



AIPnD

Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica

Italian Society for Non-Destructive Testing Monitoring Diagnostics

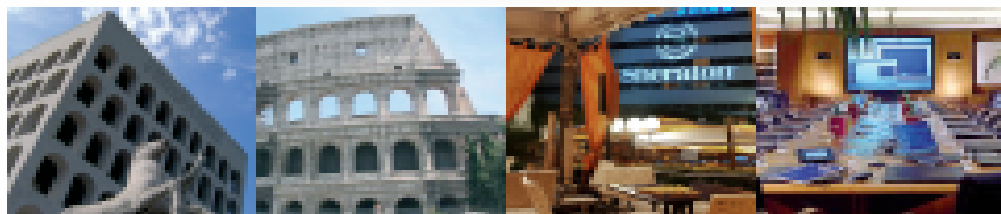
CONTROLLO DEI LIVELLI DI DEFORMAZIONE E SOLLECITAZIONE NELLE FONDAZIONI PROFONDE

- G. Porco *, G. Zaccaria*, D Romano**, M. Condino** -**

*** FACOLTÀ DI INGEGNERIA, UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA, ARCAVACATA DI RENDE (CS)**

****SISMLAB S.R.L. , SPIN-OFF UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA, WWW.SISMLAB.IT**

*****NEW TECH S.R.L. - RENDE (CS) –**



**Conferenza Nazionale
sulle Prove non Distruttive
Monitoraggio Diagnostica**



13° Congresso AIPnD

Controllo dei livelli di deformazione e sollecitazione nelle fondazioni profonde

*G. Porco**, *D. Romano***, *G. Zaccaria****, *M. Condino***

* Facoltà di Ingegneria, Università della Calabria, Arcavacata di Rende (Cosenza)

** *SISMLab s.r.l.*, Spin-Off Università della Calabria, www.sismlab.it

*** *New Tech s.r.l.*, C.da Lecco - 87036 Rende (CS)

AUTORE DI RIFERIMENTO: **G. Zaccaria** – newtechsrl@email.it – Tel. e Fax 0984 447093

AUTORE SPEAKER: **G. Zaccaria** – newtechsrl@email.it – Tel. e Fax 0984 447093

Key Words: Structural Monitoring; Fiber Optic Sensors; Deformation Measures.

Parole chiave: Monitoraggio strutturale; Sensori a fibra ottica; Misure di deformazione.

SOMMARIO

La valutazione dell'efficienza statica delle fondazioni profonde, di strutture esistenti e di nuova costruzione risulta ancora oggi estremamente complessa.

Infatti le metodologie di calcolo non consentono approcci raffinati di valutazione del regime di sforzo lungo il fusto e producono dei valori limiti di portanza come effetto somma tra la portanza alla punta e quella lungo la superficie laterale.

Tuttavia è noto che il comportamento di tali elementi strutturali a contatto con il terreno risulta fortemente non lineare con contributi laterali ed alla punta che si attivano in tempi diversi.

E' in tale campo, che si inserisce la presente nota, la quale illustra una metodologia sperimentale basata sull'uso di sensori a fibra ottica, che vuole offrire un contributo al controllo del regime di sollecitazione sui pali di fondazione. Inoltre il metodo proposto consentirà di valutare la evoluzione nel tempo della portanza alla punta e laterale al crescere dei carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

La metodologia proposta è stata implementata su casi reali di studio in particolare verranno presentati i risultati relativi ad un edificio in c.a. per civile abitazione e ad una spalla da ponte.

SETTORE APPLICATIVO PND: MONITORAGGIO STRUTTURE CIVILI

1. INTRODUZIONE

Le attuali metodologie di progetto dei pali di fondazione sono essenzialmente di tipo empiriche per cui sembrerebbe che sostanziali progressi possano essere ottenuti tramite la accurata raccolta di informazioni provenienti dai risultati di prove di carico e di monitoraggio [1].

Attualmente nella predisposizione dei progetti delle fondazioni profonde si valuta la portanza alla punta e la portanza laterale entrambe attive per qualsiasi livello di carico sollecitante.

Tale assunzione necessita di elevati coefficienti di sicurezza che producono incremento nelle dimensioni con conseguente maggiore impegno di spesa.

La giustificazione di tale procedura o di tali approcci è insita nella mancanza di procedimenti affidabili di calcolo che consentano di valutare effettivamente quali risorse

siano disponibili per determinati livelli di carico nel complesso connubio di interazione palo – terreno.

E' su questa problematica che il presente lavoro intende fornire un contributo al fine di valutare l'effettiva distribuzione di sforzo lungo il fusto di un palo di fondazione e stabilire quali sono gli incrementi di carico prodotti durante le fasi realizzative.

La metodologia sperimentale proposta consentirà di valutare i reali regimi di sforzi per mettere a punto nuove procedure di calcolo più aderenti ai casi reali con le quali sarà possibile ottenere adeguati coefficienti di sicurezza a fronte di una riduzione di spesa.

La Campagna sperimentale di seguito esposta è relativa a due casi applicativi per la valutazione del regime di sforzo sui pali di un cavalcavia e sui pali di un edificio multipiano.

2. Tecniche di controllo del regime di deformazione per pali di fondazione

Al fine di determinare lo stato di sollecitazione nei pali di fondazione è possibile utilizzare i sensori a fibra ottica SOFO®.

I componenti del sistema sono i sensori a fibre ottiche [2], l'unità di lettura ed il software di programmazione, acquisizione ed analisi delle misure.

Il sistema di misura dei sensori ottici si basa sul principio dell'interferometro di Michelson.

I sensori sono allocati direttamente sulle barre di acciaio e quindi annegati all'interno del calcestruzzo. Pertanto sui pali di fondazione, posizionando i sensori in opportuni punti è possibile valutare l'andamento dello sforzo all'interno dei pali stessi.

Nella presente nota viene presentata una metodologia basata nel seguire l'andamento delle deformazioni durante le fasi realizzative dell'intera opera.

Al fine di validare la metodologia sperimentale proposta, verranno presentati i risultati sperimentali sui pali di fondazione di un cavalcavia e sui pali di un edificio multipiano.

3. Campagna Sperimentale

La campagna sperimentale è basata sullo studio di due sistemi di monitoraggio [3] installati uno durante la costruzione di un cavalcavia nel Comune di Figline Vegliaturo (CS) e l'altro durante la costruzione di un edificio residenziale, denominato Skyline, in Via Panebianco a Cosenza.

3.1 Sistema di monitoraggio relativo al cavalcavia

L'opera in oggetto è stata realizzata in località S. Chierico nel comune di Figline Vegliaturo e collega il centro urbano di Figline all'area industriale di Piano Lago.

Il ponte è stato realizzato ad un'unica campata ed è costituito da un sistema portante sostenuto dalle spalle di estremità con muri andatori di contenimento. La distanza netta tra i fusti delle spalle è di 20,20 m. Sul sistema portante principale sono posizionate 7 travi in c.a.p. poste ad interasse di 1,40 m. Le travi presentano una lunghezza di 22,00 m, con luce di calcolo netta di 21,00 m. Sulle travi è stata realizzata una soletta armata di 24 cm di

spessore, con due cordoli laterali sempre in c.a. per una altezza di 20 cm. Le spalle di estremità sono state costruite adottando fondazioni di tipo indiretto: i carichi sono trasmessi al terreno per mezzo di pali trivellati di grosso diametro (80 cm) in numero di sedici per spalla e per una lunghezza di 10 m. La piastra di collegamento dei pali ha dimensioni in pianta di 6,00 x 10,60 m, ed uno spessore di 1,40 m. Dallo studio approfondito del terreno di fondazione e, quindi, dalla relazione geologica è emerso che il mezzo nel quale sono stati realizzati i pali è di tipo sabbioso con peso dell'unità di volume pari a $\gamma = 1900 \text{ kg/mc}$. A tergo dei muri e delle spalle, è stato realizzato un sistema di drenaggio in grado di garantire, anche nel tempo, un adeguato smaltimento delle acque piovane o di falda e di controllare e regolare la filtrazione e le pressioni neutre delle acque nel sottosuolo.

La struttura in oggetto è stata dotata di un sistema di monitoraggio a fibra ottica residente. In particolare gli elementi strumentati sono i pali ed il fusto relativi alla sola spalla di monte, essendo il ponte essenzialmente simmetrico. Complessivamente sono stati installati n. 8 sensori a fibra ottica di cui n. 4 su due pali di fondazione (Fig. 1) e n. 4 nel corpo del fusto della spalla monitorata.

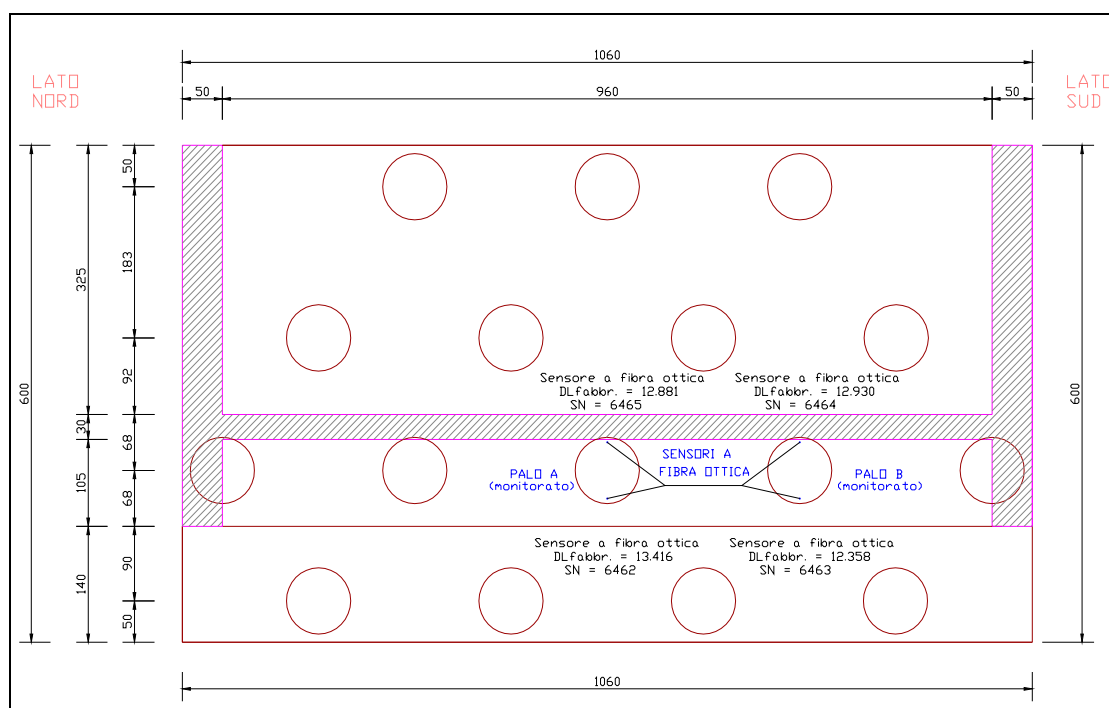


Figura 1- Pali Strumentati

La scelta dei pali è naturalmente legata alla possibilità di cogliere i regimi di sforzo normale. Pertanto sono stati scelti i pali direttamente ubicati sotto il fusto ed in posizione centrale. Inoltre i due sensori, installati a 5,00 m dal piano campagna, sono stati dislocati in posizione contrapposta in modo da garantire il rilievo, se presenti, di eventuali effetti legati al momento flettente (Fig. 2).

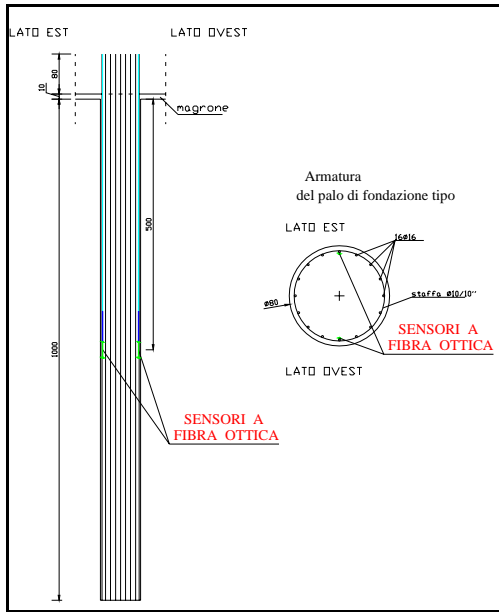


Figura 2 - Disposizione sensori nei pali



Foto 1 - Varo dell'armatura

Vengono di seguito riportati, per brevità, i grafici relativi ad un solo palo [Palo A] sia durante le fasi realizzative (Figura 3 e 4) sia nella fase del collaudo (Figura 5 e 6).

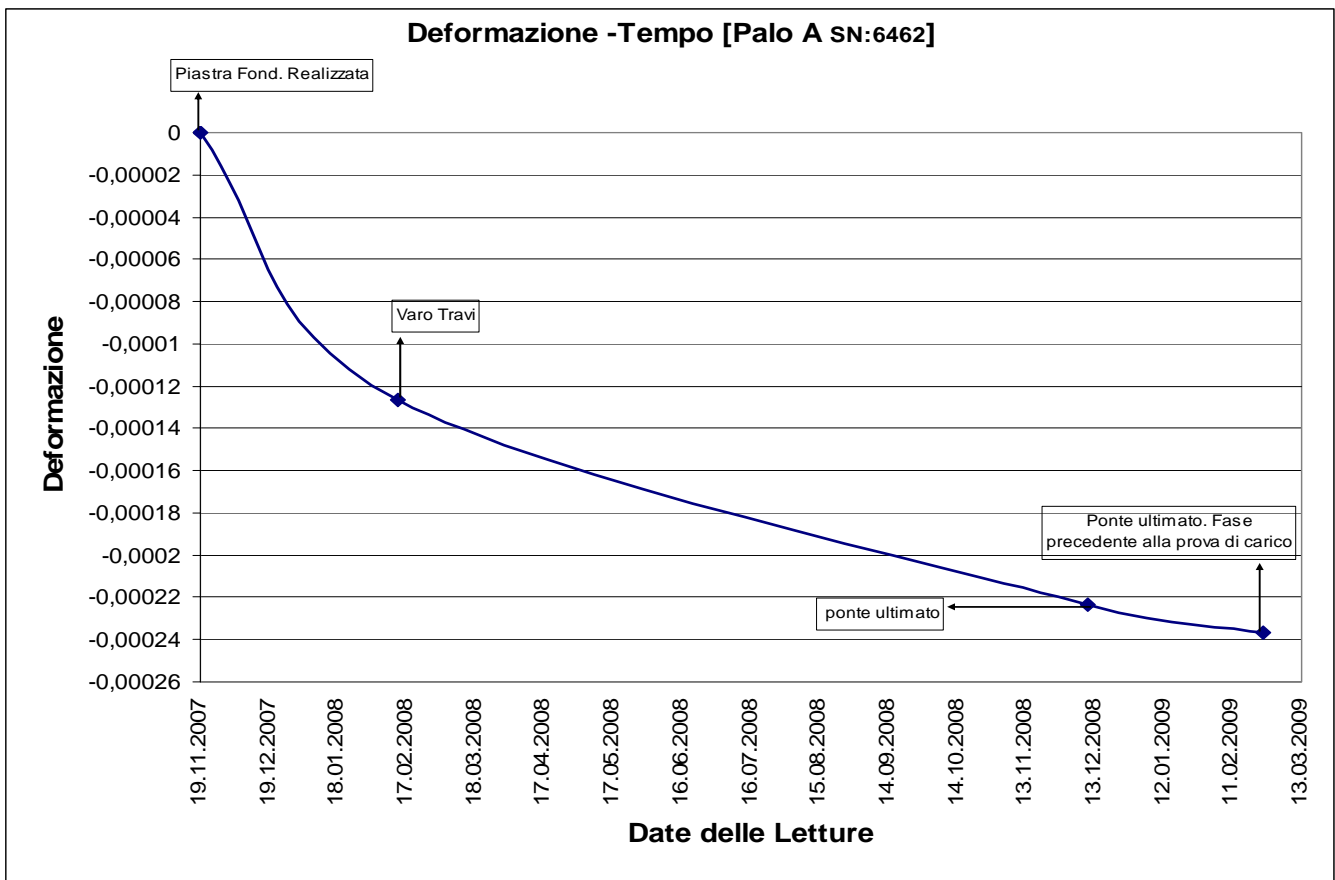


Figura 3 - Evoluzione dello stato deformativo durante le fasi realizzative [Palo A SN 6462]

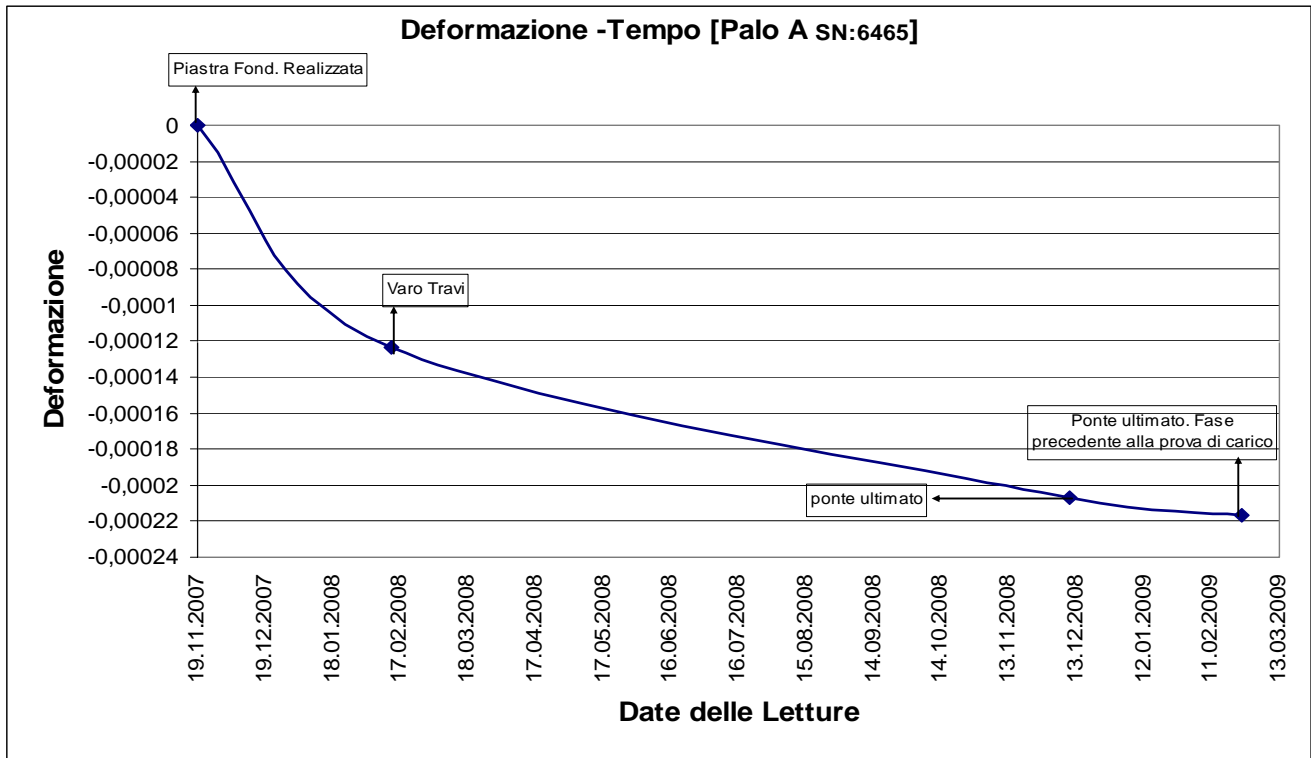


Figura 4 - Evoluzione dello stato deformativo durante le fasi realizzative [Palo A SN 6465]

I grafici di figura 3 e 4 mostrano, nelle varie fasi realizzative del cavalcavia, l'andamento delle deformazioni sperimentali rilevate tramite i sensori ottici aventi base di misura pari a 30 cm. Tali deformazioni, relative alle barre di armatura, danno la possibilità di valutare lo stato tensionale nella sezione dove è applicato il sensore utilizzando la legge di Hooke.

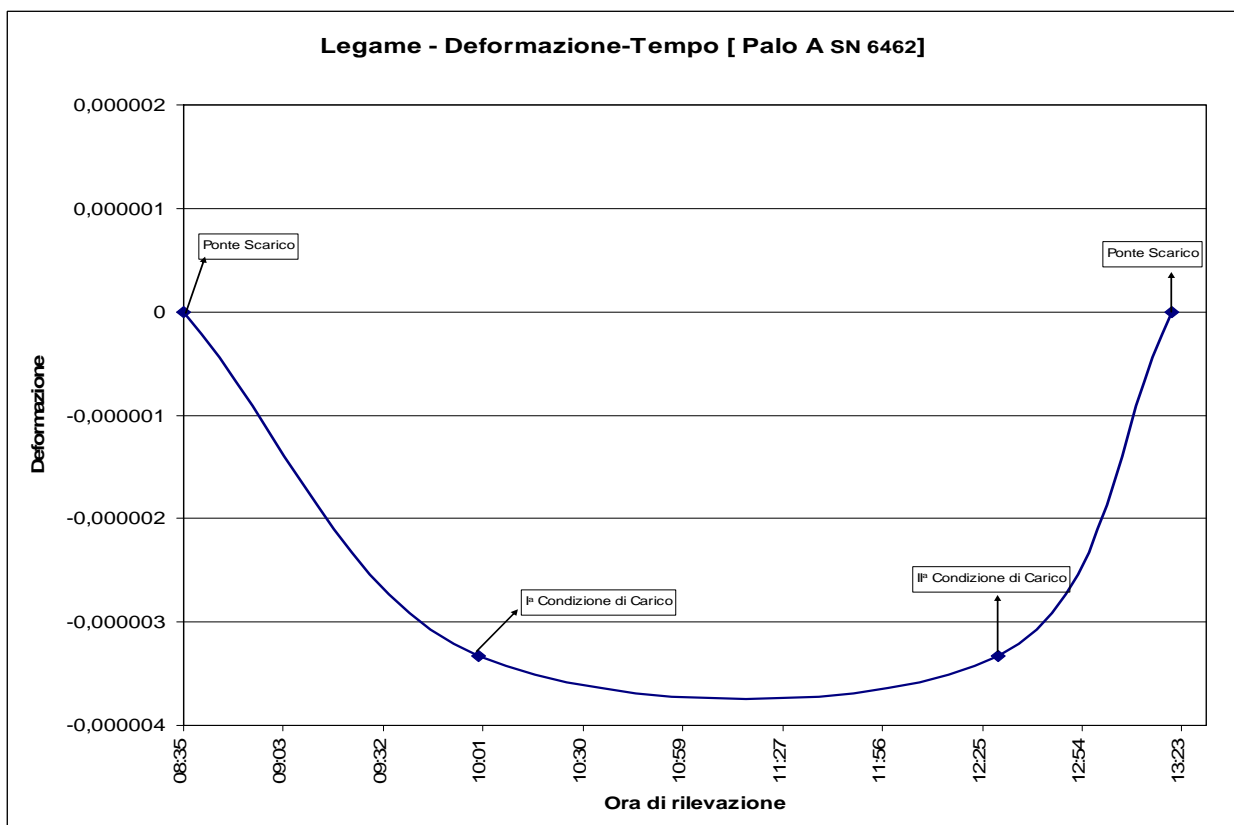


Figura 5 - Evoluzione dello stato deformativo durante la fase di collaudo [Palo A SN 6462]

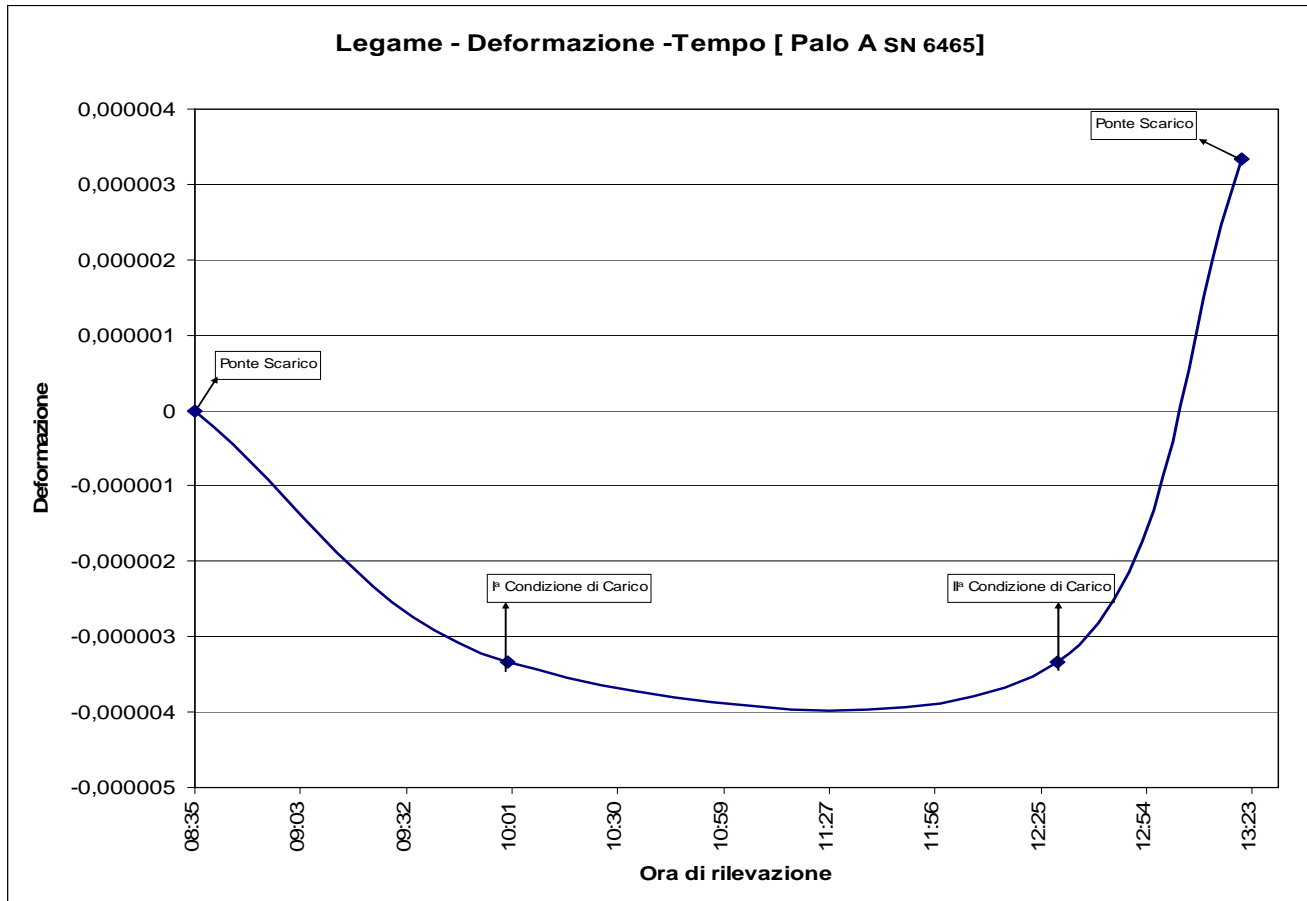


Figura 6 - Evoluzione dello stato deformativo durante la fase di collaudo [Palo A SN 6465]

I grafici di figura 5 e 6 mostrano, nella fase di collaudo del cavalcavia, l'andamento delle deformazioni sperimentali rilevate tramite i sensori ottici aventi base di misura pari a 30 cm. Le misure, rapportate ad un valore di zero rilevato prima dell'esecuzione della prova di carico, sono state eseguite per le due fasi predisposte dal collaudatore e fino alla stabilizzazione dei valori.

Le deformazioni rilevate sono relative sia alle due condizioni di carico noto sia alla condizione di ponte scarico.

3.2 Sistema di monitoraggio Edificio "Skyline"

Si tratta di un edificio "a torre" di nuova realizzazione di altezza pari ad 80 m realizzato con struttura intelaiata in c.a. e localizzato in un area posta al limite nord dell'insediamento urbano di Cosenza in Via Panebianco.

Per l'individuazione degli elementi monitorati viene di seguito riportata la pianta fondazione (Fig. 7) ed una sezione del palo tipo monitorato (Fig. 8).

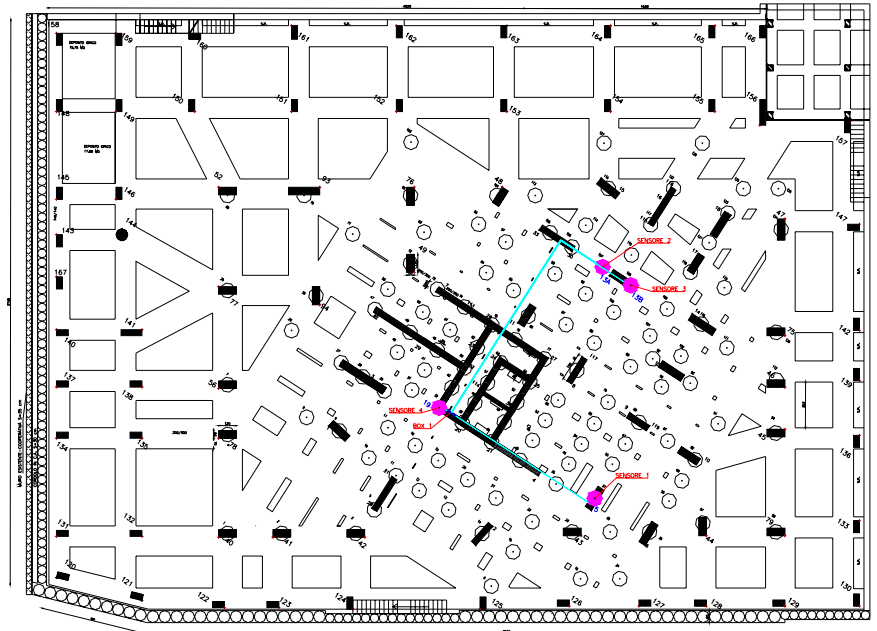


Figura 7 - Pianta Fondazione – Individuazione dei pali Strumentati

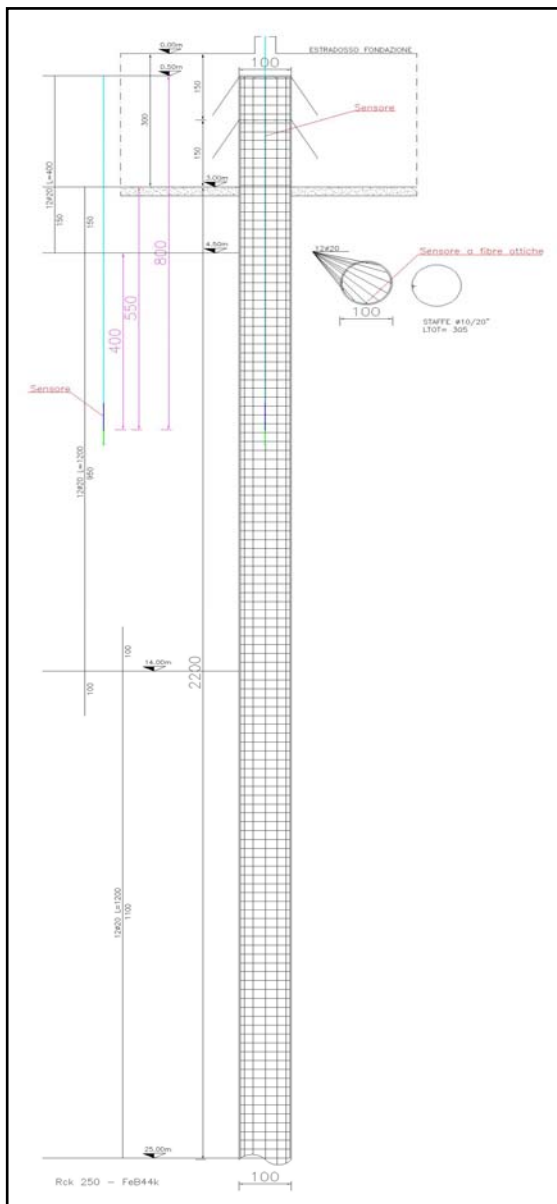


Figura 8 - Sezione palo tipo monitorato

L'edificio presenta 23 piani fuori terra, oltre ad uno completamente interrato di estensione maggiore rispetto agli ingombri dei livelli fuori terra. Gli scarichi prodotti dalla sovrastruttura sono distribuiti su una palificata solidarizzata da una piastra di fondazione. L'intera struttura è monitorata grazie alla presenza di 52 sensori installati nelle membrane resistenti sia delle opere di fondazione che di elevazione. Nella presente nota verranno discussi i dati relativi allo stato deformativo indotto sui pali di fondazione n. 5 e n. 13A. La lunghezza dei pali di fondazione (\varnothing 100 cm) è pari a 25 m, di cui 22 m risultano infissi all'interno del terreno ed i restanti 3m rappresentano l'ancoraggio all'interno della trave di fondazione (Figura 8).

Per brevità di esposizione, verranno illustrati i risultati sperimentali relativi a due pali, mostrando gli incrementi di sforzo registrati a seguito della realizzazione dei solai partendo dall' XI impalcato fino al XVII. La variazione di tensione sull'acciaio è stata valutata prendendo il valore di zero a fondazione realizzata (Figura 9 e 10).

In perfetta analogia, è stato effettuato un calcolo numerico con un codice agli elementi finiti per valutare gli incrementi di tensione sugli acciai dei due pali tale da rendere disponibili dei valori da comparare con i risultati sperimentali.

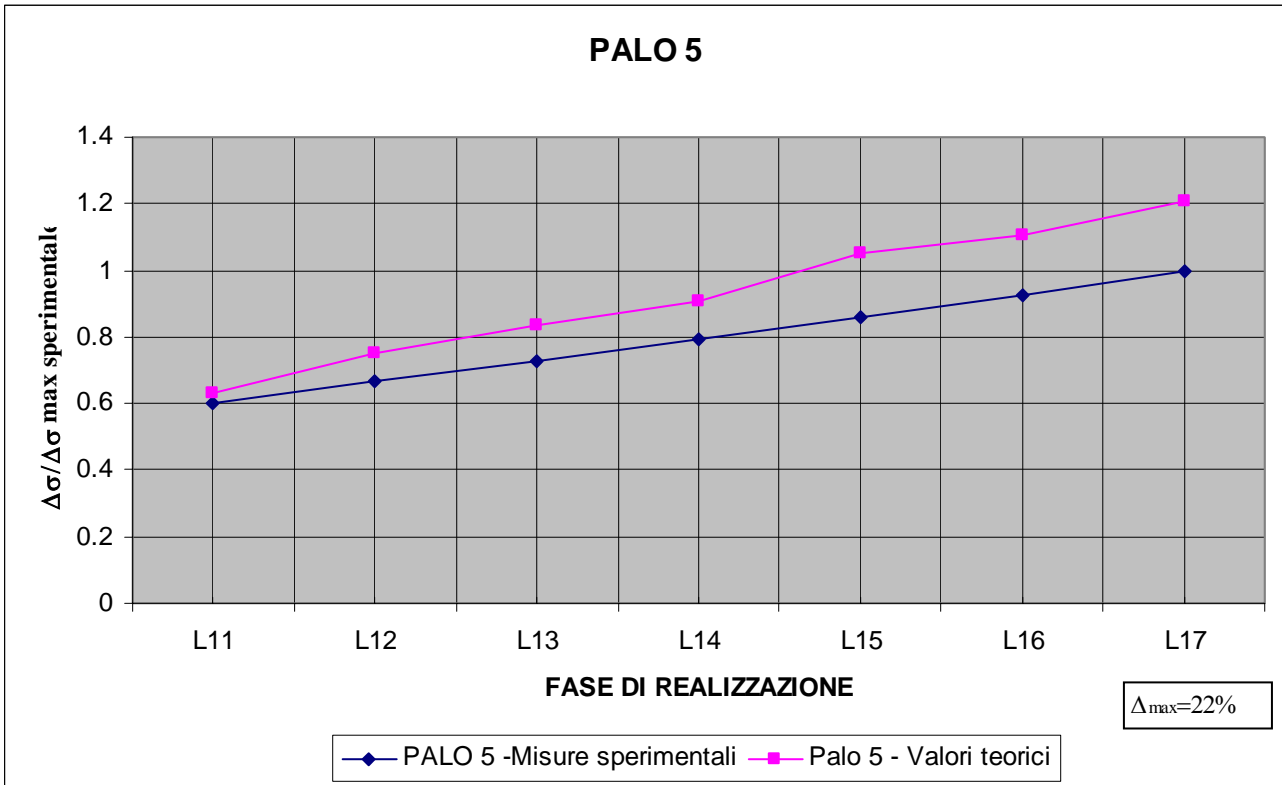


Figura 9 – Palo 5 incrementi di tensione adimensionalizzati teorici e sperimentali nelle varie fasi costruttive

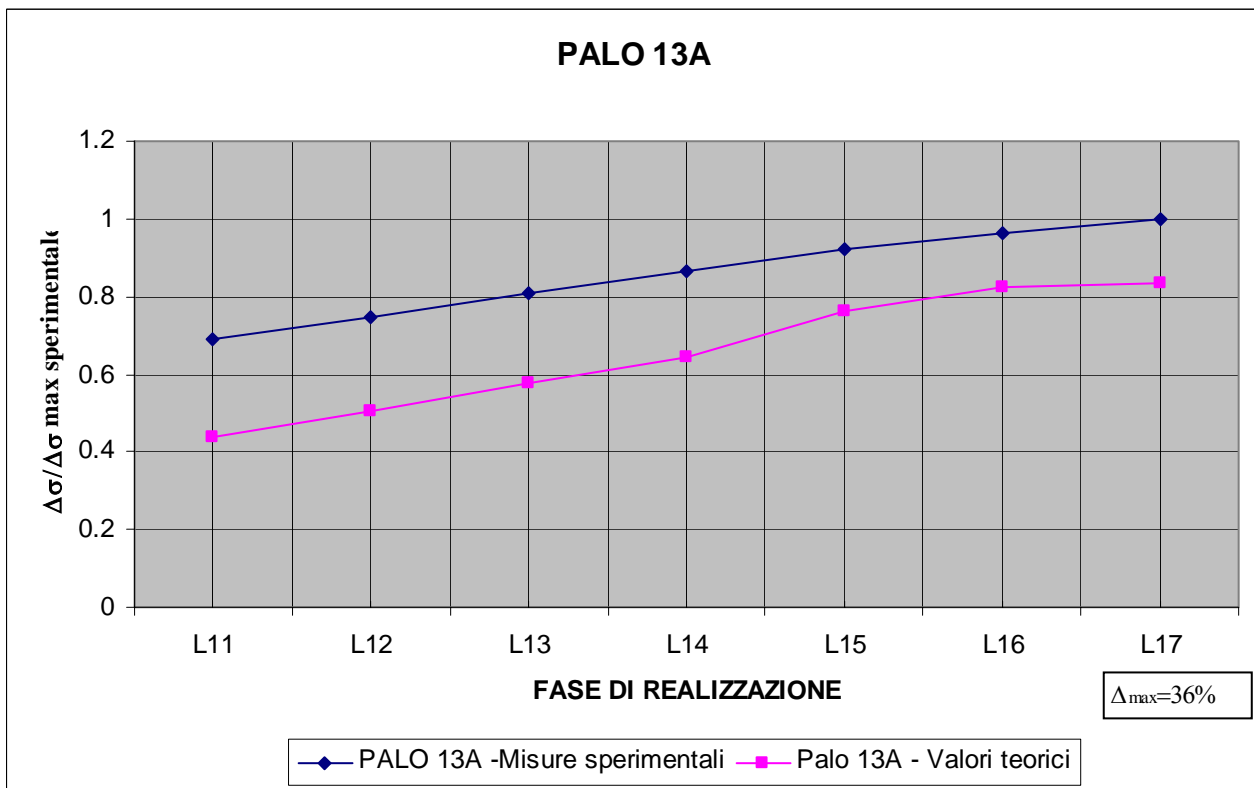


Figura 10 - Palo 13° incrementi di tensione adimensionalizzati teorici e sperimentali nelle varie fasi costruttive

Nelle figure 9 e 10 sono riportati in forma adimensionalizzata gli incrementi di tensione sui pali 5 e 13A registrati con le misure di deformazione e quelli previsti numericamente. Complessivamente per entrambi i pali si apprezza una discreta concordanza dei valori con scostamenti che al più raggiungono variazioni del 22% per il palo 5 e del 36% per il palo 13A. Per quest'ultimo si è registrato una maggiore differenza in quanto, rispetto al palo 5, è influenzato sia dalla posizione geometrica sia dall'interazione con le strutture di fondazione.

4. Conclusioni

Dalle indagini sperimentali effettuate, è possibile trarre le seguenti conclusioni.

Il monitoraggio con sensori a fibra ottica risulta utile in quanto è un sistema residente in grado di poter determinare il regime di deformazione presente durante la realizzazione, la fase di collaudo, di esercizio e a valle di un evento quale il sisma.

L'applicazione di più sensori all'interno del singolo palo dà la possibilità di verificare in tempo reale come lo stesso sia staticamente impegnato dando quindi importanti informazioni sul contributo offerto dalla resistenza sia laterale che alla punta del palo medesimo.

Il presente lavoro conferma che l'adozione del sistema di monitoraggio con sensori a fibra ottica può configurarsi come un efficace strumento sia per il collaudatore in fase di collaudo sia per gli operatori del settore, al fine di costituire un potente mezzo per il controllo delle nuove costruzioni, nell'arco temporale della vita utile.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **P. G. Malerba (a cura di)**, *Monitoraggio delle strutture dell'ingegneria civile*, International Centre for Mechanical Sciences, Collana di Ingegneria Strutturale n° 9, CISM, Udine 1995.
- [2] **Raymond M. Measures**, *Structural monitoring with fiber optic technology*, Academic Press, 2001.
- [3] **G. Porco, G. Zaccaria**, *Tecniche di controllo NDT su strutture in c.a. sottoposte a cicli di danneggiamento*, 12° Congresso AIPnD, Milano, Ottobre 2007.