



INTERNATIONAL WORKSHOP

DIGITAL INTEGRATED
STRATEGIES
TO SAFEGUARD HERITAGE
CONSTRUCTION
TECHNOLOGIES

September 30 - October 5, 2024
Poggioreale, Trapani

Tecniche costruttive tradizionali,
dalla lettura critica al rilievo

*Traditional construction techniques,
from critical reading to surveying*

Ing. Giovanni Cangi
CNR Institute of Heritage Science

Ministero delle Infrastrutture
Ministero dell'Interno
Dipartimento di Protezione Civile

PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE DELLA
SICUREZZA E LA REDAZIONE DEI PROGETTI

NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

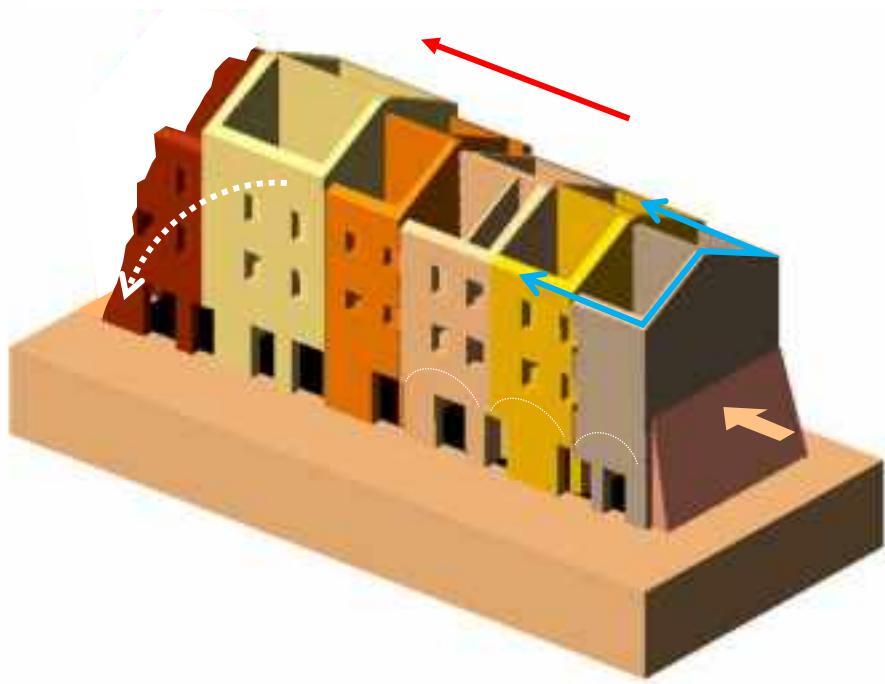
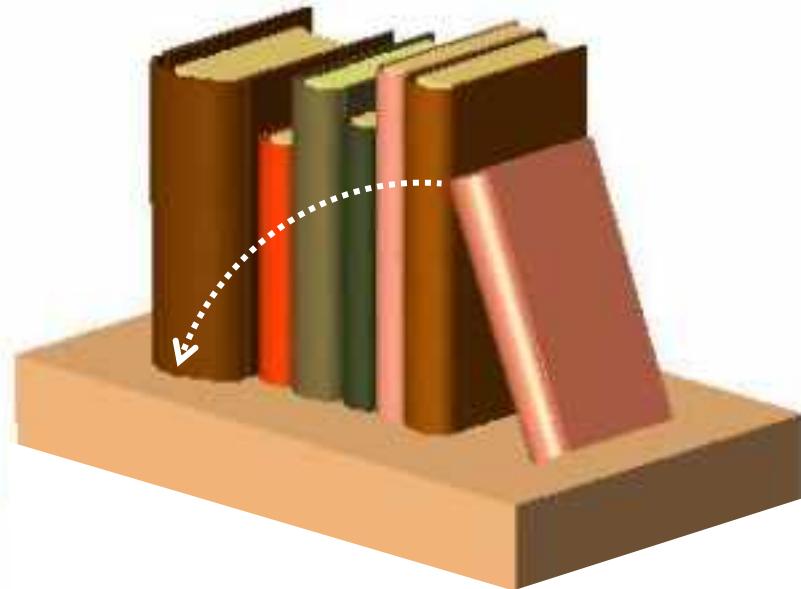
DM Infrastrutture 17 gennaio 2018

CAP. 8 - COSTRUZIONI ESISTENTI

8.5 – DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI

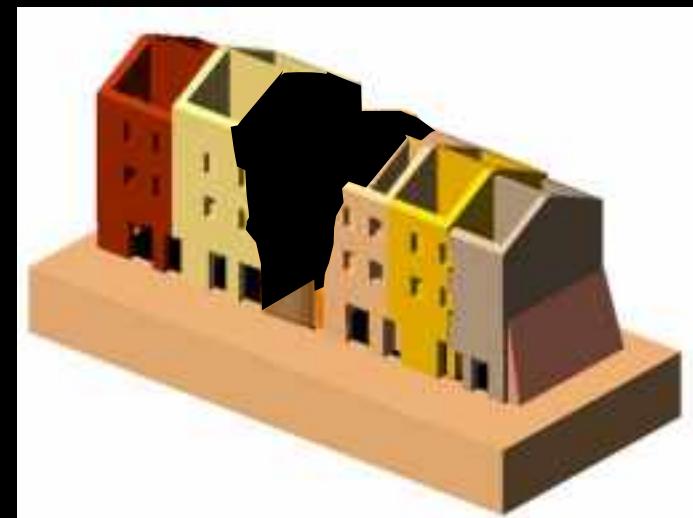
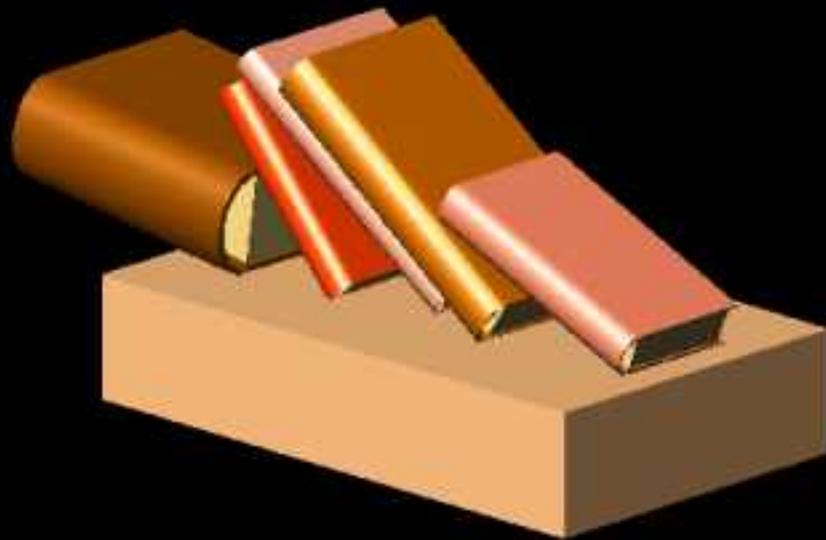
Quando la costruzione, per la presenza di orizzontamenti di rigidezza trascurabile o di una maglia muraria diradata e/o non sufficientemente connessa, non manifesta un chiaro comportamento d'insieme, la verifica sismica globale può essere svolta attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali su macroelementi, purché la totalità delle forze sismiche sia coerentemente ripartita sugli elementi considerati e si tenga eventualmente conto delle forze che si assume vengano scambiate tra i diversi sottosistemi strutturali.

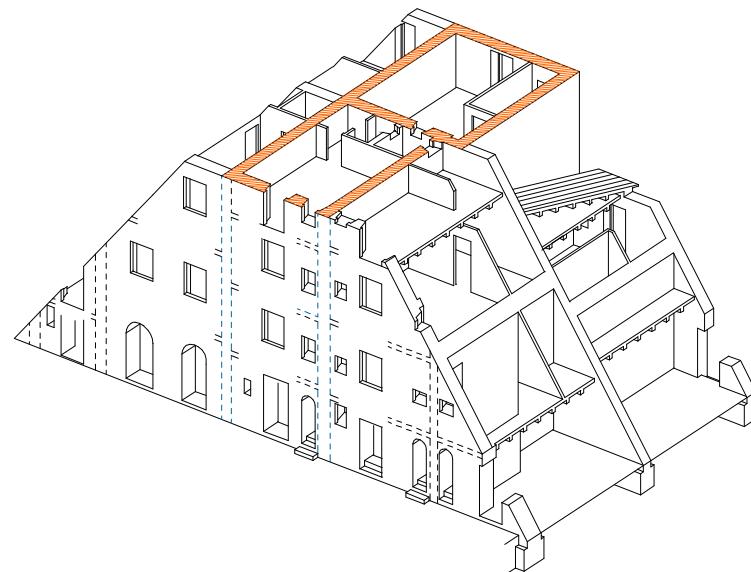
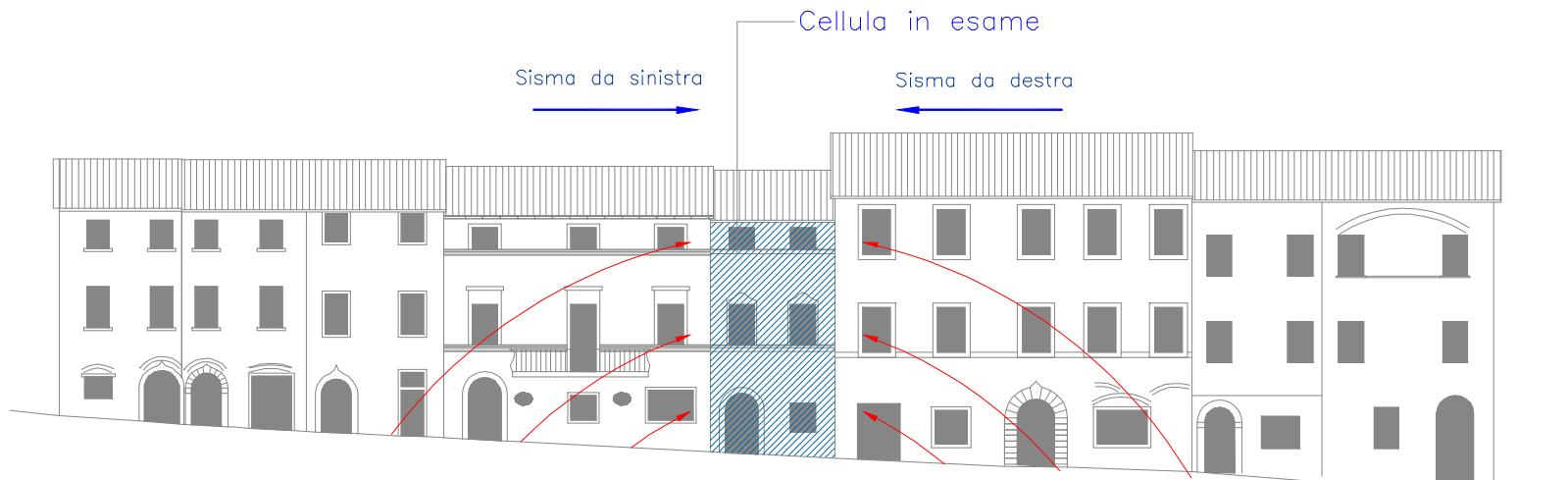
Rientrano in queste situazioni, ad esempio, le grandi chiese o gli edifici estesi di geometria complessa, privi di efficaci e diffusi sistemi di collegamento tra le diverse porzioni, caratterizzati da numerosi modi di vibrazione locali.



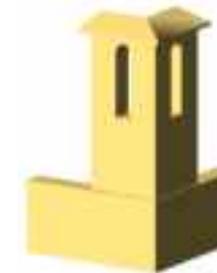
Modello interpretativo per l'analisi qualitativa del comportamento sismico di aggregati strutturali in muratura

Tipo di struttura da analizzare attraverso verifiche locali, ma con una visione globale



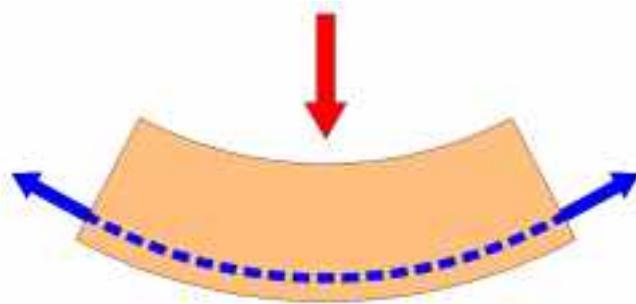


Risposta sismica dei fabbricati seriali
Esempio di cellula edilizia interclusa

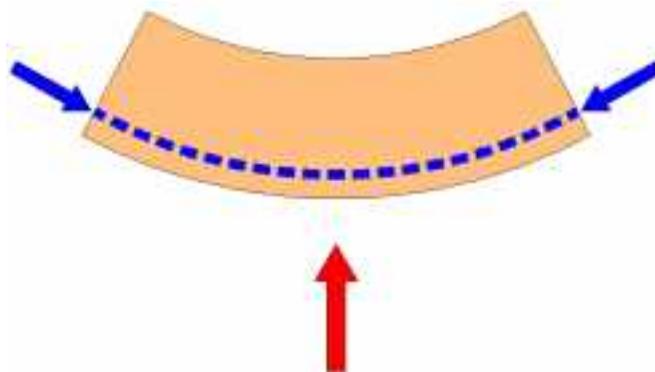
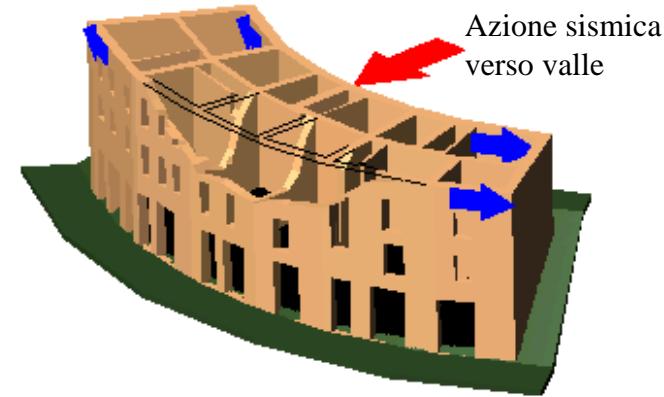


Tipologie costruttive di campanili a vela piana, a vela curva, a vela d'angolo con struttura assimilabile a quella di aggregati edilizi con impianto a stecca semplice, con profilo curvo e ad L

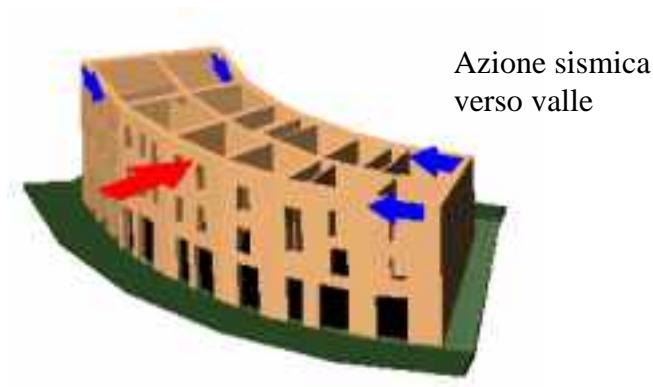
Effetti del sisma ortogonale negli isolati ad impianto curvilineo



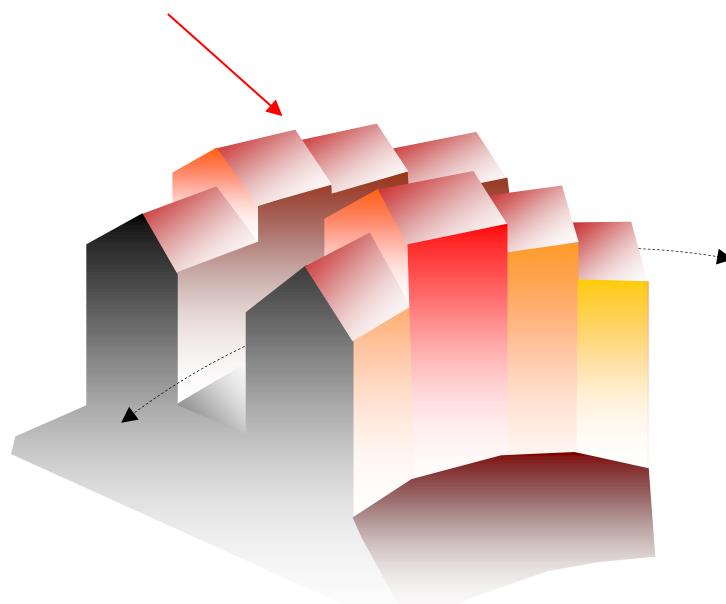
L'azione sismica verso valle mette in trazione la parete di facciata
(Allentamento parete di valle)



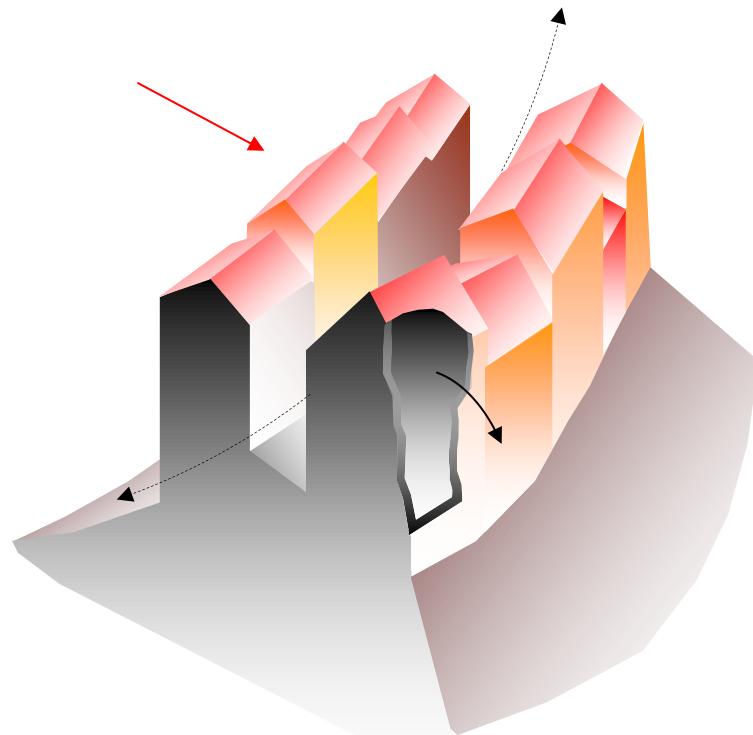
L'azione sismica verso monte comprime le pareti di facciata (Effetto arco)



Valutazione del rischio sismico alla scala urbana



Valutazione del rischio sismico alla scala urbana





Gabriele Apò con Giovanni Cangi

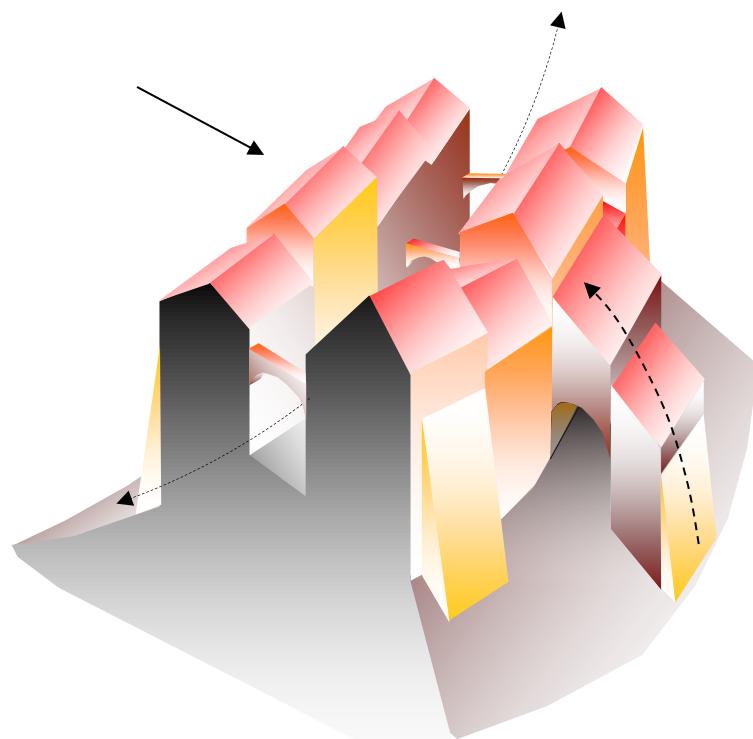
piazza Polo Tecnico Franchetti Salviati⁷ -
Città di Castello

Dottorato di Ricerca in Architettura:
Innovazione e Patrimonio (ciclo XXXII)
Politecnico di Bari - Università Roma Tre

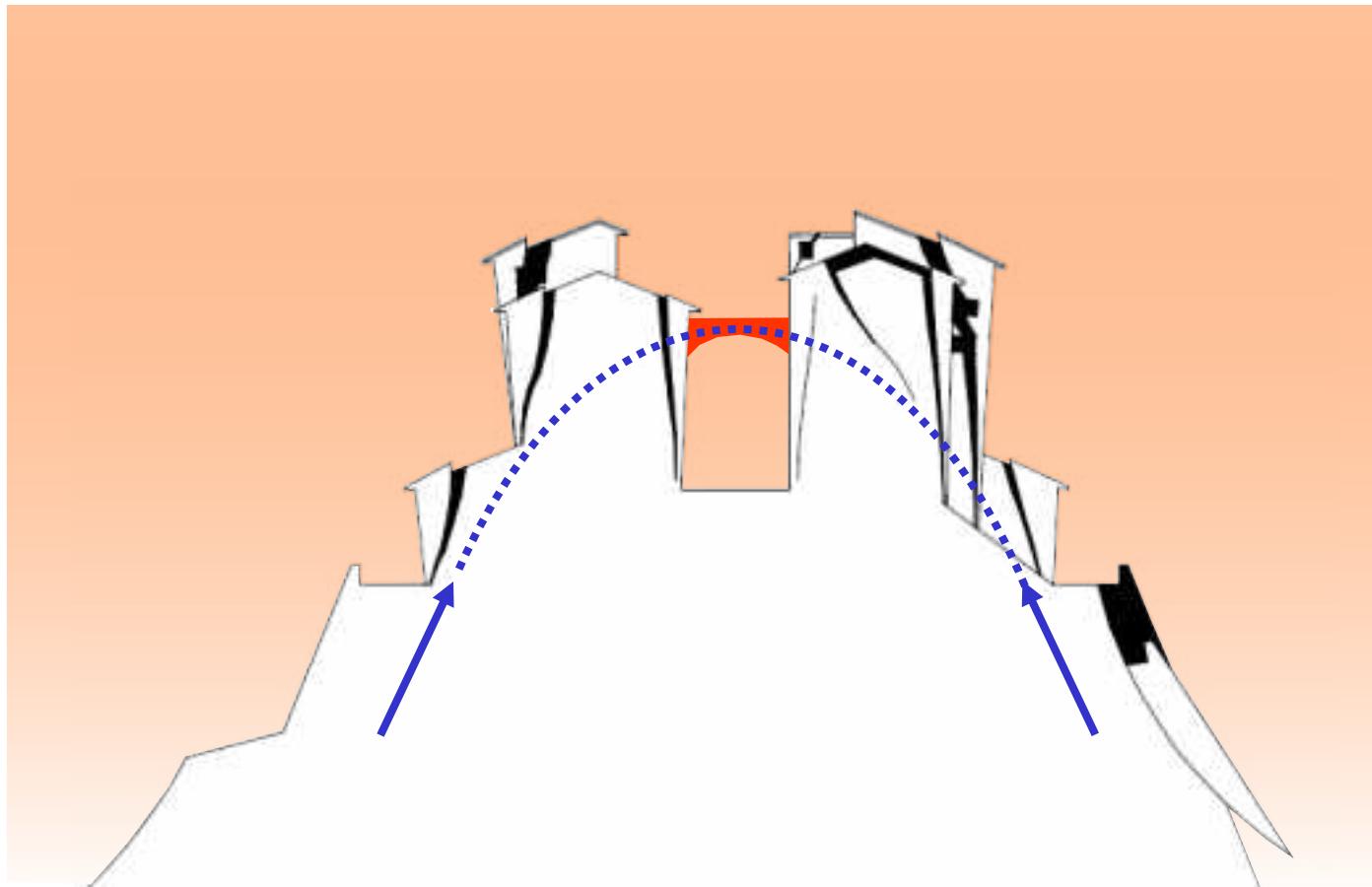
Valutazione del rischio sismico alla scala urbana

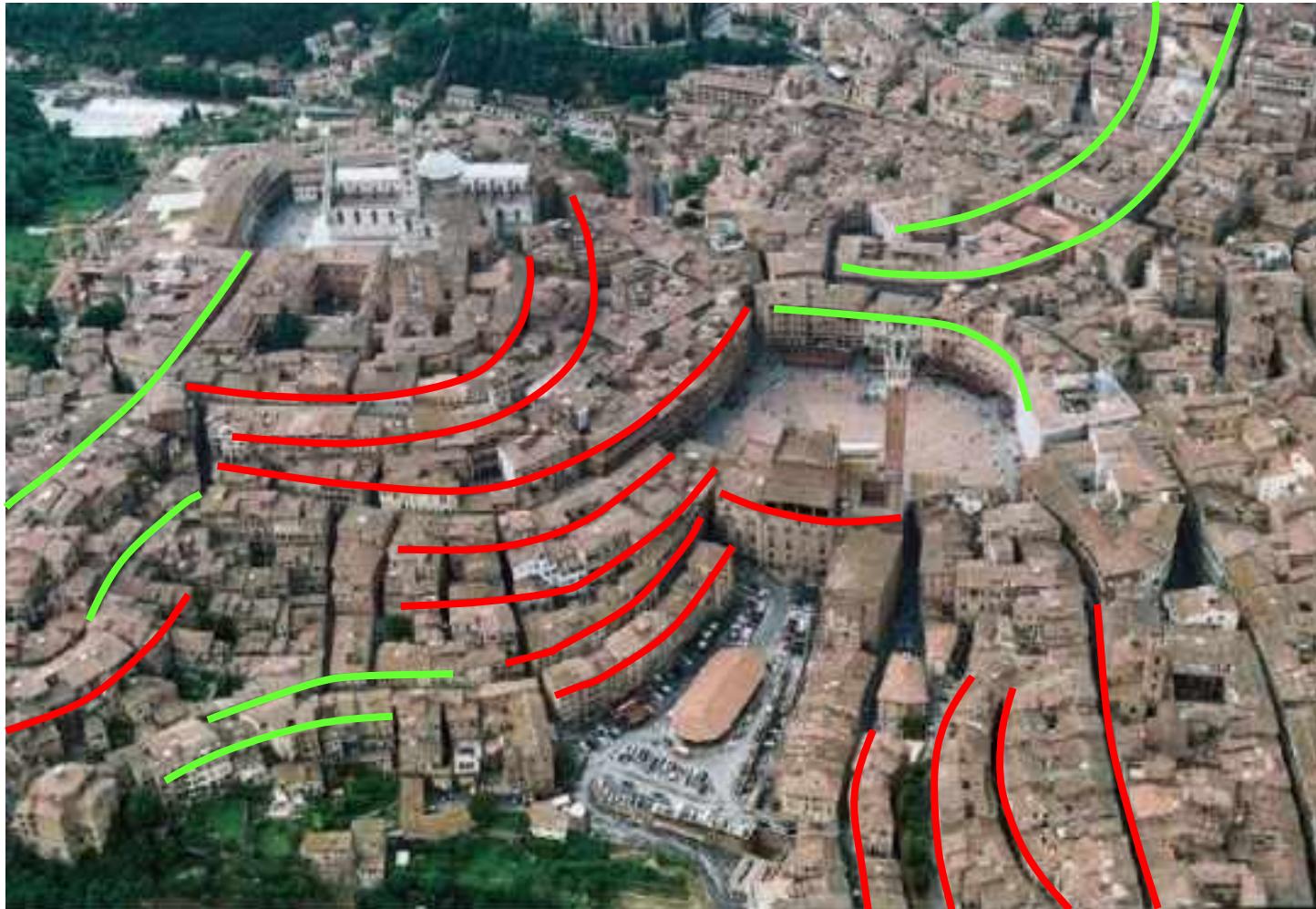


Valutazione del rischio sismico alla scala urbana

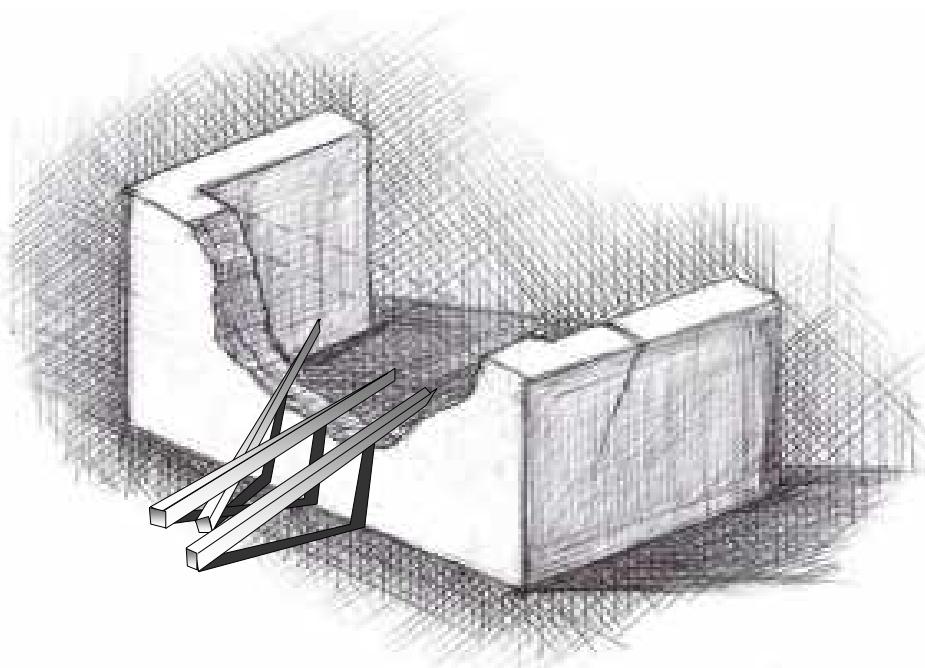


Meccanismi resistenti alla scala urbana





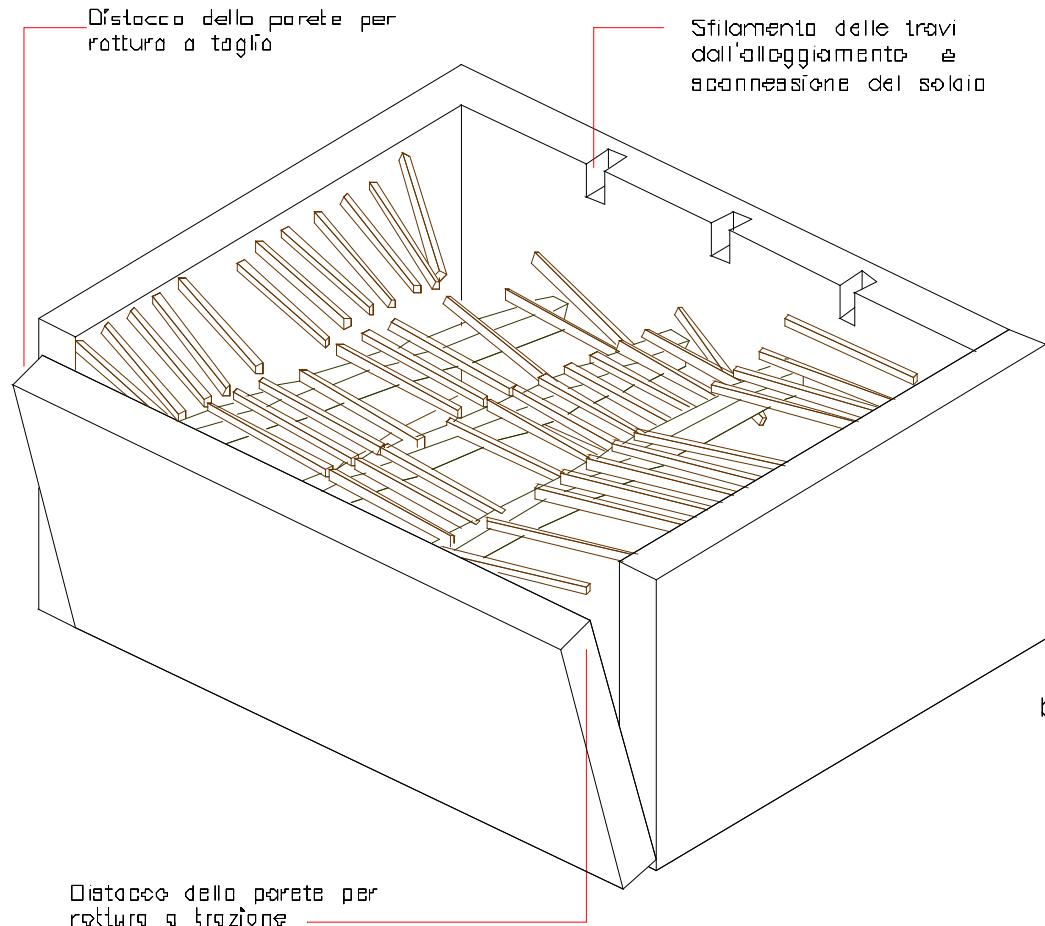
Siena: criticità determinate dalla conformazione planimetrica degli aggregati edili in relazione alla configurazione di pendio (concavità e convessità del lato a valle)





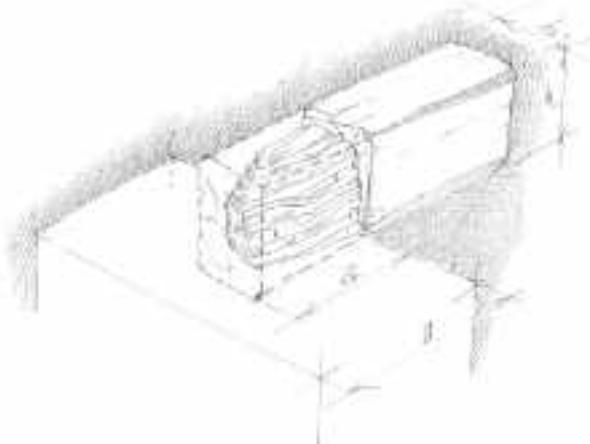
Terremoto dell'Emilia (maggio 2012):
ribaltamento di pareti sollecitate da azioni ortogonali

Analisi meccanismi di danno elementari



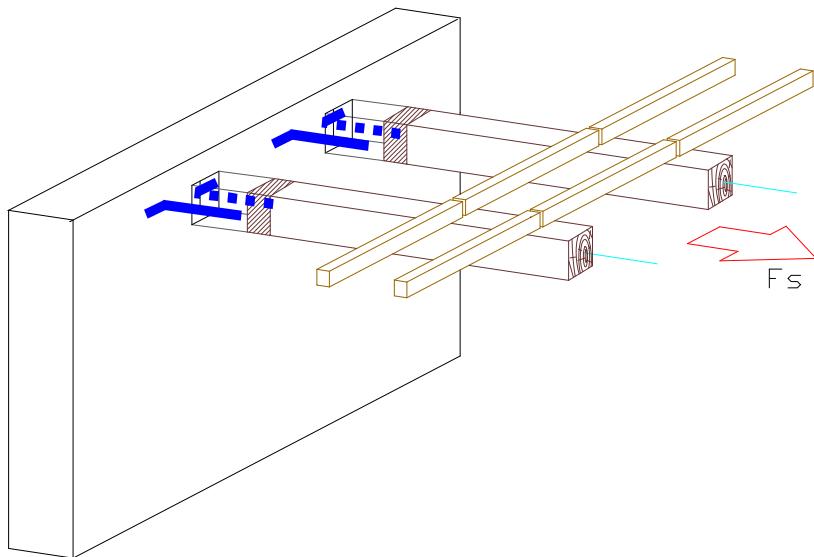
Analisi meccanismi di danno elementari

Effetti sismici sulle connessioni orizzontali

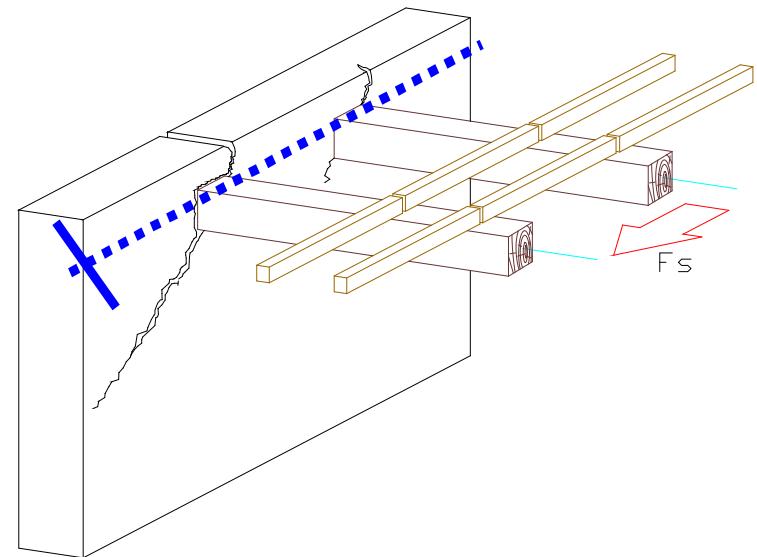


Abruzzo, Aprile 2009

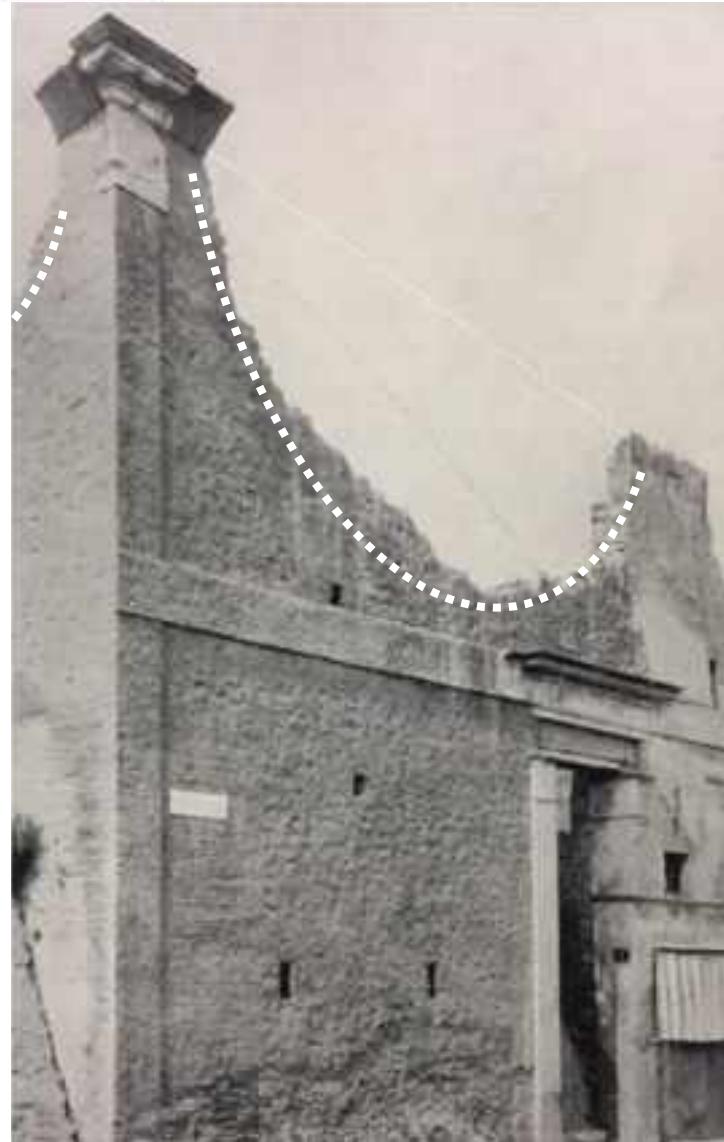
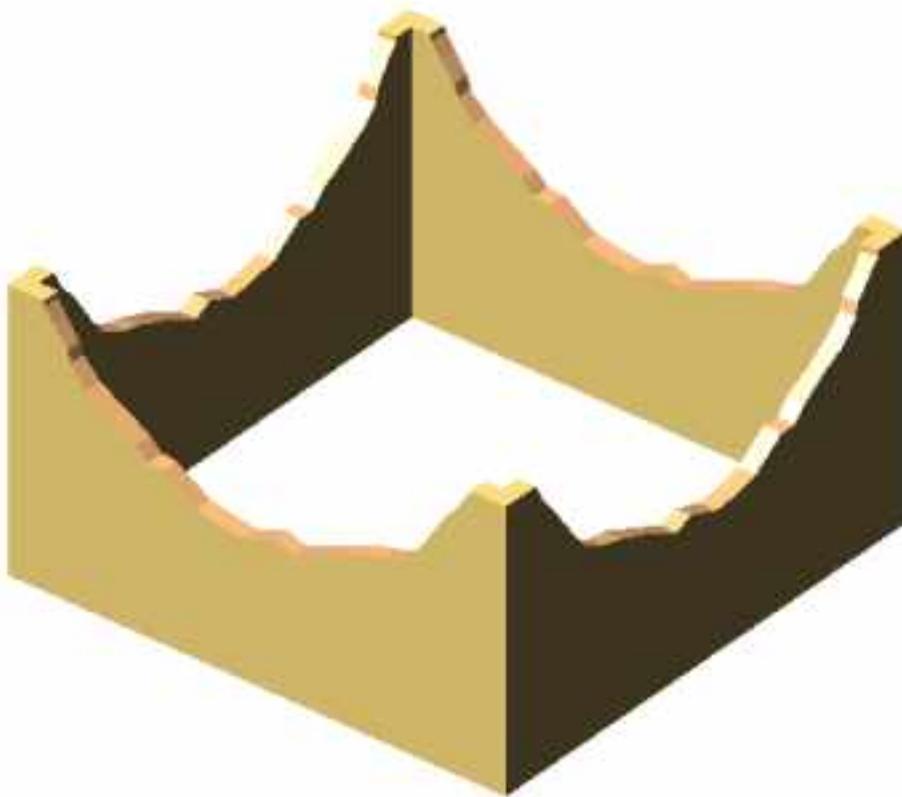
Effetti sismici sulle connessioni orizzontali



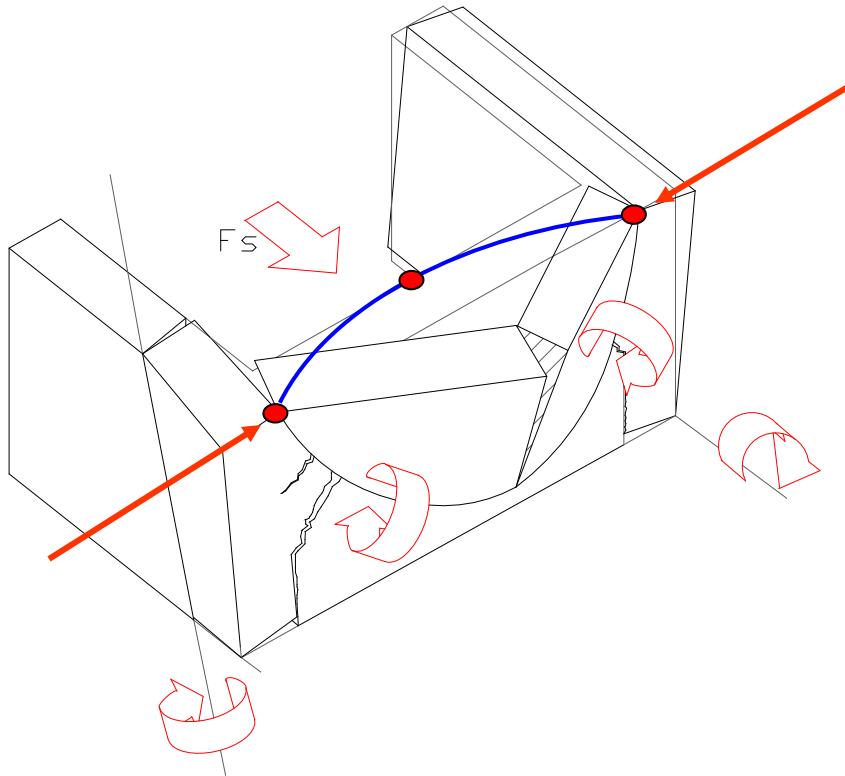
Azioni parallele alle travi



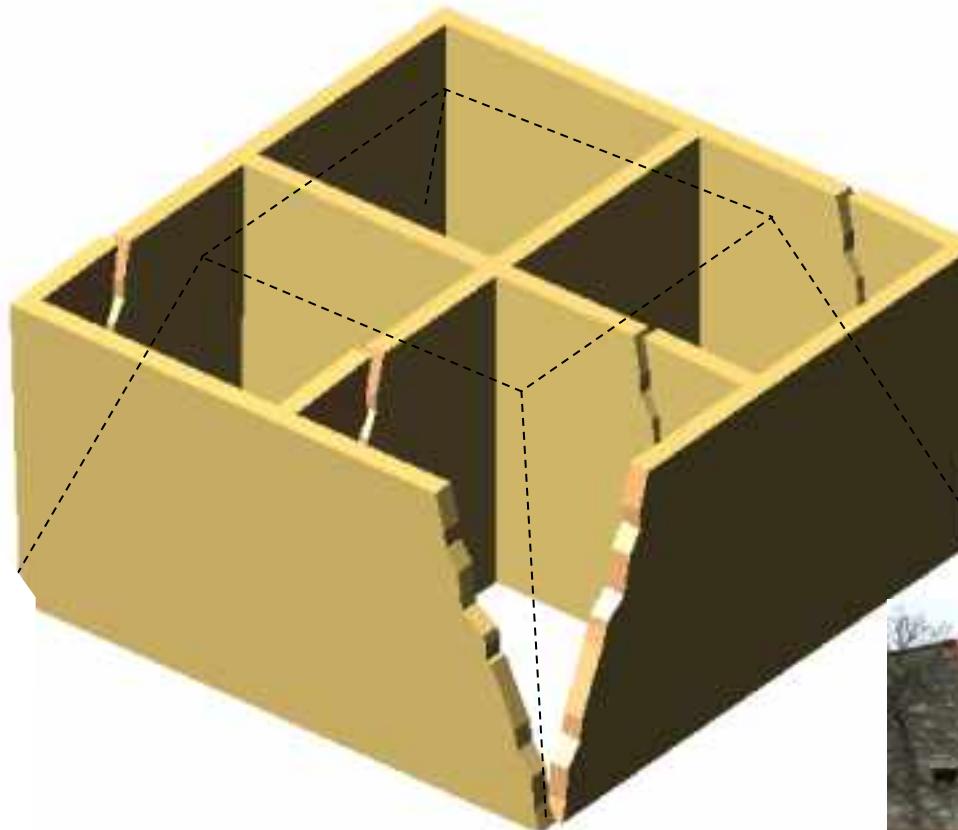
Azioni ortogonali alle travi



Pompeii: Casa dei Polybii (IX, XIII, I-3)



Ribaltamento pareti sollecitate da azioni ortogonali





Università
di Catania



THE CYPRUS
INSTITUTE

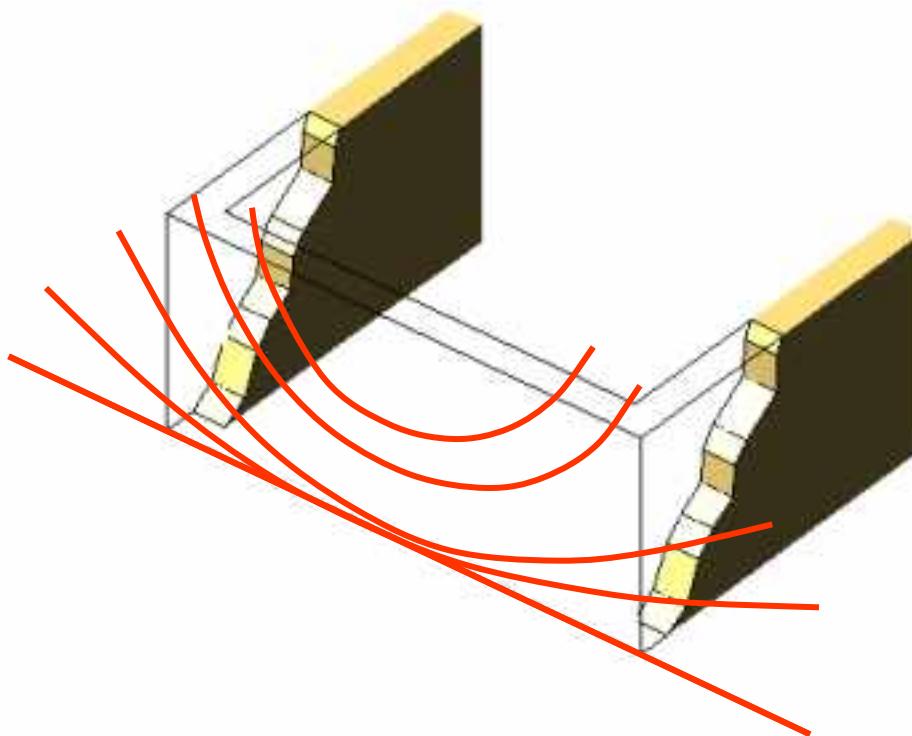


UIH Lab
The Urban Institute of Heritage Science

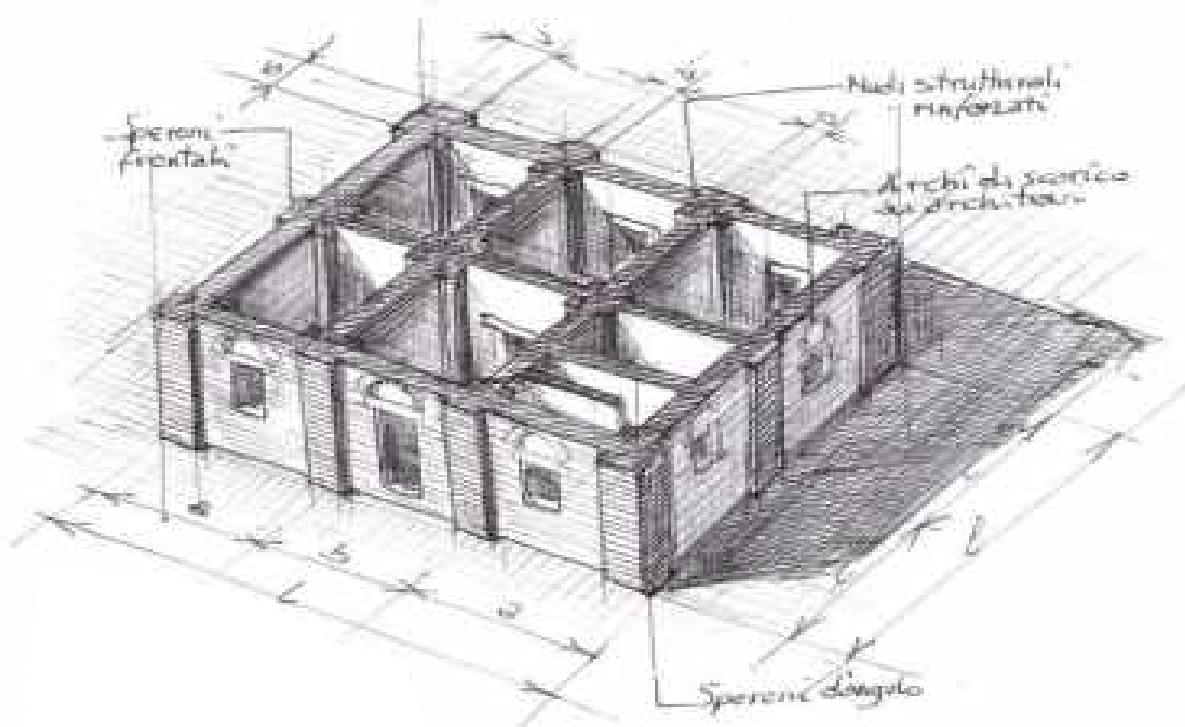


E-RIHS.it
EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURE
FOR HERITAGE SCIENCE



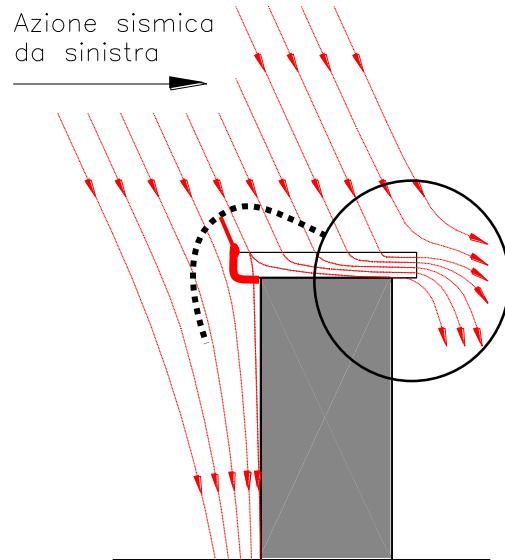
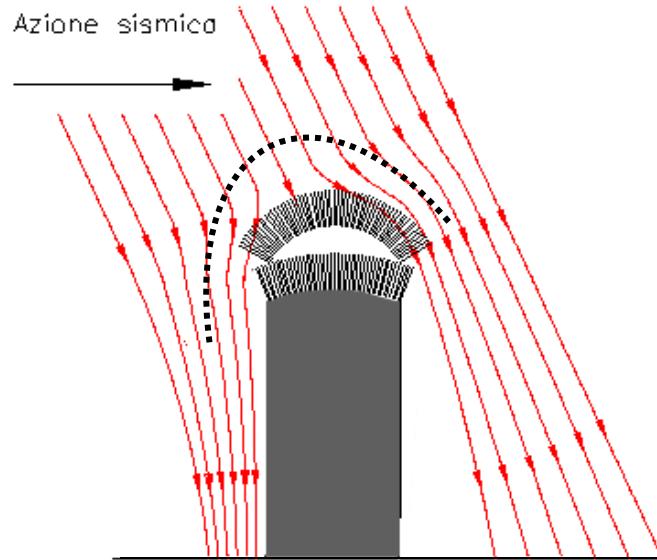
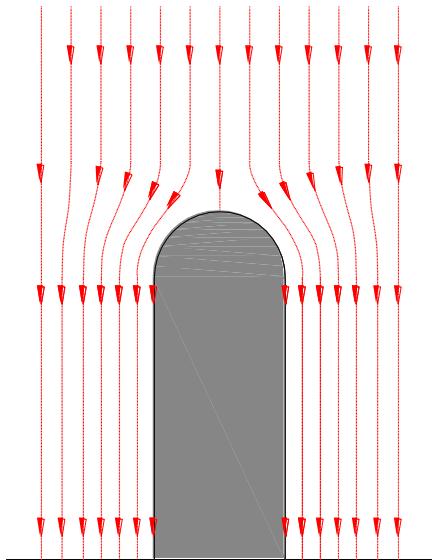


Progetto di “casa antisismica” elaborato dopo il terremoto del 1574 a Ferrara dall’architetto Pirro Ligorio



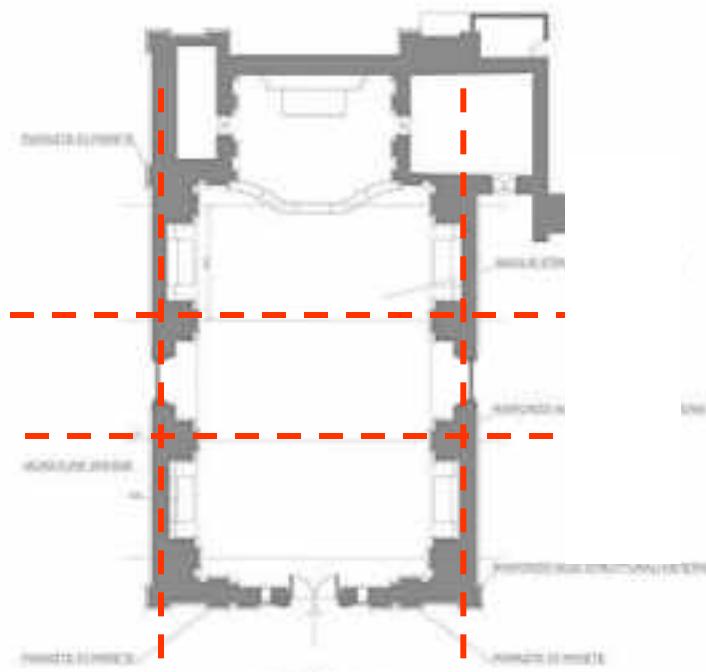
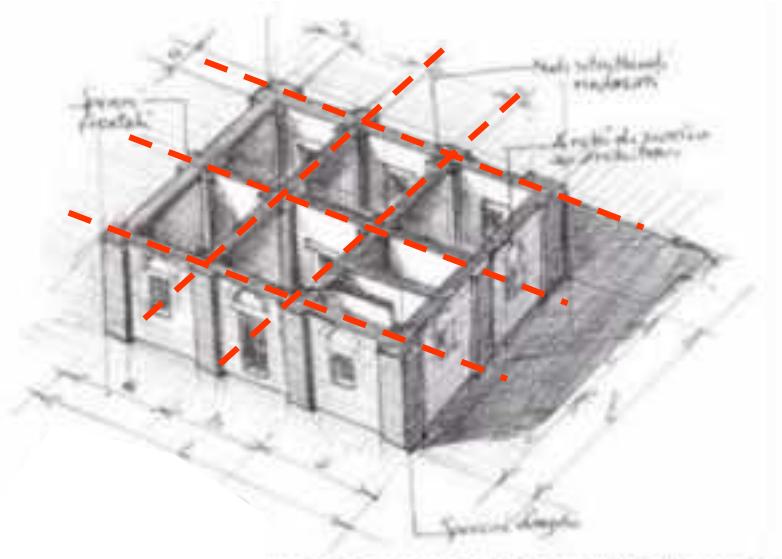
Punti fondamentali della “casa antisismica”:

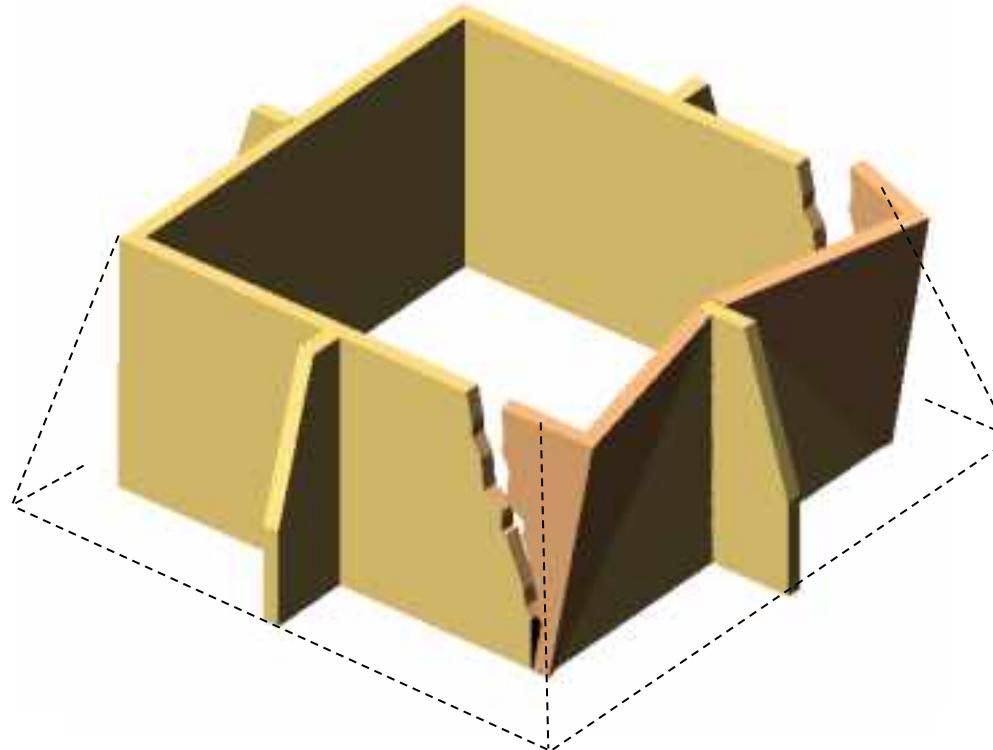
- regolarità in pianta;
- interassi contenuti fra i muri portanti;
- spessori consistenti delle murature;
- cantonali rinforzati;
- rinfoco degli incroci murari;
- ordinata disposizione delle aperture;
- presenza di archi di scarico sopra gli architravi.



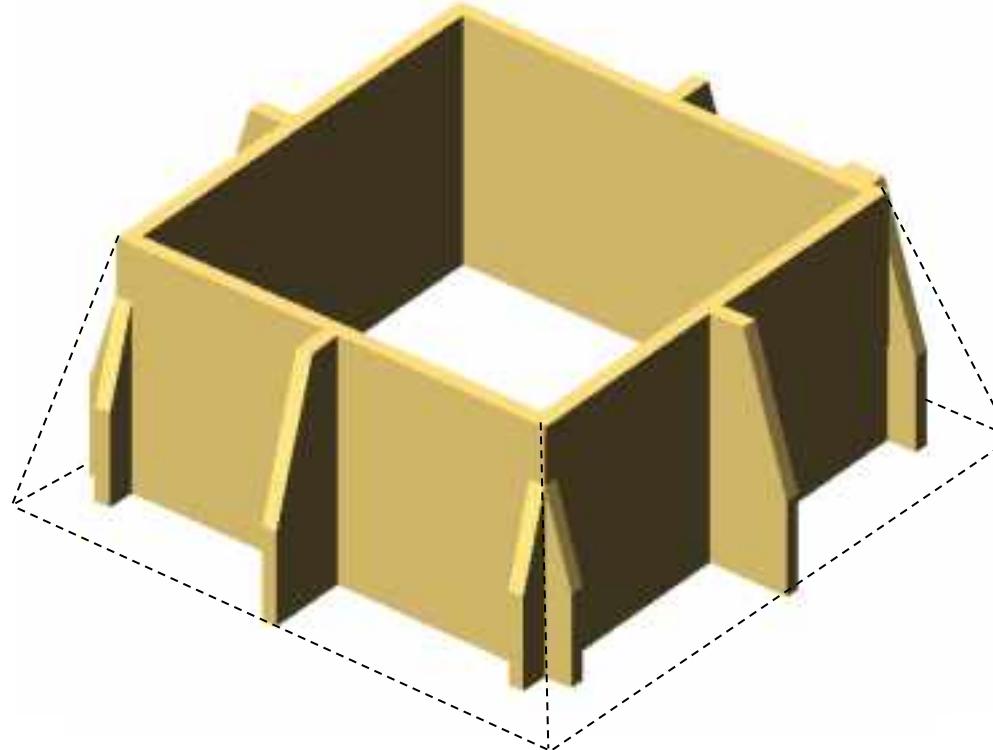
Archi di parete predisposti per diffondere i flussi di compressione in condizioni statiche e sismiche in presenza di architravi e anomalie prodotte dagli architravi

Pirro Ligorio: Progetto di una casa antisismica
Ferrara - 1574



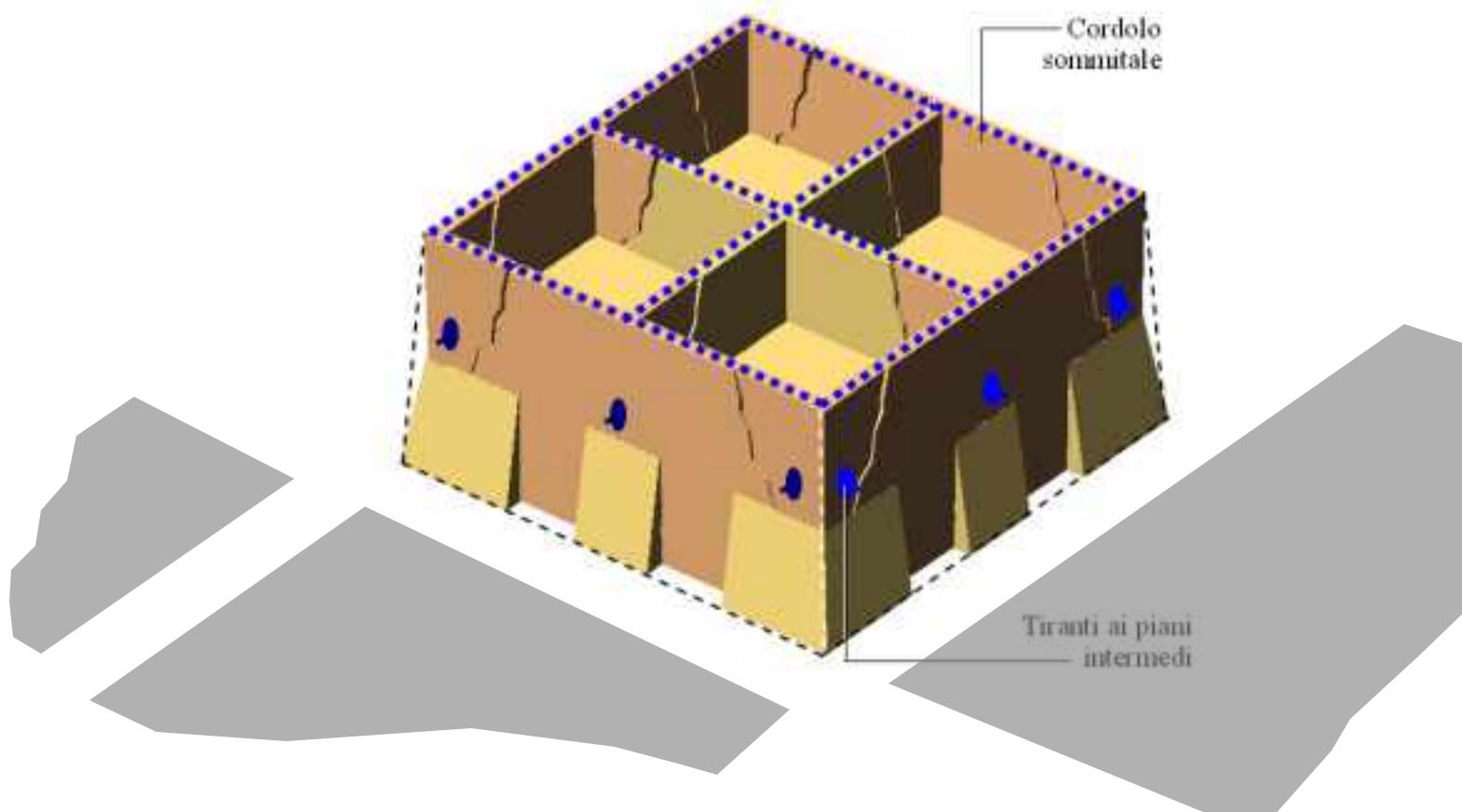


Lo stesso principio!



Lo stesso principio!





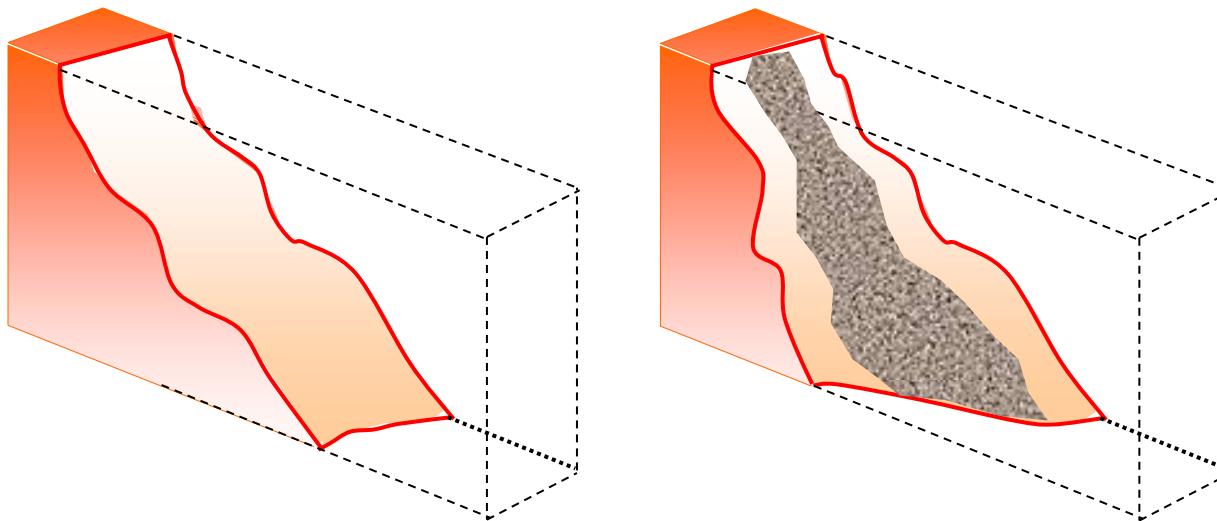


Cinematismi di danno tipici
delle chiese a navata unica

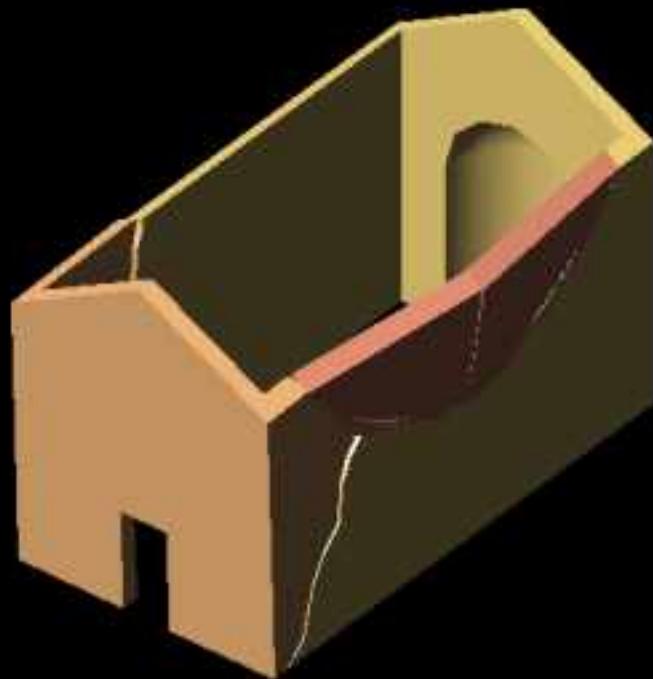


Foto: J. Gomez Badillo

Risposta dinamica di un modello in scala di farina



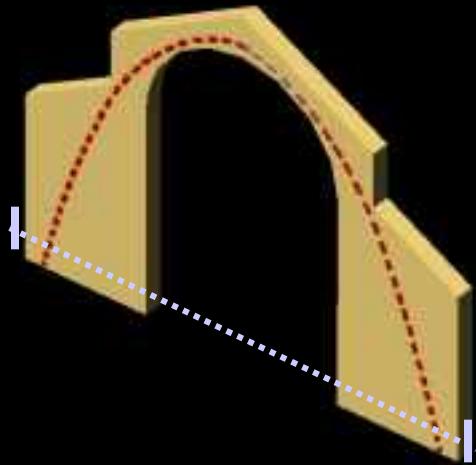
Lesioni passanti!



Cinematismi di danno tipici
delle chiese a navata unica



Cinematismi di danno tipici
delle chiese a navata unica



Cinematismi di danno tipici
delle chiese a navata unica



Vetulonia



Università
di Catania

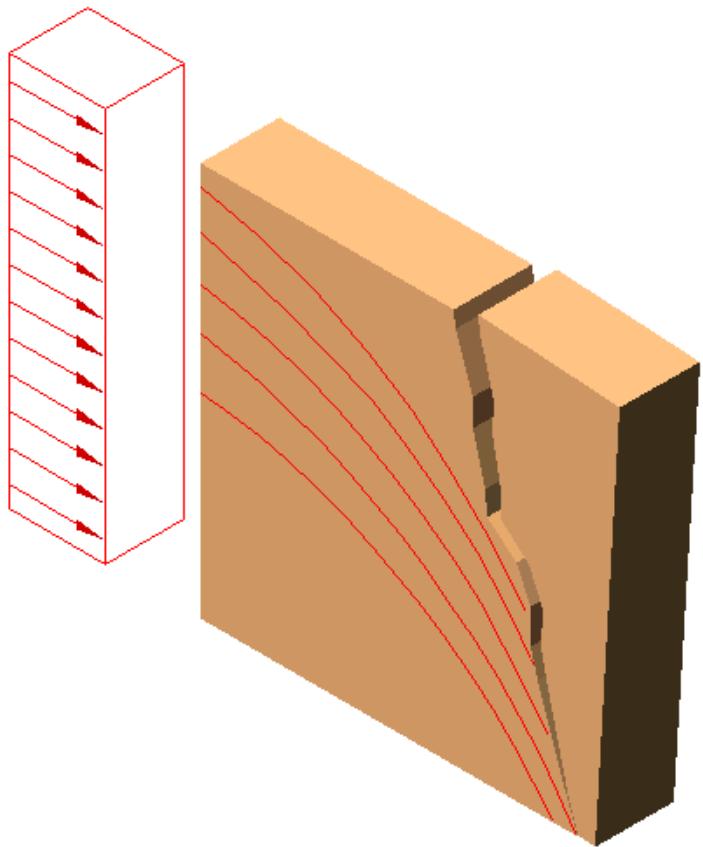


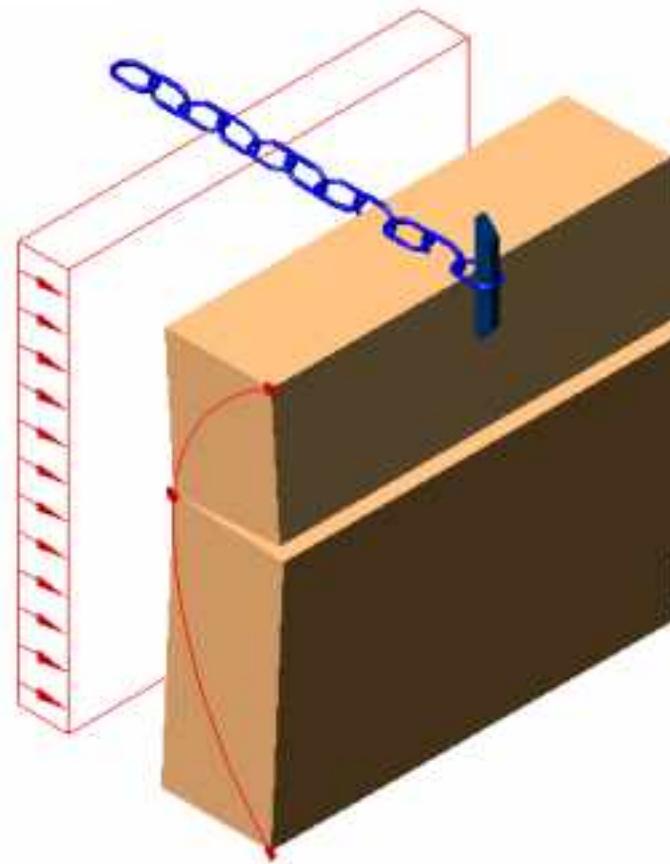
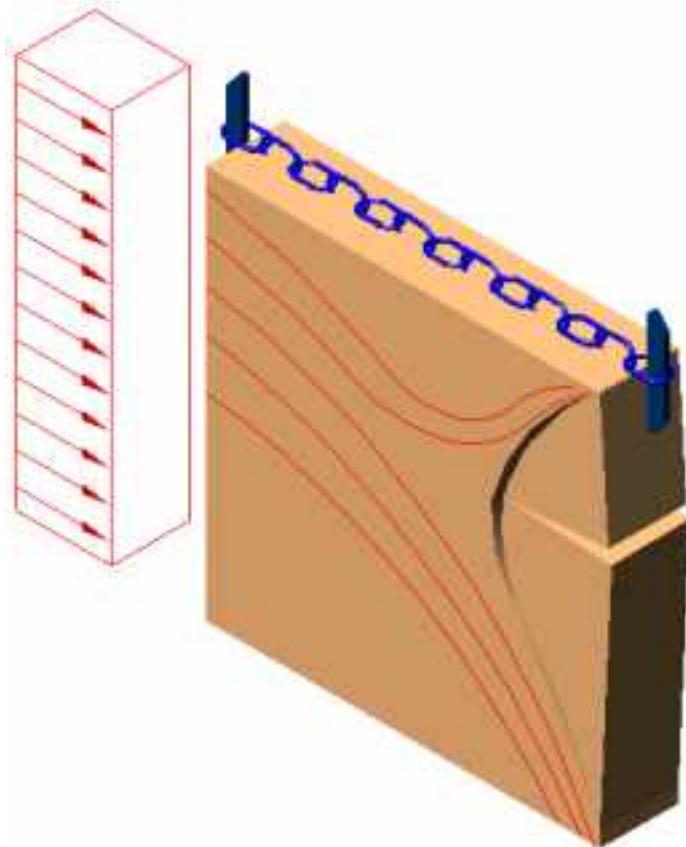
THE CYPRUS
INSTITUTE

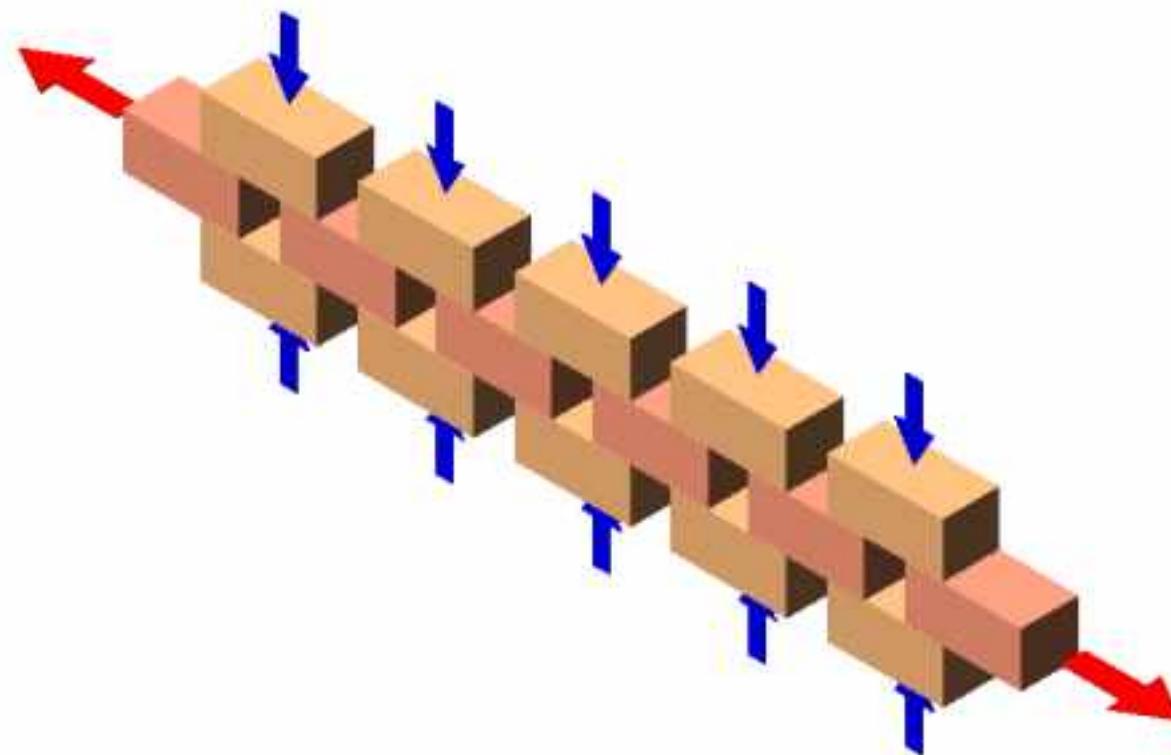


E-RIHS.it
EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURE
FOR HERITAGE SCIENCE

Cinematismi elementari



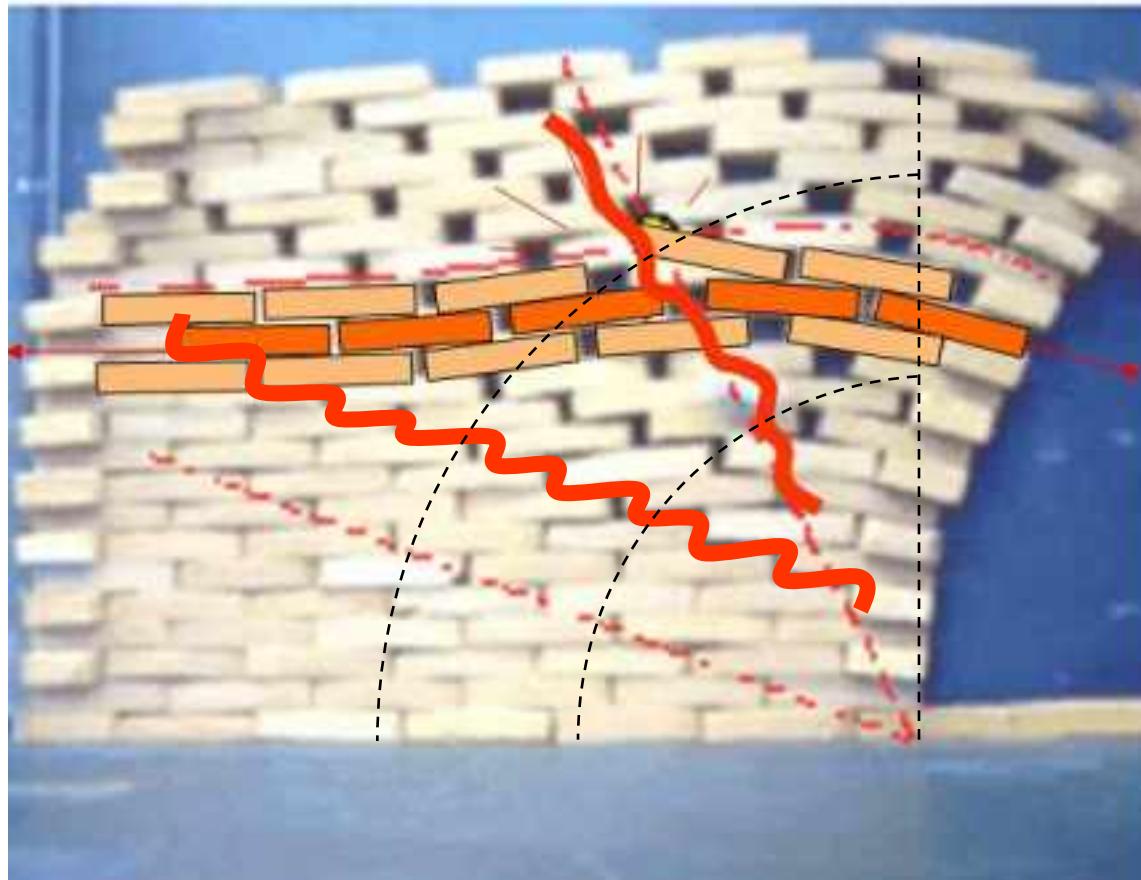




Effetto catena nelle murature incatenate, garantito
dall'attrito sulle superfici di contatto fra gli
elementi e dalla coesione della malta





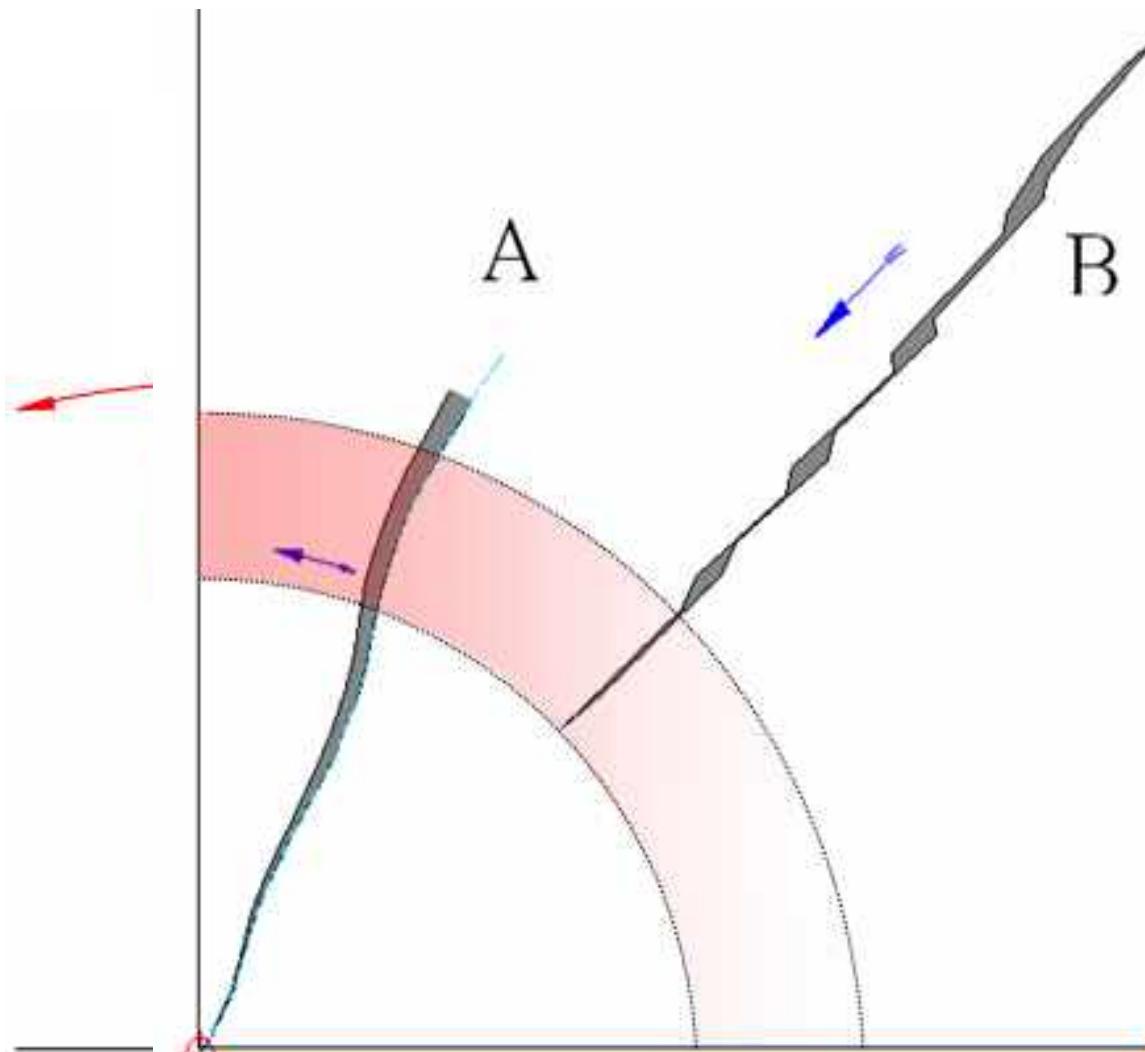


Schema dell'effetto catena in una parete di mattoni pieni ad una testa, evidenziato dalla dinamica di collasso di una parete sollecitata nel piano.



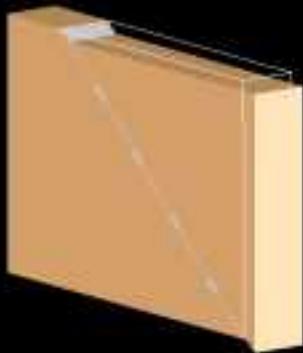




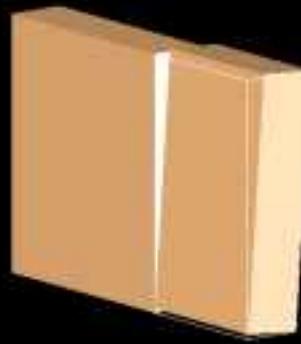




A)



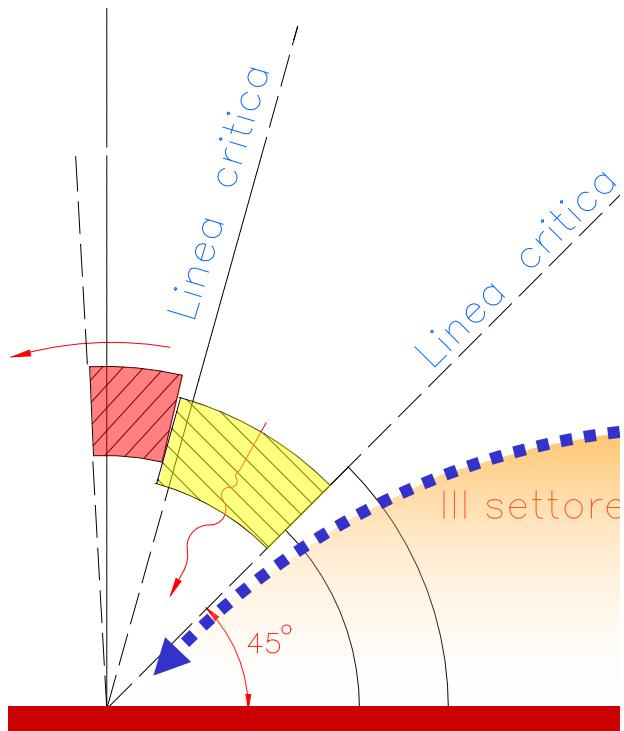
B)



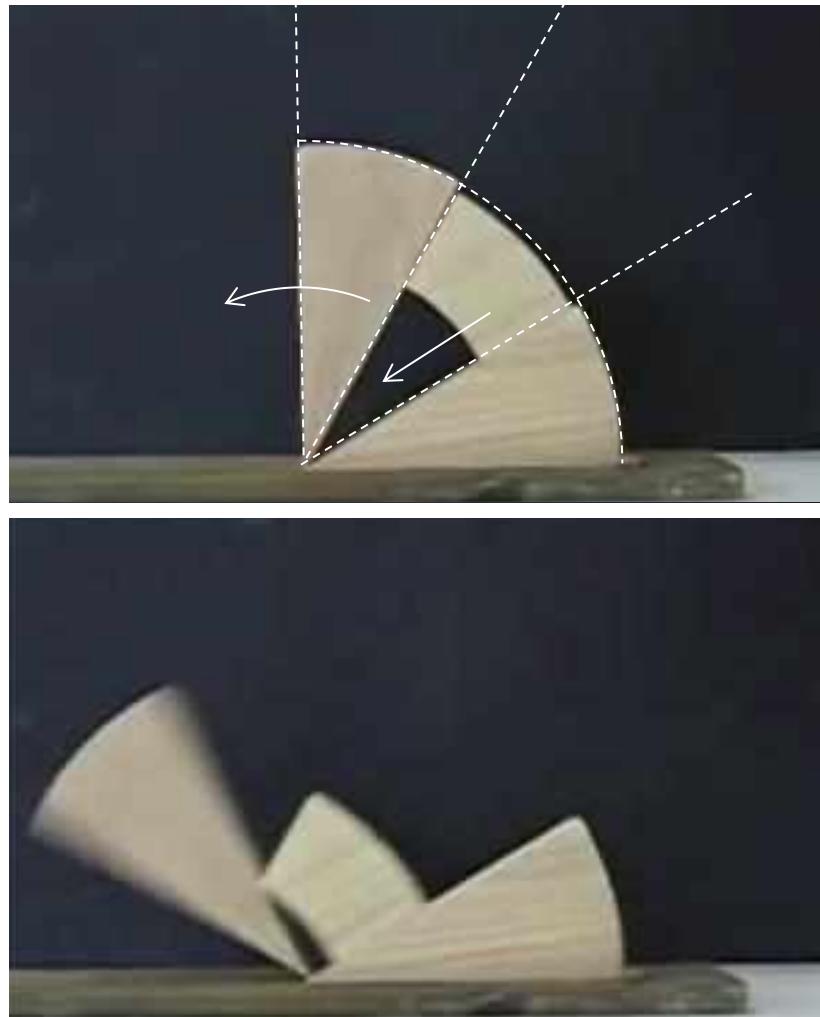
C)

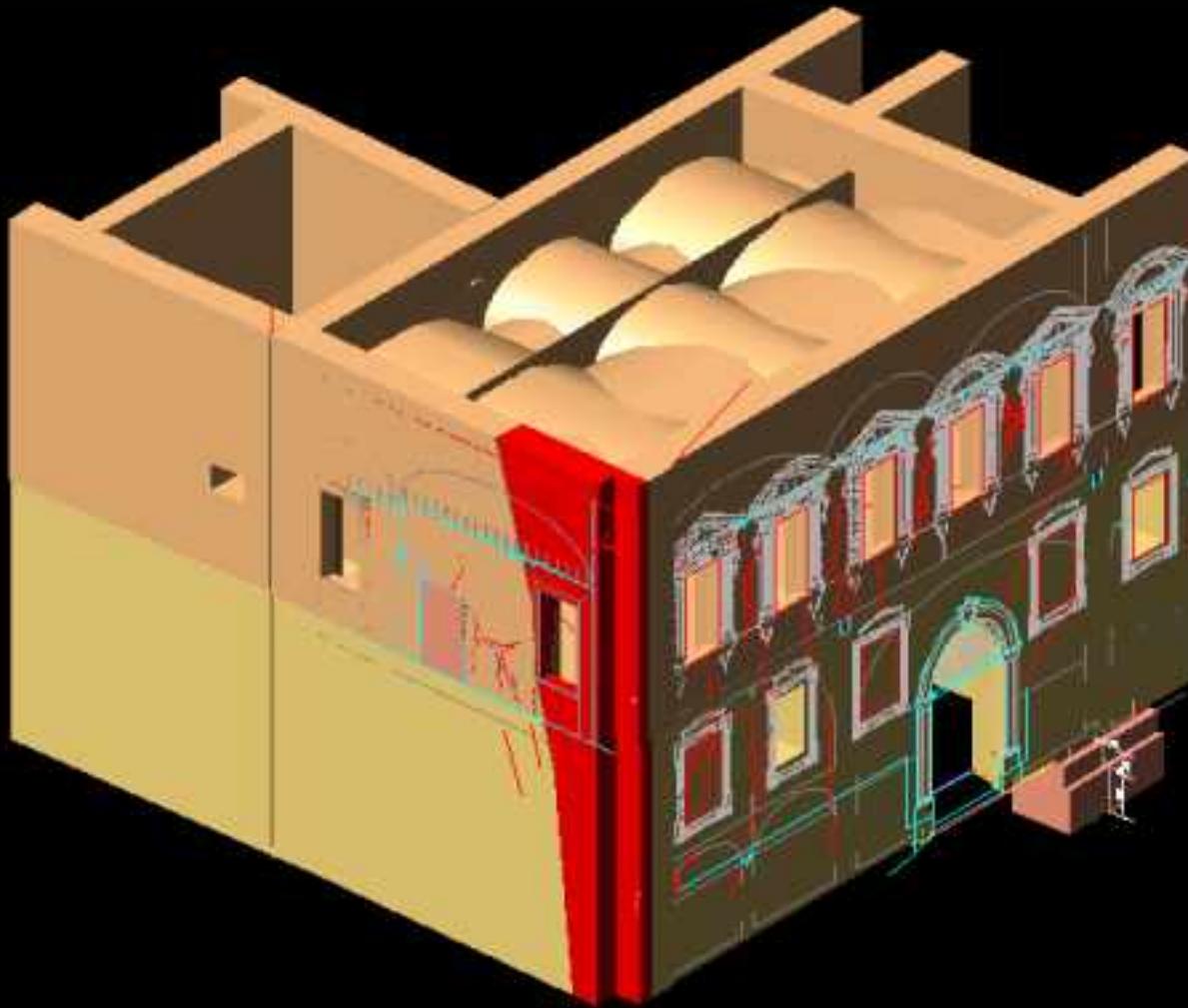
Classificazione tipologica delle lesioni:

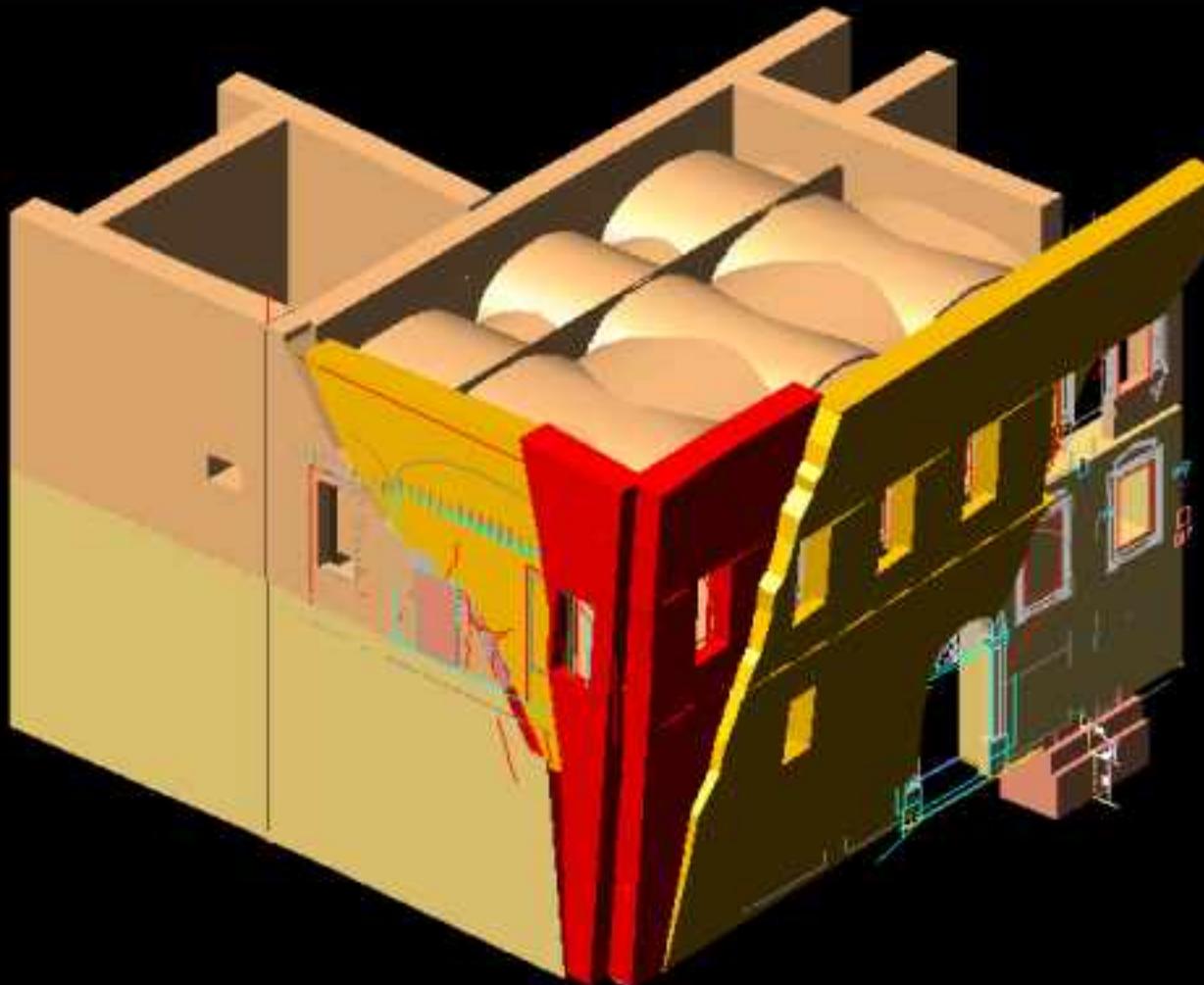
A) di strappo; B) di scorimento nel piano; C) scorimento fuori del piano

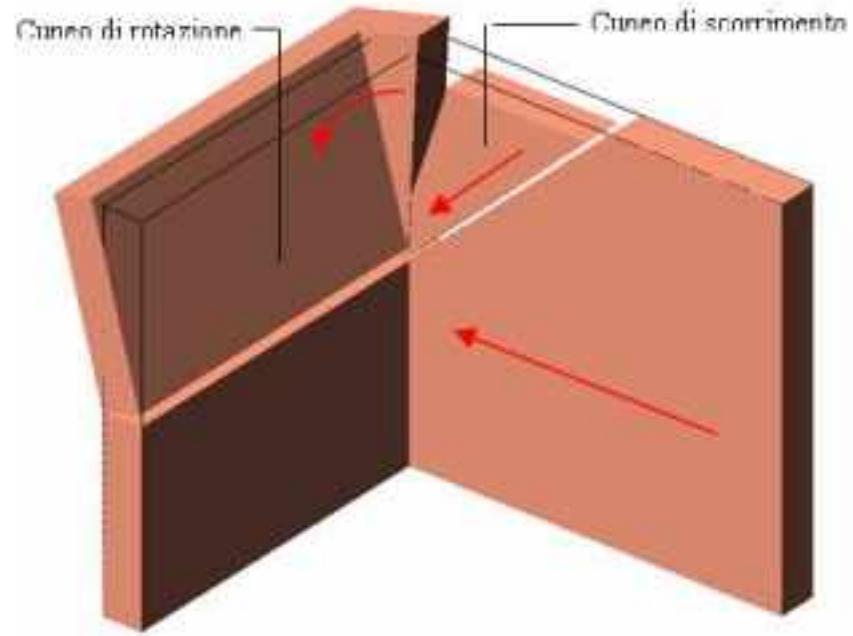


Configurazione della parete
secondo il modello ad archi virtuali









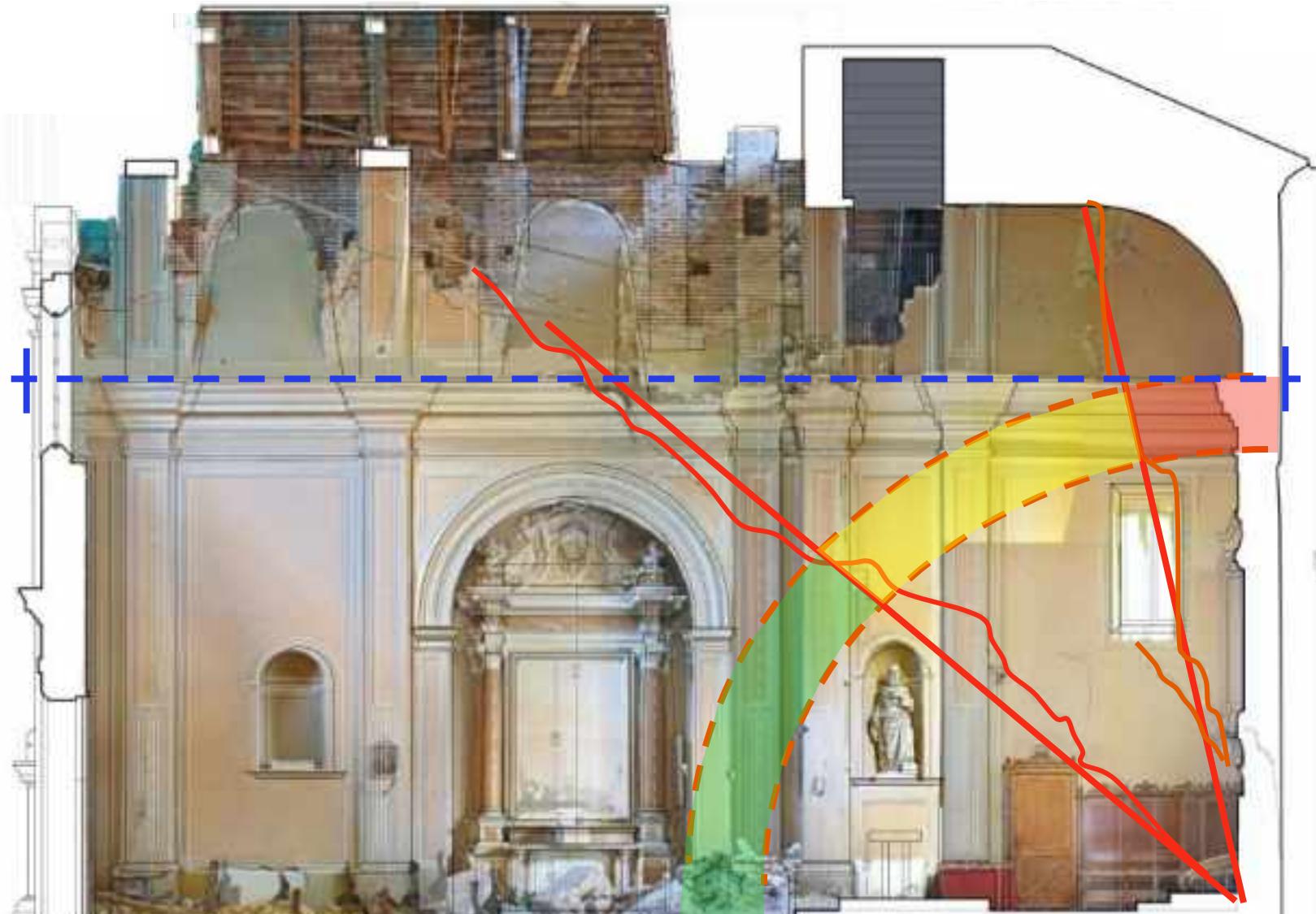
Pompeii – Regio I (Casa del Menandro)
Terremoto del 62 d.C.

Rilievo:

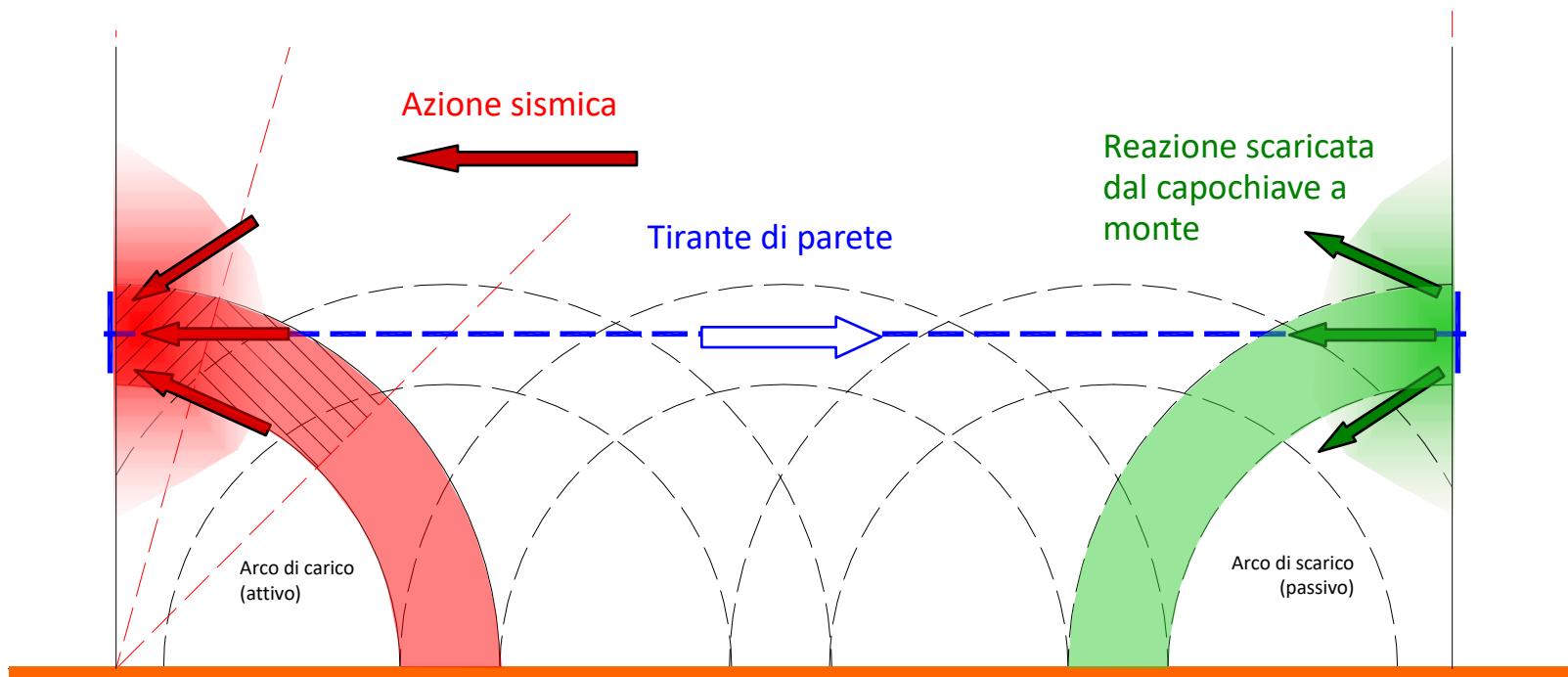
Arch. Valentina Baroncini

Progetto di recupero:

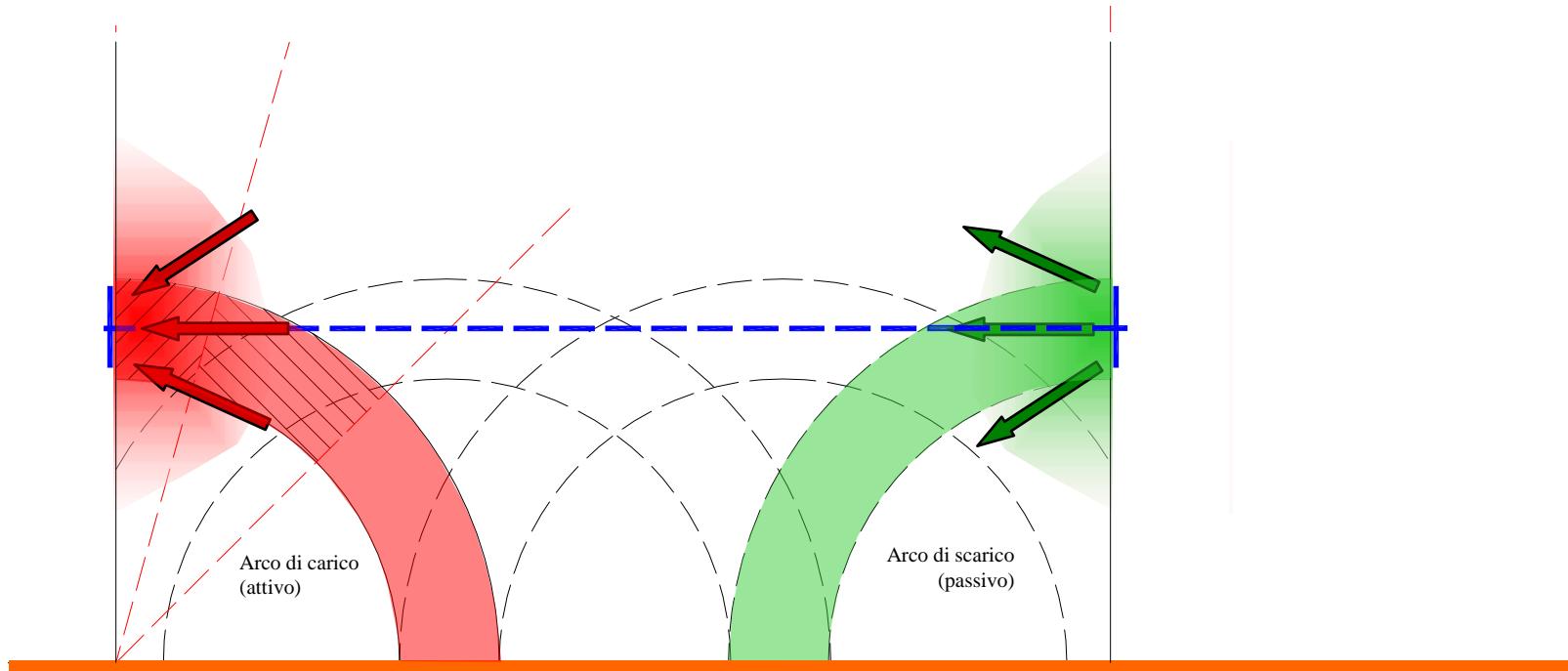
Ing. Paolo Faccio



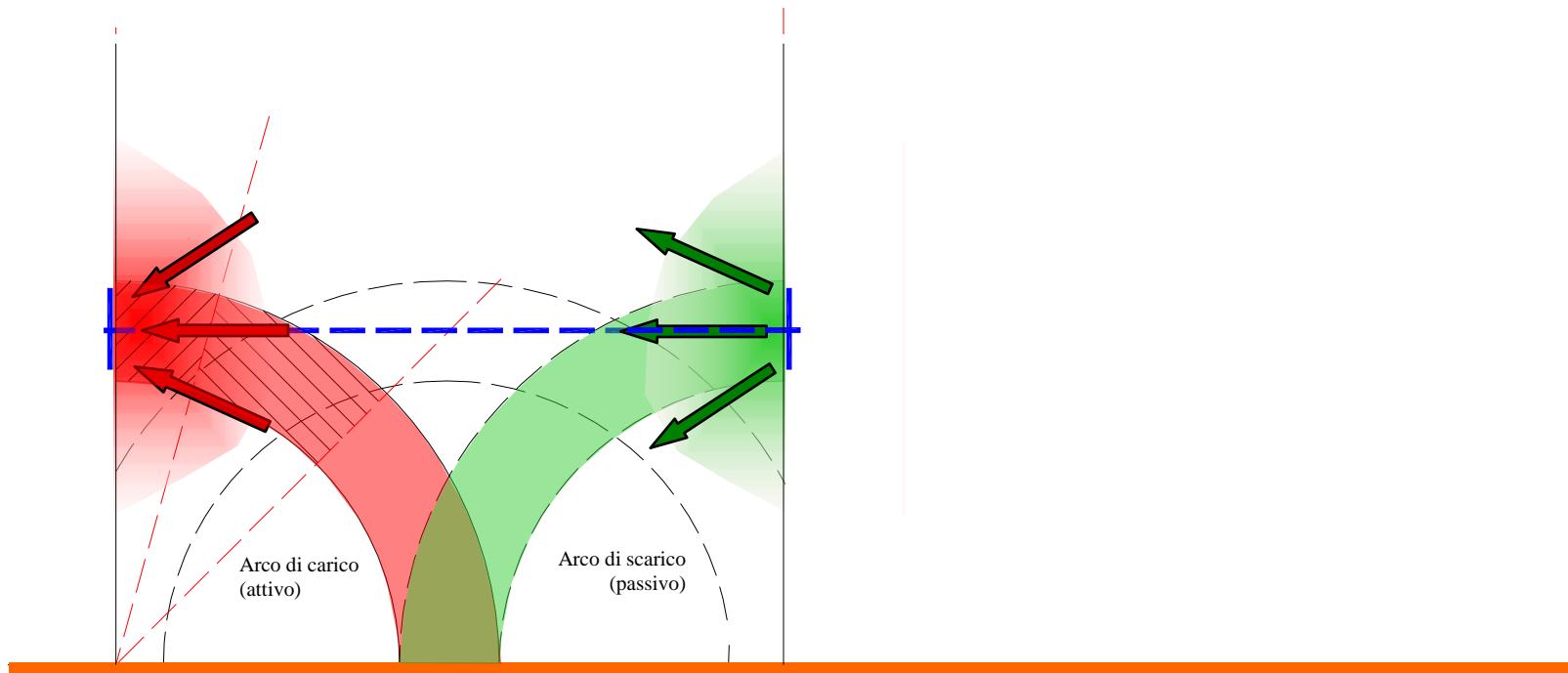
ORATORIO DI SANTA CROCE - SAN FELICE SUL PANARO (MO) - 2018



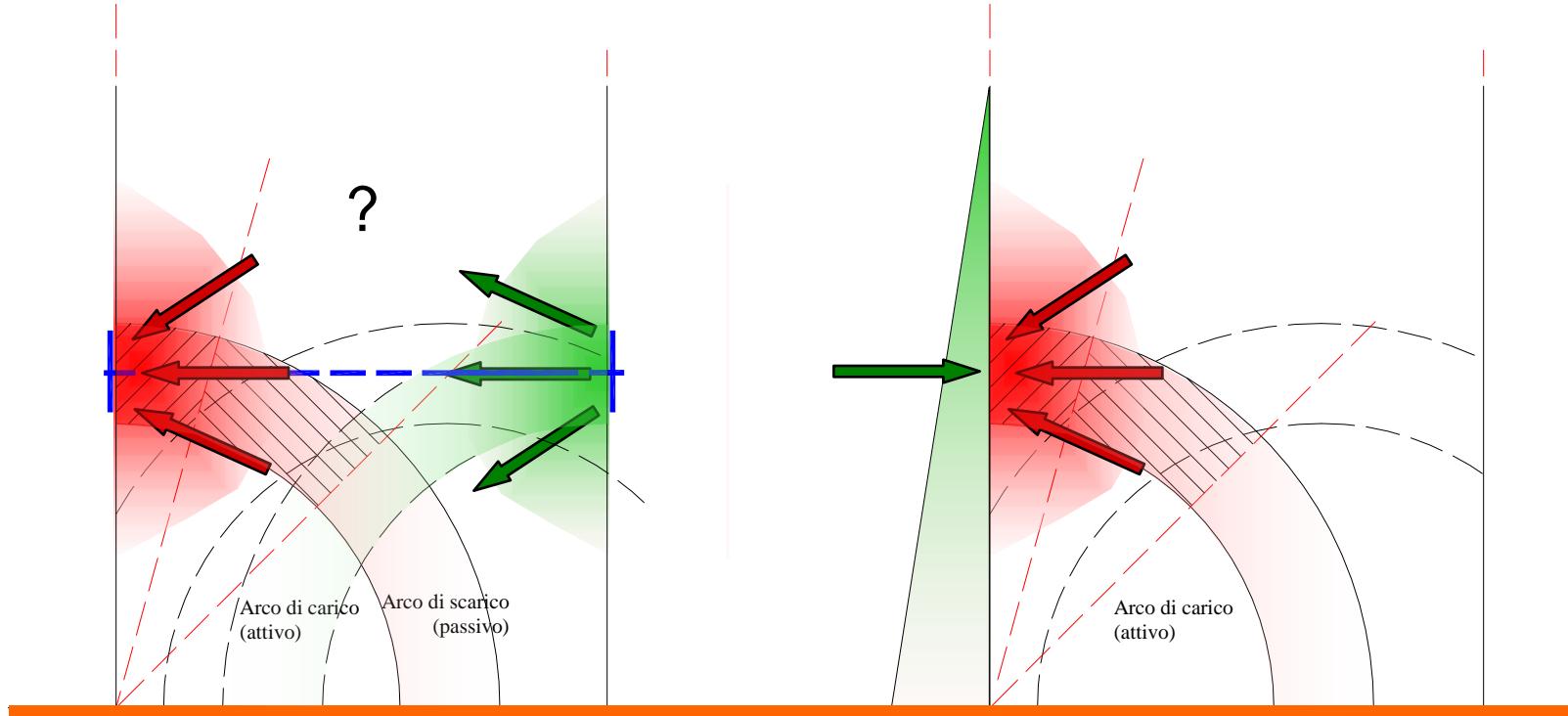
Schema di funzionamento dei tiranti di parete secondo il modello ad archi virtuali



Schema di funzionamento dei tiranti di parete secondo il modello ad archi virtuali

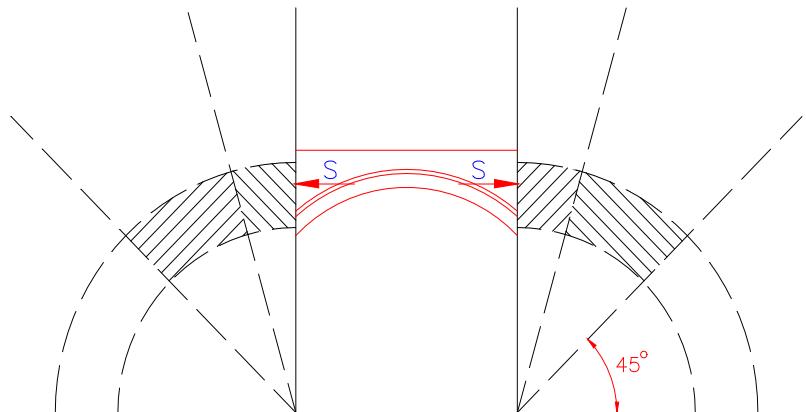


Schema di funzionamento dei tiranti di parete secondo il modello ad archi virtuali
Limite di funzionamento



Schema di funzionamento dei tiranti di parete secondo il modello ad archi virtuali
Limite di funzionamento – Intreccio fra l'arco di carico e l'arco di scarico

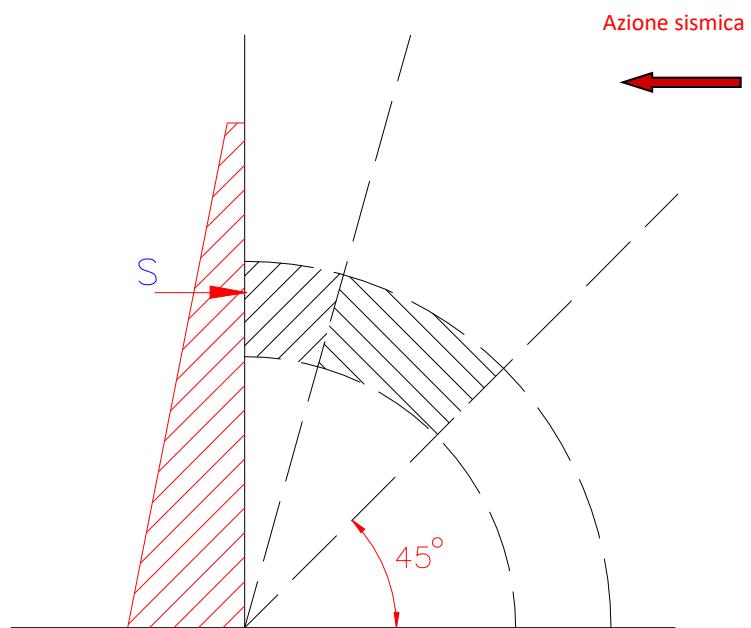
Archi di sbatacchio

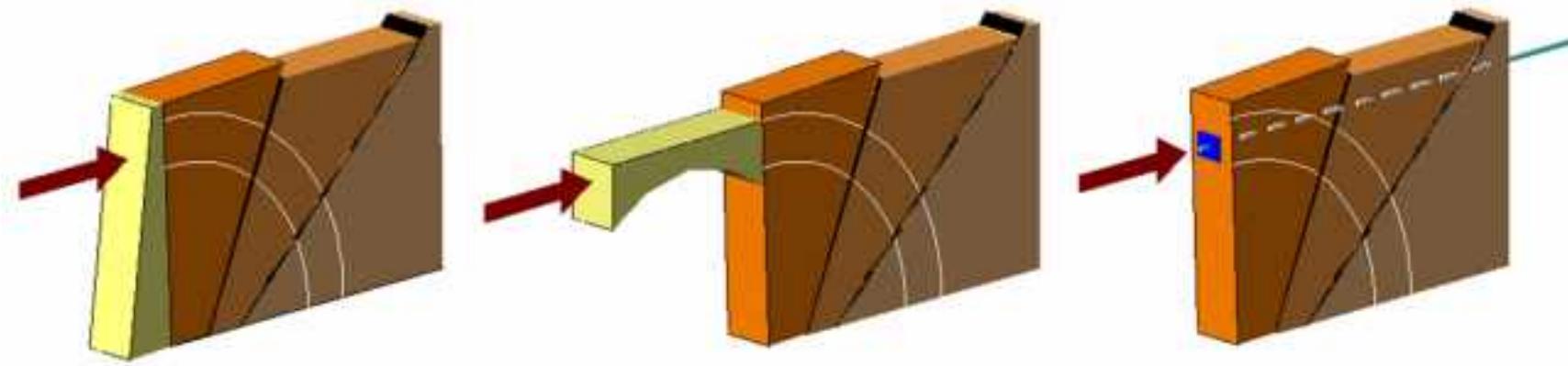


Lugnano (PG), 1917

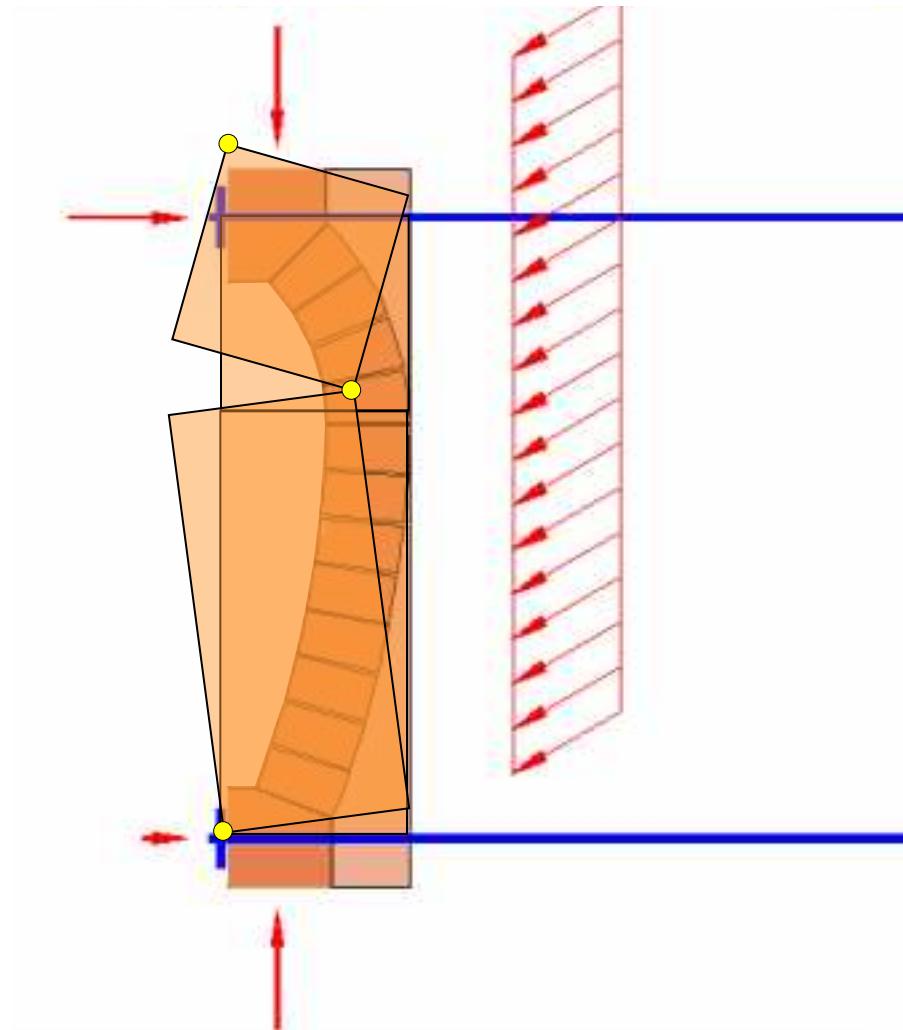
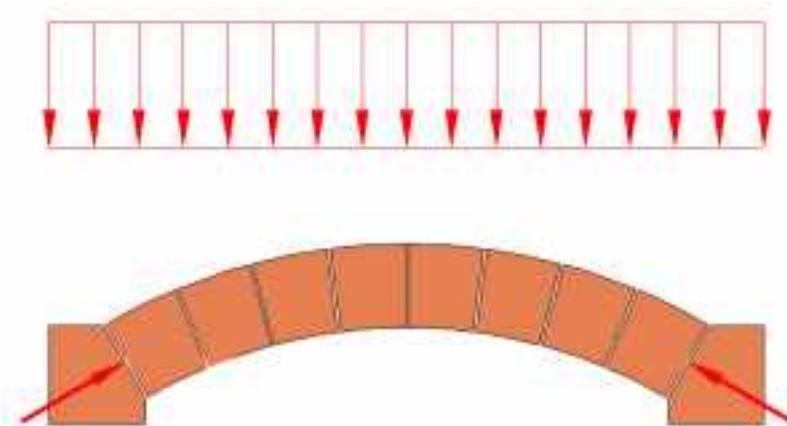
Archi di sbatacchio

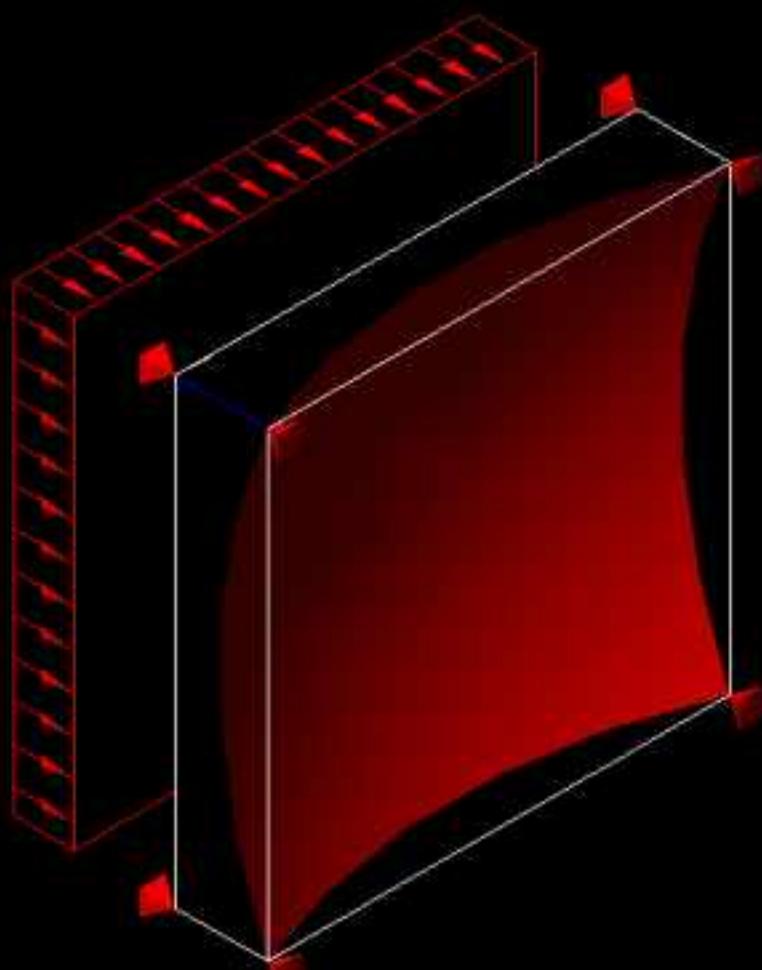


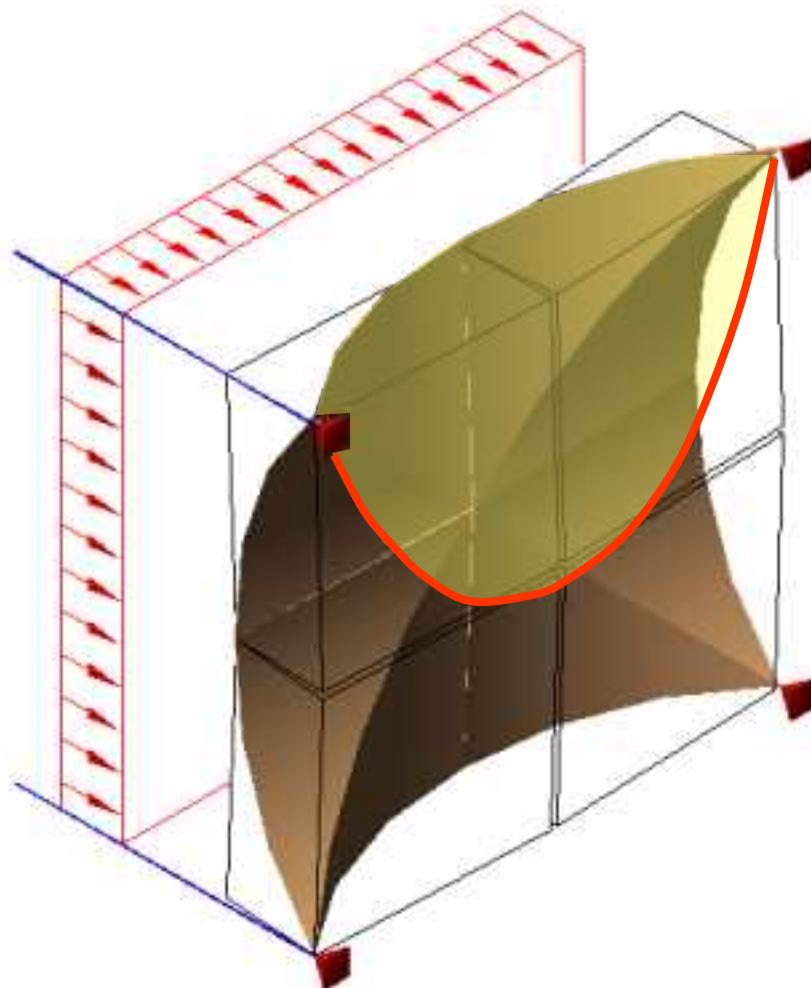


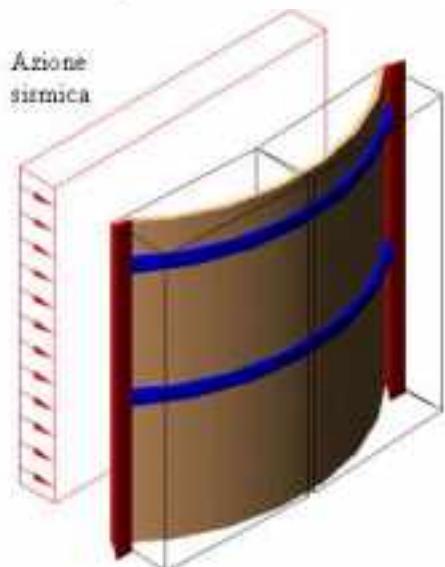
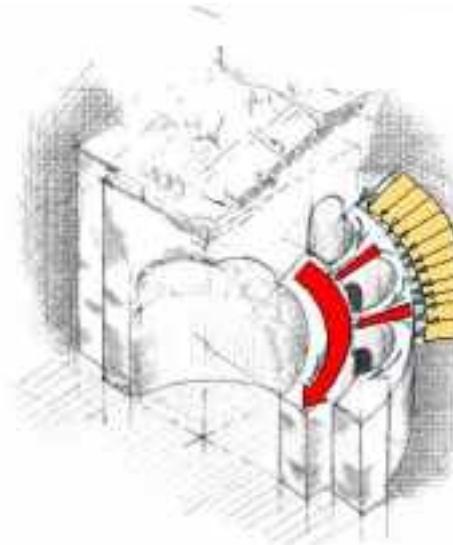
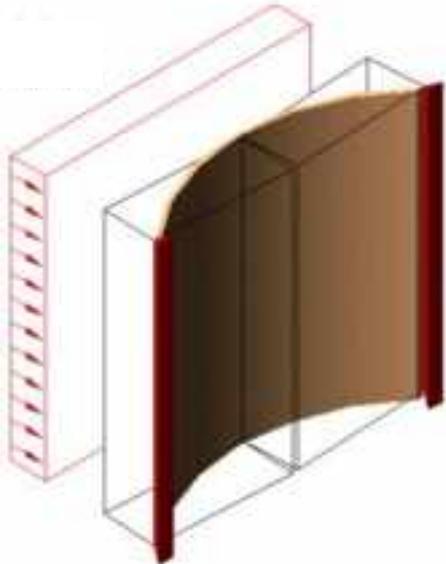


Presidi antisismici tradizionali di provata efficacia











Università
di Catania



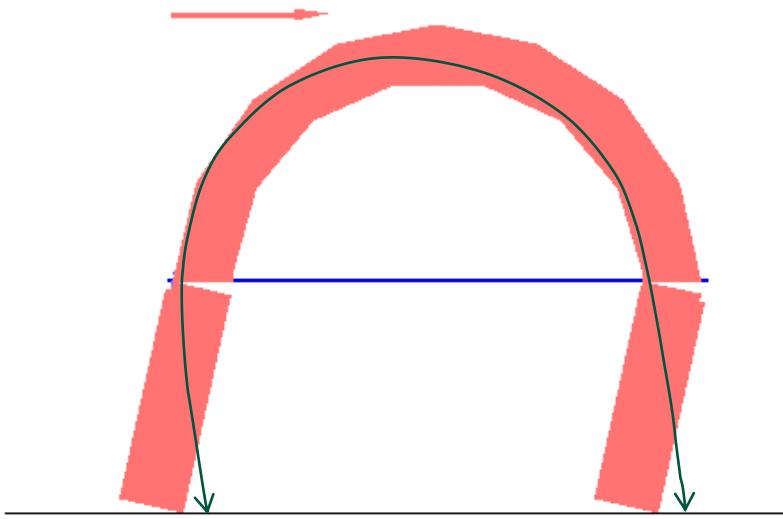
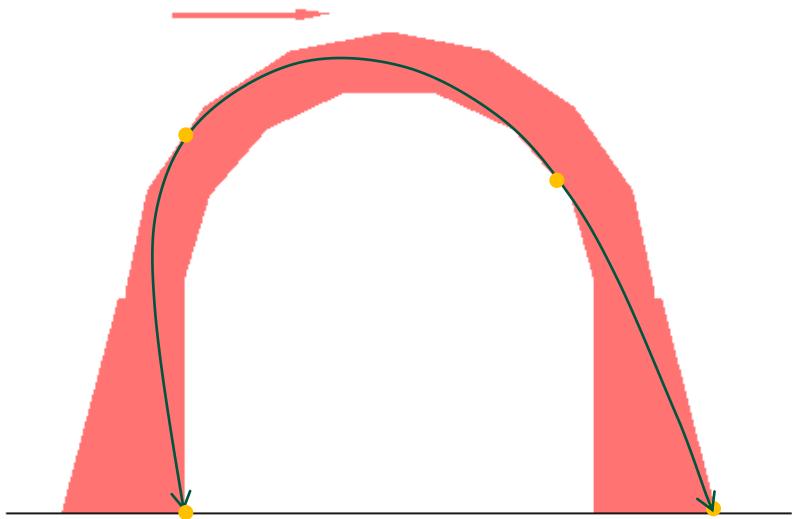
THE CYPRUS
INSTITUTE

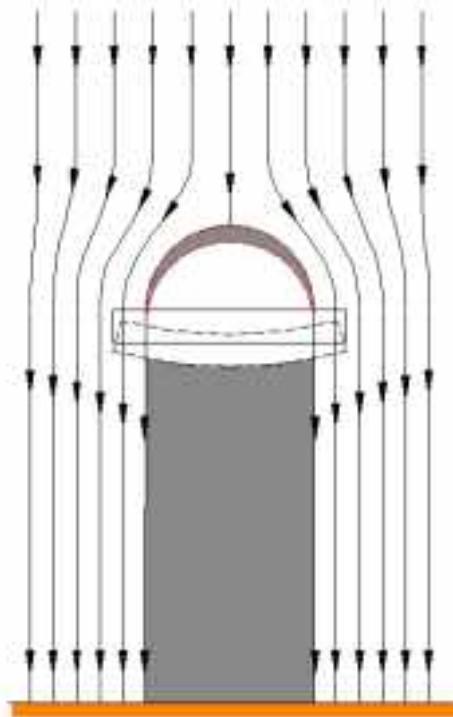


E-RIHS.it
EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURE
FOR HERITAGE SCIENCE

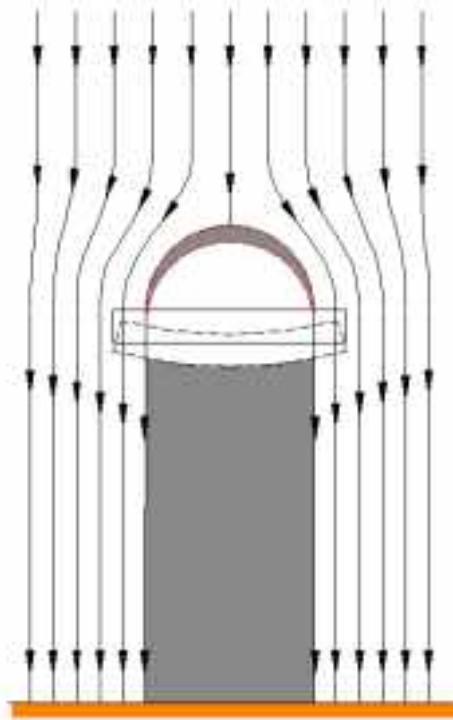
Meccanica degli archi e delle volte



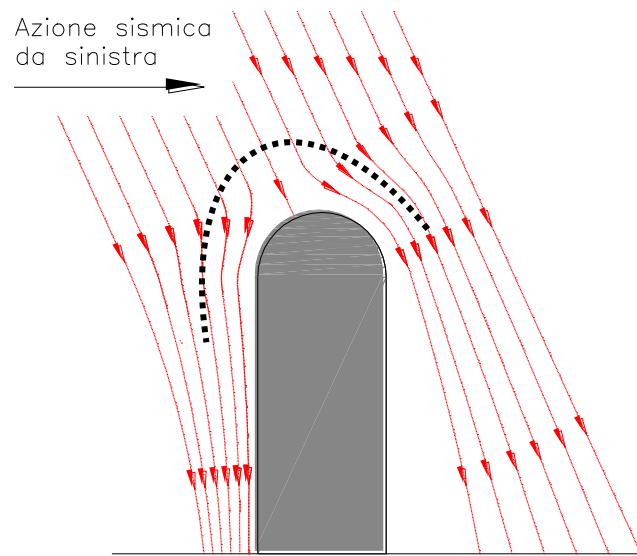




Variazione dei flussi di compressione e innescio di quadri fessurativi nella muratura
in conseguenza dell'inflessione o dell'assestamento di architravi agli appoggi

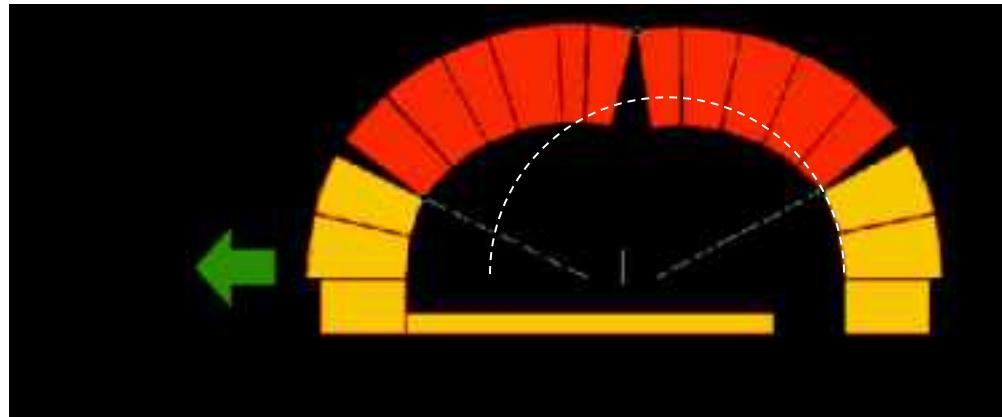


Variazione dei flussi di compressione e innesto di quadri fessurativi nella muratura
in conseguenza dell'inflessione o dell'assestamento di architravi agli appoggi

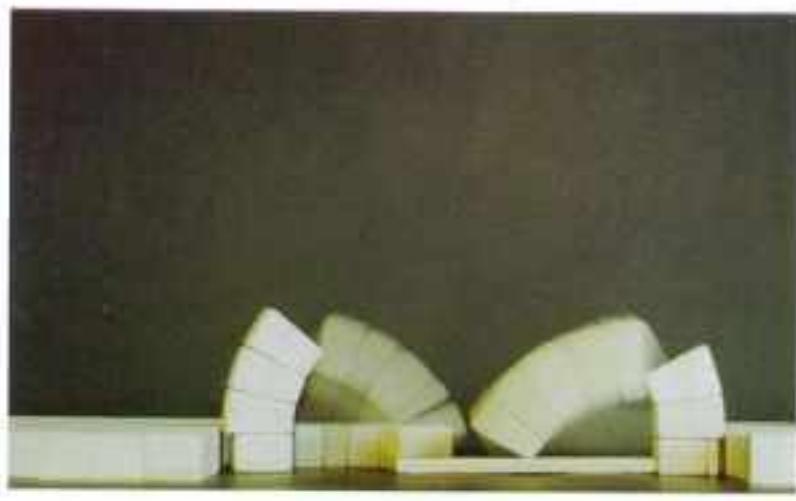
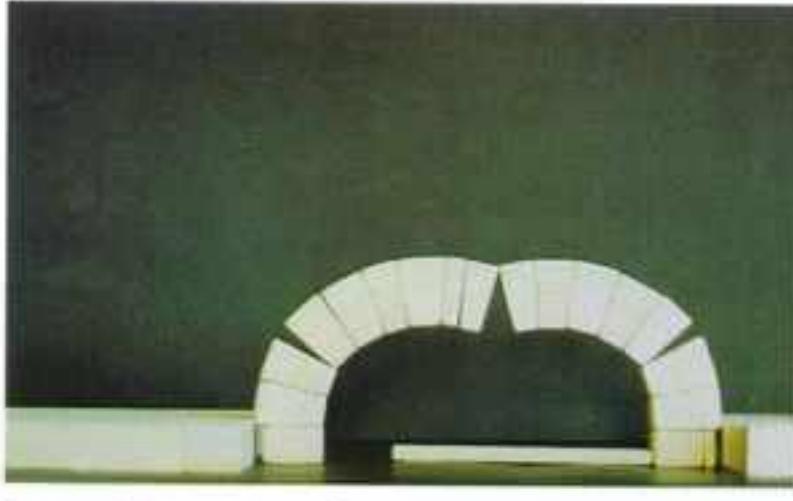


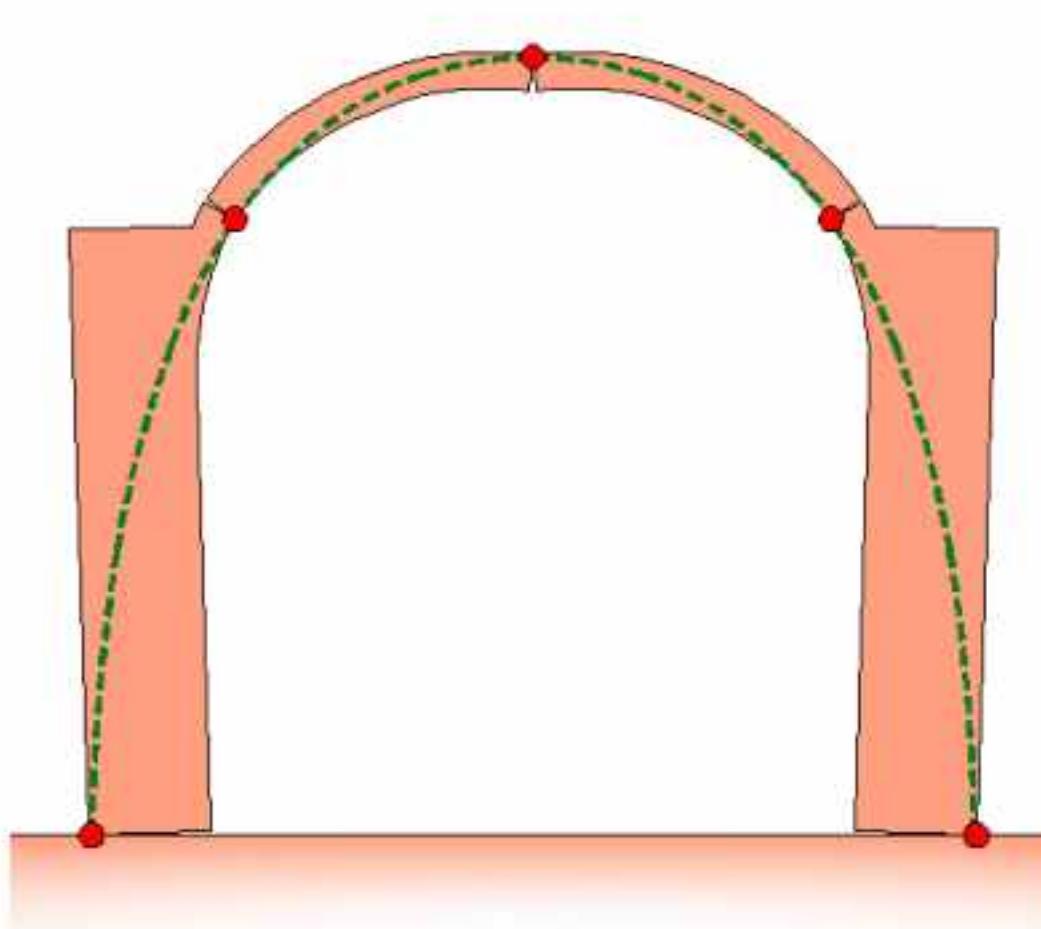
Diffusione di flussi tensionali in presenza di aperture con archi in condizioni statiche e sismiche.

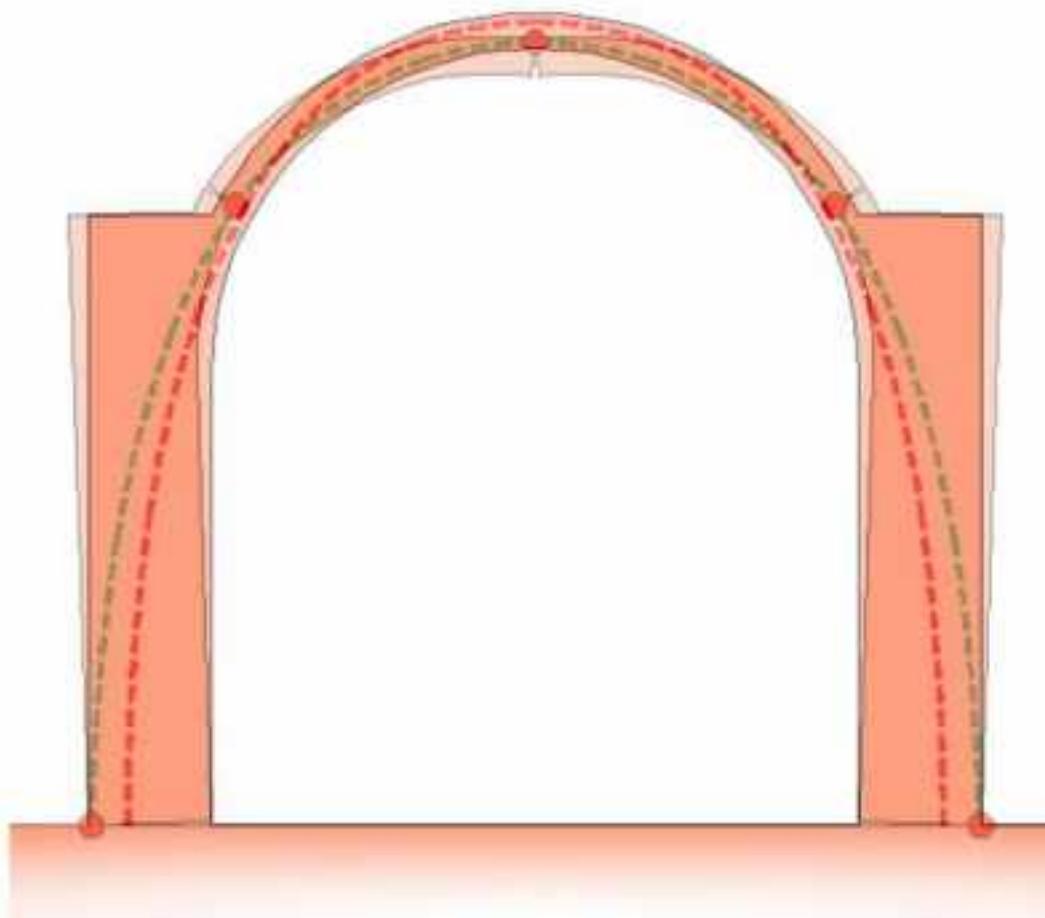
Dissesti di archi e volte Meccanismo di rottura a flessione

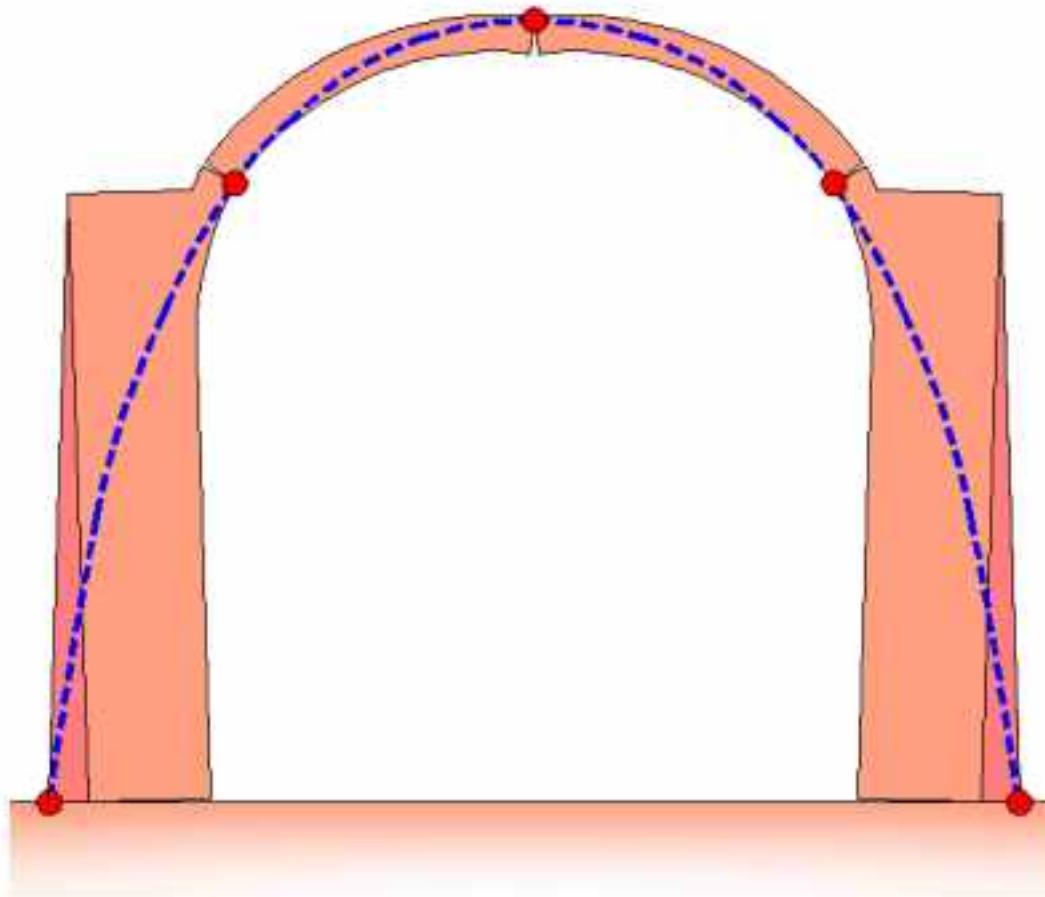


ALLONTAMENTO DELLE IMPOSTE E ROTAZIONE DEI CONCI SU ARCHI LIBERI

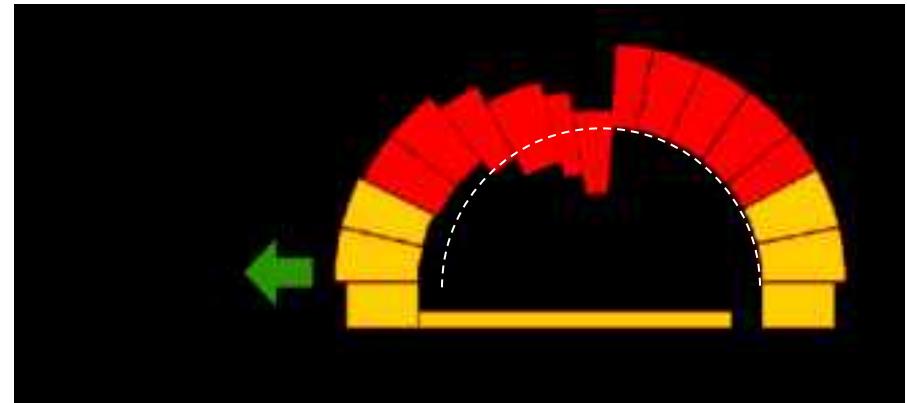




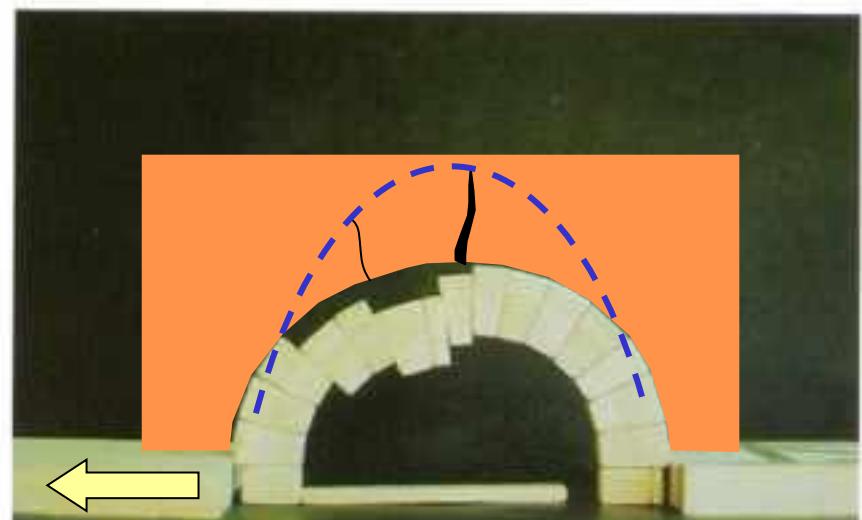
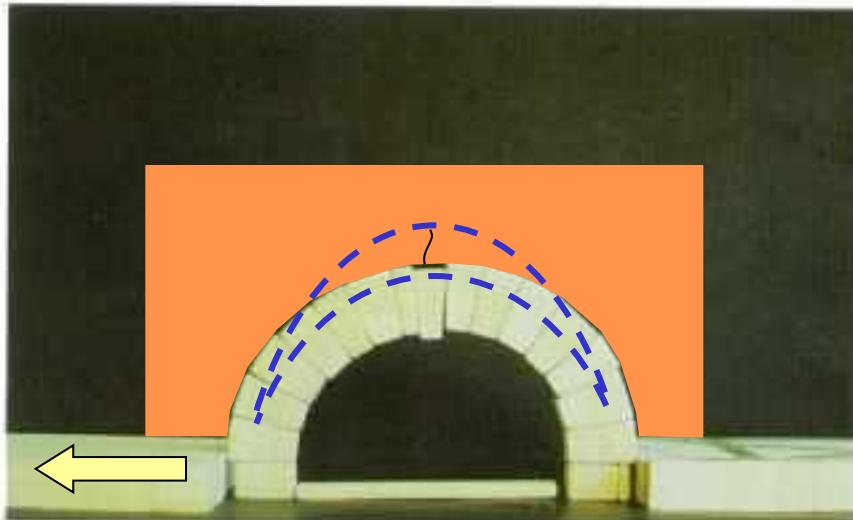




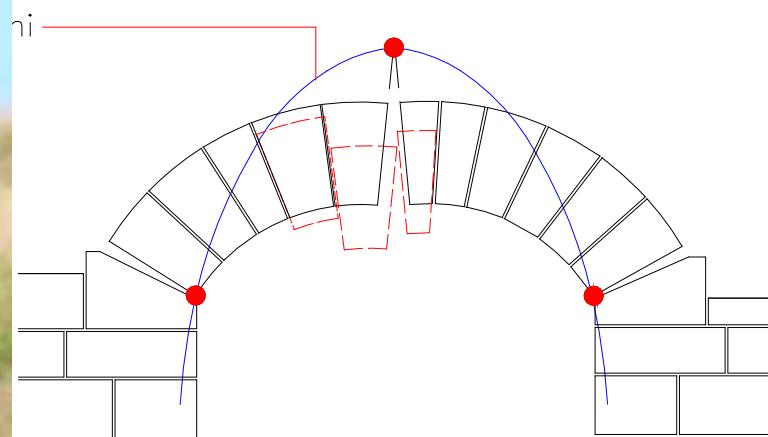
Dissesti di archi e volte Meccanismo di rottura a taglio



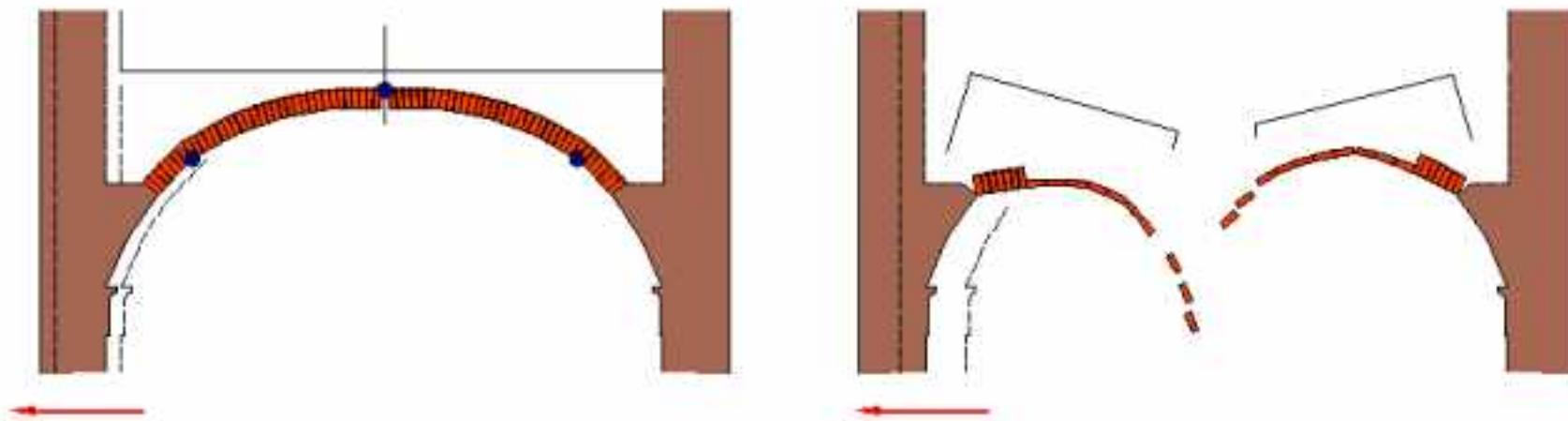
ALLONTANAMENTO DELLE IMPOSTE E SCORRIMENTO DEI CONCI

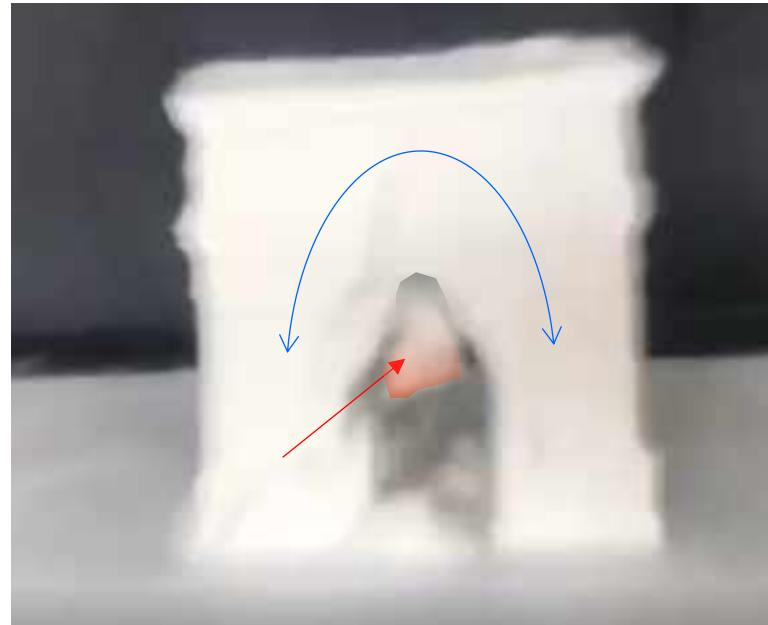


Meccanismi di danno a confronto



Rottura a flessione e taglio





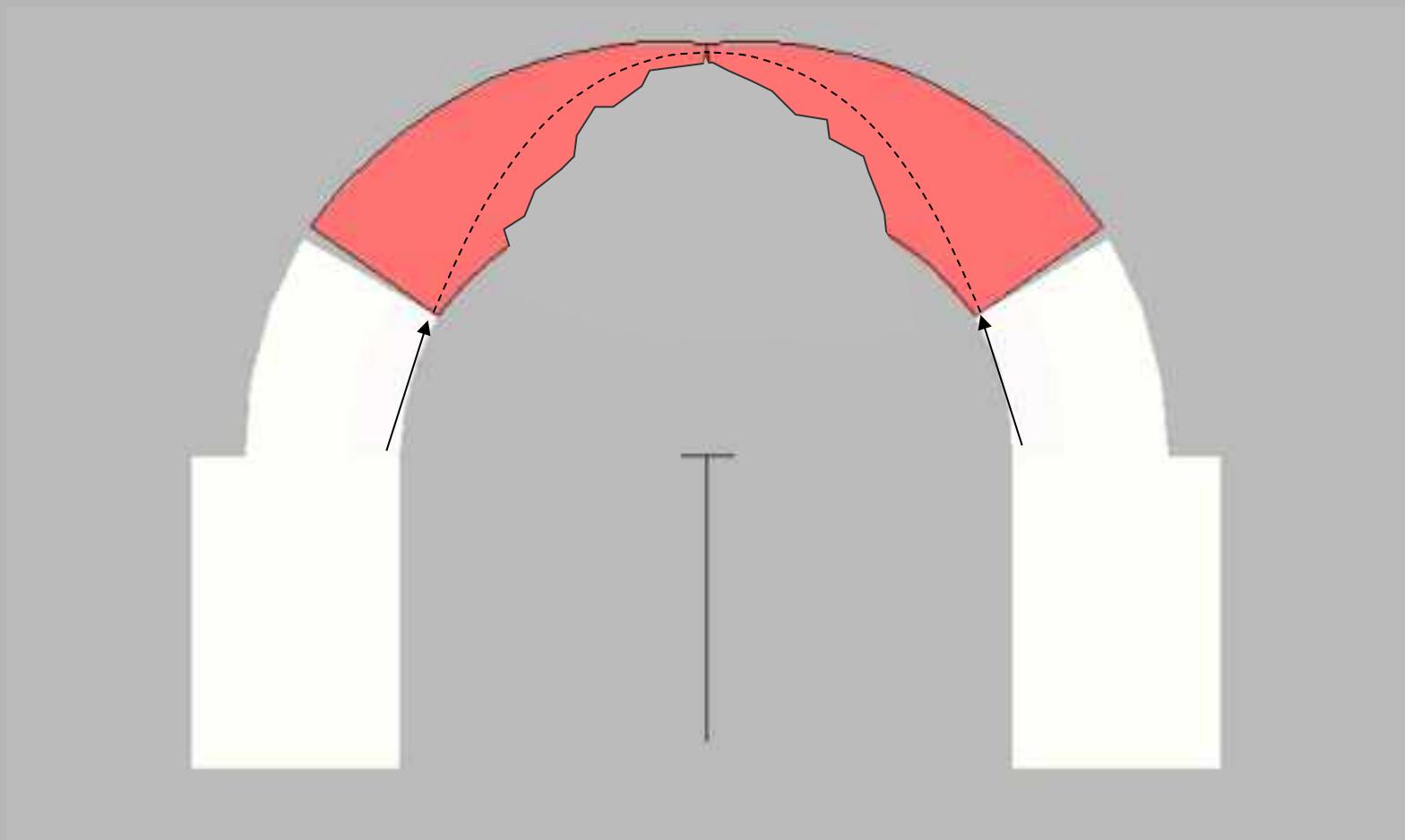
Allentamento di archi sotto l'effetto del sisma con distacco in chiave
Simulazione del comportamento sismico dinamico di un modello di farina



CDMX – Nostra Signora degli Angeli (Sisma sett. 2017)



CDMX – Nostra Signora degli Angeli (Sisma sett. 2017)





Università
di Catania



THE CYPRUS
INSTITUTE

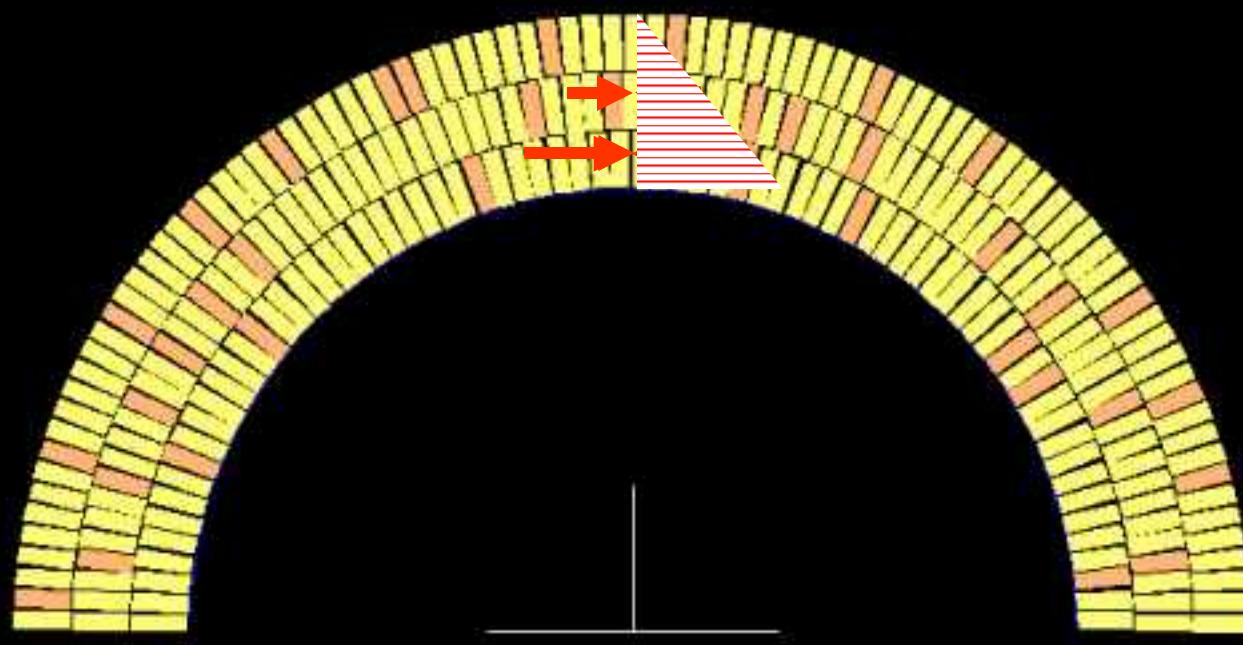


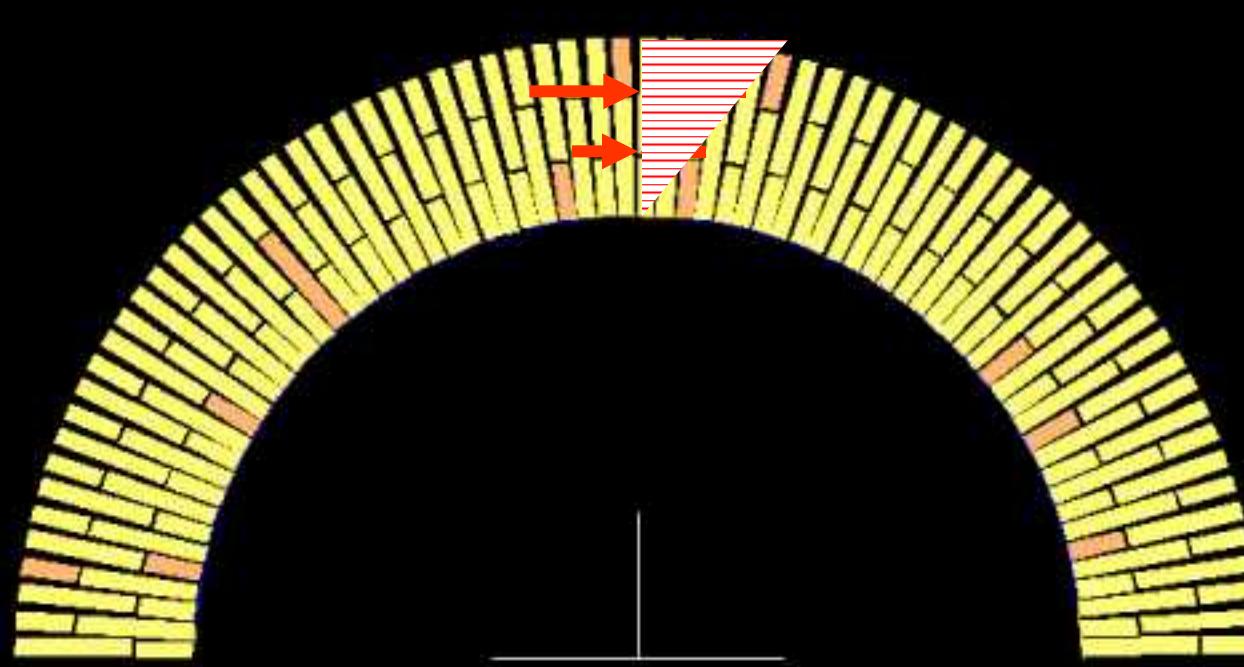
UIH Lab
The Urban Institute of Heritage Science

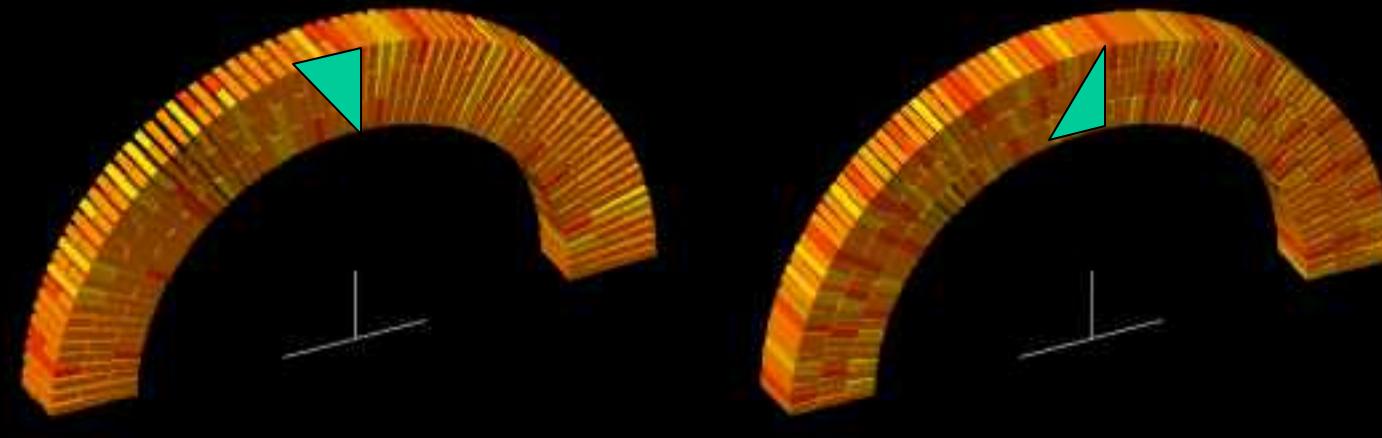


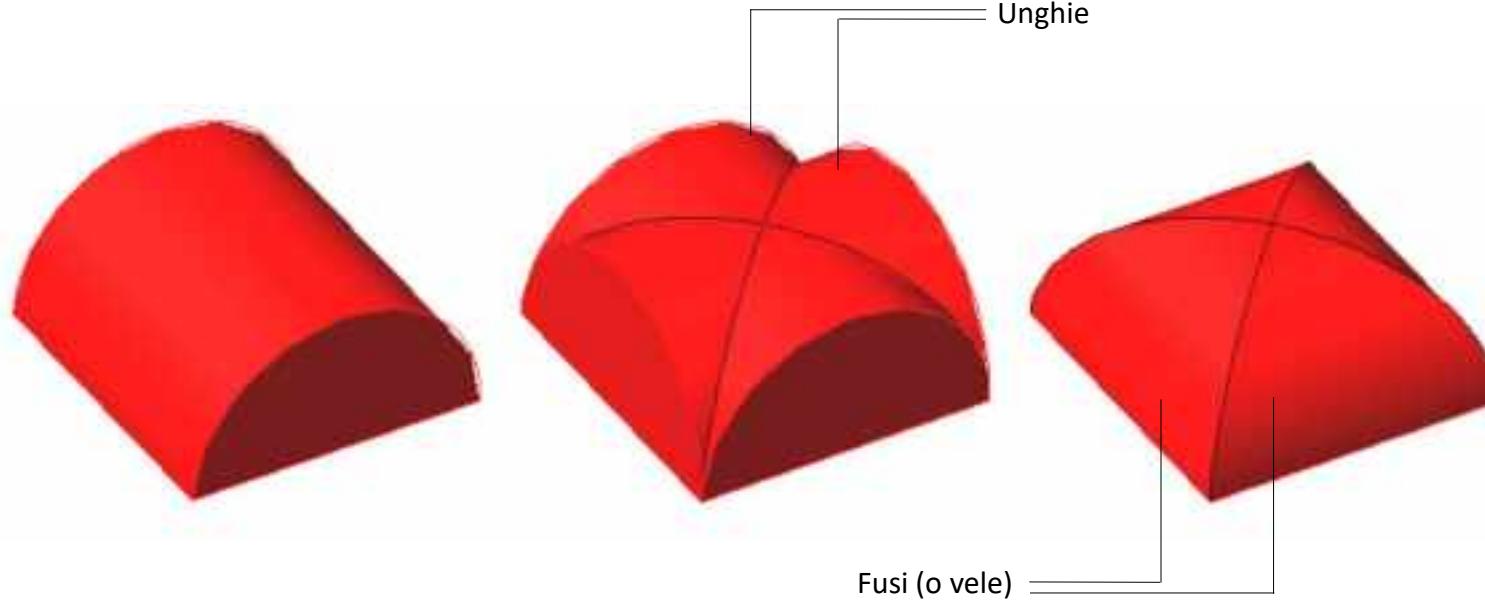
E-RIHS.it
EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURE
FOR HERITAGE SCIENCE











Volta a botte con profilo
a tutto sesto

Volta a crociera ottenuta
dall'unione di due volte a botte

Volta a padiglione ottenuta
dall'intersezione di volte a botte

Classificazione di soffitti a volta secondo tipologie canoniche



a) Volta a botte
 $V_b = 13,41 \text{ mc}$



b) Volta a crociera
 $V_c = 5,99 \text{ mc}$



c) Volta a padiglione
 $V_p = 20,83 \text{ mc}$

Caratteristiche geometriche e dimensionali di alcuni tipi di volte – I volumi strutturali si riferiscono a volte a tutto sesto impostate su ambienti a pianta quadrata con lato di ml 5



Unghia o lunetta
 $V_l = 3,71 \text{ mc}$

$$V_c = V_b - 2V_l; \quad V_p = V_b + 2V_l$$



Università
di Catania



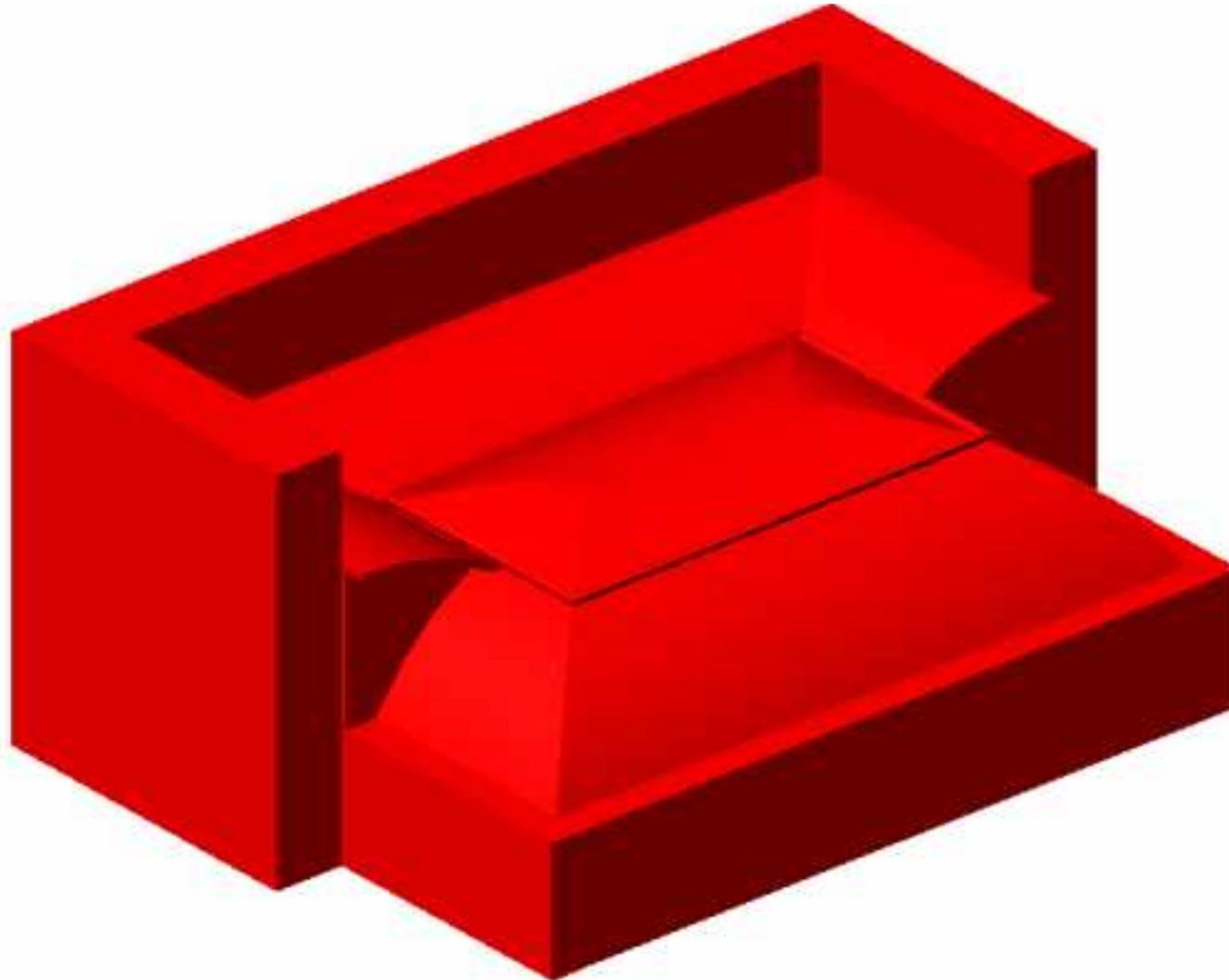
THE CYPRUS
INSTITUTE

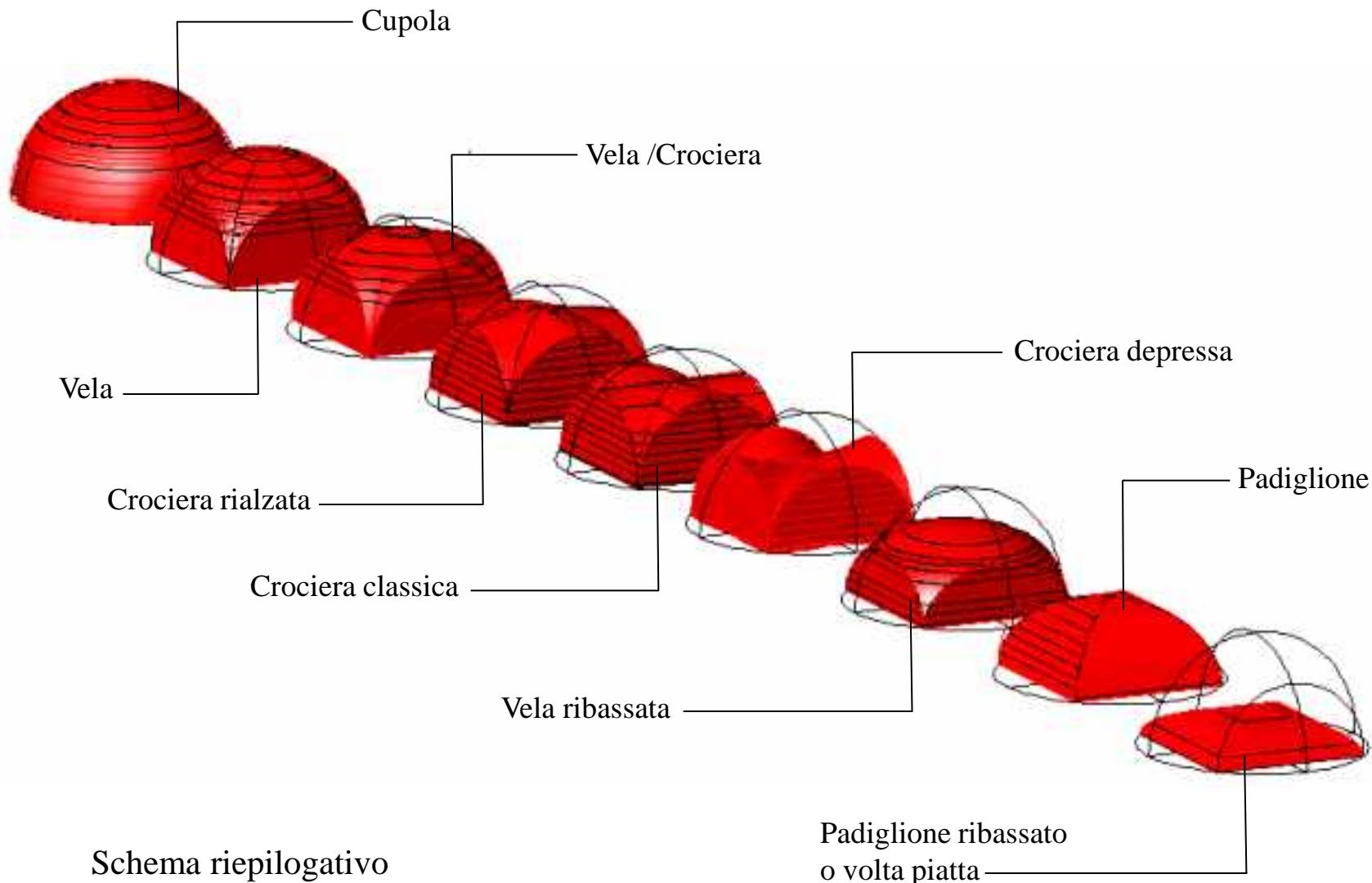


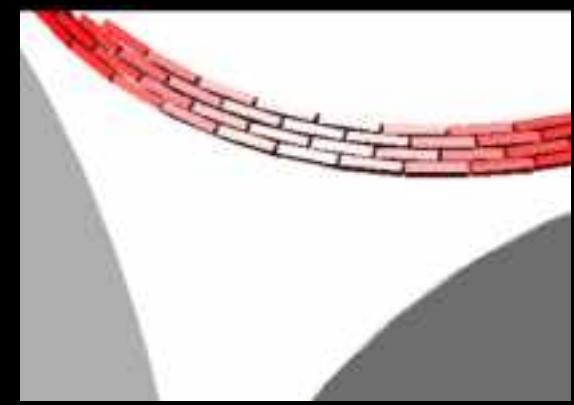
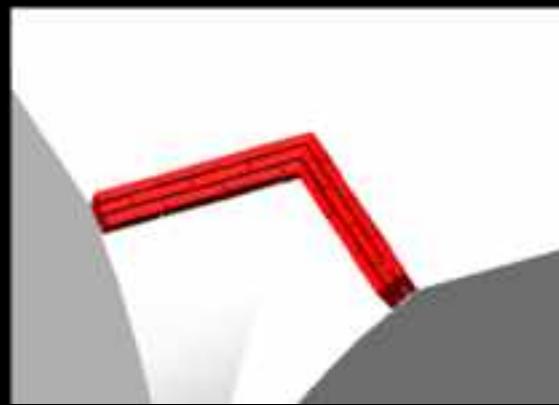
UIH Lab
The Urban Institute of Heritage Science

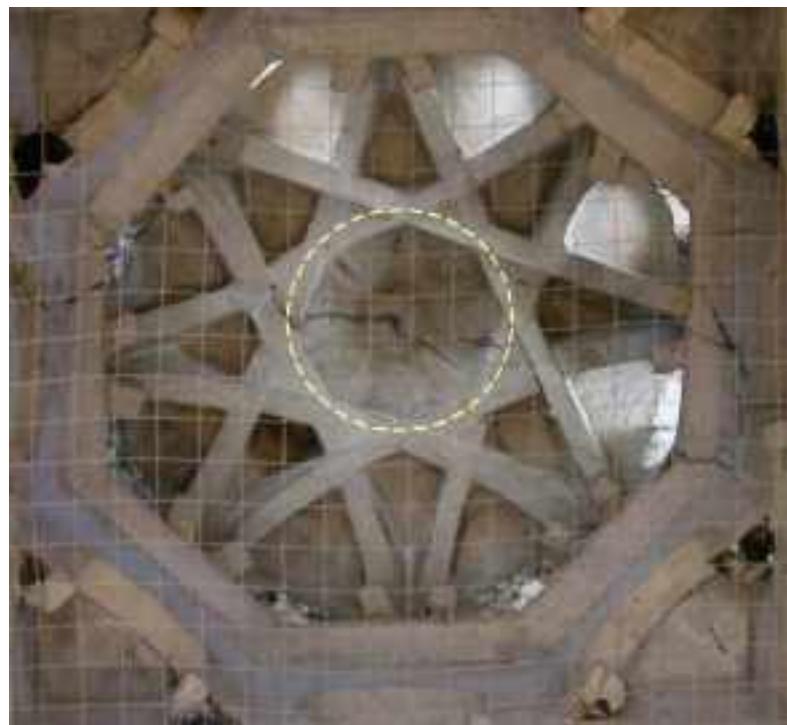


E-RIHS.it
EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURE
FOR HERITAGE SCIENCE





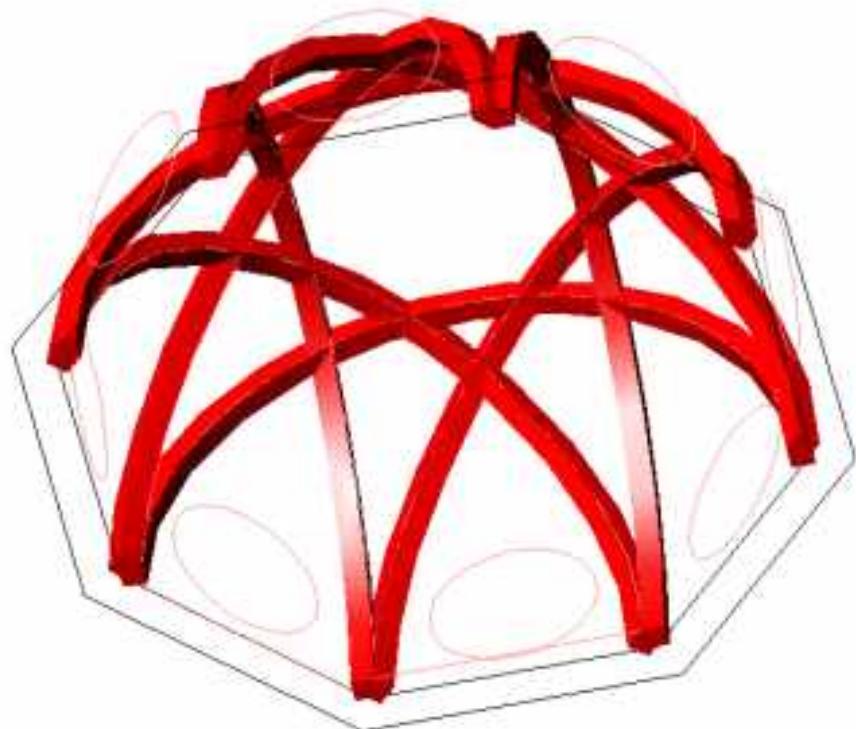




Toledo, Mezquita del Cristo de la Luz (X sec.) - Foto G. Afani



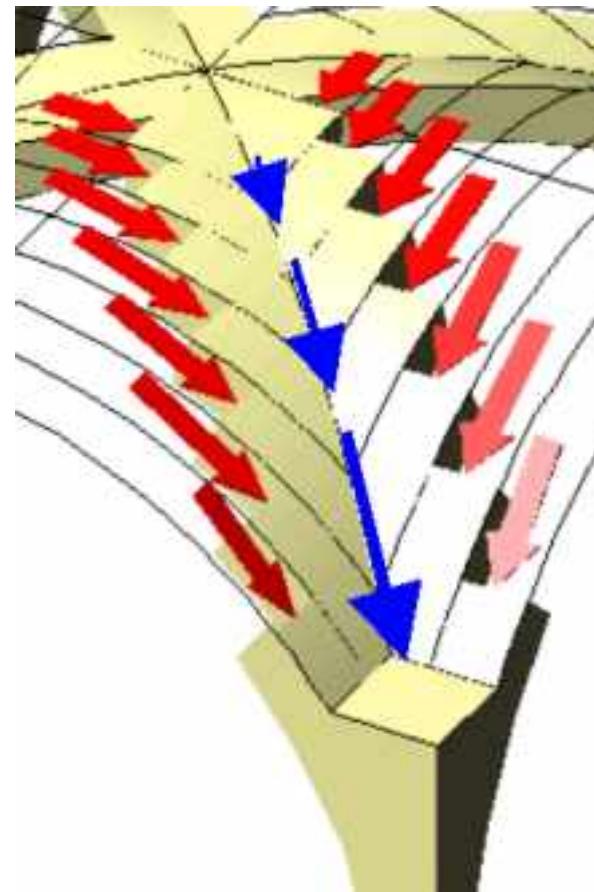
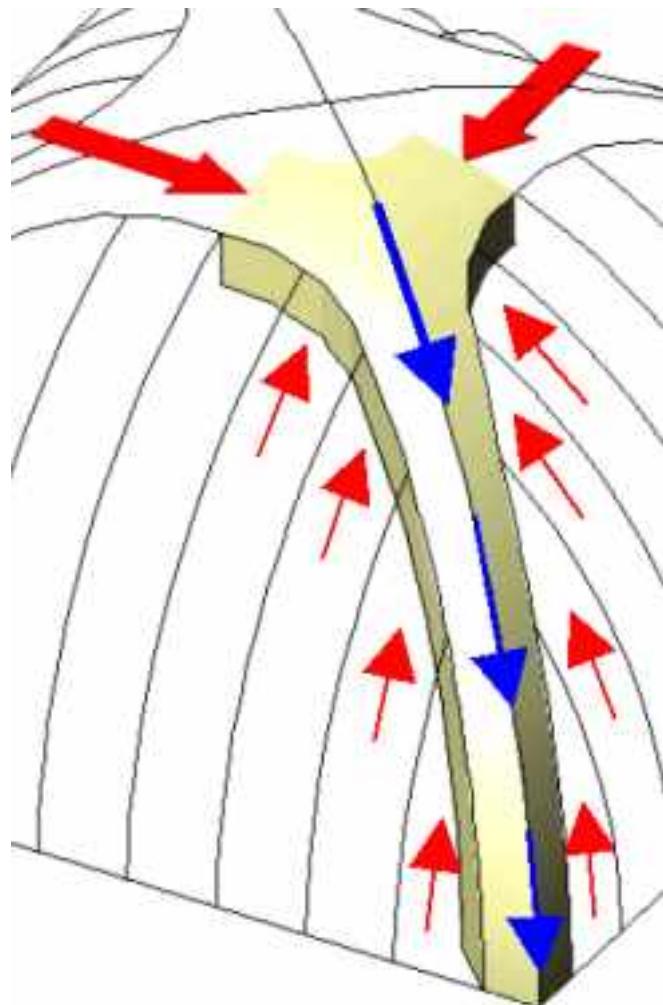
Torino, Cupola del Guarini nella chiesa di San Lorenzo

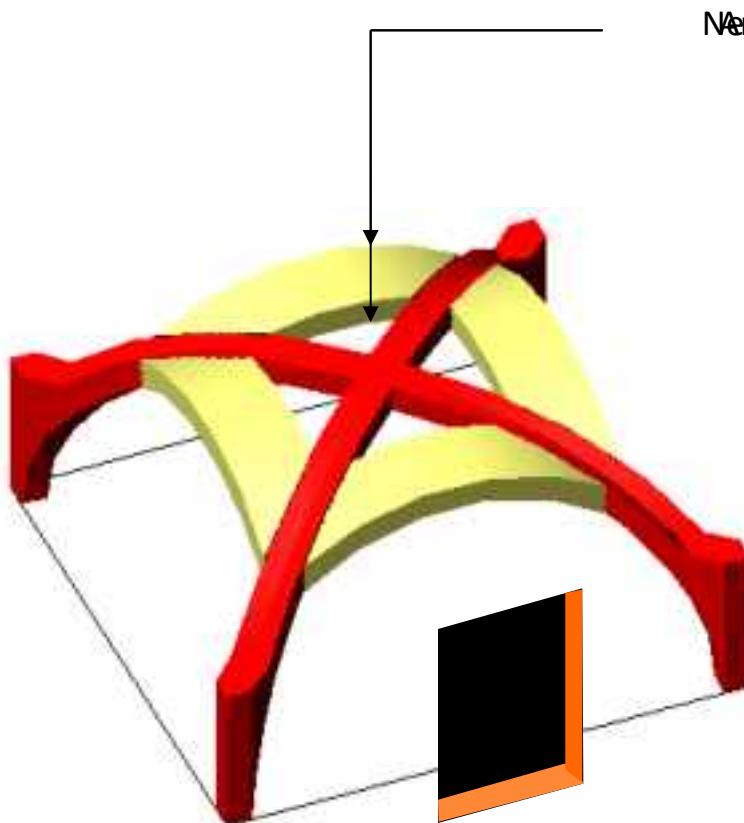


Schema strutturale

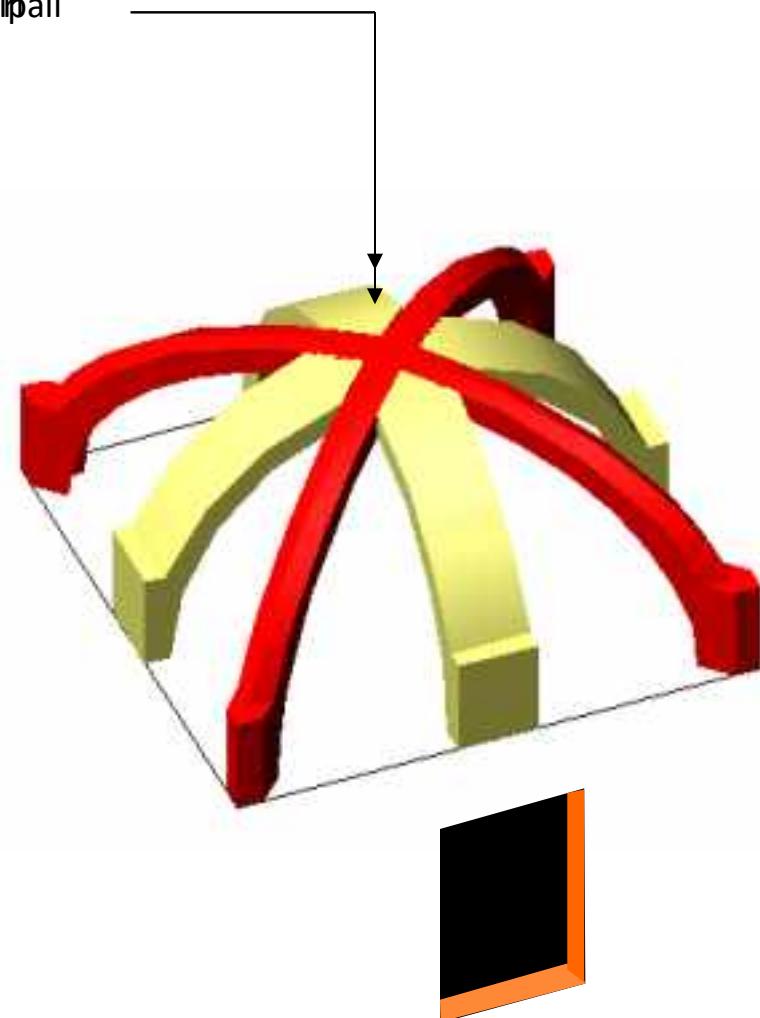


Torino, Cupola del Guarini nella chiesa di San Lorenzo





Nerchia sopra i pilastri





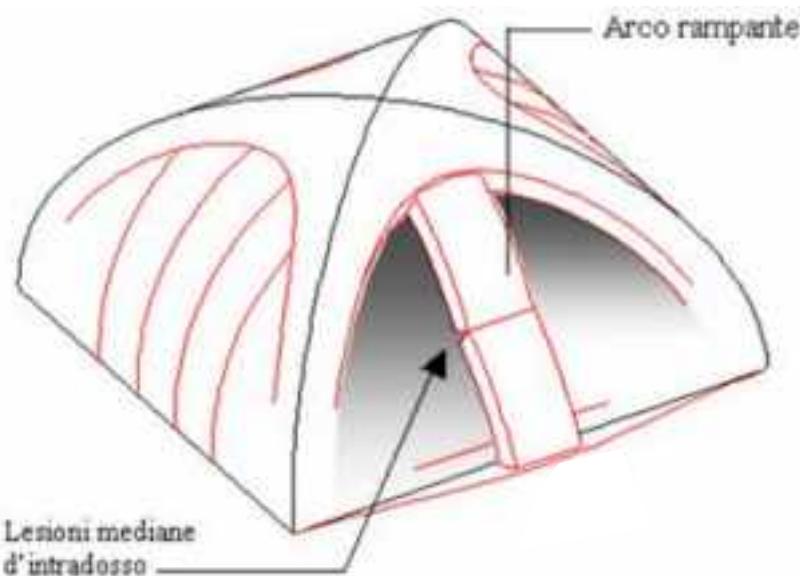
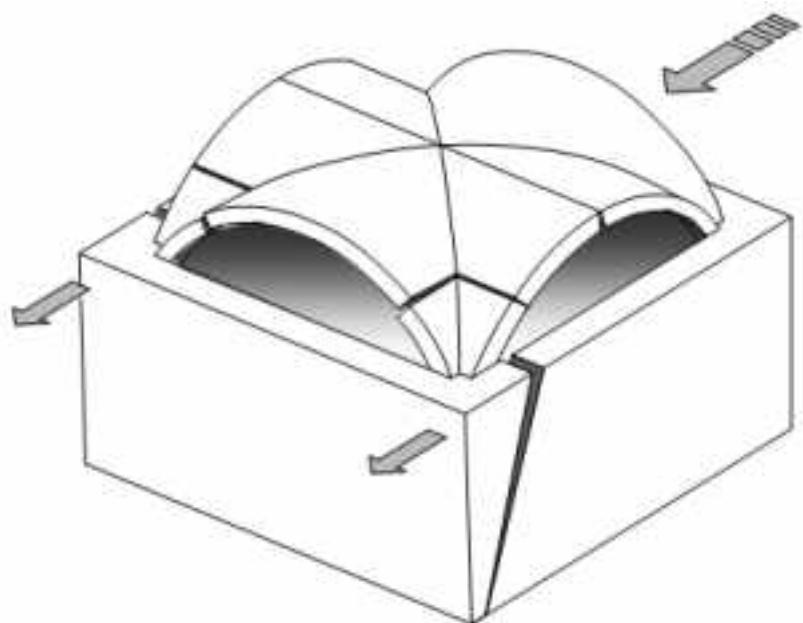
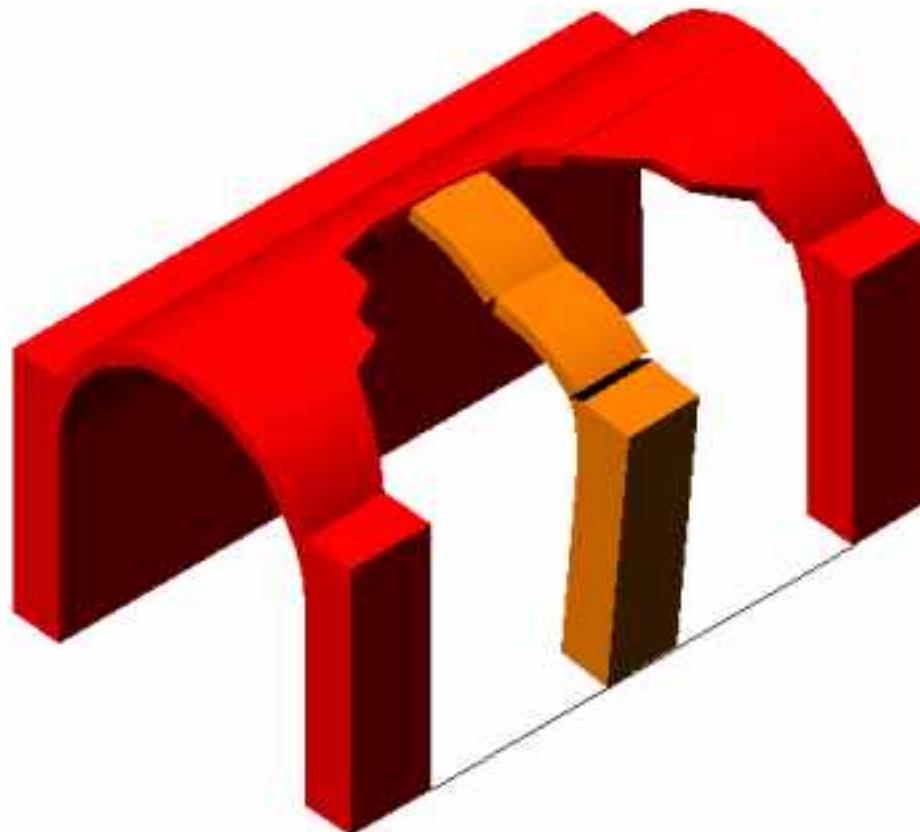


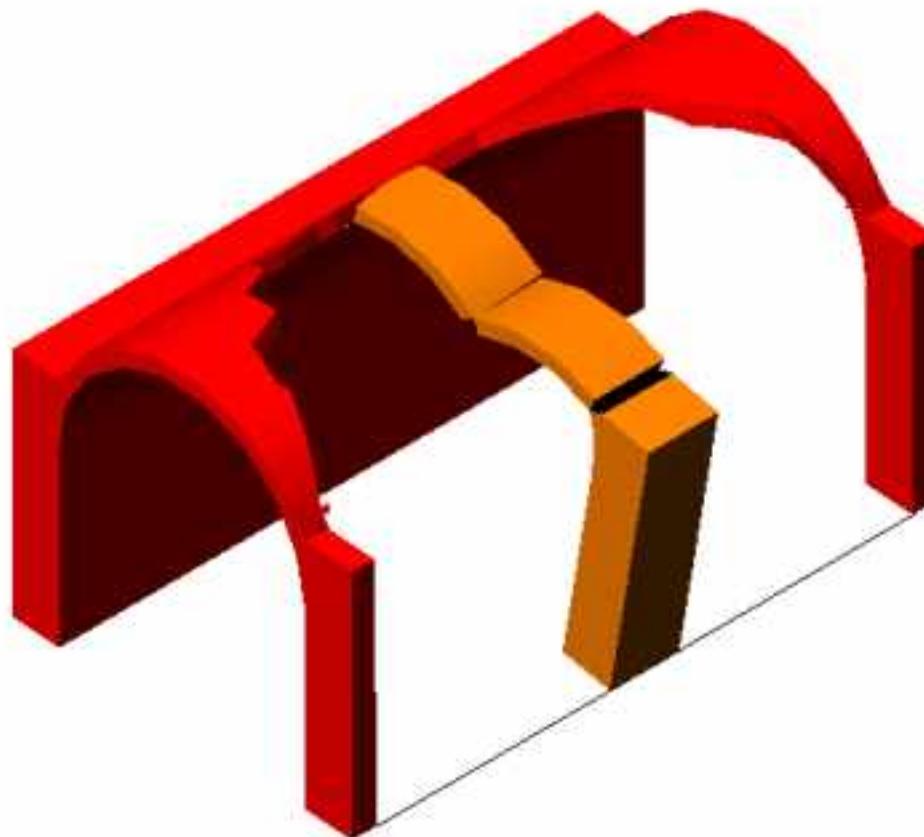


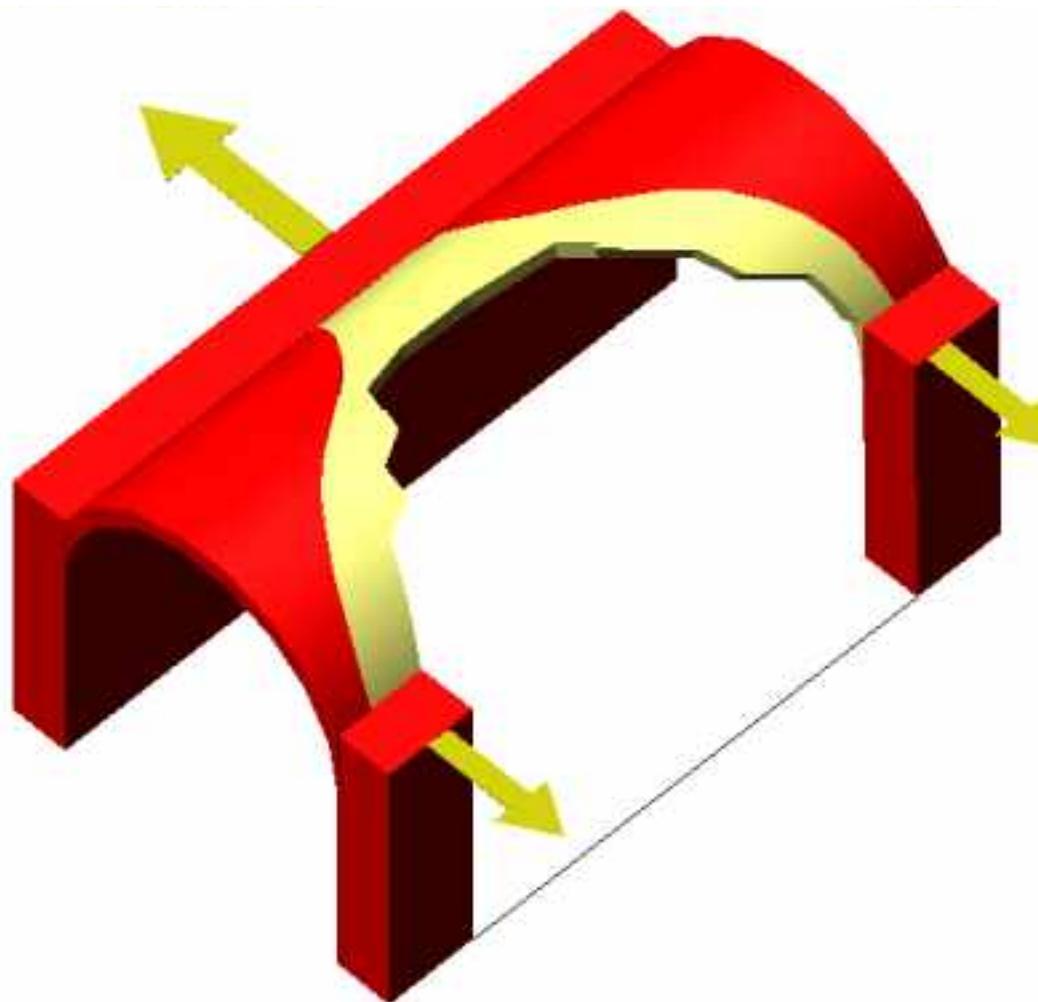
Foto: A. Borri

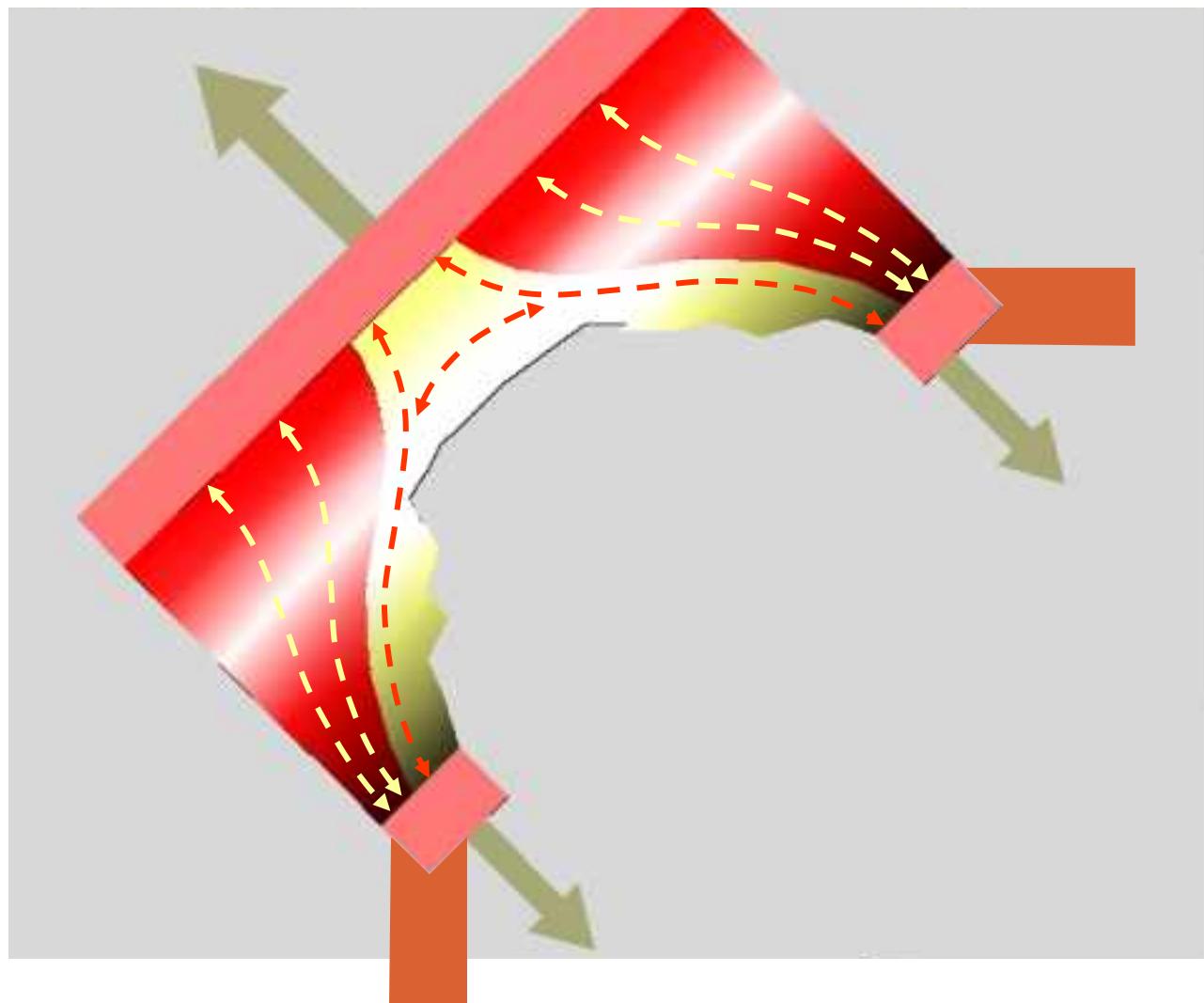


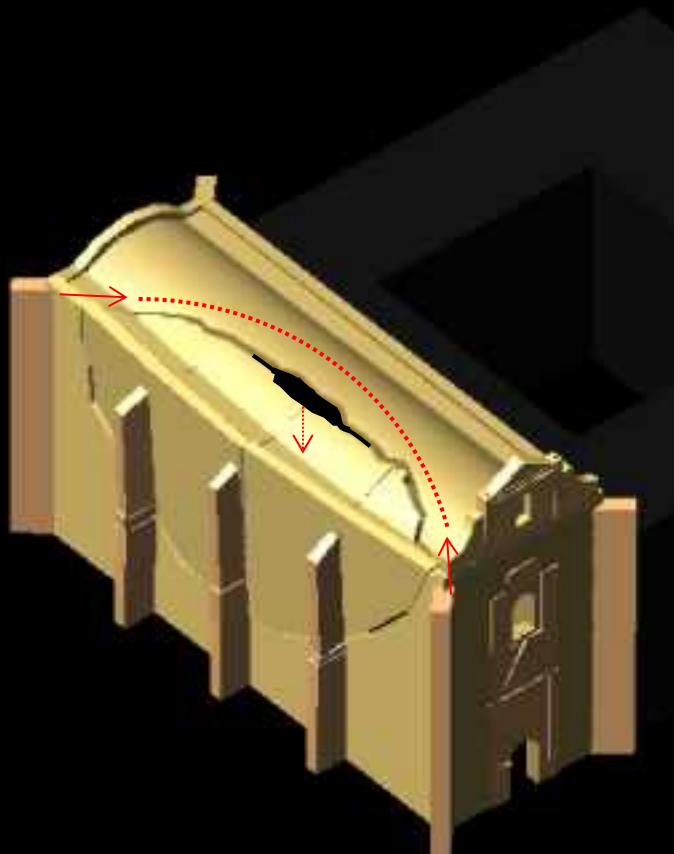
Foto: A. Borri













Università
di Catania



THE CYPRUS
INSTITUTE

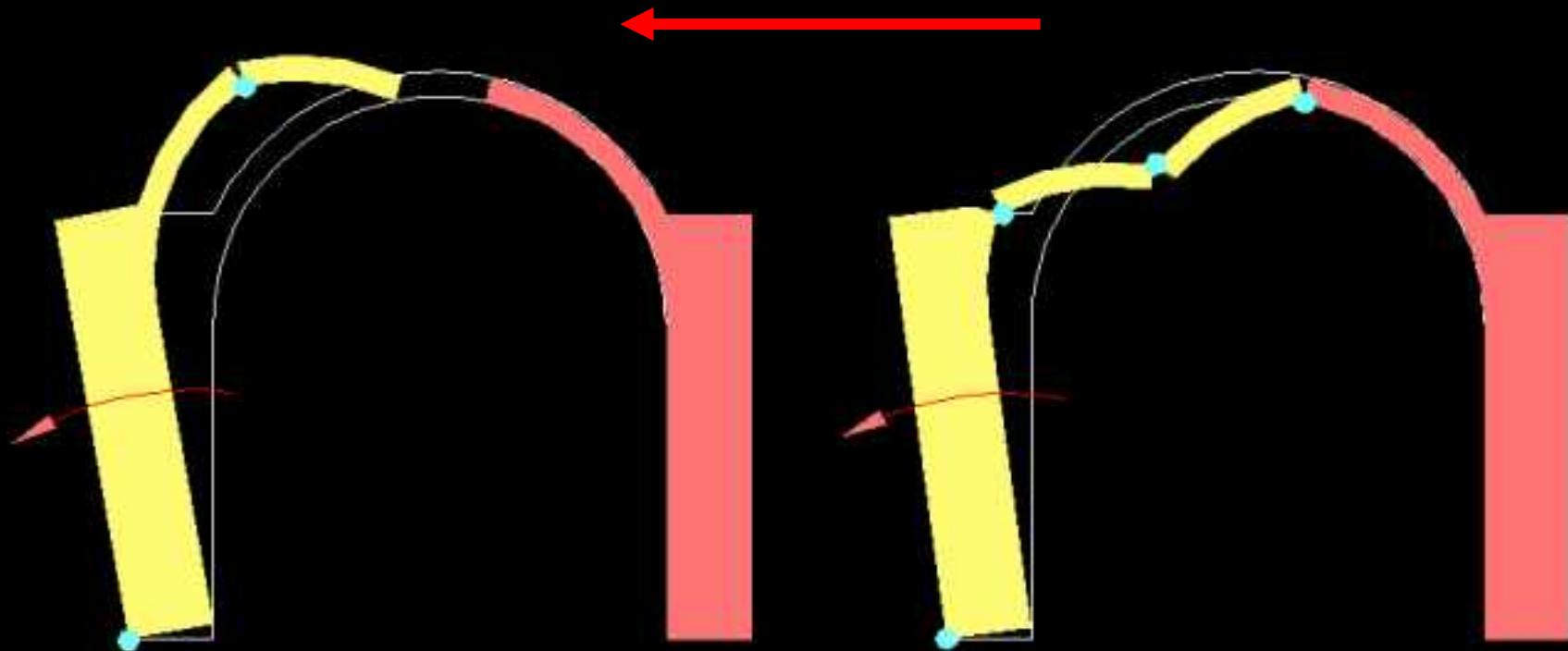


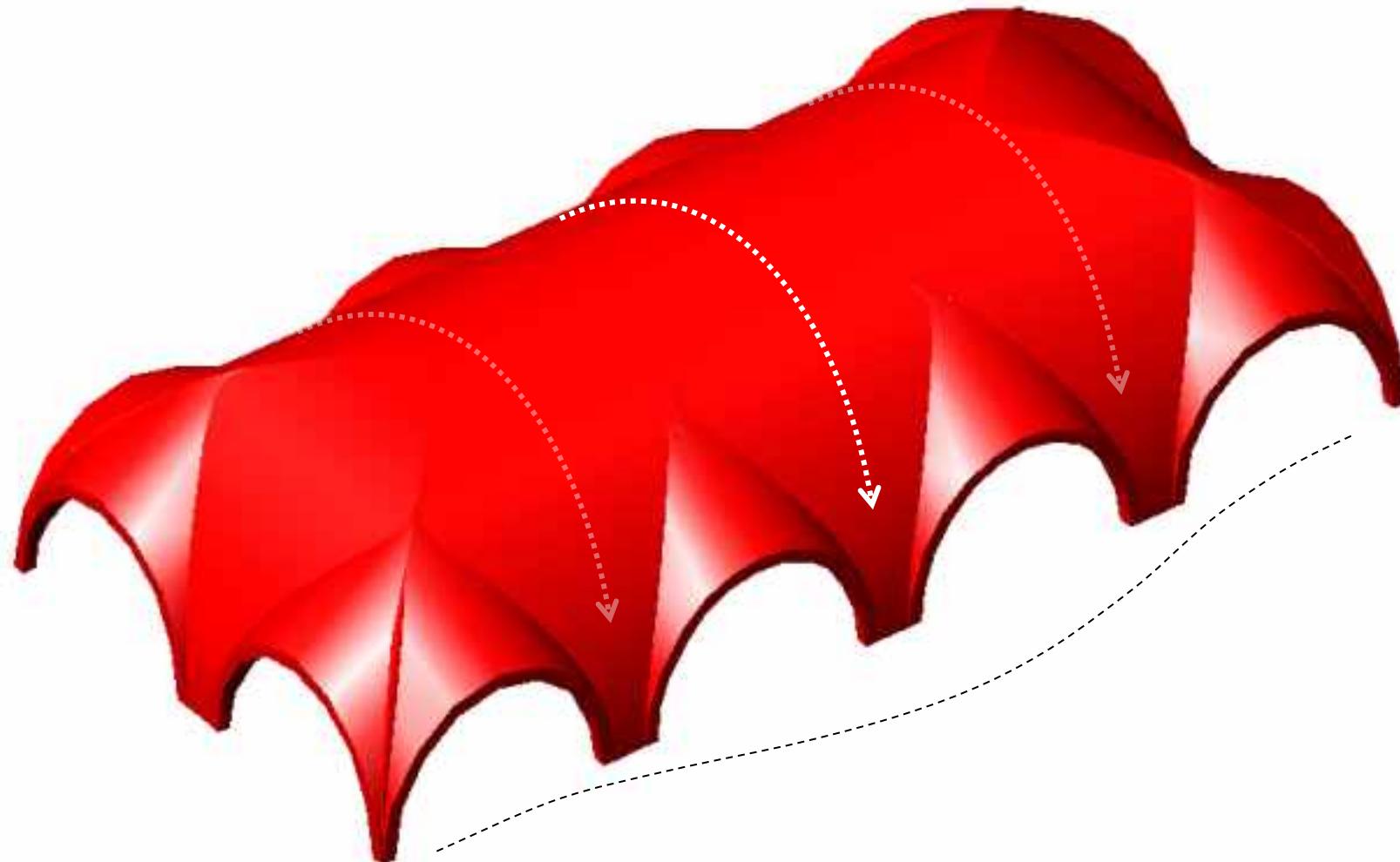
UIH Lab
The Italian Institute of Heritage Science

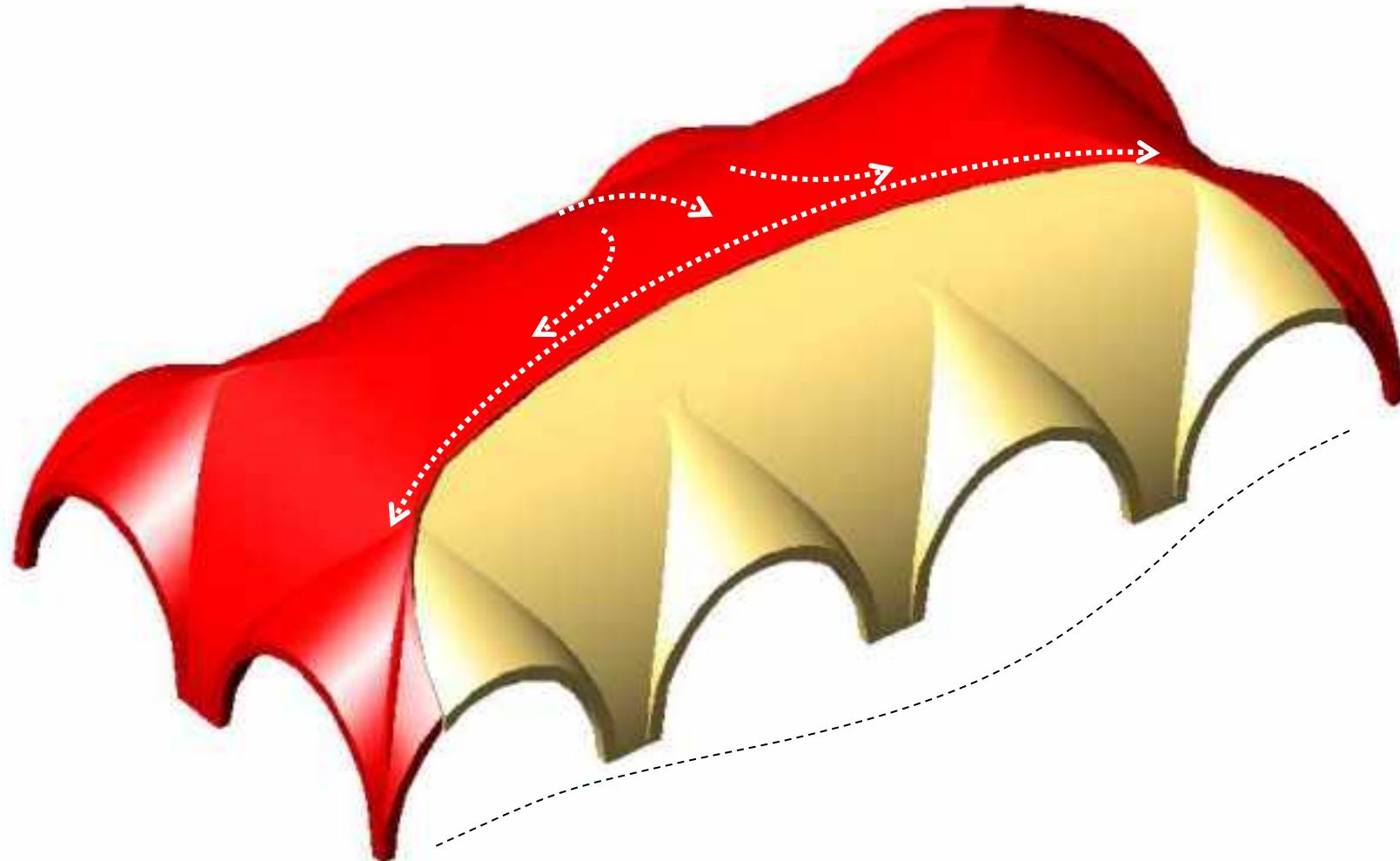


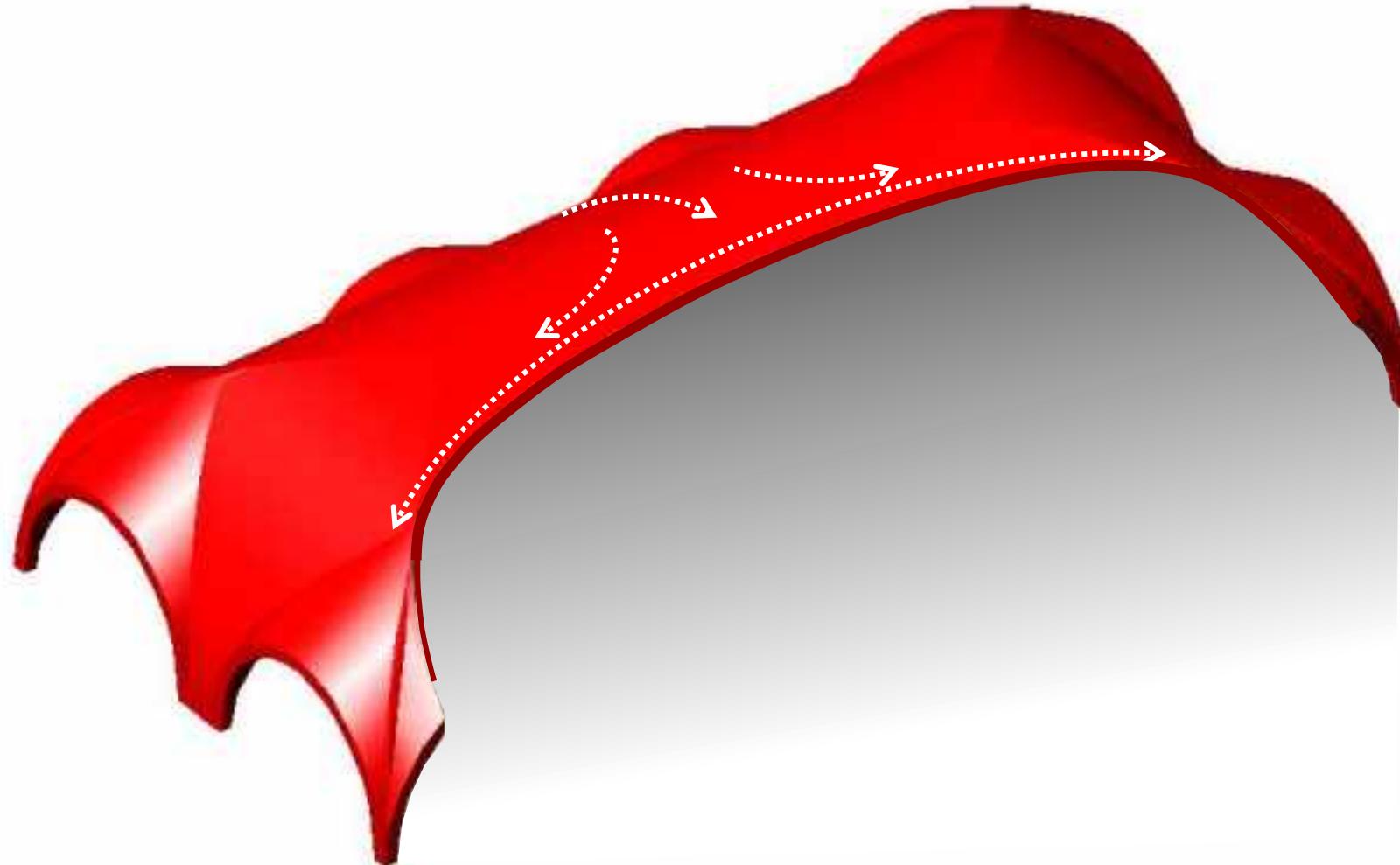
E-RIHS.it
EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURE
FOR HERITAGE SCIENCE

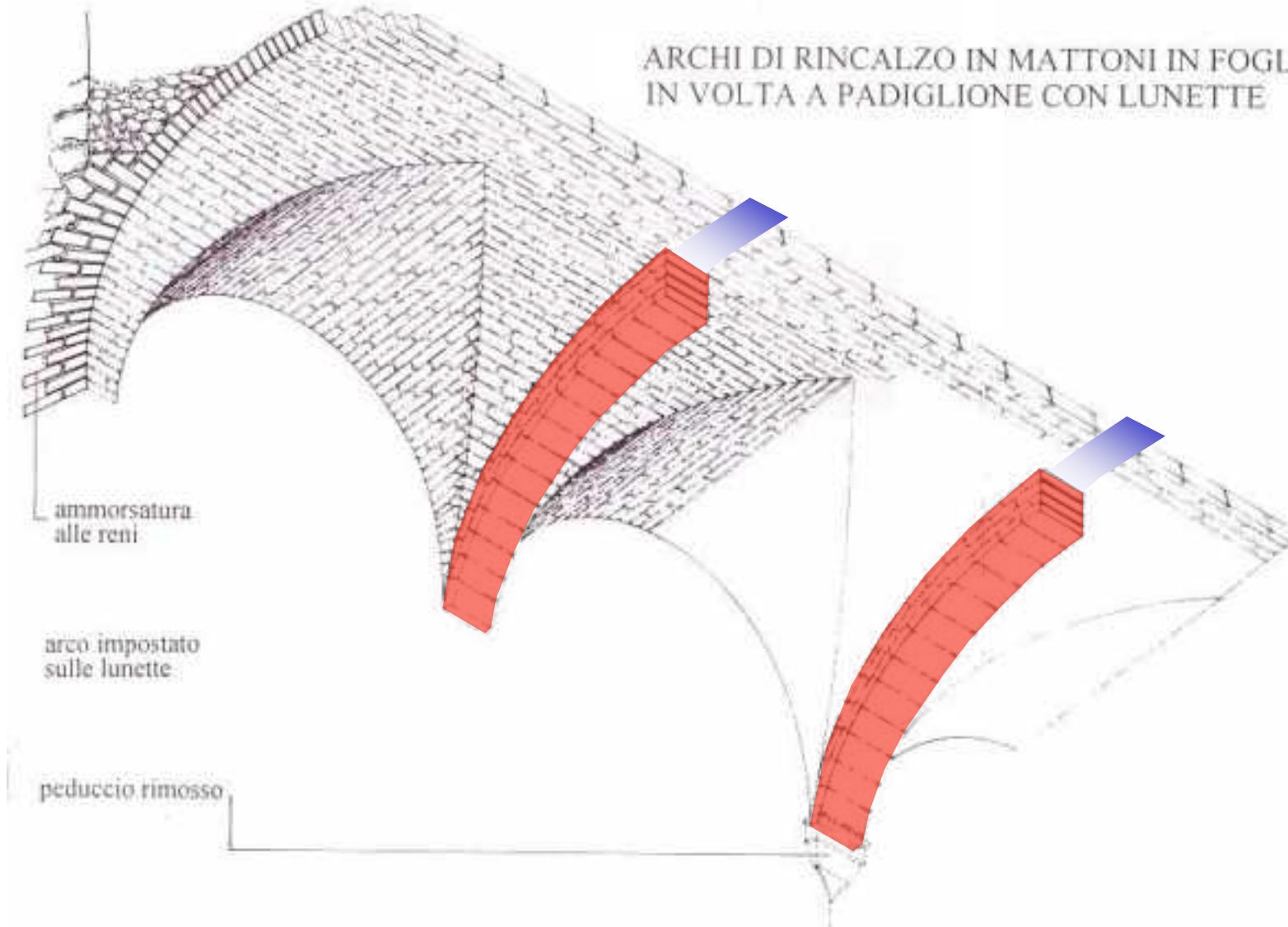


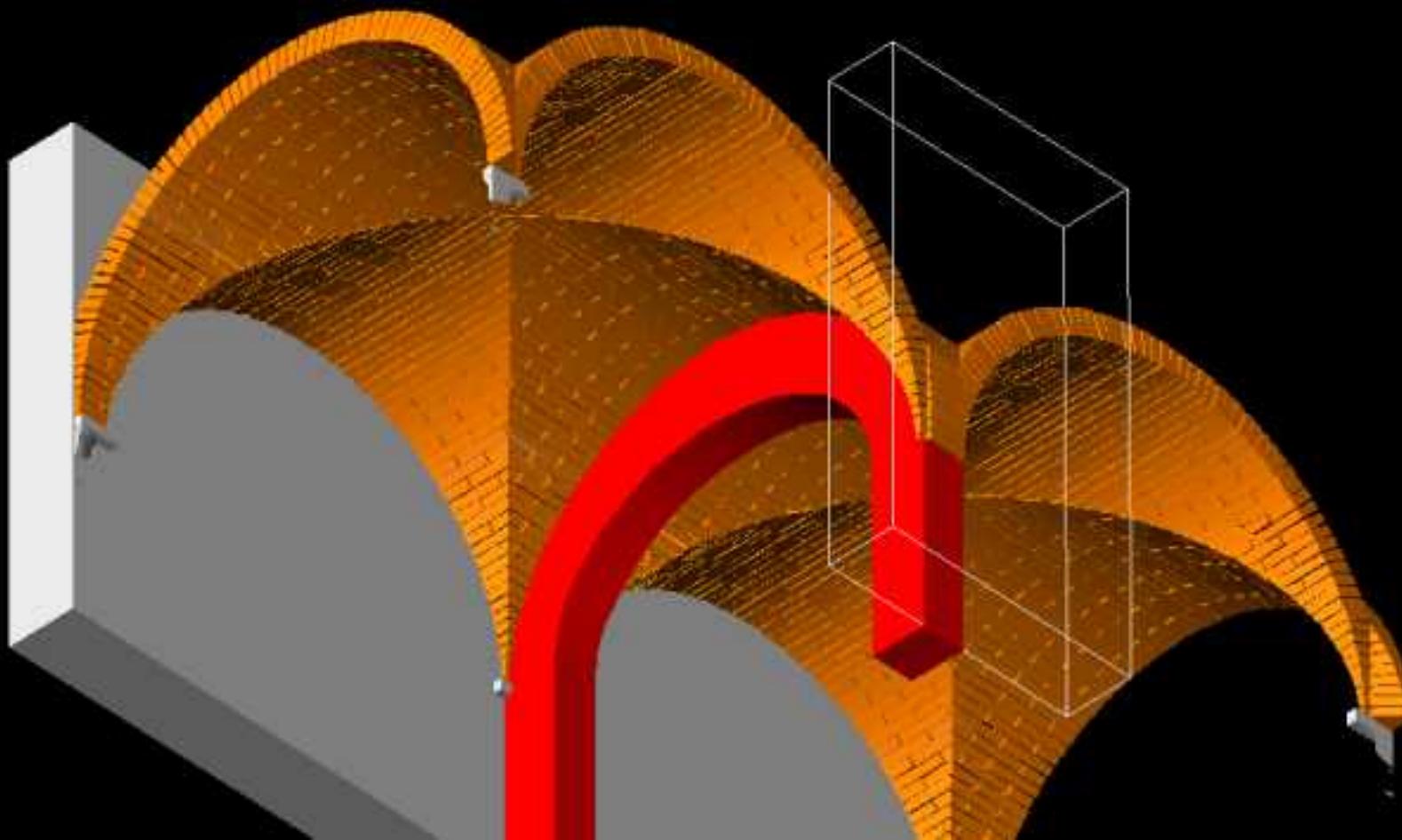


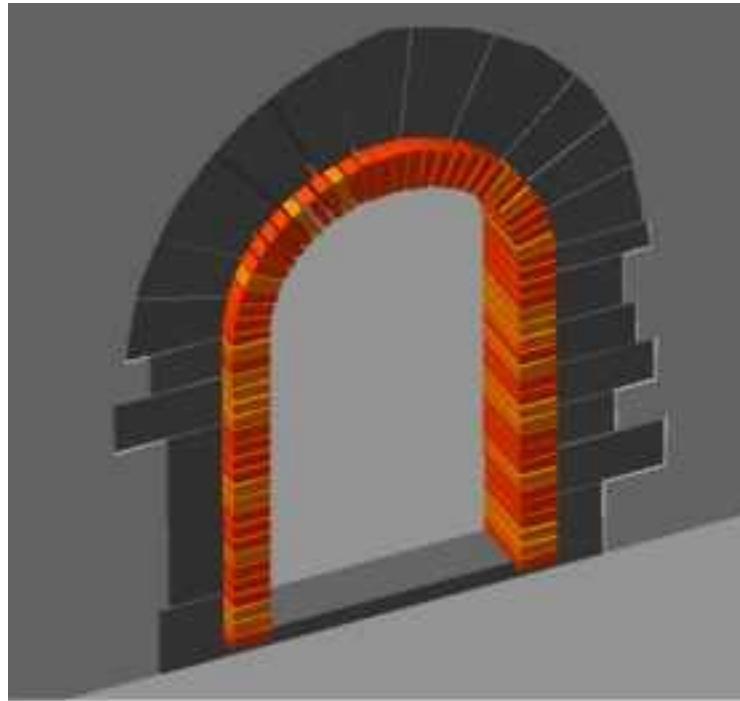
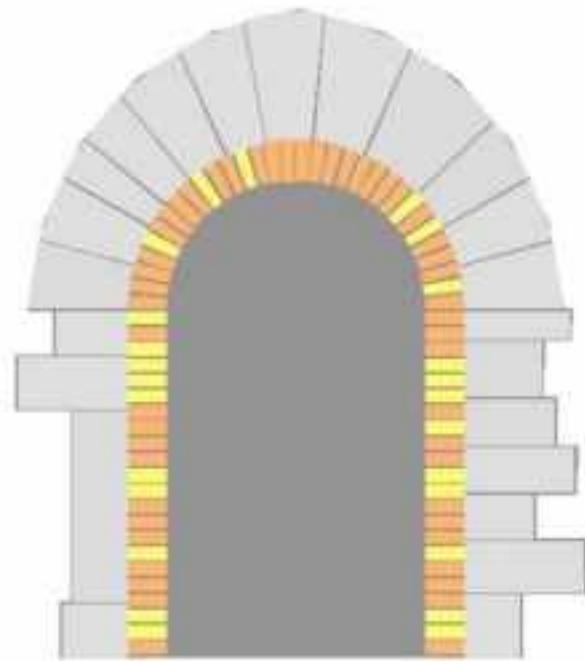




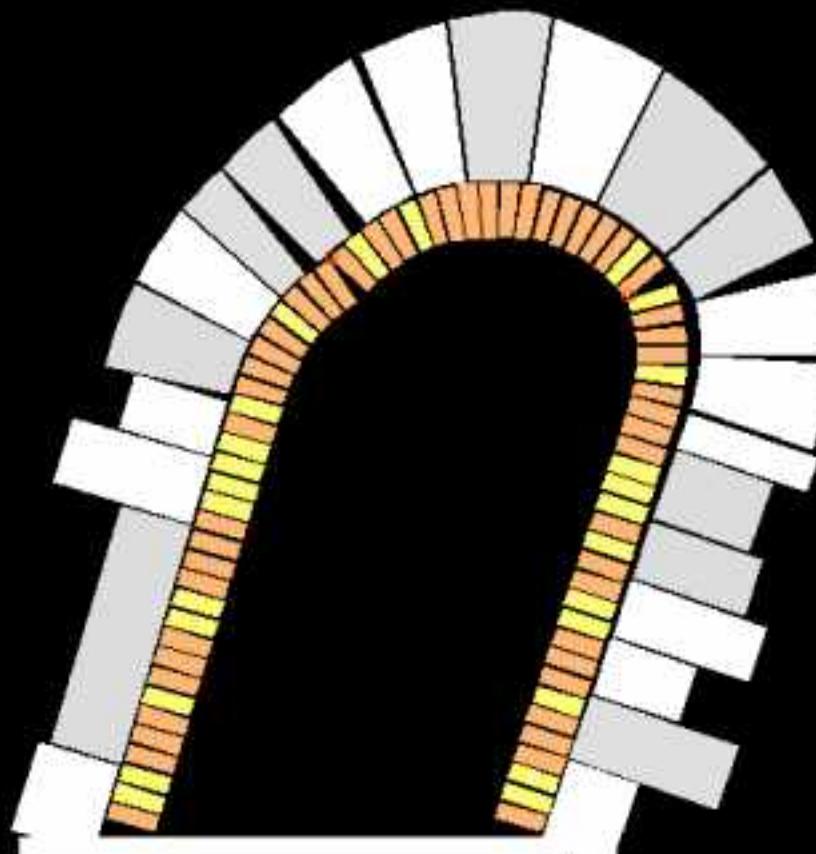


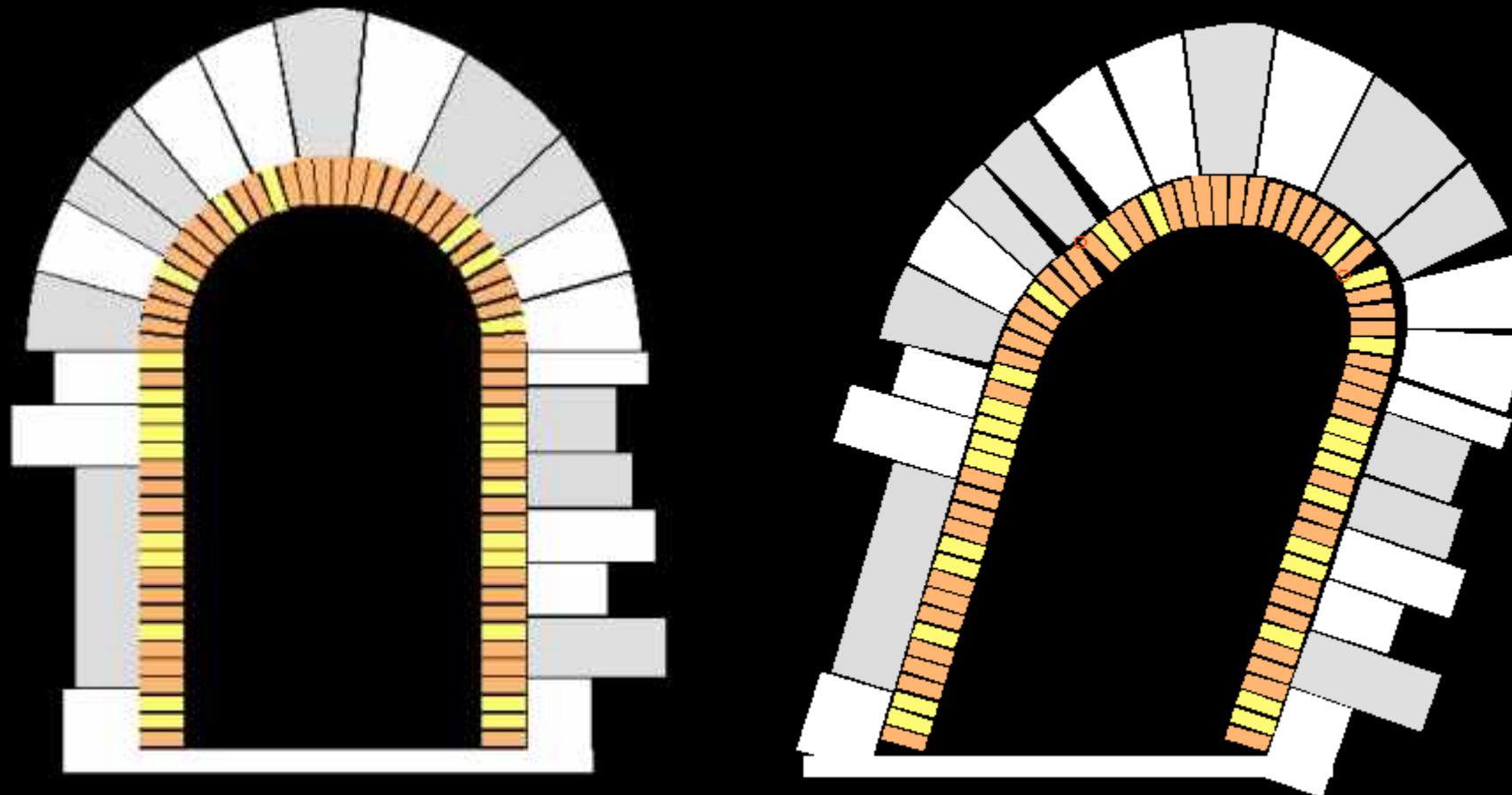


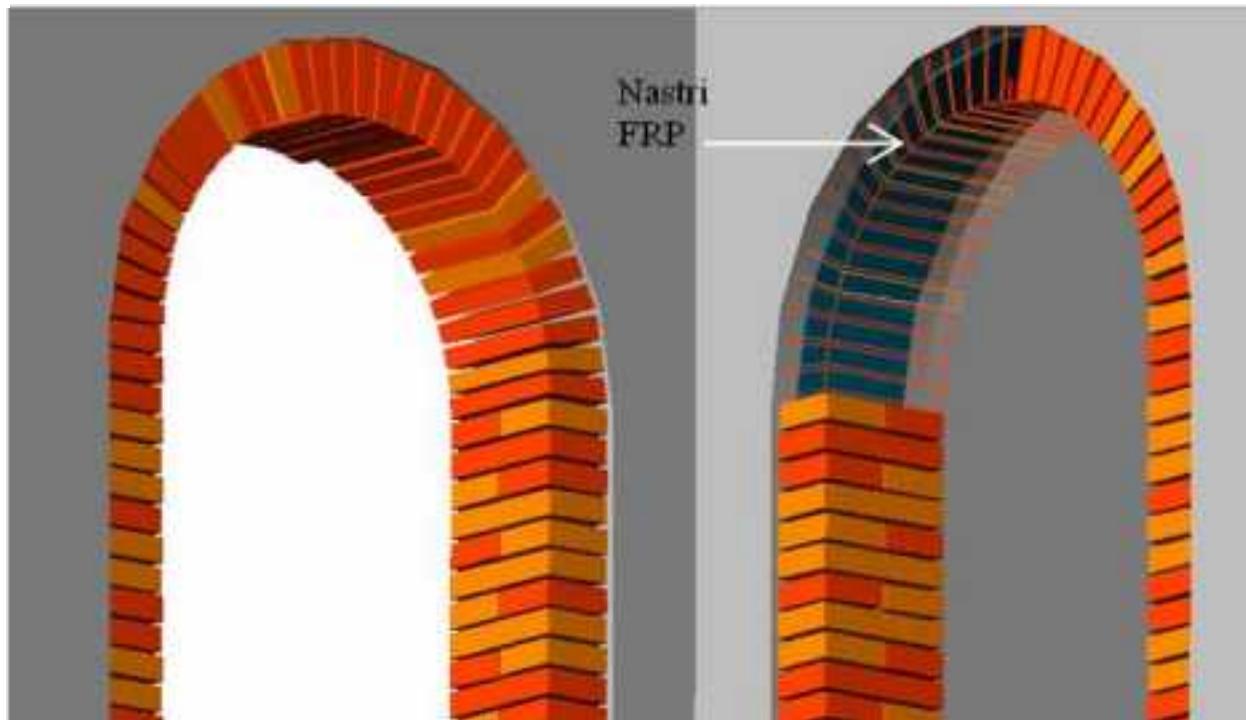




Tecniche antisismiche premoderne:
riduzione di aperture mediante creazione di cerchiature laterizie







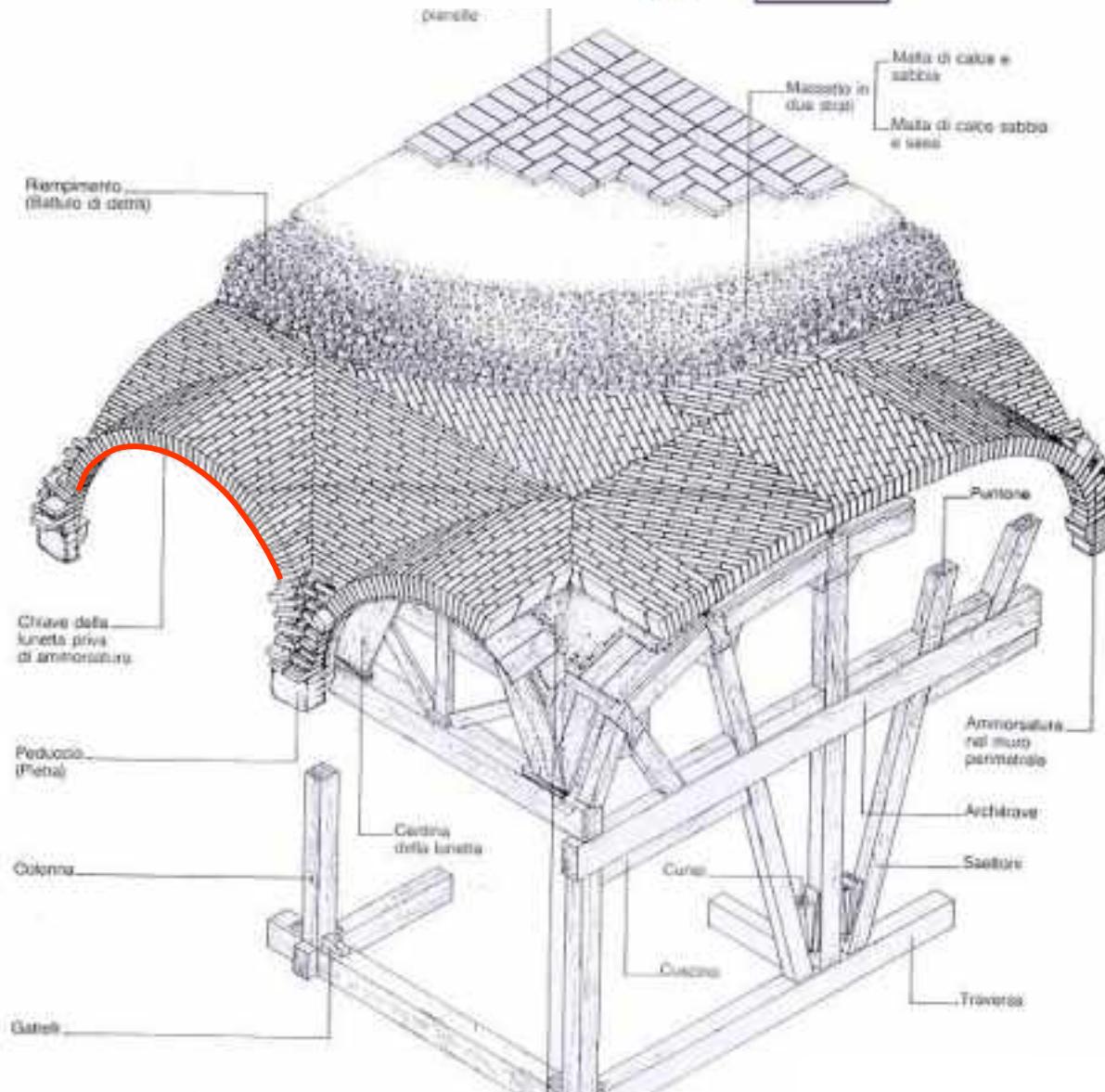


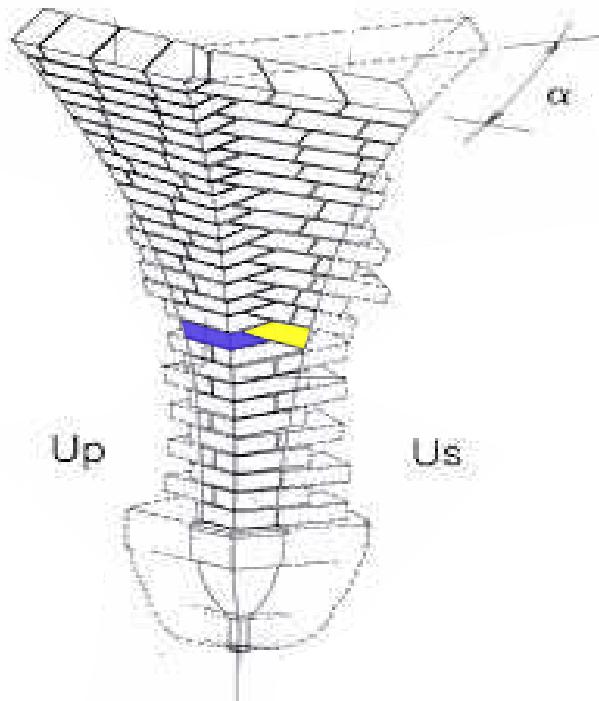
Schema di consolidamento utilizzato nell'acquedotto Claudio



Foro Romano
Clivo della Vittoria

Arch. M. Grazia Filetici
Ing. Giovanni Cangi



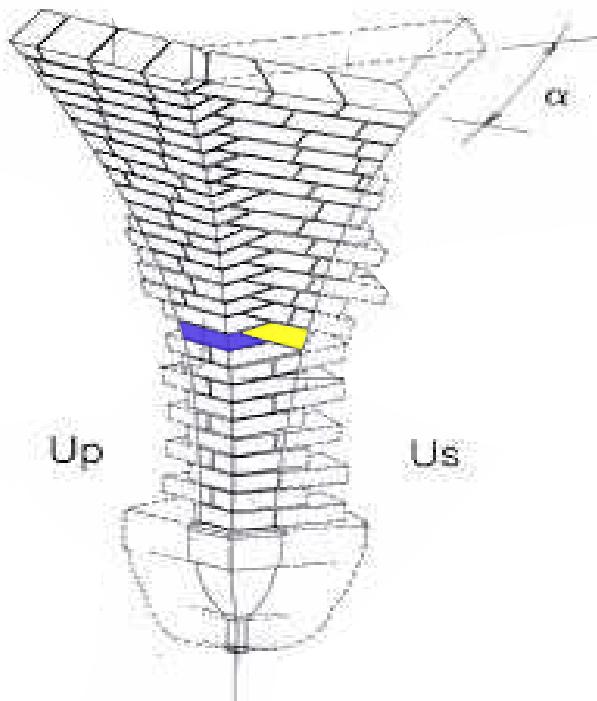


Pennacchio di volta laterizia a crociera con taglio
dei mattoni lungo la nervatura (1991).

Scuola Operaia “G.O. Bufalini” – Città di Castello, 1997.



Jerash, Giordania (Teatro romano)

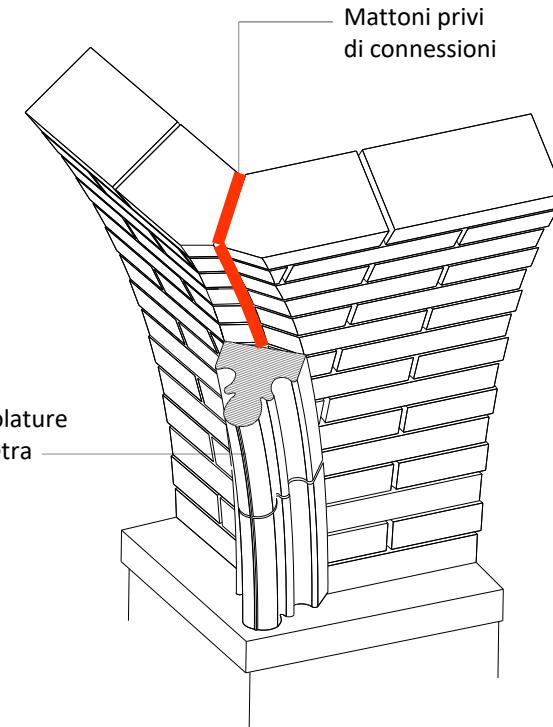


Pennacchio di volta laterizia a crociera con taglio
dei mattoni lungo la nervatura (1991).

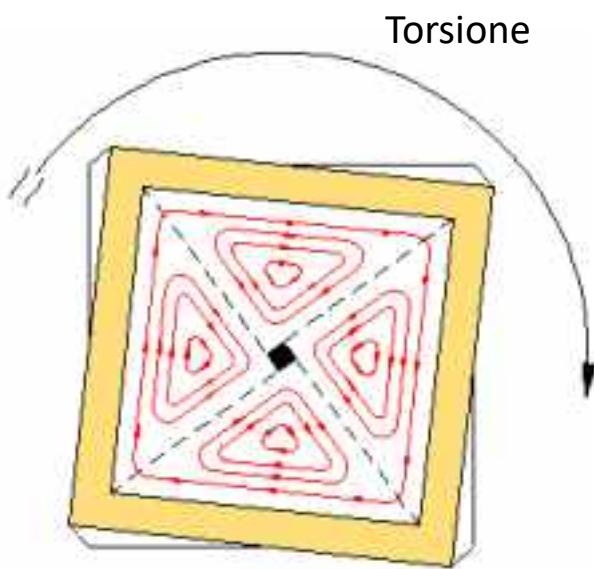
Scuola Operaia "G.O. Bufalini" – Città di Castello, 1997.



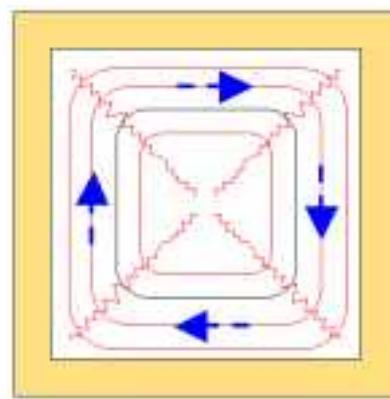
Costolature laterizie diagonali nelle volte laterizie a crociera
della chiesa di San Galgano (Siena) (Foto F.Massetti)



Costolatura di pietra destinato a ricoprire la nervatura all'intadosso priva di ammorsature.

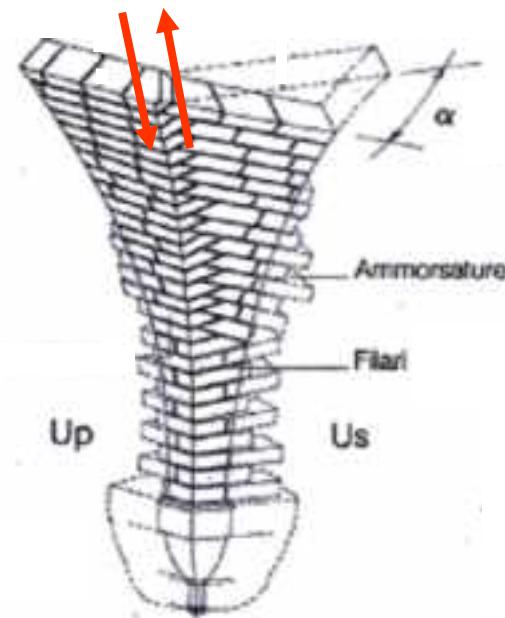


Torsione

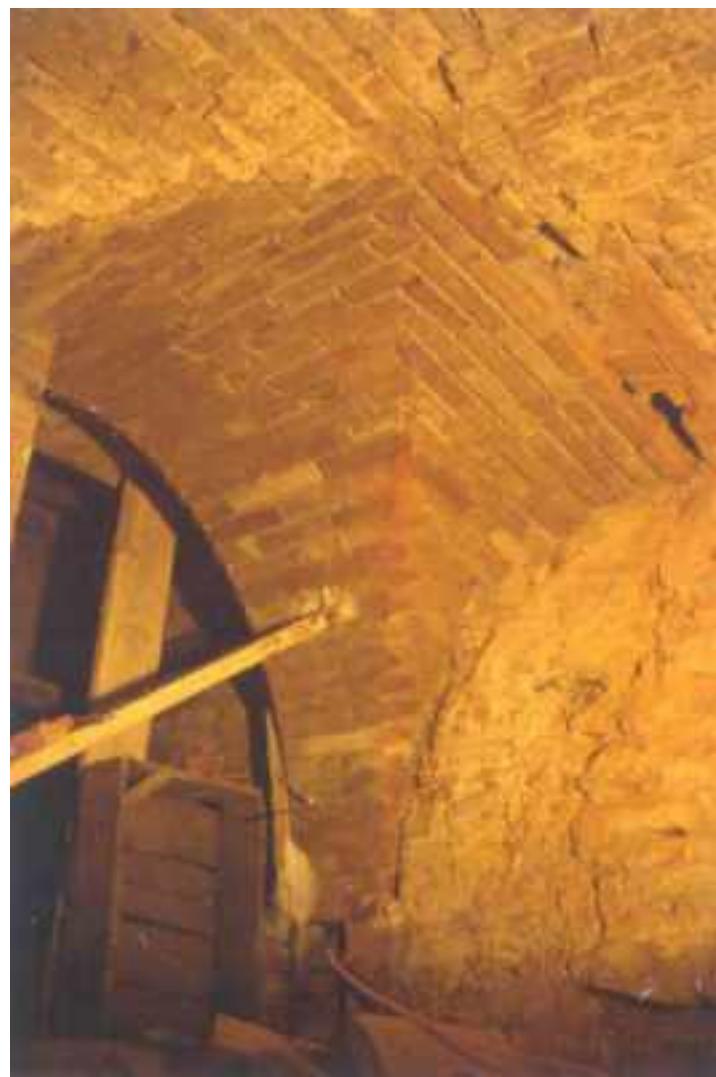


Stati tensionali e deformativi indotti dalla sollecitazione torsionale.

L'ingranamento delle nervature garantisce la resistenza a taglio lungo le diagonali

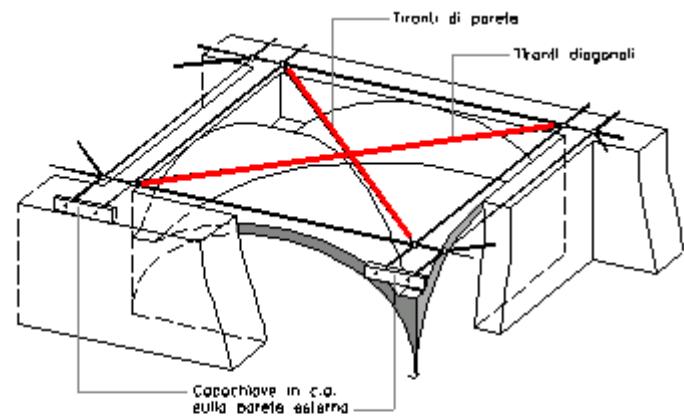
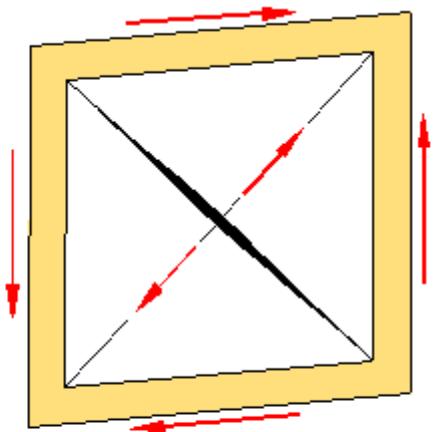
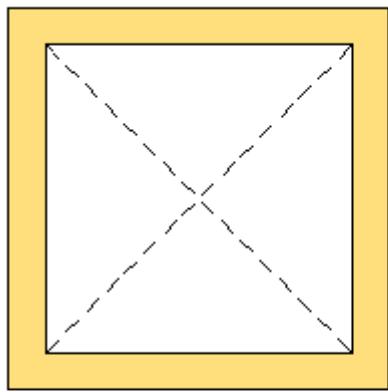


Tipo di nervatura con mattoni bene ingranati



Ricostruzione da sotto





Configurazione originaria e stato deformativo della volta per effetto dello scorrimento delle pareti d'imposta.

Controventi d'estradosso

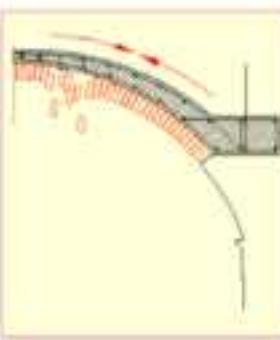
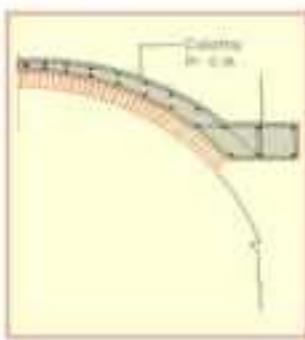
VECCIA NORMATIVA TECNICA PER LE COSTRUZIONI

Ministero LL.PP.
Circolare 30 Luglio 1981 n. 21745

3.4 ARCHI E VOLTE

Una prima possibilità di risanamento e rinforzo è fornita dalla tecnica delle perforazioni armate.

.... Un valido sistema di rafforzamento consiste nel costruire in aderenza un guscio portante, generalmente estradosso, realizzato da una rete metallica elettrossaldata chiodata alla struttura da rinforzare e da uno strato sottile di malta antiritiro.



Consolidamento della volta con soletta in cemento armato d'estradosso e conseguenze negative

Un'altra possibilità che può risultare conveniente soprattutto in casi di maggiori luci è quella di sospendere la volta a un graticcio metallico.

NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Circ. 2 febb. 2009 n. 617
Consiglio Superiore dei LL.PP.

La realizzazione di contro-volte in calcestruzzo o simili, armate o no, è da evitarsi per quanto possibile, se ne viene dimostrata la necessità, va eseguita con conglomerato alleggerito e di limitato spessore.

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle NTC.

26 febbraio 2011

6.3.3 INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE SPINTE DI ARCHI E VOLTE E AL LORO CONSOLIDAMENTO

La realizzazione sull'estradosso di controvolte in calcestruzzo armate o no, è da evitarsi, per la riduzione dello stato di compressione nella volta e per l'aumento delle masse sismiche, oltre che per l'impovertimento che induce in termini di valori culturali e testimoniali nel manufatto storico.

Presidenza del Consiglio dei Ministri del 12/10/2007

*Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione la riduzione del rischio sismico
del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*
(Gazzetta ufficiale 29/01/2008 n. 24)

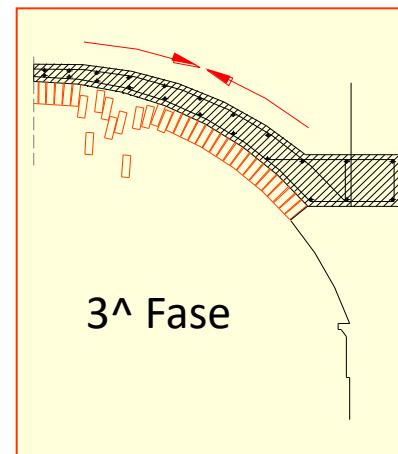
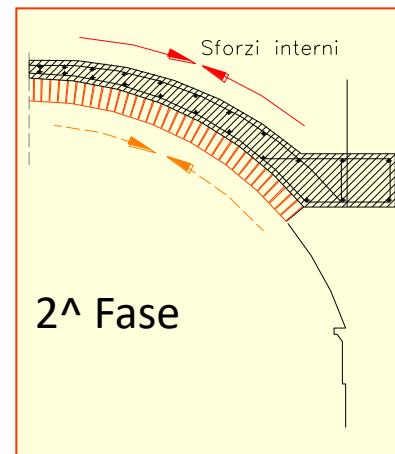
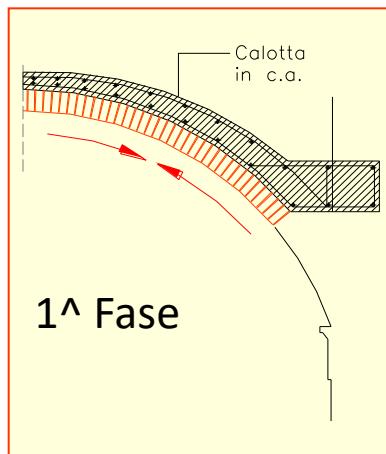
29-1-2008

Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE

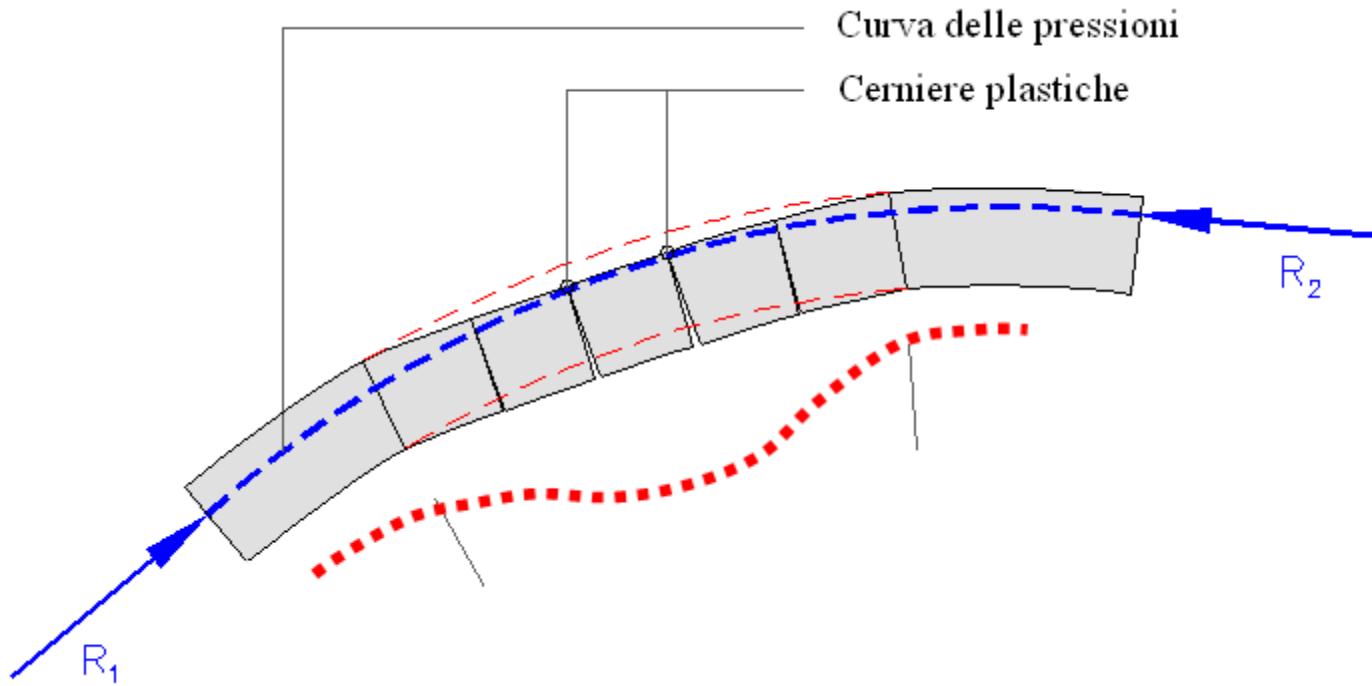
Serie generale - n. 24

6.3.3 Interventi volti a ridurre la spinta di archi e volte ed al loro consolidamento

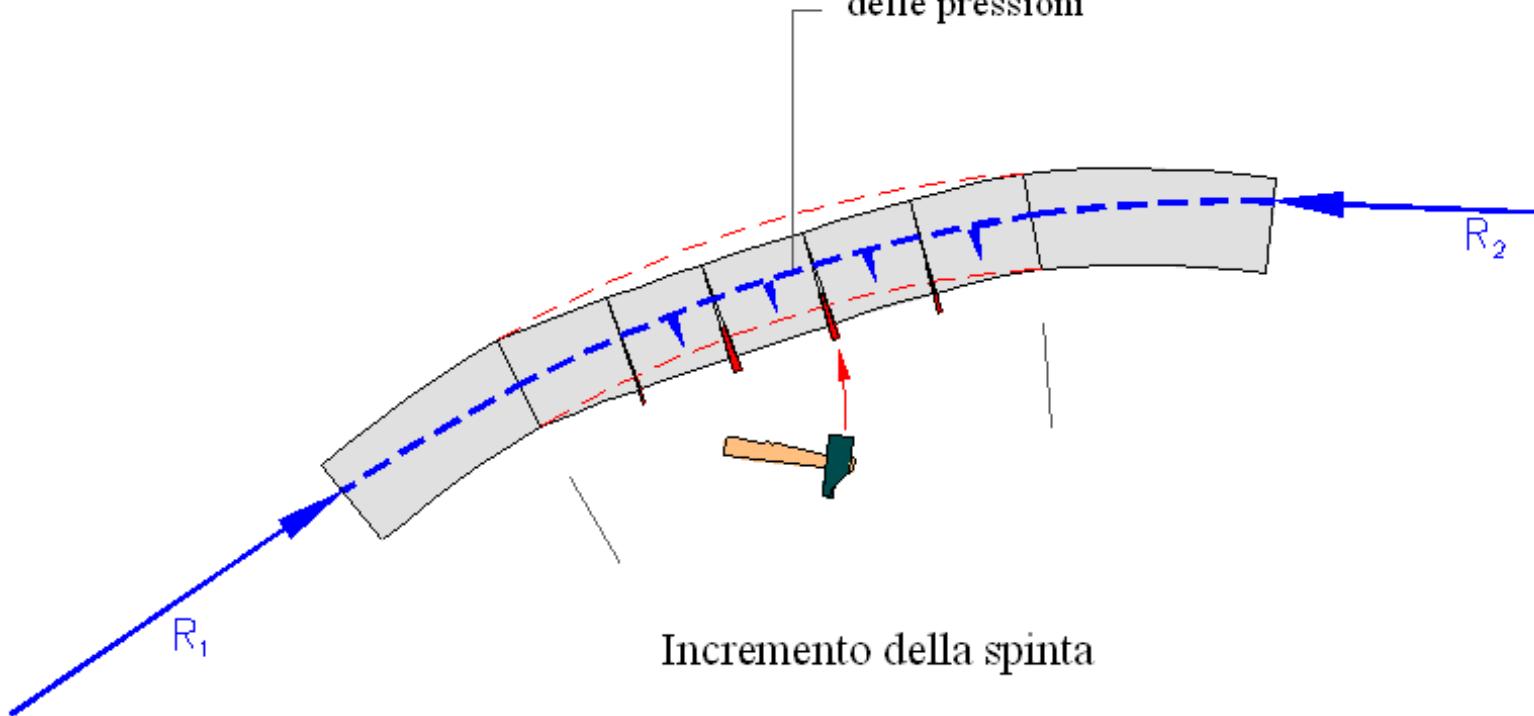
La realizzazione all'estradosso di controvolte in calcestruzzo, armate o no, è da evitarsi, per la riduzione dello stato di compressione nella volta in muratura e l'aumento delle masse sismiche, oltre che per l'impoverimento che induce, in termini di valori culturali e testimoniali, nel manufatto storico.

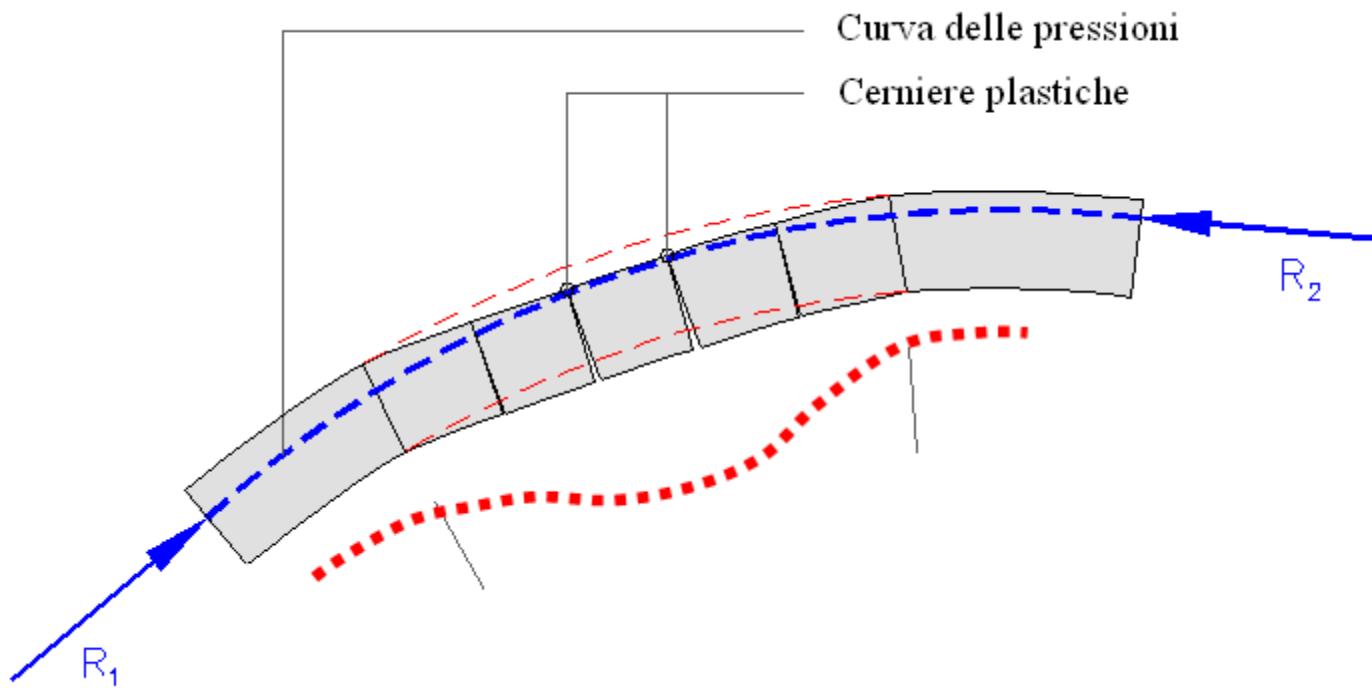


Conseguenze del consolidamento della volta con soletta in cemento armato d'estradosso

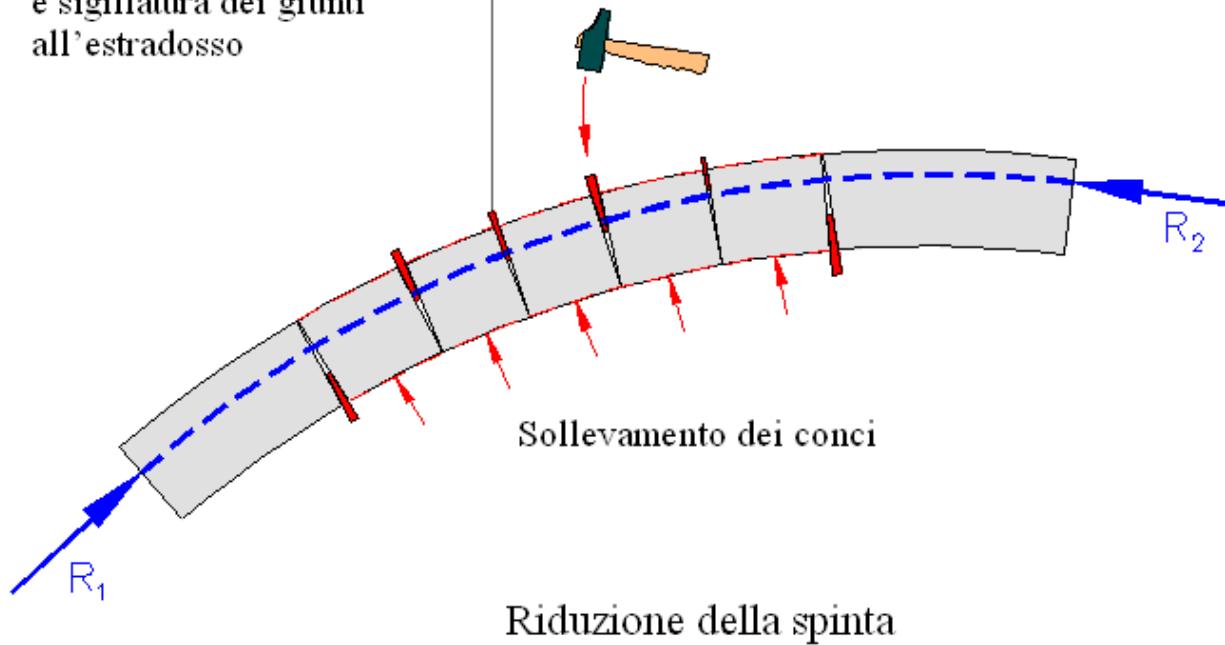


Abbassamento della curva
delle pressioni



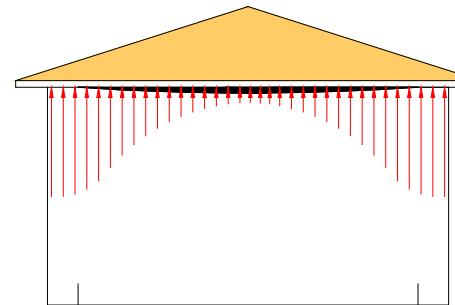


Inserimento cunei
e sigillatura dei giunti
all'estradosso

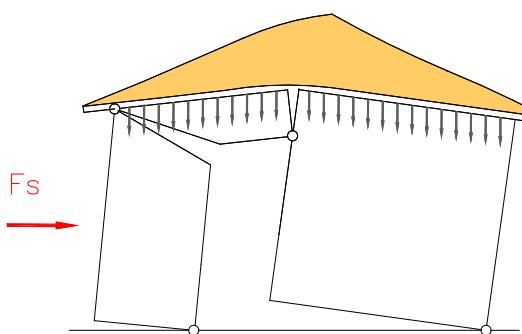
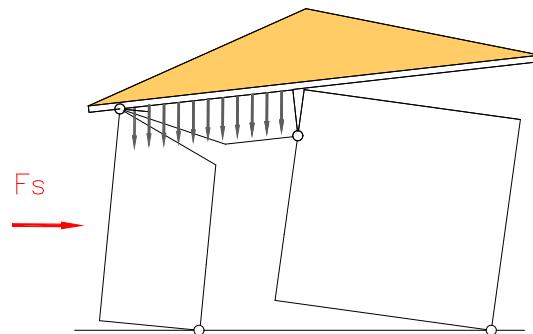




Umbria: terremoto 1997



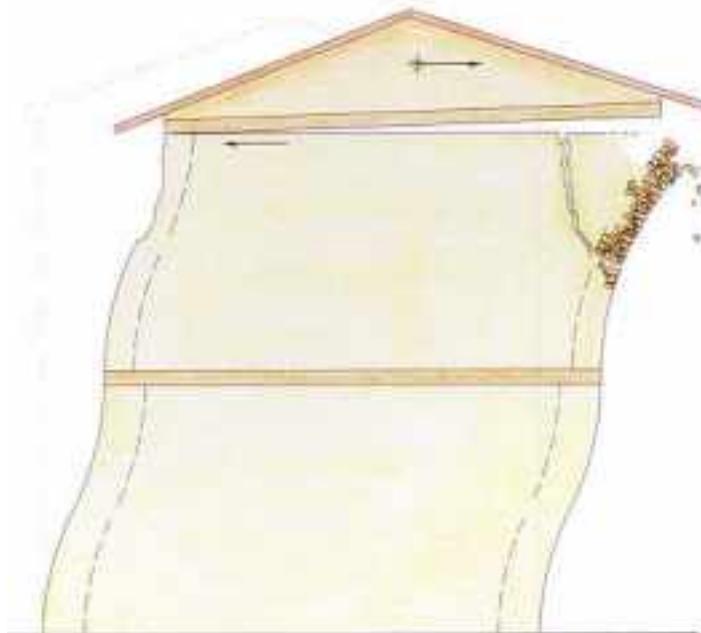
Comportamento statico delle coperture rigide



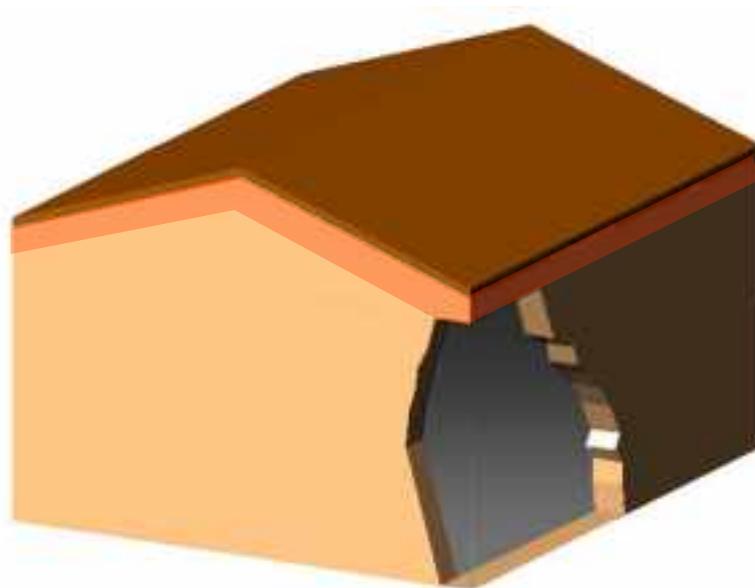
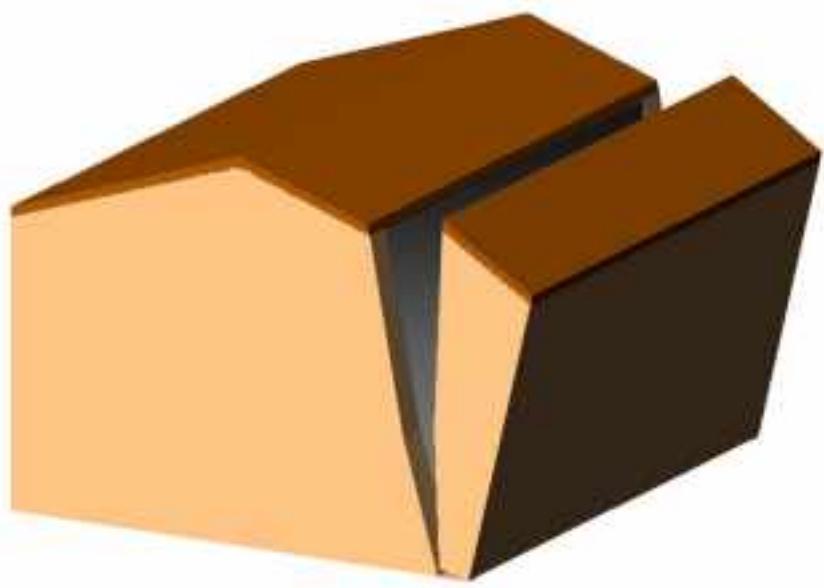
Comportamento cinematico in presenza di coperture rigide o deformabili

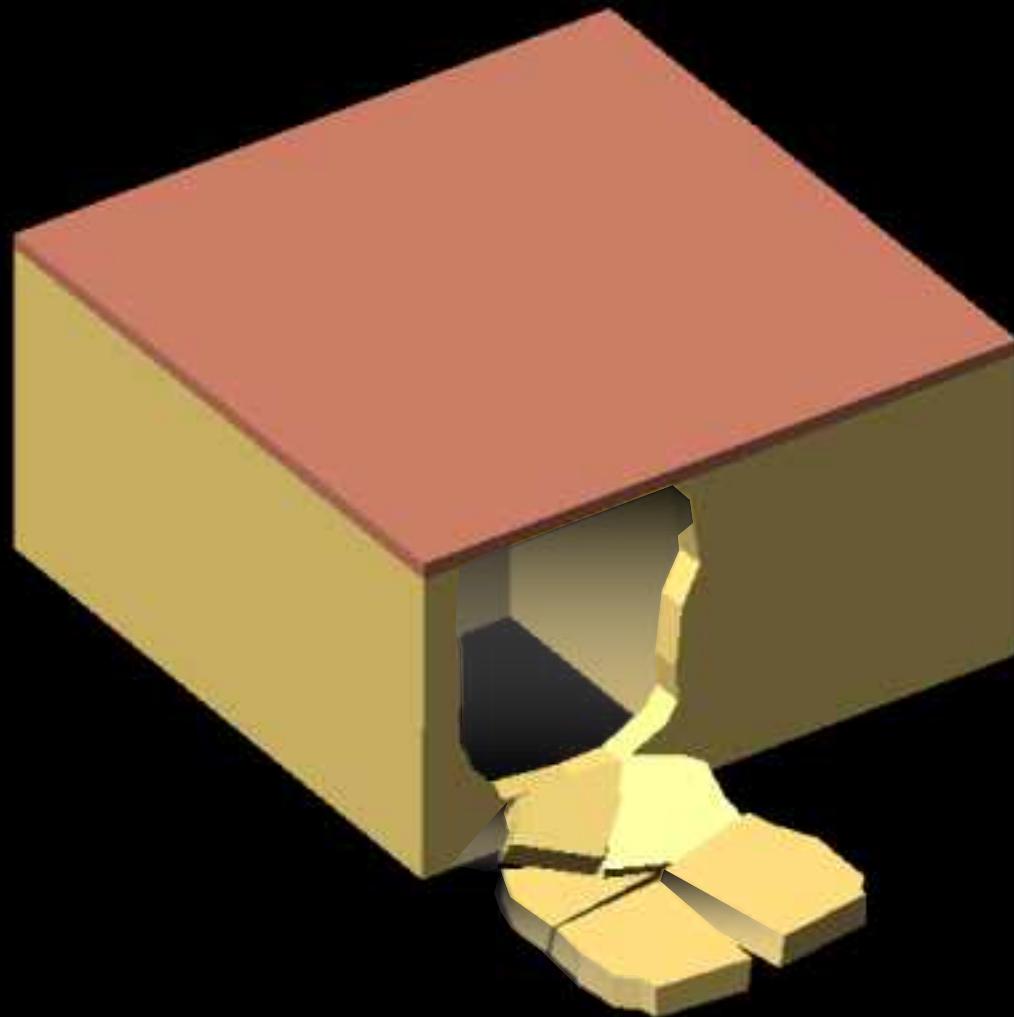
Comportamento anomalo delle coperture rigide

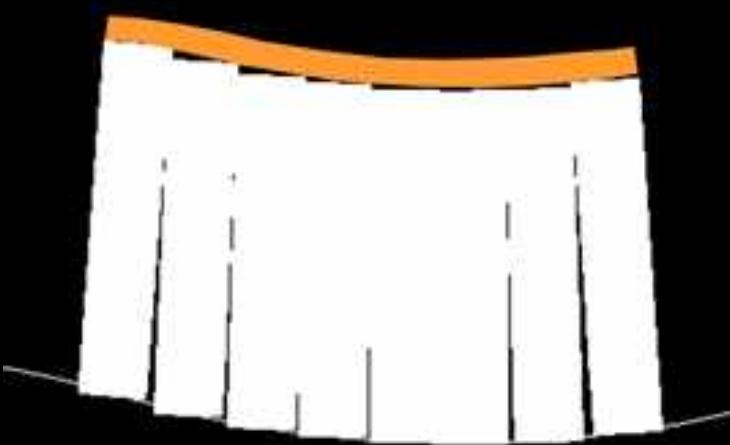
Effetti sull'irrigidimento delle coperture con cordoli in cemento armato



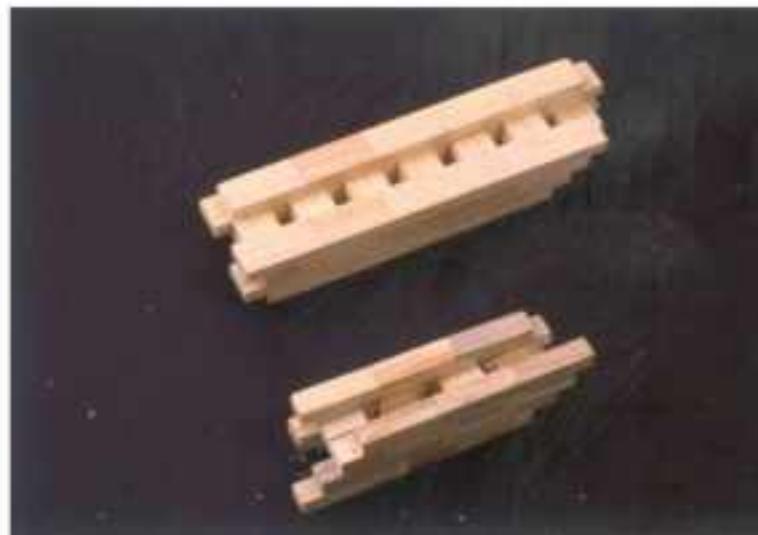
CONFIGURAZIONE FINALE



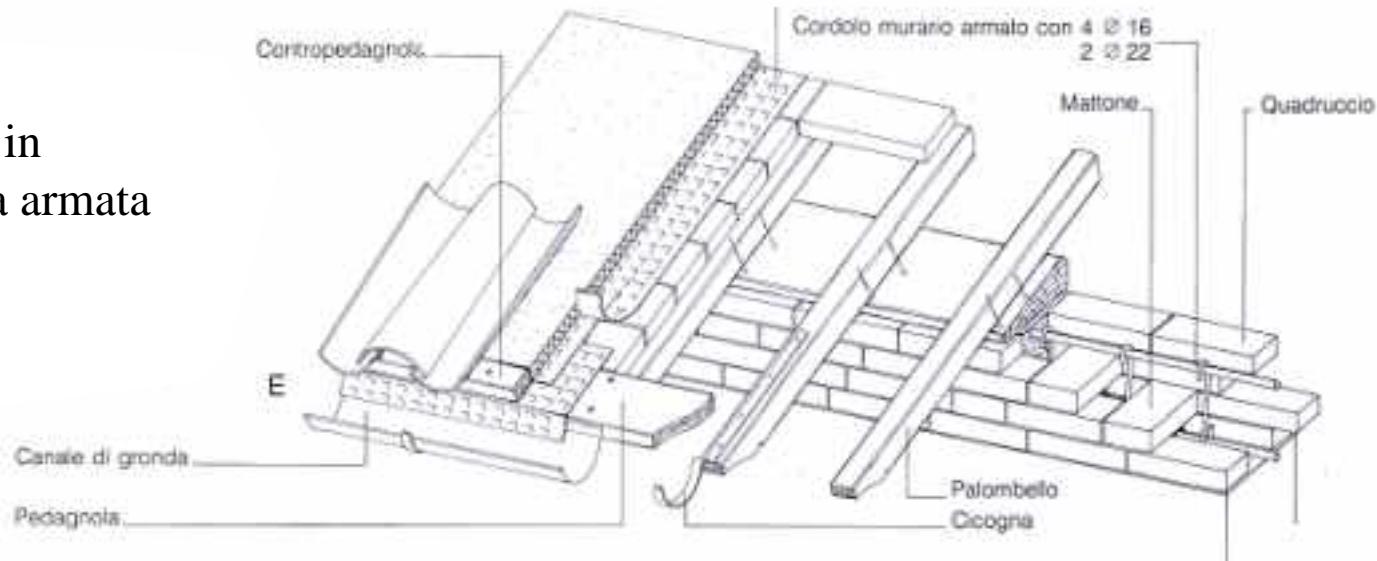




Copertura deformabile



Cordolo in muratura armata



29-1-2008

Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE

Serie generale - n. 24

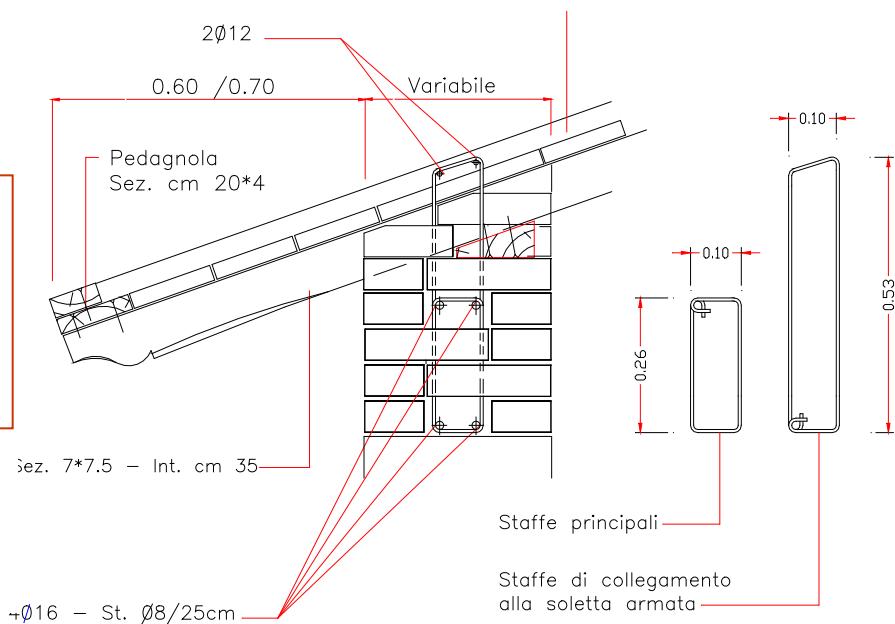
6.3.2 Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti

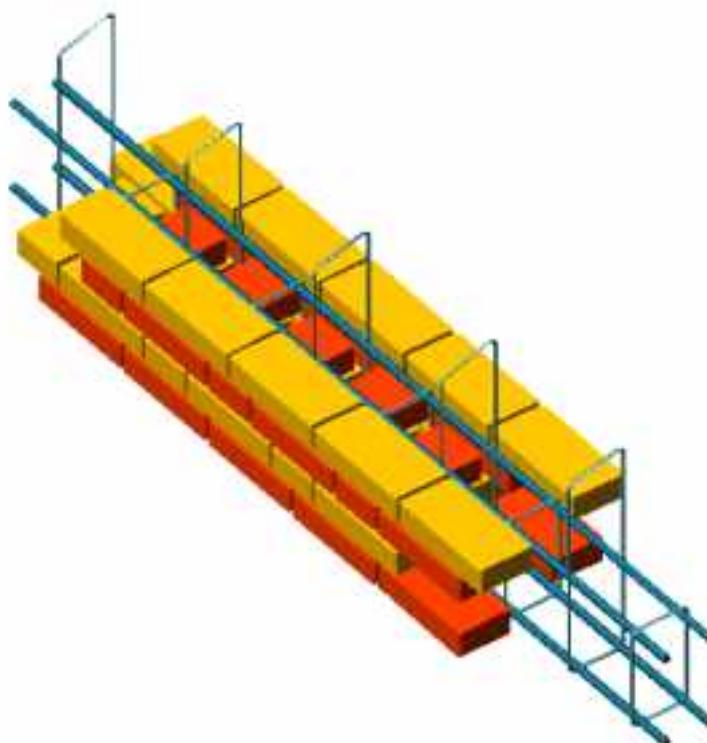
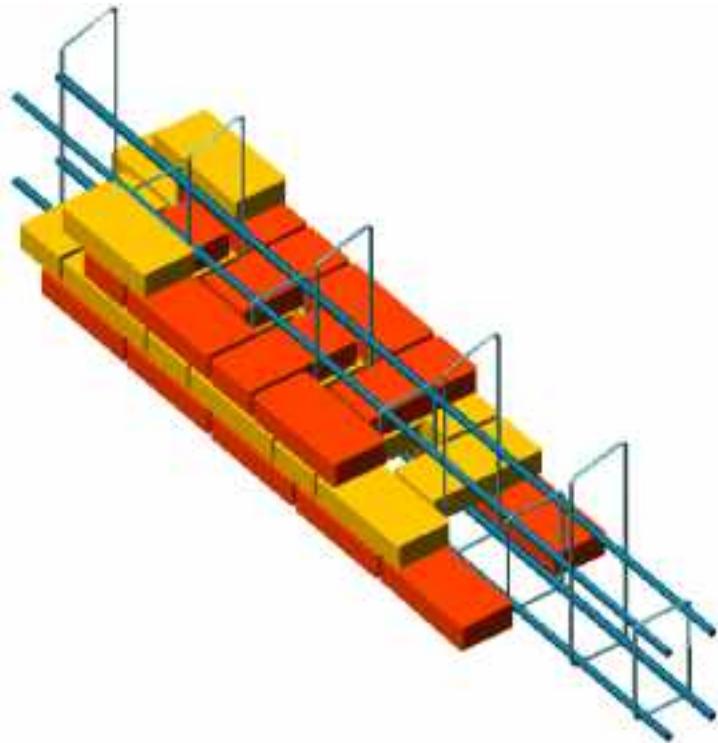
Cordoli in sommità:

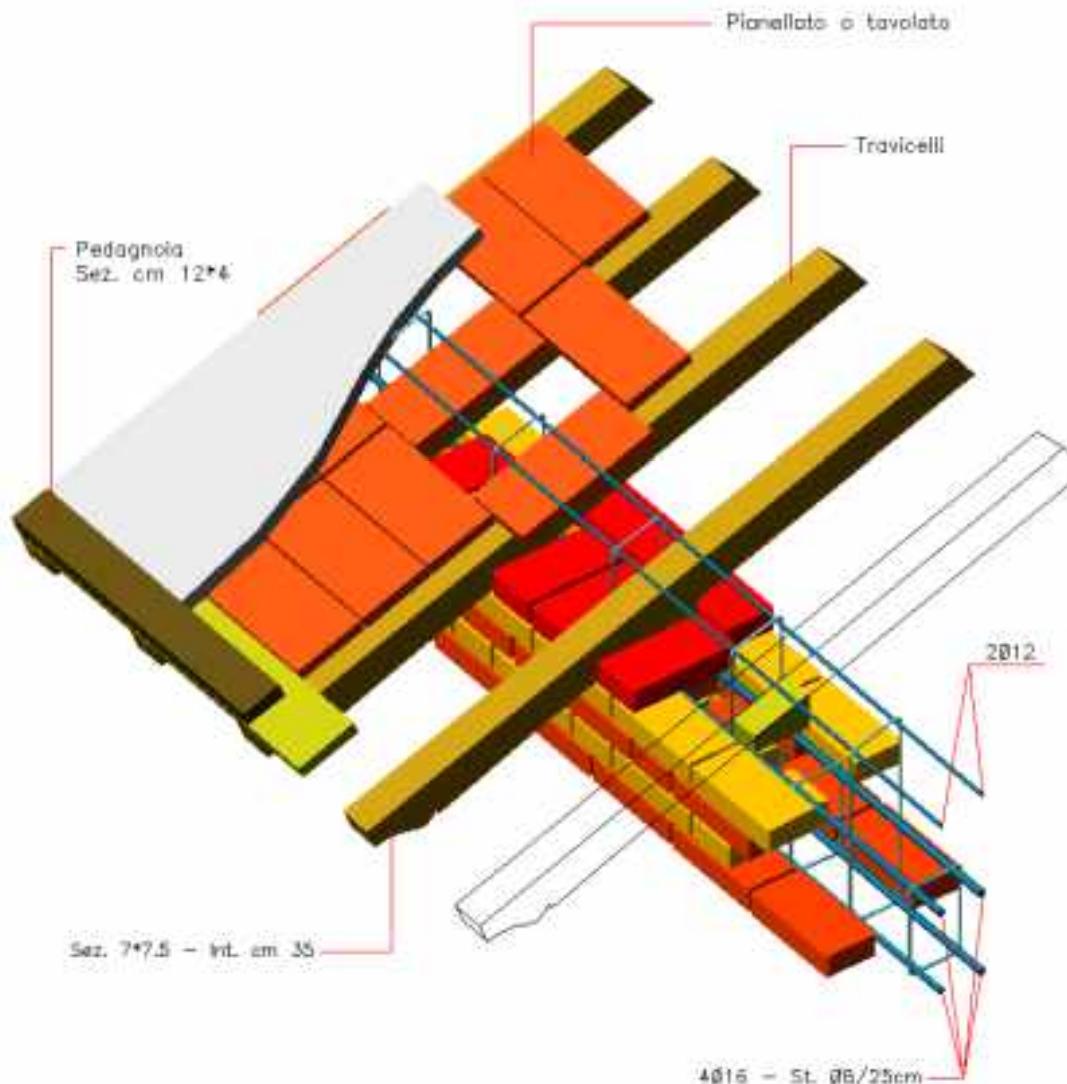
- **in muratura armata**, consentendo di realizzare il collegamento attraverso una tecnica volta alla massima conservazione delle caratteristiche murarie esistenti. Essi, infatti, devono essere realizzati con una muratura a tutto spessore e di buone caratteristiche

6.3.5 Interventi in copertura

Vanno in generale evitati i cordoli in cemento armato di elevato spessore per la diversa rigidezza che essi introducono









INTERNATIONAL WORKSHOP

DIGITAL INTEGRATED
STRATEGIES
TO SAFEGUARD HERITAGE
CONSTRUCTION
TECHNOLOGIES

September 30 - October 5, 2024
Poggioreale, Trapani

Tecniche costruttive tradizionali,
dalla lettura critica al rilievo

*Traditional construction techniques,
from critical reading to surveying*

Ing. Giovanni Cangi
CNR Institute of Heritage Science