

EDIL CAM Sistemi srl

# GUIDA INTRODUTTIVA AGLI INTERVENTI A MARCHIO CAM<sup>®</sup> SUI FABBRICATI IN MURATURA

**Tipologici e applicazioni**

Ing. Alessandro Vari – Ing. Marianna Leonori



CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE CON CUCITURE INOX

## SOMMARIO

1	LA EDIL CAM SISTEMI S.R.L.....	3
2	INTRODUZIONE AL SISTEMA CAM® APPLICATO ALLA MURATURA.....	5
2.1	INTRODUZIONE.....	5
2.2	COMPONENTI BASE: RUOLO E FUNZIONE.....	8
2.3	DEFINIZIONI GEOMETRICHE DEL RINFORZO MEDIANTE CUCITURE ATTIVE.....	8
2.4	IL RINFORZO 'ATTIVO': L'EFFETTO DELLA PRESOLLECITAZIONE DEI NASTRI.....	10
2.5	I MATERIALI.....	13
3	PRINCIPALI CRITICITÀ DEI FABBRICATI IN MURATURA E STRATEGIA DI INTERVENTO.....	15
4	PRINCIPALI REALIZZAZIONI EDIL CAM SISTEMI SRL.....	25
4.1	AGGREGATO BORGO E CASTELLO 'RIVERA'.....	25
4.2	PROVVEDITORATO OPERE PUBBLICHE.....	27
4.3	AGGREGATO EX CONVENTO 'SANT'ANTONIO'.....	29
4.4	EDIFICIO IN MURATURA.....	31
4.5	PALAZZO FONDAZIONE 'FENDI'.....	33
4.6	EDIFICIO SCOLASTICO.....	34
4.7	EDIFICIO SCOLASTICO.....	37

## 1 LA EDILCAM 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





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®

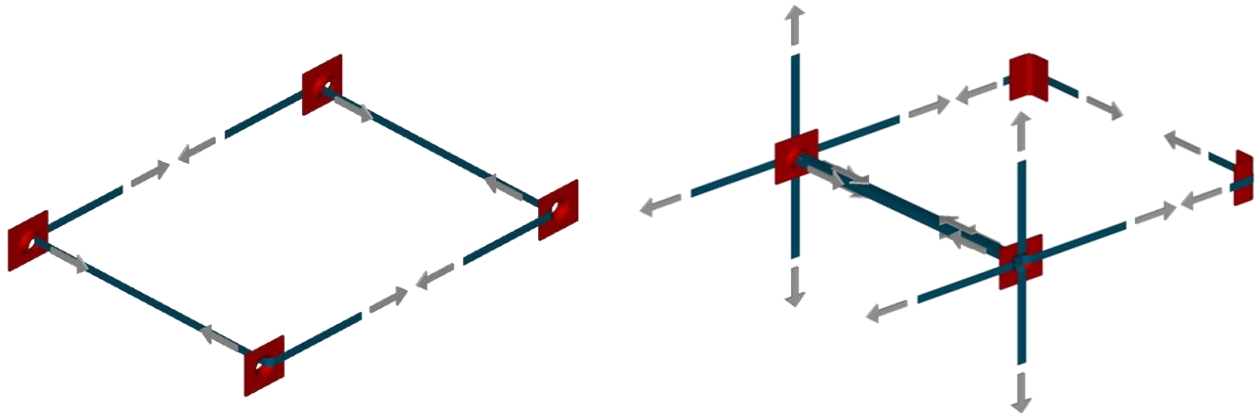
IL SOL-CAM®



## 2 INTRODUZIONE AL SISTEMA CAM® APPLICATO ALLA MURATURA

### 2.1 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.



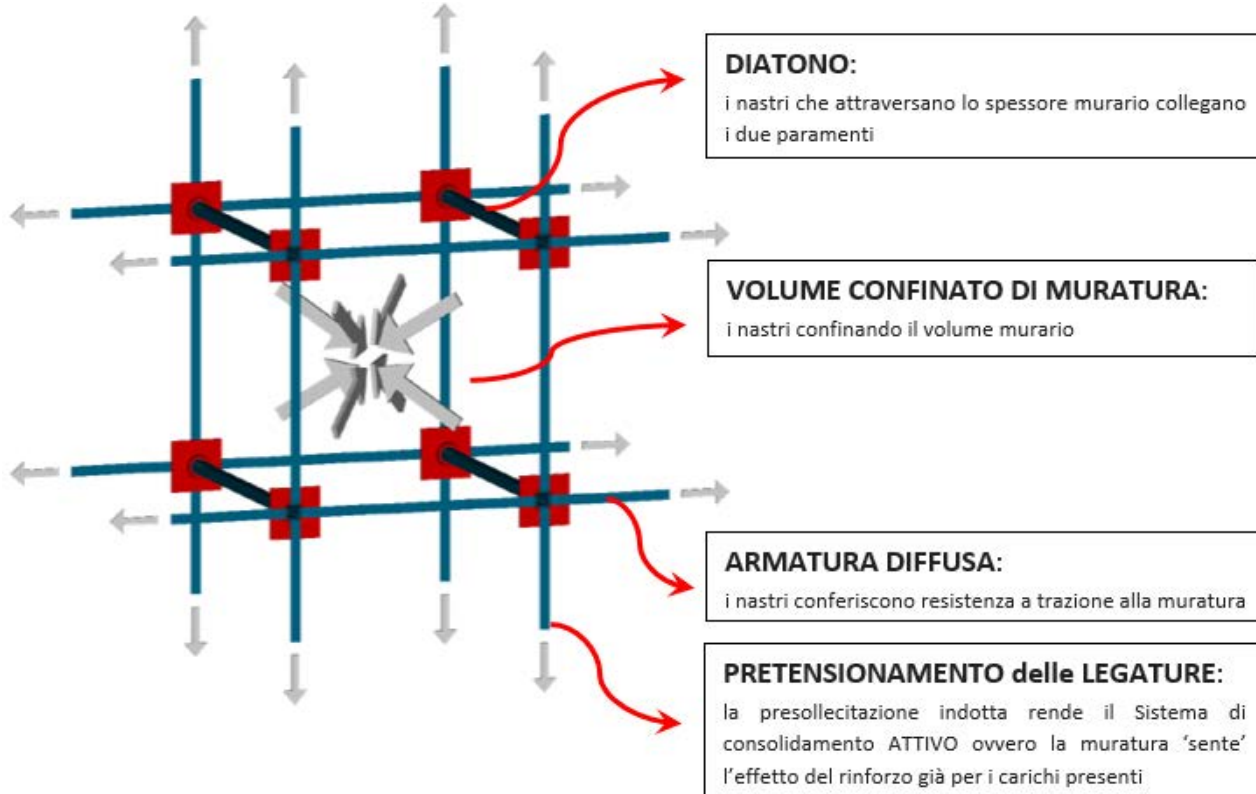
*Rappresentazione della singola maglia e della composizione di più maglie con evidenza del flusso delle forze, conseguenti allo stato di coazione impresso (non è rappresentato in volume confinato)*

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.

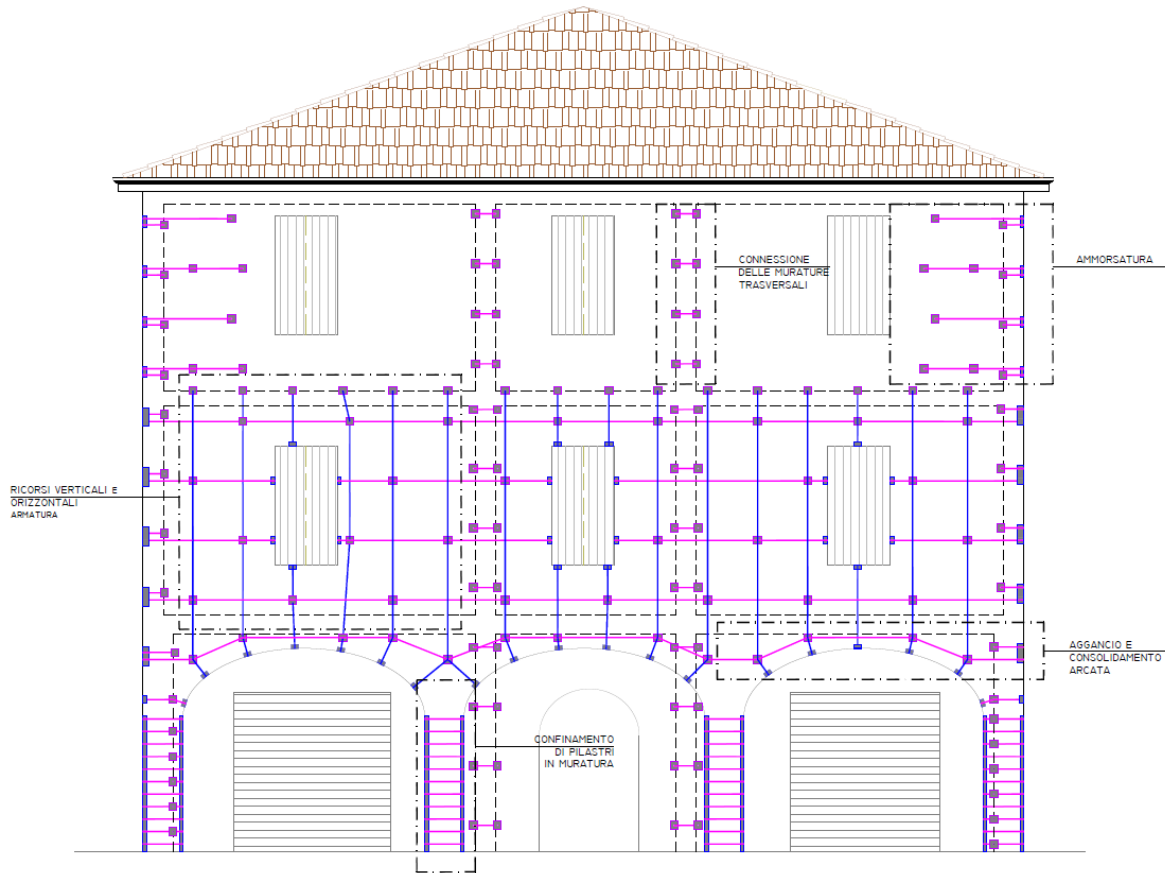


Il reticolo di legature attraversa i solai, le pareti ortogonali e se necessario viene ancorato a livello di fondazione; in questo modo si dà continuità orizzontalmente, verticalmente e trasversalmente, da un estremo all'altro della parete, dalla base alla sommità dell'edificio.

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.





**Sistema a marchio CAM<sup>®</sup>: rappresentazione del reticolo su parete di un edificio**



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

## 2.2 COMPONENTI BASE: RUOLO E FUNZIONE

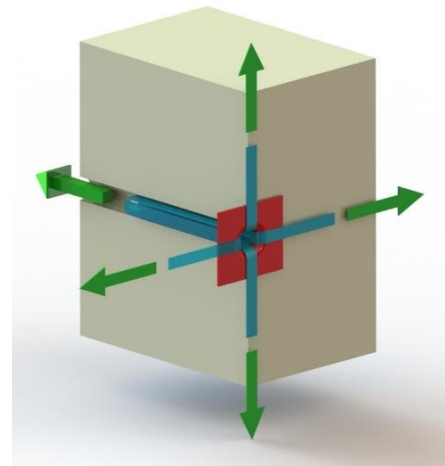
La semplicità del Sistema, che di fatto rappresenta anche la sua forza per l'immediatezza e l'evidenza dell'efficacia, risiede proprio nell'impianto tecnologico.

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

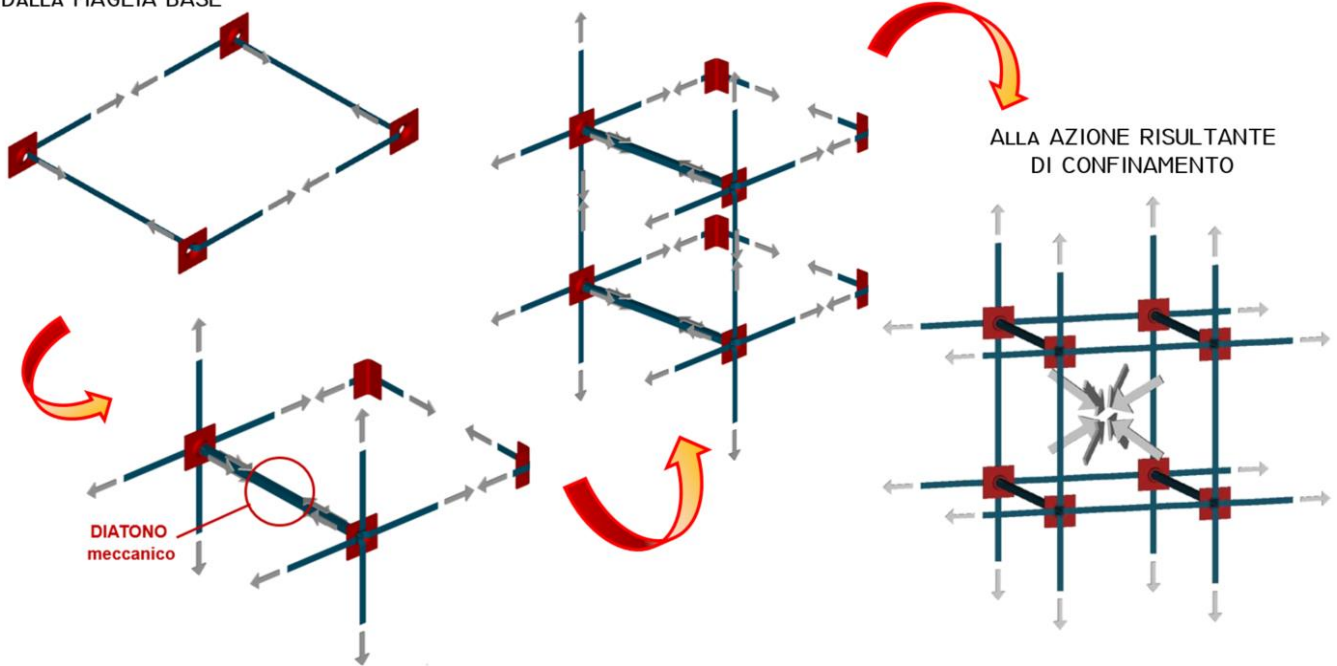
## 2.3 DEFINIZIONI GEOMETRICHE DEL RINFORZO MEDIANTE CUCITURE ATTIVE

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.

Pagina 8 di 39



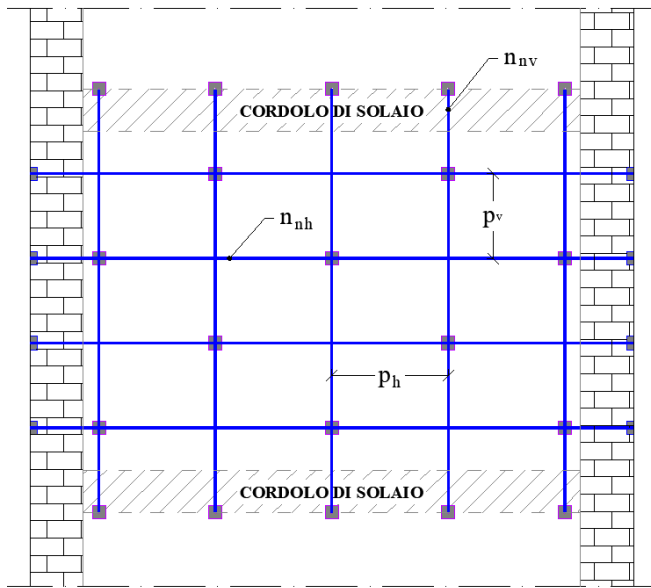
DALLA MAGLIA BASE



*Schema statico elementare di riferimento.*



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


 $n_{nv}$  = 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

## 2.4 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'.



(a)



(b)



(c)

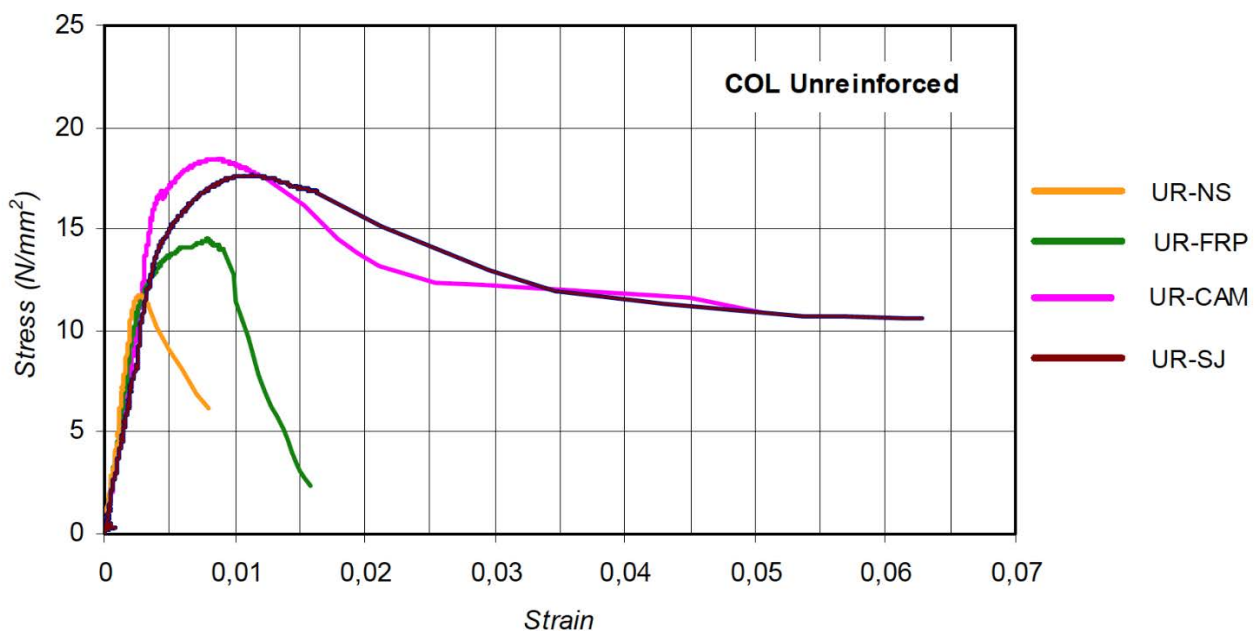
Tre tecnologie di confinamento a confronto: (a) calastrelli (b) FRP (c) Sistema CAM®



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,



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 rigidità 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.

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  $\nu$ .

$$\varepsilon_x = -\nu \cdot \varepsilon_z$$

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<sup>®</sup> 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 simile 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.

## 2.5 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.

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  $f_{yk} \geq 350 \text{ N/mm}^2$  e a rottura  $f_{tk} \geq 650 \text{ N/mm}^2$
- 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:

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

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  $f_{yk} \geq 700 \text{ N/mm}^2$  e a rottura  $f_{tk} \geq 1000 \text{ N/mm}^2$
- allungamento a rottura almeno pari al 15%.

#### Per il nastro Tipo 2:

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



### 3 PRINCIPALI CRITICITÀ DEI FABBRICATI IN MURATURA E STRATEGIA DI INTERVENTO

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 anamnesi 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.

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 'duatile' 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 sofficce (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. 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.

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

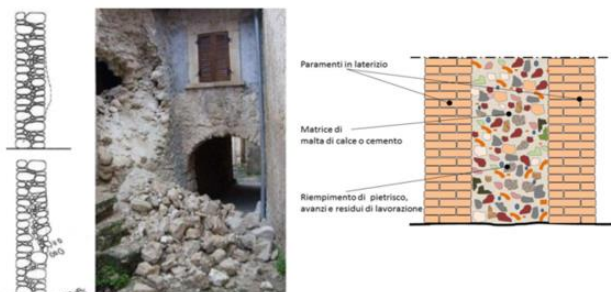


insieme di elementi lapidei appoggiati gli uni sugli altri la cui resistenza alle azioni orizzontali risulta estremamente bassa.

**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



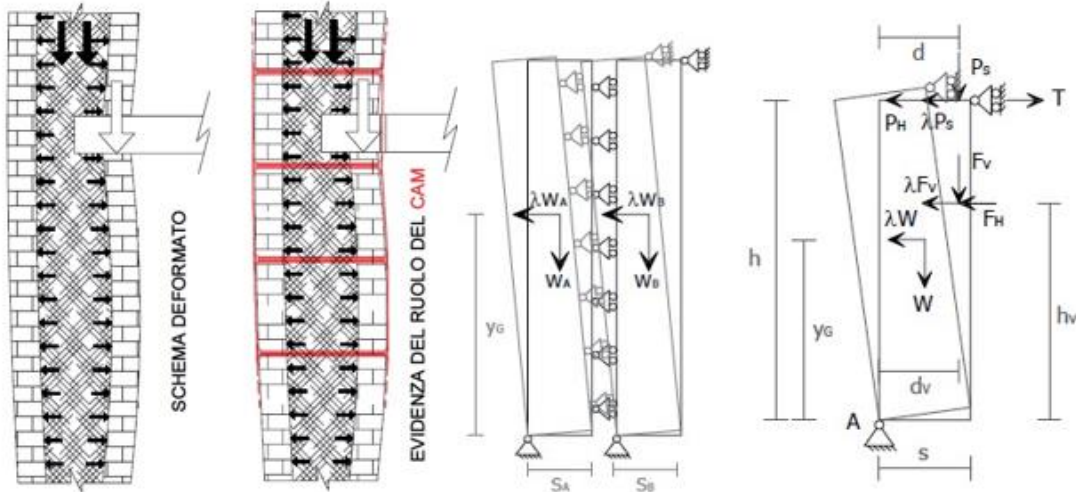
Il meccanismo di collasso fragile per dislocamento degli elementi lapidei è il primo meccanismo fragile da evitare. La disgregazione dell'apparecchio murario può anche interessare uno solo del doppio paramento che costituisce le murature a sacco. La tipologia muraria disgregante ha caratteristiche così 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.

L'insieme di nastri che attraversano lo spessore murario e compongono la maglia diffusa CAM® realizzano un diatono meccanico DIATONO CAM® 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.





*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®*

Laddove la tessitura muraria sia costituita da muratura costituita da elementi di forma particolarmente piccola e tondeggianti 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.



*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'.

### 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



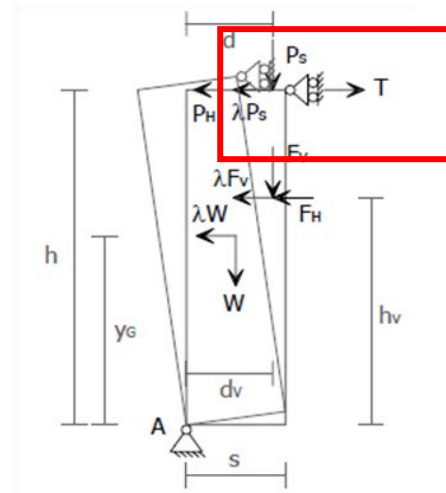
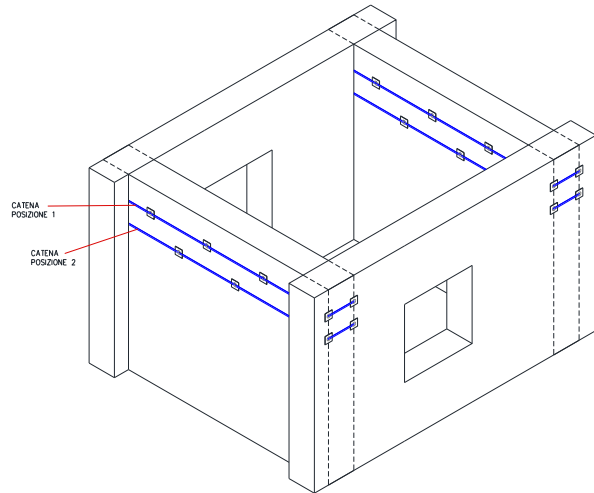
#### ASSENZA DI VINCOLI

#### TRA PANNELLI ORTOGONALI

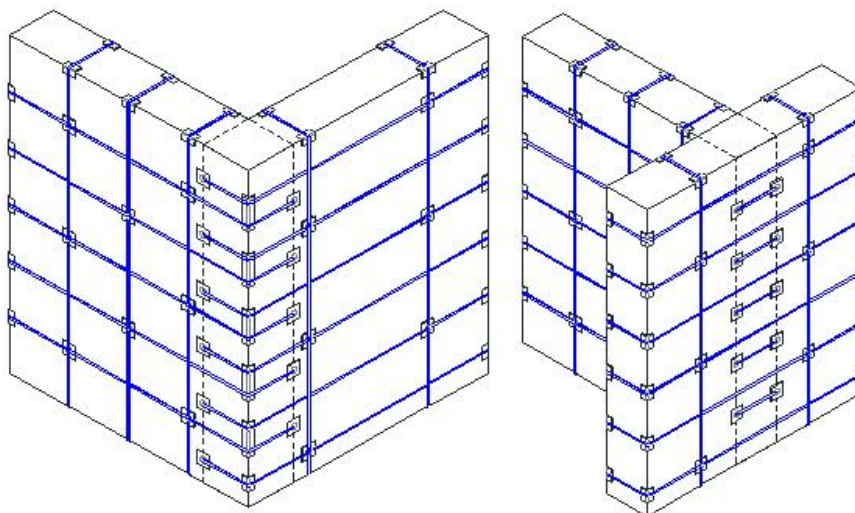
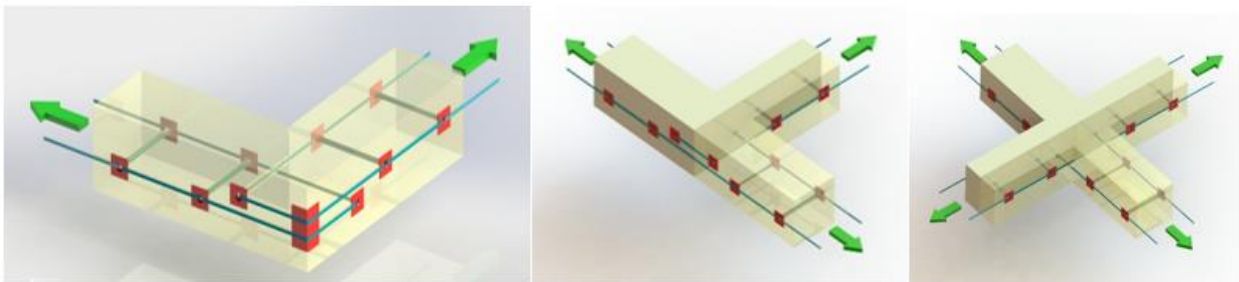
Qualsiasi cinematico (per ribaltamento, per flessione verticale o flessione orizzontale) può essere risolto tramite l'introduzione di vincoli, vincoli sia tra pareti ortogonali che tra pareti e solai. Attraverso la disposizione del Sistema a marchio CAM® possono agevolmente vincolarsi i macroelementi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

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 i ricorsi effettivi di nastro di vincolo per la parete.




**Incatenamento con nastri CAM®.**

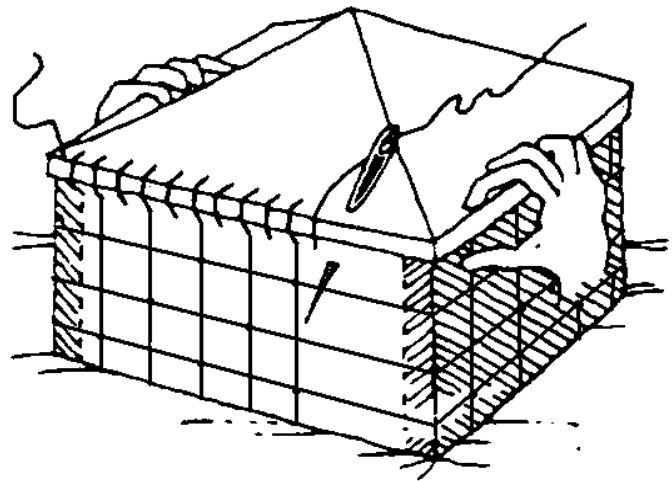
Analizzando inoltre come la maglia viene posta in opera in corrispondenza degli incroci murari (gli anelli di maglia abbracciano ciascun maschio murario per l'intera lunghezza, i ricorsi orizzontali della maglia di ciascun paramento sono sfalsati) è di immediata comprensione che si realizzano ammortature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


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



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*

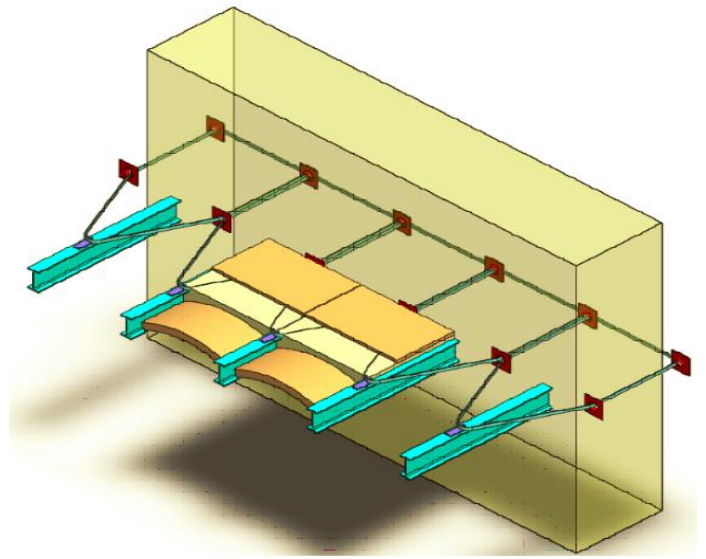
Altro intervento che può realizzarsi in corrispondenza dei solai è rappresentato dall'arpionatura degli stessi alle pareti perimetrali, attraverso i nastri disposti a formare in pianta una sorta di pentagono.

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.

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

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:



*Arpionatura del solaio con nastri CAM®*



#### TIPO DI COLLASSO

Collasso per disgregazione

Collasso per ribaltamento fuori dal piano

Collasso nel piano dei pannelli  
(pressoflessione, taglio, schiacciamento)

#### TIPO DI INTERVENTO

Necessità di ricompattare e omogeneizzare l'apparecchio murario

Necessità di legare insieme le pareti ortogonali e i solai alle pareti

Necessità del contributo resistente dell'armatura diffusa

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 di cuciture diffuse inoltre permette l'aumento di portanza nel piano e fuori piano del pannello, in quanto il reticolo di nastri è armatura aggiuntiva: i ricorsi orizzontali sono armatura aggiuntiva a taglio per il pannello murario e i ricorsi verticali sono armatura a pressoflessione. L'insieme del reticolo agisce confinando il nucleo di muratura racchiuso al proprio interno.

Tale aspetto può agevolmente essere portato nel calcolo come armatura posta in posizione discreta per la parete in muratura. Per maggiori dettagli si rimanda alle Linee Guida.



## INTERVENTI DI CONFINAMENTO



## ARMATURA AGGIUNTIVA PER IL PANNELLO

VERTICALI ARMATURA A FLESSIONE E ORIZZONTALI ARMATURA A TAGLIO





In sintesi il sistema di cuciture attive a marchio CAM<sup>®</sup> produce i seguenti gradi di miglioramento:

- Incrementa la prestazione della struttura nella fase elastica per effetto del pretensionamento
- Non altera la distribuzione di masse e rigidzze nella struttura
- Permette di incrementare la capacità resistente nel piano e fuori piano del pannello e il suo spostamento per effetto dell'armatura aggiuntiva
- Permette di cambiare lo schema di vincolo, rendendo il comportamento del manufatto da sconnesso a connesso e in particolare si può:
  - Incrementare il moltiplicatore di collasso per il cinematismo di rottura da parete a doppio paramento a parete monolitica
  - Incrementare il moltiplicatore di collasso per i cinematismi di collasso fuori dal piano legati alla carenza di ammorsature tra pareti ortogonali
  - Incrementare il moltiplicatore di collasso per i cinematismi di collasso fuori dal piano legati alla carenza di ammorsature tra parete e solaio

## 4 PRINCIPALI REALIZZAZIONI EDIL CAM SISTEMI SRL

### 4.1 AGGREGATO BORGHO E CASTELLO 'RIVERA'

<b>Località: L'Aquila</b>
<b>Tipo fabbricato: muratura</b>
<b>Anno: 2013</b>
<b>Importo lavori oltre 1'000'000 euro</b>

Il Castello Rivera (XVI secolo) è costituito da un corpo principale, di superficie lorda pari a circa 650 m<sup>2</sup>, che conta tre piani fuori terra e dal quale spicca una torre di cinque piani.

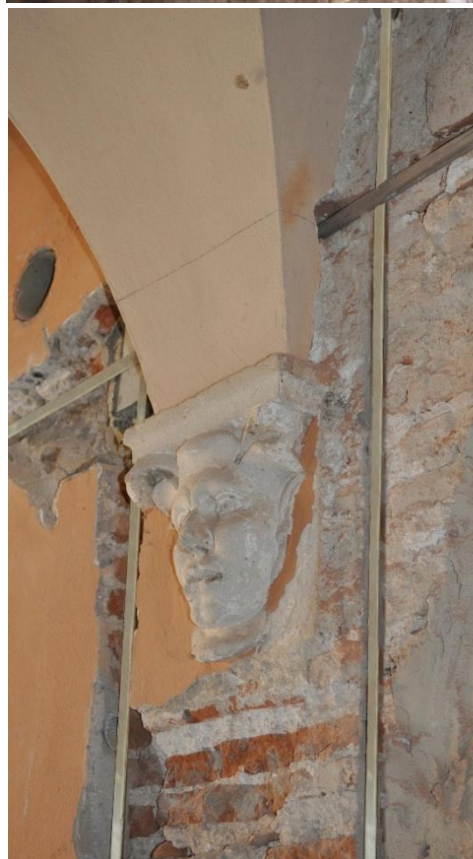
La presenza di finiture di fine pregio architettonico, di bassorilievi, di capitelli in pietra come si evince dalle immagini, seppur in una fase di cantiere, denuncia la complessità dell'opera e la capacità di conservarne intatta la bellezza pur nel rispetto dell'intervento di consolidamento.



L'intervento CAM<sup>®</sup> esteso su tutto il fabbricato, comprendente maglia diffusa, cordolo e arpionature dei travetti di solaio, persegue l'obiettivo di limitare i cinatismi 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 arpionature dei travetti di solaio. Il getto di una soletta in CLS ha consentito di completare la connessione realizzando in parte un effetto diaframma.

Pagina 25 di 39







## 4.2 PROVVEDITORATO OPERE PUBBLICHE

<b>Località: L'Aquila</b>
<b>Tipo fabbricato: Struttura mista in muratura e cemento armato</b>
<b>Anno: 2014</b>
<b>Importo lavori oltre 1'000'000 euro</b>

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.







### 4.3 AGGREGATO EX CONVENTO 'SANT'ANTONIO'

<b>Località: L'Aquila</b>
<b>Tipo fabbricato: Struttura mista in muratura e cemento armato</b>
<b>Anno: 2015</b>
<b>Importo lavori tra i 750'000 e 1'000'000 euro</b>

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<sup>®</sup> 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.





#### 4.4 EDIFICIO IN MURATURA

<b>Località Capistrano (AQ)</b>
<b>Tipo fabbricato: muratura</b>
<b>Anno: 2016</b>
<b>Importo lavori tra i 550'000 e i 750'000 euro</b>

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 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.







#### 4.5 PALAZZO FONDAZIONE 'FENDI'

<b>Località Roma</b>
<b>Tipo fabbricato: muratura</b>
<b>Anno: 2016</b>
<b>Importo lavori fino a 150'000 euro</b>

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.



#### 4.6 EDIFICIO SCOLASTICO

<b>Località Pesche (IS)</b>
<b>Tipo fabbricato: Struttura mista in muratura e cemento armato</b>
<b>Anno: 2018</b>
<b>Importo lavori tra i 750'000 e 1'000'000 euro</b>

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.









## 4.7 EDIFICIO SCOLASTICO

<b>Località Pietragalla (PZ)</b>
<b>Tipo fabbricato: muratura</b>
<b>Anno: 2019</b>
<b>Importo lavori tra i 550'000 e i 750'000 euro</b>

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.

