

# Conoscere per consolidare la cura giusta dopo la diagnosi

**Uncaso d' intervento di consolidamento di una muratura portante in blocchi di cemento vibrato interessata da cedimenti fondali, con conseguente formazione di un quadro fessurativo importante. L'intervento è stato preceduto da una serie di indagini strutturali, rilievi e verifiche preliminari che, hanno consentito di documentare e interpretare le cause, e di progettare correttamente un consolidamento mirato.**

Saverio Bevilacqua

**B**enché le tecniche di consolidamento possono essere diverse (iniezioni, cerchiature, micropali, cuciture armate, ecc.), per poter progettare ed eseguire correttamente un intervento di consolidamento, è utile e fondamentale disporre di un quadro conoscitivo preliminare sia dell'immobile e sia del dissesto. In genere ogni caso è diverso da altri e richiede procedure e tecniche appropriate anche se, spesso, l'approccio metodologico può essere analogo.

A tal fine è necessario valutare tutti quegli aspetti che concorrono a determinare le problematiche strutturali e del dissesto di una costruzione o di parti di essa, per poter riconoscere e interpretare le cause che lo hanno generato. In tal senso è importante analizzare attentamente la tipologia, la qualità costruttiva, la capacità portante della struttura, il quadro fessurativo presente, le condizioni di esercizio e al contorno, le eventuali modifiche succedutesi nel tempo: ovvero, bisogna

definire e concretizzare una reale conoscenza dell'edificio.

Una tale valutazione dello stato di fatto richiede sempre:

- una serie di approfondimenti basati sul rilievo critico, geometrico ecostruttivo-strutturale;
- una attenta analisi visiva e strumentale sulle possibili cause del dissesto o del quadro fessurativo presente;
- la verifica dell'evoluzione costruttiva del fabbricato che comprenda tutte le modifiche intervenute nel periodo di vita della costruzione.

In molti casi è stato dimostrato che, la comparsa di lesioni e dissesti in una costruzione è riconducibile a mutamenti della compagine statica, a causa di modifiche consistenti o di cedimenti fondali che incidono sull'assetto statico originario.

Tali condizioni, generalmente sono dovute alla variazione delle sollecitazioni di compressione, trazione e taglio che, determinano nuove sollecitazioni e inducono le strutture a cedimenti, dissesti e quadri fessurativi più o meno gravi.

È importante quindi, affrontare nello specifico le problematiche strutturali con le giuste competenze, secondo un corretto approccio, utilizzando pratiche e tecniche d'indagine consolidate, al fine di verificare l'efficienza e l'idoneità statica di una struttura e stabilire l'equivalente indice di sicurezza. Ciò è possibile solo con l'ausilio di tecniche di d'indagine applicate in sito (indagini sperimentali non distruttive o minimamente invasive), e con eventuali campionamenti e analisi di laboratorio, finalizzate a costituire una banca dati sulla struttura e sull'edificio, che siano in grado di definire oggettivamente le condizioni dello stato fisico, e possano generare l'input per il progetto di consolidamento efficace e mirato.



Vista generale dell'aggregato edilizio



Stato fessurativo parete portante



Muratura in blocchi di cemento e particolare dello stato fessurativo

## L'aggregato edilizio e lo stato di fassa della costruzione

Il caso in esame riguarda una costruzione che ha subito significative modifiche strutturali, con incremento volumetrico per ampliamento del piano rialzato. Trattasi di una unità abitativa monofamiliare disposta su tre livelli, con struttura portante in muratura mista pietra / laterizio, solai a volta (piano seminterrato), e in latero-cemento. L'unità immobiliare è parte di un aggregato a schiera di tipo lineare continuo, in un contesto semi-urbano a bassa densità edilizia. Nell'aggregato si notano diversi interventi posticci di auto-costruzione, certamente sostenuti in economia per puro risparmio. L'ampliamento realizzato comprende un'ambiente palestra, vano scala e un nuovo vano servizi. Data la necessità di mantenere l'ampliamento alla stessa quota del piano pavimento esistente del piano rialzato, (per colmare il dislivello tra i piani) è stato eseguito un riempimento con materiale di risulta (macerie provenienti da demolizioni) a diretto contatto con il terreno. Purtroppo il riporto delle macerie non è stato compattato. Al di sopra dello strato di macerie, in corrispondenza della fascia di elevazione della parete portante, è stata realizzata una base di appoggio in calcestruzzo armato, sulla quale è stato costruito il paramento murario portante intermedio singolo, costituito da blocchi semipieni di cls vibrato, (dimensione dei blocchi cm 20x20x50). La resistenza a compressione dei blocchi è pari a 6 N/mm<sup>2</sup>, e il peso proprio pari a 220 kg/m<sup>2</sup>. In base alla tabella C8.2.1 delle NTC/2008 la resistenza media a compressione dovrebbe essere compresa tra 300 e 400 N/cm<sup>2</sup>, e la resistenza a taglio tra 18 e 24 N/mm<sup>2</sup>. Nessuna informazione è pervenuta circa la categoria.

## Il cedimento fondale e la comparsa del quadro fessurativo

Dopo alcuni mesi dal completamento delle opere di ampliamento della costruzione, si sono manifestati i primi segni di cedimento alla base della muratura con la comparsa di un quadro fessurativo tipico delle murature realizzate con elementi a giunti paralleli.

Da una prima analisi visiva (osservando attentamente le fessure presenti), è emerso chiaramente l'abbassamento del piano pavimento in prossimità della parete portante, e la presenza di una doppia fessurazione (in parte parallela), a diversa altezza. Tale quadro fessurativo, è tipico delle murature soggette a sollecitazione di forze tangenziali e di trazione.

Il cedimento è avvenuto in corrispondenza dei giunti di malta orizzontali e verticali tra due corsi dei blocchi in cls. Una prima fessura si è sviluppata a partire dall'angolo sinistro, in basso, in prossimità della connessione con la parete trasversale, proseguendo in direzione diagonale, seguendo l'andamento dei giunti di malta, protraendosi fino all'angolo destro in alto.

Una seconda fessura si è sviluppata con continuità in direzione orizzontale, in corrispondenza del terzo corso dei blocchi. Una terza lesione è comparsa in direzione diagonale (fino all'angolo interno), a partire dall'angolo destro del vano porta.

Dall'analisi dei carichi e della compagine statica è risultato che sulla nuova muratura portante (essendo intermedia) grava circa la metà del solaio piano di copertura, con una incidenza di carico (permanente + accidentale) pari a 6,70 KN/mq. In base ai calcoli eseguiti, la ripartizione del carico sulla muratura è risultato pari a 17,83 KN/ml. Mentre il carico totale ripartito che grava sulla fondazione (solaio + malta + muratura) è pari a 38,34 KN/ml. È evidente che lo strato di macerie (non com-

pattato) abbia subito uno schiacciamento per compressione dovuto all'azione del carico su di esso ripartito che, di conseguenza ha provocato un abbassamento del piano di appoggio della muratura trasferendo ad essa degli stati tensionali di trazione e taglio che hanno determinato la frattura del pannello murario secondo il tipico quadro fessurativo evidenziato. L'abbassamento medio (quasi uniforme) è risultato pari a mm 16.

### La metodologia di analisi - Indagini e rilievi

L'attenta analisi visiva eseguita, ha consentito di inquadrare la problematica nel suo aspetto generale, di avanzare le prime ipotesi sul cedimento alla base, di predisporre un adeguato piano d'indagine e di accurati rilievi per approfondire gli aspetti costruttivi e indagare sulle cause del cedimento.

A tal fine è stata predisposta una procedura di analisi conoscitiva in grado di "restituire" dati e informazioni utili per comprendere la problematica emersa e definire le ipotesi d'intervento più idonee al caso. Il perseguimento di tali obiettivi ha consentito di progettare e programmare un intervento mirato, tenendo conto dello stato di fatto della costruzione in esercizio.

Le indagini preliminari svolte hanno consentito di:

- ottenere informazioni sulla cronistoria della costruzione e dell'aggregato, basate su interviste dirette, valutazione della documentazione disponibile, e quella di archivio;
- ottenere informazioni sull'intervento più recente di ampliamento, con conseguente analisi del progetto e valutazione delle modalità esecutive e dei tempi.
- stabilire le caratteristiche della costruzione (tipologia, struttura, materiali, componenti, impianti, finiture, ecc.).

Ulteriori approfondimenti si sono aggiunti con le indagini sperimentali in loco, e con i rilievi:

- rilievo geometrico e strutturale (volumetrie, ambienti, murature portanti, solai, ecc.);
- rilievo del quadro fessurativo (estensione, ampiezza, tipologia, ecc.);
- rilievo fotografico (per documentare lo stato del manufatto e del quadro fessurativo);
- caratterizzazione dei materiali costruttivi (tipologia, spessori, resistenze);
- saggi stratigrafici (per identificare e verificare la disposizione dei materiali);
- video-ispezione in punti campione (per verificare e documentare la stratigrafia);
- termografia (per intercettare l'impianto radiante sotto pavimento);
- magnetometria (per intercettare la presenza di materiali ferromagnetici e impianti presenti nella muratura e sotto il pavimento);
- analisi dei carichi e definizione dello schema statico della porzione di costruzione interessata dal quadro fessurativo, con verifica statica postuma.

Tutti gli elementi conoscitivi emersi dalle verifiche, hanno consentito di eseguire una valutazione complessiva della costruzione e delle relative problematiche, fornendo allo stesso tempo, l'input per il progetto d'intervento.

Dalle verifiche è emerso che la nuova muratura portante realizzata, è di tipologia completamente diversa rispetto a quella esistente.

I particolari emersi nella prima fase di consolidamento, e precisamente dopo la rimozione dell'intonaco, hanno evidenziato gravi errori di organizzazione strutturale commessi nelle fasi costruttive, ma che a monte, sono imputabili anche a rilevan-

ti carenze di progetto. La stessa analisi strutturale ha evidenziato errori progettuali che limitano l'idoneità della muratura portante rispetto alle sollecitazioni di compressione e taglio a cui è soggetta, oltre alle mancate prescrizioni sulle modalità costruttive.

Nello specifico non è riconoscibile un sistema di posa regolare di tutti i corsi dei blocchi (sistema a giunti sfalsati o a "sorrellata"), anche se in prevalenza, la posa è del tipo a giunti sfalsati. Così come la malta di allettamento e da intonaco utilizzate sono risultate dello stesso tipo, friabili e di scarsa consistenza e durezza. Dalle verifiche è risultato che sia la malta da intonaco che i blocchi cavi della muratura non soddisfano i requisiti e le prestazioni richiamate dalla normativa tecnica (classe M 2,5 per malte bastarde, o classe M8 per malte cementizie, come da tabella 11.10 III, e tabella 11.10.IV; verifica al taglio di cui al § 11.10.3.2 delle NTC/2008). Si richiamano anche riferimenti di cui al cap. 4.5, cap. 8, e cap. 11.10 delle NTC / 2008, e l'appendice C 11.10 della circolare esplicativa 2/2/09 n. 617. Secondo le prescrizioni normative non è consentito l'impiego di malte per murature portanti che abbiano una resistenza media a compressione (fm) inferiore a 2,5 N/mm<sup>2</sup>.

Allo stesso modo non è stata rilevata alcuna rispondenza alle norme UNI - EN 771-3, e UNI - EN 772 - 2. Tali norme stabiliscono le caratteristiche e le prestazioni degli elementi in calcestruzzo vibrato con o senza capacità portanti.

Inoltre, dalle indagini svolte, è emerso chiaramente che non sono stati realizzati irrigidimenti orizzontali e verticali inseriti nella muratura. Le stesse raccomandazioni dei produttori di blocchi in cls vibrato consigliano di introdurre durante la fase di costruzione, irrigidimenti verticali (almeno uno ogni 3 m di lunghezza della parete), ed irrigidimenti orizzontali (traliccio piatto zincato o tondini) ogni tre corsi di blocchi. Gli irrigidimenti previsti hanno la funzione di contrastare la formazione di fessure causate da ritiro, dilatazioni termiche, assestamenti differenziali, cedimenti, vibrazioni, ecc.).

Purtroppo nessuna di queste indicazioni è stata rispettata, invalidando quanto previsto dalle prescrizioni tecniche di cui al § 4.5.7 delle NTC / 2008 - murature armate.

Inoltre non è stato realizzato nessun irrigidimento di vincolo alla fondazione e al solaio mediante armature di ripresa.

### L'intervento di consolidamento

Le indagini ed i rilievi eseguiti in sito hanno prodotto una serie di dati e informazioni molto utili per comprendere con sufficiente chiarezza e convinzione che la natura del quadro fessurativo esistente e le cause che lo hanno prodotto fossero riconducibili essenzialmente al cedimento fondale, oltre alla riconosciuta inadeguatezza dell'organizzazione costruttiva della nuova muratura portante.



Fase di foratura del sottofondo fino a 65 cm.



Fori eseguiti lungo tutto il perimetro esterno del paramento murario

Visti i risultati delle indagini e dei rilievi eseguiti, fatte le opportune valutazioni tecniche, si è potuto sviluppare l'idea di progetto di un consolidamento mirato, idoneo a ripristinare la continuità statica della struttura per garantire le minime prestazioni di esercizio richieste.

L'idea progettuale quindi si è concentrata sia sul consolidamento delle fondamenta, sia sul consolidamento del paramento, al fine di migliorare le prestazioni meccaniche e di sicurezza e di scongiurare ulteriori cedimenti.

Tenendo conto della presenza degli impianti (individuati e distinti nella loro posizione) sia delle finiture già completate, si è dovuto limitare l'intervento esclusivamente su una faccia del paramento e alla base, lungo tutto il perimetro esterno.

L'intervento realizzato, essenzialmente si può distinguere e sintetizzare nei seguenti aspetti.

#### • Consolidamento delle fondamenta

L'intervento alle fondamenta è stato finalizzato a ristabilire la solidità della base di appoggio della muratura portante, costituita dallo strato di macerie non compattato.

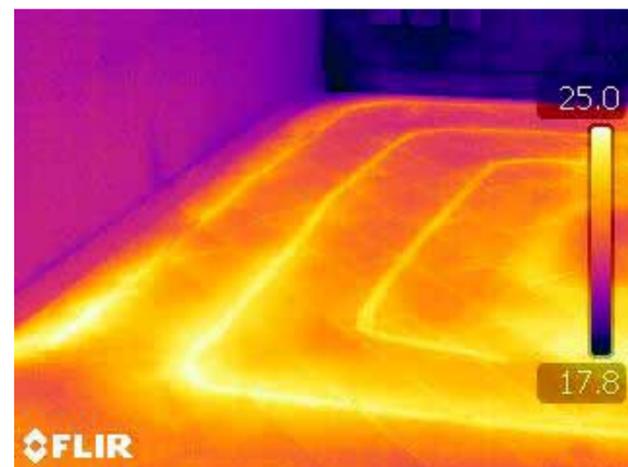
Il metodo applicato, ritenuto valido a tale scopo è il sistema di iniezione di boiacche fluide moderatamente espansive. Per garantire la continuità del consolidamento fondale si è progettato un sistema di fori di diametro 35 mm, posti ad un interasse di 15 cm lungo tutto il perimetro esterno del paramento, per permettere una distribuzione uniforme della boiacca alla base. Tenuto conto della stratigrafia rilevata mediante video-ispezione dal piano pavimento fino alla fondazione, si è potuto stabilire la quota di penetrazione della cannula per eseguire le iniezioni di boiacca di malta fluida in profondità, direttamente nello strato di macerie posto ad una altezza sotto il piano pavimento pari a 65 cm.

Le iniezioni di boiacca fluida, con penetrazione negli interstizi presenti nello strato di macerie hanno avuto una funzione legante degli inerti con riempimento e occlusione degli interstizi (vuoti), al fine di costituire un blocco continuo e compatto al di sotto della fondazione, in grado di resistere alle sollecitazioni di



Stratigrafia documentata nella fase di videoispezione

Fase di indagine di videoispezione



Fase di indagine termografica



Fase di preparazione della malta fluida

Serbatoio di iniezione collegato al compressore

compressione dovute ai carichi gravanti su di esso. A tale scopo è stato predisposto un sistema di iniezione compostoda: un serbatoio d'iniezione collegato ad un compressore d'aria per la spinta della malta fluida a pressione controllata; un gruppo miscelatore della boiaccia; una tubazione di mandata con una valvola conica inserita nella cannula in metallo posta direttamente a contatto con lo strato di macerie.

La boiaccia è stata iniettata ripetutamente nei fori ad una pressione di 1,8 bar, fino a creare la saturazione degli interstizi presenti. La verifica dell'efficacia della distribuzione della boiaccia all'interno dello strato di macerie è stata eseguita con l'estrazione di due carote dopo indurimento della boiaccia.

#### • Consolidamento della parete

L'intervento di consolidamento della parete portante è stato progettato con l'intento di ripristinare la continuità statica della stessa, e di rafforzare il paramento con un adeguato sistema capace di contrastare sollecitazioni di trazione e taglio.

Infatti, tali tipologie di murature sono maggiormente soggette a sollecitazioni di taglio e trazione, oltre che di compressione, per cui normalmente (come si è già affermato) sono progettate con opportuni elementi di irrigidimento da inserire nella fase costruttiva. Purtroppo nel caso in esame si è potuto appurare che nessun elemento di contrasto è stato posto in opera nella fase di realizzazione della muratura portante, costituendo perciò un grave errore costruttivo.

Tenuto conto dello stato di fatto e delle enormi difficoltà di inserimento postumo nella muratura degli elementi di irri-

dimento, così come si sarebbe dovuto eseguire nella fase costruttiva, si è deciso di eseguire il recupero e l'adeguamento mediante: l'applicazione del tessuto in fibra di carbonio bidirezionale; il ripristino dei giunti corrispondenti alle fessure; la realizzazione di un intonaco armato.

Per consentire tali opere di consolidamento, è stato necessario rimuovere l'intonaco esistente per mettere a nudo la parete, e permettere l'intervento sia sulle lesioni, sia sulla muratura stessa. Le azioni successive sono state le seguenti: scarificatura delle fessure presenti sui giunti di malta; lavaggio con acqua a spruzzo; accurata spolverata di tutta la superficie della muratura.

Il primo intervento ha interessato la sigillatura in profondità delle fessure presenti, mediante l'applicazione di una malta cementizia bicomponente moderatamente espansiva.

Successivamente sono state applicate le fasce oblique in tessuto in fibra di carbonio bidirezionale resistenti agli alcali, adatte al rinforzo di murature.

Le fasce sono state applicate al supporto mediante resine epossidiche strutturalistese a pennello.

#### • L'intonaco armato

Viste le condizioni restrittive dell'intervento e di applicabilità dei rinforzi di consolidamento (potendo operare solo su una faccia della muratura), in questo caso si è preferito realizzare un ulteriore sistema di rinforzo della muratura, mediante la realizzazione di un intonaco armato anche allo scopo di incrementare la sezione resistente del paramento murario.

L'efficacia di una tale tipologia di rinforzo consiste essenzialmente:

- nella distribuzione uniforme degli sforzi sull'intera superficie della muratura;
- nel miglioramento del contrasto alla formazione di fessure;
- nell'accrescimento delle capacità di resistenza della muratura;
- nel conferimento di una maggiore duttilità alla struttura;
- nell'incremento della rigidità.

Studi sperimentali di laboratorio hanno dimostrato che, un tale rinforzo conferisce un significativo incremento della resistenza a trazione, con ottime capacità dissipative delle azioni meccaniche dovute anche a carichi di compressione diagonale. Per contro si deve rilevare che tali tipologie di rinforzo, incrementando notevolmente la rigidità, dovuta al valore elevato del modulo elastico del betoncino, peggiorano in parte la risposta sismica della struttura.

Nel caso in esame, dopo aver atteso 48 ore per l'indurimento delle resine di incollaggio del tessuto in fibra di carbonio, si è proceduto nella realizzazione di un intonaco dello spessore di 5 cm, armato con rete elettrosaldata (maglia cm 15x15, diametro  $\varnothing$  6 mm). La rete metallica in acciaio B450C è stata applicata al supporto mediante connettori metallici ad ade-

renza migliorata, opportunamente sagomati. I connettori sono stati applicati all'interno dei fori (esenti da polvere), eseguiti nei giunti di malta ad una profondità di 12 cm, mediante inghisaggio con resine epossidiche strutturali bicomponenti e a rapido indurimento. Sono stati applicati n.° 8 connettori per mq. La griglia elettrosaldata è stata distanziata dal supporto con spessori di 15 mm.

La malta premiscelata utilizzata è costituita da una miscela di sabbia silicea di cavadi granulometria 0 - 4 mm, cemento portland, fibre di vetro e additivi specifici che migliorano l'adesione e la lavorabilità. La malta è a ritiro compensato e sviluppa una resistenza pari a 35 N/mm<sup>2</sup>. La posa dell'intonaco è stata preceduta dall'applicazione di un rinzaffo additivato con promotori di adesione. Le armature sono state trattate con un protettivo anticorrosione di copertura bicomponente a basso contenuto di solventi e a base di resine epossidiche.

#### Conclusioni

Il caso illustrato, pur essendo riferito nella fattispecie ad una realtà piuttosto modesta nella sua entità costruttiva, evidenzia come le limitate competenze e/o le carenze progettuali e costruttive, possano determinare situazioni che creano ingenti danni materiali ed economici, condizioni di rischio per persone e cose. Una scarsa sensibilità progettuale, irrispettosa delle norme sulle costruzioni, non può che produrre conseguenze a volte irreparabili. Allo stesso modo l'esercizio dell'attività d'impresa poco responsabile e improvvisata, non può che indurre a gravi errori di costruzione e notevoli danni economici. È importante quindi adoperarsi a tutti i livelli con professionalità, per evitare situazioni che possano ledere la sicurezza e determinare gravi mancanze e danni.

Nel caso specifico, non essendo stata eseguita una corretta

analisi dei carichi ed essendo stata sottovalutata l'azione degli stessi gravanti alla base della muratura, la compressione dello strato di macerie non compatto, ha generato inevitabilmente uno stato tensionale della struttura portante con conseguente cedimento e formazione di un quadro fessurativo rilevante, provocandone la frattura del paramento murario.

Inoltre, si può affermare che (in tali circostanze) è altrettanto importante saper interpretare e analizzare un



Rete elettrosaldata cm 15 x 15, diametro  $\varnothing$  6



Fase di realizzazione intonaco su rete

quadro fessurativo, al fine di progettare e realizzare interventi risolutivi, atti a ripristinare l'idoneità statica di una struttura, per raggiungere le prestazioni richieste e garantire i livelli di sicurezza previsti dalla normativa. Si evidenzia come una simile procedura, si rivela particolarmente efficace nell'affrontare correttamente le problematiche delle costruzioni. Pertanto è sempre importante predisporre un corretto approccio, utilizzando più strumenti di analisi, avvalendosi delle tecniche d'indagine in grado di "restituire" dati il più possibile oggettivi che possano fornire l'input al progetto d'intervento. Come nel caso in esame, una valutazione attenta e scrupolosa della realtà, che comprende molteplici aspetti, consente sempre di sviluppare soluzioni efficaci e risolutive.

Di caso in caso il tecnico dovrà selezionare opportune procedure che gli consentano di definire concretamente soluzioni che siano il più possibile mirate e contenute nell'impatto e nei costi. La procedura applicata al caso in esame, vuole essere un esempio concreto di approccio metodologico, che vuole dimostrare anche l'importanza, l'utilità e le potenzialità di alcuni strumenti d'indagine oggi disponibili, per affrontare con maggiori certezze e determinazione le problematiche che investono le costruzioni.

È quindi fondamentale lo studio preliminare degli edifici esistenti, per raggiungere un sufficiente livello di conoscenza, mettendo in atto adeguati progetti che possano garantire la certezza di procedure e pratiche costruttive valide ed efficaci. Perciò, solo attraverso una buona pratica professionale sarà possibile garantire interventi risolutivi in via definitiva e duraturi nel tempo.