

Corso di formazione professionale

## **Costruzioni in muratura**

L'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni

### **Lezione 1**

Inquadramento delle problematiche generali

La conoscenza: approccio metodologico, livelli di conoscenza

Catania

28 marzo 2012

Aurelio Ghersi

## **Costruzioni in muratura**

Nuove costruzioni

- Poco diffuse (più o meno a seconda delle zone)
- Possibilità di approcci semplificati ("edificio semplice")

Costruzioni esistenti

- Costituiscono una gran parte del patrimonio edilizio
- La valutazione del rischio sismico e gli interventi per ridurne la vulnerabilità sono essenziali

## **Normativa di riferimento: norme italiane**

Criteri generali per la progettazione sismica:

- D.M. 14/1/2008  
Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 08)
  - Cap. 3, par. 3.2: Azione sismica
  - Cap. 7: Progettazione per azioni sismiche

Indicazioni specifiche per edifici esistenti:

- NTC 08 - Cap. 8: Costruzioni esistenti
- Circolare 2/2/09 - Cap. C8: Costruzioni esistenti
- OPCM 3431  
ove non in contrasto con le Norme Tecniche per le Costruzioni
  - Cap. 11: Edifici esistenti

## **Normativa di riferimento: norme europee**

Criteri generali per la progettazione sismica:

- Eurocodice 8 (UNI EN 1998-1:2004)  
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica  
Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici

Indicazioni specifiche per edifici esistenti:

- Eurocodice 8: (UNI EN 1998-3:2005)  
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica  
Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici

## **Altra documentazione rilevante**

Linee guida regionali di particolare interesse:

- Regione Basilicata: Linee guida per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici strategici e rilevanti (ottobre 2005)
- Regione Abruzzo: Linee guida per la valutazione della resistenza sismica degli edifici strategici e rilevanti (giugno 2007)

Altra documentazione:

- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011: Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

## **Vulnerabilità e rischio sismico**

considerazioni generali, non specifiche per la muratura

### Rischio sismico

Un sistema (struttura, infrastruttura ...) ubicato in una zona sismica è soggetto alla possibilità di subire danni per effetto di un terremoto e quindi che questi danni inducano perdite alla collettività in termini economici, culturali e di vite umane

Rischio sismico:

relazione tra il verificarsi di un evento sismico e le perdite socio-economiche del sistema funzionale in esame

### Rischio sismico

Rischio sismico:

relazione tra il verificarsi di un evento sismico e le perdite socio-economiche del sistema funzionale in esame

Definizione probabilistica di rischio sismico:

probabilità che, in un dato arco di tempo  $t^*$ , venga raggiunto un assegnato livello di perdita, indicato con  $L_i$ .

$$R = p(t^*, L_i).$$

### Rischio sismico

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

- Pericolosità sismica

È una misura della potenzialità distruttive del terremoto atteso in una data area

In termini probabilistici è la probabilità che in un lasso temporale  $t^*$  si registri un livello di intensità sismica  $H_k$ :

$$P = p(t^*, H_k)$$

### Rischio sismico

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

- Vulnerabilità sismica

È una misura della propensione al danneggiamento strutturale, a prescindere dalla sismicità dell'area

In termini probabilistici è la probabilità che per un livello di intensità sismica  $H_k$  si verifichi un livello di danneggiamento  $D_j$ :

$$V = p(H_k, D_j)$$

### Rischio sismico

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

- Esposizione

È una misura della perdita (economica, di vite umane, ecc.) associata ad un livello di danno

In termini probabilistici è la probabilità che per un livello di danneggiamento  $D_j$  si verifichi una perdita di  $L_i$ :

$$E = p(D_j, L_i)$$

### Rischio sismico

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

- Pericolosità sismica
- Vulnerabilità sismica
- Esposizione

$$R = p(t^*, L_i) = P \times V \times E$$

$$R = p(t^*, H_k) \times p(H_k, D_j) \times p(D_j, L_i)$$

Se anche uno solo dei tre contributi è nullo o trascurabile il rischio è nullo o trascurabile

## Rischio sismico

L'approccio probabilistico alla valutazione della vulnerabilità, del danno e del rischio sismico presuppone l'applicazione di tecniche di valutazione su campioni significativi di organismi strutturali

- Indagini di vulnerabilità a grande scala (interi comuni o vaste aree territoriali)
- Indagini su piccola-media scala (gruppo limitato di immobili, quartieri, analisi tipologiche, ecc.)
- Indagini su piccolissima scala (esame del singolo edificio o di pochi edifici) valutazione delle prestazioni sismiche

## Indagini a grande o media scala

### Le schede di rilievo

La valutazione della vulnerabilità è basata sulla conoscenza dell'organismo strutturale esaminato

L'acquisizione guidata dei dati necessari alla valutazione viene effettuata mediante apposite schede

## Le schede di rilievo

Schede di vulnerabilità ed esposizione: sono classificate in relazione alla loro finalità e al livello di dettaglio delle informazioni

- prescheda per la raccolta di informazioni preliminari al censimento di vulnerabilità
- censimento speditivo di vulnerabilità per edifici in muratura o in cemento armato
- scheda di 1° / 2° livello per il rilevamento dell'esposizione e della vulnerabilità di edifici (muratura, c. a.), capannoni industriali, chiese
- scheda per il rilievo post-terremoto (valutazioni a posteriori della vulnerabilità)

## Scheda di 1° livello

<b>Sezione 1 - DATI RELATIVI ALLA SCHEDA</b> Cod. STAT Provincia _____ Comune _____ Data _____ Foglio _____	<b>Sezione 2 - LOCALIZZAZIONE EDIFICIO</b> Indirizzo _____ Cap _____ Città _____ Prov. _____ Stato _____ Mappa _____ Foto _____ Altro _____	<b>Sezione 3 - DATI METRICI</b> Altezza _____ Larghezza _____ Profondità _____ Volume _____ Superficie _____ Altro _____	<b>Sezione 4 - USO</b> Tipo _____ Stato _____ Altro _____	<b>Sezione 5 - ETA DELLA COSTRUZIONE - INTERVENTI</b> Anno _____ Interventi _____ Altro _____	<b>Sezione 6 - STATO DELLE FINITURE E IMPIANTI</b> Stato _____ Altro _____
<b>Sezione 7 - TIPOLOGIA STRUTTURALE</b> Tipo _____ Altro _____				<b>Sezione 8 - ESTENSIONE E LIVELLO DEL DANNO</b> Livello _____ Altro _____	

## Scheda di 2° livello

PARAMETRO	VALORE	COEFFICIENTE
TIPO EDIFICIO	1. Edificio a 1 piano 2. Edificio a 2 piani 3. Edificio a 3 piani 4. Edificio a 4 piani 5. Edificio a 5 piani 6. Edificio a 6 piani 7. Edificio a 7 piani 8. Edificio a 8 piani 9. Edificio a 9 piani 10. Edificio a 10 piani	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9
DISTRIBUZIONE DELLA MASSA	1. Massa concentrata 2. Massa distribuita 3. Massa concentrata e distribuita 4. Massa distribuita e concentrata 5. Massa concentrata e distribuita e concentrata 6. Massa distribuita e concentrata e distribuita 7. Massa concentrata e distribuita e concentrata e distribuita 8. Massa distribuita e concentrata e distribuita e concentrata e distribuita 9. Massa concentrata e distribuita e concentrata e distribuita e concentrata e distribuita 10. Massa distribuita e concentrata e distribuita e concentrata e distribuita e concentrata e distribuita	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9
CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	1. Forma regolare 2. Forma irregolare 3. Forma irregolare e complessa 4. Forma irregolare e complessa e irregolare 5. Forma irregolare e complessa e irregolare e irregolare 6. Forma irregolare e complessa e irregolare e irregolare e irregolare 7. Forma irregolare e complessa e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare 8. Forma irregolare e complessa e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare 9. Forma irregolare e complessa e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare 10. Forma irregolare e complessa e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare e irregolare	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9
INTERAZIONE ELEVAZIONE	1. Interazione elevata 2. Interazione media 3. Interazione bassa 4. Interazione molto bassa 5. Interazione molto molto bassa 6. Interazione molto molto molto bassa 7. Interazione molto molto molto molto bassa 8. Interazione molto molto molto molto molto bassa 9. Interazione molto molto molto molto molto molto bassa 10. Interazione molto molto molto molto molto molto molto bassa	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9

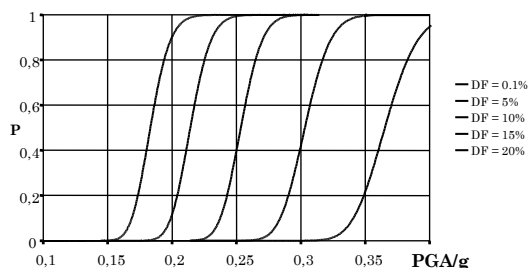
## Matrice di probabilità di danno

La relazione tra danno e intensità sismica può essere espressa in termini matriciali

Grado di danno	Grado di intensità sismica				
	VI	VII	VIII	IX	X
1	50				
2	5				
3		50			
4		5	50		
5			5	50	75

## Curve di fragilità

La relazione tra danno e intensità sismica in termini probabilistici è definita curva di fragilità



## Indagini a piccolissima scala (singolo edificio)

Occorre un approccio diverso  
e schede di rilievo diverse

Obiettivo:

- Raggiungere una conoscenza dell'edificio sufficiente per poter esprimere un giudizio (qualitativo - quantitativo)

La norma richiede di classificare il livello di conoscenza raggiunto

- NTC 08 (punto 8.5.4) - solo il principio generale
- OPCM 3431 ed EC8 - regole applicative

## Valutazione della vulnerabilità di un edificio esistente

In genere quando si parla di "valutare la vulnerabilità di un edificio esistente" si intende:

- Determinare quale valore dell'accelerazione di picco al suolo porta al raggiungimento del limite di resistenza (o di deformazione plastica) della struttura
  - Si tratta di una analisi deterministica, non probabilistica
  - Rientra nell'ambito della valutazione della sicurezza (NTC 08, punto 8.3), come meglio specifico nella Circolare (punto C8.3)

## Perché occorrono norme specifiche per gli edifici esistenti?

ovvero, che differenza c'è  
tra nuove costruzioni e costruzioni esistenti?

considerazioni generali, non specifiche per la muratura

## Nuove costruzioni

Il progettista ha piena libertà per definire:

- Geometria della struttura
- Dettagli costruttivi
- Materiali

Il progettista può quindi:

- Fare le scelte opportune per consentire alla struttura un buon comportamento durante il sisma
- Ad esempio:
- Edifici in c.a.: Gerarchia delle resistenze
  - Edifici in muratura: Evitare collasso delle pareti fuori piano

## Costruzioni esistenti

È tutto già definito:

- Geometria della struttura
- Dettagli costruttivi
- Materiali

Il comportamento sarà diverso da quello ideale desiderato:

Ad esempio:

- Edifici in c.a.: Rischio di rotture fragili o collasso di piano
- Edifici in muratura: Collasso delle pareti fuori piano

### Valutazione della sicurezza di una costruzione esistente

Nascono problemi specifici:

- Conoscenza della struttura
- La costruzione riflette lo stato delle conoscenze (regola d'arte) al tempo della loro edificazione
- La costruzione può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione che non sono direttamente visibili o evidenziabili
- La costruzione può aver già sopportato in passato terremoti (più o meno violenti) od altre azioni accidentali, i cui effetti possono essere più o meno manifesti
- La costruzione può presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria

NTC 08, punto 8.2

### Valutazione della sicurezza di una costruzione esistente

Nascono problemi specifici:

- Conoscenza della struttura
- Per svolgere qualsiasi tipo di analisi è necessario conoscere meglio possibile l'organismo strutturale, nello stato effettivo in cui si trova
- Non è possibile raggiungere la conoscenza "completa" di un edificio esistente, per cui vi saranno sempre dei margini di incertezza
- Nella valutazione della sicurezza o nella progettazione degli interventi occorre tener conto del margine di incertezza corrispondente al livello di approfondimento conseguito

### Valutazione della sicurezza di una costruzione esistente

Problematiche:

- Conoscenza della struttura
- Modellazione della struttura
- La geometria e i dettagli costruttivi sono definiti e la loro conoscenza dipende solo dalla documentazione disponibile e dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive
- La conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera ma solo dell'omogeneità dei materiali all'interno della costruzione e del livello di approfondimento delle indagini
- I carichi permanenti sono definiti e la loro conoscenza dipende dal livello di approfondimento delle indagini

NTC 08, punto 8.2

### Valutazione della sicurezza di una struttura esistente

Problematiche:

- Conoscenza della struttura
- Modellazione della struttura
- Analisi globale del comportamento della struttura
- Può essere opportuno utilizzare metodi di analisi più sofisticati di quelli usati per le nuove costruzioni (ad esempio analisi non lineari)
- La scelta dei metodi di analisi e verifica dipende dalla completezza ed affidabilità della informazione disponibile
- Nelle verifiche occorre usare adeguati coefficienti di sicurezza ("fattori di confidenza"), per tener conto del livello di conoscenza raggiunto

NTC 08, punto 8.2

### Quando siamo chiamati ad occuparci di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
- Valutare il grado di sicurezza dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche
- Progettare interventi per il miglioramento o adeguamento sismico dell'edificio

### Quando siamo chiamati ad occuparci di edifici esistenti?

Le costruzioni esistenti devono essere verificate quando ricorre una delle seguenti situazioni:

- Riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa per azioni ambientali (sisma o altro)
- Significativo degrado dei materiali
- Eventi eccezionali (incendi, esplosioni)
- Deformazioni significative dovute a cedimenti di fondazione
- Gravi errori di progetto o costruzione
- Cambio di destinazione d'uso con variazione significativa dei carichi

NTC 08, punto 8.3

## Valutazione della sicurezza

Occorre fare riferimento solo allo stato limite ultimo

- SLV oppure SLC

NTC 08, punto 8.3

## Evoluzione del concetto di protezione sismica

Performance based design

Tendenza della normativa:

Più livelli di prestazione

- Evitare il crollo
- Evitare perdite di vite umane
- Consentire un rapido ripristino dell'operatività
- Mantenere l'operatività

associati a diversi livelli di intensità sismica

Normativa americana FEMA  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

## Livelli di prestazione Ovvero Stati Limite da rispettare

Stati Limite di Esercizio

Non richiesto  
per edifici esistenti

NTC 08, punto 8.3

Stato Limite di Operatività - SLO

Danni estremamente modesti agli elementi non strutturali, tali da non compromettere in alcun modo la funzionalità dell'edificio

Stato Limite di Danno - SLD

Danni modesti agli elementi non strutturali e quasi nulli a quelli strutturali. L'utilizzo dell'opera dopo il sisma dovrebbe essere consentito, anche se alcune funzionalità potrebbero risultare compromesse

Danno Limitati, DL nell'OPCM 3431  
Damage Limitation, DL nell'EC8-3

NTC 08, punto 3.2.1

## Livelli di prestazione Ovvero Stati Limite da rispettare

Stati Limite Ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV

Significativi danni agli elementi strutturali e non strutturali. Esiste ancora un consistente margine nei confronti del collasso. La funzionalità dell'edificio è compromessa

Danno Severo, DS nell'OPCM 3431  
Significant Damage, SD nell'EC8-3

Stato Limite di prevenzione del Collasso - SLC

La capacità dell'edificio di portare azioni orizzontali e verticali è compromessa. L'uso dell'edificio dopo l'evento sismico comporterebbe un sensibile livello di rischio

Collasso, CO nell'OPCM 3431  
Near Collapse, NC nell'EC8-3

NTC 08, punto 3.2.1

## Livelli di intensità sismica

Sono legati alla "vita di riferimento"  $V_R$  della struttura

Livello	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno *
Frequente	81% in $V_R$ anni	30 anni
Occasionale	63% in $V_R$ anni	50 anni
Raro	10% in $V_R$ anni	475 anni
Estremamente raro	5% in $V_R$ anni	975 anni

SLV

SLC

\* Per  $V_R = 50$  anni

NTC 08, punto 3.2.1

## Valutazione della sicurezza

Occorre fare riferimento solo allo stato limite ultimo

- SLV oppure SLC

Occorre stabilire se:

- L'uso della costruzione può continuare senza interventi
- L'uso può continuare ma con un declassamento
- Occorre aumentare o ripristinare la capacità portante

NTC 08, punto 8.3

## Tipi di intervento

### Adeguamento:

- Intervento sulla struttura che le conferiscono i livelli di sicurezza richiesti dalle norme vigenti

### Miglioramento:

- Intervento sulla struttura per aumentarne globalmente la sicurezza, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle norme vigenti

### Intervento locale:

- Intervento su porzioni limitate della struttura, senza sostanziali modifiche del comportamento globale

NTC 08, punto 8.4

## Miglioramento o adeguamento?

L'adeguamento è obbligatorio quando ricorre anche una sola delle tre condizioni seguenti:

- La costruzione viene ampliata o sopraelevata
- I carichi globali in fondazione aumentano più del 10% (per variazione di destinazione d'uso o altro)
- Gli interventi strutturali modificano in maniera sostanziale il comportamento complessivo della costruzione

NTC 08, punto 8.4

## Edifici in muratura

Livelli di conoscenza

## Vulnerabilità sismica degli edifici in muratura

Dipende da:

- Qualità dei materiali
- Tipologia strutturale
- Situazione di degrado in atto al momento dell'evento sismico
  - Dissesti fisiologici
  - Dissesti patologici



Per valutarla:

- necessità di conoscenza per gli edifici esistenti

## Conoscenza dell'edificio

Riguarda i seguenti aspetti:

- Geometria
  - Morfologia
  - Quadro fessurativo
  - Quadro deformativo
- Dettagli costruttivi
  - Tipologia della muratura
  - Qualità dei collegamenti
  - Esistenza ed efficienza di specifici elementi strutturali
  - Presenza di elementi vulnerabili
- Proprietà dei materiali

## Conoscenza dell'edificio

- Geometria
  - Morfologia
  - Quadro fessurativo
  - Quadro deformativo

## Geometria

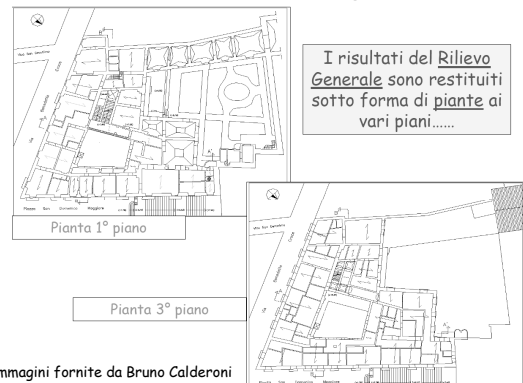
### Rilievo della morfologia

- acquisizione, per ciascun piano, delle caratteristiche geometrico-dimensionali di tutti gli elementi in muratura (pareti) e di eventuali nicchie, cavità, canne fumarie (al netto di intonaci o altre sovrastrutture)
- identificazione degli orizzontamenti (volte, con profili e spessori; solai con tipologia, orditura) 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

Circolare 2/2/09, appendice C8A.1.A.1

## Geometria

### Rilievo della morfologia



Immagini fornite da Bruno Calderoni

## Geometria

### Rilievo della morfologia



Immagini fornite da Bruno Calderoni

## Geometria

### Rilievo dello stato di fatto

Il rilievo dello stato di fatto (quadro fessurativo e quadro deformativo) consente:

- l'individuazione delle origini e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio
- l'individuazione dei meccanismi che si sono attivati (o che erano in procinto di attivarsi) nell'edificio a causa di un evento sismico

## Geometria

### Quadro fessurativo

Rilievo del quadro fessurativo:

- Identificazione e rappresentazione delle lesioni presenti su qualsiasi elemento strutturale (pareti murarie, orizzontamenti, piattabande)
- Classificazione delle lesioni per tipologie (distacco, scorrimento, rotazione)
- Individuazione dell'ampiezza e direzione del movimento

Distinguere tra:

- Dissesti (fisiologici o patologici) legati alla tipologia e dovuti ai carichi gravitazionali
- Danni subiti dall'edificio per effetto di precedenti eventi sismici

## Geometria

### Quadro deformativo

Rilievo del quadro deformativo:

- Individuazione e rappresentazione degli evidenti stati di deformazione degli elementi della costruzione
  - fuori piombo
  - rigonfiamenti delle pareti
  - depressioni delle volte
  - avvallamenti dei solai
- Misurazione della entità degli spostamenti



## Conoscenza dell'edificio

- Dettagli costruttivi
  - Tipologia della muratura
  - Qualità dei collegamenti
  - Esistenza ed efficienza di specifici elementi strutturali
  - Presenza di elementi vulnerabili

## Dettagli costruttivi

### Tipologia della muratura

- 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 della tipologia consente l'assegnazione di una delle categorie di muratura previste dalla circolare
- Tra i parametri importanti si citano:
  - 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)

## Dettagli costruttivi

### Tipologia della muratura

- Esistono varie metodologie proposte per l'identificazione della tipologia di muratura
- Ad esempio, la "Scheda murature GNDT" di Binda, Mannoni (2000) 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

## Scheda murature GNDT

Elementi costitutivi della muratura	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 ammorati tramite l'inserimento di diafani). 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.

## Scheda murature GNDT

<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 (cuci e scuci in mattoni e in pietra, stitatura dei giunti, iniezioni di malta o l'intonaco armato), la seconda è relativa a quegli interventi che possono essere stati effettuati con l'intento di migliorare i collegamenti (inserimento di catene, cuciture armate, cordoli in muratura o in c.a., presenza di orizzontamenti rigidi).

## Scheda murature GNDT

ELEMENTI COSTITUTIVI			
Materiale:	<input type="checkbox"/> arenaria	<input type="checkbox"/> calcare	<input type="checkbox"/> tufo
	<input type="checkbox"/> mattoni cotti	<input type="checkbox"/> mattoni crudi	<input type="checkbox"/> vario di reimpiego
Lavorazione:	<input type="checkbox"/> assente (ciottoli)	<input type="checkbox"/> sbazzatura	<input type="checkbox"/> a spigoli finiti
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
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"/> stitatura

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 murature GNDT

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:	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> in mattoni	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> in pietra	<input type="checkbox"/> in cotto

## Scheda murature GNDT

SEZIONE TRASVERSALE			
Tipologia:	<input type="checkbox"/> paramento unico	<input type="checkbox"/> due paramenti accostati	<input type="checkbox"/> due paramenti ammortati
	<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"/> a sacco	
Spessori:	totale: _____	paramento esterno: _____	paramento interno: _____
Presenza significativa di vuoti:	<input type="checkbox"/>	Presenza di diafani: (collegamenti puntuali tra il paramento interno e quello esterno) <input type="checkbox"/>	
INTONACO			
Stato attuale:	<input type="checkbox"/> mur. faccia a vista	<input type="checkbox"/> mancante	<input type="checkbox"/> in parte mancante
Stato di conservazione e consistenza:	<input type="checkbox"/> degradato	<input type="checkbox"/> fessurato	<input type="checkbox"/> buono

## Scheda murature GNDT

COLLEGAMENTI TRA LE PARETI MURARIE			
ANGOLATE			
Tipologia:	<input type="checkbox"/> ammortamento 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
MARTELLI			
Tipologia:	<input type="checkbox"/> assenza di collegamento	<input type="checkbox"/> ammortamento 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			
ALLA MURATURA			
<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	
AI COLLEGAMENTI			
<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

## Scheda murature GNDT

Cod.	ELEMENTI CARATTERISTICI	DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI CARATTERISTICI POSSIBILI							
1	2	3	4	5	6	7	8		
1.1	Materiali	arenaria	calcare	tufo	calcarenite	Mattoni cotti	Mattoni crudi	Vario di riempimento	
1.2	Lavorazione	Assente	scozzatura	A spigoli finiti	A conci squadrati				
1.3	Dimensioni (diagonali)	Piccole (< 15 cm)	Medie (15-25 cm)	Grandi (> 25 cm)					
1.4	Stato di conservazione	Presenza	Discreto buono						
2	MALTA								
2.1	Tipo	Calce aerea	Calce idraulica	Cementizia					
2.2	Stato conservazione e consistenza	incoerente	trale	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	Tipologia	Paramento unico	Due paramenti accostati	Due paramenti ammortati	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	Presenza	Assenza						
4.4	Presenza di diafani	Presenza	Assenza						

## Scheda murature GNDT

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	Ammortamento scadente	Collegamenti irregolari	Alternanza regolare					
6.2	Angolate	Analoghi alla muratura	Di dimensione maggiore	A conci squadrati					
6.3	Elementi costitutivi	Assenza di collegamento	Ammortamento scadente	Collegamenti efficaci					
6.4	Tipologia	Assente	Non assente						
6.5	Differente tipologia muri di spina	Mattoni	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	Cordoli in c.a.	Orizzontamenti rigidi
7.2	Al collegamenti	nessuno	Tamponature aperture	Collegamento travi	catene	Cuciture armate			

## Tipologia della muratura

La Circolare elenca sei tipologie di murature (con riferimento agli edifici esistenti)

- Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)
- Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno
- Muratura in pietre a spacco con buona tessitura
- Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
- Muratura a blocchi lapidei squadrati
- Muratura in mattoni pieni e malta di calce

## Tipologia della muratura

correlazioni tra elementi caratteristici della scheda muratura e tipologie di muratura

- Regione Molise - Dec.CD35/2005

	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4
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	1	1	1
A2		1,2	1	1,2	2	2	1,2	2	1	1	1
B1	Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	1,2	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
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 nicorsi in pietra squadrata o mattoni pieni	1,2	2	2	2,3	2	3	2,3	2,3	3,4	2,3
C1		2	3	2,3	1,2	1	1	1	2	3	1
C2	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2	3	2,3	2	2	2	3	3	2,3	2,3
C3		2	3	2,3	3	2,3	3	2,3	3	4	2,3
C4		2	3	4	4	2	3	3	3	4	1
D1	Muratura a conci di pietra tenera (tufa, calcarenile, ecc.)	3,4	1	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
E1	Muratura a blocchi lapidei squadriti	2	4	3	2	2	2	3	4	1	1
E2		2	4	3	3	2	3	3	3	4	1
F1	Muratura in mattoni pieni e malta di calce	5,6	4	2	2	1,2	2,3	1	3	4	2
F2		5,6	4	2	3	2	3	1	3	4	2

## Tipologia della muratura

correlazioni tra elementi caratteristici della scheda muratura e tipologie di muratura

- Regione Molise - Dec.CD35/2005 (segue)

	4.1	4.2	4.3	4.4	5.1	5.2	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	7.1	7.2
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
A2		4	V	1	1	3	3	2,3	1,2	2	1,2	1	4
B1	Muratura a conci sbazzati, 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
B2		3,4	1,2	2	1	V	V	2,3	2,3	2,3	2,3	2	3,4
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 nicorsi in pietra squadrata o mattoni pieni	3,4	3,4	2	2	V	V	2,3	2,3	2,3	2,3	2	3,4
C1		2,4	3,4	1	2	1,2	1,2	1	1	1	2	1	1
C2	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	3	3,4	2	2	3,4	2,3	2	2	2	1,2	2	4
C3		3,5	3,4	2	1	3,4	3	3	2,3	3	1,2	2	3,4
C4		1	3,4	2	1	1,4	3	3	3	2	1	4	3,4
D1	Muratura a conci di pietra tenera (tufa, calcarenile, ecc.)	4	V	1	2	1,2,3	1	1	1,2	1	2	1	1
D2		4	V	1	1	3	3	2,3	1,2	2	2	4	3,4
E1	Muratura a blocchi lapidei squadriti	1,3	3,4	2	1	1,4	1,2	2	2	3	1,2	2	1
E2		3	3,4	2	2	1,4	3	3	3	3	2	1	4
F1	Muratura in mattoni pieni e malta di calce	3	2,3	2	1	V	V	3	1	1	1,2	1	1
F2		4	3	2,3	2	1	V	V	3	1	2,3	1,2	2

## Qualità della muratura

Indipendentemente dalla tipologia, si possono distinguere murature di due qualità:

- Muratura di tipo I
  - 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)

## Qualità della muratura

Indipendentemente dalla tipologia, si possono distinguere murature di due qualità:

- Muratura di tipo II
  - 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)

## Qualità della muratura

Indipendentemente dalla tipologia, si possono distinguere murature di due qualità:

- Muratura di tipo I
  - sensibile rischio di crolli rovinosi per terremoti di medio-bassa intensità
- Muratura di tipo II
  - basso rischio di crolli per terremoti di media intensità
  - danneggiamenti progressivi nel piano, con lesioni diagonali e dislocamento finale di porzioni di muratura (accettabile duttilità di comportamento) per terremoti di elevata intensità

### MURATURA DI TIPO I di CATTIVA QUALITÀ

Manca 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

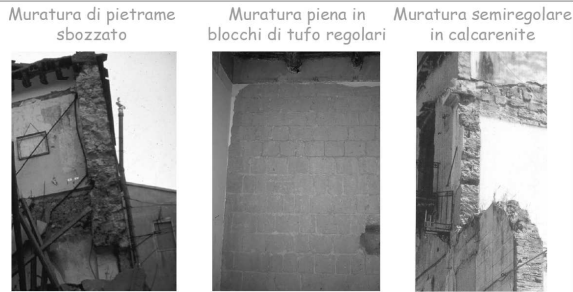
Instabilità dei due paramenti scollegati



Immagini fornite da Bruno Calderoni

### 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



Immagini fornite da Bruno Calderoni

### Qualità dei collegamenti

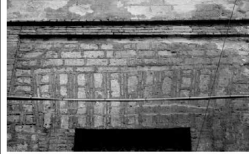
- La conoscenza della qualità dei collegamenti è essenziale per definire il comportamento dell'edificio soggetto all'azione sismica (meccanismi di collasso)
- Verificare:
  - collegamento tra le pareti verticali (integrità ed efficienza delle croci di muri, in particolare tra le pareti di facciata e quelle di spina; esistenza di catene in acciaio)
  - collegamento tra orizzontamenti e pareti verticali (presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento, come catene o inchiodature delle travi dei solai)
  - armatura di cordoli in c.a. e connessione con solai e murature

### Esistenza ed efficienza di specifici elementi strutturali

- Esistenza ed efficienza di specifici elementi strutturali influenzano la capacità dell'edificio di sopportare l'azione sismica
- Verificare:
  - esistenza di architravi o piattabande strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture (in acciaio o in c.a., ben ammassate agli estremi nella muratura laterale)
  - esistenza di 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., altri interventi di rinforzo già attuati)
  - valutare se l'efficienza degli elementi metallici è limitata da corrosione, perdita di tensione e di ancoraggio

### Architrave e piattabande (fasce di piano)

Architrave senza piattabanda ad arco con intradosso piano



Architrave con piattabanda in legno poco ammassata



Piattabanda in cemento armato abbastanza ammassata



Architrave con piattabanda in acciaio poco ammassata



Immagini fornite da Bruno Calderoni

### 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



Immagini fornite da Bruno Calderoni

### Conoscenza dell'edificio

- Proprietà dei materiali

#### Valutare:

- forma, tipologia e dimensioni degli elementi
- tessitura, orizzontalità delle giaciture, sfalsamento dei giunti, presenza di collegamenti trasversali (diatoni)
- qualità e la consistenza della malta

#### Effettuare prove sperimentali per determinare:

- caratteristiche fisiche e meccaniche delle pietre e/o mattoni e della malta

### Proprietà dei materiali parametri per la muratura

- Sulla base dei risultati delle indagini:
  - classificare la muratura
  - assumere i valori per le sue proprietà meccaniche
- Le proprietà meccaniche possono essere assegnate
  - a partire dai valori sperimentali
  - utilizzando valori "tipici" relativi al tipo di muratura individuato

### Proprietà dei materiali parametri per la muratura

#### Valori "tipici" relativi ai diversi tipi di muratura

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$f_{cm0}$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$E$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$G$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$W$ (kN/m <sup>3</sup> )
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.00 1.80	0.020 0.032	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	2.00 3.00	0.035 0.051	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2.60 3.80	0.056 0.074	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.40 2.40	0.028 0.042	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	6.00 8.00	0.090 0.120	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	2.40 4.00	0.060 0.092	1200 1800	400 600	18

### Proprietà dei materiali parametri per la muratura

I valori indicati nella tabella si riferiscono a:

- Murature con malta scadente
- Giunti non particolarmente sottili
- Assenza di ricorsi o listature che regolarizzano la tessitura e l'orizzontalità dei corsi
- Paramenti privi di elementi di connessione trasversale

Se le caratteristiche sono migliori (o peggiori) i parametri si moltiplicano per coefficienti correttivi

### Proprietà dei materiali parametri per la muratura

#### Coefficienti correttivi per la resistenza

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 sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	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	1.5
Muratura a blocchi lapidei squadriati	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

### Proprietà dei materiali parametri per la muratura

#### Coefficienti correttivi per il modulo elastico

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	---	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.9	2	2.5
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	1.4	1.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.8	1.7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1.3	---	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.8	1.5	1.5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.5	1.5		<input type="checkbox"/>	0.9	1.7	1.5
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1.2	1.2		<input type="checkbox"/>	0.7	1.2	1.2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1.5	1.5		<input type="checkbox"/>	0.7	1.5	1.5

### Proprietà dei materiali valori di riferimento dei parametri per la muratura

I valori da usare come riferimento per i parametri dipendono dal livello di conoscenza raggiunto

- Conoscenza limitata LC1
- Conoscenza adeguata LC2
- Conoscenza accurata LC3

### Conoscenza limitata - LC1

- Geometria: rilievo strutturale completo
- Dettagli costruttivi: verifiche in situ limitate
  - rilievi di tipo visivo, effettuati ricorrendo a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura
  - valutazione a campione della qualità delle caratteristiche della muratura e del tipo e grado di ammassamento tra muri ortogonali e tra solai e pareti

### Conoscenza limitata - LC1

- Geometria: rilievo strutturale completo
- Dettagli costruttivi: verifiche in situ limitate
- Proprietà dei materiali: verifiche in situ limitate
  - esame visivo della superficie muraria (1m x 1m) dopo la rimozione dell'intonaco (preferibilmente negli angoli), per individuare forma e dimensione dei blocchi
  - saggi localizzati nello spessore murario, per valutare qualità della connessione interna e trasversale e compattezza della malta

### Conoscenza limitata - LC1

- Valori da usare nel calcolo: resistenza
  - il valore minimo indicato in tabella, modificato con gli opportuni coefficienti correttivi
- Valori da usare nel calcolo: modulo elastico
  - il valore medio indicato in tabella, modificato con gli opportuni coefficienti correttivi

### Conoscenza limitata - LC1 esempio

- Muratura a conci sbozzati, con connessioni trasversali tra i paramenti

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$f_{m0}$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$E$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$G$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$W$ (kN/m <sup>2</sup> )
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.00 1.80	0.020 0.032	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di limitato spessore e nucleo interno	2.00 3.00	0.035 0.051	1020 1340	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2.60 3.80	0.056 0.074	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.40 2.40	0.028 0.042	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	6.00 8.00	0.090 0.120	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	2.40 4.00	0.060 0.092	1200 1800	400 600	18

Valori da usare      2.00   0.035   1230   410   20

### Conoscenza limitata - LC1 esempio

- Muratura a conci sbozzati, con connessioni trasversali tra i paramenti

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili <10 mm	Ricorsi o listature	Connessioni trasversali	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 paramenti di limitato spessore e nucleo interno	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	1.5
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1.2	1.2	---	1.2	0.7	1.2	1.2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1.5	1.5	---	1.5	0.7	1.5	1.5

Coefficiente correttivo      1.5 (solo per resistenza)

### Conoscenza limitata - LC1 esempio

- Muratura a conci sbozzati, con connessioni trasversali tra i paramenti

Si usa quindi:

$$f_m = 2.00 \times 1.5 = 3.00 \text{ MPa}$$

$$f_{m0} = 0.035 \times 1.5 = 0.052 \text{ MPa}$$

$$E = 1230 \text{ MPa}$$

$$G = 410 \text{ MPa}$$

## Conoscenza adeguata - LC2

- Geometria: rilievo strutturale completo
- Dettagli costruttivi: verifiche in situ estese o esaustive
  - rilievi di tipo visivo, effettuati ricorrendo a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura
  - valutazione sistematica delle caratteristiche della muratura e del grado di ammassamento tra muri ortogonali e tra solai e pareti

## Conoscenza adeguata - LC2

- Geometria: rilievo strutturale completo
  - Dettagli costruttivi: verifiche in situ estese o esaustive
  - Proprietà dei materiali: verifiche in situ estese
    - saggi estesi e sistematici per valutare forma e dimensione dei blocchi, qualità della connessione interna e trasversale, compattezza della malta
    - una prova con martinetto piatto doppio
    - prove per caratterizzare malta e pietre
    - prove non distruttive a completamento delle indagini
- È possibile far riferimento a prove effettuate su altri edifici se c'è chiara corrispondenza di tipologia

## Conoscenza adeguata - LC2

- Valori da usare nel calcolo: resistenza
  - il valore medio indicato in tabella, modificato con gli opportuni coefficienti correttivi
- Valori da usare nel calcolo: modulo elastico
  - il valore medio indicato in tabella, modificato con gli opportuni coefficienti correttivi

## Conoscenza adeguata - LC2 esempio

- Muratura a conci sbozzati, con connessioni trasversali tra i paramenti

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$f_{m0}$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$E$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$G$ (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	$W$ (kN/m <sup>3</sup> )
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.00 1.80	0.020 0.032	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di limitato spessore e nucleo interno	2.00 3.00	0.035 0.051	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2.60 3.80	0.056 0.074	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.40 2.40	0.028 0.042	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	6.00 8.00	0.090 0.120	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	2.40 4.00	0.060 0.092	1200 1800	400 600	18

Valori da usare      2.50   0.043   1230   410   20

## Conoscenza adeguata - LC2 esempio

- Muratura a conci sbozzati, con connessioni trasversali tra i paramenti

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili <10 mm	Ricorsi o liscature	Connessioni trasversali	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 paramenti di limitato spessore e nucleo interno	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	1.5
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1.2	1.2	---	1.2	0.7	1.2	1.2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1.5	1.5	---	1.5	0.7	1.5	1.5

Coefficiente correttivo      1.5 (solo per resistenza)

## Conoscenza adeguata - LC2 esempio

- Muratura a conci sbozzati, con connessioni trasversali tra i paramenti

Si usa quindi:

$$f_m = 2.50 \times 1.5 = 3.75 \text{ MPa}$$

$$f_{m0} = 0.043 \times 1.5 = 0.064 \text{ MPa}$$

$$E = 1230 \text{ MPa}$$

$$G = 410 \text{ MPa}$$

### Conoscenza accurata - LC3

- Geometria: rilievo strutturale completo
- Dettagli costruttivi: verifiche in situ estese o esaustive
  - rilievi di tipo visivo, effettuati ricorrendo a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura
  - valutazione sistematica delle caratteristiche della muratura e del grado di ammassamento tra muri ortogonali e tra solai e pareti

### Conoscenza accurata - LC3

- Geometria: rilievo strutturale completo
- Dettagli costruttivi: verifiche in situ estese o esaustive
- Proprietà dei materiali: verifiche in situ esaustive
  - saggi estesi e sistematici per valutare forma e dimensione dei blocchi, connessioni, ecc.
  - una serie di prove distruttive, in situ (martinetto piatto doppio) o in laboratorio (compressione diagonale)
  - prove per caratterizzare malta e pietre
  - prove non distruttive a completamento delle indagini

È possibile far riferimento a prove effettuate su altri edifici se c'è chiara corrispondenza di tipologia

### Conoscenza accurata - LC3

- Valori da usare nel calcolo: resistenza
  - il valore medio o massimo indicato in tabella, modificato con gli opportuni coefficienti correttivi, o il valore medio sperimentale, in funzione del numero di prove
  - 3 prove: usare il valore medio sperimentale  $v_{sp}$
  - 2 prove:
 

se $v_{sp} < v_{min}$ della tabella	usare $v_{sp}$
se $v_{min} < v_{sp} < v_{max}$	usare $v_{med}$
se $v_{sp} > v_{max}$	usare $v_{max}$
  - 1 prova:
 

se $v_{sp} < v_{min}$ della tabella	usare $v_{sp}$
se $v_{sp} \geq v_{min}$	usare $v_{med}$

### Conoscenza accurata - LC3

- Valori da usare nel calcolo: resistenza
  - il valore medio o massimo indicato in tabella, modificato con gli opportuni coefficienti correttivi, o il valore medio sperimentale, in funzione del numero di prove
- Valori da usare nel calcolo: modulo elastico
  - il valore medio indicato in tabella, modificato con gli opportuni coefficienti correttivi, o il valore medio sperimentale

### Proprietà dei materiali

valori di calcolo dei parametri per la muratura

I valori da usare nel calcolo sono derivati dai valori di riferimento modificati in funzione di

- Costruzione (nuova o esistente)
- Tipo di analisi
- Incertezze legate al livello di conoscenza

### Proprietà dei materiali

valori di calcolo dei parametri per la muratura

Per edifici di nuova costruzione:

- Il valore di calcolo si ottiene dividendo il valore di riferimento (valore caratteristico) per un coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_M$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M}$$

- Si usa:
  - per soli carichi verticali  $\gamma_M = 3$
  - in condizioni sismiche  $\gamma_M = 2$



### Proprietà dei materiali

valori di calcolo dei parametri per la muratura

Per edifici esistenti:

- Il valore di calcolo si ottiene dividendo il valore di riferimento (innanzi definito) per un coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_M$  e per un fattore di confidenza  $FC$  (che tiene conto del livello di conoscenza)

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_M FC} \quad f_{vd} = \frac{f_{vm}}{\gamma_M FC}$$

### Proprietà dei materiali

valori di calcolo dei parametri per la muratura

Per edifici esistenti:

- Il valore di calcolo si ottiene dividendo il valore di riferimento (innanzi definito) per  $\gamma_M$  e  $FC$

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_M FC} \quad f_{vd} = \frac{f_{vm}}{\gamma_M FC}$$

- Coefficiente parziale di sicurezza:
  - per soli carichi verticali  
non è indicato; si suggerisce  $\gamma_M = 3$  (o comunque  $\geq 2$ )
  - in condizioni sismiche  
per analisi lineari  $\gamma_M = 2$
  - in condizioni sismiche  
per analisi non lineari  $\gamma_M = 1$

### Proprietà dei materiali

valori di calcolo dei parametri per la muratura

Per edifici esistenti:

- Il valore di calcolo si ottiene dividendo il valore di riferimento (innanzi definito) per  $\gamma_M$  e  $FC$

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_M FC} \quad f_{vd} = \frac{f_{vm}}{\gamma_M FC}$$

- Fattore di confidenza:
  - Conoscenza limitata - LC1  $FC = 1.35$
  - Conoscenza adeguata - LC2  $FC = 1.20$
  - Conoscenza accurata - LC3  $FC = 1.00$

### Proprietà dei materiali

valori di calcolo dei parametri per la muratura

Esempio:

- Muratura a conci sbozzati, con connessioni trasversali tra i paramenti
- Conoscenza limitata - LC1
- Analisi non lineari

$$f_m = 3.00 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_M FC} = \frac{3.00}{1 \times 1.35} = 2.22 \text{ MPa}$$

### Proprietà dei materiali

valori di calcolo dei parametri per la muratura

Esempio:

- Muratura a conci sbozzati, con connessioni trasversali tra i paramenti
- Conoscenza adeguata - LC2
- Analisi non lineari

$$f_m = 3.75 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_M FC} = \frac{3.75}{1 \times 1.20} = 3.12 \text{ MPa}$$