



Andrea Benvenuti – Paolo Brotini

Le cerchiature in acciaio

CALCOLO DELLE STRUTTURE SECONDARIE CON L'AUSILIO DEL SOFTWARE SY SMA

- **Analisi degli interventi di apertura forature su pareti portanti**
- **Verifica delle cerchiature di rinforzo**
- **Verifica interventi di rinforzo della muratura con intonaco armato**
- **Grafico delle curve caratteristiche**
- **Dimensionamento e verifica piedritti**
- **Dimensionamento e verifica architrave**
- **Relazione di calcolo completa e personalizzabile**
- **Piano di manutenzione**
- **Stampa in diversi formati (*.pdf, *.doc, *.xls)**
- **Calcoli effettuati secondo le disposizioni NTC 2008**

SOFTWARE INCLUSO

CALCOLO E VERIFICA DI CERCHIATURE IN ACCIAIO CON SY SMA

Glossario (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti), **Test iniziale** (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)

Andrea Benvenuti – Paolo Brotini

LE CERCHIATURE IN ACCIAIO

ISBN 13 978-88-8207-576-7

EAN 9 788882 075767

Software, 79

Prima edizione, ottobre 2014

Benvenuti, Andrea <1976->
Le cerchiature in acciaio / Andrea Benvenuti, Paolo Brotini. –
Palermo : Grafill, 2014.
(Software ; 79)
ISBN 978-88-8207-576-7
I. Telai in acciaio. I. Brotini, Paolo <1979->.
624.1773 CDD-22 SBN Pal0273833
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il presente volume è **disponibile anche in versione eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con conto corrente postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal. Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

 **GEO SOFT** **Sysma** è un software realizzato
soluzioni per il tuo mondo da **Geo-Soft S.n.c.**

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di ottobre 2014

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

INDICE

1) PARTE I – CENNI TEORICI	p.	1
1. NORMATIVA VIGENTE	"	3
2. COMPORTAMENTO TEORICO DEGLI ELEMENTI MURARI	"	5
2.1. Rigidezza degli elementi murari.....	"	5
2.2. Resistenza della parete.....	"	8
2.3. Telai metallici.....	"	11
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	"	13
4. INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA	"	17
2) PARTE II – APERTURA VANI CON IL SOFTWARE SYSMA	"	21
5. CARATTERISTICHE DEL PROGRAMMA	"	23
5.1. A chi è rivolto.....	"	23
5.2. Funzionalità.....	"	23
5.3. Caratteristiche tecniche.....	"	24
6. INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE	"	25
6.1. Introduzione.....	"	25
6.2. Requisiti hardware e software.....	"	25
6.3. Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	25
6.4. Installazione ed attivazione del software.....	"	26
7. PANORAMICA AMBIENTE DI LAVORO	"	28
7.1. Ambiente Home.....	"	29
7.2. Ambiente cerchiature.....	"	30
7.2.1. Parete.....	"	31
7.2.2. Elementi: pannelli e forature.....	"	32
7.2.3. Calcolo.....	"	35

› PARTE III – ESEMPI APPLICATIVI.....	p.	45
8. MODIFICA APERTURE ESISTENTI	"	47
9. APERTURA VANO SU PARETE PIENA	"	67
INTERVENTI NON INQUADRABILI COME LOCALI	"	81
› PARTE IV – APPENDICE LEGISLATIVA.....	"	87
10. APPENDICE LEGISLATIVA.....	"	89
BIBLIOGRAFIA.....	"	117
LICENZA D’USO.....	"	123
DOWNLOAD DEL SOFTWARE E RICHIESTA DELLA PASSWORD DI ATTIVAZIONE	"	124

PARTE I
CENNI TEORICI

NORMATIVA VIGENTE

Il frastagliato panorama normativo legato agli interventi strutturali sulle costruzioni civili è stato ordinato con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) emanate con Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008 e con la successiva Circolare Esplicativa n. 617 del 2 febbraio 2009 e tuttora vigenti.

La norma attuale è il risultato di una lunga e complessa sequenza di leggi emanate e non applicate, o applicate parzialmente, che in più tempi hanno tentato di rinnovare ed uniformare il panorama normativo che si era sviluppato fino al 1996.

La prima raccolta normativa organica sulle strutture è costituita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, successivamente venne rivista, corretta ed integrata con l'emanazione del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 settembre 2005 che poi è confluito nel testo attuale.

Il capitolo 8 della normativa tratta gli interventi sugli edifici esistenti che vengono classificati secondo 3 diverse categorie:

- interventi di *adeguamento*, atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalla norma;
- interventi di *miglioramento*, atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalla norma;
- *riparazione o interventi locali*, che inseriscono elementi isolati e che comunque comportano un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Si riportano nel dettaglio le definizioni dei singoli interventi:

Intervento di adeguamento

È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;
- c) apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%; resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente. In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo. Una variazione dell'altezza dell'edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani, non è considerata sopraelevazione

o ampliamento, ai sensi dei punti a) e b). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano le condizioni di cui ai precedenti punti c) o d).

Intervento di miglioramento

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.

È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1. Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Riparazione o intervento locale

In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura e interesseranno porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

La relazione sulla struttura di intervento che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento ed a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, ed indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione.

La Circolare esplicativa n. 617/CSLLPP del 2 febbraio 2009 al punto C8.4.1 riporta un elenco più completo delle opere inquadrabili in questa categoria:

“Rientrano in questa tipologia tutti gli interventi di riparazione, rafforzamento o sostituzione di singoli elementi strutturali (travi, architravi, porzioni di solaio, pilastri, pannelli murari) o parti di essi, non adeguati alla funzione strutturale che debbono svolgere, a condizione che l'intervento non cambi significativamente il comportamento globale della struttura, soprattutto ai fini della resistenza alle azioni sismiche, a causa di una variazione non trascurabile di rigidezza o di peso.

Può rientrare in questa categoria anche la sostituzione di coperture e solai, solo a condizione che ciò non comporti una variazione significativa di rigidezza nel proprio piano, importante ai fini della redistribuzione di forze orizzontali, né un aumento dei carichi verticali statici.

Interventi di ripristino o rinforzo delle connessioni tra elementi strutturali diversi (ad esempio tra pareti murarie, tra pareti e travi o solai, anche attraverso l'introduzione di catene/tiranti) ricadono in questa categoria, in quanto comunque migliorano anche il comportamento globale della struttura, particolarmente rispetto alle azioni sismiche.

Infine, interventi di variazione della configurazione di un elemento strutturale, attraverso la sua sostituzione o un rafforzamento localizzato (ad esempio l'apertura di un vano in una parete muraria, accompagnata da opportuni rinforzi) possono rientrare in questa categoria solo a condizione che si dimostri che la rigidezza dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza e la capacità di deformazione, anche in campo plastico, non peggiorino ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali”.

COMPORTAMENTO TEORICO DEGLI ELEMENTI MURARI

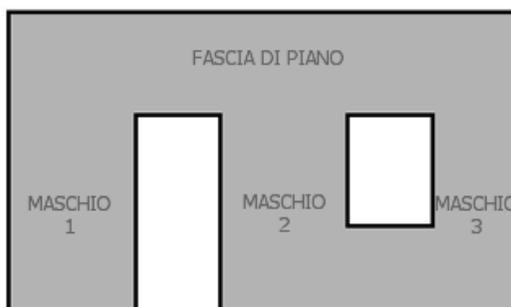
2.1. Rigidezza degli elementi murari

Una parete in muratura è normalmente composta da pannelli murari (maschi) ed aperture che possono avere altezze differenti tra loro. I maschi murari sono schematizzati come elementi monodimensionali vincolati alla base e collegati in testa dalla trave alta detta anche fascia di piano.

Una generica parete composta da n forature e $n+1$ pannelli si comporta come un telaio ad n campate dotato di $n+1$ ritti ed n traversi.

La fascia di piano è costituita dalla fascia muratura continua che si estende da sopra l'architrave più alto delle forature presenti, fino al davanzale più basso delle forature presenti nella parete superiore o comunque fino al solaio di interpiano.

Generalmente la fascia di piano si può supporre infinitamente rigida, in questo caso il telaio equivalente ha un comportamento tipo shear type. Nel caso in cui le strutture orizzontali non siano in grado di impedire le rotazioni flessionali alle estremità delle pareti, quest'ultime avranno un comportamento a mensola incastrata alla base.



Un pannello murario di altezza h vincolato con incastro fisso alla base e incastro scorrevole in sommità sulla quale viene applicata una forza F , subirà uno spostamento δ definito come somma di un contributo dovuto alla flessione δ_f e di uno dovuto al taglio δ_t :

Contributo flessionale:
$$\delta_f = \frac{Fh^3}{12EJ}$$

Contributo tagliante:
$$\delta_t = \chi \frac{Fh}{GA}$$

Lo spostamento totale sarà quindi: $\delta = \delta_f + \delta_t$

$$\delta = \frac{Fh^3}{12EJ} + \chi \frac{Fh}{GA} \text{ ovvero } \delta = F \left(\frac{h^3}{12EJ} + \chi \frac{h}{GA} \right)$$

Per definizione la rigidezza è la forza necessaria per ottenere lo spostamento unitario. Definita con $K = F/\delta$ la rigidezza del pannello si ottiene:

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{12EJ} + \chi \frac{h}{GA}} \quad (2.1)$$

Nel caso in cui la fascia di piano non sia in grado di impedire la rotazione flessionale del pannello, esso si comporterà come una mensola incastrata alla base, l'espressione per il calcolo della rigidezza diventa quindi:

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EJ} + \chi \frac{h}{GA}} \quad (2.2)$$

dove:

- h è l'altezza del maschio murario;
- E è il modulo di elasticità normale della muratura;
- G è il modulo di elasticità tangenziale della muratura;
- J è il momento di inerzia della sezione ($J = t * l^3 / 12$);
- A è l'area della sezione orizzontale del maschio murario ($A = l * t$);
- l è la lunghezza del maschio murario;
- t è lo spessore del maschio murario;
- χ è il fattore di taglio.

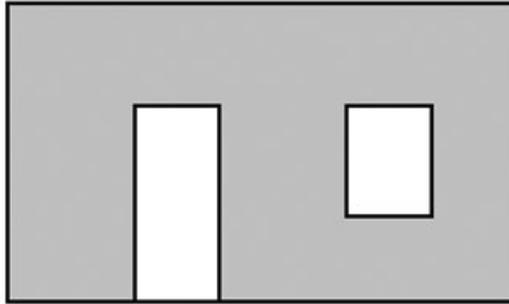
Considerazioni sull'altezza del pannello murario

Nel caso di parete priva di aperture, quindi costituita da un unico pannello, l'altezza del maschio murario da utilizzare nella formula 2.1 o 2.2 è pari alla altezza geometrica della parete, assimilabile alla altezza di interpiano.

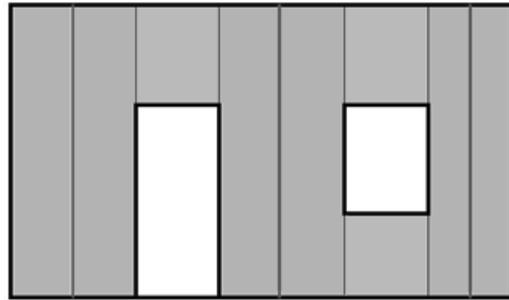
Nel caso di parete con aperture occorre valutare attentamente la geometria delle stesse per individuare i maschi murari da considerare nel calcolo della rigidezza.

Quando sono presenti vani porta e vani finestra sulla stessa parete entra in gioco la zona rigida costituita dalla fascia di piano, per cui i pannelli deformabili possono essere assunti di altezza pari a quella dell'apertura adiacente (altezza del vuoto della porta o della finestra). Nel caso in cui il parapetto della finestra presenti uno spessore ridotto rispetto alla muratura contigua (come nel caso di presenza di radiatori), esso non riesce a comportarsi come elemento rigido e quindi non trasmette le forze da un pannello all'altro. In presenza di questa situazione l'altezza 'operativa' soggetta a deformazione del maschio murario da considerare è pari all'altezza del architrave della foratura.

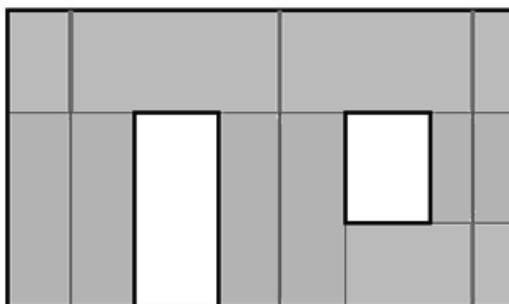
La modellazione con maschi murari aventi altezza deformabile pari all'altezza del vano adiacente risulta appropriata quando le fasce hanno lo stesso spessore dei maschi e vi siano cordolo in c.a. ed adeguate architravature sulle aperture.



Parete con aperture



Modellazione senza fasce di piano rigide

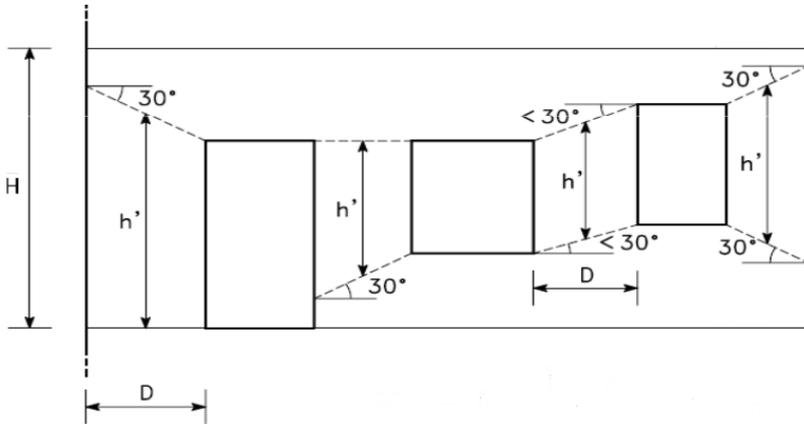


Modellazione con fasce di piano rigide

Metodo Dolce

Esiste un ulteriore metodo per valutare l'altezza deformabile dei maschi murari proposto dal Prof. Dolce nel 1989, che si pone a metà tra i due visti precedentemente. Infatti Dolce tenendo conto delle fasce di piano, ipotizza che i pannelli vengano solo parzialmente irrigiditi

dalle stesse, per cui facendo riferimento alla figura che segue, si ha una altezza deformabile data dalla relazione 2.3.



$$H_{DEF} = h' + \frac{0,33 \cdot D \cdot (H + h')}{h'} \quad (2.3)$$

dove:

- H_{DEF} è l'altezza deformabile del maschio murario;
- H è l'altezza di interpiano;
- D è la distanza tra maschio murario e foratura;
- h' è l'altezza del maschio murario calcolata come da figura.

Con questo metodo, sicuramente un poco più complesso dei precedenti, si apprezza una minore rigidità dei maschi murari in virtù del non perfetto incastro con la fascia di piano.

Rigidità della parete

Nel caso di parete composta da più maschi murari la rigidità complessiva sarà data dalla somma delle rigidità dei singoli elementi, potendo schematizzare i maschi come molle che lavorano in parallelo. Si avrà quindi:

$$K_{parete} = K_1 + K_2 + \dots + K_n \quad (2.4)$$

2.2. Resistenza della parete

Per resistenza della parete si intende la capacità di assorbire sforzi orizzontali fino a che non si manifesta un meccanismo di rottura in una sua parte tale da compromettere il funzionamento proprio della parete e quindi l'assolvimento della sua capacità portante.

Nel caso di una parete reale dotata di aperture, la resistenza complessiva è data dalla resistenza di ciascun maschio murario.

Le ipotesi tipiche che in genere vengono effettuate sono:

- la rottura dei maschi murari avvenga per taglio e che la resistenza non sia sensibilmente influenzata dalle aliquote di sforzo normale indotte dalle forze orizzontali;

- il comportamento complessivo della parete sia assimilabile a quello di “shear type” ovvero telai costituiti da un traverso infinitamente rigido (fascia di piano) e ritzi rappresentati dai maschi murari.

La **prima ipotesi** può considerarsi verificata quando siamo in presenza di elementi tozzi, aventi cioè un rapporto tra altezza e lunghezza (h/l) inferiore a 1,5. Per una parete convenzionale di altezza 270 cm un pannello risulta tozzo quando la sua lunghezza è superiore a 180 cm. In queste condizioni la rottura a taglio si verifica prima di quella per presso-flessione.

La **seconda ipotesi** si verifica quando la resistenza della fascia di piano è superiore a quella dei maschi murari in modo tale che riesca a garantire il trasferimento dei carichi dall’impalcato ai pannelli di muratura sottostante.

La resistenza della fascia di piano si valuta a Taglio e a Flessione.

La resistenza a taglio (V_{rf}) si sviluppa quando è presente un cordolo in c.a. o un architrave di adeguata resistenza a flessione:

$$V_{rf} = h_f \cdot t_f \cdot f_{vd0} \quad (2.5)$$

dove:

- V_{rf} è la resistenza a taglio della fascia di piano;
- h_f è l’altezza della fascia di piano;
- t_f è lo spessore della fascia di piano;
- f_{vd0} è la resistenza di calcolo a taglio in assenza di compressione $f_{vd0} = f_{vk0} / \gamma_m$.

La *resistenza a flessione* (M_{rf}) si può esprimere secondo la seguente relazione:

$$M_{rf} = N \cdot \frac{h_f}{2} \cdot \left[\frac{1-N}{t \cdot h_f \cdot 0,85 \cdot f_{hd}} \right] \quad (2.6)$$

dove:

- N è il minimo valore tra la resistenza a trazione del cordolo ed il valore $t_f \cdot h_f \cdot 0,4 \cdot f_{hd}$;
- F_{hd} è la resistenza di calcolo a compressione della muratura in direzione orizzontale $f_{hd0} = f_{hk} / \gamma_m$.

Per calcolare le sollecitazioni nella fascia di piano indotte dai maschi murari, immaginiamo di scomporre la parete reale in un telaio ideale a più campate tracciato lungo gli assi baricentrici dei maschi murari e della fascia di piano. Ogni porzione di fascia di piano (di lunghezza a_i , pari alla larghezza dell’apertura sottostante) è compresa tra due maschi murari, uno a destra e uno a sinistra. Ciascun maschio murario (di altezza pari ad h) è sollecitato da uno sforzo di taglio V applicato al suo baricentro e trasmette alla fascia un momento flettente M definito come:

$$M = V \cdot \frac{h + h_f / 2}{2} \quad (2.7)$$

dove:

- h è l’altezza del maschio murario;
- h_f è l’altezza della fascia di piano.

Spesso la verifica della resistenza della fascia di piano viene trascurata se la sua consistenza è tale da poterla considerare rigida o se è presente un cordolo in c.a. o catene.

I meccanismi di rottura di un maschio murario possono essere essenzialmente di tre tipi:

- crisi per pressoflessione;
- crisi per taglio da scorrimento;
- crisi per taglio da trazione (fessurazione diagonale).

Per gli edifici esistenti la normativa propone di calcolare la resistenza a taglio per azioni nel piano con un criterio di rottura per fessurazione diagonale o con un criterio di scorrimento. Si considera reagente l'intera sezione.

La resistenza a taglio per fessurazione diagonale V_t è definita dalla C8.7.1.1:

$$V_t = l * t * 1,5 \frac{\tau_{od}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1,5 \tau_{od}}} = l * t * f_{td} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

dove:

- l è la lunghezza del pannello;
- t è lo spessore del pannello;
- σ_0 è la tensione normale media riferita all'area della sezione;
- f_{td} è la resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura $f_{td} = 1,5 * \tau_{0d}$;
- τ_{0d} è la resistenza a taglio di riferimento della muratura;
- b è il coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere $b = h / l$ e non deve essere superiore a 1,5 o inferiore ad 1,0.

Una volta calcolata la resistenza a taglio della parete è possibile definirne la curva caratteristica, ovvero un grafico che riporta i valori di taglio (V) e di spostamento (δ). La curva reale può essere ben approssimata da una curva bilatera secondo la seguente relazione: $\delta_e = V_u / K$.

L'analisi statica non lineare consente di sfruttare le risorse plastiche del materiale per cui si ha resistenza della parete rappresentata dal tratto plastico orizzontale che si estende fino all'ascissa δ_u , data da: $\delta_u = \delta_u * \mu$.

Dove μ è il fattore di duttilità variabile tra 1,5 e 2 in funzione della tipologia di muratura:

- murature non consolidate: $\mu = 1,5$;
- murature consolidate: $\mu = 2$;
- murature nuove: $\mu = 2$.