

Chiesa dell'Immacolata

presso

Masnago



**rapporto finale (3 anni)
sul monitoraggio delle lesioni**

Brinzio, 9 agosto 2008

Ing. Francesco Marazzi

1. INTRODUZIONE

Il presente rapporto riprende e arricchisce i precedenti scritti dopo i primi 6 mesi, dopo un anno, dopo un anno e mezzo e dopo 2 anni dall'inizio delle rilevazioni dell'ampiezza delle fessure.

Scopo del rapporto è di riportare i risultati delle misure delle lesioni presenti nella chiesa dell'Immacolata effettuate durante i 36 mesi compresi tra agosto 2005 e agosto 2008 mediante deformometro analogico millesimale. Tali dati sono stati rielaborati in tabelle ed in diversi tipi di grafici al fine di favorirne la comprensione.

Il monitoraggio è consistito nella misurazione mensile dell'apertura delle fessure in corrispondenza delle n° 14 basi deformometriche installate a cavallo delle fessure principali. La geometria delle basi deformometriche è stata accuratamente misurata sia con riferimento alla loro posizione rispetto alla fessura che rispetto al sistema di riferimento globale della chiesa.

Le letture ottenute mensilmente sono state confrontate con la lettura di riferimento iniziale e con quelle effettuate durante i mesi precedenti al fine di valutarne l'evoluzione. La particolare disposizione delle basette di misura poste a triangolo ha permesso di evidenziare non solo l'apertura delle fessure, ma anche il loro scorrimento.

Congiuntamente alle misure si è continuato ad osservare anche i vetrini posti a cavallo delle fessure durante il mese di gennaio 2005: a parte i vetrini posti a cavallo della lesione L4 che si sono rotti già durante i primi mesi di installazione (a maggio 2005, si veda in proposito il rapporto del 5 gennaio 2006), nessuno degli altri si è rotto durante questi ulteriori mesi di osservazione a dimostrazione della loro limitata utilità dal momento che gli spostamenti delle fessure a cavallo delle quali si trovavano sono stati invece rilevanti.

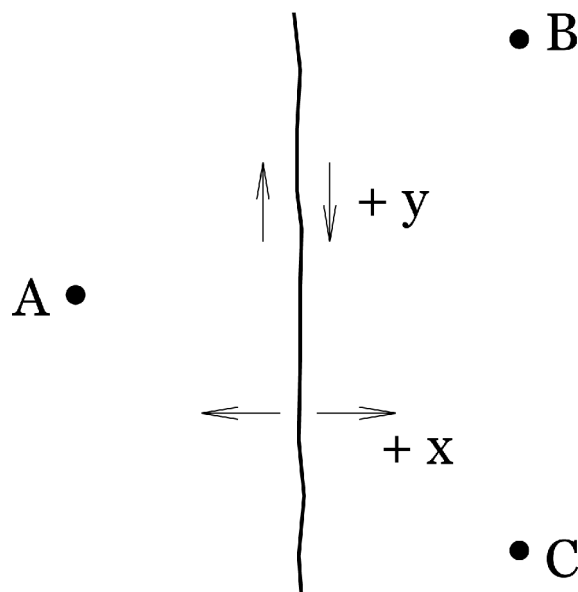


figura 1: schema del posizionamento dei dischi d'acciaio e convenzioni di segno adottate

2. SCHEMA DELLE LESIONI

Per completezza viene qui di seguito riportato ancora una volta lo schema della chiesa sul quale è riportato il nome attribuito a ciascuna lesione (lesione L8 sull'architrave d'entrata, lesioni L6, L5, L4, L11 e L9 sul lato strada).

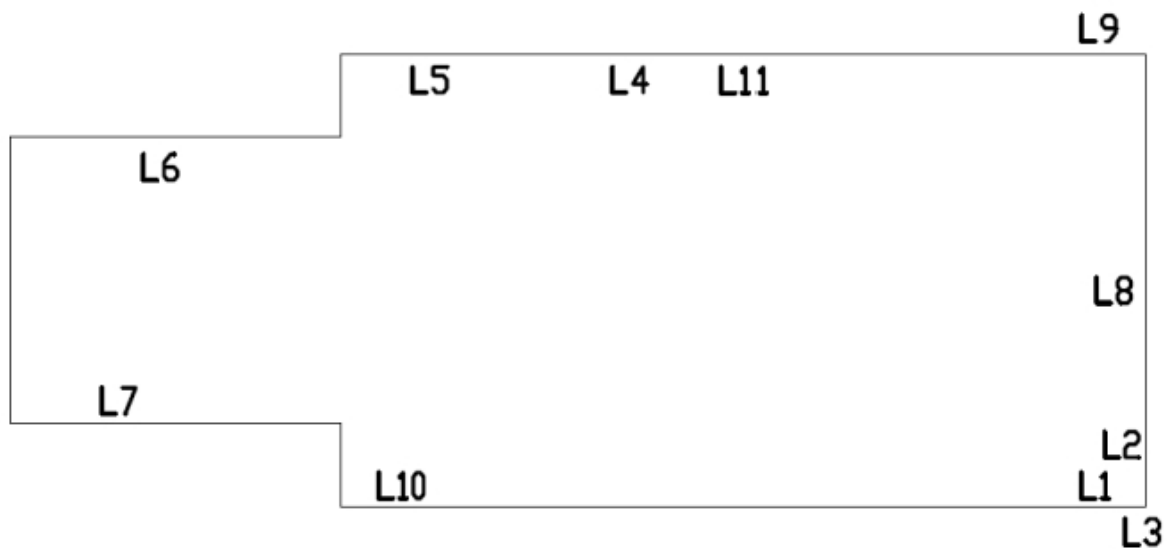


figura 2: denominazione delle lesioni

Qualora per una stessa lesione si siano posizionate più terne di basi deformometriche, si è adottata la convenzione di denominare con A il punto di misura più in alto, C quello centrale e B quello più in basso. Le basi che sono state poste all'esterno sono state denominate con la lettera E. La tabella seguente riporta le altezze del centro del triangolo formato dalle tre basette in acciaio rispetto al piano del pavimento interno alla chiesa.

<i>lesione</i>	<i>altezza (m)</i>
L6B	1,50
L6C	3,10
L6A	4,70
L5	5,30
L4B	1,50
L4C	3,10
L4A	4,90
L11	2,25
L10	5,00
L6E	1,80
L5E	3,30
L4E1	3,00
L4E2	5,80
L11E	5,80

tabella 1: altezze dei centri del triangolo formato dai dischetti metallici per ciascun punto di misura

3. MISURA DELLE LESIONI

I risultati delle misure effettuate per ciascuno dei 14 punti di rilevazione sono riportati nella tabella 2 per quanto riguarda l'apertura e nella tabella 3 per quanto riguarda lo scorrimento (misure nel sistema di riferimento locale della fessura, cioè con direzione localmente perpendicolare e parallela alla fessura). Nella parte inferiore di ciascuna colonna si è evidenziato il massimo scostamento (in valore assoluto) di tali valori. Si evidenzia come i valori di apertura delle fessure siano in genere molto più rilevanti rispetto ai valori di scorrimento, quantunque anche questi ultimi abbiano a volte valori non trascurabili.

La figura 3 e seguenti presentano una rielaborazione dello spostamento delle fessure corrispondenti alle lesioni L4 e L6, cioè quelle che fin dall'inizio hanno destato le maggiori preoccupazioni. La fessura L6 e soprattutto la fessura L4 risultano molto attive. Si ricorda che sono stati proprio i vetri della lesione L4 quelli che si sono rotti già da maggio 2005, mentre i vetri a cavallo delle altre lesioni sono attualmente ancora integri.

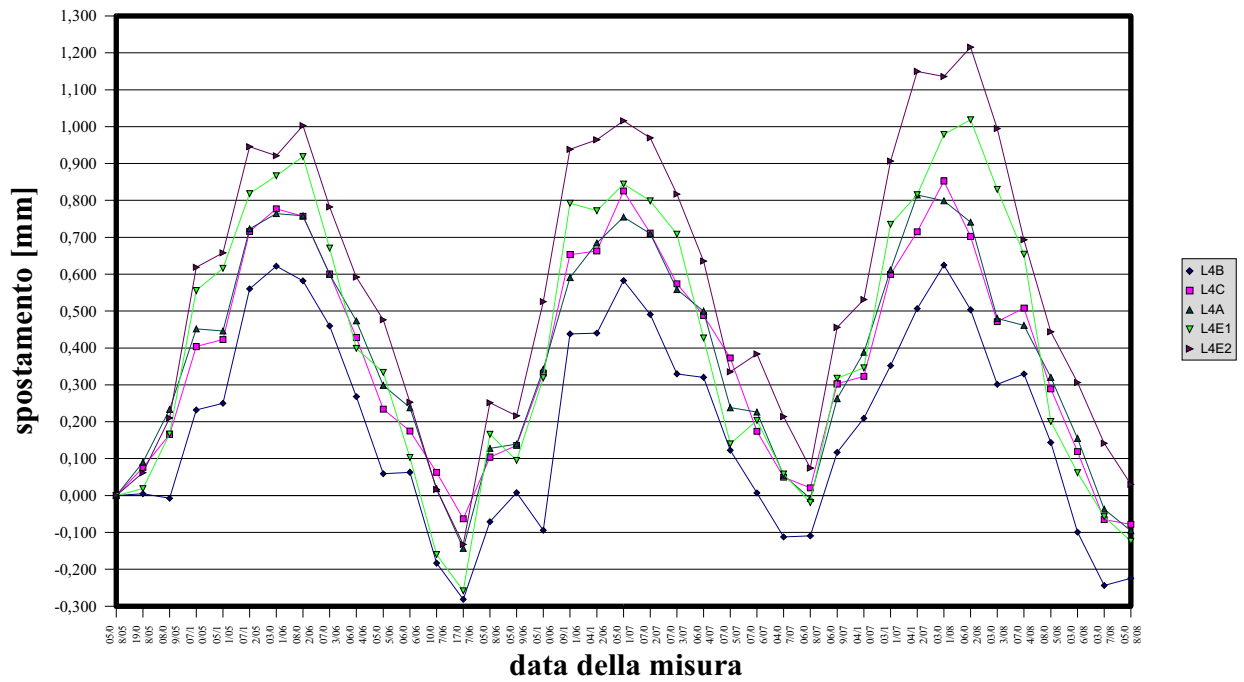
Si vede bene come gli spostamenti abbiano un andamento ciclico legato ad effetti stagionali. L'ampiezza delle fessure aumenta infatti velocemente durante i mesi di settembre, ottobre e novembre per poi lentamente stabilizzarsi durante i mesi di dicembre e gennaio ed quindi tornare a chiudersi fino al mese di luglio. A questo punto le fessure ricominciano ad aprirsi.

La figura 3 riporta l'apertura di tutte le lesioni rispetto al tempo. Come si può vedere, praticamente tutte le lesioni seguono l'andamento sinusoidale prima descritto, alcune in modo evidente, altre meno. In figura 4 sono riportati i valori di apertura della sola fessura L6 in corrispondenza dei 4 punti di misura che la interessano (3 interni e uno esterno alla chiesa). Si vede bene come tutti i punti di misura evidenzino una notevole apertura delle lesioni e un andamento sinusoidale.

In figura 5 sono riportati i valori di apertura della sola fessura L4 in corrispondenza dei 5 punti di misura che la interessano (3 interni e 2 esterni alla chiesa). Anche in questo caso si vede bene come tutti i punti di misura evidenzino una importante apertura delle lesioni, in linea di massima crescente con l'altezza della lesione rispetto al piano del pavimento, quindi una progressiva richiusura ed infine una nuova fase di apertura.

Gli spostamenti residui rispetto alla stessa data dell'anno precedente sono di entità decisamente inferiore all'escursione annua misurata, ma degni di nota. La rilevante apertura che le lesioni (in particolare la L6) hanno subito durante l'inverno non è quindi stata del tutto riassorbita (si veda il paragrafo successivo per commenti più dettagliati a riguardo).

apertura lesione L4



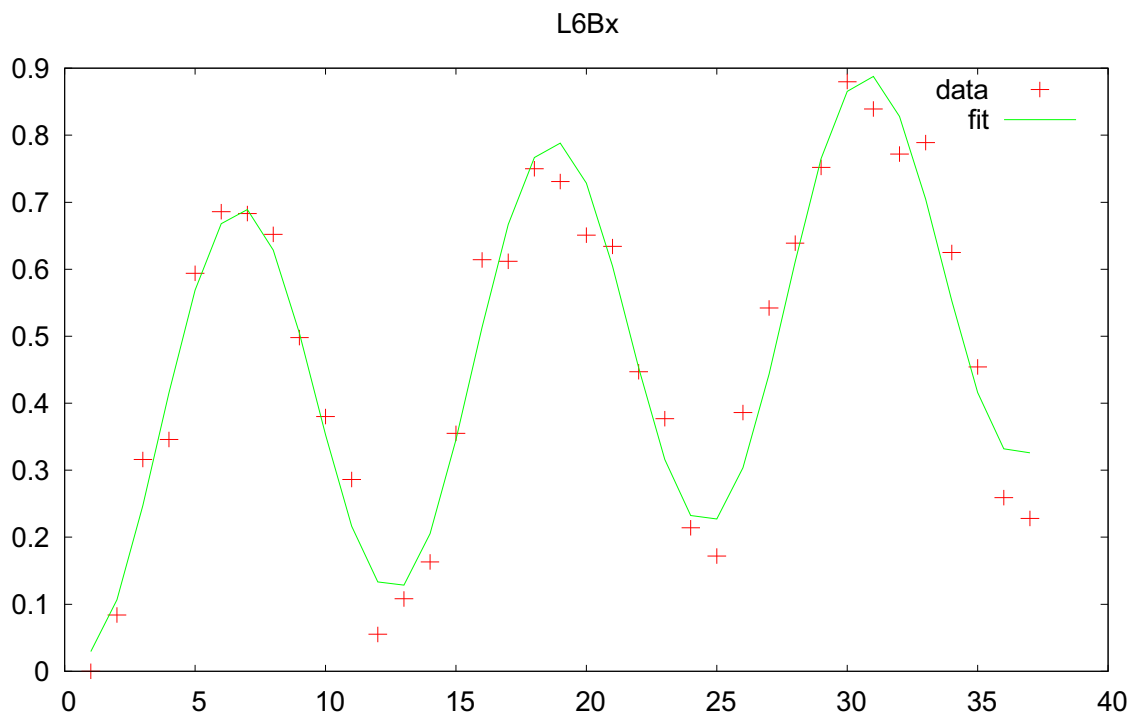
5. IDENTIFICAZIONE DELLE CURVE RILEVATE

Senza entrare eccessivamente in dettagli tecnici, si riporta qui di seguito l'identificazione effettuata sulle fessure che presentano i valori più rilevanti di apertura. Tale identificazione, eseguita mediante l'ausilio del software Octave, è consistita nel trovare la curva che meglio si adattasse ai valori sperimentali facendo variare opportunamente i 4 parametri scelti come caratteristici della particolare funzione ipotizzata. Dal momento che i dati presentano un chiaro andamento stagionale e nel contempo sembra che ci sia una progressione non trascurabile verso valori di apertura sempre maggiori, si è scelto di utilizzare una funzione sinusoidale composta con una funzione lineare che rappresenti la deriva. In altre parole si è adattata ai dati la seguente curva parametrica

$$y = p_1 + p_2 \sin(t/2 + p_3) + p_4 t$$

con t vettore dei tempi, y il valore calcolato della curva e i parametri

- P_1 valore di "offset", cioè il valore medio attorno al quale oscillerebbe la misura se non ci fosse la deriva
- P_2 valore di *ampiezza* della curva sinusoidale, cioè l'escursione rispetto alla media
- P_3 valore di *sfasamento*, cioè il valore di traslazione rispetto allo zero della curva
- P_4 valore di *deriva*, proporzionale al tempo, cioè di quanto la curva sinusoidale si sposti lentamente verso valori sempre maggiori di apertura



dove il vettore dei valori dei parametri identificati è:

$$p = [0.32626 \quad 0.31023 \quad 4.37194 \quad 0.00825]$$

6. ANDAMENTO STAGIONALE

Le misurazioni effettuate indicano che le fessure maggiormente attive sono sempre le stesse, e cioè le fessure L4 e L6, come già indicato nei precedenti rapporti.

La lesione L10 ha anch'essa subito allargamenti dell'ordine dei 5 decimi di millimetro: anche tale fessura va tenuta in osservazione.

La lesione L5 si è fino ad oggi dimostrata non essere più attiva, dato che presenta allargamenti dell'ordine del decimo di millimetro. Probabilmente era però parecchio attiva in passato, data la notevole estensione della zona di muro risarcita: sarà quindi opportuno non trascurarne il monitoraggio. Anche la lesione L11 si è dimostrata inattiva: in questo caso, a differenza della lesione L5, sembrerebbe che essa sia sempre stata di ampiezza ridotta, quindi in definitiva si potrebbe non occuparsene più.

Ciò che è qui interessante notare è che l'ipotesi riguardo al fatto che le aperture e le chiusure delle fessure fossero in qualche modo legate ad un andamento ciclico stagionale o annuale trova qui una decisa verifica. Si osserva infatti che l'andamento dei movimenti delle fessure in questi ultimi 12 mesi (agosto 2007 – agosto 2008) ricalca molto fedelmente l'andamento registrato nei precedenti 12 mesi di osservazione (agosto 2006 – agosto 2007) che a sua volta ricalcava bene l'andamento registrato durante l'anno ancora precedente (agosto 2005 – agosto 2006).

La curva in blu rappresenta l'apertura delle fessure durante il primo anno di osservazione, la curva in magenta l'apertura durante il secondo anno, quella in verde l'apertura durante il terzo anno.

