

***METODI NDT E MONITORAGGIO A FIBRE OTTICHE: PROPOSTA DI UNA  
METODOLOGIA SPERIMENTALE INTEGRATA PER IL CONTROLLO DELLA  
FUNZIONALITÀ STATICA DEGLI EDIFICI IN C.A. DI NUOVA COSTRUZIONE***

**- M. Condino<sup>+</sup>, M. Morrone\*, G. Porco\* -**

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

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

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

**11-12-13 Ottobre**  
**PNDD** **milano** **2007**

# **Metodi NDT e Monitoraggio a Fibre Ottiche: proposta di una metodologia sperimentale integrata per il controllo della funzionalità statica degli edifici in c.a. di nuova costruzione**

*Michele CONDINO<sup>+</sup>, Francesco MORRONE\*, Giacinto PORCO\**

*\* Università della Calabria – Dipartimento di Strutture*

*+ SISMLab s.r.l., Spin-Off Università della Calabria, [www.sismlab.it](http://www.sismlab.it)*

*AUTORE DI RIFERIMENTO: Francesco MORRONE. E-mail: [francescomorrone@libero.it](mailto:francescomorrone@libero.it)*

## **SOMMARIO**

*In questo lavoro viene presentata una metodologia di investigazione sperimentale che riguarda specificatamente edifici in c.a. di nuova costruzione, ma che virtualmente può essere estesa a qualsiasi nuovo organismo strutturale in c.a. Detta metodologia integra l'esecuzione di prove NDT con il monitoraggio strutturale condotto adoperando la tecnologia delle fibre ottiche, al fine del controllo delle prestazioni statiche locali e globali dell'ossatura resistente, in tutte le fasi della vita dell'edificio, ivi compresa la fase di realizzazione. L'esecuzione di una campagna di indagini sperimentali su prototipi dei calcestruzzi da impiegare nella costruzione, costituita da prove NDT e prove di compressione, consente la definizione di curve di correlazione tra valori dei parametri NDT e valori della resistenza a compressione. L'acquisizione di tali curve di correlazione permette di effettuare, mediante l'impiego di tecniche NDT in fase di costruzione, il controllo dei termini di resistenza effettivamente conseguiti dai calcestruzzi realizzati in opera. L'uso delle tecniche NDT durante la vita di esercizio consente di valutare eventuali scadimenti delle proprietà meccaniche, per comparazione con i valori riscontrati in sede di realizzazione dell'edificio, e di pianificare un'eventuale ampliamento di indagine mediante prove di carattere distruttivo. Il monitoraggio strutturale, eseguito con la tecnologia dei sensori a fibre ottiche residenti per annegamento nelle membrature strutturali, consente di sorvegliare nel tempo, con periodicità programmata, la funzionalità statica delle strutture, mediante il controllo delle deformazioni e degli spostamenti. Un'eventuale anomalia, confermata dai risultati della campagna di indagini NDT appositamente predisposta e condotta nei termini anzidetti, rende possibile un intervento di manutenzione con tempi di esecuzione, costi ed invasività ridotti dall'immediatezza di attuazione dell'intervento stesso rispetto all'insorgenza del deficit prestazionale.*

**SETTORE APPLICATIVO PND: INGEGNERIA CIVILE**

## 1. Introduzione

*Il controllo della funzionalità statica degli edifici in c.a. è tema che riguarda centralmente la sicurezza delle strutture sia di nuova realizzazione sia di quelle esistenti. Sebbene occorra accusare la persistenza di un marcato ritardo culturale rispetto ad altri settori, in particolare quello medico, l'importanza di controllare periodicamente lo "stato di salute" della componente strutturale dei manufatti edilizi è diffusamente assunta nella mentalità e nella prassi sia dell'operatore privato sia di quello pubblico. Insieme alla consapevolezza che la sicurezza degli utilizzatori è primariamente affidata all'ossatura portante e che sussiste a tale riguardo una gerarchia secondo la quale collocare i deficit che possono colpire le varie componenti di un organismo edilizio. Gerarchia che si configura come fonte di disciplina delle risorse da impiegare per gli interventi di manutenzione.*

*Al controllo della componente strutturale si può e si deve procedere sia **in sede di esecuzione del manufatto sia nel corso della vita di servizio.***

*Con particolare riferimento alla fase di esecuzione, le Norme Tecniche per le Costruzioni, in riferimento al materiale Conglomerato Cementizio prodotto per usi strutturali, impongono all' "Appaltatore, prima dell'inizio della costruzione di un'opera" e sotto il vincolo della responsabilità, di "garantire, attraverso idonee prove preliminari, la resistenza caratteristica per ciascuna miscela omogenea di conglomerato che verrà utilizzata per la costruzione dell'opera"<sup>1</sup>. D'altra parte "Il Direttore dei Lavori ha l'obbligo di eseguire controlli sistematici in corso d'opera per verificare la conformità tra le caratteristiche del conglomerato messo in opera a quello stabilito dal progetto e garantito in sede di valutazione preliminare"<sup>2</sup>.*

*Nel corso della vita di esercizio e per gli edifici esistenti in generale, il controllo del regolare funzionamento dell'ossatura portante in c.a. solitamente non viene eseguito in modo periodico, programmato in via ordinaria, bensì eseguito spesso solo in via straordinaria, a fronte di un dissesto paventato come incipiente ovvero riconosciuto come conclamato. Tale controllo si articola di frequente nell'esecuzione di indagini distruttive e non distruttive od anche può prevedere l'esecuzione di distinte sessioni di monitoraggio strutturale, deputate a sorvegliare ed accertare l'evoluzione di spostamenti, deformazioni o quadri fessurativi.*

*In questo lavoro si presenta una metodologia di indagine sperimentale da mandare ad effetto su edifici con strutture resistenti in c.a. di nuova realizzazione, diretta al controllo della funzionalità statica sia nella fase di esecuzione del manufatto sia nella fase di esercizio.*

*Detta metodologia integra l'esecuzione di Prove NDT con la predisposizione di un sistema di monitoraggio strutturale basato sulla tecnologia*

---

<sup>1</sup> NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI approvate con D.M. 14-09-2005, punto 11.1.3 – "Valutazione preliminare della resistenza".

<sup>2</sup> *Ibidem*, punto 11.1.5 – "Controllo di Accettazione".

delle fibre ottiche. Virtualmente suscettibile di applicazione su qualsiasi organismo in c.a., la metodologia in parola è di fatto in questo momento in fase di implementazione su alcuni edifici nascenti in c.a., di edilizia sia pubblica sia privata.

La procedura in parola presenta un duplice aspetto innovativo, come verrà estesamente discusso nelle sezioni seguenti della presente nota, ed è complessivamente orientata a costituire un presidio di salvaguardia nei confronti di eventuali deficit prestazionali dell'organismo strutturale, sia nei termini di resistenza dei calcestruzzi realizzati in opera rispetto alle previsioni progettuali, sia dello scadimento delle proprietà meccaniche nel tempo degli stessi calcestruzzi, sia ancora nei confronti di anomalie per quanto riguarda i livelli di deformazione e spostamento di talune membrature nel tempo della vita di esercizio del manufatto.

## **2. Prove NDT su cubi di calcestruzzo prototipo e curve di correlazione**

### **2.1 Curve di correlazione – Generalità**

La procedura assume di condurre, prima dell'inizio dell'opera, una campagna di prove non distruttive, di tipo sclerometrico ed ultrasonoro, ed una sessione di prove a compressione su una o più serie di provini realizzati con prototipi dei calcestruzzi preordinati a costituire le strutture resistenti dell'edificio.

Per la preparazione e la stagionatura dei provini di conglomerato è fatto riferimento alle norme UNI EN 12390-1/2:2002 [1], che recano indicazioni in merito ai provini di calcestruzzo per la prova di compressione.

Per l'esecuzione dell'Indagine Sclerometrica e la relativa determinazione del parametro NdT Indice di Rimbalzo sui provini dei prototipi di calcestruzzo è fatto riferimento alla norma UNI EN 12504 - 2:2001 [3].

Per l'esecuzione dell'Indagine con gli ultrasuoni e la relativa determinazione del parametro NdT Velocità Ultrasonora sui provini dei prototipi di calcestruzzo è fatto riferimento alla norma UNI EN 12504 - 4:2005 [4].

Per la determinazione della Resistenza a Compressione dei provini dei prototipo di calcestruzzo è fatto riferimento alle indicazioni recate dalla norma UNI EN 12390 - 3:2003 [2].

Una volta terminata la sessione di indagini sperimentali si hanno a disposizione tre dati per ciascuno dei provini di calcestruzzo esaminati. Tali dati è possibile processare in senso statistico al fine di ottenere una **particolare ed innovativa caratterizzazione dei calcestruzzi in oggetto**, nei termini di **Curve di Correlazione tra Parametri NdT e valori della Resistenza a Compressione**.

L'idea è mutuata dalla procedura di valutazione della sicurezza di edifici esistenti in cemento armato, quale prevista dall'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 e s.m.i., con particolare riferimento alla determinazione delle "PROPRIETÀ DEI MATERIALI – Calcestruzzo: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura. [...] Metodi di prova non distruttivi: Sono ammessi

metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che non possono essere impiegati in completa sostituzione di quelli sopra descritti, **ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive**<sup>3</sup>.

L'operazione di taratura in parola permette, nell'ambito degli edifici esistenti, di eseguire la stima della resistenza del calcestruzzo anche in punti delle strutture oggetto di valutazione in cui siano state eseguite solo indagini di tipo non distruttivo. Tale stima viene effettuata per il tramite della correlazione stabilita tra i valori misurati dei parametri NdT ed i valori della resistenza a compressione del calcestruzzo determinati effettuando prove di compressione su provini di calcestruzzo preparati dai campioni estratti per carotaggio nei medesimi punti di esecuzione delle prove NdT [8], [13].

Tale procedura di valutazione si propone di estendere agli edifici di nuova realizzazione, preliminarmente all'esecuzione dell'opera. Come specificato in precedenza, in tale occasione le prove sul calcestruzzo, sia quelle NdT sia quella di compressione, interessano provini del calcestruzzo che verrà prodotto per la realizzazione dell'edificio, calcestruzzo progettualmente richiesto in termini sia di  $R_{ck}$  sia di classe di consistenza.

In forza dei dati raccolti, risulta possibile pervenire alla definizione di grafici sperimentali di correlazione tra valori dei parametri NdT e Resistenza a Compressione e precisamente:

- *Indice di Rimbalzo – Resistenza Cubica a Compressione*
- *Velocità ultrasonica – Resistenza Cubica a Compressione*
- *Curve di iso-resistenza Indice di Rimbalzo – Velocità ultrasonica (Metodo SONREB).*

Con riferimento ad edifici esistenti, l'affidabilità delle curve di correlazione or ora richiamate è determinata dalla calibrazione dei dati dei parametri NdT con i risultati ottenuti dai carotaggi effettuati negli stessi punti.

Nel caso della procedura in discussione in questa sede, il calcestruzzo per il quale sono ricavate le curve sperimentali è quello preordinato a costituire le strutture resistenti del nuovo edificio. Questa fondamentale circostanza decide della affidabilità delle curve in parola e ne **fornisce una forte connotazione identitaria**. In altri e più chiari termini, il calcestruzzo con il quale verranno realizzate le membrature resistenti del nuovo edificio risulta rappresentato dalle curve di correlazione anzidette, determinate con la campagna sperimentale di indagini alla quale si è fatto cenno.

Ciò detto, e sottolineato l'aspetto innovativo della metodologia, è possibile mettere in evidenza quale impiego sia possibile per le curve di correlazione in narrativa e quali vantaggi derivino da tale impiego. A tale riguardo, per l'opera di nuova realizzazione, da assoggettare a controllo, occorre considerare distintamente:

---

<sup>3</sup> O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i., Allegato 2, par. 11.2.3.3 – “PROPRIETÀ DEI MATERIALI”.

- la fase di esecuzione;
- la vita di servizio.

## 2.2 Curve di correlazione dei parametri NdT – Fase di esecuzione dell'opera

*Per la fase di esecuzione, la disponibilità delle curve di correlazione determinate come precisato in precedenza consente di poter fare riferimento all'impiego delle indagini NdT, sclerometrica ed ultrasonora, al fine di eseguire una stima dei valori di resistenza effettivamente conseguita dai calcestruzzi realizzati in opera e controllare così la rispondenza di tali valori a quelli richiesti in progetto.*

*Tale verifica presenta una propria congruenza ed affidabilità, come discusso in sede di Introduzione, ma è anche suscettibile di un riscontro ed inquadramento normativo nell'ambito del Controllo della Resistenza del Calcestruzzo in Opera<sup>4</sup> – “(...) si può procedere ad una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso prove non distruttive. Tali prove non devono, in ogni caso, intendersi sostitutive dei controlli di accettazione”.*

*Merita richiamare l'ultimo periodo del punto 11.1.6 delle norme in parola:*

*“Per la modalità di determinazione della resistenza in situ si potrà fare riferimento alle norme EN 12504-1 e 2”, che costituisce una conferma indiretta del contenuto innovativo della procedura proposta nella presente nota. Le norme citate, infatti, si riferiscono entrambe alle Prove sul calcestruzzo nelle strutture. In particolare la prima tratta delle “Carote – Prelievo, esame e prova a compressione”. La seconda delle “Prove non distruttive – Determinazione dell'indice sclerometrico”. L'indicazione del legislatore è quella di affiancare alle prove a compressione eseguite su carote l'esecuzione di indagini non distruttive di natura sclerometrica. Risulta implicito ancorché del tutto nitido che i risultati delle prove a compressione rivestono oltre che una valenza assoluta anche funzionale, servendo a calibrare i valori dell'indice di rimbalzo ottenuti con la prova sclerometrica.*

*Nell'ambito della procedura proposta in questa sede, i valori dei parametri non distruttivi (sclerometrici ed ultrasonori) possiedono una **calibratura iniziale**, espressa dalle curve di correlazione discusse in precedenza, a loro volta ottenute sulla base dei risultati delle indagini condotte sui provini dei prototipi di calcestruzzo. Detta taratura conferisce a tali correlazioni una rappresentatività dei valori della resistenza del calcestruzzo anche per quei punti della struttura in corrispondenza dei quali non sono state estratte carote.*

*La rapidità ed affidabilità con cui risulta possibile acquisire l'informazione sui termini di resistenza conseguiti dal calcestruzzo in opera rende la procedura di controllo basata sull'impiego delle tecniche NdT uno*

---

<sup>4</sup> NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI approvate con D.M. 14-09-2005, punto 11.1.6

*strumento prezioso. Di tale strumento potranno avvalersi sia il Direttore dei Lavori sia il Collaudatore, i quali potranno interrogare la struttura diffusamente e decidere, se del caso, un approfondimento di indagine, che così facendo sarà mirato e si tradurrà in una sensibile economia delle risorse da convogliare in materia di controlli .*

### **2.3 Curve di correlazione dei parametri NdT – Fase di esercizio dell’opera**

*Discutere del vantaggio dell’impiego, durante la vita di esercizio, delle curve di correlazione Parametri NdT – Resistenza del Calcestruzzo, elaborate a partire dai provini dei prototipi di materiale prodotto prima dell’inizio della costruzione dell’opera, vuol dire procedere ad una definizione temporale della rappresentatività di tali correlazioni e ad un inquadramento nel contesto delle attività di manutenzione del manufatto edilizio, con specifico riferimento alla componente strutturale.*

*A questo secondo aspetto si dedicherà attenzione nel successivo punto 4. della presente nota. Qui si desidera richiamare quanto detto in precedenza sulla rappresentatività dei valori dei parametri NdT determinati sulle membrature resistenti per quanto si riferisce ai valori della resistenza effettivamente conseguiti dai calcestruzzi posti in opera ed in relazione alla fase di esecuzione. Ciò in virtù delle curve di correlazione definite come detto in precedenza, curve che costituiscono una calibrazione dei medesimi parametri NdT.*

*Con il passare del tempo, nel corso della vita di esercizio dell’opera, sarà ancora di vantaggio effettuare campagne di indagini NdT ed effettuare un confronto con i range valoriali determinati durante la fase di esecuzione. D’altro canto è importante sottolineare che la valenza di tale confronto non si realizza più in termini assoluti, bensì in quelli relativi di comparazioni. In linea generale occorre infatti tenere presente che “La variabile tempo interviene nella resistenza alla voce degrado”<sup>5</sup>.*

*Sulle cause della degradazione si fa semplicemente rinvio ai riferimenti bibliografici ed in particolare al testo di V. Alunno Rossetti, non essendo argomento di questa nota. Analogamente per quanto si riferisce, in via speculare, alla durabilità del calcestruzzo “ovvero la capacità di mantenere per tempi lunghi le sue caratteristiche funzionali ai livelli richiesti” [6].*

*Ai fini della presente discussione occorre tenere presente che il fenomeno del degrado è ciò che - in linea generale - preclude, nel corso della vita di esercizio dell’opera, l’impiego delle correlazioni in narrativa ai fini della determinazione dei valori della resistenza del calcestruzzo in situ per il tramite di sole indagini NdT.*

*D’altro canto un confronto di natura comparativa tra i valori conseguiti dallo stesso tipo di indagine NdT in epoche diverse della vita di servizio ed in particolare con quelli relativi alla fase di esecuzione costituisce un controllo rivelatore di un eventuale scadimento delle proprietà meccaniche, affidato a*

---

<sup>5</sup> NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI approvate con D.M. 14-09-2005, punto 2.6.6 – “Degrado”.

*tecniche di minima invasività e – lo si ripete consapevolmente – di rapida esecuzione.*

### **3. Monitoraggio strutturale tramite sensori a fibra ottica**

*Poche parole di richiamo sul monitoraggio strutturale e sulle caratteristiche e le possibilità offerte dal monitoraggio effettuato tramite i sensori a fibra ottica.*

*Con la denominazione di monitoraggio strutturale si fa riferimento in modo unitario ad un insieme composito di attività, metodi, attrezzature e tecnologie deputati allo studio del comportamento delle strutture nel tempo. Tale studio deriva dalla necessità che siano eseguiti controlli, a cura di tecnici a tale scopo espressamente incaricati dalla proprietà dell'opera, finalizzati a garantire nel tempo il soddisfacimento delle prestazioni e del livello di sicurezza prestabiliti in sede di progettazione.*

*A grandi linee, si possono distinguere tre differenti tipologie di monitoraggio:*

- le ispezioni visive;*
- il monitoraggio ad evento;*
- il monitoraggio continuato.*

*Al momento presente, le ispezioni visive ed il monitoraggio ad evento rappresentano lo strumento per la sorveglianza delle strutture maggiormente utilizzato.*

*D'altro canto, il monitoraggio continuato viene invece svolto attraverso la lettura costante nel tempo dei dati acquisiti dalle diverse strumentazioni installate sulle strutture soggette a controllo.*

*Il monitoraggio condotto tramite l'impiego di sensori a fibra ottica ricade nell'ambito del monitoraggio continuato e presenta un marcato profilo di innovazione tecnologica nel campo del controllo strutturale.*

*La strumentazione, definita in fase progettuale come parte integrante della struttura, viene installata in maniera definitiva in fase di esecuzione e si mostra capace di una valutazione dell'integrità, affidabilità e durabilità della struttura.*

*Detta installazione costituisce e realizza l'implementazione nella sede dell'organismo strutturale di un **sistema di rilevamento residente** di spostamenti e deformazioni, che consente la possibilità di lettura dei dati in tempo reale, anche a distanza o mediante l'impiego della tecnologia wireless.*

### **4. Metodologia sperimentale integrata per il controllo della funzionalità statica degli edifici in c.a. di nuova realizzazione**

*Il monitoraggio strutturale condotto mediante la tecnologia dei sensori a fibra ottica e le correlazioni stabilite tra parametri NdT e valori della resistenza del calcestruzzo, quali presentate nella precedente sezione 2, possono essere coordinate dando luogo ad una metodologia integrata di controllo della funzionalità statica degli edifici in c.a., secondo una procedura che può essere*

*definita di stadiazione, con una terminologia mutuata dal lessico medico e che si riferisce specificatamente al processo di accertamenti strumentali da effettuare a scopo diagnostico.*

*Il monitoraggio in narrativa consente di avere a disposizione un quadro di informazioni sul comportamento delle strutture che può essere considerato come “continuo” se rapportato alla vita utile dell’opera. Tale livello di controllo si configura un PRIMO STADIO e consente di rilevare anomalie di carattere “globale” del comportamento dell’ossatura portante dell’opera, nei termini di spostamenti e deformazioni. L’acquisizione di tali informazioni, come già detto, può essere predisposta perché possa essere effettuata in remoto in remoto, con una periodicità prefissata già in sede di progettazione.*

*La constatazione della presenza di alcune anomalie di comportamento determina il passaggio ad una successiva fase di controllo (che si configura come SECONDO STADIO). In una serie di punti di quelle membrature per le quali il sistema di monitoraggio dovesse evidenziare un malfunzionamento statico, può essere stabilito di effettuare una sessione di indagini NdT, tramite la quale condurre un controllo di tipo comparativo rispetto ai valori determinati sia sui cubi di calcestruzzo prototipo sia direttamente sui calcestruzzi in opera., in fase di esecuzione. Questo secondo livello di controllo, di tipo locale ed eseguito direttamente sulla struttura, ha lo scopo di far emergere ( lo si ripete, per via comparativa ) un eventuale degrado delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera.*

*Una parola di commento si ritiene necessaria su tale secondo livello della stadiazione di accertamenti della quale si sta discutendo. Ad esso può essere attribuita una periodicità autonoma rispetto agli esiti del monitoraggio strutturale. In altri e più chiari termini, in un quadro di risultanze del monitoraggio che risultasse silente dal punto di vista di segnali di malfunzionamento statico, a detta periodicità che può essere assegnata una base di cinque anni.*

*Viceversa, confermata l’anomalia dei termini “globali” anche sul versante di quelli puntuali dei confronti comparativi anzidetti, i tecnici incaricati possono decidere di procedere all’esecuzione di una valutazione della consistenza statica dell’organismo strutturale seguendo la procedura prevista in sede di O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 e s.m.i., al cap. 11: “Edifici Esistenti”. In particolare per quanto riguarda il numero di campioni di calcestruzzo da estrarre in opera mediante carotaggio e da sottoporre a prove di compressione ed all’estensione delle indagini NdT (tale livello di accertamento si può indicare come di TERZO STADIO).*

*Qui si vuole mettere in evidenza come la procedura proposta nella presente nota sfoci naturalmente in quella prevista e disciplinata dall’O.P.C.M., richiamata poc’anzi. Ne forma una sorta di premessa metodologica, con un fondamento di innovazione tecnologica profondo ed un riflesso importante in termini di risparmio di risorse da impiegare per gli interventi di diagnosi e manutenzione strutturali.*

*Le indagini condotte e basate sul prelievo di campioni di calcestruzzo in opera potranno essere, infatti, mirate e non interessare l'intero organismo strutturale come oggi spesso accade (con particolare riferimento, come attestato dall'esperienza degli Autori, all'ambito di edifici scolastici).*

*Il monitoraggio "continuo" e l'esecuzione di indagini NdT consente in modo agile e con impiego di risorse limitate, di tenere sotto controllo l'efficienza statica della struttura, intervenendo con immediatezza solo quando ciò si appalesa come necessario, con una procedura di valutazione e di manutenzione delle membrature resistenti che obbedisce a codici procedurali ed operazionali che hanno già una riconosciuta configurazione normativa e di letteratura tecnica.*

*Quella proposta si ritiene essere una metodologia che può portare a migliorare il controllo della funzionalità statica e a ridurre complessivamente i costi, vale a dire con riferimento all'intera vita utile della struttura.*

## **5. Conclusioni**

*In questa nota si presenta una procedura per il controllo dell'efficienza statica degli organismi edilizi in c.a. di nuova realizzazione. Tale procedura integra l'esecuzione di indagini NdT eseguite su prototipi del materiale calcestruzzo preordinato a formare le strutture resistenti, con il monitoraggio strutturale eseguito tramite sensori a fibra ottica, disposti a costituire un sistema residente nella struttura, nella fase della sua realizzazione.*

*Tale procedura configura stadi di accertamento precedente a quello contemplato dalla normativa in vigore con riferimento agli edifici esistenti e consente di procedere ad ulteriori livelli di accertamento con maggiore cognizione, risparmio in termini di costi e soprattutto con tempestività rispetto ad eventuali disfunzioni.*

*Quest'ultimo aspetto ne costituisce il tratto essenziale, risultando una metodologia di controllo non più ancorata ad un singolo evento, bensì periodizzata già in sede di progettazione dell'edificio e resa eseguibile con una cadenza che può essere assimilata ad un rilevamento continuo, circostanza che rende possibile interventi di manutenzione mirati e tempestivi, con sensibili benefici in termini di economia di risorse.*

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] UNI EN 12390-2:2002, Prova sul calcestruzzo indurito – Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza.
- [2] UNI EN 12390 - 3:2003, Prova sul calcestruzzo indurito – Resistenza alla compressione dei provini.
- [3] UNI EN 12504 - 2:2001, Calcestruzzo indurito. Determinazione dell'indice di rimbalzo.

- [4] UNI EN 12504 - 4:2005, *Calcestruzzo indurito. Determinazione della velocità ultrasonora.*
- [5] 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.*
- [6] Vito Alunno Rossetti, *Il Calcestruzzo – Materiali e tecnologia, McGraw-Hill Libri Italia s.r.l., Milano 2003.*
- [7] Mario Collepari, *Il Nuovo Calcestruzzo, Seconda Edizione, Edizioni Tintoretto, Villorba (TV), 2002.*
- [8] Roberto Giacchetti, Stefano Bufarini, Vincenzo D'Aria, *Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura, EPC Libri s.r.l., Roma 2005.*
- [9] Raymond M. Measures, *Structural monitoring with fiber optic technology, Academic Press, 2001.*
- [10] Paolo Guidi, *Fibre ottiche, Manuali di elettronica applicata, n. 70, Franco Muzzio & C. editore s.p.a., Padova 1989.*
- [11] F. Braga, M. Dolce, A. Masi, D. Nigro, *Valutazione delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi di bassa resistenza mediante prove non distruttive, L'Industria Italiana del Cemento n°3, 1992, pp. 201-208.*
- [12] G. Menditto, S. Bufarini, Vincenzo D'Aria, Michele Massaccesi, *Nuove curve di correlazione per sclerometro, ultrasuoni e metodo combinato, In Concreto n° 57, marzo/aprile 2004, pp. 84-89.*
- [13] A. Masi, *La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive, Il Giornale delle Prove non Distruttive. Monitoraggio Diagnostica, Anno XXVI, n° 1, aprile 2005, pp. 23-31.*
- [14] G. Porco, *Monitoraggio e Diagnostica su edifici in stato di dissesto, Relazione su invito, Giornata di Studio AICAP-AIPND, Roma 22 Novembre 2001.*
- [15] M. Cetraro, S. De Paola, M. Massaccesi, G. Menditto, G. Porco, *Curve di correlazione per il controllo della affidabilità dei calcestruzzi ordinari, Atti del convegno "Calcestruzzi autocompattanti: progettazione, produzione e controlli sperimentali", Centro Studi e Ricerche "Sposato P&P s.r.l.", Sibari (CS), 9 novembre 2003.*
- [16] G. Menditto, S. Bufarini, V. D'Aria, G. Porco, *Curve di correlazione per il controllo dell'affidabilità dei calcestruzzi mediante indice di rimbalzo e velocità ultrasonora, Giornate AICAP 2004, 23° Convegno Nazionale, Verona 26-29 maggio 2004, Patron Editore.*
- [17] G. Menditto, S. Bufarini, V. D'Aria, G. Porco, *Riflessioni sul metodo combinato ultrasuoni-sclerometro (Sonreb), 15° convegno C.T.E., Bari 4-6 novembre 2004.*
- [18] G. Porco, *Valutazione dello stato di consistenza di edifici in c.a. mediante monitoraggio strutturale, Giornata di Studio "Monitoraggio edifici strategici, ponti, gallerie", Napoli, Città della Scienza, 10 novembre 2006.*