Committente:

COMUNE AURIGO

PROV. IMPERIA
P.IVA 00249310087

Progetto:

PROGETTO PER LA MESSA IN SICUREZZA DI AREA IN CENTRO STORICO INTERESSATA DA DISSESTO STATICO E OBSOLESCENZA CON RECUPERO A FINE DI SERVIZIO PUBBLICO-SOCIALE E RIDUZIONE DELLA IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO

(ai sensi dell'art.41, Allegato I.7 D.lgs. 31 marzo 2023 - 36/2023)

CUP: B66F25000100001

RELAZIONE SUL MONITORAGGIO STRUTTURALE

DATA PROGETTO
Settembre 2026

ELABORATO
AUR-PF-14

		EMISSIONE	
Rev.	**DATA**	**DESCRIZIONE**	**STATO**

	Responsabile Unico Progetto Responsabile Ufficio Tecnico Dott. Gabriele Pellegatta
Coordinamento attività generali architettoniche ambientali archeologiche Studio architettura Archh Associati Via San Luca, 12/3 – 16142 – Genova (Ge) Responsabile: Arch. Lorenzo Agnese timbro	Coordinamento attività generali strutturali coord. sicurezza Studio Ing. Augusto Forno Via Guglielmo Silva, 29 – 20149 – Milano (Mi) Responsabile: Ing. Augusto Forno timbro
Coordinamento attività generali geologiche Studio Geologia Lionello Belmonte Via Belgrano, 13 – 18100 – Imperia (Im) Responsabile: Geol. Lionello Belmonte timbro	Coordinamento attività generali topografiche Studio……..……. ……. Responsabile: Geom.…….timbro

VISTI E APPROVAZIONI ATTO C.C. DEL ..... DELIBERA G.C. N. DEL .....

Sommario

1. Introduzione 3
2. Parametri da monitorare 4
3. Oggetto e Finalità 6
4. Fasi Operative 8
5. Considerazioni sui risultati 9
6. Conclusioni 11

1. Introduzione

Il Monitoraggio Strutturale e la definizione del Piano di Monitoraggio

L'attività di monitoraggio strutturale ha lo scopo di acquisire informazioni circa il comportamento di un manufatto e dei manufatti e dell'ambiente che con esso interagisce.
Quando si opera sulle strutture esistenti e si debba affiancare alle attività di indagine strutturale vera e propria (prove sui materiali, rilievi geometrici e strutturali, etc.) ulteriori accertamenti che rientrano nella categoria dei monitoraggi.
È possibile, infatti, riscontrare, fin dalle preliminari ricognizioni della struttura, stati di fessurazione la cui semplice osservazione, tuttavia, non consente di qualificarli come stabilizzati o in atto, con le rilevanti conseguenze che ne derivano.
In questi casi il progettista si trova nella necessità di ricorrere ad attività di monitoraggio finalizzate ad osservarne la variazione di ampiezza nel corso di un prestabilito periodo di tempo, ovvero ricercarne le cause accertando, ad esempio, la presenza di vibrazioni indotte, degrado del materiale (espansioni), cedimenti del terreno di imposta delle fondazioni, e cedimenti dovuti alla destabilizzazione per rimozioni di murature di edifici in aggregato etc.
L'esigenza di predisporre un monitoraggio può intervenire, inoltre, in un periodo intermedio della progettazione, come nel caso in cui il progettista voglia ricavare sperimentalmente lo stato tensionale di una porzione di struttura per confrontarla con quella che ha determinato con un sofisticato modello di calcolo, ovvero alla fine del processo progettuale, quando si ricerca una conferma sperimentale della bontà degli interventi progettati.
Da queste brevi considerazioni è facilmente intuibile che la definizione di un *piano di monitoraggio* non è sicuramente meno complesso e articolato di quello relativo al *piano delle indagini*, anche perché, nel corso del tempo, possono modificarsi gli obiettivi della ricerca, come appare evidente nell'esempio appena citato.
In conclusione, la definizione di un piano di monitoraggio si articola nelle seguenti fasi:

a) **Definizione dei parametri di comportamento strutturale che occorre ricercare**. Questa fase può essere definita in un'unica occasione o ripetuta più volte nel corso dell'attività di progetto.
b) **Individuazione delle tecniche di monitoraggio più idonee allo scopo**. Ciascuna tecnica deve essere qualificata con le potenzialità/limitazioni/invasività del risultato ottenibile. Anche in questo caso si può arrivare a valutazioni di tipo diverso in relazione al caso specifico: ad esempio, alcune prove di misura dello stato tensionale richiedono esecuzioni di tagli di dimensioni relativamente grandi che possono essere effettuati senza rilevanti problemi in strutture massicce di muratura ma da adottare con grande cautela in quelle sottili o in calcestruzzo fortemente armato ove è grande il rischio di tagliare le barre d'armatura. Nel caratterizzare le varie tecniche non vanno trascurati i costi, la velocità d'esecuzione, la pratica operativa.
c) **Scelta delle tecniche di indagine**. Sulla scorta dei punti precedenti, definisce il piano di Monitoraggio stabilendone precisamente il tipo, il numero, l'ubicazione e le fasi temporali in cui eseguire le misure. In aggiunta, andrà anche scelta la frequenza con cui programmare le rilevazioni dei dati.

Pur essendo molto sottile la linea di demarcazione fra il Piano delle Indagini Strutturali ed il Piano di Monitoraggio, le due attività sono concettualmente assimilabili.
Il Piano d'Indagine Strutturale si sviluppa di solito preliminarmente al Progetto, in quanto le relative determinazioni devono essere ripetute più volte nel corso di un certo periodo, anche protratto, d'osservazione, mentre il Piano di Monitoraggio si qualifica in modo particolare perché può essere sviluppato in momenti diversi dell'attività progettuale.
Quest'ultima esigenza, unitamente, talvolta, alla necessità di disporre delle relative informazioni in "tempo reale" ha portato a sviluppare sistemi d'acquisizione automatizzati che tuttavia sono applicabili solo, o più facilmente, ad alcune tecniche. Da qui un ulteriore elemento di valutazione che deve essere tenuto in debito conto dal progettista nella definizione del Piano di Monitoraggio.

2. Parametri da monitorare

I parametri strutturali di cui può essere necessaria la conoscenza sono molteplici: i più ricorrenti sono gli spostamenti, le deformazioni, lo stato tensionale, etc. Inoltre, con una certa frequenza, risulta anche necessario determinare le azioni, in senso ampio, cui la struttura è assoggettata; per tale ragione risultano significativi vari parametri ambientali come il vento, la temperatura, l'umidità, etc.
Di seguito si riporta un elenco di alcune stazioni di misura costituite da strumentazione idonea alla lettura delle principali grandezze fisiche suscettibili ad essere monitorate.

Parametri Strutturali - Stazioni di misura e strumentazioni che la compongono

Stazioni Lineari: sono costituite da trasduttori elettronici potenziometrici o capacitivi (fessurimetri) che vengono installati a cavallo di una lesione o di un giunto; dalla misura dell'allargamento o del restringimento dei due lembi, confrontata con la dimensione iniziale, si evince se il fenomeno è stabile o in evoluzione.



Stazioni Inclinometriche: sono costituite da trasduttori di rotazione che vengono installati lungo la sezione di cui si vogliono conoscere le rotazioni; dal confronto con la rilevazione iniziale se ne deduce l'entità delle rotazioni in ogni sezione.

Stazioni Accelerometriche: sono costituite da geofoni e/o da accelerometri che vengono installati in zone caratteristiche della struttura; dall'elaborazione dei segnali acquisiti si ricavano i principali modi di vibrare e/o la presenza di vibrazioni causa di disturbo.

Stazioni di misura di Forze, Pressioni, Tensioni: sono costituite da Celle di carico, Martinetti piatti, Trasduttori di Pressione, etc. per la misura di grandezze fisiche complesse che consentono di avere informazioni delle sollecitazioni agenti e sugli stati tensionali.

Stazioni Termiche: sono costituite da sensori elettronici a semiconduttore che vengono installati nelle zone in cui si ritiene opportuno misurare l'andamento della temperatura ambientale; solitamente si utilizzano unitamente ad alcune stazioni di misura per la rilevazione dei parametri strutturali, per valutare se esiste, o meno, correlazione tra i dati strutturali e quelli ambientali.

Stazioni per Rilevazione Umidità: sono costituite da sensori digitali a semiconduttore in grado di rilevare, mediante un sensore capacitivo, l'umidità presente nell'aria circostante. Vengono utilizzate, solitamente, quando si ritiene necessaria una correlazione tra i parametri strutturali e quelli ambientali.

Stazioni Anemometriche: sono costituite da anemometri che consentono di misurare la velocità e la direzione del vento in modo da poter associare i valori rilevati con quei parametri strutturali che proprio da essi sono influenzati.

Stazioni Piezometriche: sono costituite da piezometri di appropriate caratteristiche che consentono di misurare il livello di falda al fine di comprendere se certi fenomeni di cedimento siano o meno associabili a caratteristiche idrogeologiche del terreno di fondazione.

La misura diretta di ogni parametro in base alle modalità d'acquisizione dei dati è possibile distinguere le due diverse tecniche di monitoraggio.

1.Tecniche di monitoraggio semplici
Consentono posto in osservazione a prefissati intervalli di tempo costanti.
2. Tecniche di monitoraggio complesse
Possiedono un trigger e consentono, quindi, la variazione dell'intervallo di tempo d'acquisizione prefissato al superamento di un determinato valore di soglia di alcuni parametri.

3. Oggetto e Finalità

Gli obiettivi del Monitoraggio Strutturale

Le attività da svolgere su ogni manufatto posto sotto monitoraggio hanno come obiettivo lo studio delle sue condizioni strutturali e soprattutto l'evoluzione del tempo dei parametri e delle grandezze fisiche tenute sotto osservazione.
Poiché, in generale, per una struttura esistente non si conoscono tutte le parti di ogni elemento strutturale che la costituiscono, e considerato che lo stato tensionale è radicalmente condizionato dalle fasi costruttive, non è facile fare una valutazione numerica affidabile.
Di conseguenza, per superare questa difficoltà ed arrivare ad una stima e ad una gestione della sicurezza strutturale dell'immobile, si ricorre ad approcci sia di carattere strumentale che documentale. Viene, quindi, studiato ed applicato un piano di monitoraggio comprendente la misura dello stato tensionale in condizioni d'esercizio; accanto alla misura dei fenomeni deformativi degli elementi murari ritenuti più sensibili, condotta per un intero periodo significativo, viene avviata al tempo stesso un'analisi storico-documentale che permetta d'individuare gli elementi strutturali effettivamente portanti, escludendo quelle parti che, anche ad un rilievo conoscitivo, risulterebbero collaboranti.
La valutazione della sicurezza dell'immobile dovrà essere attuata con delle misure sul corpo reale dell'edificio individuando gli elementi di rischio attraverso deformazioni anomale, che quantificano anche il livello di gravità, tramite la misura temporale della progressione di una data misura fisica.
A seguito dell'analisi preliminare riguardante le caratteristiche specifiche di un complesso immobiliare sono, quindi, opportuna una pianificazione delle attività di studio e monitoraggio in grado di dare risposte oggettive e quantificabili sullo stato dell'immobile e sulle sue eventuali criticità.
L'analisi dei risultati ottenuti da un monitoraggio strutturale h24 in continua è utilizzata sia come un rilevatore di pericolosità che come elemento di valutazione delle condizioni strutturali dei manufatti su cui è installato.
Essa fa parte di un progetto ben più ampio, articolato in momenti successivi che prevedono le seguenti tre fasi operative e temporali.

1. L'**attivazione di un monitoraggio di sicurezza** il cui scopo consiste nel mettere a disposizione uno strumento d'immediato avviso di eventuali situazioni di attenzione con una prima valutazione del livello della sua pericolosità; al termine di questa prima fase occorre controllare che non siano state riscontrate situazioni di particolare pericolosità, in normali condizioni d'esercizio.
2. La **valutazione del livello di sicurezza del manufatto** la cui finalità è quella di determinare un valore parametrico che possa indicare in maniera chiara e sintetica lo stato di salute strutturale.

3. Un **monitoraggio di lungo periodo** che ha l'obiettivo di seguire i fenomeni degenerativi su più ampia scala, sia geometrica che temporale.

4. Per ognuna delle tre fasi di **monitoraggi di questo tipo** il periodo d'acquisizione predefinito con rilevazioni automatiche dei dati in continua avviene, normalmente, ad intervalli di mezz'ora l'uno dall'altro.
5. Esso costituisce la base di studio e di controllo del manufatto per gli anni a venire, costruendo la memoria stessa del medesimo.

4. Fasi Operative

Indagine visiva preliminare

Per avere risposte significative a seguito di un monitoraggio, occorre individuare, tramite una capillare ed accurata indagine visiva dello stato delle strutture, quelle lesioni che per posizione ed ampiezza, oltre a destare la maggior preoccupazione, sono fra le più indicative nel dare valide e significative informazioni nell'eventualità di ampi fenomeni degenerativi che potranno anche interessare intere parti del corpo di fabbrica.

Su di esse vengono installati strumenti di misura capaci di registrare gli incrementi delle principali grandezze fisiche poste sotto osservazione, per poi trasmettere i dati in tempo reale all'unità d'acquisizione.

Occorrerà, quindi, provvedere a rendere immediatamente disponibili e fruibili i rilevamenti, sia al personale incaricato all'interno dell'edificio che ai tecnici esterni, tramite un portale on line accessibile con apposite credenziali.

Il rapporto di monitoraggio sarà composto da grafici dei parametri principali, riportati in colore diverso e diversi font in modo che siano immediatamente interpretabili da un semplice controllo visivo senza dover ricorrere ad analisi numeriche.
Il passo successivo sarà quindi analizzare, uno per uno, i grafici dei singoli canali per ognuna delle grandezze fisiche poste sotto osservazione.

Interpretazione dei Risultati

Tipologie di diagrammi

In linea di principio è possibile distinguere, sostanzialmente, 6 tipologie di diagrammi.

1. Progressioni positive significative
2. Stagionalità con elevata ampiezza di escursione
3. Stagionalità con ridotta ampiezza di escursione
4. Stagionalità con progressione positiva
5. Progressioni negative
6. Progressioni nulle

Progressioni positive significative: Il diagramma non presenta caratteristiche di "stagionalità" ed è caratterizzato da evidenti progressioni che indicano un'evoluzione del fenomeno in evidente stato d'avanzamento.

Stagionalità con elevata ampiezza di escursione: il diagramma non evidenzia progressioni ma stagionalità marcate quindi si ritiene operativo e significativo, almeno nel dare misura di un certo stato di alta deformabilità.

Stagionalità con ridotta ampiezza di escursione: il diagramma è caratterizzato da una regolarità stagionale con ridotta ampiezza di escursione, per cui si può considerare operativo e non riporta fenomeni degenerativi attivi.

Stagionalità con progressione positiva: il diagramma evidenzia stagionalità e progressione che indica un fenomeno in uno stato di evoluzione. Si è quindi in fase degenerativa.

5. Considerazioni sui risultati

Scopo di ogni monitoraggio è lo sviluppo di un'analisi numerica basata sui dati acquisiti, dando evidenza di situazioni anomale, di variazioni rispetto a valori precedenti, di ogni altro dettaglio che possa risultare utile ai fini dell'interpretazione dei fenomeni in atto. Vengono pertanto elaborate tabelle riepilogative, come quella riportata qui di seguito, che tiene conto di quanto rilevato.
Tabella di esempio

PROGRESSIONE GRANDEZZA MONITORATA			
STAZIONE	**Dati 1**	**Dati 2**	**Dati 3**
S1	0	0	0
S2	+1,5	+0,9	+0,8
S3	+0,05	+0,02	+0,02
S4	-0,7	-0,13	-0,10
S5	+0,09	+0	0
S6	-0,01	-0,03	-0,00
S7	+1	0	0

Durante il periodo di monitoraggio si potranno verificare diverse situazioni:

- I dati rilevati denotano, per le grandezze monitorate, un'evidente tendenza di crescita nell'ultimo periodo.
- I dati mostrano l'inversione di un trend crescente registrato nelle fasi iniziali del diagramma.
- I sensori, disposti su due lesioni diverse, hanno lo stesso andamento. Questo comportamento è sinonimo di movimenti rigidi.
- Dall'analisi delle singole grandezze è opportuno verificare se queste sono influenzate, o meno, dalla variazione di temperatura.

Dai grafici e dal valore del *coefficiente di determinazione* R^2 (il valore R^2 è compreso tra 0 e 1; più esso si avvicina al valore 1 e più i dati sono correlati tra di loro) la grandezza risulta correlata alla temperatura.

Dai grafici e dal valore del *coefficiente di determinazione* R^2 (R^2 è compreso tra 0 e 1; più esso si avvicina al valore 1 e più i dati sono correlati tra di loro) la grandezza non risulta correlata alla temperatura. Come si vede dal secondo grafico, effettivamente, l'andamento della grandezza S non ha alcuna correlazione con l'andamento della temperatura T.

6. Conclusioni

La necessità di ricorrere ad un monitoraggio strutturale si manifesta quando sono evidenti gli indizi di una perturbazione delle condizioni di "equilibrio" di un manufatto che può avere cause diverse. In linea generale, le più ricorrenti sono:

a. Rilevanti modifiche dei carichi applicati (sopraelevazioni, modifiche della destinazione d'uso, eliminazioni controspinte negli aggregati etc.)
b. Insorgere di forti vibrazioni e scuotimenti
c. Importante degrado delle parti strutturali
d. Presenza di importanti quadri fessurativi ed inclinazioni anomale
e. Variazioni delle condizioni geotecniche/idrauliche nel caso di specie da ritenere poco significative

È opportuno precisare l'importanza di attivare un monitoraggio strutturale, in tutti quei casi in cui l'evoluzione delle grandezze sotto osservazione risulti ancora in fase embrionale.

Infatti, studiando ed analizzando bene le curve una per una, il monitoraggio permette di agire in assoluta prevenzione in quanto è possibile leggere importanti fenomeni degenerativi ancor prima che questi si manifestino con, ad esempio, vistosi e pericolosi nuovi quadri fessurativi.
Viene messa in risalto, in alcune circostanze, la congruenza fra andamenti di diverse stazioni e quindi la presenza di movimenti rigidi di parti strutturali che devono rimanere in opera con la piena funzionalità.
Relativamente alla sua durata è possibile affermare che il periodo d'osservazione deve essere tale da far comprendere la dimensione del fenomeno e l'entità dei movimenti che si sono sviluppati e che si possono sviluppare.

È inoltre opportuno precisare che un'attività di questo genere richiede periodi d'osservazione relativamente lunghi, mai inferiori ai 12-18 mesi, che tengano conto anche di possibili fenomeni stagionali d'inversione termica.

Generalmente, un monitoraggio s'intende concluso positivamente quando il valore finale delle grandezze monitorate è molto simile a quello iniziale per cui, dall'analisi dei dati si potrà giungere alla conclusione che i movimenti strutturali risultano esauriti e, quindi, la struttura abbia raggiunto un regime di piena stabilizzazione.

Nel caso in cui non si sia raggiunta la stabilizzazione, e che non si siano individuati chiari fenomeni di entità tale da suggerire nell'immediato interventi locali o generalizzati che possano migliorare la situazione statica degli immobili interessati da interventi sulla interruzione della continuità strutturale dell'aggregato, il monitoraggio dovrà proseguire in maniera da avere maggiori dati.

È infine utile chiarire che, quando un monitoraggio non può ritenersi concluso, un ulteriore periodo d'osservazione è utile a:

- verificare che non ci siano importanti evoluzioni di fenomeni deformativi e/o degenerativi e circoscriverli immediatamente, qualora ci fossero
- determinare e misurare eventuali ulteriori gradienti deformativi, approfondendone durata ed intensità;
- consentire con tempestività l'individuazione dei necessari provvedimenti da assumere per prevenire fenomeni d'instabilità strutturale.

Il tecnico



Ing. Augusto Forno

Milano settembre 2026