



Scientific Report

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

Authors: G. Porco, M. Fazari

Scientific Publications by Sismlab s.r.l.
Spin-Off University of Calabria
Rende (CS), Italy
N.06 - XI- 2020
ISBN: 979-12-80280-05-3

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.06 - November 2020
ISBN: 979-12-80280-05-3

(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 STATICO MEDIANTE PROCESSI AUTOMATICI INTELLIGENTI PER EDIFICI DI NUOVA COSTRUZIONE

G. Porco* - M. Fazari**

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria

giacinto.porco@unical.it

**Sismlab s.r.l.- Spin – Off Università della Calabria.

info@sismlab.it

SOMMARIO

Negli ultimi anni alle ormai consolidate procedure per il controllo dei materiali strutturali si è affiancata una ulteriore tecnica di screening basata sulla osservazione in continuo delle deformazioni attraverso l'impiego di sistemi di monitoraggio in campo statico [1], [2] e [9]. Anche nell'ambito delle nuove costruzioni ci si appropria a tale tecnica per verificarne la corretta realizzazione; si applicano, infatti, già in fase costruttiva rilevatori di spostamento su una predefinita base di misura, direttamente sulle barre di armatura di quelle membrature in c.a., considerate critiche e se ne monitora il processo di carico.

Tra le potenzialità del monitoraggio statico strutturale si ha la possibilità di seguire i processi di crescita delle sollecitazioni durante le fasi realizzative dell'opera fino all'entrata in esercizio, si può garantire un utilizzo in piena sicurezza di strutture e manufatti e inoltre interrogare i sistemi a valle di eventi singolari come il sisma, requisito di assoluta utilità per un territorio ad alta pericolosità come quello italiano [5]. Tuttavia, ad oggi, la scarsa penetrazione nel settore di tali sistemi ed il basso impiego nel contesto dell'ingegneria civile, fanno emergere che le procedure di attuazione del controllo presentino delle criticità. Le principali limitazioni all'impiego sono legate alla mancata automatizzazione della procedura, per cui i tecnici coinvolti nel processo si ritrovano a dover eseguire attività altamente specialistiche di studio preventivo e di gestione in tutte le fasi sperimentali.

È nel tentativo di attenuare tali criticità che gli autori con il presente lavoro intendono presentare una proposta di impiego di un software autodiagnosticante intelligente, ad uso circoscritto, al momento, alle sole opere di nuova costruzione, che automatizzi la procedura nota di controllo statico nelle fasi realizzative fino all'entrata in servizio ed al successivo esercizio.

1. INTRODUZIONE

Ad oggi le problematiche riscontrate sul patrimonio edilizio esistente sono il più delle volte dovute alla mancanza di attuazione di adeguati piani di manutenzione e di specifiche indicazioni di screening per effettuare semplici controlli routinari. L'assenza di procedure normate per il controllo strutturale di tutte le fasi di vita di un'opera, partendo da quella costruttiva fino all'esercizio, ha portato ad avere nel tempo situazioni di danno e degrado importanti, specialmente per le strutture realizzate prima del 2008. In questo contesto hanno trovato larga applicazione sia i controlli con tecniche non distruttive, orientati alla caratterizzazione meccanica dei materiali, che i controlli globali di tipo statico e dinamico per caratterizzare le prestazioni e lo stato di salute della struttura [7] e [8].

Il monitoraggio statico di edifici di nuova costruzione prevede sostanzialmente due momenti: un primo controllo che segue la fasi costruttive per individuare la presenza di anomalie e far emergere eventuali errori di messa in opera o di non perfetta congruenza con il progetto esecutivo; ed un secondo controllo, di tipo periodico, che avviene nella successiva fase di esercizio.

Il controllo statico in fase costruttiva avviene mediante l'applicazione di rilevatori di spostamento applicati direttamente sulle armature delle membrature in c.a. ritenute critiche e consiste nel verificare in tempo reale che la risposta strutturale nelle diverse condizioni di carico sia in linea a quella attesa con le previsioni analitiche ottenute da progetto. A struttura ultimata prima di iniziare con i controlli periodici è prevista una fase intermedia di monitoraggio, riferita ad un periodo di riferimento, immediatamente successivo all'entrata in servizio dell'opera e preso pari solitamente a uno o due anni. Gli spostamenti acquisiti in questo frangente sono rappresentativi del comportamento statico dell'opera mese per mese, al variare delle condizioni ambientali di temperatura, e vengono perciò raccolti in una banca dati di riferimento per i successivi controlli durante l'esercizio.

Il controllo statico in esercizio avviene periodicamente oppure in occasione di un evento singolare come il sisma. La raccolta delle informazioni può avvenire manualmente attraverso un operatore o automaticamente, con l'utilizzo di sistemi informatici in funzione della frequenza e del tipo di misura prevista, ma è in ogni caso caratterizzata da intervalli regolari di mesi o anni tra una acquisizione e la successiva. Tale controllo consiste nel rilevare periodicamente i parametri rappresentativi dello stato di salute della struttura, quali i livelli di deformazione in determinati punti critici [5] e [10] e confrontarli con quelli della banca dati, riferiti al periodo di riferimento. In un controllo di questo tipo la variazione del regime di deformazione eventualmente registrato e fuori dai valori attesi, è indice di una avvenuta redistribuzione delle sollecitazioni a seguito della formazione di plasticizzazioni locali.

A parere degli scriventi i sistemi di controllo di tipo statico, a differenza di quelli dinamici, presentano maggiore affidabilità in quanto i dati acquisiti dalla campagna sperimentale necessitano di un ridotto trattamento numerico. È immediato, quindi, dedurre che un sì fatto sistema di monitoraggio se correttamente progettato possa avere grandi potenzialità, non solo come strumento di controllo, ma anche come parte integrante di un piano di manutenzione.

Con il presente lavoro gli autori vogliono contribuire a ottimizzare l'utilizzo di tali sistemi proponendo, limitatamente alle opere di nuova costruzione, un protocollo procedurale, chiamato anche *software autodiagnosticante intelligente*, per il controllo statico di tutte le fasi della vita di un'opera, da quelle costruttive, a quelle di generazione della banca dati di riferimento fino a quelle proprie dell'esercizio.

Per cui di seguito dopo una breve rassegna sulle caratteristiche tecniche dei sistemi di monitoraggio statico attualmente in uso e sulle loro applicazioni, si passa poi alla trattazione di un caso studio per mettere in luce quelle che sono le difficoltà operative e decisionali a cui vanno incontro gli specialisti del settore, ed infine alla proposta di una architettura di monitoraggio autodiagnosticante per il controllo statico di opere di nuova costruzione.

2. SISTEMI DI MONITORAGGIO STATICO: CARATTERISTICHE E GESTIONE

Il monitoraggio statico di un'opera prevede un complesso di operazioni volte ad acquisire in modo manuale dati strutturali con lo scopo di inquadrare il comportamento globale o locale della struttura. Tali sistemi se opportunamente progettati, permettono una verifica costante dello stato dell'opera e quindi una pianificazione economicamente vantaggiosa degli interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria.

La tecnica di monitoraggio *SHM Structural health monitoring* è applicata su edifici di nuova costruzione per conoscere lo stato di salute e prestazionale dell'opera in tutte le sue fasi di vita, da quella realizzativa fino alle successive verifiche periodiche in fase di esercizio. Questa procedura prevede, per come di seguito riportato, un'analisi strutturale predittiva, la progettazione del sistema di monitoraggio con piano di messa a dimora dei sensori, l'acquisizione e l'interpretazione dei dati sperimentali con memorizzazione permanente da utilizzare come riferimento nelle verifiche successive.



Fig. 1 – Schema tipo di un sistema di monitoraggio statico.

L'architettura di monitoraggio statico è contraddistinta da elementi attivi, rappresentati dai rilevatori di deformazione o di spostamento, e da elementi passivi, che sono i cavi di collegamento, l'unità di lettura e il sistema di trasmissioni dati in remoto.

Nella presente trattazione, come sensore capace di misurare le deformazioni in campo statico, si è preso in considerazione il sensore a fibra ottica. Attualmente ci sono in commercio svariati tipi di sensori a fibra ottica idonei al monitoraggio strutturale, che in base alla lunghezza si distinguono in sensori corti, standard e lunghi.

Per il controllo statico in fase realizzativa questi sensori generalmente vengono installati direttamente sulle barre d'armatura in corrispondenza delle sezioni in c.a. dove si prevedono alti regimi di deformazione; poi per mezzo dei cavi i segnali misurati vengono trasmessi all'unità di acquisizione e memorizzati; un'unità di lettura può acquisire più sensori in simultanea ed è possibile integrare più unità con funzionamento in parallelo. L'unità di lettura basa il suo funzionamento sul principio dell'interferometria eterodina a bassa coerenza. Il segnale ottico lanciato da un laser a 1550 nm è modulato in fase mediante un interferometro demodulatore. Acquisito il segnale di ritorno, l'unità di lettura traccia la modulazione di fase introdotta dai sensori e converte lo sfasamento registrato in uno spostamento. La deformazione che ne deriva è trasferibile in formato analogico attraverso i canali

disponibili, oppure in formato digitale attraverso la porta USB, utile per il trasferimento diretto delle acquisizioni ad un PC (salvataggio e conseguente trattamento del segnale).

Di seguito si descrivono le due tipologie di controllo statico, il primo atto a verificare le fasi costruttive, ed il secondo finalizzato a valutare lo stato di efficienza statica della struttura durante l'esercizio.

Il controllo statico nella fase realizzativa ha come obiettivo quello di seguire il processo di crescita delle sollecitazioni e valutare quindi la corretta messa in opera. La procedura di controllo inizia con un'analisi strutturale predittiva relativa sia alla valutazione delle sollecitazioni per soli carichi verticali, sia per le combinazioni massime dovute all'ubicazione dell'opera e alla sua destinazione d'uso. Successivamente, utilizzando un criterio di fascia si progetta il sistema di monitoraggio, scegliendo la tipologia di sensore da utilizzare e la posizione dove allocare i misuratori.

La successiva installazione dei sensori a fibra ottica prevede l'identificazione dell'armatura su cui installare il sensore, il fissaggio del sensore con opportune graffe di serraggio, la sistemazione della parte passiva all'interno del reticolo di armatura in modo da non interferire con le fasi di getto e consentire il collegamento al box di lettura. L'installazione ha una fase di verifica delle lunghezze attive mediante la comparazione con il DL di fabbrica al fine di garantire il giusto range di funzionamento, e si chiude con la redazione di un rapporto di installazione.

Si procede alla vera e propria fase di monitoraggio delle deformazioni durante le fasi costruttive. In questo intervallo temporale vi sono alcune cause perturbatrici tra cui il ritiro del calcestruzzo legato a diversi fattori come il tipo di materiale impiegato, l'esposizione, le escursioni di temperatura, l'umidità della membratura monitorata e naturalmente il livello di iperstaticità che si sviluppa sull'elemento strutturale durante le fasi di maturazione del calcestruzzo.

Con la disponibilità di un piano di monitoraggio e del sistema di controllo già installato in opera, si parte con la rivelazione di due gruppi di misure secondo una prefissata cronologia temporale. Si acquisiscono i valori attestanti la funzionalità del sistema di monitoraggio e le misure grezze di deformazione. Il confronto avviene tra le deformazioni sperimentali depurate dell'aliquota dovuta al ritiro del calcestruzzo con i valori teorici ottenuti da una modellazione FEM che segue le fasi realizzative, dalle strutture portanti fino alle opere secondarie e di finitura. Si costruiscono grafici di comparazione e si interpretano i risultati, verificando l'assenza di difetti costruttivi e l'aderenza alle prerogative strutturali previste da progetto.

Il controllo statico in esercizio è finalizzato ad eseguire, in qualsiasi momento, ed in tempo reale, verifiche di affidabilità di una struttura portante durante la vita utile. Prima di partire con i controlli periodici è previsto una fase intermedia finalizzata alla creazione di un data base dei parametri rappresentativi dell'opera al variare delle condizioni ambientali da usare come campione di riferimento per successive verifiche comparative. Solitamente il periodo di acquisizione comincia dopo l'assestamento della struttura ai carichi di destinazione d'uso e comprende almeno dodici mesi di osservazione per coprire in maniera completa gli effetti stagionali di temperatura e di escursione di falda qualora presente. I valori misurati in tempo reale possono essere confrontati in qualsiasi periodo dell'anno con quelli di riferimento contenuti nel data base, attivando eventualmente indagini più approfondite qualora si riscontrino anomalie e scostamenti. Anche in presenza di eventi singolari quale il sisma, la disponibilità del data base diventa un formidabile strumento di confronto per valutare il livello di danno presente sulla struttura e per stabilire il grado di sicurezza all'uso dell'edificio.

3. UN CASO DI STUDIO

Nella sezione seguente si tratterà un caso studio riferito alla procedura di controllo statico in esercizio di un edificio di nuova costruzione sito nel comune di Guidonia Montecelio (Roma) [10]. Gli autori attraverso il seguente caso applicativo vogliono dimostrare fattivamente quali siano, per ogni fase attuativa, le difficoltà a carattere operativo e decisionale a cui vanno incontro i tecnici coinvolti nel processo.

3.1 INDIVIDUAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUMENTATI

La prima attività, di carattere esclusivamente progettuale, ha previsto un'analisi strutturale preliminare per studiare il comportamento della struttura in riferimento a due condizioni di carico guida: la prima con soli carichi verticali e la seconda con carichi verticali più sisma. Sulla base della risposta strutturale ottenuta sono state identificate le membrature più rappresentative da strumentare e è stata scelta la strumentazione da utilizzare. Sono risultate complessivamente nove le membrature da monitorare, di cui 3 travi di fondazione, 3 pilastri e 3 travi del primo impalcato, e sono stati utilizzati complessivamente 24 sensori. Ogni gruppo di sensori è stato collegato tramite la parte passiva, ad un box di connessione, dal quale sono stati acquisiti i valori di spostamento con l'ausilio di una unità di lettura e di un personal computer. Di seguito si riportano alcune immagini con i particolari del sistema di monitoraggio progettato ed installato e maggiori dettagli sono riportati in [10].

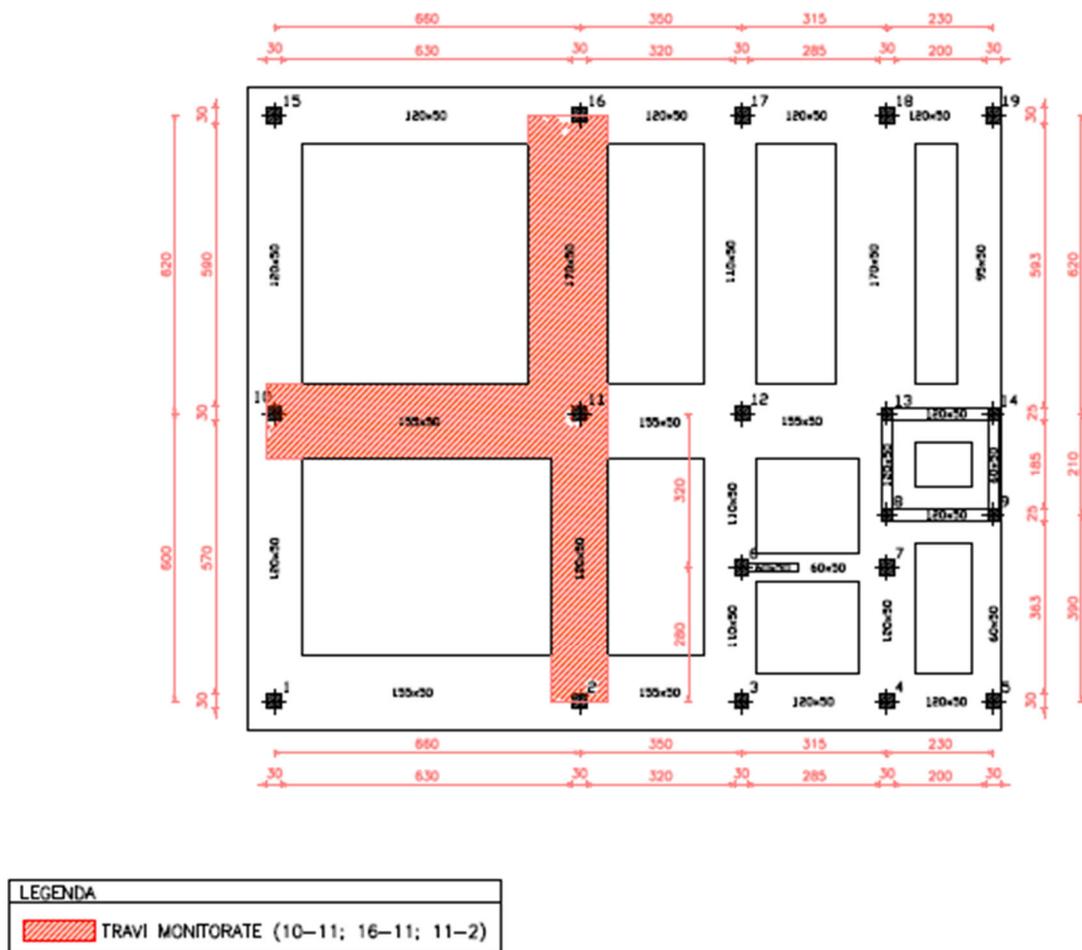
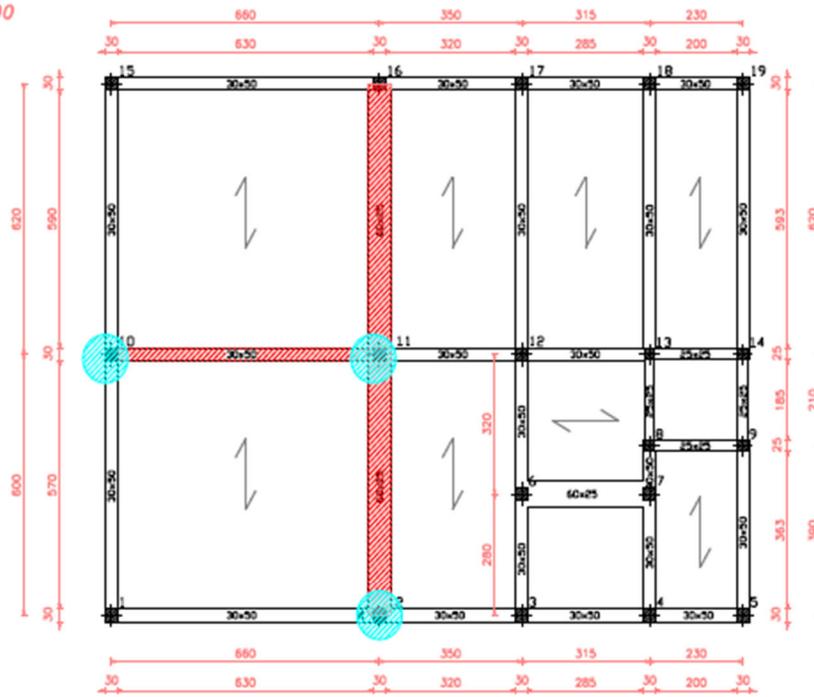


Fig. 2 - Individuazione delle travi di fondazione strumentate.

CARPENTERIE 1° IMPALCATO

Scala 1:100



LEGENDA	
	TRAVI MONITORATE (10-11; 16-11; 11-2)
	PILASTRI MONORATI (10; 11; 2)

Fig. 3 - Individuazione delle travi di 1° livello e dei pilastri del primo ordine monitorati.

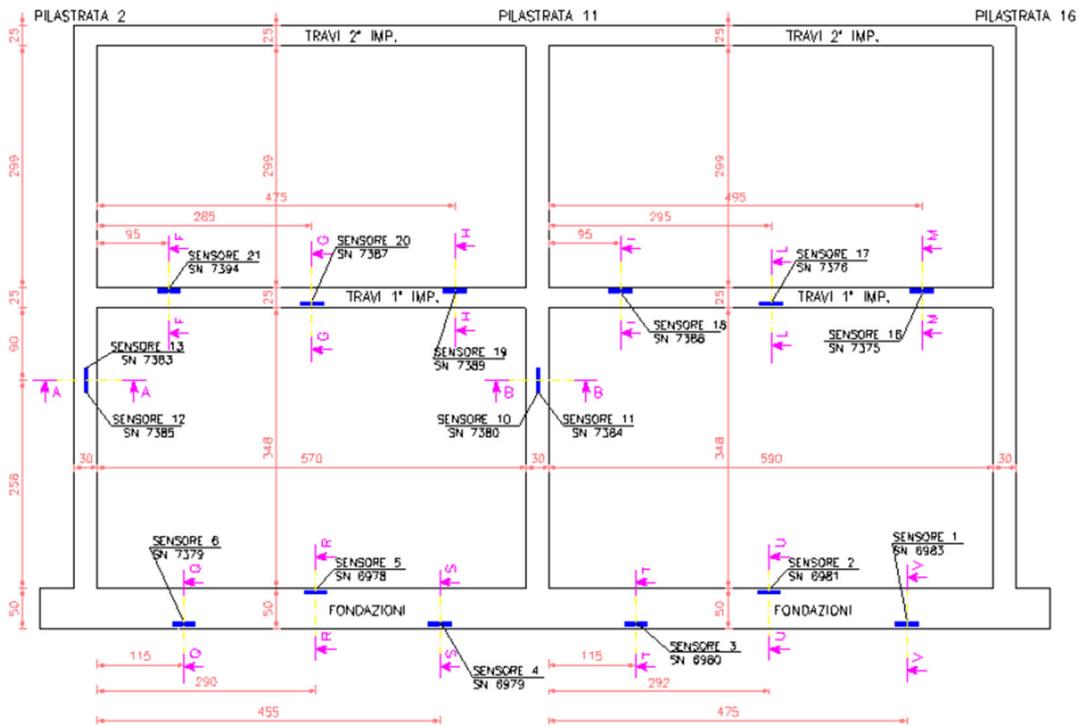


Fig. 4 - Ubicazione sensori nelle membrature oggetto di monitoraggio.

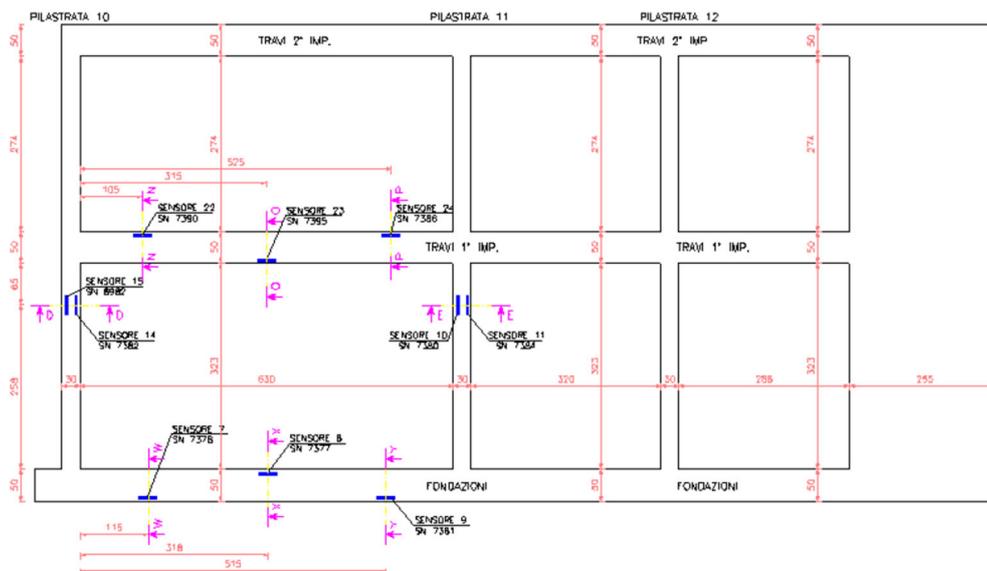


Fig. 5 - Ubicazione sensori nelle membrature oggetto di monitoraggio.

3.2 CONTROLLO DELLE FASI COSTRUTTIVE

Il controllo statico durante la realizzazione dell'opera ha previsto l'osservazione di due fasi costruttive complete depurando le deformazioni indotte dal ritiro: la prima a fine realizzazione dell'intera struttura in c.a., comprese le tamponature del piano terra; e la seconda corrispondente alla struttura ultimata. Per brevità di esposizione sono di seguito riportate le misurazioni effettuate su due pilastri strumentati soggetti a pressoflessione deviata con piccola eccentricità. Il controllo delle deformazioni su ciascun elemento ha riguardato le due fasi costruttive prescelte ed ha previsto il confronto tra le deformazioni sperimentali, depurate dall'aliquota del ritiro del cls, con quelle teoriche ottenute dall'analisi FEM.

Di seguito si riporta, a titolo di esempio, l'andamento delle deformazioni grezze e quello delle deformazioni depurate dal ritiro, calcolato secondo quanto previsto dalle NTC18, in riferimento al periodo di osservazione.

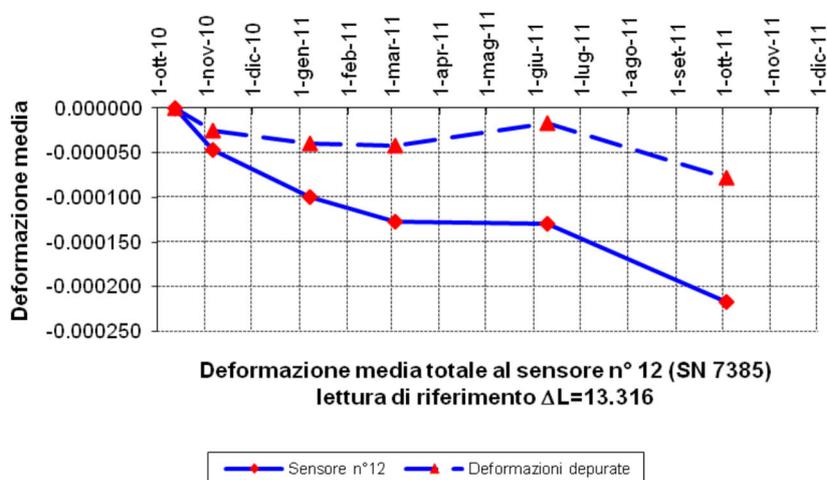


Fig. 6 - Esempio deformazioni nel tempo misurata e depurata dal ritiro.

Per le due pilastrate i valori sperimentali delle deformazioni sono risultati essere comparabili con quelli teorici di fase I e di fase II, attestando di fatto la corretta realizzazione dell'opera.

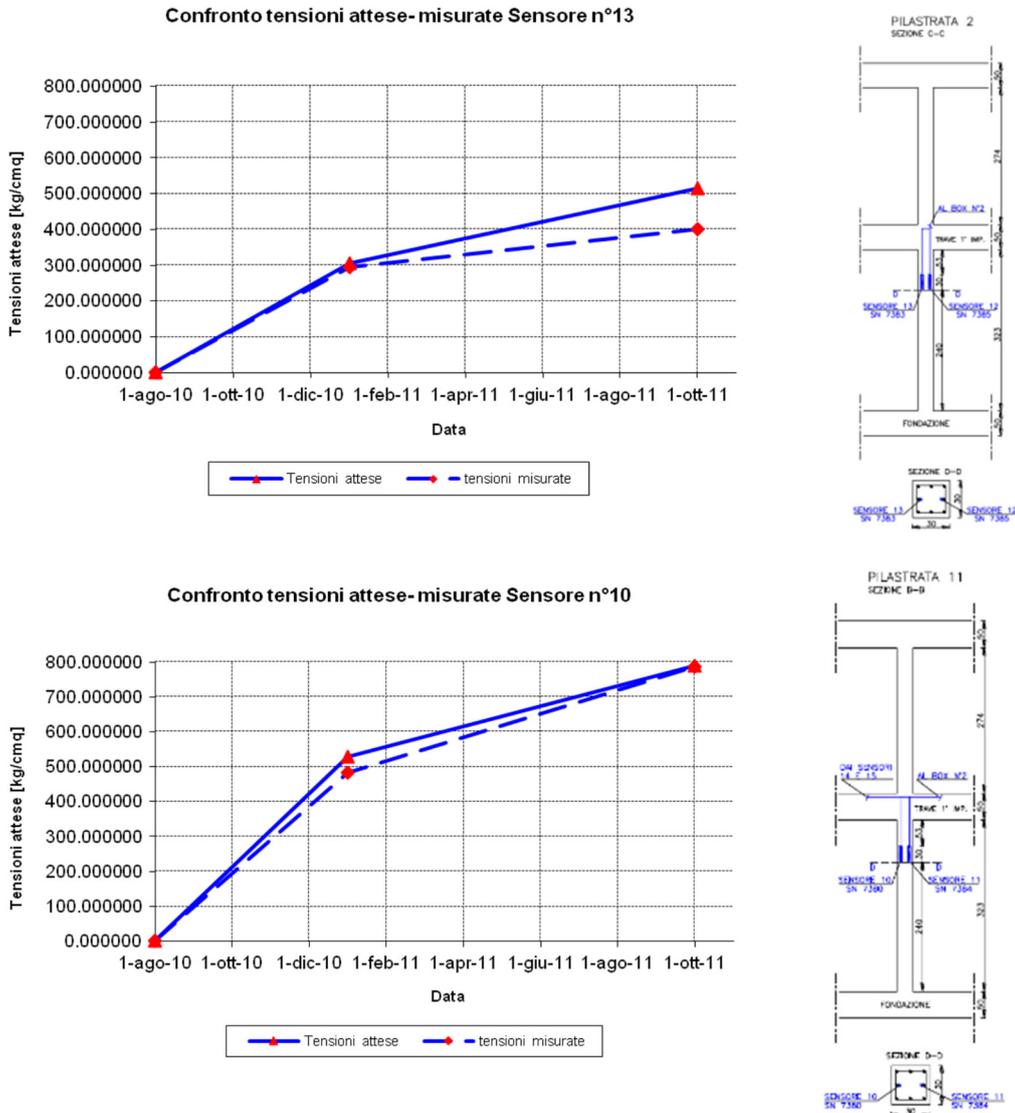


Fig. 7 – Confronto tensioni attese – misurate

Completata questa prima parte di controllo fino alla struttura ultimata, l'attività sperimentale è stata spinta per ulteriori 13 mesi per la creazione di un *data base* di riferimento per i futuri controlli in esercizio.

3.3 VERIFICHE DELLO STATO DI ESERCIZIO

Ultimata la struttura e terminata la fase transitoria, per cui i regimi di sforzo risultano definitivi e associati a configurazioni stabili, si è proseguito al primo monitoraggio statico in esercizio per una durata di 13 mensilità. L'obiettivo di questa attività di campo è stato quello di creare il *data base*, contenente i valori di spostamento rappresentativi del comportamento statico dell'opera al variare delle condizioni ambientali stagionali. Disporre di un data base consentirà di effettuare in corso di

4. PROPOSTA DI UNA ARCHITETTURA DI MONITORAGGIO AUTODIAGNOSTICANTE PER LA GESTIONE DEL CONTROLLO IN CAMPO STATICO DI OPERE DI NUOVA COSTRUZIONE

La prerogativa da parte degli autori è quella di individuare un protocollo procedurale chiamato anche *software autodiagnosticante intelligente* che automatizzi la procedura nota sul controllo statico di edifici di nuova costruzione sia in fase costruttiva che nel successivo esercizio. Tale procedura *autodiagnosticante* potrà essere utilizzata per verificare in modo automatico la corretta realizzazione della struttura, per controllare che la risposta strutturale non superi una determinata soglia durante l'esercizio, nel caso di un piano di manutenzione annuale o ogniqualvolta si verifica un evento singolare come il sisma. In questa ottica il software proposto dovrà garantire le seguenti funzionalità: auto attivazione; generazione del modello numerico strutturale con i dati geometrici e materici progettuali; esecuzione di analisi strutturali; individuazione delle sezioni critiche da strumentare; predisposizione di un piano di monitoraggio; confronto tra i dati numerici e acquisiti; diagnosi con restituzione del report finale.

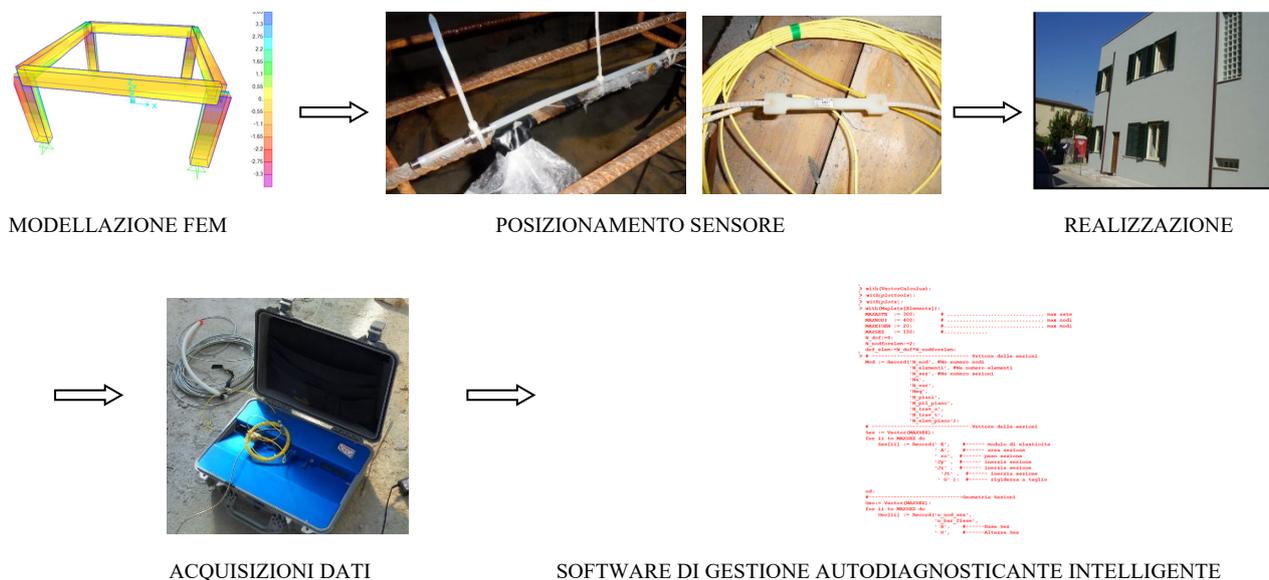
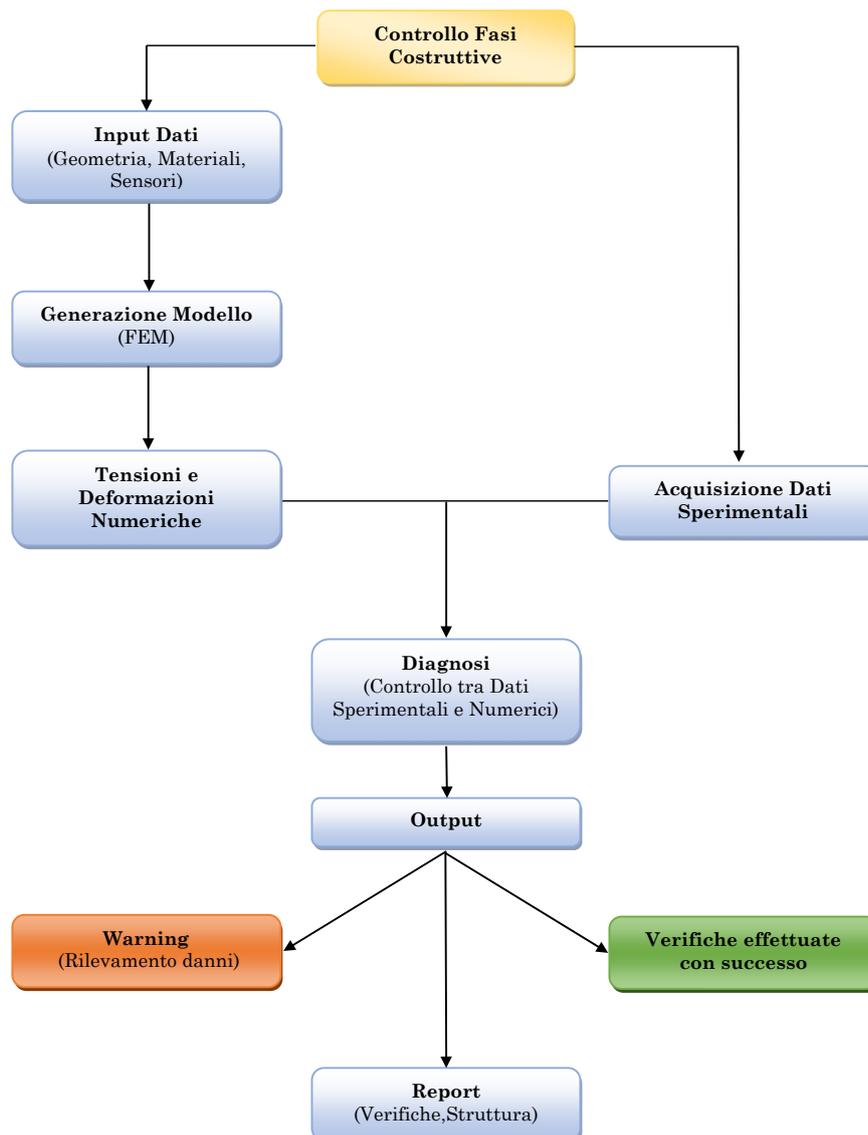


Fig. 9 – Architettura di monitoraggio autodiagnosticante intelligente.

4.1 PROCESSO AUTODIAGNOSTICANTE INTELLIGENTE PER IL CONTROLLO DI STRUTTURE NELLE FASI COSTRUTTIVE

L'obiettivo del controllo strutturale nelle fasi costruttive è quello di verificare che al crescere dei regimi di sollecitazione le deformazioni siano tali da validare le ipotesi progettuali. Le fasi costruttive da controllare sono tre: al completamento delle strutture portanti; al completamento delle tamponature; al completamento dell'intero edificio.

La procedura autodiagnosticante individuata per il controllo della struttura nelle fasi costruttive si articola come di seguito indicato nel diagramma di flusso.



In particolare nel primo controllo, il software acquisisce i dati geometrici, materici ed i carichi della struttura per generare il modello FEM ed avviare un'analisi strutturale che riproduce le condizioni di progetto. Sulla base dei risultati dell'analisi scomposte per carichi verticali e sisma impiegando un criterio oggettivo di fascia si individuano le sezioni critiche maggiormente sollecitate e si propongono in numero e posizione i sensori da applicare. Accettando o modificando la proposta di monitoraggio si ottiene la configurazione strutturale monitorata generando gli schemi di montaggio. Si procede quindi all'installazione dei sensori direttamente sulle armature durante la messa in opera, collegandoli alla relativa centralina di piano.

Subito dopo l'installazione iniziano le misurazioni per certificare il buon funzionamento dei rilevatori applicati. Complessivamente in questa fase iniziale si riconoscono due gruppi di misura, di cui il primo comprende le misure di installazione del sistema e serve a validarne l'affidabilità, nonché l'esistenza di spazi di escursione sufficienti, sul singolo sensore; e il secondo gruppo si riferisce ai valori sperimentali di deformazioni e tensioni destinati al confronto con quelli teorici nel processo di crescita dei pesi propri della struttura. Tale confronto serve per accertare implicitamente la mancanza di difetti costruttivi e la realizzazione a perfetta opera d'arte dell'edificio. In questa fase il software fornisce diagrammi di comparazione tra sollecitazioni attese e registrate, o ancora diagrammi in

riferimento all'andamento delle deformazioni nelle varie fasi costruttive. Superato un determinato valore di soglia in termini di convergenza tra dati sperimentali e numerici, imposto pari a $\pm 10\%$ del valore numerico ricavato dall'analisi FEM, il sistema innesca un processo di warning, individuando gli elementi strutturali potenzialmente oggetto di sollecitazione difforme da quella prevista in progetto. Nel caso in cui questi valori soglia non vengano superati, il software restituisce un messaggio di verifiche effettuate con successo. Il software ciclicamente offre la possibilità di controllare le fasi costruttive fino al completamento dell'opera dal completamento delle tamponature fino alla realizzazione dell'intero edificio.

4.2 PROCESSO AUTODIAGNOSTICANTE PER IL CONTROLLO DI ENTRATA IN SERVIZIO DELL'OPERA

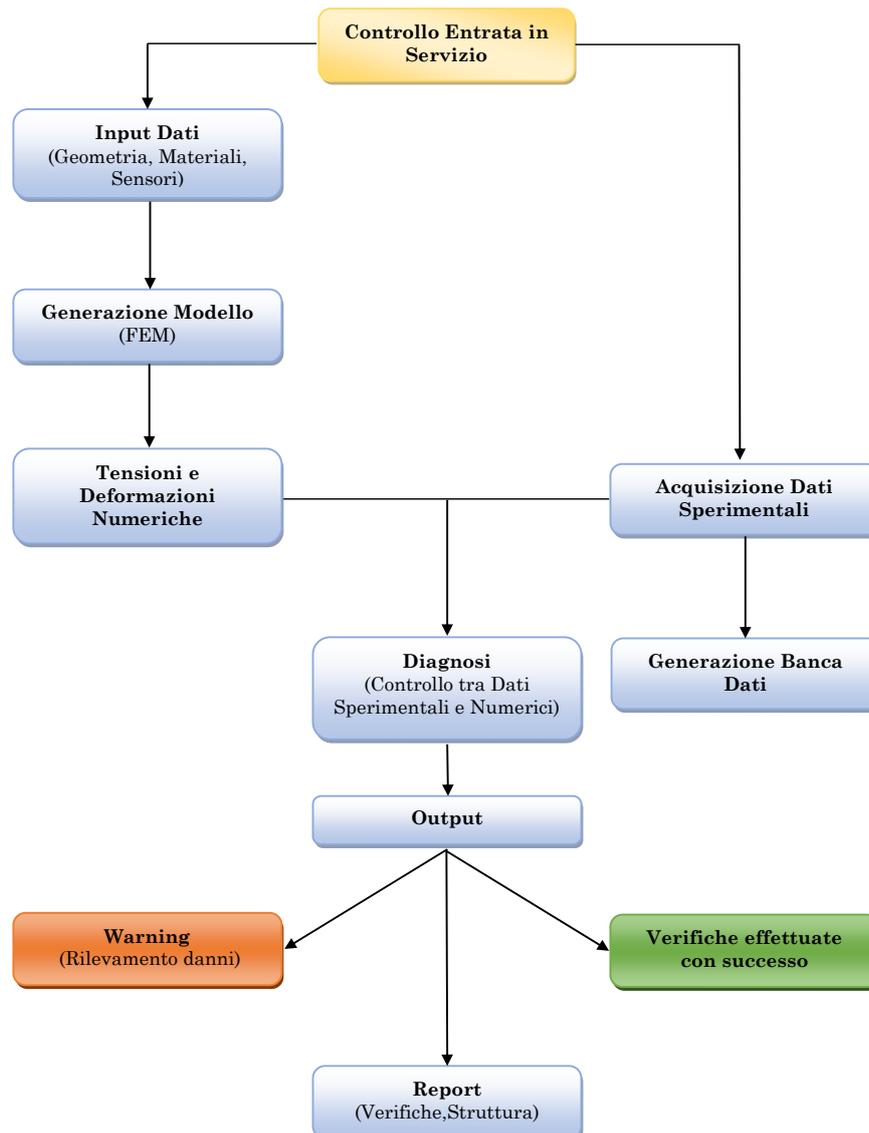
Il controllo successivo a struttura ultimata riguarda l'entrata in servizio, per cui le fasi da controllare si distinguono in due situazioni distinte: all'entrata in servizio del manufatto senza prova di carico e con eventuale prova di carico. I dati da fornire al sistema autodiagnosticante per la generazione del modello numerico sono sempre gli stessi, dati progettuali di geometria, materiali, carichi e condizioni di carico con o senza prove di collaudo.

Analogamente al controllo in fase costruttiva anche in questo caso la procedura autodiagnosticante segue lo stesso iter, ossia parte con la generazione del modello numerico noti i dati progettuali di geometria, materiali e carichi, esegue un'analisi statica da cui si ricavano i valori numerici di tensione e deformazione dei punti monitorati, acquisisce i dati dalle centraline, effettua la diagnosi comparando i due gruppi di dati (numerici ed acquisiti) e restituisce in output un segnale di "warning" se vi sono discrepanze significative, o di "verifiche superate con successo" se vi è convergenza.

Nel caso di prove di collaudo, il software acquisisce i carichi di interesse e rigenera i valori numerici di tensioni e deformazioni, confrontandoli poi in ultima analisi con i valori sperimentali.

In ambo i casi la procedura emette un report in cui sono riportate tutte le informazioni sui dati della struttura e del sistema di monitoraggio installato, sull'evoluzione per tutto il tempo della prova dei regimi di deformazioni, spostamenti e tensioni sia di tipo numerico che sperimentale, nonché sul confronto e sull'individuazione di eventuali criticità.

La procedura autodiagnosticante individuata per il controllo della struttura nella fase di entrata in servizio si articola come di seguito indicato nel diagramma di flusso.



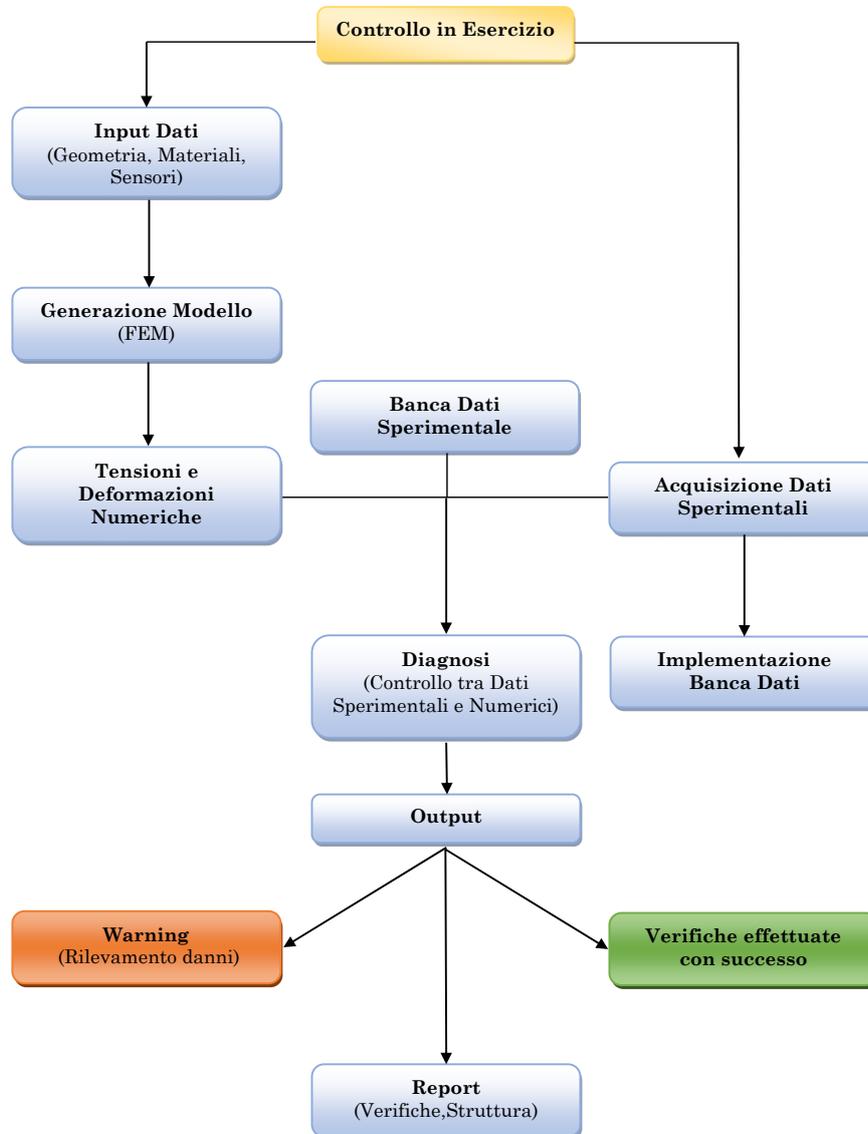
4.3 PROCESSO AUTODIAGNOSTICANTE PER IL CONTROLLO IN ESERCIZIO DELL'OPERA

Effettuare un controllo in continuo della risposta strutturale di un'opera, tramite un processo autodiagnosticante, ha molteplici utilità. Primo fra tutti la possibilità di evitare danneggiamenti, tali per cui, la struttura potrebbe andare in contro ad interventi di manutenzione che porterebbero ad un periodo di inutilizzo dell'opera, o ad oneri di riabilitazione elevati se trascurati.

Il software, dall'entrata in esercizio della struttura, periodicamente gestisce il sistema residente acquisendo deformazioni e temperature per costruire una banca dati utile alle verifiche in esercizio. Le verifiche periodiche in esercizio in aderenza al piano di manutenzione sono sempre gestite dal software con una schema simile a quello descritto per le verifiche in esercizio, solo che i tempi di controllo sono su base temporale espressa dal piano di manutenzione di solito biennale e fino alla quinquennale. Anche in questo caso superato un determinato valore di soglia in termini di convergenza tra dati sperimentali e numerici, imposto pari a $\pm 10\%$ del valore numerico ricavato dall'analisi FEM, il sistema innesca un processo di warning, individuando gli elementi strutturali potenzialmente oggetto di sollecitazione difforme rispetto e quella attesa e contenuta nella banca dati.

Alla fine di ogni procedura di controllo sia essa in fase costruttiva o in esercizio il software fornisce un report di diagnosi, che riporta i risultati delle verifiche effettuate, nonché uno screening del manufatto e dei suoi componenti.

La procedura autodiagnosticante individuata per il controllo della struttura in esercizio si articola come di seguito indicato nel diagramma di flusso.



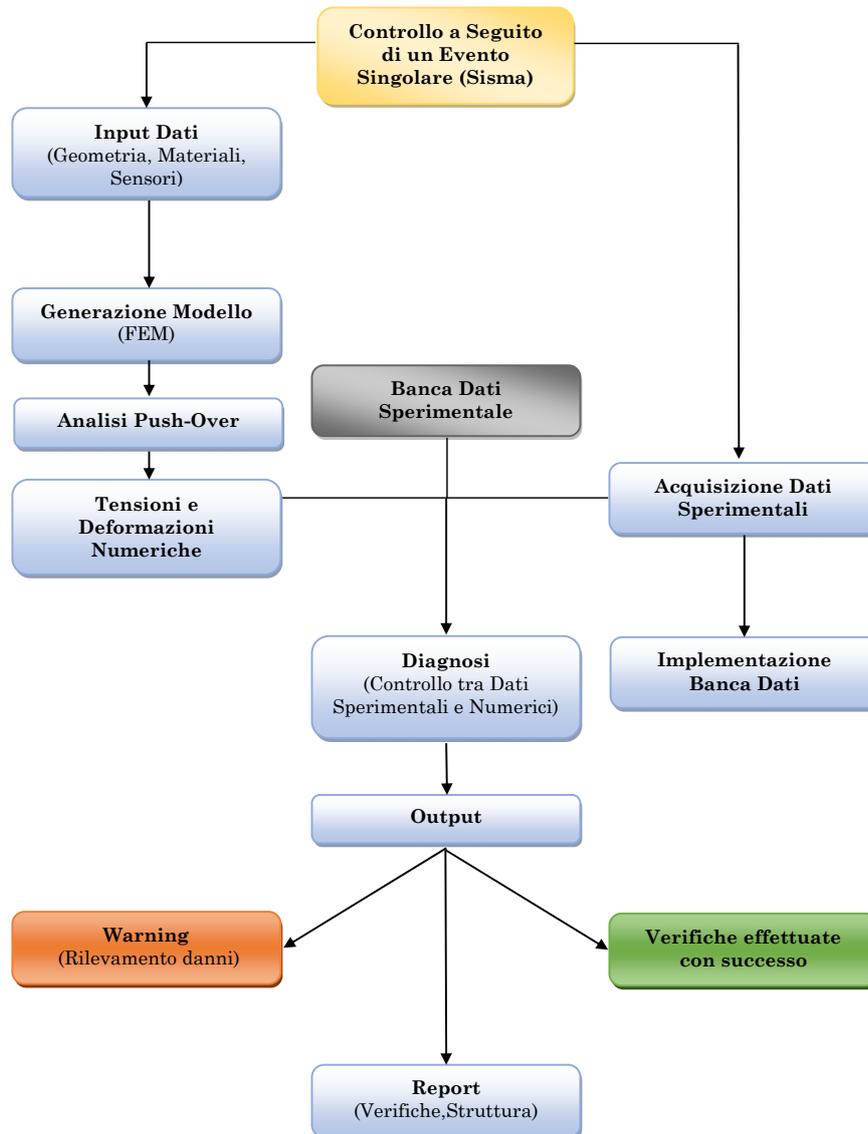
4.4 PROCESSO AUTODIAGNOSTICANTE PER IL CONTROLLO DELL'OPERA A SEGUITO DI UN EVENTO SINGOLARE

Nella trattazione fin qui esposta si è visto come la procedura proposta possa essere un valido supporto tecnico per il controllo della struttura dall'epoca di realizzazione fino all'esercizio. Ora si vuole mostrare invece quelle che sono le potenzialità del sistema autodiagnosticante per il controllo a seguito di un evento singolare come quello sismico.

La procedura autodiagnosticante anche per questo tipo di controllo parte con la generazione del modello numerico, da cui si ricavano i valori numerici di tensione e deformazione dei punti

monitorati, acquisisce i dati sperimentali dalle centraline ed effettua la diagnosi sulla base di due livelli di controllo.

La procedura proposta per un tale controllo si articola come di seguito indicato nel diagramma di flusso.



Anche in questo caso il software effettua una diagnosi sulla base di due livelli di controllo. Nel controllo di primo livello il software confronta i valori numerici con i dati sperimentali acquisiti in opera. Se dal confronto si riscontrano delle criticità il software invia al tecnico un messaggio di allerta (SMS, mail) indicando gli elementi in crisi, mentre se vengono superati i prefissati valori soglia, comunica direttamente la necessità di inibire l'uso della struttura.

Si passa poi al controllo di secondo livello al fine di verificare se vi sono sostanziali differenze tra i dati acquisiti e quelli archiviati nel data base. Se da questo secondo confronto si individuano eventuali anomalie, viene inviato al tecnico un messaggio di allerta per una avvenuta redistribuzione delle tensioni, indice di eventuali danneggiamenti del manufatto.

La procedura termina con l'emissione di un report in cui vengono indicati gli elementi eventualmente danneggiati e l'andamento grafico sia delle deformazioni sperimentali e numeriche.

5. CONCLUSIONI

Con il presente lavoro gli autori, dopo una breve rassegna sulle caratteristiche tecniche degli attuali sistemi di monitoraggio statico e la trattazione di un caso studio per mettere in risalto le difficoltà operative e decisionali a cui sono esposti gli operatori del settore, hanno proposto una architettura autodiagnosticante *intelligente* per il controllo statico di costruzioni nuove che automatizza la procedura nota in tutte le sue fasi a partire da quelle realizzative fino all'entrata in servizio ed al successivo esercizio. Tale processo autodiagnosticante è votato alla gestione e ad automatizzare delle attività e si adatta al controllo nelle varie fasi, quali costruttive, di entrata in servizio, di esercizio e a seguito di un evento singolare.

Un sistema autodiagnosticante intelligente sì fatto, a parere degli autori, se correttamente impiegato, può costituire non solo uno strumento di controllo estremamente affidabile, dato il ridotto trattamento numerico dei dati sperimentali, ma anche essere inteso come parte integrante di un piano di manutenzione per la rilevazione periodica dei parametri rappresentativi dello stato di salute della struttura.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Fazari - Tesi di Laurea "Controlli statici mediante processi autodiagnostici: Big Data 4.0" Università degli studi della Calabria, Rende (CS) – Relatore G. Porco; 2018.
- [2] F. Manzone - " Controllo e monitoraggio strutturale degli edifici ", Maggioli Editore; 2018.
- [3] D. Sala - " Studio numerico e sperimentale di sensori a fibra ottica per applicazioni di structural health monitoring ", Politecnico di Milano; 2012.
- [4] T.H.T. Chan et al., [862–874]: " Fiber Bragg grating sensors for structural health monitoring of Tsing Ma bridge: Background and experimental observation", In: Engineering Structures 28; 2016.
- [5] G. Porco, D. Romano, G.F. Valer Montero, " Controllo e monitoraggio: strumenti per la verifica strutturale e per la mitigazione del rischio sismico", In: STRINGHE – Quadrimestrale di divulgazione scientifica dell'Università della Calabria.
- [6] D. Orlandi - "Structural Monitoring Using Fiber Optics: Monitoraggio Strutturale Mediante Utilizzo di Fibre Ottiche", Università di Pavia; 2010.
- [7] M. Furlan - " Monitoraggio dinamico e modellazione strutturale per la valutazione del comportamento sismico di Castelvecchio, Verona " Università degli studi di Padova; 2015.
- [8] R. Basili, M.G. Bianchi, G. Casula, M. D'Amico, A. D'Alessandro, U. Di Giammatteo1, A. Gervasi, I. Guerra, M. Musacchi, F. Pacor , D. Romano, E. Russo, M. Tiberti, G. F. Valer Montero. "Monitoraggio in area sismica di beni monumentali: tecniche ndt e procedure di verifica", In Giornale Aipnd; (Settembre 2013).
- [9] Sikorsky C., [68-81]:" Development of a Healthy Monitoring System for Civil Structures Using a Level IV Non-destructive Damage Evaluation Method" F.K. Chang, Structural Health Monitoring; 2000.
- [10] Porco G., Romano D., Valer Montero G. F., – Il monitoraggio strutturale per il controllo delle fasi costruttive e per la verifica di affidabilità delle strutture in c.a. Il giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica n°4 – Marzo 2012.

N.06 - November 2020
ISBN: 979-12-80280-05-3

EDIZIONI SISMLAB
Available online at www.sismlab.com