

## **ACM: Livelli di conoscenza, fattori di confidenza, verifiche statiche e sismiche, documenti orientativi delle Regioni Toscana ed Emilia-Romagna.**

Nel software AEDES dedicato ad aperture e cerchiature in murature portanti, tipicamente utilizzato per gli interventi di riparazione locale su singole pareti in muratura, sono considerate verifiche sia statiche che sismiche.

Le principali verifiche statiche si riferiscono all'idoneità dell'architrave di un'eventuale cerchiatura e alla tensione dovuta al carico verticale statico alla base dei maschi murari costituenti la parete. Le verifiche sismiche si articolano in un confronto fra lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto, condotto in termini di rigidezza, resistenza (forza ultima), capacità di spostamento, energia di deformazione.

Il materiale costituente la parete viene qualificato in base al Livello di Conoscenza LC, a cui corrisponde il valore del fattore di confidenza FC, applicato nel calcolo delle resistenze di progetto (a compressione e a taglio). Nel caso di parete eterogenea, con maschi murari costituiti da materiali murari differenti, comunque si applica un unico valore di FC (seguendo la Normativa vigente, non è attualmente prevista la differenziazione di FC per i diversi maschi murari della parete nel caso in cui siano costituiti da materiali diversi).

Normalmente, le verifiche statiche e sismiche vengono condotte applicando FC; nelle verifiche statiche, il valore di riferimento della resistenza viene diviso anche per  $\gamma_M$ , mentre nelle verifiche sismiche, di tipo non lineare, si prescinde da  $\gamma_M$  (in ACM si confrontano rigidezze, resistenze e spostamenti valutati sulla curva di capacità, che descrive il comportamento strutturale non lineare della parete).

I livelli di conoscenza con cui il Professionista solitamente opera sono due: LC1 e LC2. Ad LC1 corrisponde normalmente FC=1.35; ad LC2: FC=1.20. Nel caso LC1 i parametri meccanici vengono assunti pari al 'valore medio' per i moduli di elasticità, e al 'valore minimo' per le resistenze; nel caso LC2 anche per le resistenze si assumono i valori medi ('medio' e 'minimo' si riferiscono all'intervallo dei valori possibili, come proposto dalla Circolare vigente; vd. §C8A.1.A.4, §C8A.2). Per la rigidezza, i moduli di elasticità si riferiscono quindi, in generale, ai valori medi sia per LC1 che per LC2. Le resistenze invece cambiano.

Ne consegue che, in generale, nelle verifiche sismiche di confronto, la rigidezza alla traslazione elastica iniziale non cambia tra LC1 e LC2; la capacità di spostamento, ove dipenda solo dal drift legato all'altezza di interpiano, non cambia in ogni caso; cambia invece la forza ultima (e conseguentemente l'energia di deformazione).

Quindi, l'applicazione di diversi valori per FC (1.20 o 1.35) condiziona il risultato della verifica.

Poiché le verifiche sismiche si basano su confronti, si potrebbe ipotizzare che nelle verifiche sia possibile prescindere da FC, dal momento che questo viene applicato prima (allo Stato Attuale) e dopo (allo Stato di Progetto). Ciò non è vero, perché le resistenze di progetto dipendono non solo dalle resistenze di riferimento a compressione e a taglio della muratura, ma anche dallo stato di sollecitazione del maschio. La via più corretta per condurre le verifiche statiche e sismiche è quindi quella di caratterizzare il materiale in modo del tutto rispondente alla Normativa vigente (NTC 2008 e Circolare), sia che si tratti di verifiche 'assolute' (verifiche statiche), sia di verifiche 'relative' (confronti, per le verifiche sismiche).

Alcuni riferimenti normativi Regionali hanno tuttavia dato l'indicazione di prescindere dal valore di FC e considerare per le resistenze di riferimento i valori medi, anche per LC1. Più in dettaglio, si riportano gli estratti dai documenti della Regione Toscana e della Regione Emilia-Romagna:

**Regione Toscana**, Comitato Tecnico Scientifico in materia di rischio sismico (istituito con Delibera Giunta Regionale n. 606 del 21/6/2010):

*"Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti"*

(...)

1.1.

*(...) Il livello di conoscenza che occorre acquisire è, quindi, almeno LC1 (verifiche limitate e relative alla zona di intervento) così come descritto nel Cap. C8.A.1.A.2 e C8.A.1.A.3 della Circ.*

*In mancanza di specifiche prove sperimentali, i valori delle caratteristiche meccaniche della muratura potranno essere stimati in base alla tab. C8.A.2.1 o, in mancanza di altri riferimenti, facendo riferimento ad indicazioni contenute nella letteratura tecnica di comprovata validità.*

***Ai fini delle verifiche che devono essere condotte per questa tipologia di interventi si ritiene opportuno adottare i valori medi tra quelli proposti.***

***Non occorre dividere i valori suggeriti per il fattore di confidenza FC.***

*Come indicato al p.to 7.8.1.5.2 e C8A.2 si può fare riferimento alla rigidezza in condizioni fessurate e quindi considerare i valori medi di E e G ridotti (50%).*

*In ogni caso i valori della tab. C8.A.2.1 devono essere corretti in funzione delle caratteristiche della malta, dell'altezza dei giunti, della presenza di ricorsi o listature, di diatoni (elementi di collegamento trasversali). I coefficienti correttivi sono indicati nella Tab. C8A.2.2.*

(...)

**Regione Emilia-Romagna**, Comitato Tecnico Scientifico (art. 4, L.R. n. 19/2008 e D.G.R. n. 1430/2009). Riunione del 12 gennaio 2012, Seduta n. 11.

*"Parere in merito alla classificazione degli interventi di formazione e/o modifica di aperture in pareti murarie. (Rif. prot. int. n. 35)"*

(...)

*Il confronto, tra lo stato di fatto e quello di progetto della "singola parte", deve prendere in considerazione anche il comportamento in campo anelastico, comparando i diagrammi forza-spostamento in uno o più (ove appropriato) punti di controllo; la dimostrazione di cui al punto (i) sopra riportato potrà essere condotta confrontando la rigidezza elastica iniziale oppure una "rigidezza equivalente", ad esempio in termini di "energia di deformazione" (area sottesa alla curva forza-spostamento, con riferimento allo spostamento ultimo allo stato di fatto).*

***Ai fini dei citati confronti, è opportuno che le caratteristiche dei materiali esistenti siano assunte con riferimento ai loro valori più probabili (valori medi), senza l'applicazione dei fattori di confidenza FC (ferma restando la possibilità di impiegare valori ridotti delle rigidzze per tener conto dello stato di fessurazione nei materiali fragili). Gli appropriati valori di FC (in funzione del livello di conoscenza) dovranno comunque essere applicati in sede di valutazione del livello di sicurezza della costruzione o di sue parti ("apposita relazione" di cui al paragrafo 8.3 delle NTC-2008).***

(...)

(a) Il documento della Regione Toscana non sembra distinguere verifiche statiche da verifiche sismiche, e quindi si potrebbero adottare i valori medi delle resistenze di riferimento e  $FC=1.00$  in tutti i casi, sia di LC1 che di LC2.

(b) Nel testo della Regione Emilia-Romagna si distinguono invece chiaramente le verifiche di confronto (valori medi,  $FC=1.00$ ), dalle verifiche di valutazione del livello di sicurezza (le verifiche 'assolute' di tipo statico), dove si devono usare gli appropriati valori di FC.

In ACM, fino alla vers. 2017.03, è prevista un'unica impostazione del materiale murario per tutte le analisi, mentre in input è possibile modificare FC, che assume peraltro valori distinti fra Stato Attuale e Stato di Progetto. Gli Utenti di ACM potevano comportarsi nei seguenti modi:

(a) definire il materiale come LC2, in modo da considerare sempre i valori medi, oppure modificare i valori nei dati in input dei maschi; specificare  $FC=1.00$ ;

(b) costruire due modelli separati, coincidenti ma destinati alle diverse verifiche: uno per le statiche, con materiali come sono realmente (LC1 o LC2 e  $FC 1.20$  o  $1.35$  o altro valore in input), e uno per le sismiche, con materiale con valori medi e  $FC=1.00$ . Occorre una post-elaborazione personale sulla relazione di calcolo, componendo la relazione definitiva con parte di quella del primo modello e parte di quella del secondo.

A nostro avviso, questa situazione confonde i Progettisti: è tutto più semplice, e, soprattutto, pienamente aderente alla Normativa Nazionale vigente, fare sempre riferimento al materiale murario così com'è, col suo LC e il suo corrispondente FC, sia nelle analisi statiche che sismiche. Ma volendo (o: dovendo...) soddisfare le indicazioni Regionali sopra riportate, la definizione di due modelli in ACM risulta poco pratica, e quindi **in ACM 2017.04 sono state introdotte alcune modifiche per facilitare l'utilizzo del software.**

Nella Tabella Materiali ogni materiale ha ora i 'valori medi' di riferimento:

N°	Col.	Descrizione	tau.0 (N/mm²)	f <sub>m</sub> (N/mm²)	E (N/mm²)	G (N/mm²)	p.s. (N/mm²)	Valori medi: tau.0 (N/mm²)	f <sub>m</sub> (N/mm²)	E (N/mm²)	G (N/mm²)	Malta buona (Tab. C8A.2.2)	Giunti sottili	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scodente	Iniezioni di miscela	Intonaco armato	
2		S235 (Fe360)			210000	80769	78.50												
3		(NTC 08) 1-LC 1) Muratura in pietraeme disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	0.020	1.00	870	290	19.00	0.026	1.40	870	290	1.5					0.9	2.0	2.5
4		(NTC 08) 1-LC 2) Muratura in pietraeme disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	0.026	1.40	870	290	19.00	0.026	1.40	870	290	1.5					0.9	2.0	2.5
5		(NTC 08) 2-LC 1) Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	0.035	2.00	1230	410	20.00	0.043	2.50	1230	410	1.4					0.8	1.7	2.0
6		(NTC 08) 2-LC 2) Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	0.043	2.50	1230	410	20.00	0.043	2.50	1230	410	1.4					0.8	1.7	2.0
7		(NTC 08) 3-LC 1) Muratura in pietra e spacco con buona tessitura	0.056	2.60	1740	580	21.00	0.065	3.20	1740	580	1.3					0.8	1.5	1.5
8		(NTC 08) 3-LC 2) Muratura in pietra e spacco con buona tessitura	0.065	3.20	1740	580	21.00	0.065	3.20	1740	580	1.3					0.8	1.5	1.5
9		(NTC 08) 4-LC 1) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	0.028	1.40	1080	360	16.00	0.035	1.90	1080	360	1.5	1.5	1.0	1.5		0.9	1.7	2.0
10		(NTC 08) 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	0.035	1.90	1080	360	16.00	0.035	1.90	1080	360	1.5	1.5	1.0	1.5		0.9	1.7	2.0
11		(NTC 08) 5-LC 1) Muratura e blocchi lapidei quadrati	0.090	6.00	2800	860	22.00	0.105	7.00	2800	860	1.2	1.2	1.0	1.2		0.7	1.2	1.2

Nuove colonne dati dove sono indicati i valori medi per la tipologia di materiale.  
I valori medi coincidono ovviamente con i valori definiti per il materiale quando questo si riferisce al livello di conoscenza LC2

Nei dati Parete, nella scheda Calcolo (2), un nuovo riquadro (Muratura: Resistenze, Fattori di Confidenza), evidenziato in figura seguente, consente di scegliere fra due opzioni alternative:



Limitatamente alle verifiche sismiche è così possibile, per ogni maschio murario, considerare i 'valori medi' delle resistenze di riferimento indipendentemente dai valori corrispondenti al materiale murario scelto per i singoli maschi murari, ed evitare l'applicazione di FC definito in input (ossia: adottando FC=1.00).

Utilizzando queste nuove funzionalità è quindi possibile rispettare le indicazioni Regionali mantenendo un unico modello di calcolo.

A titolo di esempio, al fine anche di valutare gli effetti di queste opzioni, consideriamo un caso semplice di singola apertura in una parete in pietrame di scarsa qualità (classificato come il pietrame disordinato). Un'apertura, in posizione centrale, di 90 cm. viene allargata (110 cm. netti) e si inserisce un telaio di cerchiatura con HEA200.

I parametri meccanici di riferimento, secondo la Normativa vigente, sono i seguenti:

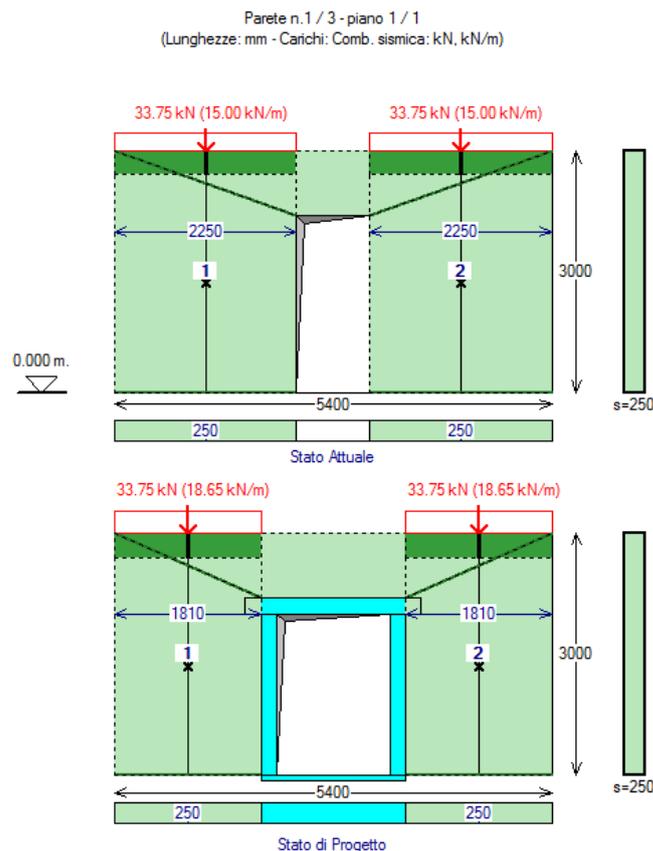
Resistenze: valori minimi (LC1):  $f_m=1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_0=0.02 \text{ N/mm}^2$ ,

medi (LC2):  $f_m=1.4 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_0=0.026 \text{ N/mm}^2$

Moduli elastici: valori medi (LC1 e LC2):  $E=870 \text{ N/mm}^2$ ,  $G=290 \text{ N/mm}^2$ .

La parete è rappresentata in figura seguente (file di riferimento, fornito a corredo di ACM:

Esempio\_Resistenze\_FC\_EmiaRomagna\_Toscana):



Nello stesso file, la parete è stata ripetuta due volte; in totale quindi vi sono 3 pareti distinte per le diverse ipotesi di calcolo:

N° 1: si applica il metodo secondo Normativa: materiale con LC1, FC=1.35, resistenze: valori minimi; (l'opzione su 'Resistenze, Fattori di confidenza' nei Criteri di calcolo (2) della parete è la prima:

si prevede cioè la normale applicazione dei valori in input per le resistenze e per FC, sia in analisi statica sia in analisi sismica).

N° 2: si applicano gli orientamenti della Regione Emilia Romagna: materiale con LC1, FC=1.35 e resistenze coi valori minimi; opzione di valori medi delle resistenza senza applicazione di FC per le verifiche sismiche, scelta nei Criteri di calcolo (2) della parete; l'analisi statica viene comunque condotta con FC=1.35 e valori minimi per le resistenze.

N° 3: si applicano gli orientamenti della Regione Toscana: per le analisi sia statica che sismica si considerano le resistenze medie e si prescinde dal fattore di confidenza (nel software si sceglie direttamente lo stesso materiale di pietrame, ma con LC2, e si pone FC=1.00; l'opzione su 'Resistenze, Fattori di confidenza' nei Criteri di calcolo (2) della parete diventa ininfluente).

In analisi statica si hanno i seguenti risultati:

N° 1 = N° 2: FC=1.35 e resistenze minime:  $f_d = f_m / FC / \gamma_M = 1.00 / 1.35 / 2.0 = 0.370 \text{ N/mm}^2$

#### STATO ATTUALE

n.	Comb. fondamentale (analisi statica)					Comb. sismica		
	N,somm	1.3*Pp	N,base	$\sigma$ ,base	fd	$\sigma$ ,somm	$\sigma$ ,mezz	$\sigma$ ,base
1)	46.58	43.90	90.48	0.161	0.370	0.066	0.093	0.120
2)	46.58	43.90	90.48	0.161	0.370	0.066	0.093	0.120

#### STATO DI PROGETTO

n.	Comb. fondamentale (analisi statica)					Comb. sismica		
	N,somm	1.3*Pp	N,base	$\sigma$ ,base	fd	$\sigma$ ,somm	$\sigma$ ,mezz	$\sigma$ ,base
1)	46.58	37.98	84.56	0.187	0.370	0.081	0.110	0.139
2)	46.58	37.98	84.56	0.187	0.370	0.081	0.110	0.139

N° 3: FC=1.00 e resistenze medie:  $f_d = f_m / \gamma_M = 1.40 / 2.0 = 0.700 \text{ N/mm}^2$

#### STATO ATTUALE

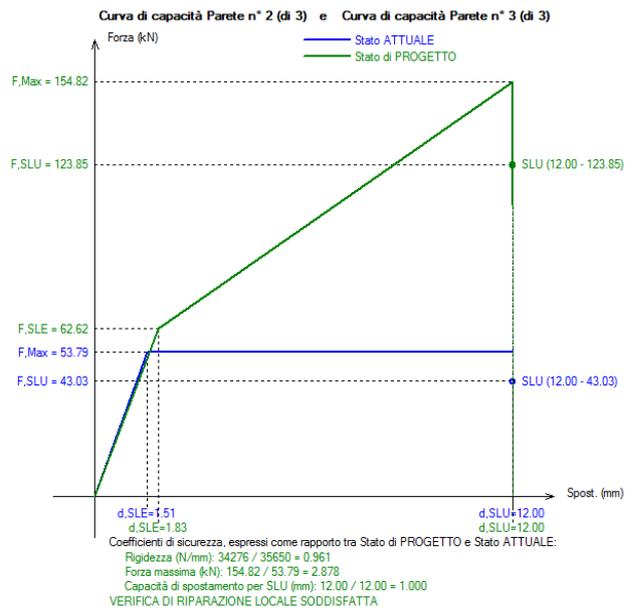
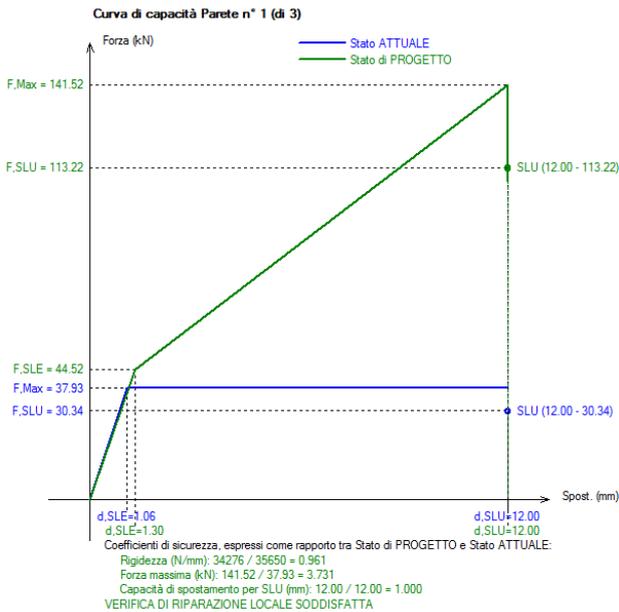
n.	Comb. fondamentale (analisi statica)					Comb. sismica		
	N,somm	1.3*Pp	N,base	$\sigma$ ,base	fd	$\sigma$ ,somm	$\sigma$ ,mezz	$\sigma$ ,base
1)	46.58	43.90	90.48	0.161	0.700	0.066	0.093	0.120
2)	46.58	43.90	90.48	0.161	0.700	0.066	0.093	0.120

#### STATO DI PROGETTO

n.	Comb. fondamentale (analisi statica)					Comb. sismica		
	N,somm	1.3*Pp	N,base	$\sigma$ ,base	fd	$\sigma$ ,somm	$\sigma$ ,mezz	$\sigma$ ,base
1)	46.58	37.98	84.56	0.187	0.700	0.081	0.110	0.139
2)	46.58	37.98	84.56	0.187	0.700	0.081	0.110	0.139

E' evidente che lo schema di calcolo n°3 non è a favore di sicurezza. E' quindi preferibile in analisi statica considerare il materiale così com'è definito in input; peraltro, gli orientamenti della Regione Toscana possono essere considerati coerenti con quelli dell'Emilia-Romagna (modello n°2) proprio con la precisazione di eseguire le verifiche statiche con i valori effettivi delle resistenze.

In analisi sismica si ottengono curve di capacità e coefficienti di sicurezza riportati nel seguito. Le diverse ipotesi sulle resistenze conducono ovviamente a diversi valori della forza ultima e di conseguenza dell'energia dissipata; resta invece invariata la rigidezza (e questo perché per E e G in LC1 si utilizzano i valori medi come in LC2, altrimenti, se si usassero i valori minimi, il modello 1 differirebbe dai modelli 2 e 3 anche per la rigidezza).



#### COEFFICIENTI DI SICUREZZA [Rig.K:N/mm - F,ult:kN - Cap.Sp.:mm - En.:J=N\*m]

	Attuale	Progetto	Rapporto(C.Sic.)	
<b>Parete n° 1:</b>				
Rig.K)	35650	34276	<b>0.961</b>	compreso fra +/- 15% (-3.9%)
F,ult)	37.93	141.52	<b>3.731</b>	> 1 (+273.1%)
Cap.Sp.)	12.00	12.00	<b>1.000</b>	= 1 (=)
En.)	435.06	1024.23	<b>2.354</b>	> 1 (+135.4%)
<b>Parete n° 2 e Parete n° 3:</b>				
Rig.K)	35650	34276	<b>0.961</b>	compreso fra +/- 15% (-3.9%)
F,ult)	53.79	154.82	<b>2.878</b>	> 1 (+187.8%)
Cap.Sp.)	12.00	12.00	<b>1.000</b>	= 1 (=)
En.)	604.82	1162.94	<b>1.923</b>	> 1 (+92.3%)

E' interessante osservare come nel passaggio dall'ipotesi (valori minimi, FC=1.35) alla (valori medi FC=1.00) all'aumento della resistenza (forza ultima) allo Stato Attuale corrisponde un aumento minore allo Stato di Progetto, e il coefficiente di sicurezza diminuisce (da 3.731 a 2.878), ponendo qui il calcolo eseguito secondo gli Orientamenti Toscana / Emilia-Romagna a favore di sicurezza. Questo dipende dal fatto che in entrambe le ipotesi, allo Stato di Progetto è presente il contributo del telaio di cerchiatura indipendente dall'ipotesi sulla resistenza della muratura: e il contributo del telaio è meno importante laddove la resistenza della muratura è maggiore. Si può dedurre quindi che seguendo le ipotesi degli Orientamenti Regionali, si può dimensionare un telaio di cerchiatura meno resistente, e quindi potenzialmente più omogeneo con le proprietà della parete muraria. Non è detto tuttavia che questo aspetto sia significativo per il progetto: il dimensionamento del telaio dipende molto dalla rigidezza, che risulta invariata rispetto alle ipotesi dette.

**Conclusioni:** in caso di LC1 (il più frequente nella progettazione reale) forse non vale la pena di complicare l'analisi modificando FC e i valori delle resistenze: più semplicemente, si può fare riferimento ai valori normativi sia in analisi statica sia in sismica.

Se però il Progettista deve adeguarsi strettamente ai criteri indicati dagli Orientamenti Regionali, ACM 2017.4, grazie alla nuova opzione dei Criteri di calcolo (2) delle Pareti riguardante Resistenze e Fattori di confidenza della muratura, fornisce gli strumenti idonei senza la necessità di costruire due modelli complementari, uno per l'analisi statica e uno per la sismica (resi invece inevitabili operando con le versioni precedenti).