

Capitolo I

Le fasi dell'anamnesi

Il patrimonio storico ed architettonico necessita sempre più di interventi mirati a salvaguardarne la funzionalità; aspetto non meno importante è la sicurezza nei confronti delle persone che ne usufruiscono.

All'intuito, fondato su una pluriennale esperienza, di ingegneri e architetti, al quale era ed è tuttora affidata la risoluzione di problemi strutturali, in assenza di un'adeguata e attendibile documentazione sul progetto iniziale, sulle modifiche adottate nelle varie fasi costruttive, sulla qualità dei materiali utilizzati, si sono affiancati strumenti di indagine diagnostica già utilizzati in altre discipline (dalla medicina alla meccanica, dalla geotecnica all'ingegneria aeronautica), opportunamente adattati ai problemi dell'ingegneria strutturale.

Dall'insegnamento della medicina deriva l'approccio mentale con cui affrontare un delicato "intervento" su "pazienti" così particolari: di qui la necessità di precise informazioni sui trascorsi remoti e recenti, di indagini accurate sull'attuale "stato di salute", di un "monitoraggio". Come si potrà notare, il monitoraggio ricopre oggi un ruolo sempre più importante: monitoraggio atto a verificare l'evoluzione di un sistema lesionato, monitoraggio atto a verificare la bontà di un intervento ed infine monitoraggio come alternativa all'intervento e per la segnalazione di possibili situazioni di pericolo.

Lo scopo di quanto segue è fornire una breve trattazione di quelli che sono i passi fondamentali per progettare un intervento su un edificio storico. Senza la pretesa di esaminare in modo esaustivo gli innumerevoli temi in materia di conservazione, si vuole piuttosto dare delle indicazioni di massima a chi si trova per la prima volta ad affrontare tale problema.

Sopralluogo

Il sopralluogo è il momento in cui si prende conoscenza del reale stato di fatto della costruzione. Prima dell'effettuazione di un'indagine preliminare sul campo da parte di un esperto si aveva solo una visione soggettiva (quella del proprietario o dell'ente) del problema in cui era messo in risalto il dissesto nella sua forma locale; con il sopralluogo, invece, si cerca di avere una visione più oggettiva, non localizzata ad una zona particolare della struttura, bensì mirata ad ottenere una valutazione di carattere più generale. I dati che devono emergere da un sopralluogo devono essere tali da permettere di comprendere anche a una persona che non abbia visto realmente il manufatto.

Si possono fornire alcuni consigli su quello che durante un sopralluogo bisognerebbe fare:

- acquisire informazioni sull'evoluzione storica del manufatto;
- cercare una visione complessiva del manufatto, evitando di concentrarsi sulle zone danneggiate di cui il proprietario tende a parlare;
- acquisire informazioni sulla genesi e l'evoluzione dei dissesti, cercando di distinguere tra dati oggettivi e interpretazioni personali;
- chiedere, se è possibile, di avere documentazione relativa al manufatto, per esempio un rilievo;
- acquisire una documentazione fotografica generale e non particolare indicando su una pianta, anche sbazzata, il numero della foto e la zona che riprende;
- informarsi su interventi recenti alle strutture dell'edificio, quali rifacimenti di solai, cambiamenti di destinazione d'uso, apertura di porte, ecc.

Pre-diagnosi

La pre-diagnosi, ossia l'identificazione dei problemi da affrontare e la loro preliminare descrizione orientativa, è finalizzata a contribuire alle prime ipotesi di intervento e a consentire una prima valutazione comparativa tra diverse alternative possibili.

Identificazione dei problemi da affrontare

Tutte le strutture sono soggette a rischio di danni e subiscono nel tempo l'effetto di molteplici eventi aggressivi. Quindi uno dei problemi prioritari è accertarsi se la struttura si presenta, nell'insieme o nelle sue parti, soggetta a fenomeni che possono definirsi come segue:

- di rischio: probabilità del verificarsi di eventi, anche rari tali da provocare danni più o meno rilevanti;
- patologici: alterazioni, inefficienze, guasti anomali, ecc.[A];
- di degrado: decadimento normale e prevedibile di materiali, componenti e manufatti;
- di disagio: insufficienti condizioni di comfort o fruibilità;
- di obsolescenza: perdita di efficienza funzionale per effetto dell'insorgere di nuove esigenze.

Condizioni di rischio (evento traumatico, che si verifica in un determinato istante rispetto alla vita della struttura)

- Rischio sismico. — Informazioni di carattere generale:

- Carta Baratta: carta delle zone sismiche italiane distinte in prima categoria (terremoti più distruttivi) e seconda categoria (terremoti di minore intensità);
- mappa della proposta di riclassificazione sismica del territorio italiano: nuovi comuni inseribili in seconda categoria, in corso di completamento - C.N.R. Progetto finalizzato «Geodinamica».

Informazioni che sarebbero utili a scala locale:

- carte di scuotibilità (caratteristiche di spostamento del terreno in zone omogenee);
- mappe di vulnerabilità (resistenza delle costruzioni alle azioni sismiche);
- mappe di rischio sismico (valutazione integrata delle due mappe precedenti);
- eruzioni (rischio di invasione lavica);
- mappe di pericolosità.
- Rischio idrogeologico (inondazioni, frane, cedimenti, erosione, fenomeni carsici, ecc.). — Informazioni di carattere generale:
 - carte geologiche (Ufficio Geologico di Stato);
 - carte geomorfologiche (Società Geologica Italiana);
 - carte della densità dei dissesti;
 - carte della stabilità dei versanti (S.G.I.);
 - aree soggette a frane (A.N.A.S., genio civile);
 - aree a rischio di valanga (Corpo Forestale dello Stato).

Valutazione dello stato di fatto

La documentazione acquisita e le osservazioni sulla qualità e i difetti riscontrati in ciascuna parte concorreranno a definire la pre-diagnosi generale, ossia la valutazione di insieme dell'organismo considerato. A questa è affidato il compito di orientare alcune prime decisioni di base. Essenzialmente è possibile distinguere tra i seguenti casi:

- l'edificio non richiede nessun tipo di intervento;
- l'edificio è recuperabile;
- l'edificio non appare recuperabile.

Nel caso l'edificio sia da assoggettare a recupero la pre-diagnosi dovrebbe indicare se si tratta di: manutenzione, riqualificazione, ridestinazione o di operazioni che si prefiggono contemporaneamente tali obiettivi; è altresì importante determinare se vi è una primaria necessità di mettere in sicurezza la struttura attraverso opere provvisorie.

Purtroppo non è possibile definire un criterio che a priori, vale a dire in fase preliminare, ci consenta di prendere una decisione sulla situazione della struttura.

La valutazione dello stato di fatto è legata molto alla conoscenza e alla sensibilità del singolo, che in base alle sue esperienze potrà compiere una scelta più o meno adeguata.

Studio preliminare delle diverse soluzioni

Una volta che si è evidenziata la situazione attuale della struttura, si può passare alla formulazione di ipotesi sull'intervento più opportuno da operarsi. Tali ipotesi possono essere accompagnate da una valutazione economica (metodi di stima rapida) che consente di prevedere i costi e di orientare gli operatori nella selezione delle varie alternative d'intervento.

E' in questa fase che si decide se effettuare una campagna d'indagine, necessaria per acquisire una maggiore conoscenza sulle caratteristiche intrinseche della struttura, o se intervenire direttamente ritenendo sufficienti i dati finora acquisiti.

Fase di anamnesi

Ricerca storica

Prima di decidere come conservare un edificio è necessario conoscere da un punto di vista storico l'oggetto in questione. Lo scopo è di acquisire una certa familiarità con il manufatto e comprendere le tecniche e le metodologie utilizzate, ricordando che con un intervento conservativo non si vuole stravolgere il comportamento della struttura bensì preservarlo.

Fasi della ricerca storica	Cosa si vuole ottenere	Dove reperire le informazioni
Informazioni generali	Periodo di costruzione della struttura	Ricerca bibliografica (enciclopedie, manuali, opere generali, monografie, riviste bibliografiche); ricerca archivistica; lettura di lapidi, epigrafi, stemmi e graffiti.
	Tipologia architettonica originaria	
	Caratteristiche della zona circostante	
	Modalità di uso dell'opera nel tempo	
Evoluzione nel tempo dell'organismo strutturale	Modifiche	Ricerca bibliografica (enciclopedie, riviste, monografie,); ricerca archivistica (Arch. Fotografico, Arch. Storico, Beni Culturali e Ambientali); lettura di epigrafi.
	Integrazioni	
	Demolizioni	
	Sostituzioni	
Sollecitazioni eccezionali	Terremoti	Ricerca bibliografica (enciclopedie, manuali, opere generali, monografie, riviste, giornali); ricerca archivistica; lettura di lapidi, epigrafi, graffiti; protezione civile.
	Inondazioni	
	Bombardamenti	
	Incendi	
	Esplosioni	
Metodi costruttivi e tecniche in uso all'epoca della costruzione della struttura	Luogo di prelievo dei materiali	Ricerca bibliografica (enciclopedie, manuali, opere generali, monografie, riviste).
	Modalità di preparazione dei materiali	
	Modalità di posa in opera	
	Organizzazione della muratura, dei solai	

Oltre ad una ricerca cartacea non bisogna dimenticare la possibilità di disporre di testimonianze dirette. Queste ultime posso arrivare da persone che hanno vissuto in prima persona esperienze inerenti il manufatto, che sono venute a conoscenza dei fatti perché vivevano nei dintorni, da vicende che si tramandano di generazione in generazione, ecc. Ovviamente queste informazioni forniranno ulteriori spunti su cui indagare, ma non andranno mai prese per buone senza verificare la loro esattezza.

Cartografia e rilievo

La disponibilità cartacea di carte e rilievi deve constare (in via del tutto indicativa) di:

- Cartografia:
 - Corografia (carte IGM) scala 1:25000;
 - Planimetria urbana (carte catastali) scale 1:2000 o 1:1000;
 - Planimetria scala 1:500 o 1:100;
- Rilievo grafico:
 - Rilievo muto³: piante, sezioni, prospetti;
 - Rilievo metrico: come sopra, con trilaterazioni⁴ e quote;
 - Rilievo architettonico: piante, sezioni, prospetti, con proiezioni dall'alto dal basso e con caratterizzazioni;
 - Rilievo dei particolari costruttivi e decorativi;
 - Rilievo delle murature (apparecchi murari, lavorazioni, moduli, materiali, finiture, intonaci, malte).

Per quanto riguarda i rilievi da eseguire la prima fase consiste nel ricercare tutta la documentazione esistente presso gli organi competenti (Soprintendenza ai Beni Architettonici, Soprintendenza ai Beni Culturali, Archivi storici, Biblioteche). Reperita tale documentazione occorre verificare sia la correttezza delle informazioni contenute, sia la loro completezza: in caso contrario occorrerà eseguire i necessari rilievi per correggere ed integrare i dati. Nel caso non fosse possibile reperire alcuna documentazione cartografica sarà necessario eseguire il rilievo della struttura. A tal proposito si può distinguere:

- rilievo diretto: viene utilizzato quando l'edificio non presenti particolari difficoltà per quanto riguarda le dimensioni o l'accessibilità delle sue parti, oppure quando non sia richiesto un livello di precisione molto elevato. Questo difficilmente si verifica in edifici monumentali; in questo caso infatti appaiono più idonei altri metodi, che devono comunque essere affiancati da una serie di misure dirette necessarie per testare la correttezza di disegni precedenti. I passi fondamentali

³ Vi appare definita con precisione la consistenza geometrica dell'edificio nei suoi pieni e nei suoi vuoti, compresi i fori da ponte e i bolzoni delle catene; non vi compaiono, invece, né misure o quote né la caratterizzazione dei materiali e del degrado.

⁴ Il metodo della trilaterazione consiste nel rilevare la posizione di ciascun punto chiave misurandone la posizione da due punti fissi, scelti di volta in volta in maniera opportuna.

del metodo diretto sono: lo schizzo, la misura a mezzo di trilaterazione o coordinate rettangolari, la restituzione in scala.

- rilievo strumentale: offre numerose garanzie circa il livello di precisione raggiungibile e consente inoltre una notevole riduzione dei tempi necessari sia al prelievo sia dalla restituzione grafica. L'uso di strumenti ottici, tuttavia, risulta più utile per il rilievo urbano e topografico piuttosto che per il singolo edificio. Gli strumenti maggiormente impiegati sono: tacheometri (per il prelievo delle misure lineari), teodoliti (per il prelievo delle misure angolari), livelli di vario tipo (per il rilievo dei dislivelli). I metodi di calcolo si basano sulla misura di coordinate rettangolari o polari mediante l'uso di poligoni.
- rilievo fotogrammetrico: avvalendosi dei principi ottici e dei procedimenti della prospettiva lineare, è volto alla determinazione dimensionale degli oggetti, con l'ausilio di una o più immagini fotografiche. Il passaggio dal fotogramma, corredato da una serie di elementi che ne costituiscono il necessario sistema di riferimento ai corrispondenti grafici della rappresentazione mongiana, viene appunto definito come restituzione prospettica. I dati forniti dalle immagini vengono elaborate da apparecchiature attraverso le quali si perviene alla rappresentazione dell'oggetto opportunamente ridotto in scala. Tali apparecchiature si avvalgono essenzialmente di tre procedimenti:
 - restituzione analogica, che consiste nella costruzione in laboratorio di un modello ottico dell'oggetto reale;
 - restituzione analitica, che fornisce le coordinate spaziali di ciascuno dei punti chiave presenti nel fotogramma;
 - ortofotoproiezione, consente la trasformazione dell'immagine fotografica in una proiezione ortogonale.

Indagine conoscitiva

Indagini geologiche e geotecniche⁵

L'accurata caratterizzazione del terreno in sito su cui poggia la struttura è una fase molto importante per la definizione complessiva del modello strutturale. Non si deve dimenticare infatti che la struttura è costituita anche dalle fondazioni e dal relativo terreno di supporto. Spesso dalla comprensione dei fenomeni di interazione tra

⁵ Per ulteriori approfondimenti si veda l'allegato B.

queste due sottostrutture nasce un'accurata diagnosi dei fenomeni di degrado dovuti a cedimento del terreno.

È evidente pertanto che le prove sul terreno devono tendere a chiarire soprattutto questi fenomeni di cedimento. Le prove sul terreno di fondazione si possono distinguere in due classi:

- prove in situ;
- prove di laboratorio.

Tra le prove in situ per stimare le caratteristiche di resistenza e di deformazione ricordiamo:

- le prove penetrometriche;
- il «vane test»;
- le indagini geofisiche;
- le indagini inclinometriche;
- indagini radar;
- prove dilatometriche.

Tra le prove di laboratorio, effettuate su campioni prelevati mediante sondaggi, ricordiamo:

- la prova edometrica;
- la prova triassiale.

Per quanto riguarda la conoscenza sulle fondazioni, in mancanza di un apparato grafico che possa chiarire le metodologie progettuali (come spesso accade nei fabbricati storici), ci si deve affidare all'indagine diretta al fine di verificare la tipologia, la profondità e lo stato di conservazione. Questo intervento può avvenire sia con mezzi meccanici ma qualora non fosse possibile dovrà essere eseguito manualmente. Nello specifico possiamo dire che l'analisi si basa sullo scavo all'interno delle murature perimetrali lungo un breve tratto di muro fino alla profondità delle fondazioni, solo così ci si può rendere conto delle dimensioni e delle caratteristiche di queste.

Oltre all'indagine diretta è possibile utilizzare prove soniche, georadar o microcarotaggi da cui si ottengono informazioni più contenute ma senz'altro meno onerose in termini di tempi di realizzazione e di invasività.

Rilievo tecnologico

Per rilievo tecnologico si intende la conoscenza delle caratteristiche intrinseche della struttura. Viene presentata nel seguito una tabella esplicativa sulle particolarità da rilevare e i relativi metodi di indagine.

Particolarità	Strumentazione o tecnica
Localizzazione di catene all'interno delle murature	Apparecchiatura magnetometrica (Pachometro)
Spessore di catene all'intero delle murature	Apparecchiatura magnetometrica (Spessimetri)
Stato superficiale di conservazione dei materiali	Termografia, analisi chimiche
Individuazione di cavità o canne fumarie	Endoscopio, georadar
Orditura dei solai (interassi, sezioni medie, ecc.)	Endoscopio, termografia,
Presenza di cordoli	
Tessitura muraria di archi e volte	Termografia
Spessore della parte strutturale di volte o muri a sacco	Endoscopio, carotatura
Aspetto degli ammorsamenti e delle giunzioni tra i vari elementi strutturali	Termografia
Presenza di eventuali anomalie localizzate nella tessitura muraria (es. aperture in seguito chiuse)	Endoscopio, termografia, metodo sonico
Conoscenza delle caratteristiche minearologiche-petrografiche, chimiche e fisiche dei materiali	Analisi di laboratorio

Rilievo del quadro fessurativo, deformativo e del degrado

A seconda di ciò che si deve rappresentare possiamo avere:

- rilievo del quadro fessurativo: piante, sezioni, prospetti, particolari con lettura e caratterizzazione delle lesioni, scale da 1:10 fino a 1:1;
- rilievo del degrado dei materiali (possibilmente secondo lessico Normal[A]), scale 1:50 fino a 1:5;
- rilievo dell'umidità e "tavola delle acque", scala da 1:50 fino a 1:10 con attenzione agli aspetti quantitativi e non solo qualitativi).

Non è solitamente necessario l'utilizzo di spaccati assonometrici o modelli in scala sempre che non si rivelino particolari necessità. Questa ultima tipologia rappresentativa è da utilizzare come supporto integrativo piuttosto che alternativo. E' altresì possibile acquisire una documentazione fotografica, avendo l'accortezza di scattare fotografie in cui si abbia un parametro che ci indichi la dimensione dell'oggetto fotografato (es. nel caso di una lesione è bene mettere nella foto anche un oggetto di dimensioni note, come può essere ad esempio una penna, tanto per avere un ordine di grandezza).

Fondamentale è eseguire un rilievo il più oggettivo possibile senza far intervenire interpretazioni personali, che possono portare a dare più importanza ad un dissesto piuttosto che ad un altro. Si riporta un elenco dei principali dissesti che si devono rappresentare e i metodi più indicati per il loro rilievo:

Dissesto o degrado	Metodi di rilievo	Dove rappresentarlo
Lesioni nelle murature (passanti-non passanti, differenziare il tratto di lesione per apertura con linee marcate o con colori, direzione di movimento dei lembi)	Metodo ultrasonico	Rilievo del quadro fessurativo
Lesioni nei pavimenti		
Lesioni a soffitto (volte, controsoffitti)		
Fuori piombo	Misuratori di angoli	
Inclinazione architravi, porte e finestre	Misuratori di angoli	
Orizzontalità dei pavimenti (inflexioni permanenti, cedimenti)		
Spaccature nelle travi dei solai o del tetto	Visivo, metodo ultrasonico	
Stato di conservazione delle teste delle travi lignee	Visivo, endoscopio	Rilievo del degrado dei materiali
Stato di conservazione dei capochiave	Visivo	
Attacco di insetti xilofagi [A] e funghi [A] su elementi lignei	Visivo, endoscopia	
Carbonatazione	Analisi chimiche, fenolftaleina	
Solfatazione	Analisi chimiche	
Rilievo dell'umidità dell'aria e delle superfici murarie [A]	Termografia, igrometro	Rilievo dell'umidità

Caratterizzazione dei materiali (conoscenze puntuali)

La definizione del modello strutturale richiede la conoscenza delle caratteristiche di resistenza dei materiali che costituiscono l'edificio. Una procedura per la stima delle caratteristiche meccaniche dei materiali si può articolare secondo i seguenti punti:

- prove non distruttive;
- prove distruttive in sito;
- prelievi su cui effettuare prove di laboratorio.

È necessario osservare che le prove non distruttive (PND) forniscono risultati attendibili relativi alla «variazione di qualità» di un materiale, piuttosto che alla «qualità» del materiale stesso. In altri termini le PND possono essere effettuate dove e quando serve ma sono prove di tipo indiretto che quindi vanno tarate mediante prove di tipo distruttivo.

Le prove distruttive devono essere scelte per tipo, numero, disposizione in modo da:

- non provocare danni all'edificio, sia dal punto di vista strutturale che estetico;
- risultare rapide, agevoli, non troppo onerose economicamente;
- consentire una caratterizzazione affidabile.

Nell'indagine di dettaglio l'estrazione di campioni è sempre distruttiva e pertanto si dovranno assumere le dimensioni minori possibili del campione. Tali dimensioni non possono d'altronde essere troppo ridotte perché questo toglie rappresentatività alla prova soprattutto quando si abbia a che fare con materiali eterogenei, quali le murature.

Nella ricerca dei parametri meccanici andranno pertanto associate:

- poche prove distruttive (di taratura);
- molte prove non distruttive (di confronto).

Prima di proseguire nella fase di caratterizzazione è necessario aver ben chiaro:

- cosa vogliamo ottenere;
- come possiamo ottenerlo;
- i limiti del metodo utilizzato e quindi la sua attendibilità;
- un'idea seppur vaga dei risultati.

Viene di seguito riportato uno schema comprensivo di prove non distruttive e distruttive da eseguire in sito; fase successiva sarà analizzare il prelievo, le prove eseguibili sui provini estratti e i risultati ottenibili.

Grandezza da determinare	Strumento o tecnica da utilizzare
Identificazione zone omogenee	Metodi sonici e/o ultrasonici
	Microcarotaggi profondi
	Endoscopia ⁶
	Termografia ³
Resistenza a compressione del materiale	Sclerometro
	Metodo di estrazione
	Penetrometro
	Microcarotaggi
Resistenza a taglio del materiale	Prova di resistenza a taglio in sito ⁷
Modulo elastico del materiale	Metodi sonici
	Metodi ultrasonici

Lo strumento più frequentemente usato per il prelievo di campioni in muratura è il carotiere a corona diamantata, utilizzato a semplice rotazione o a rotopercolazione, in presenza o meno di acqua. Il diametro delle carote deve essere tanto più grande quanto maggiore è l'eterogeneità delle murature oppure le dimensioni dei mattoni. Il prelievo va effettuato in zone poco danneggiate e senza discontinuità. Dalle carote si ricavano campioni di altezza pari ad almeno due diametri. Su questi si determina:

- il peso per unità di volume;
- il peso specifico assoluto;
- la resistenza a compressione;
- la resistenza a trazione.

Sui campioni si effettuano inoltre prove non distruttive che servono per la taratura dei risultati ottenuti in sito con il medesimo metodo.

Le prime due prove consentono di definire la porosità del materiale. Dalla seconda e terza si risale alla valutazione del dominio di rottura del materiale.

Le prove di compressione vanno effettuate su un numero significativo di campioni (almeno maggiore di tre). Strumentando il campione cilindrico con due estensimetri elettrici paralleli all'asse e due lungo la circonferenza si può valutare in modo diretto il modulo elastico E ed il coefficiente di Poisson (ν) definiti rispettivamente come il rapporto tra sforzo e deformazione lungo l'asse e come il rapporto tra la deformazione trasversale e quella assiale. Ai fini di una più completa

⁶ Consente di rilevare disomogeneità a carattere grossolano.

⁷ Si veda la parte sui martinetti piatti in allegato A.

caratterizzazione del materiale conviene ripetere queste prove non solo sui campioni di muratura ma anche sui suoi componenti (mattoni o pietra e legante).

Le prove a trazione diretta sono difficili da effettuare e vengono spesso sostituite da prove indirette, tra cui la prova « brasiliana » nella quale vengono applicati carichi a compressione lungo due generatrici, diametralmente opposte della carota.

In generale la caratterizzazione del materiale composito «muratura» risulta difficile data la sua eterogeneità e la sua fragilità, proprietà che spesso rendono inutilizzabili i risultati ottenuti su campioni piccoli oppure su campioni disturbati durante l'estrazione ed il trasporto. Un approccio alternativo è quello delle prove meccaniche in laboratorio su campioni di grandi dimensioni, indisturbati. Le prove più usuali sono quelle a compressione, quelle a taglio (o a compressione diagonale) e quelle a taglio su prismi in muratura. In entrambe le prove il campione di muratura deve contenere almeno 4-5 corsi di mattoni e l'eventuale trasporto deve avvenire usando molte precauzioni. Un accorgimento rivelatosi efficace è l'adozione di tirantini metallici di contenimento che contrastano su piastre metalliche poste alle estremità superiore e inferiore del prisma allo scopo di evitare la decompressione del materiale. Nel caso del legno si ha una forte anisotropia; ha una resistenza a trazione parallela alle fibre 3÷4 volte maggiore della resistenza a compressione, questo perché subentrano fattori di instabilità. Quindi ruolo fondamentale assume la lunghezza del provino su cui fare le prove (provino sezione quadrata con lunghezza 3÷6 volte la base).

Una volta acquisiti i dati si deve effettuare l'elaborazione dei risultati: occorre omogeneizzare i risultati delle varie prove tenendo conto delle eventuali diversità geometriche dei provini, metodo di prova, disturbo arrecato nell'estrazione o nelle prove in sito.

Misura della risposta strutturale

Le prove per la misura della risposta strutturale hanno lo scopo di valutare la bontà del modello strutturale adottato (schema geometrico, vincoli, caratteristiche dei materiali) in modo da poter prestare fede ai risultati teorici ottenuti e quindi alle verifiche di sicurezza operate per mezzo di queste. La definizione del modello strutturale richiede la conoscenza delle caratteristiche di deformabilità dei materiali che costituiscono l'edificio. L'informazione sulla deformabilità infatti è indispensabile per valutare la risposta della struttura in funzione dei carichi applicati. L'informazione sulla resistenza consente una prima valutazione, almeno locale, del margine di sicurezza che la struttura attualmente presenta, definito come rapporto tra

lo stato di tensione di esercizio e lo stato di tensione che provoca la rottura del materiale. Tali prove consistono in:

- prove di carico;
- prove dinamiche.

Le prove di carico. Tali prove vengono effettuate usualmente sugli orizzontamenti, sulle scale e gli sbalzi, oppure sulle coperture. Molto più raramente le prove di carico interessano le fondazioni o le murature in elevazione per gli ingenti carichi che risulterebbero necessari.

La prova di carico consiste nel caricare progressivamente la struttura e nel monitorare gli spostamenti in alcuni suoi punti. È conveniente registrare non solo gli spostamenti nelle zone di freccia massima ma anche gli spostamenti dei punti di appoggio (dovuti al cedimento eventuale di tali zone) per ottenere le frecce nette della sottostruttura oggetto di prova. L'ulteriore registrazione degli spostamenti ai quarti della luce consente di definire il grado di incastro di estremità di una trave, valutandone così correttamente lo schema statico.

La prova di carico può risultare pericolosa quando la struttura sia deteriorata e quindi è opportuno procedere ad una incastellatura preventiva di sicurezza o, in alternativa, a un controllo continuo del legame carico-spostamenti al fine di evidenziare immediatamente ogni anomalo scostamento dalle linearità (indice di rottura) e sospendere la prova. La moderna tecnologia ha tuttavia messo a disposizione vasconi di carico, materassi ad acqua, martinetti idraulici per la zavorra. Per la misura degli spostamenti si utilizzano flessimetri, trasduttori elettrici e per la restituzione grafica in tempo reale delle prove impianti automatici di registrazione.

Le prove dinamiche. Il metodo di prova consiste nel rilievo e interpretazione dei dati relativi alla risposta di una struttura soggetta ad un'eccitazione dinamica. Le sollecitazioni dinamiche che vengono indotte alla struttura o che sono presenti al momento del controllo e che comunque la pongono in vibrazione, possono essere di due tipi:

- sollecitazioni deterministiche quali impulsi, forzanti sinusoidali;
- sollecitazioni random.

Gli impulsi si possono indurre con corpi in caduta libera da determinate altezze o per mezzo di martelli strumentati dotati di trasduttori di forza capaci di misurare l'impatto. I martelli strumentati trovano applicazione nell'analisi di piccole strutture o di strutture molto flessibili. Le forzanti sinusoidali vengono invece indotte per mezzo di vibrodine meccaniche (a masse eccentriche controrotanti), servoidrauliche o elettrodinamiche. Solo grosse e costose vibrodine possono efficacemente sollecitare

le strutture che più comunemente rientrano nella sfera di nostro interesse. In genere si possono più semplicemente impiegare:

- il traffico veicolare di esercizio;
- il rumore ambientale;
- il vento.

Le sollecitazioni suddette sono di tipo random e tramite l'uso di opportune tecniche di elaborazione dei segnali è possibile giungere ad esaurienti letture della risposta strutturale.

Tutte le grandezze fisiche possono essere misurate con dei trasduttori che abbiano frequenza propria di vibrazione almeno doppia di quella massima in ingresso. Sarà allora possibile impiegare trasduttori di spostamento, di pressione, di forza, tenendo però presente che, sulla base della grandezza che si vuole misurare, sarà necessario un riferimento fisso esterno alla struttura sotto indagine. Per questo motivo, solitamente, si usano dei trasduttori detti appunto inerziali, che misurano la velocità o l'accelerazione di una massa posta al loro interno, rispetto alla carcassa esterna che si rende solidale ad un punto della struttura. Esistono gli accelerometri induttivi, resistivi, capacitivi, che prendono il nome dal loro principio di funzionamento. Oggi si usano spesso gli accelerometri preamplificati che recano al loro interno un amplificatore in miniatura; il segnale in uscita è in Volt e può essere molto grande anche per valori di accelerazione molto piccoli. Nel caso di strutture soggette al solo rumore ambientale o microsismico si possono usare i sismometri, i quali rilevano la velocità del punto cui sono solidali e riescono a fornire segnali di sufficiente entità anche per vibrazioni contenute. Il costo notevole e l'ingombro della massa li rendono però poco diffusi.

Monitoraggio

In questa fase il monitoraggio ha la funzione di verificare se un dissesto è attivo oppure ha raggiunto una configurazione stabile. Il controllo nel tempo dei dissesti presenti nelle costruzioni di interesse storico-monumentale viene normalmente effettuato con sistemi di monitoraggio che forniscono informazioni in tempo reale. Lo sviluppo tecnologico ha reso sorpassate le operazioni di lettura manuale che, essendo vincolate alla necessità di accedere alle numerose postazioni di misura e alla disponibilità del tecnico, rendono difficoltosa e onerosa l'operazione di rilevamento. I sistemi moderni hanno la possibilità di ricevere le informazioni in tempo reale, direttamente via linea telefonica, in uno o più centri operativi dotati del necessario hardware e software per elaborare ed archiviare i dati raccolti. Tale sistema di

acquisizione automatica dei dati permette quindi un controllo con possibilità di lettura a distanza. Il sistema garantisce inoltre un controllo di tipo continuo nel tempo senza limitazioni al software gestionale per l'acquisizione e la successiva elaborazione dei dati raccolti.

La scelta del tipo di misurazioni che si intendono eseguire è essenzialmente determinata dalle caratteristiche della struttura dell'edificio che si intende monitorare e dagli scopi a cui è finalizzato il monitoraggio. Comunque si tende sempre a prendere in esame un numero di grandezze ridondante, per poter così monitorare sia i movimenti d'insieme delle strutture, sia i fenomeni deformativi locali.

Nella tabella seguente vengono indicate le misurazioni atte a rilevare vari fenomeni di dissesto con i rispettivi strumenti per monitorarli.

Parametri da monitorare	Strumenti
Stato termoigrometrico dell'ambiente e della muratura	Sonda temperatura e sonda umidità
Stato fessurativo	Captatori di spostamento
Spostamenti globali della struttura	Inclinometro, pendolo
Cedimenti differenziali	Livellometro (assestimetri a mercurio)
Cedimenti delle fondazioni	Estensimetri
Livello idrico delle falde	Piezometri elettrici e manometri
Stato delle tensioni interne	Strain gage
Radiazione solare	Trasduttori della radiazione solare
Direzione e velocità del vento	Anemometro
Stato di sollecitazione delle catene o tiranti	Strain gage

Caratteristiche di una campagna di monitoraggio sono:

- il numero di sensori;
- la durata;
- la frequenza di lettura.

E' evidente che il progetto relativo al posizionamento dei sensori, la scelta delle grandezze da monitorare e la stessa operazione di montaggio dei sensori hanno un'importanza fondamentale al fine di ottenere dati significativi.

Analisi strutturale

Per comprendere il comportamento delle strutture e saperne prevedere la risposta sotto assegnate condizioni di uso è indispensabile formulare un modello strutturale. I calcoli di verifica si riferiscono infatti sempre ad una schematizzazione, più o meno spinta, del complesso strutturale. Nell'operare tale schematizzazione è necessario trovare un compromesso tra semplicità e realismo del modello: è importante cioè evidenziarne gli aspetti essenziali.

La documentazione complessivamente disponibile ottenuta dalle indagini in precedenza richiamate, permette di formulare alcune ipotesi di comportamento strutturale dell'edificio; soprattutto permette di effettuare una serie di controlli sui risultati derivati analiticamente mediante un modello matematico.

Occorre sottolineare che pur avendo a disposizione strumenti matematici di analisi estremamente potenti, il loro utilizzo risulta spesso problematico. A fianco delle complessità dello strumento esiste spesso un'obiettivo difficoltà di chiarire le condizioni al contorno, ovvero l'esatta geometria, la natura dei vincoli di collegamento tra le varie parti, le caratteristiche meccaniche dei materiali e le effettive distribuzioni dei carichi.

Schemi statici elementari

Per i motivi suddetti si ricorre spesso all'analisi di modelli semplificati o approssimati. Il più comune è quello che consente di passare da strutture a comportamento bi- e tri-dimensionale a strutture più facilmente analizzabili, cioè a comportamento monodimensionale. Alcuni esempi notevoli sono:

- la sostituzione di impalcati orizzontali di tipo piastra con impalcati composti da travi accostate;
- la sostituzione di sistemi a volte di una certa estensione con sistemi ad arco;
- la sostituzione di lastre di parete bidimensionale con un traliccio di bielle ideali in cui vengono incanalate le tensioni.

Su questa linea si inserisce l'operazione, usuale nella pratica, di analizzare la struttura per componenti separate (sottostrutture) invece che come un tutt'uno. L'unico legame tra le varie parti è costituito dal mutuo scambio delle azioni ai contorno, dove i vincoli vengono schematizzati nel modo più semplice. Un'ulteriore schematizzazione che si può adottare è considerare i materiali (ferro, legno, muratura) come elastici lineari isotropi, pur sapendo che hanno un comportamento di

tipo non lineare e per lo più anisotropo. Questa semplificazione è però usualmente sufficiente per verifiche rapide in fase di diagnosi.

Statica grafica

La statica grafica dapprima molto utilizzata, poi, con l'avvento dei computer dimenticata e poi ritornata in auge grazie ai programmi cad, si presenta come un metodo agevole per la verifica statica di elementi strutturali. L'alta precisione raggiungibile con programmi di cad parametrici⁸ fa sì che questa tecnica sia ottimale per verificare archi, volte, cupole e murature. Inoltre la complessità geometrica ben si presta al disegno grafico piuttosto che alla modellazione agli elementi finiti. La statica grafica sfrutta costruzioni geometriche quali la determinazione del baricentro, la somma di più vettori e la costruzione del poligono funicolare. Rimandando a [..Giuffrè.La meccanica dell'architettura.]per una trattazione esauriente, si ricorda la costruzione del Mery, per archi simmetrici caricati simmetricamente.

Modelli numerici

Un'indagine di tipo numerico, eseguita col metodo degli elementi finiti, consente di simulare la struttura reale sulla base della sua geometria e delle proprietà dei materiali; consente altresì di simulare il suo comportamento sia in campo statico, che in campo dinamico. La validità dei risultati è condizionata però all'ipotesi che il modello sia fedele all'edificio reale che deve simulare: a questo si mira perfezionando una ipotesi di partenza, che viene poi corretta, confrontando le risposte che essa dà con i dati dei rilievi sulle lesioni, con le informazioni di tipo storico sui dissesti patiti e, infine, quando disponibile, con le misure degli spostamenti relativi delle masse strutturali in punti significativi, ottenuti con osservazioni di tipo continuo (monitoraggio).

La disponibilità di un modello attendibile del comportamento dell'edificio è di grande importanza per valutare la gravità della condizione statica. Si possono:

- individuare le zone di alta concentrazione della tensione nelle quali non si sono finora avute manifestazioni apprezzabili di rotture, ma che si pongono tendenzialmente come sedi di dissesto;

⁸ Programmi che consentono il calcolo automatico di aree, baricentri, ecc. e in cui è possibile variando un parametro ottenere l'aggiornamento automatico del disegno.

- simulare eventi esterni, quali cedimenti del piano fondale, vibrazioni e sismi, pericolosi per la stabilità del manufatto, vedendo quali conseguenze essi abbiano sul piano del suo equilibrio statico;
- individuare i provvedimenti indispensabili, ma al contempo minimi e congruenti con la struttura esistente, atti a garantirne la stabilità.

Infine la disponibilità di un modello attendibile di comportamento statico permette di selezionare quali siano i parametri significativi atti a caratterizzarlo; infatti, quando gli spostamenti di alcuni punti dell'edificio ritenuti significativi documentati per un periodo di tempo sufficientemente lungo (a mezzo di monitoraggio), vengono interpretati (a mezzo di un modello numerico) come facenti parte del comportamento normale della struttura, diventa plausibile assumere proprio questi spostamenti come indici dello stato di salute dell'edificio. Da questo momento in poi l'osservazione degli spostamenti (sempre acquisita col monitoraggio) servirà a verificare che nulla di eccezionale stia avvenendo; e se poi le soglie prefissate a tali spostamenti dovessero venire superate, ciò vorrà dire che la struttura ha cominciato a rispondere in modo nuovo rispetto a quanto atteso sulla base dei rilievi sperimentali e del modello teorico. Possono quindi essere insorti motivi di allarme.

Modelli fisici

Per modello fisico di un oggetto si intende la realizzazione in laboratorio di una copia (che può essere in scala oppure no) il più possibile fedele a quello di partenza. Nel caso dell'ingegneria tale modello può rappresentare l'intero edificio oppure gli elementi strutturali più critici dei quali si intende indagare a fondo il comportamento. Tale approccio si presenta molto utile anche per quantificare gli effetti di tipo dinamico, siano essi originati dal vento, dal sisma o dalle onde. L'identificazione di una struttura sottoposta a rilevanti carichi dinamici è, infatti, molto spesso complicata e insidiosa se compiuta solo per via numerica, in quanto è sempre molto difficile modellare a priori le non linearità presenti.

A favore dei modelli fisici abbiamo la possibilità di:

- verificare dei modelli numerici esistenti;
- fornire dati sul comportamento di sistemi strutturali complessi o su fenomeni difficili da modellare analiticamente;
- valutare e quantificare il danneggiamento.

A fianco di questi vantaggi abbiamo però anche degli svantaggi:

- l'aderenza del modello con la struttura reale (svantaggio, questo, in comune con il metodo agli elementi finiti), dovuta alla difficoltà nell'interpretare situazioni

non sempre facili, come possono essere particolarità geometriche, caratteristiche dei materiali;

- la difficoltà di realizzazione della prova nello studio di strutture grandi dimensioni;
- l'approvvigionamento di materiali e manodopera.

Rimane inoltre il problema della similitudine. Se infatti il modello è in scala geometrica ridotta, per correlare i suoi dati di risposta con quelli reali occorre che le grandezze che lo caratterizzano ed in particolare le costanti fisiche-geometriche del materiale che lo costituisce soddisfino opportune condizioni di similitudine e ciò induce difficoltà soprattutto per le strutture in muratura, cui è difficile associare un modello fedele in scala ridotta.

Per questi motivi i modelli numerici nella pratica corrente sono preferibili a quelli fisici; questi ultimi sono utilizzati soprattutto in ambito di ricerca, dove si richiedono risultati su cui basare poi dei modelli e si hanno a disposizione maggiori fondi per compiere tali studi. I risultati ottenuti con le prove sperimentali non devono costituire un compartimento isolato ma andare ad interagire con i modelli numerici.

In campo sperimentale le prove comunemente utilizzate sono:

- prove dinamiche su tavola vibrante[A];
- prove quasi statiche[A];
- prove pseudodinamiche[A];
- prove in galleria del vento.

Le prove pseudodinamiche e su tavola vibrante sono adatte a simulare l'effetto del sisma, le prove in galleria del vento l'effetto di questo e le prove quasi statiche vanno più o meno bene per entrambi. C'è da dire che mentre il sisma è un pericolo sempre in agguato per gli edifici storici, il vento è in genere per questi ultimi un problema marginale, mentre diventa molto rilevante per edifici nuovi molto arditi quali ponti di grande luce e grattacieli.

Diagnosi

Collocata come cerniera tra le analisi e le decisioni sugli interventi, la fase di diagnosi comporta interpretazioni dalla cui correttezza possono dipendere in grande misura l'esito dei restauri strutturali e la vita futura dell'edificio.

Tipologie di dissesto

Nell'individuare le principali cause di dissesto si ritiene corretto evidenziare quelle intrinseche alla struttura da quelle estrinseche, ma anche tra quelle a carattere naturale e quelle causate dall'uomo.

Possiamo pertanto distinguere:

- cause intrinseche dovute:
 - al sito (zone malsane particolarmente esposte a severe condizioni atmosferiche);
 - ai difetti di progettazione (errori strutturali, scelta dei materiali);
 - al cantiere di costruzione (disonestà o ignoranza da parte dell'esecutore dell'opera);
 - ai materiali;
 - alla destinazione d'uso;
 - alle tecnologie costruttive;
- cause estrinseche naturali dovute:
 - ad azione prolungata nel tempo di fattori naturali:
 - umidità (può ricondursi a: umidità di costruzione, risalita capillare, igroscopicità, condensazione dell'umidità atmosferica, infiltrazioni);
 - fattori meteorologici e climatici (azione della pioggia, nebbia, grandine, neve, rugiada, brina, galaverna, vento, termoclastismo, crioclastismo);
 - inquinamento naturale⁹ (pollini, anidride solforosa e solforica, cloruri, idrocarburi, nitrati);
 - aggressione biologica (insetti, funghi, batteri, guano degli uccelli);
 - fattori geologici ad andamento progressivo (bradisismi¹⁰, subsidenze¹¹);
 - ad azione improvvisa:
 - fattori meteorologici eccezionali (tifoni, trombe d'aria, uragani);
 - fattori geologici e idrogeologici (eventi sismici, eruzioni vulcaniche, frane, alluvioni);
 - incendi;
- cause estrinseche antropiche:
 - trasformazioni, modifiche e cambi di destinazione d'uso;
 - abbandono, incuria;

⁹ Dovuto ad inquinanti provenienti da fonti naturali quali vulcani, mare ecc.

¹⁰ Bradisismo: lento movimento del terreno legato alla dinamica della litosfera.

¹¹ Subsidenza: spostamento del terreno legato a contingenze locali.

- interventi sull'ambiente (frane, alluvioni, subsidenze dovute a sfruttamento indiscriminato);
- inquinamento (veicolare ed industriale);
- sollecitazioni sismiche artificiali (traffico veicolare);
- correnti vaganti (correnti elettriche disperse nel terreno).

Con riguardo agli edifici storici, quindi con un passato piuttosto vasto, si può evidenziare le cause di dissesto in due grandi categorie in base alla durata della loro azione, si distingue:

- degrado (lentamente nel tempo ma inesorabilmente, è indice della vita residua della struttura) dipende dal grado di manutenzione dell'edificio e può essere dovuto a:
 - degradazione meteorica (termoclastismo, crioclastismo, azione della pioggia, umidità)
 - escursioni termiche (giornaliere o stagionali)
 - attacco biologico (insetti, funghi, batteri)
 - gas nocivi (anidride carbonica, anidride solforosa) o particelle sospese (fumi neri)
- danneggiamento (per un evento traumatico, che si verifica in un determinato istante rispetto alla vita della struttura)
 - sismico;
 - idrogeologico (inondazioni, frane, cedimenti, erosione, fenomeni carsici).

Interpretazione dello stato attuale

I criteri sui quali si basa la diagnosi nella prassi corrente risentono di fattori molto soggettivi; ciò è in parte inevitabile e in parte evitabile con un approccio maggiormente scientifico e rigoroso.

Ottenuto dalle analisi il maggior numero possibile di elementi per l'identificazione della struttura, scopi fondamentali della diagnosi sono:

- individuazione delle cause che possono aver modificato la struttura rispetto a quella originaria;
- possibili mutamenti futuri;
- il tempo limite entro il quale è necessario intervenire affinché il manufatto non scenda sotto un livello di ammissibilità;
- il giudizio, possibilmente quantitativo, sulla sua sicurezza attuale.

Tutti gli effetti sono legati a delle cause; purtroppo tale relazione non è biunivoca; ossia noti gli effetti esistono più cause che possono averli prodotti. Sta proprio nella fase di anamnesi e nell'abilità del tecnico nel rendere tale legame univoco.

Giudizio di sicurezza

Obiettivo della diagnosi è, come già detto, la valutazione del livello di sicurezza della struttura nei confronti di una situazione di esercizio attuale oppure ipotetica. Il modello strutturale formulato nelle fasi precedenti consente di valutare le risorse di sicurezza che la struttura possiede attualmente. Se questo grado di sicurezza è accettabile si può evitare qualunque tipo di intervento o ci si limita ad interventi che rallentino o arrestino il degrado. Se, pur tenendo conto di tutte le riserve di sicurezza che usualmente si trascurano (collaborazioni tra i vari elementi, capacità di adattamento, effetti del secondo ordine), il grado di sicurezza è troppo ridotto, si passa ad una fase di intervento.

Interventi e possibili alternative

Tipologie di interventi

Nei lavori di consolidamento è indispensabile tenere presente alcune norme che portano alla corretta soluzione del problema. Tra queste ricordiamo:

- scrupolo nella scelta dei materiali da costruzione;
- preventivo approvvigionamento dei mezzi d'opera, dei macchinari, degli attrezzi, degli utensili, ecc;
- maestranze capaci, intelligenti, con piena comprensione delle responsabilità;
- permanenza di un assistente fidato e capace sul luogo dei lavori;
- chiusura del cantiere per ragioni di sicurezza e per evitare gli intralci dovuti alla curiosità del pubblico;
- sgombero dei locali quando i dissesti suscitino dei timori sulla sicurezza e i lavori impongano un impegno di locali incompatibile con il loro uso;
- collaborazione tra il direttore dei lavori e l'impresa in un atmosfera di reciproca stima e di mutua comprensione;
- predisposizione del piano di esecuzione dei lavori per coordinarne le varie operazioni nell'ordine di successione e nelle modalità di esecuzione;
- all'atto esecutivo: accertamenti suppletivi con rimozione di intonaco e prudenti saggi nelle strutture per le eventuali rettifiche del piano di esecuzione;

➤ scrupolo e oculatezza durante l'esecuzione dei lavori.

Queste sono solo alcuni dei motivi che portano un intervento ben diagnosticato e progettato alla sua efficacia.

In questa fase assume importanza anche il monitoraggio sia durante l'esecuzione dell'intervento, al fine di verificare che non subentrino situazioni di pericolo, sia alla fine in maniera tale da verificarne l'efficacia.

Opere provvisionali

Con opere provvisionali si intende tutte quelle opere aventi funzione di:

- urgenza: arresto di dissesti in atto, sicurezza nei confronti di eventi probabili;
- prevenzione: opere da mettere in atto prima di un intervento di consolidamento per garantire la sicurezza durante i lavori;
- intervento definitivo: può verificarsi ad esempio nel caso di un monumento storico, che per una certa condizione di dissesto non ci siano tecniche in grado di dare risultati accettabili, si deve allora operare con criteri di reversibilità cioè con un intervento in grado di poter essere rimosso senza intaccare la struttura storica.

Il meccanismo esercitato dall'opera provvisoria può essere di:

- sostegno: necessario per dissesti che si esplicano attraverso moti di traslazione verticale;
- ritegno: necessario per dissesti che si esplicano attraverso moti di rotazione.
- sostegno e ritegno.

Al fine di ottenere tali risultati si può considerare due soluzioni tecniche:

- puntelli: elementi che lavorano a compressione e aggiungono dei vincoli esterni alla struttura;
- tiranti: elementi che lavorano a trazione, servono per lo più a dare luogo ad azioni autoequilibrate collegando tra loro parti diverse della struttura (si cerca di rendere solidale la parte che sta cedendo con il resto della struttura).

I puntelli possono essere in legname, in ferro, in muratura e in calcestruzzo armato; possono assolvere la funzione di sostegno, di ritegno o di ritegno e sostegno contemporaneamente.

I tiranti per lo più metallici svolgono la funzione di ritegno. Sono costituiti dal tirante propriamente detto (che consiste in un ferro tondo o quadro o piatto), dai capichave (a paletto, a piastra o a imbracatura di paletti e traverse) e qualora necessario da giunti di connessione o tensione a seconda della funzione che esprimono.

Per maggiori approfondimenti si rimanda a [..Mastrodicasa..]

Gli interventi

Partendo dal presupposto che la gamma degli interventi è molto ampia, si possono identificare, in ambito del tutto teorico, quattro classi di interventi:

- interventi di salvaguardia: tendono ad impedire il progresso di una situazione già critica e la sua degenerazione. Sovente sono decisi dopo calamità naturali, a seguito di crolli parziali e di gravi sintomi di collasso imminente. Caratteristica dei provvedimenti di salvaguardia è la loro provvisorietà; essi infatti presumono che a tempi brevi venga effettuato un altro intervento, che in genere è destinato a cancellare ogni traccia di quello di salvaguardia. Altra caratteristica, strettamente legata alla provvisorietà, è il fatto che essi non modificano la struttura portante dell'edificio, ma semplicemente le associano un'altra struttura (ne sono un tradizionale esempio le puntellazioni viste in precedenza) per colmarne le lacune.
- interventi di riparazione: hanno come campo d'influenza edifici che erano in condizioni di sicurezza accettabili, prima che un evento producesse deterioramenti. Elementi caratterizzanti la classe delle riparazioni sono dunque anzitutto l'esistenza di un danno ed inoltre un obiettivo limitato al ripristino delle condizioni precedenti.
- interventi di rafforzamento: presumono che il livello di sicurezza, indipendentemente dal fatto che sia subentrato un danno, sia insufficiente e sia quindi necessario elevarlo, con interventi circoscritti o globali, che devono lasciare praticamente immutate la tipologia, le dimensioni e il materiale dell'organismo portante.
- intervento di ristrutturazione: viene utilizzato per migliorare le condizioni igieniche, ambientali e abitative, per ripristinare espressioni architettoniche alterate, per adattare a nuove esigenze.

Nella pratica dobbiamo sapere che si può intervenire:

- sull'ambiente, al fine di evitare che l'evento si verifichi;
- sulla struttura, diminuendo il grado di vulnerabilità (miglioramento sismico, rinforzi).

E' altresì importante capire quali possono essere le motivazioni che ci spingono a intraprendere lavori di consolidamento:

- prevenzione nei confronti di:
 - degrado: rallentando il degrado;
 - danneggiamento: miglioramento;
- a seguito di dissesto:
 - fondazioni degradate;

- interventi di trasformazione;
- perdita di funzionalità di catene;
- eventi traumatici: sisma, fulmine, esplosioni.

E' possibile che per la stessa patologia si prospettino più interventi realizzabili, si sceglierà allora il migliore in termini di:

- efficacia;
- reversibilità;
- costi;
- invasività;
- durabilità.

In appendice si riporta uno schema che riassume sulla base delle problematiche che si presentano una serie di interventi possibili.

Alternativa all'intervento

Monitoraggio

Il monitoraggio continuo visto come alternativa all'intervento si presenta innanzitutto come forma di prevenzione allo stato di avanzato degrado in cui la struttura in esercizio può andare incontro, compromettendo la propria stabilità. Il monitoraggio si rende quindi non solo utile, ma anche necessario per salvaguardare la sicurezza degli utenti e visitatori dei monumenti stessi. Oltre a quanto visto nel paragrafo 1.3.3 si può intraprendere anche un monitoraggio atto ad acquisire dati sulla risposta dinamica della struttura.

Limitazioni d'uso

Le limitazioni d'uso sono provvedimenti atti a prevenire possibili situazioni di rischio per l'utenza della struttura. Piuttosto che ricorrere ad un intervento per migliorare l'efficienza di un edificio, si può optare per limitarne la fruibilità, andando così a ridurre i carichi accidentali. Tale limitazione si dovrà valutare sulla base della capacità portante dell'edificio nella situazione attuale.

Destinazione d'uso

Può succedere che un edificio storico sia idoneo per una certa destinazione d'uso e non per un'altra (es.: una struttura che deve essere sottoposta ad un intervento di ridestinazione d'uso potrebbe essere più adatta ad ospitare un museo piuttosto che

una biblioteca poiché, essendo i carichi di quest'ultima maggiori, la struttura necessiterebbe di un intervento massiccio che si potrebbe evitare soltanto attribuendo una destinazione d'uso corretta). Piuttosto che intervenire massicciamente sulla struttura, può rivelarsi efficace la soluzione di porre delle limitazioni alle attività del fabbricato indicando quali sono le possibili destinazioni che non mettono in pericolo la struttura.