DEL CAMPANILE

SISTEMA DI LESIONI INCLINATE SOPRA L'ARCO OGIVALE CHE COLLEGA IL CAMPANILE ALLA COLONNA D'ANGOLO DELLA CHIESA



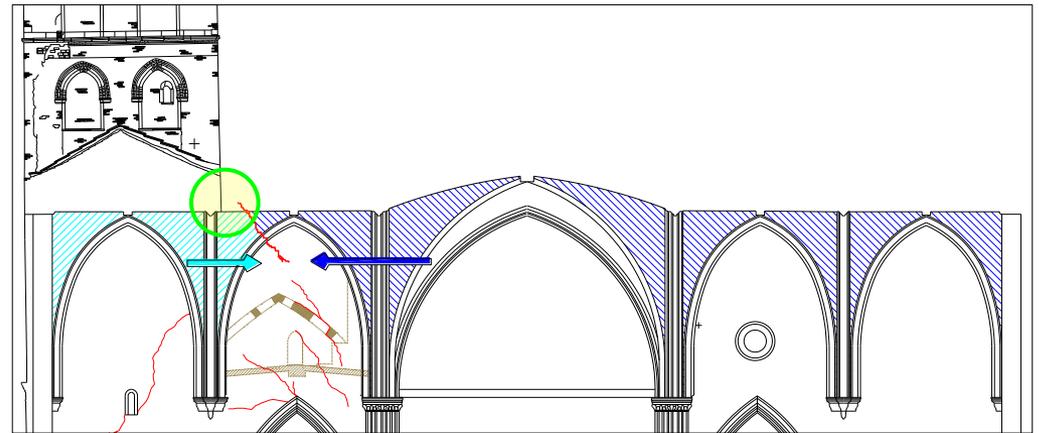


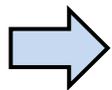
MANIFESTAZIONI DELL'INTERAZIONE MECCANICA CAMPANILE-CHIESA



VISTOSO FUORIPOMBO DEL CAMPANILE

SISTEMA DI LESIONI INCLINATE SOPRA L'ARCO OGIVALE CHE COLLEGA IL CAMPANILE ALLA COLONNA D'ANGOLO DELLA CHIESA





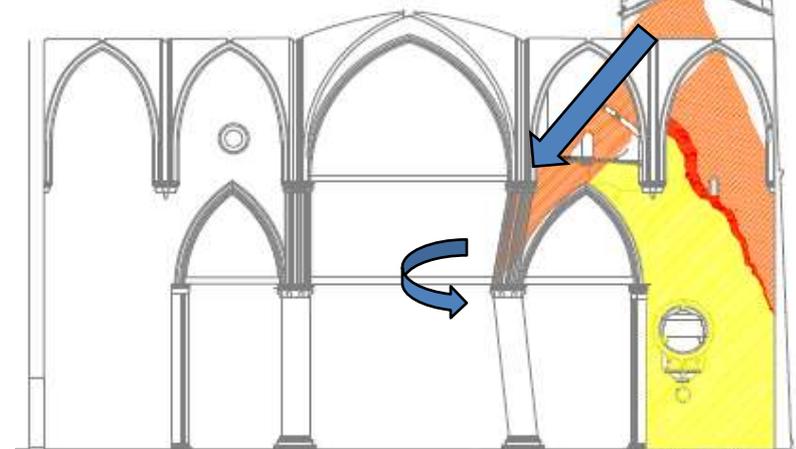
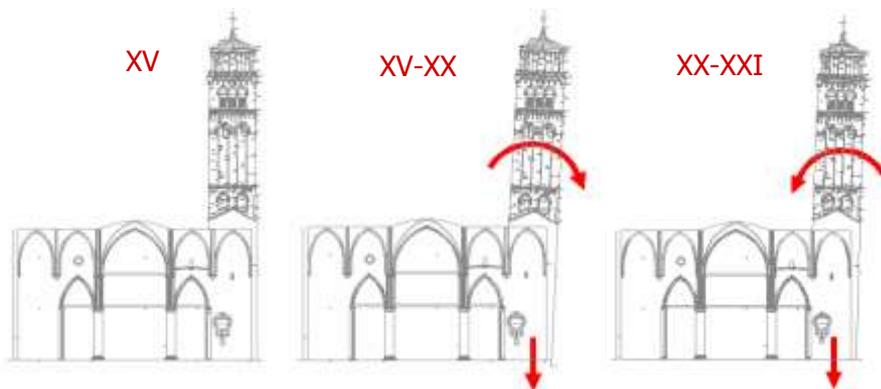
CONSEGUENZE DEI "FLUSSI" DI SFORZI INTERNI CREATI DALL'INTERAZIONE MECCANICA:

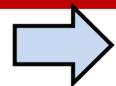
AUMENTO DEL CARICO DI COMPRESSIONE E NASCITA DI UNA FORTE SOLLECITAZIONE DI FLESSIONE TRASVERSALE SULLA COLONNA

DIMINUZIONE DEL CARICO VERTICALE SUL CAMPANILE, DI ENTITA' PARI ALL'AUMENTO SULLA COLONNA

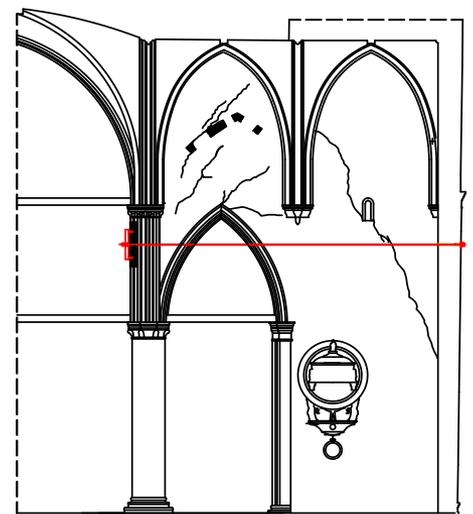
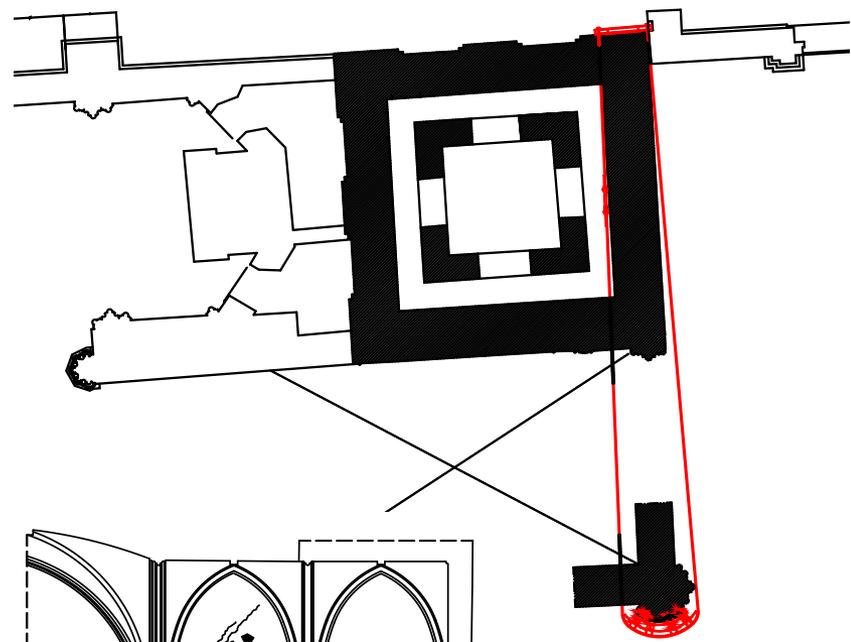
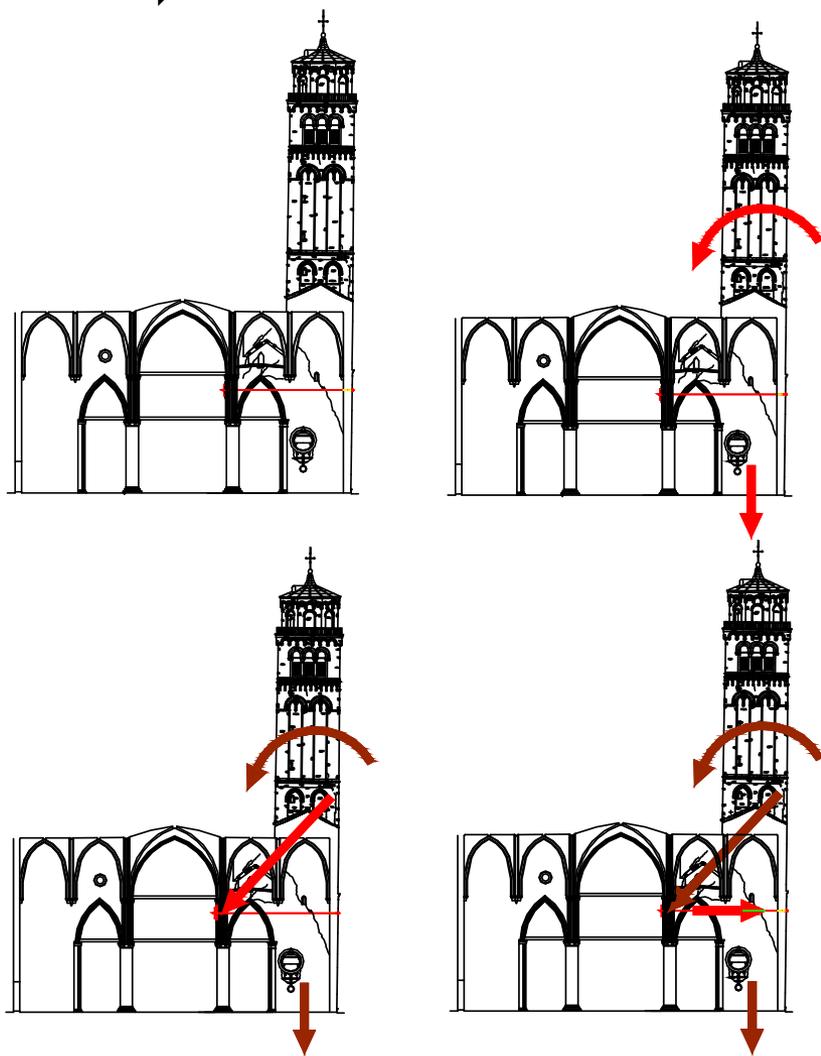


INTERAZIONE CHIESA-CAMPANILE





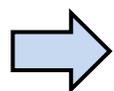
INTERVENTO PROVVISORIO DI CONTROLLO STATICO



IDEA PROGETTUALE

Valutazioni sul comportamento strutturale del complesso campanile-chiesa

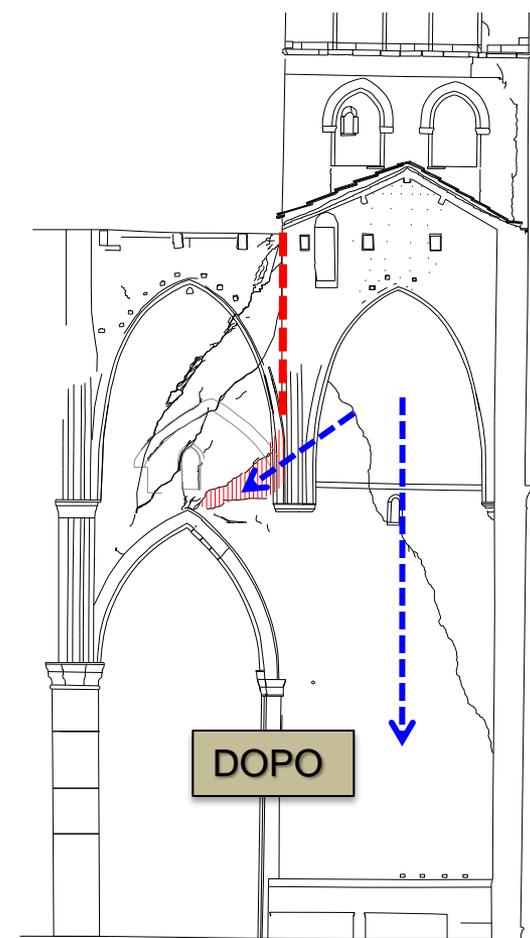
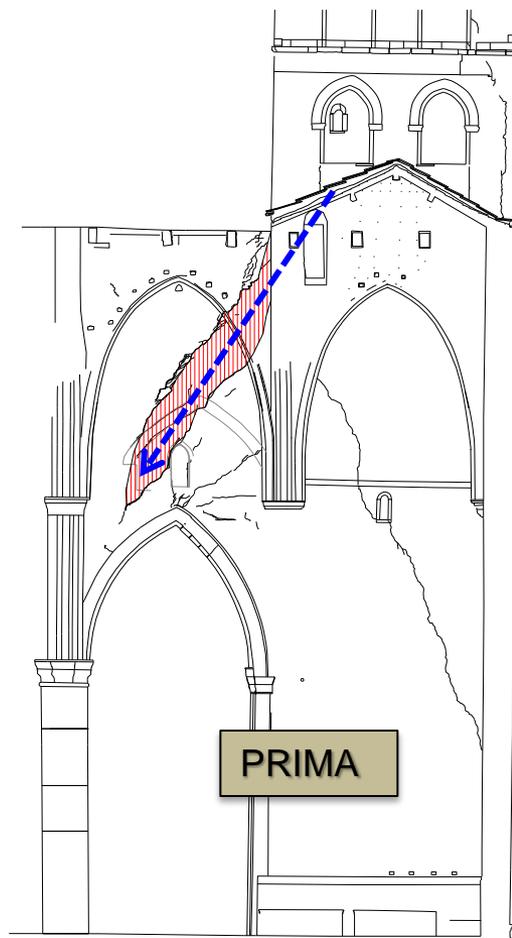
INTERVENTO STRUTTURALE



IDEA PROGETTUALE

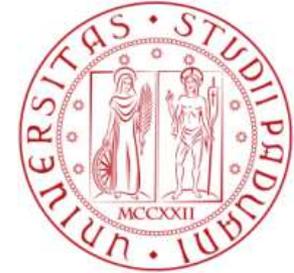
CREAZIONE DI UN GIUNTO DI DISCONTINUITA' TRA CHIESA E CAMPANILE IN MODO DA RENDERE LE DUE UNITA' STRUTTURALMENTE INDIPENDENTI

ELIMINAZIONE DELLA CORRENTE DI COMPRESSIONE CHE TRASFERISCE PARTE DEL PESO DEL CAMPANILE ALLA COLONNA





ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA



Grazie per l'attenzione!



Prof. Ing. Claudio Modena
claudio.modena@dicea.unipd.it

Università di Padova
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia
Via Panciatichi n. 11 - Pistoia
Lunedì 5 novembre 2012
