

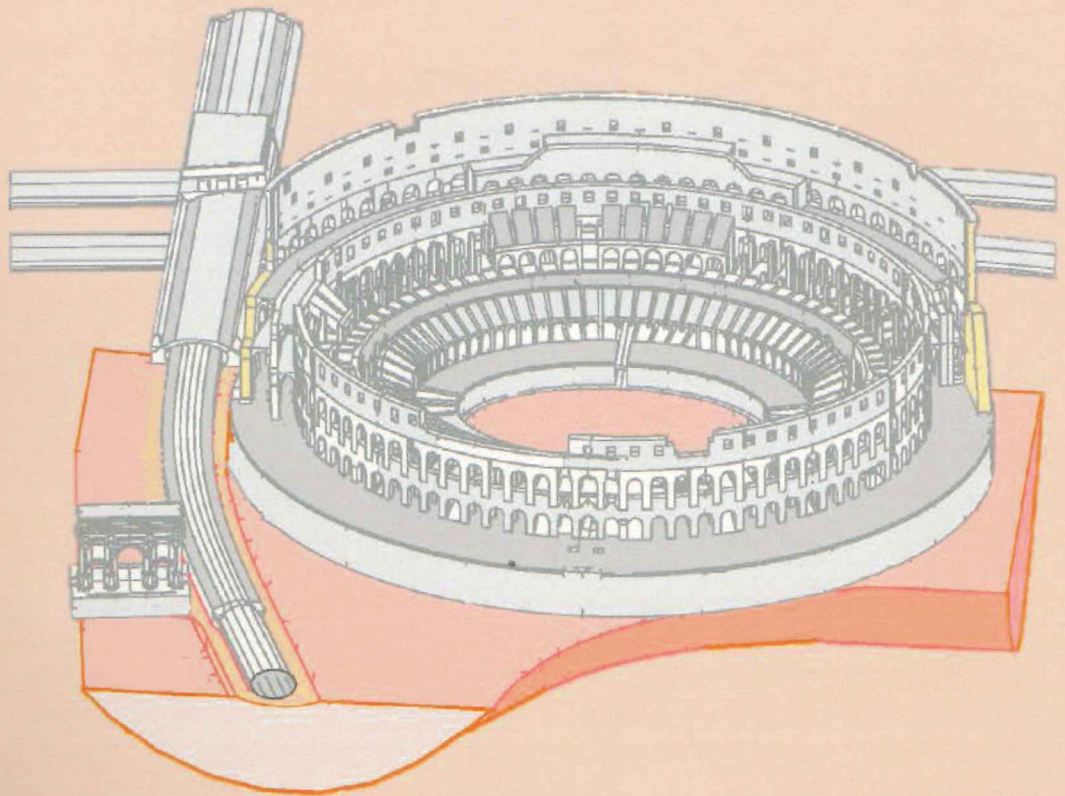


UNIVERSITA' DELL'AQUILA  
DIPARTIMENTO DICEAA



SAPIENZA  
UNIVERSITA' DI ROMA

# DYNAMIC INTERACTION OF SOIL AND STRUCTURE (DISS\_15)



**THE 4<sup>th</sup> INTERNATIONAL WORKSHOP**  
**"Archaeology, Cryptoportici, Hypogea, Geology, Geotechnics, Geophysics"**  
*Rome, 12-13 November 2015*

*Scientific Editors*  
**Giorgio Monti, Gianfranco Valente**

# L'INFLUENZA DELLA TIPOLOGIA DI TERRENO SUI MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO DEGLI EDIFICI IN MURATURA E MIGLIORAMENTO SISMICO CON IL SISTEMA CAM<sup>®</sup>

Marianna Leonori<sup>1</sup>, Alessandro Vari<sup>2</sup>

## Abstract

Gli eventi sismici, anche i più recenti, hanno dimostrato come danneggiamenti e collassi sui fabbricati siano fortemente condizionati dalle caratteristiche vibrazionali del terreno sottostante. Infatti fabbricati tecnologicamente simili fondati però su stratigrafie di terreno diverse hanno avuto comportamenti molto differenti e spesso non perfettamente prevedibili.

Di fatto seppur i fabbricati in muratura apparentemente possano essere pensati appartenenti alla medesima categoria di comportamento strutturale, nella realtà la loro risposta per effetto dell'azione trasmessa dal terreno è fortemente influenzata dallo schema di vincolo interno che esiste tra macroelementi, ovvero a seconda del livello di ammorsamento esistente tra parete e parete e tra parete e orizzontamento.

E proprio al variare del diverso schema strutturale cambia anche l'influenza che la diversa tipologia di terreno ha in termini di sollecitazioni sulla struttura.

Ecco dunque che alcuni meccanismi fragili di collasso degli edifici in muratura, legati alle diverse configurazioni di vincolo esistenti, risultano più pericolosi ed influenti per effetto delle diverse tipologie di terreni fondali.

La realizzazione o il ripristino dei vincoli assenti nei manufatti in muratura rappresenta quindi uno step fondamentale per il miglioramento del loro comportamento strutturale, permettendo l'attivazione di meccanismi duttili e quindi altamente dissipativi.

Il Sistema CAM rappresenta una valida soluzione alla problematica individuata.

**Keywords:** edifici esistenti, consolidamento strutturale, masonry, miglioramento sismico, kinematic mechanisms of collapse and soil interaction, Sistema CAM<sup>®</sup>

## 1. Introduzione

Le strutture murarie, a differenza di quelle in cemento armato, presentano molto spesso più che un comportamento di insieme, un insieme di comportamenti locali che non concorrono ad un assorbimento efficiente dell'energia trasmessa dal sisma. Questo è dovuto alla diffusa

---

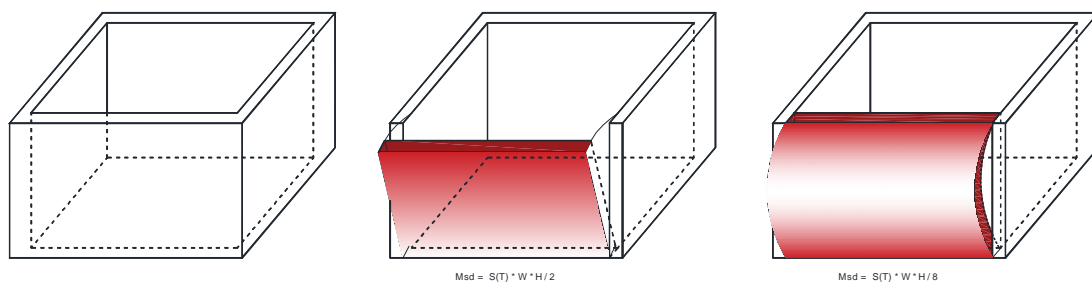
<sup>1</sup> EDILCAM Sistemi Srl, Ufficio Tecnico, Via dei Genieri 39, Rome, Italy

<sup>2</sup> EDILCAM Sistemi Srl, Ufficio Tecnico, Via dei Genieri 39, Rome, Italy

mancanza di scolarità di comportamento per via di carenze di connessione tra i singoli corpi murari e tra questi e gli orizzontamenti.

Consideriamo il manufatto come un insieme di elementi non connessi: il comportamento vibrazionale dei singoli elementi (maschi murari) di cui si compone il manufatto presenta frequenze di vibrazione molto alte (una parete nel comportamento fuori piano possiede periodi di vibrazione dell'ordine dei 0.02-0.1sec) che assorbono componenti in ampiezza del sisma elevate, che normalmente si trovano nel primo tratto dello spettro di progetto per  $T < T_B$ .

Oltre a questo, la sollecitazione derivante per effetto dello schema di vincolo, specialmente per pareti poco o affatto ammortate è ulteriormente gravosa (funzionamento a mensola piuttosto che appoggiata-appoggiata con momento sollecitante almeno 4 volte superiore) perché abbinato anche ad una bassa resistenza flessionale.

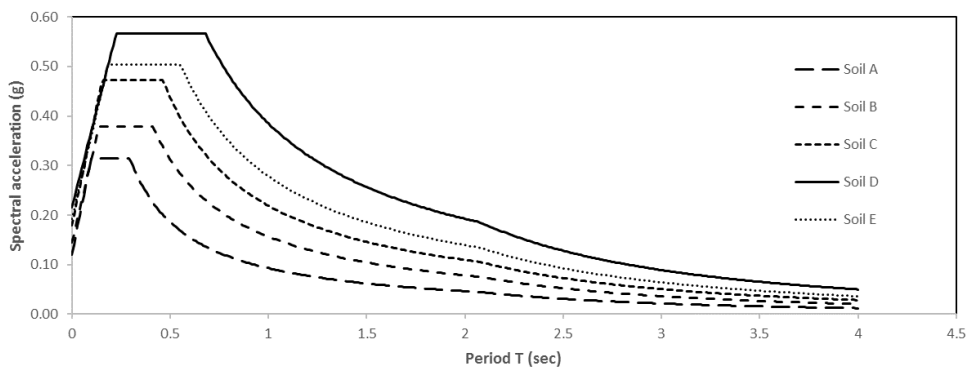


**Figure 1. - Ribaltamento fuori piano di singoli maschi murari per incastro alla base o doppiamente appoggiato**

Questo produce più facilmente l'attivazione di tale meccanismo piuttosto che quello globale in cui invece si attivano periodi di vibrazione più elevati (generalmente sul plateau dello spettro) con corrispondente sollecitazione sismica maggiore ma anche con capacità resistenti maggiori (la resistenza di una parete nel piano è generalmente 6-8 volte superiore a quella fuori piano).

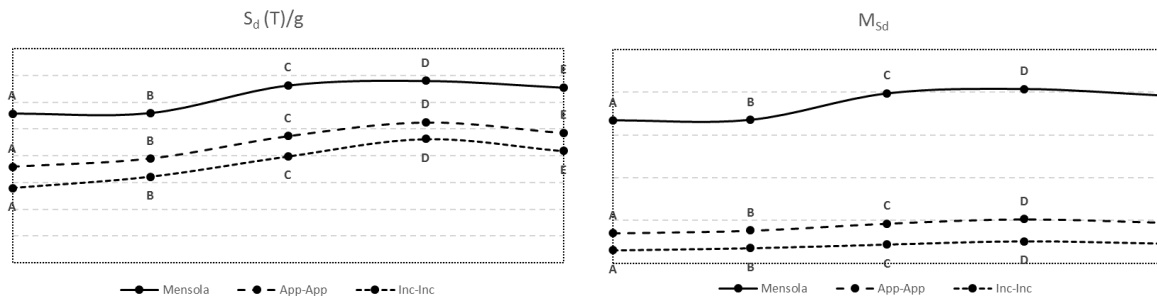
Inoltre il collasso fuori dal piano delle pareti è assimilabile ad un comportamento fragile per perdita di equilibrio con conseguente innesco di ulteriori comportamenti fragili ad effetto domino (collasso dell'eventuale solaio portato o di porzioni di parete ad esso adiacenti, ecc).

Uno stesso fabbricato, con le carenze di comportamento appena descritte, realizzato su un terreno rigido (Tipo A) o su terreni sempre meno rigidi (in sequenza B, C, E, D) verrà sollecitato da azioni sismiche con ampiezza percentualmente maggiore producendo i collassi fuori dal piano più gravosi (perdita di equilibrio, collassi fragili, effetto domino), figura 2.



**Figure 2 - Spettro elastico (NTC 2008) per differenti categorie di sottosuolo**

Pertanto nello studio del comportamento sismico di un fabbricato va prestata molta attenzione ad una corretta caratterizzazione dei terreni di fondazione. Al variare infatti della tipologia dei terreni può essere ancora più gravosa l'interazione che il suo comportamento ha nei confronti dell'attivazione precoce dei meccanismi più pericolosi ovvero quelli fragili (dislocazione, disconnessione tra maschi murari, disconnessione e perdita di equilibrio dei solai).



**Figure 3 - Accelerazioni sismiche fuori piano e corrispondenti sollecitazioni flessionali, normalizzate, su singoli pannelli murari in funzione dello schema di vincolo e della tipologia di terreno**

Nella figura 3 si riportano i valori normalizzati di azione spettrale e di massimo momento sollecitante per una parete diversamente connessa alle estremità (semplicemente incastrata al piede, appoggiata in testa e al piede o doppiamente incastrata).

Le accelerazioni spettrali diminuiscono con la modifica del vincolo sulla parete, ma si evidenzia come una tipologia di terreno rispetto ad un'altra possa comunque far aumentare l'azione sismica perdendo il vantaggio che si ottiene dal miglior schema di vincolo (evidente specialmente nel confronto tra schemi doppiamente appoggiati ed incastrati).

E' qui che va posta molta attenzione alla caratterizzazione del suolo, passare da un terreno tipo A ad un terreno tipo C o D (secondo la classificazione delle NTC2008) mediamente raddoppia l'accelerazione fuori piano.

Naturalmente però lo schema di vincolo modifica l'azione sollecitante e questo fa ancor meglio notare come lo schema a mensola sia fortemente svantaggioso per la parete che si trova ad assorbire un momento sollecitante ribaltante fuori piano quasi 3 volte maggiore degli schemi a maggior grado di vincolo.

Solo intervenendo su una struttura muraria scongiurando i fenomeni appena descritti, attraverso una serie di rinforzi localizzati, il fabbricato può essere caratterizzato sismicamente dal suo comportamento globale, dove i solai consentono una corretta ripartizione delle masse (quindi azioni) di piano tra i maschi murari e questi collaborano (tutti) nell'assorbire le azioni sismiche.

Viene da se dunque che migliorare sismicamente un fabbricato murario ha come principale obiettivo quello di portare il suo comportamento sismico ad un funzionamento quanto più "a scatola" spostando il comportamento resistente da "seriale" e fragile (collasso per singoli elementi in successione) ad uno con comportamento "in parallelo" e duttile.

Ovviamente quest'ultimo funzionamento (pareti in parallelo) si raggiunge non solo attraverso il ripristino dei vincoli, ma attraverso un ulteriore fase di intervento, capace di incrementare la duttilità nel piano, cioè aumentare la capacità di mantenere una certa resistenza post-fessurazione con spostamenti di interpiano (drift) elevati. Il funzionamento 'in parallelo' appunto consente l'attivazione della resistenza del numero massimo di elementi, aumentando la capacità massima del fabbricato sia in termini di resistenza alle azioni ma anche in termini di dissipazione dell'energia sismica.

## **2. Strutture murarie e meccanismi fragili: il vero problema**

Nei manufatti in muratura il meccanismo fragile è determinato dall'attivazione di un meccanismo resistente "in serie" piuttosto che "in parallelo" in cui gli elementi (microelementi lapidei, macroelementi le singole pareti e i solai) collassano singolarmente.

Un manufatto ben legato, il cui il comportamento è "scatolare", permette l'attivazione dei meccanismi resistenti più energivori (resistenza nel piano di tutti i pannelli).

L'attivazione dei meccanismi duttili nei manufatti in muratura quindi passa dal ripristino della continuità strutturale e dei vincoli assenti o non efficaci.

La problematica della continuità strutturale sugli edifici in muratura non solo si evidenzia tra macroelementi ma arriva fino alla costituzione del singolo elemento o maschio murario. La disgregazione della parete muraria per effetto della dislocazione degli elementi lapidei è una mancanza di continuità che si osserva a livello locale (di tessitura) mentre il collasso per ribaltamento di singole porzioni o pareti è assenza di continuità tra macroelementi (tra pareti o tra pareti e orizzontamenti).

E come già evidenziato questi fenomeni possono essere fortemente amplificati dalla tipologia di sottosuolo che per sue caratteristiche "risuona" su frequenze e con ampiezze differenti rispetto alla sollecitazione sismica al bedrock e che comportano proprio un aumento delle azioni sulle frequenze che eccitano tali meccanismi dinamici di collasso.

Tutto quanto finora descritto ci porta a parlare di una tecnica di rinforzo, il Sistema CAM, che ha caratteristiche tali da poter essere favorevolmente utilizzato per ottenere il comportamento appena descritto.

## **3. Il Sistema CAM®**

La necessità di ricompattare la massa muraria, spesso caratterizzata da tessitura disordinata o a doppio paramento, con scarse o nulle connessioni trasversali, suggerisce l'idea di utilizzare un ideale sistema diffuso e tridimensionale di cuciture, capace di "impacchettare" la muratura, fornendo, eventualmente, anche un benefico stato di precompressione triassiale.

Il concetto di "impacchettamento" prende spunto dall'idea ispiratrice alla base dell'ideazione del metodo, frutto dell'osservazione delle buone capacità portanti che hanno i "gabbioni", comunemente usati per realizzare pareti di contenimento. La combinazione vincente risiede nella specializzazione delle funzioni: alla pietra in compito di trasferire gli sforzi di compressione, all'acciaio quello di mantenere in posizione gli inerti attraverso il contenimento, per trazione, della rete.

La possibilità di immaginare uno stato di pretensione nella 'rete' fa presupporre una maggiore efficacia nella stabilizzazione degli elementi lapidei, con conseguente incremento della capacità portante del sistema.

L'insieme di cuciture realizzate attraverso l'impiego del nastro formano un reticolo tridimensionale che consente di ottenere una condizione finale di coazione triassiale (fig. 4), in grado di conferire maggior resistenza a compressione al volume murario per effetto del confinamento indotto e costituendo armatura diffusa (capacità portante a trazione) senza incremento di massa.

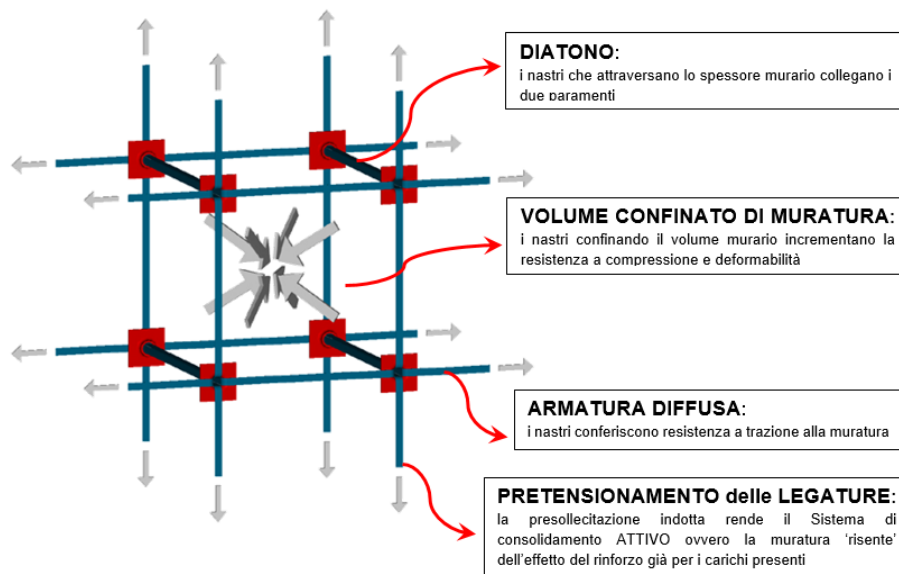


Figure 4 - Il reticolo tridimensionale del Sistema CAM

### 3.1 Principi base

Il Sistema CAM (Cucitura Attiva dei Manufatti) si basa sulla realizzazione di anelli realizzati attraverso l'impiego strutturale di un nastro in acciaio inossidabile ad alte prestazioni di dimensioni 19x0.90 mm che singolarmente cerchia delle porzioni limitate di struttura.

Ciascun anello è chiuso su se stesso attraverso l'impiego di un sigillo e di un'apposita macchina in grado di imprimere al nastro una pretensione all'atto del crimpaggio (chiusura per via meccanica).

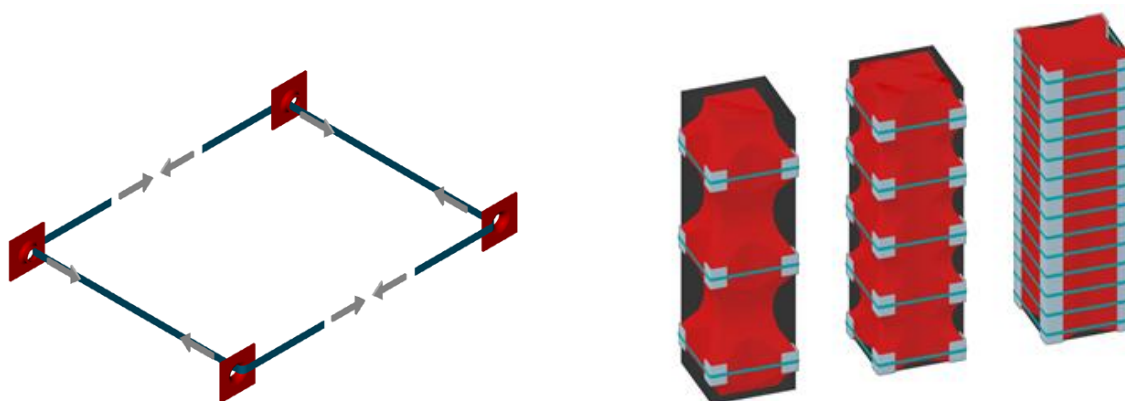


Figure 5 - Schema statico elementare di riferimento

Nei componenti travi e pilastri tali anelli sono posti a cerchiare la sezione in posizione trasversale rispetto all'asse longitudinale dell'elemento, nelle pareti in muratura l'anello attraversa lo spessore murario e ripetendosi in posizione orizzontale e verticale forma un reticolo tridimensionale.

I componenti impiegati sono molto semplici:

- 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 per accompagnare il nastro nella curva
- L'angolare metallico con stesso ruolo della piastra imbutita da porre in corrispondenza degli spigoli

### 3.2 I materiali

Tutti i componenti sono in acciaio inossidabile, ciò a garantire la massima durabilità dell'intervento e la compatibilità con qualsiasi tipologia di intonaco.

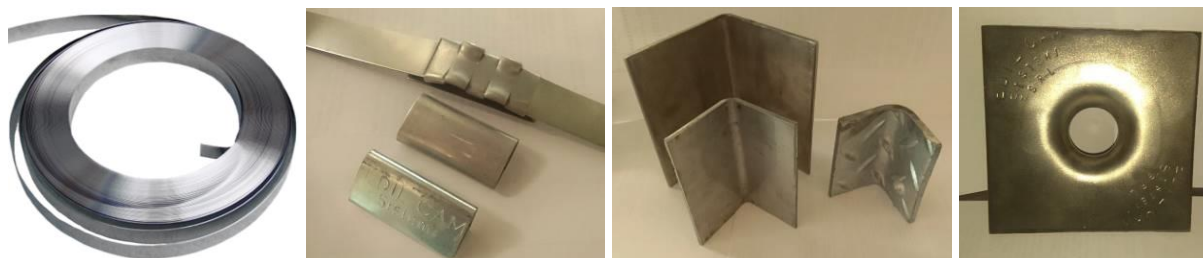


Figure 6 - I componenti del Sistema: nastro, sigillo, angolare, piastra imbutita

Tutti i materiali sono marcati CE. Nella tabella 1 sono riepilogati i materiali impiegati per ogni componente.

COMPONENTE	DIMENSIONE (mm)	NORMATIVA	SIGLA	$f_{tk}$ (MPa)	$f_{yk}$ (MPa)	$A_{80}$ (%)
Nastro	19x0.90	UNI EN 10088-4	1.4318	$\geq 650$	$\geq 350$	35
Piatto imbutito	125x125x4	UNI EN 10088-4	1.4301 - 1.4307	$\geq 520$	$\geq 220$	45
Angolare ripartitore	125x62.5x4	UNI EN 10088-4	1.4301 - 1.4307	$\geq 520$	$\geq 220$	45
Sigillo	45x55x1 (0.90)	UNI EN 10088-4	1.4301 - 1.4307	$\geq 520$	$\geq 220$	45

Table 1. Materiali impiegati sulla muratura

Per effetto dell'intaglio la sezione resistente del nastro è ridotta, pertanto non possono essere usati i valori nominali di resistenza del nastro, ma vanno calcolati i parametri resistenti di calcolo del nastro giuntato.

### 3.3 Il funzionamento del Sistema CAM®

La compattazione della parete muraria così come la possibilità di realizzare una cucitura diffusa tra gli elementi, rende il Sistema CAM estremamente valido per il ripristino dei vincoli spesso assenti nei manufatti in muratura.

La flessibilità e la semplicità del Sistema permette di superare agevolmente ostacoli legati alla presenza di orizzontamenti (le legature verticali attraversano i solai, le volte e le scale) o legati a geometrie particolari delle pareti (sezioni variabili e riseghe oggetto di rimaneggiamenti in fasi successive) ovvero la conservazione degli elementi di pregio architettonico (passaggio diagonale delle legature in prossimità dei portali o dei fregi) rendendo di fatto il rinforzo continuo per tutta la struttura.



Figure 7 - Esempi di flessibilità distributiva del Sistema CAM

### 3.3.1 Ricompattazione dell'apparecchio murario

Il primo meccanismo di collasso che va evitato negli edifici in muratura è la rottura per dislocazione dei singoli elementi lapidei.

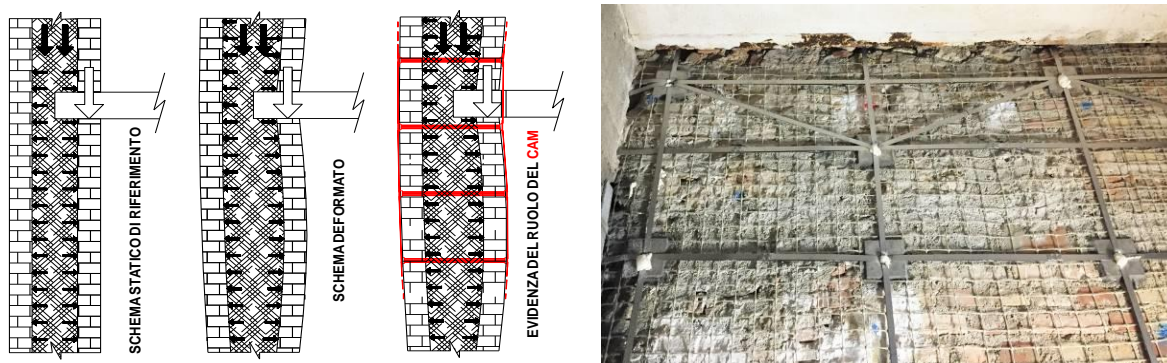
Se la muratura si comporta solo come un insieme di elementi semplicemente appoggiati o scarsamente legati tra di loro, non è lecito considerarla come un materiale omogeneo, pertanto qualsiasi considerazione strutturale viene meno al venir meno di tale ipotesi.



Figure 8 - La rottura per disgregazione dell'apparecchio murario

Attraverso l'applicazione di una maglia CAM diffusa sulla parete si realizza, attraverso il sistema di nastri che attraversano lo spessore della parete, un diatono meccanico di collegamento che ha non solo la capacità di assorbire la spinta derivante dal nucleo ma, per effetto della pretensione imposta ai nastri, rappresenta una risorsa immediatamente fruibile, prima dell'attivazione del meccanismo di spanciamiento.





**Figure 9 - L'effetto del diatono CAM e una applicazione su muratura di caratteristiche scadenti**

Laddove la muratura abbia caratteristiche particolarmente scadenti e quindi ad esempio si abbia la presenza di elementi lapidei tondeggianti e di piccola pezzatura si consiglia l'applicazione al di sotto del reticolo CAM di una rete porta-intonaco.

### 3.3.2 Vincoli tra pareti ed orizzontamenti

Il solaio è un elemento che assume enorme importanza nel funzionamento sismico delle strutture svolgendo un'efficace funzione di ripartizione delle azioni orizzontali tra gli elementi verticali.

Un solaio ben ammortato lungo il profilo e rigido nel suo piano, una copertura non spingente ben ammortata e rigida nella sua proiezione orizzontale, un cordolo ben ammortato e con un comportamento a telaio sufficientemente rigido, tutti e tre il più leggeri possibile, realizzano quel grado di vincolo in più, capace di ridurre la deformabilità della struttura e di conferire un comportamento significativamente migliore nei confronti delle azioni globali che possono investirla.

Laddove tali elementi non siano presenti sarà fondamentale ripristinare i vincoli assenti.

La realizzazione del cordolo tramite il Sistema CAM permette il corretto funzionamento delle pareti che cucite insieme assorbono l'azione orizzontale trasmessa dal solaio. Inoltre il sistema di legature permette la compattazione della porzione sommitale della muratura che è soggetta allo scarico del solaio.

Attraverso la disposizione di anelli in posizione orizzontale, verticale e diagonale si realizza una trave cordolo in muratura armata con il vantaggio di evitare pericolosi scassi nello spessore della parete.



**Figure 10 - Realizzazione del cordolo CAM**

Il vincolo atto ad evitare lo sfilamento del solaio, di piano o di copertura, dalla propria sede viene realizzato attraverso delle arpionature diffuse su ciascun travetto (all'intradosso o all'estradosso). Attraverso l'apposizione di un piolo in corrispondenza dell'elemento portante del solaio e forature nello spessore della muratura, si realizzano anelli di forma pentagonale in pianta che possono essere costituiti da più nastri in sovrapposizione.



Figure 11 - L'arpionatura dei travetti del solaio all'intradosso e all'estradosso

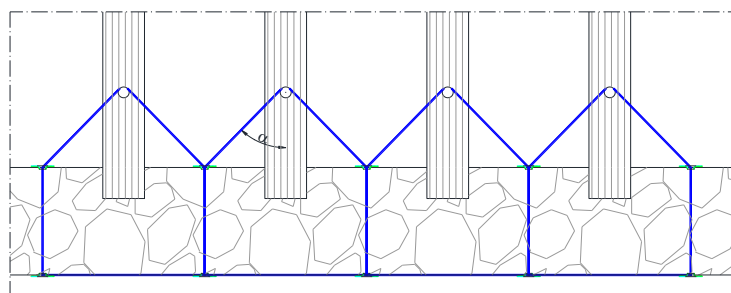


Figure 12 - L'arpionatura dei travetti del solaio: disposizione in pianta

Calcolato dunque il  $W_{\text{sismico}}$  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 che deve essere assorbita dal sistema di legature.

$$n_{\text{nastri}} = \frac{S_d(a_g, T) \cdot \frac{W_{\text{sismico, sol}}}{n_{\text{travi}}}}{A \cdot f \cdot n}$$

Tale arpionatura, ancor meglio quando il solaio può essere considerato sufficientemente rigido nel proprio piano, produce quella variazione dello schema di vincolo sulle pareti, specialmente quelle non caricate direttamente dal solaio (quindi scariche) variandolo da uno schema a mensola incastrata alla base ad una trave appoggiata-appoggiata o ancor meglio doppiamente incastrata; questo poiché lo stesso Sistema CAM permette di migliorare considerevolmente la resistenza per flessione fuori dal piano sia nelle zone di "appoggio" sia lungo la parete.

### 3.3.3 Incatenamenti e ammorsature tra pareti ortogonali

Vantaggio implicito dell'applicazione del Sistema in corrispondenza degli incroci murari è legato alla realizzazione di ammorsature diffuse con capacità di efficace collegamento tra pareti ortogonali che solo in edifici 'ben costruiti' risultano già ben connesse.



Fig. 13 - Ammorsature efficaci anche in presenza di cantonali in pietra a vista

Tale aspetto ha primaria importanza per realizzare il comportamento scatolare dell'edificio passando dai meccanismi locali di collasso di semplice ribaltamento a quelli a più alta energia di attivazione.

Abbinato all'intervento di connessione con i solai, l'ammorsatura con le pareti ortogonali permette di modificare i vincoli delle singole pareti anche per flessione orizzontale modificando il suo funzionamento fuori piano da semplice trave a piastra (bidimensionale).

Questo si traduce, tornando al fenomeno introdotto all'inizio del presente articolo, ad un ulteriore aumento della rigidità, diminuzione della accelerazione sismica per vibrazione locale, e una diminuzione della sollecitazione flessionale che si ripartisce convenientemente nelle due direzioni resistenti.

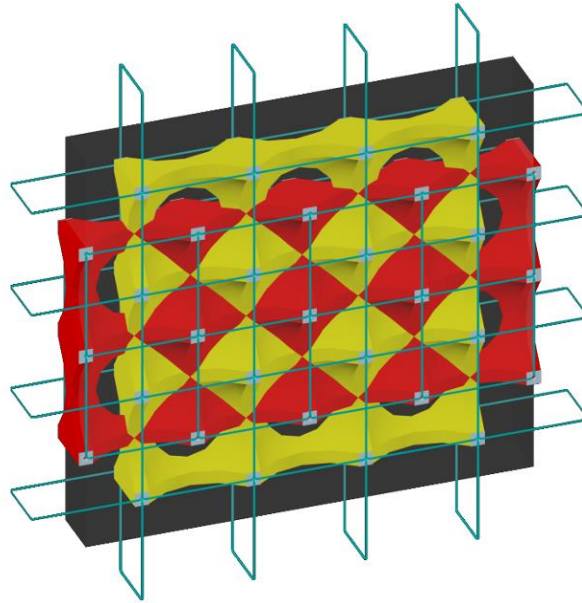
Vale la pena tra l'altro ricordare che il passaggio ad uno schema molto più rigido, nella valutazione degli effetti locali fuori piano, si traduce anche in una certa invarianza con la tipologia di sottosuolo delle stesse sollecitazioni sismiche (fig.3).

### 3.3.4 Realizzazione di armatura diffusa

La realizzazione di una cucitura diffusa rende il manufatto in muratura una struttura tridimensionale, capace di assorbire le azioni esterne e poterle distribuire efficacemente sugli elementi resistenti.

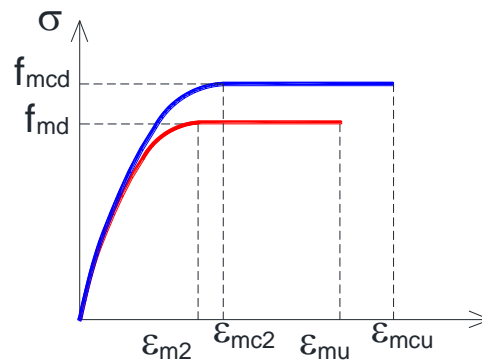
La maglia inoltre costituisce a tutti gli effetti una armatura diffusa sulla parete, conferendo resistenza a trazione e meccanismi di rottura più duttili.

Nella fig.14 si riporta lo schema grafico di riferimento relativo al flusso delle tensioni derivanti dall'applicazione della maglia CAM secondo una foratura a quinconce.



**Figura 14 - Schema grafico di riferimento – foratura a quinconce**

Il primo effetto si ha relativo alla compattazione muraria, per effetto del confinamento, il cui contributo si stima impiegando le formule in normativa [15] da cui si ricava l'incremento in termini di resistenza a compressione e deformazione ultima per la muratura.



**Fig. 15 - modello costitutivo della muratura confinata**

Le formulazioni legano l'entità dell'azione trasversale fornita dal rinforzo all'incremento ottenuto per effetto Poisson sul carico verticale massimo raggiungibile.

$$f_{mcd} = f_{md} \left[ 1 + k' \cdot \left( \frac{f_{1,eff}}{f_{md}} \right)^{\alpha_1} \right] \quad (3.1) \quad \varepsilon_{mcu} = 0.0035 + 0.015 \cdot \sqrt{\frac{f_{1,eff}}{f_{md}}} \quad (3.2)$$

I ricorsi verticali di nastro, se efficacemente ancorati a livello di cordolo superiore e inferiore sono armatura flessionale per il pannello.

Il loro contributo si stima analogamente alla muratura armata [13], considerando la sola armatura tesa in posizione discreta.

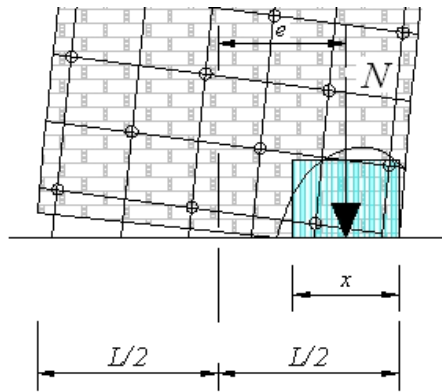


Figure 16 - Schematizzazione della sezione rinforzata

Anche i ricorsi orizzontali di nastro sono fondamentali nel meccanismo resistente, in quanto un efficace confinamento della sezione permette di sfruttare al massimo la capacità rotazionale della sezione in muratura.

In fig. 17 si nota come un efficace confinamento permetta incrementi notevoli in termini di momenti resistenti in particolare per sollecitazioni assiali notevoli (porzione in blu), mentre l'effetto dell'armatura aggiuntiva è massimo per basse sollecitazioni assiali (porzione in rosso).

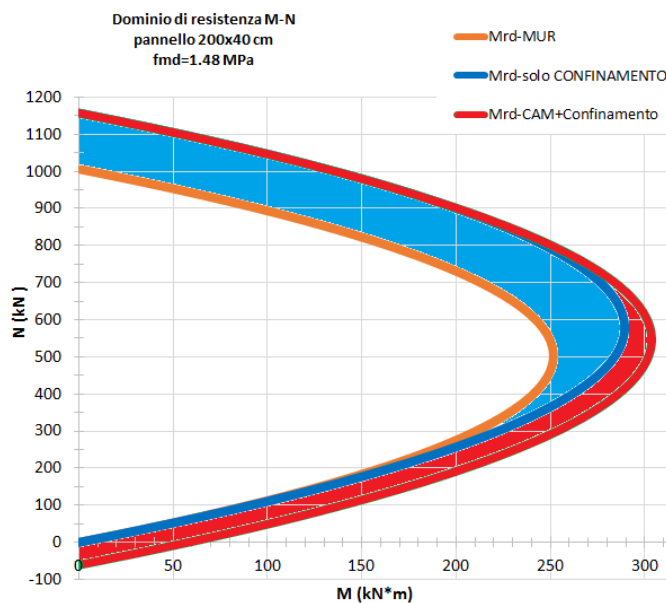


Figure 17 - Dominio di resistenza N-M di un pannello rinforzato e particolare di applicazione

Nel caso in cui il pannello sia carente dal punto di vista della sollecitazione tagliante, il rinforzo CAM si specializza realizzando maglie in cui il passo tra le legature disposte in orizzontale è minore.

Assumendo valida la formula additiva riportata in normativa (7.8.3.2.2 delle NTC), il contributo dell'armatura aggiuntiva disposta, si stima secondo la (3.3) nel caso di crisi per taglio scorrimento e secondo la (3.4) per valutare la crisi nei confronti della fessurazione diagonale:

$$V_t = d \cdot t \cdot f_{yd} + \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{s,orizz} \cdot f_{yd}}{s_{orizz}} \quad (3.3)$$

$$V_t = L \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot \tau_{0d}}} + \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{s,orizz} \cdot f_{yd}}{s_{orizz}} \quad (3.4)$$

I ricorsi verticali di nastro risultano in questa configurazione necessari per ostacolare il movimento lungo la superficie di rottura ed inoltre per riequilibrare le forze e permettere il funzionamento a traliccio dell'elemento rinforzato.

Il drift ultimo del pannello 'armato' con i nastri CAM può essere incrementato del fattore 1.5 (7.8.2.2.1 delle NTC).

Assumendo le indicazioni riportate per gli edifici esistenti (C8.7.1.4 della Circolare) il valore limite per azioni nel piano flessionale è di 0.6 % l'altezza del pannello, quindi si consiglia di limitare lo spostamento ultimo del pannello rinforzato a pressoflessione con Sistema CAM al valore  $0.6 \cdot 1.5 = 0.9\%$  dell'altezza pannello.

Il drift ultimo a taglio del pannello passa invece dallo 0.4% dell'altezza pannello (C8.7.1.4 della Circolare) allo 0.6% (7.8.3.2.2 delle NTC).

#### 4. Conclusioni

Nel presente testo si è voluto analizzare un fenomeno importantissimo, in qualche misura ancora poco indagato, legato al comportamento delle strutture murarie.

È diffusa infatti una certa mancanza di attenzione nonostante il collasso per meccanismi locali fuori dal piano risulta essere il più pericoloso come tutti i recenti eventi sismici hanno evidenziato.

L'innescio prematuro del collasso fuori dal piano dei pannelli murari porta alla disgregazione del manufatto; non si arriva ad attingere alla resistenza della muratura nel proprio piano quindi alle effettive capacità della struttura.

Studiare i possibili scenari di collasso locale vuol dire conoscere il funzionamento e le cause che possono provocarlo e pertanto scongiurare il collasso prematuro, arrivando allo sviluppo delle piene capacità resistenti del fabbricato.

Tra le cause che possono innescarlo vi è il comportamento dinamico dei terreni di fondazione su cui il manufatto è fondato.

E' noto che il terreno influenzi in maniera significativa l'azione sismica agente su un determinato sito ma è meno evidente come la variazione da tipologia a tipologia di terreno comporti incrementi di sollecitazione sismica in modo estremamente più significativo nei confronti delle azioni e delle capacità fuori piano che nel piano.

Capire e conoscere tale fenomeno insieme alla conoscenza del funzionamento sismico globale dei fabbricati in muratura ha permesso lo sviluppo di una tecnica di consolidamento, il Sistema CAM, che in alcuni aspetti in via diretta (era intento della invenzione), in altri indiretta ("scoperta" nell'esperienza avuta nella sua applicazione e costante sperimentazione), permette efficacemente di fornire una soluzione alle problematiche esposte.

In particolare tale sistema permette di risolvere praticamente tutte le problematiche inerenti ai meccanismi locali di collasso (dislocazione dei pannelli, collassi fuori piano, scivolamento dei

solai, corretta ripartizione delle azioni di piano tra i maschi murari), e consente inoltre di aumentare considerevolmente le capacità duttili e di resistenza tagliante e flessionale dei singoli pannelli murari. Il Sistema CAM cuce, connette, compatta e rinforza e nello stesso tempo aumenta le capacità in spostamento del manufatto, aumentando dunque la resistenza e le capacità dissipative della struttura.

Il tutto a concorrere all'obiettivo principale di un buon consolidamento ovvero il funzionamento a "scatola".

## 5. References

- [1] W. Samarisinghe, A.W. Henry, *The strength of Brickwork under biaxial tensile and compressive stress*, Proc. 7th Int. Symp. On Load Bearing Brickwork, London, 1980
- [2] D. Abruzzese, M. Como, G. Lanni, *On the lateral strength of multistory masonry walls with openings and horizontal reinforcing connections*, 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Ed. Balkema, 1992.
- [3] F. Braga, M. Dolce, *Un metodo per l'analisi di edifici multipiano in muratura antisismici*, Proc. Of the 6th I.B.Ma.C., Roma, 1982.
- [4] M. Como, A. Grimaldi, *An unilateral model for the limit analysis of masonry walls*, International Congress on "Unilateral Problems in Structural Analysis", Ravello, Springer Ed., 1985.
- [5] V. Turnšek, P. Sheppard, *The shear and flexural resistance of masonry walls*, Proc. of the Intern. Research Conference on Earthquake Engineering, Skopje, 1980.
- [6] M. Dolce, A. Cacosso, F. C. Ponzo, R. Marnetto, *New technologies for the structural rehabilitation of masonry constructions: concept, experimental, validation and application of the Cam System*, Febbraio 2004.
- [7] G. Palmieri, *Il miglioramento sismico dei beni monumentali con il Sistema CAM*, Settembre 2008.
- [8] M. Dolce, F.C. Ponzo, M. Di croce, C. Moroni, F. Giordano, D. Nigro, R. Marnetto, *Experimental assessment of the CAM and DIS-CAM systems for the seismic upgrading of monumental masonry buildings*, Giugno 2009.
- [9] R. Marnetto, *Il rafforzamento delle strutture murarie: il Sistema CAM di cuciture attive per la muratura*. ASSIRCO, Le tecnologie avanzate (FRP, materiali a memoria di forma, isolatori sismici...), Roma, 14 settembre 2005.
- [10] M. Dolce, R. Gigliotti, M. Laterza, D. Nigro, R. Marnetto, *Il Rafforzamento dei Pilastrini in C.A. Mediante il Sistema CAM*, 10° Convegno Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Potenza-Matera 2001.
- [11] A. Salvatori, *Il metodo CAM e l'isolamento sismico. Calcolo ed applicazione. Esempi in edifici danneggiati dal sisma a l'Aquila*, XXI Secolo. Scienza e Tecnologia, Giugno 2013.
- [12] Linee Guida BBCC: *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008 - DPCM 9 Febbraio 2011 (GU n. 47 del 26-2-2011 - Suppl. Ordinario n.54)*.
- [13] DM 14 Gennaio 2008: "Norme tecniche per le costruzioni" (Testo Unico 2008).
- [14] Circolare 617 del 02/02/2009: "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008".
- [15] CNR DT 200/2013: *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati*.

- [16] UNI EN 1993-1-4:2007 Gennaio 2007 Eurocodice 3: *Progettazione delle strutture di acciaio - Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili.*
- [17] UNI EN 1998-3:2005 Agosto 2005 Eurocodice 8: *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte3: Valutazione e adeguamento degli edifici.*
- [18] Decreto 20 Novembre 1987: *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento.*