

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 Gheresi

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 ridurre 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 un livello di perdita 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

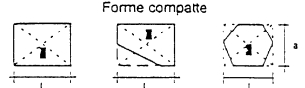
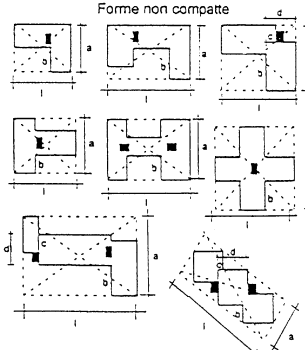
L'acquisizione guidata dei dati necessari alla valutazione viene effettuata mediante apposite schede

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 2° livello

N	PARAMETRO	VALORI	CODIFICHE
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE	<input type="checkbox"/>	<p>La valutazione va riferita alla direzione più debole.</p> <p>1 Pareti in c.a. in entrambi le direzione 2 Pilastri e travi alte 3 Pilastri e travi in spessore di solaio 4 Altro _____ 5 Non so</p>
2	DISTRIBUZIONE DELLE TAMPONATURE	<input type="checkbox"/>	<p>Considerare solo le tamponature esterne e i campi di tamponatura pieni per più del 70% a contatto con la maglia strutturale (travi e pilastri).</p> <p>A Su 4 lati esterni B Su 3 lati esterni C Su 2 lati esterni D Su 1 lato esterno</p>
3	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	<p>Forma <input type="checkbox"/></p>	<p>IL nucleo scale e ascensore sono da considerarsi resistenti quando sono realizzati o in pareti di c.a. o a struttura intelaiata con tamponatura consistente (Blocchi cls o tufo, mattoni pieni o forati doppio UNI)</p> <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>1 Forma compatta con nucleo scala ascensore resistente centrale</p> <p>2 Forma compatta con nucleo scala ascensore resistente eccentrico</p> <p>3 Forma non compatta con nucleo scala ascensore resistente centrale</p> <p>4 Forma non compatta con nucleo scala ascensore resistente eccentrico</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>Forme compatte</p>  <p>Forme non compatte</p>  </div> </div>
4	IRREGOLARITA IN ELEVAZIONE	<p>Piano debole <input type="checkbox"/></p> <p>Pilastri tozzi <input type="checkbox"/></p>	<p>Per piano debole si intende un piano che ha una rigidezza ridotta rispetto agli altri come il caso di piano pilotis o piani con grandi aperture o privi di tamponature o poste in aggetto o arretrate rispetto alla maglia strutturale</p> <p>A Assente B Diverso dal piano terra con nucleo scala-ascensore resistente C Al piano terra con nucleo scala-ascensore resistente D Diverso dal piano terra senza nucleo scala-ascensore resistente E Al piano terra senza nucleo scala-ascensore resistente</p> <p>1 Assenti 2 Per travi a ginocchio o piani sfalsati 3 Per finestre a nastro 4 Altro _____</p>

Codice ISTAT Provincia <input type="text"/>		Codice ISTAT Comune <input type="text"/>		Scheda No. <input type="text"/>
PARAMETRI	Class.	Qual. inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Norm. nuove costruz. (cl. A) <input type="checkbox"/></p> <p>Norm. riparazioni (cl. B) <input type="checkbox"/></p> <p>Cord. e cat. tutti livelli (cl. C) <input type="checkbox"/></p> <p>Buoni amm. fra mur. (cl. D) <input type="checkbox"/></p> <p>Senza cord. cattivi amm. (cl. E) <input type="checkbox"/></p>
2	QUALITA DEL S.R.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>(vedi manuale)</p>
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Numero di piani N <input type="checkbox"/></p> <p>Area tot. cop. A_t (mq) <input type="checkbox"/></p> <p>Area A₁ (mq) <input type="checkbox"/></p> <p>Area A₂ (mq) <input type="checkbox"/></p> <p>r_s (l/mq) <input type="checkbox"/></p> <p>Alt. media interp. h (m) <input type="checkbox"/></p> <p>Peso spec. par. p_m (t/mc) <input type="checkbox"/></p> <p>Carico perm. sol. p_s (t/mq) <input type="checkbox"/></p>
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Pend. perc. terr. <input type="checkbox"/></p> <p>Roccia fond. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/></p> <p>Terr. sc. non sp. fond. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/></p> <p>Terr. sc. sp. fond. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/></p> <p>Diff. max di quota Δh (m) <input type="checkbox"/></p>
5	ORIZZONTAMENTI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Piani sfalsati si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/></p> <p>Orizz. rig. e ben coll. <input type="checkbox"/></p> <p>Orizz. def. e ben coll. <input type="checkbox"/></p> <p>Orizz. rig. e mal coll. <input type="checkbox"/></p> <p>Orizz. def. e mal coll. <input type="checkbox"/></p> <p>% or. rig. ben coll. <input type="checkbox"/></p>
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Rapp. perc. β₁ = a/l <input type="checkbox"/></p> <p>Rapp. perc. β₂ = b/l <input type="checkbox"/></p>
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>% aumento (+) riduz. (-) di massa <input type="checkbox"/></p> <p>Rapp. perc. T/H <input type="checkbox"/></p> <p>Perc. in sup. port. <input type="checkbox"/></p> <p>Piano terra port. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/></p>
M8	D _{max} MURATURE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Rapp. massimo l/s <input type="checkbox"/></p>
M9	COPERTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Cop. non sp. <input type="checkbox"/> poco sp. <input type="checkbox"/> sp. <input type="checkbox"/></p> <p>Cord. in copert. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/></p> <p>Cat. in copert. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/></p> <p>Car. perm. cop. p_c (t/mq) <input type="checkbox"/></p> <p>Lungh. app. cop. l_a (m) <input type="checkbox"/></p> <p>Perim. cop. l (m) <input type="checkbox"/></p>
10	EL. NON STRUTT.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(vedi manuale)
11	STATO DI FATTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(vedi manuale)

SCHEMI - RICHIAMI (MURATURA)

Parametro 3. Resistenza convenzionale.

Tipologia struttura verticale r_s (t/mq)

Minimo fra A_x e A_y A (mq) _____

Massimo fra A_x e A_y B (mq) _____

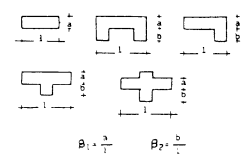
Coeff. a₀ = A/A_t _____ Coeff. γ = B/A _____

q = (A_x + A_y) h. p_m/A_t + p_s _____

$$C = \frac{a_0 \cdot r_s}{q \cdot N} \sqrt{1 + 1.5 \cdot \frac{q \cdot N}{a_0 \cdot r_s \cdot (1 + \gamma)}}$$

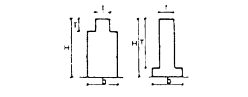
rr = C/0.4 _____

Parametro 6. Configurazione planimetrica.

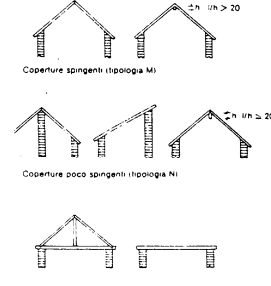


B₁ = $\frac{a}{l}$ B₂ = $\frac{b}{l}$

Parametro 7. Configurazione in elevazione.



Parametro M9. Copertura.



Coperture spingenti (tipologia M)

Coperture poco spingenti (tipologia N)

Coperture non spingenti (tipologia O)

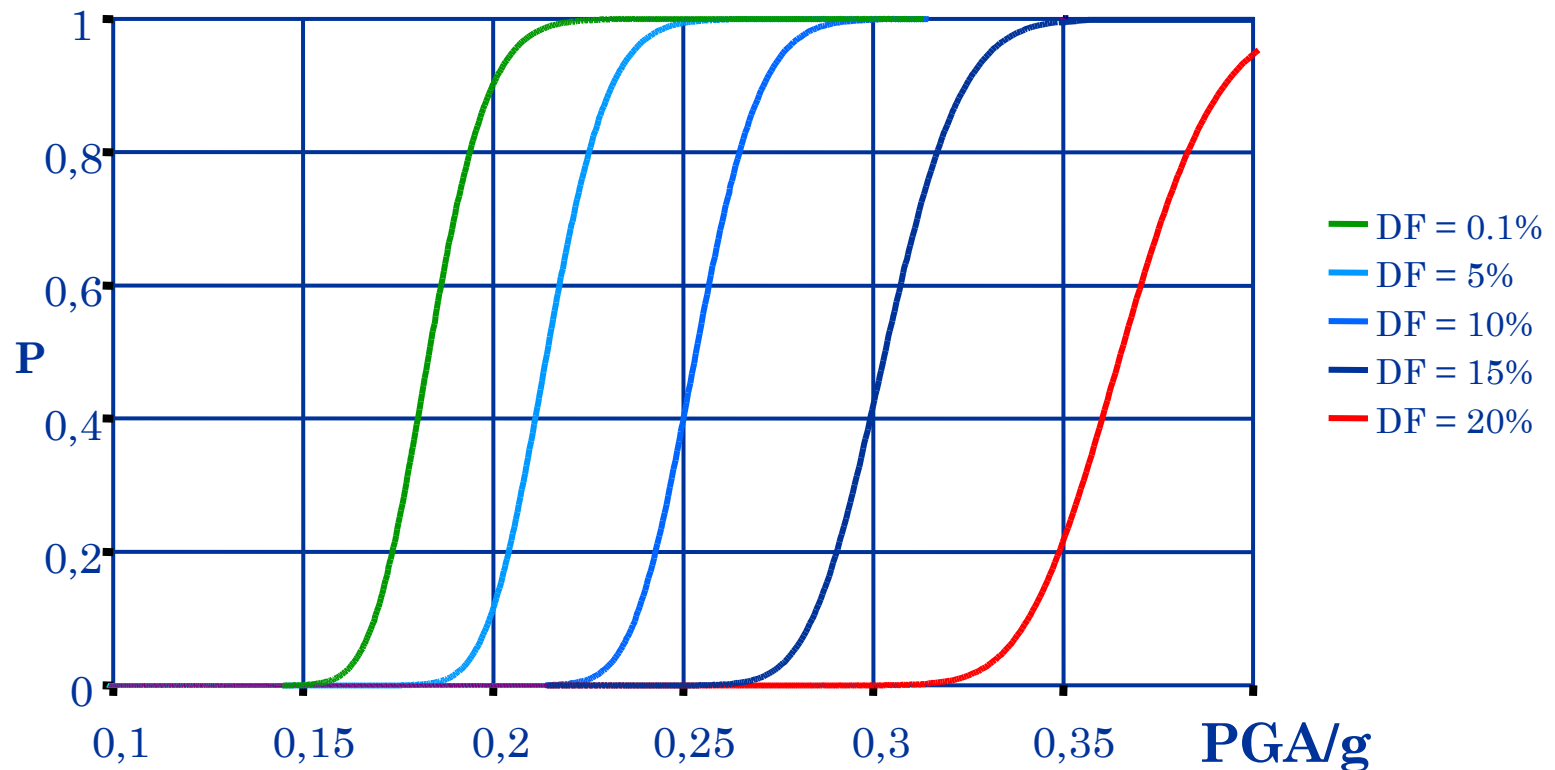
Matrice di probabilità di danno

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

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

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

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

Valutazione della sicurezza

Occorre fare riferimento solo allo stato limite ultimo

- SLV oppure SLC

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

Stato Limite di Operatività - SLO

NTC 08, punto 8.3

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

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

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

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

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

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

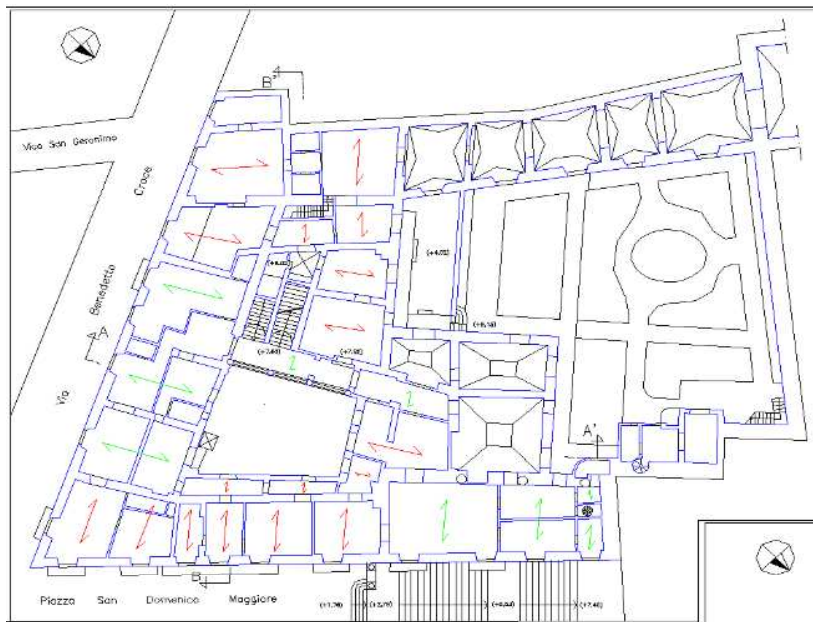
Rilievo della morfologia

- 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

Geometria

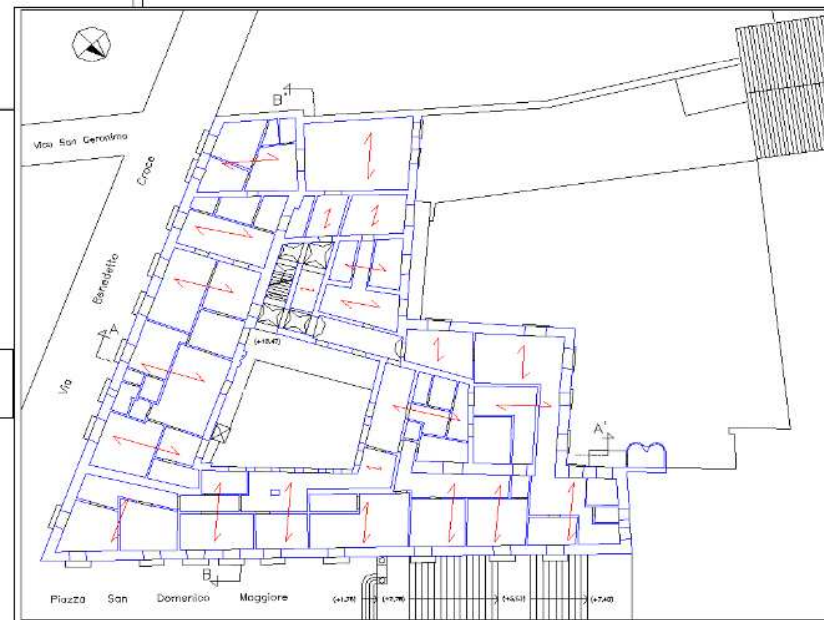
Rilievo della morfologia

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



Pianta 1° piano

Pianta 3° piano



Immagini fornite da Bruno Calderoni

Geometria

Rilievo della morfologia



...sezioni e prospetti

Sezione trasversale



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.
Malta	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.
Apparecchiatura – 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.
Sezione trasversale e spessore	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.

Scheda murature GNDT

Intonaco	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.
Collegamenti tra le pareti murarie	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.
Interventi consolidamento	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>).

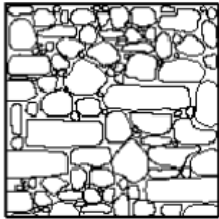
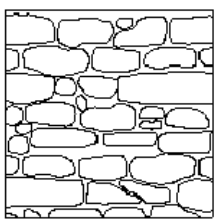
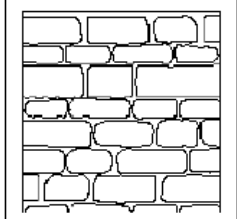
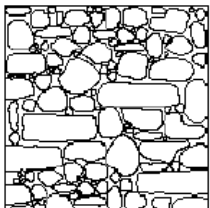
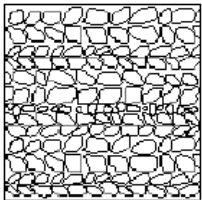
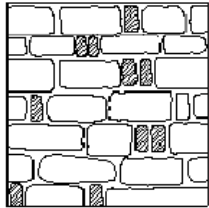

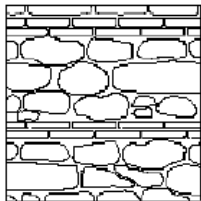

Scheda murature GNDT

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 squadriati
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


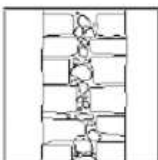
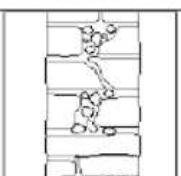
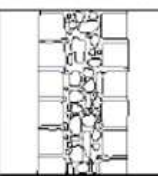
Calce aerea : Composta da leganti che induriscono unicamente all'aria come ad esempio l'argilla, il gesso , la calce aerea;

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


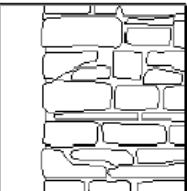
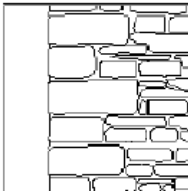
Scheda murature GNDT

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	Zeppe o scaglie:	<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 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	
Spessori:	totale: _____	paramento esterno: _____	paramento interno: _____
Presenza significativa di vuoti: <input type="checkbox"/>		Presenza di diatoni: (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 <input type="checkbox"/> presente
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"/> 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
MARTELLI			
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			
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	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 squadrate				
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						

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 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

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 sbozzati, 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 squadrate
- 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	1,2	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
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 squadrati	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

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	1
A2		4	V	1	1	3	3	2,3	1,2	2	1,2	1	4	3,4
B1	Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	2,4	1,2	1	2	1,2,3	1,3	1,2	1,2	1	1,2	1	1	1
B2		3,4	1,2	2	1	V	V	2,3	2,3	2,3	2,3	2	3,4	3,4,6
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	3,4	3,4,6
C1	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,4	3,4	1	2	1,2	1,2	1	1	1	2	1	1	1
C2		3	3,4	2	2	3,4	2,3	2	2	2	1,2	2	2	4
C3		3,5	3,4	2	1	3,4	3	3	2,3	3	1,2	2	3,4	3,4,6
C4		1	3,4	2	1	1,4		3	3	3	2	1	4	3,4,6
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
D2		4	V	1	1	3	3	2,3	1,2		2	2	4	3,4
E1	Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,3	3,4	2	1	1,4	1,2	2	2	3	1,2	2	1	1
E2		3	3,4	2	2	1,4	3	3	3	3	2	1	4	3,4,6
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

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

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



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

Muratura di pietrame
sbozzato



Muratura piena in
blocchi di tufo regolari



Muratura semiregolare
in calcarenite



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 ammorsate 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 ammorsata



Piattabanda in cemento armato abbastanza ammorsata



Architrave con piattabanda in acciaio poco ammorsata



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



Immagini fornite da Bruno Calderoni

Architrave senza piattabanda.
Catena nella fascia di piano



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 ²) min-max	f_{vm0} (N/mm ²) min-max	E (N/mm ²) min-max	G (N/mm ²) min-max	W (kN/m ³)
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 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 sbozzati, 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	---			0.9	2	2.5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	1.4	1.2			0.8	1.7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1.3	---			0.8	1.5	1.5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.5	1.5			0.9	1.7	1.5
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1.2	1.2			0.7	1.2	1.2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1.5	1.5			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 ²) min-max	f_{vm0} (N/mm ²) min-max	E (N/mm ²) min-max	G (N/mm ²) min-max	W (kN/m ³)
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 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 squadrati	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	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 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

Coefficiente correttivo

1.5 (solo per resistenza)

Conoscenza limitata - LC1

esempio

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

Si usa quindi:

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

$$f_{vm0} = 0.035 \times 1.5 = 0.052 \text{ MPa}$$

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

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

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 ammorsamento 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 ²) min-max	f_{vm0} (N/mm ²) min-max	E (N/mm ²) min-max	G (N/mm ²) min-max	W (kN/m ³)
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 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 squadrati	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 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 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 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

Coefficiente correttivo

1.5 (solo per resistenza)

Conoscenza adeguata - LC2 esempio

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

Si usa quindi:

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

$$f_{vm0} = 0.043 \times 1.5 = 0.064 \text{ MPa}$$

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

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

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 ammorsamento 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 γ_M

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

- 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 γ_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 γ_M e FC

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

- Coefficiente parziale di sicurezza:
 - per soli carichi verticali
non è indicato; si suggerisce $\gamma_M = 3$ (o comunque ≥ 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 γ_M e FC

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

- 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

$$\left. \begin{array}{l} \text{Muratura a conci sbozzati, con} \\ \text{connessioni trasversali tra i paramenti} \\ \text{Conoscenza limitata - LC1} \end{array} \right\} f_m = 3.00 \text{ MPa}$$

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

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

$$\left. \begin{array}{l} \text{Muratura a conci sbozzati, con} \\ \text{connessioni trasversali tra i paramenti} \\ \text{Conoscenza adeguata - LC2} \\ \text{Analisi non lineari} \end{array} \right\} f_m = 3.75 \text{ MPa}$$

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