

COSTRUZIONI EDILIZIE SICURE

Palazzo Mannetti Centro Storico di L'Aquila

Impiego dei sensori a fibre ottiche per il Monitoraggio Strutturale



Introduzione

L'Ing. Diego Dell'Erba e la Sismlab S.r.l., Spin-Off Università della Calabria, hanno ideato e progettato un sistema di monitoraggio misto, per il controllo statico di Palazzo Mannetti. Il presente documento illustra i caratteri tecnici, gli obiettivi perseguibili e le modalità di gestione del sistema di monitoraggio strutturale progettato. L'attività svolta sul Palazzo Storico è consistita nella progettazione, l'ideazione e l'installazione di un sistema di controllo costituito da una parte statica e da una parte dinamica. Il sistema combinato ha la prerogativa di fornire un formidabile strumento per il controllo dell'esercizio nel rispetto del piano di manutenzione e di produrre segnali di allarme e di allerta conseguenti ad eventi sismici. Le attività di installazione sono naturalmente avvenute in concomitanza con gli interventi di riparazione e di miglioramento sismico attuati sul palazzo, a cura della Ditta Mancini S.r.l. . Per come illustrato nei paragrafi successivi con dovizia di dettaglio tecnico, è possibile riconoscere nel sistema proposto due

prerogative fondamentali che si fondono sinergicamente nel caso di evento sismico o possono trovare in forma singola utili riscontri nell'attuazione del piano di manutenzione e quindi nelle attività di controllo routinario per l'esercizio dell'immobile. Pertanto, di seguito, dopo aver illustrato le finalità e gli obiettivi del sistema di monitoraggio combinato, soffermandosi, altresì, su come sono costituiti ed utilizzati i sistemi basati sull'uso di sensori a fibra ottica ed accelerometrici, verrà descritto il processo di gestione dell'architettura e sottolineate le potenzialità di tutela che il gestore dell'immobile avrà a sua disposizione.

Finalità e vantaggi dei sistemi di monitoraggio statici e dinamici

Con l'espressione Monitoraggio strutturale si intende il complesso di operazioni volte ad acquisire in modo manuale o automatico dati relativi a determinati parametri strutturali, al fine di avere informazioni, anche in tempo reale, sul comportamento dell'immobile. Uno dei sistemi che può essere utilizzato con grandi benefici per il controllo di strutture in muratura in ambito sismico è quello combinato. Il sistema, come rappresentato in Figura 1, è costituito da due architetture: la prima, detta di monitoraggio dinamico, che ha la prerogativa di acquisire in continuo e di controllare i livelli di accelerazione ai piani di calpestio dell'immobile prodotti a seguito di evento sismico, la seconda, detta di monitoraggio statico, che può essere interrogata in qualsiasi momento, misura invece livelli di deformazione su elementi appositamente collocati all'interno dei maschi murari.

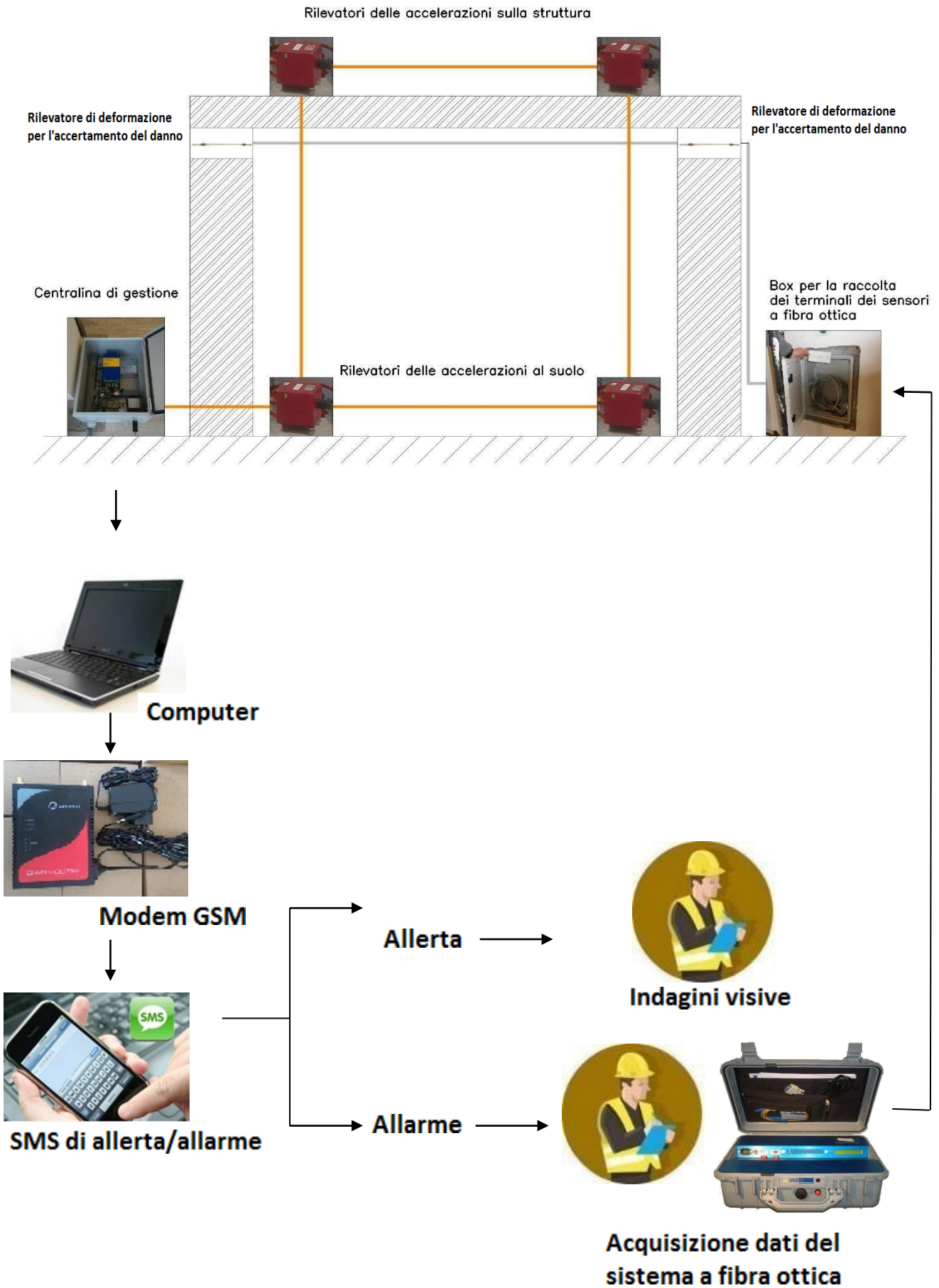


FIG. 1 – ARCHITETTURE DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO COMBINATO

È prefigurabile, quindi, l'esistenza di due diverse condizioni di attività. La **prima**, in condizioni ordinarie e quindi in assenza di sollecitazioni indotte da eventi sismici di una certa rilevanza, prevede l'uso del sistema di monitoraggio statico per il controllo dei livelli di deformazione ad intervalli di tempo preordinati e disciplinati dal piano di manutenzione. Questa attività è naturalmente da intendersi come attività di controllo periodica finalizzata alla verifica del mantenimento dei coefficienti di sicurezza ed alla programmazione delle attività di tutela del bene. La **seconda** è invece, legata alla presenza di eventi sismici. Appare evidente che il controllo dovrà essere diversificato in base all'intensità dell'evento sismico ed in base alle accelerazioni che esso produce sull'immobile. La identificazione della percezione di un evento sismico singolare verrà effettuata mediante il sistema residente dinamico che acquisisce in continuo i parametri di accelerazione. In pratica, attraverso l'analisi sismica del complesso saranno identificati i livelli di accelerazione ai diversi piani che producono l'avvio del fenomeno degenerativo, ossia l'eventuale danneggiamento dei pannelli murari. Questi valori saranno utilizzati come parametri di soglia ed inseriti nel sistema di gestione dinamico. Pertanto, una volta che tali valori saranno superati, verrà inviato al gestore dell'immobile, in base alla loro pericolosità, un segnale di allarme o di allerta. A seguito dell'invio di tale segnale si potrà attivare la procedura di acquisizione dei dati sperimentali sulla architettura del sistema a fibra ottica al fine di valutare in modo oggettivo i danni che si sono eventualmente manifestati sulla struttura portante. Appare evidente che la presenza del sistema combinato fornisce chiare e oggettive informazioni sullo stato di conservazione e di affidabilità della struttura nei riguardi di azioni sismiche, superando i problemi legati alle lungaggini per l'esecuzione di sopralluoghi e controlli visivi che in passato evidenziavano consistenze anche di mesi. Di seguito verranno esplicitate le procedure di controllo del sistema di monitoraggio combinato.

Procedura di controllo periodico e di supporto all'attuazione del piano di manutenzione in condizioni ordinarie

La possibilità di controllare periodicamente l'immobile è vincolata alla disponibilità di una banca dati contenente informazioni sullo stato di deformazione dell'opera in funzione delle variabili esterne in tutti i periodi dell'anno, pertanto la prima operazione da compiere sarà quella di costruire un dato comparativo robusto e rappresentativo.

a) sviluppo ed implementazione di una campagna sperimentale finalizzata alla creazione di una banca dati con acquisizione di parametri di deformazione in funzione delle condizioni al contorno variabile e per un periodo di almeno 12 mesi dall'entrata in servizio della struttura;

b) Avvio del controllo routinario preordinato secondo il piano di manutenzione, prevedendo controlli quinquennali consistenti nella acquisizione dei parametri deformativi, nella comparazione con i dati presenti nel campione di riferimento e nella emissione di un rapporto sullo stato di salute dell'immobile. Il rapporto interpretativo conterrà notizie sulla necessità di produrre o meno interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria.

Quest'ultima attività, se intesa in prospettiva come azione ciclica nei confronti del processo di decadimento nel tempo dei livelli qualitativi degli elementi strutturali, apre la strada verso l'innovazione del tradizionale *“fare manutenzione”* da una prassi per lo più collocata a valle dei processi di degrado, ad un intervento diagnostico che tende sempre più a caratterizzarsi come momento preventivo nella gestione della qualità del manufatto nel tempo.

Procedura di controllo a valle di eventi sismici significativi

Questa attività prevede una utilizzazione sinergica dei due sistemi i quali avranno finalità diverse e con utilizzazione in cascata. In particolare, il sistema dinamico installato e programmato garantirà un controllo continuo sul manufatto e innescherà in caso di evento sismico un primo intervento di verifica visiva qualora l'evento tellurico risulti di media o bassa portata, o un intervento di carattere sperimentale poggiato sul sistema statico e con l'obiettivo di identificare zone danneggiate. Ritenendo perfettamente programmato ed in uso il sistema dinamico la procedura automatizzata che si attiverà è costituita dai seguenti passi:

- a) Attività di monitoraggio continuo mediante il controllo dei livelli di accelerazione sui diversi impalcati e comparazione con parametri di soglia predefiniti e ottenuti mediante l'analisi sismica dell'immobile;
- b) Il superamento del parametro di soglia potrà essere a due livelli, ossia di superamento del parametro di allerta o di superamento del parametro di allarme. Tale attività di controllo è svolta automaticamente dal computer presente nella centralina ed all'uopo programmato.
- c) Dalla verifica del superamento del parametro di soglia di allerta scaturisce la seconda attività di invio del messaggio tramite GSM interno al gestore dell'edificio.
- d) Dalla verifica del superamento del parametro di soglia di allarme scaturisce la seconda attività di invio del messaggio tramite GSM interno al gestore dell'edificio.
- e) Il superamento dei parametri di soglia segnalati produrranno due diverse tipologie di azione, ossia: nel caso del superamento del parametro di allerta potrà essere avviato un controllo con indagine visiva, mentre a seguito del superamento del parametro di soglia di allarme sarà necessario procedere con l'acquisizione dei dati deformativi sul sistema statico per individuare aree danneggiate. Tale modalità per Palazzo Mannetti è stata prevista in forma non automatica. Pertanto, il controllo dei livelli di deformazione sarà eseguito dai tecnici esterni, i quali

provvederanno altresì a svolgere sia l'interpretazione delle misure di deformazione che la valutazione dello stato di efficienza in termini di sicurezza della struttura.

Effettuata la disamina dei contenuti delle procedure di controllo, nelle sezioni seguenti si passerà a descrivere l'attività svolta *dalla Sismlab S.r.l. e dall' Ing. Diego Dell'Erba* su Palazzo Mannetti fornendo preliminarmente una sintetica descrizione dell'immobile

Descrizione di Palazzo Mannetti

L'edificio storico in muratura, denominato Palazzo Mannetti (Foto 1) è ubicato nel centro storico della città dell'Aquila, ed è stato oggetto di interventi di ricostruzione ed adeguamento sismico a seguito del terremoto dell'Aprile 2009. L'immobile è costituito da un corpo su tre livelli fuori terra oltre al sottotetto e a due locali interrati. Il palazzo presenta notevoli caratteristiche di interesse storico pertanto vincolato dalla Soprintendenza.



FOTO 1 - FACCIATA PRINCIPALE DI PALAZZO MANNETTI ANTE SISMA



FOTO 2 - FACCIATA PRINCIPALE DI PALAZZO MANNETTI DURANTE L'ESECUZIONE DEI LAVORI



FOTO 3 - INTERNO DI PALAZZO MANNETTI DURANTE L'ESECUZIONE DEI LAVORI

In relazione alle tipologie di danno prodottesi con il sisma, le principali operazioni di intervento hanno riguardato la fondazione, il consolidamento delle murature esistenti mediante apposizione su entrambe le facce di rete in fibre di vetro, al fine di conferire l'incremento dei

parametri di resistenza dei maschi murari. Inoltre, sono stati previsti interventi locali per ripristinare la continuità strutturale e altri a scala complessiva, quali il rifacimento delle pavimentazioni, dei massetti e dei rivestimenti nonché gli interventi di finitura sulle aree comuni.

Descrizione delle architetture di Monitoraggio Installate

Per come più volte richiamato nelle sezioni precedenti, il sistema di monitoraggio installato è costituito da due architetture: la prima, che ha la prerogativa di acquisire in continuo, controlla i livelli di accelerazione ai piani di calpestio dell'immobile, la seconda, che può essere interrogata in qualsiasi momento, misura invece stati di deformazione. Nel caso specifico, vista la ubicazione dell'edificio in una zona altamente sismica, si è pensato ad un monitoraggio volto al controllo sia delle accelerazioni, sia delle deformazioni indotte da queste, attraverso l'installazione di accelerometri biassiali con centralina di acquisizione a 24 canali e di sensori a fibra ottica, questi ultimi in numero pari a 22, distribuiti ai vari livelli in elevazione. La scelta di monitorare sotto il profilo dinamico, gli stessi punti ai diversi livelli consentirà di leggere sia le accelerazioni di piano, sia le accelerazioni su una stessa verticale, in maniera tale da conoscere l'effettivo comportamento globale durante un evento non prevedibile, quale il sisma. Per quanto attiene al monitoraggio dei livelli di deformazione, per economia di spesa il sistema di acquisizione degli spostamenti sulle basi di misura è stato previsto non automatizzato, pertanto sarà necessario procedere alla lettura con una centralina portatile direttamente al box dove sono ubicati i terminali. Di seguito sono descritti separatamente i due sistemi di monitoraggio, statico e dinamico, progettati e parzialmente alla data attuale installati sul bene.

Sistema di monitoraggio statico

Il sistema di monitoraggio statico progettato ha previsto l'installazione di 7 sensori a fibra ottica nei maschi murari del primo e del secondo ordine e 8 sensori in quelli del terzo ordine. Al fine di rendere più agevole l'individuazione dei punti della struttura strumentati, di seguito in Figura 2, 3 e 4 è riportato uno stralcio dei disegni del progetto di monitoraggio.

PIANO TERRA
 UBICAZIONE PUNTI DI INSTALLAZIONE SENSORI

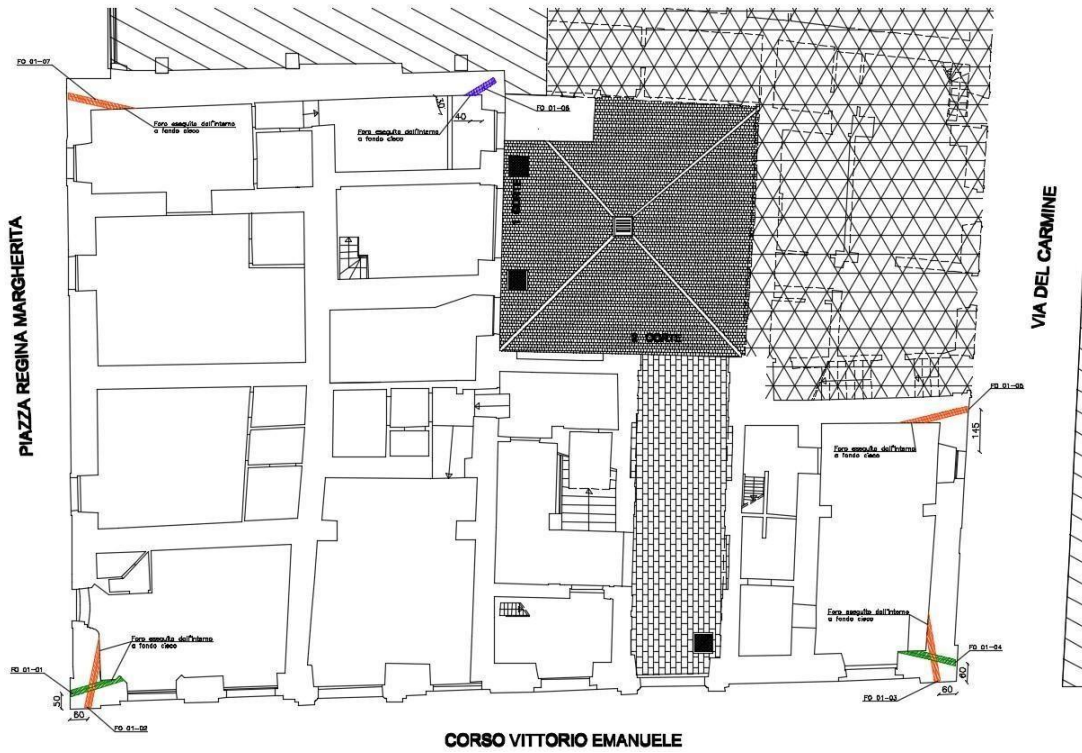


FIGURA 2 - PIANTA PIANO TERRA - POSIZIONE SENSORI SUI MASCHI MURARI DEL 1° ORDINE MONITORATI

PIANO PRIMO
 UBICAZIONE PUNTI DI INSTALLAZIONE SENSORI

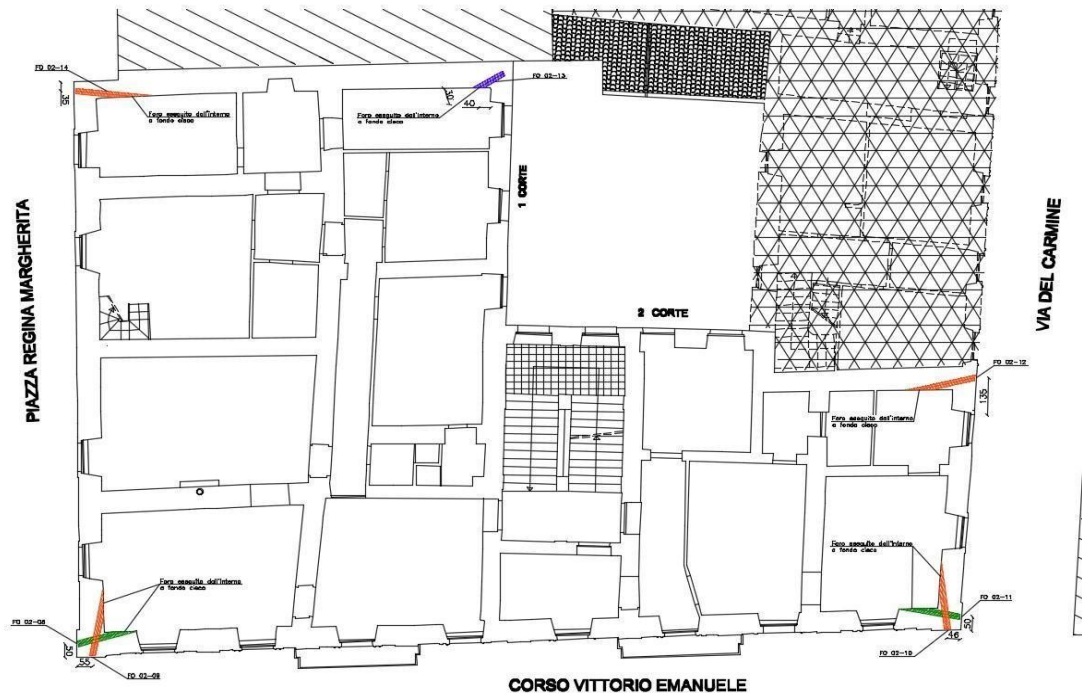


FIGURA 3 - PIANTA PIANO PRIMO - POSIZIONE SENSORI SUI MASCHI MURARI DEL 2° ORDINE MONITORATI

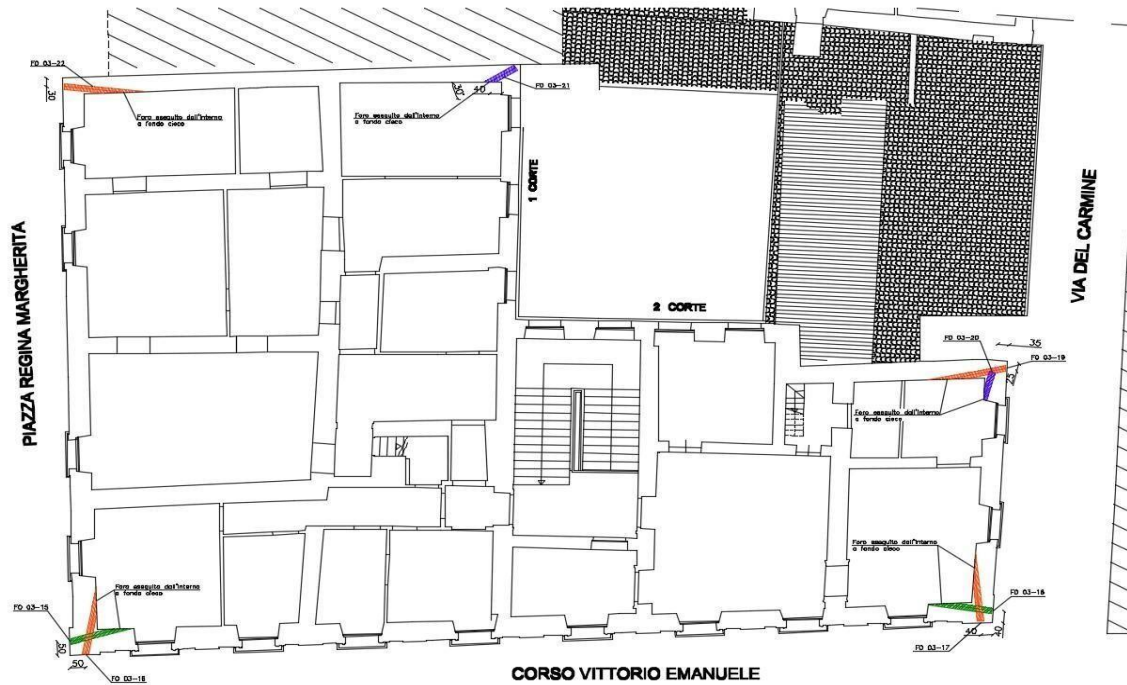


FIGURA 4 - PIANTA PIANO SECONDO - POSIZIONE SENSORI SUI MASCHI MURARI DEL 3° ORDINE MONITORATI

Per una migliore interpretazione della posizione dei sensori anche in termini altimetrici di seguito sono riportate le figure (Fig. 5, 6, 7, 8 e 9) che illustrano la proiezione dei punti di installazione sui prospetti dell'edificio.

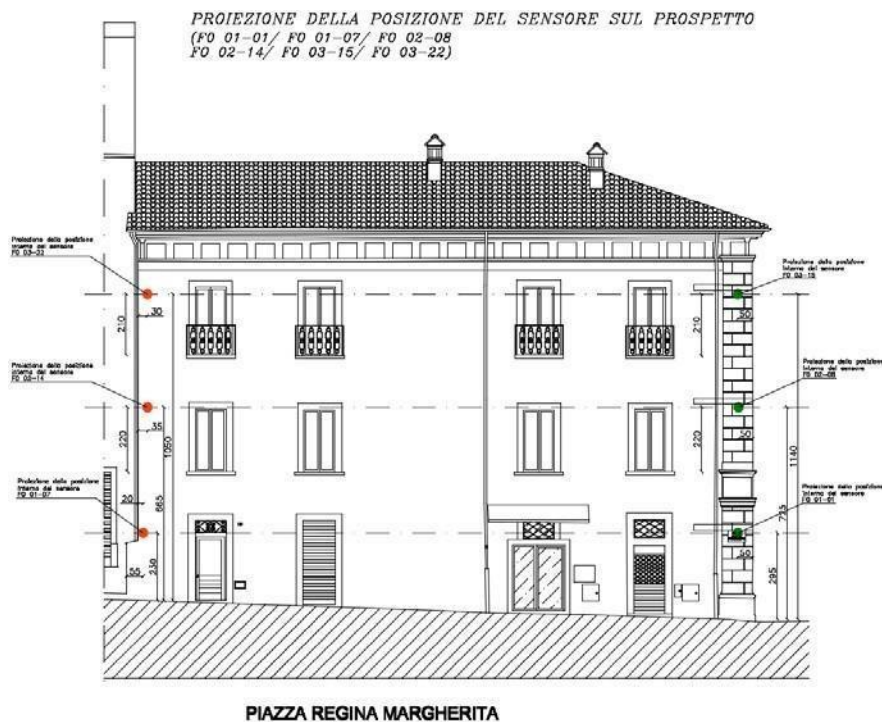
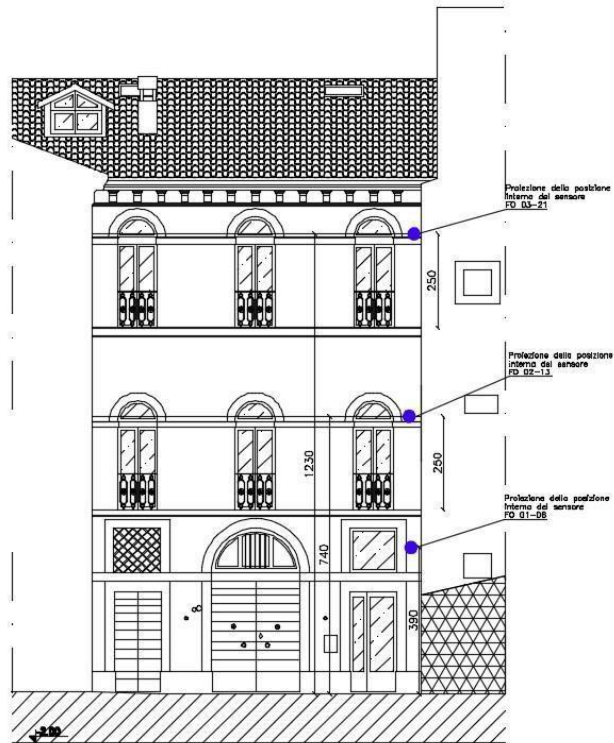


FIGURA 5 - PROIEZIONE DELLA POSIZIONE DEI SENSORI SUL PROSPETTO PIAZZA REGINA MARGHERITA

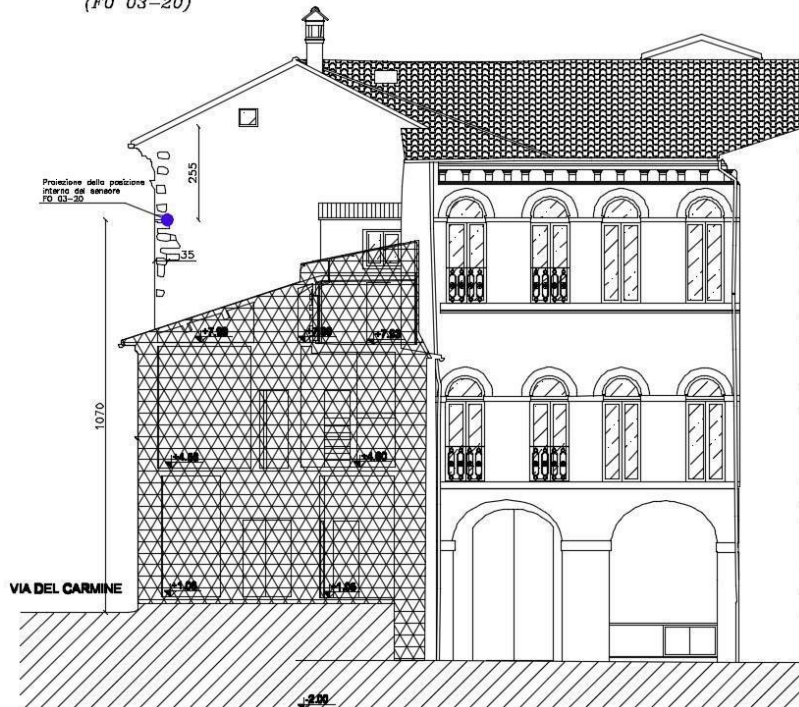
PROIEZIONE DELLA POSIZIONE DEL SENSORE SUL PROSPETTO
(FO 01-06/ FO 02-13/ FO 03-21)



1 CORTE

FIGURA 8 - PROIEZIONE DELLA POSIZIONE DEI SENSORI SUL PROSPETTO 1 CORTE

PROIEZIONE DELLA POSIZIONE DEL SENSORE SUL PROSPETTO
(FO 03-20)



2 CORTE

FIGURA 9 - PROIEZIONE DELLA POSIZIONE DEI SENSORI SUL PROSPETTO 2 CORTE

I sensori a fibra ottica utilizzati, complessivamente pari a 22, sono dotati di un proprio codice identificativo ed hanno appropriate dimensioni geometriche, sia per la parte attiva, che rappresenta la base di misura, sia per la parte passiva. Di seguito sono documentate fotograficamente alcune fasi di installazione dei sensori all'interno dei maschi murari collocati sui supporti in acciaio inox.



FOTO 4 - FASI DI INSTALLAZIONE DEI SENSORI A FIBRA OTTICA

Sistema di monitoraggio dinamico

Il sistema di monitoraggio dinamico prevede l'uso complessivo di 12 sensori accelerometrici capacitivi, bidimensionali, dotati di sensibilità nominale, larghezza di banda e range dinamico che ben si prestano a misure di alta qualità. 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.



**FOTO 5 - PIASTRA E BOX CHE ACCOGLIE IL SENSORE
ACCELEROMETRICO**



FOTO 6 - ACCELEROMETRO SARA SA-10

I codici identificativi dei sensori accelerometrici utilizzati nel progetto di monitoraggio dinamico, insieme all'informazione del relativo piano di riferimento, sono di seguito riportati.

Accelerometro	Piano
AC 01-01	PIANO TERRA
AC 01-02	PIANO TERRA
AC 01-03	PIANO TERRA
AC 01-04	PIANO TERRA
AC 02-05	PIANO PRIMO
AC 02-06	PIANO PRIMO
AC 02-07	PIANO PRIMO
AC 02-08	PIANO PRIMO
AC 03-09	PIANO SECONDO
AC 03-10	PIANO SECONDO
AC 03-11	PIANO SECONDO
AC 03-12	PIANO SECONDO

Al fine di rendere più agevole l'individuazione dei punti della struttura strumentati ed il percorso dei cavi dei sensori accelerometrici, di seguito in Figura 10, 11 e 12 è riportato uno stralcio dei disegni contenuti nel progetto di monitoraggio dinamico.

PIANO TERRA
TRACCE, SCASSI E PERFORAZIONI

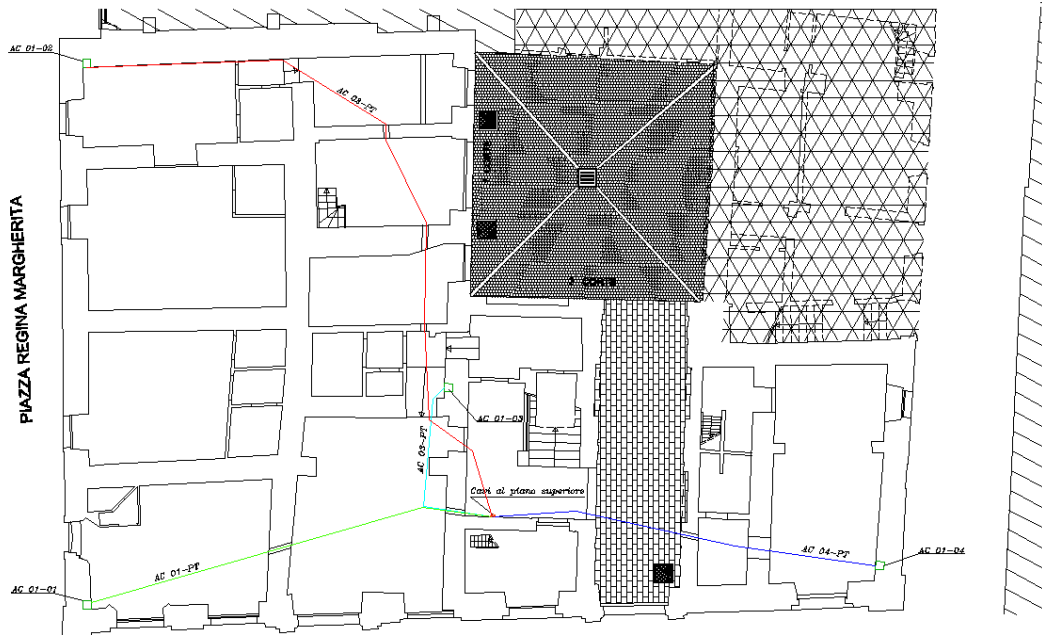


FIG. 10 - SENSORI UBICATI E PERCORSO DEI CAVI AL PIANO TERRA

PIANO PRIMO
TRACCE, SCASSI E PERFORAZIONI

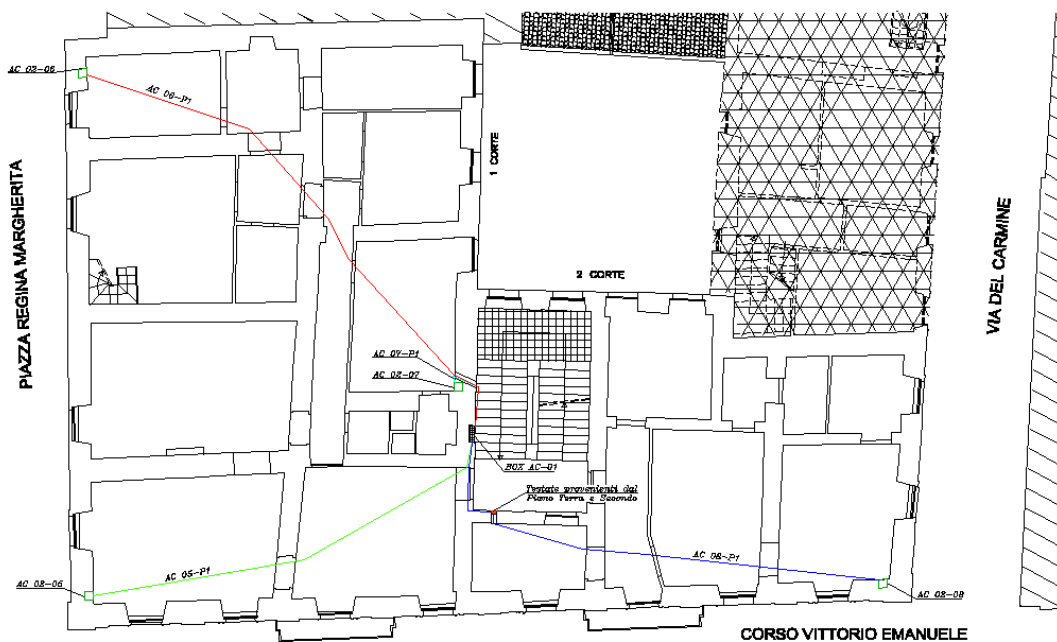


FIG. 11 - SENSORI UBICATI E PERCORSO DEI CAVI AL PIANO PRIMO

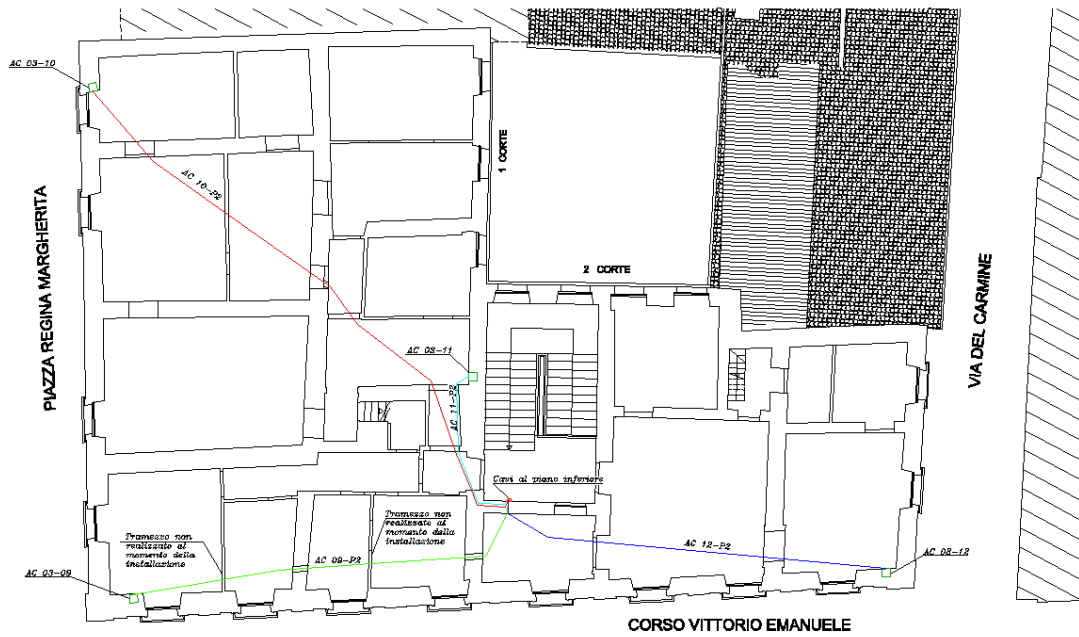


FIG. 12 - SENSORI UBICATI E PERCORSO DEI CAVI AL PIANO SECONDO

L'architettura di monitoraggio dinamico scelta per l'edificio, prevede la presenza permanente di una centralina di gestione, in grado di acquisire in continuo e inviare segnali di allerta e di allarme in caso di superamento dei parametri di soglia. La centralina che dovrà essere installata e resa residente, verrà collocata in prossimità del vano scala al piano primo per come indicato in figura.

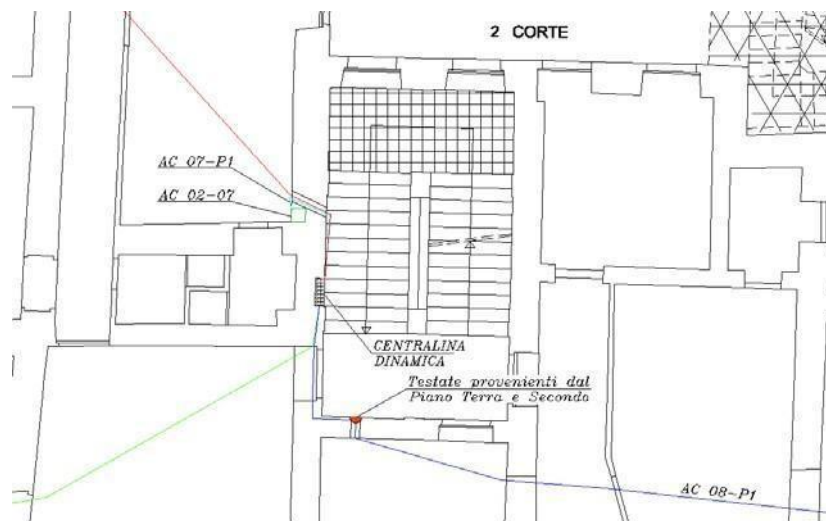


FIG. 13 - UBICAZIONE CENTRALINA DINAMICA

Modalità di gestione del sistema combinato

Con l'ausilio della descrizione effettuata delle due architetture è possibile ora illustrare come il sistema combinato potrà essere gestito e a quali attività verranno svolte automaticamente dallo stesso mentre quali azioni dovranno essere invece intraprese dal gestore dell'immobile. Grazie alla sua duplice costituzione, il sistema di controllo potrà essere un utile supporto sia nel processo di manutenzione, sia per il controllo dell'edificio a valle di un evento sismico di portata apprezzabile. Con queste prerogative nelle sezioni seguenti verranno illustrate le due diverse procedure di gestione: la prima dedicata al controllo in esercizio, la seconda dedicata invece al controllo degli eventi sismici.

Gestione dedicata al controllo in esercizio

Il processo manutentivo dell'edificio può essere agevolmente basato sull'uso del sistema di controllo a fibra ottica. Nel caso specifico l'acquisizione dei parametri deformativi effettuata ad intervalli regolari di tempo e comparati con valori di riferimento contenuti in una banca dati propria dell'immobile permetterà di verificare l'efficienza statica dello stesso e di programmare interventi mirati di mitigazione del degrado intesi come interventi ordinari o straordinari. Ad esempio per Palazzo Mannetti è possibile ipotizzare delle acquisizioni annuali con una redazione di un rapporto tecnico interpretativo che restituisca oggettive informazioni circa lo stato di salute del bene indicando la necessità o meno di produrre attività lavorative di manutenzione.

La citata banca dati da produrre, conterrà per ogni rilevatore di deformazione grafici estesi per un periodo di tempo sufficiente, comparati con le escursioni di temperatura come quelli di seguito riportati.

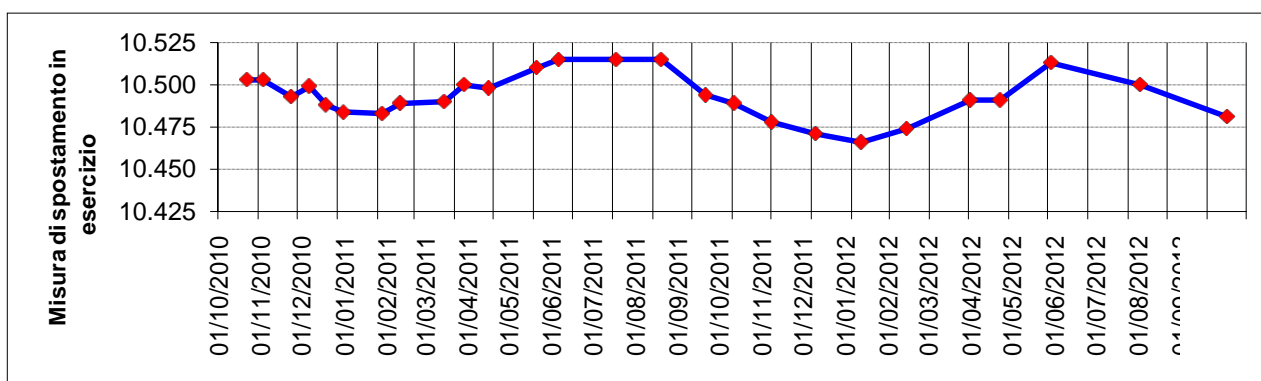


FIG. 14 - ESEMPIO DI BANCA DATI CON ACQUISIZIONE DI PARAMETRI DI SPOSTAMENTO

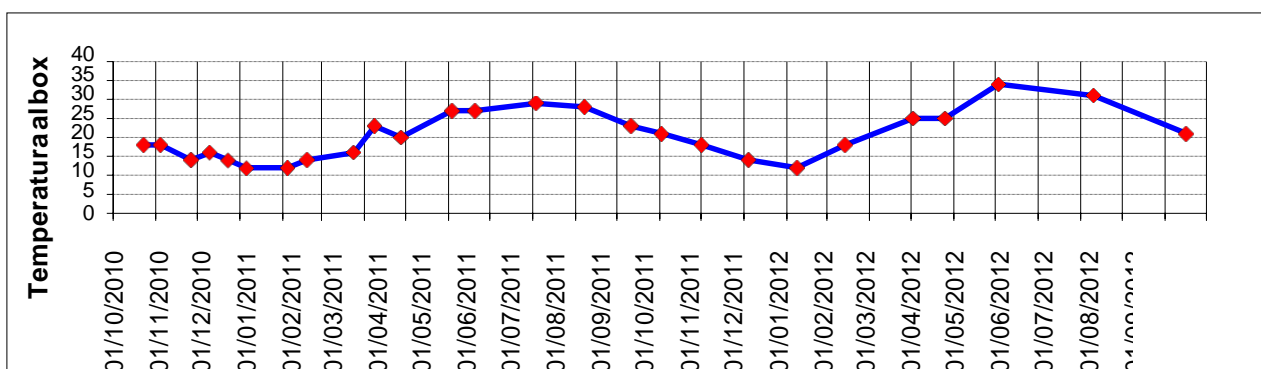


FIG. 15 - ESEMPIO DI BANCA DATI CON ACQUISIZIONE DELLA TEMPERATURA ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO

Per Palazzo Mannetti le attività da intraprendere per poter effettuare la gestione sono:

- **Creazione della banca dati.**
- **Controllo periodico annuale.**

Con la disponibilità della banca dati il gestore potrà interpellare quindi un tecnico qualificato, il quale eseguirà la rilevazione e restituirà un rapporto sullo stato di salute dell'immobile.

Gestione in continuo

Il sistema di monitoraggio dinamico offre la possibilità di valutare se un input sismico possa aver alterato il comportamento strutturale. All'atto dell'installazione dell'intero sistema di monitoraggio combinato saranno settati, per ogni sensore accelerometrico, due valori dell'accelerazione che possano provocare un fenomeno degenerativo. Al raggiungimento di ogni valore accelerometrico impostato è possibile associare l'invio di un SMS (fino ad un massimo di 10 destinatari), avvisando così il gestore del superamento di tale soglia. In base al segnale restituito dalla centralina il gestore potrà operare in funzione della pericolosità dell'evento nel seguente modo:



Verde: è associato ad un periodo in cui nessun messaggio è pervenuto. Pertanto, i valori soglia non sono stati superati e nessun controllo è necessario.

Arancione: è associato alla trasmissione di un messaggio di allerta. In questo caso il gestore dovrà inviare un tecnico ad eseguire solo dei controlli visivi.

Rosso: è associato alla trasmissione di un messaggio di allarme. In questo caso il gestore dovrà inviare un tecnico per eseguire verifiche visive e per acquisire i parametri di deformazione sui sensori a fibra ottica.

FIG. 16 – SEGNALI EMESSI DALLA CENTRALINA

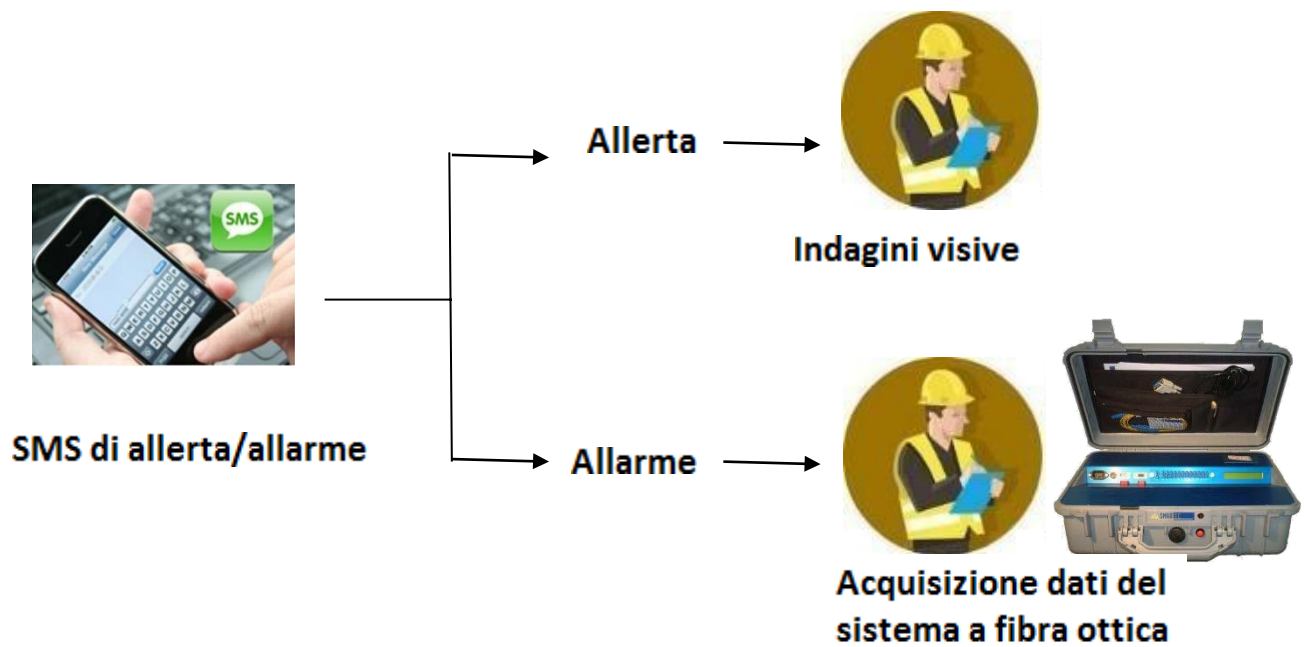


FIG. 17 – DISPOSIZIONI DA SEGUIRE IN SEGUITO ALLA RICEZIONE DEL MESSAGGIO DI ALLERTA O ALLARME

Conclusioni

Il sistema combinato garantirà la disponibilità di dati utili per la programmazione di interventi di manutenzione e produrrà informazioni trasferite in remoto sullo stato di sollecitazione generato sull'immobile a seguito di eventi sismici.

Questi significa Costruzioni Edilizie Sicure e Manutenzione certa nel tempo.

 Link " Video Palazzo Mannetti " : <https://www.youtube.com/watch?v=n9gr-hX-FLw>
