



Scientific Report

*Tecniche Innovative per il controllo strutturale mediante
dispositivi a fibra ottica*

Authors: G. Porco, F. Forestieri, D. Romano

Scientific Publications by Sismlab s.r.l.
Spin-Off University of Calabria
Rende (CS), Italy
N.08 - I- 2021
ISBN: 979-12-80280-07-7

EDIZIONI SISMLAB

Scientific Publications by Sismlab s.r.l.
Spin-Off University of Calabria
Rende (CS), Italy

N.08 - January 2021
ISBN: 979-12-80280-07-7

(Year II)

Available online at www.sismlab.com
info@sismlab.it - sismlab@pec.it

*Via Ponte Pietro Bucci - Università della Calabria - Rende (CS) P.Iva: 02730000789
- Tel./Fax.: +390984-447093*

TECNICHE INNOVATIVE PER IL CONTROLLO STRUTTURALE MEDIANTE DISPOSITIVI A FIBRA OTTICA

G. Porco* - F. Forestieri** - D. Romano **

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria

giacinto.porco@unical.it

**Sismlab s.r.l.- Spin – Off Università della Calabria.

info@sismlab.it

SOMMARIO

La necessità in zona sismica di disporre di supporti sperimentali utili a garantire, durante l'esercizio la verifica del mantenimento dei coefficienti di sicurezza, è una problematica estremamente attuale nell'ambito dell'ingegneria civile. I sistemi di controllo residenti, per come mostrato in un precedente articolo dagli autori, presentano alcuni limiti che ne hanno fortemente influenzato la diffusione, quali: la disponibilità di manodopera altamente specializzata per la messa in opera, il costo del singolo sensore elevato se rapportato al valore dell'opera, la scarsa propensione di gran parte dei sensori ad essere impiegati su strutture esistenti. Con la finalità di offrire un contributo alla individuazione di nuovi sensori per effettuare la misurazione della deformazione affidabile e a basso costo è stato redatto il presente lavoro. Questo secondo contributo sull'argomento è stato sviluppato nell'ambito di un progetto POR CALABRIA Fesr-Fse 2014/2020 Obiettivo 1.2, Az. 1.2.2 di Ricerca Scientifica e Innovazione Tecnologica, denominato "*Dispositivi a fibra ottica residenti per la protezione sismica delle strutture in c.a.*" attuato dalla SISMLAB Spin-off dell'Università della Calabria e dalla S.O.P.I. s.r.l.

1. INTRODUZIONE

Il problema della verifica della affidabilità statica e sismica di edifici, ponti e di strutture portanti in c.a. in genere, è uno dei principali problemi che tecnici ed operatori del settore devono affrontare periodicamente su tutto il territorio nazionale. Gli eventi sismici, che hanno interessato nel recente passato il territorio nazionale, hanno fatto emergere condizioni di scarsa affidabilità del patrimonio edilizio e delle opere infrastrutturali, quali ponti gallerie ed opere di sostegno. Tali deficienze sono in parte ascrivibili ad una mancanza di controllo preventivo sulle membrature portanti in c.a. Queste se sottoposte ad un controllo dedicato avrebbero mostrato per tempo l'eventuale scarsa propensione alla risposta sismica. Altra difficoltà, che ha riguardato i tecnici, incaricati di verificare le possibilità d'uso delle strutture danneggiate in stato post sismico, è stata la definizione dei coefficienti di sicurezza per decretare lo sgombero del fabbricato o il mantenimento della abitabilità. Infatti, stabilire, in tempi brevi e senza alcun supporto conoscitivo, se sospendere o mantenere l'utilizzo per un fabbricato, o un ponte, è un'operazione molto complessa, che necessariamente richiede un notevole dispendio economico, con emissione di un giudizio in tempistiche non congruenti agli scenari post sismici.

Tenuto conto di questi aspetti si evidenzia come, la verifica preventiva del mantenimento delle condizioni di affidabilità del patrimonio edilizio ed infrastrutturale, unitamente all'esecuzione di uno screening diagnostico in tempo reale post sisma, rappresentino una possibile soluzione a buona parte delle difficoltà riscontrate, offrendo un notevole miglioramento in tema di protezione sismica.

È in questo contesto che si inserisce la presente proposta, con la quale si intende dare un contributo alla definizione di un protocollo procedurale basato sull'utilizzo di dispositivi e sensori da applicare sulle membrature portanti di strutture in c.a., al fine di verificare preventivamente le condizioni di mantenimento della sicurezza strutturale nei riguardi delle azioni sismiche e di controllare in uno stato post sismico il livello di danneggiamento. In particolare, l'argomento centrale del lavoro è legato all'analisi di alcuni sensori innovativi e a basso costo, che a seguito di una campagna sperimentale di validazione potrebbero essere impiegati per il monitoraggio di strutture in c.a.. Tale assunto parte dalla considerazione che, questi nuovi rilevatori possono essere installati direttamente sulla struttura oggetto di indagine, producendo di fatto, una attenuazione delle difficoltà legate alla messa in opera dei sistemi ad oggi disponibili.

2. UNA NUOVA ARCHITETTURA PER LA MISURA DELLE DEFORMAZIONI

2.1 Il Misuratore di deformazione

Le problematiche emerse in tema di verifica dell'affidabilità strutturale post-sisma, per come brevemente suesposto, hanno dato l'input per l'individuazione di nuovi rilevatori di deformazione associati, naturalmente, ad un nuovo acquisitore appositamente realizzato. I sensori a fibra ottica sono di vario tipo a seconda del principio fisico che sfruttano per trasdurre la grandezza da misurare in segnale ottico decodificabile. Gli scriventi, pertanto, attraverso una robusta ricerca bibliografica scientifica e commerciale, hanno selezionato una serie di rilevatori non specializzati per l'impiego nel campo civile, ma con la prerogativa di poter essere applicati sulle facce a vista del calcestruzzo. Il sensore individuato e selezionato dal nome OMSG-120 (casa produttrice Scaime) possiede le seguenti caratteristiche tecniche:

- Risoluzione: $<1\mu\text{m/m}$;
- Precisione: $\pm 10\mu\text{m/m}$;
- Ripetibilità: $\pm 5\mu\text{m/m}$.
- Range di misura: $-5000\dots+5000\mu\text{m/m}$
- Temperatura di funzionamento: $-30^\circ\text{C} \dots +60^\circ\text{C}$
- Un costo inferiore rispetto ai sensori impiegati nel campo civile.

Di seguito in figura è restituito il sensore proposto per la sperimentazione.

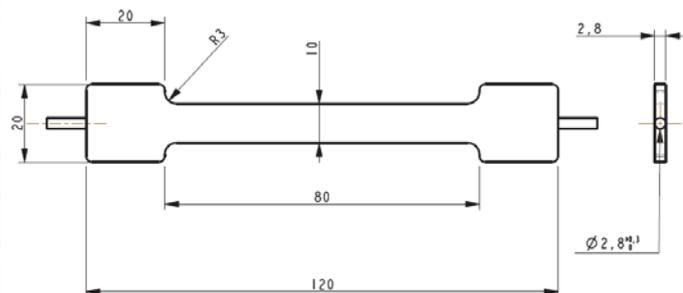


Fig. 1. Sensore a fibra ottica selezionato.

I sensori a fibra ottica sono realizzati in materiale composito epossidico-fibra di vetro, che li rende estremamente maneggevoli e particolarmente affidabili, con una durata di vita superiore ai 20 anni. Questi sensori vengono poi fissati alla struttura in c.a. con adesivi ad alto modulo elastico. Le colle molto dure e il trattamento applicato alla fibra quando è incorporata nella matrice composita, garantiscono un perfetto trasferimento del carico tra la parte sollecitata e il reticolo di Bragg.

Una volta incollati, i sensori vengono collegati in serie tramite uno 'splicer' che garantisce la perfetta continuità della fibra ottica. Poiché le perdite sono minime e l'attenuazione intrinseca della fibra ottica quasi trascurabile, i sensori possono essere distribuiti su distanze molto lunghe (diversi km).

Il sensore scelto ha previsto l'impiego di un nuovo interrogatore ottico, il quale è stato messo a punto grazie alla collaborazione con le Aziende Boviari S.r.l. e CELM Snc di Cremona. L'interrogatore durante l'acquisizione dei dati, misura la lunghezza d'onda associata alla luce riflessa dai sensori ottici e quindi la converte in unità ingegneristiche. Le letture vengono quindi trasmesse via Ethernet o FireWire per l'archiviazione, l'analisi o l'esportazione tramite un'interfaccia software. La centralina utilizzata nella sperimentazione è l'interrogatore ottico CELM-S300 raffigurato nella figura seguente.



Fig. 2. Interrogatore ottico CELM-S300.

3. VERIFICHE SPERIMENTALI

Per ottenere una validazione dei sensori proposti, quest'ultimi devono essere applicati prima su prototipi caricati con regime di sollecitazione semplice e successivamente su prototipi in scala reale, caratterizzati da regimi di sollecitazione complessa. In particolare, gli autori hanno riferito il presente lavoro solo al primo caso, riservando lo sviluppo dell'attività di ricerca ad una seconda fase sperimentale.

Di seguito, pertanto verranno presentati e discussi solo i risultati derivanti da una prima sperimentazione condotta su prototipi in c.a. semplicemente compressi.

3.1 Verifica sul prototipo compresso

La sperimentazione ha riguardato l'uso di n°4 sensori di pelle OBSG-120 applicati, in posizione mediale, sulle superfici laterali di un prototipo in calcestruzzo armato. L'obiettivo è stato quello di valutare attentamente la variazione dei diversi parametri da cui dipende la misura di deformazione.

A tale scopo si è optato di scegliere un prototipo in c.a. con sezione quasi reale, come mostrato in Fig.3, e di monitorarlo con i sensori proposti.

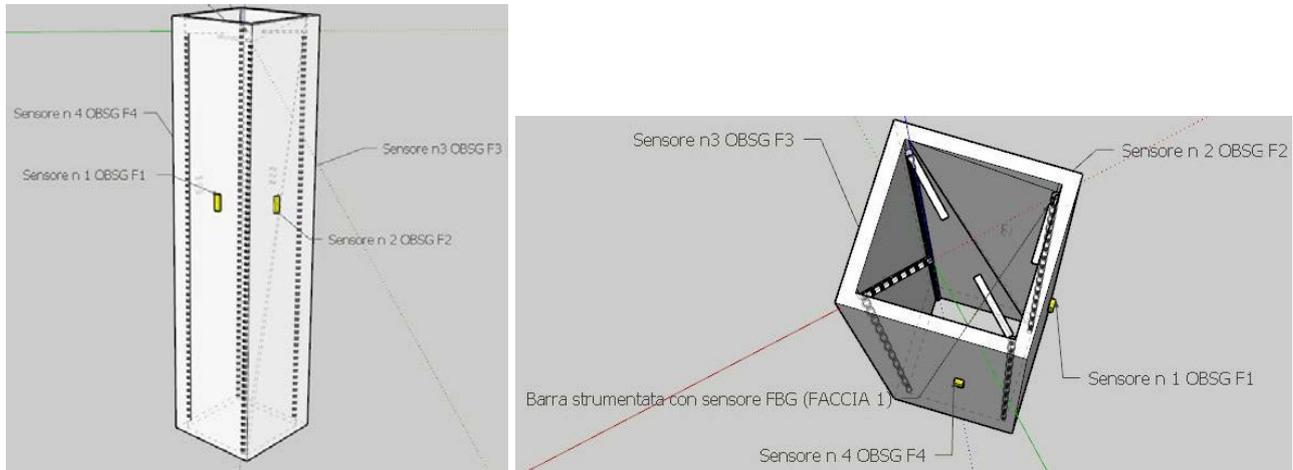


Fig. 3. Schema di messa a dimora dei sensori OBSG-120.

Altra scelta effettuata, è stata quella di assoggettare il prototipo in c.a. ad un regime di sollecitazione semplice, qual è lo sforzo normale, in modo da poter utilizzare come forma di controllo le deformazioni derivanti dall'approccio teorico nel rispetto del postulato del De Saint Venant.

La campagna sperimentale, ha interessato due prototipi con diversa geometria di armatura.

- Il primo prototipo, con caratteristiche geometriche di base 30X30 cm e altezza 100 cm, è armato con 7 staffe $\phi 10$ e 4 barre longitudinali $\phi 12$;

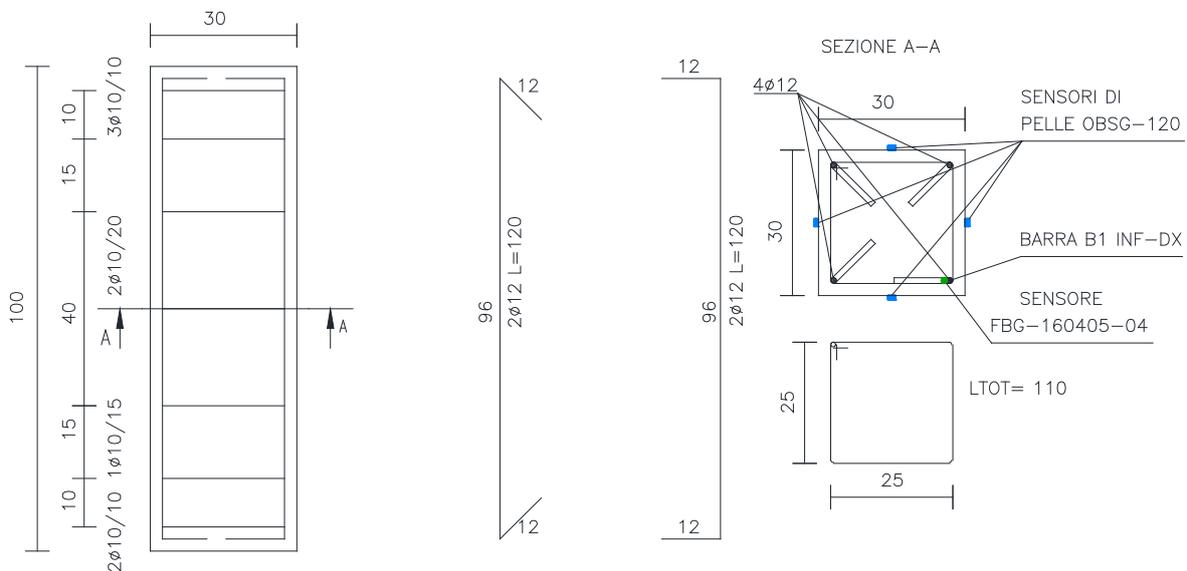


Fig. 4. Progetto prototipo N°1 in scala diversificata.

- Il secondo prototipo, con caratteristiche geometriche di base 30X30 cm e altezza 100 cm, è armato con 7 staffe $\phi 10$ e 4 barre longitudinali $\phi 16$.

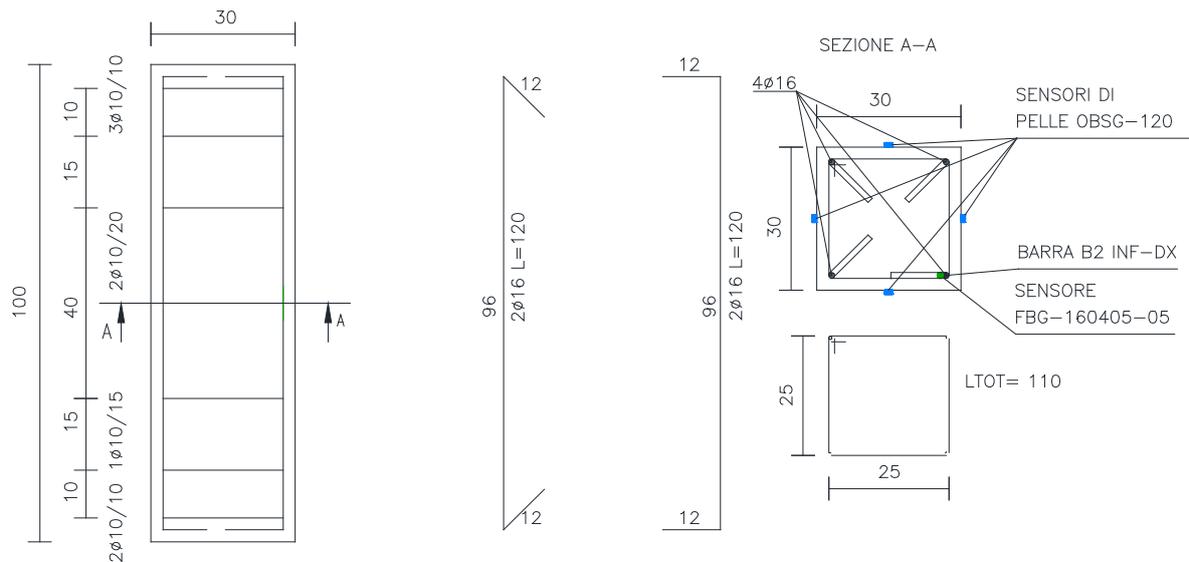


Fig. 5. Progetto prototipo N°2 in scala diversificata.

Su tutte le facce di entrambi i prototipi, medialmente, sono stati messi a dimora i misuratori della deformazione, come riportato in Fig. 6. Per mitigare gli effetti di alterazione delle misure, è stato necessario individuare la zona di misura secondo i seguenti accorgimenti:

- Superficie non ricoperta da intonaco, o da vernice, ecc;
- Assenza di ferri di armature in prossimità della superficie (da controllare mediante pacometro);
- Superficie priva di evidenti vespai, forti porosità o rilevanti irregolarità superficiali ecc;
- Superficie possibilmente asciutta.

Si precisa inoltre che, la pulizia e la lisciatura della superficie deve essere eseguita con pietra abrasiva (pietra al carburo di silicio con tessitura granulare media o materiale equivalente) oppure utilizzando, se necessario, uno smerigliatore per asportare lo strato superficiale di calcestruzzo degradato o irregolare.

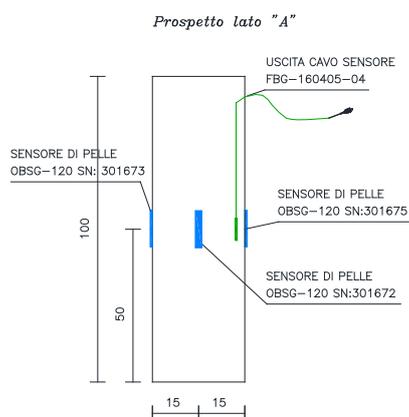


Fig. 6. Installazione sensori OBSG-120.

Sui prototipi, con l'ausilio di un dispositivo di carico, costituito da una cella di carico e da un martinetto idraulico, è stato avviato un programma di carico e di scarico tale da poter acquisire i valori rappresentativi della deformazione.

La modalità esecutiva della prova a compressione ha previsto le seguenti operazioni:

- È stato individuato un valore di carico massimo tale che le misure di deformazione fossero rappresentative;
- È stato identificato un valore di «zero» (*precarico*);
- È stato individuato un numero di cicli di carico e scarico;
- Sono state definite le tempistiche di misurazione.

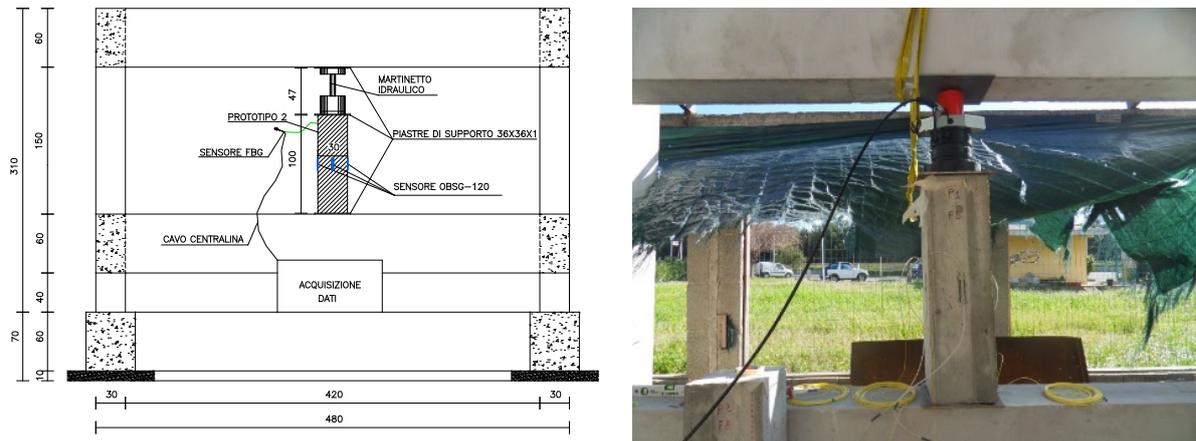


Fig. 7. Prototipo sottoposto a prova di compressione.

L'obiettivo è stato quello di tracciare un diagramma tensione-deformazione per ogni singolo rilevatore di deformazione. Nella seguente sezione si riportano in forma tabellare i valori di deformazione acquisiti dal nuovo dispositivo di misura, opportunamente comparati con i valori teorici attesi.

3.2 Risultati

I valori di deformazione acquisiti dai 4 sensori OBSG-120 ai vari step di carico, Fig.8, sono stati opportunamente comparati con i valori teorici attesi, per come mostrato nella Tabella 1. I risultati sono stati restituiti anche in termini di diagramma Carico-Deformazione, confrontando gli andamenti teorici con quelli ottenuti dal nuovo dispositivo OBSG-120, Fig. 9.

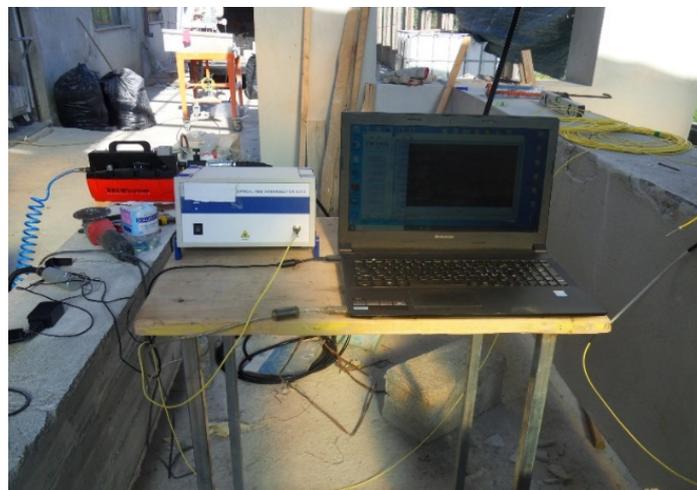


Fig. 8. Fase di acquisizione delle deformazioni.

DEFORMAZIONI PRIMO PROTOTIPO		
STEP DI CARICO [kg]	VALORI TEORICI	MEDIA DEI SENSORI OBSG
5000	0.0000172	0.0000167
15000	0.0000516	0.0000501
25000	0.0000860	0.0000834
35000	0.000120	0.000116
45000	0.000154	0.000149
DEFORMAZIONI SECONDO PROTOTIPO		
STEP DI CARICO [kg]	VALORI TEORICI	MEDIA DEI SENSORI OBSG
5000	0.0000167	0.0000162
15000	0.0000502	0.0000487
25000	0.0000837	0.0000812
35000	0.000117	0.000113
45000	0.000150	0.000146

Tabella 1. Valori di deformazione ricavati dai sensori in funzione del carico.

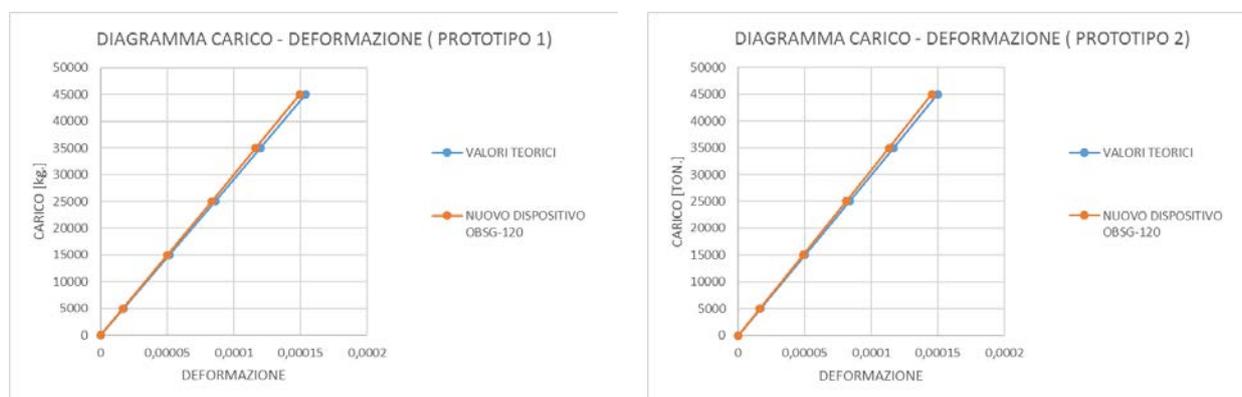


Fig. 9. Confronto tra gli andamenti teorici Carico-Deformazione con quelli ottenuti dal nuovo dispositivo OBSG-120.

I dati ottenuti mostrano come la dispersione dei risultati, evidenziata dal confronto tra i valori di deformazione teorici con quelli ottenuti dai rilevatori di pelle, è abbastanza confortante ed estremamente contenuta.

4. CONCLUSIONI

In conclusione, l'attività sperimentale condotta su prototipi in c.a. semplicemente compressi ha restituito esito positivo, ovvero i rilevatori esterni, installati con gli adesivi selezionati secondo specifiche modalità di messa in opera, hanno dato una buona risposta confrontabile con i valori teorici di deformazione attesa. Questo rappresenta solo il passo iniziale a cui seguirà una successiva fase sperimentale, dove gli autori si propongono di verificare l'affidabilità degli stessi rilevatori di deformazione in regime di sollecitazione composta su prototipi che saranno abbastanza aderenti alle esistenti membrature in c.a.

Le attività sperimentali presentate all'interno del paper sono state svolte con il supporto del Progetto Por Calabria Fesr-Fse 2014/2020 "Dispositivi a fibra ottica residenti per la protezione sismica delle strutture in c.a." Asse I - Promozione della Ricerca e della Innovazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Porco, F. Forestieri, D. Romano, " *Protezione Sismica delle Strutture in calcestruzzo armato e murature: controlli e verifiche -Dispositivi sperimentali-*". Edizioni Sismlab Spin Off Università della Calabria, N.07-I-2021, ISBN 979-12-80280-06-0 Rende (CS) Italy.
- [2] D. Inaudi, Casanova N., Glisic B., Kronenberg P., Lloret S., Pflug L., Vurpillot S., 1998, " *SOFO: Structural Monitoring with Optical Fiber Deformations Sensors*" FIB, "Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures", 12-13.2., Vienna, Austria.
- [3] H. Li, D. Li, G. Song, 2004, " *Recent applications of fiber optic sensors to health monitoring in civil engineering*". Engineering Structures 26, 1647-1657.
- [4] F. Morrone - G. Porco - D. Romano, 2009, " *Structural health monitoring with fibre optic sensors: a studying case*", APCNDT 2009 The 13th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing November 8-13, 2009 Yokohama, Japan.
- [5] Fu-Zhen Xuan, Hongwei Tang, Shan- Tung Tu, 2009 " *In situ monitoring on prestress 12 losses in the reinforced structure with fiber-optic sensors*". Measurement 42,107- 111.
- [6] G. Porco, D. Romano, G. F. Valer Montero – " *Controllo e monitoraggio: strumenti per la verifica strutturale e per la mitigazione del rischio sismico*". Stringhe, Quadrimestrale di divulgazione scientifico culturale dell'Università della Calabria.
- [7] Z. Djinovic, M. Tomic, C. Gamauf, 2010 " *Fiber-optic Interferometric Sensor of Magnetic Field for Structural Health Monitoring*". Proc. Eurosensors XXIV, September 5-8, Linz, Austria. Procedia Engineering 5, 1103-1106.
- [8] P. Antunes, H. Varum, P. Andcrè, 2011 " *Optical FBG Sensors for Static Structural Health Monitoring*". The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. Procedia Engineering 14, 1564-1571.
- [9] J.H. Mao, W.L. Jin, Y. He, D.J. Cleland and Y. Bai, 2011 " *A novel method of embedding distributed optical fiber sensors for structural health monitoring*". Smart Materials and Structures 20, 125018 (9pp).
- [10] G. Porco, D. Romano, G. F. Valer Montero, Dicembre 2012, " *Il monitoraggio strutturale per il controllo delle fasi costruttive e per la verifica di affidabilità delle strutture in c.a.*". Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica, n. 4. ISSN 1721-7075.

N.08 - January 2021
ISBN: 979-12-80280-07-7

EDIZIONI SISMLAB
Available online at www.sismlab.com