

**EDIL CAM® Sistemi S.r.l.**

Cuciture Attive dei Manufatti strutturali  
Rinforzo ed adeguamento sismico

Sede legale e Uffici: Via dei Genieri, 39 – 00143 ROMA  
Tel. 06/5073602 - Fax 06/60507041



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

# LINEE GUIDA – CUCITURE ATTIVE PER LA MURATURA

**PROCEDURA GENERALE PER LA  
PROGETTAZIONE, MODELLAZIONE, CALCOLO E  
VERIFICA DI EDIFICI IN MURATURA RINFORZATI  
CON IL SISTEMA DI CUCITURA ATTIVA CAM**

**OTTOBRE 2015**

**A cura di**

**Ing. Roberto Marnetto**

**Ing. Alessandro Vari**

## EDIL CAM® Sistemi S.r.l.

Cuciture Attive dei Manufatti strutturali  
Rinforzo ed adeguamento sismico

Sede legale e Uffici: Via dei Genieri, 39 – 00143 ROMA  
Tel. 06/5073602 - Fax 06/60507041



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
Qualità ISO 9001:2008

## INDICE

1	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA ALLO STATO ATTUALE .....	2
2	ANALISI STRUTTURALE .....	3
3	INDIVIDUAZIONE DEGLI STATI TENSIONALI E DELLE ZONE CRITICHE .....	6
4	SCELTA DELLE TECNICHE DI RINFORZO (legatura diffusa, confinamento, catene,...) .....	7
5	DIMENSIONAMENTO DEL RINFORZO .....	9
5.1	RESISTENZE DI CALCOLO .....	9
5.1.1	Resistenza Nastri CAM .....	9
5.1.2	Muratura .....	11
5.2	DEFINIZIONI GEOMETRICHE DEL RINFORZO MEDIANTE IL CAM .....	14
5.3	SCHIACCIAMENTO (Istruzioni CNR DT200/2004) .....	16
5.4	PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (DM 2008) .....	22
5.4.1	Muratura non armata .....	23
5.4.2	Muratura Rinforzata mediante Sistema CAM .....	24
5.5	PRESSOFLESSIONE VERTICALE FUORI PIANO (DM 2008) .....	30
5.5.1	Muratura non armata .....	30
5.5.2	Muratura rinforzata mediante Sistema CAM .....	31
5.6	PRESSOFLESSIONE ORIZZONTALE FUORI PIANO .....	34
5.6.1	Muratura non armata .....	34
5.6.2	Muratura rinforzata mediante Sistema CAM .....	35
5.7	NOTE SULL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO DI RINFORZO A PRESSOFLESSIONE .....	36
5.8	RESISTENZA A TAGLIO .....	37
5.8.1	Taglio per Scorrimento (Mohr-Coulomb) .....	37
5.8.2	Taglio per Fessurazione Diagonale (Turnsek-Cacovic) .....	41
6	NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE .....	43



Cert. n. AJA14/AN1904

UNI EN ISO 3834-2

ISO 9001:2008

0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
Qualità ISO 9001:2008

## 1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA ALLO STATO ATTUALE

- **Rilievo strutturale**
  - o Geometria delle pareti e articolazione dei solai
  - o Fondazioni
  - o Tipologia del terreno di fondazione
- **Rilievo del quadro fessurativo**
- **Caratterizzazione dei materiali**
  - o Indagini di campo
    - **Martinetti piatti:**
      - stato tensionale attuale (*martinetto semplice*)
        - o consente di verificare il modello di valutazione dei carichi sulla struttura
      - caratterizzazione del modulo elastico (E) e di Poisson ( $\nu$ ) (*doppio taglio e due martinetti*)
        - o caratterizzazione della risposta elastica del materiale e, tramite  $\nu$ , della deformabilità a taglio (attraverso  $\nu$  si individua G)
      - tensione di rottura (*doppio taglio e due martinetti*)
    - **rimozione dell'intonaco a campione o totale (mette in luce solo il paramento esterno)**
      - tipologia del tessuto murario
        - o tipologia degli inerti
        - o caratterizzazione visiva della malta
        - o tipologia di tessitura muraria
        - o verifica della presenza di eventuali diatoni
        - o grado di collegamento tra pareti ortogonali
    - **indagine endoscopica** (foratura e rilievo visivo dell'organizzazione muraria nello spessore)
      - tipologia degli inerti
      - esistenza o meno della malta
      - caratterizzazione visiva della malta
      - tipologia di tessitura muraria (vuoti, organizzazione, presenza o meno di legante)
    - **indagine soniche**
      - modulo elastico (E)
      - individuazione di eventuali vuoti e/o disuniformità
  - o riferimenti normativi
    - NTC 2008
    - OPCM 3274 e successive modifiche, allegato 11.D, tabella 11.D.1 e tabella 11.D.2



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
Qualità ISO 9001:2008

## 2 ANALISI STRUTTURALE

- **modellazione della struttura**
  - Scelta preliminare di modellazione
    - Modellazione a shell
    - Schematizzazione a telaio equivalente (elementi beam)
  - inserimento dei parametri meccanici
    - caratteristiche dei materiali
    - vincoli interni
      - connessioni tra pareti
      - connessioni tra pareti e orizzontamenti (coperture, solai, volte, scale, ...)
      - definizione della tipologia di solaio (rigido o deformabile)
      - sconnessioni conseguenti alle eventuali fessurazioni (*dal rilievo del quadro fessurativo*)
    - vincoli esterni
      - schematizzazione del vincolo di base (fondazioni e terreno)
      - eventuali vincoli di continuità con edifici/strutture adiacenti (vd anche i vincoli interni)
  - inserimento dei carichi (con riferimento ai coefficienti parziali ( $\gamma_G, \gamma_Q, \dots$ ) allo stato limite)
    - permanenti: strutturali, portati
    - distorsioni
    - termiche (*irrilevante*)
    - accidentali
      - d'esercizio sugli orizzontamenti
      - vento (*vd. anche DM 16.01.96*)
      - neve (*vd. anche DM 16.01.96*)
    - sismici
      - spettro **elastico** di riferimento
        - zonizzazione:
          - $a_g$  : accelerazione al suolo
          - $F_0$  : fattore di amplificazione dello spettro
        - tipologia di terreno (A, B, C, D, E: tab. 3.2.II & 3.2.III)
        - coefficienti di caratterizzazione (cap. 3.2)
          - S: topografico (tab. 3.2.V & 3.2.VI)
          - $\xi$  : coefficiente di smorzamento viscoso (in mancanza di più precise valutazioni si assume pari al 5%)
          - $\eta$ : fattore di alterazione dello spettro in funzione di  $\xi$
        - fattore di struttura: q (coefficiente demoltiplicativo dello spettro) p.to 7.4.3.2
        - differenziato per tipologia di analisi
          - *analisi non lineare (push\_over)*: q=1;



Cert. n. AJA14/AN1904

UNI EN ISO 3834-2

Cert. n. AJAEU/13/13002

- *analisi lineari*:  $q > 1$ ;
- spettro sismico per lo SLU: spettro elastico demoltiplicato del fattore di struttura  $q$
- **analisi numerica (in ordine accuratezza del risultato)**
  - statica lineare equivalente (zona 4, edifici semplici come definito nell'NTC p.to (verificare))
  - dinamica modale a spettro di risposta
  - dinamica lineare al passo con utilizzo di accelerogrammi
    - *NOTA*: poco significativa nell'analisi di strutture in muratura
  - statica non lineare (push-over) → verifica allo SLU nelle due direzioni ortogonali
    - dalla analisi modale mi ricavo i fattori di partecipazione di massa relativi ad ogni modo;
    - individuazione dei due gruppi di distribuzione di forze:
      - **GRUPPO 1 (distribuzioni principali)**:
        - *Triangolare come da forze statiche equivalenti (cap. 7.3.3.2) se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 60% (solo per le murature) ed a condizione di utilizzare come 2° gruppo di distribuzione la 2.a*
        - *dalla **analisi modale** distribuzione di accelerazioni proporzionale alla forma del 1° modo di vibrare, se superiore al 60% (solo per le murature) di partecipazione in massa – (vd Allegato)*
        - *dalla **analisi dinamica lineare modale** (con almeno l'85% di partecipazione di massa): distribuzione dei tagli di piano, quando il 1° modo di vibrare è superiore a  $T_c$  – (vd Allegato)*
      - **GRUPPO 2 (distribuzioni secondarie)**
        - *Distribuzione uniforme di forze intesa come distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza (efficace per la verifica delle pareti fuori dal piano)*
        - *Distribuzione adattiva (a partire da una delle 3 distribuzioni del GRUPPO 1) che cambia in funzione della plasticizzazione della struttura: richiede l'aggiornamento del modello per ogni ulteriore plasticizzazione (ideale e omnicomprensiva per l'analisi push-over)*
  - *Applicazione del gruppo di forze considerato (uno per ogni gruppo) in modo incrementale tale da far crescere monotonamente lo spostamento orizzontale  $d_c$  del punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione fino alla riduzione del 20% taglio massimo alla base registrato ( $F_{bu}$ ).*
    - *NOTA: Il diagramma della variazione del taglio alla base con l'incremento dello spostamento del punto di controllo rappresenta la **curva di capacità della struttura***



- NOTA: Ad ogni step incrementale si verifica lo stato tensionale dei materiali, sezione per sezione, e si valuta il livello di reazione di ogni singolo elemento
- NOTA: Si sommano i contributi di reazione dei vari elementi che lavorano in parallelo e si ottiene il livello di reazione della struttura (contestualmente si evidenziano gli elementi che man mano si plasticizzano)
- NOTA: Si procede fino allo spostamento relativo all'80% della reazione massima
- **Determinazione della curva di capacità bilineare equivalente → determinazione del pendolo equivalente**
  - NOTA: la curva di capacità della struttura deve essere scalata del fattore di partecipazione modale (Circolare Applicativa al p.to 7.3.4.1) per ottenere la curva caratteristica forza spostamento del sistema equivalente
  - NOTA: la curva caratteristica forza spostamento del sistema equivalente deve essere approssimata da una bilineare definita in base al criterio di uguaglianza delle aree, posta l'individuazione della rigidità e della forza di snervamento
  - 
  - NOTA: il ramo elastico (che caratterizza la rigidità) è la linea che congiunge l'origine con il punto sulla curva caratteristica corrispondente ad un taglio pari a 0.7 (NTC 2008 p.to 7.8.1.6 - nella Circolare Applicativa al p.to 7.3.4.1 il fattore di riduzione è pari a 0.6) del taglio massimo alla base e prosegue fino alla forza di snervamento
  - NOTA: la forza di snervamento si individua imponendo l'uguaglianza dell'area sottesa dalla bilineare equivalente con la curva caratteristica forza spostamento
- **Determinazione delle caratteristiche meccaniche del pendolo equivalente:**
  - Massa, Forza ultima, Rigidità, spostamento ultimo, periodo di oscillazione
    - Massa: ricavata dalla analisi condotta con la ripartizione delle forze del Gruppo I
    - Spostamento ultimo dalla curva caratteristica forza spostamento
    - Rigidità dalla bilineare equivalente
    - Forza ultima coincide con la forza di snervamento della bilineare equivalente
    - Determinazione del periodo del pendolo equivalente
- **Entro con il periodo dentro lo spettro elastico → individuo l'accelerazione corrispondente → la moltiplico per la massa del pendolo → definisco la forza spettrale del pendolo equivalente**
- **Determinazione dello spostamento massimo del pendolo equivalente dallo spettro di spostamento elastico**
- **Confronto tra lo spostamento massimo dallo spettro e lo spostamento ultimo dalla curva bilineare**
  - Se  $d_{max} > d_u$  allora ricominciare (incrementare il CAM o aggiornare la struttura o ...)
  - Se  $d_{max} \leq d_u$  verifica soddisfatta se: **la forza spettrale del pendolo equivalente deve essere al massimo 3.0 volte la forza resistente ultima (NTC 2008 – p.to 7.8.1.6).**



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
Qualità ISO 9001:2008

### 3 INDIVIDUAZIONE DEGLI STATI TENSIONALI E DELLE ZONE CRITICHE

- Dall'analisi della struttura devono essere individuate le situazioni critiche evidenziate dal meccanismo di rottura (push over) o dalle zone di sovraccarico (analisi elastica):
  - o Schiacciamento
    - Definire con quale tipo di controllo/procedura si verifica (es. Push over: superamento della deformazione locale massima ( $\epsilon_u$ ) ...)
    - (es. Analisi elastica: superamento della resistenza massima ( $N_{rd}$ ) ...)
  - o presso flessione
    - fuori dal piano: tutti gli elementi sismoresistenti (NTC 2008 - tab. 7.8.II) e non devono essere preventivamente verificati nel loro comportamento fuori dal piano (NTC 2008 – p.to 4.5.6.2.). Qualora l'elemento sismoresistente non si verifichi fuori dal piano, tale elemento non può essere considerato nell'analisi della struttura, a meno di non provvedere **preventivamente** al suo rinforzo fuori dal piano (NTC 2008 - p.to 7.8.1.5.2).
      - (es. Analisi elastica: superamento della resistenza massima ( $M_{rd}$ ) ...)
    - nel piano
      - (es. Push over: superamento della deformazione locale massima ( $\epsilon_u$ ) ...)
      - (es. Analisi elastica: superamento della resistenza massima ( $M_{rd}$ ) ...)
  - o taglio
    - per scorrimento su un piano orizzontale (tranciamento)
    - per fessurazione diagonale



## 4 SCELTA DELLE TIPOLOGIE DI RINFORZO MEDIANTE SISTEMA

### - SHIACCIAMENTO

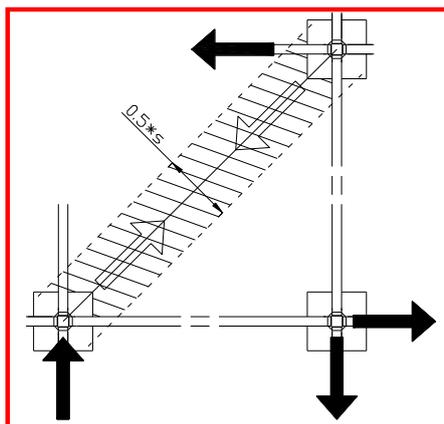
- Cerchiatura/Confinamento mediante legature orizzontali
  - Parametri: passo, numero legature sovrapposte, dimensioni ed estensione degli angolari;
  - Dimensionamento:
    - Analisi elastica lineare (vd. cap. 5): dimensionamento del confinamento per integrare la **resistenza** disponibile del materiale a quella richiesta dall'analisi;
    - Analisi non lineare: Il materiale viene messo in condizione di potersi deformare maggiormente sotto compressione in conseguenza del confinamento che ne assorbe la dilatazione laterale. Nell'analisi deve essere controllato se, in virtù dell'incremento di cedevolezza, sia sufficiente la corrispondente residua capacità portante.
  - Principio di miglioramento:
    - L'incremento in termini di pressione resistente verticale è pari alla pressione efficace conseguente alla forza di confinamento → pressione laterale sul volume di riferimento individuato dall'interasse delle legature.
    - L'incremento in termini di deformabilità è proporzionale all'incremento di capacità portante nel ramo elastico e alla deformabilità delle legature oltre il loro limite di snervamento che consente un accorciamento dell'elemento a scapito di uno spianamento laterale.

### - PRESSOFLESSIONE

- Inserimento di legature verticali e orizzontali
  - Parametri: passo verticale e passo orizzontale, numero legature sovrapposte
  - Dimensionamento:
    - Analisi elastica lineare (vd. cap. 5): dimensionamento del confinamento per integrare la resistenza disponibile dell'elemento murario a quella richiesta dall'analisi;
    - Analisi non lineare: l'elemento strutturale viene controllato in virtù della sua condizione deformata consentita dalla nuova configurazione resistente: allungamento sul lembo teso, schiacciamento confinato su quello compresso.
  - Principio di miglioramento: le legature verticali conferiscono capacità portante a trazione (incremento diretto del momento ultimo); le legature orizzontali incrementano la duttilità *nella sola parte compressa*, inoltre se questa contiene almeno una colonna di maglie (equivalente ad un pilastro confinato) viene incrementata anche la resistenza a compressione (vedi schiacciamento).

## - TAGLIO

- Scorrimento o fessurazioni diagonale: inserimento di doppio reticolo di nastri (orizzontali e verticali e, eventualmente, anche diagonali)
  - Parametri: passo verticale e passo orizzontale, numero legature sovrapposte
  - Dimensionamento
    - Analisi elastica lineare (vd. cap.5): dimensionamento dell'orditura per contrastare il cinematismo conseguente
  - Principio di miglioramento:
    - Scorrimento: le legature verticali si oppongono allo scorrimento per reazione all'allungamento conseguente; le legature orizzontali interagiscono se lo scorrimento avviene su una superficie scalettata allo stesso modo che per le fessurazioni diagonali.
    - Fessurazioni diagonale: nella doppia orditura i nastri fungono da correnti tesi che equilibrano la reazione a compressione della biella inclinata interna alla muratura.





Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
Qualità ISO 9001:2008

## 5 DIMENSIONAMENTO DEL RINFORZO

Nel testo seguente si espongono le formulazioni necessarie al dimensionamento del Sistema di Rinforzo C.A.M. per il miglioramento delle capacità resistenti a compressione, pressoflessione e taglio di manufatti in muratura.

### 5.1 RESISTENZE DI CALCOLO

#### 5.1.1 Resistenza Nastri CAM

Il sistema CAM è realizzato con nastri in acciaio inox con le seguenti caratteristiche:

##### Tipo 1a - Nastri per disposizione diffusa (orizzontali e/o verticali) – 1.4301/1.4307 EN10088-4

- spessore 0.9 – 1.0 mm e larghezza 19 mm
- resistenze a snervamento  $f_{yk} \geq 220 \text{ N/mm}^2$  e a rottura  $f_{ik} \geq 520 \text{ N/mm}^2$
- allungamento a rottura almeno pari a 45%.

##### Tipo 1b - Nastri per disposizione diffusa (orizzontali e/o verticali) – 1.4318 EN10088-4

- spessore 0.9mm e larghezza 19 mm
- resistenze a snervamento  $f_{yk} \geq 350 \text{ N/mm}^2$  e a rottura  $f_{ik} \geq 650 \text{ N/mm}^2$
- allungamento a rottura almeno pari a 35%.

##### Tipo 2a - Nastri per disposizione concentrata di spigolo(verticali) o diffusa (orizzontali e/o verticali) – 1.4301/1.4307/1.4318 C850 EN10088-4

- spessore 0.9 mm e larghezza 19 mm
- resistenze a snervamento  $f_{yk} \geq 530 \text{ N/mm}^2$  e a rottura  $f_{ik} \geq 850 \text{ N/mm}^2$
- allungamento a rottura almeno pari a 8%.

##### Tipo 2b - Nastri per disposizione concentrata di spigolo(verticali) o diffusa (orizzontali e/o verticali) – 1.4301/1.4307/1.4318 C1000 EN10088-4

- spessore 0.9 mm e larghezza 19 mm
- resistenze a snervamento  $f_{yk} \geq 650 \text{ N/mm}^2$  e a rottura  $f_{ik} \geq 1000 \text{ N/mm}^2$
- allungamento a rottura almeno pari a 8%.

## EDIL CAM® Sistemi S.r.l.

Cuciture Attive dei Manufatti strutturali  
Rinforzo ed adeguamento sismico

Sede legale e Uffici: Via dei Genieri, 39 – 00143 ROMA  
Tel. 06/5073602 - Fax 06/60507041



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
Qualità ISO 9001:2008

Per la resistenza del nastro, la resistenza di calcolo a trazione  $N_{t,Rd}$  è assunta pari al minore fra  $N_{pl,RD}$  resistenza plastica della sezione lorda A e la resistenza  $N_{u,Rd}$  a rottura della sezione netta  $A_{net}$  in corrispondenza della giunzione per la quale è garantita una resistenza minima pari al 70% della resistenza del nastro stesso.

$$f_{yd} = \min \left\{ \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}, \frac{0.7 \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \right\}$$

dove  $\gamma_{M0} = 1,10$  (UNI EN 1993-1-4) e  $\gamma_{M2} = 1,25$

Si considereranno quindi delle tensioni di calcolo pari a

$$f_{yd1a} = 200Mpa$$

$$f_{yd1b} = 318Mpa$$

$$f_{yd2a} = 476Mpa$$

$$f_{yd2b} = 560Mpa$$

Codice campo modificato



Cert. n. AJA14/AN1904

UNI EN ISO 3834-2

ISO 9001:2008

0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
 Qualità ISO 9001:2008

### 5.1.2 Muratura

Nella tabella C8A.2.1 della Circolare Applicativa alle NTC2008 sono forniti i valori medi di resistenza a compressione e taglio ed i moduli elastici delle murature più diffuse.

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2		verifiche in situ estese	Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00



Cert. n. AJA14/AN1904

UNI EN ISO 3834-2

ISO 9001:2008

0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte;  $f_m$  = resistenza media a compressione della muratura,  $\tau_0$  = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura

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

Tali valori vanno di norma ridotti mediante i Fattori di Confidenza definiti al capitolo C8A.1.A.4 della Circolare e riportati schematicamente nella tabella C8A.1.1 in funzione del Livello di Conoscenza raggiunto.

Nel caso di analisi elastica con il fattore q (analisi lineare statica ed analisi dinamica modale con coefficiente di struttura), i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza e per il coefficiente parziale di sicurezza dei materiali.



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
 Qualità ISO 9001:2008

Nel caso di analisi non lineare, i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza.

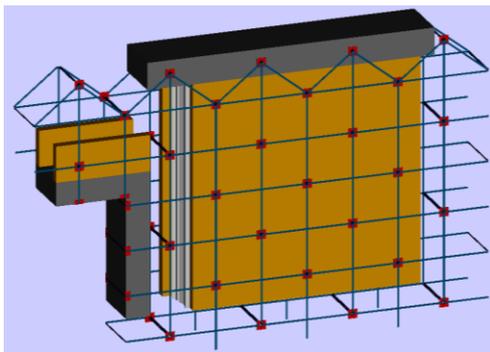
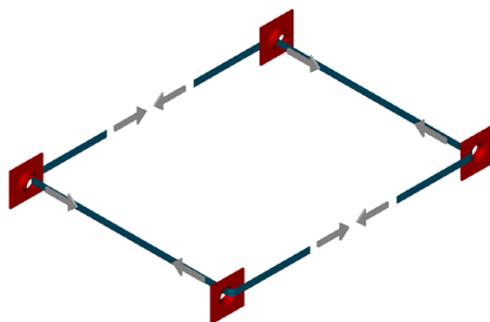
Il valore del coefficiente di sicurezza del materiale  $\gamma_M$  è riportato in tabella 4.5.II delle NTC in funzione della Classe di Esecuzione e della categoria degli elementi resistenti.

**Tabella 4.5.II.** Valori del coefficiente  $\gamma_M$  in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

Nel caso di analisi elastica in condizione sismica il valore di  $\gamma_M$  deve essere posto pari a 2 (capitolo 7.8.1.1 delle NTC2008).

## 5.2 DEFINIZIONI GEOMETRICHE DEL RINFORZO MEDIANTE IL CAM



Schema statico elementare di riferimento

Disposizione standard su pannello murario

$b_f$  = larghezza singolo nastro

$t_{fh}$  = spessore singolo nastro orizzontale

$t_{fv}$  = spessore singolo nastro verticale

$n_{nh}$  = numero nastri orizzontali in sovrapposizione

$n_{nv}$  = numero nastri verticali in sovrapposizione

$t_{fht}$  =  $t_{fh} \times n_{nh}$  = spessore totale nastri orizzontali

$t_{fvt}$  =  $t_{fv} \times n_{nv}$  = spessore totale nastri verticali

$p_{fh}$  = passo orizzontale dei nastri (interasse nastri verticali)

$p_{fv}$  = passo verticale dei nastri (interasse nastri orizzontali)

$n_{fori}$  = numero di fori trasversali su ogni filare orizzontale di nastri nella larghezza  $L$  del pannello

## EDIL CAM® Sistemi S.r.l.

Cuciture Attive dei Manufatti strutturali  
Rinforzo ed adeguamento sismico

Sede legale e Uffici: Via dei Genieri, 39 – 00143 ROMA  
Tel. 06/5073602 - Fax 06/60507041



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



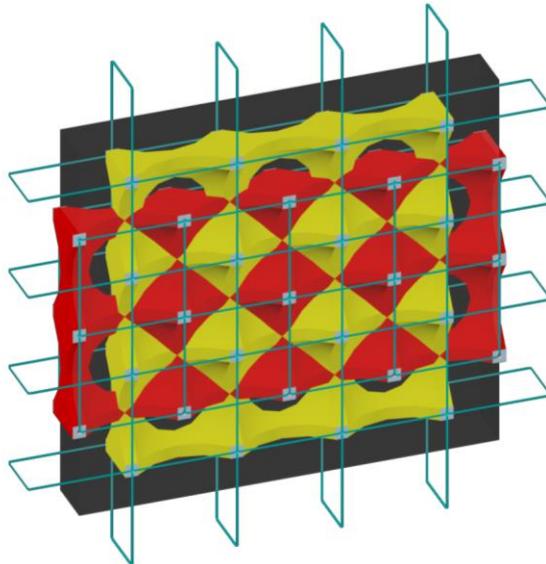
ISO 9001:2008



Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
Qualità ISO 9001:2008

I nastri sono posizionati a formare maglie chiuse disposte in continuità secondo disposizioni che possono essere verticali e/o orizzontali e/o diagonali, tra loro anche sovrapposte, con forature secondo un reticolo regolare o a *Quinconce*.



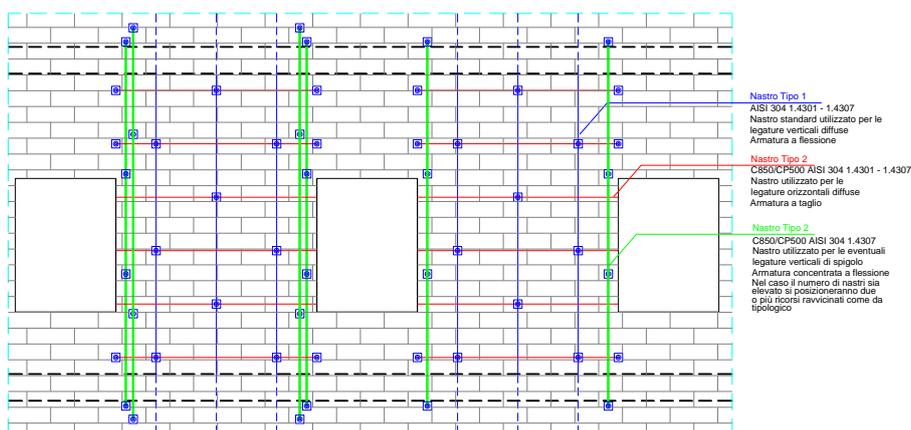
Quest'ultima modalità ha il vantaggio di limitare la formazione di linee di rottura preferenziali nelle posizioni delle forature trasversali. Al contempo però costituisce (vedi figura) un dimezzamento del passo orizzontale e l'efficienza ne risulta ridotta rispetto alla maglia con fori posizionati ad ogni intersezione di nastro. Il passo equivalente di una tessitura a *Quinconce* può pertanto essere così calcolata:

$$p_{fh,eff} = 2 \times p_{fh}$$

$$p_{fv,eff} = p_{fv}$$

**NOTA:** La disposizione a *Quinconce* modifica l'efficienza del rinforzo nei confronti solo del confinamento e dunque influisce sul calcolo dell'aumento di resistenza e della duttilità a compressione della muratura. Il passo da utilizzare per le verifiche a taglio e a pressoflessione rimane invece quello standard ovvero  $p_{fh}$ ,  $p_{fv}$ .

Oltre alla modalità standard descritta precedentemente le due tipologie di nastro possono essere utilizzate in maniera mirata all'ottenimento di un incremento di resistenza a taglio e/o flessione efficace come da figura seguente.



La posizione ottimale della nastratura verticale di spigolo sarà ad una distanza non minore di 15cm dal bordo libero della muratura.

Tale distanza la chiameremo comunemente copriferro  $c=150\text{mm}$  è utilmente impiegata per definire sia la posizione della prima nastratura verticale vicino al bordo del pannello sia che si tratti di nastratura di spigolo sia che si tratti di nastratura diffusa.

### 5.3 SCHIACCIAMENTO (Istruzioni CNR DT200/2013)

La verifica di elementi strutturali confinati viene condotta valutando l'azione esercitata dalla fasciatura in funzione della geometria e della tipologia del sistema a base del CAM. Per la valutazione della pressione di confinamento è buona norma disporre i nastri in direzione perpendicolare all'asse dell'elemento. La verifica dell'elemento confinato consiste nell'accertare che sia soddisfatta la seguente limitazione:

$$N_{Sd} \leq N_{Rmc,d}$$

essendo  $N_{Sd}$  il valore di progetto dell'azione assiale agente (da valutarsi, per le diverse combinazioni di carico prevedibili, come prescritto dalla Normativa vigente) e  $N_{Rmc,d}$  il valore di progetto della resistenza della muratura confinata.

La resistenza assiale di progetto,  $N_{Rmc,d}$ , è definita come segue:

$$N_{Rmc,d} = A_m \cdot f_{mcd} \geq A_m \cdot f_{md}$$

Dove:

$f_{md}$  è la resistenza a compressione della muratura non confinata;

$f_{mcd}$  è la resistenza a compressione della muratura confinata;

$A_m$  è l'area della sezione trasversale della muratura confinata.

La resistenza dell'elemento confinato soggetto ad un valore  $f_l$  della pressione di confinamento può calcolarsi con la seguente:

$$f_{mcd} = f_{md} \left[ 1 + k' \cdot \left( \frac{f_{1,eff}}{f_{md}} \right)^{\alpha_1} \right]$$

Dove

$f_{1,eff}$  è la pressione efficace di confinamento (funzione della forma del confinamento)

$k'$  coefficiente adimensionale di incremento di resistenza

$\alpha_1$  coefficiente adimensionale assunto pari a 0.50

$k' = \frac{g_m}{1000}$  con  $g_m$  densità di massa della muratura in Kg/m<sup>3</sup>

La pressione efficace di confinamento è data dalla:

$$f_{1,eff} = k_{eff} \cdot f_1 = k_H \cdot k_V \cdot f_1$$

Dove:

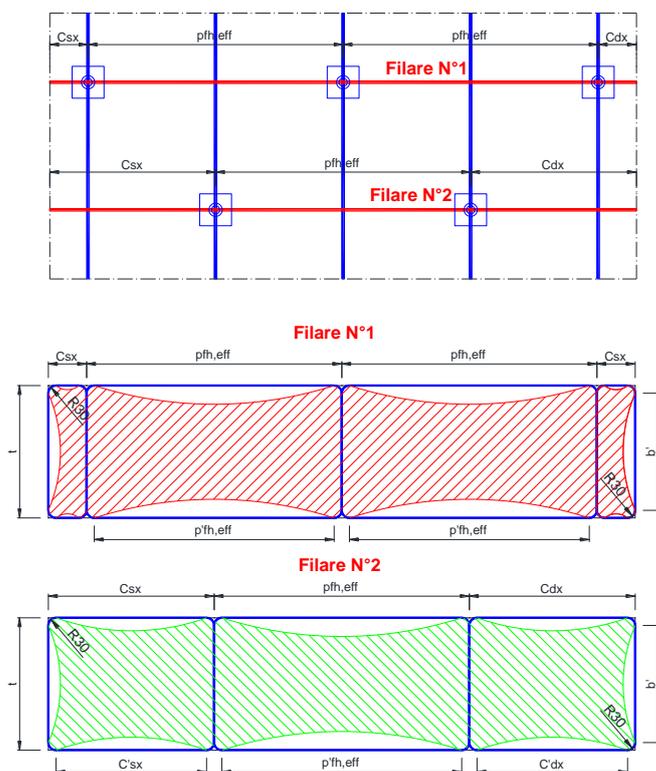
$k_{eff} = k_H k_V$  è il coefficiente di efficienza del confinamento

$k_H$  è il coefficiente di efficienza orizzontale

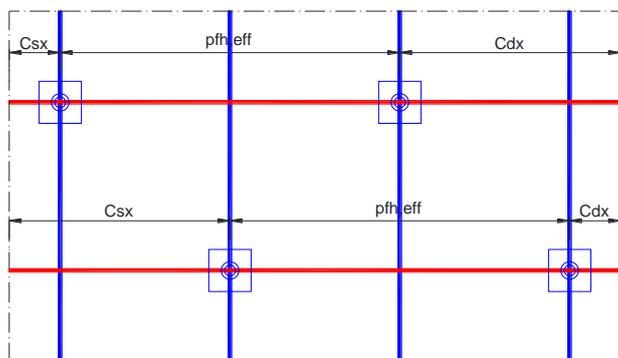
$k_V$  è il coefficiente di efficienza verticale

Per il calcolo dei parametri  $f_l$ ,  $k_H$  e  $k_V$ , si precisa quanto segue:

- Il confinamento è trattato secondo le formulazioni riportate nel caso di fasciatura esterna discontinua e barre intermedie;
- La **fasciatura esterna** è costituita dalle nastrature perimetrali considerate come continue a vantaggio di sicurezza. In realtà nel caso di almeno una foratura trasversale la singola maglia esterna composta da più maglie chiuse è senz'altro più efficiente del considerarla come unica.
- Le **barre interne** come descritte nella DT-200 sono costituite dal totale di nastri passanti nel singolo foro prendendo sia i nastri orizzontali che verticali omogeneizzati in termini di resistenza a quelli orizzontali
- Il **passo orizzontale delle barre** è pari ovviamente a quello dei nastri verticali ovvero a quello efficace nel caso di disposizione a Quinconce.



Nel caso della maglia a Quinconce, come evidenziato dalle precedenti figure, ogni maglia/filare orizzontale si alterna in due configurazioni geometriche, sia in termini di numero di forature trasversali, sia in termini di distanza dal bordo delle stesse. Queste in particolare possono assumere anche valori differenti tra lato sinistro e destro.



Le formulazioni riportate invece nelle Istruzioni DT-200 comprendono unicamente situazioni di simmetria, pertanto verranno adattate al nostro caso particolare.

La pressione di confinamento  $f_1$ , di un pannello murario di larghezza  $b$  e spessore  $d$  confinato con nastri CAM con passo orizzontale  $p_m$  è dato da

$$f_1 = \frac{1}{2} \min \{ f_{ydh} \cdot \rho_{sx}; f_{ydl} \cdot (\rho_{sy} + 2 \cdot \rho_{by}) \}$$

$$\rho_{sx} = \frac{4 \cdot t_{fht} \cdot b_f}{t \cdot p_{fv}} \text{ incidenza d'armatura CAM in direzione parallela al pannello}$$

$$\rho_{sy} = \frac{4 \cdot t_{fht} \cdot b_f}{L \cdot p_{fv}} \text{ incidenza d'armatura CAM in direzione ortogonale al pannello}$$

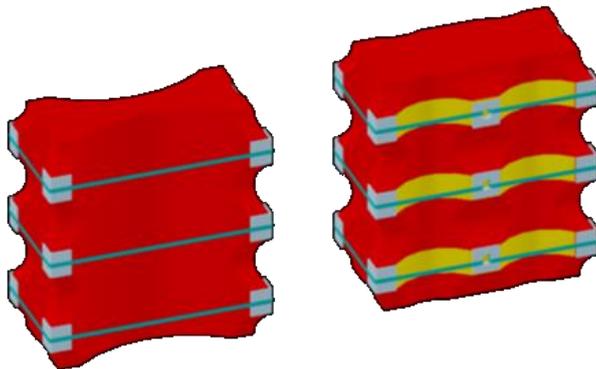
$$\rho_{by} = \frac{n_{fori} \cdot A_b}{L \cdot p_{fv}} \text{ incidenza d'armatura CAM equivalente a barre trasversali}$$

dove  $A_b$  rappresenta l'area totale dei nastri passanti per ogni foro trasversale equivalenti a barre. Tale area può essere convenientemente posta:

$$A_b = b_f \cdot \left( 2 \cdot t_{fht} + 2 \cdot t_{fvt} \cdot \frac{f_{ydv}}{f_{ydh}} \right)$$

Il **coefficiente di efficienza orizzontale** è fornito dal rapporto tra l'area confinata e quella totale,  $A_m$ :

$$k_H = \left[ 1 - \frac{1}{3 \cdot L \cdot t} \cdot \left( (c_{sx} - 2 \cdot R)^2 + (p_{fh,eff} - 2 \cdot R)^2 \cdot (n_{fori} - 1) + (t - 2 \cdot R)^2 + (c_{dx} - 2 \cdot R)^2 \right) \right]$$





Cert. n. AJA14/AN1904



Cert. n. AJA14/AN1904



Cert. n. AJA14/AN1904



Cert. n. AJA14/AN1904



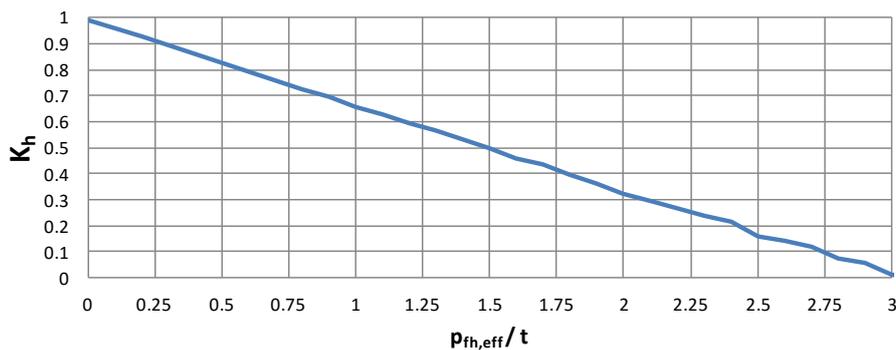
Cert. n. AJA14/AN1904



Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la Qualità ISO 9001:2008

**Coefficiente di efficienza orizzontale**

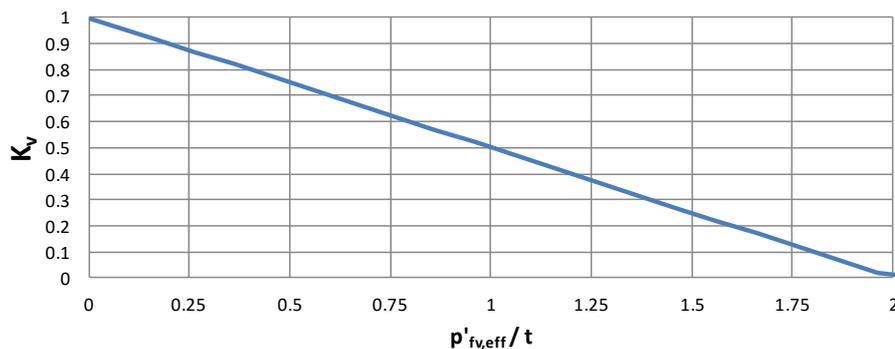


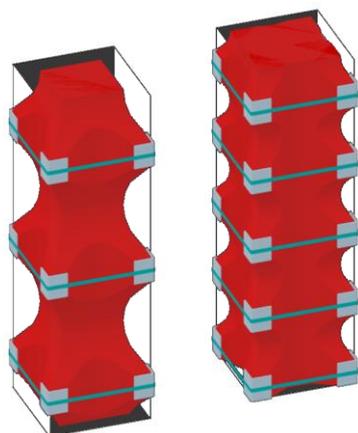
Dall'andamento del grafico del coefficiente di efficienza orizzontale si evince come il suo andamento sia pressoché lineare con il passo orizzontale dei fori e si annulla l'effetto del confinamento per un passo superiore a 3 volte lo spessore del pannello.

Il **coefficiente di efficienza verticale** vale:

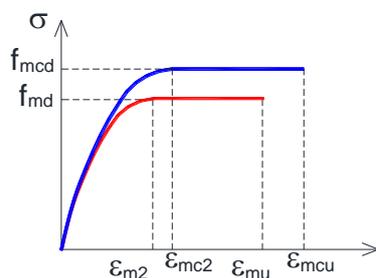
$$k_v = \left(1 - \frac{p'_{fv}}{2 \cdot \min\{L, t\}}\right)^2 = \left(1 - \frac{p_{fv} - b_f}{2 \cdot \min\{L, t\}}\right)^2$$

**Coefficiente di efficienza verticale**





Il grafico del coefficiente di efficienza verticale dipende ovviamente dal passo verticale (tanto minore è il passo verticale tanto maggiore è l'efficienza).



Modello costitutivo muratura confinata

### 5.3.1 Calcolo dell'aumento di duttilità a compressione della muratura confinata mediante il C.A.M.

Il confinamento effettuato con il CAM aumenta la capacità resistente a compressione centrata dell'elemento murario e ne aumenta anche la deformazione ultima migliorandone la duttilità a compressione.

Il miglioramento in termini di duttilità è espresso mediante l'incremento della deformazione ultima attraverso la seguente espressione:

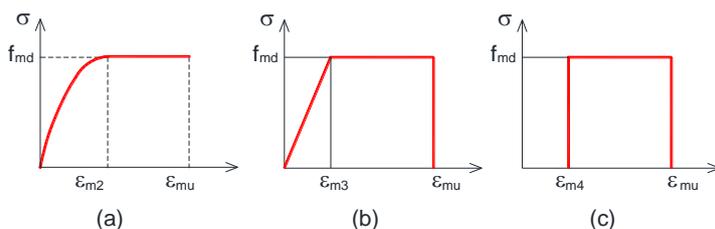
$$\varepsilon_{mcu} = 0.0035 + 0.015 \cdot \sqrt{\frac{f_{1,eff}}{f_{md}}}$$

## 5.4 PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (DM 2008)

La verifica a pressoflessione della muratura, analogamente al calcestruzzo, può essere eseguita sia con analisi lineare che non lineare. Nel caso di verifica non lineare è fondamentale la scelta del diagramma tensione-deformazione. Le tensioni nella muratura e nell'armatura si dedurranno, a partire dalle deformazioni, utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione.

### Diagrammi di calcolo tensione-deformazione della muratura

Per il diagramma tensione-deformazione della muratura è possibile adottare opportuni modelli rappresentativi del reale comportamento del materiale, modelli definiti in base alla resistenza di calcolo  $f_{md}$  ed alla deformazione ultima  $\varepsilon_{mu}$



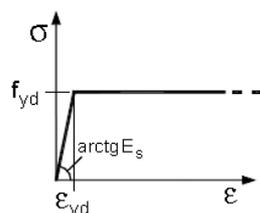
Legami costitutivi adottabili per il materiale muratura  
 a) parabola-rettangolo ; b) elastico-perfettamente plastico ; c) rettangolare equivalente (stress-block)

In cui si assume:

$$\varepsilon_{mu} = 0.0035$$

$$\varepsilon_{el} = f_{md} / E_m$$

### Diagramma di calcolo tensione-deformazione dell'acciaio dei nastri



Nel proseguo del testo verranno espone le formulazioni per la pressoflessione attraverso formule esplicite per diagrammi tensionali della muratura di tipo a) e b). Le formulazione mediante parabola-rettangolo, essendo più complesse come trattazione, esulano dai fini del presente documento sebbene si considerano preferibili in quanto forniscono soluzioni più accurate.



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

## 5.4.1 Muratura non armata

### 5.4.1.1 Comportamento rigido-plastico (Stress-Block – DM2008)

Le normative vigenti esprimono la resistenza a pressoflessione di una muratura non rinforzata come:

$$M_u = \frac{L^2 \cdot t \cdot \sigma_0}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0,85 \cdot f_{md}} \right)$$

dove

$L$  è la lunghezza del pannello

$t$  è lo spessore del pannello

$f_{md}$  resistenza di calcolo a compressione della muratura non rinforzata già ridotta per il fattore di conoscenza FC

$\sigma_0 = N / (L \cdot t)$  tensione verticale media

### 5.4.1.2 Comportamento elastico-perfettamente plastico (NTC 2008)

Nel caso di comportamento della muratura di tipo elastico perfettamente plastico si ha:

$$M_{Rm} = \frac{f_{md} \cdot t}{2} \left[ (x - x_{el}) \cdot (L - (x - x_{el})) + \frac{x_{el}}{2} \cdot \left( \frac{L}{2} - x + \frac{2}{3} x_{el} \right) \right]$$

Dove

$$x_{el} = \frac{x \cdot f_{md}}{\varepsilon_{mu} \cdot E_m}$$

posizione della fibra da cui parte la plasticità nella

muratura

$$x = \frac{\sigma_0 \cdot L}{f_{md} \cdot \left( 1 - \frac{f_{md}}{2 \cdot \varepsilon_{mu} \cdot E_m} \right)}$$

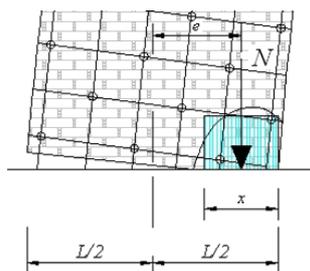
posizione dell'asse neutro rispetto al lembo compresso

## 5.4.2 Muratura Rinforzata mediante Sistema CAM

### 5.4.2.1 Comportamento rigido-plastico (Stress-Block – DM2008)

La resistenza a pressoflessione di una muratura armata, a cui il sistema CAM è assimilato, viene valutata secondo quanto previsto dalle nuove NTC2008 al punto 7.8.3.2.1 e cioè assumendo un diagramma delle compressioni rettangolare, con profondità  $0.8x$ , dove  $x$  rappresenta la profondità dell'asse neutro, e sollecitazione pari a  $0.85f_{mcd}$ . Le deformazioni massime considerate sono pari a  $\epsilon_{mc}$  della muratura compressa confinata (> rispetto alla  $\epsilon_{mu} = 0.0035$  della muratura originaria) e  $\epsilon_s = 0.04$  per l'acciaio teso.

Per  $\epsilon_{mcu}$  vd. aumento duttilità per confinamento trasversale – cap. 5.3.



Schema di calcolo della resistenza a Pressoflessione

Nella determinazione della resistenza a pressoflessione influiscono quindi

- $A_{s,vert}$  pari a due volte l'area di un nastro per il numero di avvolgimenti verticali
- $A_{s,vpigiolo}$  pari a due volte l'area di un nastro per il numero di avvolgimenti verticali posizionati sugli spigoli
- $p_{fh}$  interasse degli avvolgimenti verticali

Con la seguente formulazione del momento resistente:

$$M_{Rd} = (0.85 \cdot f_{mcd}) \cdot 0.8x \cdot t \cdot \left( \frac{L}{2} - 0.4x \right) + f_{yd,v} \cdot A_{s,vert} / p_{fh} \cdot (L - x) \cdot \frac{x}{2} + f_{yd,sp} \cdot A_{s,spigolo} \cdot \left( \frac{L}{2} - c \right)$$

Dove

- $f_{mcd}$  resistenza di calcolo a compressione della muratura confinata (vd. Cap. 5.3)
- $f_{yd,v}$  tensione di calcolo del nastro diffuso verticale
- $f_{yd,sp}$  tensione di calcolo del nastro di spigolo verticale



Cert. n. AJA14/AN1904

UNI EN ISO 3834-2

ISO 9001:2008

0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

c distanza dal bordo libero delle nastrature verticali di spigolo

$$x = \frac{\sigma_0 \cdot L \cdot t + A_{s,vert} / p_{fh} \cdot f_{yd,v} \cdot L + A_{s,spigolo} \cdot f_{yd,sp}}{0.8 \cdot (0.85 \cdot f_{mcd}) \cdot t + A_{s,vert} / p_{fh} \cdot f_{yd}}$$

NOTA: la valutazione del momento resistente ultimo in questo caso è determinata con l'ipotesi di diagramma a blocchi e pertanto risente dell'approssimazione sulla effettiva tensione di snervamento delle maglie eventualmente più prossime all'asse neutro.

#### 5.4.2.2 Comportamento elastico-perfettamente plastico (NTC 2008)

Nel caso di muratura rinforzata, analogamente al calcestruzzo, utilizzando il modello triangolo-rettangolo per la muratura e per l'acciaio nascono diverse regioni in cui il comportamento è diversificato dal fatto che l'acciaio o la muratura siano o meno plasticizzati.

Il Sistema CAM fornisce attraverso il posizionamento dei nastri verticali sulle due facce della parete una armatura aggiuntiva. Tale armatura è pretensionata ad una tensione pari a  $f_{pret}$ . Tale pretensionamento modifica lo stato iniziale di tensione verticale del pannello.

Nel seguito si utilizzerà un modello matematico di calcolo della resistenza a pressoflessione nel piano comprendente le seguenti ipotesi di base:

- Il pannello murario si trova in uno stato tensionale verticale iniziale non nullo prima dell'intervento con il CAM, causato dai carichi permanenti agenti sulla parete;

$$\sigma_0 = \frac{N_0}{Lt} \quad \text{tensione iniziale verticale della muratura}$$

$$\varepsilon_{m0} = \frac{N_0}{E_m Lt} \quad \text{deformazione verticale iniziale della muratura}$$

- Posizionati i nastri, sia orizzontali che verticali, vengono poi pretensionati alla tensione di pretensionamento che per semplicità “confonderemo” con quella di snervamento dei nastri inox. Tale pretensionamento fornirà, per i **nastri orizzontali**, un aumento della duttilità a compressione della muratura ed un eventuale aumento di resistenza a compressione (e a taglio, vedere capitoli successivi). Il pretensionamento dei **nastri verticali** aggiungerà una tensione verticale di “precompressione” alla parete ed una corrispondente deformazione verticale della stessa. I nastri partiranno da uno stato tensionale e deformativo non nullo.



Cert. n. AJA14/AN1904

UNI EN ISO 3834-2

ISO 9001:2008

0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

$$\sigma_{m0} = \frac{1}{L \cdot t} \left( N_0 + \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} \cdot f_{yd,v} + A_{s,spigolo} \cdot f_{yd,sp} \right)$$

*tensione media sulla muratura a seguito  
 del pretensionamento dei nastri verticali*

$$\varepsilon_{m0} = \frac{1}{E_m t L} \left( N_0 + \frac{A_s}{p_{fh}} \cdot f_{yd} + A_{s,spigolo} \cdot f_{yd,sp} \right)$$

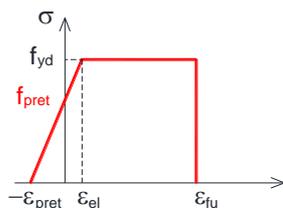
*deformazione media sulla muratura a  
 seguito del pretensionamento dei nastri  
 verticali*

$$\varepsilon_{f0} = \frac{f_{pret}}{E_s}$$

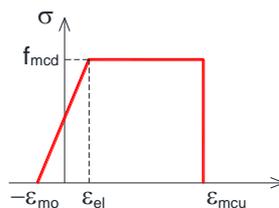
*deformazione iniziale nastri a seguito del  
 pretensionamento*

Il calcolo dovrà pertanto tener conto sia dello stato deformativo iniziale della muratura, sia dell'armatura aggiuntiva CAM, andando ad individuare le regioni di sovrapposizione. Ciascuna legatura andrà considerata per l'effettivo stato di sollecitazione, in base alla deformazione raggiungibile. Bisogna quindi considerare che, anche nella porzione di muratura soggetta a compressione saranno presenti nastri reagenti a trazione, qualora la deformazione si mantenga tale da non 'scaricare' il nastro dalla pretensione impostagli in fase iniziale.

Le considerazioni svolte fin qui restano valide anche qualora si scelga di adottare il più complesso legame parabola-rettangolo.



Modifica modello costitutivo dei nastri  
 per effetto del pretensionamento iniziale



Modifica modello costitutivo muratura  
 per effetto del pretensionamento iniziale

Nella figura precedente sono riportati i diagrammi tensionali per la muratura e per i nastri nella condizione iniziale di compressione non nulla sulla muratura e di pretensione dei nastri. Per consentire un calcolo agevole dei momenti resistenti tali diagrammi tensionali possono essere considerati come traslati delle quantità,  $\varepsilon_{pret}$  per i nastri e  $\varepsilon_{mo}$  per la muratura.

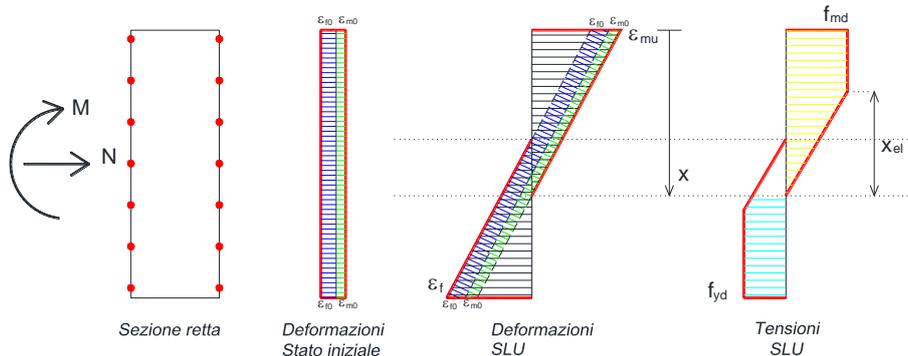
Nel caso in esame visto il basso tenore di armatura e l'elevato rapporto tra i moduli elastici tra la muratura e l'acciaio il caso in cui la muratura non sia plasticizzata non verrà preso in considerazione. Pertanto si distingueranno solo due regioni.

- **Regione 1.** Asse neutro interno alla sezione;
- **Regione 2.** Asse neutro esterno alla sezione.

**REGIONE 1**

Data la precompressione iniziale dei nastri ed il carico verticale iniziale agente sul pannello la configurazione iniziale degli elementi (parete e nastri CAM) è non nulla.

A partire da tale configurazione iniziale e portando a SLU la sezione per pressoflessione si ottengono i diagrammi sotto riportati.



La posizione dell'asse neutro può essere ricavata per equilibrio alla traslazione tramite il procedimento seguente:

Si ipotizza che lo sforzo normale iniziale  $N_0$  possa essere differente da quello finale  $N$  in funzione della ripartizione su una struttura completa tra i maschi murari a seguito di una sollecitazione sismica.

Ponendo le seguenti:

$x$  *posizione dell'asse neutro (lato muratura) rispetto al lembo compresso*

$$y = H - x \cdot \left( 1 - \frac{\varepsilon_{m0} + \varepsilon_{f0}}{\varepsilon_{mu}} \right) \quad \text{posizione dell'asse neutro (lato acciaio) rispetto al lembo teso}$$

$$x_{el} = \frac{f_{mde}}{E_m \cdot \varepsilon_{mu}} \cdot x \quad \text{porzione di muratura compressa in regime elastico}$$

$$y_{el} = \frac{f_{yd,v}}{E_f \cdot \varepsilon_f} \cdot y \quad \text{porzione di zona tesa con nastri in regime elastico}$$

L'equazione di equilibrio alla traslazione è la seguente:

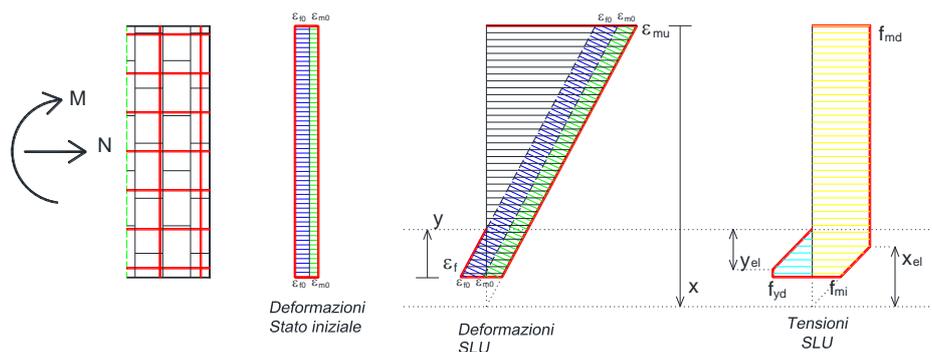
$$N = f_{mde} \cdot t \cdot \left( x - \frac{x_{el}}{2} \right) - \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} \cdot f_{yd,v} \cdot \left( y - \frac{y_{el}}{2} \right) - A_{s,spigolo} \cdot f_{yd,sp}$$

Da questa equazione è possibile ricavare per via numerica la posizione dell'asse neutro x.

Pertanto per il momento ultimo si ottiene:

$$M_{Rd} = \frac{f_{mde} \cdot t}{2} \cdot (x - x_{el}) \cdot (H - x + x_{el}) + \frac{f_{mde} \cdot t}{2} \cdot x_{el} \cdot \left( \frac{H}{2} - x + \frac{2}{3} x_{el} \right) + \frac{f_{yd,v}}{2} \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} \cdot (y - y_{el}) \cdot (H - y + y_{el}) + f_{yd,v} \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} \cdot \frac{y_{el}}{2} \cdot \left( \frac{H}{2} - y + \frac{2}{3} y_{el} \right) + f_{yd,sp} \cdot A_{s,spigolo} \cdot \left( \frac{L}{2} - c \right)$$

## REGIONE 2



Ricordando le notazioni precedenti si ha:



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
 Qualità ISO 9001:2008

$$f_{mi} = f_{mdc} \left( 1 - \frac{H - x + x_{el}}{x_{el}} \right)$$

L'equazione di equilibrio alla traslazione è la seguente:

$$N = f_{mdc} \cdot t \cdot (x - x_{el}) + \left( \frac{f_{mdc} + f_{mi}}{2} \right) \cdot t \cdot (H - x + x_{el}) - f_{yd,v} \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} \cdot (y - y_{el}) - f_{yi,v} \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} \cdot \frac{y_{el}}{2} - A_{s,spigolo} \cdot f_{yi,sp}$$

Dove si è posto

$$f_{yi,v} = \min(\varepsilon_{f,v} \cdot E_f, f_{yd,v}) \quad \text{tensione al lembo inferiore teso dell'acciaio dei nastri}$$

$$f_{yi,sp} = \min(\varepsilon_{f,sp} \cdot E_f, f_{yd,sp}) \quad \text{tensione dell'acciaio dei nastri di spigolo}$$

$$x_{el} = \begin{cases} \text{se } x - x_{el} \leq H & x_{el} = \frac{f_{mdc}}{E_m \cdot \varepsilon_{mu}} \cdot x \\ \text{se } x - x_{el} > H & x_{el} = x - H \end{cases}$$

Dall'equazione di equilibrio a traslazione è possibile ricavare per via numerica la posizione dell'asse neutro x.

Pertanto per il momento ultimo si ottiene:

$$M_{Rd} = \frac{(f_{mdc} - f_{mi}) \cdot t \cdot (x - x_{el}) \cdot (H - x + x_{el})}{2} - \frac{(f_{mdc} - f_{mi}) \cdot t \cdot x_{el} \cdot (H - x + x_{el})}{2} \left( \frac{2}{3} (x - x_{el}) - \frac{H}{6} \right) + \frac{f_{yd,v}}{2} \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} \cdot (y - y_{el}) \cdot (H - y + y_{el}) + f_{yi,v} \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} \cdot \frac{y_{el}}{2} \cdot \left( \frac{H}{2} - y + \frac{2}{3} y_{el} \right) + f_{yi,sp} \cdot A_{s,spigolo} \cdot \left( \frac{L}{2} - c \right)$$

## 5.5 PRESSOFLESSIONE VERTICALE FUORI PIANO (DM 2008)

Relativamente alle verifiche fuori piano è possibile ricavare il valore di resistenza allo SLU della sezione pressoinflessa in muratura. Il calcolo delle sollecitazioni agenti fuori dal piano, come previsto dalla normativa, costituiscono verifiche locali e devono essere eseguite a parte senza coinvolgere il comportamento globale dell'intera struttura. Per tale motivo non è necessario effettuare un calcolo non lineare (pushover) delle sollecitazioni ma è sufficiente un calcolo lineare per equilibrio.

Le verifiche di sicurezza vengono pertanto eseguite confrontando direttamente il momento resistente con quello agente.

Il calcolo del momento resistente, che di seguito si espone, può essere effettuato mediante una opportuna scelta del diagramma tensione-deformazione. Le tensioni nella muratura e nell'armatura si dedurranno, a partire dalle deformazioni, utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione.

### 5.5.1 Muratura non armata

#### 5.5.1.1 Comportamento rigido-plastico (Stress-Block – DM2008)

Le normative vigenti esprimono la resistenza a pressoflessione di una muratura non rinforzata come:

$$M_u = \frac{t^2 \cdot L \cdot \sigma_0}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0,85 \cdot f_{md}} \right)$$

dove

$L$  è la lunghezza del pannello

$t$  è lo spessore del pannello

$f_{md}$  resistenza media a compressione della muratura non rinforzata ridotta per il fattore di conoscenza FC

$\sigma_0 = N / L \cdot t$  tensione verticale media

#### 5.5.1.2 Comportamento elastico-perfettamente plastico

Nel caso di comportamento della muratura di tipo elastico perfettamente plastico si ha:

$$M_{Rm} = \frac{f_{md} \cdot L}{2} \cdot \left( x^2 - \frac{x_{el}^2}{3} \right) + \sigma_0 \cdot L \cdot t \cdot \left( \frac{t}{2} - x \right)$$

Dove

$x_{el} = \frac{x \cdot f_{md}}{\varepsilon_{mu} \cdot E_m}$  posizione della fibra da cui parte la plasticità nella muratura

$$x = \frac{\sigma_0 \cdot t}{f_{md} \cdot \left(1 - \frac{f_{md}}{2 \cdot \varepsilon_{mu} \cdot E_m}\right)}$$

*posizione dell'asse neutro rispetto al lembo compresso*

## 5.5.2 Muratura rinforzata mediante Sistema CAM

### 5.5.2.1 Comportamento rigido-plastico (Stress-Block – DM2008)

La formulazione del momento resistente è la seguente:

$$M_{Rd} = (0.85 \cdot f_{mcd}) \cdot 0.8x \cdot L \cdot \left(\frac{t}{2} - 0.4x\right) + f_{yd,v} \cdot A_{s,vert} / p_{fh} \cdot L \cdot \frac{t}{2} + f_{yi,sp} \cdot A_{s,spigolo} \cdot \frac{t}{2}$$

Dove

$f_{mcd}$  resistenza di calcolo a compressione della muratura confinata (vd. Cap.5.3)  
 $f_{yd}$  tensione di calcolo del nastro

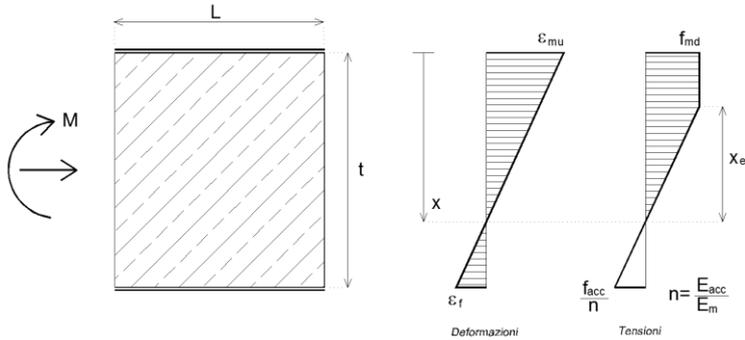
$$x = \frac{\sigma_0 \cdot t + A_{s,vert} / p_{fh} \cdot f_{yd,v} + f_{yi,sp} \cdot A_{s,spigolo}}{0.8 \cdot (0.85 \cdot f_{mcd})}$$

### 5.5.2.2 Comportamento elastico-perfettamente plastico (NTC 2008)

Nel caso di muratura rinforzata, analogamente al calcestruzzo, utilizzando il modello triangolo-rettangolo per la muratura e per l'acciaio nascono diverse regioni in cui il comportamento è diversificato dal fatto che l'acciaio o la muratura siano o meno plasticizzati. Nel caso in esame visto il basso tenore di armatura e l'elevato rapporto tra i moduli elastici tra la muratura e l'acciaio il caso in cui la muratura non sia plasticizzata non verrà preso in considerazione. Pertanto si distingueranno solo due regioni.

- **Regione 1.** Muratura plasticizzata e acciaio elastico;
- **Regione 2.** Muratura ed acciaio plasticizzati.

**REGIONE 1**



La posizione dell'asse neutro può essere ricavata per equilibrio alla traslazione tramite la seguente:

$$N = C - T$$

Dove

$$N = \sigma_o \cdot L \cdot t$$

T e C sono rispettivamente l'integrale delle componenti a trazione e compressione date dall'acciaio e dalla muratura. In particolare si ha:

$$T = \frac{\epsilon_{mu}}{x} \cdot (t - x) \cdot E_f \cdot \left( L \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} + A_{s,spigolo} \right)$$

Ponendo

$$x_{el} = \frac{x \cdot f_{mdc}}{\epsilon_{mu} \cdot E_m}, \text{ posizione della fibra da cui parte la plasticità nella muratura}$$

Si ha

$$C = f_{mdc} \cdot L \cdot x \cdot \left( 1 - \frac{f_{mdc}}{2 \cdot \epsilon_{mu} \cdot E_m} \right)$$

Dalle quali si ottiene

$$\sigma_o \cdot L \cdot t = f_{mdc} \cdot L \cdot \left( x - \frac{x_{el}}{2} \right) - \frac{\epsilon_{mu}}{x} \cdot (t - x) \cdot E_f \cdot \left( L \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} + A_{s,spigolo} \right)$$

Da questa equazione risolvendo la funzione su x di secondo grado si ricava la posizione dell'asse neutro. Pertanto per il momento ultimo si ottiene:

$$M_{Rd} = \frac{f_{mdc} \cdot L}{2} \cdot \left( x^2 - \frac{x_{el}^2}{3} \right) + \frac{\varepsilon_{mu}}{x} \cdot (t-x)^2 \cdot E_f \cdot \left( L \cdot \frac{A_{s,vert}}{p_{fh}} + A_{s,spigolo} \right) + \sigma_0 \cdot L \cdot t \cdot \left( \frac{t}{2} - x \right)$$

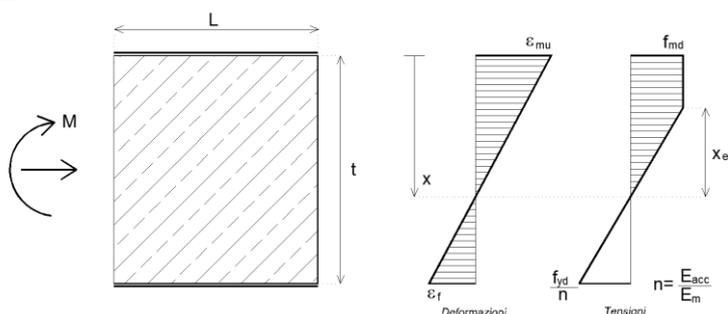
E' bene notare come il momento ultimo può essere calcolato in Regione 1 solo se la tensione dell'acciaio rimane inferiore a quella massima di calcolo, scontata del pretensionamento effettuato in fase di posa, ovvero vale la disuguaglianza:

$$f_y = \frac{\varepsilon_{mu}}{x} \cdot (L-x) \cdot E_f \leq (f_{yd,v} - f_{pret})$$

Dove

$f_{pret}$  = tensione di pretensionamento dei nastri

## **REGIONE 2**



La posizione dell'asse neutro può essere ricavata per equilibrio alla traslazione tramite la seguente:

$$N = C - T$$

Dove

$$N = \sigma_0 \cdot L \cdot t$$

T e C sono rispettivamente l'integrale delle componenti a trazione e compressione date dall'acciaio e dalla muratura. In particolare si ha:

$$T = f_{yd,v} \cdot A_{s,vert} / p_{fh} \cdot L + f_{yd,sp} \cdot A_{s,spigolo}$$

$$C = f_{mdc} \cdot L \cdot x \cdot \left( 1 - \frac{f_{mdc}}{2 \cdot E_m \cdot \varepsilon_{mu}} \right)$$

Dalle quali si ottiene per l'asse neutro la seguente espressione:

## EDIL CAM® Sistemi S.r.l.

Cuciture Attive dei Manufatti strutturali  
Rinforzo ed adeguamento sismico

Sede legale e Uffici: Via dei Genieri, 39 – 00143 ROMA  
Tel. 06/5073602 - Fax 06/60507041



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_{s,vert} / p_{fh} + f_{yd,sp} \cdot A_{s,spigolo} / L + \sigma_0 \cdot t}{f_{mdc} \cdot \left(1 - \frac{f_{mdc}}{2 \cdot E_m \cdot \varepsilon_{mu}}\right)}$$

Per il momento ultimo si ottiene dunque:

$$M_{Rd} = \frac{f_{mdc} \cdot L}{2} \cdot \left(x^2 - \frac{x_{el}^2}{3}\right) + f_{yd} \cdot A_s / p_{fh} \cdot L \cdot (t - x) + f_{yd,sp} \cdot A_{s,spigolo} \cdot (t - x) + \sigma_0 \cdot L \cdot t \cdot \left(\frac{t}{2} - x\right)$$

Dove si è posto:

$$x_{el} = \frac{x \cdot f_{md}}{\varepsilon_{mu} \cdot E_m} \quad \text{posizione della fibra da cui parte la plasticità nella muratura}$$

## 5.6 PRESSOFLESSIONE ORIZZONTALE FUORI PIANO

Relativamente alle verifiche fuori piano è possibile ricavare il valore di resistenza allo SLU della sezione inflessa in muratura. Il calcolo delle sollecitazioni agenti fuori dal piano, come previsto dalla normativa, costituiscono verifiche locali e devono essere eseguite a parte senza coinvolgere il comportamento globale dell'intera struttura. Per tale motivo non è necessario effettuare un calcolo non lineare (pushover) delle sollecitazioni ma è sufficiente un calcolo lineare per equilibrio.

Le verifiche di sicurezza vengono pertanto eseguite confrontando direttamente il momento resistente con quello agente.

Il calcolo del momento resistente, che di seguito si espone, può essere effettuato mediante una opportuna scelta del diagramma tensione-deformazione. Le tensioni nella muratura e nell'armatura si dedurranno, a partire dalle deformazioni, utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione.

### 5.6.1 Muratura non armata

Per la muratura non armata considerando la muratura non reagente a trazione non è possibile scrivere le equazioni di equilibrio, pertanto l'unico metodo è quello della valutazione dello stato compresso dell'arco ideale che viene a generarsi all'interno dello spessore  $t$  della parete.

Una volta ricavato il valore di compressione e verificata l'ammissibilità delle tensioni devono essere eseguite le verifiche ad espulsione delle pareti di bordo, che in questo caso funzionano anche da controvento per la parete in esame, e quella a taglio mediante la  $f_{vd}$ , tenendo conto dello stato di compressione orizzontale che si genera





Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Dalle quali si ottiene per l'asse neutro la seguente espressione:

$$x = \frac{f_{yd,h} \cdot A_{s,orizz} / p_{fv}}{f_{md} \cdot \left(1 - \frac{f_{mdc}}{2 \cdot E_m \cdot \varepsilon_{mu}}\right)}$$

Per il momento ultimo si ottiene dunque:

$$M_{Rd} = \frac{f_{mdc} \cdot L}{2} \cdot \left(x^2 - \frac{x_{el}^2}{3}\right) + f_{yd,h} \cdot A_{s,orizz} / p_{fv} \cdot L \cdot (t - x)$$

Dove si è posto:

$$x_{el} = \frac{x \cdot f_{mdc}}{\varepsilon_{mu} \cdot E_m} \quad \text{posizione della fibra da cui parte la plasticità nella muratura}$$

## 5.7 NOTE SULL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO DI RINFORZO A PRESSOFLESSIONE

Per rendere efficace il ruolo delle armature verticali anche al piano di spicco dell'intervento (solitamente piano terra), occorre che siano opportunamente prolungate in profondità nella zona sottoterra, eventualmente ancorando lo stesso nastro ripiegato a cappio all'interno del foro di ancoraggio successivamente riempito di legante. In tale modo all'atto della chiusura della legatura di ancoraggio in prima approssimazione si ha la contestuale verifica della sua capacità portante.

La profondità ed il diametro di inghisaggio devono essere dimensionati per trasferire la forza di snervamento delle relative legature.

In prima approssimazione la profondità di ancoraggio deve essere tale da coinvolgere una massa di muratura equivalente alla forza indotta dalla legatura secondo la formulazione seguente

$$L_{\text{foro}} = \frac{f_{yd,v} \cdot A_{nv}}{p_{fv} \cdot \gamma_M \cdot \frac{t}{2}}$$

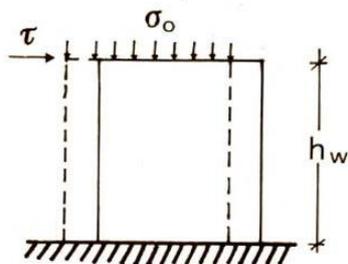
**Qualora tale intervento non possa essere effettuato, l'incremento a trazione delle legature, nelle verifiche locali a pressoflessione, non potrà essere considerato.**

## 5.8 RESISTENZA A TAGLIO

La rottura per taglio presenta notevoli difficoltà interpretative legate alla dispersione dei valori della resistenza sperimentale del pannello (effetto tipico delle rotture fragili) e alla difficoltà di prevedere la distribuzione delle tensioni locali all'atto della rottura. Per questi motivi, la valutazione della resistenza a taglio si basa essenzialmente su metodologie semplificate. Tipicamente, gli approcci maggiormente utilizzati sono basati sul criterio del massimo sforzo di trazione e sul criterio di Mohr-Coulomb. Il primo criterio di resistenza a taglio considera la rottura per fessurazione diagonale, mentre il secondo la rottura per scorrimento.

La resistenza da considerare nelle verifiche sarà la minore tra le due.

### 5.8.1 Taglio per Scorrimento (Mohr-Coulomb)



Meccanismo di rottura per taglio-scorrimento

Le NTC 2008 esprimono la resistenza a taglio-scorrimento di una muratura **non rinforzata** come:

$$V_{if} = l' \cdot t \cdot f_{vd}$$

dove

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = \frac{f_{vko} + 0.4\sigma_n}{\gamma_M} \quad \text{tensione resistente di calcolo a taglio}$$

$t$  spessore del pannello

$\sigma_n = N / l' \cdot t$  tensione media a compressione sul pannello

$l'$  lunghezza della sola **parte compressa** della parete ricavata dal calcolo a pressoflessione.

**Il calcolo della zona compressa** viene eseguito ipotizzando un diagramma di reazione triangolare ed imponendo l'equilibrio con il valore di  $M_{Sd}$  ( $e = M_{Sd}/N$ ;  $l' = 3 \cdot e$ ), e **NON** sul valore di  $M_{Rd}$ .

## EDIL CAM® Sistemi S.r.l.

Cuciture Attive dei Manufatti strutturali  
Rinforzo ed adeguamento sismico

Sede legale e Uffici: Via dei Genieri, 39 – 00143 ROMA  
Tel. 06/5073602 - Fax 06/60507041



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2

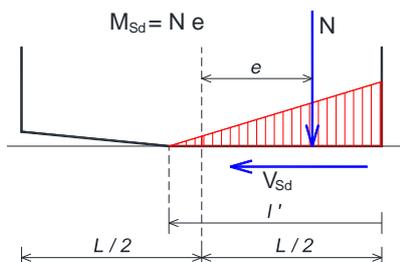


ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002



Solo nel caso in cui  $M_{Sd} > M_{Rd}$ , il parametro ( $l'$ ) viene calcolato sul valore  $M_{Rd}$ .

Sul valore da assumere per  $f_{vko}$  va precisato che nel caso di murature esistenti non viene specificato dalle norme ma viene fornito il valore della tensione tangenziale media  $\tau_0$ . Per ricavare il valore corretto  $f_{vko}$  si può procedere secondo la procedure seguente.

La tensione tangenziale media nel caso di murature esistenti e nuove assume nella norma nomenclatura diversa ma rappresentano senz'altro la stessa grandezza a meno del fattore di confidenza.

Pertanto assumendo  $f_{vmo} = \tau_0 / FC$  e ricordando che nelle NTC2008 la  $f_{vko}$  è legata alla  $f_{vmo}$  attraverso l'espressione  $f_{vmo} = f_{vko} / 0.7$ , per la resistenza caratteristica taglio si ottiene

$$f_{vko} = f_{vmo} \cdot 0.7 = \frac{\tau_0 \cdot 0.7}{FC}$$

L'espressione finale della resistenza a taglio risulta dunque:

$$f_{vd} = \frac{f_{vko} + 0.4\sigma_n}{\gamma_M} = \frac{\frac{\tau_0 \cdot 0.7}{FC} + 0.4\sigma_n}{\gamma_M}$$

*Analisi lineare*

Nel caso di analisi non lineare l'espressione della  $f_{vd}$  può essere posta:

$$f_{vd} = f_{vmo} + 0.4\sigma_n = \frac{\tau_0}{FC} + 0.4\sigma_n$$

*Analisi non lineare*

La norma specifica anche che la tensione resistente a taglio sia comunque limitata. Tale limitazione è espressa attraverso le seguenti formulazioni:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_n \leq \begin{cases} 1.4 \cdot \bar{f}_{bk} = 1.4 \cdot f_{md} \cdot FC \\ 1.5 \text{Mpa} \end{cases}$$

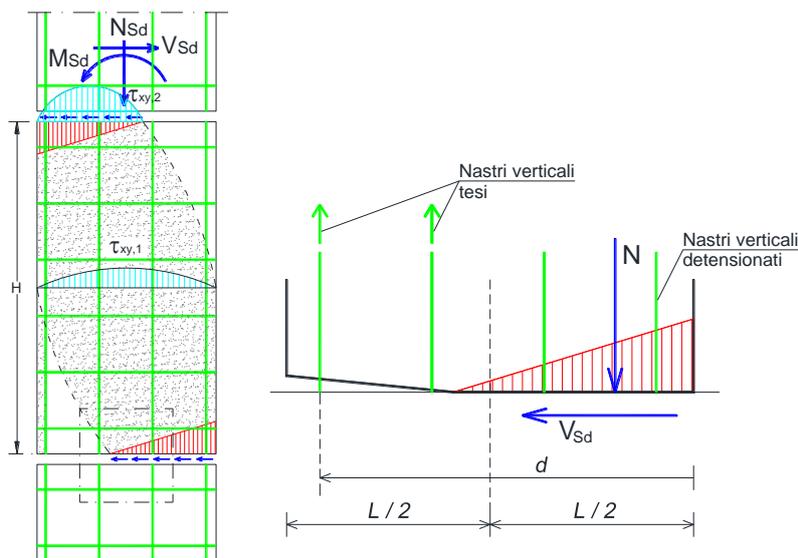
*Analisi lineare*

$$f_{vd} = f_{vmo} + 0.4\sigma_n \leq \begin{cases} 2 \cdot \bar{f}_{bk} = 2 \cdot f_{md} \cdot FC \\ 2.2 \text{ Mpa} \end{cases}$$

**Analisi non lineare**

### 5.8.1.1 Incremento della resistenza a taglio per scorrimento della muratura per effetto dei nastri orizzontali

La resistenza a taglio della sezione rinforzata con CAM può essere assimilata a quella della muratura armata degli edifici nuovi così come previsto dalle NTC2008, in cui al contributo resistente della muratura si somma quello aggiuntivo dovuto all'armatura. L'incremento della resistenza è conseguente alla formazione del traliccio consentito dalla presenza delle armature.



La resistenza a taglio della muratura nei maschi murari con il contributo del sistema CAM si esprime come:

$$V_t = d \cdot t \cdot f_{vd} + \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{s,orizz} \cdot f_{yld,h}}{p_{fv}}$$

dove

$$\sigma_n = N / d t$$

$A_{s,orizz}$  è pari a due volte l'area di un nastro per il numero di avvolgimenti orizzontali

$p_{fv}$  è l'interasse degli avvolgimenti orizzontali;

## EDIL CAM® Sistemi S.r.l.

Cuciture Attive dei Manufatti strutturali  
Rinforzo ed adeguamento sismico

Sede legale e Uffici: Via dei Genieri, 39 – 00143 ROMA  
Tel. 06/5073602 - Fax 06/60507041



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

$d$  è la distanza tra il lembo compresso e il baricentro dell'armatura tesa verticale più estrema

Nella formulazione presentata si differenziano due contributi:

$V_{t,M} = d \cdot t \cdot f_{vd}$  che rappresenta il contributo relativo alla resistenza della muratura

$V_{t,S} = \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{s,orizz} \cdot f_{yd,h}}{p_{fv}}$  che rappresenta il contributo delle armature

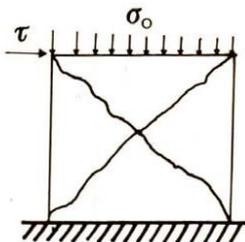
Il pretensionamento dei nastri verticali produce allo stato iniziale uno sforzo normale aggiuntivo sul pannello. Si potrebbe pensare che tale sforzo normale sia mantenuto anche nella condizione di taglio ultimo portando ad un incremento della  $\sigma_n$  e ad un aumento della resistenza a taglio.

Questa eventualità in realtà non si verifica in quanto il calcolo per taglio scorrimento viene effettuato nella condizione in cui si è raggiunto anche il massimo momento sollecitante, che per un pannello in muratura avviene al piede o in testa, ed in tali zone le armature verticali del CAM in zona compressa risultano detensionate.

Inoltre gli stessi nastri in zona tesa non producono più pretensionamento in quanto in zona fessurata essi lavorano esclusivamente a bilanciare gli sforzi di trazione che la muratura non è capace di assorbire.

Pertanto **nel calcolo del taglio resistente a scorrimento l'incremento di compressione dovuto ai nastri in condizioni iniziali non viene considerato.**

## 5.8.2 Taglio per Fessurazione Diagonale (Turnsek-Cacovic)



Meccanismo di rottura per taglio-fessurazione

Le NTC 2008 esprimono la resistenza a taglio-fessurazione di una muratura **non rinforzata** come:

$$V_r = L \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot \tau_{0d}}}$$

dove

$$\tau_{0d} = \frac{\tau_0}{FC} \quad \text{tensione tangenziale media di calcolo}$$

il coefficiente  $b$  assume il seguente valore:

$$b = \begin{cases} 1.5 & \frac{H_{eq}}{L} \geq 1.5 \\ 1.0 & \frac{H_{eq}}{L} \leq 1.0 \\ \frac{H_{eq}}{L} & 1.0 \leq \frac{H_{eq}}{L} \leq 1.5 \end{cases}$$

$L$  è la lunghezza del pannello

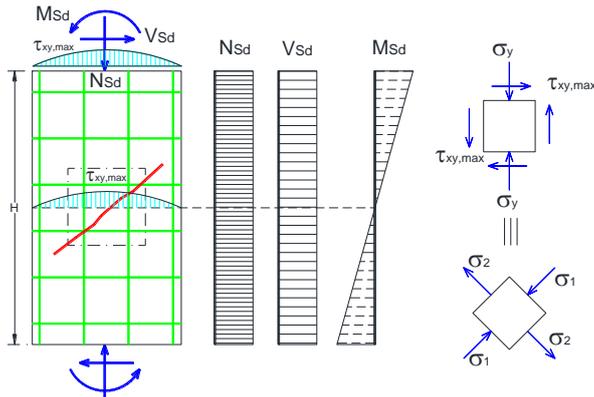
$t$  è lo spessore del pannello

$\sigma_0 = N / L t$  è la tensione media per compressione nella muratura

### 5.8.2.1 Incremento della resistenza a taglio per fessurazione diagonale della muratura per effetto dei nastri orizzontali e del pretensionamento

Con il sistema CAM si può considerare nella formula di resistenza a **taglio-fessurazione** anche l'incremento di tensione verticale  $\sigma_v$  dovuti alla pretensione  $f_{pret}$  delle armature verticali  $A_{s,vert}$  poste ad interasse  $p_{fv}$  e della armatura costituita dai nastri orizzontali. Questo perché a differenza del caso di taglio scorrimento la resistenza a taglio-diagonale viene "mobilitata" nella parte centrale del

pannello dove normalmente il momento flettente è nullo e dunque i nastri rimangono nella configurazione iniziale pretensionata.



Per i **maschi murari** si ha che:

$$\sigma_v = \frac{f_{pret} \cdot A_{s,vert}}{t \cdot p_{fv}}$$

$\sigma_v$  è parallela all'asse dell'elemento (verticale) e si somma a  $\sigma_0$  dovuta ad N

I nastri orizzontali invece costituiscono a tutti gli effetti una armatura aggiuntiva e dunque possono essere tenuti in conto come prevedono le NTC2008 nel caso di taglio-scorrimento.

Si ottiene così una formula finale del taglio resistente per i maschi pari a

$$V_{t,maschi} = l \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\sigma_0 + \sigma_v)}{1.5 \cdot \tau_{0d}}} + \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{s,orizz} \cdot f_{yd,h}}{p_{fv}}$$

Per le **fasce o travi di accoppiamento in muratura**<sup>1</sup> (secondo la dizione del NTC 2008) si ha che:

$$\sigma_H = \frac{f_{pret} \cdot A_{s,orizz}}{t \cdot p_{fv}} \quad \sigma_H \text{ è parallela all'asse dell'elemento}$$

Con una formula finale del taglio resistente per le fasce pari a:

$$V_{t,fasce} = l \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\sigma_H)}{1.5 \cdot \tau_{0d}}} + \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{s,vert} \cdot f_{yd}}{p_{fv}}$$

<sup>1</sup> Per fascia o trave in muratura si intende la porzione di muratura al di sopra o al di sotto dei profili orizzontali delle aperture di larghezza pari all'apertura stessa.



Cert. n. AJA14/AN1904



UNI EN ISO 3834-2



ISO 9001:2008



0273

Cert. n. AJAEU/13/13002

Sistemi di Gestione per la  
Qualità ISO 9001:2008

## 6 NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- **DM 14 Gennaio 2008:** “Norme tecniche per le costruzioni” (Testo Unico 2008).
- **Circolare 617 del 02/02/2009:** 'Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.'
- **UNI EN 1990:2006 Aprile 2006 Eurocodice:** “Criteri generali di Progettazione generale”.
- **UNI EN 1992-1-1:2005 Novembre 2005 Eurocodice 2:** “Progettazione delle strutture di calcestruzzo”.
- **UNI EN 1993-1-1:2005 Agosto 2005 Eurocodice 3:** “Progettazione delle strutture di acciaio”.
- **UNI EN 1993-1-4:2007 Gennaio 2007 Eurocodice 3:** “Progettazione delle strutture di acciaio - Regole supplementari per gli acciai inossidabili”.
- **UNI EN 1996-1-1:2006 Gennaio 2006 Eurocodice 6:** “Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata”.
- **UNI EN 1998-1:2005 Marzo 2005 Eurocodice 8:** “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”.
- **UNI EN 1998-3:2005 Agosto 2005 Eurocodice 8:** “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici”.
- **Decreto 20 Novembre 1987:** “Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento”
- **CNR DT 200/2004:** “Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”;
- **Dolce, M. Cacosso, A. Ponzio, F.C. Marnetto, R. (2002).** *New Technologies for the Structural Rehabilitation of Masonry Constructions: Concept, Experimental Validation and Application of the CAM System*, Seminar “The Intervention On Built Heritage: Conservation and Rehabilitation Practices”, Porto, 2-4 October 2002. Invited lecture.