

# COMPORTAMENTO VISCOSO DEI TEGOLI MEMBRANALI

**ROBERTO ROSSETTI, Politecnico di Torino**  
**GIUSEPPE MANZONE Politecnico di Torino**  
**OMAR MOSSO, Politecnico di Torino**  
**ETTORE ANTONIOTTI, Guerrini Pref. Spa**  
**CORRADO PADOVANI, Guerrini Pref.Spa**  
**STEFANO FIORIO, In.Co. S.R.L.**

## SUMMARY

*This work aims at studying the rheological behaviour of two equal precast membrane elements load in different way, in order to test the real viscous behaviour of the structure in different load conditions and compare the experimental results with the theoretical ones.*

## 1. INTRODUZIONE

Il calcestruzzo, soggetto a carichi permanenti, manifesta delle deformazioni differite nel tempo che crescono, a partire dalla deformazione elastica istantanea, con velocità sempre minori fino al raggiungimento di un limite asintotico dopo vari anni. Queste deformazioni conseguenti al comportamento reologico del calcestruzzo, fluage e ritiro, sono significative e determinanti per il comportamento degli elementi precompressi. La deformazione differita di fluage può superare nettamente in valore la parte elastica istantanea manifestata all'atto di applicazione del carico.

Le ricerche condotte hanno permesso una comprensione definitiva del fenomeno per le sezioni massicce, mentre, a nostro avviso, deve essere approfondito lo studio per le pareti sottili dove, per il ridotto spessore dei getti, disuniformità locali del conglomerato, anomale disposizioni delle armature lente e diverse situazioni di carico, possono giocare un ruolo importante per il comportamento nel tempo.

Nel presente lavoro i due elementi strutturali a parete sottile, precompressi con cavi aderenti, sono stati monitorati posizionando i riferimenti in maniera simmetrica, sia in senso longitudinale sia in senso trasversale, al fine di individuare l'eventuale presenza di anomalie di comportamento.

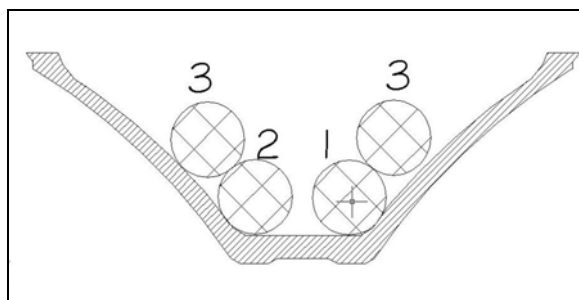
Lo studio consegue alla possibilità di poter utilizzare due tegoli prefabbricati del tipo ad "ali di gabbiano" in scala reale, messi a disposizione dalla Guerrini Prefabbricati Spa.

Le forze iniziali di pretensionamento inducono uno sforzo di compressione nel calcestruzzo e in ogni armatura lenta longitudinale. Le deformazioni viscoso ed elastiche, che si sviluppano nell'elemento dall'istante iniziale, sono a loro volta parzialmente impedito dalla presenza di armatura lenta.

Con lo sviluppo delle deformazioni dovute al fluage e alle deformazioni elastiche, parte della forza di pretensionamento iniziale si trasferisce alle armature lente comprimendole e, conseguentemente, diminuisce la tensione nell'armatura di precompressione. Questo fenomeno causa quindi un trasferimento di parte della forza di precompressione alle armature lente, con conseguente decremento dello stato tensionale nel calcestruzzo. Di conseguenza le caratteristiche meccaniche di un elemento in calcestruzzo armato precompresso sono influenzate dalla quantità di armature longitudinali lente. La riduzione di precompressione nel calcestruzzo può far aumentare la deformabilità delle travi nelle condizioni di servizio a causa dello svilupparsi delle fessure.

Piccoli difetti nel posizionamento delle armature e anomalie nel getto del conglomerato nelle sezioni sottili possono diventare significativi.

Scopo della prova è stato la verifica del comportamento viscoso della struttura assoggettata ad un carico pari ai 2/3 del suo carico di esercizio in due situazioni diverse di carico. Sono stati monitorati due elementi con le stesse caratteristiche geometriche e meccaniche e nelle stesse condizioni di vincolo: il primo elemento è stato caricato unicamente nella zona centrale mentre (fig. 1), per il secondo il carico è stato ripartito nelle proporzioni del 50% sulle ali e del 50% nella parte centrale della struttura (fig. 2).



**Figura 1:** Schema di carico tegolo A

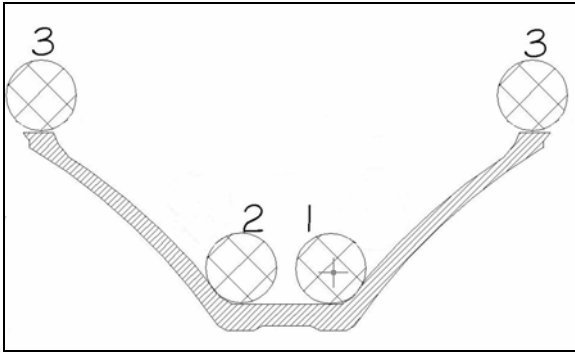


Figura 2: Schema di carico tegolo B

Queste due disposizioni dei carichi corrispondono a possibili situazioni di carico della copertura dove nel primo caso si ipotizza che la neve sia scivolata verso l'interno del tegolo, mentre nel secondo caso si ipotizza un carico neve ripartito tra il tegolo e elemento interposto.

In conseguenza delle caratteristiche degli elementi si è posta l'attenzione su:

- il confronto tra le deformazione dei due elementi caricati in modo diverso
- il controllo dell'ordine di grandezza delle deformazioni
- il controllo dell'effetto delle deformazioni e delle perdite di precompressione sul comportamento meccanico della struttura
- fenomeni di deformazione del 2° ordine delle ali

## 2. DESCRIZIONE DELL'ELEMENTO



Figura 3: Tegolo Pegasus

L'elemento considerato è un tegolo precompresso del tipo "Pegasus" prodotto e messo a disposizione per la prova dalla ditta Guerrini Prefabbricati Spa. Si tratta un elemento di copertura in parete sottile che permette diverse soluzioni costruttive con elementi interposti ciechi e/o trasparenti.

Le caratteristiche dei materiali utilizzati per il confezionamento del manufatto e le caratteristiche geometriche delle sezioni sono riportati in seguito.

### 2.1. Armature precomprese

L'area complessiva di armatura pretesa nella sezione di mezzera risulta di  $1668 \text{ mm}^2$  al di sotto del baricentro e di  $186 \text{ mm}^2$  al di sopra di quest'ultimo.

Tensione iniziale nei trefoli:

$$\sigma_{pi}(t_0) = 1400 \text{ N/mm}^2$$

Perdite ai martinetti:  $21 \text{ N/mm}^2$

### 2.2. Dati geometrici della sezione

Sezione cls

Altezza della sezione:	95 mm
Area sezione:	$258928 \text{ mm}^2$
Perimetro della sezione:	636 mm
Dist. baricentro dall'estradosso:	536 mm
Momento di inerzia:	$2,31\text{E}+10 \text{ mm}^4$
Lunghezza della trave:	21000 mm
Luce di calcolo:	20800 mm
Momento statico rispetto $Y_{g,om}$ :	$1786138 \text{ mm}^3$

Sezione omogeneizzata (n=6)

Area omogeneizzata:	$270756 \text{ mm}^2$
Dist. baricentro dall'estradosso:	543 mm
Luce trave:	21000 mm

### 2.3. Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo

$E_{28}$ :	$28200 \text{ N/mm}^2$
$R_{ck}$ :	$55 \text{ N/mm}^2$
$f_{ck}$ :	$45 \text{ N/mm}^2$
$f_{cm}$ :	$38 \text{ N/mm}^2$

Acciaio

E:	$190000 \text{ N/mm}^2$
----	-------------------------

Il modulo elastico è stato ricavato in funzione della deformazione elastica iniziale; il valore ottenuto risulta minore di quello desumibile dalla resistenza del calcestruzzo a 28 gg, in considerazione della curva granulometrica particolare per getti di spessore sottile.

## 3. PROGRAMMAZIONE DELLA PROVA

Gli elementi studiati sono precompressi a cavi aderenti con schema statico quello di trave semplicemente appoggiata, la combinazione delle azioni esterne, peso proprio e sovraccarico con lo stato di coazione, porta a una pressoflessione della struttura in cui il corrente con livello tensionale maggiore risulta all'estremità superiore delle ali, dove maggiore è la sottigliezza dell'elemento.

Le principali deformazioni della struttura in esame sono l'inflessione in senso longitudinale e la deformazione trasversale delle ali in seguito alle tensioni di compressione.

Imperfezioni costruttive, di getto e di carico locale, possono portare a rotazioni delle sezioni trasversali.

Il carico è formato da fasci di ferri da armatura di lunghezza pari a 12 m posizionati come precedentemente descritto.

Al fine di indagare gli aspetti di comportamento strutturale prima enunciati, si è posizionata la strumentazione atta a permettere misure diverse in funzione del tipo di deformazione prevista.

Le misure degli abbassamenti sono state effettuate tra basette di riferimento fisse, opportunamente posizionate, mediante un micrometro per interni a scala centesimale.



**Figura 4:** Particolare della testina micrometrica nella misura degli abbassamenti

I punti presi in considerazione per la misura degli abbassamenti sono posti in prossimità degli appoggi, in mezzera e ai due terzi della luce. Ognuna di queste sezioni è stata dotata di tre riferimenti (fig. 5) in modo da poter valutare anche l'entità delle rotazioni delle sezioni trasversali conseguenti a imperfezioni di simmetria del carico o a imperfezioni strutturali.



**Figura 5:** Vista delle basette posizionate in prossimità dell'appoggio

Il secondo spostamento monitorato è stata la deformazione trasversale delle ali, valutata attraverso la misura relativa della distanza tra queste e la misura dello spostamento assoluto.

Anche queste misurazioni sono state effettuate utilizzando il medesimo micrometro per interni usato nella misura degli abbassamenti corredato da opportune prolunghe.

I valori di deformazione relative, sulle sezioni dichiarate, sono stati ottenuti attraverso un deformometro Whittemore.



**Figura 6:** Particolare delle basette di riferimento per deformometro Whittemore

I riferimenti necessari a questo tipo di misurazione (fig. 6) sono stati posizionati sulle ali in corrispondenza delle fibre superiori, delle fibre inferiori e delle fibre baricentriche.

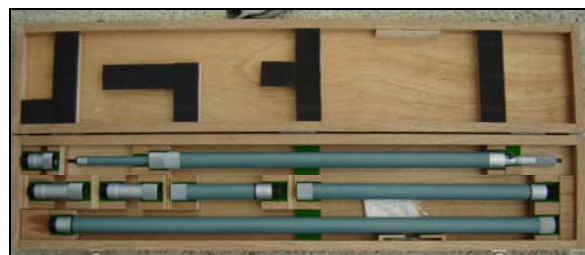
È stata posta in prossimità della struttura una stazione di controllo termoisometrica in modo da poter valutare le variazioni di temperatura e di umidità al momento delle misurazioni, tali variazioni potrebbero influenzare il comportamento viscoso.

Al fine di indagare possibili disuniformità del getto negli elementi considerati, è stata condotta un'analisi microsismica mediante impulsi d'onde vibrazionali ad alta frequenza.

### 3.1. Strumentazione impiegata

Micrometro per interni in kit con prolunghe produzione Mitutoyo.

Lo strumento è composto da un'asta componibile di lunghezza nota e da una testina micrometrica con precisione centesimale, il campo di misura è compreso tra i 1000 e i 3000 mm.



**Figura 7:** Micrometro per interni

Componendo lo strumento in maniera adeguata e facendo ruotare la ghiera dello strumento, le estremità dello stesso vanno ad adattarsi ai riferimenti e, con il valore letto sullo stelo graduato dello strumento e il valore letto sulla ghiera, è possibile leggere la misura cercata. La precisione dello strumento è funzione del numero di aste montate secondo la formula:

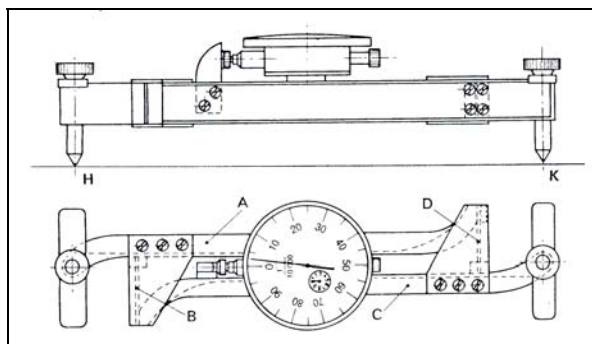
$$\pm(7+V+\frac{L}{50})\mu m$$

dove L è espresso in mm e V è il numero delle prolunghe montate. L'errore dello strumento risulta comunque del tutto trascurabile.

La corsa di misura dello strumento è di 50 mm e le superfici di contatto sono riportate in metallo duro, rettificate, lappate di precisione.

#### *Estensimetro meccanico di precisione tipo Whittemore.*

Si tratta di uno strumento che permette di misurare in maniera affidabile con precisione millesimale le variazioni di lunghezza.



**Figura 8:** Schema deformometro Whittemore

Esso è costituito di due bracci A e C (fig. 8) collegati tra loro da due lamine metalliche B e D. Al variare della distanza H-K (posizione in cui si sistemano le basette di riferimento), le lamine si deformano elasticamente e la traslazione relativa dei due bracci rigidi viene misurata mediante una coppia cinematica: cremagliera solidale ad A, ruota dentata solidale a C e portante in rotazione un indice. La scala di lettura è graduata in decimillesimi di pollice, la lunghezza della base (H-K) è pari a 10 pollici (254 mm).

## 4. DESCRIZIONE DELLA PROVA EFFETTUATA

La prova è stata eseguita presso lo stabilimento della Guerrini Prefabbricati Spa, gli elementi sono ospitati in edifici di stoccaggio.

Gli elementi sono appoggiati agli estremi tramite una coppia di cuscinetti in neoprene non armato, di spessore 1 cm, posizionati su tre plinti prefabbricati di altezza 120 cm e impronta a terra 155\*170 cm.



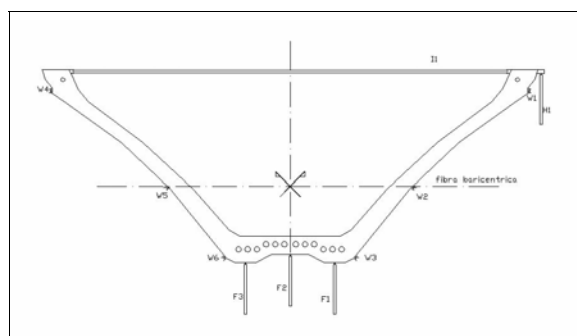
**Figura 9:** Posizionamento degli elementi



**Figura 10:** Vista laterale dell'appoggio

Le dimensioni degli appoggi sono di circa 15\*12 cm (fig. 10).

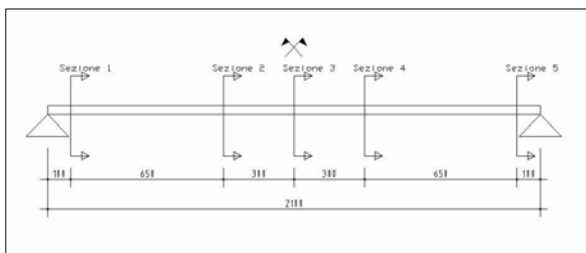
I tegoli sono stati attrezzati delle basette di riferimento per le misure, fissate con necessaria accuratezza secondo lo schema riportato in figura 11.



**Figura 11:** Schema posizionamento basette

Sono state attrezzate cinque sezioni per ogni elemento posizionate rispettivamente a 1 m dalle testate, a 7,5 m e in mezzeria (fig. 12)





**Figura 12:** Schema sezioni monitorate

Il primo ciclo di misurazioni a vuoto è stato assunto come riferimento per tutte le misure successive.

Le misure hanno considerato i seguenti aspetti:

- misure degli abbassamenti
- misure degli spostamenti relativi tra le ali
- misure degli spostamenti assoluti delle ali
- misure delle deformazioni locali

Gli abbassamenti sono stati misurati attraverso il micrometro per interni (fig. 13) nella composizione adeguata delle aste per un totale di 15 misure per ogni elemento, per ogni istante.



**Figura 13:** Misura degli abbassamenti

Le misure degli spostamenti sia assoluti sia relativi delle ali portano ad un totale di 7 valori interni alle ali (spostamento relativo) e 5 misure esterne alle ali (spostamento assoluto).

Le misure delle deformazioni locali sono state effettuate tramite il deformometro Whittemore.



**Figura 14:** Vista del carico tegolo A



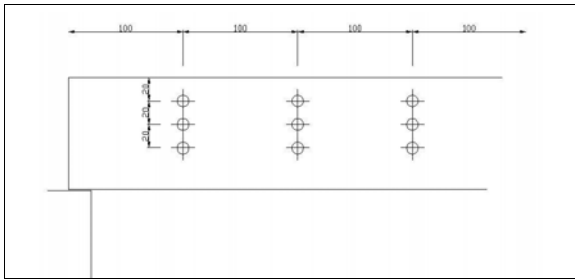
**Figura 15:** Vista del carico tegolo B

Dopo il posizionamento dei carichi (fig. 14-15) le misurazioni successive sono state condotte con scadenze temporali definite; considerando gli istanti di riferimento temporali di seguito elencati.

- Istante t(0): coincide con il momento dello scassero (1 giorno dal getto).
- Istante t(1): istante di inizio della prova (28 giorni dal getto senza sovraccarico).
- Istante t(2): 28 giorni dal getto con il sovraccarico previsto.
- Istante t(3): 6 giorni dal posizionamento del carico (34 giorni dal getto).
- Istante t(4): 19 giorni dal posizionamento del carico (47 giorni dal getto).
- Istante t(5): 24 giorni dal posizionamento del carico (52 giorni dal getto).
- Istante t(6): 27 giorni dal posizionamento del carico (55 giorni dal getto).
- Istante t(7): 31 giorni dal posizionamento del carico (59 giorni dal getto).
- Istante t(8): 33 giorni dal posizionamento del carico (61 giorni dal getto).
- Istante t(9): 37 giorni dal posizionamento del carico (65 giorni dal getto).

#### 4.1. Rilievo microsismico

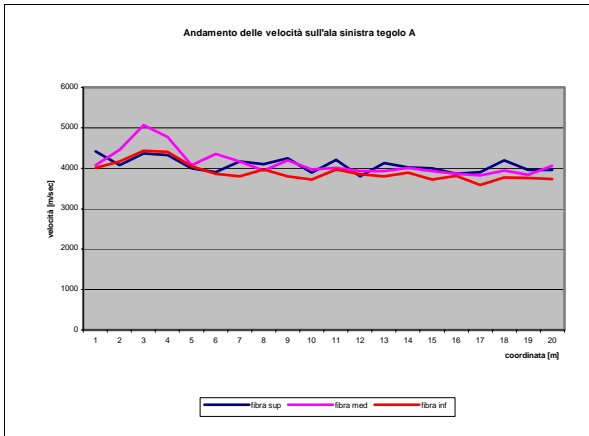
Al fine di indagare possibili disuniformità del getto negli elementi considerati, si è eseguito un rilievo microsismico mediante impulsi d'onde vibrazionali ad alta frequenza.



**Figura 16:** Maglia per rilievo microsismico

La misurazione è stata eseguita per trasparenza posizionando le due sonde dello strumento una all'interno dell'ala e una nel punto corrispondente all'esterno.

Le letture sono state eseguite su una maglia rettangolare, con dimensioni di 100 cm orizzontali e 20 cm verticali a partire dall'estradosso della trave, sia all'interno sia all'esterno di ciascuna ala della struttura e su tre allineamenti.



**Grafico 1:** Andamento delle velocità sull'ala

## 5. PREVISIONE DEFORMAZIONE (METODI DI CALCOLO UTILIZZATI)

La previsione dell'evoluzione deformativa della struttura è basata sul calcolo rigoroso con riferimento al valore delle tensioni e delle deformazioni al momento dello scasso e quindi in assenza di fenomeni viscosi.

All'uopo la struttura è stata suddivisa in sezioni equidistanti (50 cm) e, attraverso il metodo degli stati di coazione, sono state calcolate prima le due componenti di deformazione "λ" e "μ" e, attraverso queste, sono state calcolate le tensioni, le deformazioni e gli abbassamenti elastici istantanei.

Assunta quest'ultima come configurazione iniziale di calcolo, è stata calcolata l'evoluzione deformativa della struttura considerando gli intervalli temporali precedentemente definiti e,

per ciascuno di questi, sono stati calcolati i coefficienti di fluage, i coefficienti di ritiro e le perdite per rilassamento attraverso i metodi riportati nelle norme EN.

L'elemento è sede di uno stato di coazione dovuto alla precompressione ed è soggetto ad una sollecitazione esterna dovuta, in una prima fase, al peso proprio e, in un secondo tempo, al sovraccarico.

La sezione trasversale presenta un asse di simmetria y verticale, traccia del piano che contiene la coppia flettente e lo sforzo normale. L'asse x è ortogonale a y ed ha origine nel baricentro della sezione intera omogeneizzata col modulo  $E_{c28}$  del calcestruzzo.

Il calcolo è stato condotto in due fasi: effetto delle azioni di lunga durata; effetto delle variazioni istantanee di sollecitazione.

Il calcolo utilizzato è valido con assunzione delle seguenti ipotesi:

- la sezione si mantiene piana;
- lo stato di tensione nel conglomerato reagente è lineare ai vari istanti;
- l'acciaio ha comportamento elastico lineare caratterizzato dal modulo  $E_s$  e i cavi di precompressione possono essere soggetti a rilassamento.

### 5.1. Effetto delle azioni di lunga durata

La deformazione nel calcestruzzo al tempo  $t(1)$  è valutata a partire dagli stati di deformazione e di tensione all'istante  $t(0)$ , tenendo conto del fluage caratterizzato dal coefficiente  $\phi(t_1, t_0)$ , dal ritiro  $\epsilon_{sh}(t_1, t_0)$  e dall'evoluzione della tensione dal valore iniziale  $\sigma_c(t_0)$  e quella finale  $\sigma_c(t_1)$ . In accordo col metodo algebrizzato Age Adjusted Effective Modulus Method (A.A.E.M.)<sup>[5]</sup>.

## 6. ANALISI DEI RISULTATI

I valori delle deformazioni reali, rilevati dalla misurazione diretta degli spostamenti, sono stati raccolti in tabelle ed elaborati con opportuni accorgimenti, vengono restituiti i valori delle deformazioni ed i grafici relativi.

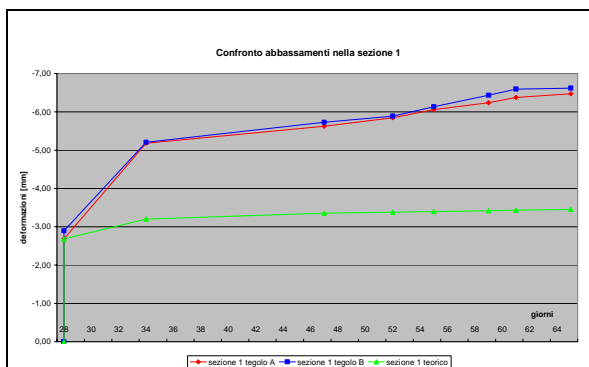
### 6.1. Deformazione longitudinale della struttura

Il calcolo dell'abbassamento nella sezione considerata è stato eseguito mediando i due valori rilevati dalle due basette laterali della sezione considerata, scartando le letture anomale con differenza relativa maggiore al 15%.

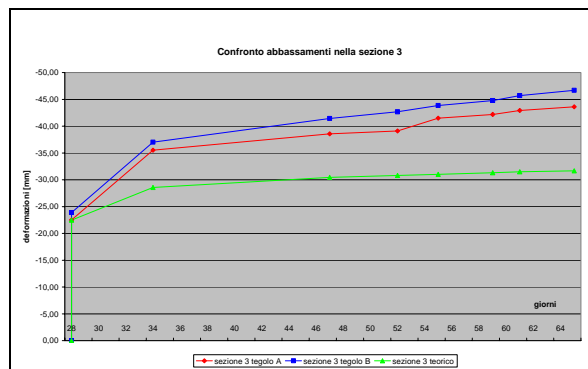
Il valore dell'abbassamento teorico all'istante  $t(1)$  è stato assunto come valore di riferimento

per la valutazione dell'abbassamento totale negli istanti successivi.

Dall'analisi così condotta riportiamo i grafici e le tabelle riassuntivi dell'andamento degli abbassamenti reali e teorici nei vari istanti.

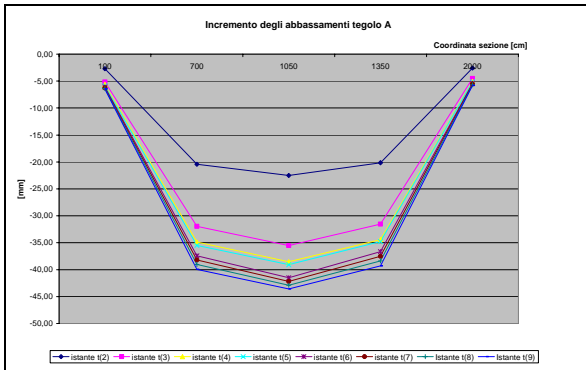


**Grafico 2:** Andamento degli abbassamenti reali e teorici nella sezione 1

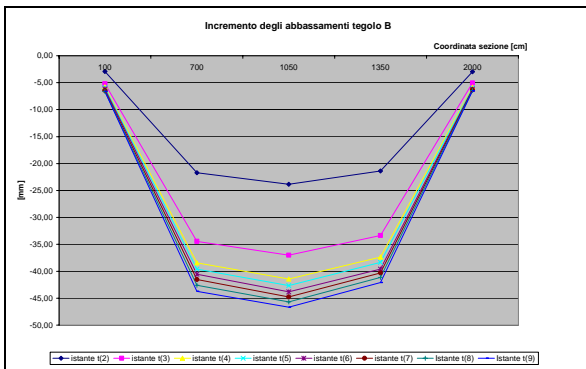


**Grafico 3:** Andamento degli abbassamenti reali e teorici nella sezione 3

Giorni	28	28	34	47	52	55	59	61	65
U.R	85%	85%	78%	84%	59%	41%	67%	73%	68%
Temp.	28°C	28°C	21°C	26°C	23°C	25°C	23°C	20°C	20°C
Sezione considerata	Deformazioni reali tegolo A [mm]								
1	0,00	-2,68	-5,18	-5,63	-5,85	-6,06	-6,24	-6,38	-6,47
2	0,00	-20,41	-31,98	-34,86	-35,50	-37,45	-38,22	-39,05	-39,94
3	0,00	-22,51	-35,52	-38,56	-39,10	-41,51	-42,21	-42,91	-43,61
4	0,00	-20,17	-31,54	-34,43	-34,79	-36,66	-37,53	-38,40	-39,29
5	0,00	-2,58	-4,51	-5,05	-5,13	-5,40	-5,54	-5,67	-5,79
	Deformazioni reali tegolo B [mm]								
1	0,00	-2,89	-5,21	-5,73	-5,89	-6,13	-6,43	-6,60	-6,62
2	0,00	-21,72	-34,46	-38,46	-39,58	-40,55	-41,54	-42,60	-43,74
3	0,00	-23,86	-37,03	-41,43	-42,68	-43,85	-44,76	-45,71	-46,69
4	0,00	-21,38	-33,37	-37,39	-38,38	-39,60	-40,31	-41,15	-42,12
5	0,00	-2,96	-5,06	-5,80	-5,97	-6,17	-6,31	-6,43	-6,53
	Deformazioni teoriche [mm]								
1	0,00	-2,68	-3,20	-3,35	-3,38	-3,40	-3,42	-3,44	-3,45
2	0,00	-19,92	-25,10	-26,71	-27,00	-27,19	-27,44	-27,60	-27,76
3	0,00	-22,50	-28,56	-30,46	-30,81	-31,03	-31,32	-31,51	-31,69
4	0,00	-19,92	-25,10	-26,71	-27,00	-27,19	-27,44	-27,60	-27,76
5	0,00	-2,68	-3,20	-3,35	-3,38	-3,40	-3,42	-3,44	-3,45



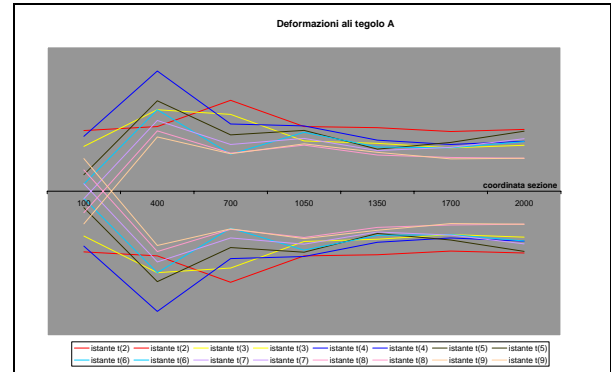
**Grafico 4:** Incremento abbassamenti nel tegolo A



**Grafico 5:** Incremento abbassamenti nel tegolo B

## 6.2. Deformazione delle ali

Analizzando l'andamento deformativo delle ali si è assunto simmetrico lo spostamento; i grafici e le tabelle restituiscono l'andamento deformativo e i valori corrispondenti.

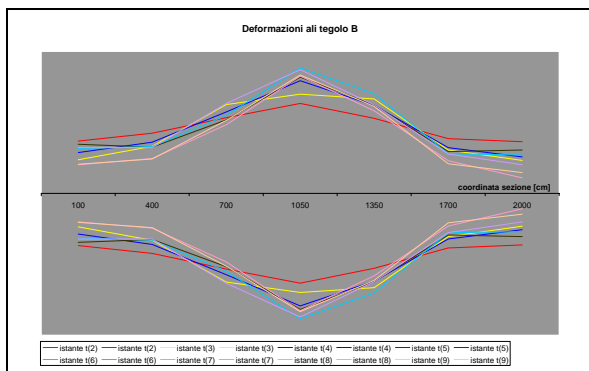


**Grafico 6:** Andamento deformativo delle ali nel tegolo A

Deformazioni misurate nei vari istanti nelle ali del tegolo A [mm]								
Giorni dal getto	28	34	47	52	55	59	61	65
Coordinata [Cm]								
100	-0,1	-0,55	0,35	-1,33	-0,32	-0,51	-0,48	-0,39
400	0,04	0,58	1,34	-1,03	-0,31	-0,37	-0,36	-0,21
700	0,95	-0,49	-0,33	-0,38	-0,67	0,34	-0,3	-0,02
1050	0,04	-0,50	0,52	-0,15	-0,07	-0,21	-0,23	0,04
1350	0	-0,54	0,11	-0,31	0,07	-0,12	-0,16	0,1
1700	-0,13	-0,57	0,12	0,07	-0,19	0,02	-0,35	-0,05
2000	-0,06	-0,55	0,14	0,35	-0,36	0,1	-0,68	0

Deformazioni misurate nei vari istanti nelle ali del tegolo B [mm]								
Giorni dal getto	28	34	47	52	55	59	61	65
Coordinata [Cm]								
100	0,01	-0,79	0,3	0,35	-0,18	0,04	-0,72	0,02
400	0,34	-0,55	0,17	-0,21	0,03	-0,05	-0,46	-0,02
700	1	0,55	-0,31	-0,34	0,19	0,51	-0,9	0,18
1050	1,6	0,39	0,57	0,15	0,39	-0,07	-0,27	0,04
1350	0,97	0,82	-0,28	0,03	0,47	-0,47	-0,25	0,19
1700	0,11	-0,48	0,1	-0,17	-0,09	-0,01	-0,28	-0,13
2000	-0,02	-0,79	0,15	0,29	-0,21	-0,41	-0,56	0,23





**Grafico 7:** Andamento deformativo delle ali nel tegolo B

I dati ottenuti attraverso le misure effettuate con il deformometro sono stati considerati separatamente in quanto la sensibilità dello strumento utilizzato non risulta adeguata agli scopi della sperimentazione.

I valori finali sono infatti ottenuti effettuando una media tra più misure effettuate nel medesimo istante, tali valori, sono stati convertiti in mm (lo strumento misura in pollici) e sono stati calcolati gli incrementi di deformazione unitaria. Considerato quindi che l'errore strumentale è stimato intorno ai tre millesimi di pollice ne conseguono differenze considerevoli nella valutazione delle deformazioni unitarie.

Il confronto tra le deformazioni unitarie teoriche e quelle reali è stato fatto confrontando con il valore teorico sia le misure effettuate nei punti corrispondenti delle due ali che la media tra questi.

## 7. CONCLUSIONI

Il rilevamento eseguito attraverso le onde vibrazionali fa escludere la presenza di anomalie nel getto e quindi, nessuna anomalia di comportamento è attribuibile alla disuniformità del calcestruzzo. Dai risultati ottenuti attraverso l'analisi condotta emergono delle differenze sia tra il comportamento deformativo dei due elementi sia tra il comportamento reale e quello teorico previsto.

Le differenze di comportamento tra i due elementi sono giustificabili, in quanto di piccola entità, considerando la diversità tra i due schemi di carico. Come ben visibile nei grafici precedenti, nel tegolo A il carico, situato interamente all'interno della struttura, porta ad un globale restringimento delle ali mentre nel secondo tegolo il carico, posto in sommità alle ali porta ad un allargamento di queste. Considerando quindi il differente schema di deformazione subito dalle sezioni trasversali dei due elementi se ne può dedurre che, nella situazione deformata, i due

elementi abbiano differente rigidezza. Per quanto riguarda le differenze emerse tra il comportamento teorico e quello reale, sono in gran parte dovute al reale al comportamento strutturale degli elementi in parete sottile. Essi infatti combinano sforzi flessionali e taglianti nella direzione dell'asse dell'elemento a sforzi trasversali di notevole intensità. Inoltre, gli spessori generalmente non uniformi lungo la sezione e le grandi luci adottate, nonché la presenza di armatura ordinaria diffusa ma variabile da sezione a sezione, ne fanno elementi strutturali che spesso mostrano modalità di deformazione di difficile interpretazione.

Inoltre, la diversità tra le condizioni reali di sperimentazione e quelle teoriche previste nel calcolo quali per esempio differenze nella valutazione della posizione delle armature lente, e nel valore di pretensionamento iniziale delle armature precomprese, le variazioni di umidità e di temperatura non prevedibili in fase di calcolo, le condizioni di insolazione diretta diversificata che sono state impossibili da eliminare, la diversità tra le effettive caratteristiche meccaniche dei materiali e quelle teoriche, possono avere influito sul comportamento deformativo dei due tegoli.

Nella misura degli spostamenti si sono rilevate anche delle lievi asimmetrie nel comportamento deformativo degli elementi probabilmente dovute alla imprecisioni nel posizionamento del carico.

Per quanto riguarda la differenza tra le tensioni locali reali, calcolate attraverso le deformazioni misurate, e quelle previste, la differenza risiede soprattutto nella sensibilità dello strumento utilizzato non sufficiente ai fini dello studio condotto.

Lo studio sarà completato successivamente indagando sperimentalmente gli sviluppi della deformazione a lungo termine dei due tegoli e conducendo un'analisi non lineare agli elementi finiti.

## BIBLIOGRAFIA

- [01] **Neville A.M.:** "Creep of concrete: plain reinforced and prestressed", North Holland publishing company, Amsterdam, 1970
- [02] **Enzo Donaggio:** "Manuale del calcestruzzo armato, materiali e teorie di dimensionamento", Zanichelli editore
- [03] **Mario Collepari:** "Scienza e tecnologia del calcestruzzo", Hoepli, Milano, 1991

- [04] **Illston, J.M.:** "The components of strain in concrete under sustained compressive stress", Magazine of Concrete Research 17, No. 50, 1965
- [05] **Pier Giorgio Debernardi:** "analisi generale del comportamento di strutture in cemento armato ordinario, precompresso e parzialmente precompresso allo stato limite di esercizio", Atti dell'istituto di scienza delle costruzioni, N° 627, Dicembre 1983
- [06] **UNI 9524:** "rilievi microsismici mediante impulsi d'onde vibrazionali ad alta frequenza, in campioni o strutture di calcestruzzo semplice, armato o precompresso"
- [07] **EC2** parte 1 - 1 1992
- [08] **Model code** 1990

**Contatti con gli autori:**

*Roberto Rossetti:*  
[roberto.rossetti@polito.it](mailto:roberto.rossetti@polito.it)

*Giuseppe Manzone:*  
[giuseppe.manzone@polito.it](mailto:giuseppe.manzone@polito.it)

*Omar Mosso:*  
[omar\\_mosso@libero.it](mailto:omar_mosso@libero.it)

*Ettore Antoniotti:*  
[e.antoniotti@guerriniprefabbricati.it](mailto:e.antoniotti@guerriniprefabbricati.it)

*Corrado Padovani:*  
[c.padovani@guerriniprefabbricati.it](mailto:c.padovani@guerriniprefabbricati.it)

*Stefano Fiorio:*  
[s.fiorio@guerriniprefabbricati.it](mailto:s.fiorio@guerriniprefabbricati.it)