

Metodologie di misura per il controllo delle deformazioni in manufatti di interesse storico

di Filiberto Chiabrando e Manuela Grasso
Relatore: Bruno Astori

In questi ultimi decenni le città sono state trasformate in reti per spostamenti veicolari; in particolare i centri storici sono stati per anni luogo di traffici e rumori e solo recentemente le politiche urbane ne hanno limitato l'uso indiscriminato; il sempre maggiore utilizzo delle falde acquifere coniugato alla aumentata difficoltà di imbibizione dei terreni in presenza di grandi superfici edificate, hanno rapidamente modificato le caratteristiche geotecniche del suolo; l'inquinamento dell'aria ha prodotto un generale degrado su tutti i materiali utilizzati per le costruzioni, soprattutto su quelli chimicamente più aggredibili.

In sintesi, in pochi anni le strutture esistenti, soprattutto le più antiche, sono state "attaccate" da tutto un insieme di agenti esogeni che hanno pesantemente incrementato il naturale invecchiamento connesso alla loro età spesso plurisecolare.

Conseguentemente, si determinano collassi non prevedibili di edifici monumentali che per secoli erano rimasti pressoché intatti nelle loro strutture; per tutti, valga l'esempio del crollo del campanile di Pavia (17 Marzo 1989), che ha causato la perdita di alcune vite umane. Tale drammatico evento ha di fatto posto l'opinione pubblica di fronte ad una domanda; " Il collasso strutturale poteva essere previsto ? " .

La risposta è sostanzialmente positiva; infatti esistono tecniche e metodologie che fanno parte dell'ampio settore delle scienze del rilevamento che si occupa del monitoraggio dei manufatti storici e che attraverso le misure e l'elaborazione dei risultati è in grado di fornire risposte spesso decisive per la loro tutela .

Alla luce delle considerazioni sintetizzate in precedenza e considerata il numero e la ricchezza del patrimonio architettonico italiano, è sembrato interessante approfondire nel nostro lavoro di tesi il tema del " controllo delle strutture ", specialmente per quelle ad elevato pregio storico ed artistico.

Al fine di dare un approccio scientificamente credibile alla sperimentazione, posta alla base della tesi, ci è apparso fondamentale investigare le metodologie utilizzate per il controllo, le strumentazioni ad esse relative e successivamente applicare le conoscenze acquisite su un bene monumentale significativo del nostro passato .

La Chiesa di San Domenico a Pinerolo presentava tutte le caratteristiche necessarie alla sperimentazione delle tecniche di monitoraggio investigate.

La tesi si è articolata in tre capitoli, che riguardano rispettivamente:

- le problematiche legate alla realizzazione dei controlli ed i metodi utilizzati per la realizzazione;
- alcuni esempi di metodologie applicate su edifici di interesse storico del nostro patrimonio architettonico;
- il monitoraggio delle strutture della Chiesa di San Domenico di Pinerolo

Capitolo I: Metodi e strumentazioni per il controllo dei manufatti

Monitorare un edificio significa predisporre una serie di strumentazioni che consentono il controllo continuo dei parametri significativi dello stato di salute dell'edificio: si ottiene

allora una conoscenza continua nel tempo e non relativa ad alcuni istanti significativi del comportamento dell'edificio, come avviene per le prove.

Le realizzazioni concrete di monitoraggio si basano su misure di spostamenti, rotazioni o accelerazioni della struttura.

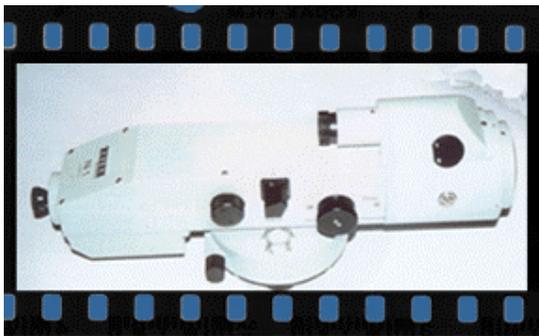
La metodol- progettazione del piano di strumentazione;

- installazione della strumentazione;
- realizzazione, e installazione del sistema automatico di acquisizione dei dati (quando possibile);
- raccolta, interpretazione dei dati e loro elaborazione.ogia che si può utilizzare per il controllo è costituita dai seguenti passi:

Le grandezze oggetto dei controlli sono nella maggior parte dei casi tre:

- misure di controllo altimetrico;
- misure di controllo planimetrico secondo la direzione longitudinale (variazioni di ampiezza fessure);
- misure di spostamenti planimetrici secondo due direzioni (variazioni di strapiombo);

Per quanto riguarda le prime si utilizza lo schema della livellazione geometrica dal mezzo, con l'impiego di un livello fornito di lamina piano-parallela e l'utilizzo di stadia in invar, o nei casi più semplici, di acciaio inox.



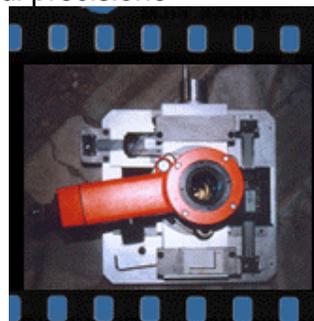
Livello Zeiss Ni1 con lamina piano-parallela



Stadia in invar e stadietta in vetro

Per le variazioni delle fessurazioni viene utilizzato solitamente il deformometro removibile. Deformometro removibile Soiltest

Per quanto riguarda invece gli strapiombi vengono solitamente utilizzati livelli zenitali accoppiati a slitte micrometriche di precisione



Accoppiamento Livello Zenitale Slitta Micrometrica

Cap II: Alcuni esempi di monitoraggio e relativi sistemi, in edifici di interesse storico

Ai fini di rendere più comprensibili le metodologie e l'utilizzo delle strumentazioni per il controllo degli edifici abbiamo voluto dedicare un capitolo ad alcuni esempi di

monitoraggio eseguiti in edifici di interesse storico.

L'intenzione non è quella di descrivere minuziosamente tutte le fasi e le caratteristiche di ogni controllo, ma di far capire le problematiche che si presentano ogni qual volta ci si trova davanti ad un edificio soggetto ai problemi ormai noti; l'importanza di tutte le analisi che devono essere fatte a monte, tutte le prove e le decisioni da prendere per l'impianto di un sistema piuttosto che di un'altro.

Ci è stata data l'opportunità di incontrare uno dei responsabili del controllo del Duomo di Monza (Prof. Guzzetti), controllo che è stato organizzato in prima persona dal nostro relatore (prof. Astori); grazie a questo incontro ci sono stati chiariti molti dubbi e soprattutto abbiamo avuto l'opportunità di poter partecipare al controllo di San Vitale a Ravenna, esperienza che ci è stata di grosso aiuto per capire con più precisione le fasi di misurazione e le caratteristiche dell'impianto di monitoraggio in un'opera di tale complessità.

Oltre alla trattazione dei due casi sopra citati abbiamo voluto inserire in questo capitolo le esperienze svolte su opere di particolare pregio architettonico, quali Santa Maria del Fiore a Firenze, San Marco a Venezia, la Torre degli Asinelli a Bologna, il Duomo e le torri di Pavia, il Duomo di Como, il Battistero di Cremona, il campanile di Santo Stefano a Venezia e la Torre del Mangia a Siena.



Cap III: Il monitoraggio della Chiesa di San Domenico a Pinerolo

Cenni storici

Nel 1440 iniziò la costruzione della chiesa e del convento grazie alla donazione di una casa fatta da Ludovico di Savoia a padre Ponzio della Mota.

La caratteristica delle chiese costruite dall'Ordine mendicante dei predicatori Domenicani è lo stile gotico senza transetto, con pianta ad una o più navate. Strutture semplici con facciate lineari.

Originariamente la chiesa di S.Domenico, con i suoi 75 metri di lunghezza e 34 di larghezza, in grado di contenere i quattro quinti della popolazione cittadina, era costituita da cinque spaziose navate, l'abside, le numerose cappelle, i seni acuti della tradizione lombarda, a fianco il robusto e ben squadrato campanile. L'esterno parte in cotto e parte intonacato era sottolineato dalle finestre circolari che illuminavano le dieci campate; la facciata con rosoni, lesene e pilastri sottolineavano la struttura interna. Il sacro edificio così ben esposto anche all'offesa nemica divenne oggetto di tremendi assedi, fu gravemente danneggiata durante il bombardamento della città nel 1693 e l'anno successivo fu distrutta da un incendio.

Guardando l'edificio oggi, non ci si può rendere conto della sua grandiosità passata; la chiesa doveva infatti occupare tutta l'attuale piazza antistante; a testimonianza di ciò, le colonne della fiancata nord della chiesa inserite nel muro che chiude la piazza da quella parte.



Impianto di monitoraggio

Le grandezze oggetto del monitoraggio sono tre:

- Controllo dei cedimenti differenziali
- Controllo delle variazioni di verticalità
- Controllo dimensionale dello stato fessurativo

Per il rilievo e conseguentemente per il controllo dei cedimenti differenziali la procedura operativa è stata quella della livellazione geometrica di alta precisione..

A tale fine e per una corretta ripetizione delle operazione di misura è stata prevista la segnalizzazione di tutto un insieme di punti (in numero di 10), alcuni posti sugli elementi strutturali della Chiesa (oggetto di controllo) altri su punti esterni in posizione tale da dare luogo ad una corretta geometria del rilievo che ovviamente deve permettere la esecuzione di battute di livellazione dal mezzo .

Oggetto del monitoraggio sono stati i due pilastri ai lati dell'abside. Sono stati segnalizzati due particolari : il primo, in sommità al piastrino , facilmente collimabile e ancorato rigidamente alla struttura rappresentato dalla mensola che regge il lampadario principale della chiesa ; il secondo punto, sul pavimento in posizione nadirale rispetto al precedente , in grado di permettere il riposizionamento di precisione dello strumento per la misura.

Il rilievo dello stato fessurativo prevede l'individuazione ed il monitoraggio di tutte le fessure che risultano essere di significativa rilevanza. Dopo i ripetuti sopralluoghi sono state individuate cinque lesioni macroscopiche che dovevano necessariamente essere prese in considerazione. Due di esse sul lato est dell'abside nella parte esterna, facilmente accessibili con l'utilizzo di una scala, una sul lato ovest dell'abside e due interne ad un'altezza molto più rilevante e tale da rendere necessario l'utilizzo di una piattaforma aerea.

Conclusioni

A conclusione del lavoro di tesi ci sembra necessario riassumere le considerazioni desunte dalle operazioni di misura per il controllo sulla struttura della chiesa di San Domenico a Pinerolo.

Come oramai noto le grandezze oggetto del controllo sono state tre:

- cedimenti differenziali
- variazioni di verticalità
- controllo dimensionale dello stato fessurativo.

Per quanto riguarda la prima grandezza era prevedibile che, vista la breve durata del controllo e la vicinanza tra le varie operazioni di misura non si sarebbero potuti verificare dei movimenti rilevanti sulle quote dei punti controllati.

In effetti per tutta la durata del controllo abbiamo constatato l'effettivo stato di equilibrio della struttura.

Le variazioni ottenute hanno raggiunto un massimo, in corrispondenza di alcuni punti, di circa 0.60 mm, queste variazioni sono irrilevanti e possono essere ricondotte alla nostra scarsa esperienza in operazioni di controllo ed agli errori imputabili alla strumentazione utilizzata per il monitoraggio.

Discorso simile al precedente può essere fatto per il controllo delle variazioni di verticalità,

come ripetuto più volte sono state controllate due semicolonne portanti che dividono l'abside dalla navata.

Anche in questo caso le variazioni ottenute durante i lavori di monitoraggio sono risultate accettabili.

Le operazioni di misura eseguite con il livello zenitale sono state più complesse rispetto alle altre operazioni, questo perché date le precarie condizioni di equilibrio del pavimento della chiesa e la conseguente difficoltà di messa in stazione della slitta micrometrica, la collimazione della mira ha portato in alcuni casi alla presenza di errori nelle misurazioni. Sorpassati i problemi sopra citati ed eseguendo per ogni collimazione (per ogni misura vengono eseguite le collimazioni nelle quattro posizioni coniugate) la messa in stazione, i risultati ottenuti subiscono delle variazioni che raggiungono un massimo di 0.80 mm, anche in questo caso i valori possono essere accettati e considerati nulli alla luce dei sistematismi strumentali, della nostra inesperienza e dei problemi di stabilità del pavimento della chiesa.

L'ultima grandezza presa in considerazione per il controllo della struttura è quella che riguarda la variazione dimensionale di alcune fessure presenti sull'abside e sulla navata della chiesa.

E' necessario fare una distinzione tra le fessure interne e quelle esterne, per quanto riguarda quelle interne sono state eseguite due misure ad una distanza di tre mesi una dall'altra, i risultati trovati (variazioni inferiori a 0.2 mm) nelle due campagne e soprattutto gli ormai noti problemi del pavimento interno hanno suggerito di fermare il controllo di queste fessure alla seconda misura. Non si sono riscontrati movimenti di nessun genere per le fessure interne.

Per quel che riguarda le fessure esterne, il maggior numero di operazioni di misura (sei) ha permesso di entrare in possesso di un numero di dati maggiore utili all' interpretazione del fenomeno studiato.

Alla luce dei valori ottenuti, possiamo considerare anche in questo caso la struttura controllata del tutto stabile, i risultati indicano in alcuni casi delle variazioni eccessive, che sicuramente sono da imputare ad errori accidentali durante le operazioni di misura, è necessario ricordare che le misure sono state eseguite con l'ausilio di scale estensibili ad un'altezza di circa sei metri.

Nonostante gli errori sopra citati, i valori riscontrati rientrano in quella casistica di errori riconducibili al sistematismo strumentale.

Alla fine dei sei mesi di monitoraggio possiamo considerare la struttura della chiesa di San Domenico stabile, in questo breve periodo di osservazione non sono stati valutati dei movimenti che possano far intendere dei problemi di stabilità, è comunque presto per dare giudizi definitivi.

In conseguenza delle operazioni di sostituzione del tetto, in fase di esecuzione nel mese di dicembre, in accordo con il parroco della chiesa, i lavori di monitoraggio proseguiranno.

La sostituzione del tetto in capriate di legno con uno antisismico con cordolo in cemento armato, porterà un aumento significativo di peso sulla struttura della chiesa.

Questo potrà provocare dei cambiamenti significativi in tutte e tre le grandezze controllate durante il lavoro di tesi.

La durata del monitoraggio verrà prolungata sicuramente fino alla fine del ciclo annuale per poi essere consegnata alla curia di pinerolo e messa a disposizione della comunità.

Per ulteriori informazioni, e-mail : chiabrando_f@yahoo.it

Servizio a cura di:

CISDA - HypArc, e-mail: hyparc@polito.it