

Il miglioramento e l'adeguamento sismico delle strutture esistenti in C.A. impiegando i principi del "capacity design"

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

Criticità strutturali degli edifici esistenti in CA e strategie risolutive

La maggior parte del nostro costruito presenta carenze che sono simili, spesso legate all'assenza di regole di progettazione e a normative antisismiche. Si distinguono elementi prevalentemente calcolati per azioni statiche: pilastri carenti di armatura longitudinale e con travi che presentano forti carenze nel caso di inversione del momento flettente o carenze connesse alla presenza di ferri piegati in luogo delle staffe verticali che non offrono contributo nell'inversione della sollecitazione tagliante dovuta alle azioni sismiche. Altro aspetto comune è l'assenza di armatura trasversale che nel pilastro prosegue in corrispondenza del nucleo di intersezione con la trave.

Tralasciando i casi in cui la scelta di intervento ricada sui sistemi di isolamento o di dissipazione, da un primo approccio al consolidamento nasce immediata l'idea di sanare tutte le carenze attraverso l'impiego di rinforzi estesi ed invasivi su tutti gli elementi. È importante invece in questa fase pensare e progettare secondo i moderni principi legati alla conoscenza del comportamento sismico delle strutture.

Il capacity design o gerarchia delle resistenze è un concetto che può facilmente estendersi anche alla progettazione degli interventi di miglioramento o adeguamento sismico di strutture esistenti: il comportamento globale del fabbricato va indirizzato verso una risposta duttile a livello globale, ovvero in cui sono sfruttate al massimo le iperstaticità della struttura intelaiata e il maggior numero di elementi strutturali contribuisce a sopportare l'azione sismica esterna. In tal senso sarà fondamentale evitare la formazione dei meccanismi di collasso fragile a livello locale e globale a favore di meccanismi a più elevata capacità in resistenza e in spostamento.

Primari interventi saranno quindi **rivolti a sanare le carenze di armatura trasversale in travi, pilastri e nodi** così da **scongiurare meccanismi fragili** a favore dei duttili nei singoli componenti strutturali.

Esiste tuttavia la possibilità che un insieme di meccanismi duttili comporti un meccanismo fragile a livello globale: ad esempio la crisi duttile di pilastri di medesima resistenza e rigidità appartenenti allo stesso livello con formazione di un piano "soffice".

La **gerarchia pilastro forte - trave debole** applicata all'esistente vuol dire quindi **preferenziare la cernierizzazione estrema degli elementi trave** garantendo ai pilastri una leggera sovra resistenza anche flessionale.

Tra i **sistemi di incremento capacitivo** si presenterà nel dettaglio la **tecnologia CAM®**, che impiegando nastri in acciaio inox di ridotta dimensione (19x0,90mm) ma elevata prestazione meccanica ($f_{tk}>1000\text{Mpa}$) permettono di incrementare la capacità resistente degli elementi, pur nel rispetto dei **vincoli architettonici** ed **impiantistici** tipici degli interventi su strutture esistenti.

Le caratteristiche di **reversibilità**, **flessibilità** e **minimo impatto** lo rendono il **Sistema scelto dalle Soprintendenze per interventi efficaci anche su beni storici e vincolati**.

Guarda un breve video del consolidamento eseguito alla storica sede della BNL di Via Veneto a Roma:

[Il miglioramento sismico certificato dalla EDIL CAM® Sistemi Cantiere di Via Veneto - Roma](#)



FIGURA 1 CANTIERI EDIL CAM SISTEMI – SERVIZI GENERALI DE “LA SAPIENZA” E TAMBURO DELLA CUPOLA DEL “CRISTO RE” – PROGETTI ORIGINARI DEL PIACENTINI

Il primario strumento del tecnico deve necessariamente essere la competenza, in seconda istanza è fondamentale l’analisi strutturale impiegando una modellazione agli elementi finiti.

Mediante una analisi dinamica lineare si individuano i meccanismi di collasso primari dei singoli elementi, mentre mediante un’analisi non lineare è possibile individuare oltre al meccanismo anche le zone di plasticizzazione o rottura e la loro sequenza.

In ordine di pericolosità si individuano le macroclassi di rotture e le necessarie soluzioni da adottare. Procedendo per analogia verrà dettagliato come le soluzioni Edil CAM Sistemi permettano di raggiungere tutti i necessari step di intervento.

CRITICITA'	SOLUZIONI
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); background-color: #f08080; padding: 5px; margin-right: 10px;">Energia di attivazione</div> <div style="margin-left: 10px;"> <p>crisi per carichi statici:</p> <p>Crisi del nodo trave-pilastro:</p> <p>crisi a taglio di travi e pilastri:</p> <p>crisi a flessione di travi e pilastri:</p> </div> </div>	<p>Provvedimenti volti alla riduzione dei carichi sulla struttura o messi in coazione ovvero “interventi attivi”</p> <p>Interventi di confinamento dei nodi trave-pilastro realizzando una armatura trasversale (staffa) che assorba le sollecitazioni al nodo ed eviti lo svergolamento delle armature longitudinali del pilastro</p> <p>Inserimento di armatura trasversale su travi e pilastri con funzione di staffatura aggiuntiva</p> <p>Incremento in capacità rotazionale per effetto del confinamento della sezione e/o inserimento di armatura longitudinale in pilastri e/o travi</p>

Crisi per carichi statici e sismici: il rinforzo con la tecnologia CAM®

Il Sistema CAM® è la tecnologia “attiva” per **consolidamento** degli **edifici in cemento armato**, permettendo di raggiungere non solo il **miglioramento e l’adeguamento sismico dei fabbricati**, ma intervenendo efficacemente, per effetto della presollecitazione dei nastri, anche nei confronti dei **carichi statici** e preesistenti sulla struttura in fase d’esercizio.

Il marchio CAM® identifica il sistema di consolidamento strutturale basato sulla realizzazione di tirantature metalliche realizzate tramite un nastro di spessore ridotto (19 x 0.90 mm) che vengono poste a cerchiare porzioni limitate di struttura.

Ciascun nastro è posto in tensione attraverso una macchina pneumatica specifica per il sistema, di caratteristiche certificate in grado di imprimere al nastro un determinato tiro all’atto del crimpaggio. La “presollecitazione” fa sì che l’elemento risulti subito rinforzato ovvero **attivo** già per i carichi gravanti nella fase d’esercizio della struttura.

L’elemento di forza del Sistema a marchio CAM® è la sua semplicità, facilità e velocità di applicazione, grazie in parte alla componentistica minima. Il Sistema, infatti, si compone di quattro elementi base:

- **nastro** in acciaio inox di prestazione elevata ($f_{yk} > 700\text{MPa}$, $f_{tk} > 1000\text{MPa}$) da disporre in configurazione di anello chiuso che può essere posto anche in sovrapposizione;
- **sigillo**, elemento di chiusura del singolo anello di nastro;
- **angolari** in acciaio S355 con lavorazione interna bugnata da disporre in corrispondenza degli spigoli degli elementi;
- **piastra imbutita**, elemento ripartitore, da applicare in corrispondenza degli eventuali fori da realizzarsi su travi e pilastri.

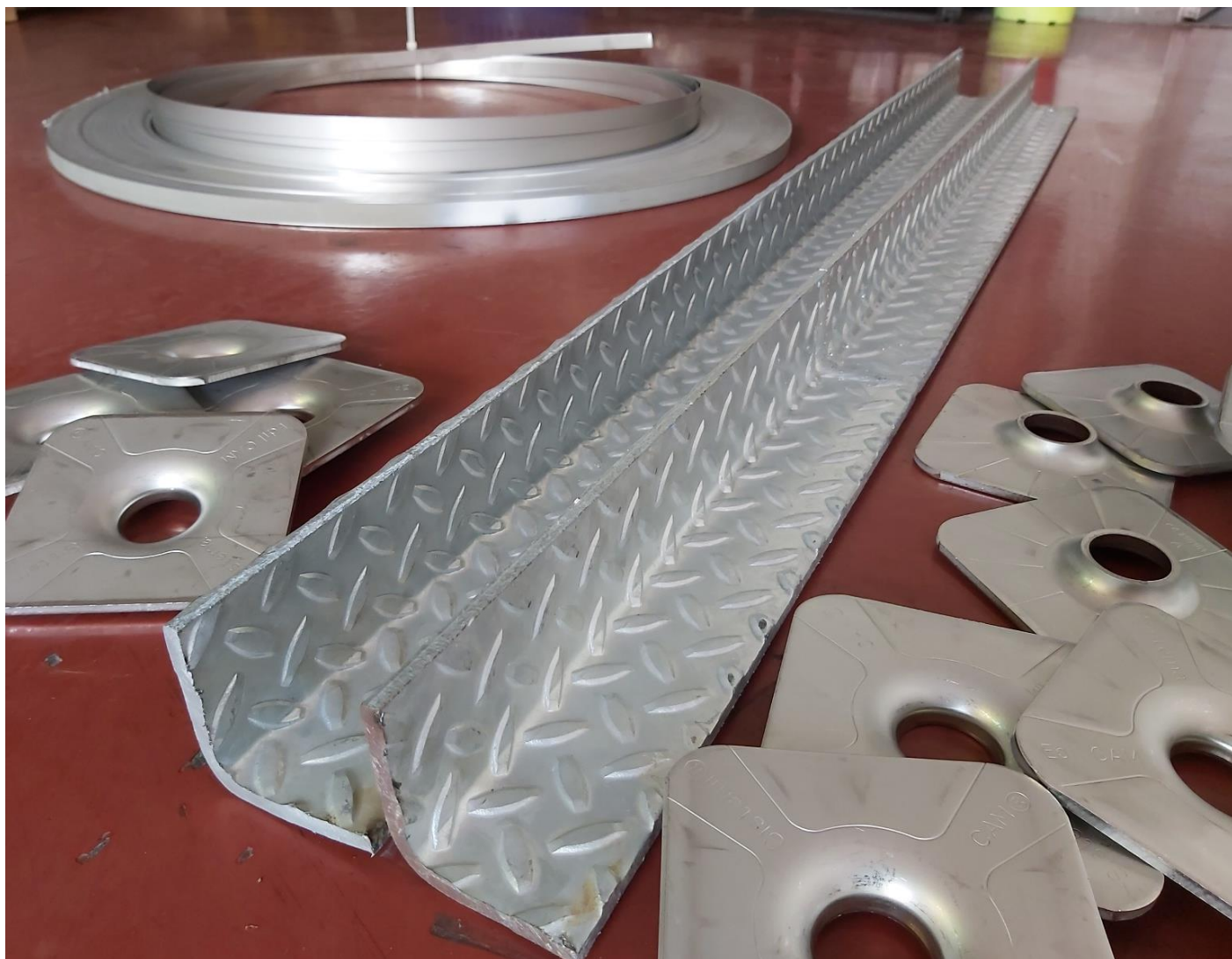


FIGURA 2: I MATERIALI IMPIEGATI NEL CONSOLIDAMENTO SU STRUTTURE IN CA: PIASTRE, ANGOLARI E NASTRI IN ACCIAIO INOX

Una volta rimosso l'intonaco, in corrispondenza di ciascuno spigolo dell'elemento viene posto in opera l'angolare con malta; non sono necessari ulteriori trattamenti superficiali dell'elemento da consolidare ad eccezione della sola demolizione dell'intonaco.

Gli angolari hanno superficie interna opportunamente lavorata per migliorare l'aderenza con il supporto in calcestruzzo e superficie esterna liscia per consentire un pretensionamento uniforme dei nastri.

Si procede al taglio dei nastri "a misura" e alla disposizione intorno all'elemento da consolidare e alla chiusura dell'anello mediante apposita macchina pneumatica certificata.

La caratteristica di presollecitazione data ai nastri all'atto della posa è l'elemento di unicità e distintivo della tecnologia CAM[®].

Il sistema di rinforzo permette quindi un confinamento attivo, con elevati incrementi in resistenza e in duttilità degli elementi, sia per i carichi aggiuntivi che per quelli preesistenti all'atto dell'applicazione.

La leggerezza e la flessibilità consentono inoltre soluzioni che possono essere "cucite addosso alla struttura" che possono essere facilmente descritte dalle immagini delle realizzazioni presentate nel seguito.

Rinforzo strutturale dei pilastri mediante Sistema CAM®

Nei pilastri le legature CAM® vengono disposte trasversalmente all'asse longitudinale dell'elemento.

Ciò che tali anelli realizzano è una staffatura esterna della sezione e come tale contribuiscono nello scongiurare la rottura fragile a schiacciamento e taglio dell'elemento.

Il nastro deve essere disposto in maniera ortogonale all'angolare. Possono realizzarsi forature intermedie, nei casi in cui sia necessario un rinforzo con "staffatura a più braccia" o nel caso in cui la geometria sia variabile. In nessun caso l'angolare sarà considerato come elemento di rinforzo a compressione in quanto non vengono realizzati gli opportuni dispositivi di collegamento/contrasto alle sue estremità.

Laddove si voglia invece considerare il contributo dell'angolare nel meccanismo resistente a flessione quale contributo a trazione va garantita la continuità d'armatura laddove il profilato si interrompe.

Ciò viene realizzato in maniera estremamente semplice impiegando normali barre da CA, saldate all'angolare e inghisate in fondazione o nel nucleo interno del pilastro stesso, oppure possono attraversare il solaio e connettersi all'elemento superiore.



FIGURA 3 CONSOLIDAMENTO CAM® COMPATIBILE CON LA PRESENZA DI INFISSI E DI IMPIANTI

Interventi “tipici” per le strutture civili sui pilastri sono rappresentati da angolari 60x60x6mm e nastri singoli a passo di 5 o 10cm per ottimizzare, l’effetto del confinamento sulla sezione. Nei casi in cui vi siano ostacoli “puntuali” o laddove si debbano realizzare staffe a più braccia, il numero di nastri in sovrapposizione aumenta fino a 5 nastri in sovrapposizione e il passo usualmente è posto a circa 20-30cm.

Rinforzo strutturale delle travi mediante Sistema CAM®

Nelle travi le legature sono realizzate preferenzialmente in totale avvolgimento dell’elemento, forando il solaio in corrispondenza del passo scelto. In casi in cui l’altezza di trave sia rilevante rispetto alla geometria del solaio e laddove non si possa intaccare il pavimento del piano superiore, può essere cerchiata la porzione estradossata di trave, forando la trave stessa immediatamente al di sotto dell’orizzontamento.

Sugli spigoli liberi si posizionano gli angolari pressopiegati mentre a livello di solaio, l’angolare lascia il posto ad un piatto oppure alle piastre imbutite.

Anche per le travi, vale quanto descritto per il pilastro: le legature sono armatura aggiuntiva a taglio (staffe) mentre gli angolari offrono il loro contributo resistente a flessione in mezzeria dell’elemento trattato. Laddove la carenza flessionale fosse riscontrata alle estremità va progettata e opportunamente realizzata la continuità d’armatura. In nessun caso l’angolare/piatto sarà considerato come elemento di rinforzo a compressione in quanto non vengono realizzati gli opportuni dispositivi di collegamento/contrasto alle sue estremità.

Nelle travi a spessore di solaio il rinforzo avviene posando tutti piatti o tutte piastre imbutite. La tecnologia CAM® è la sola che permetta di realizzare staffe chiuse nelle travi limitando a semplici forature le “preparazioni” necessarie al rinforzo strutturale.



FIGURA 4 CANTIERI EDIL CAM SISTEMI – INTERVENTI SU TRAVI A SPESSORE O DI DIMENSIONE RILEVANTE

È facile che, su elementi di larghezza considerevole, la disposizione delle legature sia tale da realizzare una staffa a più braccia oppure si scelga di trattare unicamente la “larghezza collaborante” di trave.

Per limitare l’interferenza con i travetti e la soletta dell’orizzontamento, usualmente si dispongono più nastri in sovrapposizione mentre l’interasse delle staffe CAM[®] segue la regola delle staffe tradizionali ovvero almeno ad un passo pari a “0,8 d” considerando sempre un meccanismo a traliccio di Morsch.

Nel caso di travi “libere da solaio” è preferibile disporre i nastri in minor sovrapposizione ma a passo ridotto così da massimizzare l’effetto del confinamento della sezione.

Rinforzo strutturale dei nodi trave-pilastro mediante Sistema CAM[®]

Il principale meccanismo fragile che va scongiurato negli edifici intelaiati è quello di rottura del pannello nodale, in quanto il nodo trave-pilastro essendo l’elemento atto al trasferimento degli sforzi tra i due elementi, risulta causa principale di collasso irreversibile della struttura.

Ciò che si realizza applicando uno o più ricorsi nell’altezza libera di trave al di sotto del solaio e disponendo più nastri in sovrapposizione altro non è che una staffa chiusa disposta nel nodo a posteriori che confina efficacemente il nucleo di calcestruzzo di intersezione della trave e impedisce l’instabilità delle barre longitudinali del pilastro.

[La tecnologia Edil CAM Sistemi è la sola a realizzare una staffa chiusa nel nodo di prestazioni equivalenti ad una barra annegata nel getto in calcestruzzo](#) (prove condotte da DIST - Federico II).



FIGURA 5 CANTIERI EDIL CAM SISTEMI – IL CONFINAMENTO ATTIVO DEI NODI TRAVE-PILASTRO

Progettazione della tecnologia sostenibile Edil CAM Sistemi nel retrofitting di strutture in CA

Attraverso una attenta progettazione è possibile gerarchizzare il comportamento dell'edificio permettendo il massimo sfruttamento delle capacità duttili della struttura intelaiata.

In primis possono scongiurarsi le rotture fragili: le legature CAM[®] realizzate con nastri singoli o sovrapposti realizzano una staffatura diffusa, aggiunta a posteriori e posta in coazione, innalzando la capacità a taglio di **travi, pilastri e nodi trave-pilastro**.

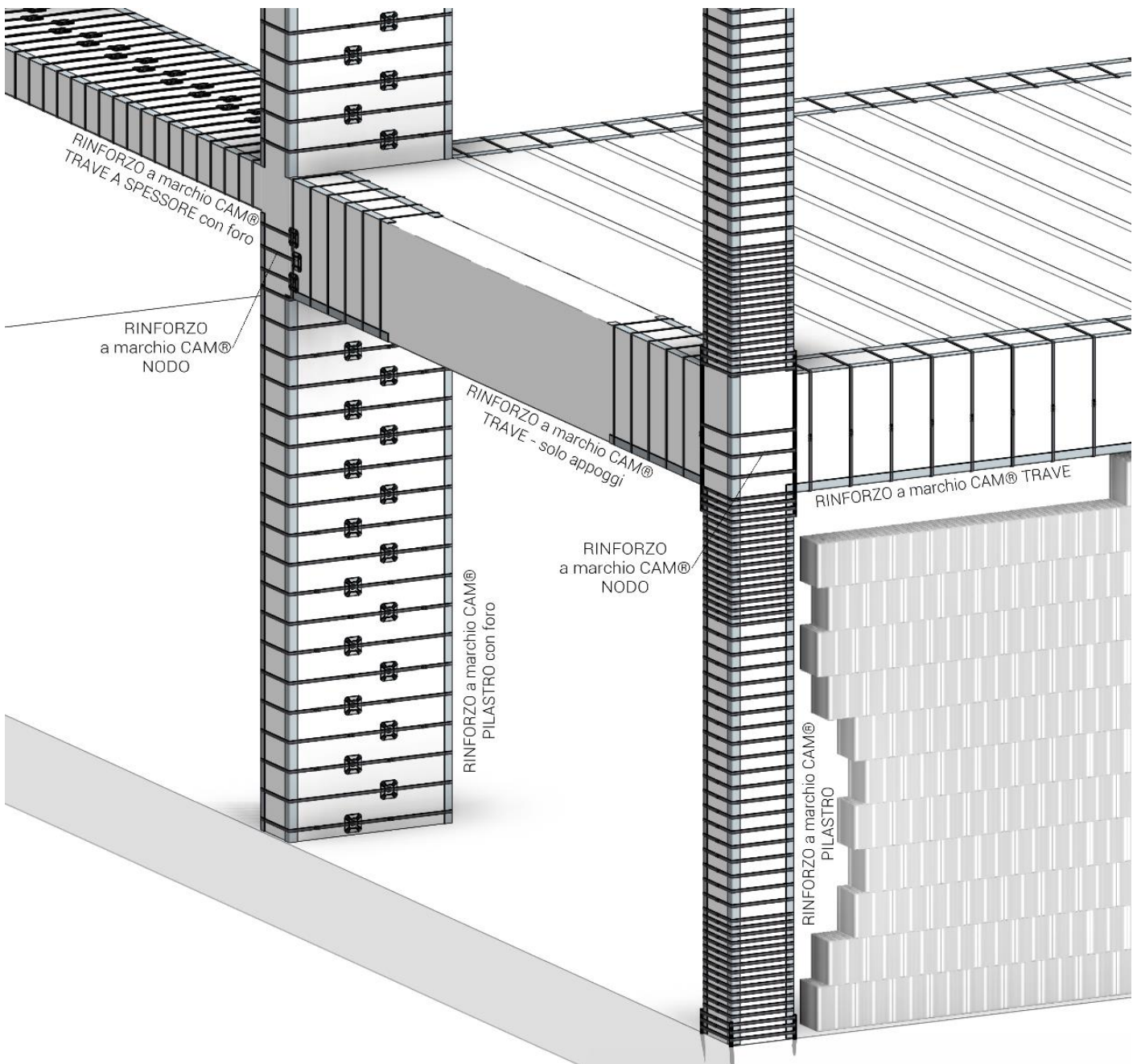


FIGURA 6 SCHEMI DI RINFORZO IN GERARCHIA CON IL SISTEMA CAM[®]

Tramite la tecnologia CAM[®] si riesce a realizzare un confinamento effettivo e una **staffatura dei nodi trave-pilastro simmetrica**, la cui prestazione è assolutamente assimilabile a quella di una staffa annegata nel getto. Poiché la crisi di questi elementi è prematura rispetto alle successive di travi e pilastri è fondamentale che questa sia scongiurata realizzando ricorsi nell'altezza di trave libera sotto solaio impiegando per ciascun ricorso più nastri CAM[®] in sovrapposizione.

Il rinforzo delle **travi** e, in particolare quelle a **spessore di solaio**, tramite tecnologia CAM[®] risulta essere a **massima efficacia e minima invasività**, permettendo attraverso le sole forature di attraversamento del solaio il consolidamento dell'elemento.

Le **staffature CAM[®] aggiuntive**, per effetto del confinamento, aumentano la capacità rotazionale delle sezioni e quindi delle cerniere plastiche che possono formarsi nella posizione di massima sollecitazione.

Perseguita la gerarchia di rottura a favore dei meccanismi duttili (**gerarchia taglio-flessione**) per sfruttare le iperstaticità della struttura e conseguire l'ottimo comportamento nei confronti delle azioni sismiche è bene scongiurare meccanismi di rottura dei pilastri anche duttili, gerarchizzandone la rottura rispetto alla trave. Gli angolari disposti sugli spigoli dell'elemento, se connessi alle estremità, possono considerarsi, per una loro aliquota, come armatura longitudinale, incrementandone la capacità a pressoflessione.

Un buon esempio di **intervento in gerarchia "pilastro forte-trave debole"** consiste nell'incremento della capacità a flessione e taglio dei sistemi portanti verticali e interventi volti a garantire duttilità estrema alle travi.

La modellazione del rinforzo CAM[®] può essere implementata in qualsiasi software che gestisca la verifica di un fabbricato esistente. Sarà infatti possibile modellare il Sistema come armatura equivalente aggiuntiva, sia trasversale, che laddove richiesto, longitudinale. In tal modo si avrà anche un controllo diretto sui quantitativi integrativi di armatura necessari, potendoli paragonare eventualmente alle richieste che si hanno nelle nuove costruzioni.

L'elemento distintivo e unico del Sistema è sicuramente la **presollecitazione data ai nastri** che rende il **sistema di rinforzo attivo**. Tale parametro non incide nel calcolo a rottura (a SLU si considera la piena prestazione dei nastri), ma risulta una caratteristica fondamentale per le applicazioni su strutture in **crisi per carichi statici** rendendo l'elemento rinforzato già per i carichi gravanti su di esso nella fase d'esercizio della struttura.

La leggerezza della componentistica permette interventi a minima invasività, non alterando massa e rigidità nella struttura. Il materiale impiegato per i nastri è **acciaio inox** ad elevata resistenza e gli spessori usuali del rinforzo permettono interventi nel rispetto dei vincoli architettonici e impiantistici, limitando al minimo le demolizioni. La posa è tipica del cantiere "a secco" garantendo velocità di applicazione e compatibilità con qualsiasi temperatura di esercizio.

La caratteristica di reversibilità e versatilità lo rendono la scelta "obbligata" per gli interventi su beni storici e vincolati, largamente impiegato su strutture "eccezionali", opere d'arte dell'ingegneria e dell'architettura, anche lasciato come sistema a vista come nella Basilica del "Sacro Cuore del Cristo Re", progettata dal Piacentini.

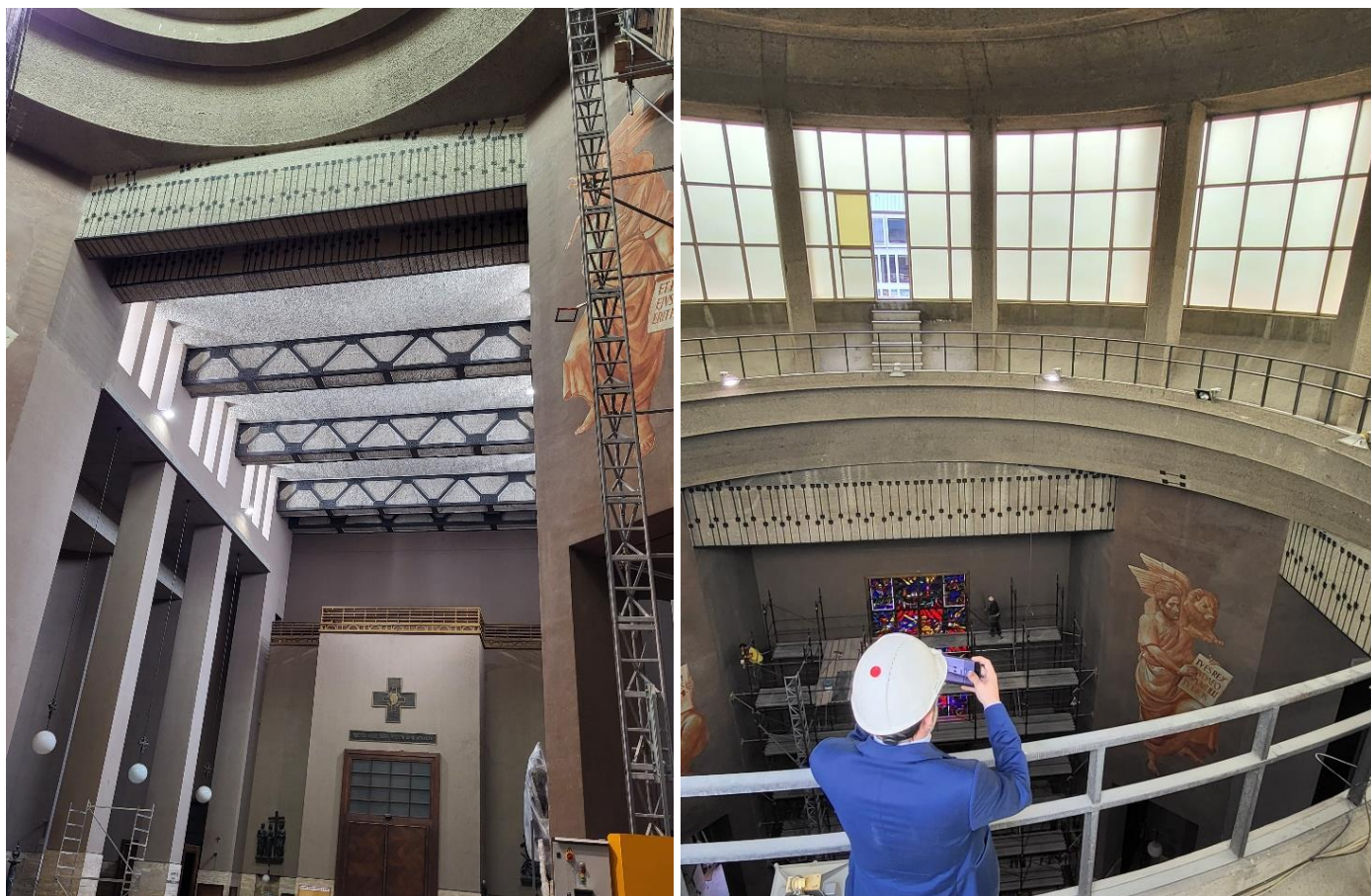


FIGURA 7 CANTIERI EDIL CAM SISTEMI – INTERVENTI A VISTA SULLE TRAVI CASSONE A SOSTEGNO DEL TAMBURO DELLA BASILICA DEL SACRO CUORE DEL CRISTO RE

Infine, nell'ottica di **sostenibilità ambientale**, 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. 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 le caratteristiche di prodotto e di produttore 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.

La cantierizzazione degli interventi da parte delle squadre Edil CAM Sistemi e lo studio approfondito della soluzione più idonea al raggiungimento dell'obiettivo progettuale concorrono ad ottenere l'ottimo risultato di compromesso tra **consolidamento efficace, certificato e sostenibile**.