

## TECNICHE NON DISTRUTTIVE PER LA DIAGNOSI DEL COSTRUITO

Tecniche non distruttive calate anche alla scala dei beni architettonici.

Quali sono le indagini di cui si occupa il laboratorio del Politecnico di Torino. È collocato al Galileo Ferraris, fondato nel 1993. Il laboratorio si occupa di tre tecniche non distruttive: la termografia all'infrarosso, la videoendoscopia e la penetrometria lignea. In laboratorio si fa supporto alla didattica istituzionale, ospitando collaboratori e stagisti. Sezione legata alla ricerca, sia di base che applicata, orientata alla termografia all'infrarosso. Altra grande fetta è l'attività in situ per conto di terze parti, che permette di mantenere la struttura e acquistare nuove strumentazioni. Lavoro indirizzato a ridurre tempi e costi, pur mantenendo confini scientifici molto rigorosi.

Quando si affronta lo studio di un oggetto in generale, che è archivio di sé stesso. La materia fornisce tantissime informazioni, da affiancare a ricerche storiche e scientifiche. Soprattutto esami obbiettivi, no anamnesi, ma piuttosto analisi atte a gettare le basi per la diagnosi dell'edificio. Quando si affronta l'esame obbiettivo, bisogna valutare sia gli aspetti geometrici e tecnologici, sia quelli costitutivi, sia gli aspetti statici e cinematici. Tutto ciò può avvenire tramite rilievo geometrico (permette di leggere in superficie, caratteristiche dimensionali), che attraverso rilievo tecnologico (permette di indagare in profondità la materia dell'oggetto). Le indagini consistono in un insieme di operazioni che sono conoscenza, analisi, controllo e verifica della sostanza di un oggetto. Queste indagini possono essere sia di tipo distruttivo, oppure non distruttivo. Quest'ultimi sono quelle indagini che non arrecano, o arrecano una minima alterazione della materia dell'oggetto. È quindi possibile eseguire delle "letture sotto pelle", cioè leggere oltre l'intonaco senza rimuoverlo. Le prove non distruttive si possono dividere in prove invasive e non invasive. L'indagine termografica è un rilievo a distanza, quindi non altera minimamente la materia dell'oggetto. La tecnica video-endoscopica può essere una tecnica non distruttiva invasiva o non invasiva. Se la sonda viene inserita all'interno di una cavità naturale si parla di tecnica non invasiva. Se per raggiungere la cavità che voglio ispezionare è invece necessario praticare un foro di piccole dimensioni (1cm, 1,2 cm max) si parla di tecnica invasiva. In entrambi i casi rimane non distruttiva perché la materia che asporto è minima rispetto alla massa dell'oggetto. La penetrometria lignea usa una strumentazione che produce dei fori inferiori ai 3mm, quindi anche questa invasiva. In letteratura italiana è possibile trovare anche degli acronimi per queste tecniche:

- CND = Controlli non distruttivi
- PND = Prove non distruttive
- IND = Indagini non distruttive
- NDT = Non destructive testing (letteratura straniera)

### Termografie all'infrarosso

Strumentazione che assomiglia ad una telecamera. Ha una lente che rileva una parte della radiazione infrarossa emessa dagli oggetti. Ogni oggetto che si trova ad un T superiore allo zero assoluto emette energia elettromagnetica, una parte di questa si trova nello spettro dell'infrarosso, una parte nel lontano infrarosso, dove lavorano le strumentazioni civili e di rilievo. Lunghezze d'onda tra i 9 e i 12 micrometri. La lente acquisisce la radiazione e la trasforma in un'immagine in falsi colori, detto anche termogramma, ovvero una rappresentazione grafica della temperatura. Immagine finta con affianco una scala di temperature intervallate e relativi colori associati. Impronta termica della superficie dell'oggetto. Le immagini in scala di grigio ci permettono di definire meglio la tessitura muraria al di sotto dell'intonaco. L'output dello strumento non solamente un'immagine, ma anche una matrice di temperatura. Ad una piccola porzione di un termogramma corrisponde una matrice molto grande di temperature. Lo strumento è uno "scanner".

Importanti le condizioni atmosferiche, che possono alterare i risultati. Fotografa la temperatura apparente e non assoluta perché, dato che ogni oggetto ha la propria emissività e nell'ambiente ci possono essere oggetti che riflettono sulla superficie presa in esame della radiazione. Io imposto l'emissività media dallo strumento. Non mi interessa la temperatura assoluta dell'oggetto, ma mi interessa la differenza di T tra un punto dell'oggetto e il suo intorno, per vedere eventuali anomalie, studiando poi la parte sana e quella anomala. Analizzare la matrice è pressoché impossibile da leggere in cantiere, ecco il perché dell'immagine. La matrice viene poi analizzata in laboratorio.

Le superfici faccia vista sono superfici difficili da analizzare dal punto di vista termografico perché prevale il segnale termico superficiale, ovvero segnali infrarossi delle superfici, ad esempio, dei mattoni e dei loro degradi, i quali nascondono allo strumento eventuali degradi posti più in profondità. La cosa migliore è operare su superfici intonacate, meglio se di un unico colore. La condizione per ottenere una lettura significativa di ciò che sta dietro è la presenza di un adeguato flusso termico, ovvero uno scambio di T tra l'oggetto e l'ambiente circostante. In certi casi è quindi necessario riscaldare l'ambiente interno con dei riscaldatori artificiali (all'esterno il riscaldatore è il sole). Scaldando la superficie creiamo una differenza di temperatura tra l'aria e l'oggetto. L'oggetto rilascerà poi il calore e così il segnale che si riesce ad ottenere è molto più dettagliato, così da leggere meglio la tessitura muraria. Dove non si riesce a leggere è perché c'è un distacco di intonaco. L'aria dietro l'intonaco, scaldandosi, fa da isolante e il calore quindi non riesce a passare. Se non si usano stimoli (riscaldatori) per le analisi si lavora passivamente. In un interno con parecchia umidità, non è possibile riscaldare, poiché questo provocherebbe una formazione di sali superficiali, dovuta al repentino cambio di T, che potrebbero rivelarsi dannosi, ad esempio, per un affresco.

#### Endoscopia

Ci permette di guardare dentro cavità non direttamente accessibili. Tecnica utilizzata parecchio, che tuttavia, a differenza della termografia, inserendo la sonda avente un diametro molto ridotto in un determinato punto, è una tecnica puntuale e non globale come la precedente. Il sistema videoendoscopico è composto anche dai boroscopi, che hanno la caratteristica di essere rigidi (sonda con lenti inclinate, alta qualità delle immagini, ma di difficile utilizzo a causa della rigidità). Strumento nato nella 1 guerra mondiale per ispezionare le canne dei fucili. Contemporaneo utilizzo in campo medico, per osservare le cisti in profondità. L'avvento delle fibre ottiche ha permesso di rendere lo strumento flessibile. Stessa strumentazione usata per le gastroscopie. La caratteristica fondamentale dello strumento è di avere un puntale mobile. Attraverso un joystick posso far ruotare la punta dello strumento quasi a 360°, ispezionando meglio la cavità. È dotato anche di una fonte luminosa. La luce non è eccessiva, ma sufficiente alle ispezioni. Il fibroscopio, realizzato con le fibre ottiche, ha un sistema di acquisizione di immagini che funziona attraverso l'utilizzo di una macchina fotografica a rullino. Difficile da mantenere fermo, e risultati non immediati in quanto bisogna aspettare lo sviluppo del rullino. Su quest'ultimo non sono riusciti ad inserire la macchina fotografica digitale. L'ultima evoluzione ha portato al videoendoscopio, sempre con le fibre ottiche. La telecamera è direttamente sul puntale dello strumento. Il filmato e le foto sono poi proiettate sullo schermo dello strumento. Molto meglio perché in campagna spesso si perdono dei dettagli, che possono essere poi colti con una seconda visione del materiale. Ci permette di analizzare le murature, facendone una dettagliata stratigrafia; inserendola all'interno di intercapedini si possono scoprire dipinti celati da successivi interventi. È anche possibile svolgere l'analisi della struttura lignea delle travi. Sul legno c'è una tecnica più utilizzata, ovvero quella della penetrometria lignea.

#### Penetrometria lignea

Tecnica invasiva perché fa un foro sull'oggetto da analizzare. Trapano con punta che avanza a velocità costante. Si parte dall'analisi delle testate, perché solitamente non si hanno dati diretti. Solitamente tre fori in testata, due perforazione sulla sinistra, uno sulla destra, massimo 5 fori se l'altezza super i 20 cm. Spesso viene richiesto di analizzare ad 1/3, in mezzera e a 2/3 della trave.

Misure inutili essendo una tecnica molto puntuale. Quindi meglio cominciare con un'attenta analisi visiva preventiva. Misura la resistenza che il legno oppone alla perforazione. Questa resistenza è collegata alla densità del legno nel punto di perforazione. Tra tutte e tre le tecniche è la più puntuale. Il risultato non è generalizzabile, perché a 10 cm da dove abbiamo bucato, la situazione potrebbe variare. Invasiva perché produce dei fori inferiore ai 3 mm. Tecnica fondamentale per l'analisi delle testate lignee delle travi, elemento non visibile direttamente. Strumento inclinato a 45° dall'intradosso della trave e dai lati, così da avere profili che si incrociano, per dare un'idea del volume della testata. È possibile capire anche di quanto la trave affonda nella muratura. L'output è un grafico che sulle ascisse ha la profondità di penetrazione della punta e sulle ordinate ha il valore di energia spesa dallo strumento per poter perforare il legno. Tanto più tenero, degradato, vuoto, è il legno, tanto minore sarà l'energia utilizzata dallo strumento, e viceversa. Attraverso l'analisi del grafico è possibile capire se ci siano cavità o zone a bassa densità. I nodi nel legno portano ad un innalzamento dei valori rilevati. Le applicazioni sono tante:

- Ispezioni di strutture lignee antiche e moderno
- Ispezioni alberi in vita
- Dendrocronologia

In ottica di restauro viene utilizzato soprattutto per

- Analisi del degrado biologico interno negli elementi apparentemente sani
- Analisi del degrado delle parti non accessibili all'ispezione visiva diretta
- Dimensione delle sezioni quando non sono rilevabili in altro modo (più elementi lignei che si compenetrano o elementi dentro la muratura.

La normativa di riferimento per questa metodologia legata ai manufatti lignei esistono due norme: la NORMA UNI 11119:2004 e la UNI 11138:2004. La prima si riferisce specificatamente ai beni culturali, manufatti lignei, strutture portanti degli edifici. Ispezioni in situ per la diagnosi degli elementi in opera. La 11119 definisce la metodologia di indagine finalizzata alla valutazione dello stato di conservazione di strutture lignee (umidità, specie lignee, valutazione statiche,...). Con la strumentazione più moderna si arriva ad acquisire 30/35 profili. La parte più lunga è l'analisi dei dati in laboratorio.

La termografia non ha bisogno di autorizzazione dalla soprintendenza, al contrario della video-endoscopia. La penetrometria lignea necessita solo di una comunicazione alla soprintendenza, ma non di un'autorizzazione specifica.

#### FASI DI APPLICAZIONE DELLE TECNICHE DIAGNOSTICHE NON DISTRUTTIVE IN FASE DI CONOSCENZA E TUTELA

Tre fasi principali: accertamento, controllo e programmazione. Fasi raccontate attraverso esempi tratti da attività svolte per tesi, atelier universitari e per conto terzi.

La fase di accertamento è relativa agli studi storici. Essendoci la possibilità di imbatterci in lacune storiche, questa fase è particolarmente utile per analizzare e definire le trasformazioni edilizie e le stratificazioni storiche del bene. Utilizzata anche per l'accertamento dello stato dell'opera e quindi l'individuazione delle tecniche costruttive utilizzate. Nella fase di accertamento è anche possibile analizzare le parti oggetto di umidità, dove sussiste evaporazione. Per un'analisi di questo tipo è necessario che l'umidità in ambiente sia inferiore al 70% e che la temperatura interna sia superiore a i 7°. La tecnica maggiormente utilizzata in questa fase è la termografia, essendo la tecnica più generale che ci restituisce un numero maggiore di informazioni, ed è anche la più facile da applicare. In questa fase vengono utilizzate anche le altre due tecniche distruttive.

La fase di controllo è una fase molto interessante in quanto misura l'efficacia dell'intervento attraverso indagini fatte pre e post intervento stesso, analizzando i dati ottenuti dall'analisi termografica. Controllo anche della struttura in esercizio, attraverso l'analisi delle dispersioni termiche. Nella fase di controllo si effettua anche un monitoraggio dello stato di conservazione nel tempo, così da stabilire protocolli di intervento e avere così una manutenzione programmata e non straordinaria. Attraverso le analisi termografiche in un ambiente è possibile valutare anche i flussi d'aria. Metodologia ancora abbastanza sperimentale: in un ambiente si posiziona una griglia di sensori, denominati bersagli che rilevano temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria, per poi metterli a registro le immagini nel visibile con l'infrarosso. Ogni bersaglio ha determinate caratteristiche. I valori ottenuti dovranno essere poi pesati anche con l'emissività dei bersagli.

Nell'ultima fase, quella di programmazione, si stabilisce la priorità oggettiva di un intervento di conservazione o di manutenzione, attraverso tecniche globali come la termografia. Brandi nella Carta del Restauro del patrimonio culturale spiega come *programmare significa ottenere informazioni utili per prevedere e quindi decidere in anticipo quali interventi devono essere effettuati con maggiore urgenza in termini di tempo e di costi con l'obiettivo di evitare il rischio di perdite o danneggiamenti.*

Riassumendo, le tecniche di indagine non distruttive sono caratterizzate da:

- Rispetto della consistenza della materia dell'oggetto;
- Lettura "sotto pelle";
- Flessibilità di impiego in condizioni di normale esercizio;
- Risparmio di tempo e di costi a fronte di imprevisti.

I principali limiti sono:

- Sensibilità di alcune metodologie alle condizioni ambientali, prime tra tutte quelle legate alla termografia. Un vento superiore ai 5m/s che impatta contro le superfici, modificando continuamente il profilo di temperature. Non potendo prevedere con certezza il meteo, possono esserci slittamenti di tempi anche considerevoli e talvolta non accettabili dalla committenza.
- I risultati sono di carattere prevalentemente qualitativo. Prendendo come esempio sempre la termografia, questa ci mostra eventuale presenza di umidità, ma non ci dice quanta ce n'è; ci può mostrare distacco di intonaco, ma di nuovo non sono dati quantitativa. Ci sono delle metodologie per passare da queste analisi qualitative a quantitative, ma sono molto onerosi e non sempre applicabili.
- L'alta tecnologia delle attrezzature, l'alto costo delle indagini e la necessità di avere un personale con un'alta qualificazione. La norma UNI EN ISO 9712-2012 definisce la qualificazione necessaria, gli esami da sostenere ed i certificati da avere. È una norma, non una prescrizione, NON È OBBLIGATORIO. Negli ultimi anni, la diffusione di queste tecniche hanno fatto sì che i costi si calmierassero.

NOTA BENE

Un'attenta programmazione tecnica dell'intervento richiede una stretta collaborazione tra la committenza e i tecnici. La committenza deve essere in grado di porre quesiti molto mirati. In risposta a questo, i tecnici devono essere in grado di attuare la scelta migliore delle tecniche e delle metodologie. Chi fa le ispezioni deve rilevare anomalie, le alterazioni e le disuniformità, ma non deve e non può attribuirne le cause, indicare i provvedimenti da mettere in atto. Questo dovrà poi essere fatto da un'equipe di esperti di formazione tecnico-scientifica diversificata.