

APICE s.r.l.

**VERIFICA SISMICA DI EDIFICI  
ESISTENTI IN MURATURA**

Prof. Aurelio Gherzi

Sala Congressi DRPC - Catania – Mag.2016

**Parte 5:**  
**LA CONOSCENZA  
DELL'EDIFICIO**



Prof. Ing. Bruno Calderoni - Di.St. – Università di Napoli Federico II

## LA NECESSITÀ DELLA CONOSCENZA PER GLI EDIFICI ESISTENTI

A - gli edifici esistenti si differenziano da quelli di nuova progettazione:

- il "progetto" (o meglio la costruzione) riflette lo stato delle conoscenze (regola d'arte) al tempo della loro edificazione
- il "progetto" (o meglio la costruzione) può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione che non sono direttamente visibili o evidenziabili

B - gli edifici esistenti possono aver già sopportato in passato terremoti (più o meno violenti) od altre azioni accidentali, i cui effetti possono essere più o meno manifesti

C - gli edifici esistenti presentano situazioni concrete che possono essere le più diverse (e a volte imprevedibili).

## LA NECESSITÀ DELLA CONOSCENZA PER GLI EDIFICI ESISTENTI

La migliore conoscenza possibile dell'organismo strutturale (ed anche delle sue parti non strutturali) nello stato effettivo in cui si trova risulta, quindi, di fondamentale importanza per poter svolgere qualsiasi tipo di analisi dell'edificio ai fini di:

- verifica sismica (valutazione della sicurezza sismica)
- miglioramento sismico
- valutazione della vulnerabilità sismica
- adeguamento sismico

## IL LIVELLO DELLA CONOSCENZA PER GLI EDIFICI ESISTENTI

Non è possibile raggiungere la conoscenza "completa" di un edificio esistente, per cui vi saranno sempre dei margini di incertezza

La conoscenza dell'edificio può essere conseguita a diversi livelli di approfondimento

A ciascun livello di approfondimento corrisponderà un diverso marginale di incertezza di cui occorre tener conto in sede di valutazione della sicurezza o di progettazione degli interventi



## LA VULNERABILITA' SISMICA DEGLI EDIFICI IN MURATURA

DIPENDE DA:

- QUALITA' DEI MATERIALI
- TIPOLOGIA STRUTTURALE
- SITUAZIONE DI DEGRADO GIA' IN ATTO PRIMA DELL'EVENTO SISMICO:
  - CONDIZIONI DI DISSESTO FISIOLÓGICO
  - CONDIZIONI DI DISSESTO PATOLOGICO



DIFFICOLTA' ED INCERTEZZE NELL'INTERPRETAZIONE DEL QUADRO FESSURATIVO DI UN EDIFICIO IN MURATURA CHE HA SUBITO UN SISMA DI MEDIA INTENSITA' (SENZA CROLLARE)

LA NECESSITÀ DELLA  
CONOSCENZA PER GLI  
EDIFICI ESISTENTI

# LA CONOSCENZA DELL'EDIFICIO (OPCM)

Riguarda i seguenti aspetti:

1) - Geometria: {  
- morfologia (forma e dimensioni)  
- quadro fessurativo  
- quadro deformativo

2) - I dettagli costruttivi: {  
- tipologia della muratura  
- qualità dei collegamenti  
- esistenza ed efficienza di specifici elementi strutturali  
- presenza di elementi vulnerabili

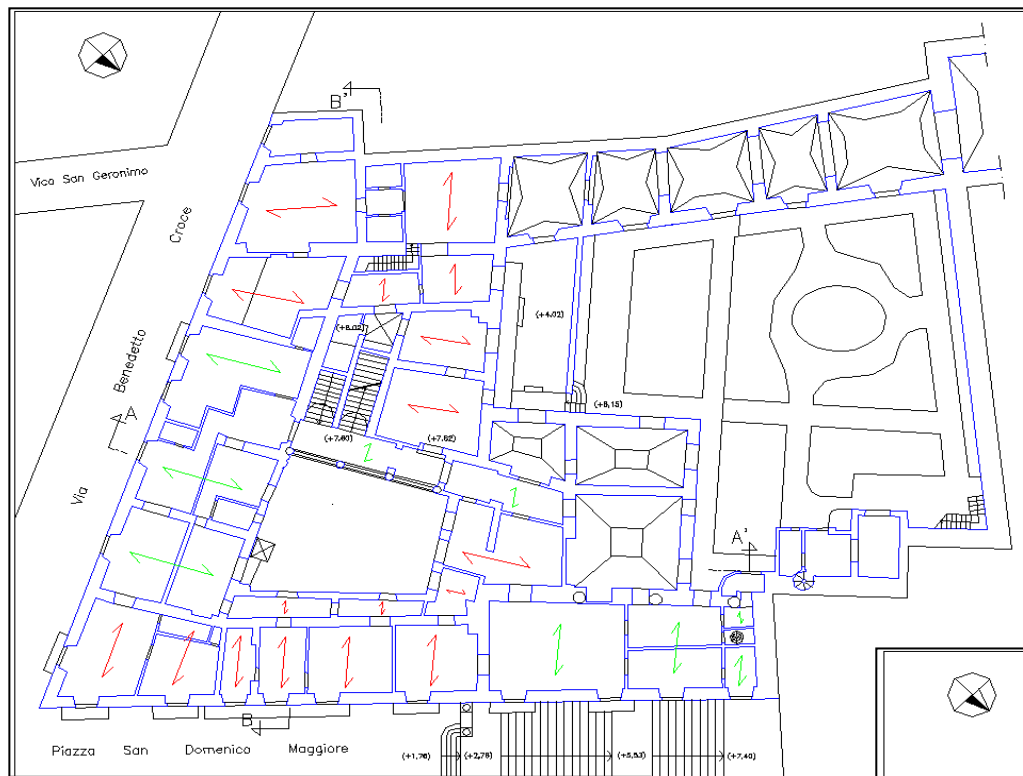
3) - Le proprietà dei materiali

# LA GEOMETRIA DELL'EDIFICIO

La conoscenza della geometria strutturale di edifici esistenti si ottiene con operazioni di RILIEVO

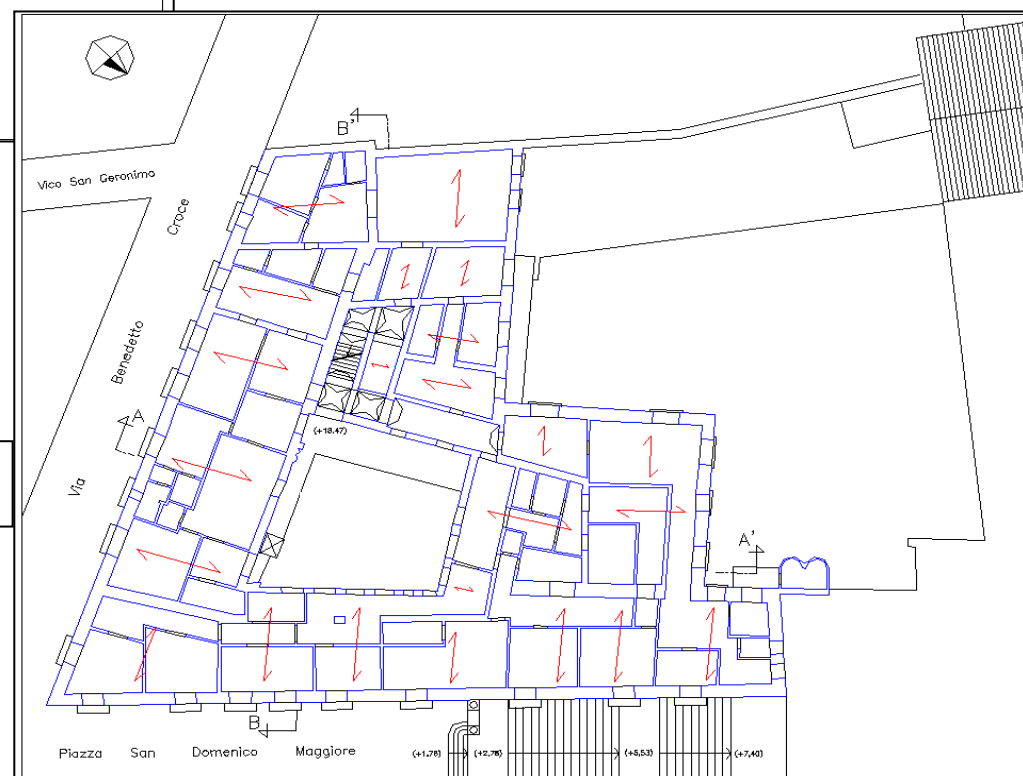
Il rilievo della morfologia dell'edificio (Rilievo Generale) consiste in:

- acquisizione, piano per piano, delle caratteristiche geometrico-dimensionali di tutti gli elementi in muratura (pareti) e di eventuali nicchie, cavità, canne fumarie, al netto degli intonaci o di altre sovrastrutture
- identificazione degli orizzontamenti (volte con profili e spessori, solai con tipologia, orditura etc) e delle scale (tipologia strutturale)
- identificazione delle piattabande sui vani e dei cordoli (se ci sono)
- definizione della tipologia (e della geometria) delle fondazioni
- individuazione dei carichi gravanti sugli elementi strutturali



Pianta 1° piano

I risultati del Rilievo Generale sono restituiti sotto forma di piante ai vari piani.....



Pianta 3° piano



Prospetto

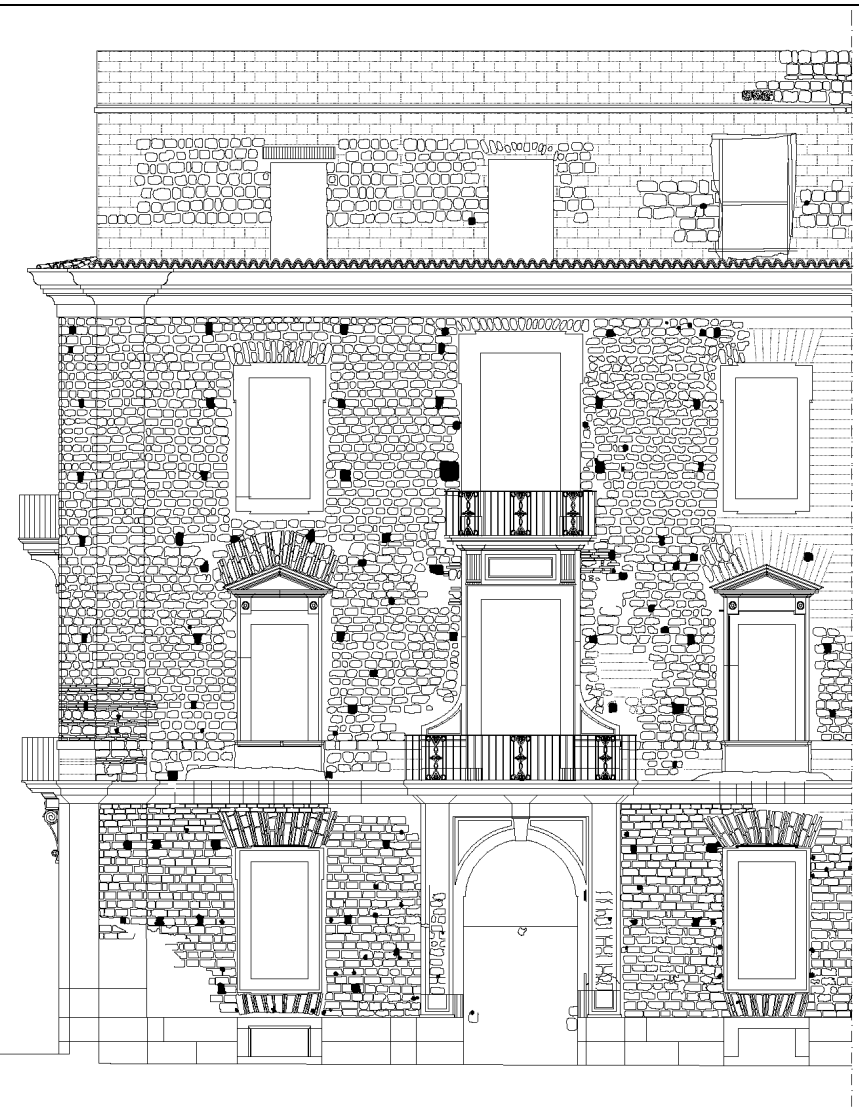
...sezioni e prospetti



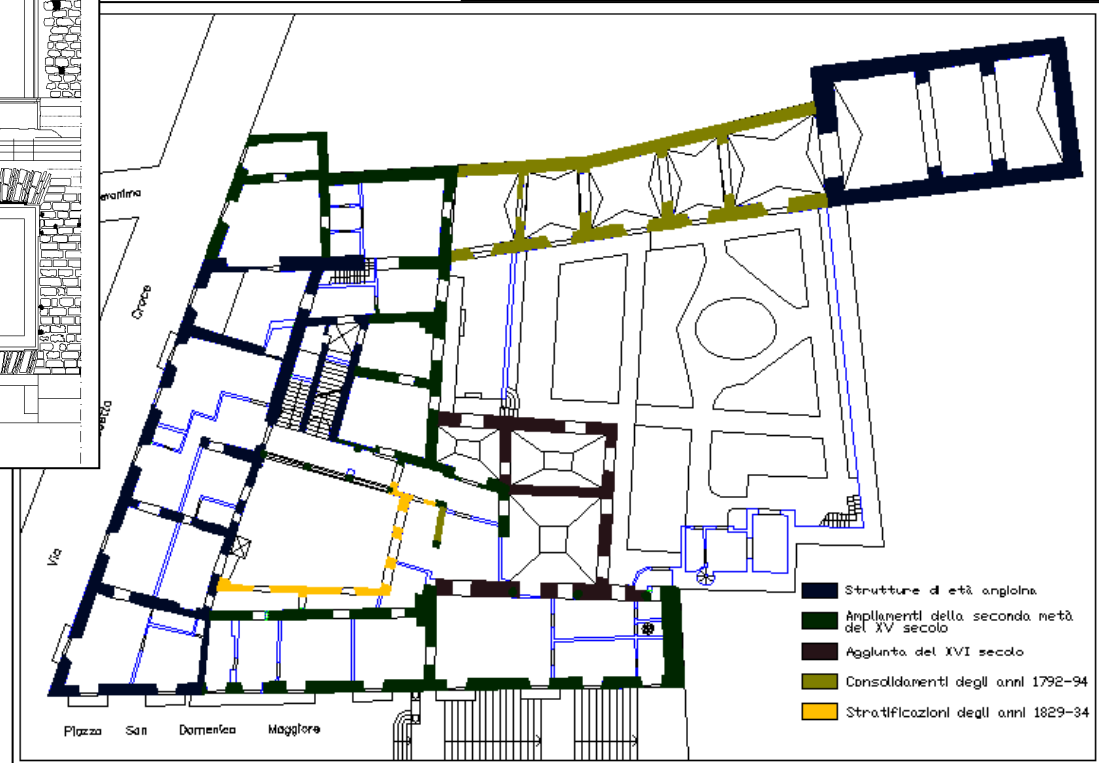
Sezione trasversale

Occorre definire, per quanto possibile, anche la storia costruttiva, progettuale e sismica dell'edificio, e individuare gli eventuali interventi già attuati

Individuazione delle epoche di realizzazione



Individuazione dei tipi di muratura (materiali, tessitura, tipologia, epoca....)

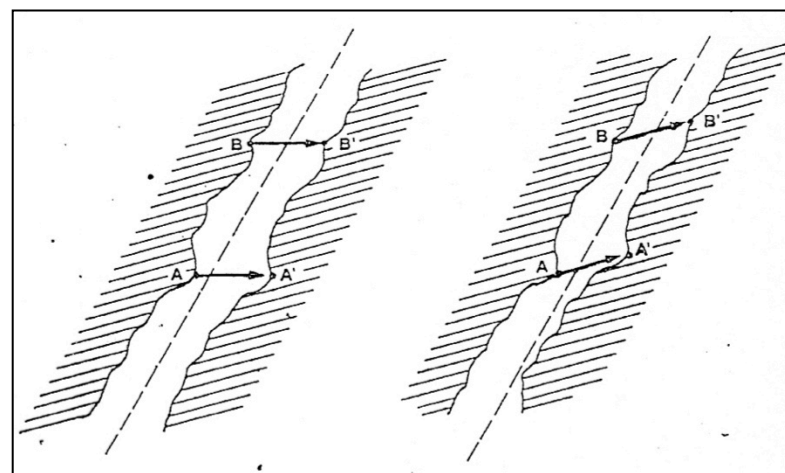
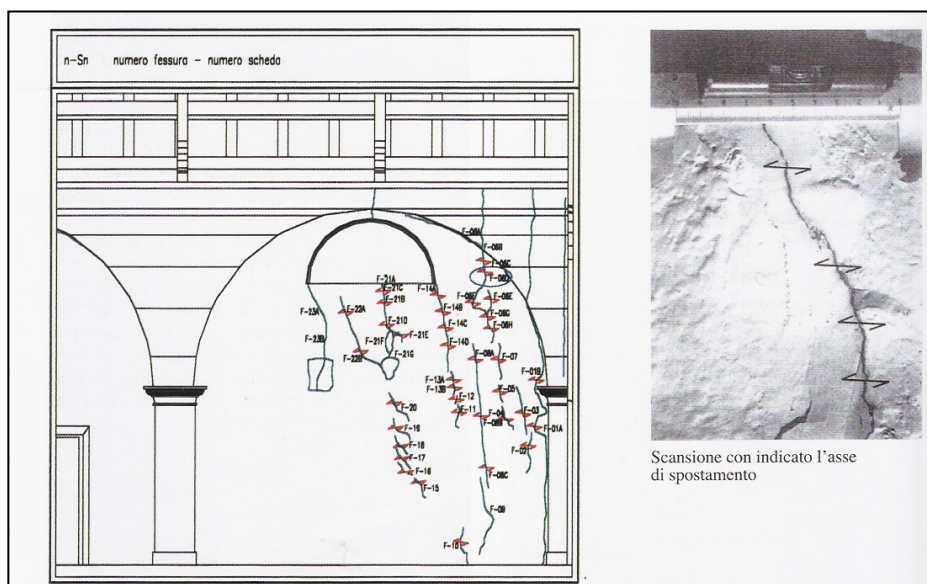




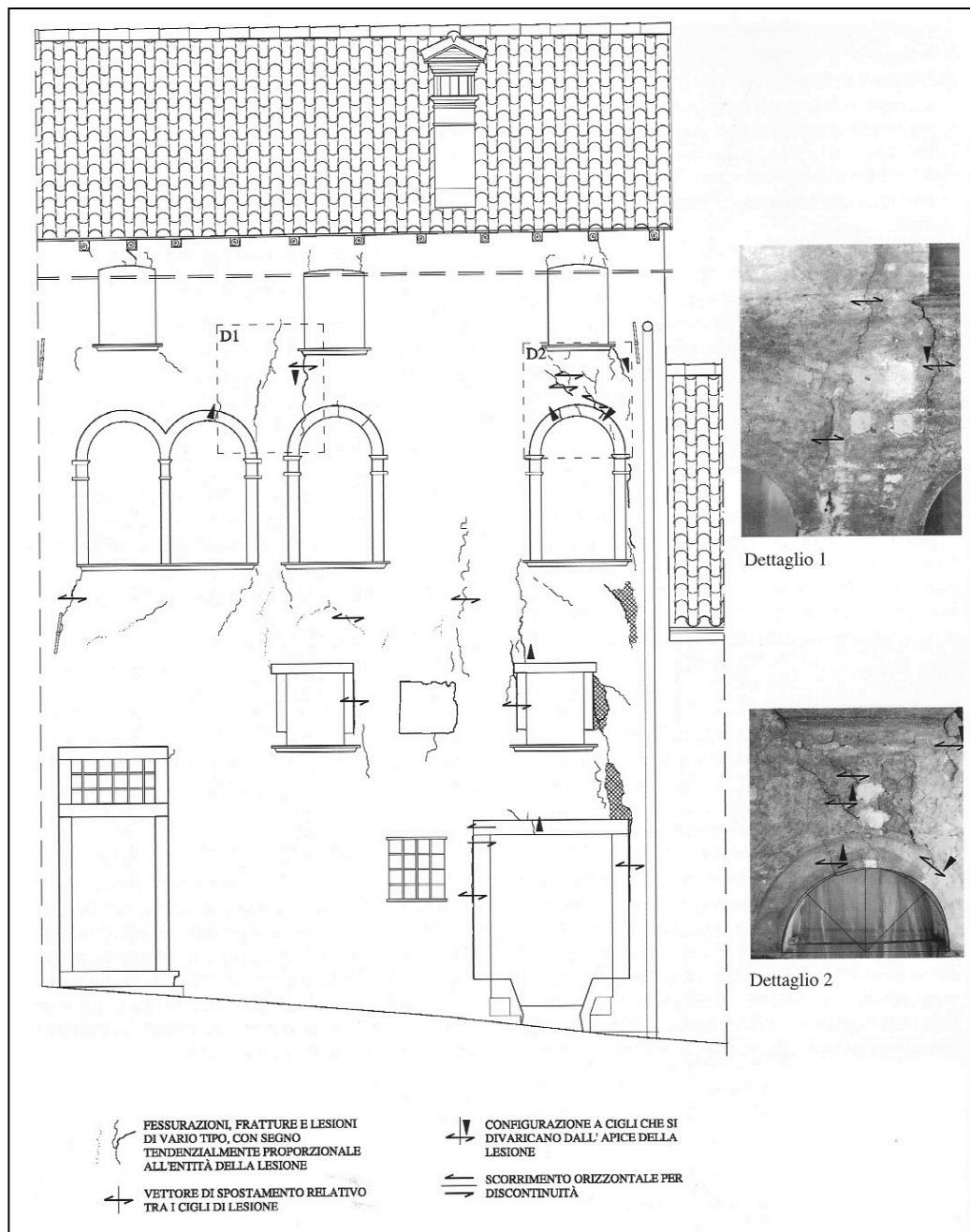
# I QUADRI FESSURATIVI E DEFORMATIVI DELL'EDIFICIO

Il rilievo degli eventuali quadri fessurativi dell'edificio  
(Rilievo dello Stato di Fatto) consiste nella

- identificazione e rappresentazione delle lesioni presenti su qualsiasi elemento strutturale (pareti murarie, orizzontamenti, piattabande, etc.), classificandole per tipologie (distacco, scorrimento, rotazione etc.), ampiezza e direzione del movimento



da: Codice di Pratica Regione Marche - Doglioni-Mazzotti

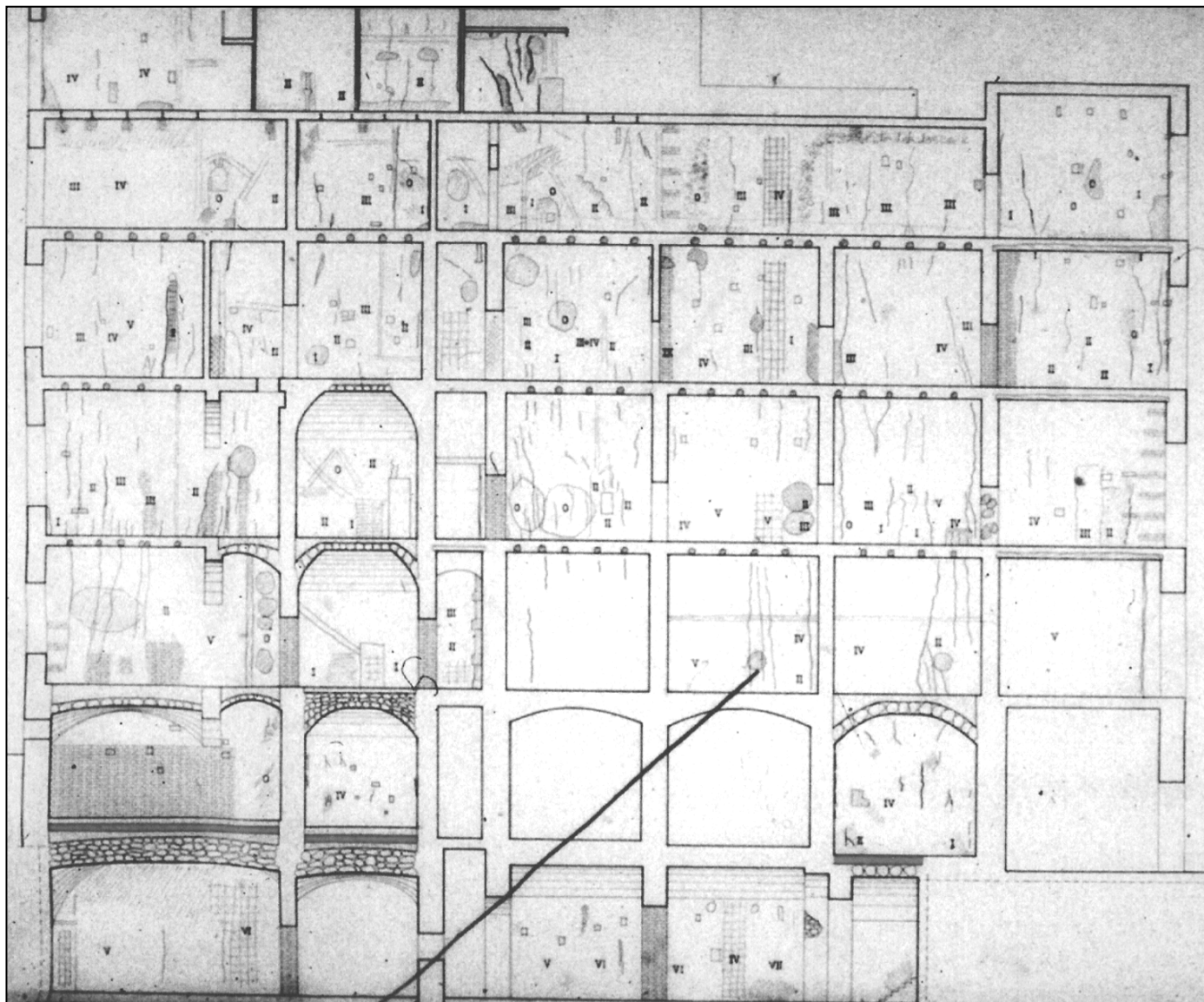


## IL QUADRO FESSURATIVO DELL'EDIFICIO

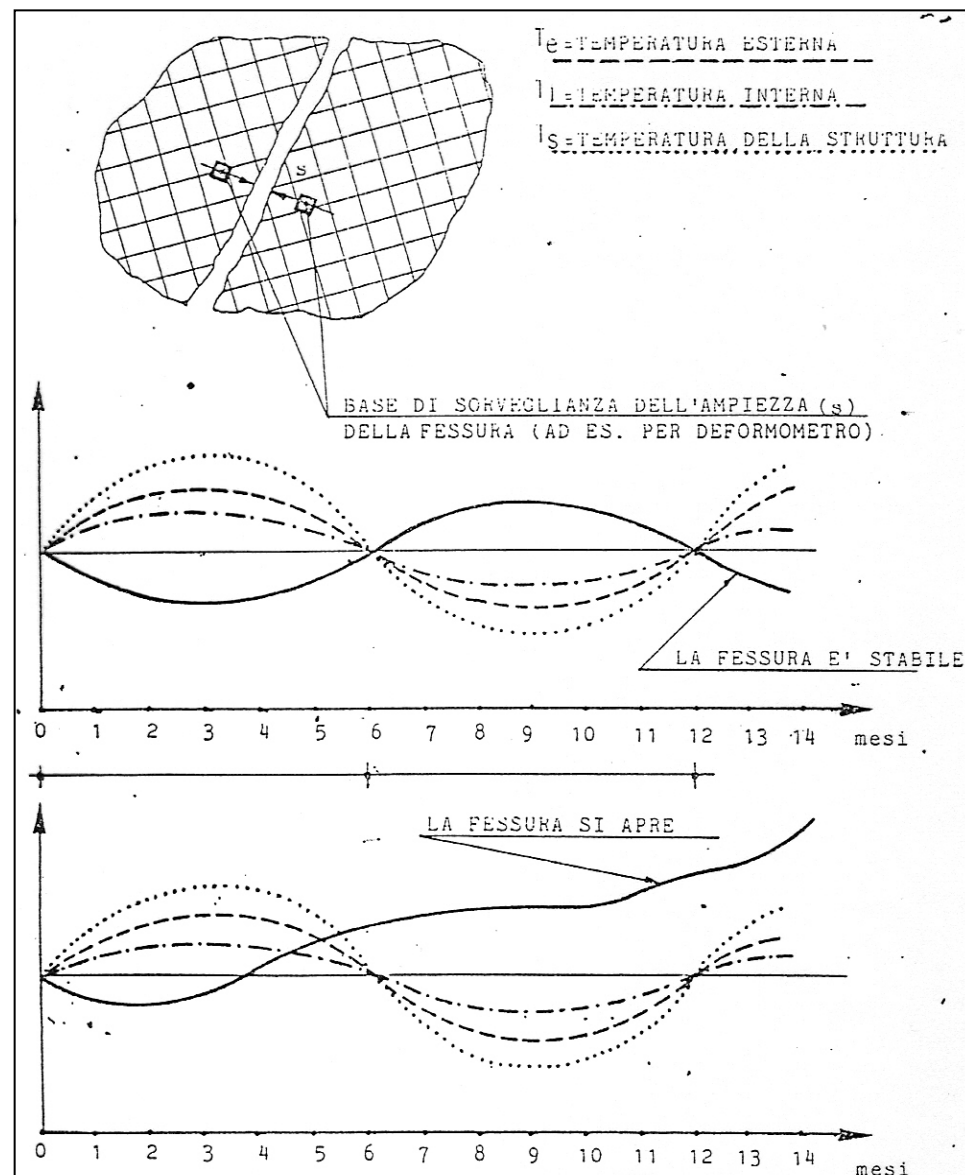
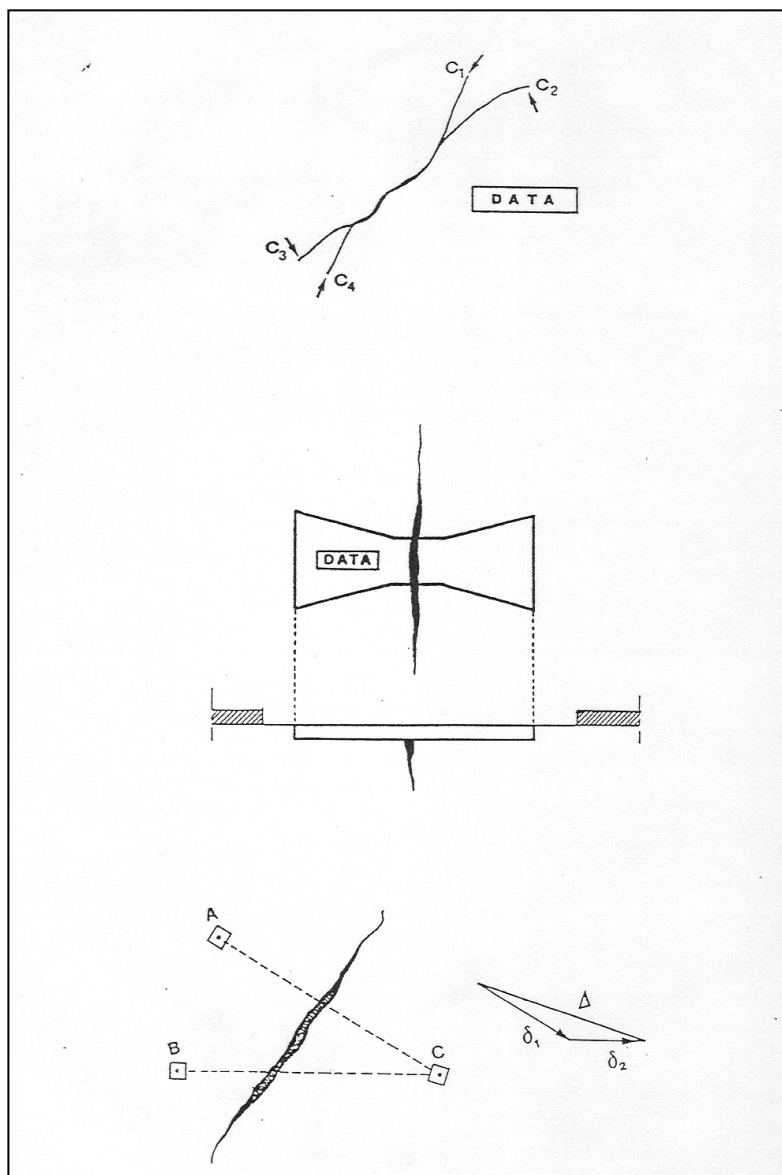
Si devono individuare i dissesti tipici ed i danni sismici subiti dall'edificio (v. parte 4)



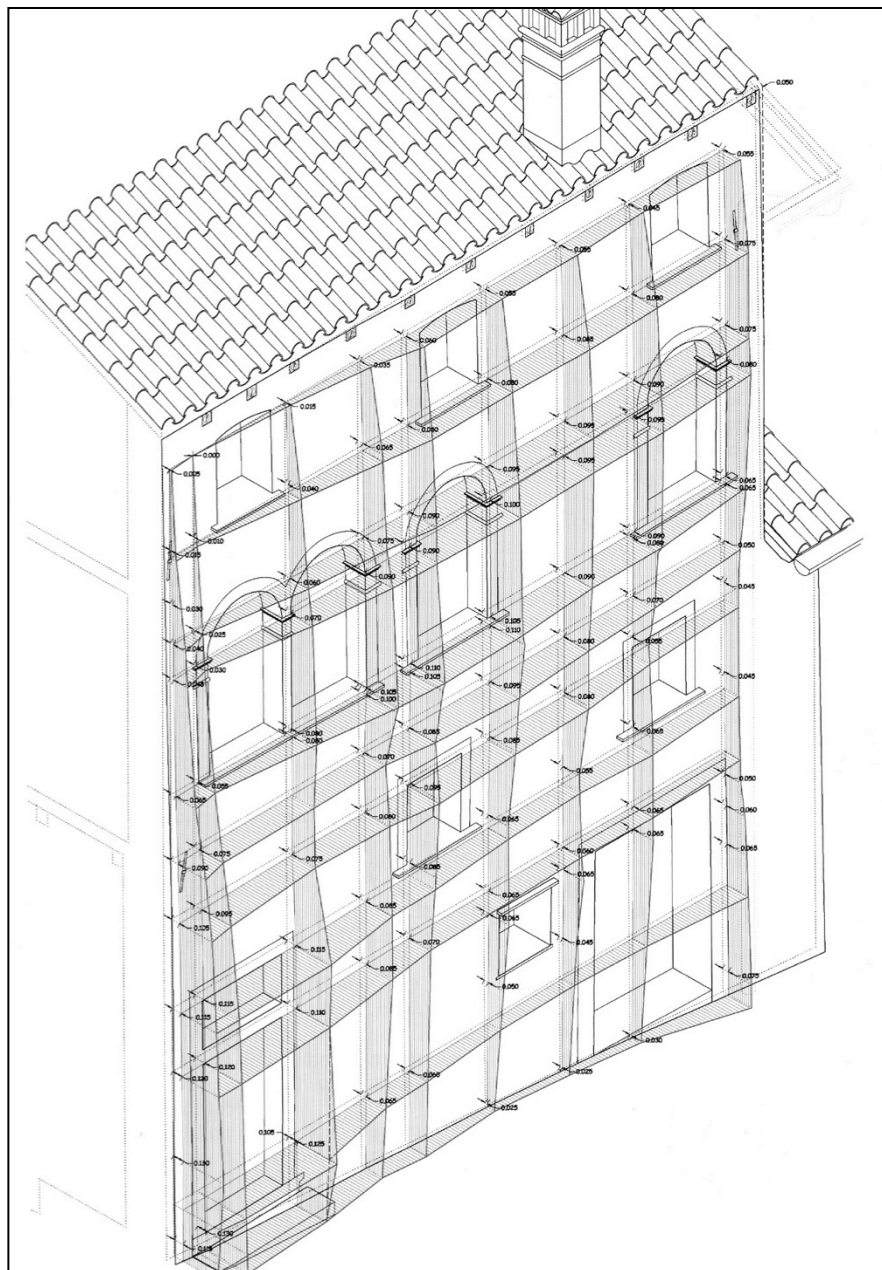
# IL QUADRO FESSURATIVO DELL'EDIFICIO



# Il monitoraggio delle lesioni





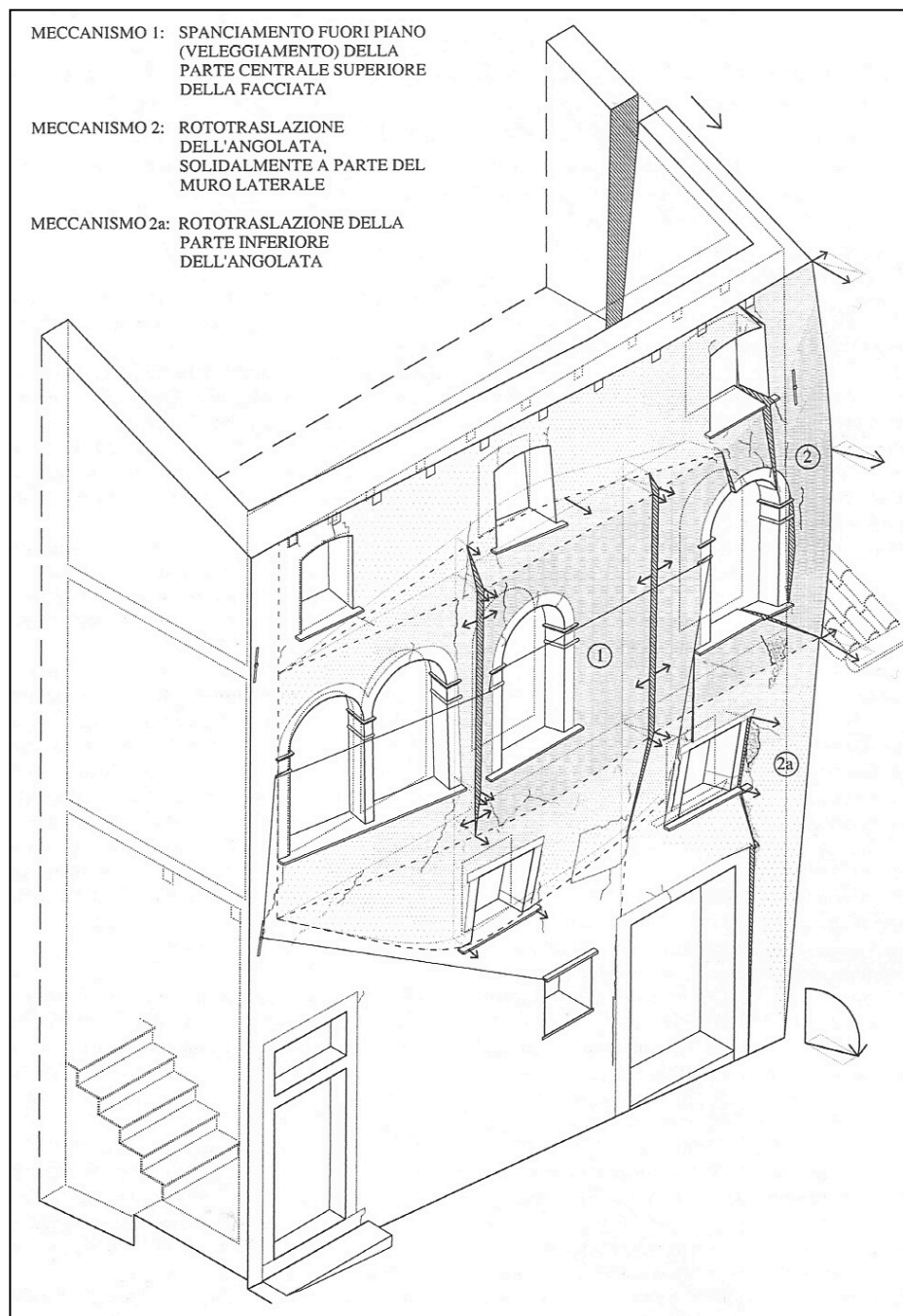


da: Codice di Pratica Regione Marche - Doglioni-Mazzotti

## IL QUADRO DEFORMATIVO DELL'EDIFICIO

Il rilievo degli eventuali quadri  
deformativi dell'edificio  
(Rilievo dello Stato di Fatto)  
consiste nella

- individuazione e rappresentazione degli evidenti stati di deformazione degli elementi della costruzione (fuori piombo, rigonfiamenti delle pareti, depressioni delle volte, avvallamenti dei solai, etc.) con misurazione della entità degli spostamenti



da: Codice di Pratica Regione Marche - Doglioni-Mazzotti

La finalità del Rilievo dello Stato di Fatto è quella di consentire, nella successiva fase diagnostica, l'individuazione delle origini e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio

Analizzando il quadro fessurativo unitamente a quello deformativo è possibile risalire ai meccanismi che si sono attivati (o che erano in procinto di attivarsi) nell'edificio a causa di un evento sismico

# LA CONOSCENZA DELL'EDIFICIO (OPCM)

Riguarda i seguenti aspetti:

- 1) - Geometria: {
- morfologia (forma e dimensioni)
  - quadro fessurativo
  - quadro deformativo

- 2)-I dettagli costruttivi: {
- **tipologia della muratura**
  - qualità dei collegamenti
  - esistenza ed efficienza di specifici elementi strutturali
  - presenza di elementi vulnerabili

3) - Le proprietà dei materiali

## I DETTAGLI COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO

La conoscenza della TIPOLOGIA DELLA MURATURA è essenziale per definirne il comportamento strutturale e le proprietà meccaniche del materiale da utilizzare nelle analisi

L'individuazione e la classificazione della tipologia della muratura è una operazione complessa in quanto dipendente da molti parametri, alcuni dei quali di difficile valutazione

L'OPCM indica, a titolo esemplificativo, tra i parametri essenziali i seguenti:

- il numero dei paramenti (uno, due o più paramenti)
- la presenza o meno di collegamenti trasversali
- le caratteristiche costruttive (costituita da mattoni o pietre, regolare o irregolare, etc.)

Il fine della individuazione della tipologia è la assegnazione di una delle categorie di muratura previste dall'OPCM

## LA DEFINIZIONE DELLA TIPOLOGIA DELLA MURATURA

Tra le varie metodologie di identificazione ci si può riferire alla "Scheda murature GNDT" - Binda-Mannoni - 2000

La "Scheda murature GNDT" considera la variabilità di una serie di elementi della muratura relativi alle seguenti caratteristiche tipologiche:

- elementi costitutivi
- malta
- apparecchiatura (tessitura e posa)
- sezione trasversale e spessore
- intonaco
- collegamento tra le pareti murarie
- interventi di consolidamento



## Analisi descrittiva delle caratteristiche tipologiche presenti nella scheda murature-GNDT

<b>Elementi costitutivi della muratura</b>	Gli elementi costitutivi presi in considerazione sono il tipo di materiale, la lavorazione, le dimensioni e lo stato di conservazione.
<b>Malta</b>	Viene esaminato il tipo (calce aerea, calce idraulica, cementizia...), lo stato di conservazione e la funzione. Quest'ultima può essere di allettamento o di riempimento a seconda che sia stata usata per la realizzazione di una muratura a ricorsi (nel primo caso) o di una muratura a sacco. Considerando che una muratura a sacco è molto meno diffusa di quella a ricorsi, è possibile dedurre che la malta ha per lo più funzione di allettamento. Lo stato di conservazione della malta (incoerente, friabile, tenace) è indicativo dello stato di resistenza della muratura.
<b>Apparecchiatura</b> – Tessitura dei paramenti – Posa degli elementi	L'apparecchiatura indica il modo in cui è stata organizzata la posa degli elementi, secondo fasce orizzontali (corsi) più o meno precise, fasce irregolari o in modo del tutto casuale. L'apparecchiatura, oltre a conferire un aspetto ordinato alla muratura, le garantisce una resistenza maggiore quanto più precisa è stata la posa in opera. La posa degli elementi è strettamente connessa all'apparecchiatura; anche in questo caso la distribuzione degli elementi può essere più o meno ordinata e, può prevedere l'inserimento di materiali diversi (ad es. mattoni in una muratura in pietra) disposti secondo ricorsi orizzontali o inseriti come zeppe o scaglie. Anche gli elementi possono essere disposti prevalentemente in maniera ordinata seguendo un andamento per lo più orizzontale/verticale oppure orizzontale.
<b>Sezione trasversale e spessore</b>	La tipologia della sezione varia a seconda della grandezza degli elementi adoperati nella muratura. Nel caso di elementi di grandi dimensioni si può essere in presenza di un paramento unico mentre, si dovranno accostare due paramenti quando le dimensioni sono ridotte (eventualmente ammorsati tramite l'inserimento di diatoni). La muratura a sacco prevede il riempimento dello spazio lasciato tra due paramenti con materiale di vario tipo e dimensione, spesso materiale di risulta con la presenza di una malta povera di calce.



<b>Intonaco</b>	La consistenza dell'intonaco può fornire, in negativo, indicazioni sul tipo di muratura e sulla sua qualità. Un intonaco degradato o mancante in alcune parti, permette, infatti, di evidenziare la muratura sottostante ma, allo stesso tempo, non preserva l'edificio dall'azione complessiva degli agenti atmosferici. Nel caso di una muratura "a faccia vista" i materiali usati per qualità, lavorazione e apparecchiatura generalmente presentano caratteristiche migliori.
<b>Collegamenti tra le pareti murarie</b>	La presenza di angolate (o cantonali) di buona fattura (ammorsamento a pettine, utilizzo di conci di maggior dimensioni), conferiscono all'edificio una maggiore consistenza creando quel comportamento scatolare necessario ad un buon funzionamento strutturale. Dai rilievi effettuati è emerso come la realizzazione di questo accorgimento costruttivo, spesso sia disatteso, e pertanto, l'efficacia dell'ammorsamento tra le pareti risulta fortemente variabile da caso a caso, dal momento che l'alternanza dei ricorsi è più o meno regolare.
<b>Interventi consolidamento</b>	Gli interventi di consolidamento sono suddivisi in due tipologie: la prima è relativa al consolidamento del paramento murario ( <i>cuci e scuci in mattoni e in pietra, stilatura dei giunti, iniezioni di malta o l'intonaco armato</i> ), la seconda è relativa a quegli interventi che possono essere stati effettuati con l'intento di migliorare i collegamenti ( <i>inserimento di catene, cuciture armate, cordoli in muratura o in c.a., presenza di orizzontamenti rigidi</i> ).

## SCHEDA MURATURA 1/4

ELEMENTI COSTITUTIVI				
Materiale:	<input type="checkbox"/> arenaria	<input type="checkbox"/> calcare	<input type="checkbox"/> tufo	<input type="checkbox"/> calcarenite
	<input type="checkbox"/> mattoni cotti	<input type="checkbox"/> mattoni crudi	<input type="checkbox"/> vario di reimpiego	<input type="checkbox"/> .....
Lavorazione:	<input type="checkbox"/> assente (ciottoli)	<input type="checkbox"/> sbazzatura	<input type="checkbox"/> a spigoli finiti	<input type="checkbox"/> a conci squadri
Dimensioni (diagonale elemento):	<input type="checkbox"/> piccole (< 15 cm)	<input type="checkbox"/> medie (15÷25 cm)	<input type="checkbox"/> grandi (> 25 cm)	
Stato di conservazione e qualità:	<input type="checkbox"/> pessimo	<input type="checkbox"/> discreto	<input type="checkbox"/> buono	
MALTA				
Tipo:	<input type="checkbox"/> di calce aerea	<input type="checkbox"/> di calce idraulica	<input type="checkbox"/> cementizia	<input type="checkbox"/> .....
Stato di conservazione e consistenza:	<input type="checkbox"/> incoerente	<input type="checkbox"/> friabile	<input type="checkbox"/> tenace	
Funzione:	<input type="checkbox"/> allettamento	<input type="checkbox"/> riempimento	<input type="checkbox"/> stilatura	

Calce aerea : Composta da leganti che induriscono unicamente all'aria come ad esempio l'argilla, il gesso , la calce aerea;

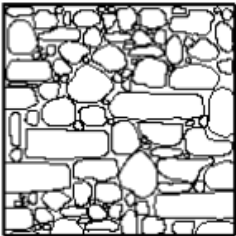
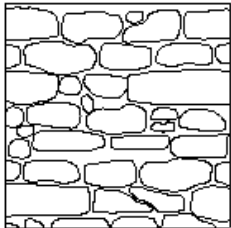
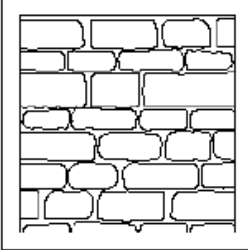
Calce idraulica : Composta da leganti che hanno la proprietà di indurire sott'acqua in assenza di aria; sono leganti idraulici la calce idraulica e i vari tipi di cemento

## SCHEDA MURATURA 2/4

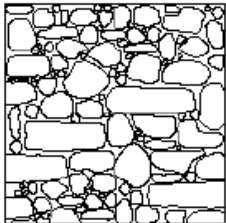
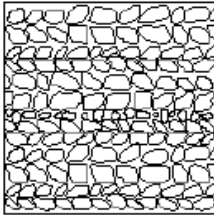
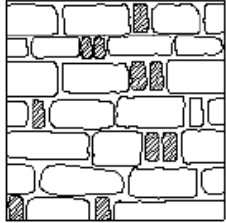
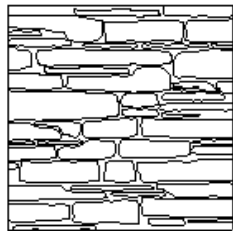
### POSA IN OPERA DEGLI ELEMENTI

#### TESSITURA DEI PARAMENTI

#### APPARECCHIATURA

		
<input type="checkbox"/> disordinata	<input type="checkbox"/> corsi irregolari	<input type="checkbox"/> corsi orizzontali

#### POSA DEGLI ELEMENTI:

			
<input type="checkbox"/> casuale	<input type="checkbox"/> a lisca di pesce	<input type="checkbox"/> orizzontale/verticale	<input type="checkbox"/> orizzontale

Ricorsi o listatura:

☐

assenti

☐

in mattoni

☐

altro

Zeppe o scaglie:

☐

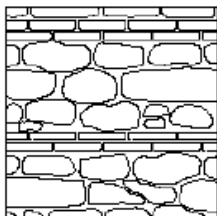
assenti

☐

in pietra

☐

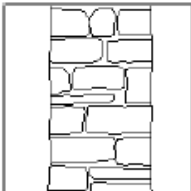
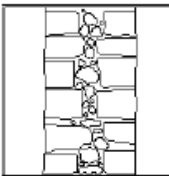
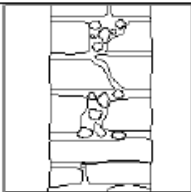
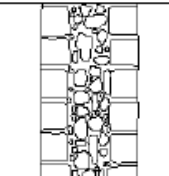
in cotto



## SCHEDA MURATURA 3/4

<b>SEZIONE TRASVERSALE</b>			
<b>Tipologia:</b>	<input type="checkbox"/> paramento unico	<input type="checkbox"/> due paramenti accostati	<input type="checkbox"/> due paramenti ammorsati
	<input type="checkbox"/> a sacco (incoerente)	<input type="checkbox"/> a sacco (coerente)	Paramento aggiunto: <input type="checkbox"/>

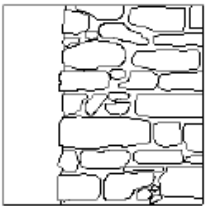
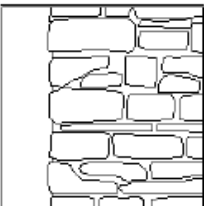

  

	
<input type="checkbox"/> paramento unico	<input type="checkbox"/> due paramenti accostati
	
<input type="checkbox"/> due paramenti ammorsati	<input type="checkbox"/> a sacco
<b>Spessori:</b>	<b>totale:</b> _____
<b>Spessori:</b>	<b>paramento esterno:</b> _____
<b>Spessori:</b>	<b>paramento interno:</b> _____
<b>Presenza significativa di vuoti:</b> <input type="checkbox"/>	<b>Presenza di diatoni:</b> (collegamenti puntuali tra il paramento interno e quello esterno ) <input type="checkbox"/>

<b>INTONACO</b>				
<b>Stato attuale:</b>	<input type="checkbox"/> mur. faccia a vista	<input type="checkbox"/> mancante	<input type="checkbox"/> in parte mancante	<input type="checkbox"/> presente
<b>Stato di conservazione e consistenza:</b>	<input type="checkbox"/> degradato	<input type="checkbox"/> fessurato	<input type="checkbox"/> buono	

## SCHEDA MURATURA 4/4

COLLEGAMENTI TRA LE PARETI MURARIE			
<b>ANGOLATE</b>			
Tipologia:	<input type="checkbox"/> ammorsamento scadente	<input type="checkbox"/> collegamenti irregolari	<input type="checkbox"/> alternanza regolare
			
Elementi costitutivi:	<input type="checkbox"/> analoghi alla muratura	<input type="checkbox"/> di dimensione maggiore	<input type="checkbox"/> a conci squadrati
<b>MARTELLI</b>			
Tipologia:	<input type="checkbox"/> assenza di collegamento	<input type="checkbox"/> ammorsamento scadente	<input type="checkbox"/> collegamenti efficaci
Differente tipologia dei muri di spina: <input type="checkbox"/>		Frequente presenza di catene: <input type="checkbox"/>	
INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO			
<b>ALLA MURATURA</b>			
<input type="checkbox"/> nessuno	<input type="checkbox"/> scuci-cuci in mattoni	<input type="checkbox"/> scuci-cuci in pietra	
<input type="checkbox"/> stilatura dei giunti	<input type="checkbox"/> iniezioni di malta	<input type="checkbox"/> intonaco armato	
<b>AI COLLEGAMENTI</b>			
<input type="checkbox"/> nessuno	<input type="checkbox"/> tamponatura di aperture	<input type="checkbox"/> collegamento travi	<input type="checkbox"/> catene
<input type="checkbox"/> cuciture armate	<input type="checkbox"/> cordoli in muratura	<input type="checkbox"/> cordoli in c.a.	<input type="checkbox"/> orizzontamenti rigidi

## Assegnazione dei codici relativi ai vari parametri individuati (1/2)

Cod	ELEMENTI CARATTERISTICI	DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI CARATTERISTICI POSSIBILI							
1	ELEMENTI COSTITUTIVI	1	2	3	4	5	6	7	8
1.1	Materiale	arenaria	calcare	tufo	calcarenite	Mattoni cotti	Mattoni crudi	Vario di riempiego	
1.2	Lavorazione	Assente ciottoli	sbozzatura	A spigoli finiti	A conci squadri				
1.3	Dimensioni (diagonale)	Piccole (< 15 cm)	Medie (15-25 cm)	Grandi (>25 cm)					
1.4	Stato di conservazione	Pessimo	Discreto buono						
2	MALTA								
2.1	Tipo	Calce aerea	Calce idraulica	Cementizia					
2.2	Stato conservazione e consistenza	incoerente	friabile	Tenace					
2.3	Funzione	Allettamento	riempimento	stilatura					
3	POSA IN OPERA DEGLI ELEMENTI								
3.1	Tessitura dei paramenti	disordinata	Corsi irregolari	Corsi orizzontali					
3.2	Posa degli elementi	casuale	A lisca di pesce	Orizzontale/verticale	Orizzontale				
3.3	Ricorsi o listatura	assenti	Mattoni	Altro					
3.4	Zeppe o scaglie	Assenti	In pietra	In cotto					
4	SEZIONE TRASVERSALE								
4.1	Tipologie	Paramento unico	Due paramenti accostati	Due paramenti ammorsati	A sacco incoerente	A sacco coerente	Paramento aggiunto		
4.2	Spessore	<30 cm	40-50 cm	60-70 cm	80-100 cm	> 100 cm			
4.3	Presenza significativa vuoti	Presenza	Assenza						
4.4	Presenza di diatoni	Presenza	Assenza						

## Assegnazione dei codici relativi ai vari parametri individuati (2/2)

5	INTONACO	1	2	3	4	5	6	7	8
5.1	Stato attuale	Muratura a faccia vista	mancante	In parte mancante	Presente				
5.2	Stato di conservazione	degradato	Fessurato	Buono					
6	COLLEGAMENTI TRA LE PARETI MURARIE								
6.1	Angolate Tipologia	Ammorsamento scadente	Collegamenti irregolari	Alternanza regolare					
6.2	Angolate Elementi costitutivi	Analoghi alla muratura	Di dimensione maggiore	A conci quadrati					
6.3	Martelli Tipologia	Assenza di collegamento	Ammorsamento scadente	Collegamenti efficaci					
6.4	Martelli differente tipologia muri di spina	differente	Non differente						
6.5	Martelli Frequente presenza di catene	frequente	Non frequente						
7	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO								
7.1	Alla muratura	nessuno	Scuci - Cuci in mattoni	Scuci-cuci in pietra	Stilatura giunti	Iniezioni malta	Intonaco armato		
7.2	Ai collegamenti	nessuno	Tamponature aperture	Collegamento travi	catene	Cuciture armate	Cordoli in muratura	Cordoli in c.a.	Orizzontamenti rigidi

# Correlazione tra gli elementi caratteristici della muratura e i tipi di muratura previsti dall'OPCM (Regione Molise - Dec.CD35/2005)

ELEMENTI CARATTERISTICI		TIPI DI MURATURA IN PIETRA										
		1.1 –Elementi costitutivi - Materiali	1.2 –Elementi costitutivi - Lavorazione	1.3 –Elementi costitutivi - Dimensioni	1.4 –Elementi costitutivi – Stato di conservazione	2.1 – Malta – tipo	2.2 – Malta - Stato di conservazione	2.3 – Malta - Funzione	3.1 Posa in opera degli elementi - Apparecchiatura	3.2 – Posa degli elementi	3.3 –Posa in opera degli elementi - Ricorsi o istature	3.4 – Posa in opera degli elementi - Zeppe o scaglie
A1	Muratura in pietrame (ciottoli, pietre erratiche e irregolari), a sacco, male intessuta e priva di collegamento tra i due fogli.	1,2	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1
A2		1,2	1	1,2	2	2	1,2	2	1	1	1	1
B1	Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	1,2	2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2	3,4	1	1,2
B2		1,2	2	2	2,3	2	3	2,3	2,3	3,4	2,3	2,3
B3	Muratura a sacco in pietre di pezzatura più regolare, bene intessuta e priva di collegamento tra i due fogli; tipologia A con spigoli, mazzette e/o ricorsi in pietra squadrata o mattoni pieni.	1,2	2	2	2,3	2	3	2,3	2,3	3,4	2,3	2,3
C1	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2	3	2,3	1,2	1	1	1	2	3	1	1
C2		2	3	2,3	2	2	2	2	3	3	2,3	2,3
C3		2	3	2,3	3	2,3	3	2,3	3	4	2,3	2,3
C4		2	3	4	4	2	3	3	3	4	1	1



ELEMENTI CARATTERISTICI		TIPI DI MURATURA IN PIETRA																										
		4.1 – Sezione trasversale	- Tipologia sezione	4.2 – Sezione trasversale	- Spessore sezione	4.3 – Sezione trasversale	- Presenza vuoti	4.4 – Sezione trasversale	- Presenza diatoni	5.1 – Intonaco	– stato attuale	5.2 – Intonaco	Stato di conservazione	6.1 – Collegamenti	- angolate	6.2 –Collegamenti	- elementi costitutivi	6.3 – Collegamenti	- Martelli - tipologia	6.4 – Collegamenti	– martelli – differente tip muri di spina	6.5 – Collegamenti	- Martelli – presenza catene	7.1 – Interventi cons.	alla muratura	7.2 – Interventi consolidamento	ai collegamenti	8 – Qualità della muratura – Tipo 1 e 2
A1	Muratura in pietrame (ciottoli, pietre erratiche e irregolari), a sacco, male intessuta e priva di collegamento tra i due fogli.	4	V	1	2	1,2,3	1	1	1,2	1	1,2	2	1	1	1,2	2	1	1	1	1,2	2	1	1	1	1	1	1	1
A2		4	V	1	1	3	3	2,3	1,2	2	1,2	1	1,2	1	4	3,4	1	1	1	1,2	2	1	1	1	1	1	1	1
B1	Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	2,4	1,2	1	21	1,2,3	1,3	1,2	1,2	1	1,2	1	1,2	1	1	1	1	1	1	1,2	1	1	1	1	1	1	1	1
B2		3,4	1,2	2	1	V	V	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2	3,4	3,4,6	2	2	2	2,3	2,3	2	2	3,4	3,4,6	2	2	2
B3	Muratura a sacco in pietre di pezzatura più regolare, bene intessuta e priva di collegamento tra i due fogli; tipologia A con spigoli, mazzette e/o ricorsi in pietra squadrata o mattoni pieni.	3,4	3,4	2	2	V	V	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2	3,4	3,4,6	2	2	2	2,3	2,3	2	2	3,4	3,4,6	2	2	2
C1	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,4	3,4	1	2	1,2	1,2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
C2		3	3,4	2	2	3,4	2,3	2	2	2	2	2	1,2	2	2	4	2	2	2	1,2	2	2	2	2	2	4	2	2
C3		3,5	3,4	2	1	3,4	3	3	2,3	3	3	3	1,2	2	3,4	3,4,6	2	2	3	1,2	2	2	3,4	3,4,6	2	2	2	2
C4		1	3,4	2	1	1,4		3	3	3	3	3	2	1	4	3,4,6	2	2	3	2	1	1	4	3,4,6	2	2	2	2

ELEMENTI CARATTERISTICI		TIPI DI MURATURA IN PIETRA										
		1.1 –Elementi costitutivi - Materiali	1.2 –Elementi costitutivi - Lavorazione	1.3 –Elementi costitutivi - Dimensioni	1.4 –Elementi costitutivi – Stato di conservazione	2.1 – Malta – tipo	2.2 – Malta - Stato di conservazione	2.3 – Malta - Funzione	3.1 Posa in opera degli elementi - Apparecchiatura	3.2 – Posa degli elementi	3.3 –Posa in opera degli elementi - Ricorsi o istature	3.4 – Posa in opera degli elementi - Zeppe o scaglie
D1	Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	3,4	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1
D2		3,4	1	1,2	2	2	1,2	2	1	1	1	1
E1	Muratura a blocchi lapidei squadriati	2	4	3	2	2	2	2	3	4	1	1
E2		2	4	3	3	2	3	3	3	4	1	1
F1	Muratura in mattoni pieni e malta di calce	5,6	4	2	2	1,2	2,3	1	3	4	2	3
F2		5,6	4	2	3	2	3	1	3	4	2	3

ELEMENTI CARATTERISTICI		TIPI DI MURATURA IN PIETRA													
		4.1 – Sezione trasversale - Tipologia sezione	4.2 – Sezione trasversale - Spessore sezione	4.3 – Sezione trasversale - Presenza vuoti	4.4 – Sezione trasversale - Presenza diafani	5.1 – Intonaco – stato attuale	5.2 – Intonaco Stato di conservazione	6.1 – Collegamenti - angolate	6.2 – Collegamenti - elementi costitutivi	6.3 – Collegamenti - Martelli - tipologia	6.4 – Collegamenti – martelli – differente tip. muri di spina	6.5 – Collegamenti - Martelli – presenza catene	7.1 – Interventi cons. alla muratura	7.2 – Interventi consolidamento ai collegamenti	8 – Qualità della muratura – Tipo 1 e 2
D1	Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	4	V	1	2	1,2,3	1	1	1,2		1	2	1	1	1
D2		4	V	1	1	3	3	2,3	1,2		2	2	4	3,4	2
E1	Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,3	3,4	2	1	1,4	1,2	2	2	3	1,2	2	1	1	2
E2		3	3,4	2	2	1,4	3	3	3	3	2	1	4	3,4,6	2
F1	Muratura in mattoni pieni e malta di calce	3	2,3,4	2	1	V	V	3	1	1	1,2	1	1	1	
F2		3	2,3,4	2	1	V	V	3	1	2,3	1,2	2	1	1	

## LA QUALITÀ DELLA MURATURA

Sono state individuate due classi di qualità della muratura, indipendentemente dalla tipologia (GNDT 2000)

**Muratura di tipo I**  
di pietra naturale a tessitura irregolare di cattiva qualità

- elevata vulnerabilità per azioni fuori del piano con tendenza allo scompaginamento e allo sfaldamento dell'apparecchiatura muraria e alla instabilità dei paramenti mal collegati o non collegati anche sotto carichi verticali;
- scarsa resistenza per azioni nel piano (bassa resistenza intrinseca dei materiali e specialmente della malta e scarso attrito tra le pietre)

**I meccanismi di danno per questa muratura conducono spesso a crolli rovinosi per terremoti di medio-bassa intensità**

# LA QUALITÀ DELLA MURATURA

**Muratura di tipo II**  
di pietra naturale o artificiale a tessitura regolare  
di buona qualità

- bassa vulnerabilità per azioni fuori del piano in presenza degli adeguati collegamenti alle murature ortogonali ed agli impalcati
- media o elevata resistenza per azioni nel piano (buona resistenza intrinseca dei materiali ed in particolare della malta e attrito adeguato tra i blocchi o le pietre)

I meccanismi di danno per questa muratura non portano a crolli per terremoti di media intensità, mentre sotto terremoti di elevata intensità i collassi avvengono nel piano in maniera progressiva con lesioni diagonali e dislocamento finale di porzioni di muratura (accettabile duttilità di comportamento)

Per definire la qualità della muratura si può procedere anche con diverse metodologie a vari livelli di approfondimento

### 1° livello di conoscenza - analisi visiva del paramento esterno

- Regolarità della muratura (A-irregolare; B-sbozzata; C-regolare)
- Presenza (CR) o assenza (SR) di ricorsi o listature

### 2° livello di conoscenza - analisi della qualità della malta

- Malta di cattiva qualità, molto friabile, si sgretola tra le mani (MC)
- Malta di buona qualità, non friabili e più resistenti (MB)

### 3° livello di conoscenza - analisi della sezione muraria

- Paramenti scollegati o mal collegati (murature povere a sacco) (PS)
- Paramenti ben collegati (sezioni piene o presenza di diatoni etc.) (PC)

La combinazione dei quattro parametri consente di definire la qualità (I o II) della muratura mediante abachi di combinazione. Restano sempre dei casi incerti.

(Regione Molise - Dec.CD10/2006).



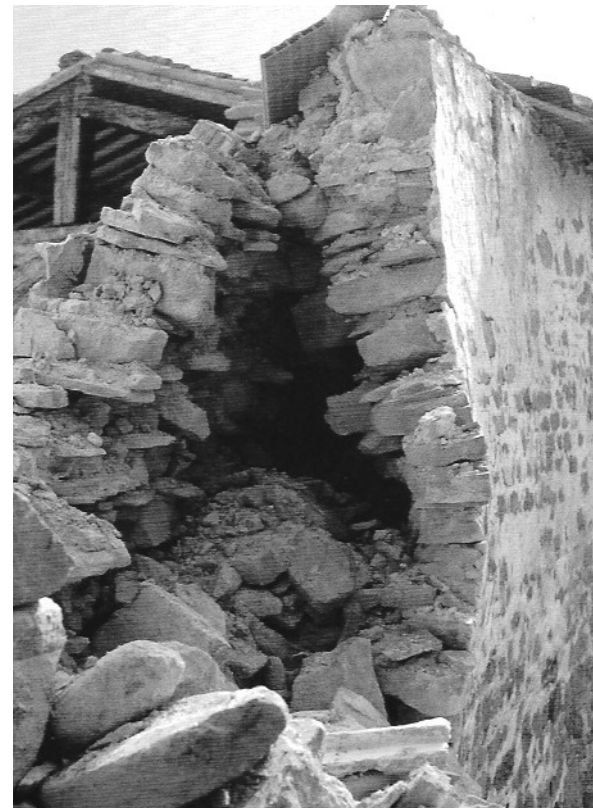
## MURATURA DI TIPO I di CATTIVA QUALITÀ

Mancanza di collegamenti trasversali tra i paramenti e tessitura irregolare con elementi di diversa dimensione e forma. Malta di cattiva qualità. Crollo rovinoso con sfaldamento della muratura.

Evidente imbozzamento  
della parete muraria



Instabilità dei due  
paramenti scollegati



## MURATURA DI TIPO II di BUONA QUALITÀ

Collegamenti trasversali efficaci tra i paramenti e tessitura regolare con elementi di dimensione e forma simili. Malta di buona qualità. Anche nel crollo la muratura conserva la sua integrità

Muratura di pietrame sbozzato



Muratura piena in blocchi di tufo regolari



Muratura semiregolare in calcarenite





# LA CONOSCENZA DELL'EDIFICIO (OPCM)

Riguarda i seguenti aspetti:

1) - Geometria: {  
- morfologia (forma e dimensioni)  
- quadro fessurativo  
- quadro deformativo

2) - I dettagli costruttivi: {  
- tipologia della muratura  
- qualità dei collegamenti  
- esistenza ed efficienza di specifici elementi strutturali  
- presenza di elementi vulnerabili

3) - Le proprietà dei materiali

## I DETTAGLI COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO

La conoscenza della QUALITÀ dei COLLEGAMENTI è essenziale per definire il possibile comportamento dell'edificio soggetto all'azione sismica (meccanismi)

Si deve verificare il livello di connessione e definire la qualità per i seguenti collegamenti:

- collegamenti tra le pareti verticali (integrità ed efficienza delle croci di muri, in particolare tra le pareti di facciata e quelle di spina; esistenza di catene in acciaio, etc.)
- collegamenti tra gli orizzontamenti (solai, volte, coperture) e le pareti verticali (soprattutto di facciata), individuando la presenza eventuale di cordoli di piano o altri dispositivi di collegamento (ad es. catene o radiciamienti e inchiavardature delle travi dei solai)

Nel caso di cordoli in c.a. si deve rilevare l'armatura e valutarne la connessione con i solai e le murature

## I DETTAGLI COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO

L'esistenza di SPECIFICI ELEMENTI STRUTTURALI e la loro efficienza influenzano significativamente la capacità dell'edificio di sopportare l'azione sismica

Si deve verificare, in particolare, l'esistenza di:

- architravi o piattabande strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture (in acciaio o in c.a., ben ammorsate agli estremi nella muratura laterale)
- altri elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti (catene o profili in acciaio, catene lignee in copertura, cordoli o travi in c.a.) (interventi di rinforzo già attuati)

Per le piattabande occorre verificare l'eventuale esistenza di catene disposte nella muratura della fascia di piano

Per le catene occorre verificare l'eventuale corrosione; se sono ancora in tensione e se gli ancoraggi sono efficienti

## Architrave e piattabande (fasce di piano)

Architrave senza piattabanda ad arco con intradosso piano



Architrave con piattabanda in legno poco ammorsata



Piattabanda in cemento armato abbastanza ammorsata



Architrave con piattabanda in acciaio poco ammorsata





## Catene e collegamenti



Catene al  
secondo piano in  
corrispondenza  
dei muri di spina,  
disposte già in  
costruzione

Dettaglio di una catena  
adiacente ad un muro di spina



Architrave senza piattabanda.  
Catena nella fascia di piano



# LA CONOSCENZA DELL'EDIFICIO (OPCM)

Riguarda i seguenti aspetti:

1) - Geometria: {  
- morfologia (forma e dimensioni)  
- quadro fessurativo  
- quadro deformativo

2) - I dettagli costruttivi: {  
- tipologia della muratura  
- qualità dei collegamenti  
- esistenza ed efficienza di specifici elementi strutturali  
- presenza di elementi vulnerabili

3) - Le proprietà dei materiali

## LE PROPRIETÀ DEI MATERIALI

La definizione delle PROPRIETÀ DELLA MURATURA consiste nell'individuazione della sua tipologia e della sua qualità

La finalità principale è stabilire se la muratura è capace di un comportamento strutturale idoneo a sostenere le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l'edificio

Si deve valutare in particolare:

- il rispetto o meno della "regola d'arte"
- la forma, la tipologia e le dimensioni degli elementi
- la tessitura, l'orizzontalità delle giaciture, lo sfalsamento dei giunti, la presenza di collegamenti trasversali (diatoni)
- la qualità e la consistenza della malta

Occorrono prove sperimentali per caratterizzare la malta (legante, inerti, rap. legante/inerti, carbonatazione) e le pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche)



## REPERIMENTO DEI DATI per i "DETTAGLI COSTRUTTIVI" dell'edificio

### Verifiche in-situ LIMITATE

Si basano su rilievi di tipo visivo, ricorrendo, di regola, a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura, per esaminare:

- le caratteristiche della muratura sia in superficie che nello spessore murario
- il tipo ed il grado di ammorsamento tra muri ortogonali e tra solai e pareti

La qualità dei collegamenti e dei dettagli costruttivi possono essere valutati anche a campione in base ad una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura

In assenza di un rilievo diretto o di dati sufficientemente attendibili, si devono assumere nelle modellazioni, nelle analisi e nelle verifiche, le ipotesi più cautelative

## REPERIMENTO DEI DATI per i "DETTAGLI COSTRUTTIVI" dell'edificio

### Verifiche in-situ ESTESE ed ESAUSTIVE

Si basano ancora su rilievi di tipo visivo, ma sempre con saggi nella muratura, per esaminare:

- le caratteristiche della muratura sia in superficie che nello spessore murario
- il tipo ed il grado di ammorsamento tra muri ortogonali e tra solai e pareti

L'esame della qualità dei collegamenti e il rilievo degli altri dettagli costruttivi devono essere estesi in modo sistematico all'intero edificio

## REPERIMENTO DEI DATI per le "PROPRIETÀ DEI MATERIALI"

### Indagini in-situ LIMITATE

Servono a completare le informazioni ottenute dalla letteratura o dalle regole in vigore all'epoca della costruzione e per individuare la tipologia di tabella 11.D.1

Esami visivi della superficie muraria (1m x 1m) dopo la rimozione dell'intonaco (preferibilmente negli angoli), per:

- individuare forma e dimensione dei blocchi
- verificare le ammorsature tra le pareti

Saggi localizzati nello spessore murario per la valutazione:

- della qualità della connessione interna e trasversale
- della compattezza della malta

Valutazione della capacità della muratura ad assumere un comportamento monolitico sotto azioni sismiche (Qualità II)

## REPERIMENTO DEI DATI per le "PROPRIETÀ DEI MATERIALI"

### Indagini in-situ ESTESE

La corrispondenza alle tipologie di tabella 11.D.1 va verificata con esami visivi e saggi interni effettuati in maniera estesa e sistematica per ogni tipo di muratura presente

Per ogni tipo di muratura è richiesto anche

- una prova sperimentale distruttiva (martinetto piatto doppio)
- prove per caratterizzare la malta e le pietre e/o mattoni

Prove non distruttive (soniche, penetrometriche per la malta, etc.) solo a complemento di quelle distruttive

Si possono utilizzare prove eseguite su altri edifici della stessa zona aventi una comprovata e chiara corrispondenza tipologica della muratura (conci, dettagli costruttivi etc.)

## REPERIMENTO DEI DATI per le "PROPRIETÀ DEI MATERIALI"

### Indagini in-situ ESAUSTIVE

Servono per ottenere direttamente i valori numerici delle proprietà meccaniche della muratura.

In aggiunta alle verifiche visive e ai saggi interni, per ogni tipo di muratura è richiesta anche l'esecuzione di:

- una serie di prove sperimentali distruttive in numero e qualità sufficienti a valutare le proprietà meccaniche

Prove distruttive in-situ o in laboratorio (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio)

Le prove possono in generale comprendere:

- Prove di compressione diagonale su pannelli
- Prove combinate di compressione verticale e taglio



## Indagini in-situ ESAUSTIVE (cont.)

Prove non distruttive (soniche, penetrometriche per la malta, etc.) solo a complemento di quelle distruttive

Si possono utilizzare prove eseguite su altri edifici della stessa zona aventi una comprovata e chiara corrispondenza tipologica della muratura (conci, dettagli costruttivi etc.)

## L'UTILIZZO DEI RISULTATI DELLE PROVE

I risultati devono essere esaminati e considerati nell'ambito di un quadro di riferimento tipologico generale che:

- tenga conto dei risultati delle prove sperimentali disponibili sino a quel momento in letteratura per le tipologie murarie in oggetto
- consenta di valutare, anche in termini statistici, la effettiva rappresentatività dei valori trovati

I risultati devono essere utilizzati in combinazione con quanto riportato nella tabella 11.D.1

# I LIVELLI DI CONOSCENZA

Il livello di conoscenza influenza:

- il coefficiente (fattore di confidenza FC) che riduce il valore medio della resistenza determinata
- il modo in cui si determina la resistenza sulla base delle prove svolte e della tabella di norma (11.D.1.-OPCM; C.8.B.1-Istr. N.T.C.)

## LC1 : Conoscenza LIMITATA

FC = 1.35

Geometria: RILIEVO strutturale completo  
Dettagli costruttivi: Verifiche in situ LIMITATE  
Proprietà dei materiali: Indagini in situ LIMITATE

## LC2 : Conoscenza ADEGUATA

FC = 1.20

Geometria: RILIEVO strutturale completo  
Dettagli costruttivi: Verifiche in situ ESTESE ed ESAUSTIVE  
Proprietà dei materiali: Indagini in situ ESTESE

## LC3 : Conoscenza ACCURATA

FC = 1.00

Geometria: RILIEVO strutturale completo  
Dettagli costruttivi: Verifiche in situ ESTESE ed ESAUSTIVE  
Proprietà dei materiali: Indagini in situ ESAUSTIVE

# La determinazione dei PARAMETRI MECCANICI della muratura in funzione dei LIVELLI DI CONOSCENZA

## Conoscenza LIMITATA - LC1

Resistenze: il valore MINIMO dell'intervallo di tabella  
Moduli elastici: il valore MINIMO dell'intervallo di tabella

## Conoscenza ADEGUATA - LC2

Resistenze: il valore MEDIO dell'intervallo di tabella  
Moduli elastici: il valore MEDIO dell'intervallo di tabella

## Conoscenza ACCURATA - LC3

3 valori  
sperimentali  
di resistenza

Resistenze: valor MEDIO dei risultati delle prove  
Moduli elastici: valor MEDIO degli intervalli di tabella  
o valor MEDIO dei risultati delle prove

2 valori  
sperimentali  
di resistenza

**Resistenze:**

- valore MEDIO dell'intervallo di tabella se il valor medio sperimentale è compreso in esso
- valore MASSIMO dell'intervallo di tabella se il valor medio sperimentale è superiore ad esso
- valore MEDIO sperimentale se esso è inferiore al minimo dell'intervallo di tabella

**Moduli elastici:**

- valor MEDIO degli intervalli di tabella
- o valor MEDIO dei risultati delle prove

1 valore  
sperimentali  
di resistenza

**Resistenze:**

- valore MEDIO dell'intervallo di tabella se il valor medio sperimentale è compreso in esso
- valore MEDIO dell'intervallo di tabella se il valor medio sperimentale è superiore ad esso
- valore sperimentale se esso è inferiore al minimo dell'intervallo di tabella

**Moduli elastici:**

- valor MEDIO degli intervalli di tabella
- o valor risultante dalla prova

## Tabella 11.D.1. - Parametri meccanici della muratura per edifici esistenti (OPCM 3431)

Tabella 11.D.1 Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata.

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	$w$ (kN/m <sup>3</sup> )
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	60 90	2,0 3,2	690 1050	115 175	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	110 155	3,5 5,1	1020 1440	170 240	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	150 200	5,6 7,4	1500 1980	250 330	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	80 120	2,8 4,2	900 1260	150 210	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	300 400	7,8 9,8	2340 2820	390 470	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	180 280	6,0 9,2	1800 2400	300 400	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI)	380 500	24 32	2800 3600	560 720	15
Muratura in blocchi laterizi forati (perc. foratura < 45%)	460 600	30,0 40,0	3400 4400	680 880	12
Muratura in blocchi laterizi forati, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2580 3300	430 550	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	2200 2800	440 560	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni	300 440	18,0 24,0	2700 3500	540 700	14

$f_m$  = resistenza media a compressione della muratura  
 $\tau_0$  = resistenza media a taglio della muratura  
 E = valore medio del modulo di elasticità normale  
 G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale  
 $w$  = peso specifico medio della muratura

I valori sono riferiti a muratura con malta scadente paramenti scollegati senza ricorsi o listature

Sono Valori Medi Si devono trasformare in Valori di Calcolo con il coefficiente di sicurezza  $\gamma_m$  ed il fattore di confidenza FC



## Tabella 11.D.2. - Coefficienti incrementativi dei parametri meccanici della muratura per edifici esistenti (OPCM 3431)

I risultati delle verifiche in-situ sulla tipologia della muratura consentono di applicare incrementi ai valori ricavati dalla tabella

Tipologia di muratura	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezioni di malta	Intonaco armato
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	1,4	1,2	1,5	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	-	1,5	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	-	1,3	1,5	1,5
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI)	1,3	-	-	-	1,3
Muratura in blocchi laterizi forati (perc. foratura < 45%)	1,3	-	-	-	1,3
Muratura in blocchi laterizi forati, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	1,3	-	-	-	1,3
Muratura in blocchi di calcestruzzo (perc. foratura tra 45% e 65%)	1,3	-	-	-	1,3
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni	1,3	-	-	-	1,3

Il confronto con i valori sperimentali si effettua dopo l'applicazione dei coefficienti incrementativi

Per il Modulo Elastico si applicano solo gli incrementi per Malta Buona o Consolidamenti

# I SAGGI SULLE MURATURE

## Esami visivi sulle murature in prossimità degli angoli



## I saggi per l'individuazione di piattabande e cordoli



# I TIPI DI PROVE PER LE MURATURE

## LE PROVE NON DISTRUTTIVE

- Prove soniche/ultrasoniche
- Endoscopia
- Georadar
- Termografia

## LE PROVE SEMI-DISTRUTTIVE

- Prove penetrometriche (per la malta)
- Carotaggi
- Prove con martinetti piatti (doppio o singolo)

## LE PROVE DISTRUTTIVE

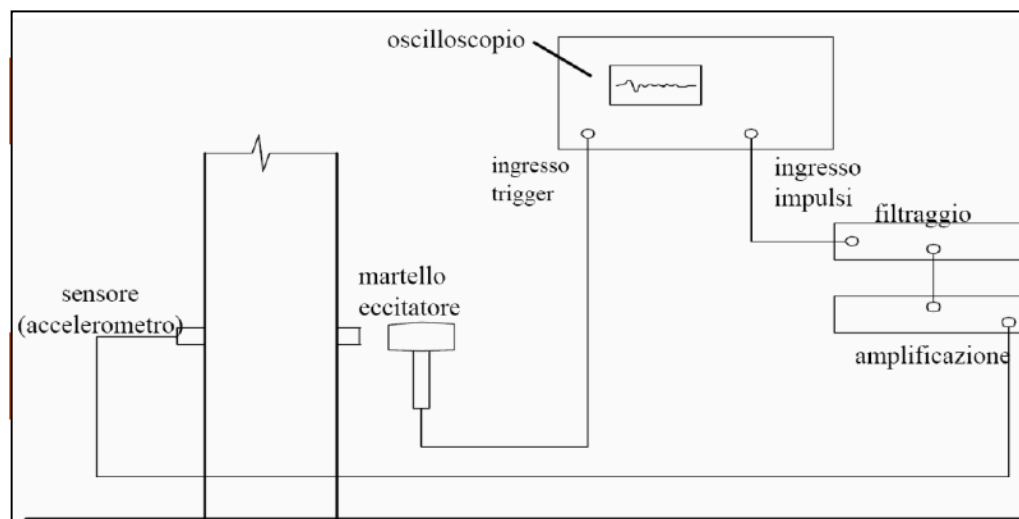
- Prove di compressione semplice
- Prove di compressione diagonale
- Prove di compressione e taglio

Le prove non distruttive:  
**PROVE SONICHE E ULTRASONICHE**

Si misura la velocità con cui un segnale sonoro si muove all'interno della muratura

Per caratterizzare la muratura. Evidenzia la compattezza e i vuoti.

$$E_d = V^2 \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu) / (1 - \nu)$$



- **trasmissione diretta:** sonda e punto d'impulso sono posizionate in modo simmetrico sulle facce opposte della parete;
- **trasmissione semi diretta:** si posizionano i due punti nelle facce opposte ma non in corrispondenza simmetrica, oppure in facce ortogonali del paramento;
- **trasmissione indiretta:** il punto d'impulso viene scelto sulla stessa faccia dove si trova la sonda ricevente;

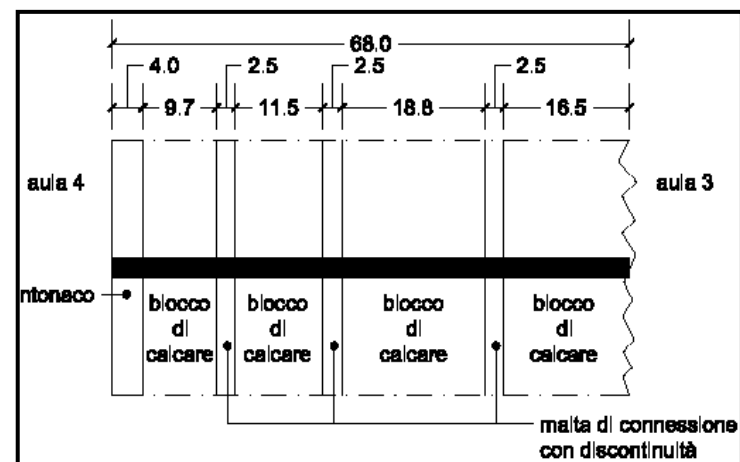
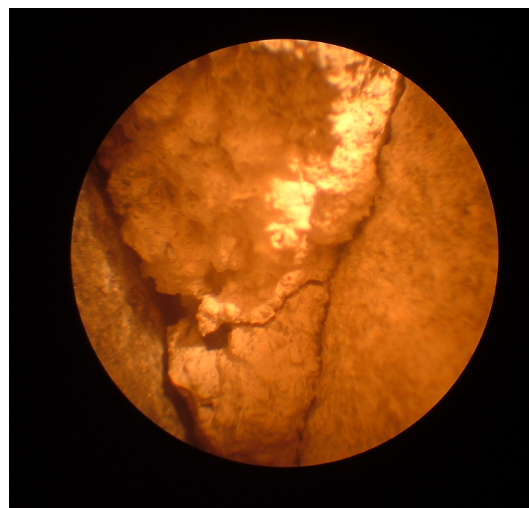
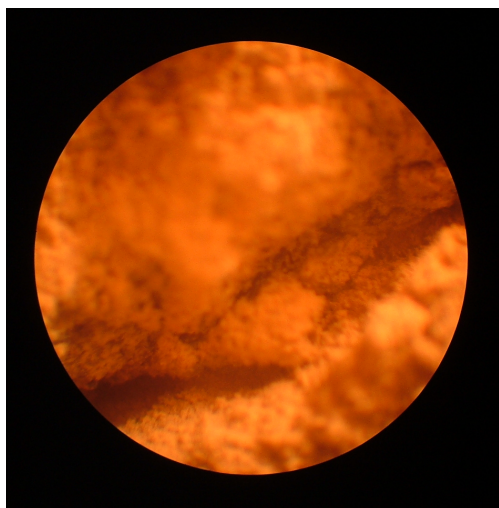
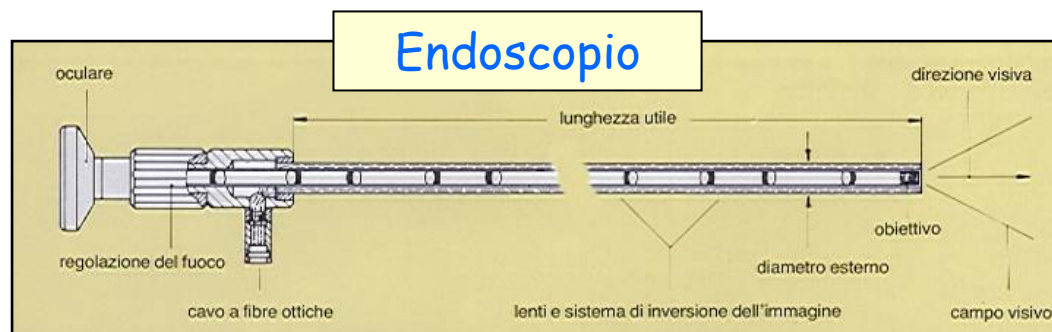
**$V < 1000$  m/s:** murature fortemente danneggiate con presenza di grossi vuoti interni;  
 **$1000 \text{ m/s} < V < 2000 \text{ m/s}$ :** muratura in mattoni; valori di  $V$  inferiori ai  $1500 \text{ m/s}$  possono indicare presenza di vuoti e difetti, irregolarità nei corsi o nelle giunzioni.  
 **$V > 2000 \text{ m/s}$ :** murature accuratamente costruite e conservate con elevata resistenza a compressione, stimabile fra i  $5$  e  $15 \text{ MPa}$ .



## Le prove non distruttive: L'ENDOSCOPIA

Visione diretta della muratura all'interno di un piccolo foro (10mm), mediante una sonda ottica rigida (boroscopia), o in fori più grandi (35mm), mediante una telecamera mobile filo-guidata

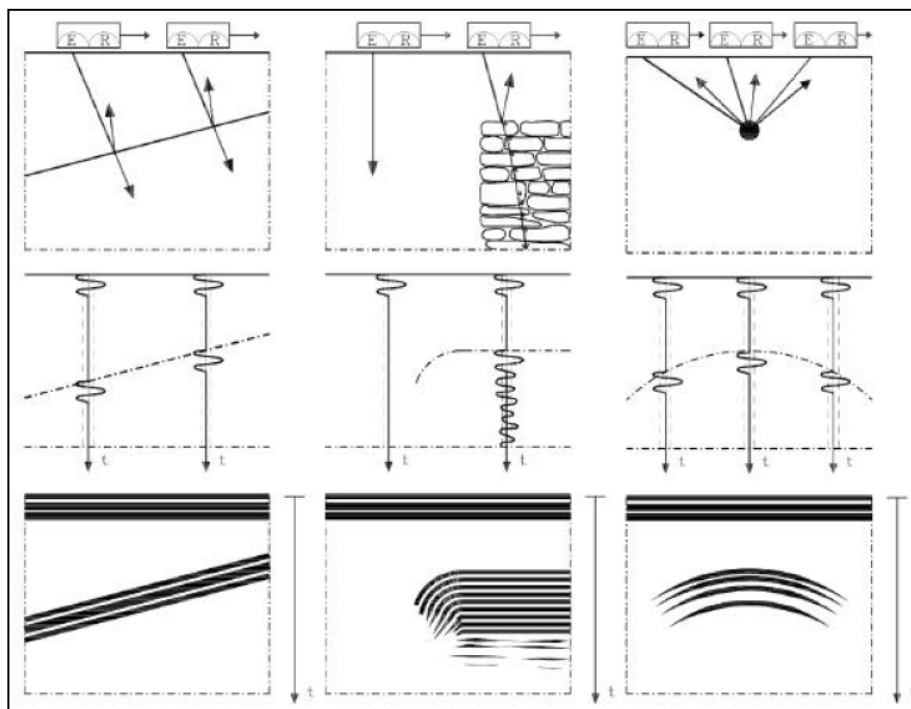
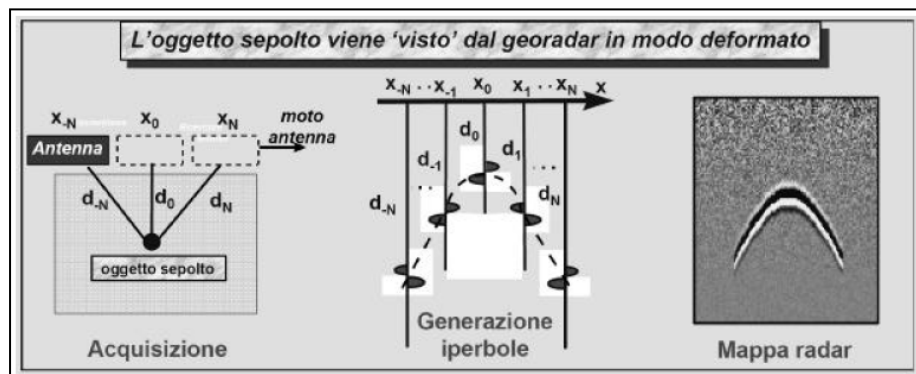
Per caratterizzare la muratura. Evidenzia la tessitura e i vuoti, ma solo in piccole zone (stratigrafia)





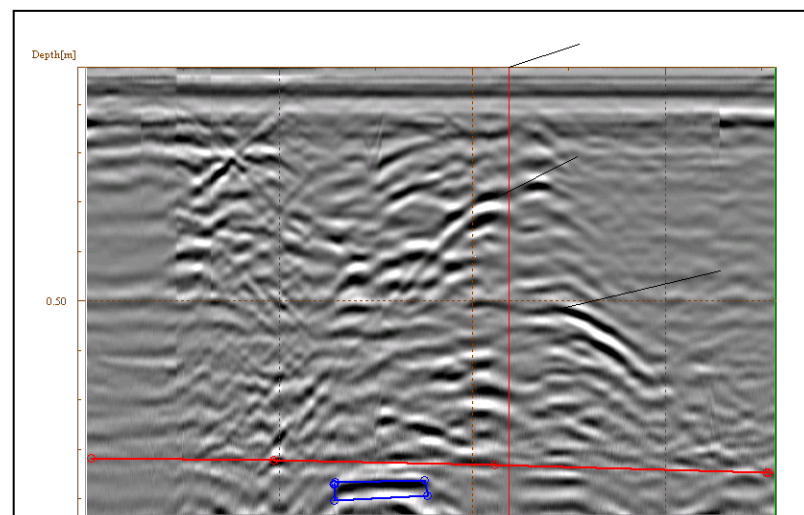
# Le prove non distruttive: IL GEORADAR

Si basa sulla riflessione delle  
onde elettromagnetiche



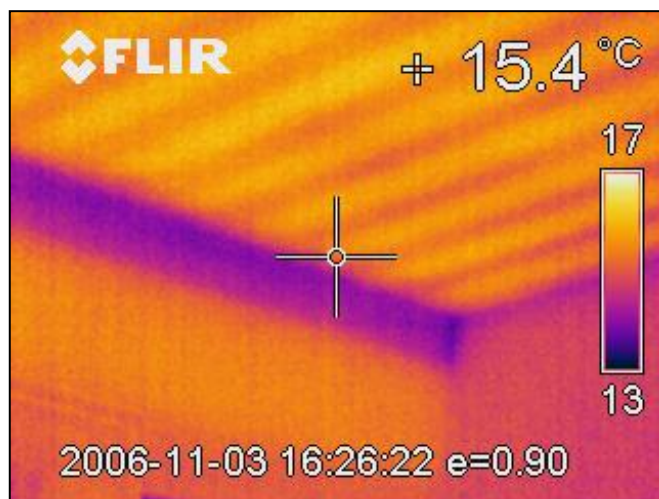
Per caratterizzare la  
muratura.

Evidenzia gli oggetti nascosti,  
le discontinuità e i vuoti

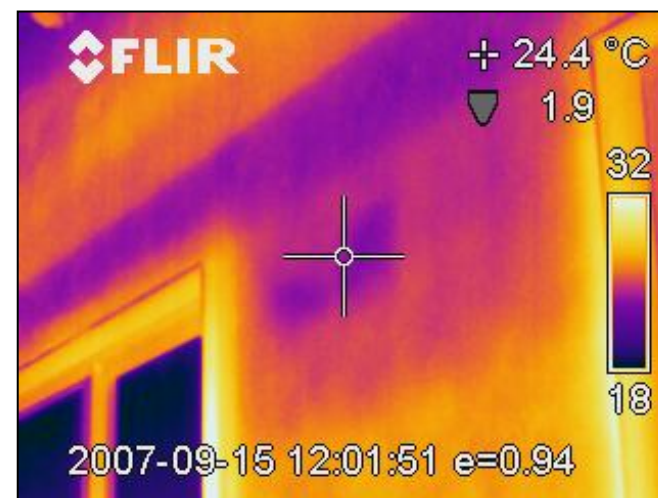
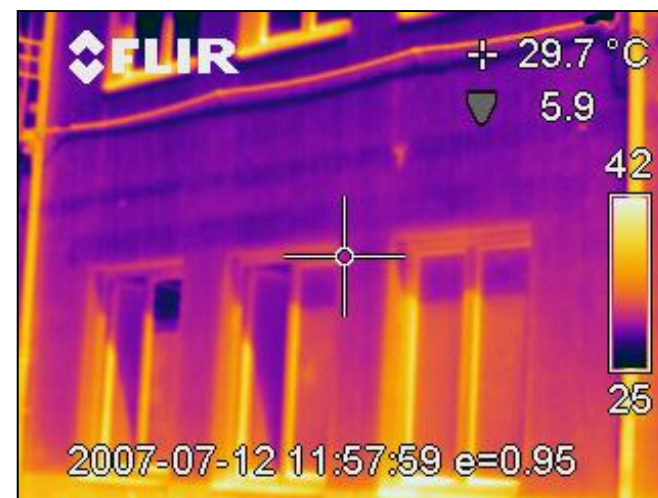


## Le prove non distruttive: LA TERMOGRAFIA

Si utilizza una speciale fotocamera termografica agli infrarossi che rileva le temperature superficiali



Per individuare zone di materiale diverso nelle pareti murarie o nei solai (Dettagli costruttivi).



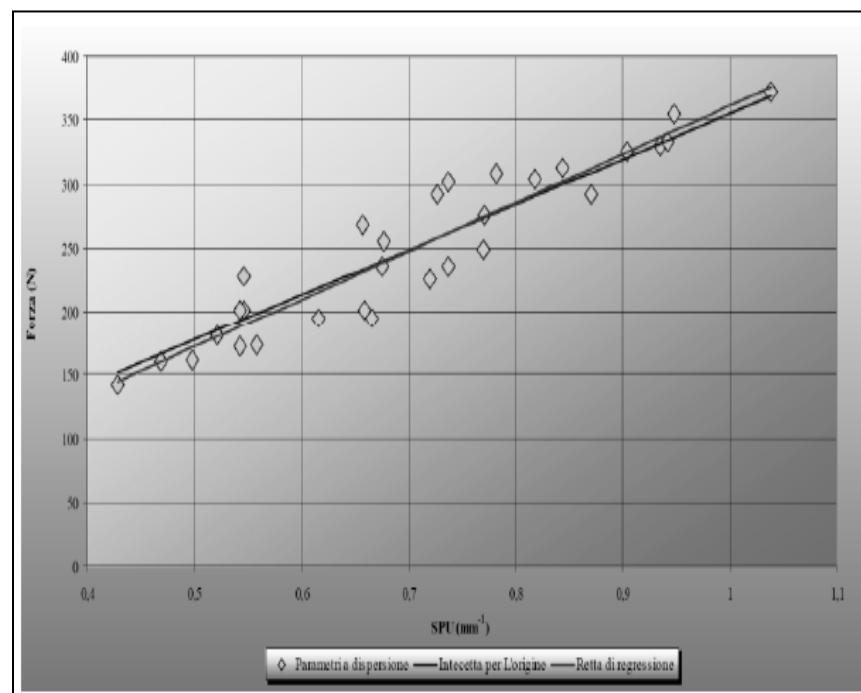
## Le prove semi-distruttive: LE PROVE PENTROMETRICHE

Si misura la forza necessaria per far penetrare una punta nella malta fino ad una certa profondità



Per caratterizzare la malta. Si ottiene il valore di resistenza a compressione della malta.

La resistenza a compressione della malta in funzione della resistenza alla penetrazione della punta dello strumento è ottenuta attraverso correlazioni di tipo semi-empirico (come per lo sclerometro)





## Le prove semi-distruttive: I CAROTAGGI

Si prelevano campioni  
(indisturbati?!) direttamente dalla  
muratura (carote) con apposito  
carotiere a rotazione

Per caratterizzare la  
muratura. Si ricavano la  
stratigrafia e lo spessore.  
Si determinano le proprietà  
meccaniche con prove a  
rottura in laboratorio su piccoli  
campioni

La prova a compressione



Il carotaggio della muratura



Il carotiere



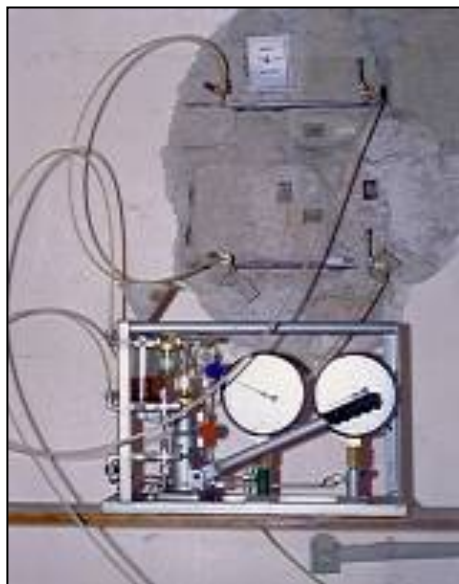
## Le prove semi-distruttive: I MARTINETTI PIATTI (doppi)

Si isola (parzialmente) la zona di muratura da provare, mediante sottili tagli orizzontali

Il carico è applicato da una coppia di martinetti idraulici piatti infilati nei tagli

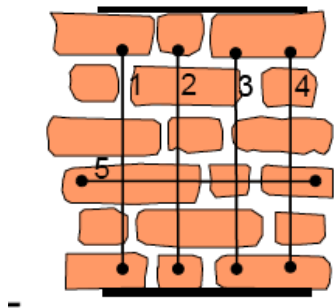
Il contrasto è fornito dal resto della parete muraria

Per caratterizzare la muratura. Si determinano le proprietà meccaniche (resistenza a compressione e modulo elastico) con prove a rottura in-situ



## Le prove semi-distruttive: I MARTINETTI PIATTI (doppi)

La posizione dei  
punti di misura



I risultati ottenuti  
vanno corretti con  
coefficienti di natura  
semi-empirica che  
tengono conto delle  
condizioni specifiche di  
prova (ASTM)

## I risultati

### I diagrammi $\sigma$ - $\epsilon$

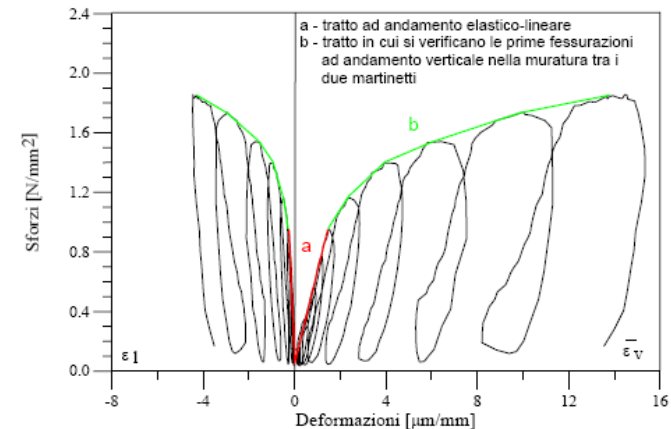
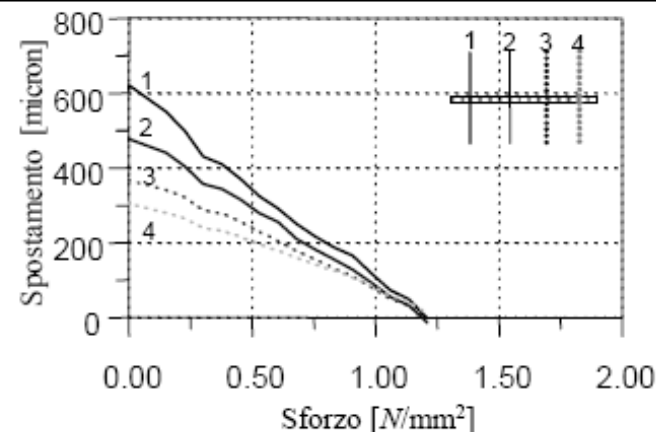


Fig. 4. Diagramma sforzi-deformazioni: fase elastica e fase non lineare

## Le prove semi-distruttive: IL SINGOLO MARTINETTO PIATTO

Consente di determinare la  
tensione nella muratura per i  
carichi statici agenti





## Le prove semi-distruttive: I MARTINETTI PIATTI

## I problemi e le perplessità

I problemi principali dipendono da: 1) tipo di muratura; 2) disomogeneità 3) scelta della posizione di prova; 4) influenza della muratura circostante

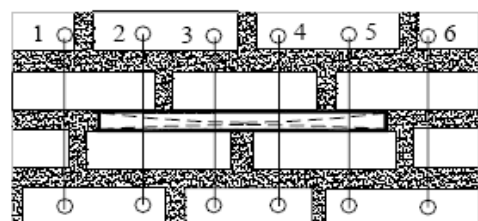
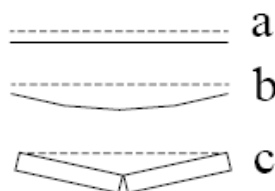


Fig. 5. Deformazione dei lati del taglio



Disomogeneità possono causare distribuzioni di tensioni più concentrate al centro dell'area di prova, con valori molto diversi delle deformazioni rilevate.

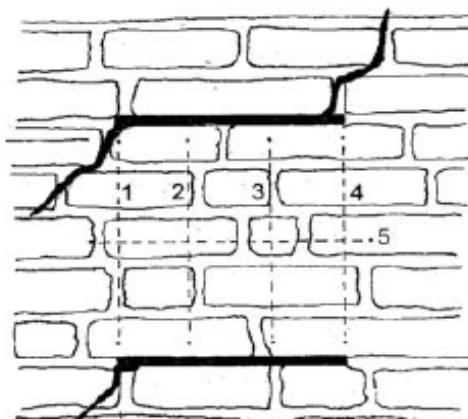


Fig. 6. Rottura della muratura ai limiti del taglio

Un basso livello di sollecitazione nel muro (edifici ad uno o due piani) può determinare la inefficacia del contrasto.

In questo caso spesso compaiono fessure ai limiti del taglio e in ogni caso la prova non può andare avanti, fermandosi ben al disotto del valore di rottura della muratura.

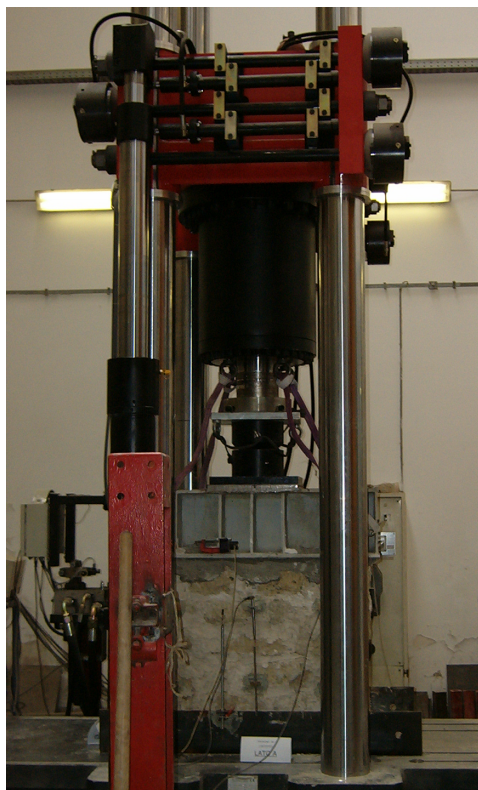
Occorre correlare le prove con martinetti piatti ad altre prove non distruttive (ad es. soniche) con procedimento a due o più parametri

## Le prove distruttive: PROVE SU PANNELLI MURARI

Si prelevano in-situ parti di muratura di grandi dimensioni (pannelli) cercando di arrecare il minimo disturbo possibile

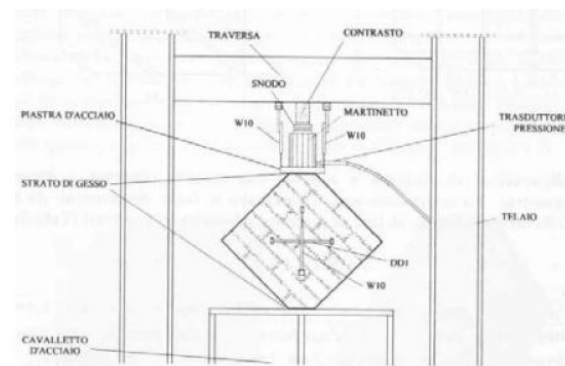
Per caratterizzare la muratura. Si determinano le proprietà meccaniche con prove a rottura in laboratorio su campioni grandi

### Prova di compressione

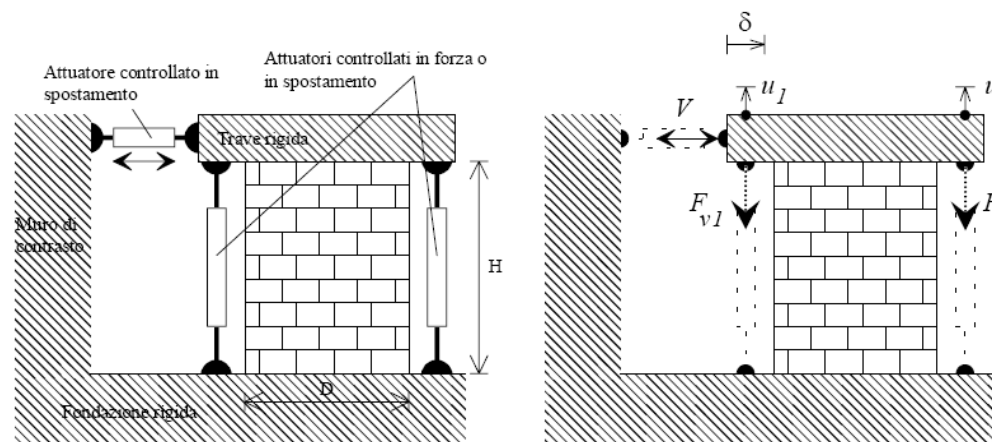


Sono prove costose e complesse. Molto invasive per l'edificio

### Prova di compressione diagonale



### Prova di compressione e taglio



**Resistenza della muratura - Circolare Min.LL.PP. 30/7/81:**  
**“Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione..... degli edifici in muratura danneggiati dal sisma”**

	TIPO DI MURATURA	$\tau_k$ ( $t/m^2$ )	$\sigma_k$ ( $t/m^2$ )
MURATURE NON CONSOLIDATE NON LESIONATE	Mattoni pieni Malta bastarda	12	300
	Blocco modulare (con caratteristiche rispondenti alle prescrizioni DM 3-3-1975) (29 x 19 x 19 cm) Malta bastarda	8	250
	Blocco in argilla espansa o calcestruzzo Malta bastarda	18	300
	Murature in pietra (in presenza di ricorsi di mattoni estesi a tutto lo spessore del muro, il valore rappresentativo di $\tau_k$ può essere incrementato del 30%)		
	a) pietrame in cattive condizioni	2	50
	b) pietrame grossolanamente squadrato e ben organizzato	7	200
	c) a sacco in buone condizioni	4	150
	Blocchi di tufo di buona qualità	10	250
MURATURE NUOVE	Mattoni «pieni» con fori circolari Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	20	500
	Forati doppio UNI rapp. vuoto/pieno = .40% Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	24	500
MURATURE CONSOLIDATE	Mattoni pieni, pietrame squadrato, consolidate con 2 lastre in calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	18	500
	Pietrame iniettato Murature in pietra a sacco consolidate con due lastre in cls armato da cm 3 (minimo)	11 11	300 300

**SONO GIA' VALORI DI CALCOLO**  
che si utilizzavano per  
analisi non lineari  
(il POR si può ritenere  
un'analisi non lineare)

**NON SI DOVEVA  
APPLICARE IL  
COEFFICIENTE DI  
SICUREZZA  $\gamma_m$**

**È quindi da considerare  
come un valore medio**

$$f_m = 2,5 \text{ MPa}$$

# Resistenza della muratura - Ordinanza 3431 - Edifici esistenti

Tabella 11.D.1 Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata.

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	$w$ (kN/m <sup>3</sup> )
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	60 90	2,0 3,2	690 1050	115 175	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	110 155	3,5 5,1	1020 1440	170 240	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	150 200	5,6 7,4	1500 1980	250 330	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	80 120	2,8 4,2	900 1260	150 210	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	300 400	7,8 9,8	2340 2820	390 470	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	180 280	6,0 9,2	1800 2400	300 400	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI)	380 500	24 32	2800 3600	560 720	15
Muratura in blocchi laterizi forati (perc. foratura < 45%)	460 600	30,0 40,0	3400 4400	680 880	12
Muratura in blocchi laterizi forati, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2580 3300	430 550	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	2200 2800	440 560	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni	300 440	18,0 24,0	2700 3500	540 700	14

$f_m$  = resistenza media a compressione della muratura  
 $\tau_0$  = resistenza media a taglio della muratura  
 E = valore medio del modulo di elasticità normale  
 G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale  
 $w$  = peso specifico medio della muratura

**SONO  
VALORI MEDI**

**SI DEVONO  
TRASFORMARE IN  
VALORI DI  
CALCOLO  
con il coefficiente  
di sicurezza  $\gamma_m$   
ed il fattore di  
confidenza FC**

**Quindi:  
ulteriore riduzione  
- per 1/2 da  $f_m$  a  $f_d$   
- e poi per 1/FC**



## Resistenza della muratura - Ordinanza 3431 - Edifici esistenti

### Coefficienti incrementativi per migliori caratteristiche

Tipologia di muratura	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezioni di malta	Intonaco armato
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	1,4	1,2	1,5	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	-	1,5	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadati	1,2	-	1,2	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	-	1,3	1,5	1,5
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI)	1,3	-	-	-	1,3
Muratura in blocchi laterizi forati (perc. foratura < 45%)	1,3	-	-	-	1,3
Muratura in blocchi laterizi forati, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	1,3	-	-	-	1,3
Muratura in blocchi di calcestruzzo (perc. foratura tra 45% e 65%)	1,3	-	-	-	1,3
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni	1,3	-	-	-	1,3

**D.M. 87**  
(edifici nuovi)

- resistenza  
blocchi

$f_{bk} = 3,0 \text{ MPa}$

- malta M4

$f_k = 2,0 \text{ MPa}$

$f_d = 2,0/3 = 0,7 \text{ MPa}$   
(car.verticali  $\gamma_m = 3$ )

$f_d = 2,0/2 = 1,0 \text{ MPa}$   
(cond. sismica  $\gamma_m = 2$ )

**Muratura di  
tufo di buona  
qualità**

**LC2 FC=1,2**

$f_m = 10 \times 1,5 \times 1,5 = 2,25 \text{ MPa}$  (valore medio della resistenza)

$f_d = 2,25/1,2 = 1,88 \text{ MPa}$  (valore di calcolo - analisi non lineari)

$f_d = 1,88/2 = 0,94 \text{ MPa}$  (valore di calcolo - analisi lineari)

# Resistenza della muratura - Istruzioni N.T.C. - Edifici esistenti

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	w (kN/m <sup>3</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Per alcune tipologie ci sono incrementi significativi di resistenza a compressione ( $f_m$ ) e di modulo di elasticità tangenziale (G) ma non di resistenza a taglio ( $\tau_0$ )

Per la resistenza a compressione si va dal 15% per i laterizi semipieni al 100% per il tufo e i blocchi lapidei



## Resistenza della muratura - Istruzioni N.T.C. - Edifici esistenti

### Coefficienti incrementativi per migliori caratteristiche

Si aggiungono altre caratteristiche valutabili (anche peggiorative)

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

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

**Muratura di tufo di buona qualità**  
LC2 FC=1,2

$f_m = 19 \times 1,5 \times 1,5 = 4,28 \text{ MPa}$  (valore medio della resistenza)

$f_d = 4,28 / 1,2 = 3,57 \text{ MPa}$  (valore di calcolo - analisi non lineari)

$f_d = 3,57 / 2 = 1,78 \text{ MPa}$  (valore di calcolo - analisi lineari)