

MONITORAGGI STRUTTURALI



INDAGINI
STRUTTURALI



www.indaginistrutturali.it

Indagini Strutturali srl

Via Guido de Ruggiero, 5 - 00142 ROMA

Tel. 06 546 02 628

info@indaginistrutturali.it

info@pec.indaginistrutturali.eu

INDICE

L'importanza dei monitoraggi per il controllo dello stato di conservazione delle strutture	pag. 3
Monitoraggio delle principali grandezze fisiche che caratterizzano strutturalmente manufatti civili, industriali, storici e architettonici	pag. 5
Monitoraggio "in continua" H24 delle principali grandezze fisiche che caratterizzano strutturalmente manufatti alti e snelli come le Ciminiere	pag. 7
Monitoraggi strutturali H24 - Monitoraggio strutturale e ambientale "in continua" di manufatti civili, industriali, storici e architettonici	pag. 9

L'importanza dei monitoraggi per il controllo dello stato di conservazione delle strutture

La struttura è sicura? Quella lesione è preoccupante? Gli elementi portanti di quest'edificio sono sani? Il sisma ha generato danni per i quali è necessario un intervento? I danni provocati dal sisma sono in evoluzione?

Queste sono alcune delle domande che molto spesso ci si pone quando si è insicuri sullo stato di salute di una costruzione.

La sicurezza delle strutture, siano esse edifici privati, edifici pubblici, strade, ponti o qualsiasi struttura civile di recente o antica costruzione, è di primaria importanza e conoscere lo stato di salute di queste deve essere una priorità in quanto, un'inadeguatezza, potrebbe portare alla perdita di vite umane.



Una delle attività in grado di dare una risposta sullo stato attuale di un'opera e su possibili evoluzioni del suo comportamento è il monitoraggio strutturale.

Esso, applicato a edifici e manufatti, può fornire informazioni essenziali per la corretta interpretazione del funzionamento strutturale degli stessi, in particolar modo per strutture di particolare complessità o fenomeni di degrado in atto.

A seconda delle necessità si possono avere monitoraggi statici, dinamici o ambientali. I monitoraggi statici prevedono la misura di una grandezza variabile lentamente. Essi vengono utilizzati per la misurazione di spostamenti di lembi di lesioni, rotazioni di pareti, cedimenti verticali e deformazioni in tempo reale.

I monitoraggi dinamici consentono di individuare le caratteristiche vibrazionali di una struttura e quindi la verifica, mediante dei sensori, solitamente accelerometri, che le vibrazioni stesse non superino i valori di soglia indicate dalle normative vigenti. I monitoraggi ambientali sono molto importanti, ad esempio, in edifici storici, musei e luoghi d'arte nei quali il controllo di parametri

ambientali come temperatura e umidità si rivela necessario per prevenire situazioni di degrado. Indagini Strutturali prevede, per i suddetti monitoraggi, intervalli di lettura più o meno lunghi a seconda dei quali si definiscono monitoraggi in continua o monitoraggi periodici.

Il monitoraggio in continua (RTM) consente di osservare le grandezze sottoposte a controllo in qualsiasi istante e da qualsiasi postazione remota connessa ad internet. I dati possono essere consultati in qualsiasi momento garantendo la completa gestione di eventuali allarmi per superamento delle soglie impostate.

Esso rappresenta quindi un efficace sistema in quanto, oltre a dare un quadro veritiero di eventuali fenomeni grazie alla molteplicità dei dati i raccolti, garantisce anche la segnalazione di situazioni di pericolo in tempo reale. Il monitoraggio periodico prevede, invece, la lettura manuale delle

grandezze con una certa periodicità definita sin dall'inizio, per cui esso non garantisce l'allarme immediato e la storia completa dell'evoluzione del fenomeno ma da, in ogni caso, la possibilità di valutare eventuali degradi e di definire se essi sono in progressione o meno.

Entrambe le tipologie, per far sì che valutino il comportamento globale di un eventuale fenomeno, è preferibile che siano previste per un periodo di monitoraggio minimo di un anno in maniera da poter considerare anche eventuali situazioni di periodicità. L'obiettivo finale di tutti i monitoraggi è dare risposta di possibili movimenti strutturali e definire, mediante risultati interpretati da tecnici esperti, se questi necessitano di interventi o meno. Alla luce dell'esigenza di fare manutenzioni periodiche sulle strutture e infrastrutture per il controllo del loro stato di conservazione e che molto spesso queste non vengono eseguite, un contributo non irrilevante verso la prevenzione di seri danni come crolli di solai, crolli di ponti, cedimenti fondali potrebbe essere proprio il monitoraggio che, oltre a garantire veridicità e immediatezza dei risultati, è di facile installazione e per niente invasivo.



Monitoraggio delle principali grandezze fisiche che caratterizzano strutturalmente manufatti civili, industriali, storici e architettonici

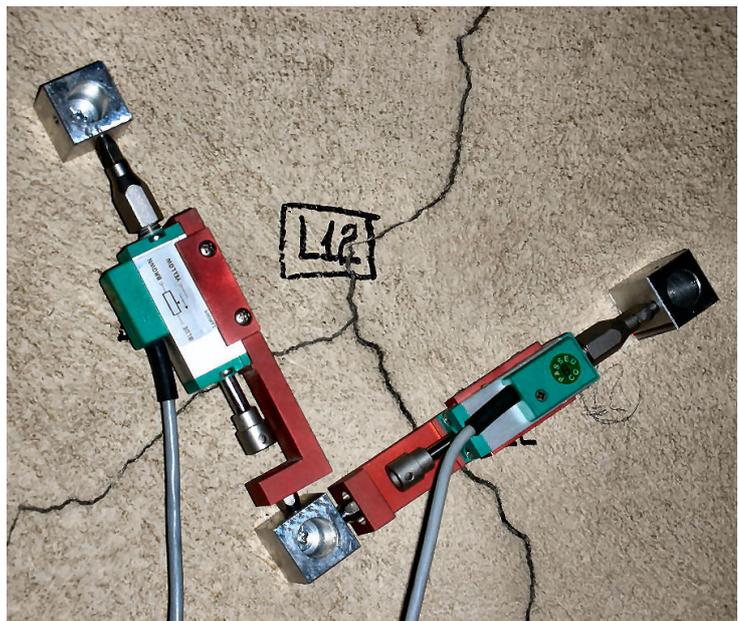
L'esame del quadro fessurativo e l'analisi del suo progredire nel tempo è di primaria importanza per lo studio del funzionamento statico di una struttura esistente; infatti, conoscere come e di quanto i cinematici si evolvano durante un arco di tempo significativo consente al Progettista di predisporre un adeguato piano di interventi per il consolidamento strutturale e per la ristrutturazione. Secondo l'NTC del 2008, le strutture oggetto di lavori di consolidamento devono prevedere già in fase di progetto, un sistema di monitoraggio che consenta al progettista di effettuare un controllo efficace pre e post intervento. Affiancando gli studi tecnici Indagini Strutturali partecipa a tutte le fasi del monitoraggio.

- Progettazione: realizzando progetti di monitoraggio idonei in funzione della complessità degli interventi;
- Personalizzazione: selezionando per ogni cliente il sistema più adatto alle proprie esigenze;
- Avvio: installando la strumentazione necessaria al corretto funzionamento del sistema;
- Trasmissione: immagazzinando i dati e facendoli pervenire ai vari Clienti;
- Interpretazione del dato: creando dei modelli che descrivono il fenomeno in corso.

A tale scopo, una volta eseguito il rilievo del quadro fessurativo, propone un sistema di monitoraggio strutturale che, focalizzando l'attenzione sui punti ritenuti più significativi per il manufatto, tiene sotto osservazione l'insieme dei suoi cinematici. Il monitoraggio assume quindi un ruolo di guida per il Progettista durante il piano di interventi da predisporre indirizzandolo alle priorità ed alle tempistiche d'intervento. L'impianto di monitoraggio viene realizzato installando, in corrispondenza della grandezza fisica da tenere in osservazione, la stazione di rilevazione più adatta a tale finalità. Il sistema potrà quindi prevedere, globalmente o soltanto parzialmente, le unità di rilevazione riportate qui di seguito.

1. Stazioni lineari costituite da trasduttori di spostamento in grado di rilevare spostamenti dell'ordine del centesimo di millimetro ubicate in corrispondenza di quadri fessurativi.
2. Stazioni inclinometriche costituite da trasduttori di rotazione in grado di rilevare spostamenti dell'ordine del centesimo di grado ubicate in corrispondenza di elementi strutturali suscettibili a ruotare nel tempo.
3. Stazioni estensimetriche costituite da strain-gauge (estensimetri elettrici a resistenza) in grado di rilevare deformazioni dell'ordine del microepsilon posizionate in corrispondenza della sezione dell'elemento da misurare.

Il tema del monitoraggio di tipo tradizionale è eseguito sulle strutture per le quali è necessario controllare il dato in maniera periodica ove non vi sia la necessità di effettuare un rilievo continuo e in tempo reale. Questa tecnica, ormai consolidata e di semplice messa in opera, consente di effettuare un rilievo dei punti con una cadenza mensile o con una più bassa frequenza. Essa è consigliata ad esempio per monitorare gli edifici di



nuova costruzione, per quelli in corso di realizzazione e per tutti manufatti per i quali è previsto un processo di consolidamento del terreno, con l'obiettivo primario di rilevare possibili fenomeni di cedimento differenziale e di prevedere il cedimento a fine consolidamento. Al giorno d'oggi (in vista anche degli ultimi eventi sismici che hanno colpito il centro Italia) il monitoraggio tradizionale viene utilizzato maggiormente per il controllo del quadro fessurativo di un qualsiasi manufatto.

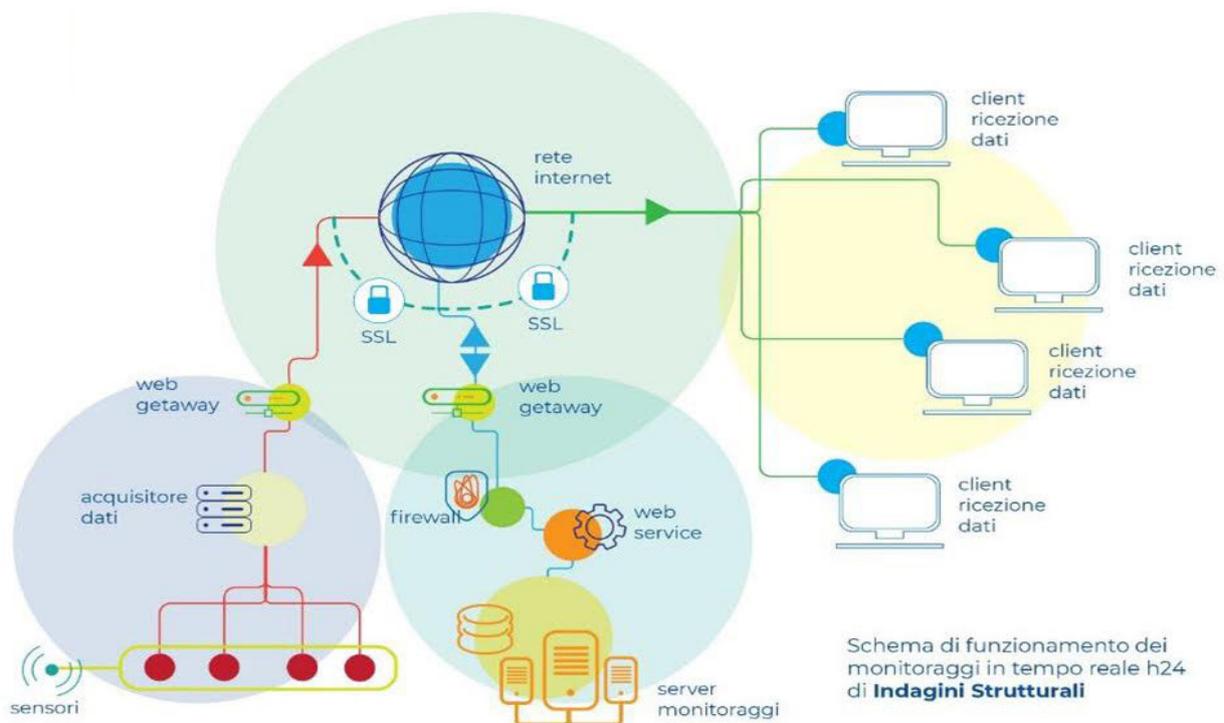
Inoltre, per misurare il dislivello tra due punti, Indagini Strutturali si affida alle esigenze legate al monitoraggio con livellazione geometrica che, rispetto alla livellazione tacheometrica o trigonometrica, permette di ottenere il migliore compromesso tra precisione e semplicità d'esecuzione. Per tali ragioni la livellazione geometrica è idonea ad eseguire misure di spostamenti verticali di edifici esistenti (o di nuova costruzione) e permette di tenere sotto osservazione ampie porzioni di manufatto, rilevando sia i cedimenti differenziali che eventuali possibili rotazioni globali.



Monitoraggio "in continua" H24 delle principali grandezze fisiche che caratterizzano strutturalmente manufatti alti e snelli (come le Ciminiere)

Le ciminiere in muratura sono diffuse in tutto il territorio nazionale e fanno parte del patrimonio archeologico industriale al quale appartengono molti altri edifici. Per tali ragioni, Indagini Strutturali, impegnata da molti anni nella messa a punto di sistemi di recupero di beni storici ed opere d'arte, ha messo a punto un importante piano d'indagine mirato alla salvaguardia del bene, in modo da evitare ristrutturazioni massive che possano deturpare la bellezza di questi monumenti.

Dopo avere eseguito un rilievo geometrico, visivo, e rilievo della verticalità con laser scanner, si procede con l'installazione di un Monitoraggio "in continua" del quadro fessurativo, delle tensioni, delle rotazioni, delle vibrazioni, della direzione e della velocità del vento. Il periodo d'osservazione del manufatto non è mai inferiore all'anno solare ed i valori di tutte le grandezze fisiche vengono normalmente acquisiti ad intervalli di 30 minuti.



L'impianto di monitoraggio viene realizzato installando, in corrispondenza della grandezza fisica da tenere in osservazione, la stazione di rilevazione più adatta a tale finalità. Il sistema potrà quindi prevedere, globalmente o soltanto parzialmente, le unità di rilevazione riportate qui di seguito.

- Stazioni lineari costituite da trasduttori di spostamento in grado di rilevare spostamenti dell'ordine del centesimo di millimetro ubicate in corrispondenza di quadri fessurativi
- Stazioni inclinometriche costituite da trasduttori di rotazione in grado di rilevare spostamenti dell'ordine del centesimo di grado ubicate in corrispondenza di elementi strutturali suscettibili a ruotare nel tempo
- Stazioni estensimetriche costituite da strain-gauge (estensimetri elettrici a resistenza) in grado di rilevare deformazioni dell'ordine del microepsilon posizionati in corrispondenza della sezione dell'elemento da misurare
- Stazioni distanziometriche costituite da distanziometro laser in grado di rilevare lo spostamento di ogni elemento in direzione trasversale e longitudinale

- Stazioni termiche costituite da trasduttori di temperatura e di umidità in grado di rilevare variazioni dell'ordine del decimo di grado centigrado da accoppiare ad ogni stazione di misura
- Stazioni dinamiche costituite da trasduttori accelerometrici e/o geofoni per correlare le misure dei movimenti del manufatto con le misure delle accelerazioni e delle velocità e per la definizione e lo studio dei modi di vibrare
- Stazioni meteorologiche costituite da sensori di temperatura, d'umidità e da anemometri (laser oppure a pale) per correlare le misure dei movimenti del manufatto con le misure delle velocità e delle direzioni del vento
- Stazioni dinamometriche costituite da celle di carico e/o trasduttori di pressione in grado di misurare le azioni che si sviluppano in determinate zone di un manufatto

A seconda del sensore, o del gruppo di sensori, si possono parametrizzare i tempi di acquisizione e le soglie, minime e massime, che possono essere utilizzate per far scattare allarmi (e-mail, sms, segnali luminosi, segnali acustici, etc.) e per variare, dinamicamente, il tempo d'acquisizione di altri sensori. Per questo tipo di manufatti, ove il vento costituisce una delle variabili più importanti, la velocità dello stesso viene assunta come parametro primario per far variare, in caso di superamento della soglia massima impostata, il tempo di acquisizione degli altri sensori, da vari minuti a pochi secondi, per tutto il periodo di durata dell'evento.

Allo stesso modo, i sensori per l'analisi dinamica (accelerometri e geofoni), oltre a trasmettere dati rilevanti ad intervalli regolari, potrebbero far scattare un allarme tramite SMS al superamento di certi limiti; sono previsti allarmi anche per segnalare eventuali malfunzionamenti o interruzione di collegamento con le unità remote.

Indagini Strutturali ha sviluppato una tecnologia .NET, che gira su piattaforma Windows installata sull'unità centrale del monitoraggio, costituita da moduli che possono pilotare molti tipi di unità d'acquisizione, acquisire valori da qualsiasi tipo di sensore, consultare e gestire da postazioni remote i dati acquisiti; di queste opportunità ne possono usufruire, oltre al personale di Indagini Strutturali, anche tutti i consulenti accreditati dalla Committenza che riceveranno le credenziali necessarie per poter accedere ai sistemi informativi.



Monitoraggi strutturali H24 - Monitoraggio strutturale e ambientale "in continua" di manufatti civili, industriali, storici e architettonici

I vari tipi di monitoraggio si contraddistinguono sia per la modalità di esecuzione del monitoraggio stesso che per le tempistiche e le frequenze di raccolta dei dati. L'esigenza di effettuare misure continuative per periodi lunghi potrebbe richiedere la presenza costante del personale sul luogo della prova. Per il superamento di questo problema Indagini Strutturali offre la possibilità di eseguire misure in modo automatico tramite acquisizioni da postazioni remote.

La normativa "D.M. del 14/01/2008, al punto 6.10" prevede che si eseguano controlli e monitoraggi i quali possono costituire elementi di collaudo negli interventi di consolidamento strutturale. L'esame del quadro fessurativo e l'analisi del suo progredire nel tempo è di primaria importanza per lo studio del funzionamento statico di una struttura esistente; infatti, il sistema di monitoraggio strutturale e ambientale "in continua" è studiato per svolgere un'attività di acquisizione automatica, e trasmissione H24 dei dati, di grandezze fisiche quali: spostamenti, deformazioni, rotazioni, temperature e umidità.

L'innovazione principale è rappresentata dal fatto che gli apparati remoti, connessi alle stazioni di rilevamento, sono sempre on-line con i nostri server. I dati possono essere

così consultati in qualsiasi momento e da qualsiasi postazione, garantendo la completa gestione di eventuali ALERT per il superamento di limiti preimpostati. Se ciò dovesse avvenire vengono inviati e-mail e/o SMS di allarme ad uno o più destinatari; tali messaggi di avvertimento, anche in caso di mancata trasmissione di dati da parte di una stazione remota, verranno spediti in maniera completamente automatica e continua.

Grazie a questi ALERT Indagini Strutturali è in grado di garantire allarmi per strutture affette da problemi statici di non trascurabile entità. Il periodo d'osservazione dell'opera non è mai inferiore ai 6/12 mesi ed i valori di tutte le grandezze fisiche vengono normalmente acquisiti ad intervalli di 30 minuti; all'occorrenza il periodo d'acquisizione potrà essere modificato, anche da postazione remota, a seconda delle specifiche esigenze. Il principale sistema di controllo delle maggiori grandezze fisiche prevede:

- Stazioni lineari costituite da trasduttori di spostamento in grado di rilevare spostamenti dell'ordine del centesimo di millimetro ubicate in corrispondenza di eventuali giunti di dilatazione termica o di quadri fessurativi
- Stazioni inclinometriche costituite da trasduttori di rotazione in grado di rilevare spostamenti dell'ordine del centesimo di grado ubicate in corrispondenza di elementi strutturali suscettibili a ruotare nel tempo



- Stazioni estensimetriche costituite da strain-gauge (estensimetri elettrici a resistenza) in grado di rilevare deformazioni dell'ordine del microepsilon posizionati in corrispondenza della sezione dell'elemento da misurare
- Stazioni termiche costituite da trasduttori di temperatura e di umidità in grado di rilevare variazioni dell'ordine del decimo di grado centigrado da accoppiare ad ogni stazione di misura
- Stazioni dinamiche costituite da trasduttori accelerometrici e/o geofoni per correlare le misure dei movimenti del manufatto con le misure delle accelerazioni e delle velocità e per la definizione e lo studio dei modi di vibrare Il risultato di tale rilevazione "in continua" è implementato su un software sviluppato e testato per molto tempo su vari monitoraggi. Esso è realizzato con tecnologia .NET e gira su piattaforma Windows; in tal modo ogni utente ha la possibilità di poter accedere, tramite interfaccia protetta su web, ai dati acquisiti e visualizzare in tempo reale.





www.indaginstrutturali.it