



Scientific Report

*La gestione di architetture di monitoraggio dinamico mediante
processi automatici intelligenti*

Authors: G. Porco, F. Forestieri

Scientific Publications by Sismlab s.r.l.
Spin-Off University of Calabria
Rende (CS), Italy
N.05 - XI- 2020
ISBN: 979-12-80280-04-6

EDIZIONI SISMLAB
Available online at www.sismlab.com

EDIZIONI SISMLAB

Scientific Publications by Sismlab s.r.l.
Spin-Off University of Calabria
Rende (CS), Italy

N.05 - November 2020
ISBN: 979-12-80280-04-6

(Year I)

*Available online at www.sismlab.com
info@sismlab.it - sismlab@pec.it
Via Ponte Pietro Bucci - Università della Calabria - Rende (CS) P.Iva: 02730000789
- Tel./Fax.: +390984-447093*

LA GESTIONE DI ARCHITETTURE DI MONITORAGGIO DINAMICO MEDIANTE PROCESSI AUTOMATICI INTELLIGENTI

G. Porco* - F. Forestieri**

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria
giacinto.porco@unical.it

**Sismlab s.r.l.- Spin – Off Università della Calabria
info@sismlab.it
f.forestieri@sismlab.it

SOMMARIO

Negli ultimi decenni il monitoraggio dinamico sperimentale sulle opere di ingegneria civile è risultato essere un approccio dalle molteplici applicazioni, che ha interessato costruzioni esistenti e di nuova realizzazione, spaziando nei vari ambiti storico-culturale, industriale, produttivo e marittimo. Ad oggi tale tecnica è infatti adottata per la progettazione e validazione di interventi, per la valutazione dello stato di salute delle strutture con ricerca del danno e per la programmazione della manutenzione e rinforzo di strutture esistenti.

L'applicazione di maggiore interesse resta la tecnica di controllo *Structural Health Monitoring SHM* per la valutazione dello stato prestazionale e di salute di una struttura in condizioni di esercizio e/o, soprattutto, a seguito di eventi eccezionali come il sisma. Con un controllo di questo tipo si vuole indagare la presenza di possibili variazioni in termini di risposta strutturale, confrontando i risultati determinati per via sperimentale con quelli ottenuti da modelli numerici per via teorica; e si interpreta eventuali anomalie o discostamenti come possibili indicatori di danno.

Attualmente, per promuovere l'utilizzo di tali procedure, gli studiosi individuano nuove tecniche di trattamento numerico del dato sperimentale e propongono architetture di monitoraggio sempre più performanti, che fungano anche da strumento gestionale essenziale per garantire la sicurezza in opera delle strutture e per consentire una programmazione economica ed efficace degli interventi di manutenzione. Tuttavia, si nota come, le applicazioni di tali procedure presentino evidenti criticità, sia in campo statico che dinamico, legate alla gestione di grandi moli di dati sperimentali e alle difficoltà operative demandate alle figure tecniche coinvolte nel processo. Si prevedono, infatti, attività altamente specialistiche come: costruzione di modelli numerici, analisi strutturali, acquisizione di dati sperimentali con successivo trattamento numerico e gestione delle fasi sperimentali. Tutti questi aspetti non soddisfano il requisito essenziale di un sistema completamente automatizzato, costituendone perciò una forte limitazione all'impiego.

Con il presente lavoro, limitatamente all'impiego dei sistemi dinamici di controllo, finalizzato alla verifica dello stato di salute in forma routinaria di un edificio in c.a. e/o anche a valle di eventi singolari quale quello sismico, si vuole fornire un contributo alla identificazione di un processo di gestione autodiagnosticante intelligente che utilizzi software dedicati.

1. INTRODUZIONE

Con l'applicazione sempre più diffusa della tecnica di controllo *Structural Health Monitoring* si sta promuovendo l'osservazione dinamica di tipo sperimentale, oltre che, come strumento guida da impiegare a valle di eventi singolari, per individuare con buona precisione le parti danneggiate e/o controllare eventualmente l'efficacia degli interventi di ripristino delle sezioni compromesse, anche come supporto essenziale per verificare le ipotesi progettuali, il modello strutturale, i meccanismi di degrado dell'opera, e per gestire operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria [1], [3] e [8].

Una campagna dinamica con queste finalità richiede attività complesse multidisciplinari altamente specialistiche, che spaziano dal rilievo strutturale dell'opera oggetto di sperimentazione, all'esecuzione di un piano di indagine per la conoscenza dei materiali, alla modellazione numerica, all'analisi strutturale, all'acquisizione ed elaborazione dei dati sperimentali con emissione finale della diagnosi sullo stato di salute. A tutto ciò si aggiunge un'ulteriore criticità dovuta alla gestione di alcune variabili come: tipologia dei materiali in opera, livello di danneggiamento presente, specializzazione delle risorse di calcolo disponibili, livello di conoscenza assunto e perturbazioni random che sollecitano gli elementi oggetto di monitoraggio [4], [5], [10], [11], [12], e [14]. Tali aspetti di fatto hanno pregiudicato il funzionamento dei sistemi con generazione di falsi segnali di allarme e di uscita fuori servizio, rendendo il tutto poco affidabile.

Appare quindi evidente che, l'evoluzione in termini di applicabilità e specializzazione del controllo dinamico sia legata all'impiego di percorsi autodiagnostici intelligenti che supportino l'operatore nelle fasi di verifica e programmazione della manutenzione.

A tale scopo è possibile attingere da altri settori, comunque contigui a quello dell'ingegneria civile, recuperando informazioni relative all'impiego di Intelligenza Artificiale per la gestione automatica dei processi complessi, che a partire da informazioni di livello base permette di compiere, mediante l'utilizzo di software, scelte in tempo utile prima che si verifichino danni irreparabili.

L'obiettivo da parte degli autori è quello di individuare un protocollo procedurale, chiamato anche software autodiagnostico intelligente, che automatizzi l'attuale procedura nota di controllo dinamico per la verifica routinaria dello stato di salute di un edificio in c.a. e/o anche a valle di eventi singolari quale quello sismico. Tale procedura prevede attività altamente specializzate come analisi strutturali predittive, predisposizione di piani di monitoraggio, acquisizione di dati sperimentali e loro trattamento numerico con emissione di report finali di giudizio sullo stato dell'opera. Il software vuole essere un valido supporto tecnico in tutte queste fasi del processo, permettendo così anche a tecnici non altamente specializzati di usufruire di un potente e performante strumento per il controllo delle opere civili.

Di seguito si illustrano prioritariamente le caratteristiche tecniche e le fasi attuative dei processi di controllo dinamico attualmente in uso, successivamente, con l'ausilio di un caso reale studio, si mettono in luce fattivamente quali sono le difficoltà operative di ogni fase del processo, per poi giungere infine ad una proposta di automatizzazione del percorso tracciato.

2. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO DINAMICO: COMPONENTI, CARATTERISTICHE TECNICHE E FASI ATTUATIVE

Il monitoraggio dinamico sperimentale prevede un insieme di attività da eseguire su una struttura o su parti di essa, aventi come obiettivo quello di ottenere una descrizione fisica del comportamento dinamico dell'opera e di conseguenza rilevare problematiche in presenza di vibrazioni ambientali o di

eventi singolari come il sisma. Lo scopo di un tale approccio è quello di determinare per via sperimentale i parametri rappresentativi del comportamento dinamico di una struttura, quali frequenze proprie, periodi fondamentali e modi di vibrare, e confrontarli con i risultati teorici ottenuti dalle analisi strutturali, interpretando eventuali discostamenti e/o anomalie per una diagnosi sullo stato di salute e di danno.

Tralasciando le attività di rilievo geometrico e strutturale, il primo step del processo di monitoraggio strutturale consiste nell'eseguire un'analisi modale predittiva per poter anticipare gli scenari di deformazione ed individuare le membrature più sensibili agli spostamenti, e quindi più predisposte a subire le accelerazioni. Sulla scorta dell'analisi predittiva si predisporrà un piano di monitoraggio dinamico, che definisce a priori i punti delle membrature dove poter posizionare i sensori accelerometrici, e sarà possibile individuare anche le caratteristiche tecniche della centralina e dei sensori accelerometrici. La strumentazione utilizzata può essere di tipo permanente o provvisorio a seconda se, l'identificazione dei parametri modali deve avvenire nella fase di esercizio o in servizio dell'opera. In particolare il sistema provvisorio è un sistema che ben si sposa con le esigenze legate alla definizione di un piano di manutenzione, mentre il sistema permanente va oltre ed esegue anche attività di controllo a valle di eventi singolari quale il sisma. In base all'applicazione, di tipo permanente o provvisoria, c'è anche una diversa dislocazione di cavi all'interno delle strutture soggette e monitoraggio dinamico.

A titolo di esempio si riporta uno stralcio dei disegni contenuti nel piano di monitoraggio dinamico di una attività sperimentale eseguita dagli scriventi su un edificio denominato "Palazzo Mannetti" ubicato nel centro storico della città dell'Aquila, dai quali si evince la posizione precisa degli accelerometri ed il percorso dei cavi a piano terra. Il sistema di monitoraggio dinamico installato, con la prerogativa di acquisire in continuo, controlla i livelli di accelerazione al piano terra per mezzo di sensori accelerometrici capacitivi, bidimensionali, che ben si prestano a misure di alta qualità (sensibilità nominale, larghezza di banda e range dinamico). Il fissaggio dei rilevatori è stato previsto con idonee piastre metalliche, che oltre a fornire ai sensori una superficie liscia sulla quale poggiarsi, li vincolano perfettamente al riferimento fisso.

PIANO TERZO
TRACCE, SCASSI E PERFORAZIONI

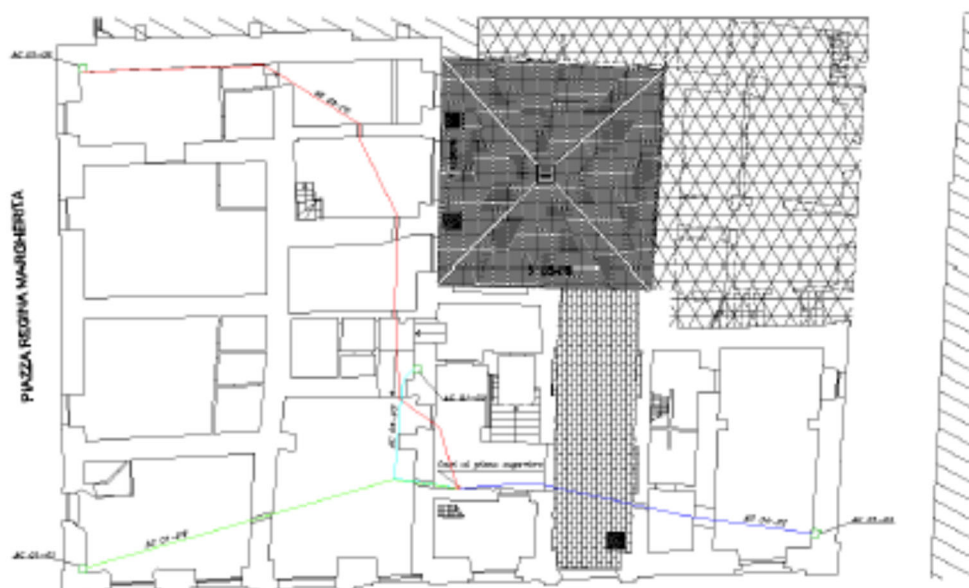


Fig.1- Sensori ubicati e percorso dei cavi al piano terra.



Fig.2 – Piastra di base e Accelerometro SARA SA-10.

Gli steps successivi del processo di monitoraggio riguardano l'acquisizione, l'elaborazione e la gestione dei dati con resoconto finale sullo stato dell'opera. Nella fase di acquisizione si raccolgono i dati sperimentali in un computer per una futura analisi, tenendo conto di alcuni accorgimenti: se le caratteristiche dipendono da più sensori, allora questi devono essere campionati simultaneamente; la frequenza di campionamento e la lunghezza delle registrazioni devono essere adattate alle necessità delle caratteristiche da estrarre, pertanto il sistema di acquisizione deve essere capace di individuare un sovraccarico e respingere le misurazioni attraverso parametri soglia ricavati con analisi predittive. Nella fase di elaborazione del segnale vengono estratte le caratteristiche in maniera diretta oppure per mezzo di una fase di pre-processing. L'obiettivo è quello di individuare le caratteristiche ritenute qualitative per la ricerca del danno, che non siano sensibili alle normali variazioni ambientali. Il danno viene identificato con la costruzione del grafico di controllo dove riportare gli andamenti delle caratteristiche qualitative e i limiti inferiori e superiori, individuati da campionamenti nei quali il processo è stato ritenuto sotto controllo. Si tiene conto solo dei cambiamenti significativi di queste caratteristiche come potenziale sintomo di danno.

Attualmente la fase di gestione del sistema è affidata ad un tecnico specializzato, che segue le diverse fasi di acquisizione dati, elaborazione dei segnali raccolti, individuazione dei parametri dinamici della struttura, interpretazione dei risultati con emissione di un report finale. Nel report finale si riporta il segnale di allarme danno quando si misurano almeno due eventi consecutivi di possibilità di danno che porterebbero portare ad una riduzione del coefficiente di sicurezza della struttura.

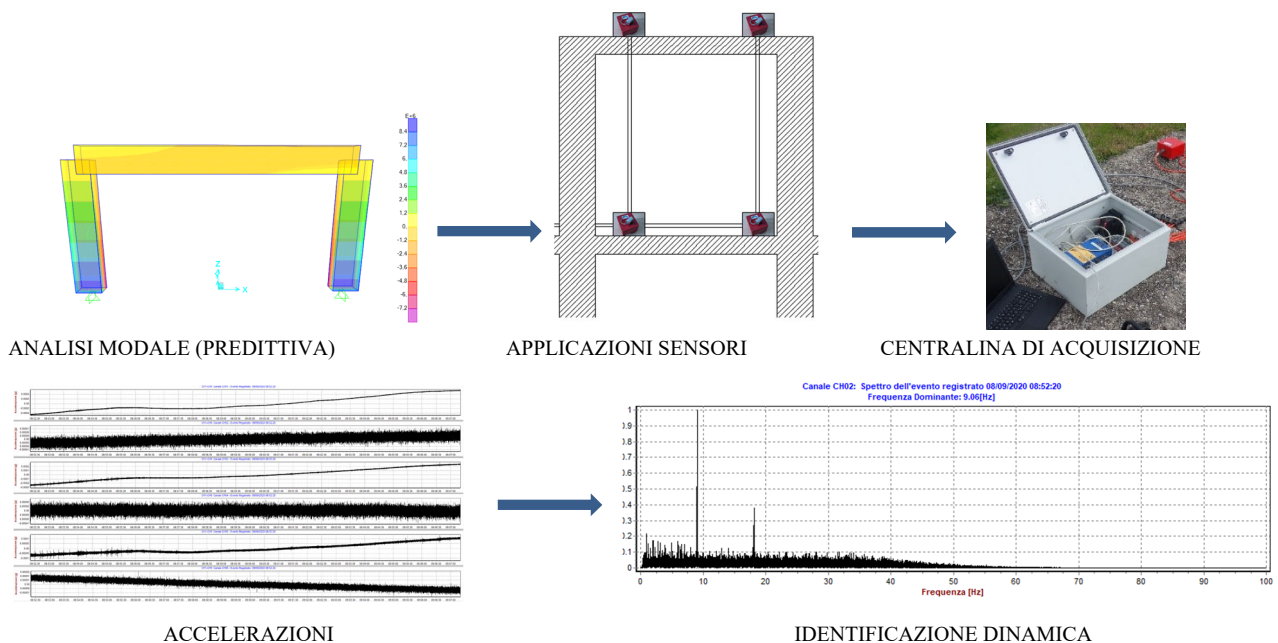


Fig.3 – Schema tipo di un sistema di monitoraggio dinamico.

Al fine di restituire l'effettiva consistenza dei contenuti espressi nella presente sezione è opportuno

ripercorrere quanto descritto con l'ausilio di un caso di studio.

3. IL CONTROLLO STRUTTURALE DINAMICO: UN CASO DI STUDIO

Di seguito si riporta un caso studio per dare un'idea di come funziona un'acquisizione dinamica con successivo trattamento numerico del dato e per fare apprezzare al lettore le difficoltà operative e decisionali a cui vanno incontro i tecnici coinvolti nelle varie fasi del processo. In particolare, viene portata ad esempio una canonica applicazione, non finalizzata alla individuazione di condizioni di danneggiamento puntuali, bensì alla sola comparazione tra le risposte dinamiche ottenute per via sperimentale e quelle ottenute da una analisi dinamica lineare di tipo teorico.

La struttura sottoposta ad un sistema di monitoraggio dinamico è il liceo scientifico statale Leonardo Da Vinci nella provincia di Reggio Calabria. Il test è stato effettuato registrando solo le velocità in punti strategici dell'edificio, precedentemente individuati attraverso un adeguato rilievo geometrico-strutturale e una modellazione preventiva agli elementi finiti.

Dal trattamento numerico dei dati accelerometrici sperimentali sono stati ricavati i parametri rappresentativi del sul comportamento dinamico della struttura in presenza del solo rumore ambientale [14]. Il trattamento numerico *utilizzato è quello che segue l'approccio dell'analisi modale operativa OMA Operational Modal Analysis con tecnica di identificazione dinamica output-only o anche detta di decomposizione del dominio della frequenza FDD Frequency Domain Decomposition.*

3.1 DESCRIZIONE DELLA GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Il complesso è costituito da 3 corpi di fabbrica, separati da giunti tecnici. Le dimensioni in pianta dell'edificio sono 48,5 m circa nella sua direzione longitudinale e 13,6 m nella direzione trasversale, ad eccezione della porzione costituita dal terzo corpo di fabbrica che ha una dimensione trasversale di circa 21 m. In altezza si rileva una maggiore dimensione del piano terra, con interpiano di 4,65 m, rispetto al primo e secondo livello con interpiano di 3,65 m.

Di seguito si riporta una pianta ed un prospetto relativi al rilievo architettonico dell'edificio.

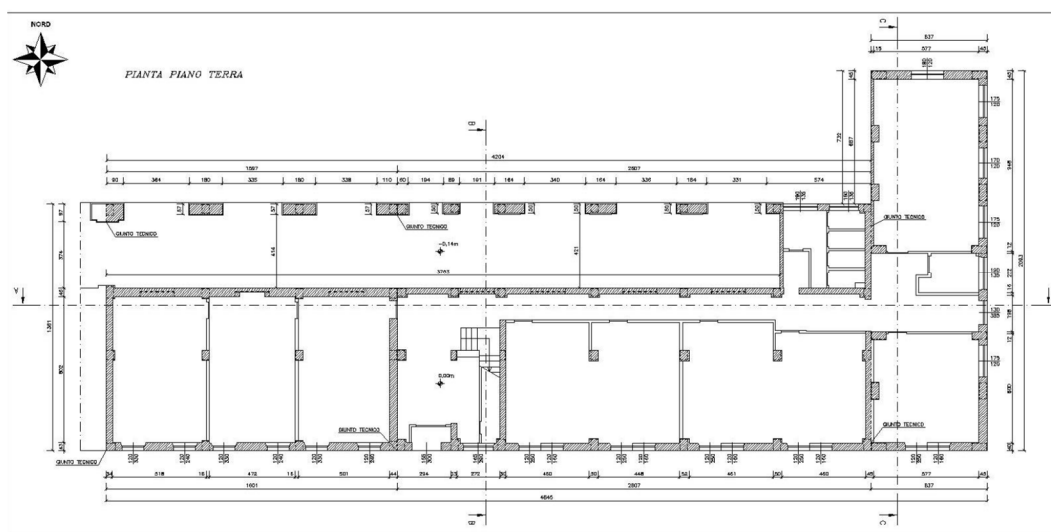


Figura 4 – Pianta piano terra.



Figura 5 – Prospetto Nord.

Dal punto di vista strutturale, l'edificio è caratterizzato da una struttura portante a telaio in cemento armato lungo le due direzioni ortogonali. Le travi presentano una sezione 40x60 cm per il primo impalcato, mentre al secondo e al terzo impalcato le travi presentano una larghezza ridotta e pari a 30 cm. Per quanto riguarda i pilastri invece, nel primo impalcato, questi presentano una sezione pari a 40x60 cm, nel secondo 40x40 cm, mentre al terzo impalcato la sezione si riduce a 40x30 cm. Lo spessore degli impalcati di piano è di 40 cm per tutti i livelli. La struttura, nel dettaglio, presenta muri esterni ed interni realizzati in mattoni pieni, ad eccezione di alcuni, come ad esempio quelli divisori all'interno dei servizi igienici, realizzati con laterizi forati.

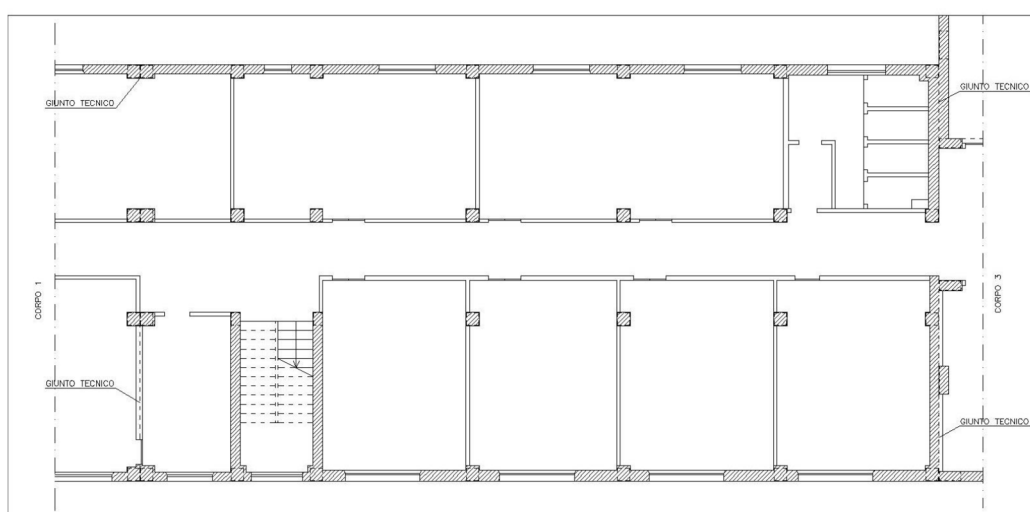


Figura 6 – Porzione di edificio interessata dalla sperimentazione.

3.2 IL MODELLO NUMERICO

La caratterizzazione numerica della risposta dinamica della struttura in oggetto è stata effettuata mediante un'analisi modale con l'uso di un manipolatore agli elementi finiti. La struttura è stata modellata utilizzando elementi monodimensionali per travi e pilastri ed elementi bidimensionali per le scale. Gli impalcati sono stati modellati come infinitamente rigidi nel proprio piano, mentre i nodi alla base dei pilastri del piano terra sono stati modellati come incastri, omettendo di conseguenza di modellare gli elementi di fondazione.

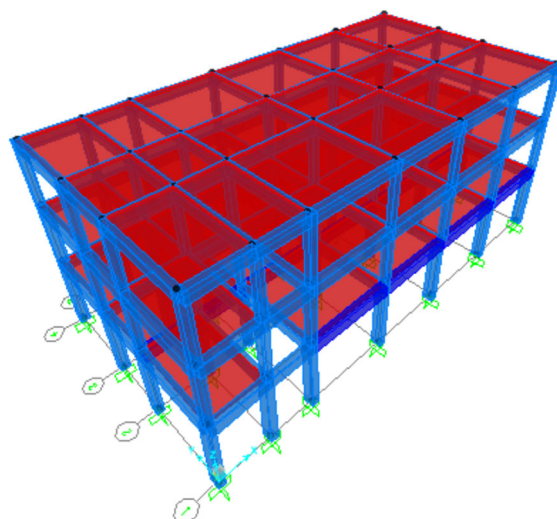


Figura 7 – Modellazione FEM della struttura.

Oltre che al peso proprio di queste parti della struttura, automaticamente computate, sono state aggiunte le masse relative alle finiture presenti nell'edificio al momento delle acquisizioni sperimentali (massetti, tamponature, ecc.). Le proprietà meccaniche degli elementi portanti sono state ricavate da misure sperimentali in opera. Il modello numerico ha individuato le seguenti frequenze relative ai modi globali della struttura.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	Direction
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	Text
MODAL	Mode	1	0,14785	6,7636	Y
MODAL	Mode	2	0,107365	9,314	X
MODAL	Mode	3	0,095449	10,477	TORC.
MODAL	Mode	4	0,090422	11,059	Y
MODAL	Mode	5	0,077822	12,85	X

Tabella 1 – Frequenze del modello FEM.

3.3 IL MODELLO SPERIMENTALE

La campagna dinamica è incentrata sull'identificazione dei modi di vibrare del secondo corpo di fabbrica attraverso la misura della risposta dell'edificio in termini di velocità sotto l'azione di forze esterne ignote. Con la ricostruzione per via sperimentale dei modi sarà possibile migliorare le conoscenze sul comportamento dinamico e utilizzare questi risultati anche per calibrare la modellazione numerica ai fini di renderla più aderente al comportamento reale della struttura.

La campagna dinamica è stata preceduta dall'analisi dei tre corpi di fabbrica predisponendo un progetto attuato in opera. Il sistema di monitoraggio adottato è costituito da 20 velocimetri Veloget 3D triassiali, sistemati in numero di 5 per ogni livello, e da 16 accelerometri Sara SA-10 triassiali, sistemati in numero 4 per ogni livello. La centralina di acquisizione è costituita da una Dymas24 Alben, come di seguito riportato nelle immagini.

I sensori scelti si prestano bene all'identificazione dinamica attraverso le misure di rumore, presentando un range di frequenza abbastanza ampio e bassissimi disturbi strumentali per segnali a basse frequenze, come quelli generati dal traffico o da micro-tremori.

I sensori sono stati installati sulla struttura a livello dei solai per cogliere al meglio gli effetti di piano

ed è stata effettuata in modo da centrifugare la posizione rispetto al baricentro delle rigidezze. È stato previsto anche il posizionamento di un sensore a ridosso del vano scale.



Figura 8 – Foto della strumentazione durante le indagini.

3.4 ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI

I segnali sono stati acquisiti come velocità espresse in mm/s, avendo precedentemente settato questo parametro all'interno del software di gestione della centralina. Da una prima analisi qualitativa delle tracce registrate, i segnali sono stati rilevati come sostanzialmente omogenei, senza la presenza di picchi accidentali o andamenti fuorvianti ai fini delle analisi dinamiche. Dopo aver ottenuto le velocità di campionamento con l'utilizzo dei velocimetri, si è passato alla relativa derivazione del segnale nel tempo, per ottenere le tracce delle accelerazioni, espresse in mm/sec², necessarie per l'identificazione dei parametri modali tramite l'algoritmo operante nel dominio delle frequenze e noto come FDD Frequency Domain Decomposition.

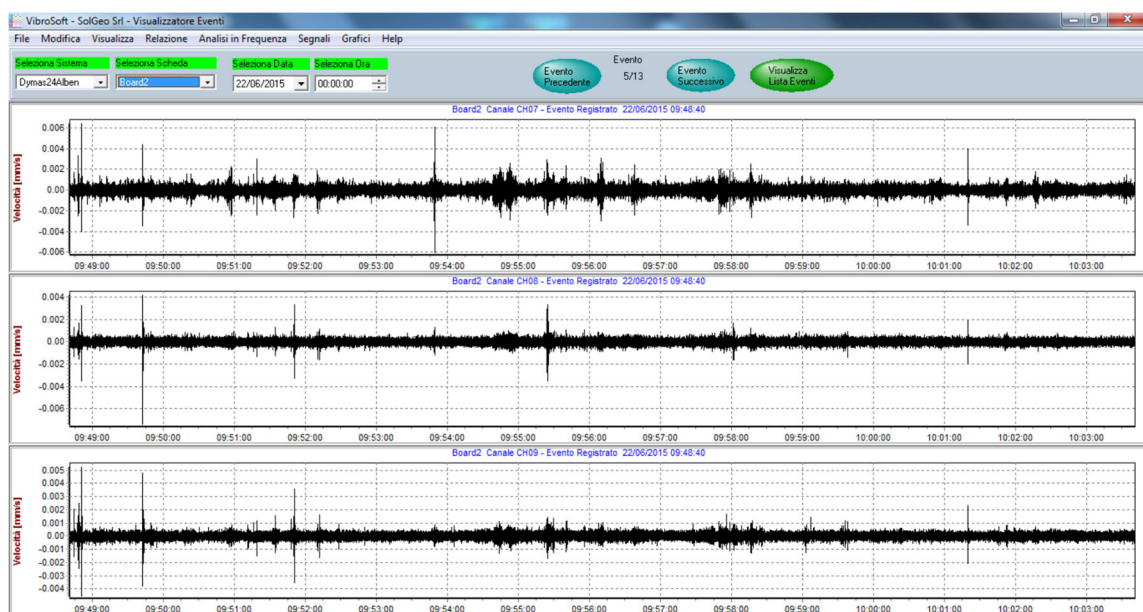


Figura 9 – Esempio di segnale acquisito da un velocimetro nelle sue componenti Est, Nord e Z.

3.5 PROCEDURA DI IDENTIFICAZIONE DINAMICA

La procedura di identificazione dinamica FDD adottata ha previsto una prima fase di estrapolazione dal grafico del primo modo singolare, l'identificazione di un picco sulla curva e l'applicazione dei criteri di coerenza per stabilire l'attendibilità fisica del modo individuato; ed ha restituito i seguenti valori di frequenze modali.

OutputCase	StepType	StepNum	Frequency
Text	Text	Unitless	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	6,2256
MODAL	Mode	2	9,5215
MODAL	Mode	3	10,0098
MODAL	Mode	4	10,7422
MODAL	Mode	5	12,0850

Tabella 2 – Frequenze derivanti dall'analisi FDD.

3.6 CONFRONTO RISULTATI

Si mettono a confronto di seguito nella tabella i risultati in termini di frequenza, ottenuti sia per via teorica dall'analisi FEM che per via sperimentale dall'analisi modale operativa OMA, con la valutazione dell'errore relativo, avendo considerato come riferimento oggettivo il modello ad elementi finiti. Dal confronto è emerso che le differenze tra i risultati dell'analisi FEM e quelli dell'attività sperimentale presentano valori accettabili, per cui è possibile perseguire in futuro il controllo della struttura sperimentalmente, monitorando periodicamente l'eventuale scostamento tra questi parametri e quelli rilevabili con l'architettura di monitoraggio dinamico. In termini espliciti con una procedura comparativa sarà possibile individuare segnali relativi a danneggiamenti e perdita di affidabilità in esercizio e a valle di eventi singolari.

Modo n°	Frequenza FEM	Frequenza FDD	Errore
Text	Hz	Hz	%
Mode 1	6,7636	6,2256	7,95
Mode 2	9,314	9,5215	2,179
Mode 3	10,477	10,0098	4,459
Mode 4	11,059	10,7422	2,86
Mode 5	12,85	12,0850	5,95

Tabella 3 – Confronto FEM – FDD (velocimetri).

Con la trattazione di questo caso studio si è voluto fattivamente dimostrare quali siano le difficoltà di carattere operativo e decisionale demandate ai tecnici coinvolti nel processo. È stato infatti necessario svolgere le seguenti attività: rilievo geometrico-strutturale dell'edificio oggetto di sperimentazione, analisi dinamica modale con individuazione dei parametri di rigidezza, acquisizione delle accelerazioni in opera con trattamento numerico per identificare i parametri dinamici dell'opera, confronto tra i risultati ed emissione di un responso finale come risultato dell'incrocio tra tutte le informazioni recuperate nelle fasi precedenti. Appare evidente che per quanto l'attuale approccio di controllo possa restituire un responso attendibile è forse più opportuno demandare la gestione delle fasi ad un software autodiagnosticante intelligente, che possa automatizzare la procedura nota e costituire un valido supporto tecnico. Nella sezione seguente sono riportate in forma sintetica le funzionalità di tale software in grado di auto attivarsi e catturare in modo del tutto autonomo il moto della struttura ogniqualvolta una significativa fonte di vibrazione supera una determinata soglia (monitoraggio trigger-based).

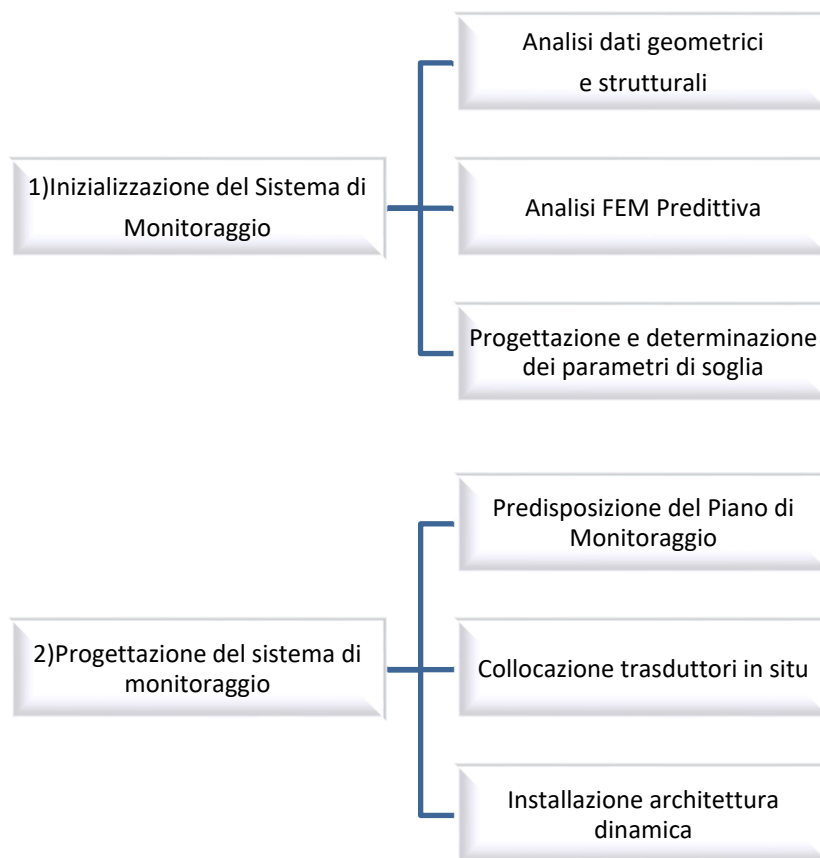
4 PROPOSTA DI UNA ARCHITETTURA AUTODIAGNOSTICANTE PER LA GESTIONE DEL CONTROLLO DINAMICO

A questo punto della trattazione, individuate le difficoltà operative di carattere gestionale e decisionale del processo, gli autori si propongono di sviluppare una procedura autodiagnosticante, capace di automatizzare tutti i passaggi del processo di controllo attualmente in uso, limitando e/o escludendo le criticità proprie di ciascuna fase, a partire dall'analisi strutturale predittiva, alla predisposizione del piano di monitoraggio, all'acquisizione sperimentale dei dati e alla loro successiva elaborazione e rendicontazione.

Per piano di monitoraggio si intende un piano che individui la posizione dove collocare gli accelerometri. Solitamente le membrature da monitorare si scelgono sulla base di un'analisi modale predittiva, per cui, analogamente a quanto eseguito manualmente, il software intelligente sulla scorta delle rigidezze individua le membrature più sensibili in termini di spostamento su cui sistemare gli accelerometri.

I sistemi che si autogestiscono come quello che gli autori propongono, sono capaci di valutare continuamente il comportamento strutturale e di supportare l'operatore o il tecnico che si occupa della gestione del sistema.

Di seguito si vuole riportare tramite uno schema a blocchi i processi che hanno condotto gli autori alla realizzazione del software intelligente autodiagnosticante e descrivere nello specifico l'automazione dei passaggi durante la vita utile di una struttura in c.a..



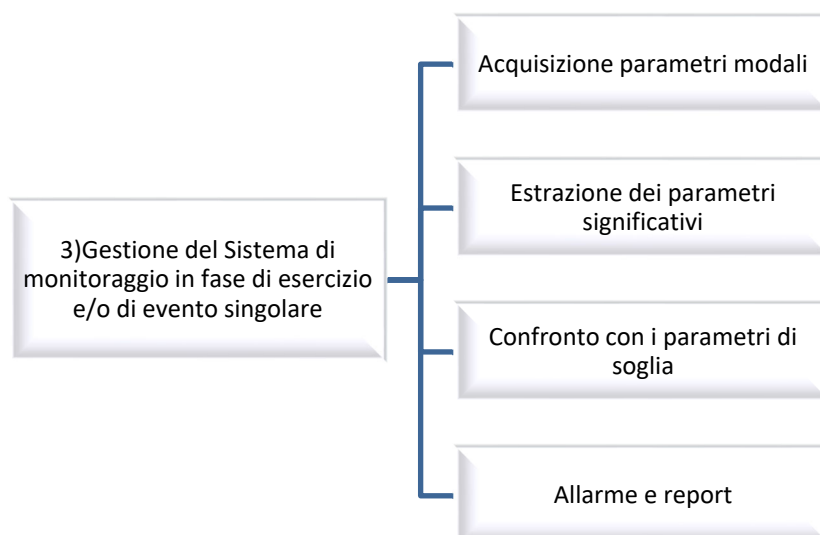


Diagramma di flusso: Processi del sistema Autodiagnosticante.

Il software, realizzato inizialmente in ambiente Maple Soft, risulta articolato e al contempo semplice ed intuitivo. Si riportano di seguito, per una migliore comprensione, alcuni passaggi fondamentali svolti dal software:

1. Introduzione dei dati geometrici dell'ossatura portante dell'edificio e dei carichi attraverso un foglio dati (caratteristiche geometriche, strutturali e materiche);
2. Esecuzione dell'analisi dinamica agli elementi finiti con spettro di progetto o time history;
3. Introduzione di un valore soglia, definito in base all'analisi predittiva ed associato al valore dell'ampiezza di accelerazione che porta la struttura al superamento di determinati stati di sollecitazione (trigger-point);
4. Acquisizione dei parametri dinamici attraverso una rete di sensori precedentemente installati secondo un piano di monitoraggio, definito sempre base all'analisi predittiva;
5. Elaborazione e processione dei dati sperimentali e conseguente comparazione con i parametri dinamici di tipo numerico già presenti in archivio;
6. Acquisizione dei dati che superano i valori soglia e raccolta in una unità di memorizzazione permanente per renderli disponibili nelle successive e più approfondite analisi.

Il processo di rilevamento del danno attuato dal software prevede un confronto tra i parametri dinamici sperimentali (frequenze e smorzamenti modali) con quelli analitici già memorizzati all'interno del software o con quelli forniti dalla prima campagna sperimentale (modello zero o di riferimento).

Gli scostamenti tra tali parametri sono indice di un'avvenuta redistribuzione delle masse o delle rigidità, e quindi di un avvenuto danno. La possibile presenza di danno deve essere segnalata solo in presenza di variazioni significative che superino un determinato valore soglia. In questo caso il software innesca un processo di warning e registra l'evento, fornendo un report sulle condizioni della struttura e sulla correttezza operativa del sistema stesso.

Il diagramma di flusso riportato di seguito, riporta in modo semplificato le fasi del sistema autodiagnosticante che portano alla diagnosi del danno di una struttura.

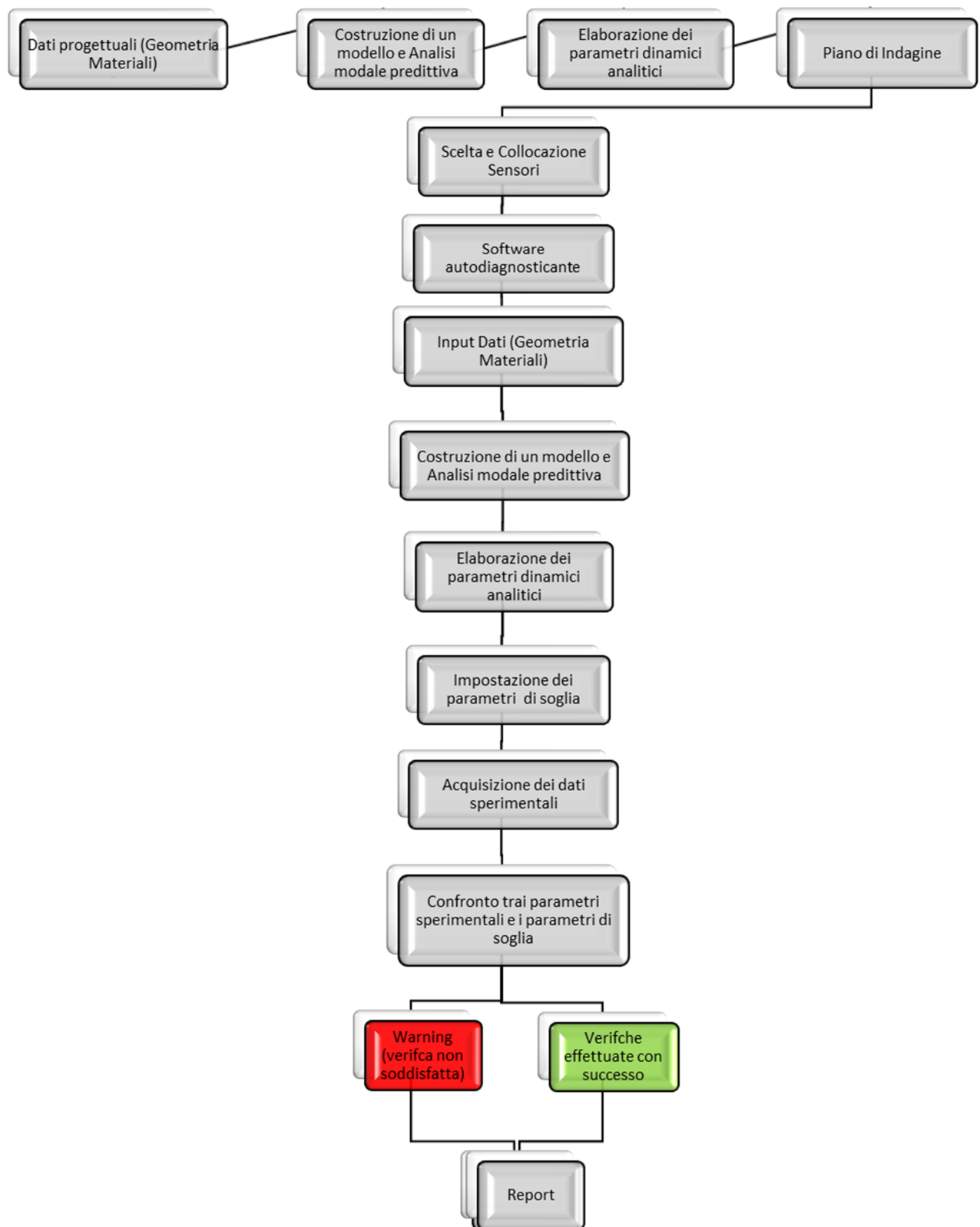


Diagramma di flusso: descrizione delle fasi del sistema Autodiagnosticante per la diagnosi del danno di una struttura.

4.1 GESTIONE AUTOMATICA DEI DATI E DI ALCUNE FASI DECISIONALI

Il controllo dinamico sulla struttura gestito mediante l'utilizzo di un sistema autodiagnosticante è in grado di garantire i passaggi di una comune metodologia di diagnostica sperimentale, basata sulla raccolta dati e la loro elaborazione e conservazione con finale produzione di reportistica. Nello specifico un tale sistema deve essere in grado di soddisfare le seguenti prerogative:

- ridurre/eliminare l'operatività manuale nelle fasi di raccolta, elaborazione e rendicontazione dei dati;
- ridurre/eliminare la probabilità di errore insita negli interventi manuali;
- ridurre/eliminare i possibili punti di "manipolazione" dei dati, per aumentare la trasparenza nei confronti dell'utente;
- standardizzare la modalità di conservazione dei dati di dettaglio o di sintesi;
- far coincidere, laddove possibile, gli strumenti di raccolta dati con quelli per il monitoring dei sistemi;
- disporre di una base dati che possa fornire informazioni su operazioni pregresse;
- fornire una verifica diretta dei dati di rendiconto con accesso diretto da parte degli utenti;
- consentire un'analisi delle variazioni delle grandezze significative, utili all'analisi delle variazioni stagionali delle forzanti e alla stima di un processo di pianificazione;
- rendere disponibili i dati statistici e di rendiconto operativo su specifica richiesta del Committente.

L'espletamento di tutte queste funzionalità riduce la tempistica degli interventi di manutenzione attraverso una programmazione direttamente orientata, traducendosi anche in una diminuzione di guasti e costi.

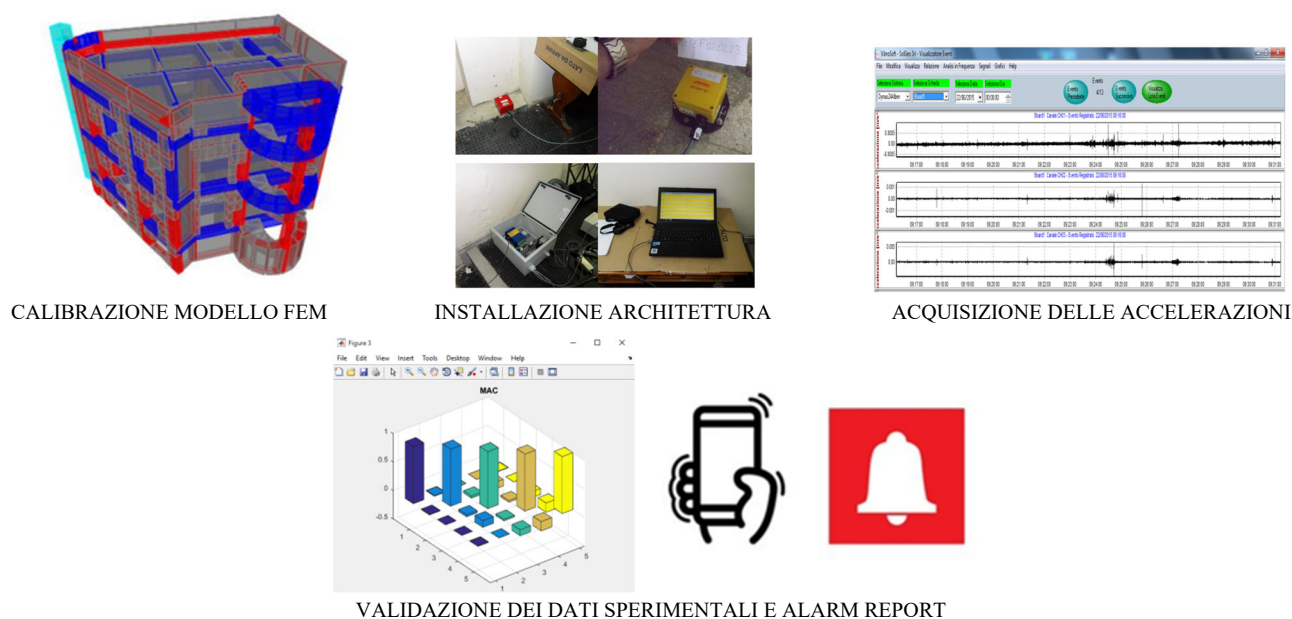


Fig.10 - Illustrazione schematica del funzionamento di una architettura di monitoraggio dinamico.

Di seguito si esaminerà l'applicazione di una architettura autodiagnosticante installata su una struttura in c.a. durante la fase di esercizio con lo scopo di valutare le condizioni di salute dell'opera durante la sua vita utile.

4.2 PROCESSO AUTODIAGNOSTICANTE DELLA STRUTTURA IN ESERCIZIO

L'applicazione delle tecniche di identificazione dinamica in presenza di sola eccitazione ambientale, prevede l'acquisizione di accelerazioni sperimentali direttamente nelle condizioni operative della struttura. In tal modo i parametri modali, ottenuti dal trattamento numerico del dato, sono rappresentativi del comportamento dinamico della struttura nelle sue reali condizioni di utilizzo.

Le campagne dinamiche eseguite durante l'esercizio ad intervalli regolari consentono di valutare lo stato di conservazione dell'opera e/o identificare eventuali condizioni di danneggiamento. Rilevare, infatti, variazioni in termini di parametri modali, a valle di tali campagne sperimentali, è indice di una avvenuta dell'assetto strutturale, imputabile a fenomeni di varia natura come consolidamenti, lesioni o cricche dovute a fenomeni di fatica. In questo modo il confronto tra i risultati di prove dinamiche effettuate a distanza di tempo mette in luce eventuali perdite di prestazioni in termini di resistenza dell'opera.

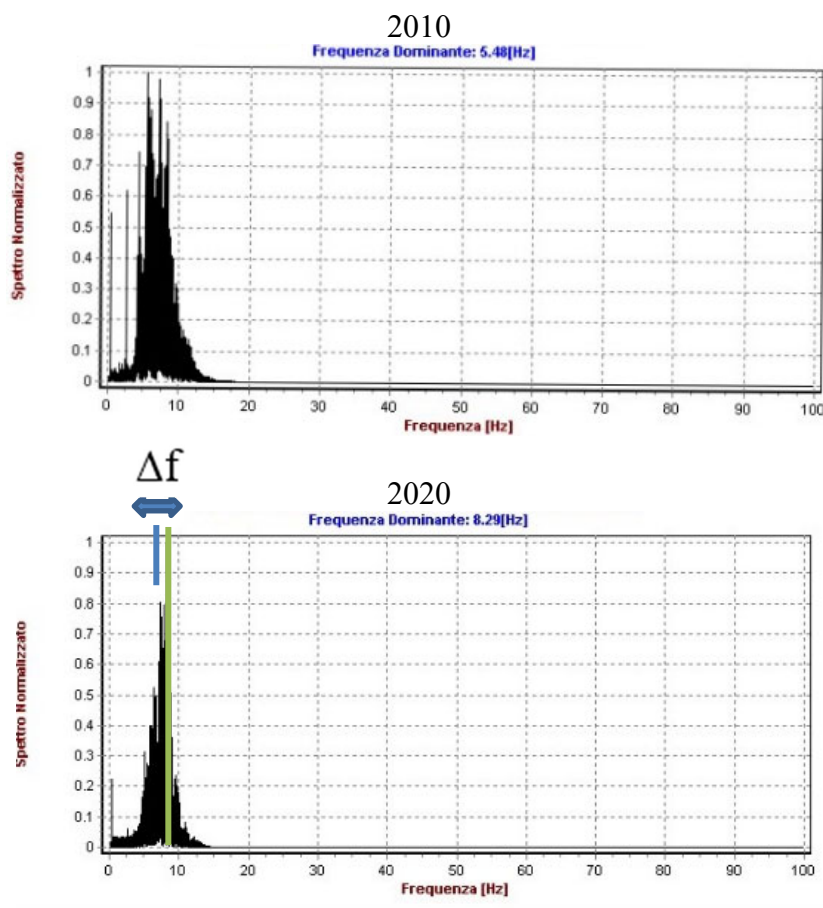


Fig.11 - Esempio di Variazione di frequenza di un punto monitorato.

A tale scopo il sistema permanente autodiagnosticante può essere impostato per un controllo periodico, basato sul confronto tra i parametri rilevati sperimentalmente e i parametri dinamici analitici (deformazioni, spostamenti, frequenze e modi di vibrare), già memorizzati nel database o quelli forniti dalla prima campagna sperimentale (modello zero o di riferimento), con il rilevamento di eventuali variazioni o anomalie. La possibile presenza di danno sarà segnalata in presenza di eventuali variazioni significative che superano un determinato valore soglia. In questo caso il software tramite un allarme di warning informa il tecnico per dare il via ad una campagna di ispezione più accurata, riuscendo in tal modo ad evitare un ulteriore aggravamento delle condizioni della struttura.

Per una completa valutazione degli effetti delle vibrazioni il sistema autodiagnosticante fornisce inoltre un rapporto sulle condizioni di salute della struttura, che dovrà comprendere la descrizione particolareggiata dell'opera, la descrizione degli eventuali danni rilevati, la valutazione dei risultati e il giudizio conclusivo. Inoltre ai fini della redazione di piani manutentivi, il sistema autodiagnosticante potrà essere interrogato anche ad intervalli di tempo prestabilito, in modo tale che le informazioni raccolte possano dare un quadro di quello che è lo stato di fatto della struttura.

5 CONCLUSIONI

Con il presente lavoro gli autori hanno proposto una architettura di monitoraggio dinamico implementata per la gestione con un software autodiagnosticante al fine di monitorare lo stato di efficienza di strutture dell'ingegneria civile. In particolare tale sistema potrà fornire, con gli ulteriori sviluppi, affidabili informazioni sulle prestazioni della struttura e sulla sua integrità, escludendo l'operatività manuale nelle fasi di analisi, raccolta, elaborazione e rendicontazione dei dati.

Infine gli autori si propongono in futuro, di sviluppare ulteriormente questo processo logico decisionale in modo da renderlo disponibile su piattaforma per facilitarne l'impiego e favorirne la diffusione eliminando le potenziali cause che ne hanno confinato la presenza quasi esclusivamente a soli casi di ricerca applicata.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Forestieri F. – Tesi di Laurea “*Controlli dinamici mediante processi autodiagnostici: big data 4.0*” – Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria – Relatore: Prof. Ing. G. Porco; (2018).
- [2] Mufti A.A. – “*Guidelines for structural health monitoring. Winnipeg*”, Manitoba: ISIS Canada. B.; (2001).
- [3] Fabbrocino G., Rainieri, C., Verderame, G. M. – “*L’analisi dinamica sperimentale e il monitoraggio delle strutture esistenti*” – Università degli Studi del Molise, Consorzio ReLUIS, Università degli Studi “Federico II” di Napoli, Consorzio ReLUIS; (2007).
- [4] Brownjohn J.M.W. – “*Structural health monitoring of civil infrastructure*” – Phil. Trans. R. Soc., pp.610-613. 91; (2007).
- [5] Ross R. M., Matthews S. L., “*Discussion: in-service structural monitoring - A state of the art review*”, pp .214–217; (1995).
- [6] Celebi M. – “*Seismic instrumentation of buildings (with emphasis on federal buildings)*” – Technical Report No. 0-7460-68170, United States Geological Survey, Menlo Park, CA, Bocca M., Cosar E. I., Salminen J., Eriksson L.M; (2002).
- [7] Mizuno Y., Monroig E., Fujino Y., Wavelet – “*A Reconfigurable Wireless Sensor Network for Structural Health Monitoring*” – 4th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligence Infrastructure, Zurich, Switzerland; (2009).
- [8] Brownjohn J.M.W. – “*Decomposition-based approach for fast damage detection of civil structures*” – Journal of Infrastructure Systems, ASCE, Vol. 14, No. 1, 2008, pp. 27-32. Structural health monitoring of civil infrastructure, in Phil. Trans. R. Soc., pp.613-616; (2007).
- [9] Bettinali F., Galimberti C., Meghella M. – “*The dynamic analysis of large structures as a method for structural investigation*” – ENEL/CRIS report 4002fb; (1990).
- [10] Materazzi A. – “*Effetti delle vibrazioni di origine ambientale sulle costruzioni civili*” – Dipartimento di ingegneria civile e ambientale, Università di Perugia; (2001).
- [11] Farrar C. R., Ph.D., P.E. – “*New Trends in Vibration-Based Structural Health Monitoring: A Statistical Pattern Recognition Paradigm for SHM*”; (2006).
- [12] Kullaa J. – “*Functions of a Structural Health Monitoring System*”; (2008).
- [13] UNI 10985:2002 – “*Vibrazioni su ponti e viadotti - Linee guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici*”.
- [14] N. F. D. De Vita. – Tesi di Laurea - “*Verifiche di affidabilità del patrimonio edilizio esistente mediante le misure di rumore*” – Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria – Relatore: Prof. Ing. G. Porco; (2015).

N.05 - November 2020
ISBN: 979-12-80280-04-6

EDIZIONI SISMLAB
Available online at www.sismlab.com