

L'adeguamento statico ed il miglioramento sismico delle strutture in muratura con la tecnologia sostenibile EDIL CAM Sistemi

La tecnologia CAM® è la soluzione antisismica efficace, sostenibile e sperimentata per raggiungere il miglioramento e l'adeguamento sismico delle strutture in muratura esistenti in cui l'impresa ne certifica la posa in rispondenza ai requisiti di progetto.

Come scegliere la tecnologia per il miglioramento sismico delle strutture esistenti in muratura

Salvare il passato per dare forma al futuro. Non dovrebbe essere solo uno slogan, ma la responsabilità di tutti. Perché conservare il nostro costruito è conservare la memoria, la bellezza, l'unicità.

I nostri borghi, antichi e bellissimi, sono 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 strutture rilevanti o per i palazzi storici, di tessiture buone e realizzate a regola d'arte.

È fondamentale trovare soluzioni per il consolidamento antisismico delle opere in muratura ed evitare il ripetersi degli errori passati.

Tutti hanno ben impresse nella memoria le tristi foto comparative dei borghi di Amatrice, Arquata e Norcia prima e dopo l'evento calamitoso che le ha colpite nel 2016.

L'arma in nostro possesso è la sistematica e preventiva messa in sicurezza delle strutture per la salvaguardia della vita umana, per assicurare resilienza alla comunità, conservare la memoria collettiva salvaguardando il patrimonio edilizio culturalmente rilevante e in ultimo per ridurre l'impatto ambientale derivante dagli interventi di demolizione e ricostruzione a valle dell'evento critico.

Ma quali caratteristiche deve possedere la tecnologia per essere adatta al consolidamento delle strutture in muratura?

Deve essere un sistema «semplice», la cui efficacia sia facilmente leggibile.

Deve essere un sistema sperimentato, certificato e la cui posa sia affidata a maestranze qualificate.

Deve altresì rispettare i vincoli architettonici e di conservazione del bene storico.

Risponde ai requisiti ed è una soluzione adottata con efficacia, la tecnologia ideata e applicata dalla EDIL CAM Sistemi, il **Sistema delle cuciture attive CAM®**.

Utilizzando nastri inox di limitato spessore ed elevata resistenza su pareti, archi e pilastri in muratura si raggiunge [il miglioramento e l'adeguamento sismico delle strutture in muratura anche storiche e vincolate.](#)



FIGURA 1: INTERVENTO EDIL CAM SISTEMI A MINIMA INVASIVITÀ

La tecnologia CAM[®] consente elevati incrementi prestazionali del fabbricato, cucendo insieme la struttura, ostacolando quindi tanto i meccanismi di primo modo (disgregazione della massa muraria e disconnessione tra paramenti e solai) tanto efficacemente nei confronti dei meccanismi di secondo modo, ovvero globali, realizzando una muratura “armata a posteriori” che consente elevati incrementi in resistenza e in duttilità per le azioni nel piano e fuori piano dei pannelli in muratura.

Le caratteristiche di reversibilità, flessibilità e minimo impatto lo rendono il Sistema scelto dalle Soprintendenze per gli interventi anche su beni archeologici e monumentali.

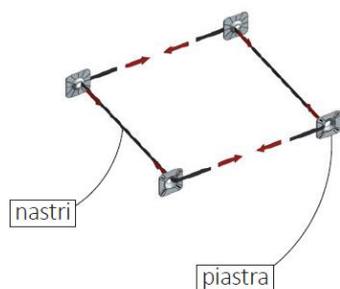
La vasta [sperimentazione](#) svolta su di esso da numerosi enti ed università (Protezione Civile, Enea, Università della Basilicata, Università di Messina, ecc.) lo rende un Sistema la cui valenza sia stata ampiamente valutata e verificata. Unitamente alla certificazione emessa dalla [Edil CAM Sistemi](#) a valle della posa lo rendono una tecnologia certa per gli interventi strutturali su edifici in muratura.

Il Sistema CAM[®]: materiali e principi base

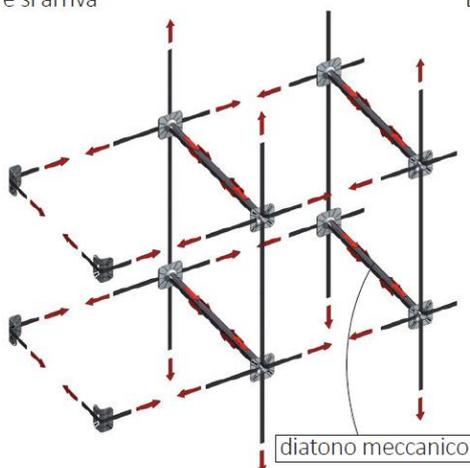
L'acronimo e marchio CAM[®] identifica il sistema di consolidamento strutturale basato sulla realizzazione di **tirantature metalliche utilizzando nastri inox di spessore ridotto** (dim. 19x0,90mm) **ma elevate prestazioni meccaniche** ($f_{tk} > 650 \text{MPa}$) che vengono posti, in configurazione di anelli, a cerchiare porzioni limitate di struttura.

Ciascun nastro è posto in tensione attraverso una macchina pneumatica di caratteristiche certificate in grado di imprimere al nastro un tiro calibrato all'atto del crimpaggio. La "**presollecitazione**" è l'elemento distintivo delle tecnologie EDIL CAM Sistemi, che consentono interventi di consolidamento "attivi", innalzando la capacità del componente strutturale già per i carichi gravanti nella fase d'esercizio della struttura.

dalla MAGLIA BASE
per ripetizione in orizzontale
e in verticale degli anelli



si costruisce il RETICOLO
e si arriva



all'AZIONE RISULTANTE
DI CONFINAMENTO

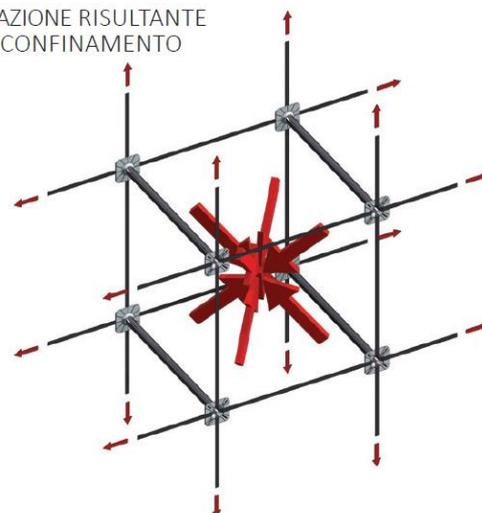


FIGURA 2: SCHEMA STATICO ELEMENTARE DI RIFERIMENTO.

Applicato alle strutture murarie, il sistema delle cuciture attive a marchio CAM[®] si compone di anelli che attraversano lo spessore murario e ripetuti in orizzontale e verticale realizzano un reticolo tridimensionale la cui azione risultante è quella di confinare il nucleo di muratura racchiuso al proprio interno.

In corrispondenza dei punti di attraversamento della parete muraria si posizionano elementi ripartitori (piastre imbutite o angolari) opportunamente allettati con malta, così che il nastro non sia mai a diretto contatto della muratura. L'insieme di tiranti orizzontali, verticali e trasversali sono tra loro in sequenza e connessi, solitamente a formare un doppio ordito (maglia).

Il **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 e diffuso sui paramenti murari, **cuce insieme il fabbricato, ostacolando i cinematismi locali di collasso. Contestualmente i nastri sono armatura aggiuntiva** offrendo alla muratura capacità portante a trazione, senza incremento di massa. I materiali impiegati sono in acciaio inox per tutte le componentistiche a garanzia di durabilità del rinforzo e compatibilità con qualsiasi finitura superficiale.



FIGURA 3: I MATERIALI DEL SISTEMA CAM®

Meccanismi locali e globali di collasso delle strutture in muratura: soluzioni

Il sistema delle cuciture attive a marchio CAM® realizza un reticolo tridimensionale in coazione che permette la compattazione della massa muraria, il collegamento tra i paramenti esterni e la creazione di una armatura diffusa sulla parete.

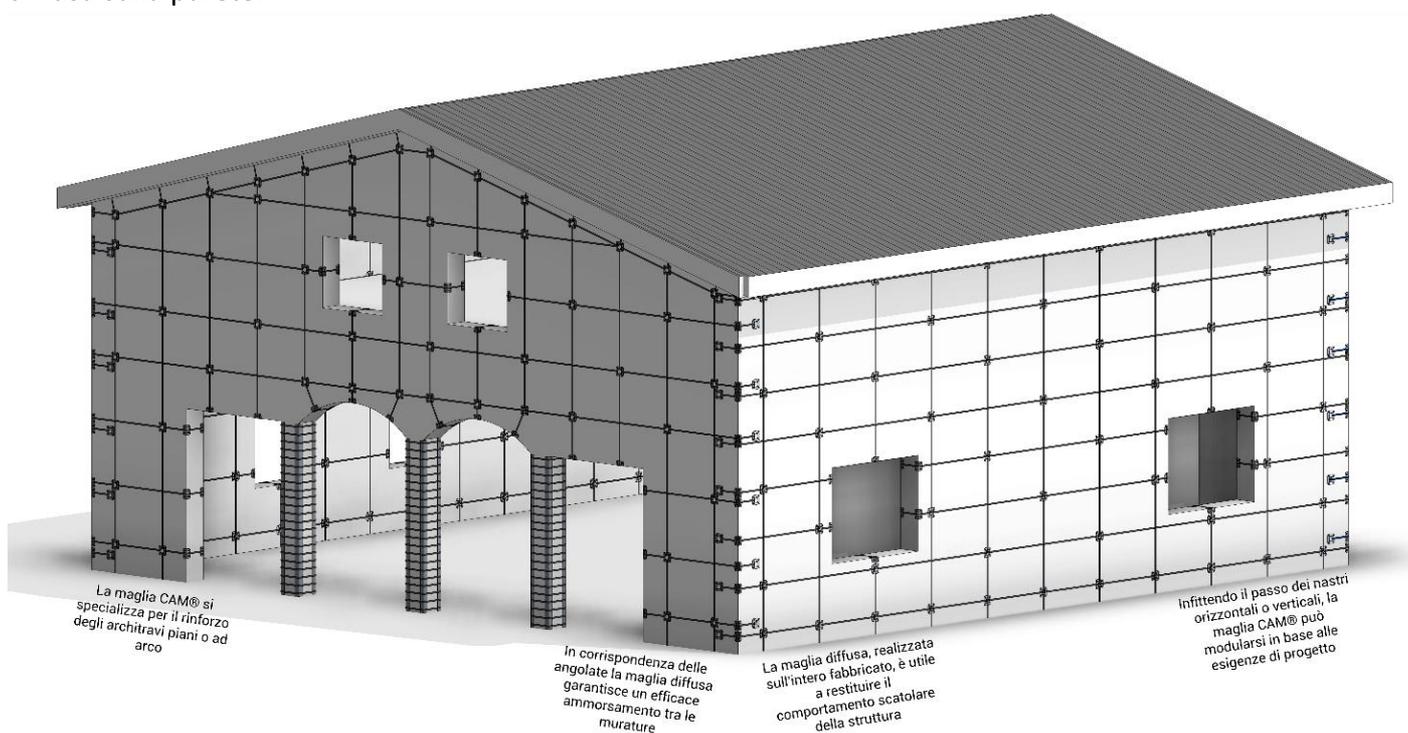


FIGURA 4: SOLUZIONI CAM® PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

Il primo e più pericoloso meccanismo fragile di collasso che si instaurerebbe per disgregazione della massa muraria è così ostacolato attraverso la realizzazione di un diatono di collegamento che assorbe l'azione del nucleo interno spingente. Altra primaria causa dei collassi degli edifici murari è rappresentata dalla carenza di ammortature efficaci tra macroelementi, quindi tra le murature ortogonali e tra murature e solai. Il Sistema CAM[®] consente la creazione di incatenamenti diffusi; in corrispondenza delle angolate e degli incroci murari realizza vincoli che permettono l'eliminazione dei meccanismi di collasso di primo modo.

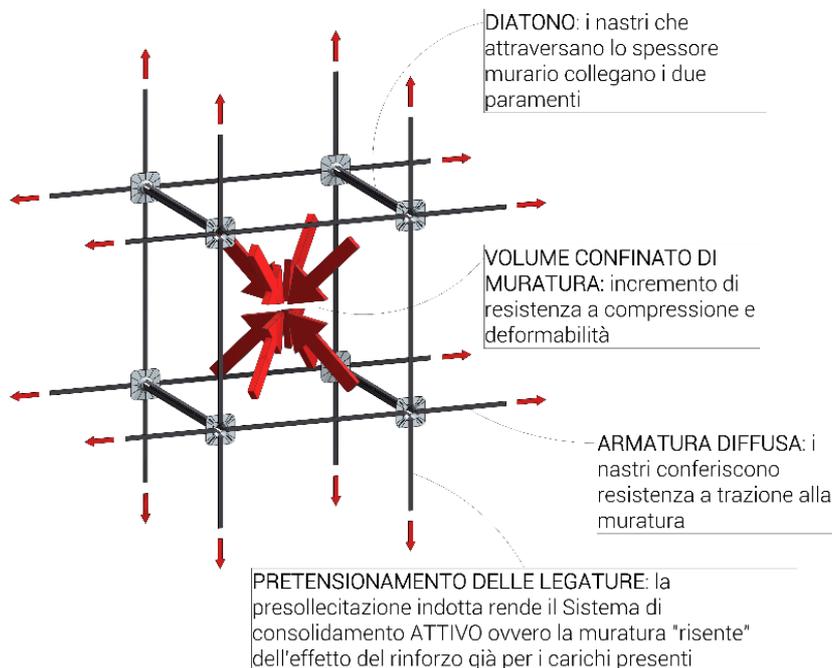


FIGURA 5: EVIDENZA DELL'AZIONE LOCALE DEI NASTRI CAM[®]

I ricorsi orizzontali realizzano microcatene diffuse e in corrispondenza degli incroci murari la posa della maglia CAM[®] consente di realizzare vincoli tra pareti ortogonali ostacolando la formazione di cinematicismi di collasso legati all'assenza di vincolo tra pareti, come ribaltamenti di facciate, di porzioni di parete o di porzioni di fabbricato.



FIGURA 6: LA MAGLIA CAM[®] IN CORRISPONDENZA DEGLI INCROCI MURARI REALIZZA IL VINCOLO NEI CINEMATISMI DI RIBALTAMENTO

In corrispondenza dei solai è necessaria la connessione degli stessi alle murature. L'arpionatura tramite l'impiego di nastri CAM[®] consente di impedire lo sfilamento del travetto dalla sede d'appoggio (ammorsamento dei travetti alle pareti perimetrali). Inoltre, in corrispondenza della muratura maggiormente soggetta allo scarico del solaio è possibile infittire la maglia con legature diagonali, creando una trave cordolo in muratura armata a posteriori.

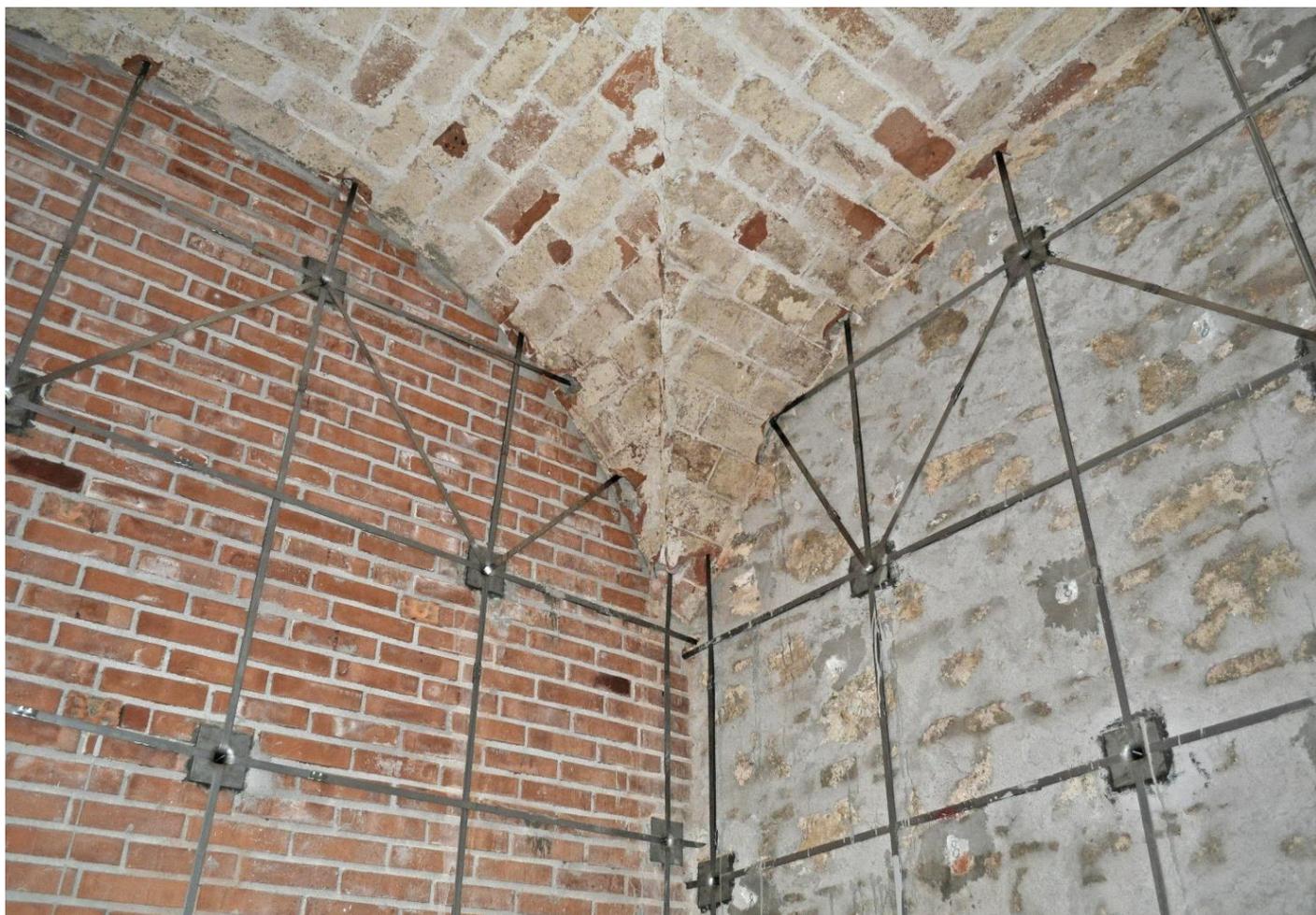


FIGURA 7: PARTICOLARE DI UN CORDOLO CAM[®] IN CORRISPONDENZA DI SUPERFICI VOLTATE

I nastri non sono solo presidio ai cinematismi locali, ma sono a tutti gli effetti **armatura integrativa per il pannello murario**, innalzandone la capacità, **senza incremento di massa e rigidità**, sia nei confronti dei carichi verticali, delle azioni taglianti e flessionali.

La maglia permette l'aumento della resistenza nel piano e fuori piano per il singolo pannello; le legature disposte in orizzontale sono armatura a taglio, quelle disposte in verticale sono armatura a flessione e il reticolo tridimensionale aumenta la capacità portante a carico assiale per effetto del confinamento indotto.

L'armatura realizzata con i nastri CAM[®] è inoltre "attiva" ed essendo un reticolo continuo, realizza un diaframma meccanico auto serrante. Ciò consente **incrementi in resistenza e in duttilità elevati** e conseguentemente importanti riserve a tutta la struttura oggetto di intervento, non solo **per carichi successivi**, ma anche per quelli **già gravanti sulla struttura**.

Sugli edifici in muratura che nascono come sistemi spesso non continui e non connessi, complessivamente l'**intervento di cucitura CAM[®] diffuso** consente di ottenere un comportamento strutturale più omogeneo consentendo in maniera implicita non solo di innalzare la capacità locale del singolo pannello, ma anche la capacità globale del fabbricato.

Nel complesso un intervento di cucitura diffuso su tutta la struttura consente un miglioramento della risposta sismica locale restituendo un **comportamento scatolare d'insieme**, coinvolgendo simultaneamente quanti più elementi possibili nell'esplicare il proprio contributo resistente, attivando globalmente un meccanismo duttile di collasso.

I principi del "capacity design" applicati al miglioramento e all'adeguamento sismico delle strutture in muratura

Quando ci si appropria al consolidamento degli edifici esistenti è di fondamentale importanza la conoscenza della struttura, delle sue carenze, dei vizi propri relativi alla tipologia costruttiva e all'epoca di costruzione.

Altrettanto utile è conoscere il "comportamento ottimale" che la struttura dovrebbe avere, ovvero **"duttile a livello globale"** in cui il maggior numero di elementi lavorano in parallelo permettendo la massima dissipazione di energia sismica. Tali concetti propri della progettazione in gerarchia, possono riproporsi anche negli interventi di consolidamento, miglioramento o adeguamento sismico di un fabbricato esistente.

Limitare le rotture fragili a favore di meccanismi duttili, nelle strutture in muratura equivale a sanare le carenze di vincolo, siano esse localizzate a livello di tessitura muraria o siano tra macroelementi strutturali, pannelli e solai.

Per le strutture in muratura l'approccio combinato del capacity design al consolidamento può rappresentarsi attraverso la curva tracciata di seguito.

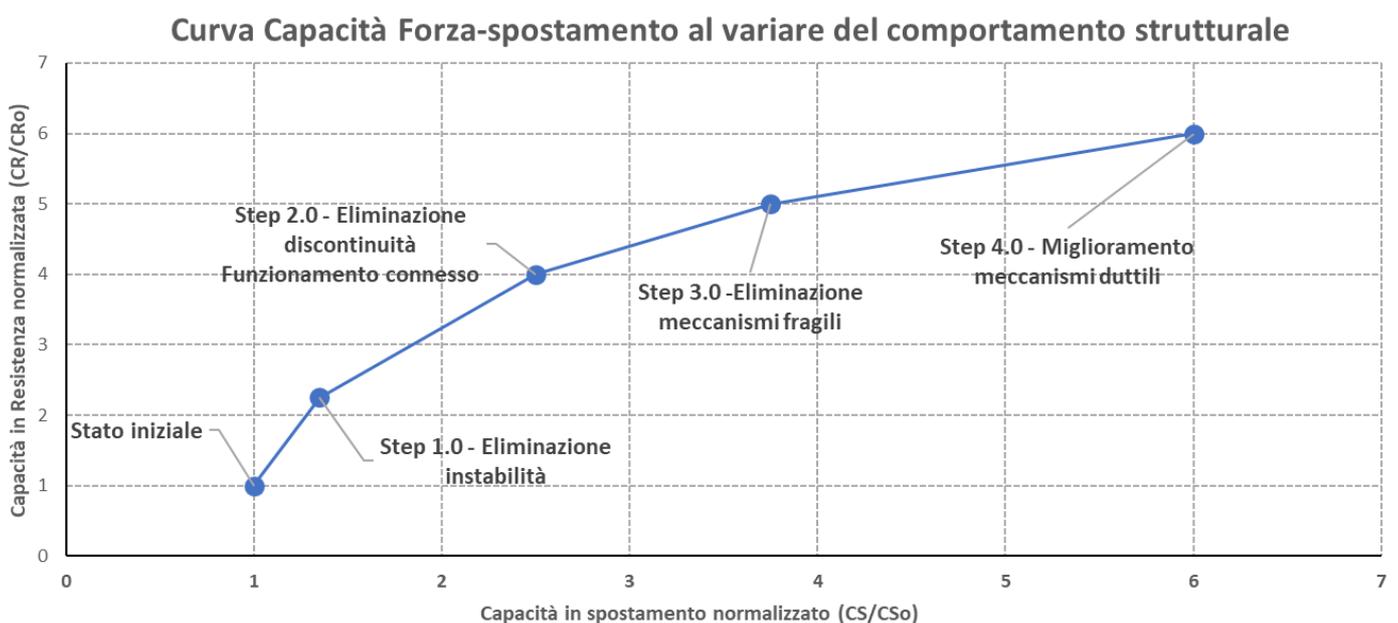


FIGURA 8: CURVA DI CAPACITÀ PER RAGGIUNGERE IL RINFORZO IN GERARCHIA NELLE STRUTTURE MURARIE ESISTENTI

Il raggiungimento del comportamento “duttile a livello globale” si può ottenere nelle strutture in muratura come sommatoria di interventi locali volti all’eliminazione dell’instabilità interna (compattazione della massa muraria) ed esterna (ripristino delle connessioni tra pannelli e a livello di solaio).

Quando il funzionamento connesso consente la distribuzione delle sollecitazioni sismiche sugli elementi che possono resistere nel proprio piano forte, può procedersi all’ultimo step di progettazione in gerarchia, aumentando la resistenza a taglio e quindi favorendo l’instaurarsi di meccanismi flessionali (meccanismi di collasso a più elevato spostamento).

Tramite la tecnologia delle cuciture attive CAM® si interviene efficacemente nell’incremento capacitivo delle strutture in muratura. Attraverso la posa di una maglia quanto più diffusa su tutto il fabbricato, infatti, si perseguono i primari step di intervento volti all’eliminazione dei meccanismi locali di collasso.

Modellazione e calcolo del Sistema CAM® applicato alle strutture in muratura

La modellazione del Sistema CAM® può eseguirsi in maniera semplificata considerando i ricorsi orizzontali come tiranti diffusi (catene) che, al variare dello schema cinematico analizzato, incrementano il moltiplicatore di collasso.

In ambito globale laddove nel software di calcolo non sia implementato un modulo di verifica per la tecnologia CAM®, la muratura rinforzata con nastri potrà assimilarsi ad una muratura armata in cui corsi verticali e orizzontali sono armatura aggiunta a posteriori, posta in posizione discreta e a risultante baricentrica rispetto all’asse pannello.

L’effetto della presollecitazione dei nastri, elemento di unicità della tecnologia, è **fondamentale laddove si riscontrino carenze di tipo statico** o si vogliono svolgere valutazioni in combinazioni di esercizio della struttura.

Il confinamento indotto dal reticolo tridimensionale può tenersi in conto incrementando il dominio, in termini di resistenza e deformabilità, del materiale muratura attribuito al pannello.

Laddove si eseguano valutazioni sul comportamento del fabbricato in ambito non lineare, il drift ultimo sarà incrementato per effetto dell’integrazione di armatura realizzata con i nastri CAM® (1,6% nel meccanismo a pressoflessione e 1% nel meccanismo a taglio).

Le numerose **sperimentazioni svolte sulla tecnologia** attraverso prove di laboratorio o su strutture al vero hanno dimostrato che il Sistema CAM® non solo fornisce **incrementi considerevoli in termini di resistenza**, ma anche in termini di **capacità deformativa**.

Proprio tale parametro, descritto dal “drift ultimo”, è risultato di molto maggiore rispetto ai limiti riportati in questo testo e rappresenta una riserva in duttilità fondamentale per la sicurezza della struttura. Esso definisce infatti la capacità di redistribuzione delle azioni su elementi contigui ed è fortemente connesso alle due caratteristiche peculiari del Sistema: la tridimensionalità del reticolo CAM® e la messa in tensione dei nastri che costituiscono l’armatura integrativa.

Indipendentemente dalle verifiche numeriche condotte, si consiglia sempre di distribuire in maniera uniforme il reticolo delle Cuciture Attive su tutto il fabbricato e di incrementare il passo o il numero di

avvolgimenti sovrapposti nel caso di carenze locali del singolo allineamento o maschio murario, permettendo così un funzionamento scatolare ed in parallelo di tutti gli elementi strutturali.



FIGURA 9: APPLICAZIONE DELLA MAGLIA DIFFUSA SU UNA FACCIATA DI UN FABBRICATO AD USO SCOLASTICO

La tecnologia proposta è una delle soluzioni meno invasive e più conservative per il **recupero di strutture storiche e vincolate**. È ampiamente accettata e **raccomandata dalle Soprintendenze**, in quanto consente di preservare l'integrità delle strutture senza comprometterne l'autenticità storica. Qualità vincente del Sistema CAM[®] è senz'altro la caratteristica di **reversibilità**. È infatti sufficiente il taglio del nastro per ripristinare la condizione iniziale della muratura.

La posa ha infatti caratteristiche pressoché simili ad un cantiere a secco. Realizzati i fori di attraversamento si posano le piastre allettate con malta (indurimento in circa un giorno) e successivamente il nastro risulta in forza solo sugli elementi ripartitori. Questo assicura applicazioni veloci e compatibili con qualsiasi temperatura di messa in opera.

L'uso dell'acciaio inossidabile è garanzia della **durabilità** del prodotto e della compatibilità con qualsiasi tipologia di intonaco di finitura. Possono infatti impiegarsi intonaci a base di calce e, dati i ridotti spessori della componentistica, è possibile procedere anche alla posa in "traccia".

Laddove ci fosse un intonaco di buone caratteristiche da preservare e il reticolo CAM® previsto in progetto abbia interesse “conveniente”, è possibile rimuovere la finitura nelle sole posizioni di posa del nastro e delle piastre. Particolare cura andrà nell’esecuzione del riempimento delle tracce e il successivo ripristino con intonaco quanto più simile all’esistente per evitare che possa evidenziarsi fessurazione all’interfaccia tra i due materiali.

Può inoltre essere eseguita una sbruffatura superficiale del nastro per migliorare l’aggrappaggio del successivo intonaco.

La leggerezza del Sistema, pur intervenendo efficacemente nel consolidamento delle murature, consente minime demolizioni e assoluto rispetto delle peculiarità architettoniche e impiantistiche.



FIGURA 10: IL SISTEMA CAM® EFFICACEMENTE ADOTTATO PUR IN PRESENZA DI VINCOLI ARCHITETTONICI O IMPIANTISTICI

Infine, distinguendo per alcuni casi limite in cui non se ne ha convenienza né strutturale né economica, rinforzare gli edifici esistenti può essere una scelta più sostenibile dal punto di vista ambientale rispetto alla demolizione e ricostruzione.

Le demolizioni comportano l'uso di risorse come metallo, cemento, mattoni, vetro e plastica per la costruzione di nuovi edifici. Questi materiali richiedono energia e producono ingenti emissioni di anidride carbonica (CO₂) durante la loro fabbricazione. Anche se la ricostruzione può portare a edifici più sostenibili, l'impatto ambientale delle demolizioni è significativo a causa della produzione di nuovi materiali. Un rapporto del Preservation Green Lab della National Trust for Historic Preservation ha dimostrato che la riqualificazione degli edifici esistenti ha un impatto ambientale mediamente del 46% inferiore rispetto alla demolizione e utilizzando materiali a basso impatto ambientale per la riqualificazione, possiamo ridurre ulteriormente l'impatto.

I materiali connessi alla tecnologia **CAM[®]** **sono tutti materiali che rispettano i requisiti dei Criteri Ambientali Minimi**, fondamentali nei lavori pubblici, ma di non secondario rilievo in generale nel settore delle costruzioni.

Le prestazioni del materiale impiegato inoltre rispettano tutte le caratteristiche richieste dalle norme armonizzate europee. La Dichiarazione di Prestazione (DoP) è fondamentale per operare nel rispetto delle normative e garantire prodotti sicuri e di qualità nel settore edile e accompagna obbligatoriamente la marcatura CE.

In ultima istanza, ma di non secondaria importanza, il percorso di qualità è raggiunto attraverso la posa che viene certificata dalla **EDIL CAM Sistemi srl**, in quanto "Fabbricante" del Sistema CAM[®] e l'unica autorizzata dal Servizio Tecnico Centrale, che ne garantisce il risultato in rispondenza alle esigenze di progetto.