

## **LE STRUTTURE IN C.A. E MURATURA PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA:**

### **MANUTENZIONE, CONTROLLI E VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SECONDO LE NTC08**

G. Porco\* – G.F. Valer Montero\*

\* Università della Calabria, Dipartimento di Strutture, Facoltà di Ingegneria  
[a.porco@sismilab.it](mailto:a.porco@sismilab.it) [giuliafvalerm@gmail.com](mailto:giuliafvalerm@gmail.com)

#### **Sommario**

Il presente lavoro, illustrato nell'ambito della manifestazione di Ceresole Reale, è incentrato principalmente sulle modifiche apportate dal nuovo riferimento normativo, in merito ai controlli e le verifiche di sicurezza, sulle strutture esistenti, sia esse in muratura che in calcestruzzo armato, nonché sulla importanza che rivestono oggi nel nuovo quadro normativo, i controlli NDT. Appare importante sottolineare come finalmente, il contesto tecnico-legislativo, assegni la dovuta importanza alle strutture esistenti, definendo percorsi univoci e ben chiari circa la verifica della loro affidabilità statica e quella sismica, e come tale nuovo inquadramento possa avere dei risvolti positivi in termini di sicurezza su immobili esistenti di valenza strategica, quali quelli deputati alla produzione dell'energia.

#### **1. Introduzione**

Il patrimonio edilizio esistente in Italia è sempre stato intrinsecamente fonte di problematiche estremamente complesse per gli operatori del settore, sia in termini di valutazione della affidabilità statica, sia in termini di predisposizione di opportuni interventi di recupero e consolidamento, generati nella quasi totalità dei casi in modo avulso da piani manutentivi pressoché inesistenti.

A questa carenza di informazioni di base, sulla disciplina del bene nelle fasi di esercizio, si sommano variabili legate, alla pericolosità territoriale dovute alla alta sismicità o alla presenza di aree in dissesto idrogeologico, che da sempre hanno prodotto di fatto, una amplificazione della complessità del problema, inducendo ove presenti, apprezzabili riduzioni dei coefficienti di sicurezza.

Pertanto, da un lato per l'elevata vulnerabilità, dall'altro anche per il valore storico-architettonico-artistico-ambientale di gran parte del patrimonio edilizio esistente, la valutazione della sicurezza in Italia ha sempre prodotto interrogativi e difficoltà sia decisionali che operative. Queste difficoltà, legate anche alla mancanza di adeguati riferimenti normativi, prima dell'entrata in vigore delle NTC08, sono state particolarmente sentite per gli edifici strategici e ancor di più per gli

edifici strategici dedicati alla produzione dell'energia. Questa categoria di edifici, per le particolari condizioni d'uso ed anche per i diversificati regimi di sforzo che si presentano per intensità e per ripetitività, non solo necessita di procedure di controllo per valutarne l'affidabilità statica, in condizioni di esercizio o a valle di particolari condizioni di carico accidentali, ma più di ogni altro organismo strutturale richiede, l'attivazione di un piano manutentivo basato su controlli periodici strutturali e materici.

Il vuoto normativo avuto in passato, sui controlli di affidabilità degli edifici in caso di degrado dei materiali, o di chiare condizioni di crisi delle strutture portanti, con l'entrata in vigore del nuovo testo unico viene finalmente colmato [1], [2]. Infatti una intera sezione è dedicata alla valutazione della sicurezza dell'esistente, definendo modalità di approccio e metodologia di trattamento di strutture che, il più delle volte sono carenti per disponibilità di elaborati ufficiali, o in altre circostanze in cui, la documentazione tecnica è in chiara difformità dall'esistente.

Altro argomento chiarificatore, inserito nel nuovo quadro normativo, è quello relativo alle indagini da eseguire sia di tipo distruttivo che non distruttivo. La norma, elenca le metodologie sperimentali da utilizzare, chiarendone i limiti e la consistenza numerica da applicare sul campo, introducendo finalmente una premialità al livello di conoscenza raggiunto, consentendo di utilizzare coefficienti di sicurezza ridotti per i materiali, nei casi in cui il livello di investigazione è finalizzato ed esaustivo. Viceversa, nel caso in cui le indagini sono ridotte in numero e scarsamente finalizzate, il fattore di confidenza aumenta e pertanto l'incidenza economica degli interventi di recupero o di adeguamento sismico inevitabilmente aumenta.

Nel presente lavoro pertanto, analizzata la modalità operativa per il controllo dell'esistente sugli edifici in c.a e muratura prima dell'entrata in vigore della nuove norme, si passerà ad analizzare un protocollo procedurale di verifica in aderenza alle NTC 08 e successivamente verranno richiamate alcune tecniche NDT utili alla verifica in situ delle caratteristiche meccaniche di materiali.

## **2. Strutture in c.a. e in muratura esistenti: stato dell'arte prima delle NTC08**

La verifica di idoneità statica di una struttura, così come il controllo periodico di efficienza in stato di esercizio di un edificio, è sempre stato in passato un argomento estremamente ostico e abbastanza esterno al percorso formativo degli ingegneri civili. Il più delle volte il controllo di efficienza statica su un'opera, si innescava a seguito di evidenti condizioni di degrado, associate anche a marcati quadri fessurativi, ma mai come attività *routinaria*.

La causa di questa mancanza formativa è forse insita nella giovane vita del calcestruzzo armato, che risale agli inizi del novecento e forse anche alla consapevolezza degli ingegneri

strutturisti, rivelatasi poi errata, che le strutture progettate avessero durata infinita e fossero indistruttibili [3].

Il patrimonio edilizio italiano, così come le opere strategiche e ancor di più quelle strategiche deputate alla produzione dell'energia, nell'ultimo ventennio hanno evidenziato una perdita di consistenza, con conseguente riduzione dei coefficienti di sicurezza, dovuta principalmente alla assoluta mancanza di un piano programmato di controllo e manutenzione. Gli operatori del settore il più delle volte in passato, si sono imbattuti in problematiche con richieste di giudizio circa la possibilità d'uso di edifici, sui quali non erano note, le caratteristiche dei materiali all'epoca della realizzazione e tantomeno quelle relative allo stato attuale.



*Figura n°1 - Centrale idroelettrica di Satriano (CZ)*

Inoltre la verifica di affidabilità veniva eseguita a volte, dal tecnico incaricato, con riferimento alla norma vigente all'epoca della realizzazione della struttura, per asseverare la qualità di quanto realizzato e in altre circostanze, addirittura con riferimento a quadri normativi successivi rispetto all'epoca di realizzazione, giustificando il passaggio tecnico come obbligato per prevedere un eventuale adeguamento strutturale al tempo attuale.



*Figura n°2 - Centrale idroelettrica di Carona (BG)*

La valutazione in opera delle caratteristiche meccaniche dei materiali avveniva in passato con modalità sperimentali e numeriche, definite il più delle volte dal tecnico incaricato, che utilizzava, come elemento guida di comparazione, quanto contenuto nelle norme tecniche per le strutture di nuova realizzazione. In questo ambito, ampio uso è stato fatto delle tecniche NDT sui calcestruzzi e sulle murature, eludendo molto spesso le correlazioni sugli effettivi parametri meccanici dei materiali in situ e senza disporre di una precisa quantificazione delle attività sperimentali da eseguire, rapportate percentualmente ai mq di superficie di edificio o di membrature da investigare.

Appare chiaro che, prima dell'entrata in vigore del nuovo riferimento normativo, non vi fosse un riferimento metodologico definito sul percorso tecnico da seguire, inoltre mancava un parametro valutativo, sul livello di conoscenza raggiunto per emettere il giudizio. Ancora più penalizzante, nel percorso di conservazione delle strutture e questo, sia per il nuovo che per l'esistente, la totale mancanza di un piano di controllo e di manutenzione che potesse prevenire i danni prima di rendere imprescindibile l'intervento di consolidamento.

### **3. La valutazione della sicurezza secondo le NTC08**

Con l'entrata in vigore della nuova normativa, la NTC08, molti dei vuoti normativi e tecnici, evidenziati precedentemente, vengono colmati con la presenza di precisi riferimenti metodologici e procedurali.

Innanzitutto vengono introdotti, il concetto di livello di conoscenza (relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali) e il fattore di confidenza, quest'ultimo modifica sostanzialmente i parametri di capacità meccanica dei materiali da utilizzare nell'ambito della verifica, in funzione del livello di conoscenza raggiunto.

Sono inoltre chiarite le reali situazioni nelle quali è necessario effettuare la valutazione della sicurezza, e vengono individuate tre categorie di intervento; adeguamento, miglioramento e riparazione. Per quanto attiene più specificatamente alla valutazione della sicurezza, con essa bisogna principalmente stabilire se una struttura esistente è in grado o meno di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle NTC, e determinare l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste dal nuovo quadro normativo, che la struttura è capace di sostenere.

Le NTC individuano poi due categorie, per le quali è obbligatorio effettuare la verifica di sicurezza, acclarata una evidente riduzione dei coefficienti di sicurezza rispetto all'epoca di costruzione:

- variazioni, improvvise o lente, indipendenti dalla volontà dell'uomo (ad esempio: danni dovuti al terremoto, a carichi verticali eccessivi, a urti, etc., danni dovuti a cedimenti fondali,

degrado delle malte nella muratura, corrosione delle armature nel c.a., etc., errori progettuali o esecutivi, incluse le situazioni in cui i materiali o la geometria dell'opera non corrispondano ai dati progettuali);

- variazioni dovute all'intervento dell'uomo, che incidano direttamente e volontariamente sulla struttura oppure sulle azioni (ad esempio: aumento dei carichi verticali dovuto a cambiamento di destinazione d'uso), o che incidano indirettamente sul comportamento;

La verifica effettuata dovrà naturalmente produrre una serie di provvedimenti da adottare, per garantire l'uso della struttura nel rispetto dei criteri di sicurezza, includendo altresì eventuali limitazioni anche alla destinazione d'uso.

La norma, ed in particolare la circolare esplicativa, è poi abbastanza pragmatica sulla definizione delle prescrizioni e dei tempi entro cui effettuare gli interventi, distinguendo due livelli di attenzione e cioè: *i provvedimenti sono necessari e improcrastinabili nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio; nel momento in cui si manifesti l'inadeguatezza di un'opera rispetto alle azioni ambientali, non controllabili dall'uomo e soggette ad ampia variabilità nel tempo ed incertezza nella loro determinazione, non si può pensare di imporre l'obbligatorietà dell'intervento o del cambiamento di destinazione d'uso o, addirittura, la messa fuori servizio dell'opera. Le decisioni da adottare dovranno necessariamente essere calibrate sulle singole situazioni (in relazione alla gravità dell'inadeguatezza, alle conseguenze, alle disponibilità economiche e alle implicazioni in termini di pubblica incolumità). Saranno i proprietari o i gestori delle singole opere, siano essi enti pubblici o privati o singoli cittadini, a definire il provvedimento più idoneo, eventualmente individuando uno o più livelli delle azioni, commisurati alla vita nominale restante e alla classe d'uso, rispetto ai quali si rende necessario effettuare l'intervento di incremento della sicurezza entro un tempo prestabilito.*

Per quanto attiene più specificatamente alle azioni che il tecnico dovrà porre in essere per effettuare la valutazione della sicurezza, la norma fornisce una serie di precisi riferimenti su come condurre, sia le fasi conoscitive e di indagine sperimentale sui materiali [4] [5], che di calcolo. In letteratura, in aderenza a quanto disposto dalla norma, sono disponibili dei protocolli procedurali sia per gli edifici in muratura che per le strutture in c.a. Nel rispetto delle NTC08, uno dei protocolli utilizzabili per le strutture in calcestruzzo armato e proposto con la presente nota è il seguente:

## **Protocollo Procedurale**

### **Fase I**

- a) Ricognizione sullo stato dei luoghi;
- b) Attività decisionale relativa alla messa in sicurezza di aree e parti strutturali;

- c) Attività di reperimento della documentazione disponibile;
- d) Analisi della documentazione disponibile;
- e) Attività decisionale relativa all'orientamento dei rilievi geometrici strutturali;
- f) Rilievi geometrico-strutturali;

#### **Fase II**

- g) Definizione del piano di indagine;
- h) Esecuzione delle indagini visive;
- i) Esecuzione delle indagini magnetometriche;
- j) Esecuzione delle indagini ultrasonore e/o sclerometriche e/o penetrazione e/o estrazione;
- k) Esecuzione delle indagini di caratterizzazione meccanica sugli acciai e sul cls;
- l) Definizione degli organismi strutturali e materici da sottoporre a verifica;

#### **Fase III**

- m) Verifica di sicurezza determinazioni tecniche;

Per quanto attiene alle strutture murarie la procedura da seguire è sostanzialmente identica a quella delle strutture in c.a. Naturalmente cambieranno le tecniche di caratterizzazione meccanica in situ, in questo caso specializzate per la muratura [6]; inoltre particolare enfasi dovrà essere dedicata alla presenza di eventuali stati di dissesto da monitorare opportunamente, per scongiurare situazioni di crisi locale o globale, vista la natura fragile del materiale e dell'organismo strutturale [7].

Appare evidente che nella procedura di verifica per strutture in c.a o muratura, vista la premialità assegnata in termini di riduzione indiretta dei costi di intervento, piena centralità è conferita alle indagini di caratterizzazione dei materiali in situ sia esse distruttive che non distruttive.

In particolare l'uso di tecniche NDT opportunamente tarate con valori di riferimento ottenuti in situ, costituiscono un formidabile strumento per ampliare il quadro delle conoscenze sul manufatto sia esso in muratura che in c.a., con una ottimizzazione dei costi, una bassa invasività, e con l'unico obiettivo di incrementare i livelli di sicurezza strutturale e di prolungare nel rispetto delle norme la vita utile della struttura.

#### **4. Tecniche NDT per il controllo dei materiali**

La centralità della caratterizzazione sperimentale dei materiali, nel percorso delle verifiche di affidabilità è implicitamente contenuto nel nuovo riferimento normativo, dove, accanto alle tecniche sperimentali distruttive, quali il carotaggio per il calcestruzzo e la realizzazione di prototipi in laboratorio per le murature, appaiono le tecniche NDT. Al fine di fornire qualche considerazione

utile allo sviluppo del processo di verifica, nella sezione seguente verranno illustrati alcuni metodi di indagine tra quelli maggiormente diffusi, rimandando a testi specifici sull'argomento per maggiori e sicuramente più utili approfondimenti.

#### **4.1 Tecniche NDT per il controllo del calcestruzzo armato in opera**

Una delle maggiori difficoltà in cui si imbatte il tecnico nella esecuzione delle verifiche di affidabilità sulle strutture in c.a., è sicuramente quella di caratterizzare i calcestruzzi in opera. La valutazione dei parametri di resistenza a compressione per calcestruzzi presenti sulle membrature portanti, quali travi e pilastri, ovviamente involve problematiche di omogeneità dei campioni investigati, dello stato di conservazione delle superfici e della presenza delle armature e del loro stato di conservazione. In questo contesto per brevità di seguito verranno citate solo due delle metodologie più diffuse di indagine, rimandando anche in questo caso a testi specifici utili approfondimenti.

La prima, l'indagine magnetometrica è la tecnica propedeutica a qualsiasi accertamento sui calcestruzzi, con essa infatti è possibile in modo non invasivo risalire alla presenza delle barre d'armatura, al loro diametro e al loro copriferro. La seconda, è invece una tecnica NDT di valutazione dei parametri meccanici propri del calcestruzzo, con finalità principalmente comparativa.

##### **4.1.1 Indagine magnetometrica**

L'indagine magnetometrica si esegue attraverso l'utilizzo del pacometro. Il pacometro è uno strumento digitale che permette di rilevare in maniera non distruttiva la presenza, la direzione e il diametro delle barre di armatura all'interno di elementi in calcestruzzo armato e permette, inoltre, la misura dello spessore del copriferro e l'interferro dei tondini di acciaio.



*Figura n°3 – Pacometro*

In una prima fase la sonda di ricerca, contenente due bobine, riceve un impulso di corrente che provoca un campo magnetico che magnetizza la barra di armatura e vi induce delle correnti parassite (correnti di Foucault); esaurito l'impulso, le correnti parassite iniziano a dissolversi creando un campo magnetico di intensità ridotta quale "eco" dell'impulso iniziale. Le bobine, che si trovano all'interno della sonda, misurano la forza del campo man mano che questo si dissolve; il segnale di ritorno viene subito elaborato, per cui si è in grado di fornire la misura del relativo copriferro. L'intensità del valore ricevuto, relativo all'eco delle correnti parassite è direttamente proporzionale alla dimensione della barra, alla distanza della stessa dalla sonda (spessore del copriferro) e all'orientamento della sonda rispetto alla barra, da cui è possibile risalire alla direzione delle armature.



*Figura n°4 – Indagine Magnetometrica*

#### **4.1.2 Metodo ad Ultrasuoni**

Gli ultrasuoni sono delle vibrazioni che si propagano nel materiale con frequenze inferiori a quelle nel campo dell'udibile. Attraverso questi rilievi ultrasonici si deduce la velocità virtuale di propagazione degli impulsi dallo spessore del materiale attraversato e dal tempo impiegato. Da essa si possono trarre informazioni su:

- Omogeneità del calcestruzzo;
- Difetti di getto;
- Rilievo di spessori;
- Variazione delle proprietà causate dal degrado sul manufatto;
- Modulo elastico;
- Stima della resistenza del calcestruzzo attraverso opportune tarature con valori di resistenza ottenuti dai carotaggi.





Figura n°5 – Strumentazione ad ultrasuoni

Per effettuare la misura dei tempi di propagazione degli impulsi di vibrazione, i trasduttori possono essere disposti in tre diverse posizioni (figura n° 6) e le metodologie di lettura sono definite:

- Metodo di trasmissione diretta;
- Metodo di trasmissione semidiretta;
- Metodo di trasmissione indiretta.

Una volta effettuata la misura delle velocità è possibile risalire ad alcune indicazioni sulla qualità generale del calcestruzzo.

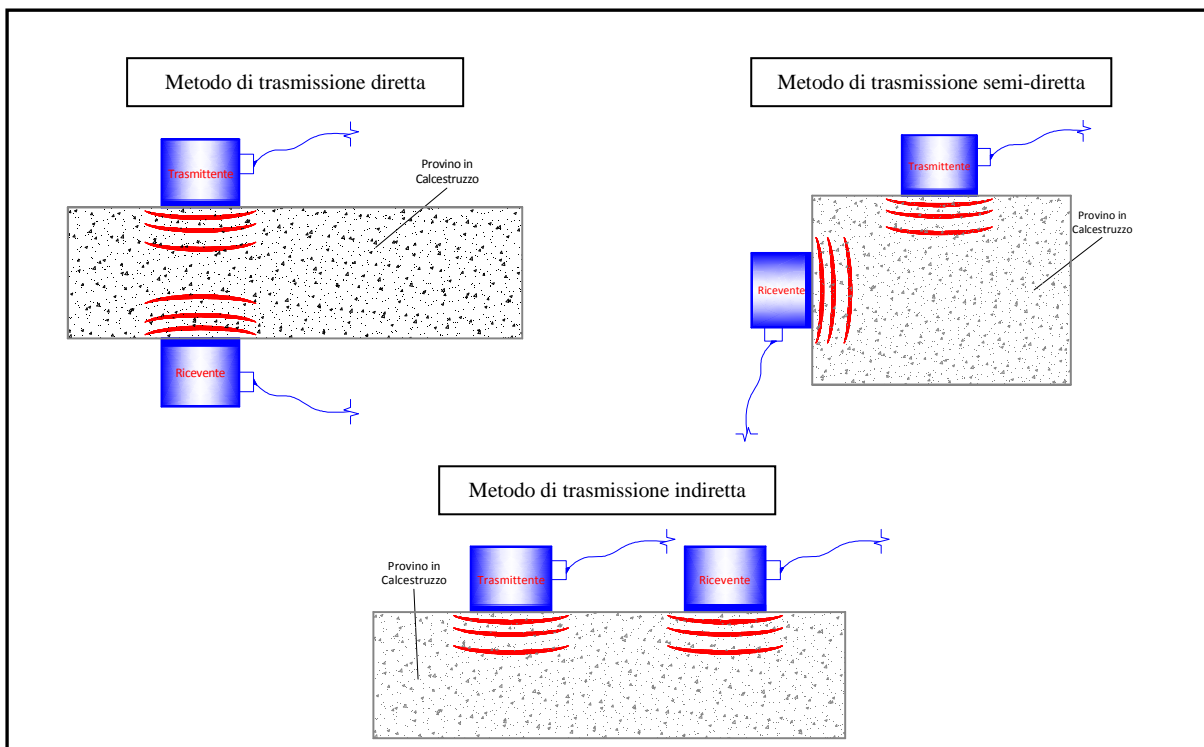


Figura n° 6 – Metodi di trasmissione

## 4.2 Tecniche NDT per il controllo della muratura in opera

Tra le tecniche maggiormente diffuse di caratterizzazione meccanica in opera delle murature e classificate come metodologie NDT, piena centralità riveste la tecnica dei martinetti piatti. Attraverso il suo impiego è possibile valutare sperimentalmente, alcuni parametri meccanici della muratura e di stabilire l'impegno statico delle pareti portanti.

In particolare, la tecnica basata sull'impiego di un singolo martinetto consente di determinare lo stato tensionale di esercizio cui è sottoposta la muratura, mentre con l'uso di due sacche metalliche è possibile realizzare una prova di compressione in situ per valutare, la tensione di rottura ed il modulo elastico del complesso muratura. La possibilità di identificare tali grandezze, assume una importanza rilevante in fase di verifica di sicurezza e di successiva progettazione, specialmente per gli interventi di recupero, restauro e di adeguamento sismico. In pratica la conoscenza dei moduli elastici e dei valori delle tensioni di prima fessurazione o di rottura, permettono al tecnico progettista di poter effettuare il calcolo dell'edificio in esame per le svariate condizioni di carico e di poter eseguire le verifiche, valutando i coefficienti di sicurezza con valori reali e relativi alla muratura in situ.

### 4.2.1 Prova a martinetto singolo

La prova a martinetto singolo è finalizzata alla determinazione dello stato di sollecitazione presente, per effetto del regime tensionale normale. A seguito dell'annullamento del regime tensionale, dovuto all'esecuzione di un taglio, si produce una variazione geometrica della distanza dei punti relativi alle basi. In particolare tale annullamento di tensione provoca una convergenza di tali punti.

Con l'inserimento del martinetto e il conseguente aumento della pressione interna, si ripristina la distanza originaria, giungendo a valutare, a meno di due costanti, la tensione presente nella muratura.

I fattori di correzione, ossia le costanti da portare in conto, sono: il rapporto tra l'area del martinetto e l'area di taglio identificata con  $K_a$ , e la costante di rigidità intrinseca del singolo martinetto fornita dalla casa produttrice e determinata con test di taratura in laboratorio identificata con  $K_m$ .

In definitiva, la tensione media di esercizio  $\sigma_e$ , nella zona di prova, risulta legata alla pressione di ripristino del martinetto dalla relazione:

$$\sigma_e = p \times K_m \times K_a$$



*Figura n°7 – Prova a martinetto singolo*

#### **4.2.2 Prova a martinetto doppio**

L'indagine con martinetto doppio ha lo scopo di definire le caratteristiche meccaniche della muratura, determinando, il Modulo Elastico, la tensione di prima fessurazione e la tensione ultima.

Con i tagli che si effettuano sulla muratura si riesce ad isolare un prisma di materiale, sufficientemente grande per sottoporlo, grazie all'ausilio dei due martinetti, ad un carico di compressione noto.



*Figura n°8 – Prova a martinetto doppio*

Appare evidente dalla figura n° 8 che, aumentando successivamente la pressione, si provoca la compressione del concio con la conseguente diminuzione della distanza tra i riferimenti. Le letture delle distanze relative alle tre coppie consentono di ottenere, unitamente alla pressione dei martinetti opportunamente corretta, delle curve tensioni/deformazioni.

Con l'ausilio di tali diagrammi è possibile estrarre i valori dei moduli elastici, individuare, alla perdita di linearità, la tensione di prima fessurazione e infine, per crescite di deformazioni elevate, corrispondenti a bassi incrementi di tensione valutare le tensioni ultime.

## 5. Conclusioni

Da quanto esposto nelle sezioni precedenti è evidente come, le nuove norme NTC 08 pongano dei rimedi e forniscano utili informazioni, nei riguardi della valutazione della affidabilità strutturale degli edifici esistenti. Inoltre, seppur in ritardo di qualche decennio, rispondono a problematiche aperte, relative alla perdita di affidabilità nel tempo dei materiali, al loro decadimento in termini di parametri meccanici, ed alla conseguente riduzione dei coefficienti di sicurezza delle membrature portanti degli edifici strategici.

Fondamentale, in questo processo di svolta culturale e di innalzamento delle conoscenze nei riguardi della affidabilità e della sicurezza, è l'indagine sperimentale. Attraverso le tecniche NDT, ampiamente valorizzate dal nuovo testo normativo, è infatti possibile analizzare materiali e strutture e con costi contenuti acquisire conoscenze utili a salvaguardare la vita umana.

## Bibliografia

- [1] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – *Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”* – G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30.
- [2] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – *Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008* – G.U. n. 47 del 26 febbraio 2009, Supplemento Ordinario n. 27.
- [3] C. Dentamaro, G. Uva, F. Porco, G. Porco – *“Prestazione delle prime realizzazioni in calcestruzzo armato: una esperienza di diagnostica applicata al patrimonio delle ferrovie Appulo-Lucane a Bari”*, 15° Congresso C.T.E., Bari, 4-5-6 Novembre 2004.
- [4] G. Menditto, S. Menditto – *Indagini semidistruttive e non distruttive nell'ingegneria civile: disciplina tecnica, applicativa e normativa* – Pitagora editrice, Bologna, 2008.
- [5] Porco G., Romano D., - *“Tecniche sperimentali per la caratterizzazione meccanica delle murature in situ”*. Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica. 11° Congresso Nazionale AIPnD, 13-15 Ottobre 2005 Milano.
- [6] R. Codispoti, R.S. Olivito, G. Porco – *“L'uso di tecniche sperimentali per la caratterizzazione meccanica della muratura nell'ambito dell'analisi di adeguamento sismico”*. Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica. Firenze 2011.
- [7] G. Porco, G. Uva, F. Porco – *“Reliability analysis for non standard masonry systems under seismic loading”*. Paper N° 1601, 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, August 1-6 2004.