

Una tecnologia per il consolidamento strutturale

Il Sistema CAM[®] (Cuciture Attive dei Manufatti)

PECULIARITÀ E FLESSIBILITÀ D'IMPIEGO NEGLI INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO DEI FABBRICATI ESISTENTI

Ing. Mario Iovine

Il Sistema CAM[®], oggi inquadrato tra le tecniche innovative di retrofitting strutturale, vanta un nobile pedigree scientifico ultradecennale che inizia il suo percorso presso l'Università della Basilicata, dove venne ideato, testato e validato un nuovo modo di consolidare i fabbricati esistenti. La tecnica venne pensata ispirandosi ai concetti di semplicità concettuale ed esecutiva dove l'approccio iniziale fu rivolto alle problematiche relative alle **strutture in muratura** per poi passare, sulla scorta di presupposti teorici differenti da quelli utilizzati per la tessitura muraria, alle **strutture in calcestruzzo armato**. Da allora il Sistema CAM[®] è stato scelto come tecnica di rinforzo strutturale da molti professionisti, ingegneri ed architetti, e ad oggi possono essere contate qualche centinaia di applicazioni disseminate su tutto il territorio nazionale.

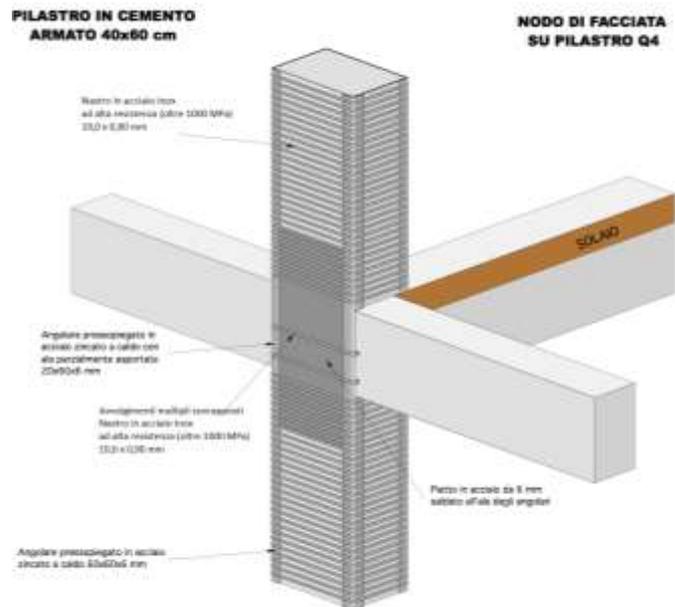
L'elemento principe del Sistema CAM[®] è il nastro metallico ad alte prestazioni che, chiuso su se stesso attraverso degli elementi di giunzione, realizza delle cerchiature in tensione che opportunamente disposte sulle strutture inducono un **confinamento tridimensionale attivo** che tende a riportare lo stato tensionale del materiale ad una configurazione di tipo idrostatico. Sulle strutture in muratura tali cerchiature sono sempre connesse tra di loro attraverso degli elementi specifici del Sistema CAM[®] (le piastre imbutite), pertanto oltre all'azione di confinamento realizzano dei collegamenti tra gli elementi strutturali del fabbricato particolarmente efficaci grazie alle alte prestazioni meccaniche del nastro ed all'effetto diffuso delle maglie CAM[®].



Quando la maglia CAM[®] è diffusa su tutto l'apparecchio murario si può pertanto beneficiare di un effetto "scatola" realizzato da una quantità importante di **moderne microcatene** (le cerchiature CAM[®] collegate tra di loro) che attraversano il fabbricato in **orizzontale, verticale** (e all'occorrenza con qualunque inclinazione) collegando le fondazioni con la copertura, attraversando con disinvoltura e senza invasività le strutture orizzontali come solai, balconi, scale. Presi i singoli pannelli murari, le stesse microcatene rappresentano anche armatura capace di conferire agli stessi **maggiori capacità resistente nel piano** (incremento di resistenza a taglio e pressoflessione), ma anche una buona capacità di **trattenimento rispetto alle azioni fuori dal piano**.

L'estensione della tecnologia alle strutture in calcestruzzo armato è stata una naturale conseguenza poiché le stesse cerchiature in nastro metallico presollecitato applicate agli **elementi dei telai quali travi, pilastri ed in particolare i nodi**, altro non sono che **staffe chiuse** post

installate, pertanto a tutti gli effetti rappresentano armatura aggiuntiva. L'effetto del confinamento attivo viene realizzato su travi e pilastri con l'ausilio di elementi ripartitori quali piatti ed angolari (ricavati per pressopiegatura da lamiere mandorlate), mentre sui nodi vengono disposte piastre imbutite (simili a quelle della muratura) in corrispondenza dei punti di piega della staffa chiusa post installata (il nastro CAM® presolleccitato). Gli elementi ripartitori continui di travi e pilastri adiacenti **possono essere collegati tra di loro** conferendo alle sezioni di incastro degli stessi una capacità resistente sicuramente importante e soprattutto in zone **dove le sovrapposizioni tra le armature longitudinali preesistenti sovente è realizzata in modo approssimativo** e più spesso non in accordo con i principi del buon



costruire (allo scopo, oltre alle classiche barre in acciaio saldate agli angolari, è stato brevettato un apposito dispositivo dissipativo “DIS-CAM®” che permette oltretutto di tenere in debita considerazione la gerarchia delle resistenze trave-pilastro). L'effetto delle staffature CAM® ed il relativo confinamento che ne discende è in grado poi di conferire maggiore plasticità alle sezioni di incastro e quindi rotazioni ultime sicuramente incrementate dopo il rinforzo.

La tecnologia CAM® rappresenta un valido strumento che permette di incrementare la resilienza delle strutture, sia in termini prettamente tecnici che nel senso più esteso del termine, poiché il rinforzo strutturale avviene in tempi rapidi, permettendo un risparmio in termini economici essendo una tecnologia molto flessibile, che permette demolizioni limitate, rispetto degli impianti esistenti, salvaguardia dei serramenti sia interni che esterni.

Tale tecnologia risulta estremamente efficace come strumento *preventivo* di rinforzo strutturale in particolare nei casi di salvaguardia della **continuità dei servizi** di pubblica utilità erogati nelle strutture strategiche quali ospedali, scuole, palazzi governativi, VVFF, ma anche utile a ripristinare rapidamente l'utilizzo di strutture danneggiate a valle di eventi naturali disastrosi quali ad esempio fenomeni sismici, alluvioni e smottamenti.

La tecnologia CAM® rientra tra le tipologie di rafforzamento tipiche del “cantiere a secco” e pertanto è garantita una serie di benefici propri della categoria.

Tutti gli elementi del Sistema sono prodotti all'esterno del cantiere nel rispetto della filosofia che prevede il raggruppamento degli stessi in limitate tipologie e quindi puntando all'estrema **standardizzazione** degli stessi.

Il Nastro CAM® ad alte prestazioni assicura grande resistenza e dimensioni molto contenute (una sezione di appena 19,0x0,90 mm è in grado di portare un carico di oltre 17'000 N) garantendo alta flessibilità nel senso più ampio del termine. Il nastro viene stoccato in bobine dal peso di qualche decina di Kg, pertanto facilmente trasportabili, e con una disponibilità per singola bobina di centinaia di metri lineari. Con il nastro CAM® gli operatori specializzati vanno a “cucire” le strutture degli edifici (un po' come farebbe un sarto per effettuare delle riparazioni su un vestito), del resto l'acronimo CAM® sta per Cuciture Attive dei Manufatti. La continua selezione nell'ambito degli acciai inox ad alte prestazioni meccaniche e la relativa **sperimentazione**, hanno permesso oggi di beneficiare di un nastro che assicura un rapporto prestazione/quantità di materiale posato estremamente vantaggioso.

Questi semplici, quanto fondamentali, “tratti somatici” definiscono una serie di caratteristiche che costituiscono i punti di forza della tecnologia CAM®, rendendo la stessa così efficace al punto da rappresentare un sistema di rinforzo ben definito nel panorama delle tecniche di consolidamento strutturale. L’immagine degli operatori CAM®, che attraverso il nastro inox di piccola sezione realizzano cuciture sulle strutture, è quella che permette di capire come sia possibile fare in modo, ad esempio, che possa essere garantita la continuità dei servizi ospitati dalle strutture oggetto di rinforzo. La tecnologia “a secco”, unita all’impiego di punte perforatrici aspiranti, assicura un intervento pulito, in assenza di polveri. Singoli interventi localizzati costituiscono dei veri e propri micro-cantieri, pertanto attraverso un’opportuna attività di pianificazione è possibile intervenire nel rafforzamento strutturale anche senza interrompere l’erogazione dei servizi.

In ogni caso gli interventi di rafforzamento sono estremamente rapidi, grazie all’impiego di componenti standardizzati, alla flessibilità della tecnologia e ad un’attività di formazione delle maestranze che sono dedicate esclusivamente alla problematica del rinforzo strutturale esclusivamente secondo la tecnologia CAM®. Molte delle operazioni propedeutiche alla posa del Sistema sono oggi automatizzate, con indubbio guadagno di tempo, e possono all’occorrenza essere eseguite anche all’esterno del cantiere, esattamente come avviene per la prefabbricazione. La suddivisione delle lavorazioni in sotto-fasi e l’individuazione di una serie di attività che può essere differita temporalmente e nello spazio, rende possibile una presenza in cantiere ai minimi termini e assicura una durata globale estremamente contenuta.

Nella panoramica delle tecniche che permettono di raggiungere un determinato target progettuale, ad es. l’adeguamento sismico o una certa percentuale dello stesso, troviamo sicuramente un’ampia scelta, passando dal mondo dei materiali compositi delle grandi multinazionali della chimica per arrivare ai più tradizionali ringrossi in c.a., piuttosto che i placcaggi o i rinforzi in carpenteria metallica (tralasciando volutamente l’isolamento sismico con il quale, peraltro, Sistema CAM® è stato spesso abbinato per risolvere problematiche al contorno). Tuttavia se si volesse procedere ad una valutazione comparativa delle varie soluzioni esistenti, può essere utile ricondurre l’analisi attraverso i concetti di impatto ambientale e di sostenibilità delle soluzioni adottate. Valutare la sostenibilità della soluzione tecnologica scelta significa anche andare a considerare implicazioni indirettamente legate alla stessa come precedentemente accennato con riferimento ai tempi di posa del rinforzo ed alla limitatissima interferenza con le attività ospitate dalle strutture. Altri aspetti forse meno evidenti e quindi spesso sottostimati riguardano alcune attività propedeutiche all’installazione del rinforzo strutturale quali rimozioni, demolizioni, ed il ripristino di impianti, infissi, serramenti ed elementi di finitura architettonica, oltre che al concetto di **reversibilità**.

Un concetto quest’ultimo caro alle **Sovrintendenze per i Beni Culturali**, ma anche di buon senso, che trova sicuro riscontro nella tecnologia CAM®. In questo ambito, peraltro, sulla scorta della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9 febbraio 2011 - *“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 maggio 2008”*, che si prefigge di massimizzare la conciliabilità tra la conservazione del manufatto originario e l’esigenza di rafforzarlo al fine di una sua



sopravvivenza alle azioni sismiche, la soluzione mediante “maglia tridimensionale”, nella quale ovviamente ricade il CAM[®], **viene di fatto considerata l’unica veramente applicabile**, salvo che nello specifico caso in cui non sia presente l’intonaco.

La reversibilità è sempre auspicabile poiché con il normale evolvere della tecnica in futuro saranno probabilmente disponibili soluzioni per il rinforzo strutturale maggiormente rispondenti al problema specifico, per cui potrebbe essere necessario andare a rimuovere i presidi di rinforzo precedentemente applicati. Ma esistono anche casi meno futuristici legati all’esigenza di incontrare la necessità di possibili adattamenti (vd. ad es. un cambio di destinazione d’uso di una struttura), per cui potrebbe essere necessario andare a smontare ciò che si era applicato. I nastri CAM[®] possono essere facilmente rimossi, inoltre com’è noto essendo tutti i componenti CAM[®] in acciaio inox (ed in alcune parti in acciaio al carbonio solo nel c.a.), risultano riciclabili al 100%.

Sin dagli esordi, la EDIL CAM[®] Sistemi ha ritenuto vitale incoraggiare l’iniziativa sperimentale volta al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- sviluppare soluzioni che prevedano l’impiego della tecnologia CAM[®] per il rinforzo strutturale di diversa tipologia di edifici, come ad esempio il caso **dell’edilizia industriale prefabbricata**;
- aggiornare la tecnologia CAM[®] attraverso la ricerca di **materiali maggiormente performanti**;
- **validare il Sistema** nelle varie soluzioni tecniche proposte, affinché possa essere riconosciuta la giusta considerazione della tecnologia CAM[®] da parte della comunità scientifica, del mondo dei professionisti quali ingegneri ed architetti, degli imprenditori e da parte degli utenti finali fruitori delle strutture oggetto di intervento.

Gli obiettivi ispiratori della RSI in ECS hanno dato luogo ad una serie di attività, alcune già concluse ed altre attualmente in corso, di cui viene riportata di seguito una sintetica descrizione.

Numerosi progetti di ricerca⁽¹⁾ che hanno visto coinvolti attori principali di grande prestigio istituzionale e accademico quali, Dipartimento della Protezione Civile, ENEA, Università della Basilicata, Università di Catania e Università di Palermo hanno testato e validato il Sistema CAM[®].

Con riferimento alle **strutture prefabbricate**, sempre più spesso importanti clienti operanti in ambito produttivo industriale scelgono il Sistema CAM[®] per adeguare ed in particolare realizzare i **collegamenti dei capannoni industriali** proprio perché, oltre ad avere la possibilità di **continuare la produzione** durante il periodo di cantiere, riscontrano una **limitata interferenza degli impianti** con i presidi di rinforzo strutturale. Quindi ci sono pochi impianti (spesso nessuno) da dover smontare e rimontare, e così dicasi per i **serramenti, gli infissi** e per le demolizioni in generale. Questo spiega perché le attività produttive non debbono necessariamente essere interrotte nella fase di applicazione del rinforzo, e possono altresì essere tenuti sotto controllo i costi globali dell’intervento. Sicuro beneficio sarà riscontrato anche nella valutazione di impatto ambientale globale, in quanto molti accessori che andrebbero rimossi, smaltiti, riacquistati e posati rimangono invece in opera dove sono sempre stati.

Questi aspetti sono molto apprezzati anche nel caso del **rafforzamento strutturale degli edifici scolastici**, dove il budget è sovente estremamente limitato e molti progettisti hanno trovato nel Sistema CAM[®] **un valido strumento per abbattere i costi delle demolizioni e dei relativi ripristini**. Esempio è il caso della scuola Silvio Pellico di Torino dove grazie alla flessibilità del Sistema CAM[®] è stata evitata la rimozione ed il ripristino di una facciata a serramento continuo di migliaia di metri quadrati. Del resto è noto che spesso, ma potremmo dire sempre, valutazione ambientale e budget vanno nella stessa direzione.

Altro aspetto importante della tecnica CAM[®] riguarda la garanzia della prestazione del rinforzo e la possibilità di riscontrare con verifiche, anche esclusivamente visive, la corretta posa in opera da parte delle figure preposte al controllo quale sono il Direttore dei Lavori ed il Collaudatore. La tecnologia CAM[®] risulta particolarmente efficace perché basata sulla **trasmissione degli sforzi che è garantita per via meccanica**, non essendo previsti incollaggi (dove, tra gli altri aspetti, bisogna tenere sotto controllo anche l’umidità del supporto in fase di applicazione, pena la compromissione dell’efficacia dell’intervento).

Il Sistema CAM® rappresenta uno strumento nelle mani dei professionisti chiamati a districare problematiche strutturali complesse nell'ambito di budget di spesa sempre limitanti. Conoscere questa tecnologia e quindi saperla dimensionare nell'ottica di un'efficace ottimizzazione (facilmente raggiungibile grazie anche al confronto con l'ufficio tecnico della EDIL CAM® Sistemi) può costituire l'elemento discriminante che consente di risolvere la problematica strutturale con eleganza ed economicità globale della soluzione.

⁽¹⁾ Il Sistema CAM® è stato oggetto di numerose campagne sperimentali e di validazione:

– Progetto SICURO

(Sperimentazione In situ Comparativa su Unità tridimensionali a Rottura e con controllo del danno per terremoti violenti)

Attori: SSN (Servizio Sismico Nazionale); ENEA; DiSGG-Uni_BA (Università della Basilicata); TIS S.p.a.

– Progetto TREMA

(Tecnologie per la riduzione degli effetti sismici sui manufatti architettonici in muratura ed c.a.)

Attori: DPC (Dipartimento della Protezione Civile); SSN(Servizio Sismico Nazionale); ENEA; DiSGG-Uni_BA (Università della Basilicata); TIS S.p.a.

– Progetto Sviluppo del Sistema DIS-CAM®

(validazione del Sistema nell'adeguamento sismico di una cupola afferente ad un bene storico a forte valenza culturale)

Attori: Edilcam Srl; Uni_CT; ENEA;

– Progetto In.Glo.Ba.Re

(Innovazione GLObale di Bse per la Redditività di prodotto)

Attori: EDIL CAM® Sistemi

– Progetto In.CAM.M.I.N.O.

(Innovazione del CAM® con Materiali Inossidabili Nuovi e Ottimizzati)

Attori: CHIMETEC sas; Azienda sanitaria di Ragusa; Gruppo Sismica s.r.l.; Università di Catania

– Progetto dell'Unità Operativa n. 7 di Palermo del Prof. Zingone

(Analisi del comportamento non lineare dei sistemi cupola-tamburo rivolta alla mitigazione del rischio sismico: indagine sperimentale su tavola vibrante per lo studio di interventi migliorativi da eseguire sulla chiesa S. Nicolò l'Arena)

Attori: ENEA; Università di Palermo