



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

*f*ondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII
SOPRINTENDENZA
POMPEI



FONDAZIONE DEGLI
INGEGNERI DELLA
PROVINCIA DI
POTENZA

TECNICHE DI RECUPERO DEL COSTRUITO STORICO E ARCHEOLOGICO

11 LUGLIO 2016, POMPEI (NA)

RELATORE:

PROF. ING. STEFANO PODESTÀ

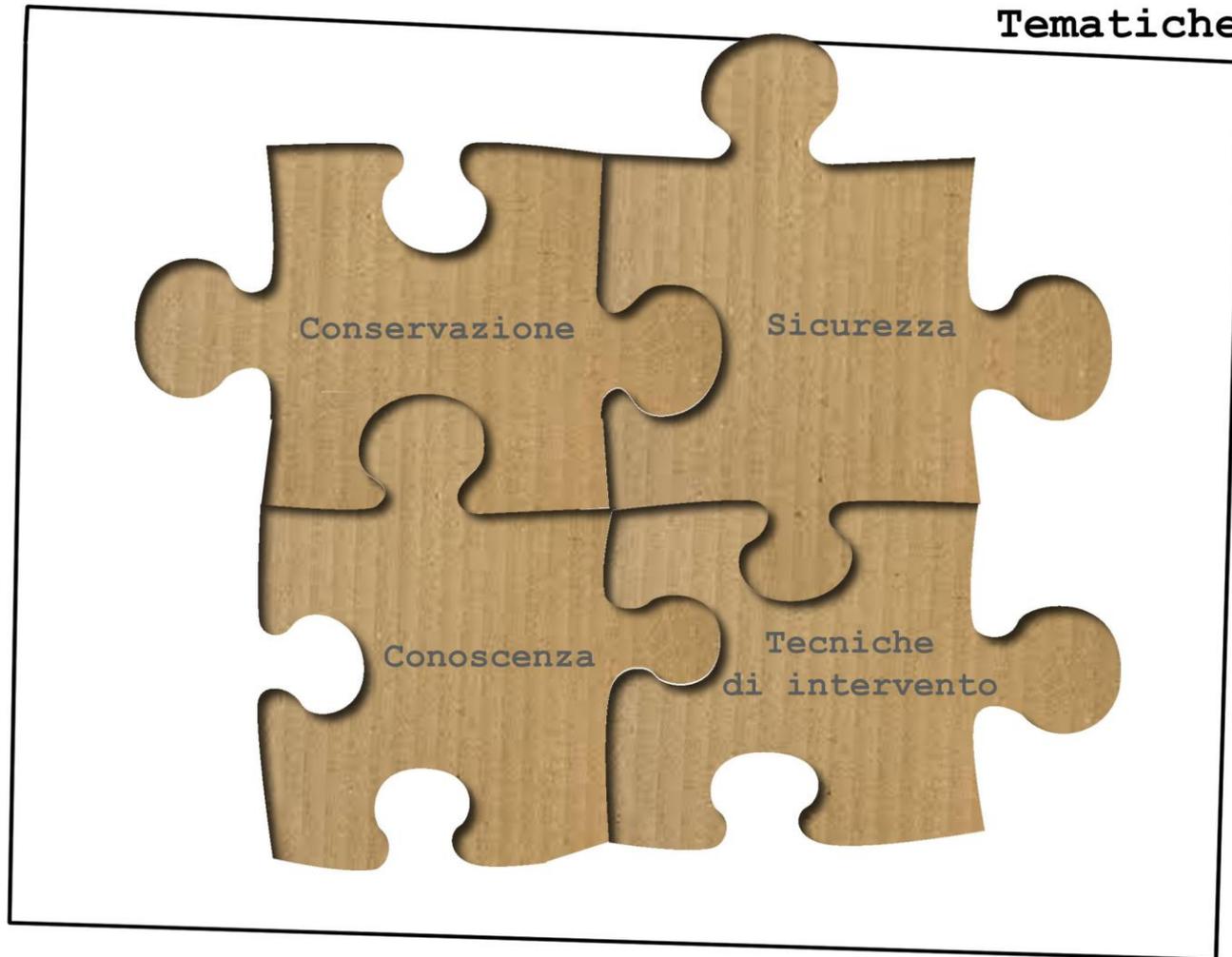
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

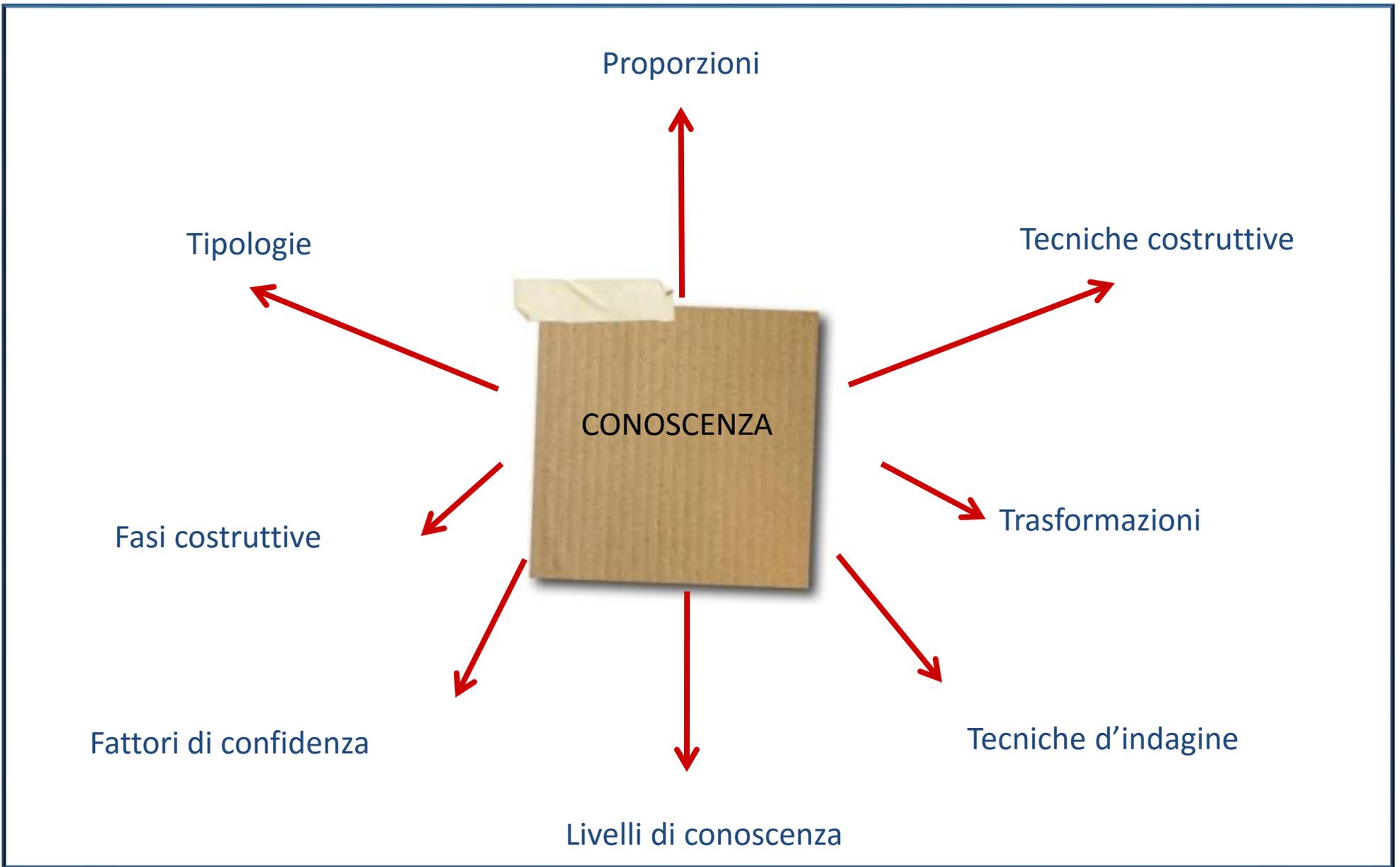
SCUOLA POLITECNICA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA E AMBIENTALE

STEFANO.PODESTA@UNIGE.IT

Tematiche





PROPORZIONI

“il modo di eseguire una costruzione consiste tutto nel ricavare da diversi materiali [pietre squadrate, manto , legnami etc.] disposti in un certo ordine e congiunti ad arte, una struttura compatta e, nei limiti del possibile integra ed unitaria. Cioè che [...] in tutta l'estensione delle sue linee dimostri coerenza e necessità”.

Leon Battista Alberti, *De Re Aedificatoria*, Libro III, Firenze, 1485

Nei precedenti libri abbiamo partitamente considerato le varie nature delle costruzioni sotto l'aspetto materiale dell'arte; tratteremo ora della scienza che ha per oggetto il determinare le forme e le dimensioni che si debbono dare alle diverse parti degli edifici, onde assicurarne la solidità e questa scienza costituisce la teoria delle costruzioni

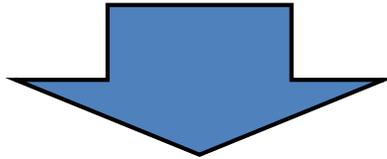
Rondelet , *Traité theorique et pratique de l'art de batir*, libro IX, Parigi 1802.

Cavalieri San Bertolo (1855) – Curioni (1870) – Sacchi (1878) al Donghi (1906)

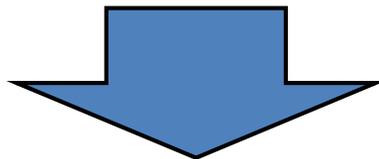
PROPORZIONI

Esiste un criterio di dimensionamento dello spessore delle pareti murarie?

Rondelet evidenzia infatti: “Ma non bisogna perdere di vista piuttosto che la stabilità la forza che costituisce la solidità degli edifici”



Tutte le analisi meccaniche che sono sviluppate nel '700 studiano i cinematismi in sistemi articolati di corpi rigidi, sistemi che possono evolvere fino a collasso solo in virtù del monoliticismo murario

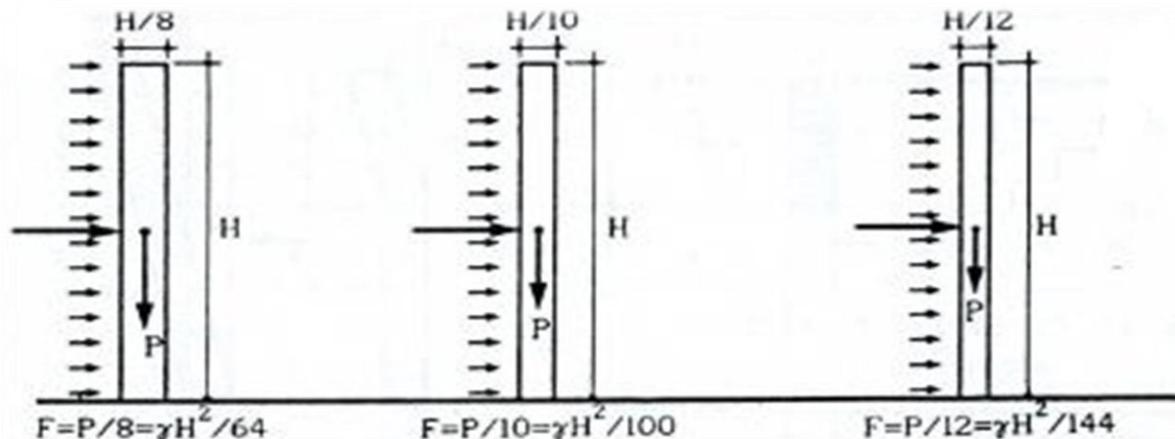


L'affermazione di Rondelet esclude l'ottica tensionale nel giudizio della resistenza, per riconoscere il problema della sicurezza in un'ottica più complessa di natura strutturale

PROPORZIONI

Muri isolati

Rondelet “ dietro le osservazioni fatte sopra una grandissima quantità di edifici di tutti i generi risulta che un muro avrà una forte stabilità, se ha per spessore l’ottava parte della sua altezza; che la dodicesima parte procurà ad esso una stabilità media, e la duodecima parte il minor grado di stabilità ch’esso può avere”.



$$b = 0.125 H$$

$$b = 0.1 H$$

$$b = 0.083 H$$



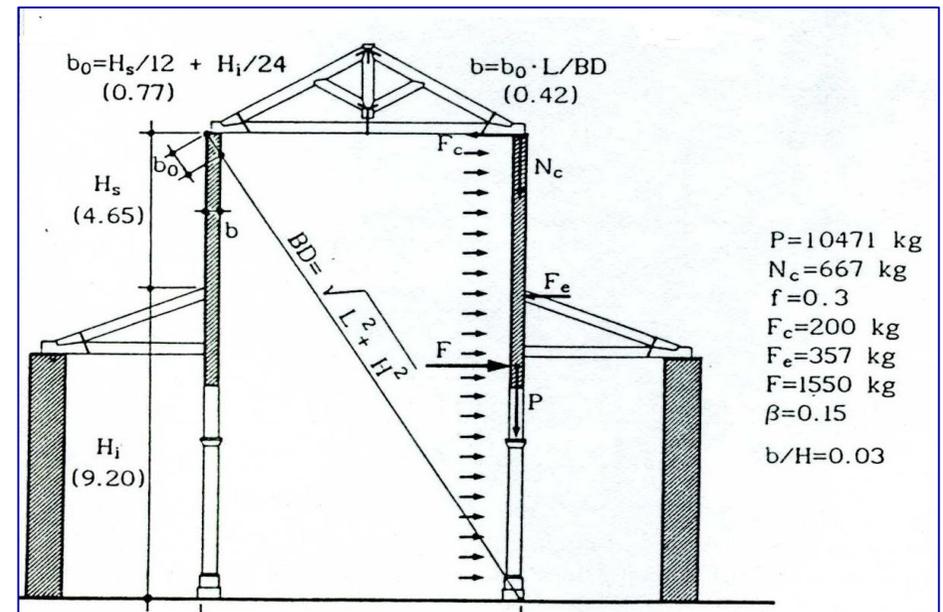
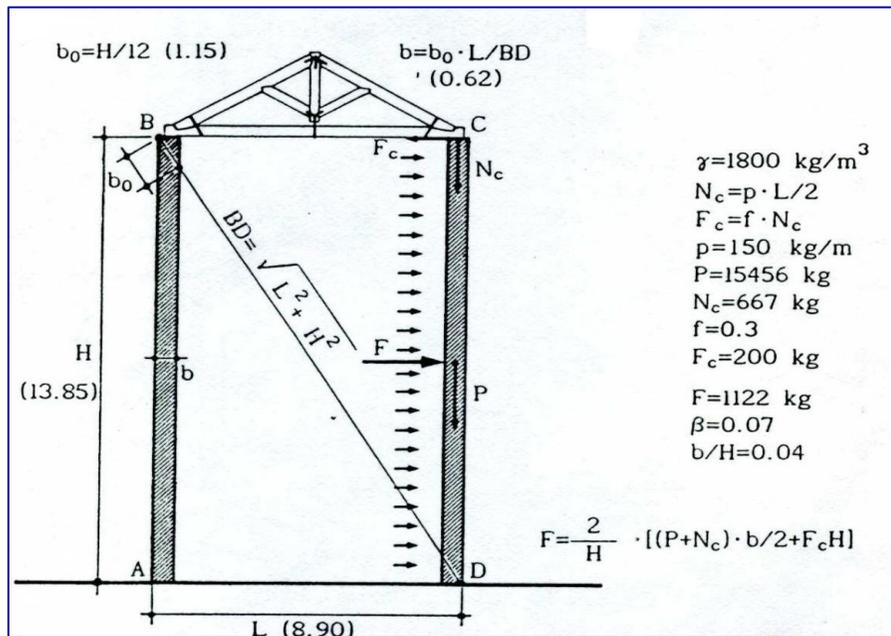
ma b/H misura anche la forza orizzontale, espressa in funzione del peso del muro, che provoca il ribaltamento

Un criterio per definire la sicurezza del muro *tout court*

PROPORZIONI

Pareti collegate da coperture

Rondelet studia lo spessore dei muri delle grandi aule basilicali con riferimento alle chiese antiche: “rispetto alle pareti isolate qui si richiede minor spessor, perché le travature del tetto operano un’efficace azione di contenimento.” Tale azione, egli afferma, si riduce al crescere della larghezza della navata.





PROPORZIONI

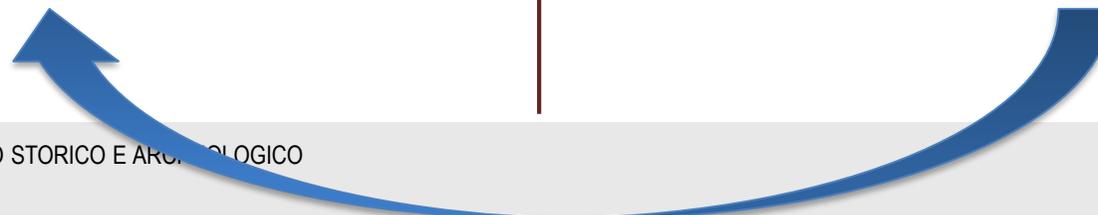
Appare evidente che tali regole si basano su un approccio quasi da naturalista e valgono in contesti molto limitati, valutati su tipologie architettoniche ben definite.

I trattatisti cercavano di fornire una regola omnicomprensiva con la quale veniva soddisfatta sia la statica, sia la sicurezza e insieme la durevolezza del manufatto.

Il trattato conteneva la “regola dell’arte” che serviva da base sicura per agire

SINTESI

VISIONE ANALITICA





Interventi volti ad incrementare la resistenza nei maschi murari

*L'adozione di **iniezioni di miscele leganti** mira al miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura da consolidare.*

A tale tecnica, pertanto, non può essere affidato il compito di realizzare efficaci ammorsature tra i muri e quindi di migliorare, se applicata da sola, il comportamento d'insieme della costruzione.

Particolare attenzione va posta nella scelta della pressione di immissione della miscela, per evitare l'insorgere di dilatazioni trasversali prodotte dalla miscela in pressione.

Nel caso si reputi opportuno intervenire con iniezioni su murature incoerenti e caotiche, è necessario prendere provvedimenti atti a ridurre il rischio di sconnessione della compagine muraria e di dispersione della miscela.

Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della miscela da iniettare.

Tale intervento risulta inefficace se impiegato su tipologie murarie che per loro natura siano scarsamente iniettabili (scarsa presenza di vuoti e/o vuoti non collegati tra loro).

CHIESA DI SANTA MARIA DI TEMPERA



Giugno 2008

1

CHIESA DI SANTA MARIA DI TEMPERA

Discorso di inaugurazione Mons. Mario Pimpo

“Un sogno, che, sembrava irrealizzabile, oggi 19 ottobre dell'anno del Signore 1986, con l'aiuto divino, è diventato consolante realtà. Ed in primo luogo siano rese umili ma ardenti grazie a Dio Onnipotente, principio di ogni bene, per la cui gloria tale impresa è stata portata a felice compimento....OMISSIS...

Le generazioni future ci benediranno per il tesoro che viene lasciato ad esse in preziosa eredità, ed il tesoro è questa Chiesa.

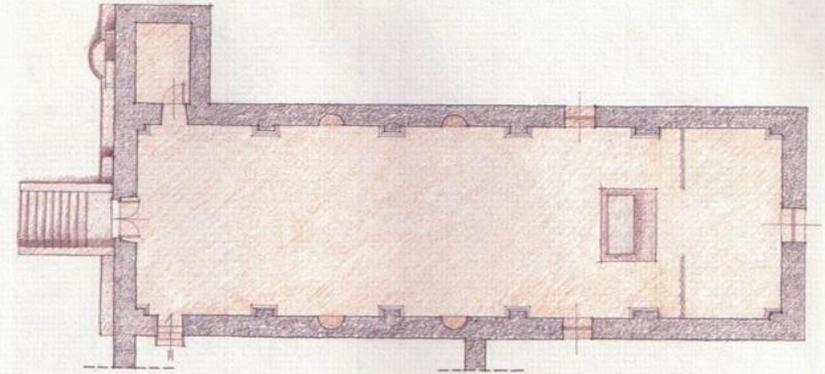
Gli uomini passano, le opere restano”.

CHIESA DI SANTA MARIA DI TEMPERA

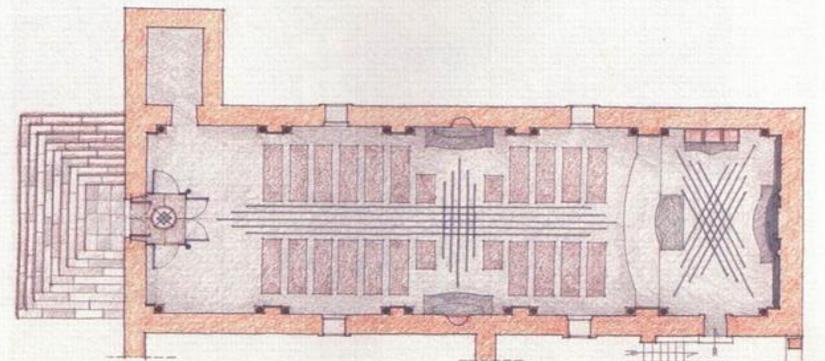
Saggi alla facciata principale



Planimetria prima dell'intervento



Planimetria dopo l'intervento



Le perforazioni per il consolidamento murario



1984
Interventi
strutturali

**INTERVENTO
INNOVATIVO:**

1000 iniezioni con
«speciali leganti»

Circolare 30/07/1981 n. 21745

	TIPO DI MURATURA	τ_k (t/m ²)	σ_k (t/m ²)
MURATURE non consolidate non lesionate	Mattoni pieni Malta bastarda	12	300
	Blocco modulare (con caratteristiche corrispondenti alle prescrizioni del D.M. 3.3.1975 (29x19x19 cm) Malta bastarda	8	250
	Blocco in argilla espansa o calcestruzzo Malta bastarda	18	300
	Muratura in pietra (in presenza di ricorsi di mattoni estesi a tutto lo spessore del muro, il valore rappresentativo di τ_k può essere aumentato del 30%):		
	- a) pietrame in cattive condizioni	2	50
	- b) pietrame grossolanamente squadrate e ben organizzato	7	200
- c) a sacco in buone condizioni	4	150	
	Blocchi di tufo di buona qualità	10	250
MURATURE Nuove	Mattoni "pieni" con fori circolari Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	20	500
	Forati doppio UNI rapp. vuoto/pieno = 40% Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	24	500
MURATURE Consolidate	Mattoni pieni, pietrame squadrate, consolidate con 2 lastre in calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	18	500
	Pietrame iniettato Murature in pietra a sacco consolidate con due lastre in cls armato da cm 3 (minimo)	11	300
		11	300

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m =resistenza media a compressione della muratura, t_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

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

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

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

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

CHIESA DI SANTA MARIA DI TEMPERA



Giugno 2008

1

CHIESA DI SANTA MARIA DI TEMPERA



Aprile 2009

CHIESA DI SANTA MARIA DI TEMPERA



Aprile 2009

CHIESA DI SANTA MARIA DI TEMPERA



CHIESA DI SANTA MARIA DI TEMPERA





Festa di S. Biagio 2006



Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti

Cordoli 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; va evitata l'esecuzione di cordolature ai livelli intermedi, eseguite nello spessore (specie se di muratura in pietrame), dati gli effetti negativi che le aperture in breccia producono nella distribuzione delle sollecitazioni sui paramenti. Questi possono essere realizzati nei seguenti modi: in muratura armata, in acciaio, in c.a.

L'efficace **connessione dei solai di piano e delle coperture** alle murature è necessaria per evitare lo sfilamento delle travi, con conseguente crollo del solaio, e può permettere ai solai di svolgere un'azione di distribuzione delle forze orizzontali e di contenimento delle pareti. I collegamenti possono essere effettuati in posizioni puntuali, eseguiti ad esempio in carotaggi all'interno delle pareti. Devono essere evitati cordoli inseriti nello spessore della muratura ai livelli intermedi, mentre possono risultare utili cordoli in acciaio, realizzati con piatti o profili sui due paramenti, collegati tra loro tramite barre passanti.









CHIESA S. ELENA – S. GIULIANO DI PUGLIA (CB)

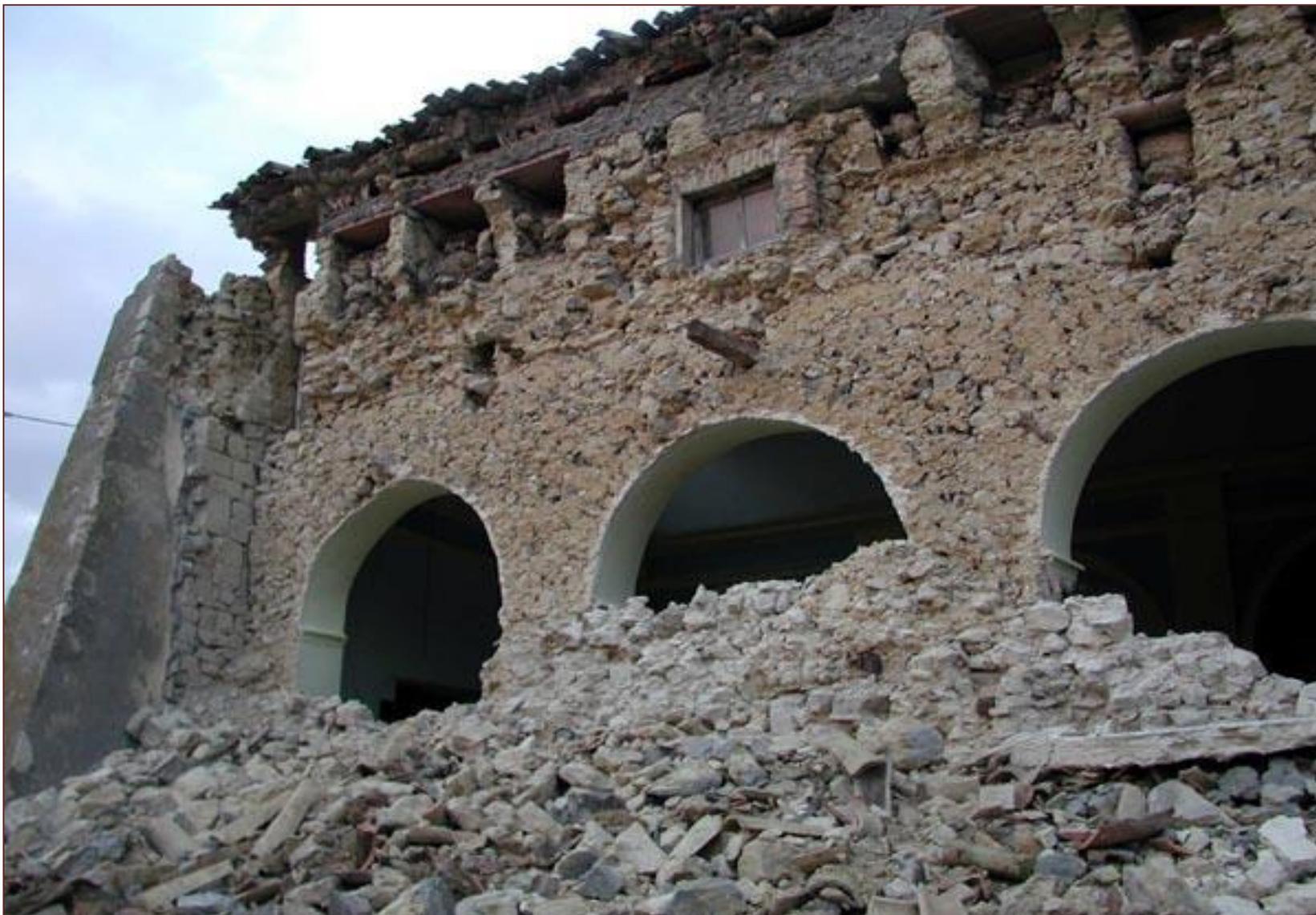


2

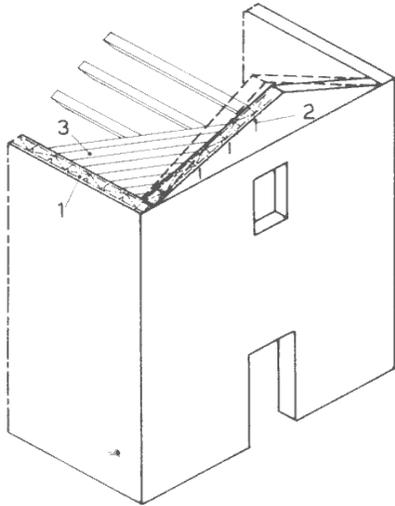
CHIESA S. ELENA – S. GIULIANO DI PUGLIA (CB)



CHIESA S. ELENA – S. GIULIANO DI PUGLIA (CB)



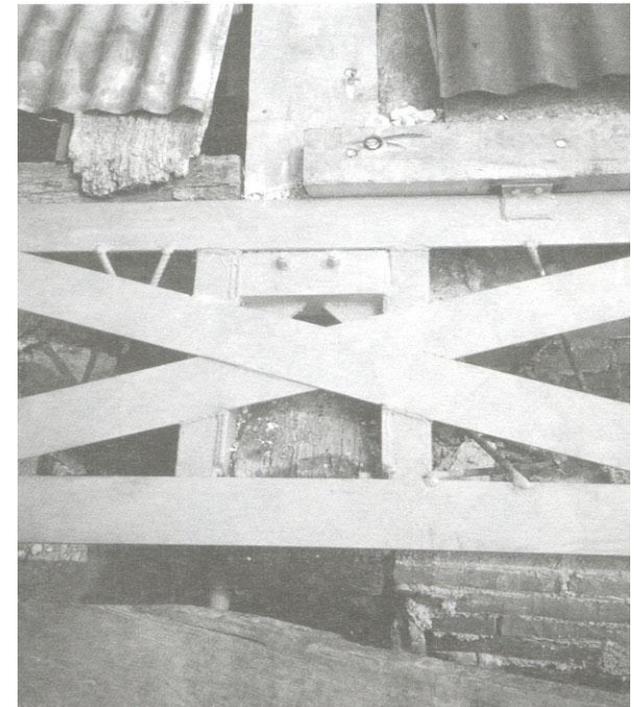
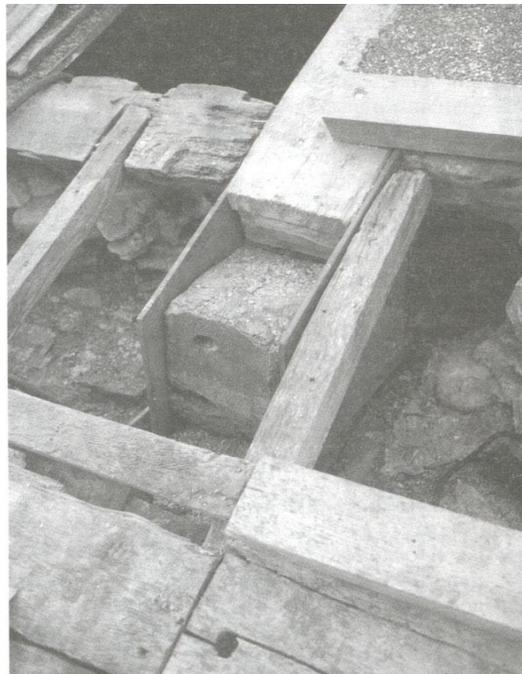
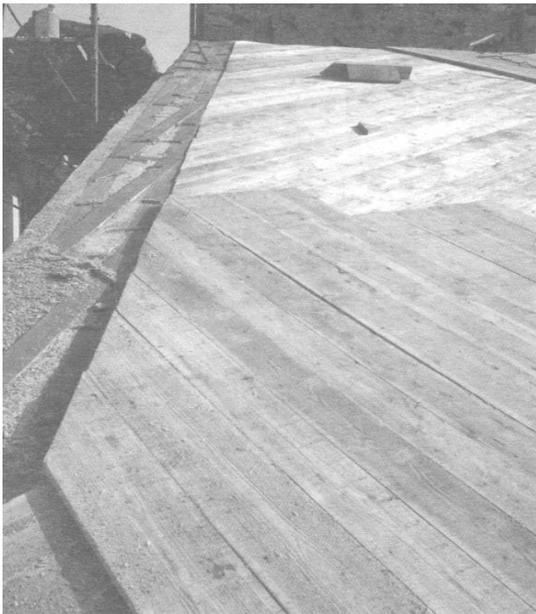
SOLUZIONI ALTERNATIVE



1) CORDOLO TIRANTE ADESIVO
SOMMITALE

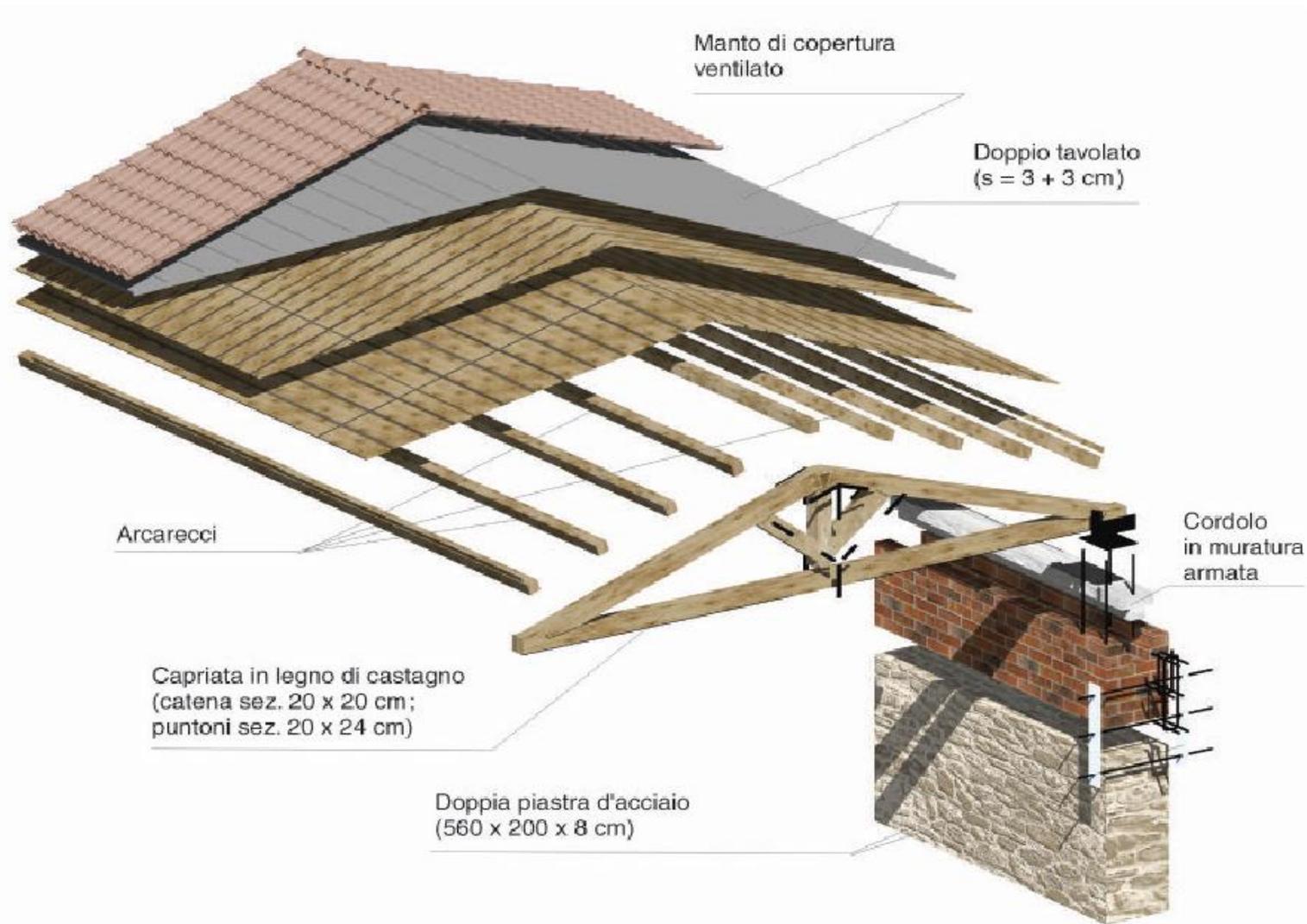
2) COLLEGAMENTI TRA TERZERI DI LEGNO
E MURI DI APPOGGIO

3) PARZIALE IRRIGIDIMENTO
DELL'IMPALCATO DI FALDA E
CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO
E CORDOLO-TIRANTE



SOLUZIONI ALTERNATIVE

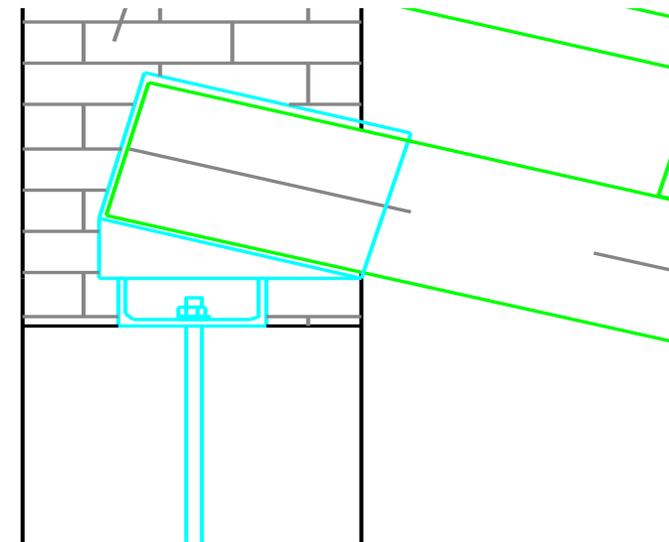
iti



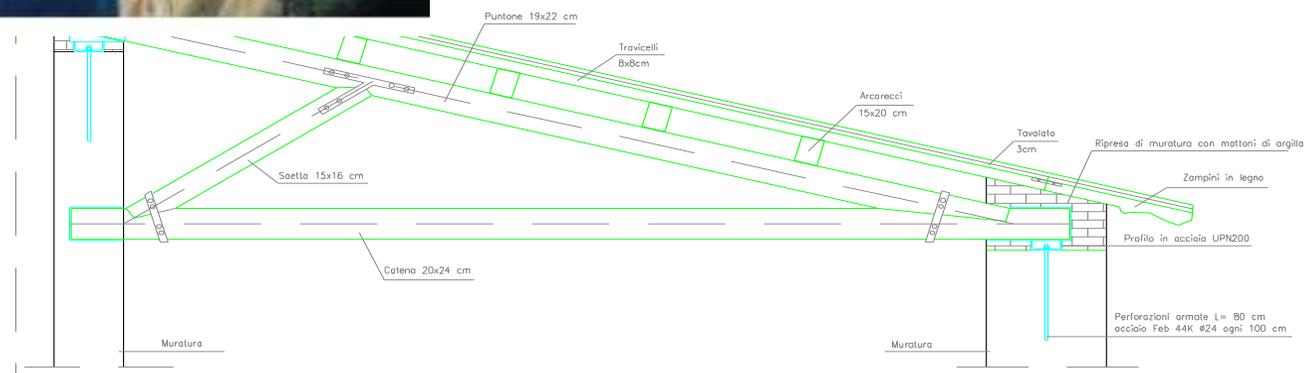
SOLUZIONI ALTERNATIVE



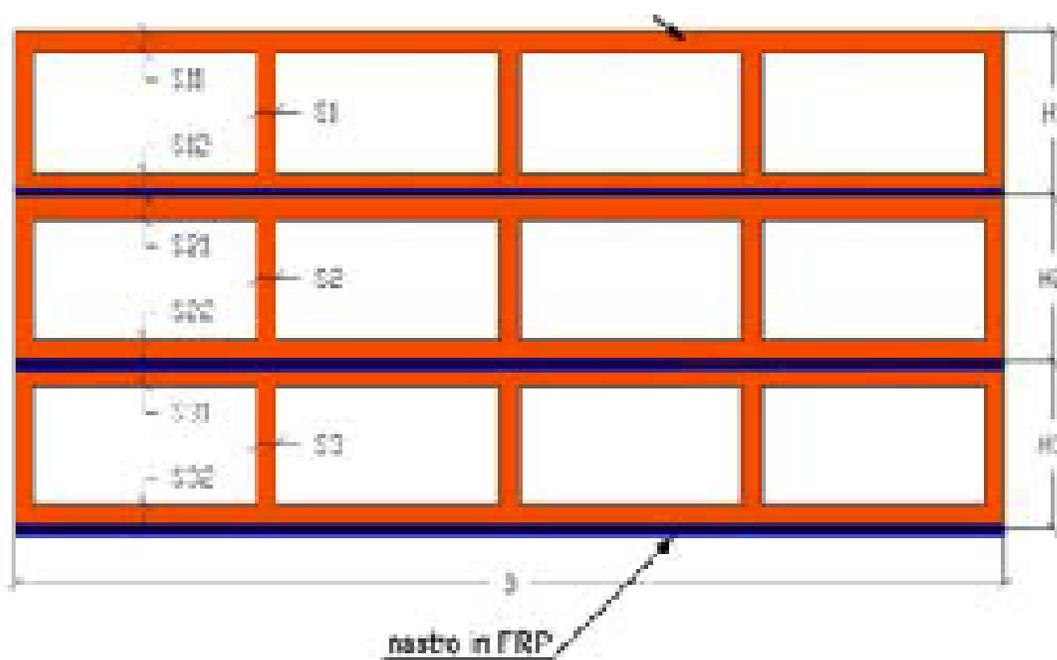
CORDOLO LIGNEO



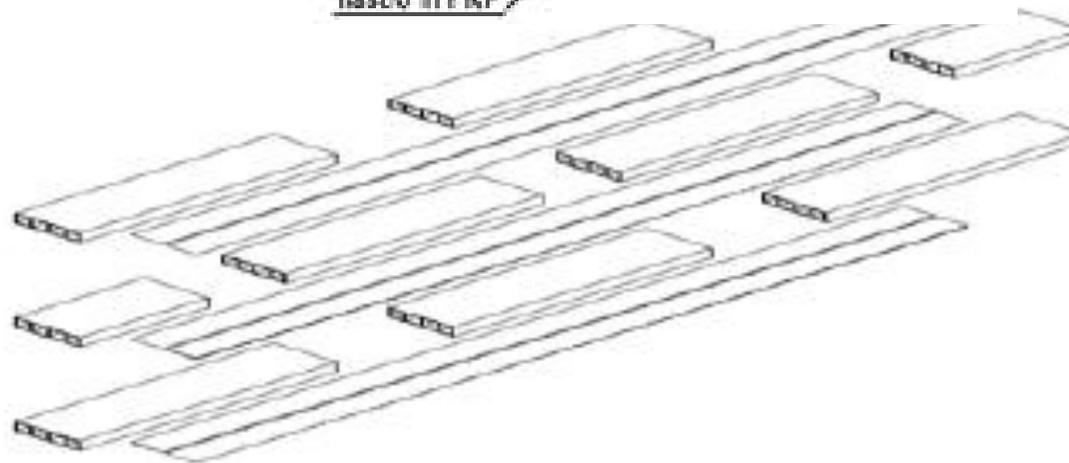
CORDOLO CON PROFILI UPN



SOLUZIONI ALTERNATIVE



CORDOLO LATERIZIO LAMELLARE CON FRP



Variazioni di spessore delle pareti murarie

Rilievo dello spessore e del profilo di volte

Presenza di cavità e aperture

Rilievo del degrado

Rilievo del quadro fessurativo e deformativo

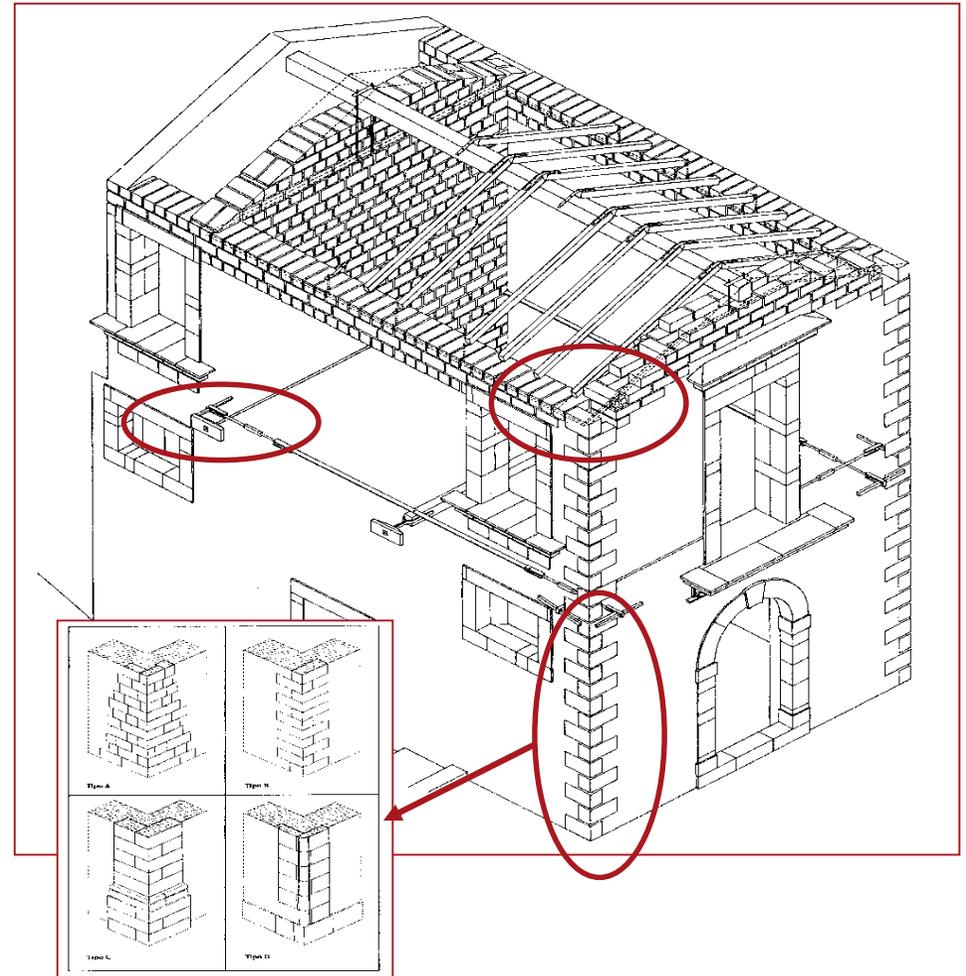
Efficacia delle connessioni tra gli elementi

Presenza di catene e cerchiature

Collegamenti tra le pareti

Tipologia della muratura

Proprietà dei materiali



Rilievo Tecnologico

NTC 2008 - §8.5; CIRCOLARE §C8.5 - §C8A.1

LINEE GUIDA - §4

RILIEVO TECNOLOGICO - la muratura (C8A.1.A.3)

- qualità e tipo dei materiali costituenti (mattoni, pietra, malta)
- tessitura e dimensione degli elementi
- composizione trasversale
- dettagli (scaglie, listatura, ecc.)

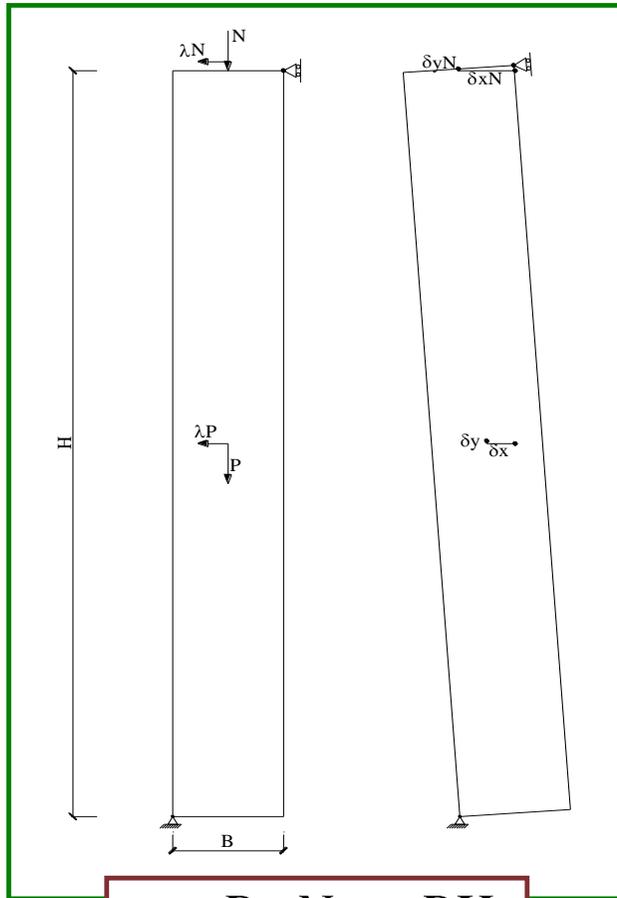


Pannello murario pressoinflesso

Cinematismi di collasso per azione sismica ortogonale al piano

muro di buona qualità

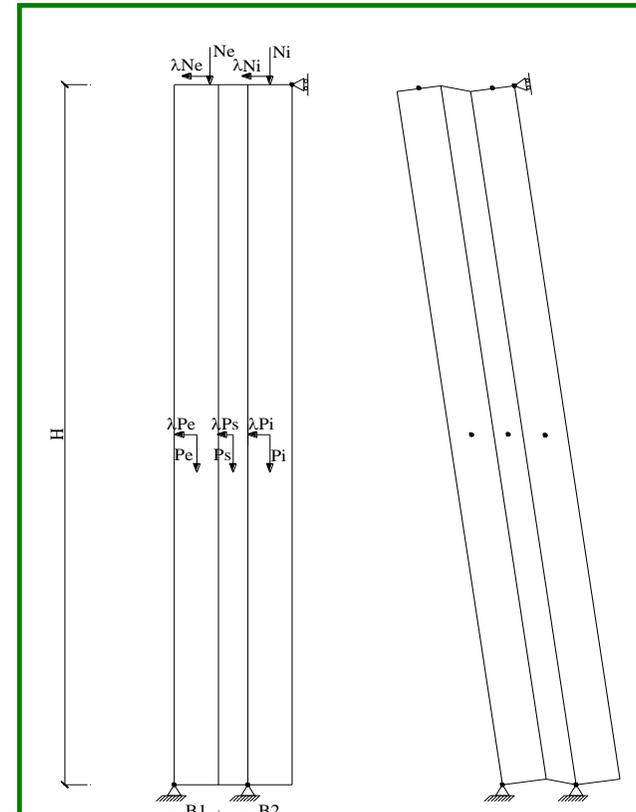
non connesso all'estremità superiore



$$\lambda = \frac{B}{H} \frac{N + \gamma BH}{2N + \gamma BH}$$

muro scadente

non connesso all'estremità superiore



$$\lambda = \frac{B}{H} \frac{b_e^2 \rho + b_i^2 \rho + \frac{(b_i + b_e)(1 - b_1 - b_e) \rho_s}{2} + \frac{n(b_i^2 + b_e^2) \rho}{b_i + b_e}}{b_e \rho + b_i \rho + (1 - b_1 - b_e) \rho_s + 2n \rho}$$



Interventi volti ad incrementare la resistenza nei maschi murari

*L'inserimento di **diatoni artificiali**, realizzati in conglomerato armato (in materiale metallico o fibrorinforzato) dentro fori di carotaggio, può realizzare un efficace collegamento tra i paramenti murari, evitando il distacco di uno di essi o l'innescò di fenomeni di instabilità per compressione; inoltre, tale intervento conferisce alla parete un comportamento monolitico per azioni ortogonali al proprio piano. E' particolarmente opportuno in presenza di murature con paramenti non collegati fra loro; nel caso di paramenti degradati è opportuno bonificare questi tramite le tecniche descritte al riguardo (iniezioni di malta, ristilatura dei giunti).*

*Nel caso in cui la porzione muraria che necessita di intervento sia limitata, una valida alternativa è rappresentata dai **tirantini antiespulsivi**, costituiti da sottili barre trasversali imbullonate con rondelle sui paramenti. Tale tecnica può essere applicata nel caso di murature a tessitura regolare o in pietra squadrata, in mattoni o blocchi.*

Intervento con diatoni artificiali

Fattibilità

Efficacia

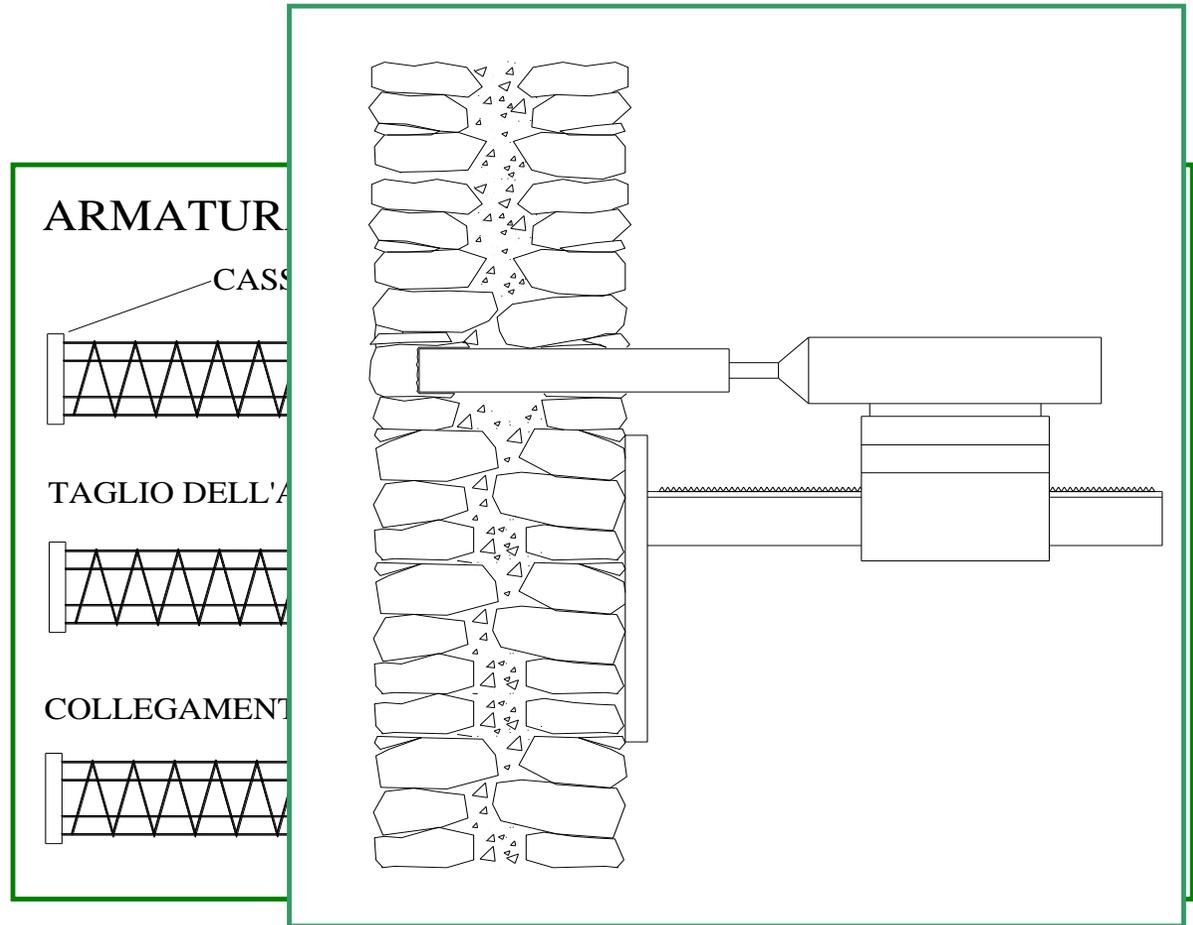
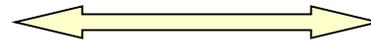
Esecuzione del foro

Sonda a rotazione (diametro 15 cm)
con raffreddamento ad acqua

Preparazione armatura

Armatura prefabbricata con casseri di
estremità forati per l'iniezione

Posizionamento



Intervento con diatoni artificiali

Fattibilità

Esecuzione del foro

Sonda a rotazione (diametro 15 cm)
con raffreddamento ad acqua

Preparazione armatura

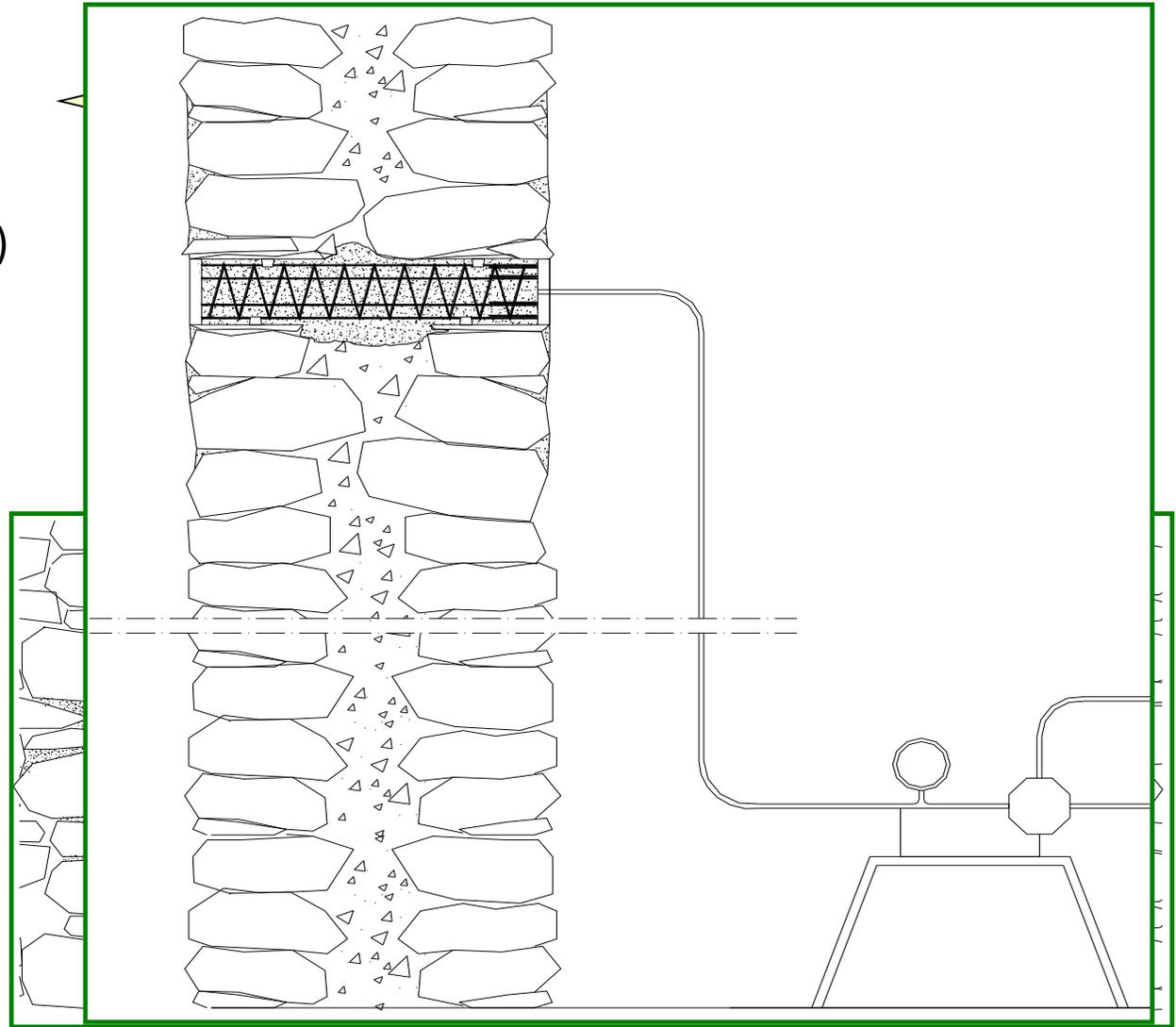
Armatura prefabbricata con casseri
estremità forati per l'iniezione

Posizionamento

Sigillatura

Iniezione

Malta leggermente espansiva o
a ritiro controllato



Campagna sperimentale

Laboratorio Ufficiale DICCA

2 serie

Serie 1	120x40x13	⇒	600x200x65
Serie 2	90x40x13	⇒	450x200x65

3 tipologie

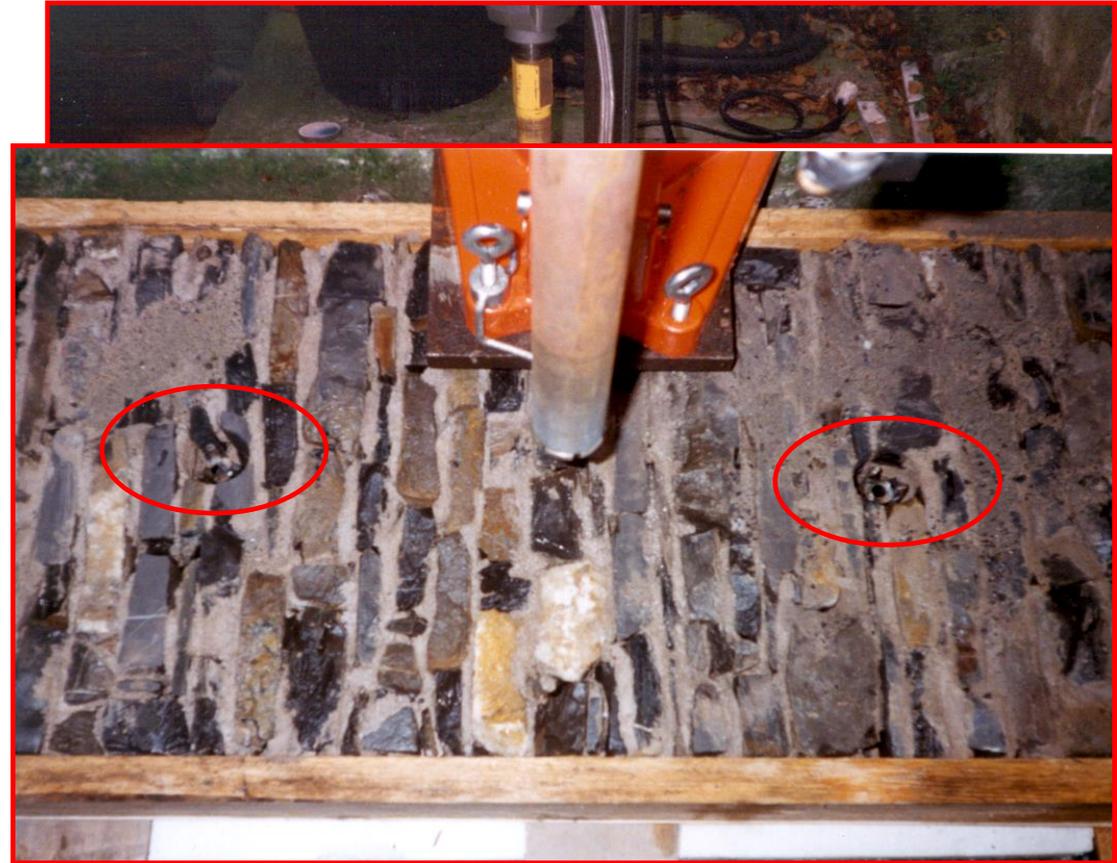
- paramenti non collegati
- paramenti inizialmente non collegati e successivo inserimento di diatoni
- paramenti collegati da frequenti pietre passanti trasversali



Intervento con diatoni artificiali

Provino con paramenti inizialmente non collegati

- fase di carotaggio sonda a rotazione
diametro di 48 mm a 1/3 e 2/3 h
- inserimento dell'armatura dei diatoni
artificiali
- esecuzione del getto



periodo di maturazione di 28 giorni

Analisi dei risultati

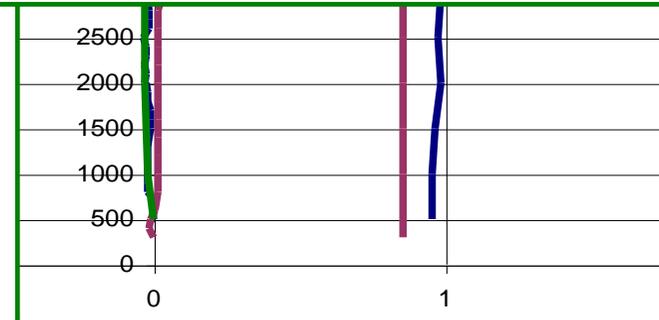
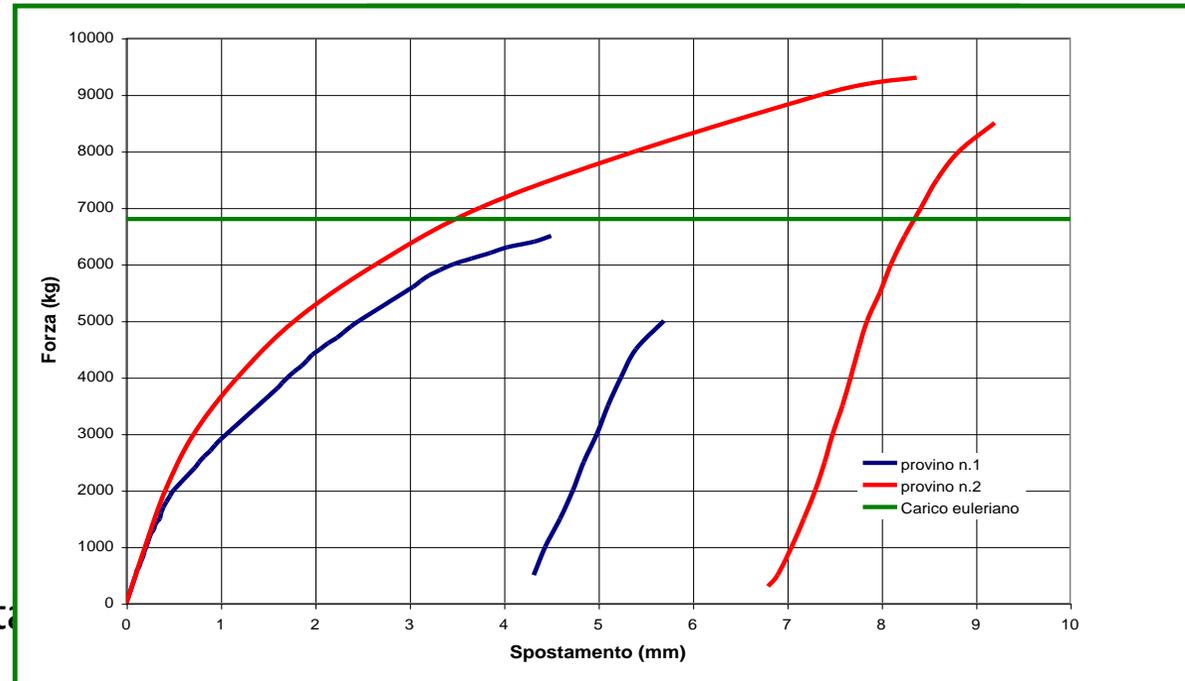
Intervento con diatoni artificiali

Provini 1 e 2 stesse caratteristiche elastiche

$$E_1 = 10000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_2 = 10500 \text{ kg/cm}^2$$

- Incremento del carico di collasso da 68 kN a 93kN, superando il carico critico euleriano
- Contenzimento degli spostamenti orizzontali



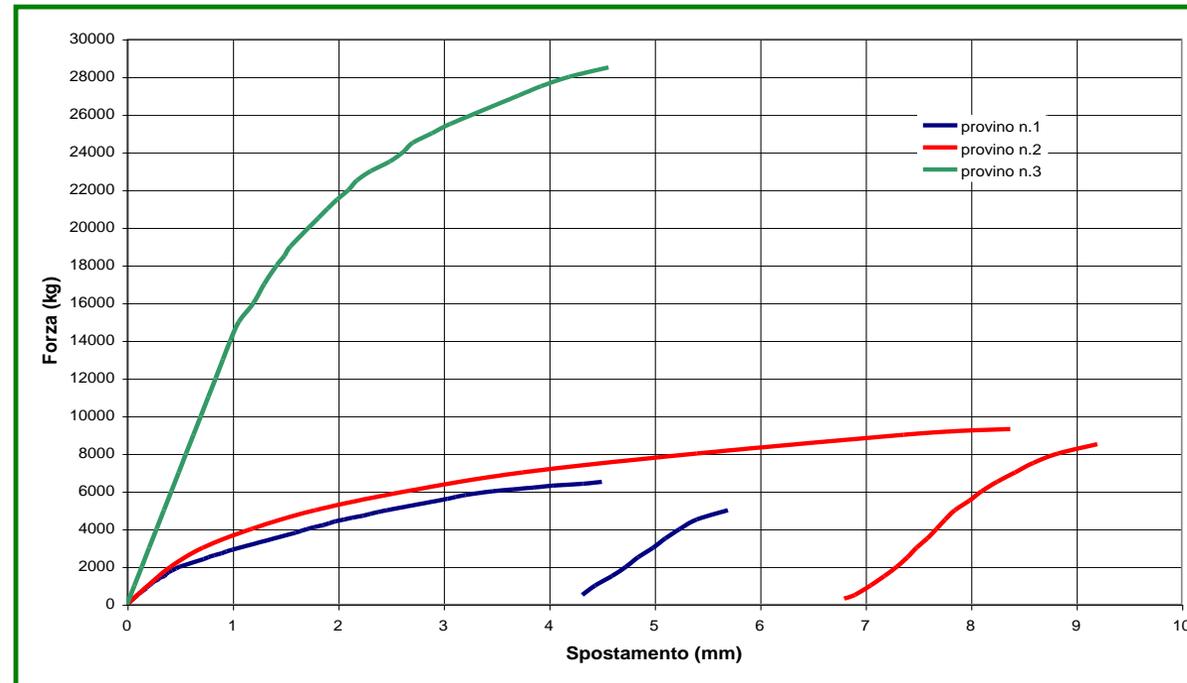
Muro realizzato secondo le regole dell'arte

- frequenti pietre passanti trasversali
- riempimento di buona qualità

Modulo elastico elevato

$$E_2 = 30000 \text{ daN/cm}^2$$

- rottura per compressione
- carico di collasso 285 kN
corrispondente ad una tensione
media di 55 daN/cm^2
- limitati spostamenti orizzontali



Interventi volti ad migliorare i collegamenti



Chiesa di SS. Faustino e Giovita a Bione - Brescia



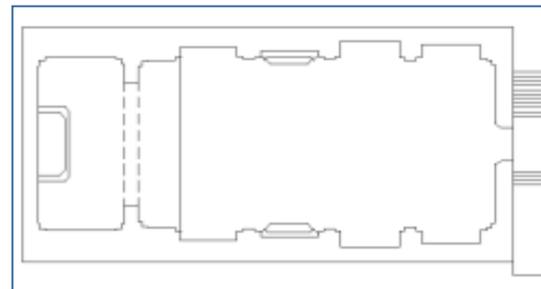
Chiesa di SS. Faustino e Giovita a Bione - Brescia



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Descrizione dell'edificio

- navata singola a 4 campate di dimensioni esterne di 25.7×12.35 m in pianta e la massima altezza interna è circa 10.0 m;
- facciata a capanna con un'apertura nella sommità;
- presenza nell'aula di controsoffittatura con cassettonato in legno;
- abside rettangolare coperto da solaio in travi di ferro e tavelloni;
- copertura a due falde costituita da capriate lignee.



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Stato di danno



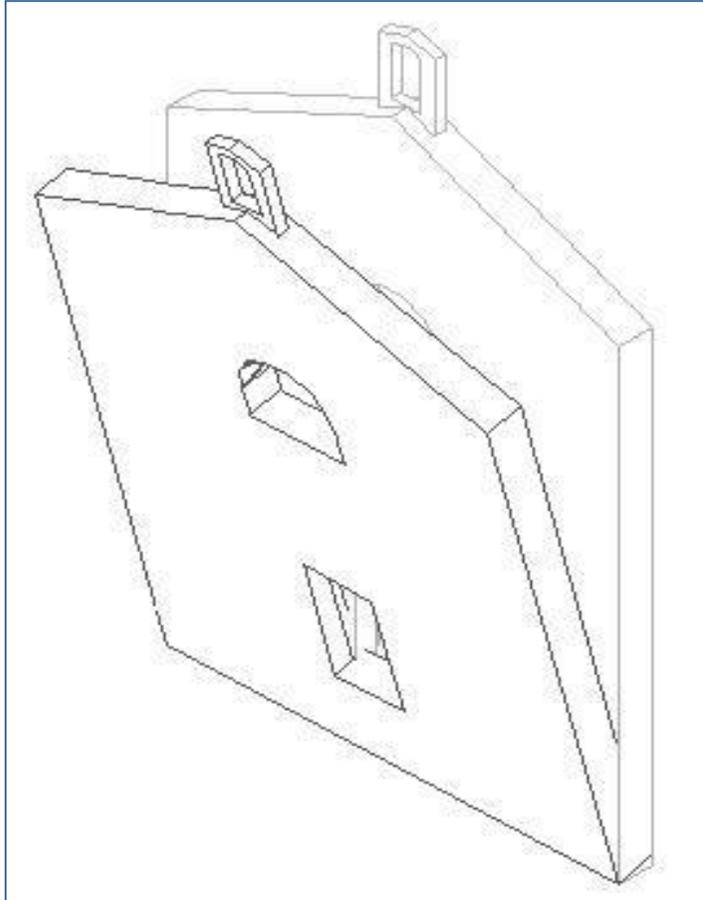
Indicatori di vulnerabilità

- assenza di catene longitudinali;
- scarso grado di connessione in corrispondenza dei cantonali;
- muratura di scarsa qualità.

CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

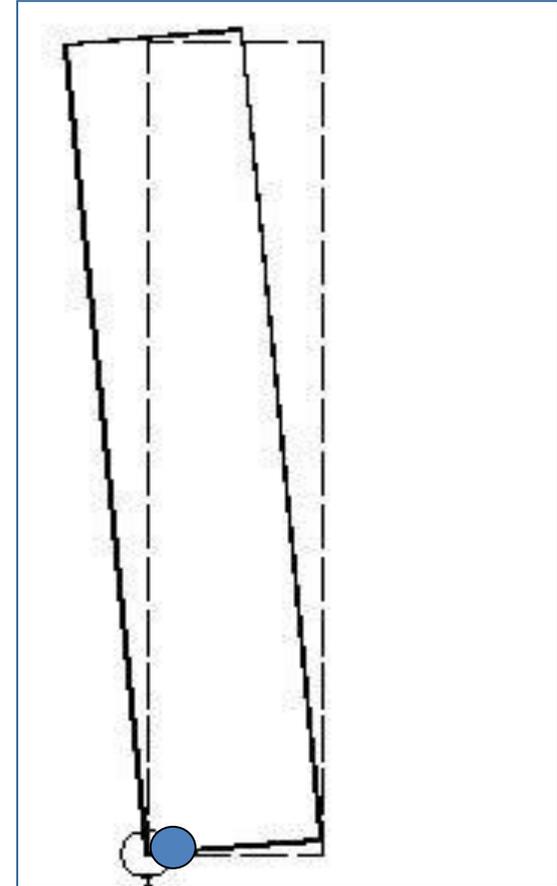
Facciata – Ribaltamento fuori piano

1. Trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile (catena cinematica), attraverso l'individuazione di corpi rigidi, definiti da piani di frattura, in grado di ruotare o scorrere tra loro.



A causa dello scarso grado di ammorsamento della facciata con le pareti laterali queste non vengono computate nel meccanismo.

Arretramento della cerniera cilindrica alla base della facciata



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Facciata – Ribaltamento fuori piano

2. Valutazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 che genera l'attivazione del meccanismo

Principio dei Lavori Virtuali

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$

P_i : generica forza peso applicata (peso proprio o altro peso portato)

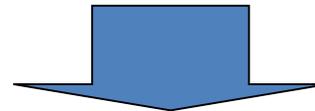
Peso proprio applicato nel baricentro $P=2974\text{kN}$;

F_h : generica forza esterna (es. catena)

Carico trasmesso dalla copertura $T=10\text{kN}$

L_{fi} : lavoro delle eventuali forze interne (es. ingranamento tra i conci murari)

Non esistono forze legate a questi contributi



$$\alpha_0 = 0.04$$

CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Facciata – Ribaltamento fuori piano

Analisi cinematica lineare: la capacità della struttura è definita dall'accelerazione spettrale [a_0^*] che attiva il meccanismo

M^* : massa partecipante al cinematismo

$$M^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i} \right)^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}$$

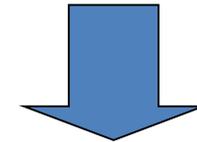
$$\longrightarrow M^* = 303360 \text{ kg}$$

e^* : frazione di massa partecipante

$$e^* = gM^* / \sum_{i=1}^{n+m} P_i$$

$$\longrightarrow e^* = 0.93$$

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^*} = \frac{\alpha_0 g}{e^*}$$

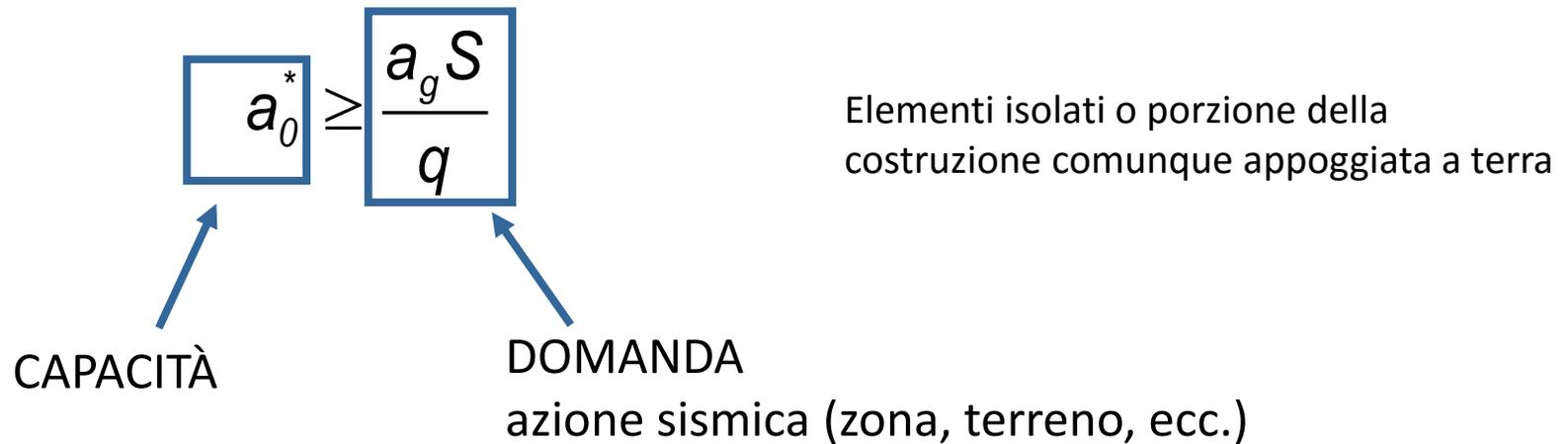


$$a_0^* = 0.4 \text{ m/s}^2$$

CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Facciata – Ribaltamento fuori piano

Analisi cinematica lineare: Verifica semplificata in termini di accelerazione spettrali



LINEE GUIDA

OPCM 3519/2006

Bonefro: $a_{\max} = 0.211g$ Suolo B: $S = 1.25$

$\gamma_i = 1$ – Rilevanza media; Categoria d'uso molto frequente

p eccedenza in 50 anni = 10%

$$a_{\max} S \gamma_i = 0.264 g$$

NTC D.M. 14 gennaio 2008

Bonefro: $a_g = 0.209g$ Suolo B: $S = 1.19$

V_N 50 anni – $C_u = 1 \rightarrow V_R$ 50 anni – T_R 475

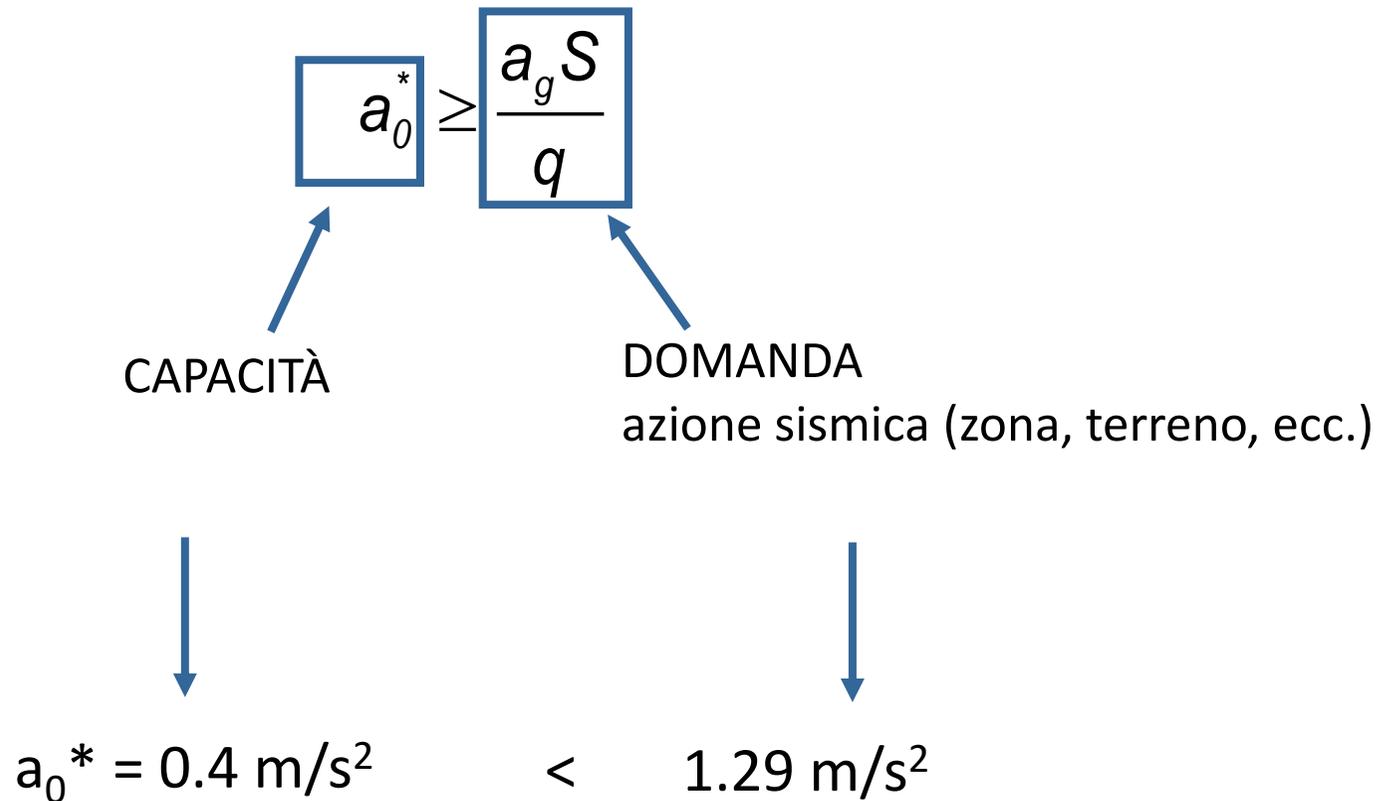
p eccedenza in 50 anni = 10%

$$a_g S = 0.249 g$$

CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Facciata – Ribaltamento fuori piano

Analisi cinematica lineare: Verifica semplificata in termini di accelerazione spettrali



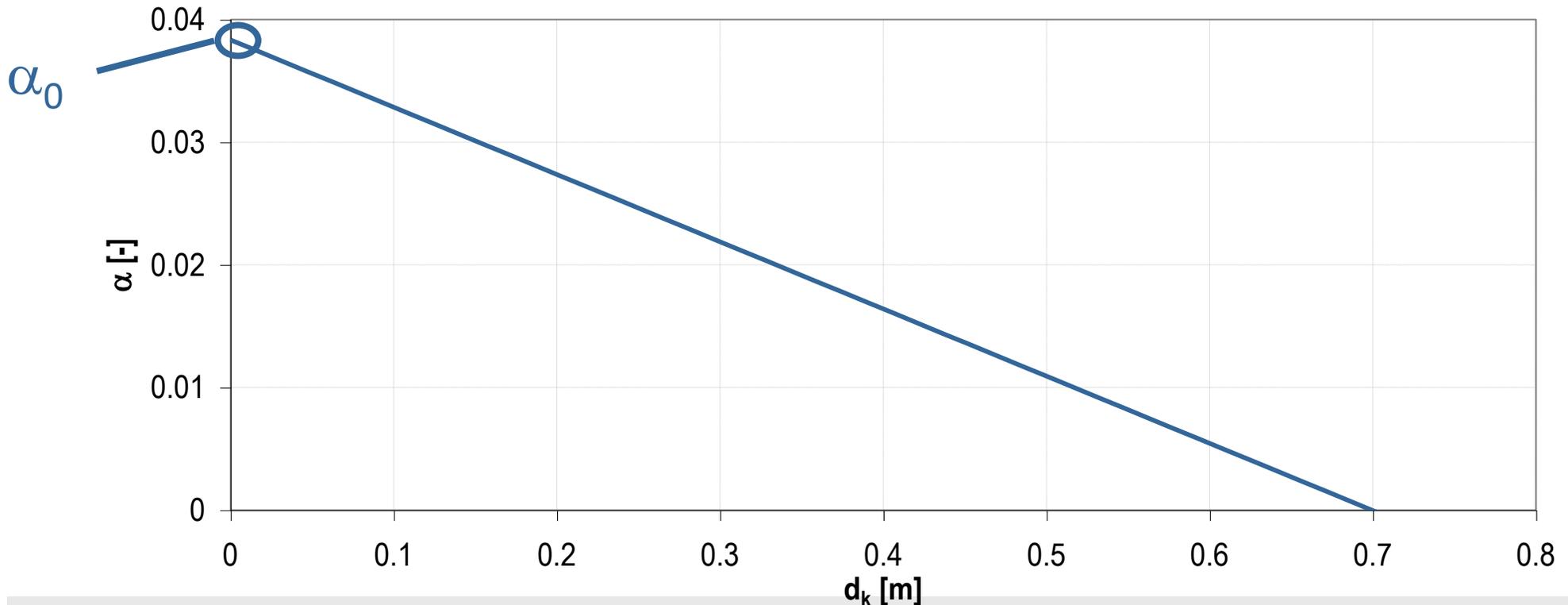
CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Facciata – Ribaltamento fuori piano

Analisi cinematica non lineare: Verifica in termini di spostamento

1. Valutazione dell'evoluzione del moltiplicatore orizzontale dei carichi al crescere dello spostamento d_k di un punto di controllo della catena cinematica fino all'annullamento della forza sismica orizzontale.

Legame α – spostamento generalizzato



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

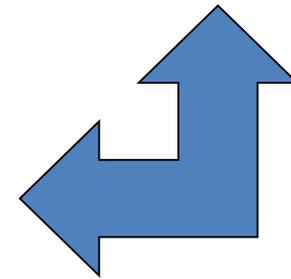
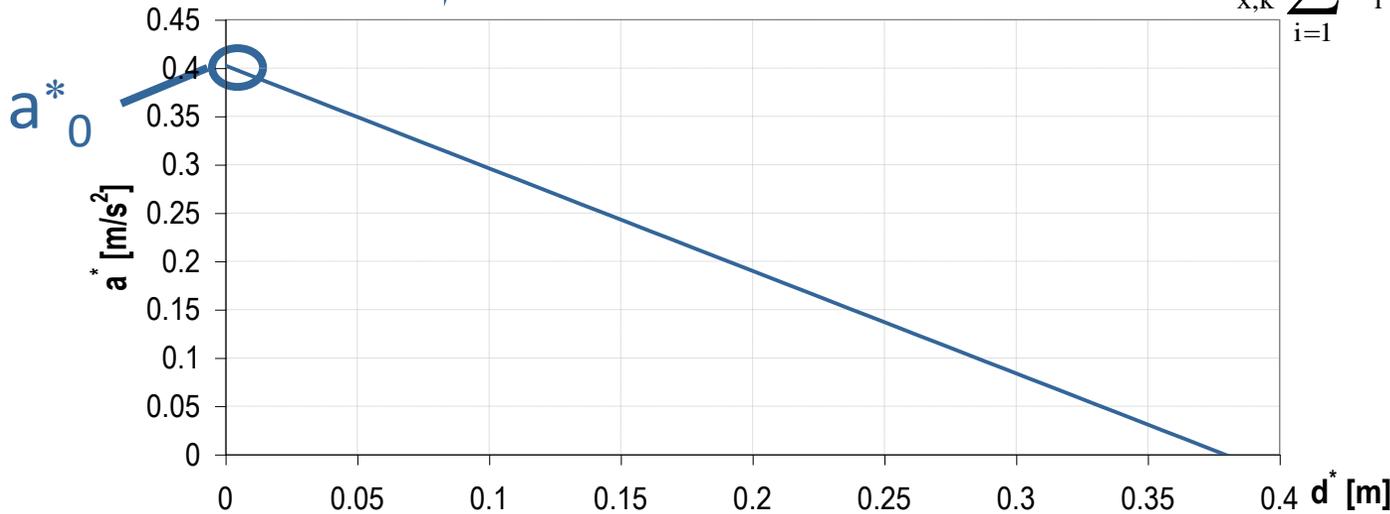
Facciata – Ribaltamento fuori piano

Analisi cinematica non lineare: Verifica in termini di spostamento

2. Trasformazione della curva $\alpha - d_k$ così ottenuta in curva di capacità, ovvero in accelerazione a^* e spostamento d^* spettrali.



$$a^* = \frac{\alpha \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^*} = \frac{\alpha g}{e^*}$$



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

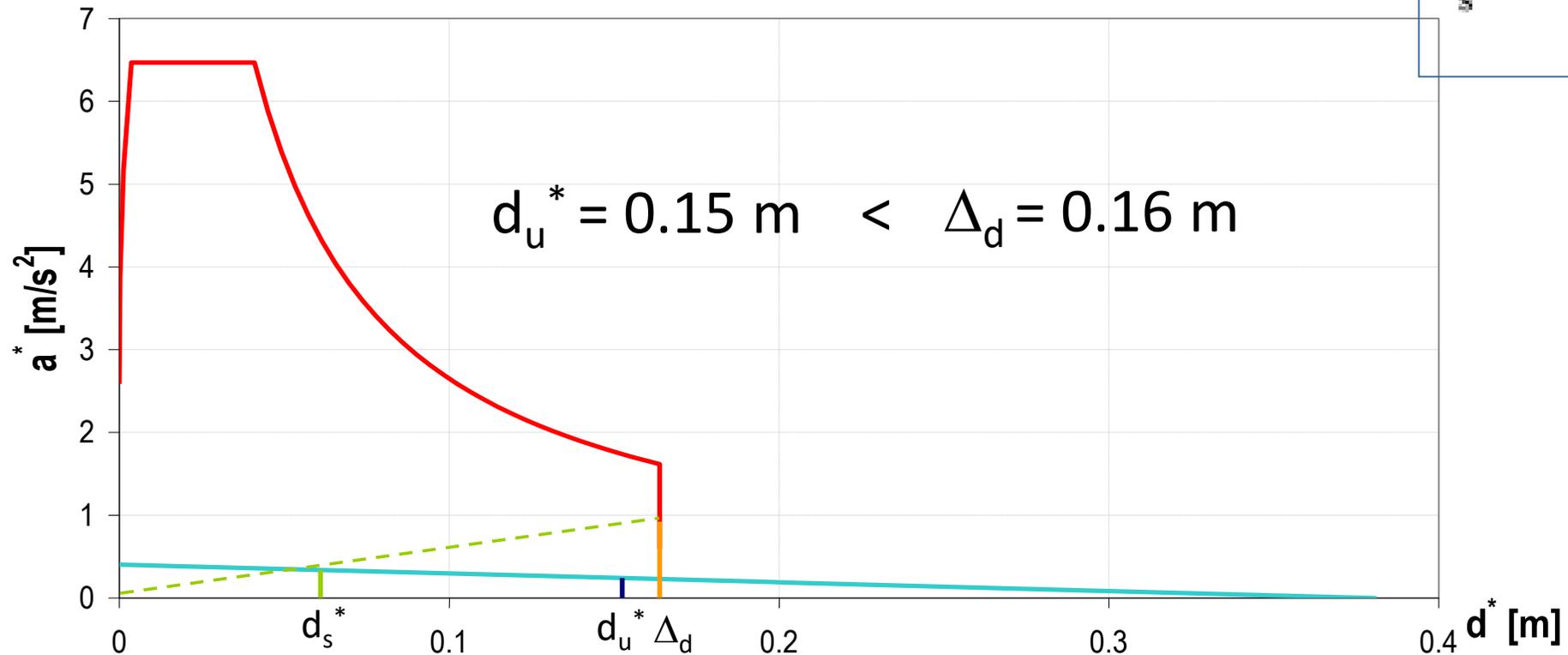
Confronto tra la capacità di spostamento ultimo d_u^* e la domanda di spostamento Δ_d

$d_u^* = 40\%$ dello spostamento per cui si annulla a^*

$\Delta_d =$ spostamento valutato sullo spettro in corrispondenza del periodo secante T_s

$T_s =$ periodo secante valutato in corrispondenza ad uno spostamento $d_s^* = 0.4d_u^*$

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$$



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Facciata – Ribaltamento fuori piano

INSERIMENTO DI CATENE LONGITUDINALI

Valutazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 che genera l'attivazione del meccanismo

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$

P_i : generica forza peso applicata

Peso proprio applicato nel baricentro $P = 2974 \text{ kN}$;

F_h : generica forza esterna (es. catena)

Carico trasmesso dalla copertura $T = 10 \text{ kN}$
Tiro delle catene $F = 20 \text{ kN}$

L_{fi} : lavoro delle eventuali forze interne (es. ingranamento tra i conci murari)

Non esistono forze legate a questi contributi

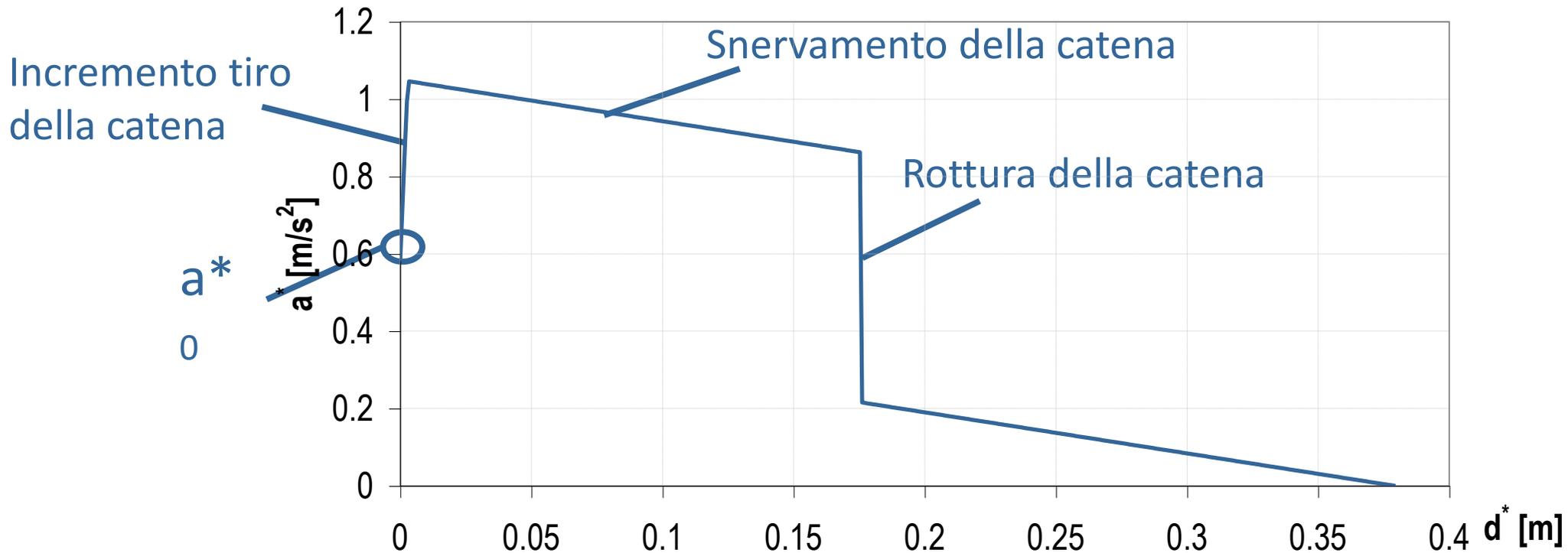


$$a_0^* = 0.63 \text{ m/s}^2 < 1,29 \text{ m/s}^2$$

CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Facciata – Ribaltamento fuori piano

INSERIMENTO DI CATENE LONGITUDINALI



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

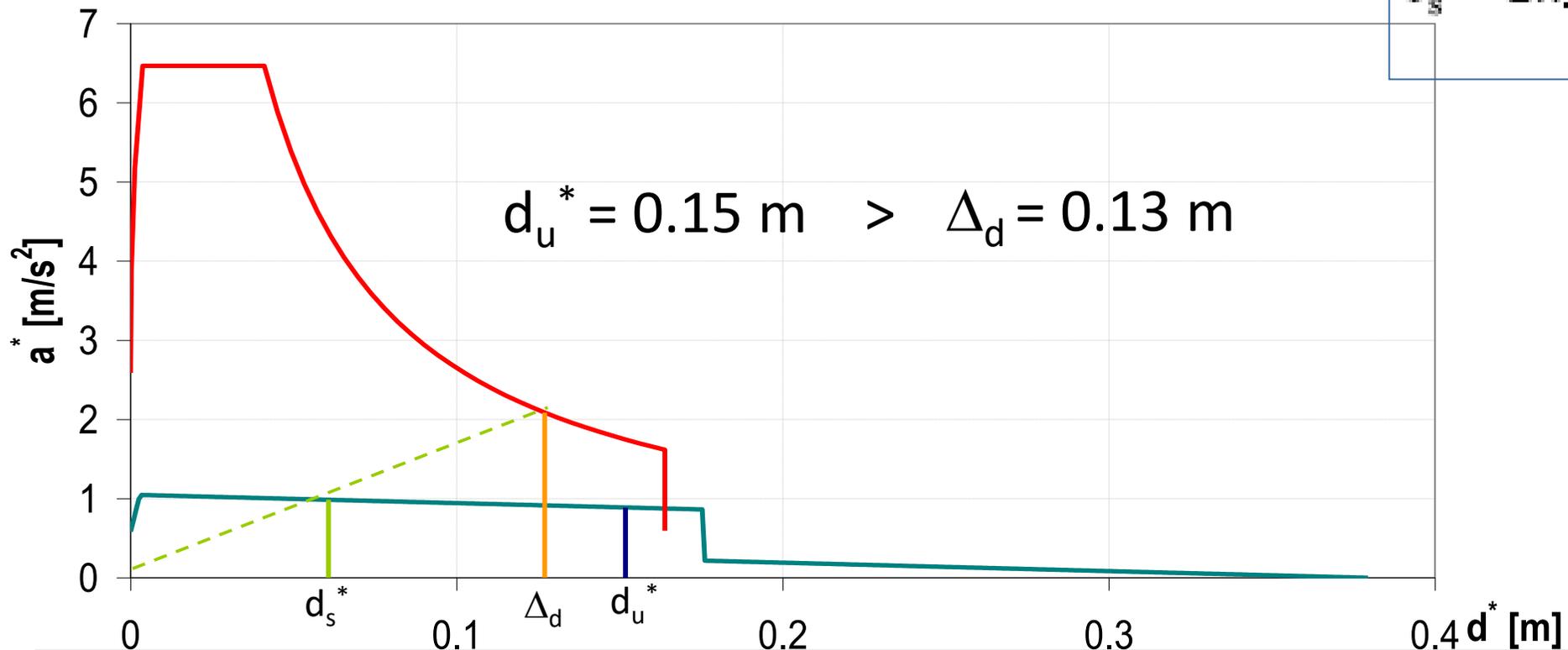
Confronto tra la capacità di spostamento ultimo d_u^* e la domanda di spostamento Δ_d

$d_u^* = 40\%$ dello spostamento per cui si annulla a^*

$\Delta_d =$ spostamento valutato sullo spettro in corrispondenza del periodo secante T_s

$T_s =$ periodo secante valutato in corrispondenza ad uno spostamento $d_s^* = 0.4d_u^*$

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$$



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Verifica nei confronti di un sisma di caratteristiche analoghe al terremoto del 2002



Definizione della domanda sismica

Bonefro: $I_{MCS}=VII$ \longrightarrow $a_g: 0.12 g$

Analisi cinematica lineare (SLU)

$$a_0^* \geq \frac{a_g S}{q}$$

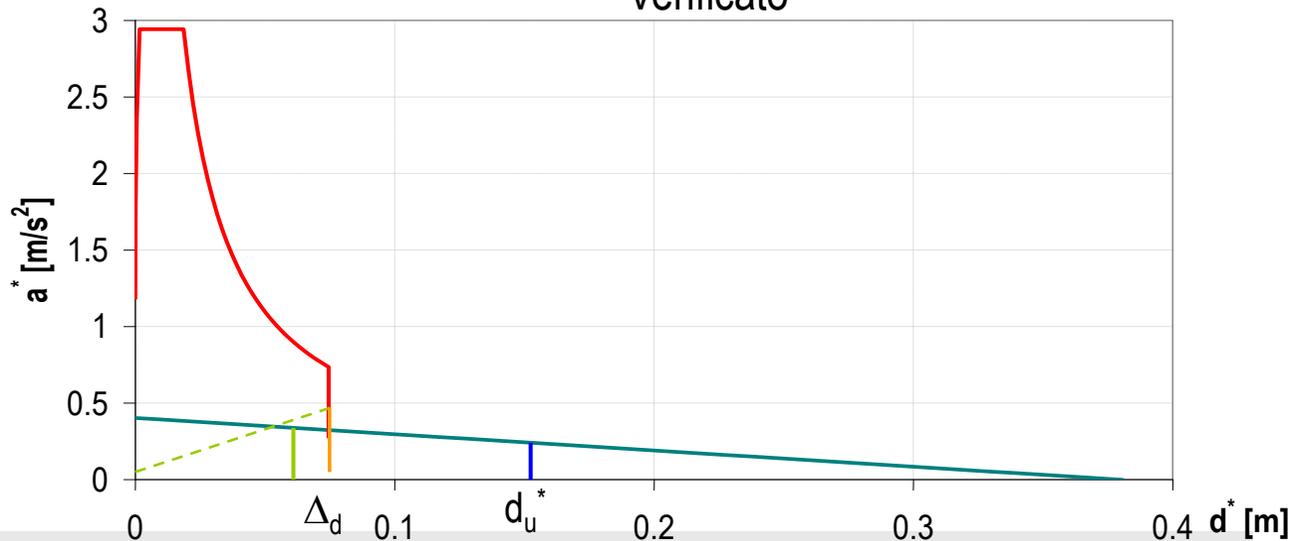
$0.4 \text{ m/s}^2 < 0.59 \text{ m/s}^2$

Non verificato

Analisi cinematica non lineare (SLU)

$$d_u^* = 0.15 \text{ m} > \Delta_d = 0.07 \text{ m}$$

Verificato



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

Verifica nei confronti di un sisma di caratteristiche analoghe al terremoto del 2002



Definizione della domanda sismica

Bonefro: $I_{MCS}=VII$ \longrightarrow $a_g: 0.12 g$

Analisi cinematica lineare (SLU)

$$a_0^* \geq \frac{a_g S}{q}$$

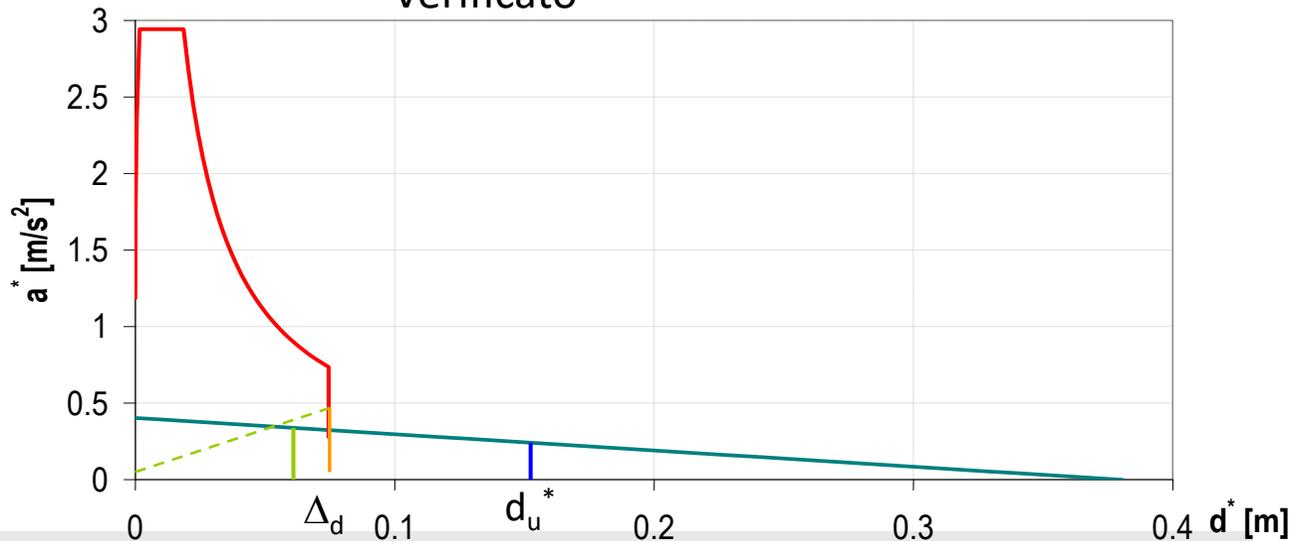
$0.4 \text{ m/s}^2 < 0.59 \text{ m/s}^2$

Non verificato

Analisi cinematica non lineare (SLU)

$$d_u^* = 0.15 \text{ m} > \Delta_d = 0.07 \text{ m}$$

Verificato



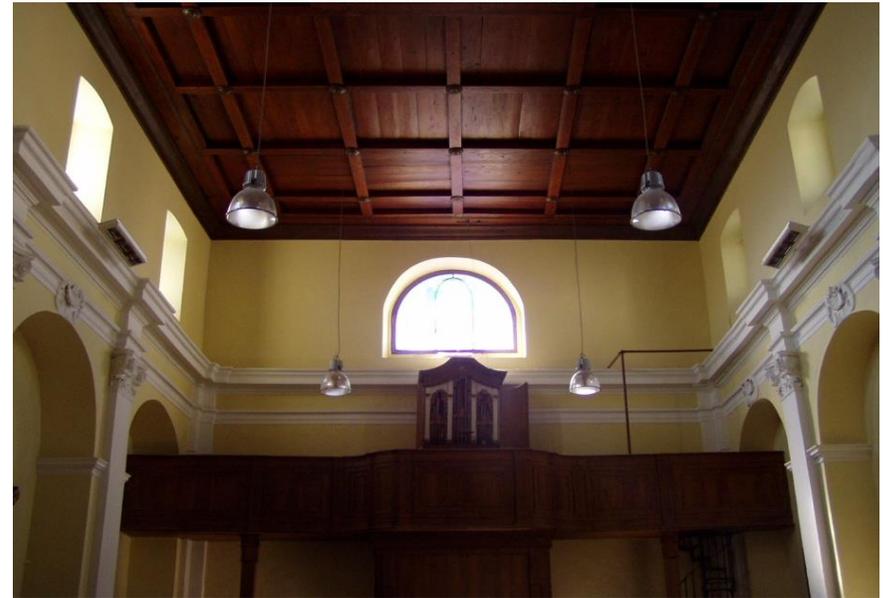
CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)

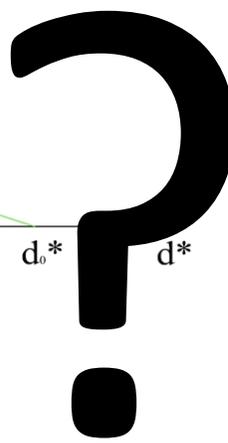
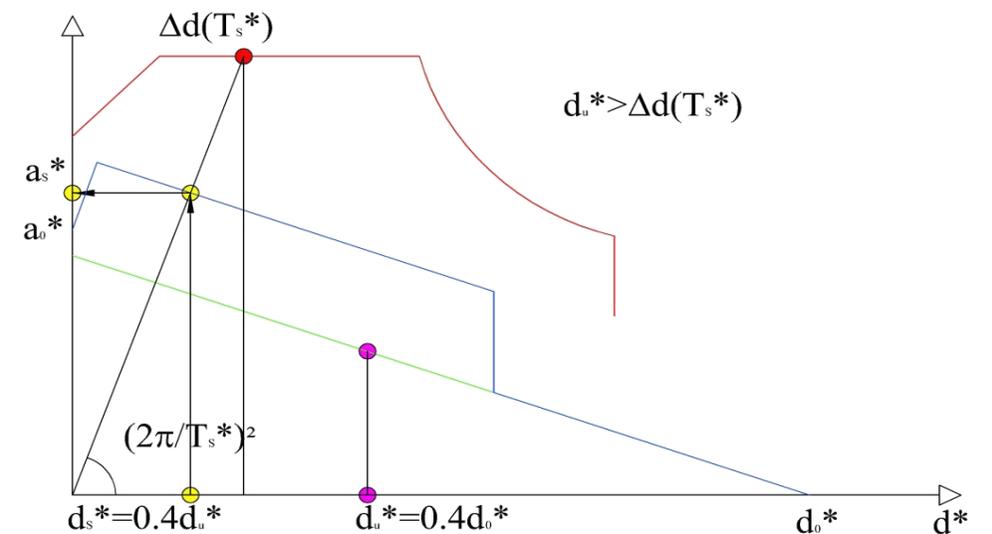
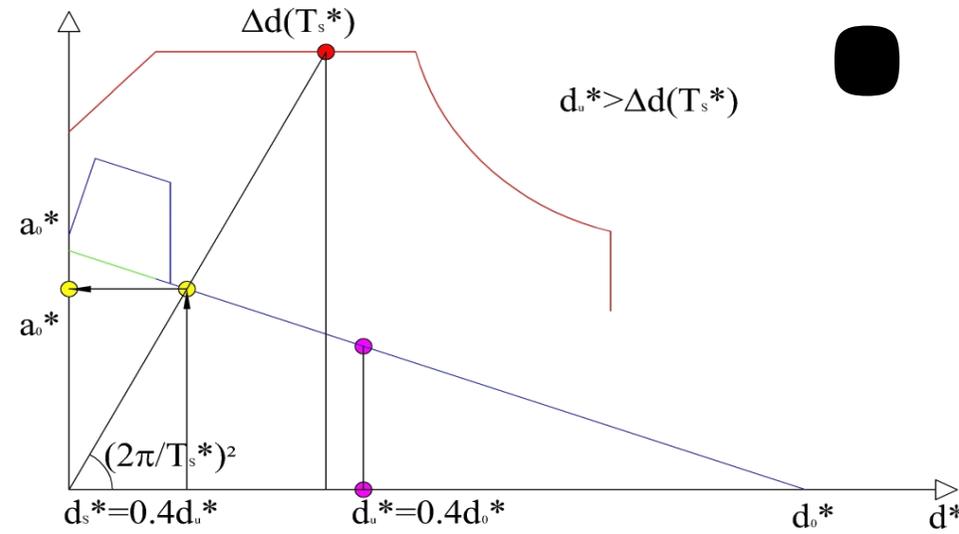
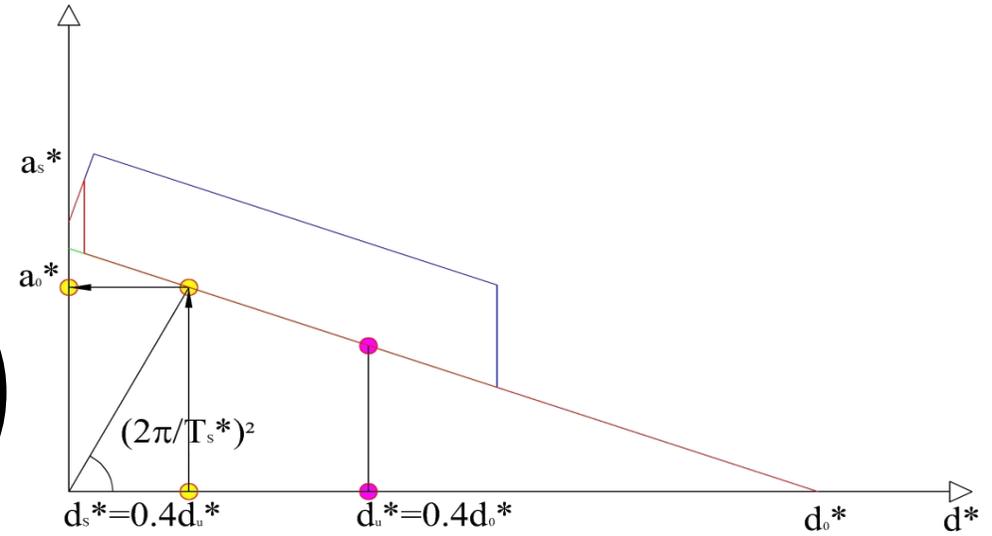
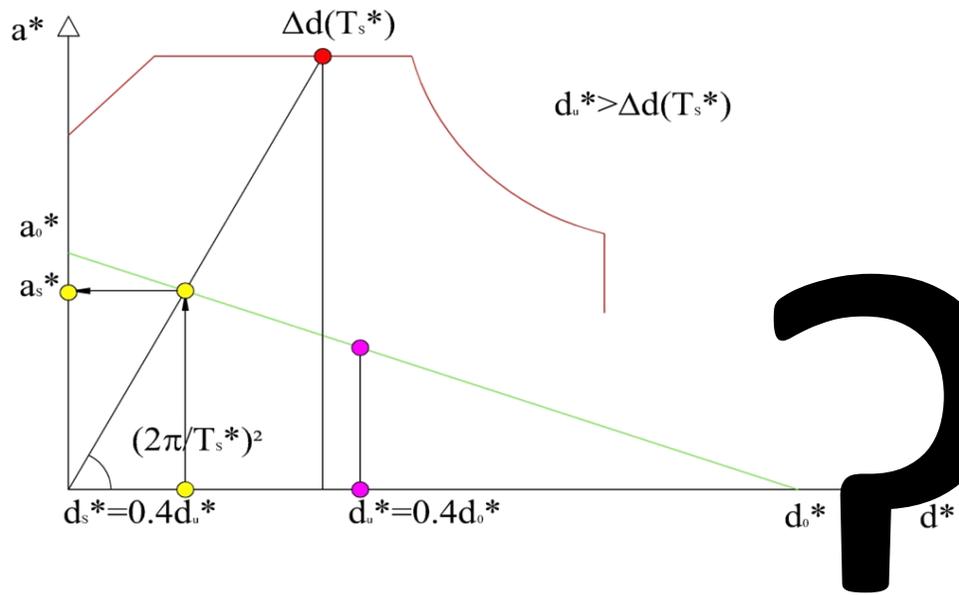


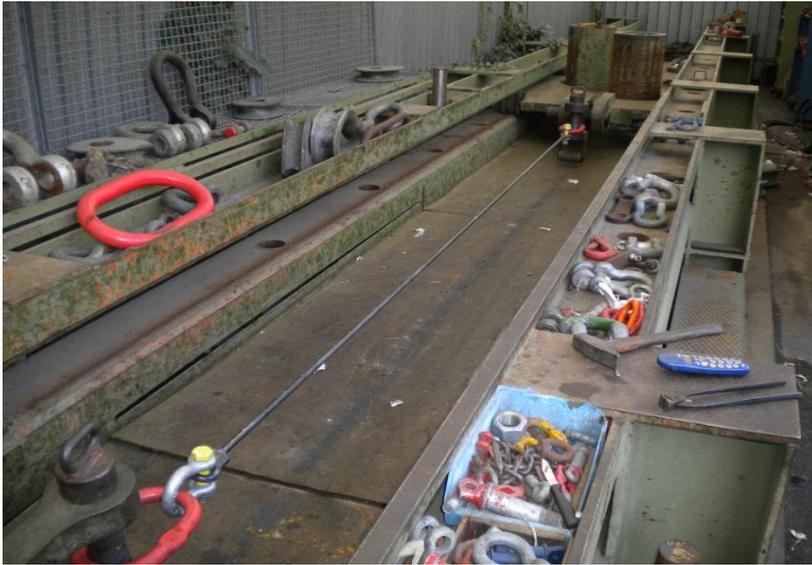
CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)



CHIESA DI S. NICOLA – Bonefro (CB)







Barre testate L= 4000 mm:

- ϕ 18 – S275
- ϕ 18 – S355
- ϕ 20 – S275
- ϕ 20 – S355
- ϕ 24 – S275
- ϕ 24 – S355





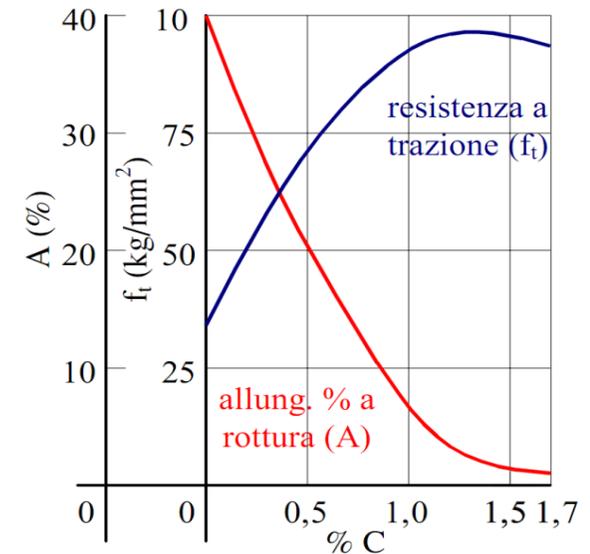
$L_{\text{iniziale}} = 4000 \text{ mm}$:

➤ $\phi 18 - S275$	$L_{\text{finale}} = 4899 \text{ mm}$	$\Delta = 22\%$
➤ $\phi 18 - S355$	$L_{\text{finale}} = 4446 \text{ mm}$	$\Delta = 11\%$
➤ $\phi 20 - S275$	$L_{\text{finale}} = 4816 \text{ mm}$	$\Delta = 20\%$
➤ $\phi 20 - S355$	$L_{\text{finale}} = 4705 \text{ mm}$	$\Delta = 18\%$
➤ $\phi 24 - S275$	$L_{\text{finale}} = 4985 \text{ mm}$	$\Delta = 25\%$
➤ $\phi 24 - S355$	$L_{\text{finale}} = 4105 \text{ mm}$	$\Delta = 3\%$

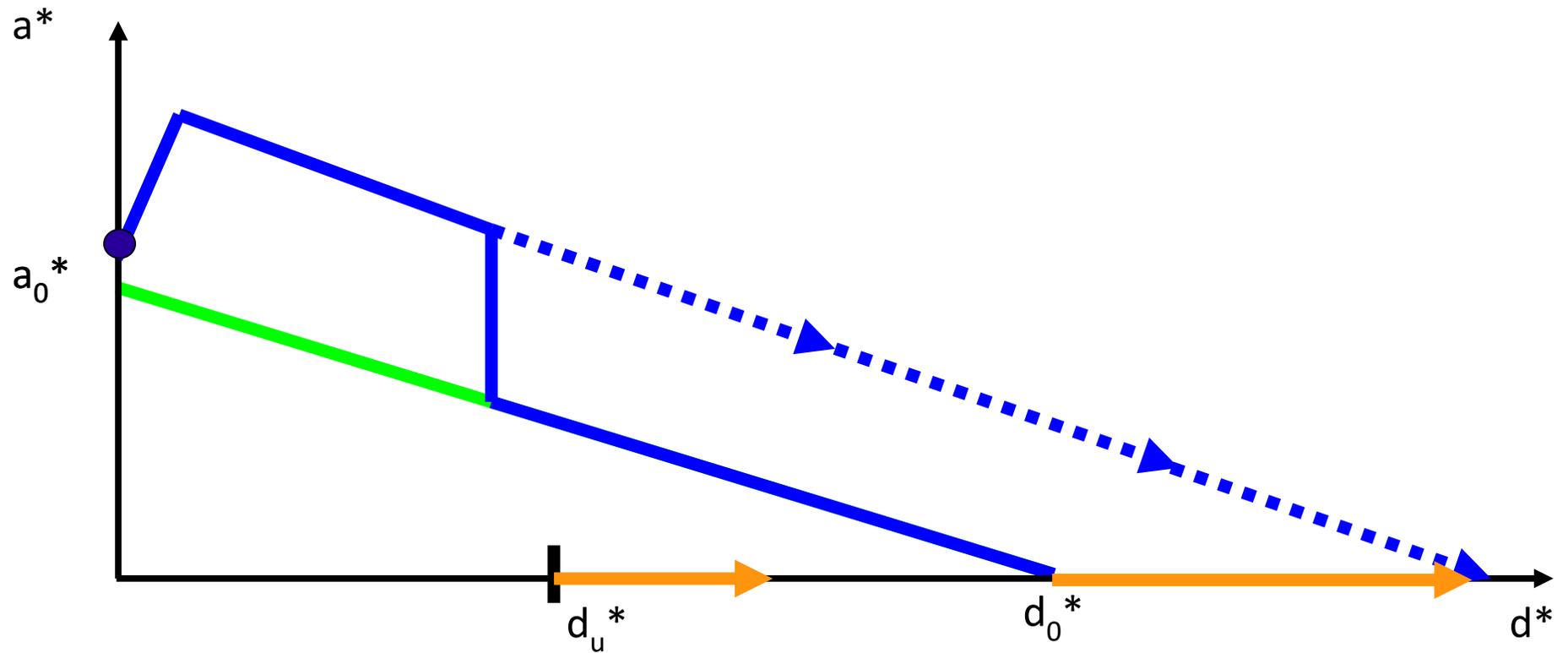


CONSIDERAZIONI SULLA SPERIMENTAZIONE

-) Grossa variabilità dei risultati soprattutto per gli acciai più resistenti (S355)
-) Acciai più resistenti hanno duttilità minori dovuto alla diversa percentuale di Carbonio presente



RISVOLTI SULL'INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO

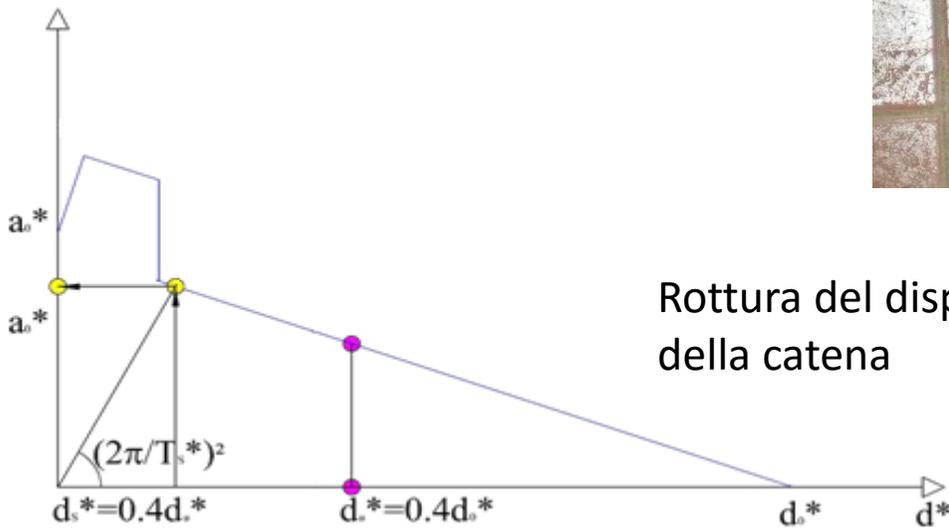
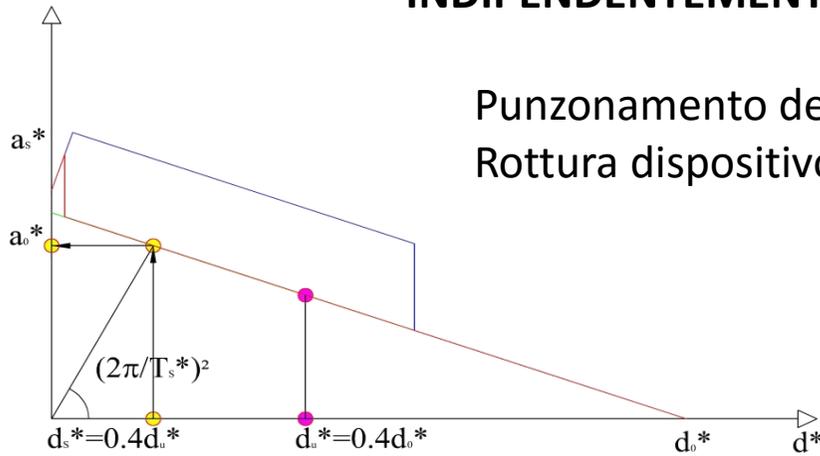


-) Incremento di capacità del sistema
-) Preferenza ad utilizzare materiali meno «resistenti»
-) Certificazioni del materiale e prove sul materiale da utilizzare

DISPOSITIVI DI ANCORAGGIO

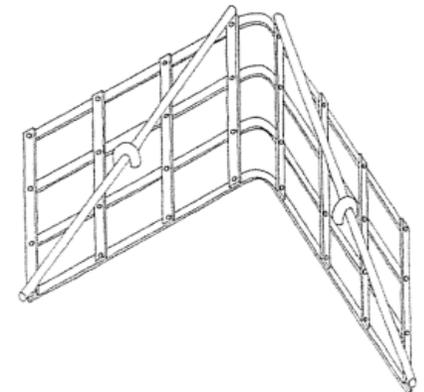
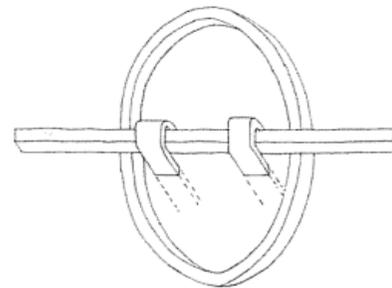
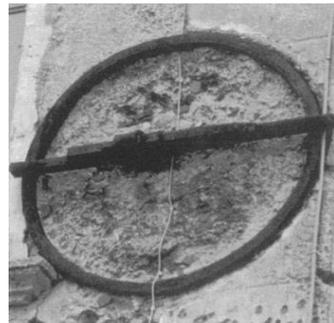
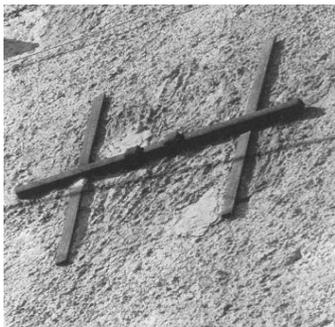
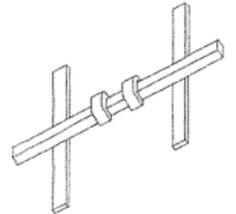
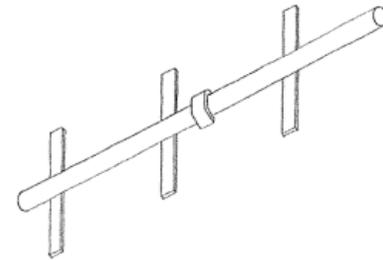
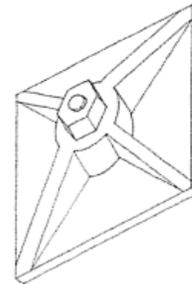
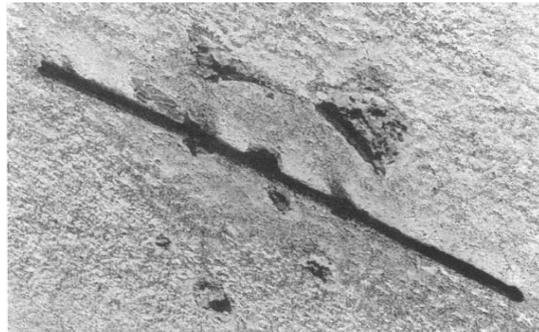
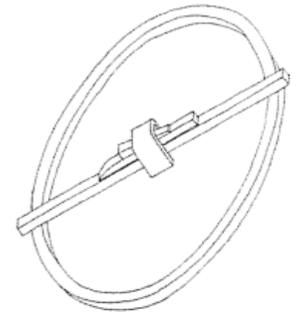
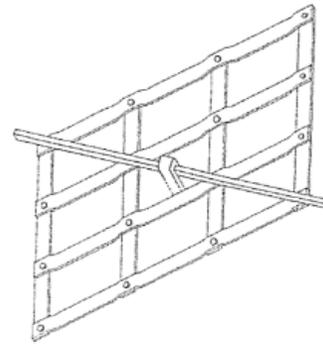
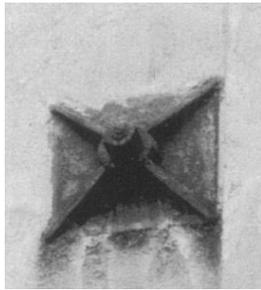
ATTENZIONE AI DISPOSITIVI DI ANCORAGGIO CHE LIMITANO LA DUTTILITÀ DEL SISTEMA INDIPENDENTEMENTE DALLA DUTTILITÀ DELLA CATENA!!!!

Punzonamento della muratura
Rottura dispositivo di ancoraggio (plasticizzazione locale)

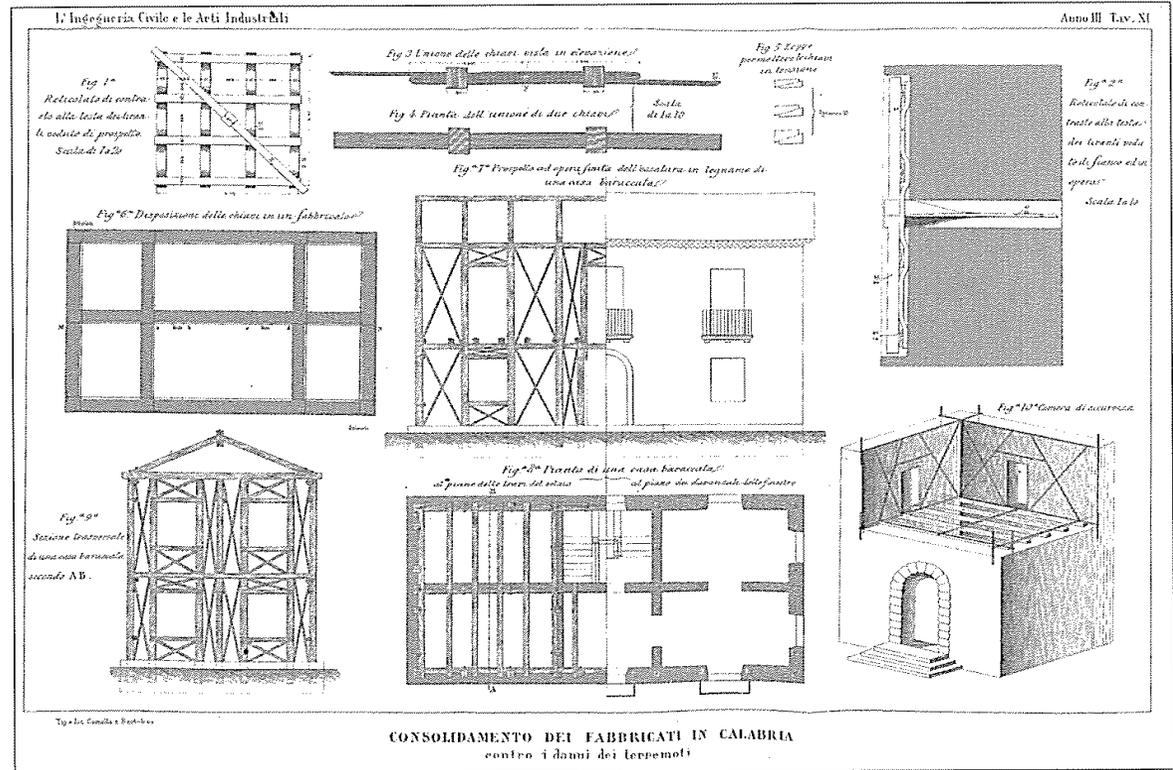
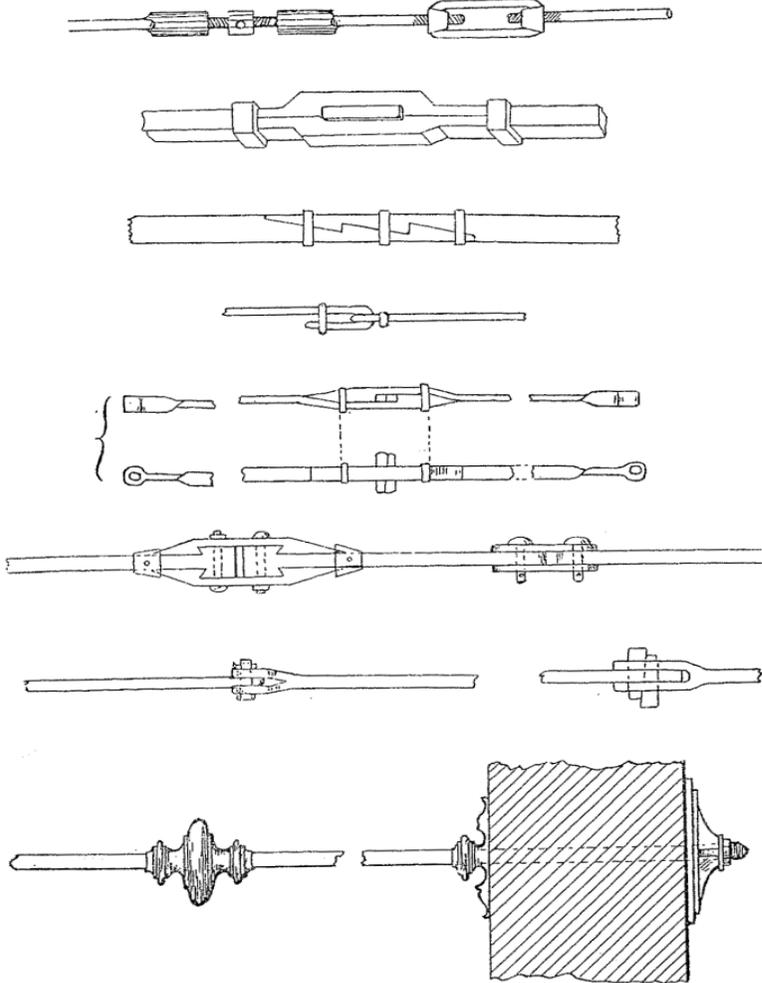


Rottura del dispositivo con debole escursione in campo plastico della catena

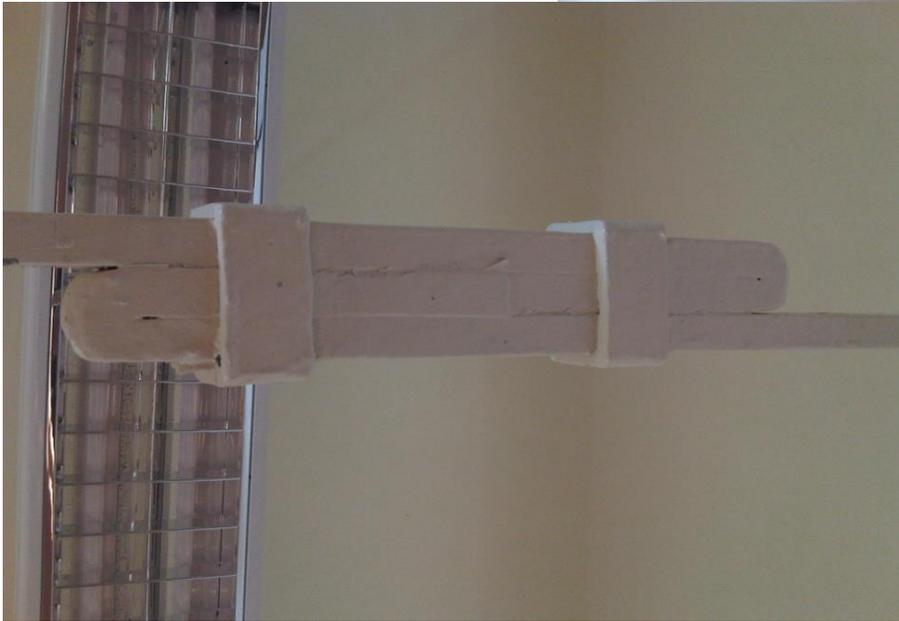
DISPOSITIVI DI ANCORAGGIO STORICI



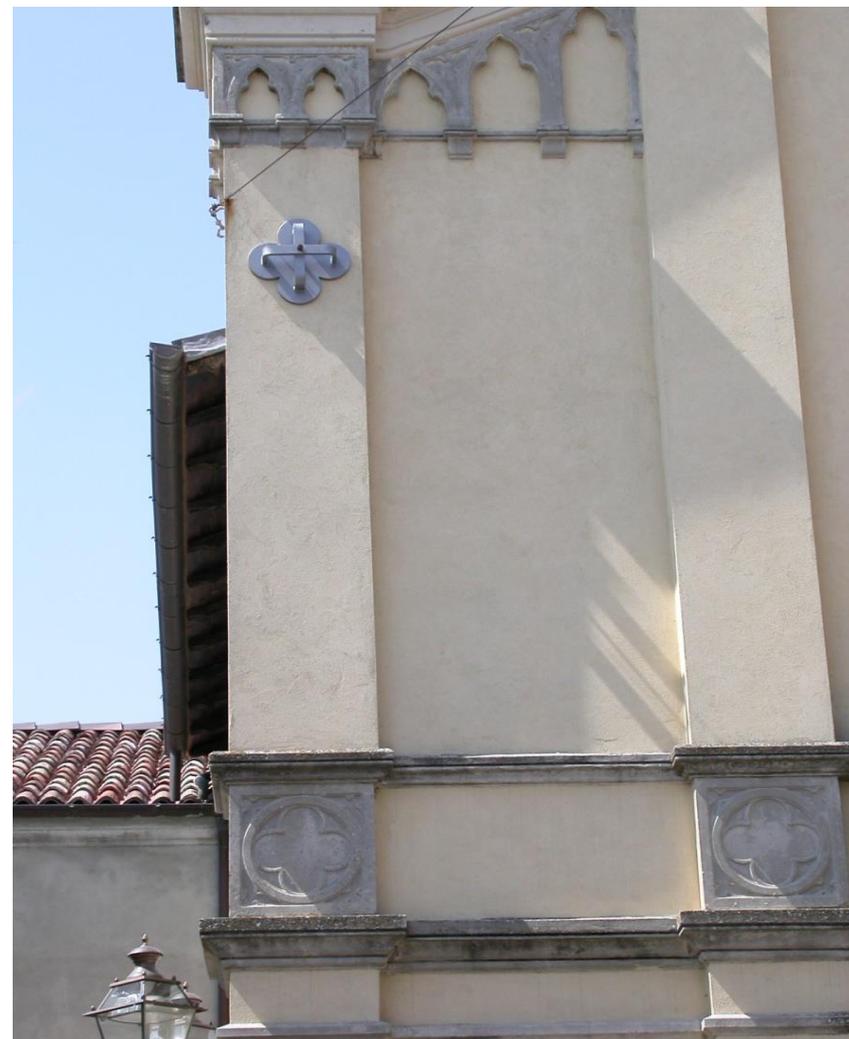
DISPOSITIVI DI ANCORAGGIO STORICI



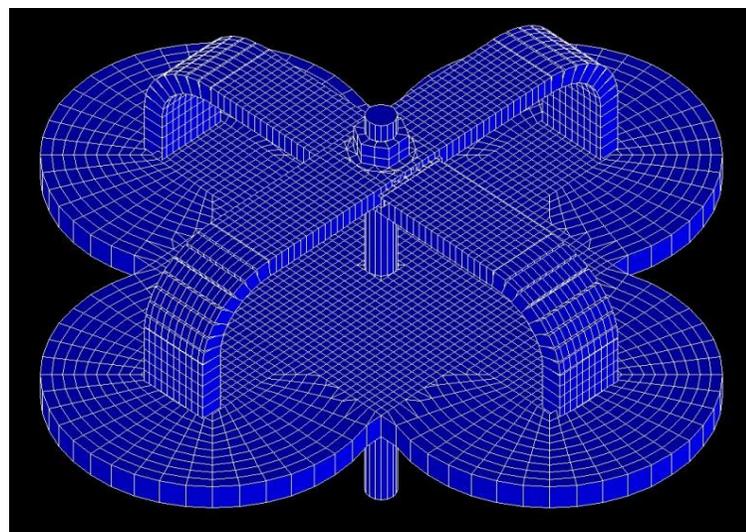
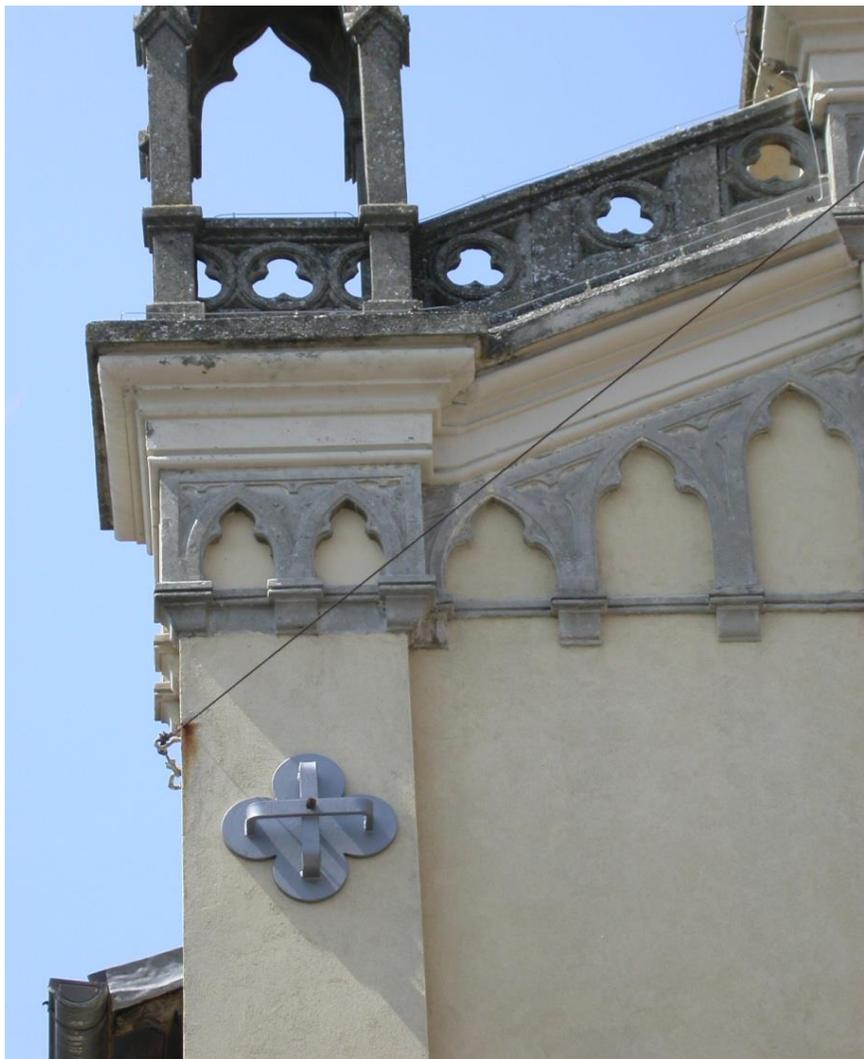
DISPOSITIVI DI ANCORAGGIO STORICI



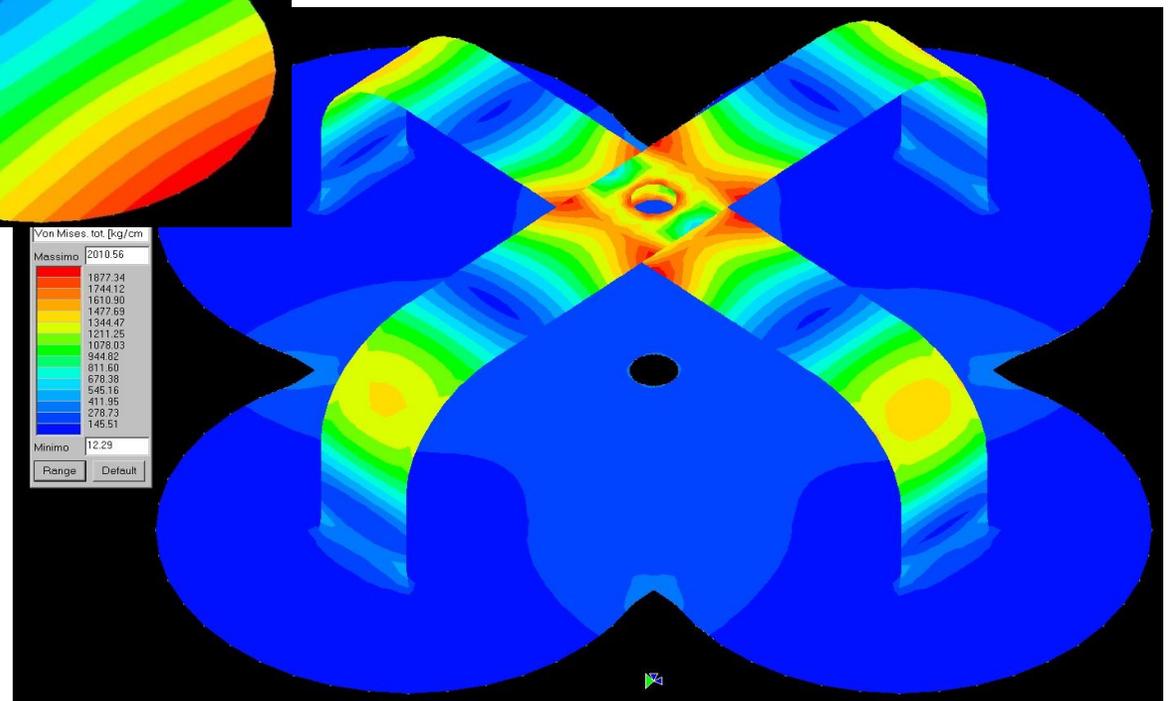
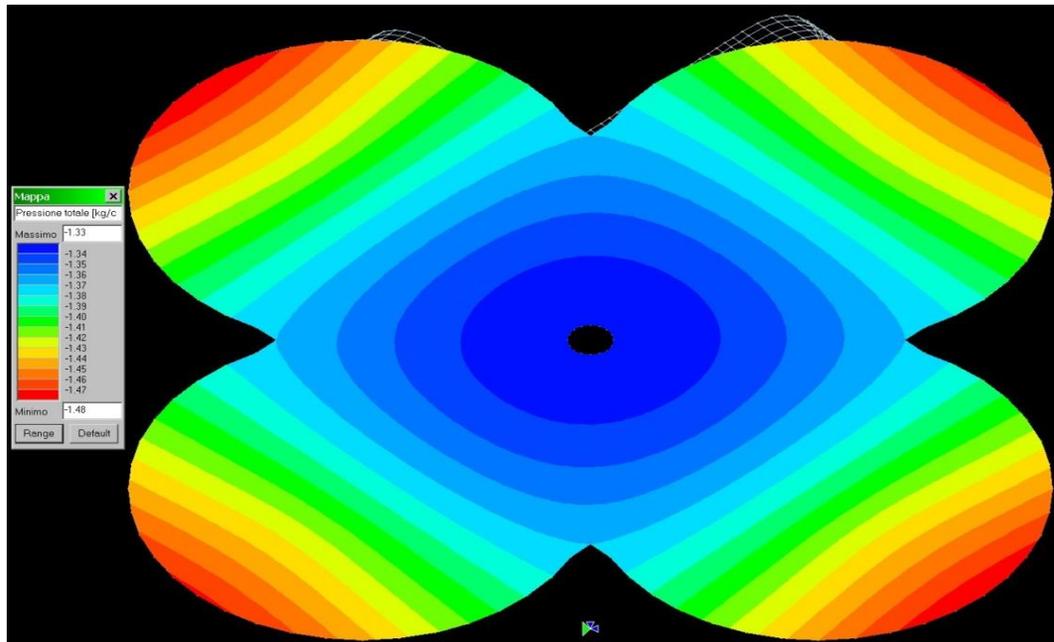
CHIESA DI CAREZZANO (AL)



CHIESA DI CAREZZANO (AL)



CHIESA DI CAREZZANO (AL)



CHIESA DI CAREZZANO (AL)



E' sufficiente questo livello di conoscenza per un bene
archeologico?

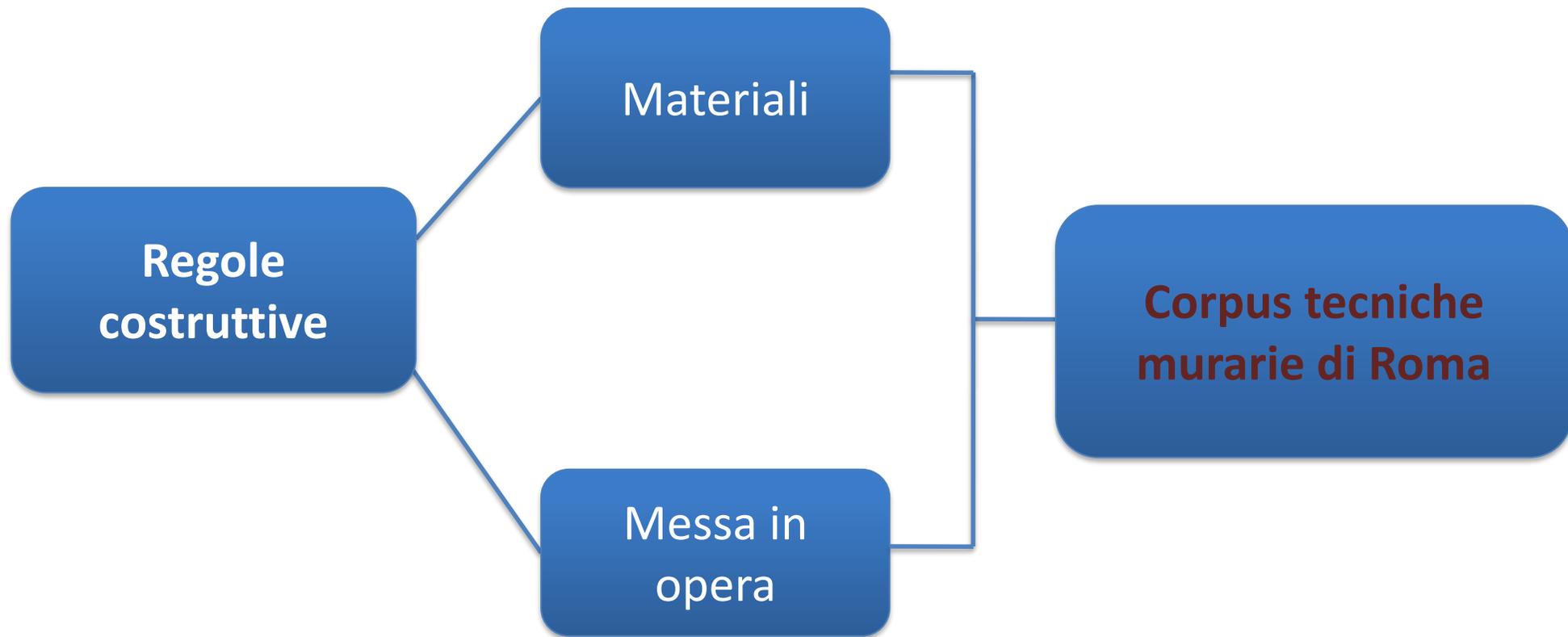
Percorso di conoscenza dei beni archeologici

-fonti storiche

- parametri descrittivi
- analisi stratigrafica
- analisi della tecnica muraria e tecnica costruttiva
- analisi delle connessioni strutturali
- analisi del degrado/dissesto
- stratigrafia del sottosuolo

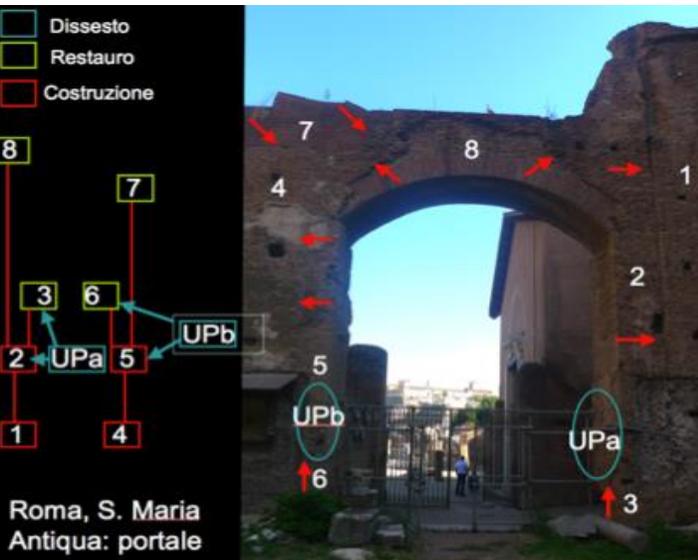
obiettivo: ricostruire una sequenza della 'vita storica' un'architettura per assicurarne una 'vita futura'





Conoscenza a scala territoriale (LV1):

- sequenza macrostratigrafica
- segnalazione di microstratigrafie
- analisi delle tecniche murarie e costruttive in riferimento ad abachi locali
- segnalazione dei principali fenomeni di degrado-dissesto
- elaborazione di un progetto di conoscenza approfondita



Roma, S. Maria Antica: portale



Conoscenza a scala del singolo manufatto (LV2-3)

- analisi approfondita in relazione a:
- storia del manufatto
- verifica dei livelli di sicurezza
- uso pubblico del bene





LINEE GUIDA PER LA CONSERVAZIONE DEI BENI ARCHEOLOGICI

**Conoscenza, Prevenzione sismica e
Manutenzione programmata**

Gli obiettivi:

- 1. Linee Guida beni archeologici**
- 2. sperimentazione su cinque casi campione**
- 3. un abaco delle tecniche murarie di Roma**
- 4. un sistema informativo GIS**

Il gruppo di lavoro

Coordinamento: Roberto Cecchi (PCM-MIBAC)

Gian Pietro Brogiolo (Università di Padova)

Paolo Gasparoli (Politecnico di Milano)

Sergio Lagomarsino (Università di Genova)

Laura Moro (MIBAC)

Emanuele Papi (Università di Siena)

Pia Petrangeli (MIBAC)

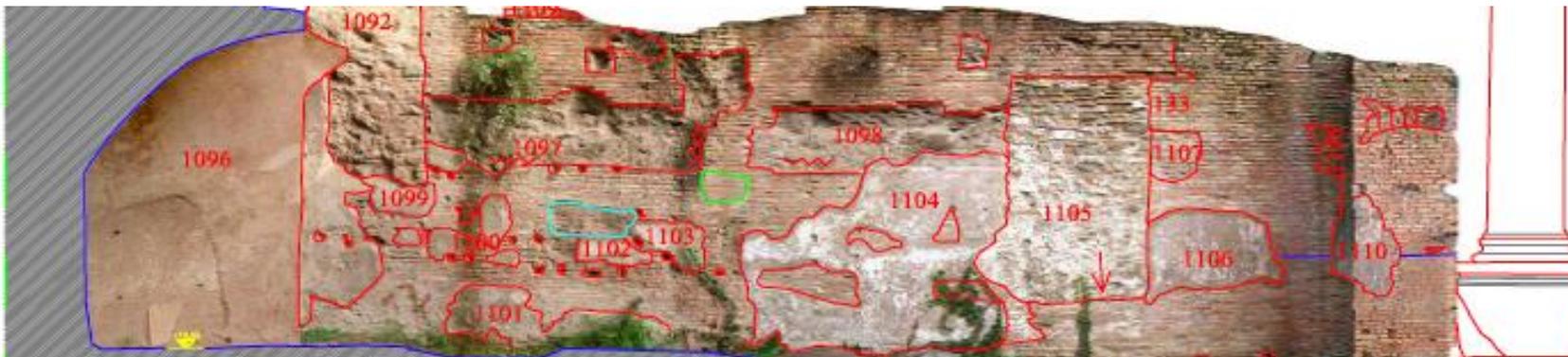
Stefano Podestà (Università di Genova)

Mirella Serlorenzi (MIBAC)

Marco Valenti (Università di Siena)

Le LINEE GUIDA - finalità e criteri

- sono rivolte a:** patrimonio culturale di interesse archeologico
- possono essere applicate a** tutti i manufatti architettonici stratigraficamente complessi
- si affiancano a:** LINEE GUIDA per valutazione e riduzione del rischio sismico (Direttiva PCM 12 ott. 2010)
- forniscono un supporto a:** Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gen. 2008; G.U. n. 29 del 4.2.2008)



-integrano in un unico percorso:

(a) l'analisi archeologica/stratigrafica

(b) l'analisi strutturale (per la Prevenzione)

(c) l'analisi del degrado (per la Manutenzione)



-propongono più livelli di valutazione del Rischio sismico:

(a) a scala territoriale (LV1)

(b) alla scala del singolo manufatto (LV2-3)

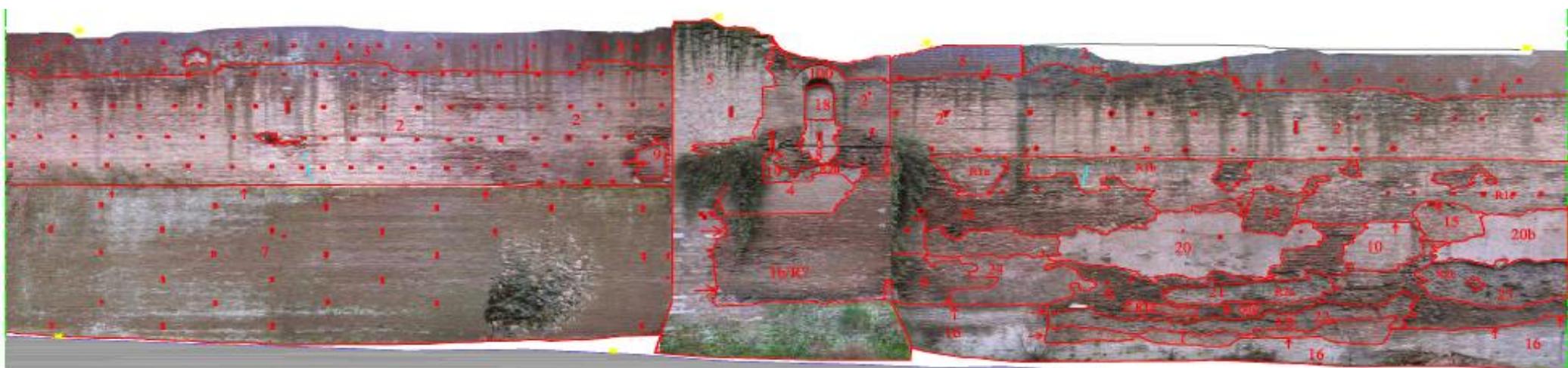
e più livelli di sicurezza sismica, in riferimento alla 'vita nominale' del rudere (= tempo di validità della verifica)



-introducono una prassi di *Manutenzione Programmata*: (a) in relazione al 'ciclo di vita' di un edificio

(b) allo scopo di tenere sotto controllo il degrado ad un livello congruente con la fruibilità

-prevedono interventi che non compromettano l'integrità materica, la sequenza stratigrafica del manufatto e la sua leggibilità

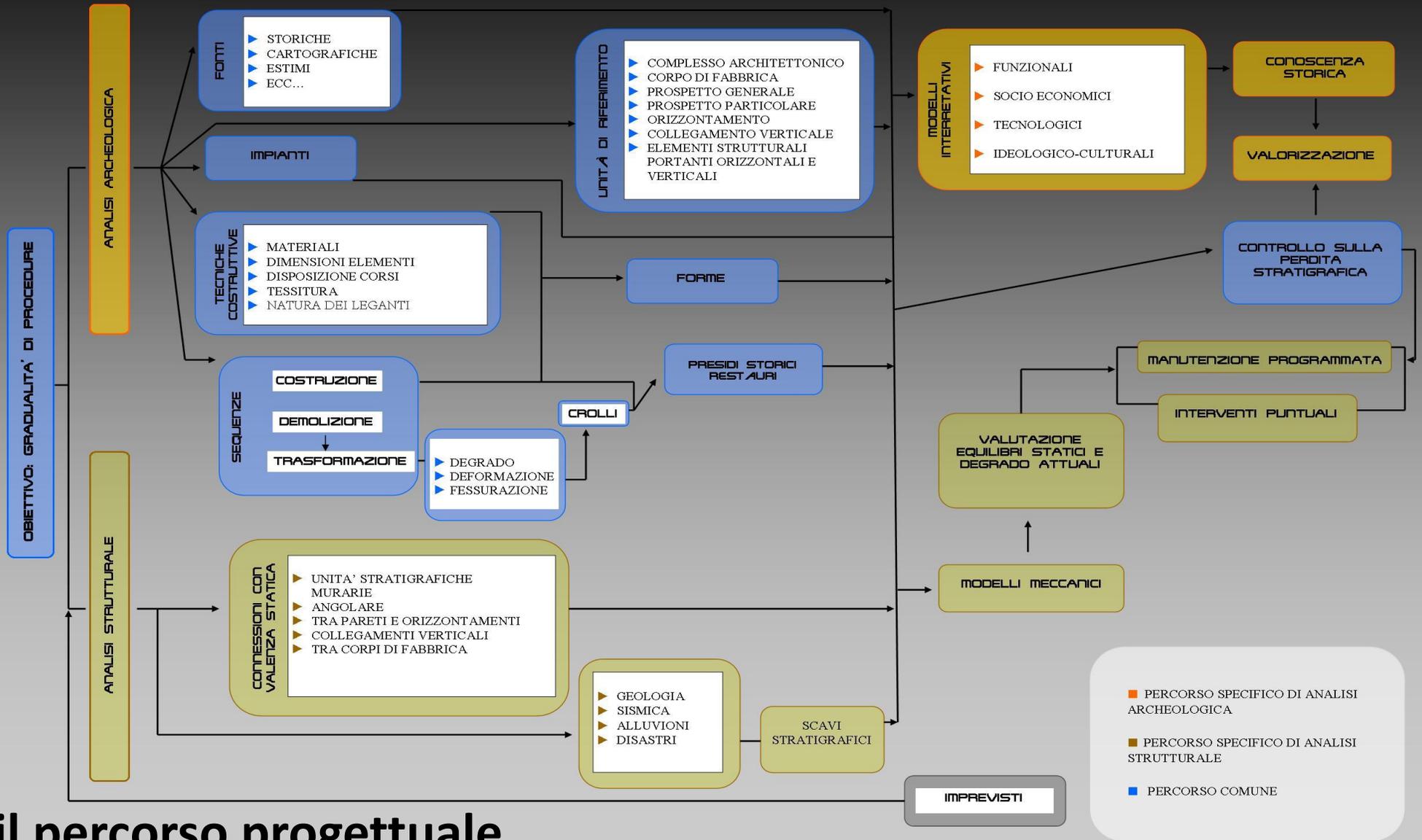


FASE PROGETTUALE

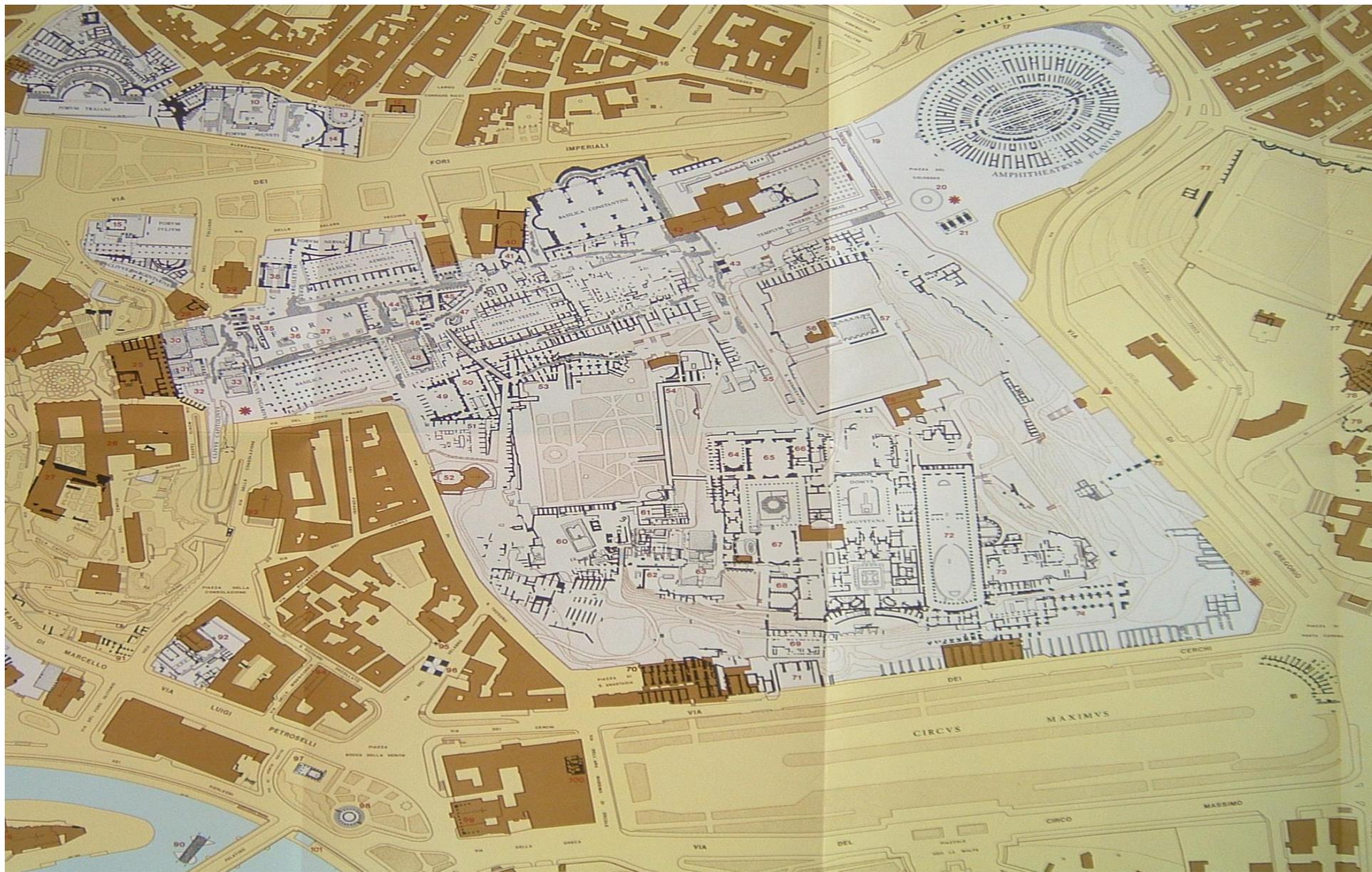
FASE ANALITICA (SCHEDE GIS)

FASE INTERPRETATIVA

PRODOTTI



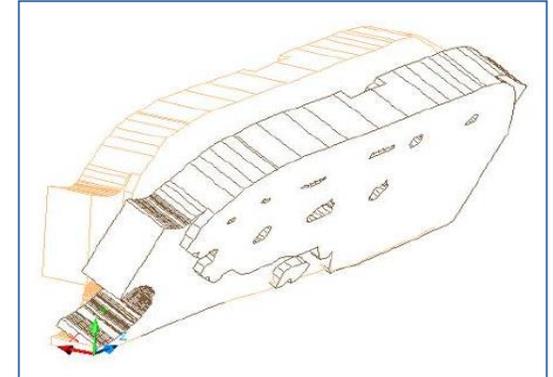
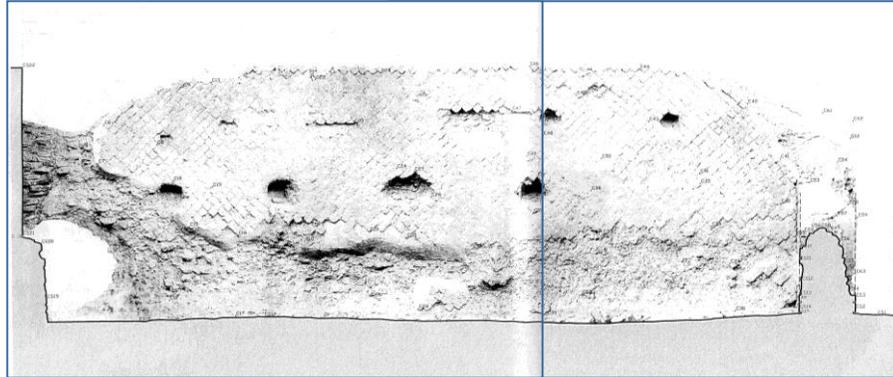
il percorso progettuale



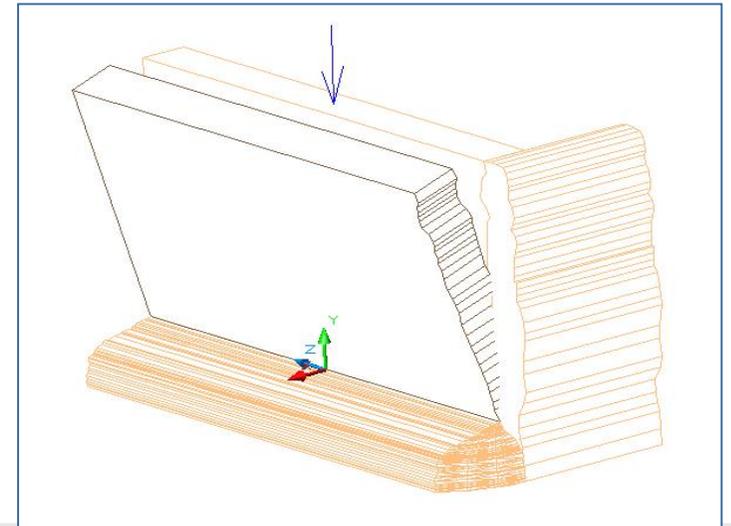
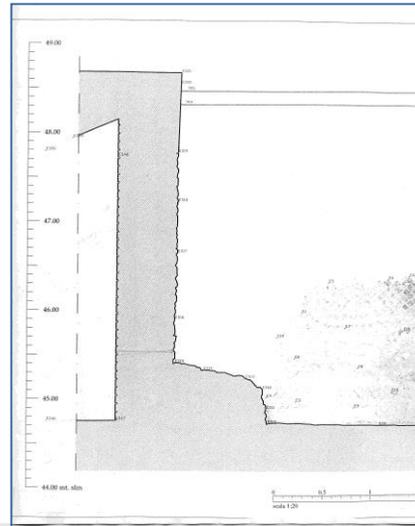
Casa di Livia



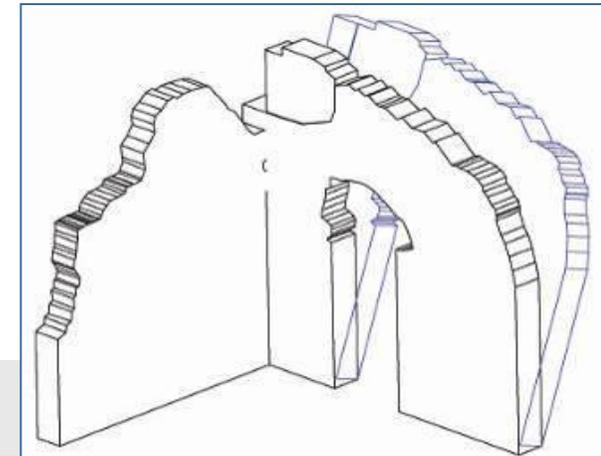
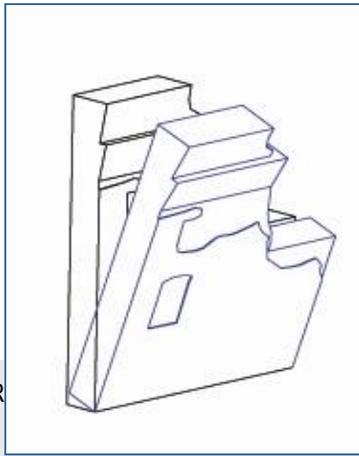
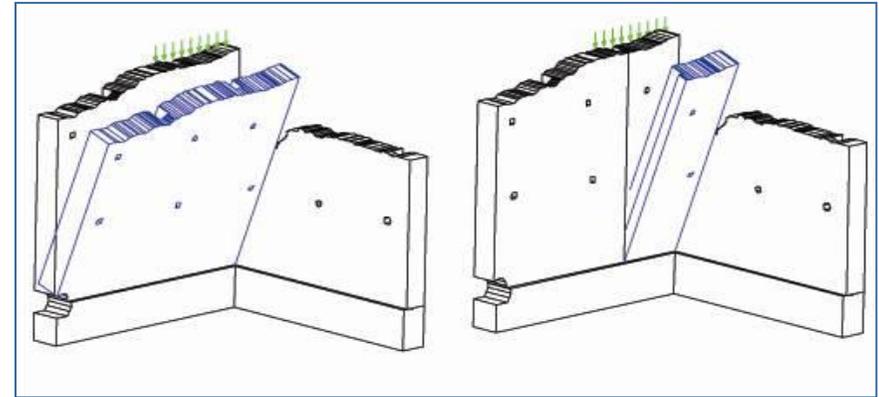
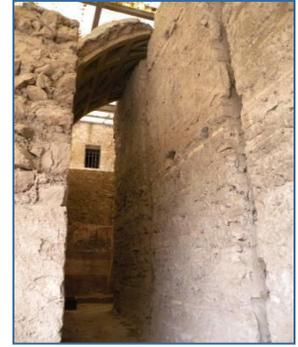
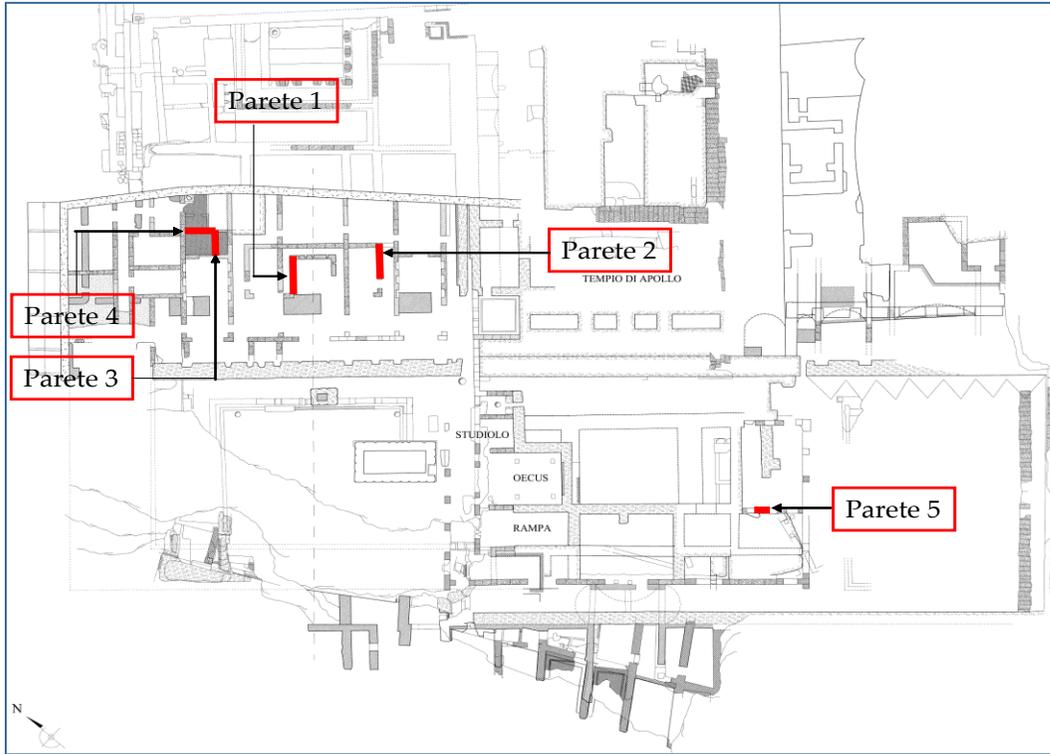
Cinematismo 1



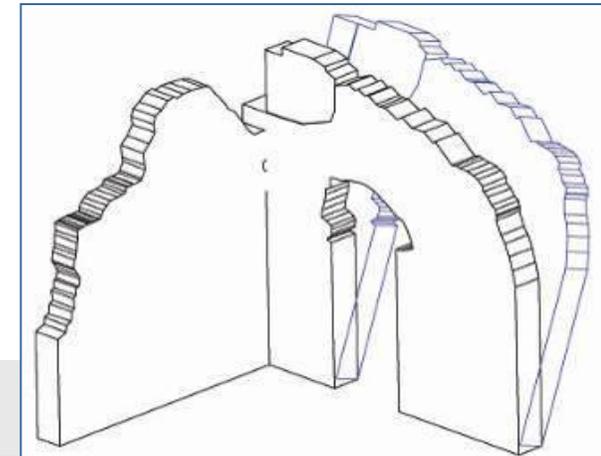
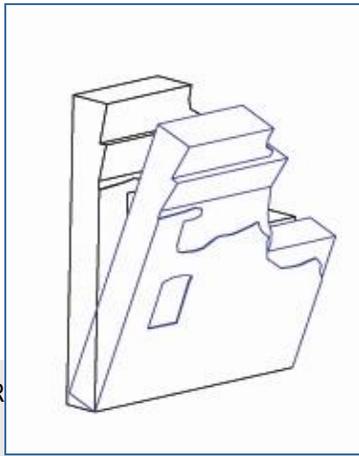
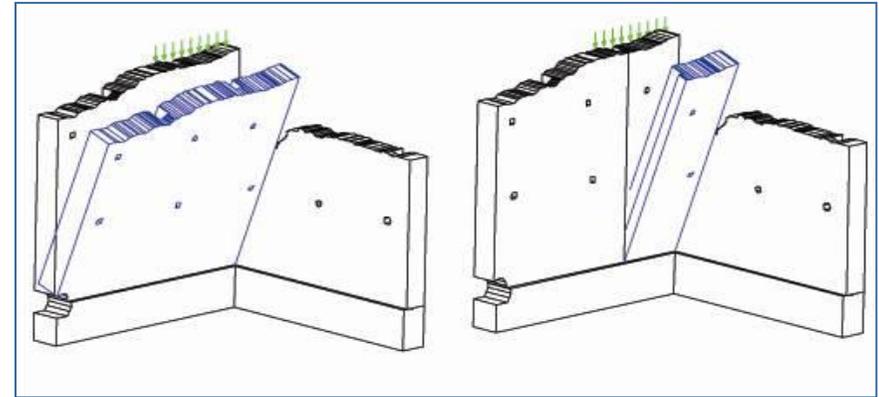
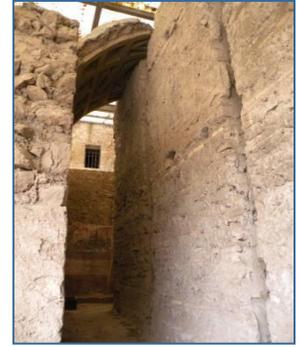
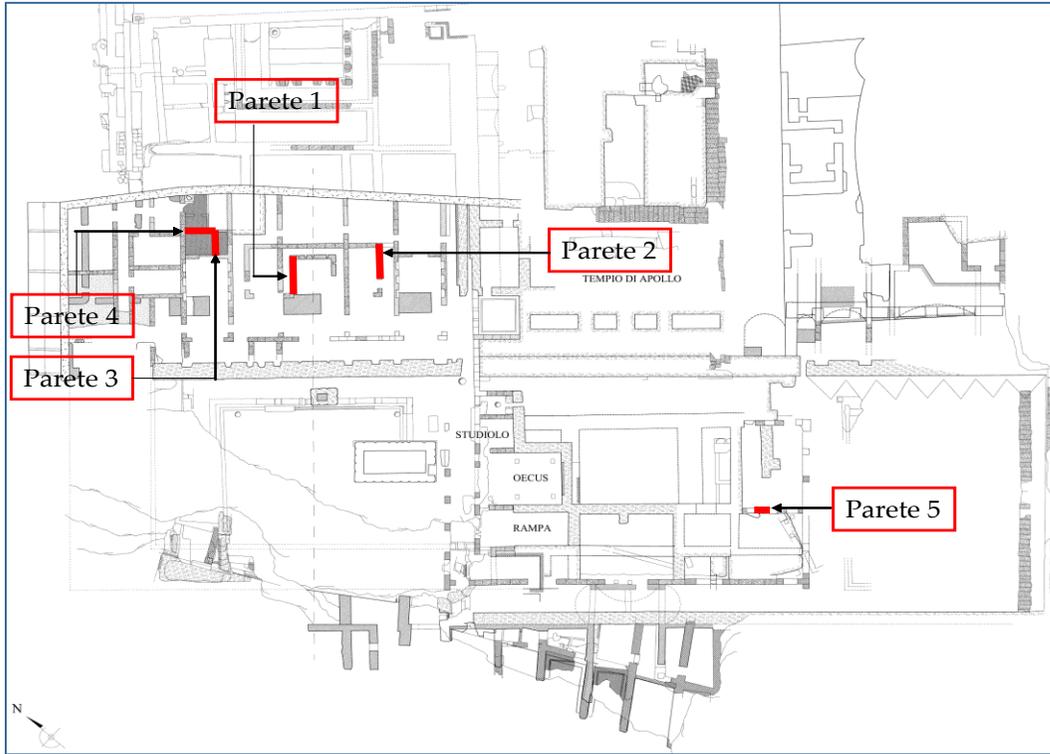
Cinematismo 2



Complesso Augusteo

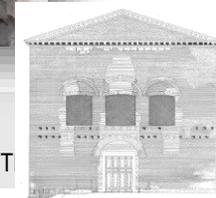


Complesso Augusteo



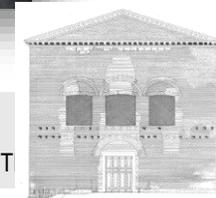
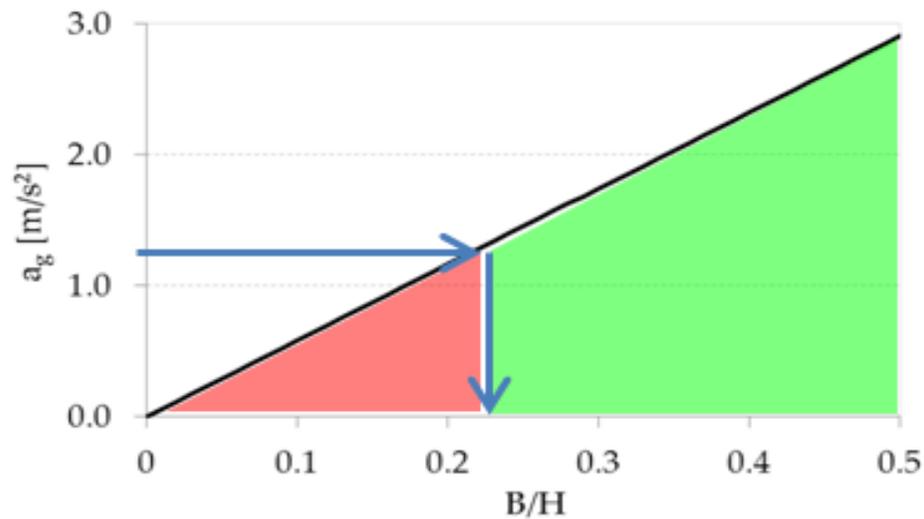
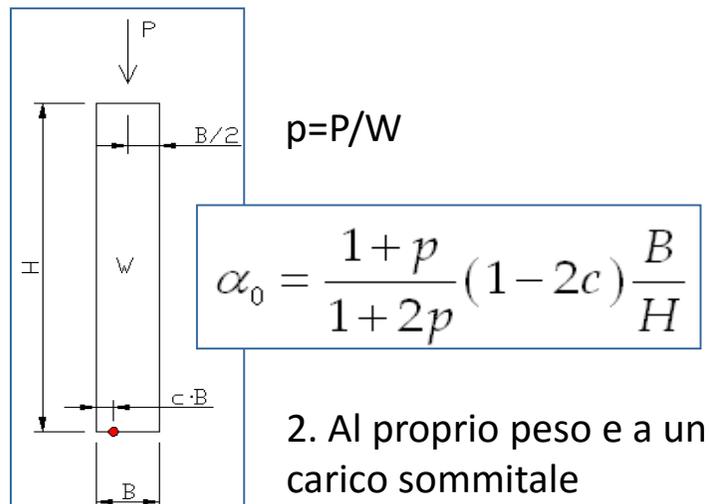


Resti archeologici conservati allo stato di rudere: i.e. lacerto murario – Casa di Augusto – Palatino, Roma



NUOVI MODELLI DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

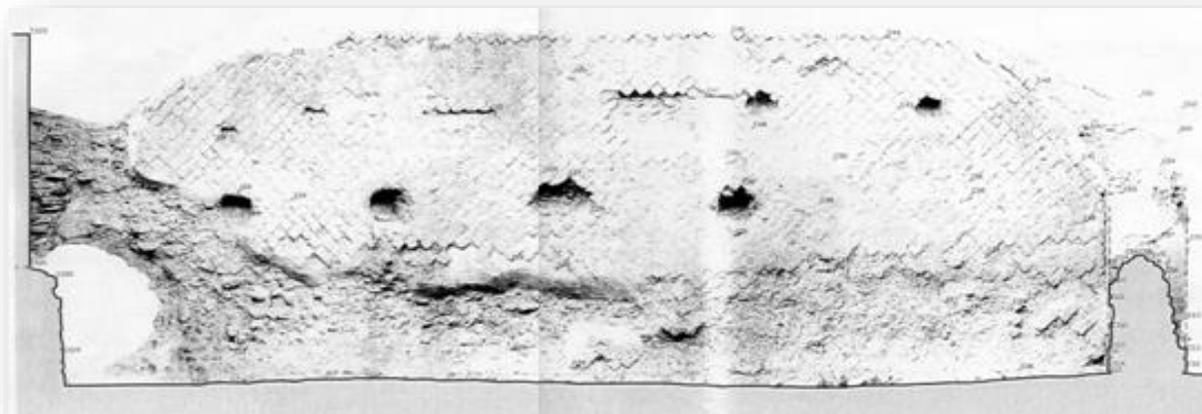
Analisi a livello territoriale (LV1):



NUOVI MODELLI DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

Parete singola - B/H limite = 0.33

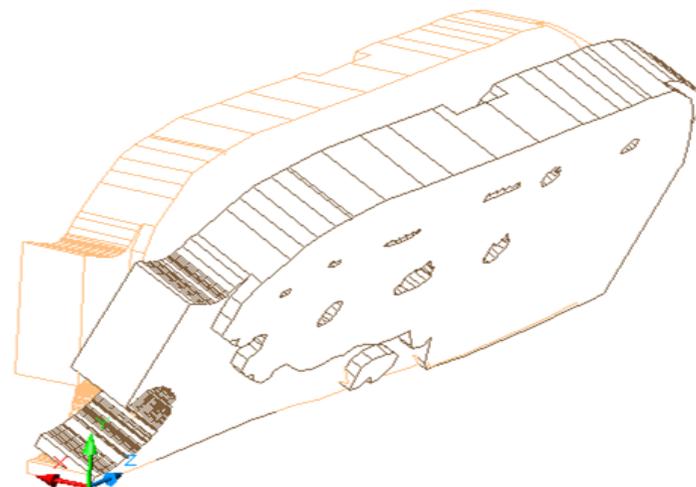
Analisi di dettaglio (LV2 – LV3):



Analisi cinematica lineare e non lineare

	$a_0^* [m/s^2]$	Domanda	SLV
Cinematismo 1	1.51	1.64	Non soddisfatta

Valutato per $F_c=1.21$	I_s
Cinematismo 1	0.80

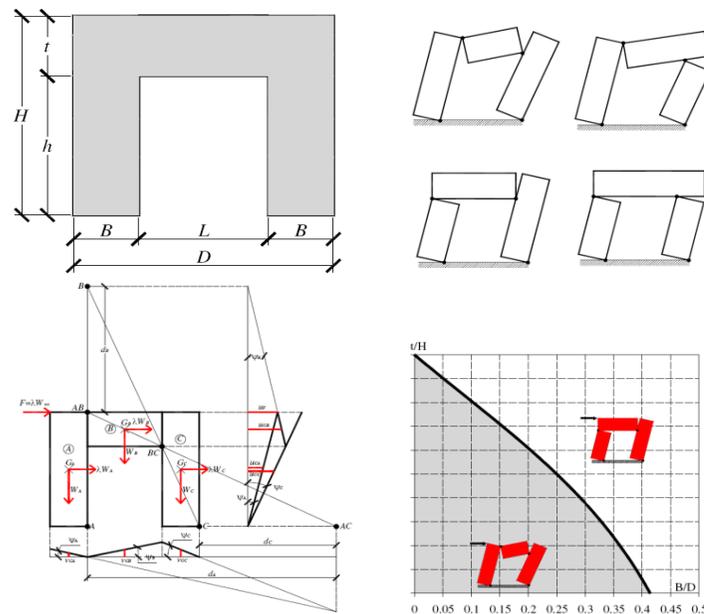


NUOVI MODELLI DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

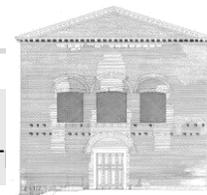
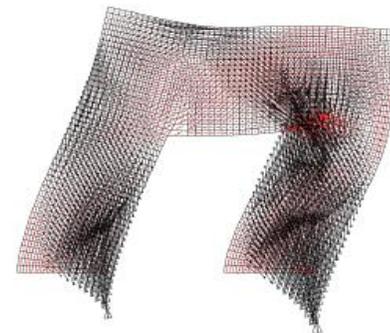
Sistemi a singola arcata: triliti, archi trionfali



Analisi a livello territoriale (LV1):



Analisi di dettaglio (LV2-LV3)





ROMA - PALATINO



POMPEI



Lo stato di fatiscenza in cui versano molti resti archeologici introduce un rischio strutturale legato non solo ad eventi eccezionali, come può essere un terremoto, ma già da un punto di vista statico



Pompei – Schola armaturarum

La documentazione d'archivio

Pompei

Schola armaturarum (III 3, 6)

AFSPompei C 926 (anno 1916)

Veduta della Schola armaturarum di Pompei al momento dello scavo, eseguito tra il 1915 e il 1916.

Nella foto si nota in primo piano il cumulo di lapilli dell'eruzione ancora in sito lungo Via dell'Abbondanza. Sugli stipiti ai lati dell'ingresso sono le pitture con due grandi trofei d'armi, sotto cui sono iscrizioni elettorali.

Sulla parete di fondo a destra si apre una porta che conduce agli ambienti retrostanti; le pareti sono decorate solo nella parte inferiore con pitture di Quarto stile a fondo rosso con Vittorie alate che recano armi. A destra si nota, nella parte alta della parete, il calco in gesso dell'impronta lasciata da un armadio ligneo.



Pompei

Schola armaturarum (III 3, 6)

AFSPompei C 948 (anno 1916)

Veduta della sala a scavo concluso.

Si nota in primo piano, sopra una trave in legno che funge da architrave sopra l'ingresso, il calco in gesso dell'impronta lasciata da una transenna lignea nello strato di cenere dell'eruzione.

L'ambiente era dunque chiuso da una transenna lignea con ordito obliquo, che fu successivamente rifatta con materiali moderni sulla base delle testimonianze di scavo e sistemata all'ingresso.



Pompei

Schola armaturarum

AFSPompei A provv. 368 (anno non indicato ma subito dopo il 1943)

La foto riproduce la situazione creatasi con il bombardamento dell'edificio durante la Seconda Guerra Mondiale. La copertura della sala, in strutture metalliche leggere, venne gravemente danneggiata e venne distrutta quasi interamente la parete occidentale dell'edificio, oltre alla casa attigua.

Restava ancora in sito la ricostruzione moderna della transenna lignea dell'ingresso.

Sul lato destro della facciata si notano appena le tracce residue della pittura con trofeo, ma resta la tenda che la ricopriva in caso di sole e pioggia.



Pompei

Schola armaturarum

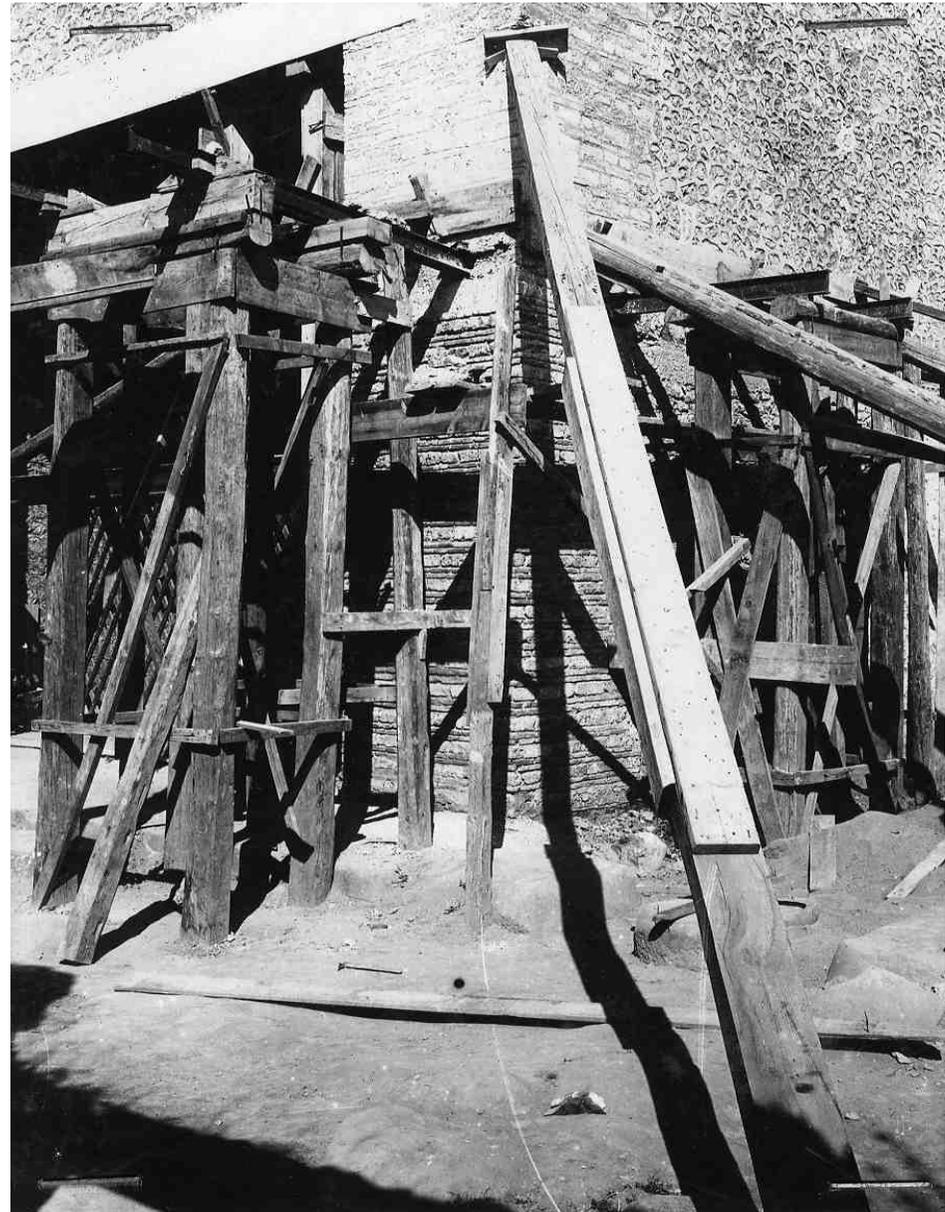
AFSPompei A 345 (anno 1946)

Dopo il bombardamento, l'edificio viene ricostruito nelle parti distrutte e le murature furono rialzate fino all'altezza originaria. Venne rifatta anche la copertura, con la costruzione di un solaio in cemento armato.

La foto documenta la ricostruzione della parete orientale, dell'angolo sud-orientale dell'edificio e dell'architrave al di sopra della porta.

Sono visibili le impalcature lignee utilizzate per la ricostruzione ed i puntelli che reggono l'angolo dell'edificio.

Una targhetta apposta su una muratura e ancora conservata, documenta che il restauro venne eseguito nel 1946.



Pompei

Schola armaturarum

AFSPompei A 377 (anno 1946)

Altra veduta dell'edificio durante i restauri post-bellici. La parete occidentale dell'edificio appare totalmente ricostruita, come la parte superiore della facciata e l'architrave.

Resta sulla facciata, a sinistra dell'ingresso, la pittura con trofeo dello stipite sinistro, mentre a destra sono ancora in sito le impalcature utilizzate per il restauro.

A sinistra si nota inoltre il muretto a scarpa realizzato per contenere il terreno nell'area dove era stato scavato solo il prospetto delle botteghe lungo la via.



Pompei

Schola armaturarum (III 3, 6)

AFSPompei A 387 (dopo il 1946)

La foto presenta la situazione dopo il restauro postbellico.

La veduta dell'esterno del lato orientale mostra chiaramente che la parte superiore della parete è di restauro: è nettamente visibile la linea irregolare che distingue la muratura originaria da quella di ricostruzione.

In primo piano a destra si nota inoltre l'edificio che si apre sulla Via dell'Abbondanza subito dopo il vicolo che divide l'insula III 3 dalla III 4.

L'edificio III 4, 1 (la cosiddetta bottega di Zosimus) presenta all'interno dell'ambiente 1 che si apre sulla via, un semplice intonaco con partizioni ed una piccola nicchia larario coronata da un timpano triangolare.



Le foto del crollo



Le foto del crollo



Le foto del crollo



Le foto del crollo





Pompei - Schola Armaturarum



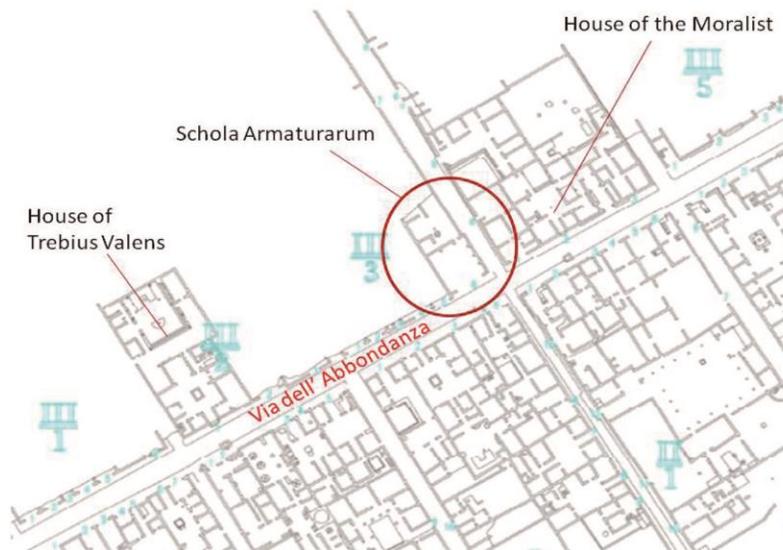
Via dell'Abbondanza - Pompei (NA)

Prima del crollo



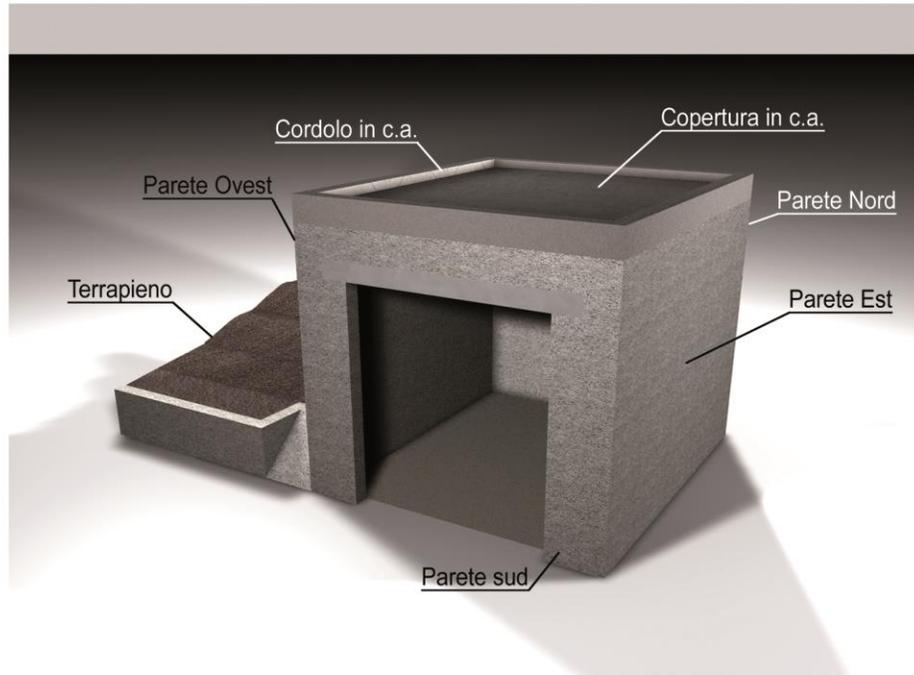
Dopo il crollo

Localizzazione

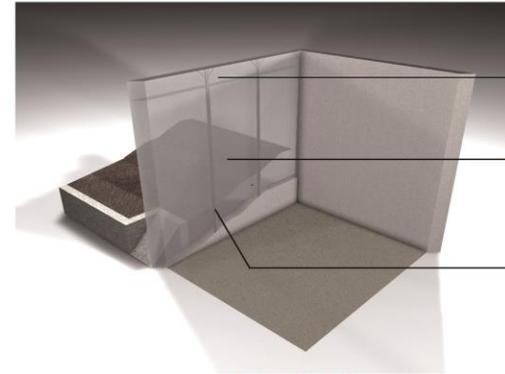




Pompei - Schola Armaturarum



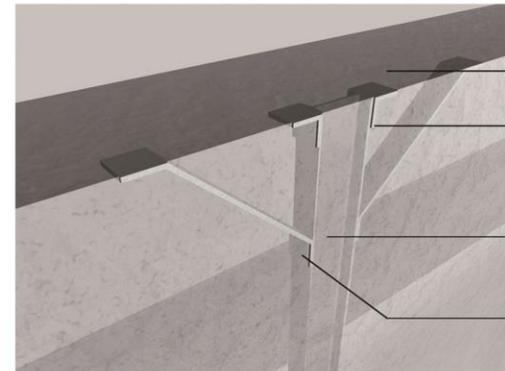
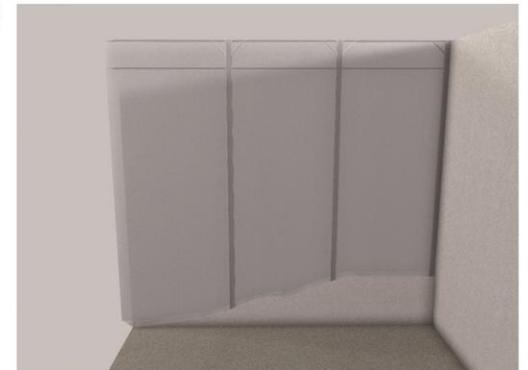
Simulazione della Schola Armaturarum prima del crollo



Particolare 1

- Cordolo sommitale in c.a. (altezza: 70 cm circa);
- Parete ovest in muratura a due paramenti con scarsa connessione trasversale;
- Profili metallici (presumibilmente IPN140), inglobati nella muratura e nel cordolo sommitale in c.a.

Particolare 2



Particolare 3

- Cordolo sommitale in c.a.;
- Squadrette metalliche per il collegamento di elementi preesistenti mediante chiodature a caldo;
- Profili metallici (presumibilmente IPN140);
- Piastre metalliche piegate per il collegamento di elementi preesistenti mediante chiodature a caldo.



Pompei - Schola Armaturarum

Ipotesi di sequenza di collasso

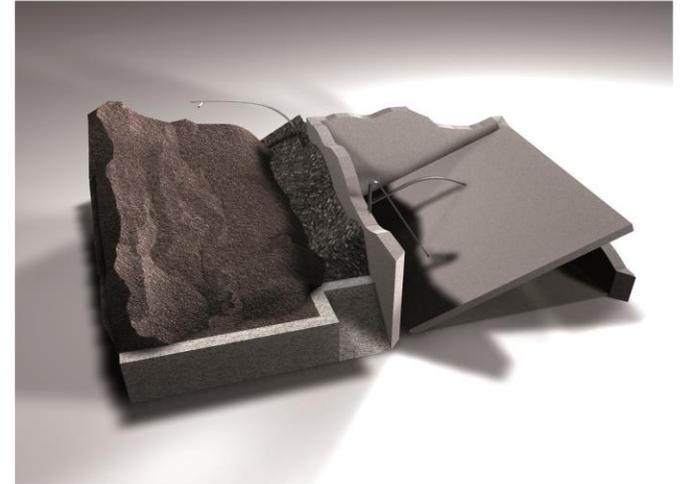
Collasso del primo profilo



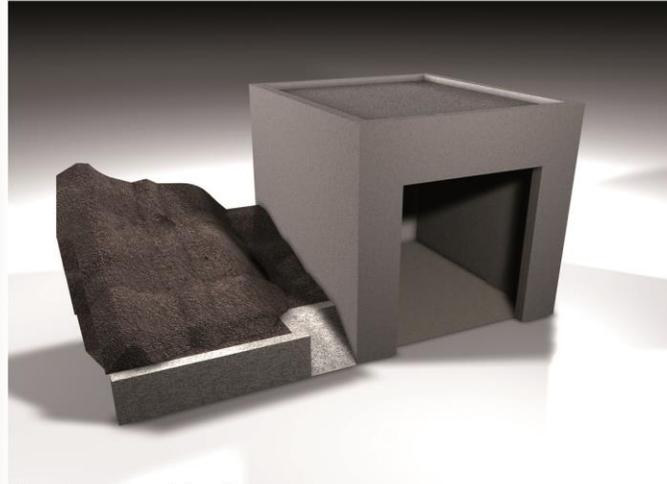
Rottura della soletta in corrispondenza della parete Nord



Collasso del secondo profilo



Collasso dell'ultimo profilo

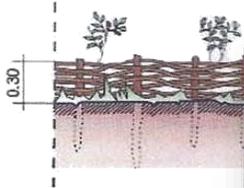
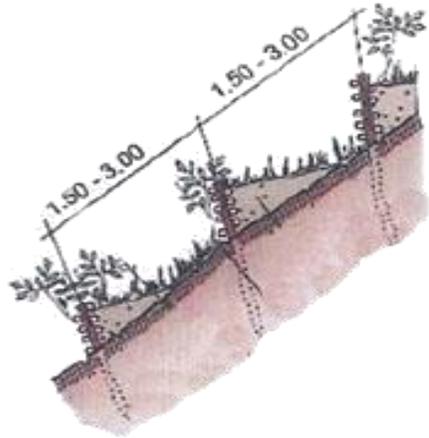


Situazione prima del crollo



Contenimento del ruscellamento superficiale: VIMINATE

Schema di impianto viminata



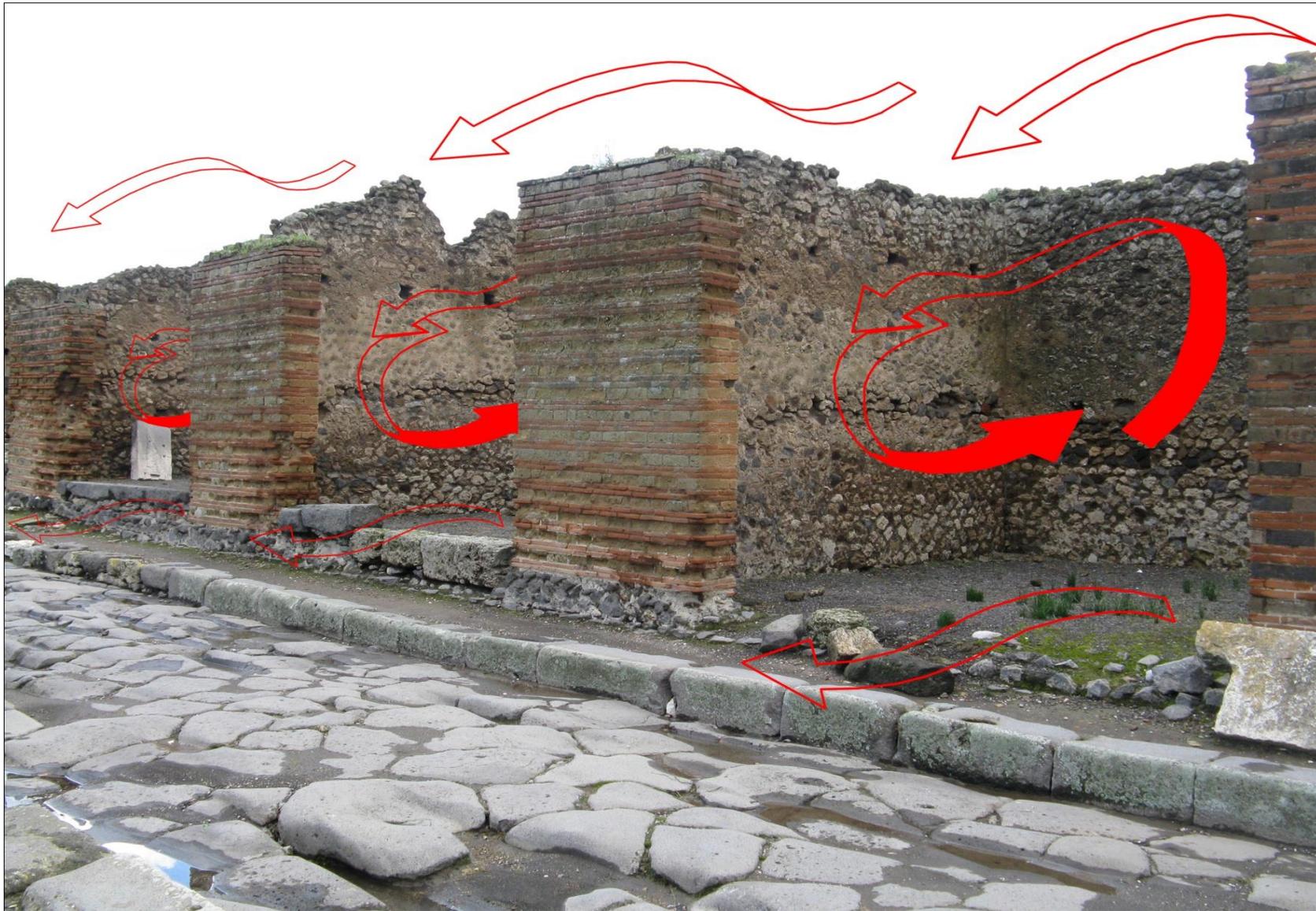
Contenimento del ruscellamento superficiale: VIMINATE

Localizzazione



STATO DI CONSERVAZIONE: VIA STABIANA





A volte la natura supplisce ...

Per contatti:

Stefano Podestà

stefano.podesta@unige.it

