**EDIL CAM Sistemi srl**

# LINEE GUIDA CUCITURE ATTIVE A MARCHIO CAM®

## Applicazione e calcolo sulle strutture in Muratura

**Ing. Alessandro Vari – Ing. Marianna Leonori**

EDILCAM® SISTEMI

CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE CON CUCITURE INOX

# SOMMARIO

1 LA EDIL CAM SISTEMI S.R.L ... 4
2 CARATTERIZZAZIONE DELLA STRUTTURA ALLO STATO ATTUALE ... 6
2.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLA MURATURA ... 6
2.2 VALORI DI RIFERIMENTO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA ... 8
2.3 COEFFICIENTI CORRETTIVI DEI PARAMETRI MECCANICI FORNITI DALLE NORME ... 10
2.4 CARATTERIZZAZIONE DELLA STRUTTURA NELLO STATO DI FATTO ... 15
3 CRITERI DI ANALISI DEI FABBRICATI IN MURATURA ... 18
3.1 MECCANISMI LOCALI E GLOBALI DI COLLASSO ... 18
3.2 MODELLI DI CALCOLO DEI FABBRICATI IN MURATURA ... 23
3.2.1 CRITERI DI MODELLAZIONE ... 23
3.2.2 INPUT DELLA GEOMETRIA ... 25
3.2.3 DEFINIZIONE DEI VINCOLI ... 26
3.2.4 L'ANALISI NUMERICA ... 27
3.2.5 MECCANISMI LOCALI – METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA ... 28
3.2.6 MECCANISMI GLOBALI – METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA ... 29
3.2.7 INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA' STRUTTURALI E STRATEGIA DI INTERVENTO ... 33
4 INTRODUZIONE AL SISTEMA CAM® APPLICATO ALLA MURATURA ... 35
4.1 INTRODUZIONE ... 35
4.2 COMPONENTI BASE: RUOLO E FUNZIONE ... 38
4.3 DEFINIZIONI GEOMETRICHE DEL RINFORZO MEDIANTE CUCITURE ATTIVE ... 38
4.4 IL RINFORZO 'ATTIVO': L'EFFETTO DELLA PRESOLLECITAZIONE DEI NASTRI ... 40
4.5 I MATERIALI ... 43
5 IL SISTEMA A MARCHIO CAM® NELL'AMBITO DEI MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO ... 45
5.1 INTRODUZIONE ... 45
5.2 LE ANGOLATE E LE PARETI A T ... 52
5.3 LE CATENE ... 55
5.4 L'ARPIONATURA DEL SOLAIO ... 56
6 IL SISTEMA CAM® NELL'AMBITO DEI MECCANISMI GLOBALI ... 59
6.1 RINFORZO PER CONFINAMENTO ... 59
6.2 RINFORZO A PRESSOFLESSIONE ... 64
6.2.1 RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE COMPLANARE: MURATURA NON ARMATA ($M_{RM}$) ... 65
6.2.2 RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE COMPLANARE: MURATURA RINFORZATA MEDIANTE SISTEMA A MARCHIO CAM® ($M_{RM.CAM}$) ... 66
6.2.3 RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE FUORI PIANO ... 69
6.3 RESISTENZA A TAGLIO ... 70
6.3.1 TAGLIO PER SCORRIMENTO (MOHR-COULOMB) ... 72
6.3.2 TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (TURNSEK-CACOVIC) ... 73
6.3.3 VALUTAZIONE RESISTENZA A TAGLIO PER ELEMENTI RINFORZATI MEDIANTE IL SISTEMA CAM® ... 76
6.4 VALUTAZIONI INERENTI ALLE FASCE DI PIANO ... 79



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

7 LA MODELLAZIONE DEL SISTEMA CAM® ..... 82
8 PRINCIPALI REALIZZAZIONI EDIL CAM SISTEMI SRL ..... 84
8.1 AGGREGATO BORGO E CASTELLO 'RIVERA' ..... 84
8.2 PROVVEDITORATO OPERE PUBBLICHE ..... 86
8.3 AGGREGATO EX CONVENTO 'SANT'ANTONIO' ..... 88
8.4 EDIFICIO IN MURATURA ..... 90
8.5 PALAZZO FONDAZIONE 'FENDI' ..... 92
8.6 EDIFICIO SCOLASTICO ..... 93
8.7 EDIFICIO SCOLASTICO ..... 96



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
UNI EN ISO 3834-2

# 1 LA EDIL CAM SISTEMI S.R.L

La Edil CAM Sistemi, nasce per l'applicazione e la commercializzazione del sistema brevettato delle cuciture attive, poi conosciuto con l'acronico e marchio CAM®.

Il sistema nasce nei laboratori universitari della Basilicata come tecnologia per l'impacchettamento delle murature. Nel tempo la tecnologia si specializza per intervenire nel campo del consolidamento non solo delle strutture in muratura storiche e vincolate, ma anche per le strutture in calcestruzzo armato e miste.

***EDILIZIA STORICA E VINCOLATA IN MURATURA***

***STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO***

***STRUTTURE PREFABBRICATE***

**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

La EDIL CAM® Sistemi s.r.l. è l'azienda che ha creduto, promosso e sostenuto il brevetto delle cuciture attive, la tecnologia antisismica commercializzata con i marchi CAM® e SISTEMA CAM®.
La Società ha al suo attivo centinaia di applicazioni, studiate da un largo staff di tecnici e messe in opera da
maestranze specializzate, su edifici in muratura storici e vincolati, in calcestruzzo armato, prefabbricati e strutture miste.
La EDIL CAM® Sistemi S.r.l. vanta la proprietà di marchi e brevetti inerenti le proprie tecnologie e un know-how unico sulla metodologia di calcolo e applicazione, legato anche all'intensa attività di collaborazione con enti autorevoli quali Protezione Civile, ReLUIS, ENEA ed importanti Università: UNIBAS, UNIME, POLIMI, 'La Sapienza', 'Federico II'.

***IL BREVETTO DELLE CUCITURE ATTIVE CAM®***

***IL DIS-CAM®***

***IL SOL-CAM®***

**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata
IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

# 2 CARATTERIZZAZIONE DELLA STRUTTURA ALLO STATO ATTUALE

## 2.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLA MURATURA

Per la caratterizzazione meccanica della muratura si può procedere con diverse modalità via via più accurate. Fondamentale è una prima attenta analisi visiva da cui trarre informazioni circa la tipologia muraria, l'identificazione dei componenti e del tipo di tessitura. Dopodiché sarebbe bene eseguire una buona campagna di prove di caratterizzazione meccanica quali indagini endoscopiche, soniche, prove di carico (martinetti piatti) ecc.

RILIEVO STRUTTURALE

- Geometria delle pareti e articolazione dei solai
- Fondazioni
- Tipologia del terreno di Fondazione

CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

- Martinetti piatti:
  - stato tensionale attuale (martinetto semplice)
  - consente di verificare il modello di valutazione dei carichi sulla struttura
  - caratterizzazione del modulo elastico (E) e di Poisson (v) (doppio taglio e due martinetti)
  - caratterizzazione della risposta elastica del materiale e, tramite v della deformabilità a taglio (attraverso v 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
  - tipologia degli inerti
  - caratterizzazione visiva della malta
  - tipologia di tessitura muraria
  - verifica della presenza di eventuali diatoni
  - 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



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

    - 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

RILIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO

- metodo visivo
- indagine soniche
- indagine endoscopica

I manufatti murari sono spesso realizzati in più fasi, per ampliamenti successivi sia planimetrici che in alzato, ed è facile riscontrare differenti tipologie murarie nello stesso corpo di fabbrica. Pertanto in taluni casi non è possibile, anche per ragioni economiche, eseguire la quantità di prove necessarie a caratterizzare ogni tipo di muratura presente in un determinato fabbricato.
Per tale motivo, ma anche perché è buona norma avere dei valori di riferimento con cui confrontare/controllare i valori ottenuti dalle stesse prove sperimentali, è bene recuperare valori di resistenza tipici per tipologie di muratura corrispondenti a quelli in esame. In questo le norme a partire dalle meno recenti (DM 20.11.1987) fino alle attuali NTC2018 e relativa Circolare forniscono degli ottimi riferimenti.
Vengono inoltre forniti dei coefficienti correttivi per tenere in considerazione la variabilità di qualità, tessitura e caratteristiche meccaniche differenti, oltre che eventuali rinforzi applicati.
Naturalmente i valori riportati nelle norme sono valori di riferimento, pertanto è responsabilità del progettista assumere, coscientemente, tali valori ovvero modificarli secondo la propria sensibilità progettuale.
Verranno analizzate le informazioni fornite dalle norme e si cercherà di trarre considerazioni aggiuntive per un buon utilizzo delle stesse, specialmente dove queste possano essere, a causa delle evidenti e necessarie semplificazioni adottate, erroneamente interpretate o utilizzate.
Di seguito verranno riportate integralmente alcune parti tratte dalla attuale normativa.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata
IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

## 2.2 VALORI DI RIFERIMENTO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

Nella tabella della circolare C8.5.1 viene riportata la tabella aggiornata delle caratteristiche meccaniche della muratura. Principale differenza rispetto alle NTC2008 e relativa Circolare risulta proprio la corretta e coerente caratterizzazione meccanica della muratura nel caso di tessitura irregolare e regolare.

**Tabella C8.5.I** -*Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:* **f** *= resistenza media a compressione,* $\tau_0$ *= resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),* $f_{v0}$ *= resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),* **E** *= valore medio del modulo di elasticità normale,* **G** *= valore medio del modulo di elasticità tangenziale,* **w** *= peso specifico medio.*

| Tipologia di muratura | f (N/mm²) | $\tau_0$ (N/mm²) | $f_{v0}$ (N/mm²) | E (N/mm²) | G (N/mm²) | w (kN/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | min-max | min-max | | min-max | min-max | |
| Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) | 1,0-2,0 | 0,018-0,032 | - - | 690-1050 | 230-350 | 19 |
| Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*) | 2,0 | 0,035-0,051 | - - | 1020-1440 | 340-480 | 20 |
| Muratura in pietre a spacco con buona tessitura | 2,6-3,8 | 0,056-0,074 | - - | 1500-1980 | 500-660 | 21 |
| Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) | 1,4-2,2 | 0,028-0,042 | - - | 900-1260 | 300-420 | 13 ÷ 16(**) |
| Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**) | 2,0-3,2 | 0,04-0,08 | 0,10-0,19 | 1200-1620 | 400-500 | |
| Muratura a blocchi lapidei squadrati | 5,8-8,2 | 0,09-0,12 | 0,18-0,28 | 2400-3300 | 800-1100 | 22 |
| Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***) | 2,6-4,3 | 0,05-0,13 | 0,13-0,27 | 1200-1800 | 400-600 | 18 |
| Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es,: doppio UNI foratura ≤40%) | 5,0-8,0 | 0,08-0,17 | 0,20-0,36 | 3500-5600 | 875-1400 | 15 |

(*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione fpuò essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

***Valori di riferimento per le tipologie murarie presenti in Normativa***

Per la muratura a tessitura irregolare la resistenza a taglio è governata dalla rottura per trazione diagonale (rottura limite per raggiungimento della resistenza a taglio nel criterio di rottura a taglio fessurazione diagonale), mentre per le murature regolari la rottura potrà verificarsi anche per raggiungimento della resistenza lungo i letti di malta (rottura limite per raggiungimento della resistenza a taglio nel criterio di rottura a taglio scorrimento); per tali tipologie murarie andranno verificati entrambi i meccanismi di rottura e la resistenza a taglio sarà la minore tra le due.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

I moduli di elasticità normale E e tangenziale G sono da considerarsi relativi a condizioni non fessurate, per cui, in relazione al tipo di analisi condotta, le rigidezze potranno essere opportunamente ridotte.

Tale riduzione è generalmente assunta pari al 50% (vd p.to 4.1.1.1 e 7.8.1.5.2 delle NTC 2008 e NTC2018). Nelle analisi lineari si modella la geometria non fessurata e pertanto è lecito considerare il comportamento finale della muratura fessurata riducendo le rigidezze fino ad un massimo del 50% del loro valore iniziale.

Nell'analisi pushover, se il comportamento del pannello murario è descritto con l'intero sviluppo della curva M-ϕ, i parametri meccanici E e G possono essere presi con il loro valore pieno a meno di non modellare il comportamento della muratura tramite un diagramma a tre fasi (fase elastica – fessurata – plastica).

La tabella C8.5.I riporta, per il comportamento delle tipologie murarie più ricorrenti, indicazioni, non vincolanti, sui possibili valori dei parametri meccanici, identificati attraverso il rilievo degli aspetti costruttivi (§C8.5.2.1) e relativi, con l'eccezione dell'ultima riga, a precise condizioni: malta di calce di modeste caratteristiche (resistenza media a compressione fm stimabile tra 0,7 e 1,5 N/mm2), assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte, muratura non consolidata. Ai soli fini della verifica sismica, nel caso in cui la malta abbia caratteristiche particolarmente scadenti (resistenza media a compressione fm stimabile inferiore a 0,7 N/mm2) ai valori della tabella si applica un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici. I parametri indicati in tabella sono principalmente finalizzati alle verifiche nei riguardi delle azioni sismiche.

La resistenza a compressione e utilizzata anche per le verifiche nei riguardi delle azioni non sismiche, a patto di considerare anche l'eventuale possibilità di fenomeni di instabilità locale, associati ad un insufficiente collegamento tra i paramenti.

Per interpretare fenomeni pregressi e/o per cercare di stimare fenomeni futuri a tempi lunghi e bene considerare che nel materiale muratura sono presenti fenomeni consistenti di deformazioni lente plastiche e di viscosità, con comportamenti meccanici anche notevolmente differenti da quelli a tempi brevi, che possono dare luogo ad una ridistribuzione dei picchi di sollecitazione.

I valori indicati per le murature regolari sono relativi a casi in cui la tessitura rispetta la regola dell'arte. Nei casi di tessitura scorretta (giunti verticali non adeguatamente sfalsati, orizzontalità dei filari non rispettata), i valori della tabella devono essere adeguatamente ridotti.

Naturalmente è consigliabile effettuare quante più prove dirette o indirette sulla muratura (martinetti piatti singoli/doppi, endoscopie, prove soniche, ecc.) in modo da assumere coscientemente i valori riportati in tabella.

Viene inoltre precisato che 'I muri realizzati con due paramenti semplicemente accostati o con riempimenti "a sacco" di scadenti caratteristiche meccaniche presentano un elevato rischio di



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

instabilità, che può essere accentuato dalla presenza di orizzontamenti appoggiati solo su uno dei paramenti e dall'assenza di efficaci ancoraggi tra i solai e i paramenti esterni dei muri. Il rischio di instabilità, maggiore nei muri in pietrame, è presente anche nei casi di pietre squadrate sulle superfici esterne.

Nel caso non sussistano rischi di instabilità dei singoli paramenti si potrà considerare il muro come composto da due pareti tra loro semplicemente accostate, ciascuna di spessore pari alla propria sezione efficace.

Dopo avere esclusa la possibilità di meccanismi di distacco tra i paramenti, nel caso in cui il nucleo interno sia ampio rispetto ai paramenti, e in particolare se scadente, e opportuno ridurre i parametri di resistenza e deformabilità propri dei paramenti esterni.

Nel caso di nucleo interno di spessore consistente, le proprietà meccaniche equivalenti della muratura, da attribuire all'intero spessore della parete, sono da ottenersi a partire da quelle dei paramenti (Tabella C8.5.I, eventualmente modificata dai coefficiente della Tabella C8.5.II) e del nucleo, attraverso valutazioni opportune.

Nel caso particolare di nucleo interno di caratteristiche meccaniche trascurabili, le proprietà equivalenti del panello murario possono essere ottenute, cautelativamente e in via semplificata, trascurando lo spessore del nucleo'.

Queste precisazioni, riportate esplicitamente dalla Circolare, focalizzano l'attenzione sul meccanismo primario e più pericoloso per i fabbricati in muratura che è la disgregazione della massa muraria.

L'ipotesi di base di qualsiasi considerazione teorica che si può svolgere su un fabbricato in muratura è proprio circa l'assumere la muratura come un materiale omogeneo e isotropo. La conoscenza del nostro costruito porta i tecnici alla consapevolezza che tale assunzione è di certo una forzatura, tanto per le tessiture regolari, quanto più per le tessiture murarie povere. Ecco perché in via preliminare va valutata la possibilità che la rottura del paramento murario avvenga per disgregazione ovvero il materiale muratura non si comporti come un materiale omogeneo ma come un insieme di microelementi a contatto tra loro e che hanno una bassissima resistenza nei confronti delle azioni orizzontali (il legante è il solo attrito).

## 2.3 COEFFICIENTI CORRETTIVI DEI PARAMETRI MECCANICI FORNITI DALLE NORME

Nel caso in cui la muratura presenti caratteristiche differenti rispetto ai suddetti elementi di valutazione oppure sia 'consolidata' mediante alcune tecniche 'standardizzate' è possibile la valutazione delle variazioni rispetto alle caratteristiche meccaniche riportate nella tabella generale.

Si vuole evidenziare come la norma espliciti che i valori dei coefficienti migliorativi riportati sono dei valori massimi ("*…fino ai valori….*"), pertanto se ne può valutare un'opportuna riduzione.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

I coefficienti proposti dalla norma portano in conto la possibilità di avere caratteristiche meccaniche differenti in base alle caratteristiche costruttive e sulla base dell'esecuzione di rinforzi.

**Tabella C8.5.II** -*Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.*

| Tipologia di muratura | Stato di fatto | | | Interventi di consolidamento | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Malta buona | Ricorsi o listature | Connessione trasversale | Iniezione di miscele leganti (*) | Intonacoarmato (**) | Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**) | Massimo coefficiente complessivo |
| Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) | 1,5 | 1,3 | 1,5 | 2 | 2,5 | 1,6 | 3,5 |
| Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo | 1,4 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 1,5 | 3,0 |
| Muratura in pietre a spacco con buona tessitura | 1,3 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 2,4 |
| Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,1 | 2,0 |
| Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) | 1,6 | - | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1,8 |
| Muratura a blocchi lapidei squadrati | 1,2 | - | 1,2 | 1,2 | 1,2 | - | 1,4 |
| Muratura in mattoni pieni e malta di calce | (***) | - | 1,3 (****) | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1,8 |
| Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es,: doppio UNI foratura ≤40%) | 1,2 | - | - | - | 1,3 | - | 1,3 |

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione $f_m$ superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ ($f_m$ in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

***Coefficienti correttivi***

## COEFFICIENTI CORRETTIVI PER CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

- **Malta di buone caratteristiche:** si applica il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ($f_m$, $f_{vo}$ e $\tau_0$), sia ai moduli elastici (E e G). Non è codificato a cosa corrisponda "*malta di buone caratteristiche*" fatto salvo per la muratura a mattoni pieni e malta di calce. Pertanto in questo caso è bene valutare (attraverso indagini endoscopiche o altro) se la stesura della malta tra i blocchi sia uniforme su tutto lo spessore e sia valutabile come "*buona*" nel senso di consistenza, resistenza meccanica, durezza, porosità. È quindi delegato alla esperienza e sensibilità del progettista la valutazione di tale parametro.
- **Presenza di ricorsi (o listature):** si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza ($f_m$ e $\tau_0$ ); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in quanto le altre devono nascere come tessiture regolari.
- **Presenza di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti (diatoni):** si



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza a compressione ($f_m$, $f_{vo}$ e $\tau_0$); tale coefficiente ha significato solo per le murature storiche, in quanto quelle più recenti sono realizzate con una specifica e ben definita tecnica costruttiva ed i valori in Tabella C8A.2.1 ne tengono opportunamente conto. La norma non specifica né la tipologia, né le dimensioni o la quantità a metro quadro di collegamenti trasversali. Questo coefficiente correttivo, che rappresenta un miglioramento notevole, andrebbe quindi ben valutato in quanto uno dei meccanismi di collasso più frequenti nelle murature a doppio paramento è proprio l'instabilità fuori piano. In molti casi tale fenomeno di collasso è evidente anche in murature con diatoni in pietra, questo ad evidenziare come il loro numero e la loro geometria possano spesso essere insufficienti. Per questo motivo si propone una attenta valutazione di tale coefficiente con criteri di verifica opportuni onde evitare di sovrastimare a svantaggio di sicurezza le caratteristiche meccaniche della muratura. Si tenga conto che i diatoni in pietra forniscono la loro azione di legatura solo per aderenza e solo per lo spessore di interazione con i due paramenti, pertanto, in presenza di malte di scarsa qualità, il loro contributo legante perde di consistenza.

## COEFFICIENTI CORRETTIVI PER ESECUZIONE DI RINFORZI

- **Consolidamento con iniezioni di miscele leganti:** si applica il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ($f_m$, $f_{vo}$ e $\tau_0$), sia ai moduli elastici (E e G); nel caso in cui la muratura originale fosse stata classificata con malta di buone caratteristiche, il suddetto coefficiente va applicato al valore di riferimento per malta di scadenti caratteristiche, in quanto il risultato ottenibile attraverso questa tecnica di consolidamento è, in prima approssimazione, indipendente dalla qualità originaria della malta (in altre parole, nel caso di muratura con malta di buone caratteristiche, l'incremento di resistenza e rigidezza ottenibile è percentualmente inferiore). La norma non specifica né la tipologia della malta da utilizzare né la quantità a metro quadro di fori adatta ad ottenere un così elevato incremento di resistenza e rigidezza. L'intervento con iniezioni andrebbe sempre eseguito con malte di caratteristiche meccaniche non troppo superiori a quelle della muratura originaria. Il suo scopo infatti è quello di riempire i vuoti presenti in una muratura caotica o comunque povera di legante. L'incidenza dei fori è fondamentale per una buona riuscita dell'intervento stesso e va tarata sulla particolare tessitura della parete da rinforzare. Per tale motivo si propone una attenta valutazione del coefficiente con criteri di verifica opportuni onde evitare di sovrastimare a svantaggio di sicurezza le caratteristiche meccaniche della muratura.



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

- **Consolidamento con diatoni artificiali** - si intendono 'elementi dotati di una significativa rigidezza a taglio e sufficientemente diffusi' - in questo caso si applica il coefficiente indicato per le murature dotate di una buona connessione trasversale con incremento delle caratteristiche resistenti ($f_m$, $f_{vo}$ e $\tau_0$). Nel caso di **consolidamento con tirantini antiespulsivi** l'effetto è significativo solo nei confronti della resistenza a compressione ($f_m$). Come già evidenziato la norma non specifica né la tipologia né le dimensioni o la quantità a metro quadro di collegamenti trasversali. E' ancora più importante, nel caso di un rinforzo, dimensionare quindi tale intervento per essere certi del risultato ottenuto.
- **Consolidamento con intonaco armato:** per definire parametri meccanici equivalenti è possibile applicare il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ($f_m$, $f_{vo}$ e $\tau_0$), sia ai moduli elastici (E e G); per i parametri di partenza della muratura non consolidata, anche in presenza di diatoni, non si applica il coefficiente relativo alla connessione trasversale, in quanto considerato nell'intervento di consolidamento realizzato dall'intonaco armato, se correttamente eseguito (collegamento con barre trasversali uncinate dei nodi delle reti di armatura sulle due facce). Nei casi in cui le connessioni trasversali non soddisfino tale condizione, il coefficiente moltiplicativo dell'intonaco armato deve essere decrementato per il coefficiente relativo alla connessione trasversale riportato in tabella.

  Il consolidamento mediante intonaco armato è forse la tecnica più "abusata" per permettere di considerare notevoli incrementi prestazionali della muratura. E' importante sottolineare diversi aspetti:
  - I coefficienti riportati in tabella si riferiscono ad applicazioni su pareti di spessore inferiore ai 70 cm (*), per spessori superiori andrebbero convenientemente ridotti. Sarebbe opportuno omogeneizzare le sezioni, in termini di rigidezza e resistenza media, di intonaco armato (che normalmente sono costituite da due paramenti di 3-4 cm armati con rete ϕ6/20 cm) alla sezione di muratura preesistente così da valutare in maniera più accurata tale coefficiente migliorativo.
  - Andrebbe altresì dimensionato l'ancoraggio della rete mediante gli spinotti, normalmente inghisati nella muratura, per la verifica ad instabilità dei due sottili paramenti in c.a. Questi, se fortemente sollecitati, a causa della loro elevata rigidezza rispetto a quella della muratura, potrebbero infatti facilmente distaccarsi e vanificare totalmente l'intervento.
  - Si sottolinea come nella maggioranza dei casi gli uncini di collegamento non



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata
IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

vengono mai realizzati passanti, e dunque non costituiscono diatono. Pertanto il valore del coefficiente di miglioramento andrebbe diviso, come previsto dalla norma, per il coefficiente di connessione trasversale. E' altresì ovvio che, nel caso in cui l'intonaco armato sia applicato su una sola faccia, debba obbligatoriamente essere considerata una riduzione percentuale del coefficiente migliorativo della metà, nonché una ulteriore diminuzione per via della non esistenza di collegamenti trasversali.

- Nella norma se ne sconsiglia un utilizzo diffuso in quanto produce un forte aumento di massa e rigidezza (C8A.5.6. della Circolare: "L'uso sistematico su intere pareti dell'edificio è sconsigliato, per il forte incremento di rigidezza e delle masse, oltre che per ragioni di natura conservativa e funzionale…").

- **Consolidamento con ristilatura armata e connessione dei paramenti**: il coefficiente della tabella può essere applicato sia ai parametri di resistenza (fm, fvo e τ0), sia in misura ridotta al 50% ai moduli elastici (E e G). La ristilatura armata (nota come sistema Reticolatus®) prevede l'inserimento di trefoli in acciaio (inox) all'interno dei letti di malta previo pulizia e riempimento successivo. Tale tecnica si specializza nel 'Reticola Plus' laddove su uno dei paramenti (quello interno sul quale non è necessario mantenere il facciavista) si realizzi un intonaco con rete in materiale composito di spessore ridotto. Anche per tale tecnica di intervento si mantengono i medesimi coefficienti amplificativi della tabella.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

## 2.4 CARATTERIZZAZIONE DELLA STRUTTURA NELLO STATO DI FATTO

Particolare attenzione in tale fase è da riservarsi all'analisi del manufatto.
Secondo il criterio normativo, oltre che secondo il buon senso, la caratterizzazione della struttura passa attraverso la duplice conoscenza da un lato dei ***materiali costituenti***, dall'altro della ***geometria***, dei ***dettagli costruttivi*** della struttura e delle ***interferenze/connessioni*** con il contesto.
Un attento rilievo visivo della struttura rappresenta il primo importante passo verso una corretta progettazione.
Una puntuale e meticolosa analisi dello ***stato fessurativo*** e del danno porta all'individuazione delle principali carenze su cui è necessario intervenire.
Va quindi presa in considerazione la ***storia*** del manufatto, ovvero la sua evoluzione dal primo impianto fino alla situazione *attuale*, per trarne le dovute considerazioni relativamente alle interconnessioni tra corpi ed alle discontinuità conseguenti.
Tali analisi sono propedeutiche a qualsivoglia modellazione dell'edificio eseguibile attraverso i software di calcolo in commercio.
In particolare, con riguardo all'approfondimento della conoscenza strutturale del manufatto (8.5.4 delle NTC2018), vengono a definirsi dei ***Livelli di Conoscenza***, dai quali è possibile stabilire i coefficienti da adottare per i parametri caratteristici dei materiali (*decremento delle resistenze*), noti come ***Fattori di Confidenza***.
La conoscenza della struttura si ottiene come combinazione di tre aspetti fondamentali:

1. L'analisi storica del fabbricato
2. Il rilievo geometrico-strutturale
3. La caratterizzazione meccanica dei materiali

Vale la pena specificare che è consentito l'uso di FC differenti per le verifiche statiche locali di singoli elementi o nelle analisi dei meccanismi locali o globali.
Il Fattore di Confidenza si applica unicamente alle resistenze dei materiali e non ai moduli elastici. Essi, come già descritto, si possono opportunamente ridurre per tenere in considerazione la fessurazione già avvenuta.
A seconda infine del tipo di analisi adottata, lineare o non, tali valori potranno essere ulteriormente ridotti per il coefficiente di sicurezza per il materiale muratura.
Raccolte quante più informazioni sulla struttura si può 'criticamente' passare alla costruzione di un modello rappresentativo, utile per svolgere considerazioni 'numeriche' di previsione del suo comportamento nel caso di evento eccezionale.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

| Livello di conoscenza | Analisi storica e rilievo geometrico | Dettagli costruttivi | Proprietà dei materiali | Metodi di analisi | FC |
|---|---|---|---|---|---|
| LC1 | Analisi storica in particolare volta ad individuare trasformazioni operate dall'uomo che hanno prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario. Rilievo geometrico completo. Particolare cura nell'individuazione di interventi di consolidamento pregressi e relativa efficacia residua. | Indagini visive e saggi a **campione** per caratterizzare la sezione muraria, il grado di ammorsamento tra paramenti ortogonali e zone di appoggio dei solai. | Indagini in situ limitate: limitati controlli principalmente visivi tramite rimozione di intonaco.<br><br>**Resistenza:** valore minimo della tabella C8.5.I<br>**Modulo elastico:** media delle prove o valore medio intervallo di tabella C8.5.I | Tutti | 1.35 |
| LC2 | | Indagini visive e saggi **estesi** per tipizzare in ogni parte del fabbricato la sezione muraria, il grado di ammorsamento tra paramenti ortogonali e zone di appoggio dei solai. | Indagini in situ estese: indagini visive estese e sistematiche. Prevalentemente prove non distruttive (endoscopiche, soniche, termografiche...) eventualmente integrate in parte con prove parzialmente distruttive (martinetti doppi).<br><br>**Resistenza:** valore medio intervallo di tabella C8.5.I<br>**Modulo elastico:** media delle prove o valore medio intervallo di tabella C8.5.I | | 1.20 |
| LC3 | | Indagini visive e saggi **esaustive** in maniera sistematica e rigorosa per tipizzare in ogni parte del fabbricato la sezione muraria, il grado di ammorsamento tra paramenti ortogonali e zone di appoggio dei solai. | Indagini in situ esaustive: oltre alle precedenti, indagini dirette sui materiali, prove distruttive sul pannello se significative a compressione o a taglio per tutte le tipologie murarie presenti. In alternativa prove su tipologie murarie simili sul territorio.<br><br>I valori di **resistenza e rigidezza** della tabella rappresentano il riferimento e una distribuzione a priori che può essere aggiornata sulla base delle prove. Al crescere dell'attendibilità dei risultati sperimentali ottenuti e all'importanza della prova, si aggiorna il valore medio di prova. | | 1.00 |

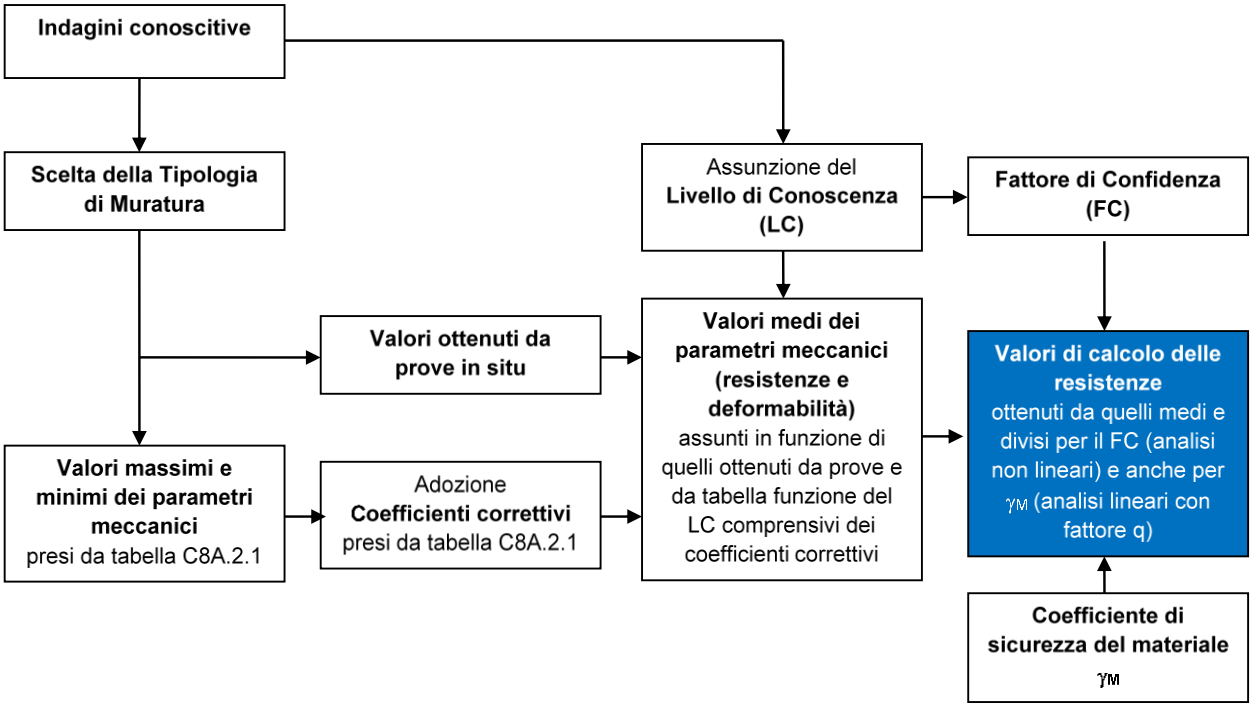
***Livelli di conoscenza e fattori di confidenza***

Il diagramma di flusso di seguito è esplicativo di quanto fin qui descritto.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2






**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

# 3 CRITERI DI ANALISI DEI FABBRICATI IN MURATURA

L'esperienza dei terremoti passati è da sempre servita per meglio capire e interpretare e teorizzare sempre in maniera più corretta, come i fabbricati si comportino in reazione all'azione esterna.
Se a valle di un evento sismico è facile 'leggere' e interpretare la 'struttura muraria', ciò è molto più difficile farlo a priori, prima che l'evento avvenga. Ma è altresì fondamentale che vi sia una corretta anmnesi non solo della struttura ma anche una approfondita conoscenza di quanti più aspetti sono 'tipici' dei collassi dei fabbricati in muratura.
La triste storia dei terremoti che si sono susseguiti negli anni costantemente mette in luce una problematica: i nostri borghi, antichi e bellissimi, sono però tristemente caratterizzati da una tessitura muraria povera, con elementi lapidei spesso di piccole dimensioni e tondeggianti e legante se non assente, povero o impoverito. Raro è il caso, se non per i palazzi storici, di tessiture buone e realizzate a regola d'arte.
Il collasso che spesso si osserva è per disgregazione della muratura, e il comportamento, venendo meno la coesione tra singoli componenti, è più assimilabile alla meccanica delle terre che alla scienza delle costruzioni.
La necessità di semplificare un materiale complesso come la muratura ha portato a teorizzarne il comportamento come un materiale 'omogeneo' ma è quindi fondamentale che il primo problema che il tecnico affronti è proprio che l'ipotesi di base su cui si fonda la teoria che utilizzerà sia veritiera. In tal senso l'analisi locale del proprio fabbricato dovrà necessariamente essere effettuata prima della globale.

## 3.1 MECCANISMI LOCALI E GLOBALI DI COLLASSO

In via generale si può affermare che il comportamento del fabbricato soggetto ad una azione eccezionale possa considerarsi un buon comportamento se esso attinge alla duttilità e quindi alla capacità dissipativa di quanti più elementi di cui esso è costituito. Va da sé che il comportamento 'duttile' si ottiene scongiurando le rotture di tipo primario.
Se negli edifici intelaiati in CA è semplice comprendere che attivare il comportamento duttile globale dell'edificio equivale a sfruttare al massimo le iperstaticità della struttura e quindi si possa ottenere ad esempio scongiurando meccanismi fragili quali ad esempio la formazione di un piano soffice (cernierizzazione di tutti i pilastri ad un piano) oppure la rottura prematura a taglio piuttosto che a flessione, nelle strutture murarie appare più complesso l'individuazione dei meccanismi che limitano la duttilità globale della struttura. Se i sistemi intelaiati nascono infatti come sistemi continui e connessi, le strutture in muratura spesso pagano le conseguenze legate alla carenza di vincoli (interni) con meccanismi che ne limitano fortemente la capacità di risposta ad eventi sismici.



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

In tal senso di seguito verranno descritti come 'fragili' i meccanismi di collasso locali, legati in primis ad assenza di vincolo a livello di tessitura muraria (meccanismo di rottura per disgregazione) e successivamente a carenze tra macroelementi pareti-solai (meccanismo per ribaltamento di pareti o porzioni di fabbricato fuori dal piano). I meccanismi nel piano verranno comunque di seguito descritti come 'duttili' fatto comunque salva la distinzione tra meccanismi nel piano per rottura a taglio del pannello o a pressoflessione.

***Rotture fragili su edifici in muratura*** ***Rotture duttili su edifici in muratura***

Come si evince dalle figure è chiaro come un edificio che riesca ad attivare la resistenza nel proprio piano dei pannelli riesca nell'attivazione di meccanismi 'duttili' di collasso, in cui la salvaguardia della vita è almeno assicurata per azioni orizzontali di bassa entità.

I meccanismi fragili ovvero quei meccanismi che portano alla rottura prematura del fabbricato o porzioni di esso, sono quindi connessi alla mancanza di vincolo:

- A livello locale, ovvero a livello di tessitura muraria
- A livello globale, ovvero come vincolo assente tra macroelementi quali pareti e pareti e pareti e solaio.



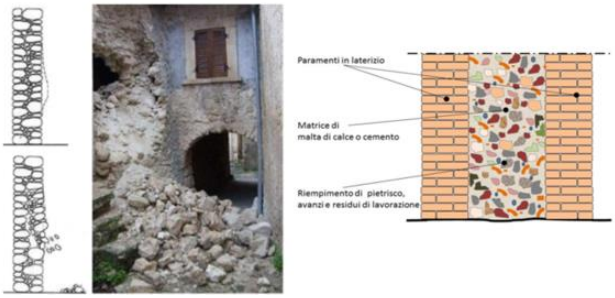
**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Nel caso di **tessitura muraria** disordinata, in cui il legante abbia scarse caratteristiche di adesione o in cui la pezzatura sia realizzata con elementi lapidei di piccole dimensioni e/o tondeggianti oppure nel caso di muratura a sacco con doppio paramento e nucleo spingente, la rottura della muratura avviene per disgregazione. La muratura non si comporta come un materiale omogeneo ma come un insieme di elementi lapidei appoggiati gli uni sugli altri la cui resistenza alle azioni orizzontali risulta estremamente bassa.

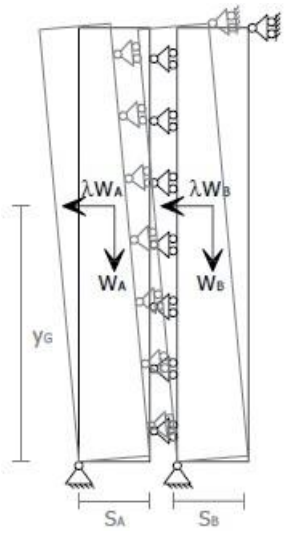
**DISCONTINUITA' STRUTTURALE**
**A LIVELLO LOCALE**

**MANCANZA DI CONNESSIONE TRA I PARAMENTI DI MURATURE A SACCO**
**ASSENZA O INEFFICACIA DEL DIATONO**
**Facilità di distacco dei paramenti. Bassa resistenza del nucleo**




**TESSITURA MURARIA DISORDINATA E LEGANTE DI SCARSA QUALITÀ**
**INSTABILITA' PER DISLOCAZIONE**
**Pietra di buona resistenza ma di facile dislocazione per assenza di malta o per presenza di malta di scarse qualità**

Di fatto le strutture portanti in muratura sono così costrette ad equilibrare le azioni esterne non tanto grazie ad una resistenza del materiale bensì ad una resistenza per equilibrio alla dislocazione dei blocchi.
Il meccanismo di collasso fragile per dislocamento degli elementi lapidei è il primo meccanismo fragile da evitare. Non esiste schema semplificato di valutazione del meccanismo di disgregazione, mentre può essere calcolato attraverso lo schema seguente il meccanismo di rottura del doppio paramento.
Se l'apparecchio murario è reso compatto e omogeneo nel proprio comportamento meccanico sarà possibile 'leggere' la struttura in muratura come un insieme di corpi quali macroelementi di parete e solai. È l'assenza di connessione tra tali macroelementi che comporta la formazione dei successivi meccanismi fragili di collasso quali ribaltamento di facciate o di porzioni di fabbricato.



*Cinematismo di collasso*



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
UNI EN ISO 3834-2

**DISCONTINUITA' STRUTTURALE**
**A LIVELLO GLOBALE**

⇩

**IPOTESI ALLA BASE: MURATURA COME MATERIALE OMOGENEO E ISOTROPO**

⇩

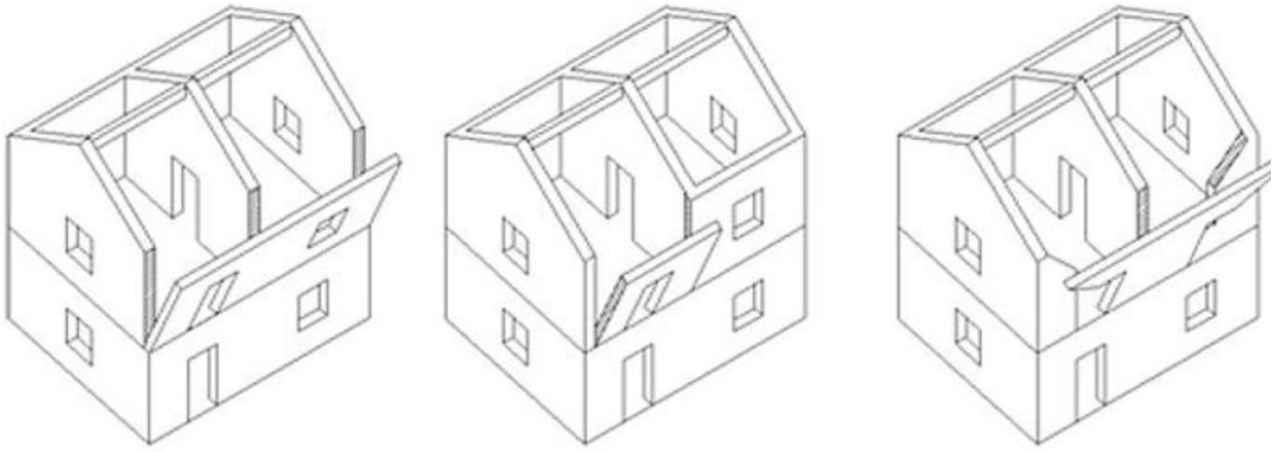
**SI ATTIVANO SOLO SE NON SI ATTIVANO I MECCANISMI DI COLLASSO**
**PER DISGREGAZIONE DELLA MURATURA**

⇩ ⇩

**ASSENZA DI VINCOLI**
**TRA PANNELLI E ORIZZONTAMENTI**

**ASSENZA DI VINCOLI**
**TRA PANNELLI ORTOGONALI**

I più comuni meccanismi locali sono quelli delle singole pareti per **ribaltamento**, per **flessione orizzontale** e per **flessione verticale**. La combinazione dei singoli meccanismi di collasso locale produce la corretta interpretazione del meccanismo globale di collasso del manufatto. Le norme stesse forniscono un importante concetto, spesso sottovalutato, cioè che **solo se** la verifica dei singoli meccanismi di collasso locale risulta soddisfatta la verifica globale del manufatto risulta attendibile. La loro corretta interpretazione e schematizzazione assume allora enorme importanza. La casistica della tipologia di meccanismi locali è estremamente ricca ed esula dal presente testo una loro trattazione esaustiva. Si vuole pertanto affrontare non tanto il dettaglio di tali meccanismi in presenza del rinforzo applicato, quanto fornire delle indicazioni al progettista affinché possa tenerne correttamente conto nel calcolo.

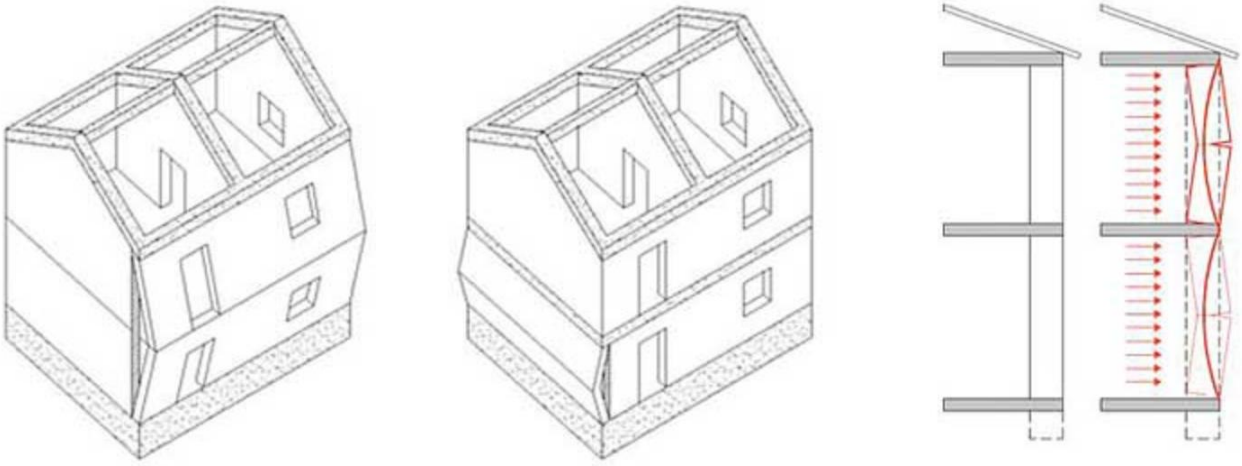


***Meccanismo di ribaltamento.***
***La causa è la carenza di connessione tra la parete investita dall'azione e le pareti ortogonali.***
***L'avvenuta attivazione del meccanismo viene manifestata da lesioni pressoché verticali in corrispondenza delle intersezioni murarie (che eventualmente interessano vani o aperture) con fuori piombo della parete e disconnessioni dall'orizzontamento.***
***Elementi che ne ostacolano l'attivazione sono cordoli, tiranti ovvero elementi di vincolo ortogonale.***

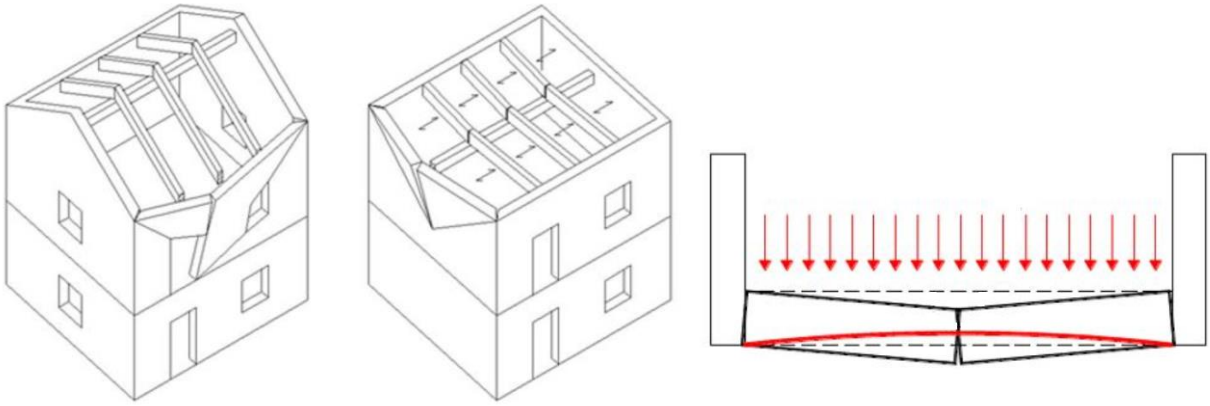


**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2



***Meccanismo di flessione verticale.***
***Il meccanismo si manifesta facilmente nelle situazioni di parete ben vincolata alle estremità superiore e inferiore, carente di vincolo nelle porzioni estremali verticali, a forte snellezza o con presenza di spinta localizzata longitudinale su altezza intermedia.***
***La formazione della cerniera orizzontale si manifesta con spanciamenti e fuori piombo di parete, lesioni verticali di distacco estremale e orizzontale nel punto di massima flessione.***
***Elementi che ne contrastano l'attivazione sono vincoli estremali di parete e intermedi sulla snellezza.***



***Meccanismo di flessione orizzontale.***
***Il meccanismo, opposto al precedente, si manifesta facilmente nelle situazioni di parete ben vincolata alle pareti laterali e carente di vincolo nella porzione estremale superiore con presenza di spinta localizzata sommitale di tetto o solaio.***
***La formazione della cerniera verticale e oblique estremali determina una zona di distacco cuneiforme con spanciamento e fuori piombo con conseguente perdita di appoggio dell'orizzontamento.***
***Elementi che ne contrastano l'attivazione sono vincoli estremali e di bilanciamento dell'arco interno di spinta.***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

La verifica dei meccanismi di collasso, così come previsto dalle norme, può essere eseguita attraverso *l'analisi limite dell'equilibrio* in cui attraverso l'applicazione del principio dei lavori virtuali è possibile valutare la capacità sismica in termini di resistenza o di spostamento (C8.7.1.2.1) calcolando il moltiplicatore dell'azione sismica che porta all'attivazione del cinematismo, ovvero il **moltiplicatore di collasso**.
Solo se la tessitura muraria è buona, quindi la muratura può assimilarsi ad un materiale omogeneo, e solo se i meccanismi locali di collasso sono ostacolati, quindi se esistono vincoli efficaci tra macroelementi, il fabbricato in muratura si comporterà come una struttura tridimensionale in cui l'azione sismica è in grado di essere trasferita agli elementi (pannelli) che possono reagire e sopportarla nel proprio piano forte. Solo allora ha senso l'analisi tridimensionale del fabbricato attraverso software e modellazioni accurate.

## 3.2 MODELLI DI CALCOLO DEI FABBRICATI IN MURATURA

In prima istanza è necessario chiarire un concetto fondamentale: il modello è una ***rappresentazione*** della struttura. Un tentativo di simulazione. La sua finalità è di consentire una *ragionevole* interpretazione, che si avvicini quanto più possibile al comportamento strutturale reale.
In questo senso si presuppone che al tecnico competa la lettura del manufatto con *sguardo ingegneristico*, proiettato alle conseguenze che approssimazioni logiche e/o convenienti possono comportare sulla risposta globale/locale.

### 3.2.1 CRITERI DI MODELLAZIONE

In primis va scelto accuratamente il tipo di schematizzazione da adottare per la modellazione dei paramenti murari, impiegando elementi *shell* (bidimensionali) o elementi *beam* (monodimensionali).
Nel caso, ad esempio, di un edificio intelaiato in c.a., non si nutrono incertezze nella scelta del modello strutturale di riferimento. Il telaio, inteso come insieme di aste, corrisponde bene anche geometricamente alla realtà strutturale. Si assumono con relativa semplicità i vincoli dei ritti di base del telaio, essendo le strutture fondali facilmente identificabili e note.
L'impalcato, generalmente assimilabile ad un diaframma rigido e resistente nel piano orizzontale, costituisce quel vincolo interno che lega i singoli telai piani in un sistema spaziale.
Ove si voglia affrontare un'analisi non lineare, la plasticizzazione limitata ad alcuni tratti (generalmente di estremità) delle aste, consente, con buona approssimazione, di ricorrere a modelli a plasticità concentrata utilizzando le cosiddette cerniere plastiche.
L'attribuzione del legame costitutivo plastico al materiale si traduce immediatamente nella definizione del legame M-$\varphi$, T-$\gamma$ dell'asta.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

Nel caso delle costruzioni in muratura il contesto è profondamente diverso ed è caratterizzato da grande incertezza sia nella scelta dei modelli che nelle procedure di analisi.

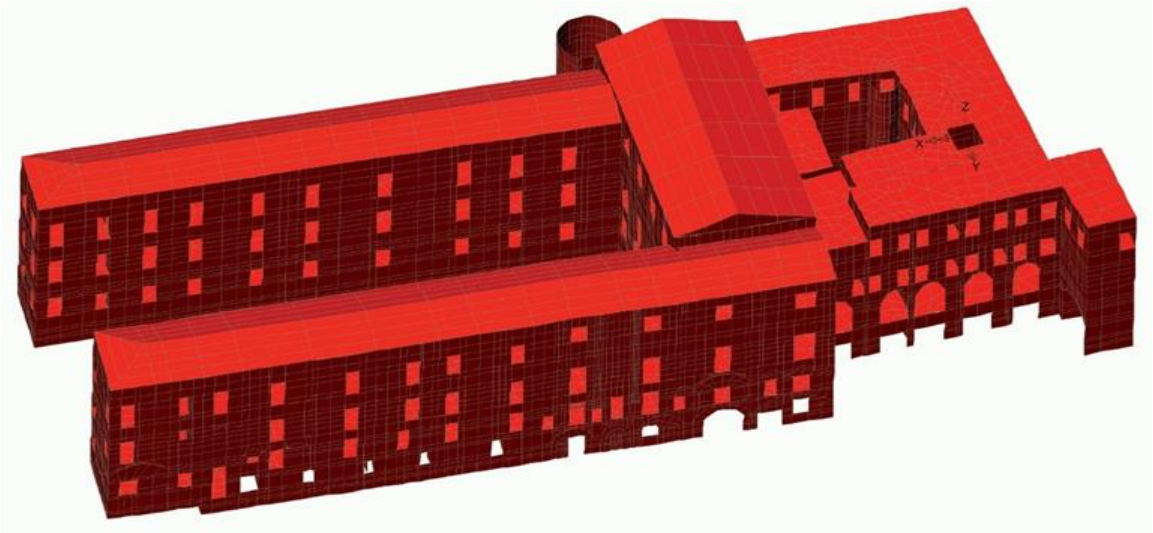
Se da un lato la modellazione mediante elementi *shell* è sicuramente più accurata, dall'altro il suo onere computazionale è sicuramente notevole.

L'analisi elastica della struttura permette di individuare le zone a maggior sovraccarico tensionale, tuttavia, onde evitare di considerare rotture premature dell'elemento oltre che per assecondare il criterio di verifica normativo, è sempre necessario individuare il macroelemento su cui, tramite integrazione delle tensioni, ottenere le caratteristiche di sollecitazioni globali (in termini di N, M, T) da confrontare con le resistenze. La definizione del 'macroelemento' setto o fascia è comunque sempre da eseguirsi manualmente e resta nell'ambito dell'interpretazione ingegneristica del manufatto.

L'analisi plastica comporta l'attribuzione del legame costitutivo plastico del materiale in termini di $\sigma$-$\varepsilon$ a ciascun elemento finito. I risultati dell'analisi, se ben condotta, portano a descrivere con estrema accuratezza il comportamento della struttura. L'onere computazionale e le difficoltà di controllo sul modello e sui risultati prodotti la rende tuttavia ancora una pratica lontana dal poter essere applicata facilmente nella professione.

Nella modellazione *'beam'* si attua tutta una serie di approssimazioni che sono convenzionalmente adottate per riportare il continuo murario ad una serie di aste tra loro connesse attraverso elementi rigidi (bracci rigidi) che schematizzano le mutue intersezioni tra elementi contigui.

Proprio la definizione a priori di questi tratti (e quindi delle 'rigidezze' coinvolte) porta alle maggiori differenze tra i *modelli a telaio e a shell*. Le continuità tra elementi, come ad esempio in corrispondenza dei sopra e sotto finestra o negli incroci di parete, permettono nel modello a shell la implicita e corretta definizione delle interazioni che nel modello ad aste vengono invece ipotizzate.

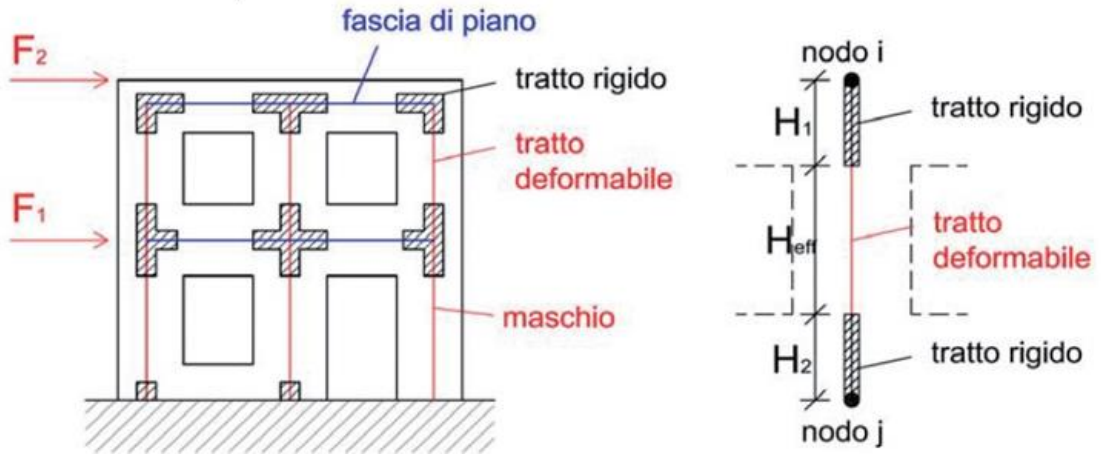


***Modellazione di un aggregato in muratura attraverso elementi shell***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2




***Ipotesi di schematizzazione per il modello a telaio equivalente***

Stante quanto detto, la modellazione di edifici in muratura tramiti elementi bidimensionali rappresenta l'eccezione e non la regola nell'ambito della professione.
Risultava tuttavia necessario segnalare alcuni aspetti macroscopici per sensibilizzare l'utente che si trova ad operare con i software di calcolo in commercio circa le approssimazioni che ciascuno di essi può operare, in quanto la dimensione degli elementi resistenti e dei segmenti di collegamento influiscono sulla rigidezza globale e quindi sul complessivo comportamento della struttura analizzata.

### 3.2.2 INPUT DELLA GEOMETRIA

L'input della geometria è un altro aspetto fondamentale nella modellazione della struttura.
Bastano alcuni accorgimenti per rendere semplice, ma ben fatto, un modello strutturale.
È estremamente importante in questa fase la semplificazione degli allineamenti, andando ad individuare i principali fili in pianta evitando quindi l'introduzione di allineamenti poco significativi dal punto di vista strutturale, uniformando dove possibile gli spessori murari.
Anche nell'introduzione delle caratteristiche riscontrate nei riguardi dei singoli prospetti, assume elevata importanza la corretta modellazione delle aperture.
Per quanto detto prima circa la modellazione a telaio equivalente, la posizione e la dimensione delle aperture influirà sulla dimensione e quindi sul 'peso' dei tratti rigidi di collegamento.
Anche in questo caso, vince la semplificazione di tutte quelle situazioni così particolari che possono trovarsi nel costruito, quale strumento per la costruzione di un modello attendibile.
Due aperture molto vicine possono esser modellate come una unica equivalente se la porzione muraria tra le due risulta poco significativa ovvero l'elemento 'setto' di lunghezza ridotta rispetto alla sua altezza risulterà paragonabile ad un pilastro la cui valenza strutturale (rigidezza trascurabile



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

rispetto al contesto) sarà insignificante nei confronti delle azioni orizzontali: in tal senso potranno considerarsi le limitazioni riportate in tabella relative alla geometria degli elementi sismoresistenti (7.8.1.4 delle NTC 2018). Gli elementi non assimilabili a questi potranno essere considerati come bielle pertanto capaci di portare solo carichi assiali.

**Tab. 7.8.I** – *Requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma*

| Tipologie costruttive | $t_{min}$ | $(\lambda=h_0/t)_{max}$ | $(l/h')_{min}$ |
|---|---|---|---|
| Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata | 300 mm | 10 | 0,5 |
| Muratura ordinaria, realizzata con elementi artificiali | 240 mm | 12 | 0,4 |
| Muratura armata, realizzata con elementi artificiali | 240 mm | 15 | Qualsiasi |
| Muratura confinata | 240 mm | 15 | 0,3 |
| Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata, in siti caratterizzati, allo *SLV*, da $a_g$ S ≤ 0.15g | 240 mm | 12 | 0,3 |
| Muratura realizzata con elementi artificiali semipieni, in siti caratterizzati, allo *SLV*, da $a_g$ S ≤ 0.075 g | 200 mm | 20 | 0,3 |
| Muratura realizzata con elementi artificiali pieni, in siti caratterizzati, allo *SLV*, da $a_g$ S ≤ 0.075 g | 150 mm | 20 | 0,3 |

***Requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma (tab. 7.8.I delle NTC2018)***
***La geometria delle pareti resistenti al sisma deve rispettare i requisiti indicati in tabella, in cui t indica lo spessore della parete al netto dell'intonaco, $h_0$ l'altezza di libera inflessione della parete come definito al § 4.5.6.2, h' l'altezza massima delle aperture adiacenti alla parete, l la lunghezza della parete.***

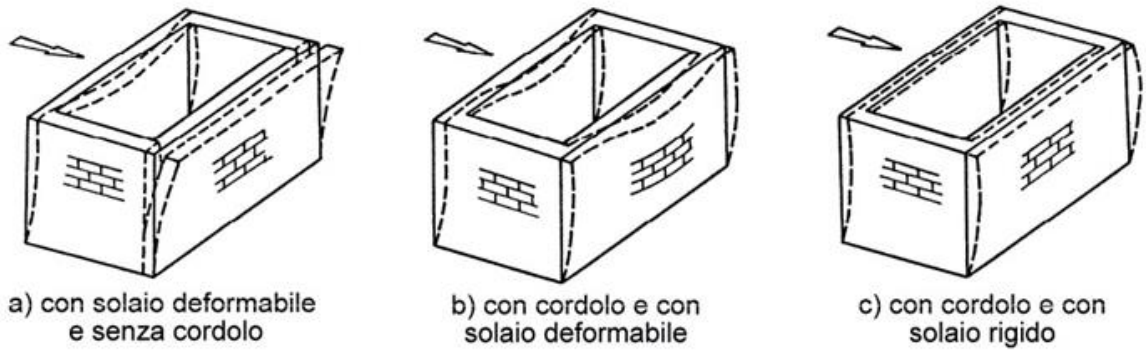
### 3.2.3 DEFINIZIONE DEI VINCOLI

Altro importante aspetto che incide fortemente nella definizione del modello sono gli orizzontamenti. Un solaio ben ammorsato alle murature perimetrali e sufficientemente rigido nel piano, può offrire un grado di vincolo agli elementi ad esso collegati funzionando a diaframma, ovvero vincolando tutti i nodi sommitali ad avere spostamenti 'congruenti' tra loro (traslazione e rotazione rigida nel piano).
Ben diversa è la risposta che si ottiene andando a schematizzare per il solaio un comportamento *shear-type*, in grado di fornire un ulteriore vincolo rotazionale fuori dal piano (nel metodo POR i singoli pannelli risultano essere incastrati rotazionalmente in testa e al piede). Tale ipotesi di comportamento infatti risulta valida unicamente quando la rigidezza dell'orizzontamento è molto maggiore rispetto a quella della struttura (es. struttura metallica flessibile con solaio in latero-cemento) eventualità che non si verifica praticamente mai per i manufatti in muratura.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015 ISO 14001:2015 ISO 45001:2018 UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273 ACCREDIA Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

All'opposto vi è l'ipotesi di solaio infinitamente deformabile in cui non è offerto nessun tipo di vincolo ai nodi sommitali degli elementi. Tale comportamento simula situazioni in cui non è garantito il minimo ammorsamento con le pareti ortogonali (es. solaio in travetti in legno semplicemente 'poggiati' nello spessore murario) e il cui unico scopo è quello di trasferimento delle azioni gravitazionali che gli competono.
Analoghe considerazioni possono essere condotte sulla scelta della tipologia dei vincoli da adottare sia internamente che esternamente. Il grado di vincolo tra due pareti ortogonali, così come lo schema dei vincoli di fondazione, sono aspetti che influiscono notevolmente sulla risposta della struttura.
Si rimanda ai successivi paragrafi l'analisi di come l'intervento di cucitura tra pareti, così come molte altre soluzioni progettuali attuabili con il Sistema a marchio CAM®, possano convenientemente modificare lo stato di vincolo interno della struttura e dunque migliorarne il comportamento d'insieme.




***Diversi tipi di risposta della scatola muraria in relazione al vincolo di solaio***

### 3.2.4 L'ANALISI NUMERICA

Si riportano alcuni degli aspetti principali che influiscono fortemente nella risposta sismica della struttura attraverso una analisi numerica.
Possiamo riassumerli in tre punti; i primi due legati al calcolo delle sollecitazioni, il terzo legato al calcolo delle resistenze:

- Il ***modello costitutivo*** assunto per modellare ***il materiale muratura*** può essere ipotizzato infinitamente elastico, dunque di egual comportamento a trazione e compressione, oppure non lineare. Questa scelta influenza sia il calcolo delle sollecitazioni (se elastico non vi è alcuna capacità ripartizione per danneggiamento progressivo), sia la verifica degli elementi, che nel caso di comportamento plastico risulta automaticamente tenuta in conto.
- Il ***criterio*** adottato per il ***calcolo della forzante*** (forzante statica o dinamica, inteso come dinamica non la dipendenza dal tempo ma dalle caratteristiche dinamiche *proprie* della



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

struttura)

- Il ***criterio di verifica degli elementi*** (verifica elastica o plastica, ovvero considerando le caratteristiche del materiale in termini di calcolo della capacità dell'elemento)

Si distinguono quindi i principali metodi di analisi come statica lineare, dinamica lineare, statica non lineare e dinamica non lineare.
La differenza fondamentale risiede nel fatto che, nell'analisi dinamica lineare si include implicitamente una capacità di plasticizzazione diffusa attraverso il fattore di struttura 'q', mentre nella statica non lineare, la capacità dissipativa della struttura rappresenta il risultato stesso dell'analisi.

### 3.2.5 MECCANISMI LOCALI – METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

Come descritto nel C8.7.1.2 è facile che a seguito dello scuotimento sismico avvengano collassi parziali per perdita di equilibrio.
Le verifiche, da condursi prima delle globali, sono generalmente nei riguardi delle azioni ortogonali al piano forte del pannello, per ribaltamento fuori piano di pareti, porzioni di pareti o di fabbricato.
L'analisi dei cinematismi di corpo rigido avviene schematizzando il fabbricato o porzioni di esso come un insieme di macroelementi (pareti, solai ecc) ciascuno supposto indeformabile e tra loro connessi attraverso vincoli interni (sconnessioni, catene preesistenti, ecc.) tali da costituire una catena cinematica ad un grado di libertà.
Le ipotesi normalmente adottate nelle valutazioni sono:

- Resistenza a trazione della muratura trascurabile
- Scorrimento tra i blocchi assente (oppure in maniera più accurata considerandovi l'attrito)
- Resistenza a compressione infinita della muratura (oppure in maniera più accurata considerando la reale resistenza della muratura ed arretrando e dimensionando la cerniera di rotazione alla base del pannello)
- Presenza di connessioni alle pareti ortogonali
- Presenza di catene o connessioni agli orizzontamenti.

Si specifica che tale analisi ha senso solo se vengono esclusi i fenomeni di disgregazione della muratura.
Il calcolo consiste, sulla base dei diversi cinematismi ipotizzabili ma tecnicamente più plausibili anche sulla base dell'analisi del dissesto, nel confronto tra il moltiplicatore delle forze di massa (azioni inerziali) che attiva il meccanismo e l'accelerazione massima attesa per lo stato limite considerato.
Il calcolo può svolgersi in maniera 'lineare' - valutando l'azione interna limite per un dato cinematismo e confrontandola con lo spettro di riferimento abbattuto del fattore 'q' - oppure in



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

maniera 'non lineare' - valutando l'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare nell'evolversi del meccanismo.

### 3.2.6 MECCANISMI GLOBALI – METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

#### 3.2.6.1 ANALISI DINAMICA LINEARE - ANALISI A SPETTRO DI PROGETTO E FATTORE DI STRUTTURA Q

Definiti i parametri sismici fondamentali dipendenti dal sito e dal suolo di ubicazione della struttura da analizzare si avranno i seguenti step:

- Definizione dello spettro di risposta elastico della struttura (3.2.3.4 delle NTC) e definizione dello spettro di progetto (3.2.3.5 delle NTC) attraverso l'assunzione del ***fattore di struttura 'q'*** (C8.5.5.1 della Circolare e 7.8.1.3 delle NTC).
- Il materiale è assunto a comportamento elastico lineare pertanto la matrice di rigidezza della struttura sarà unicamente funzione dei parametri E, $\nu$.
- Per tenere in debito conto il reale comportamento della struttura esistente si consiglia l'impiego dei moduli elastici fessurati (riduzione delle rigidezze fino al 50%) coerentemente con l'assunzione di plasticizzazione diffusa e dunque di elementi fessurati (7.8.1.5.2 delle NTC).
- Attraverso ***l'analisi modale*** si ottengono i principali modi di vibrare della struttura.
- Devono essere considerati tutti i modi di vibrare con massa partecipante superiore al 5% fino a concorrere alla mobilitazione dell' 85% della massa sismica.
- Qualunque configurazione deformata della struttura (e quindi il suo stato di sollecitazione) può essere ottenuta come combinazione dei suoi modi principali di vibrare.
- Il peso che ciascuna deformata avrà nel comportamento globale deformativo della struttura sarà funzione della massa partecipante a ciascun modo.
- Dallo spettro di progetto per ciascun periodo calcolato, si ottiene l'ordinata spettrale da applicare come forzante a cui la struttura sarà soggetta. La combinazione degli effetti sarà non per semplice somma ma considerando modelli di comportamento di natura probabilistica (distribuzione SRSS e CQC)
- La soluzione ottenuta da tale analisi porterà ad individuare le sollecitazioni agenti su ciascun elemento che verranno confrontate con le resistenze.
- Attraverso il ***confronto in termini di N, M, T tra domanda (sollecitazioni agenti) e capacità (resistenze)*** sarà immediatamente possibile individuare quali elementi vanno in crisi e per quale meccanismo di collasso (crisi per schiacciamento, taglio, pressoflessione, ecc).

I parametri resistenti dei materiali esistenti sono calcolati come descritto nella tabella al §3.4.
Le verifiche per qualsiasi azione non sismica, come indicato al punto C8.7.1 va eseguita utilizzando i coefficienti di sicurezza sul materiale $\gamma_m$ assunto pari a 3 (in assenza di ulteriori specifiche da tabella



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

4.5.II al punto 4.5.6.1), mentre per le verifiche nei confronti delle azioni sismiche si impiega $\gamma_m$ pari a 2.

Il calcolo delle resistenze degli elementi, come già detto, può essere condotto ipotizzando un regime elastico o plastico delle sezioni.

Va sottolineato che deve necessariamente esistere congruenza nel calcolo delle sollecitazioni e resistenze. Pertanto se la verifica dovesse essere condotta in regime elastico, anche le sollecitazioni dovranno essere relative all'impiego dello spettro elastico; tali analisi potranno essere condotte in particolari casi in cui potrebbe essere necessario valutare diversi stati limiti della struttura (ad esempio nei casi in cui sia richiesta la verifica nei confronti degli stati limite in esercizio).

***L'analisi lineare statica*** rappresenta un caso particolare della precedente nel senso che consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica, considerando unicamente il periodo fondamentale della struttura *stimato* attraverso una formulazione semplificata.

Tali assunzioni risultano valide unicamente per costruzioni 'per cui la risposta sismica in ciascuna direzione principale non dipenda significativamente dai modi di vibrare superiori'.

Non viene espressa una percentuale minima di massa partecipante a ciascun modo e le ulteriori limitazioni (7.3.3.2 delle NTC) si riducono alle uniche due condizioni relative all'altezza (inferiore a 40m) e alla massa approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza.

Le limitazioni circa la regolarità in altezza possono, nel caso di costruzioni in muratura, essere ovviate impiegando un valore di $\lambda=1$.

È quindi derogato alla sensibilità del progettista per quali tipologie di costruzione può essere applicata tale tipo di analisi.

Nelle NTC2018 viene introdotto un metodo di calcolo del periodo proprio di vibrare dipendente dal spostamento elastico nel punto più alto della struttura. In circolare viene poi riportata la formulazione presente nelle NTC2008 in cui il periodo era dipendente unicamente dall'altezza della costruzione.

#### 3.2.6.2 ANALISI STATICA NON LINEARE - ANALISI PUSHOVER

Per quanto detto finora, gli edifici in muratura si prestano ad essere analizzati mediante modelli che tengano conto della non linearità del materiale.

L'analisi di tipo pushover è sicuramente la più impiegata nella pratica professionale.

Essa, come ben noto, consiste nell'applicazione di un sistema di forze 'statiche' proporzionali alle forze di inerzia, scalate e fatte crescere monotonamente fino al raggiungimento del collasso della struttura, che avviene per perdita di equilibrio (labilità) o per decadimento eccessivo di resistenza.

Il ***sistema di forze*** da considerare è relativo almeno a due distribuzioni, l'una definita ***principale*** (Gruppo 1) con andamento proporzionale alla prima forma modale ovvero alle forze statiche



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

equivalenti, l'altra definita ***secondaria*** (Gruppo 2) ovvero con distribuzione costante lungo l'altezza dell'edificio.

Semplificando si può descrivere la prima distribuzione come quella deputata ad evidenziare maggiormente gli effetti nel piano sismico dei pannelli ed in particolare i fenomeni flessionali e/o duttili della struttura (azione sismica con momento complessivo alla base maggiore); la seconda è invece deputata ad evidenziare ed a "forzare" i comportamenti fragili, come quelli a taglio, o quelli fuori piano (tagliante alla base massimo e momento risultante alla base ridotto).

Tralasciando per semplicità la descrizione relativa all'analisi non lineare di strutture modellate con elementi tipo shell, per ciascun elemento asta verrà definito un legame costitutivo non lineare.

La non linearità del materiale muratura verrà quindi tradotta in non linearità di comportamento del singolo elemento ovvero definendo due curve, l'una in termini di capacità *elasto-plastica a flessione*, l'altra in termini di capacità *elasto-plastica a taglio*.

Gli spostamenti limite (a collasso) del pannello sono indicati nel 7.8.2 e assunti pari ad una aliquota dell'altezza del pannello (come indicato in seguito per ciascuna modalità di rottura ipotizzata).

Le scelte effettuate in fase di costruzione del modello ad aste equivalenti (in termini di tratti rigidi, presenza e dimensioni di elementi di accoppiamento, vincoli, ecc.) risultano fortemente condizionanti il funzionamento non lineare della struttura, in quanto gli spostamenti limite dei pannelli (*drift*) vengono calcolati sulla base delle altezze "deformabili".

I parametri resistenti dei materiali esistenti sono calcolati come descritto nei paragrafi precedenti.

Il coefficiente di sicurezza sul materiale $\gamma_m$ è, per questa analisi, posto **unitario**.

L'analisi procederà incrementando la forzante esterna per step successivi equilibrati.

L'applicazione di questa forza produrrà uno stato deformativo e quindi di sollecitazione su ciascun elemento; si procederà al confronto con il legame costitutivo definito per ciascuna asta.

Raggiunto il ***limite elastico*** l'elemento plasticizzerà consentendo ancora spostamenti a carico costante; verrà aggiornata la matrice di rigidezza della struttura, considerando la perdita di rigidezza dell'asta plasticizzata.

Al raggiungimento del ***limite plastico*** (drift ultimo) l'elemento risulterà al collasso e pertanto il suo contributo diventerà nullo anche in termini di forza.

Se esisterà ancora equilibrio o se il contributo degli elementi ancora efficaci in termini di resistenza non scenderà oltre un limite previsto dalla norma (convenzionalmente decremento del 20% rispetto all'ultimo step di analisi) l'analisi continuerà e sarà possibile un nuovo incremento di carico esterno.

Si costruisce quindi per punti una ***curva*** denominata ***'di capacità'*** della struttura avente in ascissa gli spostamenti e in ordinata la risultante della forza applicata.

La verifica consisterà nel confronto tra capacità in spostamento della struttura e domanda, definita in base allo spettro elastico in spostamento scalata del fattore q* per considerare il sistema anelastico.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

Ciascuna curva costruita descriverà l'evoluzione del danno subito dalla struttura per una particolare azione esterna.

Saper leggere attentamente questi risultati permette di individuare le criticità della struttura, quali meccanismi ne provocano la plasticizzazione, quali elementi vanno in crisi prematura e quindi gli interventi da attuarsi per migliorarne il comportamento d'insieme.

Tanto maggiore risulta la capacità in spostamento a carico costante, tanto maggiore sarà il numero degli elementi che possono essere coinvolti nel meccanismo di collasso globale.

Acquista quindi massima importanza per la struttura la ***capacità in duttilità*** dei singoli elementi, piuttosto che la sola caratteristica in resistenza.

Il ***fattore q**** (ottenuto dal sistema ridotto ad un grado di libertà), inteso come rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente, rappresenta un risultato e deve essere inferiore a 4 (valutato a SLC mentre nelle NTC2008 era posto pari a 3 per l'SLV – equivalenti in quanto tra i due stati limite sussiste un possibilità di riproporzione con fattore 3/4), pena la perdita di validità dell'analisi (7.8.1.6 delle NTC 2018).

Tale fattore per definizione richiama il ***fattore q*** impiegato nelle analisi lineari, rappresentando la capacità plastica della struttura.

L'analisi non lineare statica infatti può essere impiegata anche per verificare l'effettiva distribuzione della domanda inelastica negli edifici progettati con il fattore q (7.3.4 delle NCT 2018).

L'analisi statica non lineare risulta molto più laboriosa, descrivendo però, in linea generale, il reale comportamento strutturale. Il sistema di forze deve essere necessariamente di due tipologie, l'una legata alla deformata e quindi alla forma modale principale (gruppo I – distribuzione principale), l'altra (gruppo II – distribuzione secondaria) legata alle masse di piano.

Come nuova indicazione nelle NTC2018 viene introdotta all'interno del 'gruppo I – distribuzioni principali' una nuova configurazione corrispondente all'andamento delle forze di piano agenti su ciascun orizzontamento derivante dall'analisi dinamica lineare. Tale distribuzione, che fondamentalmente impiega quindi una combinazione di tutte le possibili forme modali in base al 'peso' di ciascuna, può essere impiegata indipendentemente dalla massa partecipante al primo modo.

Durante l'azione sismica la struttura riceve una accelerazione al piede ($\ddot{x}$) che si traduce in sollecitazioni agli elementi ($m\ddot{x}$). La simulazione invece prevede l'applicazione di un sistema di forze alla struttura, in elevazione, tali da riprodurre la stessa reazione (azione) al piede.

Applicare una forzante tarata sul principale modo di vibrare della struttura equivale ad imporre un movimento che è quello a minor energia di attivazione.

Se i modi principali però sono a massa partecipante molto piccola, questo è indice di un comportamento della struttura influenzato da comportamenti locali di singoli elementi, pertanto



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

calibrare la forzante su modi di vibrare 'minori' potrebbe essere poco rappresentativo del comportamento globale della struttura.
Altresì la norma permette comunque l'impiego dell'analisi non lineare, ma impiegando una distribuzione differente della forzante: è chiaro quindi che l'analisi è valida ma potrebbe non essere la condizione più 'naturale' di movimento della costruzione.

### 3.2.7 INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA' STRUTTURALI E STRATEGIA DI INTERVENTO

Indipendentemente dall'analisi svolta, il primo approccio deve necessariamente essere rivolto alla valutazione del comportamento globale della struttura.
L'intervento globale va inteso e costruito come sommatoria di interventi locali, che devono prendere in conto le situazioni intrinseche e le condizioni al contorno, al fine di omogeneizzare e rendere coerenti e congruenti *comportamenti, resistenze e rigidezze*.
In generale gli interventi dovranno essere indirizzati al miglioramento della funzionalità strutturale d'insieme, pertanto legati:

- al *ricentraggio tra i baricentri di masse e rigidezze* (regolarizzazione delle forme modali principali, minimizzazione degli effetti torsionali),
- alla riduzione di eventuali irregolarità in pianta e in elevazione,
- alla eliminazione di meccanismi locali di collasso,
- all'incremento in resistenza e duttilità dei singoli componenti strutturali.

Come già detto il Sistema a marchio CAM® non altera la distribuzione di massa e rigidezza, ma garantisce un incremento in termini resistenti (i ricorsi di nastro sono a tutti gli effetti armatura aggiuntiva) e confinando porzioni limitate di muratura consente notevoli incrementi in duttilità. Il grande vantaggio tuttavia a cui la sua applicazione è legata è sicuramente nei confronti dei cinematismi locali di collasso, in quanto la maglia diffusa CAM® permette di cucire insieme non solo eventuali paramenti di una muratura a sacco, ma anche pareti tra loro ortogonali.
In effetti il massimo contributo che il Sistema offre, spesso implicitamente attraverso l'applicazione di una maglia diffusa, è nell'ambito della limitazione dei meccanismi di collasso locali. Tale aspetto, anche se non sempre valutabile a livello numerico, è tuttavia assolutamente propedeutico al buon comportamento globale del fabbricato.
Solo realizzando l'effetto scatolare, l'edificio in muratura si comporta come una struttura tridimensionale e quindi solo allora hanno significato i risultati ottenibili dall'analisi globale attraverso un modello di calcolo tridimensionale.
L'***analisi lineare*** porterà all'individuazione della crisi come ***superamento della resistenza*** massima.
In riferimento a quanto detto, si individueranno le seguenti situazioni critiche sul singolo elemento:



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

- ***CRISI per COMPRESSIONE***: superamento del valore limite del carico assiale $N_{rd}$.
- ***CRISI per PRESSOFLESSIONE*** nel piano e fuori piano: superamento del valore limite del momento resistente $M_{rd,x}$ e $M_{rd,y}$, indicando con i pedici x e y le due direzioni dell'elemento nel piano.
- ***CRISI per TAGLIO*** (scorrimento o fessurazione diagonale): superamento del valore limite del carico resistente a taglio $V_{d,sc}$ e $V_{rd,fess}$ il cui pedice fa riferimento alla tipologia di rottura individuata dalla giacitura di lesione.

Il ***progetto dell'intervento*** consisterà quindi nel ***calcolo dell'incremento resistente*** che l'elemento rinforzato dovrà raggiungere.
Appare quindi il limite di tale analisi che tenderebbe a portare l'attenzione dal comportamento globale a quello locale del singolo elemento, dei singoli elementi, che portano alla crisi.

Nell'ambito invece di una ***analisi non lineare***, l'attenzione è fortemente spostata verso il comportamento d'insieme della struttura.
L'analisi potrà essere interrotta dal collasso prematuro di pochi elementi e quindi dall'incapacità di coinvolgere ampie porzioni della struttura.
Quando ad esempio la plasticizzazione avviene in maniera quasi contemporanea in estese porzioni di struttura, questo è sintomatico di una buona distribuzione strutturale di resistenze e capacità deformative.
Ecco dunque che, in questo caso, sarà necessario ***individuare quali elementi non collaborano al buon comportamento d'insieme*** ed individuare la causa intesa come raggiungimento del limite di resistenza o deformabilità. Una strategia risulta ad esempio l'innalzamento della capacità a taglio dell'elemento in modo che la rottura limite risulti quella flessionale quindi a capacità di spostamento maggiore.
Anche per l'analisi non lineare vale quanto già descritto: l'estensione dell'intervento, seppur minimo e 'fuori calcolo' permette di incrementare i vincoli tra macroelementi. È sconsigliabile quindi limitarsi al consolidamento locale del singolo elemento che va in crisi ma è bene ***procedere iterativamente fino all'ottenimento di un buon coinvolgimento globale delle risorse disponibili***.

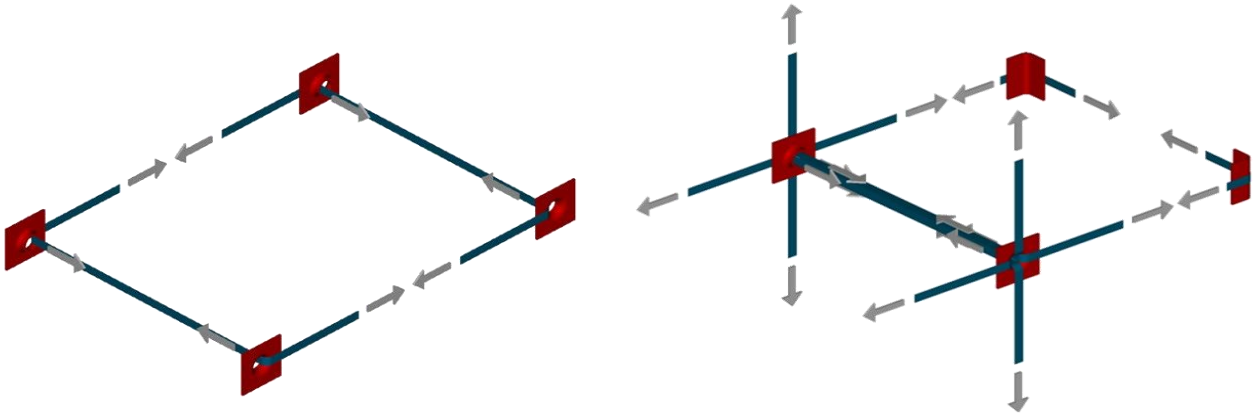


**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

# 4 INTRODUZIONE AL SISTEMA CAM® APPLICATO ALLA MURATURA

## 4.1 INTRODUZIONE

**L'acronimo CAM® è il marchio e brevetto che rappresenta la tecnologia delle *Cuciture Attive dei Manufatti*.** In esso è racchiuso un sistema di consolidamento strutturale che in estrema sintesi può dirsi basato sulla realizzazione di un ***reticolo tridimensionale,*** fatto per mezzo di ***tirantature in tensione,*** in ***nastro di acciaio***, che ***singolarmente*** cerchiano porzioni limitate di muratura.



***Rappresentazione della singola maglia e della composizione di più maglie con evidenza del flusso delle forze, conseguenti allo stato di coazione impresso (non è rappresentato in volume confinato)***

La formazione di un reticolo **tridimensionale** consente di ottenere una condizione finale di **coazione triassiale,** in grado di conferire maggior resistenza a compressione al volume murario per effetto del **confinamento** indotto, contemporaneamente le legature costituiscono armatura ed offrono **capacità portante a trazione e senza incremento di massa.**

Tale sistema è il primo ad aver introdotto ed ingegnerizzato **il consolidamento tridimensionale per via meccanica.**

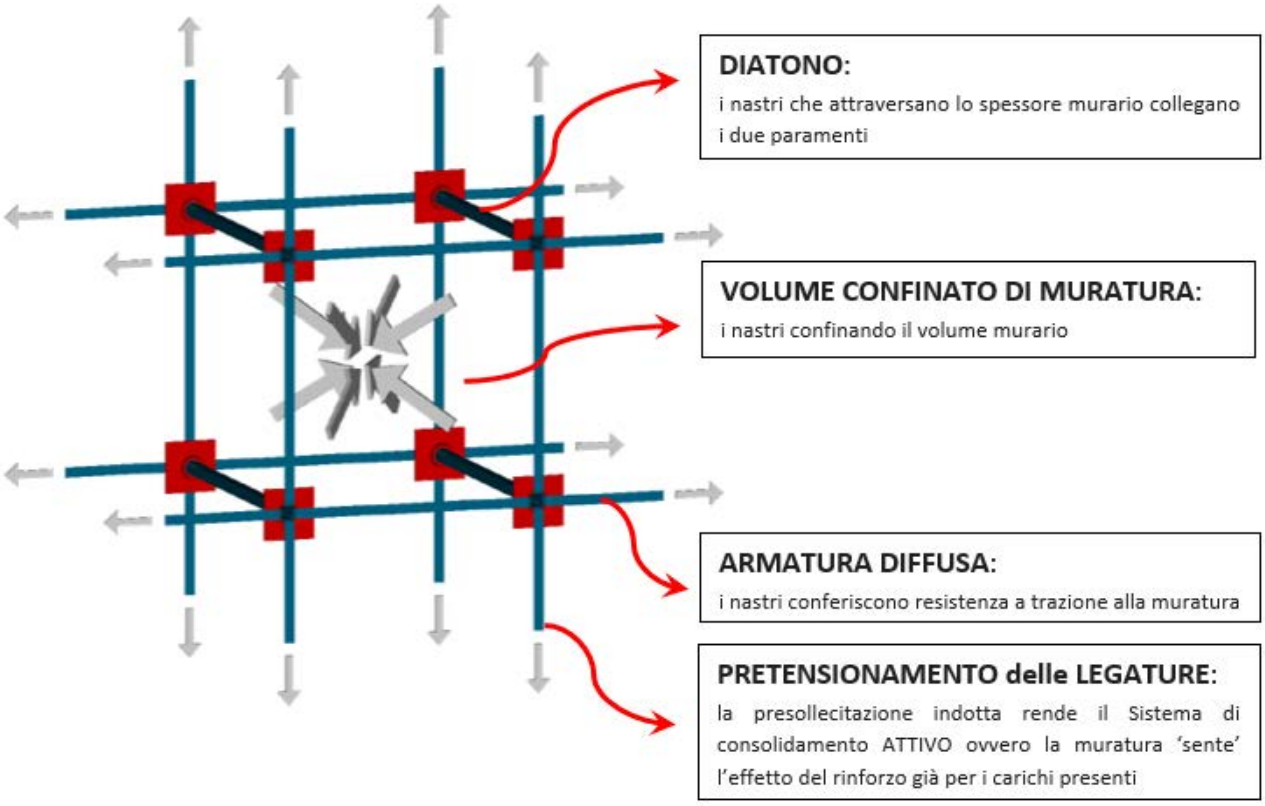
Dal punto di vista più tecnologico, il sistema delle cuciture attive a marchio CAM® consiste nell'applicazione di un rinforzo metallico, realizzato con nastri di acciaio (di larghezza 19 mm e spessore inferiore ad 1 mm) che corrono sulle due facce e nello spessore delle pareti, così da ottenere un sistema reticolare tridimensionale di tiranti orizzontali, verticali e trasversali. Ciascun tirante può essere realizzato come sovrapposizione di spire o cerchiature che dir si voglia, messe in tensione **singolarmente** con un'apposita macchina tendinastro, tarata nella sua azione di tiro.

Le cuciture sono tra loro in sequenza e connesse, solitamente a formare un doppio ordito. Speciali elementi metallici costituiti da piastre imbutite consentono di richiudere le forze agenti sul piano della parete nei punti di nodo e contestualmente ripartiscono l'azione di compressione che si attiva in direzione trasversale; l'insieme di nastri che attraversano lo spessore murario costituiscono un diatono meccanico.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2




Il reticolo di legature attraversa i solai, le pareti ortogonali e se necessario viene ancorato a livello di fondazione; in questo modo si dà continuità orizzontalmente, verticalmente e trasversalmente, da un estremo all'altro della parete, dalla base alla sommità dell'edificio.

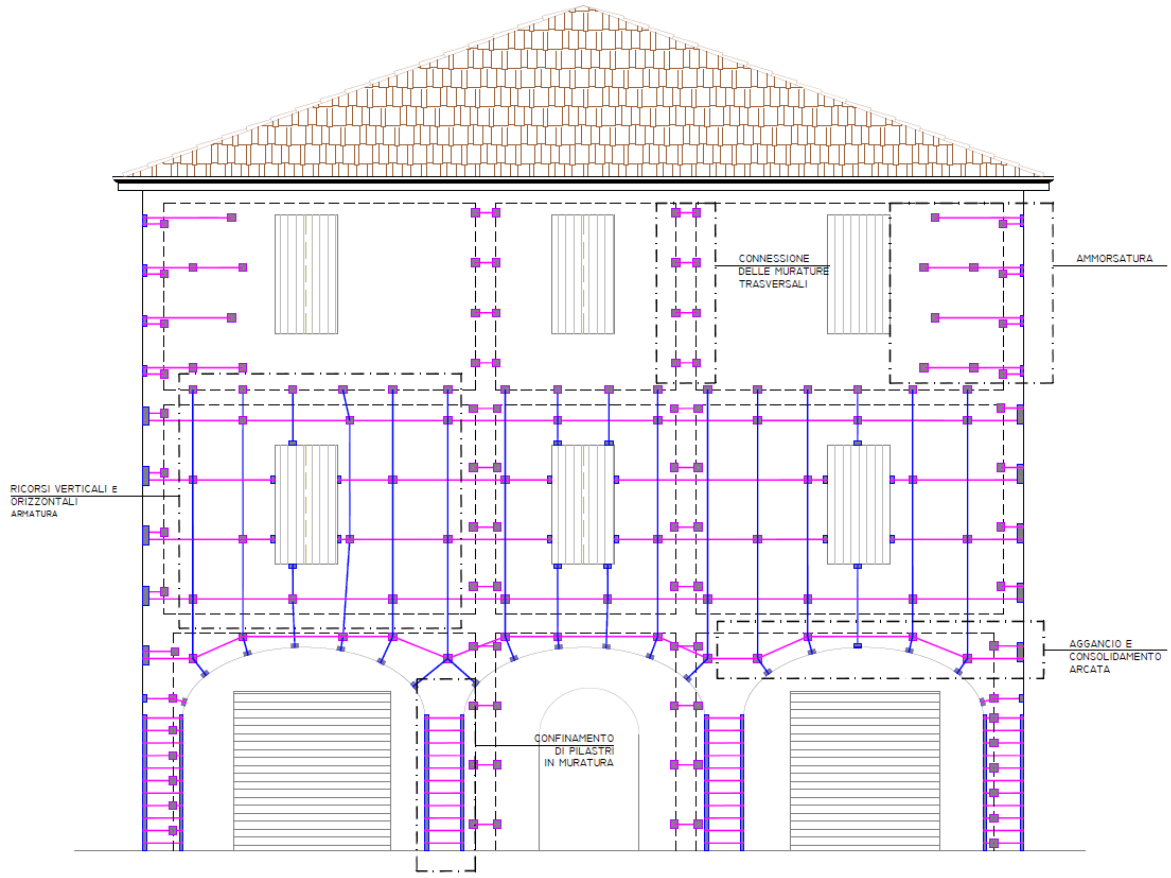
L'effetto di confinamento indotto sul volume murario, unitamente alla disposizione del reticolo metallico di legature, porta da un lato a migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura (incremento di resistenza a compressione del pannello e incremento in duttilità), dall'altro l'armatura disposta offre il suo contributo a trazione sia nei confronti della resistenza a taglio che a flessione del pannello. È evidente come tali caratteristiche si ribaltino con immediatezza sul miglioramento del comportamento sismico delle pareti murarie quando queste vengono sollecitate, sia nel proprio piano, che ortogonalmente a questo. (Si vedano a tal proposito le prove condotte su modelli al vero nel progetto TREMA ed in particolare i filmati dei diversi comportamenti su tavola vibrante nell'ambito di prove eseguite dall'Università della Basilicata).

Ora, sebbene l'idea alla base del Sistema CAM sia stata il collegamento dei paramenti delle murature a sacco, esistono una serie di vantaggi anche indiretti legati alla sua applicazione. La sua incredibile flessibilità ad esempio ha portato ad individuare soluzioni semplici ma valide a problematiche comuni a molti manufatti, che rappresentano un patrimonio tecnologico di grande potenzialità, come si avrà modo di presentare nel seguito.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2




***Sistema a marchio CAM®: rappresentazione del reticolo su parete di un edificio***

***Lavorazione Edil CAM Sistemi s.r.l. su facciata di un edificio scolastico***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

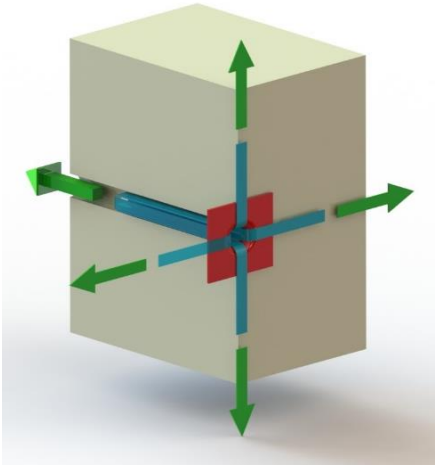
## 4.2 COMPONENTI BASE: RUOLO E FUNZIONE

La semplicità del Sistema, che di fatto rappresenta anche la sua forza per l'immediatezza e l'evidenza dell'efficacia, risiede proprio nell'impianto tecnologico.
Le tre ***funzioni caratterizzanti il Sistema a marchio CAM®*** sono:

- Realizzare un reticolo di armatura in grado di assorbire gli sforzi di trazione. il nastro d'acciaio è tale da poter sopportare *solo* ed *unicamente* trazione e la muratura viene di fatto presa in conto solo per il suo contributo a compressione
- Trattenere il volume murario esercitando una benefica azione di confinamento tridimensionale. Il volume di muratura confinato è il risultato di orditure poste su entrambe le facce della generica parete e collegate attraverso connessioni trasversali nei punti d'incrocio. Tali collegamenti trasversali si risolvono in altrettante microcatene, in grado di conferire compattezza e continuità all'apparecchio murario, realizzando un collegamento *meccanico*.
- Assorbire l'azione divaricatrice del nucleo eventualmente spingente nelle murature a doppio paramento, in corrispondenza dei punti di attraversamento trasversale.

I componenti sono:

- Il nastro metallico utilizzato per realizzare ogni singola maglia;
- L'elemento metallico di chiusura della maglia (sigillo)
- Il piatto metallico imbutito da posizionare in corrispondenza delle forature intermedie come elemento di ripartizione e diffusione dell'azione applicata dai nastri alla muratura
- L'angolare metallico con stesso ruolo della piastra imbutita da porre in corrispondenza degli spigoli.



***Schema di interazione***

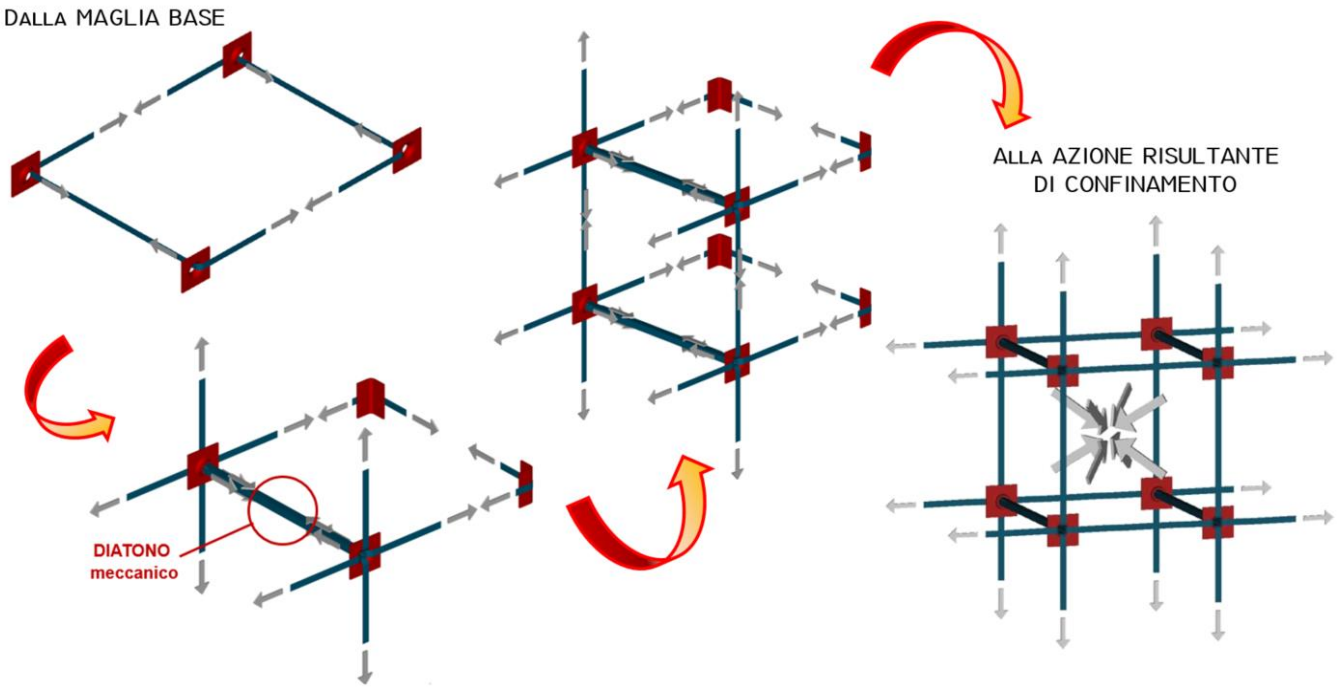
## 4.3 DEFINIZIONI GEOMETRICHE DEL RINFORZO MEDIANTE CUCITURE ATTIVE

I nastri sono posizionati a formare maglie chiuse disposte in continuità secondo direzioni che possono essere verticali e/o orizzontali e/o diagonali, tra loro anche sovrapposte, con forature secondo un reticolo regolare o a quinconce, a disegnare orditi semplici o multipli in relazione alle esigenze di calcolo. Ciascun ricorso può essere realizzato con più nastri in sovrapposizione e ciascun nastro è chiuso su se stesso. Nel meccanismo di rinforzo per azioni a pressoflessione e taglio nel piano i nastri verticali e orizzontali sono armatura posta in posizione discreta.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2



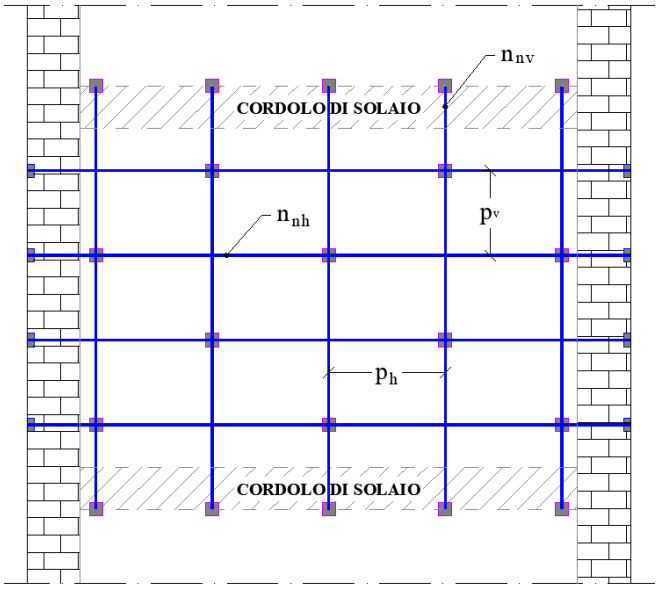

***Schema statico elementare di riferimento.***

***Lavorazione Edil CAM Sistemi s.r.l. su fabbricato storico***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

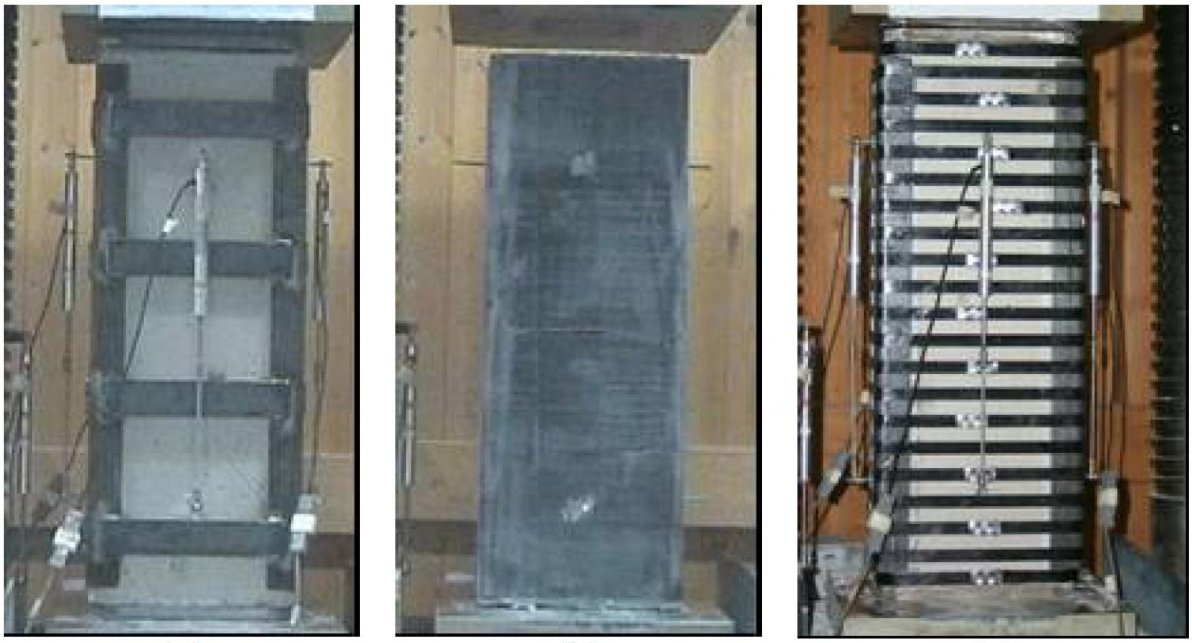



$n_{nv}$ = numero di nastri disposti in verticale
$p_h$ = passo orizzontale (interasse nastri verticali)
$n_{nh}$ = numero di nastri disposti in verticale
$p_v$ = passo verticale (interasse nastri orizzontali)

***Disposizione della maglia con foratura a quinconce***

## 4.4 IL RINFORZO 'ATTIVO': L'EFFETTO DELLA PRESOLLECITAZIONE DEI NASTRI

Per intuire l'effetto della presollecitazione dei nastri è utile analizzare le prove condotte dall'Università della Basilicata, comparative rispetto alle altre tecniche definibili 'passive' se confrontate con la tecnologia CAM® 'attiva'.



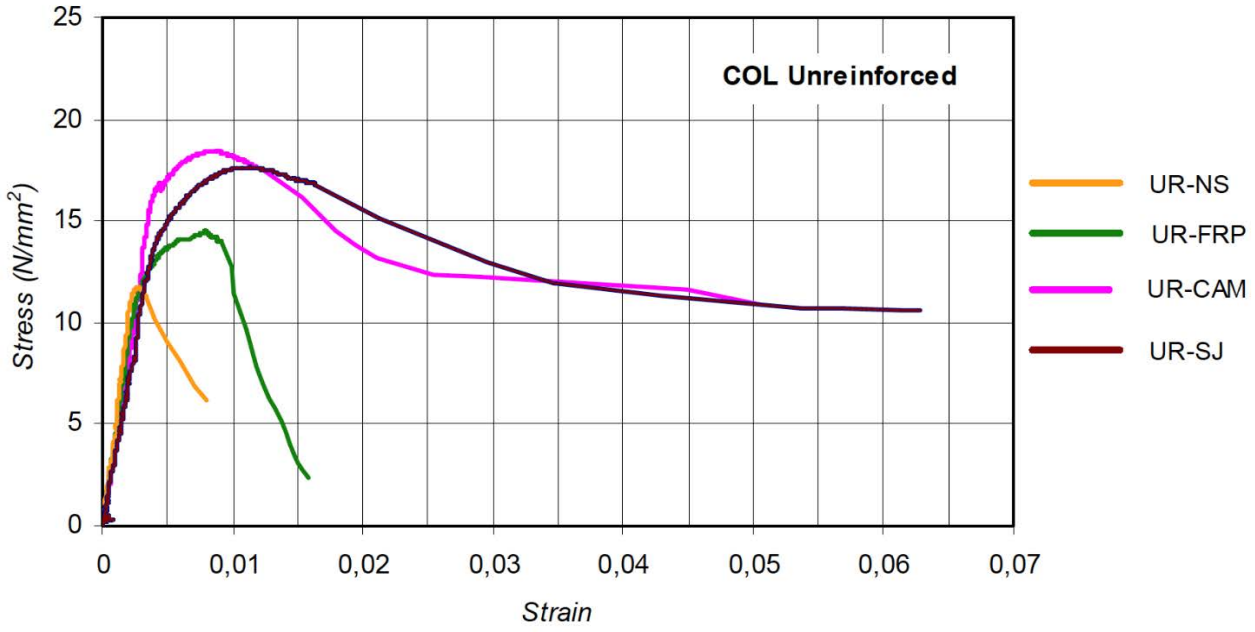

***Tre tecnologie di confinamento a confronto: (a) calastrelli (b) FRP (c) Sistema CAM®***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Calastrelli in acciaio, fasciatura in FRP e Sistema CAM® vennero testati su provino di riferimento (pilastro in calcestruzzo non armato) soggetto a prova di schiacciamento. Prescindendo dal materiale impiegato per la costruzione del provino (calcestruzzo non armato) si ritiene utile l'analisi delle prove condotte per la valutazione dell'effetto di confinamento delle tre diverse tecnologie.
Il dimensionamento dell'intervento si è svolto in equivalenza di incremento resistente ultimo a compressione e l'azione assiale applicata centrata ai provini e di tipo monotona crescente.
Nel grafico di seguito: comportamento di riferimento del pilastro nudo di campione (curva in giallo) confinamento realizzato con fibre (verde), confinamento realizzato con calastrelli (bordò) e confinamento effettuato con Sistema CAM® (fucsia).




***Curve relative alle prove eseguite dall'Università della Basilicata***

Il comportamento a rottura del pilastro nudo è di tipo fragile (in quanto la sezione è non armata) con picco intorno ai 12 MPa (resistenza a compressione del calcestruzzo), con brusco decadimento della resistenza a valle del picco. Anche il provino confinato con FRP è caratterizzato da comportamento post-picco di tipo fragile che, al di là del valore resistente raggiunto, ha andamento degradante (delaminazione della fibra – meccanismo fragile).
Il provino rinforzato con Sistema CAM® (fucsia) e quello con sistema a calastrelli hanno incrementi in resistenza e in duttilità assolutamente paragonabili, distinguendo dopo il picco di resistenza un comportamento plastico (asintotico). Vale però l'occasione di soffermarsi su alcuni aspetti che la coazione impressa all'elemento con le legature CAM® comporta.
Analizzando il tratto iniziale, ovvero elastico della prova si nota che la curva relativa alla prova CAM® prosegue con pendenza rettilinea oltre il limite di resistenza a compressione del calcestruzzo,



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

mentre negli altri provini si assiste ad un cambio di pendenza della curva superati i 12 MPa di resistenza del calcestruzzo. Questa variazione di pendenza è sintomo di una variazione di rigidezza del Sistema, di fatti, il calcestruzzo all'interno della 'camicia' risulta frantumato e da quel dato valore di carico in poi ciò che resiste è unicamente la camicia esterna per effetto delle grandi deformazioni indotte. Nella curva CAM® tale cambio di pendenza avviene ad un valore decisamente maggiore di carico. Ciò vuol dire che se la prova si fosse interrotta al valore di carico corrispondente alla tensione di 12MPa e avessimo tagliato i nastri CAM®, avremmo osservato il calcestruzzo ancora integro.
Il pretensionamento introduce uno stato tensione trasversale che per effetto Poisson si traduce in un 'allungamento' del provino. Il carico necessario per riportare l'elemento alla configurazione indeformata corrisponde all'incremento di carico portato in regime elastico. Il provino cerchiato con Sistema CAM® quindi, a quel dato livello di carico che prima ne avrebbe comportato la rottura, risulta ancora integro.
La prova è stata poi condotta fino ad evidenziare la crisi ultima delle sezioni rinforzate.

***Provini a fine prova***

L'effetto della presollecitazione dei nastri non entra nel calcolo diretto a rottura dell'elemento, mentre il suo contributo può essere stimato nel caso transitorio (fase d'esercizio o fase di applicazione del carico).
In generale, uno stato di tensione definito dal tensore degli sforzi (sistema che descrive lo stato tensionale secondo i tre assi) può sempre essere scomposto in due tensori, uno di tipo sferico (composto dalle sole tre tensioni principali, uguali nelle tre direzioni) ed uno di tipo deviatorico (matrice completa di tutte le componenti, sbilanciate nelle tre direzioni).
Lo sferico produce deformazioni di tipo volumetrico (stato di tensione idrostatica) che normalmente, se non per elevati valori della pressione applicata, non producono fenomeni di collasso del corpo.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Il deviatorico produce uno stato deformativo che modifica la forma del corpo, introducendo scorrimenti e rotazioni. Questa parte del tensore degli sforzi è quella a cui normalmente sono associati gli stati di collasso, che potranno essere di taglio, di torsione o di flessione.

I pannelli murari sono normalmente sottoposti a compressione e presentano, in condizioni non sismiche, uno stato tensionale prevalentemente monoassiale di compressione verticale. Il confinamento mediante il Sistema CAM permette l'instaurarsi di una componente sferica nello stato tensionale del pannello riducendo contemporaneamente la componente deviatorica dello stato tensionale iniziale.

Per chiarire meglio il concetto si può configurare la seguente situazione.

Immaginiamo un pilastro completamente scarico, cui applichiamo un sistema di nastri a confinarlo in coazione: la sollecitazione e dunque la deformata radiale (strizione della sezione trasversale) che si instaura sarà direttamente proporzionale ad un carico assiale e dunque ad un allungamento in asse dell'elemento che può essere calcolato attraverso il coefficiente di Poisson $\nu$.

$\varepsilon_x = -\upsilon \cdot \varepsilon_z$

All'applicazione del carico assiale l'elemento, confinato attivamente, fintanto che l'azione non sarà tale da riportarlo alla condizione indeformata ($\varepsilon_z$=0), non "sentirà" alcun incremento di sollecitazione. Il carico che riporta l'elemento alla condizione indeformata corrisponde esattamente all'incremento di resistenza in condizione di esercizio, che fornirà dunque una misura dell'incremento di resistenza in elasticità (non in condizioni ultime quindi) che la parte attiva del rinforzo con CAM® fornisce.

Al superamento di tale valore il pilastro si deformerà radialmente per effetto Poisson e le legature continueranno a fornire una azione trasversale via via crescente similare a quanto fornito dalle altre tecniche di confinamento passivo.

In buona sostanza il comportamento del pilastro presenterà un ampliamento del dominio elastico per effetto della presollecitazione del Sistema di rinforzo, ampliamento che potrà essere sfruttato fin dalla fase di applicazione del rinforzo.

## 4.5 I MATERIALI

Per gli interventi sulla muratura viene utilizzato solo acciaio inossidabile, sia per la realizzazione dei piatti imbutiti, che per gli angolari, che ovviamente per il nastro.

Tutti i materiali sono marcati CE. Nella tabella a seguire vengono riepilogati i materiali impiegati per ogni componente.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

| Componente | Dimensione (mm) | Normativa | SIGLA | $f_{tk}$ (MPa) | $f_{yk}$ (MPa) | $A_{80}$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Piatto imbutito | 125x125x4(*) | UNI EN 10088-4 | 1.4301 – 1.4307 | ≥ 520 | ≥ 220 | 45 |
| Angolare ripartitore (*) | 300x100x4mm 125x60x4mm | UNI EN 10088-4 | 1.4301 – 1.4307 | ≥ 520 | ≥ 220 | 45 |
| Nastro | 19x0.90 | UNI EN 10088-4 | 1.4318 | ≥ 650 | ≥ 350 | 35 |
| Sigillo | 45x55x1 (0.90) | UNI EN 10088-4 | 1.4301 – 1.4307 | ≥ 520 | ≥ 220 | 45 |

(*) ove necessario possono essere prodotti pezzi speciali con dimensione personalizzata.
Nella geometria si legge altezza elemento x dimensione ala simmetrica x spessore.

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

**Tipo 1 – Nastri tipo 1.4318 secondo la Normativa EN10088-4 (Acciaio INOX AISI 301)**

**Impiegato per qualsiasi tipologia di intervento, per ricorsi orizzontali e verticali del reticolo CAM®**

- spessore 0,90 o 1 mm e larghezza 19 mm
- resistenze a snervamento $f_{yk} \geq 350$ N/mm$^2$ e a rottura $f_{tk} \geq 650$ N/mm$^2$
- allungamento a rottura almeno pari al 35%.

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.

**Per il nastro Tipo 1:**

$$f_{yd} = min\left\{\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}; \frac{0.7 \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}\right\} = min\left\{\frac{350}{1.1}; \frac{0.7 \cdot 650}{1.25}\right\} = min\{318;\ 364\} = 318\ MPa$$

Dove:

$\gamma_{M0}$ = 1,10 (UNI EN 1993-1-4) coefficiente di sicurezza sul materiale;

$\gamma_{M2}$ = 1,25 (Tab. 4.2.XII delle N.T.C.) coefficiente parziale di sicurezza sui collegamenti.

In via eccezionale e solo per le applicazioni in forza (ovvero in cui non è richiesta la duttilità del materiale - rinforzo a taglio della muratura, arpionature o rinforzo a taglio delle architravi) può essere impiegato il materiale usato nelle applicazioni CAM® su strutture in CA.

**Tipo 2 – Nastri tipo 1.4318 secondo la Normativa EN10088-4 (Acciaio INOX AISI 301-2H C1000)**

**Solo ricorsi orizzontali del reticolo CAM ®**

- spessore 0.9 mm e larghezza 19 mm
- resistenze a snervamento $f_{yk} \geq 700$ N/mm$^2$ e a rottura $f_{tk} \geq 1000$ N/mm$^2$
- allungamento a rottura almeno pari al 15%.

**Per il nastro Tipo 2:**

$$f_{yd} = min\left\{\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}; \frac{0.7 \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}\right\} = min\left\{\frac{700}{1.1}; \frac{0.7 \cdot 1000}{1.25}\right\} = min\{636;\ 560\} = 560\ MPa$$



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

# 5 IL SISTEMA A MARCHIO CAM® NELL'AMBITO DEI MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO

## 5.1 INTRODUZIONE

Il meccanismo di collasso fragile per dislocamento degli elementi lapidei è il primo meccanismo fragile da evitare. La disgregazione dell'apparecchio murario può anche interessare uno solo del doppio paramento che costituisce le murature a sacco. La tipologia muraria disgregante ha caratteristiche così scadenti che l'azione di scuotimento che è in grado di sopportare è minima, basandosi unicamente sulla resistenza per attrito tra i vari elementi lapidei.

***Disgregazione nella muratura a sacco***

L'insieme di nastri che attraversano lo spessore murario e compongono la maglia diffusa CAM® realizzano un diatono meccanico di collegamento tra i due paramenti che costituiscono le murature a sacco.

Essi assorbono l'azione spingente del nucleo e l'insieme del reticolo in coazione offre una benefica azione nei confronti della dislocazione dei componenti e aiuta la buona compartecipazione tra paramenti e nucleo.

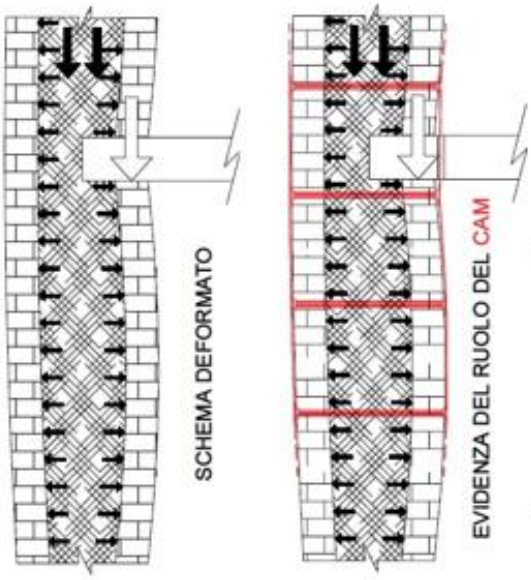
L'azione che il diatono CAM® esplica, in termini di forza di contenimento della spinta, è nettamente superiore a qualsiasi altro tipo di diatono sia esso esistente o realizzato come artificiale in quanto non lavora per aderenza (la capacità del diatono è dipendente dallo stato di sollecitazione verticale) ma per via meccanica (la capacità del DIATONO CAM® è funzione solo del numero di nastri).

Oltre al semplice confronto in termini resistenti ovviamente andrebbe valutata la capacità del singolo paramento per flessione fuori piano per effetto della spinta del nucleo interno, generalmente parametro limitante nelle valutazioni, ma che presuppone la necessaria conoscenza

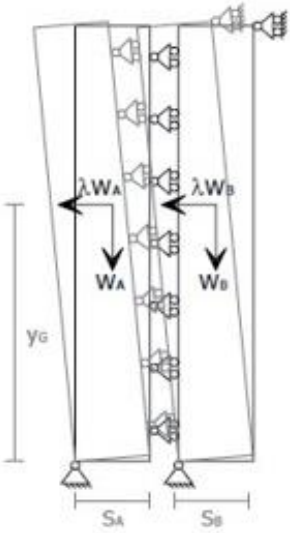


EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

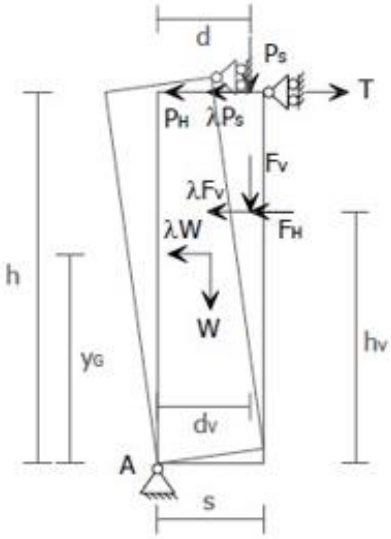
della tessitura muraria in ogni porzione costituente (caratteristiche del nucleo interno inteso come terreno o generico materiale spingente).




*Effetto del sistema a marchio CAM® sulla muratura a doppio paramento.*




*Verifica al ribaltamento: Schema statico per doppio paramento*




*Verifica al ribaltamento: schema statico per doppio paramento solidarizzato con CAM®*

La cucitura diffusa CAM® comporta come immediata conseguenza quella di passare da un meccanismo proprio del **doppio paramento** a quello di muratura **a tutto spessore (monolitica)**, ovvero ad una situazione intermedia in cui la cucitura fornirà un vincolo cedevole allo scorrimento tra i paramenti ma non tale da poter essere considerato fisso.

Nella configurazione di parete monolitica le forze verticali corrispondenti a quelle reagenti dei nastri offrono un contributo stabilizzante, nonché un incremento della capacità rotazionale e il conseguente innalzamento degli spostamenti ammissibili dal cinematismo.

Laddove la tessitura muraria sia costituita da muratura costituita da elementi di forma particolarmente piccola e tondeggiante si consiglia l'applicazione, al di sotto della maglia CAM® diffusa, di una rete porta intonaco la cui valenza non è strutturale ma permette di trattenere in posizione il singolo elemento lapideo senza la necessità di diminuire eccessivamente il passo del reticolo.

Tale tipologia applicativa del Sistema è stata oggetto di validazione sperimentale su murature al vero nell'ambito del progetto di ricerca 'INCAMMINO' dell'Università di Messina.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

***Applicazione EDIL CAM Sistemi con reticolo CAM® in combinazione alla rete TENAX-RF2***

Se l'apparecchio murario è, ovvero è reso, compatto e omogeneo nel proprio comportamento meccanico sarà possibile assimilare la muratura ad un materiale omogeneo, ipotesi base per tutte le successive considerazioni numeriche. La muratura a comportamento monolitico permette di 'leggere' la struttura come insieme di blocchi rigidi (blocchi verticali o pannelli e strutture orizzontali solai) che per effetto di azioni possono ribaltare.

È l'assenza di connessione tra macroelementi (connessione pannello-pannello e pannello-solaio) che comporta la formazione dei cosiddetti meccanismi di primo modo, ovvero in senso generico di ribaltamento di facciate o di porzioni di fabbricato, che usualmente si manifestano per azioni fuori piano e sono legate a resistenze di molto inferiori rispetto a quelle nel piano. Tali meccanismi portano alla perdita di vincolo e a formazione di cinematiche tali per cui la tipologia di collasso può ancora definirsi 'fragile'.

Come detto nel §4.1 qualsiasi cinematismo (per ribaltamento, per flessione verticale o flessione orizzontale) può essere risolto tramite l'introduzione di vincoli, vincoli sia tra pareti ortogonali che tra pareti e solai. Attraverso la disposizione del Sistema a marchio CAM® possono agevolmente vincolarsi i macroelementi tra loro fino a raggiungere energie di attivazioni che portano al collasso nel piano dei pannelli, piuttosto che nel fuori piano.



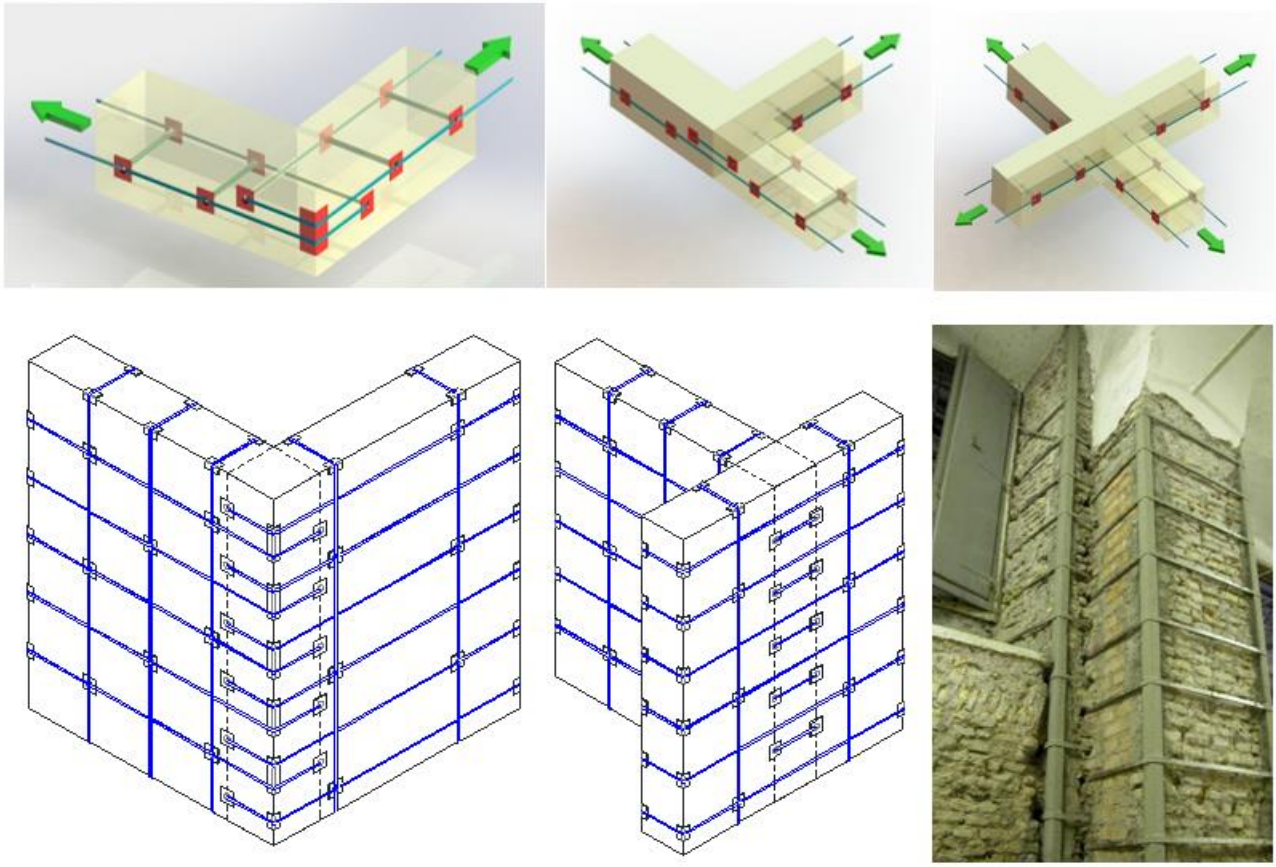
**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

Ciascun ricorso orizzontale della maglia CAM® può essere vista come una catena a risultante simmetrica. Nei meccanismi di ribaltamento semplice, esattamente in maniera coerente alla progettazione o calcolo della catena 'tradizionale'

possono quindi essere considerati

Analizzando inoltre come la maglia viene posta in opera in corrispondenza degli incroci murari (gli anelli di maglia abbracciano ciascun maschio murario per l'intera lunghezza, i ricorsi orizzontali della maglia di ciascun paramento sono sfalsati) è di immediata comprensione che si realizzano ammorsature efficaci per ogni incrocio trattato.



***Schemi grafici e realizzativi di cucitura delle pareti ortogonali***

Per i meccanismi locali d'angolo o di parete scarsamente ammorsata, appare evidente come una cucitura CAM® diffusa sulle pareti ortogonali permette un'ottima soluzione per scongiurarne l'attivazione.



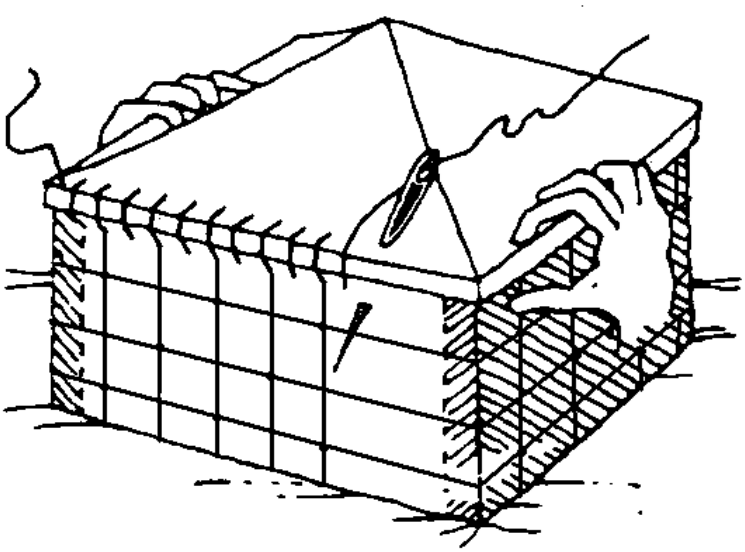
**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Appare chiaro come il Sistema che produce cuciture diffuse sul fabbricato possa risolvere localmente la carenza di vincolo e pertanto comporti l'attivazione di meccanismi a più elevata energia di attivazione.

La flessibilità e versatilità del Sistema CAM® lo porta quindi naturalmente ad essere la soluzione, se applicato in maniera quanto più diffusa possibile.

In corrispondenza degli orizzontamenti, possono svilupparsi ulteriori soluzioni.



*Schema della struttura connessa dalle cuciture diffuse*

Può realizzarsi un **cordolo in muratura armato con nastri CAM®** alla base dei solai senza praticare scassi e perturbare la struttura originaria. Alla muratura preesistente si aggiunge capacità resistente a trazione e quindi complessivamente si realizza una trave sfruttando la muratura stessa cui si dà capacità a taglio, oltre che per effetto del confinamento indotto si rende maggiormente compatta la massa muraria su cui il solaio scarica. Le murature ortogonali che devono sopportare insieme l'azione orizzontale da esso trasmessa in fase sismica (capacità del cordolo in muratura di funzionare come trave armata) risultano così connesse.

Tale intervento può realizzarsi ad ogni interpiano e può essere integrato nel reticolo delle cuciture diffuse con inserimento di nastri diagonali.

*Cordolo CAM®: tra i correnti longitudinali e verticali possono inserirsi elementi diagonali*



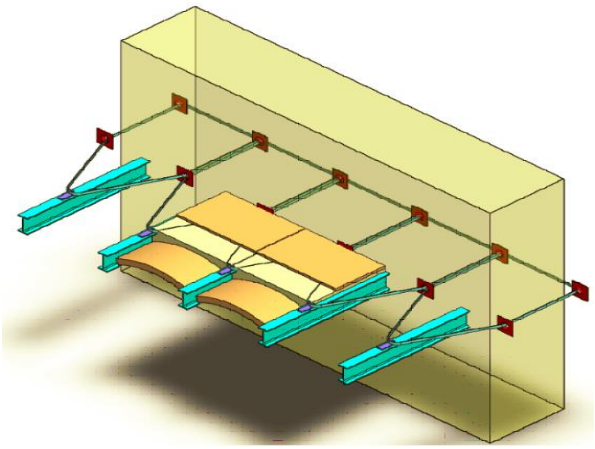
**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Altro intervento che può realizzarsi in corrispondenza dei solai è rappresentato dall'arpionatura degli stessi alle pareti perimetrali, attraverso i nastri disposti a formare in pianta una sorta di pentagono.

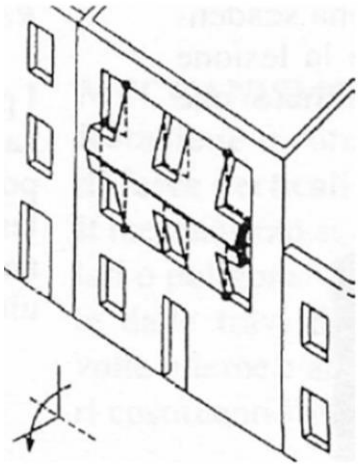
Si realizza un vincolo allo sfilamento del singolo elemento di solaio rispetto alla propria sede di appoggio, ma non solo: ciascun travetto diventa pertanto catena per il fabbricato.

Tale dimensionamento sarà meglio esplicitato nei paragrafi seguenti.



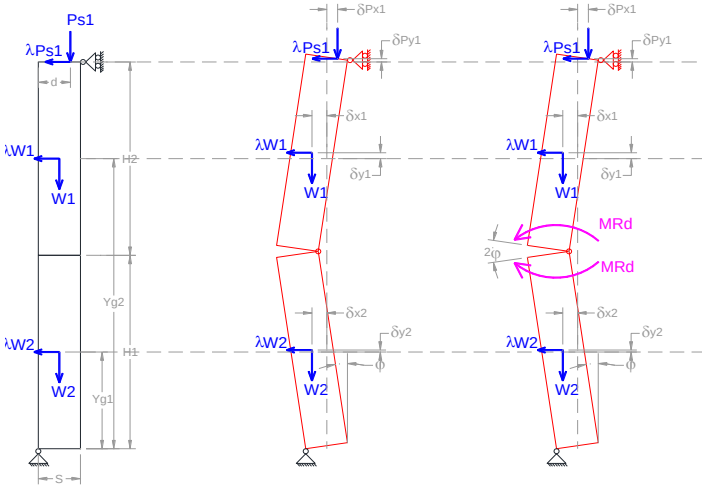
***Arpionatura del solaio con nastri CAM®***

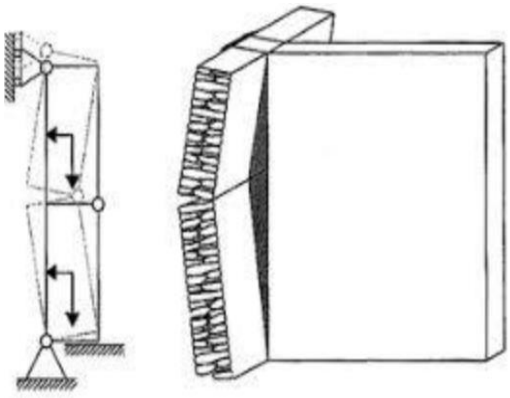
L'efficace connessione degli orizzontamenti alle pareti è ovviamente di non secondaria importanza per lo scongiurare tanto i meccanismi a flessione orizzontale che verticale.



*Sellano 1997*

Nel meccanismo di **flessione verticale** l'intervento CAM® incrementa il moltiplicatore che porta al collasso in quanto aumenta il lavoro delle forze interne: il rinforzo CAM® aumenta il momento resistente per effetto dell'armatura posta in posizione discreta ($M_{rd,CAM}$>$M_{rd,no\ rinforzo}$) non solo nella sezione di mezzeria (massima sollecitazione flettente) ma anche nelle sezioni estremali di vincolo.



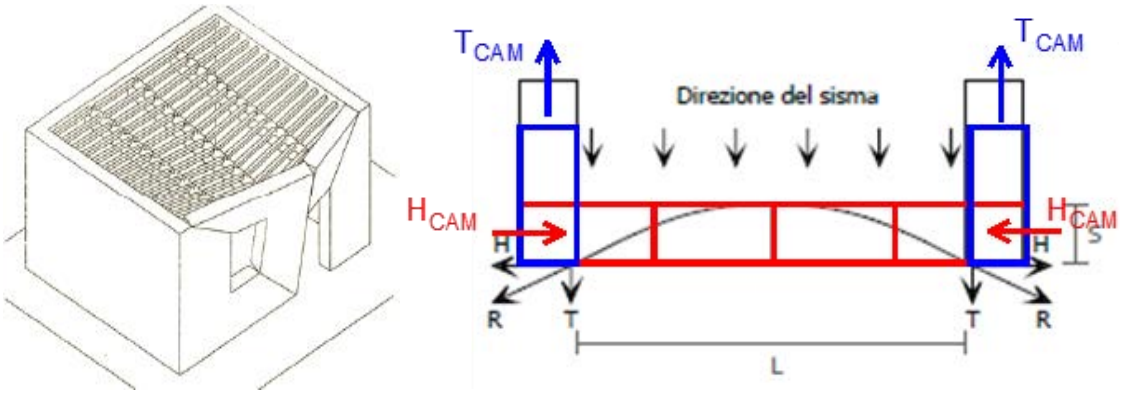
***Meccanismi di flessione verticale***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

I meccanismi di **flessione orizzontale** possono manifestarsi laddove la parete sia efficacemente vincolata alle pareti di spina.




***Il sistema CAM® applicato fornisce reazione alle due componenti di spinta dell'arco interno.***

Secondo tale schema, in conseguenza delle azioni ortogonali al pannello, possono formarsi dei cunei di distacco. Se l'efficacia del collegamento è tale per cui le azioni fuori piano non riescono ad attivare il ribaltamento della parete, la porzione centrale della parete risulta libera di inflettersi generando un effetto arco orizzontale.
Tale arco attivato nello spessore murario genera delle risultanti agli estremi che possono essere assorbite dalle legature disposte sul pannello.
Il rinforzo a marchio CAM® oltre che assorbire entrambe le componenti di spinta che si generano (T e H) offre anche una efficace armatura aggiuntiva in grado di concorrere alla resistenza flessionale del pannello nella condizione inflessa fuori dal piano.

Solo eliminando i meccanismi fragili di collasso, permettendo la trasmissione delle azioni tra macroelementi, si può attingere al comportamento d'insieme della struttura.
Riassumendo per intensità sismica di attivazione del meccanismo crescente definiamo:

INTENSITA' SISMICA

| TIPO DI COLLASSO | TIPO DI INTERVENTO |
|---|---|
| Collasso per disgregazione | Necessità di ricompattare e omogeneizzare l'apparecchio murario |
| Collasso per ribaltamento fuori dal piano | Necessità di legare insieme le pareti ortogonali e i solai alle pareti |
| Collasso nel piano dei pannelli (pressoflessione, taglio, schiacciamento) | Necessità del contributo resistente dell'armatura diffusa |



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Intervenire su una struttura eliminando i primi due meccanismi di collasso significa eseguire un intervento 'in gerarchia', limitando l'insorgenza di meccanismi fragili, attivando i meccanismi duttili nel piano e globali del manufatto.

Il sistema a marchio CAM®, in sintesi, produce i seguenti gradi di miglioramento:

- Modifica del meccanismo di parete da doppio paramento a monolitica.
- Contributo stabilizzante fornito dalle reazioni dei nastri per meccanismo solo cinematico.
- Aumento di resistenza flessionale della sezione muraria per meccanismo cinematico a resistenza finita (inclusione del lavoro interno).
- Modifica dei meccanismi di parete a due cerniere (verticali, orizzontali, di facciata) verso meccanismi che necessitano della formazione di una molteplicità di cerniere e dunque a maggiore energia di attivazione (aumento del moltiplicatore di collasso).

## 5.2 LE ANGOLATE E LE PARETI A T

I manufatti in muratura, quando le possibilità economiche lo permettevano, venivano costruiti prestando molta cura nei confronti della tessitura muraria e riservando un'attenzione particolare verso le sue criticità, come ad esempio l'incrocio tra murature ortogonali e le angolate. In queste zone venivano normalmente utilizzate pietre di migliori caratteristiche, tessute ed inserite in modo tale da realizzare una buona continuità strutturale e allo stesso tempo una distribuzione di resistenze proporzionata all'entità delle sollecitazioni agenti.

Nonostante questo, l'ingranamento tra le angolate e le pareti in esse concorrenti, basato esclusivamente sull'attrito tra i corpi, spesso è risultato comunque inadeguato nei confronti del mantenimento dei carichi di scorrimento tra i corpi stessi.

La situazione peggiora notevolmente nelle strutture più comuni, costruite in modo meno curato e con materiali meno pregiati, dove il collegamento risulta talmente carente da poter essere considerato sostanzialmente assente.

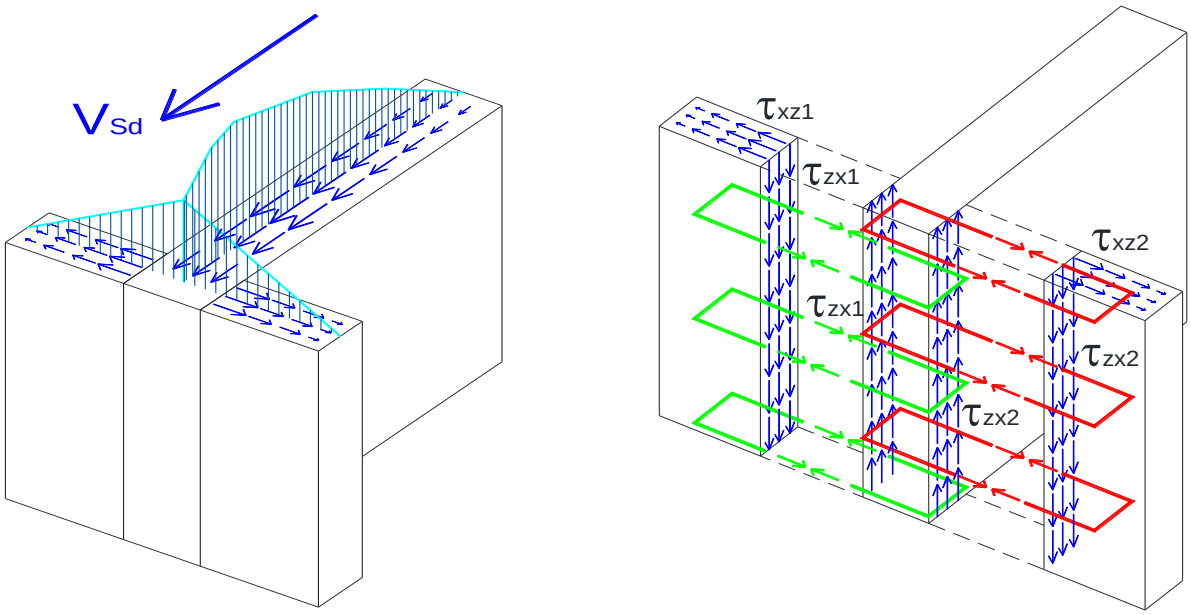
Dal punto di vista meccanico, maschi tra loro ortogonali e ben ammorsati possono costituire, compatibilmente con la capacità del collegamento, un unico elemento resistente a taglio/flessione. Due pareti ortogonali convergenti in un angolo possono funzionare come un'unica parete ad L. Questo comporta un aumento di capacità globale a taglio/flessione, nonché un aumento di rigidezza flessionale nel comportamento meccanico delle due pareti considerate continue.

Il funzionamento di trasferimento delle sollecitazioni tra pareti convergenti è schematizzato nella figura seguente.



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2




*(a)* *(b)*

***Andamento delle tensioni tangenziali tra la parete di spina e le due porzioni di parete di facciata in un comportamento connesso***

Il taglio sollecitante $V_{Sd}$ nella parete a T si distribuisce lungo le tre pareti secondo l'andamento della figura (a). Per la simmetria delle tensioni di taglio ($\tau_{xz}$ e $\tau_{zx}$), a partire da quelle sulle facce orizzontali possono essere ricavate le tensioni di taglio sulle interfacce verticali, come rappresentato in figura (b). Nella medesima figura (b) è possibile osservare anche un tipico esempio di posizionamento dell'intervento CAM® a dimostrazione di quanto esso sia efficace all'assorbimento/trasmissione delle stesse.

Si noti come il ruolo dei nastri sia quello di imprimere un'azione di avvicinamento e compattazione tra i maschi, nonché uno stato di compressione sulla superficie di interfaccia, funzionale ad un aumento di resistenza a taglio della stessa.

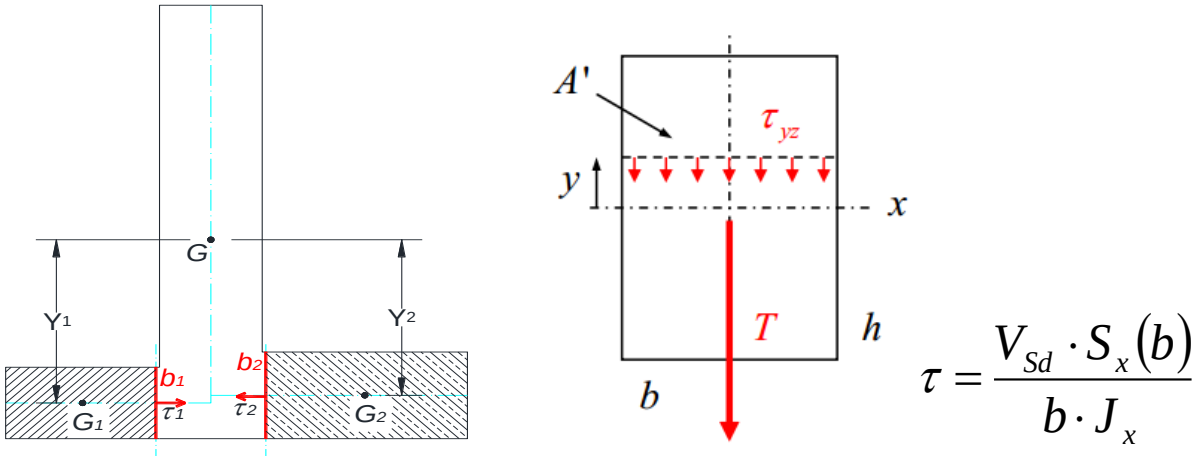
La verifica del corretto funzionamento flessionale dei **tre maschi come un unico elemento** si esplica mediante la verifica di resistenza del meccanismo di rottura a taglio sulle superfici verticali di interfaccia.

A questo scopo bisogna dunque conoscere lo stato tensionale agente, che può essere facilmente ricavato attraverso la formulazione di Jourawsky:



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2




$$\tau = \frac{V_{Sd} \cdot S_x(b)}{b \cdot J_x}$$

***Geometria di riferimento***

dove:

- $V_{Sd}$ taglio agente sulla sezione
- $b$ corda che individua la posizione in cui viene a calcolarsi la tensione $\tau$
- $S_x(b)$ momento statico dell'area A' individuata dalla corda b, rispetto all'asse neutro

Valutando dunque le tensioni agenti sulle superfici verticali delle interfacce e integrandole sulle stesse, si ottiene la sollecitazione $V_{Sd,i}$ come azione di scorrimento tra i maschi.
La verifica si ottiene confrontando tali $V_{Sd,i}$ con le rispettive resistenze che possono essere ottenute applicando la formula di normativa che qui si riporta:

$$V_{Rd,i} = \left(f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_{h,i}\right) \cdot H \cdot t_i = \left( f_{vko} + 0.4 \cdot \frac{\left(2 \cdot n_{m,i} \cdot n_{n,i} \cdot b_n \cdot t_n \cdot f_{yd}\right)}{H \cdot t_i} \right) \cdot H \cdot t_i$$

in cui si è posto:

- $f_{vko}$ tensione caratteristica di resistenza a taglio per sforzo normale nullo
- $H$ altezza del pannello ovvero della sezione di verifica
- $t_i$ spessore del pannello ovvero della sezione i-esima di verifica
- $\sigma_{h,i}$ tensione orizzontale media sulla sezione applicata dai nastri
- $n_{m,i}$ numero di maglie di nastri CAM applicati alla sezione i-esima di verifica
- $n_{n,i}$ numero di nastri per ogni maglia applicati alla sezione i-esima di verifica
- $f_{yd}$ tensione di calcolo dei nastri orizzontali

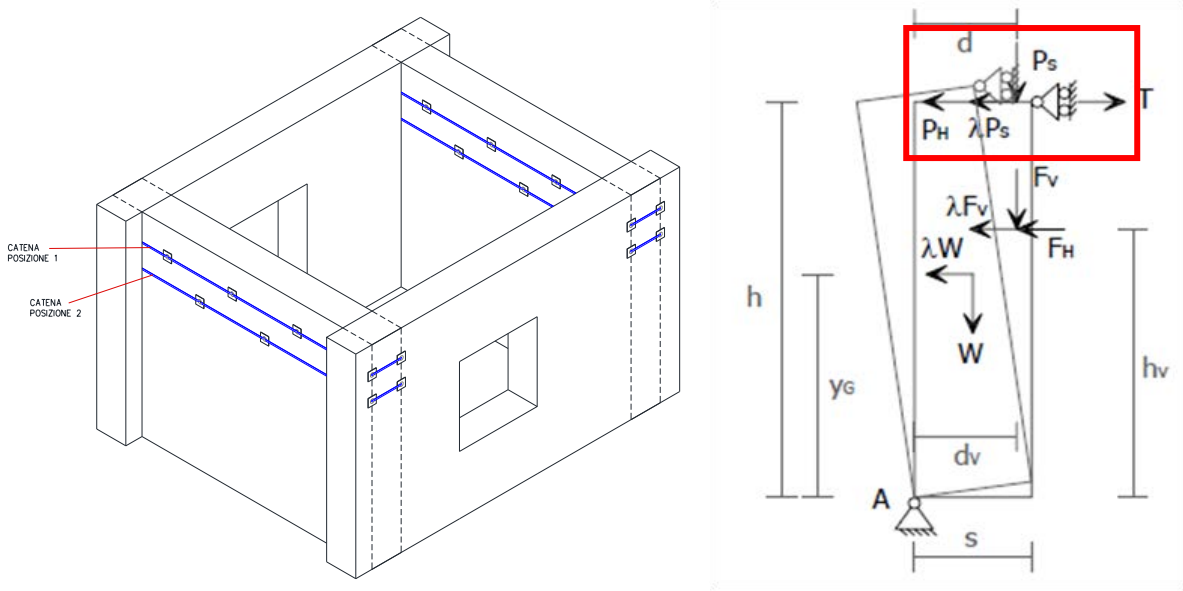


**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

## 5.3 LE CATENE

La realizzazione dell'incatenamento inteso in senso classico, può essere convenientemente realizzata tramite sistema a marchio CAM®. Esso prevede il posizionamento di tirantature presollecitate sempre a risultante simmetrica, correnti lungo le pareti murarie, realizzate con spire di nastri in acciaio inossidabile in sequenza.




***Incatenamento con nastri CAM®.***

I nastri vengono disposti sulle due facce della parete interessata e corrono paralleli da un'estremità all'altra della stessa, attraversandone lo spessore in corrispondenza dei fori intermedi. La catena è comunemente utilizzata come azione equilibrante dei fenomeni di ribaltamento fuori piano ed in particolare per contrastare l'azione di spinta generata dal meccanismo resistente ad arco che il pannello sollecitato esercita sui maschi per esso controventanti.

Il calcolo della catena realizzata con Sistema CAM® è del tutto equivalente al calcolo dei tiranti, potendo peraltro sfruttare il vantaggio derivante dalla presollecitazione imposta che rende attivo il rinforzo fin dalla sua posa in opera.

Infatti, come già detto in precedenza la catena così realizzata coinvolge nel proprio funzionamento anche la parete di spina alla quale si connette attraverso le forature trasversali. Ancora più vantaggiosa risulta la possibilità di inserire più livelli di incatenamento con il vantaggio sia di disporre di tutta la forza necessaria alla controventatura, sia di distribuirla lungo l'altezza del pannello da controventare.

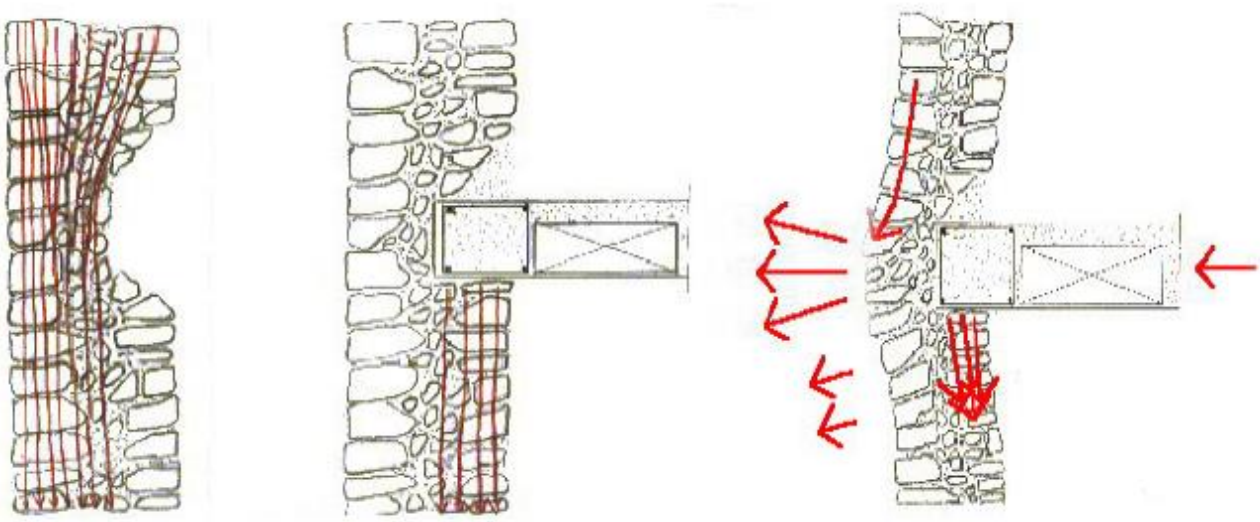


**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

## 5.4 L'ARPIONATURA DEL SOLAIO

Il principale e più frequente problema che si riscontra nelle costruzioni esistenti, in relazione agli orizzontamenti presenti, è lo scarso collegamento tra questi e le murature che lo sostengono.



***Rappresentazione schematica degli effetti deleteri di un ammorsamento per realizzazione di cordolo in breccia (prof. Borri). Fenomeno dello sfilamento/punzonamento del solaio***

Se il solaio non è ben ammorsato alla muratura perimetrale, esso non solo non è in grado di fornire quel grado di vincolo alla testa dei pannelli necessario a garantire il comportamento a scatola, ma va a costituire anche una situazione di potenziale danneggiamento/instabilizzazione della parete, nell'eventualità di uno scorrimento potenziale o dell'innesco del funzionamento a sfilamento/punzonamento delle singole travi/travetti portanti.
Il Sistema a marchio CAM® anche in questo ambito fornisce una soluzione al problema semplice ed efficace. Il Sistema può essere applicato sia all'intradosso che all'estradosso dei solai fornendo due soluzioni differenti in termini di prestazione.
**L'intervento all'intradosso** prevede l'incatenamento delle singole travi di solaio, che siano queste in CA, lignee o metalliche, attraverso l'applicazione di connettori, in cui il nastro gira e lo connette alle murature su cui è appoggiato. **L'intervento all'estradosso** funziona analogamente al precedente, qualora il collegamento avvenga sempre in corrispondenza delle travi, e l'impalcato stesso non sia rigido nel proprio piano (assenza di soletta rigida).



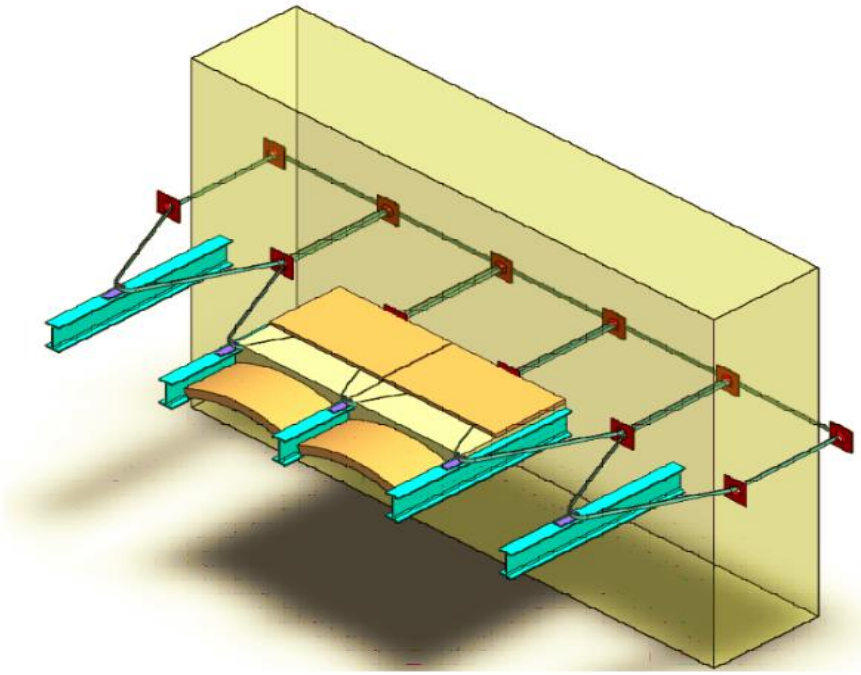
**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

*Arpionatura dei travetti: intervento all'intradosso*

*Arpionatura dei travetti: intervento all'estradosso con nastri inseriti nella soletta*

Il risultato dell'intervento CAM® per entrambe le applicazioni è quello di connettere il solaio ed evitarne lo sfilamento. Non si incrementa pertanto la 'rigidezza dell'orizzontamento' ma si trasforma in catena ogni travetto. Laddove risulti necessario un intervento di irrigidimento nel piano, l'intervento può convenientemente essere realizzato all'estradosso del solaio, prevedendo congiuntamente la realizzazione di una soletta resa collaborante attraverso il classico sistema di connettori. Il vantaggio del Sistema risiede nella scarsa invasività rispetto a tecniche largamente impiegate in passato ed attualmente ritenute eccessivamente invasive (cordolo in breccia o 'coda di rondine').



***Disposizione dell'arpionatura delle travi. L'inclinazione delle legature è preferibilmente a 45°.***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Il dimensionamento dell'arpionatura del solaio avviene in modo molto semplice: la forza che le legature disposte secondo un angolo $\alpha$ di circa 45° devono assorbire è quella che uguaglia l'azione sismica applicata al solaio sulla base del carico ad esso competente.

Calcolato dunque il $W_{sismico}$ del solaio, ripartito per area di influenza sulla singola trave, e applicando l'accelerazione sismica di progetto $S_d(a_g,T)$, si ottiene la massima azione di trazione/compressione orizzontale agente su ogni singola trave.

Tale azione dovrà essere interamente assorbita dall'arpionatura, pertanto il numero di nastri verrà calcolato con la formulazione seguente:

$$n_{nastri} = \frac{S_d(a_g,T) \cdot \frac{W_{sismico,sol}}{n_{travi}}}{A_{nastro} \cdot f_{yd,nastri} \cdot 2 \cdot \cos(\alpha)}$$

in cui si è posto:

| | |
|---|---|
| $S_d(a_g,T)$ | accelerazione sismica di progetto, funzione della $a_g$ al suolo e del periodo proprio di riferimento del manufatto nella direzione considerata |
| $W_{sismico,sol}$ | peso sismico del solaio da incatenare (comprensivo dell'aliquota di carico accidentale) |
| $n_{travi}$ | numero di travi portanti del solaio |
| $A_{nastro}$ | area resistente del singolo nastro |
| $n_{nastri}$ | numero di nastri sovrapposti per singola arpionatura |
| $f_{yd,nastri}$ | tensione di calcolo del nastro impiegato |

Per il caso più comune si dispongono le legature con $\alpha$ =45° e la precedente si specializza nella seguente:

$$n_{nastri} = \frac{S_d(a_g,T) \cdot \frac{W_{sismico,sol}}{n_{travi}}}{A_{nastro} \cdot f_{yd,nastri} \cdot \sqrt{2}}$$



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

# 6 IL SISTEMA CAM® NELL'AMBITO DEI MECCANISMI GLOBALI

## 6.1 RINFORZO PER CONFINAMENTO

La verifica di elementi strutturali confinati viene condotta valutando l'azione esercitata dalla fasciatura in funzione della geometria del rinforzo e delle caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati. 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, in particolare in combinazione statica) e $N_{Rmc,d}$ il valore di progetto della resistenza della muratura confinata.

Si assumeranno valide le formulazioni riportate all'interno delle Istruzioni CNR DT 200, espressioni che nascono per i compositi fibro-rinforzati ma che, mancando altri riferimenti normativi circa la stima dell'effetto del confinamento sulla muratura, possono essere impiegate senza perdita in generalità in quanto il problema meccanico è il medesimo.

Le formulazioni sono opportunamente modificate nei confronti delle limitazioni imposte per tenere in debita considerazione gli effetti della delaminazione, effetti non presenti nel caso di rinforzo CAM in quanto il sistema di aggrappaggio avviene per via meccanica e non per incollaggio.

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 $f_1$ 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



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

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

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:

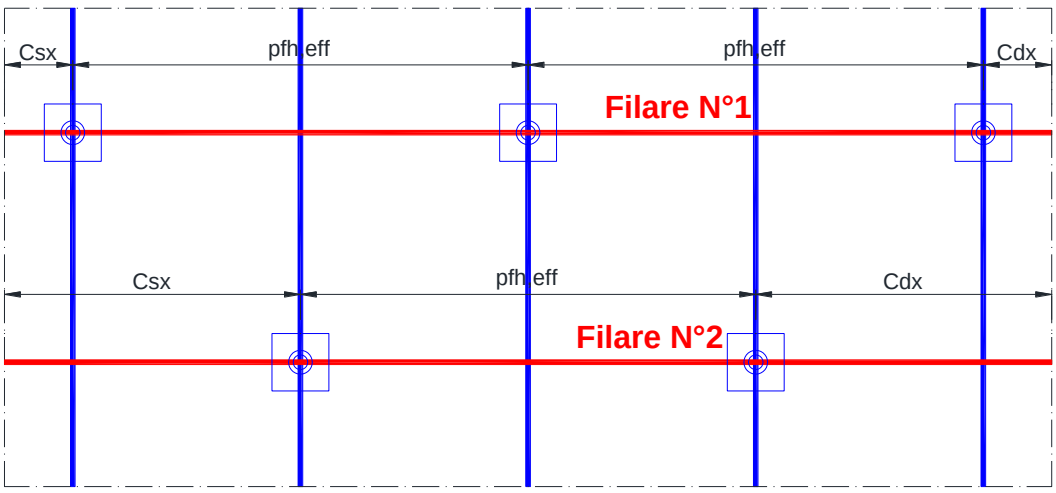
$k_{eff} = k_H\, k_V$ coefficiente di efficienza del confinamento

$k_H$ coefficiente di efficienza orizzontale

$k_V$ coefficiente di efficienza verticale

Per il calcolo dei parametri $f_1$, $k_H$ 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. Nel seguito si manterrà la dicitura 'barre' presente nelle Istruzioni pur trattandosi di un insieme di nastri.
- Il **passo orizzontale delle barre** è pari a quello dei nastri verticali ovvero a quello efficace nel caso di disposizione a quinconce.

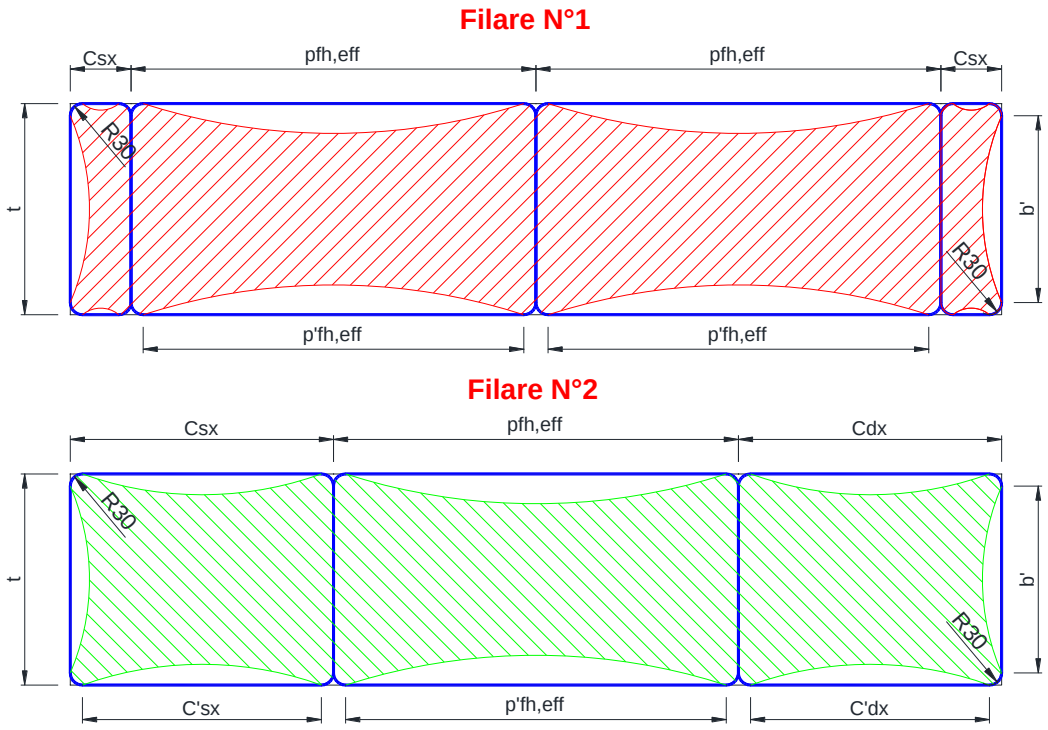



***Disposizione in prospetto della maglia del Sistema CAM®. Nel caso del quinconce i filari orizzontali presentano un numero di forature differenti a due a due.***



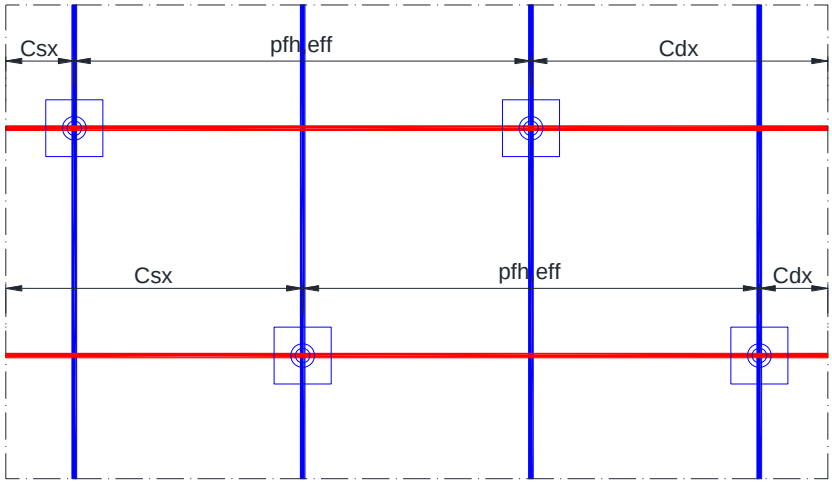
**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2




***Vista in pianta dei due filari ripetuti della maglia a quinconce, con mappatura dell'effetto confinante.***

Nel caso della maglia a quinconce, come evidenziato dalle 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.




Nella disposizione a quinconce per ogni filare alternato variano non solo il numero di forature ma anche la distanza dei primi fori dal bordo che risulta differente tra lato sinistro e destro (questo quando il numero di ricorsi verticali dei nastri è pari come nel caso rappresentato).



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

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

La pressione di confinamento $f_1$, di un pannello murario di larghezza $L$ e spessore $t$ confinato con nastri CAM con passo orizzontale $p_{fh}$ (da cui $p_{fh,eff} = 2 \cdot p_{fh}$ ) è dato da

$$f_1 = \frac{1}{2}\min\left\{f_{yd,h}\cdot\rho_{sx};\ f_{yd,h}\cdot\left(\rho_{sy}+2\cdot\rho_{by}\right)\right\}$$

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

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

$$\rho_{by} = \frac{n_{fori}\cdot A_b}{t\cdot p'_{fh,eff}}$$ 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:

$$A_b = n_{fori}\cdot\left(2\cdot t_{fht}+2\cdot t_{fvt}\cdot\frac{f_{yd,v}}{f_{yd,h}}\right)$$

Il rapporto $\frac{f_{yd,v}}{f_{yd,h}}$ serve ad uniformare l'area delle barre equivalenti sulla base delle effettive prestazioni del materiale impiegato – qualora diversificato – per i ricorsi orizzontali e verticali di nastro.

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

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

Il coefficiente di efficienza verticale vale:

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

Senza scendere ulteriormente nel dettaglio della formulazione analitica, si ha che:

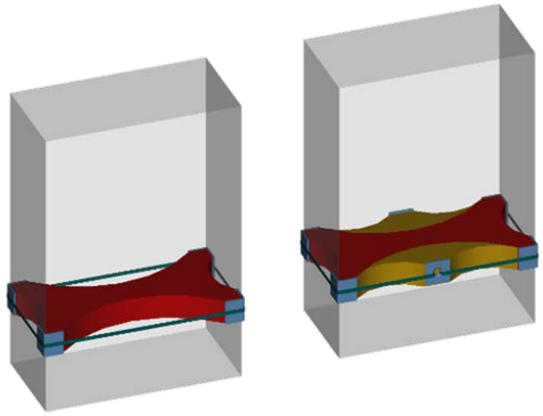
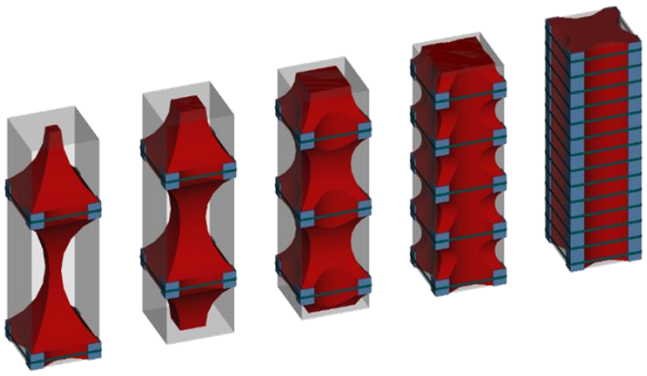
- Tanto più la geometria del rinforzo *(la singola maglia)* si avvicina ad una forma quadrata in pianta, tanto più cresce l'entità dell'effetto di confinamento sulla resistenza (*massimizzazione del coefficiente di efficienza orizzontale*)



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

- Tanto più si infittiscono le legature, tanto più l'efficacia del rinforzo migliora (*massimizzazione del coefficiente di efficienza verticale*)

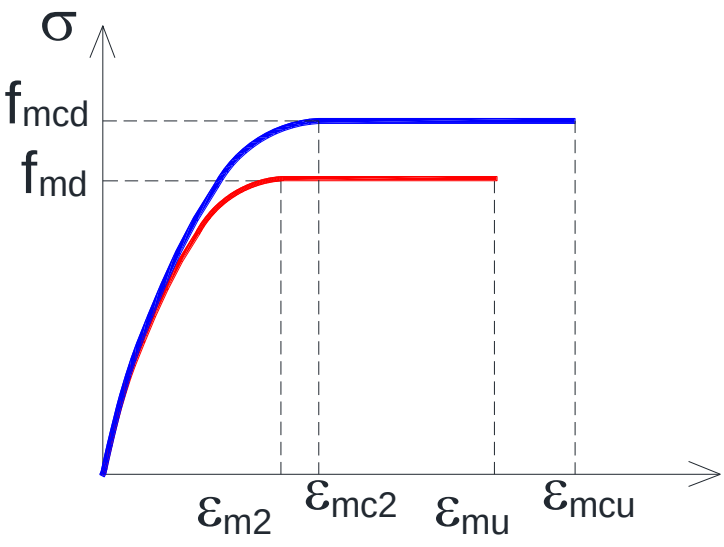
| | |
|---|---|
|  |  |
| ***Evidenza dell'incremento di materiale coinvolto in conseguenza all'infittimento/regolarizzazione in pianta delle maglie (efficienza orizzontale)*** | ***Evidenza dell'incremento di materiale coinvolto in conseguenza all'infittimento del passo delle maglie (efficienza verticale).*** |

Il confinamento effettuato con Sistema CAM® aumenta la capacità resistente a compressione centrata dell'elemento murario e ne incrementa conseguentemente anche la deformazione ultima e quindi la ***duttilità***.

Il miglioramento in termini di **duttilità** è espresso proprio mediante l'incremento della deformazione ultima, secondo la seguente espressione:

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

Il modello costitutivo pertanto che potrà essere considerato per il materiale muratura sarà pertanto modificato





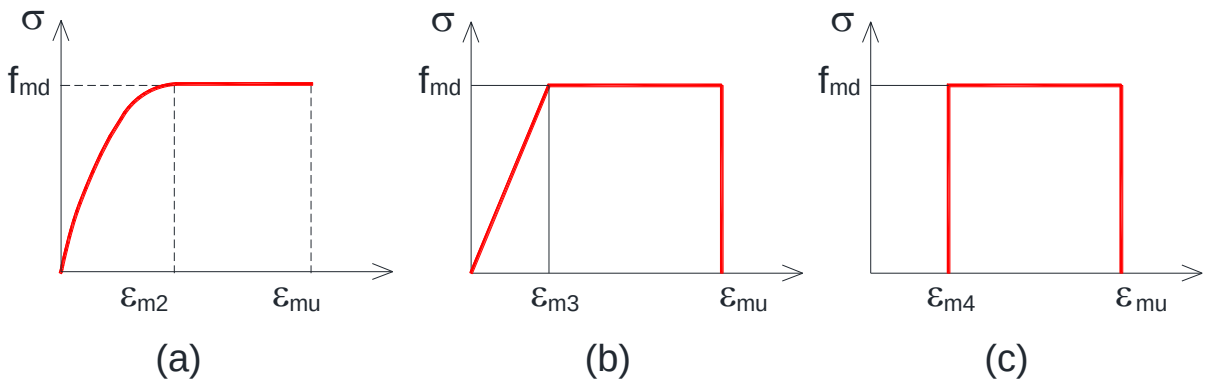

**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Come si nota nelle formulazioni sopra riportate i ricorsi verticali di nastro entrano unicamente nel calcolo dell'area d'armatura che realizza il diatono ($A_b$), pertanto il rinforzo per solo confinamento dell'elemento può essere realizzato anche solo disponendo nastri in direzione orizzontale.
Esempio tipico di elementi che necessitano di un incremento per sola resistenza a compressione è quello di pilastri in muratura, il cui contributo in fase sismica può essere trascurabile funzionando sostanzialmente come bielle soggette unicamente a carico assiale.
Le precedenti formulazioni restano pertanto valide nel caso di impiego dei ***soli ricorsi orizzontali***, per i quali, come già contemplato nel calcolo di $f_1$, è possibile impiegare il nastro a più alte prestazioni meccaniche.

## 6.2 RINFORZO A PRESSOFLESSIONE

La verifica a pressoflessione della muratura, analogamente al calcestruzzo, può essere eseguita sia con calcolo lineare, che non lineare. Nel caso di verifica non lineare è fondamentale la scelta del diagramma tensione-deformazione, da cui saranno dedotte le tensioni nella muratura e nell'armatura, una volta note le deformazioni.
Per tale diagramma è possibile adottare opportuni modelli costitutivi del comportamento del materiale, definiti in base alla resistenza di calcolo $f_{md}$ ed alla deformazione ultima $\varepsilon_{mu}$, posta pari a 0.0035, mentre per i valori intermedi $\varepsilon_{m2}$, $\varepsilon_{m3}$, $\varepsilon_{m4}$ si rimanda alla normativa in cui sono specificati per i differenti modelli.




***Legami costitutivi adottabili per il materiale muratura***
***In ordine decrescente di complessità di schematizzazione e accuratezza di risultato nel suo impiego***
***a) parabola-rettangolo ; b) elastico-perfettamente plastico ; c) rettangolare equivalente (stress-block)***

Per quanto riguarda l'acciaio delle 'armature' (ricorsi verticali di nastro) il legame costitutivo viene generalmente assunto di tipo elastico perfettamente plastico con resistenza massima a trazione costante e illimitata deformabilità. Formulazioni più accurate prevedono il calcolo considerando l'incrudimento del materiale. Appare evidente come per tali applicazioni sia sempre preferibile



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

impiegare un materiale duttile, ovvero un materiale che, consentendo una elevata deformabilità prima della rottura, permette le rotazioni plastiche della sezione.

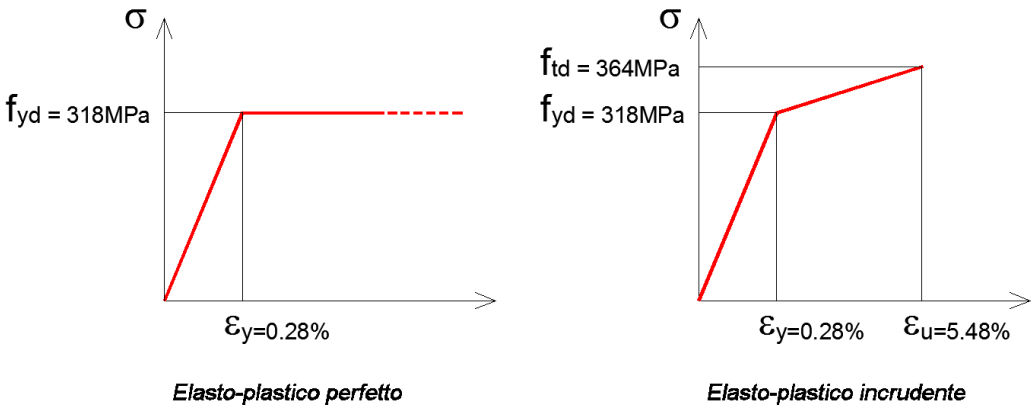



*Figura xxxx : Legame costitutivo dell'acciaio dei nastri*

### 6.2.1 RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE COMPLANARE: MURATURA NON ARMATA ($M_{RM}$)

Il modello **più semplice** per il calcolo del momento ultimo della sezione si ha impiegando il comportamento rigido plastico (7.8.2.2.1 delle NTC).
In base a questa ipotesi (**stress-block**) il momento resistente a pressoflessione risulta:

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

dove:

- $L$ è la lunghezza del pannello
- $t$ è lo spessore del pannello
- $f_{md}$ è la resistenza di calcolo a compressione della muratura
- $\sigma_0$ = N/ (L t) è la tensione verticale media

Il massimo valore resistente si ottiene per un valore di $\sigma_0 = \frac{0{,}85 \cdot f_{md}}{2}$.
L'accuratezza del risultato ma ovviamente la complessità di calcolo cresce all'aumentare della accuratezza del legame costitutivo impiegato.
In ipotesi di comportamento elastico perfettamente plastico:

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

dove

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



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

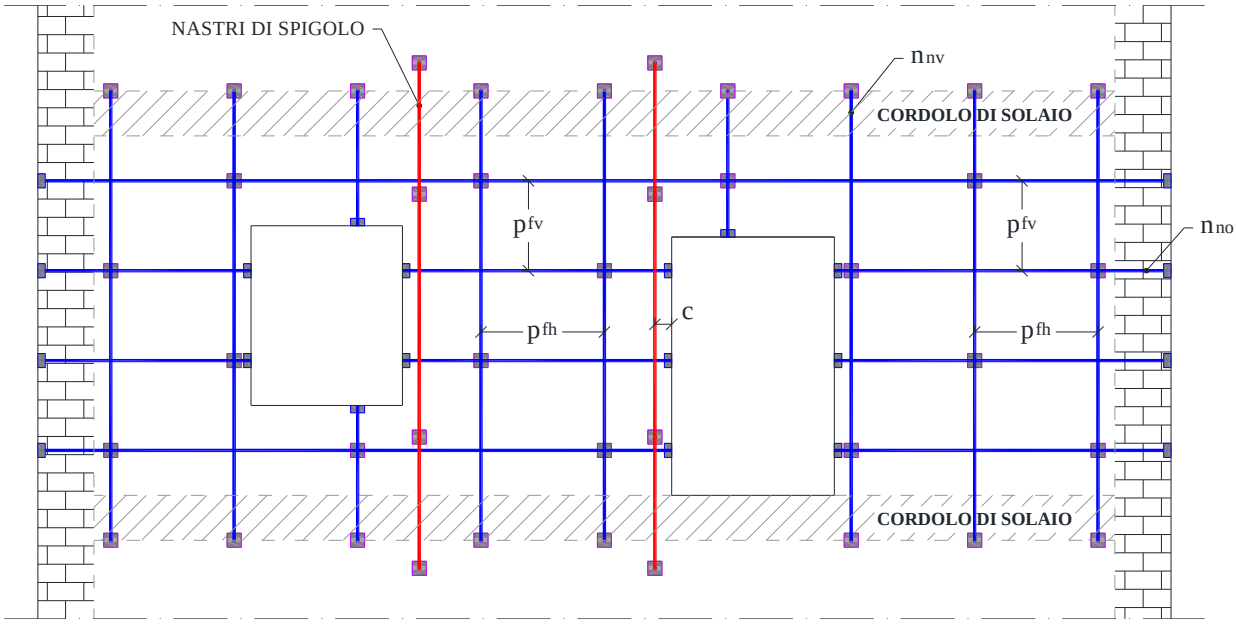
$x = \frac{\sigma_0 \cdot L}{f_{md} \cdot \left(1 - \frac{f_{md}}{2 \cdot \varepsilon_{mu} \cdot E_m}\right)}$ posizione dell'asse neutro rispetto al lembo compresso.

Si tralascia la trattazione dettagliata del calcolo del valore ultimo che si ottiene considerando il diagramma parabola-rettangolo completo.

La capacità in termini di spostamento del pannello, parametro fondamentale nella corretta definizione del diagramma costitutivo del pannello in analisi di tipo globale non lineare, può assumersi pari all' 1% l'altezza pannello. Tale valore, valutato allo SLC (come prescritto al 7.8.2.2.1 delle NTC2018) risulta coerente con rotture a pressoflessione da bassi valori dello sforzo di compressione medio, per cui $\upsilon = \frac{\sigma_0}{f_{md}} < 0{,}2$. Per valori di $\upsilon > 0{,}2$ il drift ultimo al collasso per pressoflessione del pannello potrà valutarsi pari a $(1 - \upsilon) \cdot 1{,}25\%$ dell'altezza pannello e in ogni caso non inferiore al limite elastico del pannello.

### 6.2.2 Resistenza a pressoflessione complanare: muratura rinforzata mediante Sistema a marchio CAM® ($M_{RM.CAM}$)

Secondo lo stesso approccio vengono proposte le formulazioni relative al calcolo a pressoflessione del pannello rinforzato con Sistema CAM®.




***Disposizione del rinforzo su pannelli sottoposti a prevalente flessione. Possono essere posizionate nastrature "di spigolo" ovvero in posizione più esterna (riportate in rosso) per massimizzarne l'efficienza***

I ricorsi verticali di nastro sono trattati come armatura aggiuntiva, e anche in questo caso il calcolo e l'accuratezza del risultato dipendono dalla scelta dei diagrammi costitutivi.

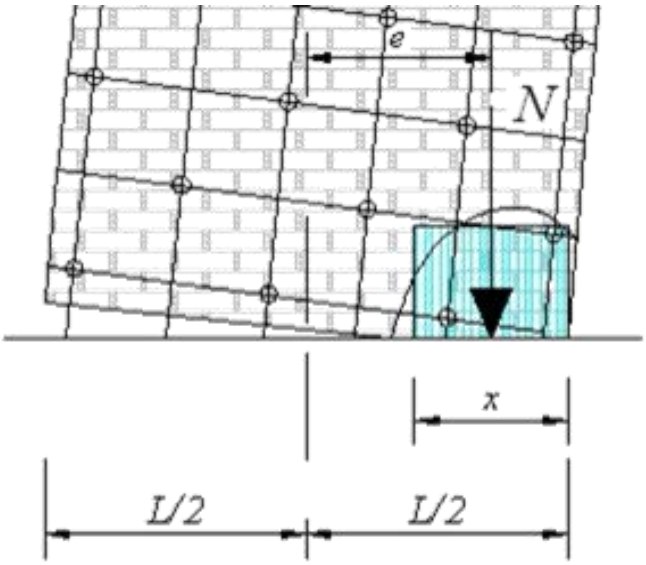


EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

Nella determinazione della resistenza a pressoflessione influiscono i seguenti parametri:

| | |
|---|---|
| $A_{s,vert}$ | pari al doppio (poiché sulle due facce) della sezione di un nastro per il numero di avvolgimenti verticali; |
| $A_{s,spigolo}$ | pari al doppio (poiché sulle due facce) della sezione di un nastro per il numero di avvolgimenti verticali posizionati sugli spigoli |
| $s_{vert}$ | interasse degli avvolgimenti verticali |

Ripercorrendo quindi la formulazione relativa al comportamento **stress-block** della muratura (7.8.3.2.1. delle NTC) il diagramma delle compressioni è rettangolare, ha profondità *0.8·x* (con *x* pari alla profondità dell'asse neutro) e resistenza $f_{mcd}$ (muratura confinata). Le deformazioni massime $\varepsilon_{mcu}$ per la muratura compressa confinata risulteranno maggiori rispetto alla $\varepsilon_{mu}$ = 0.0035 della muratura originaria.




***Schematizzazione della sezione rinforzata***

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

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 |
| c | distanza dal bordo libero delle nastrature verticali di spigolo |
| x | profondità dell'asse neutro, calcolabile nel seguente modo |

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

La trattazione relativa al caso in cui il diagramma costitutivo della muratura presenti un tratto elastico, che sia di andamento lineare o parabolico, viene omessa trattandosi di informazioni che possono tuttavia trovarsi in letteratura.



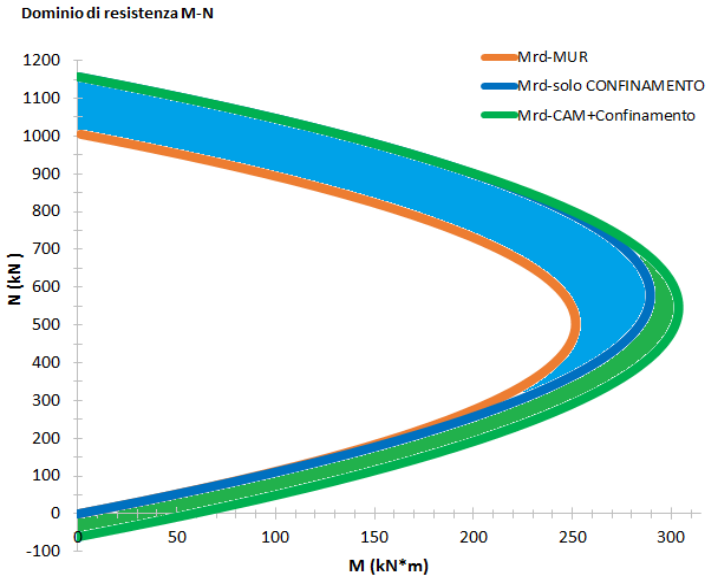
**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Fondamentalmente si può descrivere l'influenza delle legature CAM® sul comportamento dell'elemento murario soggetto a pressoflessione con il duplice contributo legato a:

- l'incremento di resistenza a compressione della muratura per effetto del confinamento.
- l'inserimento di elementi in grado di resistere a uno sforzo di trazione.

Come si nota nel dominio resistente 'tipo' per un pannello murario l'influenza del confinamento si sente soprattutto per carichi assiali elevati (incremento relativo alla porzione in blu del diagramma), mentre è per carichi assiali modesti che l'influenza dell'armatura aggiuntiva assume un aspetto rilevante (estensione sulla porzione in ciano); in particolare il pannello murario è in grado di resistere a sforzi normali di trazione.




***dominio resistente di un pannello 'tipo'***

La disposizione delle legature, in posizione di massima inerzia, permettono incrementi prestazionali elevati che vanno tuttavia considerati opportunamente nelle sezioni estremali di ancoraggio. Nella foto un dettaglio su metà pannello con più ricorsi ravvicinati per massimizzare l'incremento a flessione.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata
IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

L'effetto della presollecitazione dei nastri può essere portato in conto andando a considerare lo stato deformativo iniziale, analogamente a quanto si fa nel calcolo del precompresso.
I nastri partiranno da uno stato tensionale e deformativo non nullo.
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.

***intervento con nastri di spigolo***

Il limite in termini di spostamento 'drift ultimo del pannello a pressoflessione' nel caso di muratura rinforzata con sistema a marchio CAM® può assumersi coerentemente a quello riportato per la muratura armata al punto 7.8.3.2.1 delle NTC2018 pari a 1,6% dell'altezza pannello (valutazioni sempre svolte a SLC e di incremento di 1,6 volte rispetto al valore limite in assenza di armatura).
Tale valore risulta coerente con rotture a pressoflessione da bassi valori dello sforzo di compressione medio, per cui $\upsilon = \frac{\sigma_0}{f_{md}} < 0{,}2$. Per valori di $\upsilon > 0{,}2$ il drift ultimo al collasso per pressoflessione del pannello potrà valutarsi pari a $(1 - \upsilon) \cdot 2\%$ dell'altezza pannello e in ogni caso non inferiore al limite elastico del pannello.

### 6.2.3 RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE FUORI PIANO

Relativamente alle verifiche fuori piano, così come per le verifiche nel 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, può essere eseguito attraverso un metodo



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

semplificato (4.5.6.2. per le verifiche statiche, 7.2.3 per le verifiche sismiche) oppure attraverso la modellazione tridimensionale della struttura.
Analogamente a quanto già descritto per il calcolo a flessione nel piano del pannello, il valore di momento resistente per meccanismo fuori piano viene stabilito mediante una opportuna scelta del diagramma tensione-deformazione (*stress-block, elasto-plastico perfetto, parabola rettangolo*).
Le formulazioni relative al calcolo del momento resistente, tanto per la muratura non rinforzata quanto per la sezione armata tramite CAM®, vengono omesse in quanto sostanzialmente analoghe alle formulazioni già riportate in merito al caso di flessione nel piano, con due sole differenze:

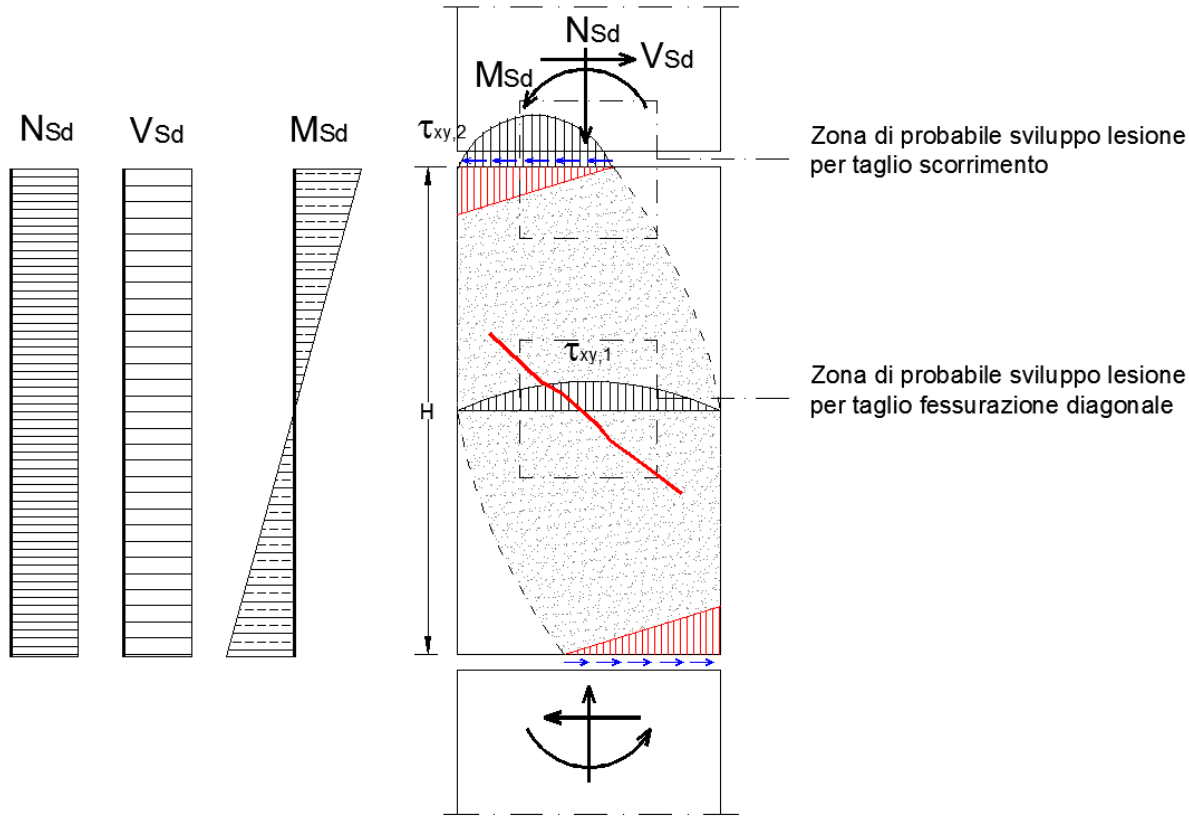
- Le dimensioni della sezione vanno invertite (L e t)
- I ricorsi verticali per semplicità, possono essere schematizzati come armatura diffusa equivalente (invece che discreta).

## 6.3 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 considera la rottura per fessurazione diagonale ed è tipico delle murature caotiche (unico criterio proposto in Normativa per la verifica delle murature esistenti), mentre il secondo la rottura per scorrimento, tipico delle murature a blocchi o listate in cui la rottura si localizza lungo i ricorsi di malta (unico criterio proposto in Normativa per la verifica delle murature di nuova costruzione).
Per evidenziare il funzionamento dei due criteri appena enunciati può essere utile andare a 'leggere' l'andamento delle sollecitazioni all'interno di un pannello murario supposto doppiamente incastrato e soggetto ad un'azione orizzontale in testa.
L'andamento del diagramma dello sforzo assiale e del taglio è costante, mentre per effetto della flessione (massima in testa e al piede) l'andamento delle compressioni interne (zona reagente a compressione) sarà come riportato in figura.
Nella sezione estremale è massima la sollecitazione flettente pertanto si avrà minima lunghezza della zona soggetta a compressione (profondità dell'asse neutro), quindi massima tensione di compressione. Legata a questa si avrà, in un criterio attritivo, massima tensione resistente a taglio; in tale sezione sarà massima anche la tensione sollecitante a taglio, in quanto anch'essa si esplica nella sola zona reagente.

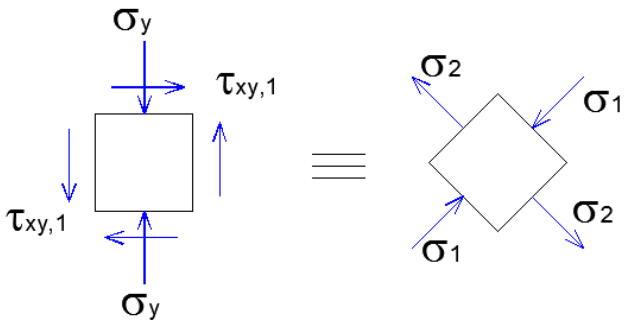


**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2




***Andamento dello stato di sollecitazione lungo l'altezza del pannello per ipotesi di incastro-incastro. Sono facilmente individuate le zone di massima sollecitazione a taglio ed a compressione.***

Nella sezione di mezzeria, l'elemento centrale, sarà soggetto unicamente a sforzo normale (distribuito sull'intera sezione reagente) e a taglio, essendo nullo il diagramma delle flessioni. Schematizzando quindi si potranno individuare le sole due tensioni massima e minima.




La direzione della lesione sarà ortogonale alla tensione principale di trazione, da cui ne discende il criterio a taglio annodato alla resistenza a trazione del materiale.

La resistenza da considerare comunque, trattandosi entrambe di rotture possibili anche sugli edifici esistenti, sarà la minore tra le due.

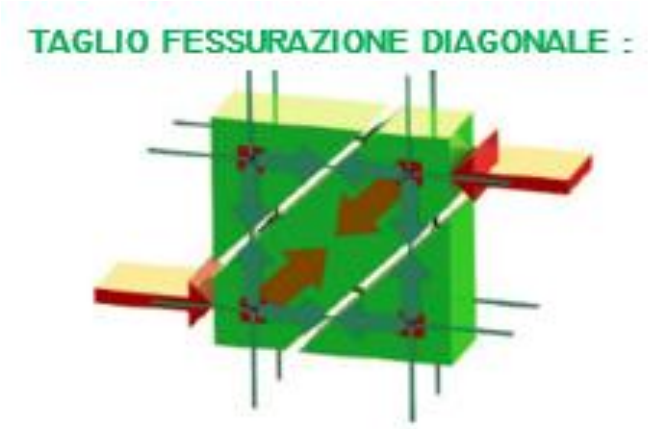
In entrambi i meccanismi di collasso le nastrature orizzontali del Sistema a marchio CAM® sono immediatamente leggibili come armatura aggiuntiva (staffe di parete), tuttavia anche i ricorsi



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

verticali contribuiscono al meccanismo resistente nell'ostacolare lo scorrimento lungo la superficie di rottura.



### 6.3.1 TAGLIO PER SCORRIMENTO (MOHR-COULOMB)

La verifica a taglio scorrimento nei fabbricati esistenti va eseguita nelle sezioni a massimo momento sollecitante (normalmente sezioni di testa e piede) come descritto nel C8.7.1.3.1.1 delle NTC2018. La formula 'base' ripresa dal 7.8.2.2.2 e riportata ai parametri di tabella C8.5.1 può quindi applicarsi solo per le tipologie murarie per cui è riportato il parametro resistente fv,0:

$V_t = l' \cdot t \cdot f_{v,d}$

dove

t spessore del pannello

l' lunghezza della sola **parte compressa** della parete ricavata dal calcolo a pressoflessione. Il calcolo del parametro *l'* appare un aspetto fondamentale. Esso viene eseguito ipotizzando un diagramma di reazione triangolare ed imponendo l'equilibrio con il valore di $M_{Sd}$ ($e=M_{Sd}/N$; $l'=3*e$), e **NON** sul valore di $M_{Rd}$. Solo nel caso in cui $M_{Sd}>M_{Rd}$, il parametro ($l'$) viene calcolato sul valore $M_{Rd}$.

$f_{vd} = f_{vm,0} + 0.4\sigma_n = \frac{f_{v0}}{\gamma_{M*FC}} + 0.4\sigma_n$ tensione resistente di calcolo a taglio

$V_t = l' \cdot t \cdot \left(\frac{f_{v0}}{\gamma_{M*FC}} + 0.4\sigma_n\right)$

Con $\sigma_n = \frac{N}{l' \cdot t}$, tensione media a compressione sul pannello

Solo per l'esecuzione di analisi NON LINEARI viene richiesta l'ulteriore verifica in cui $f_{vd} < f_{v,lim}$, quindi con $V_{t,lim} = l' \cdot t \cdot f_{v,lim}$ e $f_{v,lim} = \frac{0{,}065 f_b}{0{,}7}$

rammentando che $\gamma_m$=1 per tali verifiche si ha: $\frac{f_{v0}}{FC} + 0.4\sigma_n < \frac{0{,}065 f_b}{0{,}7}$



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

La resistenza del blocco, $f_b$, può valutarsi da prove in sito oppure impiegando la formulazione riportata negli EC 6 nel punto 3.6 in cui si riporta che la prestazione della muratura $f_k$ in funzione della esistenza del blocco $f_b$ e della malta $f_m$ si ha:

$$f_k = K * {f_b}^{0,7} * {f_m}^{0,3}$$

Con

k assunto 0,45 perché normalmente in presenza di giunti di malta di altezza tradizionale (oppure 0,7 se i giunti sono sottili)

$f_k$ assunto pari a $f_{m,d}$ della muratura dedotta dalle prove o dai valori di tabella

$f_m$ prestazione della malta che in assenza di valutazioni può porsi normalmente pari alla classe più scadente ovvero pari a 2,5MPa

$$f_b = \left(\frac{f_{m,d}}{0{,}45 * 2{,}5^{0,3}}\right)^{1/0,7}$$

$$V_{t,lim} = l' \cdot t \cdot \frac{0{,}065 f_b}{0{,}7} = l' \cdot t \cdot \frac{0{,}065}{0{,}7} * \left(\frac{f_{m,d}}{0{,}45 * 2{,}5^{0,3}}\right)^{1/0,7}$$

Il limite in termini di deformazione angolare di 0,005 può valutarsi a partire dai valori di rotazione alla corda ai due estremi ovvero in termini 'drift ultimo del pannello a taglio' può assumersi pari a 0,5% dell'altezza pannello (valutazioni sempre svolte a SLC).

### 6.3.2 TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (TURNSEK-CACOVIC)

Per la verifica nei confronti della rottura nella zona centrale del pannello (ovvero concio generico di muratura soggetto unicamente a $\sigma_n$ e $\tau$) si rimanda a due differenti formulazioni, l'una valida per murature irregolari, con parametro governato dal valore di $\tau_0$, l'altra per murature regolari in cui la fessura interesserà in diagonale i giunti di malta (parametro governante $f_{v0}$) ovvero in diagonale il blocco stesso (parametro governante $f_{v,lim}$).

## MURATURA IRREGOLARE

Come detto, per la muratura irregolare l'eterogeneità del materiale muratura lo permette di assimilare ad un materiale incoerente ma omogeneo dalle caratteristiche meccaniche. La fessura avrà andamento diagonale nel centro del pannello e interesserà tanto la parte di malta quanto di inerti.

A partire dal valore di $\tau_0$ e attraverso la scelta dei parametri FC e $\gamma_m$ , si ottiene il valore $\tau_{0,d}$

$$\tau_{0d} = \frac{\tau_0}{FC * \gamma m}$$ resistenza a taglio di calcolo



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

$$V_t = l \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0_d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot \tau_{0d}}}$$

dove

L è la lunghezza del pannello

$t$ è lo spessore del pannello

$\sigma_0 = \frac{N}{l \cdot t}$ è la tensione media per compressione nella muratura

il coefficiente 'b' assume il seguente valore:

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

## MURATURA REGOLARE

Come detto, per la muratura regolare, la fessura può interessare quanto la malta che il blocco stesso. Il meccanismo di rottura scalettata nei giunti di malta è possibile calcolarlo a partire dalla formulazione riportata per la muratura irregolare (generalmente però eccessivamente conservativa in quanto anziché dipendente dal parametro fv,0 risulta legato al valore di $\tau_0$) oppure attraverso la formula completa dipendente dalle caratteristiche locali di resistenza del giunto e dalla tessitura.

A partire dal valore di $f_{v,0}$ da tabella e attraverso la scelta dei parametri FC e $\gamma_m$, si ottiene il valore $f_{v,0d}$

$f_{v0,d} = \frac{f_{v0}}{FC * \gamma m}$ resistenza a taglio di calcolo

Si ha:

$$V_t = \frac{l \cdot t}{b} \cdot (\tilde{f}_{v0,d} + \tilde{\mu}\, \sigma_0) = \frac{l \cdot t}{b} \cdot \left(\frac{f_{v,0d}}{1 + \mu\phi} + \frac{\mu}{1 + \mu\phi}\, \sigma_0\right)) < V_{t,lim}$$

Con

l e t geometria del pannello (lunghezza e larghezza)

$\tilde{f}_{v0,d}$ resistenza equivalente a taglio – legato al parametro $f_{v0,d}$

$\tilde{\mu}$ coefficiente di attrito equivalente

ϕ coefficiente di ingranamento rapporto tra altezza del blocco e la lunghezza di sovrapposizione minima dei blocchi di due corsi successivi (tangente dell'angolo medio di inclinazione della fessura diagonale "a scaletta")



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

In assenza di valutazioni troppo accurate si può porre $\mu$, coefficiente di attrito, pari a 0,577 e quindi a valori di $\tilde{\mu}$ variabili da 0,4 a 0,2 e in particolare si assume, in assenza di altre specifiche:

$$\tilde{\mu} = \begin{cases} 0{,}4 & per\ murature\ caratterizzate\ da\ BUONA\ TESSITURA \quad (BT) \\ 0{,}3 & per\ murature\ con\ blocchi\ MEDIAMENTE\ AMMORSATI \quad (MT) \\ 0{,}2 & per\ murature\ con\ blocchi\ SCARSAMENTE\ AMMORSATI \quad (CT) \end{cases}$$

Da cui, invertendo le formule si ha

$$\phi = \frac{\tilde{\mu} - \mu}{\tilde{\mu} \cdot \mu} = \begin{cases} 0{,}766 & per\ murature\ caratterizzate\ da\ BUONA\ TESSITURA \quad (BT) \\ 1{,}600 & per\ murature\ con\ blocchi\ MEDIAMENTE\ AMMORSATI \quad (MT) \\ 3{,}266 & per\ murature\ con\ blocchi\ SCARSAMENTE\ AMMORSATI \quad (CT) \end{cases}$$

$$\tilde{f}_{v0,d} = \frac{f_{v,0d}}{1 + \mu\phi} = \begin{cases} 0{,}693\ f_{v,0d} & (BT) \\ 0{,}520\ f_{v,0d} & (MT) \\ 0{,}347\ f_{v,0d} & (CT) \end{cases}$$

$$V_t = \frac{l \cdot t}{b} \cdot (\tilde{f}_{v0,d} + \tilde{\mu}\ \sigma_0)$$

$$V_t = \frac{l \cdot t}{b} \cdot (\tilde{f}_{v0,d} + \tilde{\mu}\ \sigma_0) = \begin{cases} \frac{l \cdot t}{b} \cdot \left(0{,}693\ \frac{f_{v0}}{FC * \gamma m} + 0{,}4\ \sigma_0\right) & (BT) \\ \frac{l \cdot t}{b} \cdot \left(0{,}520\ \frac{f_{v0}}{FC * \gamma m} + 0{,}3\ \sigma_0\right) & (MT) \\ \frac{l \cdot t}{b} \cdot \left(0{,}347\ \frac{f_{v0}}{FC * \gamma m} + 0{,}2\ \sigma_0\right) & (CT) \end{cases} \quad < V_{t,lim}$$

La limitazione su $V_{t,lim}$ implica la possibilità di rottura del blocco per trazione ($f_{btd}$). La formulazione quindi riporta:

$$V_{t,lim} = l \cdot t \cdot \frac{f_{btd}}{2.3} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{btd}}}$$

In cui $f_{btd}$ è possibile stimarla da letteratura, da prove di laboratorio oppure a partire dalla resistenza a compressione del blocco ($f_b$) assumendola pari al 10% del valore.

$$f_{btd} = 0{,}1 f_b = 0{,}1\ \frac{f_b}{FC * \gamma m}$$

Ricordando la formulazione di EC6 si ha:

$$f_{btd} = \frac{0{,}1}{FC \cdot \gamma_m} \cdot \left(\frac{f_k}{0{,}45 * 2{,}5^{0{,}3}}\right)^{1/0{,}7}$$

$$V_{t,lim} = l \cdot t \cdot \frac{\frac{0{,}1}{FC \cdot \gamma_m} \cdot \left(\frac{f_k}{0{,}45 * 2{,}5^{0{,}3}}\right)^{1/0{,}7}}{2.3} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\frac{0{,}1}{FC \cdot \gamma_m} \cdot \left(\frac{f_k}{0{,}45 * 2{,}5^{0{,}3}}\right)^{1/0{,}7}}}$$



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

Il limite in termini di deformazione angolare di 0,005 può valutarsi a partire dai valori di rotazione alla corda ai due estremi ovvero in termini 'drift ultimo del pannello a taglio' può assumersi pari a 0,5% dell'altezza pannello (valutazioni sempre svolte a SLC).

### 6.3.3 VALUTAZIONE RESISTENZA A TAGLIO PER ELEMENTI RINFORZATI MEDIANTE IL SISTEMA CAM®

La resistenza a taglio della sezione rinforzata con le cuciture attive a marchio CAM® può essere assimilata a quella della muratura armata degli edifici nuovi così come previsto dalle NTC2018 (7.8.3.2.2), 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. Nella loro doppia orditura, i nastri verticali ed orizzontali fungono da correnti tesi che, prendendo parte ad un meccanismo a traliccio, equilibrano la reazione a compressione della biella inclinata interna alla muratura.

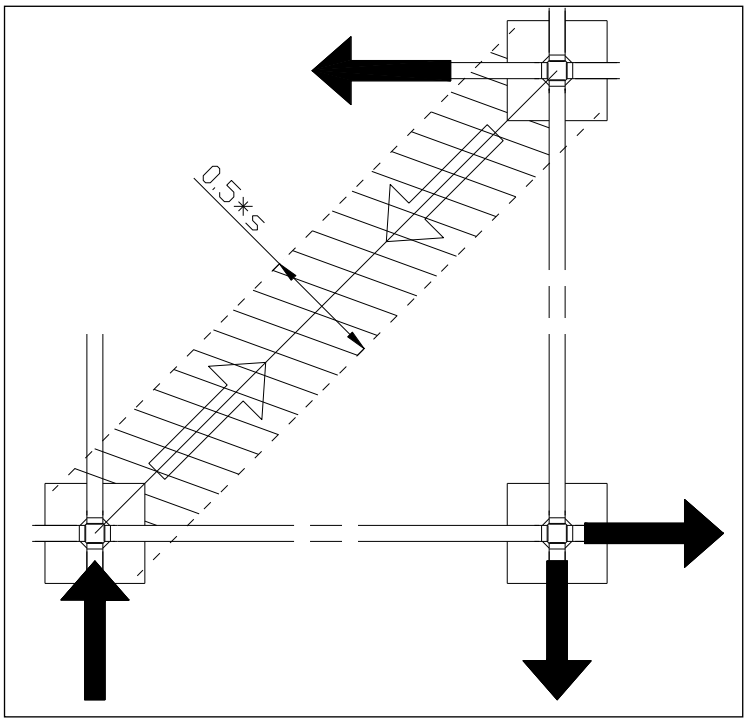



*Fig. 28 – Individuazione della biella inclinata in muratura.*

La resistenza a taglio della muratura nei maschi murari con il contributo delle legature disposte orizzontalmente nel reticolo di cuciture attive si esprime come somma dei due contributi:

$$V_t = V_{tm} + V_{ts}$$

Nella formulazione presentata si differenziano due contributi:

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

$V_{t,S} = \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}}{s}$ contributo delle armature



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Si esplicita in primis il contributo dell'armatura rapportandolo ai parametri del sistema a marchio CAM® e quindi in particolare:

$A_{sw}$ è l'area dei nastri a taglio, intese tutte le sezioni resistenti, quindi pari a $A_{sw} = A_{1nastro} \cdot n°_{nastri} \cdot n°2_{facce}$

$f_{yd}$ è la tensione di lavoro dei nastri d'acciaio disposti in orizzontale

$s$ è la distanza tra i livelli di armatura ovvero $p_{fv}$, passo verticale dei nastri (interasse nastri orizzontali)

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

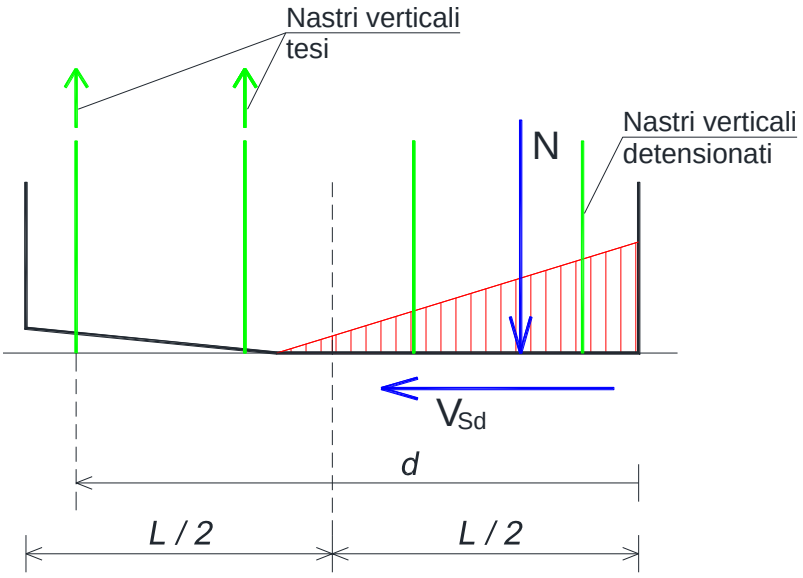
La definizione del parametro 'd' appare poco chiara, pertanto esso può coerentemente essere assunto pari:

- All'effettivo baricentro delle armature distribuite lungo la sezione in maniera discreta, calcolato sulla base della sollecitazione flessionale agente in forza o in deformazione indotta.
- Alla distanza tra il lembo compresso e la posizione dell'armatura tesa verticale più estrema
- All'80% della lunghezza del pannello considerato.

La prima delle tre presuppone una valutazione molto approfondita del problema ed una schematizzazione discreta delle armature.

La seconda è l'ipotesi assunta in numerosi software di calcolo, assumendo l'armatura tesa come distribuita: nel caso di armatura CAM®, sarà quindi considerata la prima posizione utile di armatura che generalmente è posta a 15-20 cm dall'estremo pannello

La terza ipotesi è quella riportata per le pareti in c.a. (7.4.4.5.1 delle NTC) assumendo il braccio delle forze interne pari a 0.8 volte la lunghezza pannello.




***Schema di calcolo. Muratura rinforzata con le cuciture attive***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

Il contributo della muratura si calcola:

- Nel caso di rottura limite per TAGLIO SCORRIMENTO come descritto al $7.3.1

$$V_{t,M,scorr} = d \cdot t \cdot f_{vd} = V_t = d \cdot t \cdot \left(\frac{f_{v0}}{\gamma_{M*FC}} + 0.4\sigma_n\right)$$

In cui $\sigma_n = \frac{N}{d \cdot t}$ è la tensione agente sul pannello
In cui il parametro $d$ prende il posto del parametro $l'$.

- Nel caso di rottura limite per TAGLIO FESSURAZIONE DIAGONALE come descritto al $7.3.2

ovvero per muratura IRREGOLARE

$$V_{t,M,fess,irr} = l \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0_d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot \tau_{0d}}}$$

e per muratura REGOLARE

$$V_{t,M,fess,reg} = \frac{l \cdot t}{b} \cdot (\tilde{f}_{v0,d} + \tilde{\mu}\, \sigma_0) < V_{t,M,fess,reg,limite}$$

In cui $\sigma_0 = \frac{N}{l \cdot t}$ è la tensione agente sul pannello
In entrambe le formulazioni $l$ è l'intera lunghezza del pannello in quanto a metà altezza del pannello (posizione di più possibile formazione della lesione) la sollecitazione flettente è pressoché nulla e pertanto l'intera sezione è supposta reagente.
Nei calcoli suddetti valgono le limitazioni per ciascun meccanismo di rottura nei confronti dei valori limite già esplicitati.
La massima sollecitazione deve comunque essere limitata (7.8.3.2.2) al valore della biella nel meccanismo 'tirante-puntone':

$$V_{max} = V_{t,c} = 0{,}3 \cdot d \cdot t \cdot f_d$$

dove $f_d$ è la resistenza a compressione di progetto della muratura.
Breve nota va eseguita circa il pretensionamento e lo sfruttamento dei nastri verticali. Potrebbe pensarsi che i nastri verticali, per effetto del pretensionamento, possano indurre uno stato di sollecitazione aggiuntivo stabilizzante in termini di sforzo assiale agente sul pannello.
Considerando però il meccanismo per scorrimento come più probabile nelle sezioni estremali del pannello ovvero laddove è massimo l'impiego flessionale del pannello, risulta che in tali sezioni i ricorsi verticali di nastro saranno impegnati come armatura longitudinale e in tal senso saranno in parte tesi in parte inefficaci o comunque detensionati in zona compressa. Nel meccanismo resistente per fessurazione diagonale essi potrebbero invece non risultare 'scarichi' tuttavia, essendo tale parametro fortemente dipendente anche dalla geometria del reticolo CAM®, se ne preferisce trascurare completamente il contributo.



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Sostanzialmente seppur l'insieme di nastri verticali e orizzontali contribuiscano insieme tanto nella formazione del meccanismo resistente a 'traliccio', tanto nell'azione di confinamento/chiusura della lesione, nella valutazione numerica si considerano ai fini della resistenza a taglio unicamente i ricorsi orizzontali, nella resistenza a pressoflessione unicamente i ricorsi verticali.
Il limite in termini di spostamento 'drift ultimo del pannello a taglio' nel caso di muratura rinforzata con sistema a marchio CAM® può assumersi coerentemente a quello riportato per la muratura armata al punto 7.8.3.2.2 delle NTC2018 pari a 0,8% dell'altezza pannello (valutazioni sempre svolte a SLC e di incremento di 1,6 volte rispetto al valore limite in assenza di armatura).

## 6.4 VALUTAZIONI INERENTI ALLE FASCE DI PIANO

Il principale problema nella determinazione dell'azione resistente delle fasce di piano risulta la determinazione dello sforzo assiale agente sulla fascia in muratura, che normalmente è bene assumersi, in mancanza di modellazioni più accurate, N=0.
Per quanto riguarda le valutazioni inerenti la resistenza a pressoflessione, proprio perché altrimenti per la muratura semplice in concomitanza di N=0 si avrebbe un Mrd=0, si può invece considerare una aliquota di resistenza a trazione $f_{ftd}$ che si genera nelle sezioni di estremità per effetto dell'ingranamento con le porzioni di muratura adiacenti. La fessurazione (e quindi il limite resistente) può interessare i blocchi oppure i giunti di malta, da cui (punto C8.7.1.3.1.1 della Circolare applicativa 2019):

$$f_{ftd} = \min\left(\frac{f_{btd}}{2}; f_{v0,d} + \frac{\mu \cdot \sigma_y}{\phi}\right)$$

In cui:

$f_{v0,d}$ resistenza equivalente a taglio in assenza di sforzo assiale

$\mu$ coefficiente di attrito può porsi pari a 0,577

ϕ coefficiente di ingranamento rapporto tra altezza del blocco ($h_b$) e la lunghezza (l) di sovrapposizione minima dei blocchi di due corsi successivi (tangente dell'angolo medio di inclinazione della fessura diagonale "a scaletta") e analogamente a quanto già esplicato per la resistenza a taglio

$$\phi = \begin{cases} 0{,}766 & per\ murature\ caratterizzate\ da\ BUONA\ TESSITURA \quad (BT) \\ 1{,}600 & per\ murature\ con\ blocchi\ MEDIAMENTE\ AMMORSATI \quad (MT) \\ 3{,}266 & per\ murature\ con\ blocchi\ SCARSAMENTE\ AMMORSATI \quad (CT) \end{cases}$$

$\sigma_y$ la tensione normale agente sui giunti orizzontali nella sezione di estremità pari alla metà della tensione media agente nei maschi murari limtrofi.

$f_{btd}$ resistenza a trazione dei blocchi ($0{,}1 f_b$ già stimata secondo quanto descritto sopra)

Il diagramma costitutivo M-N sarà valutato a partire dalla resistenza a compressione orizzontale ($f_{hd}$ usualmente la metà rispetto alla resistenza limite verticale) e assumendo un legame costitutivo



EDIL CAM® Sistemi Srl
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015 ISO 14001:2015 ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

elasto-plastico a compressione ed elasto-fragile a trazione laddove il limite di $f_{ftd}$ sia per rottura del blocco, elasto-plastico laddove il limite sia per rottura dei giunti.

In alternativa (seguendo il punto 7.8.2.2.4 delle NTC2018) può assumersi, laddove siano presenti in prossimità della trave in muratura elementi resistenti a trazione (catene o cordoli) il momento resistente della trave in muratura (equilibrio a compressione associato alla resistenza a trazione di altro elemento):

$$M_u = H_p \cdot \frac{h}{2} \cdot \left[1 - \frac{H_p}{0{,}85 \cdot f_{hd} \cdot h \cdot t}\right]$$

In cui

$H_p$ è il minimo tra la resistenza a trazione dell'elemento teso disposto orizzontalmente e il valore di $0{,}4\ f_{hd} \cdot h \cdot t$

$f_{hd}$ è il valore di resistenza a compressione della muratura in direzione orizzontale

$h$ è l'altezza della trave in muratura

$t$ è lo spessore della muratura

Il limite a SLC in termini deformativi è posto pari a 0,02 (laddove sussista l'accoppiamento con elemento resistente a trazione) e 0,015 negli altri casi.

Per il meccanismo di rottura a taglio per fessurazione diagonale si rimanda a quanto già descritto in precedenza. Le formulazioni suddette riscritte per N=0 si semplificano in:

MURATURA IRREGOLARE $V_t = h \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0d}}{b}$

MURATURA REGOLARE $V_t = \frac{h \cdot t}{b}\ \tilde{f}_{v0,d} = \frac{h \cdot t}{b} \cdot \left(\frac{f_{v,0d}}{1+\mu\phi}\right) < V_{t,lim}$

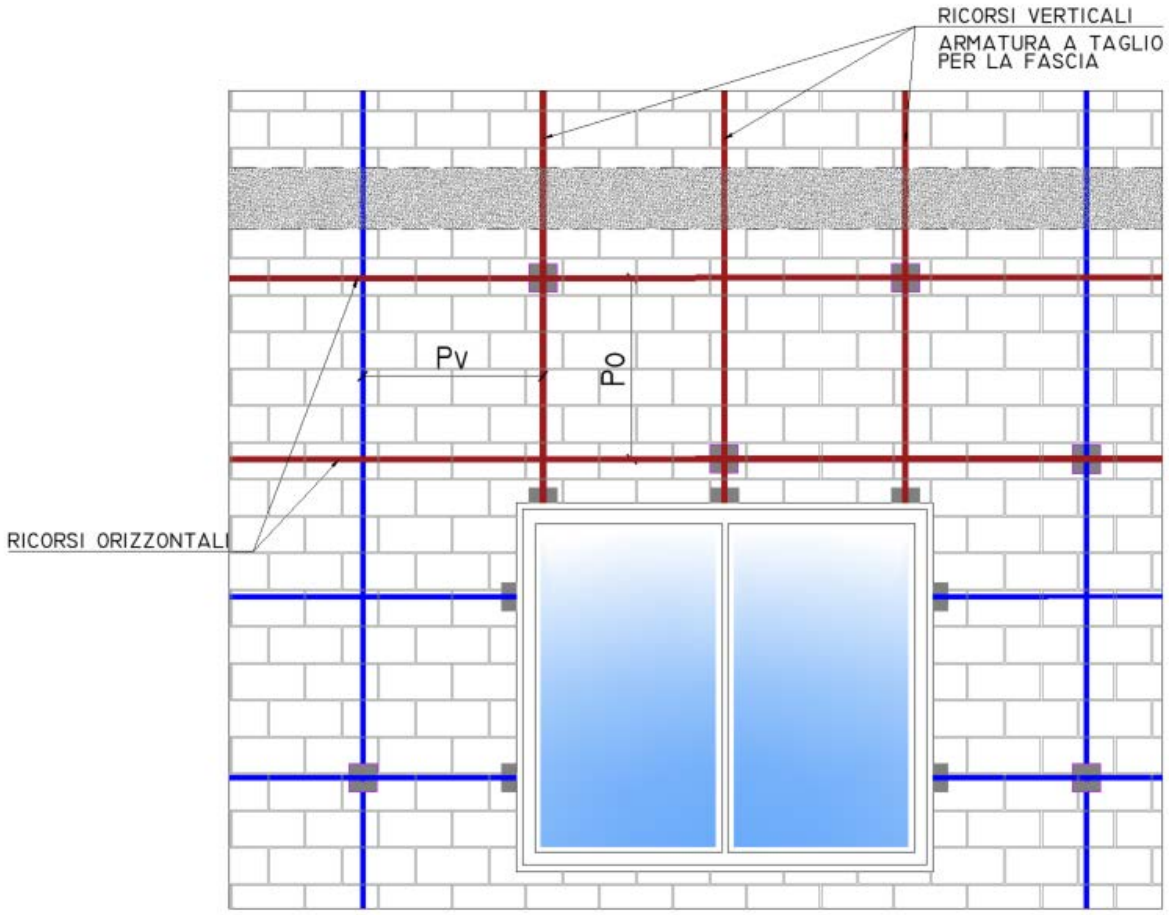
Nell'ambito del rinforzo di piattabande in muratura il contributo delle legature a marchio CAM® possono quindi influire sui seguenti aspetti:

- **I ricorsi orizzontali** della maglia diffusa (quindi disposti in asse rispetto alla trave in muratura) svolgono il duplice compito di fornire, per effetto della precompressione dei nastri, un valore di sforzo assiale N, maggiore di zero e a valle della fessurazione il loro contributo può essere quello di armatura integrativa
- **I ricorsi disposti in verticale** nella maglia diffusa (quindi disposti trasversalmente rispetto all'asse della trave) sono armatura a taglio per la trave.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2




***Schema grafico dell'intervento diffuso, con evidenza dei ruoli sulla piattabanda***



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata
IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

# 7 LA MODELLAZIONE DEL SISTEMA CAM®

Per quanto descritto fin ora, la modellazione della maglia a marchio CAM® può agevolmente essere eseguita assimilando la muratura rinforzata con nastri alla muratura armata. Tale armatura avrà risultante simmetrica per il pannello murario, tale che essa possa considerarsi come baricentrica rispetto al piano medio.

I ricorsi orizzontali e verticali di nastro sono armatura posta quindi in posizione discreta.

Il confinamento indotto dall'insieme di ricorsi orizzontali e verticali può essere tenuto in considerazione, anche se il suo contributo in termini resistenti risulta spesso trascurabile per le usuali geometrie di maglie.

Analogamente l'effetto della pretensione dei nastri, che di fatti ha effetti nel calcolo in esercizio della struttura, ovvero per i carichi già gravanti durante la fase di applicazione del rinforzo, pur essendo un aspetto fondamentale unico e caratterizzante del Sistema, non può essere portato in conto nel calcolo a stato limite ultimo del fabbricato in muratura.

È tuttavia grazie anche al confinamento attivo se la capacità in spostamento della muratura (da prove svolte in laboratorio e al vero) risulta elevata. Se ne assume tuttavia il limite normativo ovvero il drift ultimo del pannello rinforzato con Sistema CAM® è analogo a quella della muratura armata.

La modellazione del contributo resistente dei ricorsi di nastro come armatura aggiuntiva può quindi essere svolta in automatico dal software di calcolo impiegato.

Nel caso in cui il modulo di verifica del software non fosse presente, si potrà agevolmente impiegare una modellazione equivalente come muratura armata o muratura con betoncino armato a spessore e rigidezza nulla. Inoltre nel caso di analisi sismica dinamica lineare il set di sollecitazioni dello stato di fatto potrà essere impiegato per la valutazione dello stato rinforzato del singolo pannello e conseguentemente ottenere la capacità incrementata della struttura.

In analisi non lineare, dovendo creare il legame costitutivo incrementato in termini resistenti sia a pressoflessione che a taglio, tale input diretto risulta più difficoltoso, e si consiglia di modellare il Sistema in maniera equivalente secondo ciò che il pacchetto software mette a disposizione dell'utente. Un aspetto peculiare in tali modellazioni risulta essere l'incremento in drift considerabile per la muratura oggetto di rinforzo.

Nel modello globale si consiglia di estendere il rinforzo 'maglia' in maniera quanto più diffusa sull'allineamento murario e in generale su tutto il fabbricato. Analizzando la struttura attraverso analisi sismica dinamica lineare potrebbe verificarsi una forte difformità di intervento tra singoli maschi murari dipendente ciascuno dal livello di sollecitazione. Si consiglia quindi di impiegare nelle verifiche una maglia base di verifica e incrementarla (modulando il numero di nastri sovrapposti o riducendo il passo in maniera che la continuità del reticolo venga rispettata nelle porzioni adiacenti) solo nei pannelli ancora carenti rispetto al target richiesto.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

Tale rimodulazione di maglia sul singolo pannello è più difficile che si evidenzi in analisi sismica a spinta a mano che di carenze nell'analisi statica del fabbricato.

A conclusione un aspetto tutt'altro che secondario anzi di primaria importanza ma difficilmente portato in calcolo: le carenze di vincolo a livello locale (scarsi ammorsamenti o tessitura disgregante) risultano certamente scongiurate da un confinamento tridimensionale quanto più diffuso su tutto il fabbricato pur evidenziandosi solo nell'analisi per cinematismi locali, oltre che dall'osservazione sperimentale.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
UNI EN ISO 3834-2

# 8 PRINCIPALI REALIZZAZIONI EDIL CAM SISTEMI SRL

## 8.1 AGGREGATO BORGO E CASTELLO 'RIVERA'

| |
|---|
| ***Località: L'Aquila*** |
| ***Tipo fabbricato: muratura*** |
| ***Anno: 2013*** |
| ***Importo lavori oltre 1'000'000 euro*** |

Il Castello Rivera (XVI secolo) è costituito da un corpo principale, di superficie lorda pari a circa 650 m2, che conta tre piani fuori terra e dal quale spicca una torre di cinque piani.
La presenza di finiture di fine pregio architettonico, di bassorilievi, di capitelli in pietra come si evince dalle immagini, seppur in una fase di cantiere, denuncia la complessità dell'opera e la capacità di conservarne intatta la bellezza pur nel rispetto dell'intervento di consolidamento.

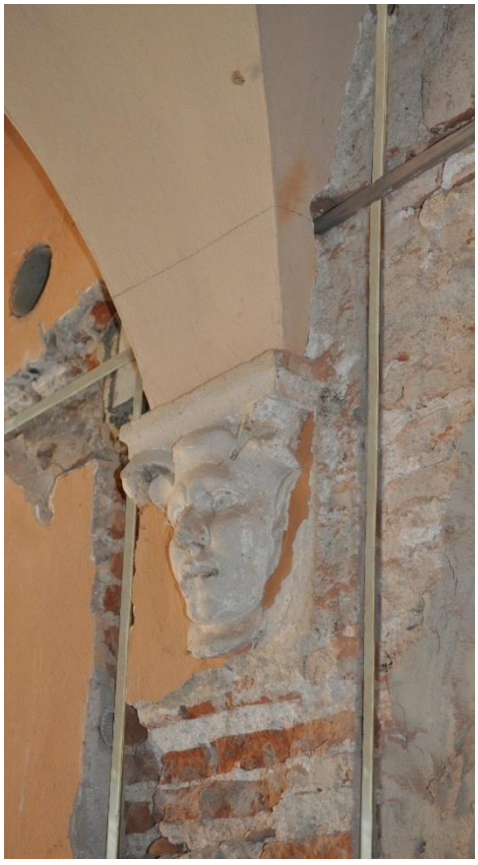
L'intervento CAM® esteso su tutto il fabbricato, comprendente maglia diffusa, cordolo e arpionature dei travetti di solaio, persegue l'obiettivo di limitare i cinematismi di collasso per attivare le capacità duttili a livello globale e riportare l'azione sugli elementi in grado di sopportare l'azione nel proprio piano 'forte'. La flessibilità del Sistema ha permesso di seguire agevolmente gli andamenti non rettilinei delle pareti, di attraversare le volte, di rinforzare i sopra e sotto finestra, mantenendo una estrema regolarità dell'orditura. Altrettanta attenzione si è posta nel curare il dettaglio nelle cuciture tra le pareti, spesso non ortogonali e fortemente irregolari. Per gli orizzontamenti sono stati realizzati interventi di incatenamento diffuso tramite



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

arpionature dei travetti di solaio. Il getto di una solettina in CLS ha consentito di completare la connessione realizzando in parte un effetto diaframma.





**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata
IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

## 8.2 PROVVEDITORATO OPERE PUBBLICHE

| |
|---|
| ***Località: L'Aquila*** |
| ***Tipo fabbricato: Struttura mista in muratura e cemento armato*** |
| ***Anno: 2014*** |
| ***Importo lavori oltre 1'000'000 euro*** |

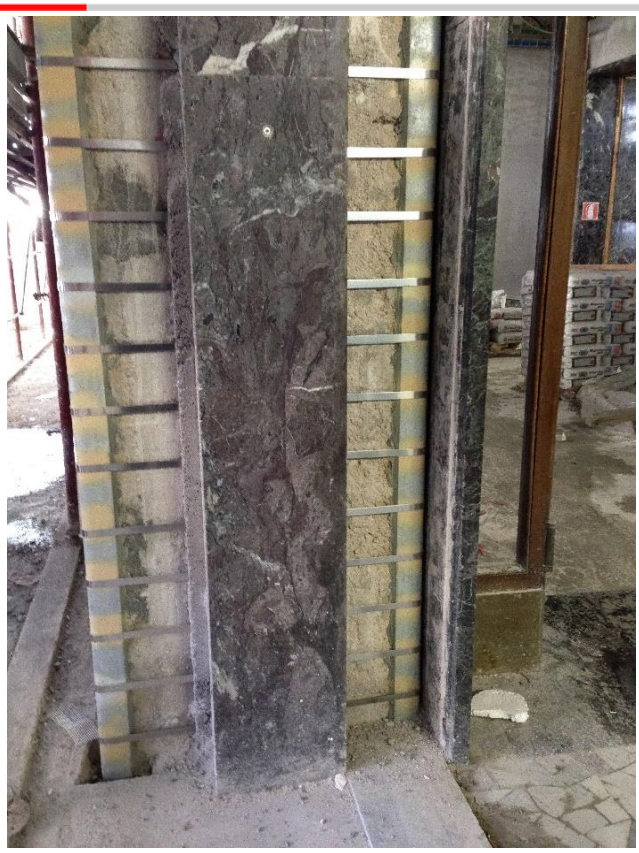
La sede del provveditorato alle Opere Pubbliche de L'Aquila è un edificio di grandi dimensioni soggetto a vincolo della Soprintendenza.
L' adeguamento sismico all'80% del fabbricato che presenta piccole porzioni di porticato in CA in un complesso totalmente in muratura, è stato ottenuto mediante una serie di interventi mirati:
- applicazione di rinforzo diffuso;
- applicazione di maglie ad orditura fortemente specializzata per il ricondizionamento del ruolo strutturale di alcuni maschi murari;
- intervento di cerchiaggio dei pilastri in cemento armato, con incremento dell'armatura a flessione;
- cuciture di legatura (tra geometria originale e ringrosso in c.a.) nell'adeguamento dimensionale delle travi;
- rinforzo a taglio ed incremento dell'armatura a flessione nelle travi.

L'edificio ha numerose porzioni di pregio, con diffusa presenza di imbotti rivestiti in marmo, il cui smontaggio e rimontaggio sarebbe stato troppo oneroso oltre che presentare notevoli difficoltà di natura tecnica. Il Sistema CAM® grazie ai ridotti spessori e alle caratteristiche di MINIMO INGOMBRO, ha vantaggiosamente consentito di procedere con gli interventi di rinforzo limitando al minimo la rimozione di tali elementi di finitura.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

## 8.3 AGGREGATO EX CONVENTO 'SANT'ANTONIO'

| |
|---|
| ***Località: L'Aquila*** |
| ***Tipo fabbricato: Struttura mista in muratura e cemento armato*** |
| ***Anno: 2015*** |
| ***Importo lavori tra i 750'000 e 1'000'000 euro*** |

La complessa struttura costituita da differenti corpi murari tra cui una chiesa, costruiti a partire dall'anno Mille ed aggregati in varie maniere, ha subito notevoli danni durante l'evento sismico del 2009 che ne ha messo in luce carenze e rimaneggiamenti avvenuti nell'arco di secoli.

Le strutture sono prevalentemente in muratura con aggiunte in epoche più recenti leggibili dall'inserimento di porzioni in CA addossate alla fabbrica principale.
Il quadro d'insieme denotava forti criticità strutturali che dato il bene storico architettonico di pregio dovevano essere sanate nel modo più mirato possibile senza inficiare il 'lessico costruttivo' originario.
La maglia diffusa CAM® a cucire insieme il fabbricato limitando i meccanismi locali di collasso e conferendo incremento in resistenza e duttilità alla muratura senza alterazione di MASSA e RIGIDEZZA, unitamente agli ulteriori interventi di rinforzo delle volte e rifacimento di orizzontamenti ha permesso il raggiungimento del target richiesto di riparazione e di miglioramento sismico.
Il Sistema FLESSIBILE ben si adatta ai vincoli di un fabbricato tutelato, permettendo di lasciare a vista gli elementi di pregio (cornici, imbotti, stemmi ecc.) senza venir meno alle esigenze di carattere più strettamente strutturale.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata
IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

## 8.4 EDIFICIO IN MURATURA

| |
|---|
| ***Località Capestrano (AQ)*** |
| ***Tipo fabbricato: muratura*** |
| ***Anno: 2016*** |
| ***Importo lavori tra i 550'000 e i 750'000 euro*** |

L'edificio su cui è stato realizzato l'intervento è un aggregato edilizio di particolare pregio architettonico, situato nel borgo storico della cittadina poco fuori la cinta muraria più antica. Come tutti gli aggregati edilizi appare caratterizzato da numerosi rimaneggiamenti e da una struttura muraria piuttosto disomogenea con varie tipologie murarie.

L'intervento CAM® realizzato consiste nella cucitura diffusa con maglia su tutti i paramenti murari, con inserimento di nastrature diagonali in corrispondenza di solai e superfici voltate (cordolo CAM®).

L'intervento ha permesso quindi di NON INCREMENTARE MASSA e NON VARIARE LA RIGIDEZZA complessiva della struttura realizzando però il comportamento scatolare del fabbricato così che fosse possibile l'attivazione di meccanismi duttili globali di collasso a discapito dei fragili primari (cinematismo di ribaltamento di pareti o disgregazione della massa muraria) mantenendo intatte le finiture soggette a vincolo



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

quali cornici in pietra e marcapiani. Attraverso dei piccoli fori adatti al passaggio del nastro si ottiene la continuità del rinforzo pur nel rispetto degli aspetti di pregio della struttura.

**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

## 8.5 PALAZZO FONDAZIONE 'FENDI'

| |
|---|
| ***Località Roma*** |
| ***Tipo fabbricato: muratura*** |
| ***Anno: 2016*** |
| ***Importo lavori fino a 150'000 euro*** |

Sito in uno dei contesti più esclusivi della Capitale l'intervento di riqualificazione della committenza Fondazione Alda Fendi (che ha acquistato dal Comune il palazzo che si affaccia su piazza del Velabro) e firmato dall'archistar Jean Nouvel è divenuto uno spazio espositivo museale giorno-notte con produzioni, eventi, atelier, aree residenziali e commerciali su una superficie di circa 3.250 mq divisi su sei piani più una terrazza sullo sfondo del Foro Boario Capitolino.

Data la complessità del progetto e l'esistenza di vincoli imposti dalla Soprintendenza, l'intervento CAM® è stato ritenuto idoneo essendo un Sistema FLESSIBILE e REVERSIBILE, ma capace di soddisfare il target di miglioramento richiesto.

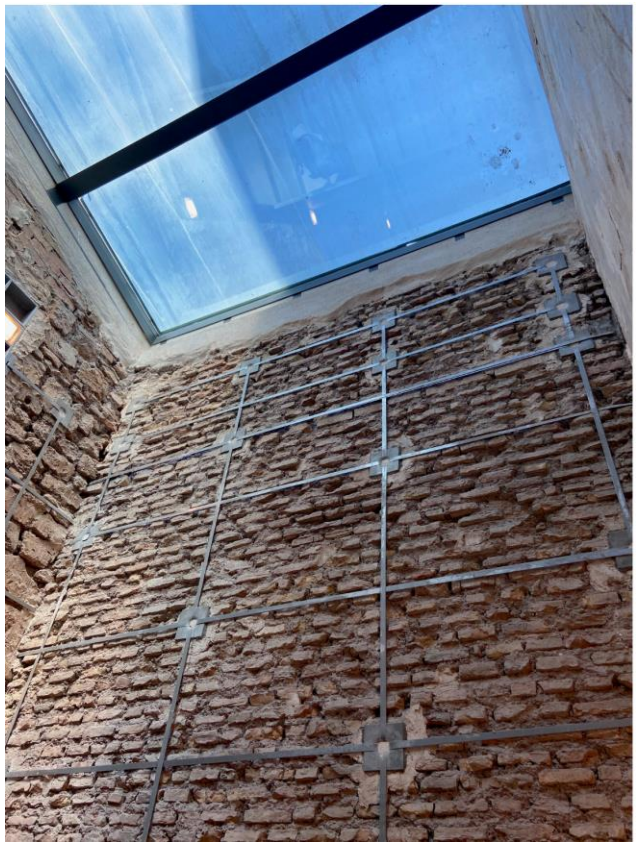
Porzioni delle pareti interne sono state mantenute con l'intervento a vista secondo le disposizioni ritenute più idonee dalle esigenze architettoniche.

Il Sistema diventa così a vista una traccia dell'intervento umano da conservare per chi verrà dopo.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2



## 8.6 EDIFICIO SCOLASTICO

| |
|---|
| ***Località Pesche (IS)*** |
| ***Tipo fabbricato: Struttura mista in muratura e cemento armato*** |
| ***Anno: 2018*** |
| ***Importo lavori tra i 750'000 e 1'000'000 euro*** |

L'edificio scolastico, disposto su tre livelli e con struttura portante in muratura, è un edificio costruito negli anni sessanta quando il comune di Pesche non era ancora classificato come sismico, pertanto l'edificio presenta notevoli carenze a livello strutturale.
L'applicazione del rinforzo CAM®, in abbinamento ad altre tipologie di intervento, come la realizzazione di iniezioni di malta per colmare i vuoti presenti nella muratura e la chiusura di aperture e nicchie, ha permesso il raggiungimento dell'adeguamento sismico della struttura.
Il minimo ingombro del sistema e le buone caratteristiche dell'intonaco hanno permesso la realizzazione del rinforzo eseguendo la rimozione dell'intonaco esclusivamente per traccia.



**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

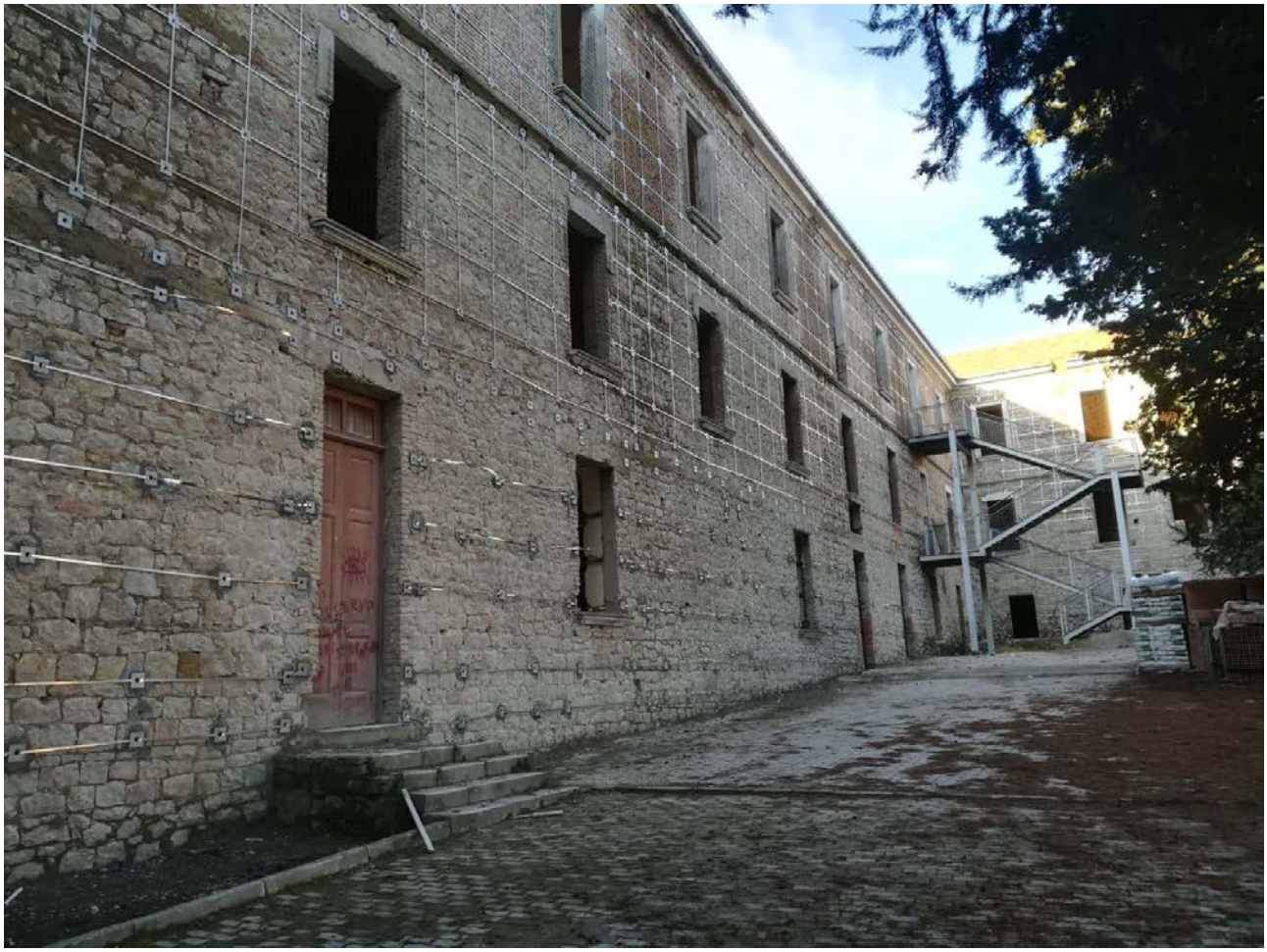
**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2

## 8.7 EDIFICIO SCOLASTICO

| |
|---|
| ***Località Pietragalla (PZ)*** |
| ***Tipo fabbricato: muratura*** |
| ***Anno: 2019*** |
| ***Importo lavori tra i 550'000 e i 750'000 euro*** |

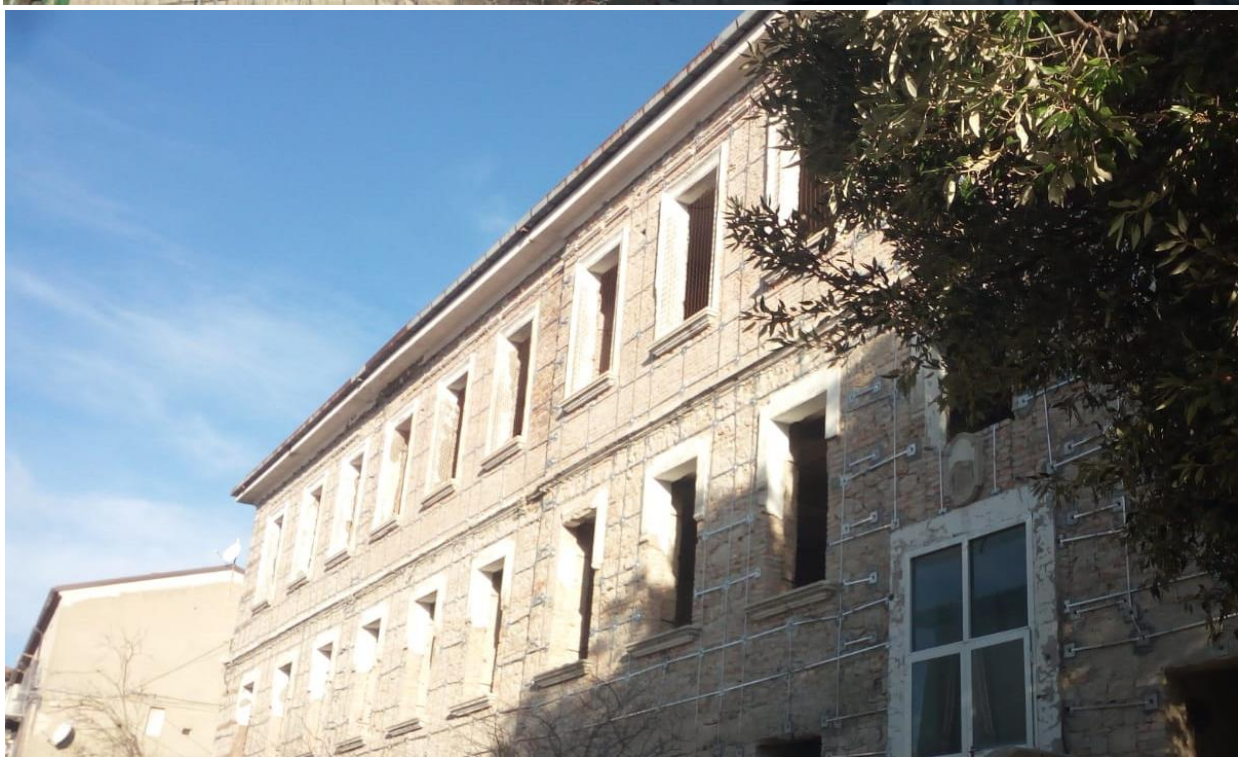
La struttura originaria del plesso scolastico è stata realizzata tra il 1932 e il 1933 e avente inizialmente forma ad L; successivamente essa è stata completata nel corso degli anni '50 con una porzione strutturalmente collegata a dare la definitiva forma a C del complesso, con un'area lorda a piano di circa 1100 metri quadrati, disposti su quattro livelli, di cui uno seminterrato e uno sottotetto.
Gli interventi progettuali prevedono la realizzazione di un giunto strutturale che separa i due corpi di epoche differenti e che permette di regolarizzare la struttura e limitare gli effetti torsionali dovuti all'azione sismica. In abbinamento a tali interventi, il rinforzo con maglia CAM® viene applicato in maniera diffusa sulla porzione degli anni '30 ed in maniera mirata su un singolo allineamento murario nel corpo degli anni '50 permettendo il raggiungimento dell'adeguamento sismico dell'edificio.





**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT UNI EN ISO 3834-2





**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 0273
ACCREDIA
Azienda certificata IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2

**EDIL CAM® Sistemi Srl**
Via dei Genieri n. 39 - 00143 Roma
Tel. +39.06.5073602 +39.06.50512918 +39.06.5070046 Fax +39.06.60507041
P.IVA: 06262521005 Registro Imprese Roma al n. 2000/06262521005
R.E.A. 956541 Capitale Sociale €114.000,00 Codice Univoco ODNX4GR
info@edilcamsistemi.com edilcamsistemi@pec.it www.edilcamsistemi.com

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
0273
Azienda certificata
IIS CERT
UNI EN ISO 3834-2