



SISMA  
MOLISE  
2002

Nord Est SUD Ouest  
**INTERREG III C**



**noé** CARTODATA  
Publications et prévention  
des risques naturels



## **PROJET CARTODATA : CARTES DE RISQUE DU PATRIMOINE**

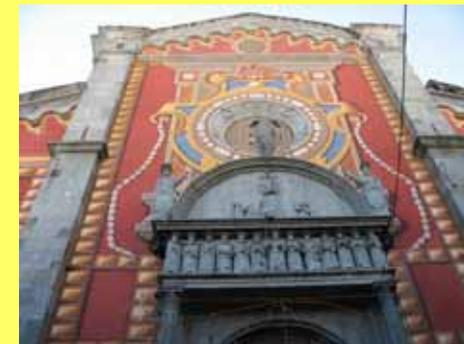
*CEPAM – Valbonne – Sophia Antipolis  
5 juin 2007*

### **METHODOLOGY USED IN MOLISE AFTER 2002 EARTHQUAKE FOR RECOVERING MONUMENTAL GOODS DRIVE LINES FOR CULTURAL HERITAGE**

**Plan de prévention pour :**

- Cathédrale de Tende (Alpes-Maritimes)
- Eglise S. Pietro in Vincoli - Castellino de Biferno (Molise, Italie),
- Cathédrale de Porto – Portugal

**Alberto Lemme – *Surintendance de Molise*  
Stefano Podestà – *Université de Gênes - Dicat***



## ***SISMA MOLISE 2002: MONUMENTAL GOODS AND EARTHQUAKE FROM THE EMERGENCY TO THE RECONSTRUCTION***

**After the seismic crisis of 2002 that has struck the Regions Molise and Puglia (magnitude 5,4) has been effected by the Department of Civil Protection the survey of the damage of the monumental buildings of the Province of Campobasso.**

**The surveies have been effected by teams called NOPSA (Nucleuses Operational Artistic Historical Patrimony) usually composed by an engineer a technical of the Superintendence and from a Fireman.**

**Altogether they have been surveied over 550 monumental goods of which around 440 churches (350 in Molise).**

**The survey of the damage, effected on signaling, it is initiated in the epicenter zone (zone 1 - Imcs 6-8,5), after it has been extended to the adjacent zone (zone 2 Imcs=5,5) and then to all the municipality of the province of Campobasso (zone 3 Imcs =5) and to some municipality of the Isernia province (zone 4 Imcses <5).**

**About 50 buildings of cult, the most damaged, have been put in safety by the Superintendence of Molise.**

## ***SISMA MOLISE 2002: MONUMENTAL GOODS AND EARTHQUAKE FROM THE EMERGENCY TO THE RECONSTRUCTION***

**Activity turns for the safeguard of the Monumental patrimony after the seismic crisis that has struck Molise in 2002**

### **Emergency:**

- **Survey of the seismic damage, put in safety of the damaged buildings, respect of the costs of intervention**
- **Reopening to the Cult of the Buildings**

### **Post Emergency:**

- **Study for the evaluation of the Seismic Vulnerability (CNR-ITC)**
- **Indications for the planning and the execution of the structural interventions**
- **Evaluation of the permanence in the time of the provisional support to the buildings of cult**
- **Preliminary projects of the Monumental goods**

### **Reconstruction:**

- **Extraordinary plan 2003**
- **Control projects**
- **General plan for the buildings of Cult**
- **Second plan for the buildings of cult - 2006**

# IL COSTRUITO STORICO NELLA NORMATIVA ITALIANA

Ministero dei Lavori Pubblici – D.M. 16.1.1996 (G.U. N° 29)

## “Norme tecniche per gli edifici in area sismica”

- per gli edifici esistenti, gli interventi di rinforzo strutturale possono essere progettati in accordo a due diverse strategie:
  - *il miglioramento sismico*
  - *l'adeguamento sismico*
- per il patrimonio culturale è consigliato il *miglioramento sismico*

Comitato Nazionale per la Prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico,  
Circolare M.BB.CC. n°1841, 12.3.1991 – Consiglio Superiore LL.PP. n° 564, 28.11.1997

## “Istruzioni generali per la redazione dei progetti di restauro dei beni architettonici di valore storico artistico in zona sismica”

- un intervento di restauro non dovrebbe mai rientrare nei casi dell'adeguamento
- il problema si pone solo nel caso di cambiamenti di destinazione d'uso, ma va riconosciuto che la verifica sismica presenta, allo stato delle conoscenze, oggettive difficoltà ed incertezze che spesso spingono verso soluzioni stravolgenti, dettate unicamente dalla esigenza della verifica formale.

# IL NUOVO QUADRO NORMATIVO

Ministero per i Beni e le Attività Culturali – Legge n° 42, 22.1.2004

“Codice dei beni culturali e del paesaggio”

- nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale  
(Sezione II - *Misure di conservazione*, Articolo 29 - *Conservazione*).

Dipartimento di Protezione Civile – OPCM n° 3274/03 e s.m.i.

“Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici ”

- per i beni culturali tutelati è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento; è peraltro comunque richiesto di calcolare i livelli di accelerazione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite, nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento.
- richiede che nei prossimi 5 anni sia valutata la sicurezza sismica degli edifici strategici e rilevanti

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – DM n° 159, 14.9.2005

“Norme tecniche per le costruzioni”

# LINEE GUIDA per l'applicazione al patrimonio culturale della normativa tecnica di cui all'Ordinanza P.C.M. 3274/03

L'Ordinanza P.C.M. n° 3431/05 (3 Maggio 2005), che contiene una completa revisione della prima versione (OPCM 3274/03), afferma che:

**entro sei mesi, il Dipartimento per la Protezione Civile ed il Ministero per i Beni e le Attività Culturali definiranno le linee guida per l'applicazione della normativa sismica in relazione alle peculiari esigenze della salvaguardia del patrimonio culturale**

**I principali argomenti che devono essere affrontati da queste linee guida sono:**

- quali stati limite devono essere considerati per un edificio monumentale?**
- quali modelli e metodi di analisi possono essere utilizzati per la valutazione della accelerazione al suolo che produce i suddetti stati limite?**
- con quali procedure è possibile valutare la sicurezza sismica sull'intero patrimonio culturale italiano (i beni tutelati sono circa 60.000, ma per molti altri esiste una implicita esigenza di tutela; complessivamente 500.000 manufatti)?**

# Commissione incaricata della stesura delle LINEE GUIDA PER I BENI CULTURALI

## Coordinatori:

Michele Calvi, Presidente della Commissione Rischio Sismico  
Roberto Cecchi, Direttore Generale del Ministero per i Beni e le  
Attività Culturali

## Membri incaricati della stesura:

Paolo Faccio, Agostino Goretti, Sergio Lagomarsino

## Membri consulenti:

Antonio Borri	Giovanni Carbonara
Michele Jamiolkowski	Giorgio Croci
Gaetano Manfredi	Paolo Rocchi
Claudio Modena	Luciano Marchetti
Carlo Viggiani	

Contributi esterni: Carlo Blasi

# Indice del documento

- 1. Oggetto delle Linee Guida**
- 2. Requisiti di sicurezza e conservazione**
- 3. Azione sismica**
- 4. Conoscenza del manufatto**
- 5. Modelli per la valutazione della sicurezza sismica**
- 6. Criteri per il miglioramento sismico e tecniche di intervento**

# Capitolo 1 – Oggetto delle Linee Guida

## FINALITÀ E CRITERI

Le Linee Guida sono state redatte con l'intento di specificare un percorso di conoscenza, valutazione della sicurezza sismica e progetto degli eventuali interventi, concettualmente analogo a quello previsto per le costruzioni non tutelate, ma opportunamente adattato alle esigenze e peculiarità del patrimonio culturale applicabile a diverse scale

- la valutazione della vulnerabilità del patrimonio culturale a scala territoriale;
- la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sul singolo manufatto.

# Capitolo 2 – Requisiti di sicurezza e conservazione

## 2.1 STRUMENTI PER LA VALUTAZIONE A SCALA TERRITORIALE

### Metodi semplificati

valutazione quantitativa dell'accelerazione di collasso rapportarla rapportata a quella attesa nel sito in un prefissato intervallo di tempo e con una prefissata probabilità di superamento; questo parametro, è l'**indice di sicurezza sismica**, utile per evidenziare le situazioni più critiche e stabilire priorità per i futuri interventi.

$$I_S = \frac{a_{SLU}}{\gamma_I S a_g}$$

## Capitolo 3 – Azione sismica

L'azione sismica è descritta attraverso opportuni spettri di risposta, in funzione delle caratteristiche del suolo (tipo A, B, C, D, E), ancorati a valori del picco dell'accelerazione orizzontale al suolo di riferimento.

Questa accelerazione è valutata con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondente ad un periodo medio di ritorno

T=475 anni. Basandosi su uno studio condotto a metà degli anni '90 e considerando la precedente classificazione,

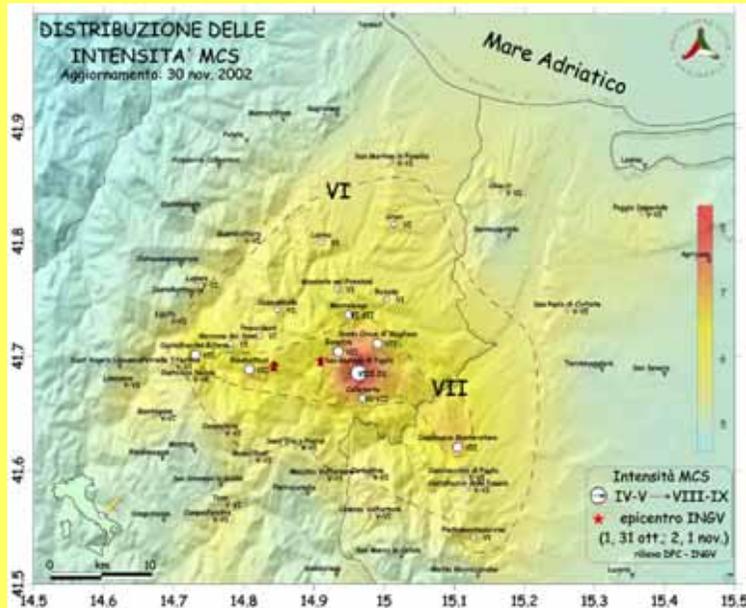
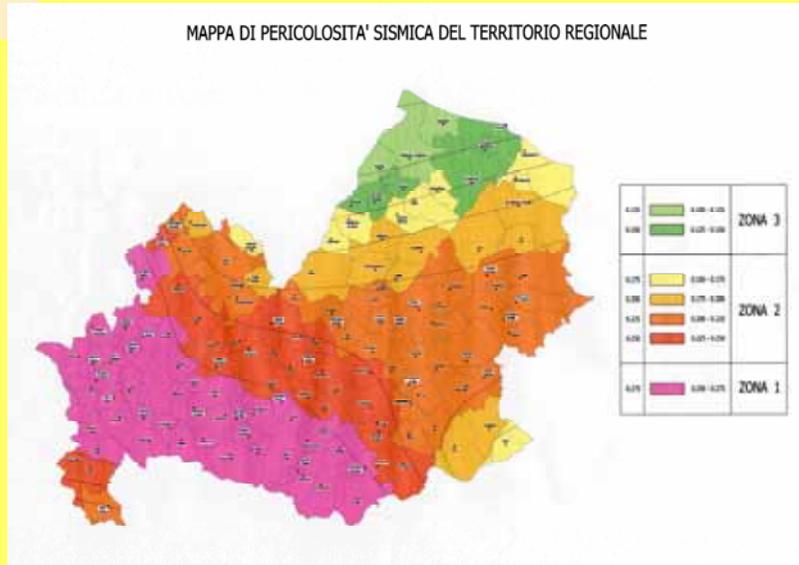
**L'Italia è stata suddivisa in 4 zone, arrotondando per eccesso i valori in ogni comune:**

- zona 1:	0.35 g	- zona 2:	0.25 g
- zona 3:	0.15 g	- zona 4:	0.05 g

Con l'Ordinanza P.C.M. n° 3519, del 28.4.2006, è stata recepita la nuova mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale elaborata da INGV ([http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa\\_ps\\_apr04/italia.html](http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html)).

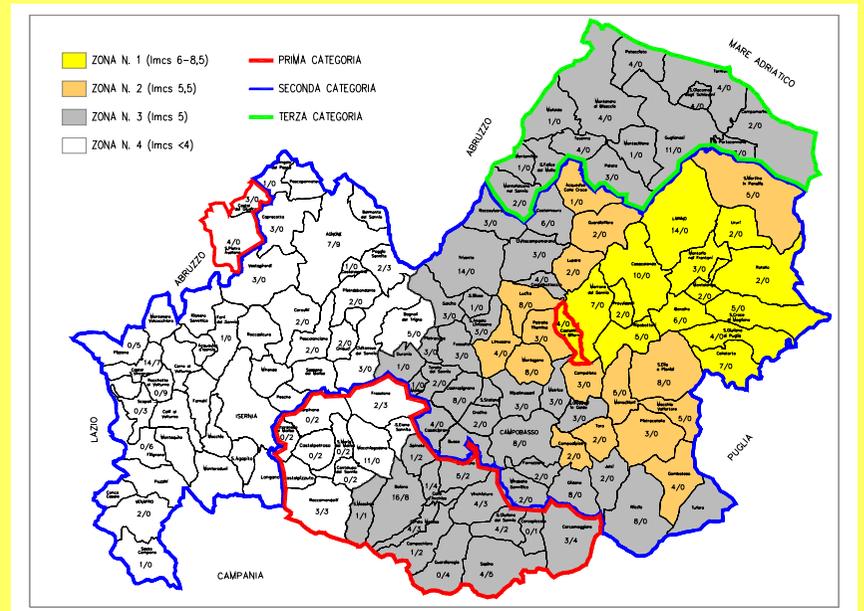
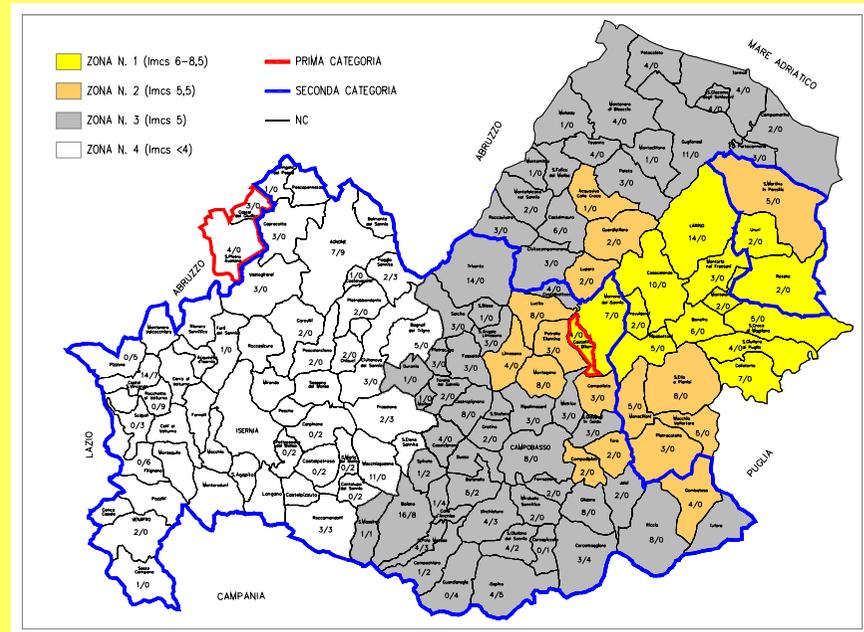
Nelle Linee Guida è consentito ancorarsi al valore della mappa INGV (le Norme Tecniche consentono già la suddivisione in sottozone).

## Seismic classification – 2006



Area interested by the 2002 seismic event with individualization of the epicenter zone  
Molise earthquake 2002 - M.5.4

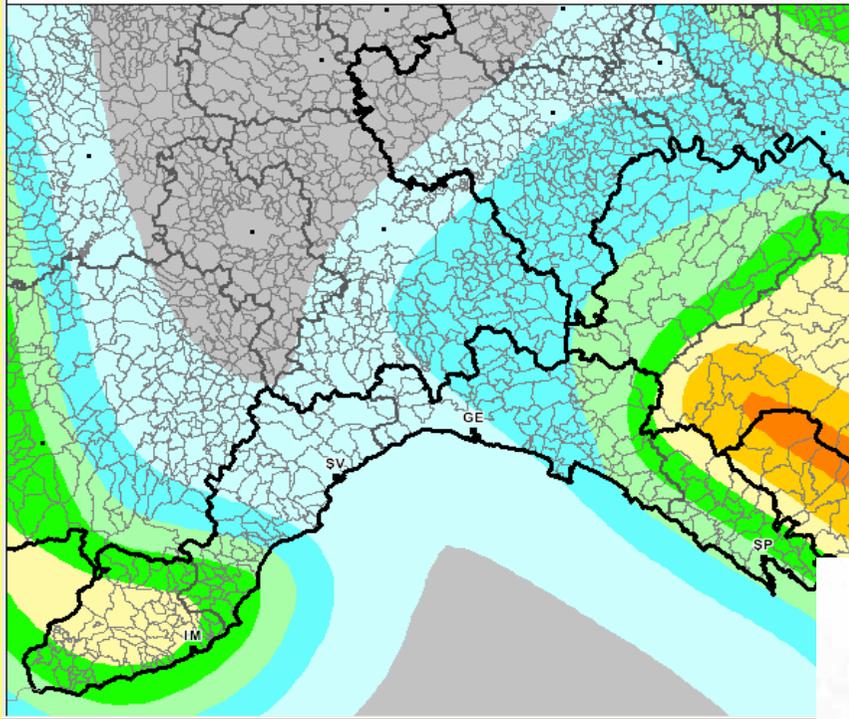
## Seismic classification 31.10.2002



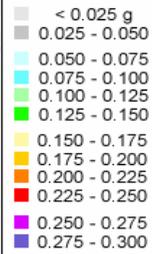
New seismic classification (2003)

## Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n.3274, All.1)  
 espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ )  
 con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
 riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s,30} > 800$  m/s; cat.A, All.2, 3.1)

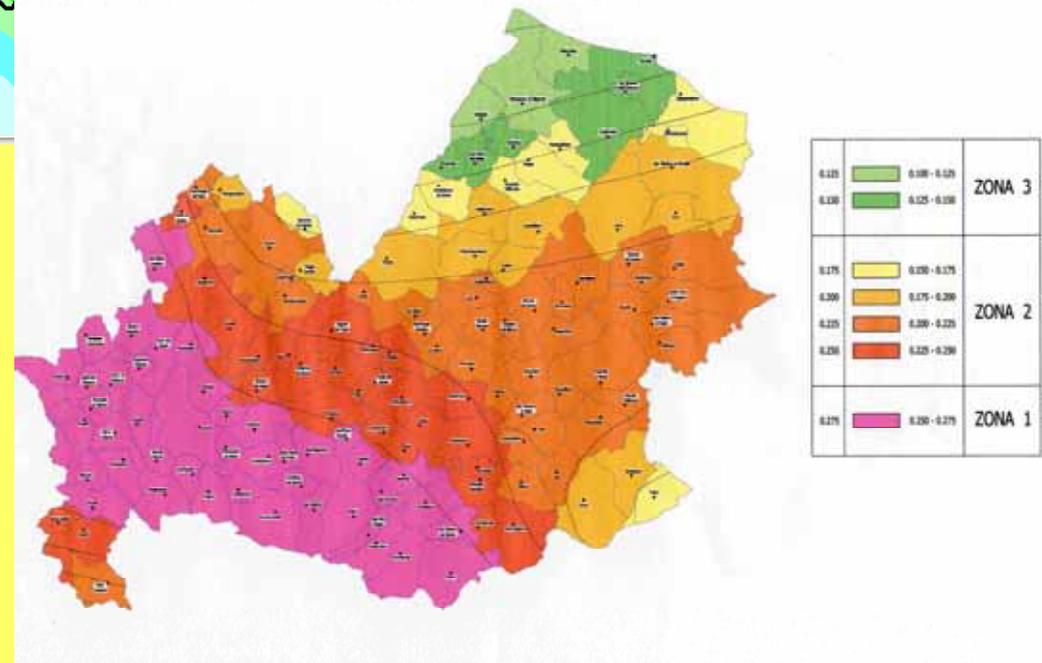
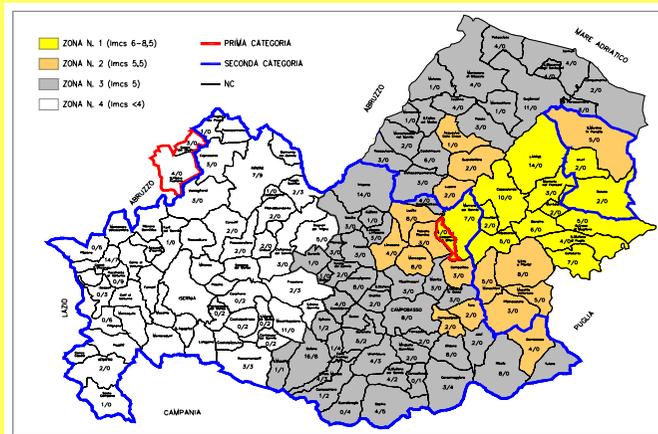
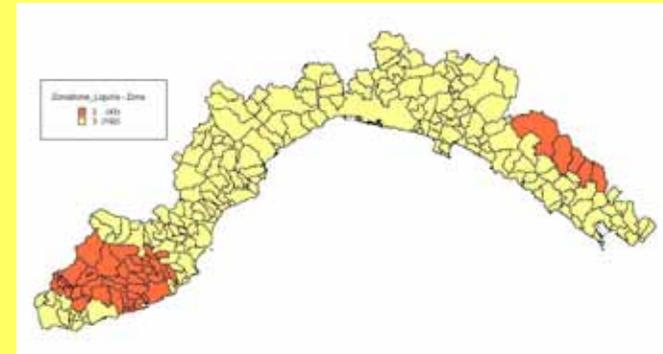


Regione Liguria



Elaborazione:  
 aprile 2004

## CLASSIFICAZIONE SIMSICA 2005 CONFRONTO MOLISE – LIGURIA



# Capitolo 4 – Conoscenza del manufatto

Documentazione di archivio

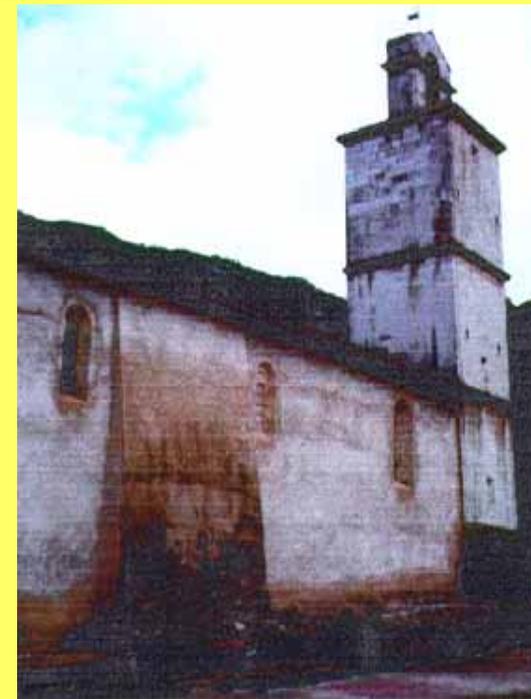
Sismicità storica (cataloghi sismici)

Fonti iconografiche



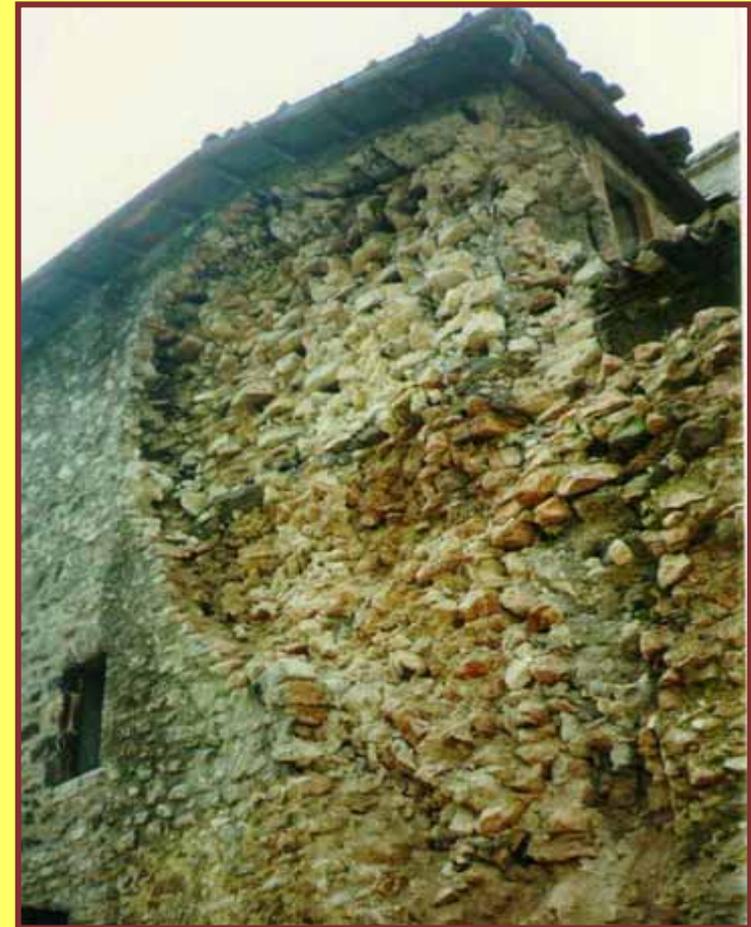
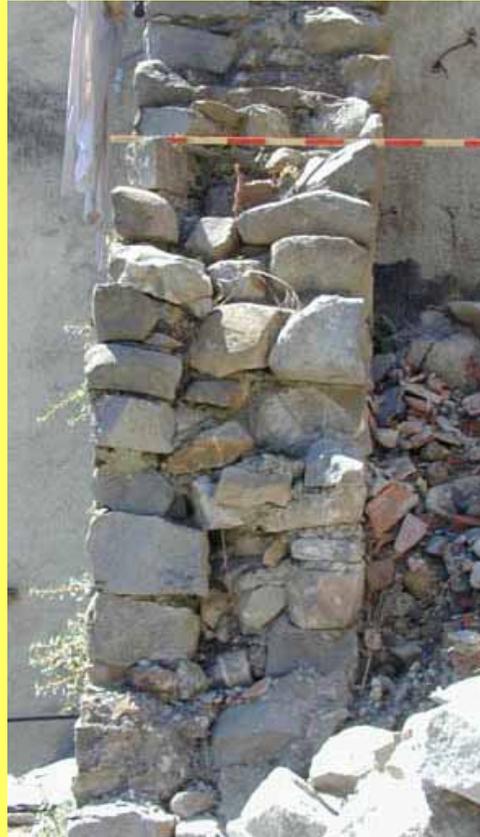
*Tempio della Madonna degli Angeli, Gesù consacrato dal  
Tommaso nell'anno 1832*  
AL MERITO SINGOLARISSIMO DI SUA ECCELLENZA LV SIG<sup>o</sup> BARONE TOMMASO ODDI DANZETTA.

## Monumento-Documento



## LA MURATURA

- qualità dei materiali (pietre, mattoni, malta)
- dimensione e forma degli elementi
- tessitura dei paramenti esterni
- connessione trasversale



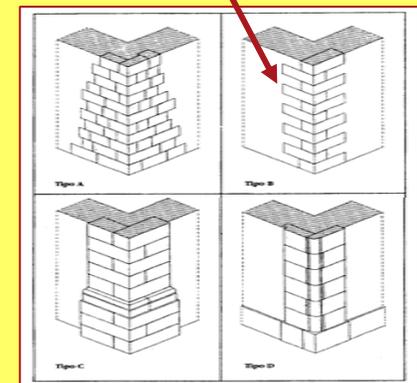
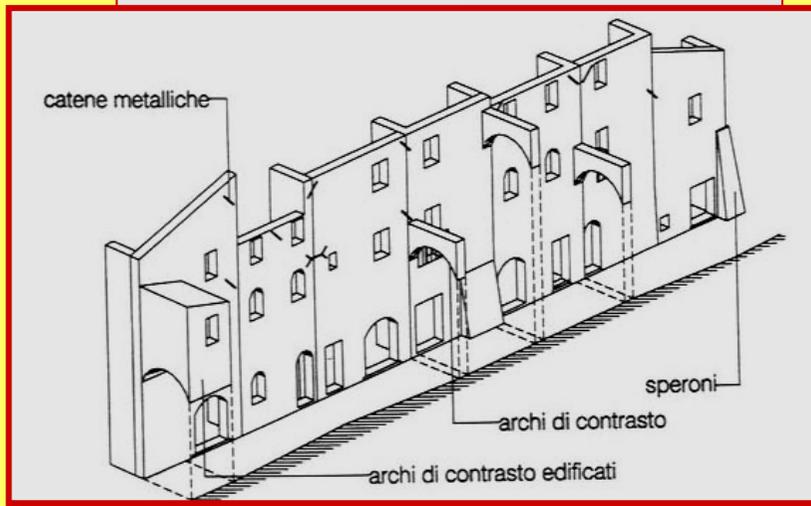
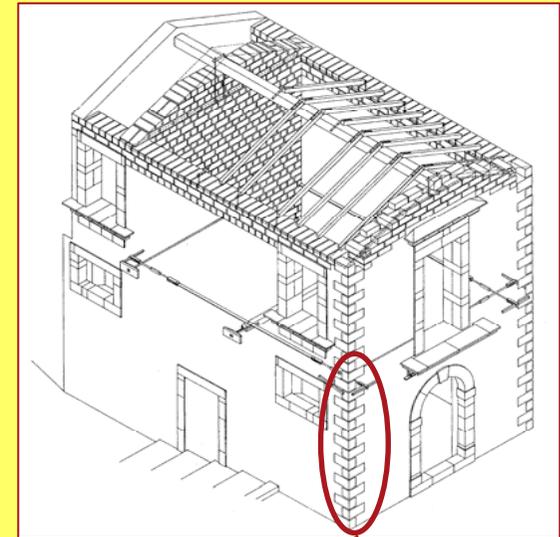
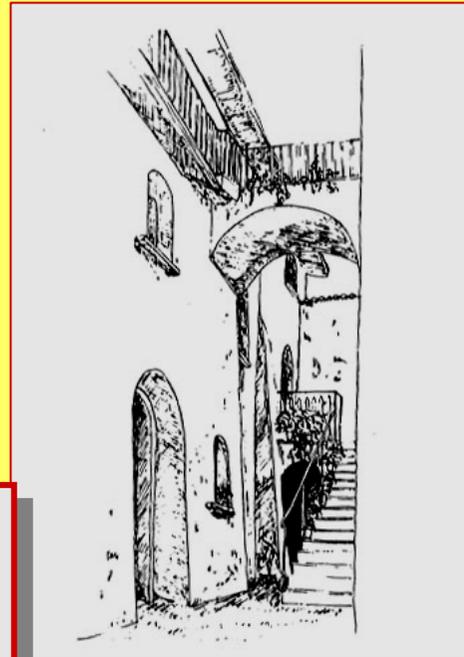
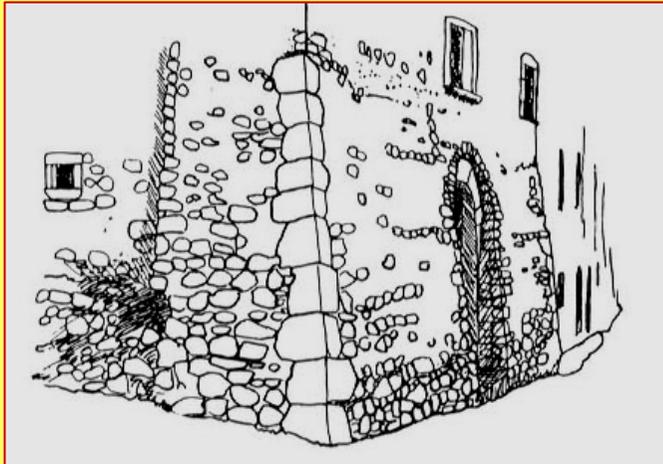
## CONOSCENZA DELLE TECNICHE COSTRUTTIVE



Ammorsamento tra le  
facciate



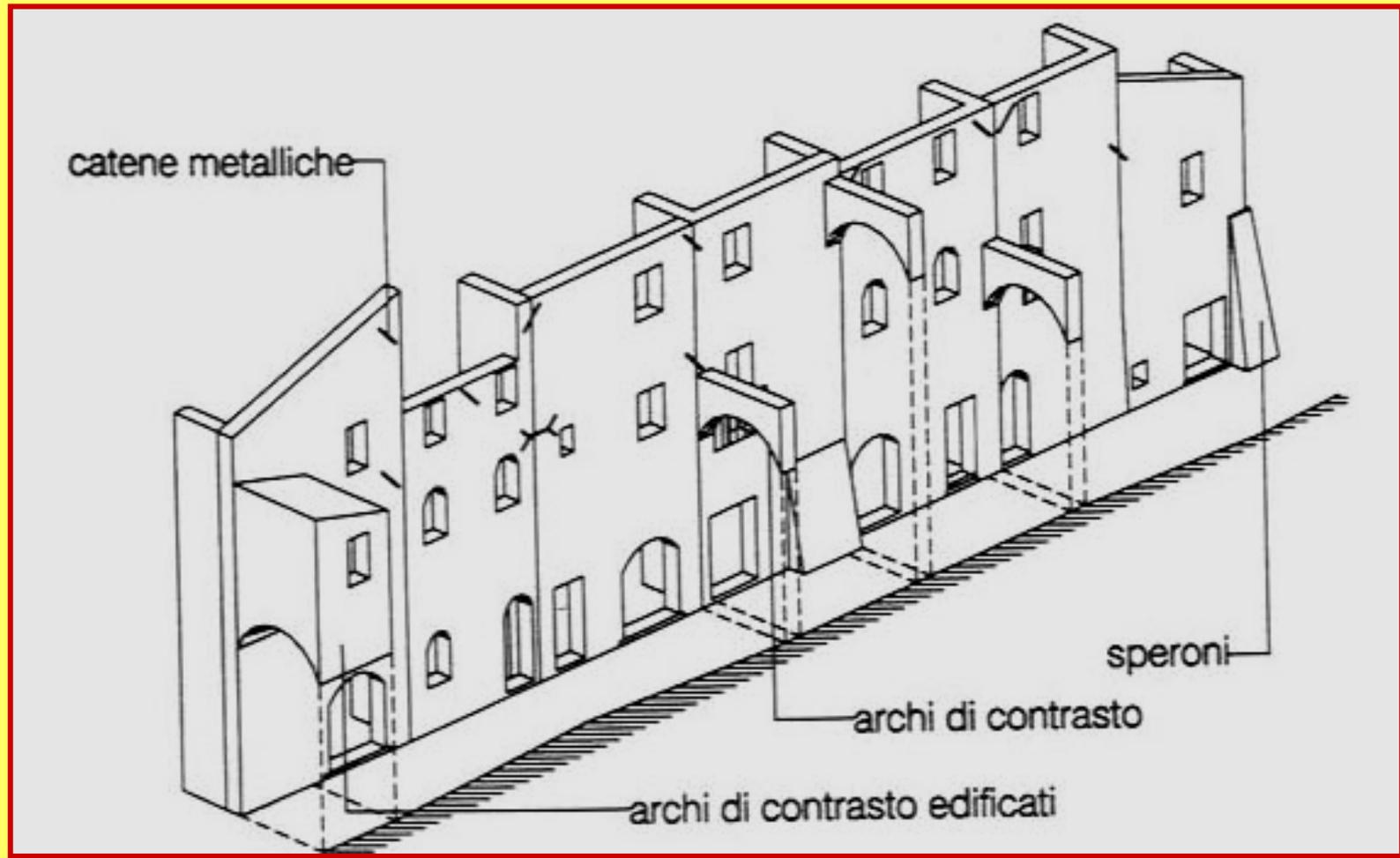
**Some traditional technological solution** (rules of the art) frequently adopted in the areas with a great seismic risk : the quality of the connections, the use of lintels of suitable rigidity, the realization of a building as a box through chains and reinforcement rings, the insertion of buttresses to contrast the mechanisms of turnover



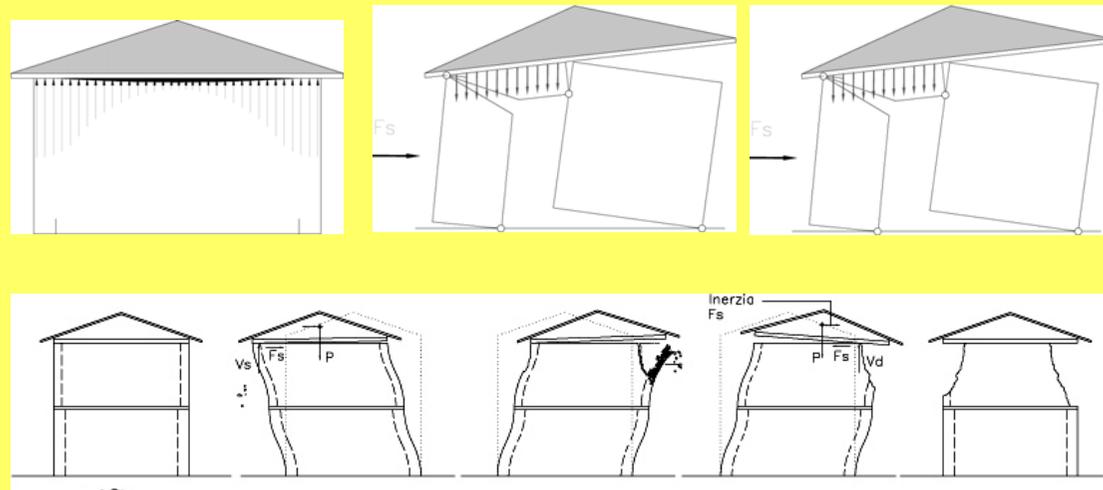
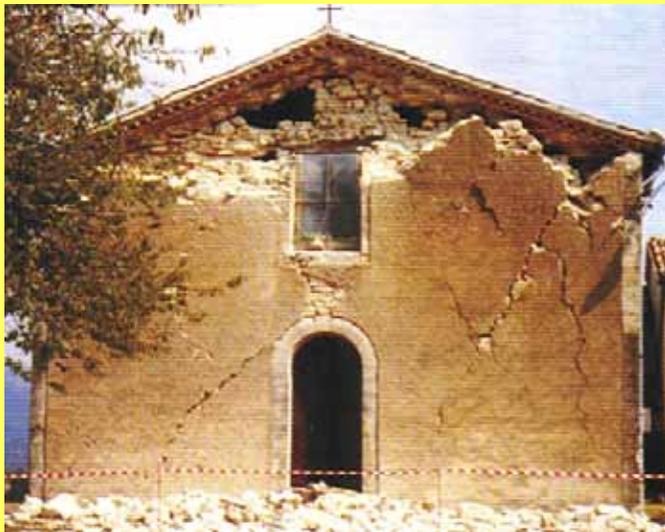
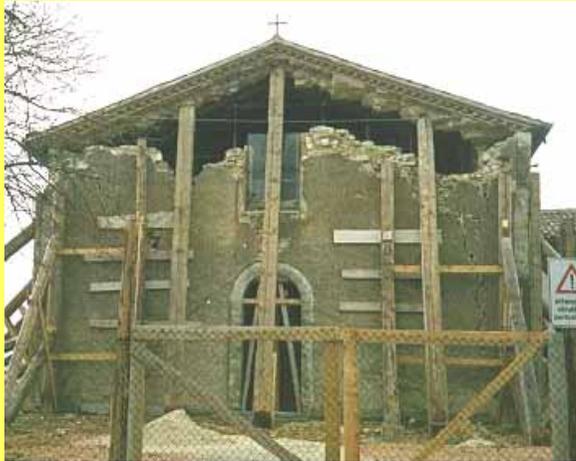
**The conformity to the rules of the art is like a seismic test**

## Some traditional interventions

Traditional interventions were aimed to furnish stability to the construction, preserving it from the collapse but accepting a possible damage (metallic chains, reinforcement rings, buttresses, .....).



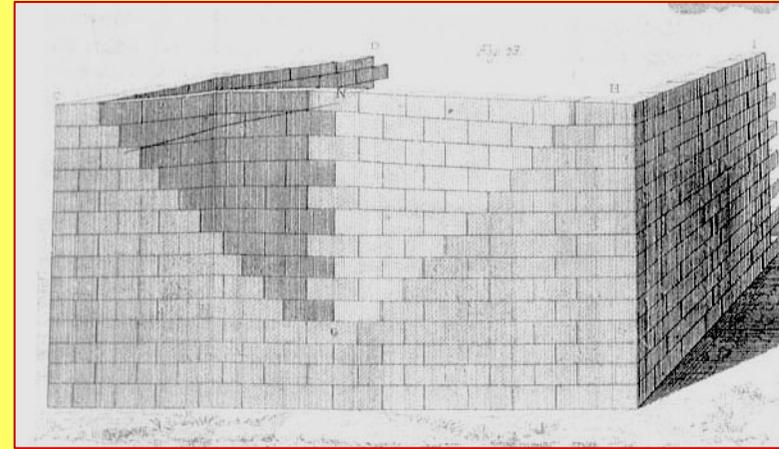
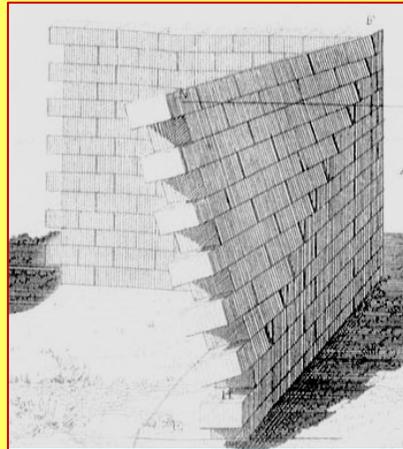
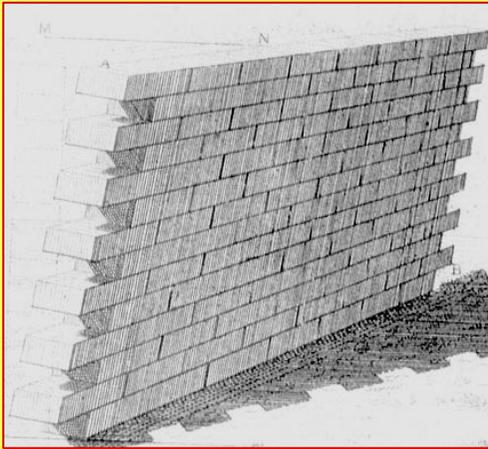
# AN EXAMPLE OF MODERN DANGEROUS INTERVENTIONS !! REMAKING OF FLOORS AND ROOFS IN CONCRETE



Damage mechanism

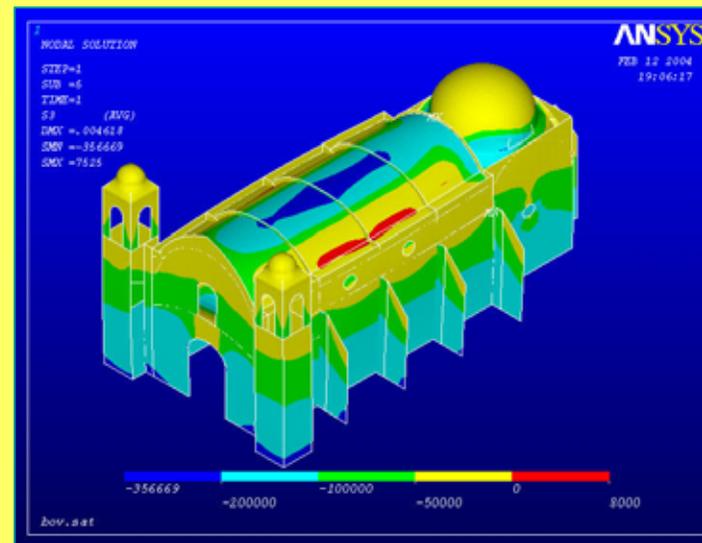
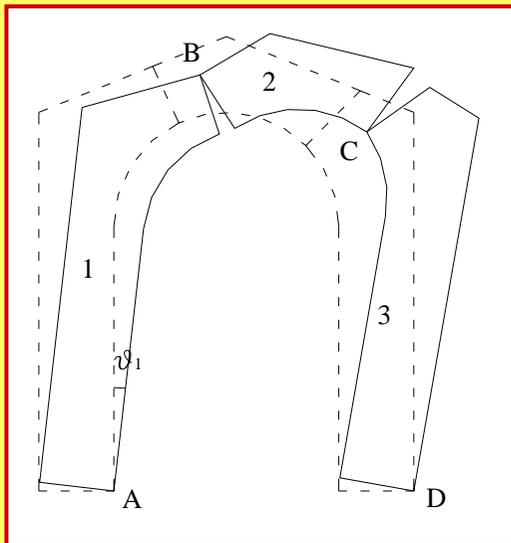
# Capitolo 5 – Modelli per la valutazione della sicurezza sismica

## Intuizione dei meccanismi di collasso nelle strutture in muratura - LV1



## Analisi limite dell'equilibrio – LV2

## Modellazione non lineare ad elementi finiti – LV3



# Capitolo 5 – Modelli per la valutazione della sicurezza sismica

## 5.2 Livelli di valutazione della sicurezza sismica

### **LV1: analisi qualitativa con modelli meccanici semplificati**

#### **Modelli di valutazione per tipologie**

**Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi**

**Chiese ed altre strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi**

**Torri, campanili ed altre strutture a prevalente sviluppo verticale**

**Ponti in muratura, archi trionfali ed altre strutture ad arco**

### **LV2: valutazione su singoli macroelementi (meccanismi locali)**

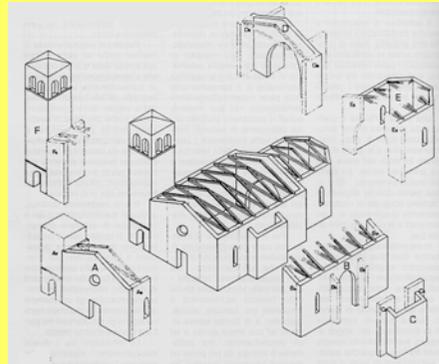
### **LV3: valutazione complessiva della risposta del manufatto**

*LV1: analisi qualitativa con modelli meccanici semplificati*

*LV2: valutazione su singoli macroelementi (meccanismi locali)*

## **EARTHQUAKE MOLISE 2002 : THE METHODOLOGY FOR THE STRUCTURAL ANALYSIS OF THE MONUMENTAL GOODS**

From the lesson of the past earthquakes it is been observed as the monumental buildings in masonry, also in the variety of the constructive techniques and the forms, result constituted by simple structural elements like



- perimetral walls
- horizontal structures
- Vaults, arcs and towers

**Unity of reference:**

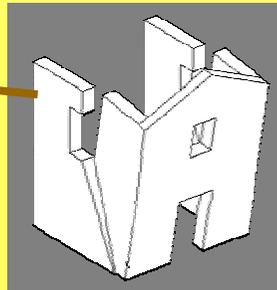
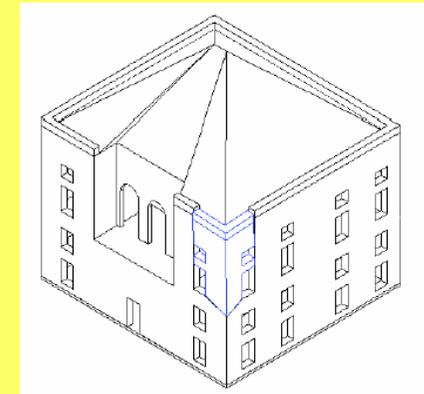
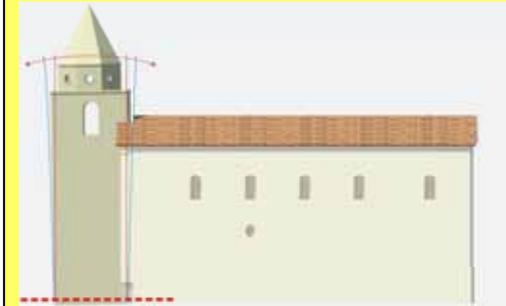
- macro-elements
- damage way
- collapse mechanism



**MACRO-ELEMENT:** parts of the factory characterized by a proper response that can be evaluated almost independently by the rest of the structure

**WAY OF DAMAGE :** phenomenology by which manifests cracks in the masonry, generally according to the type of solicitation (traction, cut and compression)

**COLLAPSE MECHANISM :** kinematic mechanism by which the different parts of the factory are separated by the damage and/or reach collapse; every mechanism of collapse can be activated with different ways of damage according to the vulnerability of the structural element



# SEISMIC RESPONSE OF OLD MASONRY BUILDINGS

## First Damage way

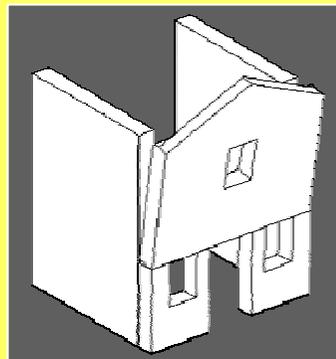
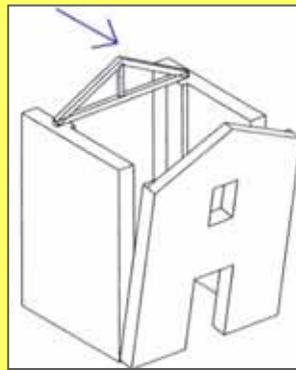
action perpendicular to the plan of the wall



zipper at the base



zipper in correspondence of the portal



## Second Damage way

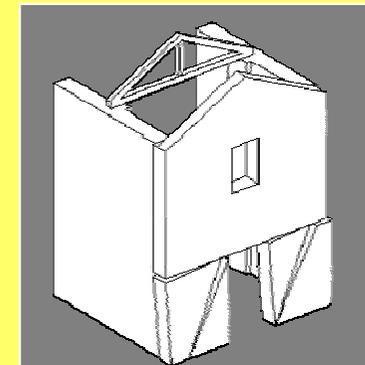
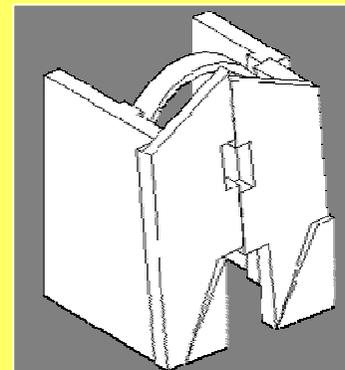
Action in the plan of the wall

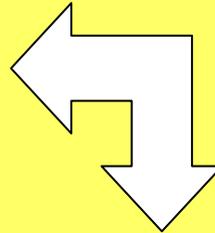


damage in the panels to the sides of the portal and horizontal to the center of the façade



Lesion to cut of the males





**INDIVIDUALIZATION OF THE MACRO-ELEMENTS**

Individualization of the possible Mechanisms of collapse for every macro-elements

survey of the seismic damage associate the mechanisms of collapse

survey of the present seismic protection in the macro-element

survey of the indicators of vulnerability in the macro-element

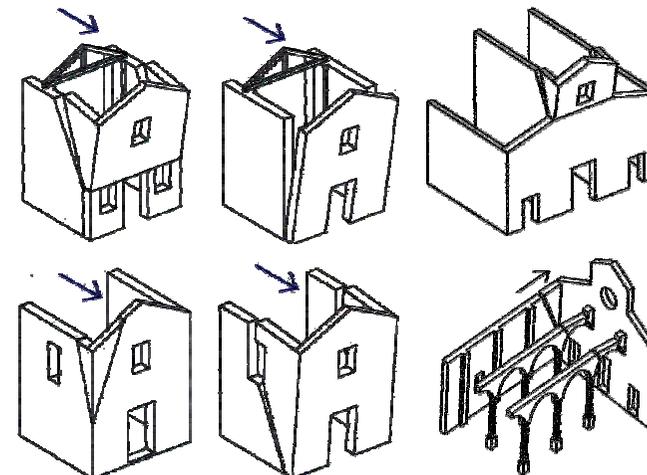
**FORM FOR THE SURVEY OF THE SEISMIC DAMAGE AND VULNERABILITY OF THE CHURCHES : LV1**

19 – MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - PARETI LATERALI DELL'AULA					
		Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo:    Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Punta di danno massimo (da 0 a 5):    __	
Vulnerabilità		Si	No	<i>Presidi antisismici</i>	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, c.a. sottili)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Presenza di collegamento puntuale delle travi alla muratura	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Vulnerabilità		Si	No	<i>Indicatori di vulnerabilità</i>	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Presenza di copertura staticamente spingente	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Danno	attuale	Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra i cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto – Sconnessioni e movimenti tra gli elementi di orditura principale			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	vecchio	Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra i cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto – Sconnessioni e movimenti tra gli elementi di orditura principale			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

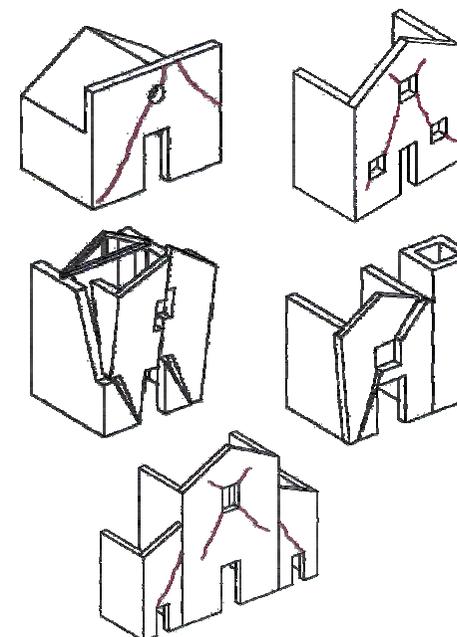
# URCES : FORM FOR THE SURVEY OF SEISMIC DAMAGE AND VULNERABILITY - LV1

28 MECCANISMI DI DANNO	<i>Meccanismo di danno</i>	<i>Modo di danno</i>	<i>Parte della chiesa</i>
	1 RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA	I	FACCIATA
	2 MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA	I	
	3 MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA	II	
	4 PROTIRO O NARTECE	I o II	AULA
	5 RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA	I	
	6 MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI	II	
	7 RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO DELLE CHIESE A PIÙ NAVATE	I	
	8 VOLTE DELLE NAVATE CENTRALE	I o II	
	9 VOLTA DELLA NAVATE LATERALI	I o II	
	10 RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO	I	TRANSETTO
	11 MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO	II	
	12 VOLTE DEL TRANSETTO	I o II	ARCO TRIONFALE
	13 ARCHI TRIONFALI	II	
	14 CUPOLA - TAMBURO	I o II	CUPOLA
	15 LANTERNA	I o II	
	16 RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE	I	ABSIDE
	17 MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE	II	
	18 VOLTE NEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE	I o II	COPERTURA
	19 MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA (PARETI LATERALI DELL'AULA)	I o II	
	20 MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA (TRANSETTO)	I o II	
	21 MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA (ABSIDE E PRESBITERIO)	I o II	CAPPELLE CORPI ANNESSI
	22 RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE	I	
	23 MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE	II	AGGETTI CAMPANILE
	24 VOLTE DELLE CAPPELLE	I o II	
	25 INTERAZIONE IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ	I o II	AGGETTI CAMPANILE
	26 AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)	I	
	27 TORRE CAMPANARIA	I o II	
28 CELLA CAMPANARIA	I o II		

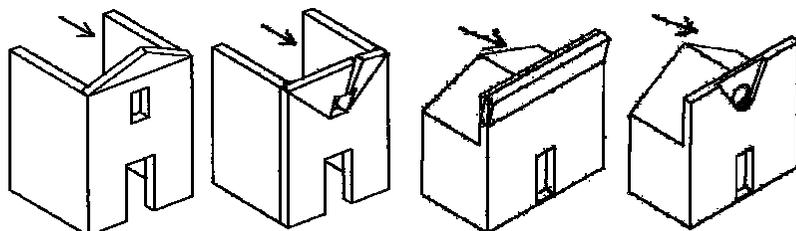
Ribaltamento della facciata



Meccanismi nel piano della facciata



Meccanismi nella sommità della facciata



# LV1 - EVALUTATION OF DAMAGE AND SEISMIC VULNERABILITY -

Index of middle damage  $I_d$

$$i_d = \frac{1}{5} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k d_k}{\sum_{k=1}^{28} \rho_k}$$

$$a_{slu} = 0,25 * 1,8^{(5,1-3,44 * I_v)}$$

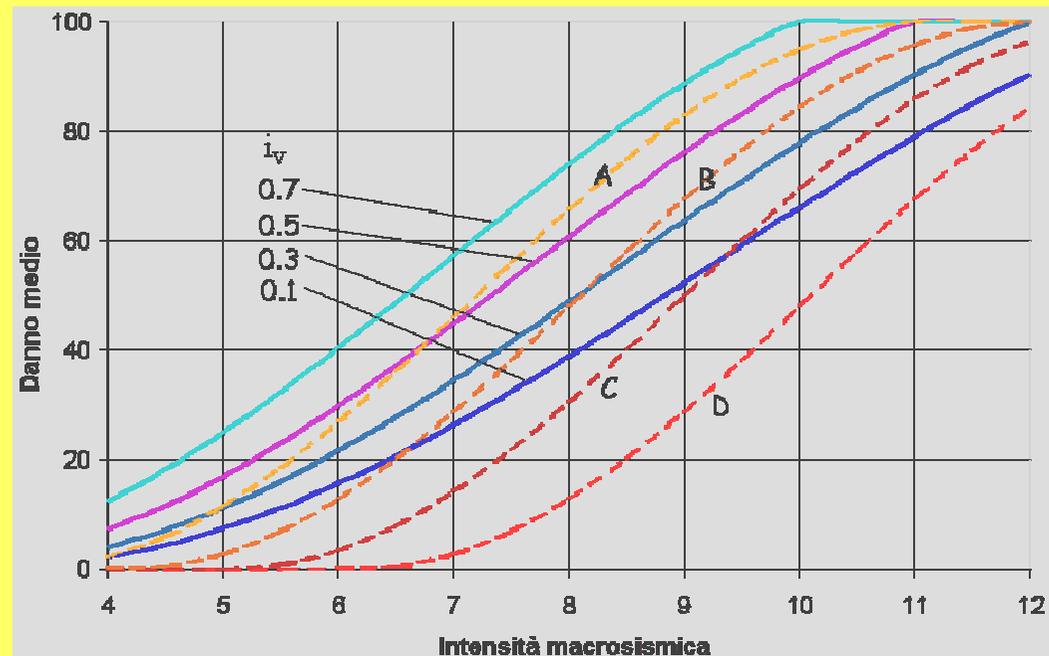
Index of vulnerability  $i_v$

$$i_v = \frac{1}{6} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k (v_{ki} - v_{kp})}{\sum_{k=1}^{28} \rho_k} + \frac{1}{2}$$

$$\text{Index of security} = a_{slu} / (\gamma * S * St * ag)$$

## CURVES OF VULNERABILITY

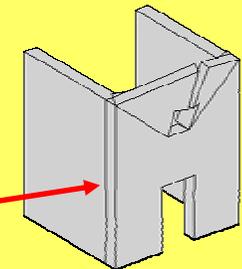
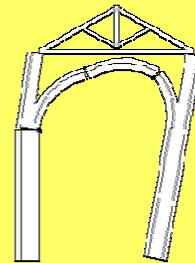
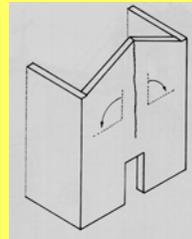
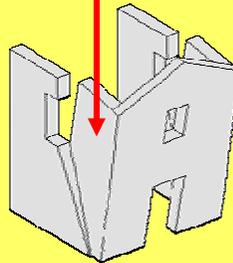
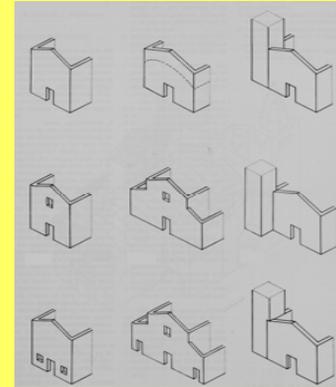
$$\mu_D = 2.5 \cdot \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 3.4375 \cdot i_v - 8.9125}{3} \right) \right]$$



# MOLISE EARTHQUAKE 2002 : ANALYSIS OF MONUMENTAL GOODS DAMAGE

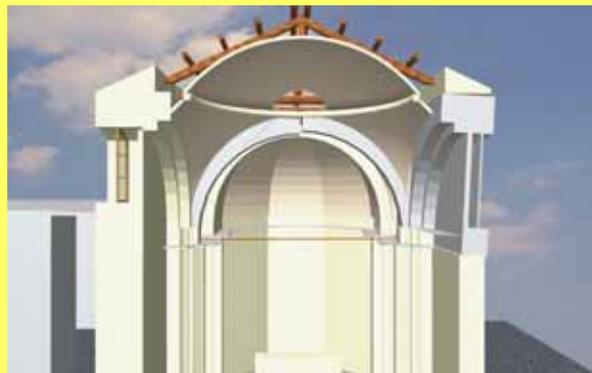
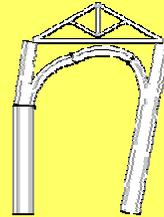
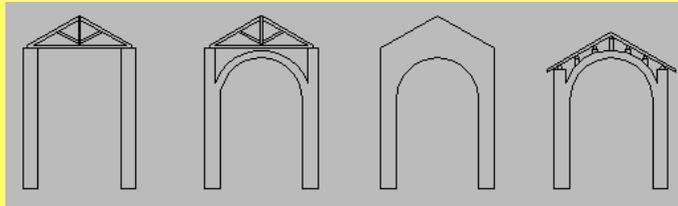
## TURNOVER OF THE FAÇADE

First way damage – action out of the plan



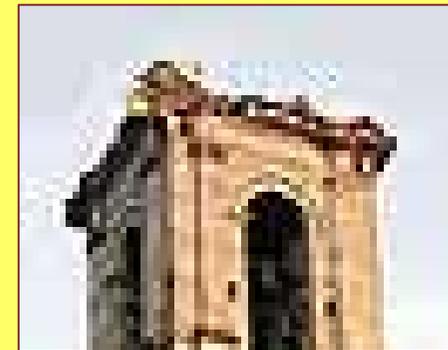
# MOLISE EARTHQUAKE 2002 : ANALYSIS OF MONUMENTAL GOODS DAMAGE

## TRANSVERSE SEISMIC RESPONSE AND VAULTS



## MOLISE EARTHQUAKE 2002 : ANALYSIS OF MONUMENTAL GOODS DAMAGE

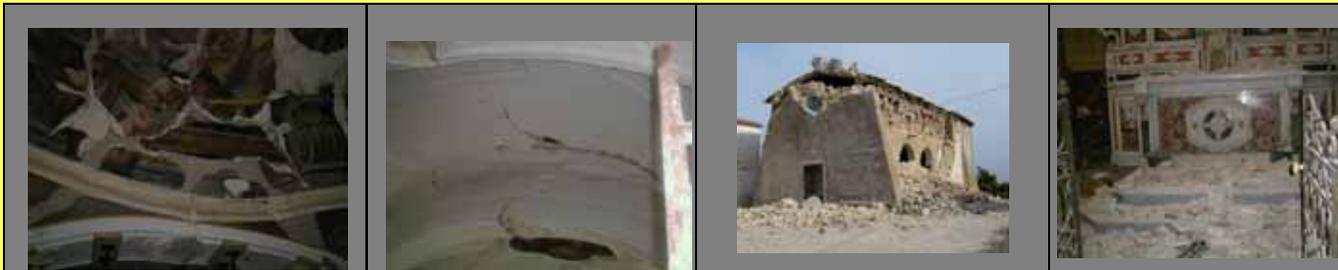
### TOWER AND CELL BELL





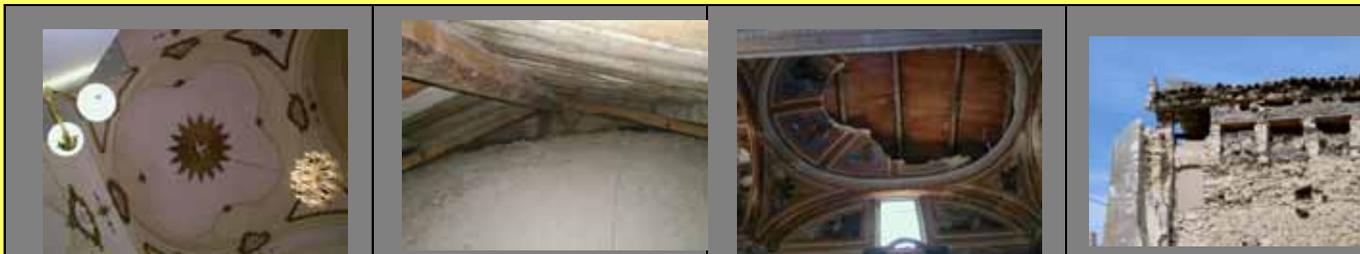
S.Maria Assunta – Ripabottoni - Compressione nei pilastri dell'aula

S.Giuliano- S.Giuliano di Puglia – Compressione nei pilastri dell'aula



S.Francesco – Larino – martellamento delle travi di copertura sulle strutture voltate dell'aula

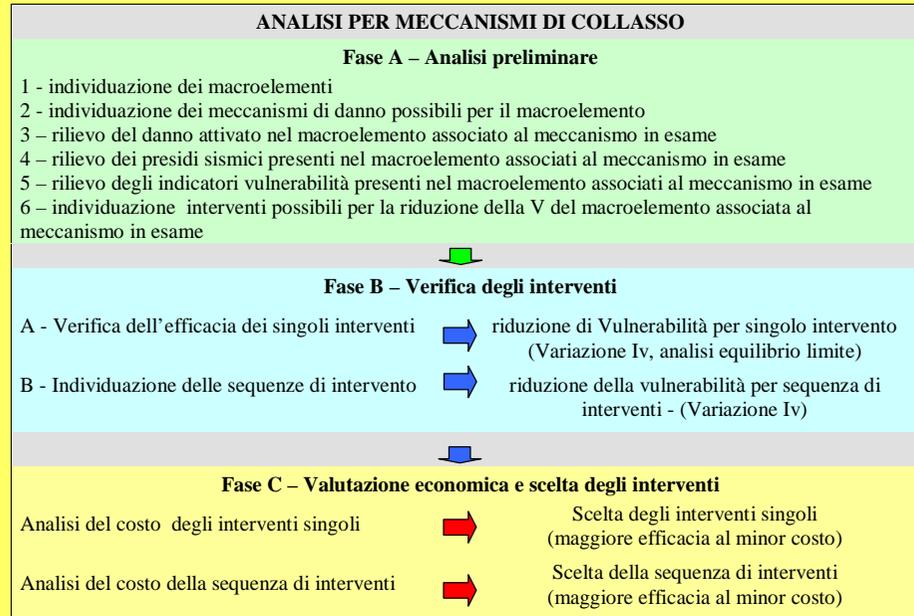
S.Maria – Limosano – martellamento delle strutture di copertura sulla cupola di mattoni pieni in foglio



S.Martino Vescovo – Campodipietra – Martellamento delle strutture di copertura sulla volta di mattoni pieni in foglio

S.Elena – S.Giuliano di Puglia - martellamento delle strutture di copertura in cemento armato sulla facciata e sulle pareti laterali

**PRESENCE OF A VERTICAL COMPONENT OF THE SEISMIC ACTION ACCENTED BY POSSIBLE LOCAL AMPLIFICATIONS TO CORRELATE TO MORPHOLOGY AND THE GEOLOGY OF THE AREA**



**THE METHODOLOGY IS FOUNDED ON THE “MECHANISM COLLAPSE ANALYSIS”**

**PHASE A - Preliminary analysis – LV1**

**PHASE B - Verification of the effectiveness of the interventions - LV2**

**PHASE C - Economic evaluation and choice of the interventions**

# PHASE A : PRELIMINARY ANALYSIS – LV1

## INDIVIDUALIZATION OF THE MACRO-ELEMENTS

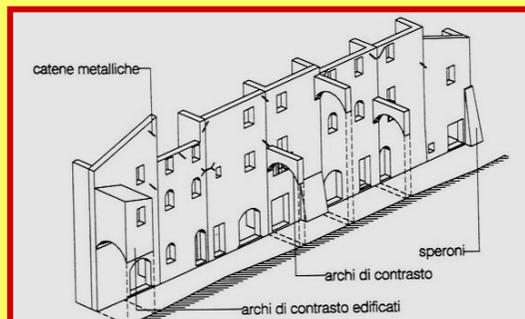
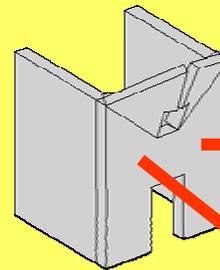
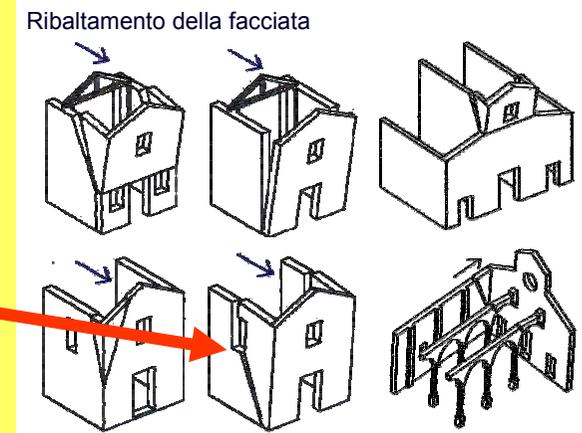
Individualization of the possible Mechanisms of collapse for every macro-elements

survey of the seismic damage associate to the mechanisms of collapse

survey of the present seismic protection in the macro-elements

survey of the indicators of vulnerability in the macro-elements

Individualization of the interventions for the reduction of Vulnerability

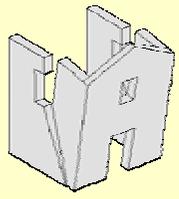


# PHASE B - (LV2) : VERIFICATION OF THE INTERVENTIONS EFFECTIVENESS

## application of the analysis to the equilibrium limit

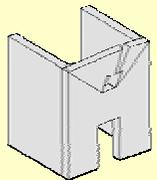
mechanism of turnover of the façade - (sisma 2002: Imcs 7- earthquake 2003 - zone 2 ag/g=0,21s)

S.NICOLA - BONEFRO

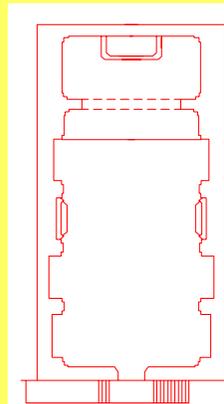
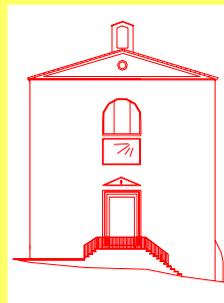


$\Lambda_1 = 0,039$   
activated  
mechanism

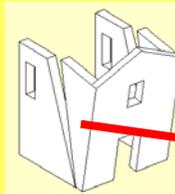
$\Lambda_2 = 0,45$   
seismic increase obtainable  
with the assemblage of two  
longitudinal chains at 8 earth  
m



$\Lambda = 0,121$  - possible mechanism



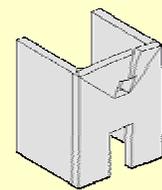
S.MARIA DELLA CONCEZIONE - RIPABOTTONI



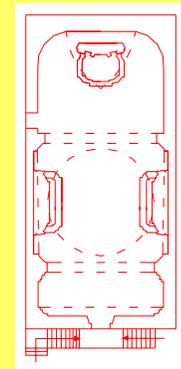
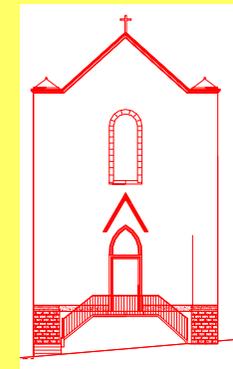
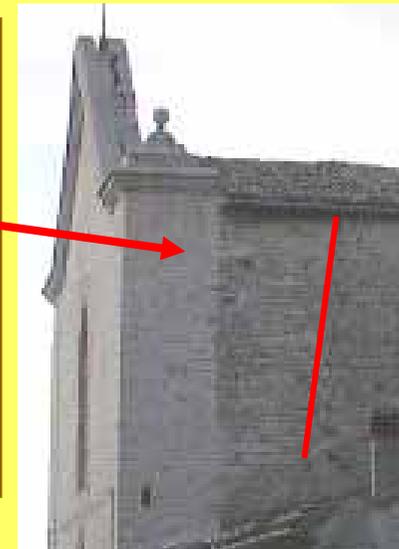
$\Lambda_1 = 0,186$   
activated  
mechanism

$\Lambda_2 = 0,405$  aumento di  $\Lambda$

seismic increase obtainable  
with the assemblage of two  
longitudinal chains to 8 earth  
m



$\Lambda = 0,154$  - possible mechanism



# Capitolo 5 – Modelli per la valutazione della sicurezza sismica

## 5.2 Metodi di analisi

1. Analisi statica o cinematica lineare
2. Analisi dinamica modale
3. Analisi statica o cinematica non lineare
4. Analisi dinamica non lineare

### ANALISI CINEMATICA

- Nello studio dei meccanismi locali si può usare l'analisi limite dell'equilibrio, secondo l'approccio proposto da Heyman (e da Giuffrè nel caso sismico)



## **PHASE C**

**economic evaluation and the choice of the interventions :**

- Analysis of cost of the single intervention**
- Organization of logical sequences of interventions founded on the cost and on the seismic effectiveness**
- Choice of the logical sequences of interventions with economic availability**

## MOLISE 2002 : PRINCIPAL CRITERIONS FOR THE CHOICE OF THE INTERVENTIONS (ABOUT 350 CHURCES)

<p>1 – Strongly damaged buildings : put in safety through supports and/or chainings; the following interventions must necessarily follow the order of the sequence A2;(&gt; 400 euro/mq)</p>	<p>S.Pietro in Vincoli Castellino sul Biferno Id = 0,74 Iv = 0,64</p> 
<p>2 – Middle damaged with high vulnerability : to perform the interventions in the order of the sequence A.1 (200 – 400 euros/mq)</p>	<p>S.Nicola – Bonefro Id = 0,28 Iv = 0,50</p> 
<p>3 – Low damage and high vulnerability : to perform the interventions in the order of the sequence A1 in according to the economic disponibility. This is the most numerous group (<math>\leq</math> 120 euros/mq)</p>	<p>S.Pietro Apostolo S.Martino in Pensilis Id = 0,05 Iv = 0,53</p> 

**PHASE A : inside of the sequence A1 are individualized the interventions for the emergency. This has allowed to propose a practical methodology of application and to avoid expensive support**

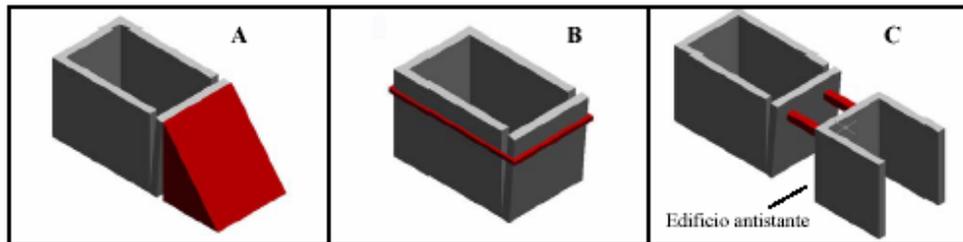


Figura 3. Schemi tipologici d'interventi provvisori per il ribaltamento di pareti: tipologia a sperone (A); tipologia ad incatenamento (B); tipologia a contrasto (C).



Figura 15. Schemi tipologici di interventi nelle volte e negli archi

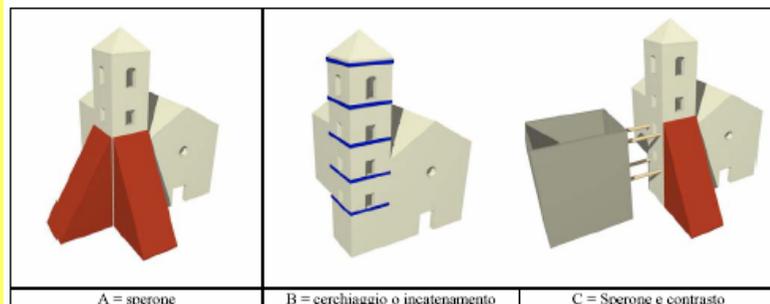


Figura 16. Schemi tipologici di interventi nelle torri e nelle celle campanarie



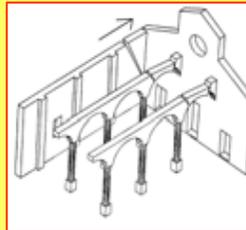
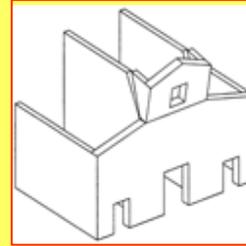
## Preliminary analysis LV1

S.PIETRO IN VINCOLI CHURCH : CASTELLINO OF THE BIFERNO RIVER – MOLISE - ITALY



# VALUATION OF THE SEISMIC DAMAGE AND VULNERABILITY : DAMAGE ANALISYS-LV1

PRINCIPAL DAMAGE MECHANISM : ACTIVATED AND POSSIBLE	DAMAGE LEVEL
1 - Turnover of the facade and of the perimetral walls	Strongly
2 - Turnover of the top of the facade	Strongly
3 - Mechanism in the plan of the facade and of the perimetral walls	Strongly and Medium
4 - Transverse and longitudinal seismic response	Strongly
5 - Vaulted, Dome and arcs	Strongly and Collapse
6 - Cover	Strongly
7 - Tower and cell-bell	Strongly



**DAMAGE INDEX**  $I_d = 0,546$  (seismic damage  $I_{mcs}$  7) +  $0,158$  (morphological amplification) =  $0,704$

# VALUATION OF THE SEISMIC VULNERABILITY - LV1

## Presence of indicators of seismic protection

Adjacent attached bodies

External buttresses to the arcs

Stocky Piers in cell bell

Chains in the tower

## Presence of indicators of vulnerability

Pushing elements in cover

Windows in the lateral wall near the facade

Top Sail of the facade

Thin vaulted

Great windows in the facade



$$i_v = \frac{1}{6} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k (v_{ki} - v_{kp})}{\sum_{k=1}^{28} \rho_k} + \frac{1}{2}$$

## VULNERABILITY AND SECURITY INDEX :

Before intervention:  $i_v = 0,67$ ; PGA (Peak Ground Acceleration) = 0,12 ;  $I_s = 0,39$

After intervention:  $i_v = 0,17$ ; PGA = 0,35 a/g –  $I_s = 1,1$

# Phase C – S.Pietro in Vincoli - Castellino on the Biferno (LV2)

Variation of the costs of intervention with the vulnerability for the sequences A1 and A2

X axis : interventios , Y axis : costs/mq \* 100 and index vulnerability

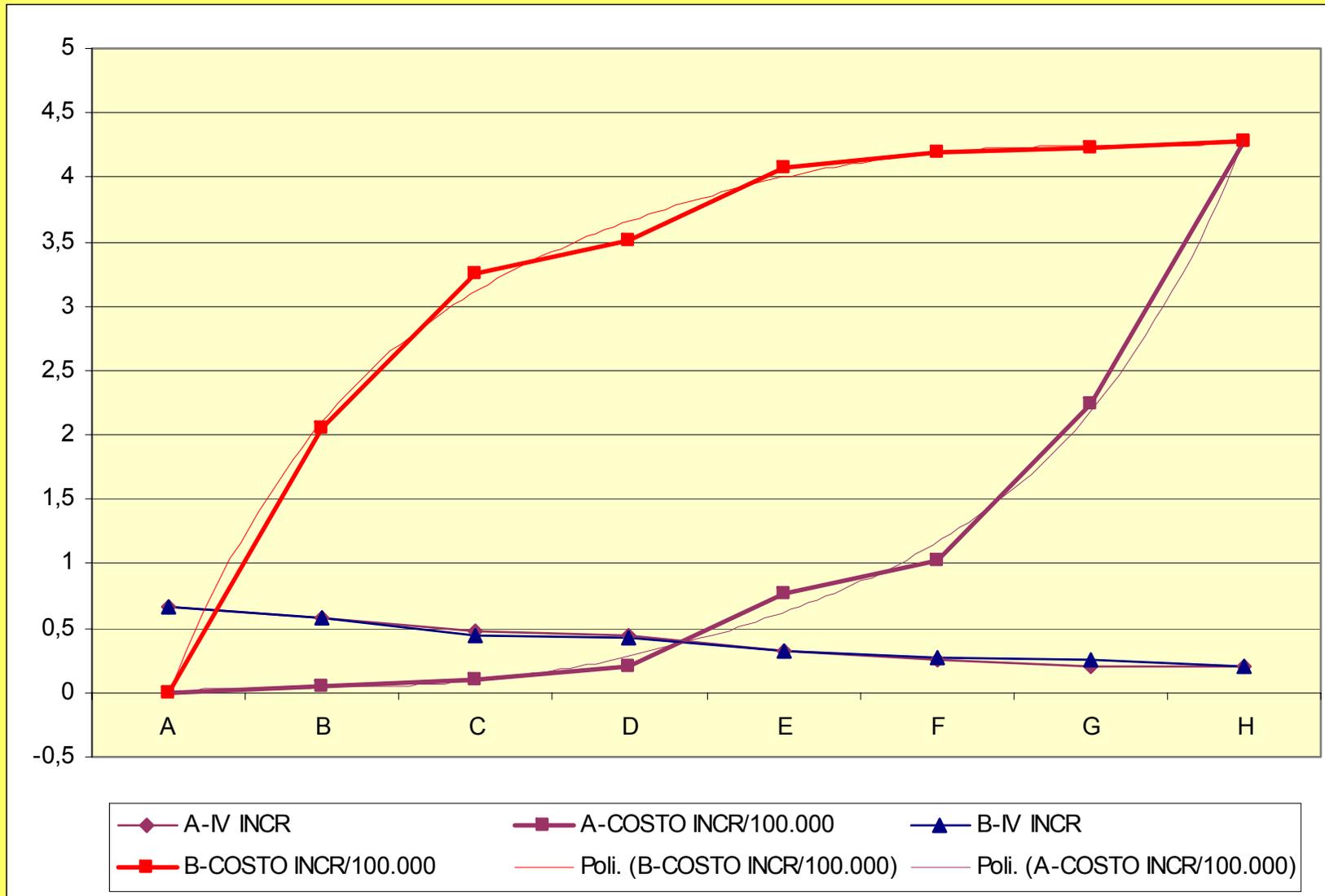
Interventions sequence A1	Single intervention		Sequence A1		Costs	
	Variation index V	Variation % index V	Incremental reduction of Vul	Incremental reduction of V %	Single intervention - euro	Sequence n.1 euro
<b>INITIAL VULNERABILITY</b>	0,67	0	0,67	0	0	0
1- Longitudinal chains	0,57	0,15	0,57	0,15	5.296	5.296
2 – Trasverse chains	0,53	0,21	0,48	0,28	4.350	9.000
3 - Chains at the tower and the cell bell	0,62	0,07	0,43	0,35	10.848	20.000
4 – Cover	0,54	0,19	0,33	0,51	56.678	77.000
5 – Cover – stringcourse in steel	0,53	0,21	0,25	0,62	26.083	103.000
6 – Consolidation vaulted	0,54	0,19	0,21	0,68	120.624	220.000
7 – Consolidation masnories	0,57	0,15	0,21	0,68	204.462	<b>428.000</b>

Interventions sequence A2	Singolo intervento		Sequence A2		Costs	
	Variation index V	Variation % index V	Incremental reduction of Vul	Incremental reduction of V %	Single intervention - euro	Sequence n.2 Euro
<b>INITIAL VULNERABILITY</b>	0,67	0	0,67	0	0	0
7 – Consolidation masnories	0,57	0,14	0,57	0,14	204.462	204.462
6 – Consilidation vaulted and arcs	0,54	0,19	0,44	0,34	120.604	325.086
5 – Cover – stringcourse in steel	0,53	0,21	0,42	0,37	26.963	351.169
4 – Cover	0,54	0,19	0,32	0,52	56.678	407.847
3 – Chains at the tower and the cell bell	0,62	0,07	0,27	0,59	10.848	418.695
2 – Trasverse Chains	0,53	0,21	0,26	0,61	4.350	423.045
1 – Longitudinal Chains	0,57	0,15	0,20	0,69	5.296	<b>428.341</b>

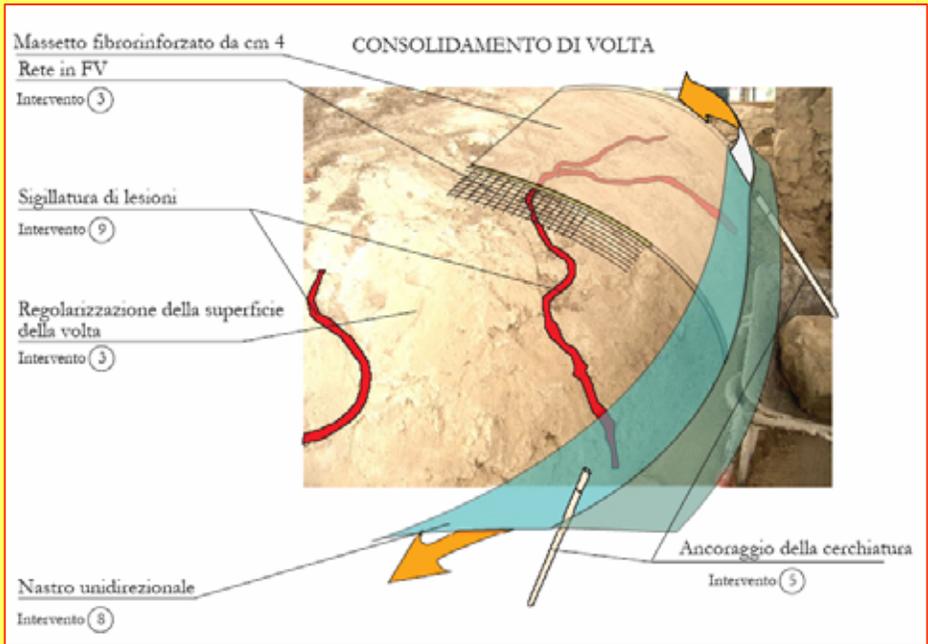
# Phase C – S.Pietro in Vincoli - Castellino on the Biferno (LV2)

Variation of the costs of intervention with the vulnerability for the sequences A1 and A2

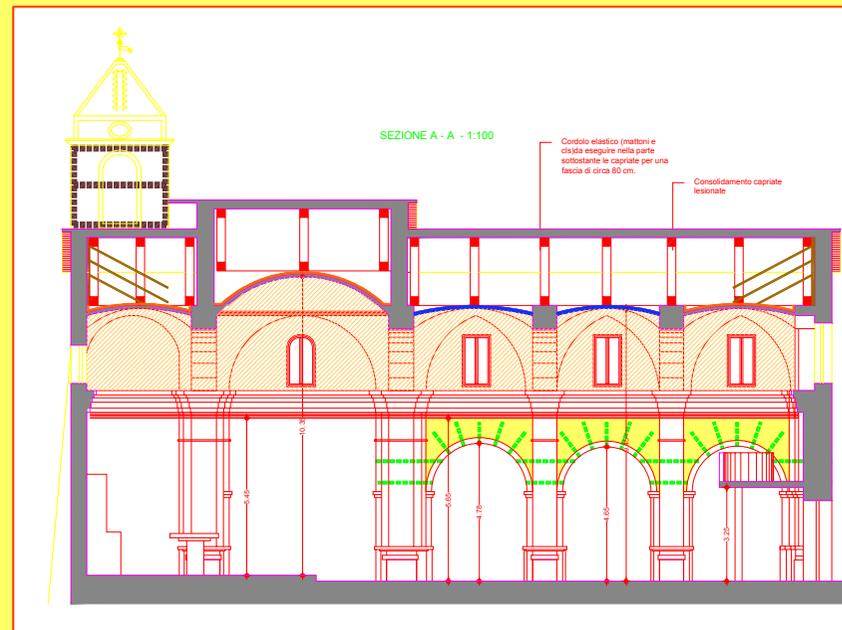
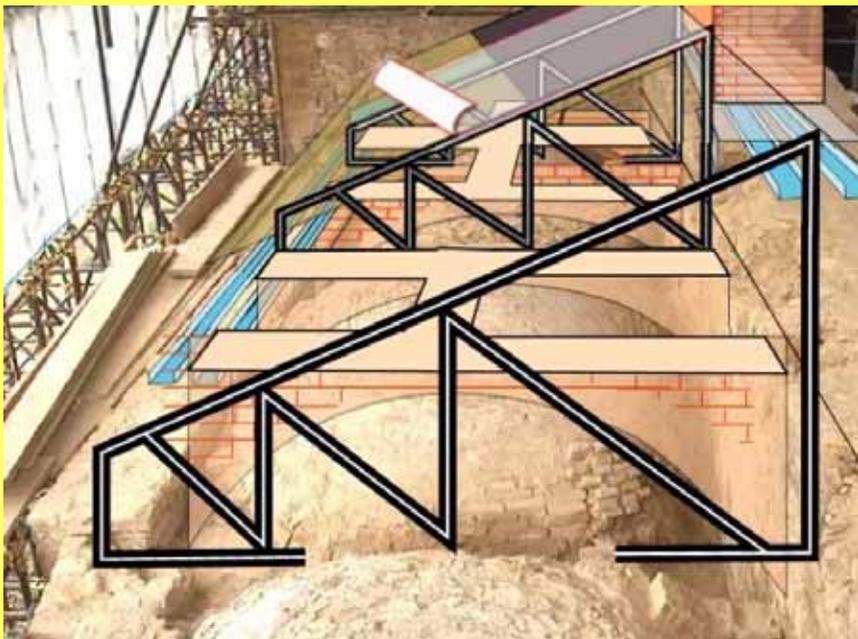
X axis : interventios , Y axis : costs/mq \* 100 and index vulnerability



# S.PIETRO IN VINCOLI : CONSOLIDATION OF THE VAULTS



# S.PIETRO IN VINCOLI :INTERVENTION IN THE ROOF WITH STEEL TRUSS AND CONNECTION-RING BY REINFORCED masonry



## TOWER AND CELL- BELL : DISASSEMBLY AND REBUILDING

