

Monitoraggio strutturale attraverso prove statiche e dinamiche.

Un esempio rilevante: il monitoraggio del “passetto Vaticano”

B. Calandrino, M. Di Paola, A. Pirrotta, B. Villa

Sommario

Dopo una breve introduzione sulle finalità del monitoraggio strutturale e delle metodologie utili a tenere sotto controllo manufatti o anche porzioni di territorio, viene descritto un sistema di monitoraggio per un esempio di rilevante interesse. Tale esempio è il monitoraggio del “passetto del Vaticano” ed il monitoraggio di tale manufatto storico si è reso necessario per i lavori della costruenda biblioteca della LUMSA sulle adiacenze del passetto.

1. Introduzione

Il passetto del Vaticano è stato edificato nel XVI secolo ed è stato concepito per mettere in comunicazione diretta la Città del Vaticano e Castel Sant’Angelo. Costituiva la via di fuga del Papa nel caso di eventuali aggressioni. La costruzione del passetto è importante ed è mostrata in fig.1, È costituita da muratura di buona fattura poggiante su terreno di riporto. Esiste nella zona una falda ad una profondità media di 11 m rispetto al piano di campagna.

La Libera Università Maria Assunta (LUMSA) che ha sede in Via Traspontina, deve realizzare, all’interno del complesso “Giubileo”, una biblioteca che è in parte interrata ed in parte fuori terra. La profondità di scavo per realizzare i piani cantinati è di 10 m rispetto all’attuale piano di campagna. Poiché la biblioteca dovrà distare 3 m dal passetto e con il fronte parallelo al passetto, nasce l’esigenza di proteggere i fronti di scavo onde evitare che il passetto possa franare. A tal uopo, in progetto è prevista una paratia di pali accostati, del diametro di 80 cm. Una volta realizzata la paratia si dovrà procedere allo scavo all’interno della paratia. I pali hanno lunghezza 25 m e tuttavia vista l’elevata spinta prodotta dal passetto, gli spostamenti orizzontali della paratia risultano rilevanti (dell’ordine di alcuni cm). Tali spostamenti produrrebbero come effetto rotazioni rigide del passetto con conseguenti stati fessurativi non accettabili per un manufatto di rilevante interesse storico ed artistico.

Vista la delicatezza dell’intera progettazione strutturale, la LUMSA. ha ritenuto opportuno richiedere al Centro Interuniversitario di Dinamica Strutturale Teorica e Sperimentale (C.I.Di.S.), con sede presso il dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale e dei Materiali (DICAM) di Palermo, la consulenza per la validazione strutturale e per affiancare la Direzione dei Lavori durante le fasi esecutive dell’opera. Il C.I.Di.S ha affidato al Prof. Mario Di Paola tale incarico.

Le criticità riscontrate durante la stesura del progetto strutturale sono sostanzialmente dovute alla realizzazione degli scavi, anche perché malgrado un’ottima conoscenza dei terreni di fondazione, ottenuta con una vasta campagna di carotaggi e prove di laboratorio, risulta comunque impossibile una esatta valutazione degli spostamenti lungo l’asse della paratia. Si è allora pensato di intervenire su due fronti:

- 1) limitare al massimo gli spostamenti della paratia
- 2) avviare un sistema di monitoraggio che consenta di tenere sotto controllo il benché minimo spostamento del passetto

Tali due fasi, relativamente alla fase di costruzione della biblioteca, verranno dettagliatamente descritte nel seguito.

Il presente lavoro è organizzato come segue: nella sezione 2 verranno in breve descritti i più comuni metodi di monitoraggio strutturale; nella sezione 3 verranno descritte in dettaglio le fasi di scavo e le apparecchiature predisposte per il monitoraggio del passetto.

2. Metodi di monitoraggio strutturale

I più comuni metodi di monitoraggio si suddividono in 3 diverse categorie: monitoraggio statico, dinamico e geomatico.

2.1 Monitoraggio statico

Il monitoraggio statico prevede l'applicazione di strumenti atti a misurare spostamenti assoluti o relativi. Ad esempio, per controllare se un quadro lesivo è in evoluzione o meno, verranno predisposti i classici "vetrini graduati" a cavallo della lesione per poi misurarne di tanto in tanto l'ampiezza della lesione, nonché integrità del vetrino. Fili a piombo consentiranno di verificare la verticalità o il fuori piombo di un elemento strutturale etc. Tuttavia l'evoluzione dei metodi di monitoraggio è impetuosa in quanto la richiesta di dati più affidabili per controllare manufatti o intere zone di territorio per lo studio dell'evoluzione di frane o le modifiche del territorio a seguito di eventi catastrofici quali terremoti o alluvioni è sempre più richiesta dalle amministrazioni che gestiscono il patrimonio storico-culturale ed il territorio.

In ogni caso il progetto del sistema di monitoraggio e la strumentazione utile ad un efficace sistema di controllo vanno attentamente valutati in relazione alla importanza del manufatto o la porzione di territorio che si intende tenere sotto controllo.

2.2 Monitoraggio dinamico

Il monitoraggio dinamico si basa sull'analisi di segnali provenienti da vibrazioni naturali o indotte. Un esempio di monitoraggio del territorio su scala nazionale è la rete sismica che è costituita da accelerometri triassiali che forniscono le accelerazioni dovute ad eventi tellurici restituendo in tempo reale le storie temporali di accelerazione in direzione Nord-Sud, Est-Ovest e verticali. Tali storie di accelerazione sono conservate in memoria sotto forma digitale e le analisi di tali segnali consentono di fornire istantaneamente la magnitudo e la posizione dell'epicentro. A tal fine la rete sismica deve essere realizzata e dislocata sul territorio in modo opportuno per consentire triangolazioni, valutare ritardi temporali di arrivo delle onde di pressione e di taglio che consentono appunto di individuare con notevole precisione la zona di sorgente del fenomeno tellurico (epicentro ed ipocentro).

Gli accelerometri sono strumenti di alta precisione che sono sensibili alle accelerazioni e si basano sulla misura di segnali dovuti a variazione di corrente su induttori liberi di scorrere in una assegnata direzione. Durante il movimento l'induttore subisce delle accelerazioni che

determinano una corrente negli avvolgimenti che opportunamente misurate forniscono l'esatto valore di accelerazione istantanea. L'inconveniente dell'uso di tali strumenti è l'elevato costo dovuto non solo all'accelerometro vero e proprio (qualche migliaio di euro), ma al sistema di acquisizione dei dati (amplificatori, trasformatori analogico-digitali, computer per l'analisi dei dati e software dedicati. Inoltre la rete di acquisizione necessita di fili elettrici che portano i segnali dall'accelerometro al sistema di acquisizione ed elaborazione dati.

L'insieme di tali strumenti fa sì che i sistemi di rilevamento di accelerazioni sia confinato in laboratori universitari. Per ovviare a tali inconvenienti, recentemente, nell'ultima decade, si è sviluppata una nuova generazione di sensoristica basata su schede elettroniche dal costo irrisorio (qualche decina di euro). Tali sensori possono trasmettere i dati di acquisizione di accelerazione, velocità e spostamenti relativi o assoluti anche in assenza di reti cablate di trasmissione (sistemi wireless). E' allora prevedibile che in un futuro non lontano lo sviluppo di tale nuova generazione di sensori consentirà di acquisire i dati, trasmetterli in stazioni riceventi che a loro volta via cavo o satellite invieranno i segnali a computer residenti presso la protezione civile, le sedi comunali e presso la Soprintendenza ai Beni Culturali ed Ambientali dell'intero patrimonio nazionale consentendo interventi mirati.

2.3 Metodi della Geomatica per il monitoraggio del territorio e delle strutture

Il settore del controllo e del monitoraggio del territorio e delle strutture è sempre stato uno dei campi di applicazione di maggiore interesse per le discipline topografiche.

Questo interesse è ulteriormente cresciuto in questi ultimi anni, anche in seguito al profondo rinnovamento registratosi grazie soprattutto allo sviluppo delle tecnologie elettroniche ed informatiche. Nuove strumentazioni e metodologie sono state prodotte, sempre più veloci, automatiche, affidabili; basti pensare al GPS, al laser a scansione, alle stazioni totali motorizzate, alle tecniche fotogrammetriche digitali.

Recentemente è stato introdotto nel linguaggio scientifico un nuovo termine, *Geomatica*, per individuare il complesso delle discipline che hanno come oggetto l'acquisizione, l'elaborazione, l'analisi, la visualizzazione e la gestione di informazioni territoriali e che includono sia quelle tradizionali del telerilevamento (*Geodesia, Topografia, Fotogrammetria, Cartografia*), nella loro versione aggiornata, sia quelle di recente istituzione (*Telerilevamento, Sistemi Informativi Territoriali*).

Gli aspetti particolarmente vantaggiosi nell'uso dei metodi della Geomatica, rispetto a quelli tradizionalmente impiegati per il monitoraggio di strutture (flessimetri, estensimetri, deformometri, etc.). consistono nella possibilità di tenere sotto controllo un numero molto maggiore di punti con l'impiego di metodologie di misura non invasive e, soprattutto, nella potenzialità di misurare anche gli spostamenti assoluti, oltre a quelli relativi.

Per spostamento assoluto di un punto si intende la variazione di posizione del punto rispetto ad uno o più punti della struttura, o esterni ad essa, che godono della proprietà di rimanere fissi, cioè di non subire spostamenti, o almeno non della stessa natura e dello stesso ordine di grandezza di quelli del punto sotto controllo. Tali punti vengono detti caposaldi; ovviamente per

avere la certezza che un punto abbia subito uno spostamento assoluto e poterne misurare l'entità, occorre verificare l'invariabilità dei caposaldi e del punto stazione.

Per spostamento relativo (deformazione) si intende invece la variazione di posizione del punto rispetto ad altri della struttura, anch'essi soggetti a spostamento.

Come è noto, tutte le deformazioni sono soggette agli inevitabili errori di misura; per poter concludere che si sia effettivamente verificato uno spostamento, assoluto o relativo, questo deve risultare di entità superiore (di almeno un ordine di grandezza) all'incertezza di misura.

In generale lo spostamento di un punto è di tipo tridimensionale e quindi di tale punto devono essere determinate le tre coordinate spaziali; a volte però può essere più rilevante, o di maggiore interesse, la componente altimetrica dello spostamento, oppure quella planimetrica; in tal caso le misure possono essere limitate alla sola direzione verticale o a quella orizzontale. La Geomatica mette oggi a disposizione del topografo metodi e strumenti di misura appropriati per ogni tipologia di spostamento e per differenti livelli di accuratezza richiesti; per spostamenti tridimensionali è utilizzabile la RTS (Robotic Total Station), il GPS, le tecniche laser-scanning e quelle fotogrammetriche digitali; per spostamenti esclusivamente orizzontali, il distanziometro elettronico, le classiche triangolazioni o il collimatore; per spostamenti esclusivamente verticali, i vari tipi di livellazione e, in particolare, per le determinazioni altimetriche caratterizzate da maggiore accuratezza, la livellazione geometrica di alta precisione.

Lo spostamento di un punto infine può essere determinato con metodo variometrico o per differenza di coordinate. Nel primo caso, lo spostamento viene determinato direttamente dallo strumento di misura; ad esempio, nel caso dello spostamento verticale di un punto di una struttura soggetta ad un carico, lo spostamento può essere determinato direttamente mediante un livello, come differenza fra le letture fatte a stadia in corrispondenza delle varie configurazioni di carico. Nel secondo caso invece, lo spostamento viene determinato come differenza fra i valori delle coordinate calcolate nelle diverse fasi di misura. In generale, si può dire che il primo metodo è più preciso del secondo, sia perché più diretto, sia perché non è influenzato da eventuali errori di misura sistematici; la condizione della sua corretta applicabilità è legata però all'ipotesi dell'invariabilità del punto stazione per tutta la durata delle operazioni.

3. Il monitoraggio del passetto Vaticano

Un esempio di progetto di monitoraggio strutturale è quello relativo alla costruenda biblioteca (fig.1) del complesso "Giubileo" dell'Università LUMSA.

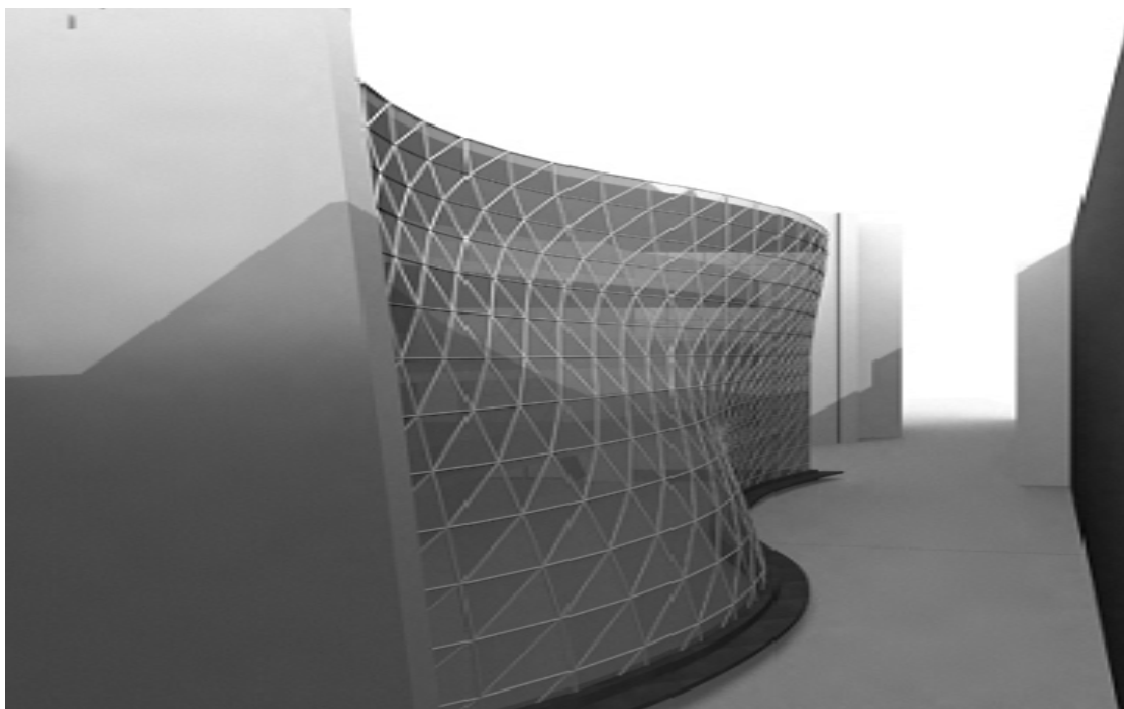


Fig.1 costruenda biblioteca

Esso prevede che due piani della biblioteca siano confinati e così come già accennato nella sezione introduttiva, vista la delicatezza del manufatto per le sue peculiarità storico – monumentali si è pensato di operare con tutte le possibili cautele onde evitare l’innescarsi di quadri fessurativi di insieme o di porzioni del manufatto stesso.

A tal uopo sono state individuate alcune criticità. Prima fra tutte, durante la fase di trivellazione dei pali della costruenda paratia, le vibrazioni sul passetto possono costituire un possibile innescarsi di quadri fessurativi. Infatti la paratia, per una vasta zona, dista circa 3 m dal passetto (vedi figg.2) e pertanto gli scuotimenti del terreno provocheranno certamente onde (simili a quelle sismiche) che metteranno in vibrazione il passetto.

Una seconda criticità è quella connessa allo svuotamento del terreno all’interno della paratia. Malgrado prima dello scavo si costruirà un cordolo di notevoli dimensioni con estradosso a quota piano di campagna, le calcolazioni segnalano spostamenti nella zona centrale della paratia, dell’ordine di diversi centimetri. Per contrastare tale spostamento della paratia che certamente comporterebbe cedimenti del piano di fondazione del passetto (che è a circa 2 ml dal piano di campagna), si è provveduto a controventare il cordolo con puntelli attivi; cioè costituiti da puntoni in acciaio con martinetti (vedi figg.2). A questo punto, una volta messo in forza il puntello, si potrà in piena sicurezza iniziare la fase di scavo. Arrivati a 3 ml di scavo si procederà a disporre un secondo piano di controventi attivi. Ancora una volta si metteranno in forza i martinetti e si continuerà lo scavo fino alla profondità del piano di fondazione. A questo punto verrà costruita la platea che è svincolata dalla palificata per traslazioni verticali relative, ma

contrasta con la paratia per le spinte orizzontali mediante cuscinetti in neoprene. Si procederà quindi a spiccare i pilastri, a formare il primo solaio del piano cantinato che è anch'esso svincolato dalla paratia per traslazioni verticali, ma vincola per gli spostamenti orizzontali.

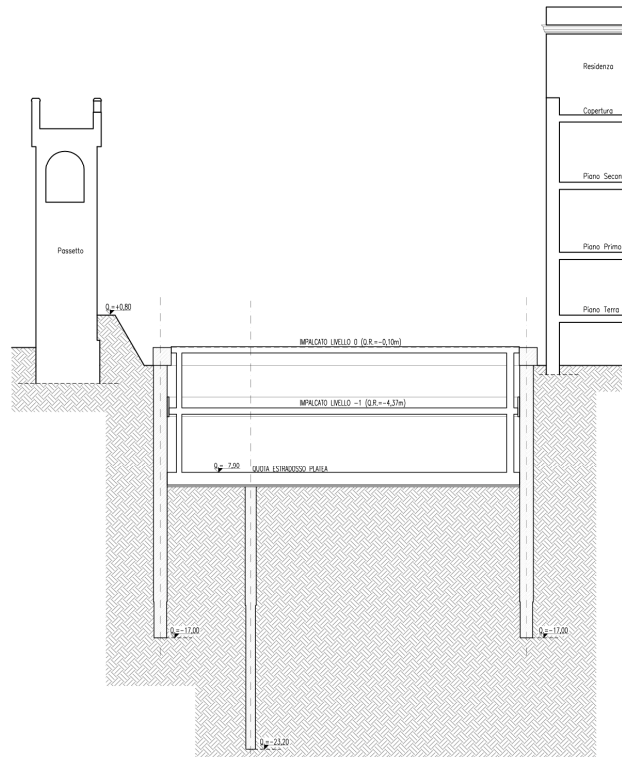


Fig.2a Sezione

A questo punto, poiché la paratia risulta vincolata alle traslazioni sul piano orizzontale, sia al piano cantinato, alla platea di fondazione che al solaio intermedio di piano cantinato, i due sistemi di controvento potranno essere smontati in quanto lo sbalzo della paratia è di appena 3 ml. A questo punto verrà realizzato anche il solaio di piano terra che sarà vincolato come il solaio di piano cantinato e si potrà procedere alla definizione dei piani sopra terra. I martinetti serviranno allo smontaggio delle strutture provvisorie (basterà scaricare i martinetti per riportare le tensioni sui puntoni a zero) ed inoltre laddove gli spostamenti della paratia saranno superiori a quelli previsti verranno caricati fino a ridurre gli spostamenti orizzontali entro i limiti voluti.

E' evidente che la delicatezza di tutte le varie fasi richiede completa conoscenza di:

- 1) campi di spostamento della parte sommitale della paratia
- 2) stati tensionali sui puntoni
- 3) movimenti di insieme del passetto durante le fasi di scavo

- 4) indagini delle vibrazioni durante le fasi di trivellazione, scavo e smontaggio dei puntoni provvisionali
- 5) stati fessurativi del passetto

Al fine di avere il monitoraggio completo del passetto si sono costituiti diversi gruppi di lavoro con diverse competenze:

- a) la Prof.ssa Pirrotta (docente di Scienza delle Costruzioni e Dinamica delle Strutture presso la facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Palermo) terrà sotto controllo gli stati tensionali sui puntoni provvisionali tramite trasduttori di spostamento per conto del C.I.D.I.S.
- b) il Prof. Benedetto Villa provvederà al monitoraggio degli eventuali spostamenti di insieme del Passetto per conto del D.I.C.A.M.
- c) l'Ing. Bruno Calandrino della WiSeNet Engineering con sede presso l'incubatore universitario ARCA, fornirà la sensoristica ed il conseguente sistema di acquisizione dati sulle vibrazioni sia durante la fase di trivellazione, sia durante le fasi di scavo.

Le specifiche delle varie metodologie di monitoraggio verranno descritte nel seguito.

4. Monitoraggio della struttura Giubileo e del passetto del Vaticano con l'impiego di tecniche geomatiche

Nella fase di progettazione della nuova biblioteca della LUMSA a Roma era stato previsto che la realizzazione della palificata e dello scavo per la costruzione della struttura "Giubileo" avrebbe determinato uno stato deformativo sia sulla stessa struttura che sulle costruzioni circostanti ed, in particolare, su un tratto del vicino passetto Vaticano. Per valutare queste deformazioni ed evitare che i corrispondenti stati tensionali potessero provocare la formazione di quadri fessurativi di un certo rilievo sono stati previsti sistemi diversificati di monitoraggio da attivare per tutta la durata della fase di scavo e di costruzione della struttura.

Per quanto riguarda, in particolare, le operazioni di controllo effettuate con l'impiego di tecniche geomatiche, si sono utilizzate metodologie topografiche e fotogrammetriche; con entrambi i metodi è possibile determinare gli spostamenti tridimensionali dei punti sotto controllo.

Con riferimento a quelle topografiche, è stato impiegato il sistema di monitoraggio automatico della Leica Geosystems, costruito da una RTS (Robotic Total Station) TM30, da un insieme di mire con microprismi di precisione, ubicate in corrispondenza dei punti da sottoporre a controllo e da un software per l'elaborazione e l'analisi dei dati di misura.

Sono stati individuati quattro vertici sui quali effettuare le stazioni di misura; tre dei quali posizionati sul muretto delle terrazze di copertura di fabbricati circostanti alla zona interessata dalla costruzione (Stazione dei Carabinieri, ex residenza dei Padri, sede della L.U.M.S.A.); il quarto su un pilastro in c.a. appositamente realizzato all'interno del cantiere. Tutti i vertici stazione sono stati muniti di piastra orizzontale di acciaio avente nella parte superiore un vitone per l'alloggiamento a centramento forzato della stazione totale.

Dei quattro vertici presi in esame per il monitoraggio topografico, i tre posizionati sulle terrazze di copertura dovrebbero mantenersi stabili durante le operazioni di misura (tale invariabilità ovviamente sarà verificata in ogni fase del rilievo); la presenza di tali caposaldi consentirebbe quindi anche la determinazione degli spostamenti assoluti dei punti sotto controllo, oltre a quella degli spostamenti relativi.

I microprismi sono stati posizionati sulle due pareti del tratto di Passetto interessato dal controllo secondo un grigliato regolare, 18 sulla parete interna e 14 su quella esterna, sui quattro puntelli di contrasto della trave di collegamento dei pali di fondazione (8) e sui fabbricati circostanti (4). L'ancoraggio delle mire alle pareti del Passetto è stato effettuato con l'impiego di un sistema appositamente studiato per applicazioni di monitoraggio di edifici monumentali. La particolare disposizione delle mire lungo le pareti del Passetto (secondo linee verticali all'incirca equidistanziate) potrà consentire di verificare anche eventuali variazioni di inclinazioni dalle pareti.

Per quanto riguarda le metodologie fotogrammetriche, si è utilizzata una camera Nikon D80 ed il software di elaborazione dei dati fotogrammetrici digitali Photomodeler. In questo caso l'impossibilità di individuare punti stabili di riferimento (caposaldi) consente la determinazione di soli spostamenti relativi fra i punti sotto controllo.

Le operazioni di monitoraggio, attualmente in corso, saranno ripetute sei volte, in relazione alle seguenti fasi di lavoro:

- a) configurazione iniziale
- b) configurazione successiva alla dismissione delle travi reticolari sopra la vecchia palestra e alla demolizione dei corpi edilizi addossati alla base del passetto
- c) configurazione relativa alla quota di scavo -4,00 m circa
- d) configurazione successiva alla realizzazione del primo piano cantinato della struttura (-9,00 m circa)
- e) configurazione successiva alla realizzazione del secondo piano cantinato (-4,00 m circa)
- f) configurazione successiva alla dismissione dei puntelli di contrasto

Per ogni fase di lavoro, sia che si proceda con tecniche topografiche che con quelle fotogrammetriche, vengono determinate le coordinate dei punti sotto controllo. Gli spostamenti quindi, vengono valutati, in entrambi i casi, con il metodo per differenze di coordinate, cioè determinando gli scarti fra le coordinate calcolate nelle diverse fasi di misura. Tali coordinate, con tecniche topografiche, vengono determinate in un sistema di riferimento assoluto (individuato dai caposaldi), con tecniche fotogrammetriche in un sistema relativo.

5. Monitoraggio dinamico

Obiettivo della campagna di rilevazione in corso di esecuzione da parte della società WiSeNet Engineering è l'acquisizione della storia temporale delle accelerazioni subite dal passetto del Vaticano a seguito della realizzazione della paratia di pali di diametro Φ 80 da spingere sino ad una profondità di 23,85m.

Il sistema è composto da n° 12 nodi sensore ciascuno dotato di un trasduttore accelerometrico di tipo MEMS capace di misurare le accelerazioni e di un sistema di acquisizione e trasmissione delle informazioni rilevate ad un “nodo master” o “nodo concentratore” che gestisce

- a) la sincronizzazione dei nodi
- b) la ricezione dei dati acquisiti (le accelerazioni)
- c) la trasmissione dei dati al server locale
- d) i segnali di controllo ed il protocollo di comunicazione tra i nodi sensore ed il server locale

Il server realizzerà le seguenti macro operazioni:

1. la gestione del back up locale giornaliero dei dati
2. il monitoraggio ed il controllo della la rete di nodi sensore (tramite il nodo concentratore) ed il collegamento alla rete ADSL
3. la trasmissione dei dati ad un server remoto per il back up “storico” dei dati
4. il collegamento al sistema da un qualsiasi terminale remoto configurato

Il collegamento al server locale da terminale remoto consente la consultazione dei dati in “real time” in forma grafica (accelerazione vs tempo).

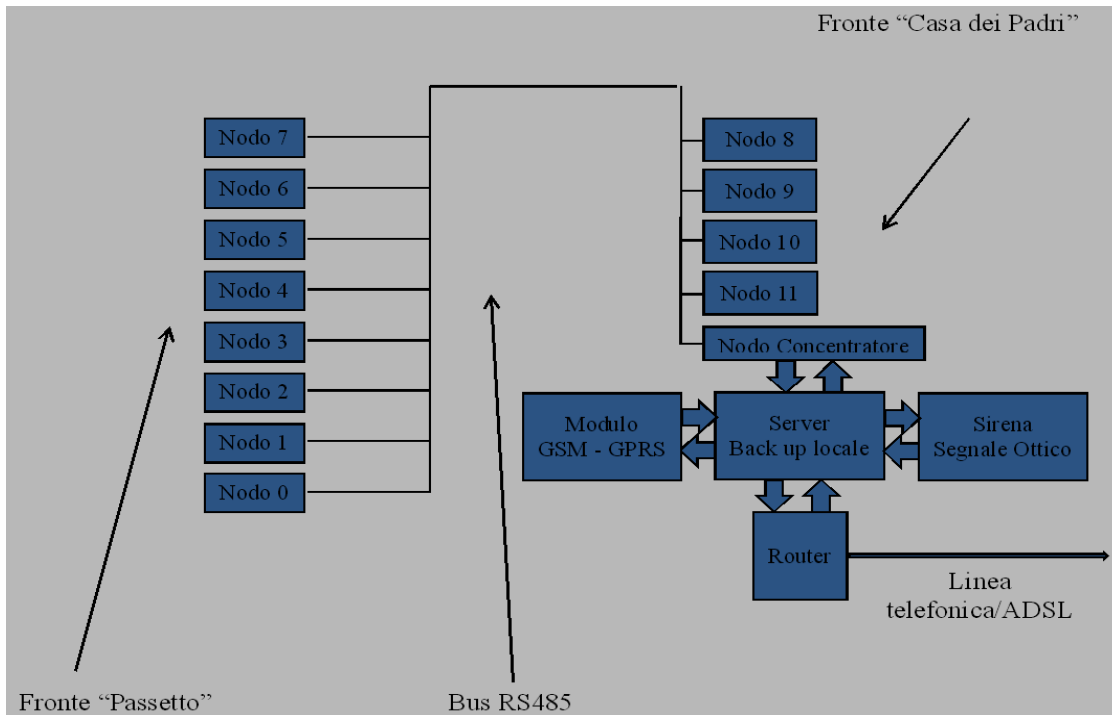
E’ anche possibile acquisire i dati in forma tabellare sia accedendo al server locale che al server remoto di back up per il “post processing” dei dati.

Il sistema consente la programmazione di tre protocolli al superamento di tre soglie:

- soglia verde o di acquisizione: il sistema registra i dati rilevati realizzando un back up locale e un back up a remoto assicurando un doppio livello di “data security”
- soglia gialla: le sollecitazioni sono significative ma non tali da costituire un rischio per la struttura; tuttavia, oltre alla registrazione dei dati vengono inviati sms ed email ai soggetti interessati (Direttore dei Lavori, Prof. Di Paola, Responsabile dei Lavori, Responsabili della WiSeNet)
- soglia rossa: attivazione di allarmi ottici ed acustici in cantiere, invio di sms ed email, interruzione immediata dei lavori

Il server locale gestisce anche il modulo GSM/GPRS per la trasmissione degli sms per la segnalazione degli allarmi.

Nelle pagine seguente è riportato uno schema a blocchi sintetico del sistema e le planimetrie relative alla posizionamento dei nodi sensore.



6. Monitoraggio statico delle opere di presidio dello scavo

Il monitoraggio delle sollecitazioni e delle deformazioni della paratia, sarà effettuato attraverso la misura, con strumenti di alta precisione, dello stato di tensione e deformazione sui quattro puntelli di contrasto, (di ogni sistema di controvento) (fig. 2) relativamente alle varie fasi di costruzione. A tal uopo saranno utilizzati degli estensimetri, (strumenti di misura per rilevare deformazioni) opportunamente installati in ciascun puntello di contrasto, (fig. 3a PART.A). Gli estensimetri saranno complessivamente 16 (per ogni sistema di controvento), quattro per ogni puntello e collegati a ponte intero al fine di eliminare tutte le componenti trasversali e flessionali ed ottenere così la deformazione assiale epurata da qualunque deformazione spuria. Conoscendo lo stato di deformazione si può calcolare teoricamente lo stato di sforzo corrispondente, che verrà confrontato con quello misurato attraverso un trasduttore di pressione. La utile ridondanza della misura dello sforzo si effettuerà installando, in ciascuno dei quattro martinetti, un trasduttore di pressione elettronico (fig. 3b PART.B) che fornirà indirettamente, attraverso la misura delle pressioni, quella dello sforzo indotto sul puntello stesso. In coincidenza delle seguenti fasi di scavo, si registreranno, per mezzo di una centralina di acquisizione, i valori di ogni strumento di misura:

a) configurazione iniziale, messa in opera dei puntelli di contrasto provvisori (prima dell'inizio dello scavo);

- b) configurazione relativa alla quota di scavo (-4.00 m circa)
- c) configurazione relativa alla realizzazione del primo piano cantinato della struttura (-9.00 m circa),
- d) configurazione relativa alla realizzazione del secondo piano cantinato (-4.00 m circa),
- e) configurazione relativa alla dismissione dei puntelli di contrasto

Pertanto, sarà possibile seguire l'evolvere degli stati di sollecitazione e di deformazione, di modo che, nel caso di comportamento anomalo durante tali fasi, si possano prendere tutti quei provvedimenti utili alla salvaguardia delle strutture limitrofe e della costruenda struttura stessa.

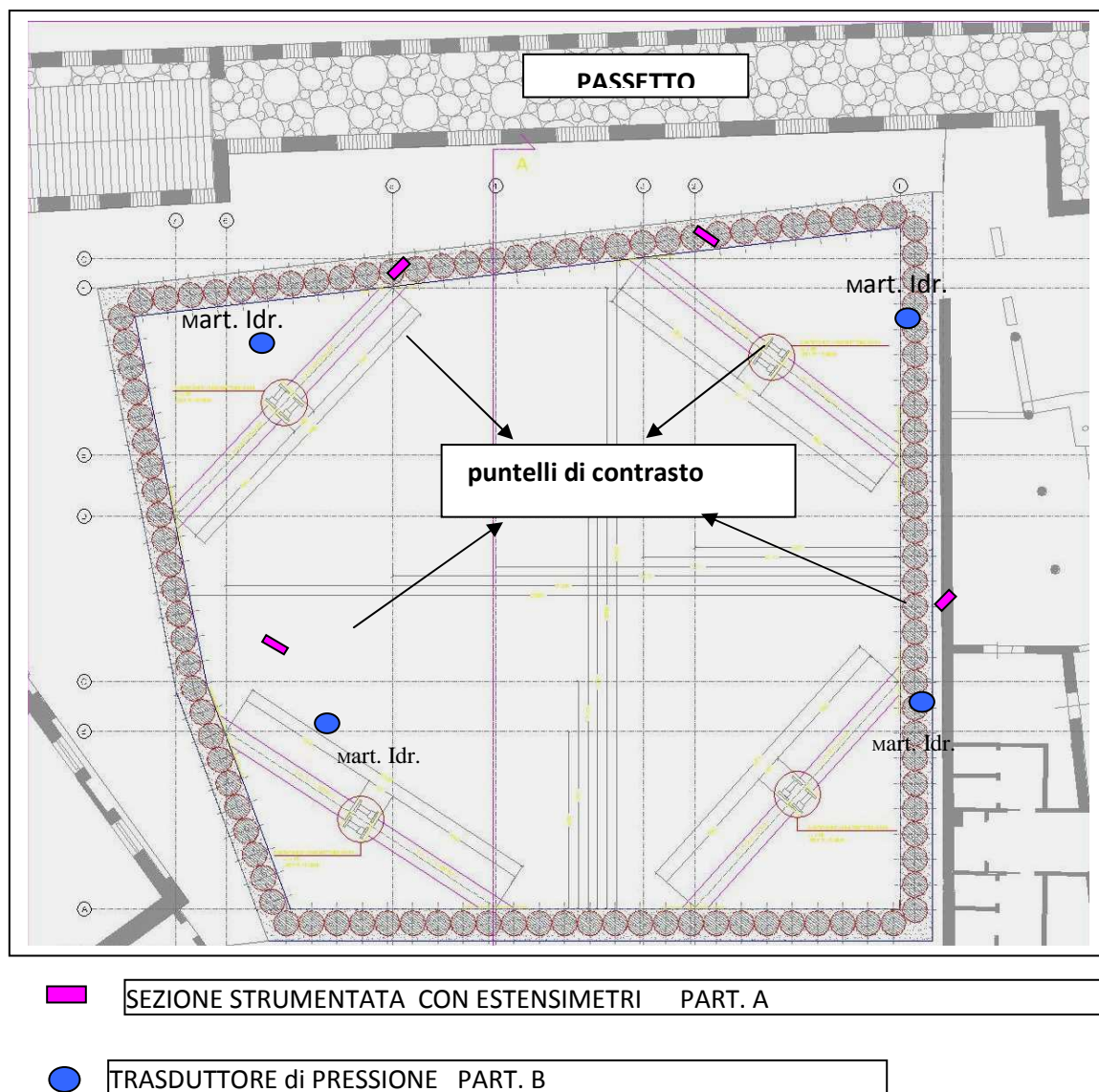


Fig.2b Pianta

PART. A SEZIONE STRUMENTATA CON ESTENSIMETRI

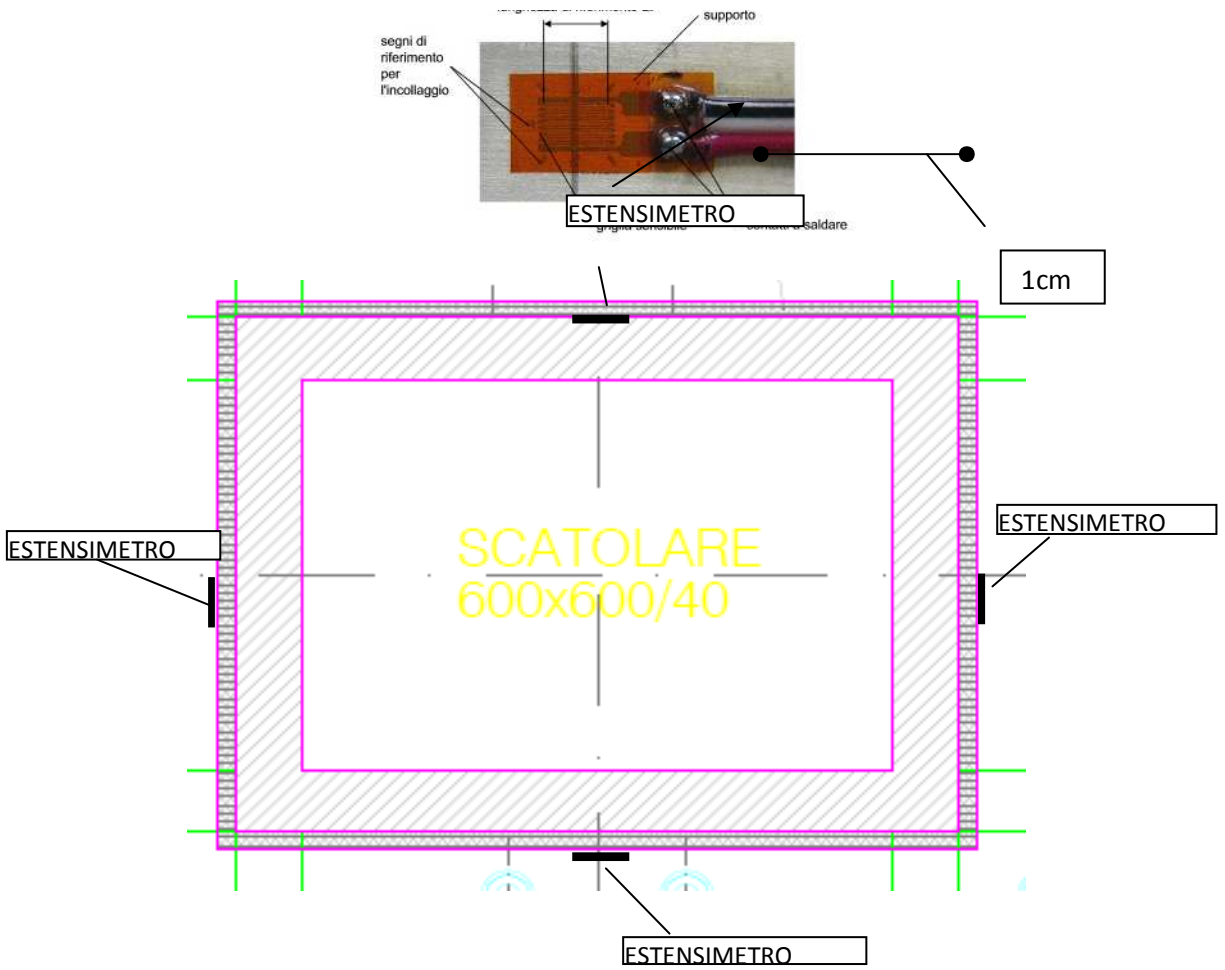


Figura 3.a-Part.A

PART. B TRASDUTTORE di PRESSIONE

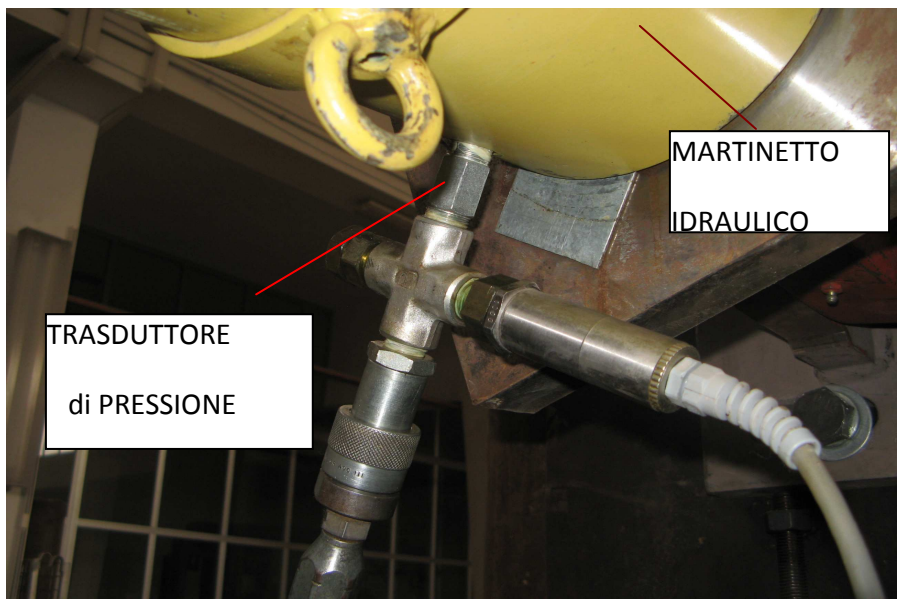


Figura 3.b-Part.B