

Atti del Convegno su

# **Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture del Politecnico di Torino 1990-2018: Una Fucina di Idee per oltre un Quarto di Secolo**

23 Novembre 2018  
Salone d'Onore del Castello del Valentino  
Torino



A cura di  
**Alberto Carpinteri e Giuseppe Lacidogna**





Atti del Convegno su

**Il Dottorato di Ricerca  
in Ingegneria delle Strutture  
del Politecnico di Torino 1990-2018:  
Una Fucina di Idee  
per oltre un Quarto di Secolo**

23 Novembre 2018

Salone d'Onore del Castello del Valentino  
Torino



A cura di  
Alberto Carpinteri e Giuseppe Lacidogna

A cura di: Alberto Carpinteri e Giuseppe Lacidogna  
*Atti del Convegno su:*  
*Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture*  
*del Politecnico di Torino 1990-2018:*  
*Una Fucina di Idee per oltre un Quarto di Secolo*

*Impaginazione e stampa:*  
AGT Aziende Grafiche Torino s.r.l. - Collegno (TO)  
Maggio 2022

© 2022 Politecnico di Torino

ISBN 978-88-85745-79-7

I diritti di riproduzione, di memorizzazione e di adattamento totale o parziale  
con qualsiasi mezzo sono riservati

## INDICE

- 7      **Prefazione/Foreword**  
*Alberto Carpinteri*
- 15     **Elenco Dottori di Ricerca 1994-2018**
- 33     **Programma del Convegno**
- 37     **Dall'esperienza del dottorato all'impegno nell'università**  
*Giuseppe Lacidogna*
- 49     **Reflections on graduate school**  
*Roberta Massabò*
- 57     **Dalle istruttive correzioni di bozze del prof. A. Carpinteri alla medaglia  
A.A. Griffith**  
*Nicola M. Pugno*
- 67     **Seismic risk and protection of built heritage: The role of structural  
health monitoring**  
*Rosario Ceravolo et al.*
- 75     **La sicurezza degli sbarramenti: Nuovi orientamenti normativi**  
*Fabrizio Barpi*
- 85     **Dal Dottorato di Ricerca sulla durabilità dei materiali consolidanti al  
cantiere di restauro della Reggia di Venaria**  
*Alessandro Grazzini*



## Prefazione

Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture del Politecnico di Torino fu istituito nel 1990 dalla convergenza di due diversi Settori Scientifico-Disciplinari: Scienza delle Costruzioni (ICAR/08) e Tecnica delle Costruzioni (ICAR/09). La discussione finale per la sua istituzione si svolse nell'ambito del Consiglio di Dipartimento del DISTR (Dipartimento di Ingegneria Strutturale). La delibera non fu unanime poiché alcuni colleghi temevano che questa nuova istituzione potesse produrre nuovo precariato. Fortunatamente le cose sono in seguito andate in modo diverso, creando al contrario un volano per nuove opportunità, attività e competenze. Oggi possiamo tranquillamente affermare che il DISEG (Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica) si regge in massima parte sulle competenze e le attività di coloro che si sono formati nell'ambito del suddetto Corso di Dottorato.

Il nostro obiettivo è stato sempre quello di formare tecnici di livello superiore e giovani studiosi, pronti non solo a gestire, ma anche a promuovere l'innovazione. A causa della mancanza in Italia di una precedente ed analoga esperienza curricolare (la Legge 382 che istituisce il Dottorato di Ricerca è del 1980), i primi anni del nostro dottorato sono stati dedicati alla definizione dei diversi indirizzi scientifici e al perfezionamento della relativa offerta formativa di Terzo Livello. Le principali linee di ricerca erano inizialmente costituite dalla meccanica della frattura, dalle tecniche diagnostiche e dalla progettazione strutturale avanzata delle opere in calcestruzzo armato e pre-compresso. Oggi, dopo quasi trent'anni di attività, l'offerta delle tematiche di ricerca si è arricchita notevolmente, assumendo un carattere interdisciplinare: dall'analisi di stabilità --anche in regime dinamico-- delle strutture di grande luce o altezza (ponti sospesi, coperture ribassate, grattacieli, etc.) al comportamento meccanico dei materiali innovativi, con interfacce tra le diverse fasi (compositi). Problemi tradizionali, come l'aderenza tra superfici scabre o la fatica sotto carichi ciclici, sono efficacemente affrontati mediante i concetti della Geometria Frattale e della Teoria del Gruppo di Rinormaliz-

zazione, al pari di un argomento di frontiera come quello rappresentato dai materiali gerarchici e bio-ispirati. Gli effetti di scala sulla duttilità delle strutture in calcestruzzo armato sono stati sistematicamente analizzati, così come le implicazioni meccaniche delle più avanzate tecniche di consolidamento. Molto impegno è stato inoltre rivolto alle tecniche di diagnosi e monitoraggio e, in particolare, ad un approccio basato sulle emissioni acustiche, così come alle tecniche di costruzione anti-sismica, alla identificazione strutturale dinamica e al comportamento visco-elastico dei conglomerati cementizi.

Il Corso si propone di formare figure di alto profilo nel campo delle costruzioni, delle infrastrutture e dei materiali di interesse strutturale. Gli obiettivi formativi puntano alle tecniche computazionali di simulazione numerica, così come alla sperimentazione avanzata (in situ e in laboratorio).

Il Corso di Dottorato in Ingegneria delle Strutture del Politecnico di Torino, per la specificità e la rilevanza che lo hanno sempre contraddistinto, avrebbe giustamente ambito a mantenere la propria autonomia. Dal 2015 è peraltro iniziato un transitorio che lo porta a trasformarsi in tre delle otto aree che costituiscono il nuovo Corso di Dottorato in Ingegneria Civile e Ambientale.

Gli sbocchi occupazionali del nostro dottorato sono quelli riflessi dalla concreta collocazione sul mercato del lavoro dei Dottori di Ricerca in Ingegneria delle Strutture usciti dalla nostra Scuola durante gli ultimi venticinque anni (1994-2018). Su un totale esatto di 100 Dottori di Ricerca usciti dal nostro corso, 24 sono oggi Professori Universitari di Ruolo (6 Ordinari e 18 Associati), 21 sono Ricercatori Universitari di Ruolo (RTI o RTDB), 13 sono Ricercatori a Contratto (RTDA o Assegnisti di Ricerca), 21 sono Dirigenti o Funzionari in Aziende Pubbliche o Private, 21 sono Liberi Professionisti o Imprenditori. E' interessante quindi osservare come il 45% sia già attualmente di ruolo presso Università Italiane o straniere (Torino, Genova, Trento, Parma, Messina, Lucca, Lugano, Amman, Tianjin, etc.), mentre questa percentuale sale sino al 58% considerando anche il personale universitario precario. E' pure interessante sottolineare come la frazione dei nostri Dottori di Ricerca oggi attivi nel mondo delle professioni e dell'impresa si sia attestata al 42% del totale, testimoniando così la positiva interazione tra il mondo delle applicazioni e il mondo accademico.

Registriamo inoltre che il 20% del totale dei Dottori di Ricerca è di genere femminile, e che il 15% non ha la cittadinanza Italiana. Ultima distinzione che vale la pena fare è quella informale tra Tutori di Scienza delle Costruzioni e Tutori di Tecnica delle Costruzioni. Il primo settore prevale leggermente sul

secondo (60% vs 40%), rivelandosi più attrattivo nell'ambito degli Studi di Terzo Livello.

Tali risultati, eccellenti sia quantitativamente che qualitativamente, sono stati raggiunti in base ad una selezione attenta delle persone, che ha valutato sia il livello di preparazione che la natura delle motivazioni (arruolamento in base al merito), e grazie alla capacità dei docenti del collegio di attrarre e indirizzare i Dottorandi in modo ottimale, confermando coerentemente gli stessi principi ispiratori, e, allo stesso tempo, assecondando i talenti e le inclinazioni dei singoli.

Desidero qui ringraziare sentitamente le Autorità che ci hanno fatto l'onore di intervenire alla Cerimonia di Apertura del Convegno su "Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture del Politecnico di Torino 1990-2018: Una Fucina di Idee per oltre un Quarto di Secolo", svoltosi presso il Salone d'Onore del Castello del Valentino, il giorno 23 Novembre, 2018: Prof. Patrizia Lombardi (Prorettore del Politecnico di Torino), Prof. Eugenio Brusa (Direttore della Scuola di Dottorato), Prof. Flavio Canavero (già Direttore della Scuola di Dottorato), Prof. Claudio Scavia (Direttore del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica).

Un mio pensiero di sincera gratitudine va poi agli stessi Promotori della brillante iniziativa: Prof. Roberta Massabò (Università di Genova), Prof. Ezio Cadoni (University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, Lugano), Prof. Giuseppe Ferro (Politecnico di Torino), Prof. Giuseppe Lacidogna (Politecnico di Torino, Coordinatore attuale del corso di dottorato e principale organizzatore del convegno).

Ringrazio inoltre tutti i Relatori del convegno, e in particolare coloro che hanno voluto lasciare una testimonianza scritta del loro intervento (Giuseppe Lacidogna, Roberta Massabò, Nicola Pugno, Rosario Ceravolo, Fabrizio Barpi, Alessandro Grazzini), così come tutti i partecipanti alla stessa giornata seminariale.

Ai ringraziamenti relativi al convegno, seguono i miei più personali ringraziamenti a tutti coloro che hanno partecipato e avuto un ruolo nella realizzazione di questo nostro dottorato. In primo luogo i Colleghi appartenenti al Collegio dei Docenti, che si sono avvicendati durante i venticinque anni del mio mandato come Coordinatore, per l'atmosfera serena e costruttiva che sempre ha accompagnato il nostro lavoro. Il mio pensiero va, in particolare, ai Tutori che hanno supervisionato così efficacemente le tante tesi, così come ai Coordinatori che hanno continuato la mia opera: Prof. Vincenzo Ilario Carbone e Prof. Giuseppe Lacidogna.

Così come i Docenti, vanno allo stesso modo ringraziati i 100 Discenti, che, anche se con un ruolo diverso, hanno messo in moto e portato avanti questa fucina di idee. Ricordo in particolare quella trentina di dottorandi di cui sono stato, oltre che Coordinatore, anche Tutore. Grazie di cuore del sempre notevole contributo che avete dato alle attività di ricerca del mio Gruppo. Tra loro ve ne sono poi quattro che sono rimasti a lavorare nell'ambito universitario e che hanno firmato con me oltre 250 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali: Prof. Nicola Pugno, Prof. Marco Paggi, Prof. Pietro Cornetti, Prof. Giuseppe Lacidogna. A loro vorrei esprimere il mio più alto senso di gratitudine e i miei migliori auspici per gli obiettivi futuri.

Torino, 23 Novembre 2018

Alberto Carpinteri

*Coordinatore del Corso di Dottorato in Ingegneria delle Strutture 1990-2014*

## Foreword

The Doctoral Programme in Structural Engineering of the Politecnico di Torino was established in 1990 by the convergence of two different Scientific-Disciplinary Sectors: Structural Mechanics (ICAR / 08) and Structural Design (ICAR / 09). The final discussion for its establishment took place within the Department Council of the DISTR (Department of Structural Engineering). The resolution was not unanimous as some colleagues feared that this new institution could produce additional temporary employment. Fortunately, things later turned out differently, instead creating a flywheel for new opportunities, activities and skills. Today we can certainly say that DISEG (Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering) is largely based on the skills and activities of those who trained in the aforementioned PhD Programme.

Our goal has always been that of training high-level technicians and young scholars, ready not only to manage, but also to promote innovation. Due to the lack in Italy of a previous and similar curricular experience (Law 382 establishing the Research Doctorate dates back to 1980), the earlier times of our doctorate were dedicated to the definition of the various scientific addresses and to the improvement of the related training offer of the Third Level Studies. The main research lines were initially made up of fracture mechanics, diagnostic techniques, and advanced structural design of reinforced and prestressed concrete constructions. Today, after almost thirty years of activity, the offer of research topics has been considerably enriched, taking on an interdisciplinary character: from the analysis of stability --even in the dynamic regime-- of long-span or high-rise structures (suspension bridges , shallow roofings, skyscrapers, etc.) to the mechanical behaviour of innovative materials, with interfaces between the different phases (composites). Traditional problems, such as adherence between rough surfaces or fatigue under cyclic loading, are effectively addressed through the concepts of Fractal Geometry and Renormalization Group Theory, as well as

for a frontier topic such as that represented by hierarchical and bio-inspired materials. The scale effects on the ductility of reinforced concrete structures have been systematically analyzed, as were the mechanical implications of the most advanced retro-fitting techniques. In addition, a great deal of effort was devoted to diagnosis and monitoring techniques and, in particular, to an approach based on acoustic emissions, as well as to anti-seismic construction techniques, dynamic structural identification, and visco-elastic behaviour of cementitious materials.

The Programme aims to train high-profile figures in the field of constructions, infrastructures, and materials of structural interest. The training objectives focus on numerical and computational simulation techniques, as well as on advanced experimental investigations (in situ or in the laboratory).

The PhD Programme in Structural Engineering of the Politecnico di Torino, due to the specificity and relevance that have constantly distinguished it, would have rightly aimed at maintaining its own autonomy. In 2015, however, a transition has begun leading it to transform itself into three of the eight areas that make up the new Doctoral Programme in Civil and Environmental Engineering.

The professional opportunities of our doctorate are those reflected by the concrete placement on the job market of PhDs in Structural Engineering who came out of our School during the last twenty-five years (1994-2018). Out of a total of exactly 100 PhD graduates from our Programme, 24 are currently tenured university professors (6 full and 18 associate professors), 21 are tenured university researchers (RTI or RTDB), 13 are contract researchers (RTDA or Research Fellows), 21 are managers or officers in Public or Private Companies, 21 are free consultants or entrepreneurs. It is therefore interesting to observe how 45% is already in the role of Italian or foreign universities (Turin, Genoa, Trento, Parma, Messina, Lucca, Lugano, Amman, Tianjin, etc.), whereas this percentage rises to 58% also considering the temporary university staff. It is also interesting to emphasize how the fraction of our PhDs currently active in the world of professions and business amounts to 42% of the total, thus testifying to the positive interaction between the application world and the academic world.

We can then record that 20% of total PhDs are women, while 15% are foreigners. The last distinction worth making is the informal one between Tutors of Structural Mechanics and Tutors of Structural Design. The former sector slightly prevails over the latter (60% vs 40%), proving to be more attractive in the context of Third Level Studies.

These results, excellent both quantitatively and qualitatively, were achieved on the basis of a careful selection of students, assessing both the level of preparation and the nature of the motivations (recruitment based on merit), and thanks to the ability of the members of the programme to attract and direct PhD students in an optimal way, consistently confirming the same inspiring principles, and, at the same time, supporting the talents and inclinations of the individual PhD students.

Here I would like to sincerely thank the Authorities who have done us the honor of attending and speaking at the Opening Ceremony of the Conference on "The Research Doctorate in Structural Engineering of the Politecnico di Torino 1990-2018: A Forge of Ideas for over a Quarter of a Century", held at the Hall of Honor of the Castello del Valentino, on November 23, 2018: Prof. Patrizia Lombardi (Vice-Rector of the Politecnico di Torino), Prof. Eugenio Brusa (Director of the Doctoral School), Prof. Flavio Canavero (formerly Director of the Doctoral School), Prof. Claudio Scavia (Director of the Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering).

My sincere gratitude then goes to the promoters of the brilliant initiative themselves: Prof. Roberta Massabò (University of Genova), Prof. Ezio Cadoni (University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, Lugano), Prof. Giuseppe Ferro (Politecnico di Torino), Prof. Giuseppe Lacidogna (Politecnico di Torino, current coordinator of the doctoral programme and main organizer of the conference).

In addition, I thank all the speakers at the conference, and in particular those who wished to leave a written testimony of their speech (Giuseppe Lacidogna, Roberta Massabò, Nicola Pugno, Rosario Ceravolo, Fabrizio Barpi, Alessandro Grazzini), as well as all the participants in the workshop.

The acknowledgements for the conference are followed by my most personal thanks to all those who participated and played a role in the realization of our doctorate. First of all, the Colleagues belonging to the Board, who have alternated during the twenty-five years of my term as Coordinator, for the serene and constructive atmosphere that has always accompanied our work. My thoughts go, in particular, to the Tutors who supervised the many theses so effectively, as well as to the Coordinators who continued my work: Prof. Vincenzo Ilario Carbone and Prof. Giuseppe Lacidogna.

Like the teachers, so the 100 learners should also be acknowledged, since, even if with a different role, they have set in motion and carried on this forge of ideas. I wish to recall in particular the thirty graduate students of which I was, as well as Coordinator, also Tutor. Thank you very much for the always re-

markable contribution you have made to the research activities of my Group. Among them there are four who have remained to work in the University and who have signed with me over 250 scientific publications in international journals: Prof. Nicola Pugno, Prof. Marco Paggi, Prof. Pietro Cornetti, Prof. Giuseppe Lacidogna. To them I would like to express my highest sense of gratitude and my best wishes for future goals.

Torino, November 23, 2018

Alberto Carpinteri

*Coordinator of the PhD Programme in Structural Engineering 1990-2014*

## Dottori di Ricerca in Ingegneria delle Strutture, Politecnico di Torino

### Anni di conseguimento del titolo 1994-2018\*

1	Ezio Cadoni	Tutore: Prof. Pietro Giovanni Bocca	Anno: 1994
Attuale occupazione: Professore Ordinario presso Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana			
Titolo tesi: Sul comportamento a fatica degli ancoraggi nel calcestruzzo			
E-mail: ezio.cadoni@supsi.ch			

2	Giuseppe Ferro	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 1994
Attuale occupazione: Professore Ordinario presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Effetti di scala sulla resistenza a trazione dei materiali			
E-mail: giuseppe.ferro@polito.it			

3	Giuseppe Lacidogna	Tutore: Prof. Paolo Napoli	Anno: 1994
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Modellazione matematica del comportamento viscoelastico del calcestruzzo			
E-mail: giuseppe.lacidogna@polito.it			

4	Roberta Massabò	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 1994
Attuale occupazione: Professore Ordinario presso Università degli Studi di Genova			
Titolo tesi: Meccanismi di rottura nei materiali fibrorinforzati			
E-mail: roberta.massabo@unige.it			

\* Dati aggiornati al 23 Novembre 2018

5	Bernardino Chiaia	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 1995
Attuale occupazione: Professore Ordinario presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Influenza del disordine microstrutturale sulle proprietà meccaniche dei materiali eterogenei			
E-mail: bernardino.chiaia@polito.it			

6	Gianpaolo Fanti	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 1995
Attuale occupazione: Dirigente ENEL			
Titolo tesi: Interazione tra sollecitazioni nel calcolo limite di elementi in cemento armato			
E-mail: g.fanti@grf91.net			

7	Marcella Avalle	Tutore: Prof. Paolo Vallini	Anno: 1996
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Aderenza e fessurazione in elementi di conglomerato cementizio armato soggetti a trazione semplice			
E-mail: marcella@stivala.it			

8	Fabrizio Barpi	Tutore: Prof. Silvio Valente	Anno: 1996
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Modelli numerici per lo studio dei fenomeni fessurativi nelle dighe			
E-mail: fabrizio.barpi@polito.it			

9	Antonio Brencich	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 1996
Attuale occupazione: Professore Associato presso Università degli Studi di Genova			
Titolo tesi: Interazione di una fessura dominante con una distribuzione disordinata di microfessure			
E-mail: brencich@dicca.unige.it			

10	Rosario Ceravolo	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 1996
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Metodi dinamici avanzati in diagnostica strutturale			
E-mail: rosario.ceravolo@polito.it			

11	Daniele Ferretti	Tutore: Prof. Paolo Vallini	Anno: 1996
Attuale occupazione: Professore Associato presso Università degli Studi di Parma			
Titolo tesi: Sul comportamento a breve termine di elementi inflessi in conglomerato cementizio armato			
E-mail: daniele.ferretti@unipr.it			

12	Giuseppe Viara	Tutore: Prof. Piero Marro	Anno: 1996
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Analisi non lineare parametrica di travi e telai in cemento armato			
E-mail: giuseppe.viara@gmail.com			

13	Moh'd El-Khatieb	Tutore: Prof. Crescentino Bosco	Anno: 1997
Attuale occupazione: Professore Associato presso Zarqa University, Giordania			
Titolo tesi: Transizione di scala duttile-fragile per le travi in calcestruzzo armato			
E-mail: mode62@libero.it			

14	Ilaria Monetto	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 1997
Attuale occupazione: Ricercatore presso Università degli Studi di Genova			
Titolo tesi: Evoluzione della frattura nelle lastre multi-fessurate			
E-mail: ilaria.monetto@unige.it			

15	Antonino Recupero	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 1997
Attuale occupazione: Ricercatore presso Università degli Studi di Messina			
Titolo tesi: Fenomeni non-lineari nelle strutture da ponte in cemento armato			
E-mail: antonino.recupero@unime.it			

16	Romualdo Ruotolo	Tutore: Prof. Giuseppe Surace	Anno: 1997
Attuale occupazione: Dirigente presso General Motors			
Titolo tesi: Tecniche basate sulle vibrazioni per l'identificazione del danno strutturale			
E-mail: aldo.ruotolo@tiscali.it			

17	Agostino Chiaradia	Tutore: Prof. Giuseppe Surace	Anno: 1998
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Diagnostica delle strutture in materiale composito mediante sensori in fibra ottica			
E-mail: agostino.chiaradia@gmail.com			

18	Stefano Invernizzi	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 1998
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Aspetti statistici e frattali nella micromeccanica del danneggiamento			
E-mail: stefano.invernizzi@polito.it			

19	Leonardo Sabia	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 1998
Attuale occupazione: Quadro ANAS			
Titolo tesi: Identificazione strutturale in regime lineare e non-lineare			
E-mail: l.sabia@stradeanas.it			

20	Francesco Ciola	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 1999
Attuale occupazione: Dirigente presso Industria Metalmeccanica Ciola s.r.l.			
Titolo tesi: Effetti di scala sul comportamento meccanico a compressione del calcestruzzo			
E-mail: francesco@officineciola.it			

21	Pietro Cornetti	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 1999
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Frattali e calcolo frazionario nella meccanica dei solidi danneggiati			
E-mail: pieter.cornetti@polito.it			

22	Alessandro Pasquale Fantilli	Tutore: Prof. Paolo Vallini	Anno: 1999
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Ruolo dei meccanismi di aderenza e di frattura nella fase di esercizio degli elementi in conglomerato armato			
E-mail: alessandro.fantilli@polito.it			

23	Nicola Pugno	Tutore: Prof. Giuseppe Surace	Anno: 1999
Attuale occupazione: Professore Ordinario presso Università degli Studi di Trento			
Titolo tesi: La torsione delle giunzioni incollate non tubolari			
E-mail: nicola.pugno@unitn.it			

24	Maurizio Taliano	Tutore: Prof. Pier Giorgio Debernardi	Anno: 1999
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Indagine sperimentale e modellazione del comportamento anelastico di elementi in calcestruzzo armato			
E-mail: maurizio.taliano@polito.it			

25	Luca Giordano	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 2000
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Modelli resistenti per elementi membranali in calcestruzzo armato e precompresso			
E-mail: luca.giordano@polito.it			

26	Beatrice Belletti	Tutore: Prof. Paolo Vallini	Anno: 2001
Attuale occupazione: Professore Associato presso Università degli Studi di Parma			
Titolo tesi: Un modello numerico per elementi piani in conglomerato armato soggetti a stati piani di tensione			
E-mail: beatrice.belletti@unipr.it			

27	Luca Bruno	Tutori: Prof. Giuseppe Mancini Prof. Jacques Marcillat	Anno: 2001
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Comportamento aerodinamico di ponti di grande luce			
E-mail: luca.bruno@polito.it			

28	Mario Sassone	Tutore: Prof. Paolo Napoli	Anno: 2001
Attuale occupazione: Già Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Problemi di interfaccia e di trasferimento degli sforzi nelle strutture composite			
E-mail: mario.sassone@polito.it			

29	Marco Crotti	Tutore: Prof. Pietro Giovanni Bocca	Anno: 2002
Attuale occupazione: Dirigente presso Progeca s.r.l.			
Titolo tesi: Valutazione del comportamento a lungo termine delle malte consolidanti applicate a strutture in laterizio			
E-mail: marco.crotti@progecasrl.it			

30	Claudio Genovese	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2003
Attuale occupazione: Libero Professionista presso Geodata S.p.A.			
Titolo tesi: Analisi di comportamento sotto sisma di strutture murarie con modelli funzionali			
E-mail: cge@geodata.it			

31	Gabriele Bertagnoli	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 2004
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Modello evolutivo non lineare per elementi membranali in cemento armato			
E-mail: gabriele.bertagnoli@polito.it			

32	Luciano Dimastrogiovanni	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 2005
Attuale occupazione: Libero Professionista presso Dimastrogiovanni Engineering Consulting, Zurigo, Svizzera			
Titolo tesi: Processi di perforazione in rocce e calcestruzzi			
E-mail: info@dimastrogiovanni.com			

33	Alessandro Grazzini	Tutore: Prof. Pietro Giovanni Bocca	Anno: 2005
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Analisi sperimentale della durabilità degli interventi di consolidamento sulle murature			
E-mail: alessandro.grazzini@polito.it			

34	Marco Paggi	Tutore: Prof. Giorgio Zavarise	Anno: 2005
Attuale occupazione: Professore Ordinario presso IMT di Lucca			
Titolo tesi: Interface mechanical problems in heterogeneous materials			
E-mail: marco.paggi@imtlucca.it			

35	Simone Puzzi	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 2005
Attuale occupazione: Dirigente presso Solari di Udine S.p.A.			
Titolo tesi: Mechanics of grained or fibrous heterogeneous materials			
E-mail: simone.puzzi@yahoo.it			

36	Davide Bigaran	Tutore: Prof. Paolo Napoli	Anno: 2006
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Effetti delle incertezze sulla sicurezza delle strutture da ponte			
E-mail: davide.bigaran@bs-design.it			

37	Giacomo Vincenzo Demarie	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2006
Attuale occupazione: Libero Professionista presso General Motors Powertrain Europe s.r.l.			
Titolo tesi: Identificazione istantanea di strutture con nonlinearità di Volterra			
E-mail: gvdemarie@gmail.com			

38	Luca Massimo Giacosa	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2006
Attuale occupazione: Dirigente presso Politecna Europa			
Titolo tesi: Infrastructural monitoring: methodologies, techniques and tools			
E-mail: l.giacosa@politecna-europa.com			

39	Matteo Guiglia	Tutore: Prof. Pier Giorgio Debernardi	Anno: 2006
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Analisi della deformazione a taglio di travi in calcestruzzo armato ad anima sottile			
E-mail: m.guiglia@studioaitec.it			

40	Emiliano Matta	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2006
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Mass-uncertain tuned mass dampers for the dynamic protection of buildings			
E-mail: emiliano.matta@polito.it			

41	Paola Antonaci	Tutore: Prof. Pietro Giovanni Bocca	Anno: 2007
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Non-destructive evaluation of the elastic modulus in large concrete structures			
E-mail: paola.antonaci@polito.it			

42	Barbara Frigo	Tutore: Prof. Bernardino Chiaia	Anno: 2007
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Modelli meccanici per l'innescò e la propagazione delle valanghe di neve			
E-mail: barbara.frigo@polito.it			

43	Michela Ipperico	Tutore: Prof. Giuseppe Ferro	Anno: 2007
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Effetti dimensionali sul comportamento meccanico dei calcestruzzi fibro-rinforzati			
E-mail: michela.ipperico@tiscali.it			

44	Gianni Niccolini	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2007
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Acoustic emission as a precursor of critical phenomena in structural and seismic engineering			
E-mail: gianni.niccolini@polito.it			

45	Valentina Pignata	Tutore: Prof. Giuseppe Ferro	Anno: 2007
Attuale occupazione: Insegnante Scuola Media			
Titolo tesi: Recupero strutturale di archi in muratura mediante fiber-reinforced-polymers			
E-mail: valentinapignata@inwind.it			

46	Francesco Tondolo	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 2007
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Comportamento strutturale di elementi in calcestruzzo armato soggetti a corrosione			
E-mail: francesco.tondolo@polito.it			

47	Diego Lorenzo Allaix	Tutori: Prof. Giuseppe Mancini Prof. A. Vrouwenvelder	Anno: 2008
Attuale occupazione: Ricercatore presso TNO, Paesi Bassi			
Titolo tesi: Bridge reliability analysis with an up-to-date traffic load model			
E-mail: diego.allaix@gmail.com			

48	Mauro Corrado	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 2008
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Effetti di scala sulla capacità di rotazione plastica di travi in calcestruzzo armato			
E-mail: mauro.corrado@polito.it			

49	Amedeo Manuello Bertetto	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2008
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Acoustic emission characterization of critical phenomena in damaged structures			
E-mail: amedeo.manuellobertetto@polito.it			

50	Miriam Pescatore	Tutori: Prof. Alessandro De Stefano Prof. Rosario Ceravolo	Anno: 2008
Attuale occupazione: Dirigente Scolastico			
Titolo tesi: Formulazioni di affidabilità strutturale per sistemi soggetti a monitoraggio dinamico			
E-mail: miriam.pescatore@libero.it			

51	Roberto Spadavecchia	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2008
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: L'algoritmo di Ho-Kalman nell'identificazione dinamica: applicabilità e affidabilità			
E-mail: roberto.spadavecchia@gmail.com			

52	Fiammetta Venuti	Tutori: Prof. Paolo Napoli Prof. Nicola Bellomo	Anno: 2008
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Crowd-structure interaction in lively footbridges			
E-mail: fiammetta.venuti@polito.it			

53	Davide Masera	Tutore: Prof. Pietro Giovanni Bocca	Anno: 2009
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Ultrasound wave propagation in damaged heterogeneous materials			
E-mail: davide.masera@masera-eg.com			

54	Alberto Sapora	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Pietro Cornetti; Prof. Nicola Pugno	Anno: 2009
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Hierarchical materials and structures: an analysis based on fractals and fractional calculus			
E-mail: alberto.sapora@polito.it			

55	Mario Alex Biagini	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 2010
Attuale occupazione: Capitano presso Ministero della Difesa Italiano			
Titolo tesi: Orthotropic model for non-linear analysis of beams with corrugated steel webs			
E-mail: marioalexbiagini@gmail.com			

56	Enrico Masoero	Tutore: Prof. Bernardino Chiaia	Anno: 2010
Attuale occupazione: Ricercatore presso Newcastle University, Regno Unito			
Titolo tesi: Progressive collapse and robustness of framed structures			
E-mail: enrico.masoero@ncl.ac.uk			

57	Gianluca Ruocci	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2010
Attuale occupazione: Libero Professionista presso Egis, Francia			
Titolo tesi: Application of the SHM methodologies to the protection of masonry arch bridges from scour			
E-mail: gianluca.ruocci@egis.fr			

58	Caterina Letizia E. Bruno	Tutore: Prof. Pietro Giovanni Bocca	Anno: 2011
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Non-destructive characterization of damage in heterogeneous media by means of nonlinear ultrasonic techniques			
E-mail: caterina.bruno@gmail.com			

59	Erica Cadamuro	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 2011
Attuale occupazione: Dipendente d'Azienda			
Titolo tesi: Ductility and minimum reinforcement in concrete members			
E-mail: erica.daniela@gmail.com			

60	Carlo Casalegno	Tutori: Prof. Mario Alberto Chiorino Arch. Mario Sassone	Anno: 2011
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Time-dependent analysis of concrete sequential constructions			
E-mail: carlo.casalegno@polito.it			

61	Tamer Alsaeed M. Abdalahman	Tutori: Prof. Nicola Pugno Dr. Federico Bosia	Anno: 2012
Attuale occupazione: Post-Doctoral Fellow presso University of Cape Town, Sud Africa			
Titolo tesi: Hierarchical fiber bundle strength statistics			
E-mail: Tamer.Abdalahman@uct.ac.za			

62	Qiang Chen	Tutore: Prof. Nicola Pugno	Anno: 2012
Attuale occupazione: Professore Associato presso Southeast University, Cina			
Titolo tesi: Nanomechanics of hierarchical cellular solids			
E-mail: chenq999@gmail.com			

63	Baoming Gong	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Dr. Mauro Corrado	Anno: 2012
Attuale occupazione: Professore Associato presso Tianjin University, Cina			
Titolo tesi: Hardening cohesive/overlapping zone model and fractal approach to ductile fracture			
E-mail: gongbm@tju.edu.cn			

64	Emiliano Lepore	Tutore: Prof. Nicola Pugno	Anno: 2012
Attuale occupazione: Assegnista di Ricerca presso Università degli Studi di Trento			
Titolo tesi: An experimental study on adhesive or anti-adhesive and strong bio-inspired nanomaterials			
E-mail: emiliano.lepore@unitn.it			

65	Liheng Lu	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 2012
Attuale occupazione: Docente a contratto presso Southwest Jiatong University, Cina			
Titolo tesi: Experimental study of reinforced concrete ties under load and corrosion			
E-mail: luhl@swjtu.edu.cn			

66	Antonino Quattrone	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2012
Attuale occupazione: Tecnico presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Assessment of structural reliability: a dynamic monitoring approach			
E-mail: luhl@swjtu.edu.cn			

67	Jie Xu	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2012
Attuale occupazione: Professore Associato presso Tianjin University, Cina			
Titolo tesi: Energy emissions from critical phenomena and applications to structural health monitoring			
E-mail: jxu@tju.edu.cn			

68	Andrea Alberto	Tutore: Prof. Silvio Valente	Anno: 2013
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Cohesive-frictional crack model applied to bimaterial interfaces			
E-mail: andrea.alberto@polito.it			

69	Eloise Bovet	Tutore: Prof. Bernardino Chiaia	Anno: 2013
Attuale occupazione: Dipendente presso Fondazione Montagna Sicura			
Titolo tesi: Mechanics of snow avalanches and interaction with structures			
E-mail: ebovet@fondms.org			

70	Gianfranco Piana	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Ing. Riccardo Malvano	Anno: 2013
Attuale occupazione: Assegnista di Ricerca presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Vibrations and stability of axially and transversely loaded structures			
E-mail: gianfranco.piana@polito.it			

71	Yongtao Sun	Tutore: Prof. Nicola Pugno	Anno: 2013
Attuale occupazione: Ricercatore presso Tianjin University, Cina			
Titolo tesi: Multifunctional hierarchical cellular solids			
E-mail: ytsun@tju.edu.cn			

72	Daniele Trovato	Tutori: Prof. Giuseppe Ferro Ing. Gianmario Benzoni	Anno: 2013
Attuale occupazione: Dipendente d'Azienda			
Titolo tesi: Degradation of dissipative characteristics of friction pendulum isolators due to thermal effects			
E-mail: trovatodani@gmail.com			

73	Federico Accornero	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2014
Attuale occupazione: Assegnista di Ricerca presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Structural health monitoring for preservation and safeguard of architectural cultural heritage			
E-mail: federico.accornero@polito.it			

74	Sandro Cammarano	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2014
Attuale occupazione: Dipendente d'Azienda			
Titolo tesi: Static and dynamic analysis of high-rise buildings			
E-mail: sandro.cammarano@gmail.com			

75	Valerio De Biagi	Tutore: Prof. Bernardino Chiaia	Anno: 2014
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Complexity and robustness of structures against extreme events			
E-mail: valerio.debiagi@polito.it			

76	Iffat Siddique	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 2014
Attuale occupazione: Ricercatore presso University of Engineering & Technology, Pakistan			
Titolo tesi: Reliability analysis considering material and geometrical nonlinearities			
E-mail: siddique.iffat@gmail.com			

77	Badar ul Ali Zeeshan	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2014
Attuale occupazione: Ricercatore presso COMSATS Institute for Information Technology, Pakistan			
Titolo tesi: Constructing an innovative base-isolation system under masonry structures			
E-mail: badarulalizeeshan@ciitwah.edu.pk			

78	Sajjad Ahmad	Tutori: Prof. Giuseppe Ferro Prof. Jean-Marc Tulliani	Anno: 2015
Attuale occupazione: Ricercatore presso Bahauddin Zakariya University, Pakistan			
Titolo tesi: Innovative mix design of cementitious materials for enhancing strength and ductility			
E-mail: sajjad.ce@must.edu.pk			

79	Emanuela Di Battista	Tutore: Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2015
Attuale occupazione: Funzionario presso Rete Ferroviaria Italiana S.p.A.			
Titolo tesi: Interpretation of fracture mechanisms in ductile and brittle materials by the acoustic emission technique			
E-mail: emanuela.dibattista@outlook.com			

80	Rao Arsalan Khushnood	Tutore: Prof. Giuseppe Ferro	Anno: 2015
Attuale occupazione: Ricercatore presso National University of Sciences and Technology, Pakistan			
Titolo tesi: High performance self compacting cementitious materials by using nano/micro carbonaceous inerts			
E-mail: arsalan.khushnood@nice.nust.edu.pk			

81	Filippo Sangiorgio	Tutori: Prof. Giuseppe Mancini Prof. Johan Silfwerbrand	Anno: 2015
Attuale occupazione: Libero Professionista presso Sweco, Svezia			
Titolo tesi: Safety format for non-linear analysis of RC structures subjected to multiple failure modes			
E-mail: filippo.sangiorgio@sweco.se			

82	Diego Veneziano	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Dr. Amedeo Manuello Bertetto	Anno: 2015
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Hydrogen embrittlement, microcracking and piezonuclear reactions in the metal electrodes of an electrolytic cell			
E-mail: diego.veneziano@gmail.com			

83	Hao Zhang	Tutori: Prof. Bernadino Chiaia Prof. Alessandro Fantilli	Anno: 2015
Attuale occupazione: Professore Associato presso Henan University, Cina			
Titolo tesi: Behavior of fiber reinforced self-compacting concrete under concentrated loads			
E-mail: zzbright@163.com			

84	Lili Zhou	Tutore: Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 2015
Attuale occupazione: Professore Associato presso Politecnico di Shenzhen, Cina			
Titolo tesi: Scaling laws and fractality in fatigue crack growth			
E-mail: lilyzhou@szept.edu.cn			

85	Irene Berardone	Tutore: Prof. Marco Paggi	Anno: 2016
Attuale occupazione: Assegnista di Ricerca presso Università di Bologna			
Titolo tesi: Fracture mechanics of silicon: from durability of fotovoltaic modules to the production of thin film solar cells			
E-mail: berardone3@gmail.com			

86	Oscar Borla	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2016
Attuale occupazione: Assegnista di Ricerca presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: The energy emissions as fracture and seismic precursors			
E-mail: oscar.borla@polito.it			

87	Alessandro Corbetta	Tutori: Prof. Luca Bruno Prof. Adrian Muntean Prof. Andrea Tosin Prof. Federico Toschi	Anno: 2016
Attuale occupazione: Post-Doctoral Fellow presso Eindhoven University of Technology, Paesi Bassi			
Titolo tesi: Multiscale crowd dynamics: physical analysis, modeling and applications			
E-mail: a.corbetta@tue.nl			

88	Andrea Infuso	Tutore: Prof. Marco Paggi	Anno: 2016
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Silicon photovoltaics: experimental testing and modelling of fracture across scales			
E-mail: andrea.infuso@gmail.com			

89	Saheed Olalekan Ojo	Tutore: Prof. Marco Paggi	Anno: 2016
Attuale occupazione: Post-Doctoral Fellow presso Università di Limerick, Irlanda			
Titolo tesi: Thermo-visco-elastic modelling of photovoltaic laminates: advanced shear-lag theory and model order reduction technique			
E-mail: saheedimran@gmail.com			

90	Luciana Restuccia	Tutore: Prof. Giuseppe Ferro	Anno: 2016
Attuale occupazione: Ricercatore presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Re-think, re-use: agro-food and C&D waste for high-performance sustainable cementitious composites			
E-mail: luciana.restuccia@polito.it			

91	Shichao Zhu	Tutore: Prof. Alessandro De Stefano	Anno: 2016
Attuale occupazione: Funzionario presso Country Garden, Cina			
Titolo tesi: Recursive multi-model updating of building structure: a new sensitivity based finite element approach			
E-mail: jimmyzsc@gmail.com			

92	Andrea Bassani	Tutori: Prof. Alberto Carpinteri Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2017
Attuale occupazione: Funzionario presso Ditta Biomedica			
Titolo tesi: Terahertz vibrations in proteins: experimental and numerical investigation			
E-mail: andrea.bassani@polito.it			

93	Fabio Bazzucchi	Tutori: Dr. Amedeo Manuello Bertetto Prof. Alberto Carpinteri	Anno: 2017
Attuale occupazione: Assegnista di Ricerca presso Politecnico di Torino			
Titolo tesi: Shallow-dome structures and interaction between buckling and snap-through			
E-mail: fabio.bazzucchi@polito.it			

94	Alessandro Cesetti	Tutore: Prof. Giuseppe Mancini	Anno: 2017
Attuale occupazione: Istruttore Direttivo presso Comune di Sarnano			
Titolo tesi: Effect of corroded reinforcement in RC structures: from cracking to bond performance			
E-mail: alessandro.cesetti@polito.it			

95	Patrizia Casimira Cutugno	Tutore: Prof. Giuseppe Lacidogna	Anno: 2017
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Space-time correlation of earthquakes and acoustic emission monitoring of historical constructions			
E-mail: patrizia.cutugno@hotmail.com			

96	Daniele Forni	Tutori: Prof. Bernardino Chiaia Prof. Ezio Cadoni	Anno: 2017
Attuale occupazione: Ricercatore presso Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana			
Titolo tesi: Progressive collapse induced by fire and blast			
E-mail: daniele.forni@supsi.ch			

97	Andrea Gorino	Tutori: Prof. Bernardino Chiaia Prof. Alessandro Fantilli	Anno: 2017
Attuale occupazione: Ingegnere presso RFI			
Titolo tesi: Ductility of lightly reinforced and fiber-reinforced concrete elements: a unified approach			
E-mail: andrea.gorino.89@gmail.com			

98	Antonio Ventura	Tutore: Prof. Bernardino Chiaia	Anno: 2018
Attuale occupazione: Libero Professionista			
Titolo tesi: Robustness and overstrength of structures under impacts			
E-mail: antonio.ventura@polito.it			

99	Dario La Mazza	Tutore: Prof. Luca Giordano	Anno: 2018
Attuale occupazione: -			
Titolo tesi: Numerical models for the robustness assessment of reinforced concrete framed buildings			
E-mail: dario.lamazza@polito.it			

100	Claudia Tesei	Tutore: Prof. Giulio Ventura	Anno: 2018
Attuale occupazione: -			
Titolo tesi: Nonlinear analysis of masonry and concrete structures under monotonic and cyclic loading: A regularized multidirectional d+/d- damage model			
E-mail: claudia.tesei90@gmail.com			

## **Programma del Convegno**

## Presentazione

“Come per ogni attività umana, anche un corso di dottorato nasce da radici evidenti e riconoscibili e quindi si sviluppa in modo complesso, con un intreccio imprevedibile dei vari rami ed un rafforzamento ed un ulteriore approfondimento delle radici. E’ ciò che a noi sembra essere avvenuto del nostro dottorato: si è partiti da un numero limitato di docenti e di temi di ricerca e, dopo oltre venticinque anni, si è arrivati ad esattamente cento dottori di ricerca che, oltre a redigere le loro tesi sui temi più disparati, interdisciplinari e innovativi, hanno a loro volta ramificato il sistema producendo nuova conoscenza. È quindi ora, dopo un lasso di tempo non breve, di ripercorrere le tappe scientifiche e gli itinerari culturali che ci hanno condotto alla variegata situazione odierna. È questa una preziosa occasione di confronto per la comunità formatasi con il nostro dottorato, in cui sarà interessante riscoprire, al di là delle contingenze di ognuno, le radici e le identità originali” (Alberto Carpinteri, Politecnico di Torino, Coordinatore 1990-2014)



## Sede del Convegno

Salone d’Onore del Castello del Valentino  
Viale Pier Andrea Mattioli 39 - 10125 Torino



## Convegno su

# Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture del Politecnico di Torino 1990-2018: Una Fucina di Idee per oltre un Quarto di Secolo

23 Novembre 2018

Salone d’Onore del Castello del Valentino  
Torino



*I Promotori del Convegno desiderano  
ringraziare gli Sponsor:*



I Promotori

Prof. Ezio Cadoni (University of Applied  
Sciences and Arts of Southern Switzerland,  
Lugano)

Prof. Giuseppe Ferro (Politecnico di Torino)

Prof. Giuseppe Lacidogna (Politecnico di Torino,  
Coordinatore attuale)

Prof. Roberta Massabò (Università di Genova)

## Programma del Convegno

### **Saluti e Introduzione al Convegno**

- 9:00 Prof. Giuseppe Lacidogna (Coordinatore del Corso di Dottorato in Ingegneria delle Strutture)  
Prof. Patrizia Lombardi (Prorettrice del Politecnico di Torino)  
Prof. Eugenio Brusa (Direttore della Scuola di Dottorato)  
Prof. Flavio Canavero (Già Direttore della Scuola di Dottorato)  
Prof. Claudio Scavia (Direttore del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica)

### **Prima Sessione – Chairman: Prof. Giuseppe Lacidogna (Politecnico di Torino)**

- 9:30 "Reflections on Graduate School"  
Prof. Roberta Massabò (Università di Genova)
- 9:50 "Dottorato internazionale e multidisciplinare: Vent'anni dopo"  
Prof. Luca Bruno (Politecnico di Torino)
- 10:10 "Dalle istruttive correzioni di bozze del prof. A. Carpinteri alla medaglia A. A. Griffith"  
Prof. Nicola Pugno (Università di Trento)
- 10:30 "Dall'esperienza del dottorato di ricerca al lavoro in una azienda globale"  
Dr. Romualdo Ruotolo (General Motors, Torino)
- 10:50 **Pausa Caffè**



### **Seconda Sessione – Chairman: Prof. Giuseppe Ferro (Politecnico di Torino)**

- 11:20 "Nuove frontiere della dinamica dei materiali nell'ingegneria delle strutture"  
Prof. Ezio Cadoni (University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, Lugano)
- 11:40 "F<sup>4</sup> Mechanics – Finite Fractional Fracture Mechanics"  
Prof. Pietro Cornetti (Politecnico di Torino)
- 12:00 "The intriguing case of crack propagation from a circular hole"  
Prof. Alberto Saporra (Politecnico di Torino)
- 12:20 "Snow Mechanics"  
Dr. Barbara Frigo (Politecnico di Torino)
- 12:40 "Dalla scienza dei materiali al fotovoltaico: Nuovi orizzonti per la meccanica della frattura"  
Prof. Marco Paggi (IMT Lucca)
- 13:00 **Pausa Pranzo**

### **Terza Sessione – Chairman: Prof. Ezio Cadoni (University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, Lugano)**

- 14:30 "Considerazioni sui recenti crolli di ponti e viadotti"  
Prof. Giuseppe Ferro (Politecnico di Torino)
- 14:50 "La marginalità dell'insegnamento di Teoria e Progetto di Ponti negli Atenei Italiani: Tendenza da contrastare"  
Prof. Antonino Recupero (Università di Messina)
- 15:10 "Alcune note sul rischio sismico e sulla protezione del patrimonio costruito"  
Prof. Rosario Ceravolo (Politecnico di Torino)
- 15:30 "Il modello fessurativo PARC: Dal XIII Ciclo del Corso di Dottorato in Ingegneria delle Strutture presso il Politecnico di Torino ad oggi"  
Prof. Beatrice Belletti (Università di Parma)
- 15:50 **Pausa Caffè**

### **Quarta Sessione – Chairlady: Prof. Roberta Massabò (Università di Genova)**

- 16:20 "Dall'esperienza del dottorato all'impegno nell'Università"  
Prof. Giuseppe Lacidogna (Politecnico di Torino)
- 16:40 "Modellazione numerica di strutture storiche"  
Prof. Stefano Invernizzi (Politecnico di Torino)
- 17:00 "L'esperienza del dottorato e l'analisi del danneggiamento per i beni culturali"  
Dr. Amedeo Manuello Bertetto (Politecnico di Torino)
- 17:20 "Dal Dottorato di Ricerca sulla durabilità dei materiali consolidanti al cantiere di restauro di Venaria"  
Dr. Alessandro Grazzini (Politecnico di Torino)
- 17:40 "La sicurezza degli sbarramenti: Nuovi orientamenti normativi"  
Prof. Fabrizio Barpi (Politecnico di Torino)
- 18:00 **Tavola Rotonda**





## Dall'esperienza del dottorato all'impegno nell'università

Giuseppe Lacidogna<sup>1</sup>

### SOMMARIO

Questo contributo riporta una breve sintesi degli argomenti da me presentati durante la giornata studio "Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture del Politecnico di Torino 1990-2018: Una Fucina di Idee per oltre un Quarto di Secolo". L'idea è quella di ripercorrere alcuni eventi significativi della mia carriera universitaria dall'anno in cui ho iniziato gli studi di Dottorato in Ingegneria delle Strutture (1990), fino al momento in cui ne sono diventato il Coordinatore (2016-2018), continuando l'opera del Prof. Alberto Carpinteri e del compianto Prof. Vincenzo Ilario Carbone. In questa memoria, è anche importante per me menzionare coloro i quali sono state le mie "guide" durante il difficile percorso che mi ha portato a diventare professore universitario nella disciplina della Scienza delle Costruzioni. Il Prof. Mario Alberto Chiorino e il Prof. Paolo Napoli sono stati tutori della mia tesi di dottorato. Il Prof. Alberto Carpinteri è il "maestro" con il quale ho condiviso la maggior parte delle attività di ricerca e della produzione scientifica dal momento in cui, dopo aver ottenuto il titolo di dottore di ricerca, sono stato assunto come ricercatore presso il Politecnico di Torino. Presenterò anche alcune opere di ingegneria, ritenute rilevanti, che ho contribuito a progettare come consulente, perché ritengo che la completa sensibilità di un esperto di costruzioni non possa prescindere dall'aver una esperienza diretta della loro realizzazione. Non trascurerò di citare anche i miei allievi di dottorato, alcuni dei quali sono diventati oramai valenti ricercatori, tecnici universitari e professori universitari anche all'estero, e che hanno contribuito con le loro proficue collaborazioni a farmi raggiungere un discreto livello di notorietà nel consesso internazionale della ricerca.

<sup>1</sup> *Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino*

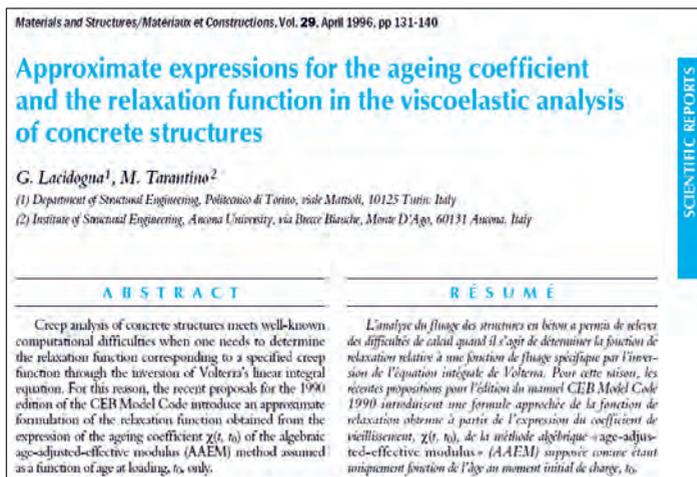
*E-mail: giuseppe.lacidogna@polito.it*

*Keywords: Università, Politecnico di Torino, Ingegneria delle Strutture, Dottorato di Ricerca*

## 1 Slide presentate durante la giornata studio e loro breve commento

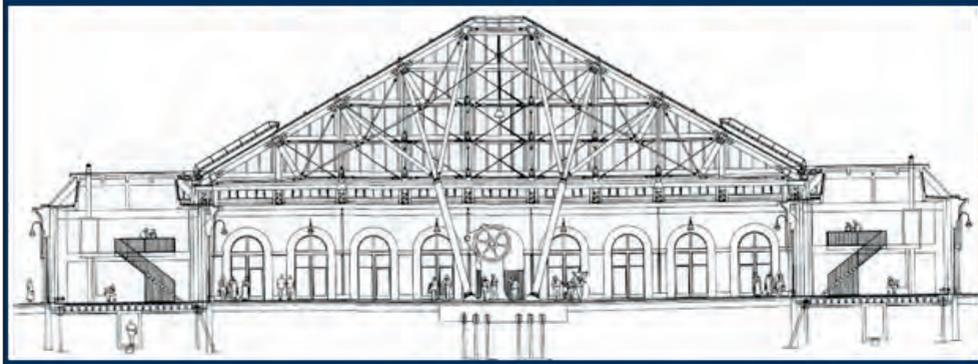


**Slide 1:** Copertina e frontespizio della mia Tesi di Dottorato in Ingegneria delle Strutture (Tutori: Prof. Mario Alberto Chiorino e Prof. Paolo Napoli). Nell'ambito dell'analisi viscoelastica delle strutture, sulla quale ho svolto la tesi, ho approfondito le problematiche riguardanti la modellazione matematica delle proprietà reologiche del calcestruzzo e le soluzioni rigorose e approssimate con i metodi di calcolo basati sull'algoritmo integrale di sovrapposizione (soluzioni delle equazioni integrali di Volterra). Ho sviluppato, inoltre, algoritmi di calcolo tipo rate-type alternativi all'impiego delle equazioni integrali. Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Strutturale del Politecnico di Torino fu istituito nel 1990. I primi quattro dottori di ricerca nella disciplina sono stati il Prof. Ezio Cadoni (Tesi n. 1), il Prof. Giuseppe Ferro (Tesi n. 2), il Prof. Giuseppe Lacidogna (Tesi n.3) e la Prof. Roberta Massabò (Tesi n.4).



**Slide 2:** Articolo pubblicato in collaborazione con il Prof. Angelo Marcello Tarantino nella rivista Materials and Structures. Si tratta del primo articolo che ho pubblicato in una rivista internazionale, dopo aver dato alle stampe durante gli studi del dottorato diverse memorie apparse negli Atti del Dipartimento di Ingegneria Strutturale.

### Recupero di parte dell'ex Arsenale militare di Torino (Piazza del Maglio)



**Slide 3:** Fra le mie esperienze professionali caratterizzate da attività progettuali attinenti alla Scienza delle Costruzioni riporto una foto del cosiddetto "Cortile del Maglio", <http://www.torpego.it/progetti/7-ex-arsenale-militare-cortile-del-maglio>. Si tratta di una consulenza svolta per recupero di una parte dell'Ex Arsenale Militare di Torino. Il Progetto, finanziato dalla Città di Torino (Società d'Intervento S.IN.AT.E.C. S.p.A), ha vinto il premio "Architetture Rivelate", assegnato nel 2003 dall'Ordine degli Architetti di Torino.

### Ponte pedonale a Bosa (Nuoro)



**Slide 4:** Foto del cosiddetto "Ponte della Pace". Riguarda una consulenza svolta per il progetto strutturale di un ponte pedonale sul Fiume Temo a Bosa (Nuoro). Il Progetto fu finanziato dalla Regione Sardegna (Società d'Intervento Promont S.n.c) e, per l'eleganza delle sue strutture, fu dichiarato opera di valore artistico da parte della Regione.

## Acoustic Emission Monitoring

**atel** Corrosion Monitoring Ltd  
 Italian Office: via Valle Cavia snc 00340 Pomezia (Rome) Italy  
 Tel: +39069148253, +39069146259  
 Fax: +39-06-9146963 E-mail: [atelatel@iscatnet.it](mailto:atelatel@iscatnet.it)

Pomezia, 11 Giugno 1999  
 FAX N. 450/1999  
 A. Dr. G. Lacidogna  
 Rif. Emissione Acustica per gallerie

Con riferimento alla Sua richiesta telefonica ed in attesa di una migliore definizione delle condizioni di lavoro. Le invio la nostra offerta N. 55-99 per apparecchiature di Emissione Acustica da utilizzare per la rivelazione e localizzazione approssimativa di fratture all'interno di gallerie sotterranee:

A) In caso sia disponibile energia elettrica e linea telefonica:

- \* Apparecchiatura composta da:
- \* 18 Trasduttori e Pre-Amplificatori con cavi di collegamento;
- \* 1 Apparecchiatura con 18 canali di analisi delle Ampiezze, memorizzazione delle somministrazioni ed invio tramite Modem ad un P.C. dove i dati saranno presentati su un Data Base (Tipo Excel).

**Prezzo Lit. ■■■ ML**

B) In caso non sia disponibile né energia elettrica né linea telefonica:

- \* Apparecchiatura composta da:
- \* 18 Trasduttori e Pre-Amplificatori con cavi di collegamento;
- \* 1 Apparecchiatura con 18 canali di analisi delle Ampiezze, memorizzazione delle somministrazioni ad intervalli regolari su sensori elettroniche asportabili; alimentazione a batterie ricaricabili con autonomia di almeno 2 settimane;
- \* 1 Apparecchiatura di lettura e trasferimento dati ad un P.C. con relativo software.

**Prezzo: Lit. ■■■ ML**

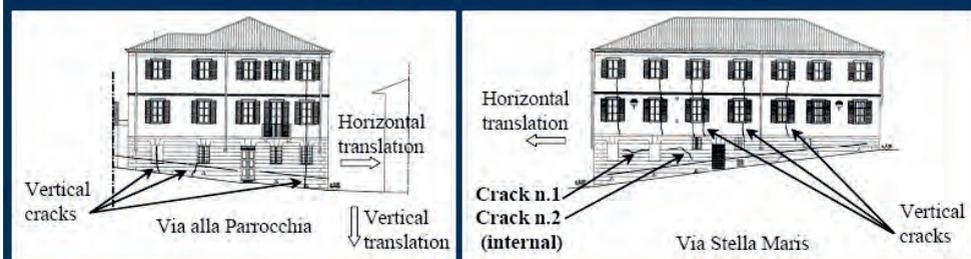
In entrambi i casi sono esclusi i P.C. e le apparecchiature saranno in scatole metalliche IP65

Cordialmente,  
 L. Giuliani



**Slide 5:** La mia carriera di ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica del Politecnico di Torino è iniziata nel 1997. Il Prof. Carpinteri, intuiva la mia predisposizione alla analisi sperimentale delle strutture, mi indirizzò allo studio della Tecnica della Emissione Acustica (Acoustic Emission). Instaurammo quindi un rapporto di collaborazione con una ditta di Pomezia Terme, Corrosion Monitoring Ltd che si occupava dell'impiego delle AE per il monitoraggio, prevalentemente in Inghilterra, di serbatoi di acciaio in pressione. Nella figura ho riportato il preventivo per l'acquisto di apparecchiature AE di prima generazione, denominate "Atel", che ci inviò il responsabile della ditta Dr. Luigi Giuliani. L'Emissione Acustica consiste nel rapido rilascio di energia, sotto forma di onde meccaniche, in una gamma di frequenze dalle decine di kHz alle centinaia di MHz. Il monitoraggio tramite AE è quindi una metodologia di controllo, non distruttiva, basata sul rilevamento di onde di pressione spontaneamente emesse da parte di difetti in evoluzione nei materiali come acciaio, calcestruzzo, muratura e rocce, solo per citarne alcuni. Oltre a queste applicazioni pratiche, lo studio delle proprietà statistiche dell'AE rappresenta un problema teorico impegnativo. La distribuzione delle ampiezze AE infatti segue una legge di potenza, suggerendo un'interpretazione in termini di fenomeni critici e teorie di scala.

## Damage diagnosis of masonry buildings Casa Capello, Rivoli (Torino) - Italy



**Slide 6:** Utilizzando le apparecchiature "Atel" ed altri dispositivi AE sempre più avanzati, di cui ci siamo dotati negli anni, applicammo quindi la tecnica AE sia in laboratorio che in sito, dapprima per comprenderne le possibilità di impiego, poi per identificare e prevedere lo sviluppo di difetti in evoluzione sui materiali strutturali. Nella figura è riportato il quadro fessurativo delle murature di Casa Capello a Rivoli (Torino). Questo edificio, storicamente importante per la Città di Rivoli, è realizzato in muratura di mattoni. Fu completamente ristrutturato alla fine del 1700 ed è costruito su preesistenti fondamenta trecentesche. Su questo manufatto, forse per la prima volta nella storia della tecnica AE, a partire dal maggio del 1999 è stato effettuato il monitoraggio di alcune pareti di muratura per valutare l'evoluzione di fenomeni di fessurazione che si erano generati dopo il crollo di un muro di sostegno posto alla base della costruzione.

Materials and Structures (2006) 39:161–167  
DOI 10.1617/s11527-005-9043-2

## Damage monitoring of an historical masonry building by the acoustic emission technique

A. Carpinteri · G. Lacidogna

Received: 15 December 2004 / Accepted: 07 February 2005  
© RILEM 2006

**Abstract** Acoustic Emission (AE) of the materials that are subject to stress and strain states is a methodology for non-destructive investigation, originally applied to industrial steel structures. Here it is proposed by the authors for identifying the damage in masonry buildings.

This experimental method was used to monitor the masonry structure of an historical building, "Casa Capello", located in the centre of the Rivoli Municipality (near Turin, Italy). This house, built on pre-existing 14th century foundations, was thoroughly restructured at the end of the 18th century and has recently undergone restoration and enlargement works.

*méthodologie de recherche non-destructive appliquée originellement aux structures industrielles d'acier. Les auteurs proposent dans leur travail la technique de l'EA pour l'identification des dommages des constructions en maçonnerie.*

*En employant cette méthodologie a été possible le monitoring de la structure en maçonnerie de "Casa Capello", une construction historique située au centre de la petite ville de Rivoli (près de Turin, Italie). La maison, qui s'élève sur la préexistante fondation du XIV<sup>ème</sup> siècle, a conservé son actuelle physionomie à partir de la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle et récemment a été restaurée avec des travaux d'extension fonctionnelle.*

**Slide 7:** Articolo pubblicato nel 2006 in collaborazione con il Prof. Alberto Carpinteri, nella rivista Materials and Structures, sul monitoraggio di Casa Capello a Rivoli (Torino). Per quanto è di mia conoscenza, si tratta del primo articolo pubblicato in una rivista internazionale sul monitoraggio tramite AE di strutture in muratura.



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



ScienceDirect

Engineering Fracture Mechanics 74 (2007) 273–289

**Engineering  
Fracture  
Mechanics**

[www.elsevier.com/locate/engfractmech](http://www.elsevier.com/locate/engfractmech)

### Structural damage diagnosis and life-time assessment by acoustic emission monitoring

A. Carpinteri \*, G. Lacidogna, N. Pugno

*Department of Structural Engineering and Geotechnics, Politecnico di Torino,  
Corso Duca Degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy*

Available online 20 March 2006

---

**Abstract**

The acoustic emission technique is applied to identify defects and damage in reinforced concrete structures and masonry buildings. By means of this technique, a particular methodology has been put forward for crack propagation monitoring and damage assessment, in structural elements under service conditions. This technique permits to estimate the amount of energy released during fracture propagation and to obtain information on the criticality of the ongoing process. In addition, based on fracture mechanics concepts, a fractal or multiscale methodology is proposed to predict the damage evolution and the time to structural collapse.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

**Slide 8:** In questo articolo pubblicato nel 2007, che ritengo importante perché è uno dei più citati nella letteratura internazionale sulle AE, è stata proposta una particolare metodologia per il monitoraggio della propagazione delle fratture e la valutazione del danneggiamento in elementi strutturali sia in cemento armato che in muratura. Questo approccio, sulla base di concetti di meccanica della frattura, permette di stimare la quantità di energia emessa durante l'evoluzione delle fratture in condizioni di servizio e di ottenere informazioni sulla criticità del processo in atto, stimando il tempo del collasso strutturale.



THE STRUCTURAL DESIGN OF TALL AND SPECIAL BUILDINGS

*Struct. Design Tall Spec. Build.* 19, 518–536 (2010)

Published online 2 February 2009 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/tal.498

## A GLOBAL APPROACH FOR THREE-DIMENSIONAL ANALYSIS OF TALL BUILDINGS

A. CARPINTERI,\* G. LACIDOGNA AND S. PUZZI

*Department of Structural Engineering and Geotechnics, Politecnico di Torino, Torino, Italy*

### SUMMARY

In the literature, several approximate approaches have been proposed to analyse the lateral loading distribution of external loads in high-rise buildings; in this paper, a general method is proposed for the analysis of the lateral loading distribution of three-dimensional structures composed of any kind of bracings (frames, framed walls, shear walls, closed and/or open thin-walled cores and tubes) under the customary assumption of floor slabs being undeformable in their planes. This general formulation allows analyses of high-rise structures by taking into account the torsional rigidity of the elements composing the building without gross simplifications, even in the case of very complex shapes and with the contemporary presence of different kinds of bracing. The method is aimed at gaining an insight into the force flow in the structure, in order to understand how the building response is governed by decisive structural parameters and to compare preliminary calculations with other approaches such as the structural finite element analysis. Copyright © 2009 John Wiley & Sons, Ltd.

**Slide 10:** Questo lavoro è stato pubblicato nel 2010 nell'ambito degli studi teorici e applicativi per l'analisi degli edifici alti. In questo articolo, a partire da un approccio originalmente proposto nel 1985 dal Prof. Carpinteri, viene proposto un Algoritmo Generale per l'analisi della distribuzione dei carichi laterali in strutture tridimensionali composte da qualunque tipo di controventatura (telai, pareti intelaiate, pareti resistenti a taglio, nuclei e tubi a parete sottile chiusa e/o aperta). Il presupposto è che i solai siano indeformabili nei loro piani. L'Algoritmo Generale permette di analizzare le strutture tenendo conto, mediante la teoria di Vlasov, della effettiva rigidità torsionale degli elementi che le compongono. Il metodo, che è molto utile nell'ambito della progettazione preliminare, prevede tempi di elaborazione ridotti e ha lo scopo di individuare i parametri strutturali decisivi nel comportamento strutturale per completare poi il dimensionamento con approcci più dettagliati come l'analisi strutturale FEM.

## Evolution of the Fracturing Process in Masonry Arches

Alberto Carpinteri, F.ASCE<sup>1</sup>; Giuseppe Lacidogna<sup>2</sup>; and Federico Accornero<sup>3</sup>

**Abstract:** Masonry arch structures, and, more generally, vaulted structures, are traditionally assessed using a well-established approach, such as linear elasticity or limit analysis, whereby system behavior at the intermediate stage—which occurs when the material's tensile strength has been exceeded but the collapse mechanism has not yet formed—is disregarded. A more accurate interpretation requires a thorough analysis that can take into account the intermediate cracking stage and uses a constitutive law providing a closer approximation to the actual behavior of the material. In this paper, an evolutionary fracturing process analysis for the stability assessment of masonry arches is presented. This method makes it possible to capture the damaging process that takes place when the conditions evaluated by means of linear elastic analysis no longer apply and before the conditions assessed through limit analysis set in. Furthermore, the way the thrust line is affected by the opening of cracks and the redistribution of internal stresses can be checked numerically. Finally, by applying this evolutionary method, a numerical calculation of the arch of the Mosca Bridge over the Dora River in Turin, Italy, is described, and the results are compared with those obtained by Castigliano's iterative analysis. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001071. © 2014 American Society of Civil Engineers.

**Author keywords:** Arch structures; Masonry arch stability; Fracture mechanics; Fracturing process; Crack opening and closure; Mosca Bridge; Concrete and masonry structures.

© ASCE

04014132-1

J. Struct. Eng.

J. Struct. Eng. 2015.141

**Slide 11:** Questo lavoro è stato pubblicato nel 2015 nell'ambito degli studi sulla evoluzione fessurativa nei ponti ad arco in muratura. Il metodo descritto si fonda sui concetti della meccanica della frattura elastica lineare. Applicando questo procedimento evolutivo, nel lavoro è illustrata la verifica di stabilità del Ponte Mosca sul fiume Dora a Torino, e i risultati sono confrontati con quelli ottenuti dall'analisi iterativa che svolse Castigliano.



Slide 12: In questa figura riporto le copertine dei libri che ho pubblicato come autore o come editore durante la mia attività di ricerca.

L'elenco completo è riportato di seguito in ordine di tempo di pubblicazione:

- Chiorino M. A., Lacidogna G. (1993). Structural Effects of Time-dependent Behaviour of Concrete (vol. 215, pp. 307). ISBN: 978-2-88394-019-2. Lausanne: CE-B-FIP Bulletin, Federal Inst. of Tech. Lausanne (Switzerland).
- Carpinteri A., Lacidogna G., Surace C. (2002). Calcolo dei Telai Piani – Esempi ed Esercizi. (pp. VIII+518). ISBN: 88-371-1327-7. Bologna: Pitagora Editrice (Italy).
- Carpinteri A., Lacidogna G. (Editors) (2007). Earthquakes and Acoustic Emission (pp. IX+199). ISBN: 978-0-415-44402-6. LONDON: Taylor & Francis (Balkema) (United Kingdom).
- Carpinteri A., Lacidogna G. (Editors) (2008). Acoustic Emission and Critical Phenomena: From Structural Mechanics to Geophysics (pp. X+272). ISBN: 978-0-415-45082-9. LONDON: CRC Press/Taylor & Francis Group (United Kingdom).
- Carpinteri A., Lacidogna G., Paggi M. (2009). Calcolo delle Strutture Isostatiche. (pp. VIII+327). ISBN: 88-371-1782-5. BOLOGNA: Pitagora Editrice (Italy).
- Lacidogna G., Carpinteri A. (Editori) (2013) XXI Congresso Associazione Italiana di Meccanica Teorica e Applicata, Torino, 17-20 settembre 2013 - Volume dei Sommari (pp. XXX+356). ISBN: 978-88-8239-183-6. Torino: Edizioni Libreria Cortina (Italia).
- Carpinteri A., Lacidogna G., Manuello A. (Editors) (2015) Acoustic, Electromagnetic, Neutron Emissions from Fracture and Earthquakes (pp. VIII+264). ISBN 978-3-319-16954-5. Springer International Publishing (Switzerland).
- Lacidogna G. (Editor) (2021) Nondestructive Testing (NDT) (pp. IX+254) ISBN 978-3-0365-2292-0. MDPI Basel, (Switzerland).
- Scaramozzino D., Lacidogna G., Carpinteri A. (2021) Waves in Biomechanics. THz Vibrations and Modal Analysis in Proteins and Macromolecular Structures (pp. X+82). ISBN: 978-1-636-3925-61. Morgan & Claypool Publishers LLC (San Rafael, California, USA).

## **2 ELENCO DEGLI AUTORI E DELLE TESI DI DOTTORATO IN INGEGNERIA DELLE STRUTTURE DI CUI SONO STATO TUTORE O CO-TUTORE**

- Anno: 2007; Autore: Dr. Gianni Niccolini; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Acoustic emission as a precursor of critical phenomena in structural and seismic engineering.
- Anno: 2008; Autore: Dr. Amedeo Manuello Bertetto; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Acoustic emission characterization of critical phenomena in damaged structures.

- Anno: 2012; Autore: Prof. Jie Xu; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Energy emissions from critical phenomena and applications to structural health monitoring.
- Anno: 2014; Autore: Dr. Federico Accornero; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Structural health monitoring for preservation and safeguard of architectural cultural heritage.
- Anno: 2014; Autore: Dr. Sandro Cammarano; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Static and dynamic analysis of high-rise buildings.
- Anno: 2015; Autore: Dr. Emanuela Di Battista; Tutore: Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Interpretation of fracture mechanisms in ductile and brittle materials by the acoustic emission technique.
- Anno: 2016; Autore: Dr. Oscar Borla; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: The energy emissions as fracture and seismic precursors.
- Anno: 2017; Autore: Dr. Andrea Bassani; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Terahertz vibrations in proteins: experimental and numerical investigation.
- Anno: 2017; Autore: Dr. Patrizia Casimira Cutugno; Tutore: Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Space-time correlation of earthquakes and acoustic emission monitoring of historical constructions.

### ***3 ELENCO DEGLI AUTORI E DELLE TESI DI DOTTORATO IN INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE DI CUI SONO STATO TUTORE O CO-TUTORE***

- Anno: 2020; Autore: Dr. Giuseppe Nitti; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Static, dynamic, and stability analysis of high-rise buildings.
- Anno: 2020; Autore: Dr. Domenico Scaramozzino; Tutori: Prof. Alberto Carpinteri, Prof. Giuseppe Lacidogna;  
Titolo tesi: Elastic lattice models: From proteins to diagrid tall buildings.
- Anno: 2019-2022; Autore: Ing. Federico Vecchio; Tutori: Prof. Marco Zerbinatti, Prof. Giuseppe Lacidogna, Dr. Sara Fasana;  
Titolo tesi: Development of products and systems for construction and infrastructure through the use of geopolymeric type products.

#### **4 CONCLUSIONI**

In questa breve storia della mia carriera universitaria presso il Politecnico di Torino ho cercato di ripercorrere prevalentemente tramite delle immagini alcuni momenti significativi.

Ovviamente non mi è stato possibile riportare un resoconto completo delle esperienze che ho accumulato in questi anni come quelle dovute ai colloqui con gli studenti dei corsi di studi e di dottorato, le altre maturate durante le collaborazioni con i colleghi e quelle dovute alla partecipazione a convegni e simposi in Italia e all'estero, alcuni dei quali ho contribuito ad organizzare.

Ognuna di queste conoscenze mi ha arricchito sia dal punto di vista scientifico che da quello umano. Inoltre, in un'ottica Pirandelliana, ho imparato a considerare i fatti e le persone non tanto come appaiano originariamente, perché certe sembianze generalmente sono contraddittorie, inconsistenti, e tendono a sdoppiarsi, persino a smaterializzarsi nel tempo, ma quanto quelle iniziali apparenze tendano definitivamente a imprimersi e a solidificarsi con i fatti e con l'esperienza.

In conclusione ringrazio tutte le persone che hanno collaborato con me in questi anni, anche quelli che per brevità di spazio non ho potuto menzionare, ma di cui rimane una traccia indelebile nelle pubblicazioni scritte in collaborazione. Un ringraziamento speciale va al Prof. Alberto Carpinteri, uno dei pilastri della Scienza delle Costruzioni del Politecnico di Torino, senza il quale probabilmente la mia carriera universitaria non sarebbe neanche potuta cominciare.

# Reflections on graduate school

Roberta Massabò<sup>1</sup>

## **SUMMARY**

The paper summarizes the presentation given by the author at the meeting “Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture del Politecnico di Torino 1990-2018: Una Fucina di Idee per oltre un Quarto di Secolo”, held on November 23, 2018. It presents some reflections on graduate school in Italy.

## **1 INTRODUCTION**

The meeting in Torino gave the participants the opportunity to look back on the last twenty-five years of graduate school in Italy and think about its future. The author presented her point of view and proposed a number of topics for discussion based on personal experience, from the PhD years at Politecnico di Torino as a student, to current days as PhD faculty, supervisor and coordinator, in Italy and abroad.

## **2 A RECIPE FOR A SUCCESSFUL PHD: THE STRUCTURAL MECHANICS PROGRAM AT POLITECNICO DI TORINO IN THE NINETIES**

The PhD program in Structural Mechanics started at Politecnico di Torino in 1990 under the farsighted guidance of Professor Carpinteri, who coordinated the program, ever since, until 2014. In 1990 the PhD program was at its VI cycle in Italy and the author was one of the first students in Torino. The theme of her research thesis was Rupture Mechanisms in Fiber Reinforced Materials and the supervisor was Prof. Alberto Carpinteri.

<sup>1</sup> *Department of Civil, Chemical and Environmental Engineering, University of Genova, Genova, Italy*  
*E-mail: roberta.massabo@unige.it*

*Keywords: graduate school, fracture mechanics, supervising.*

It would be impossible to summarize in a short paper the enriching experience of the three PhD years at Politecnico di Torino. Table 1 presents a list of the highlights of the experience which, in the author's opinion, can be used as a recipe for a successful PhD program.

The first necessary requirement for the successful completion of a PhD is an expert supervisor, able to propose an interesting research problem to work on, to guide and help the student to make the right research choices and avoid or correct erroneous paths, available for weekly meetings to follow the student's progress. However, only the attitude for research, capabilities, independence and hard work of the student will determine the final outcome, especially in terms of originality and novelty of the work produced. The right environment and the PhD colleagues also play an important role. Finally, a successful PhD also requires the student to be able to develop a scientific network and make him/herself known to the scientific community; this can be done through participation to conferences and meetings with the help and support of the supervisor and the university.

All of the above was found by the author at the Politecnico di Torino. A PhD thesis and a number of journal publications and book chapters were produced as a results of the program [1–6]. The publications are still used nowadays by researchers working on modeling of fracture processes in fiber reinforced concrete. The international connections developed during the program, thanks to the many conferences attended and the various international conferences organized by Prof. Carpinteri in Torino, along with the basic knowledge acquired during the PhD years, generated a stream of research which spanned over the following ten years [7–12].

*Table 1*

<b>Recipe for a successful PhD: the Structural Mechanics Program at Politecnico di Torino (1990-1994)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisor expertise</li> <li>• Interesting PhD project</li> <li>• Weekly meetings</li>   <li>• Attitude, independence and hard work</li> <li>• Favorable environment</li> <li>• Friends</li>   <li>• International connections</li> <li>• Participation to conferences</li> </ul>

### **3 GRADUATE SCHOOLS IN ITALY AND ABROAD**

The basic structure of the Structural Mechanics PhD Program at Politecnico di Torino in the early days was shared, with some differences, by many Italian Universities, including the University of Genova, where the author has been part of the PhD Faculty and supervisor of PhD students [13-23] since 1999. The main difference, in those days, was the presence at the University of Genova of a formal program of PhD courses while at Torino the organization of the educational activities was mainly left to the supervisors.

On the other hand, the Italian PhD programs differed in those days and still differ Today, on many grounds, from PhD programs in foreign universities. The author had personal experience as a PhD faculty member and supervisor at Northwestern University, U.S.A. in the years 2001-2005 [24–27].

A number of features the author observed at Northwestern University were, and mostly still are, common in non-Italian universities. Supervisors of non-Italian universities, especially when they are successful in research and funding, typically have big groups of students and often post-docs and older students help the professors in supervising younger students. While this structure works well for the advancement of research, the mentoring activity which still characterizes most Italian PhD programs and is essential for the personal development of a new researcher is sometimes missing. University and government funded fellowships are rare and most fellowships are covered through research grants. This has advantages and drawbacks. The research themes are mostly guided by funded projects and is not rare that a student has to change research topic following the available fundings. Participation to conferences is not always favoured or supported by the supervisors. The duration of the PhD program can be up to five years and the organizational structure is different. One important difference is in the final exam and in the examination committee which abroad is typically individual and formed by experts in the specific field of research of the student compared to the enlarged committees of the Italian PhD programs.

### **4 PHD PROGRAM IN ITALY – CURRENT DAYS**

The structure of the PhD program in Italy has been modified by a new regulation a few years ago. One of the changes is the new accreditation system, which is applied to ensure a minimum level of quality. The new system favors and facilitates double-degree programs, co-tutelle agreements with foreign universities and industrial doctorates. The number of foreign students has progressively increased during the years yielding an important change in the admission process with the elimination of the written entrance exam of the old days.

The number of publications produced on average by a PhD student has increased substantially in recent years. Often these publications are co-authored by many authors and the student participate and contribute to many different projects.

The number of university or government funded fellowships has not increased during the years and the number of fellowships funded through research projects in Italy is still quite low.

## **5 CONCLUSIONS: FOOD FOR THOUGHT**

The author concluded her presentation proposing some topics for discussion.

### ***PhD selection process.***

The selection process for entering PhD in Italian universities has changed substantially over the years. The formal written examination, which has been applied for many years and allowed assessing the technical capabilities of the candidates, has been substituted by an interview, which is often telematics, and mostly based on a short presentation of the candidate, with often just a few or no technical questions. It is not rare that students encounter difficulties during the first years of PhD because their preparation is not sufficient or their attitude for research limited. Should the admission process be rethought?

### ***PhD work: collaborative versus individual***

Following the universal trend in research, PhD work is becoming more collaborative and the individual study, which has been the main feature of the PhD work over the years, is not always favoured or supported by the supervisors. This has advantages, since the students learn to collaborate and work in teams, but also many drawbacks, since the students may miss the opportunity to learn how to formulate, tackle and solve a problem by him/herself. Is our training always effective?

### ***Multidisciplinary PhD***

Following again the trend of research, the word "multidisciplinary PhD" is now occurring more and more often. The main question is: can a PhD student, who still has to learn how to conduct research in a single field, learn how to conduct multidisciplinary research?

### ***External evaluators and examination committee***

The new regulation introduces the "external evaluators", who are experts in the specific research field of the thesis and will decide if the thesis is ready for public discussion and to be presented to the examination committee. The external evaluators are an important addition to the Italian system, since before

a thesis could be examined by researchers who were not experts in the specific research theme of the student. It is however quite difficult to find experts with no relationship with the students or the supervisor and who are ready to review a PhD thesis while not being members of the examination committee. Should the Italian system change and adapt to the international standard?

### ***PhD controlled by metrics***

Are the metrics which are extensively being used within the university system (VQR, ASN) affecting also our PhD programs and the way we train our students?

### **REFERENCES**

1. Carpinteri, A. and Massabó, R., "Bridged versus cohesive crack in the flexural behavior of brittle-matrix composites," *Int. J. Fract.* 81(2):125–145, 1996, doi:10.1007/BF00033178.
2. Carpinteri, A. and Massabó, R., "Reversal in Failure Scaling Transition of Fibrous Composites," *J. Eng. Mech.* 123(2):107–114, 2002, doi:10.1061/(asce)0733-9399(1997)123:2(107).
3. Carpinteri, A. and Massabó, R., "Continuous vs discontinuous bridged-crack model for fiber-reinforced materials in flexure," *Int. J. Solids Struct.* 34(18):2321–2338, 2002, doi:10.1016/s0020-7683(96)00129-1.
4. Massabó, R., "The bridged-crack model," in: Gladwell, G. and Carpinteri, vol. ed. A., eds., *Nonlinear Crack Models for Nonmetallic Materials*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, ISBN 0-7923-5750-7: 141–208, 1999.
5. Carpinteri, A; Massabó, R.; Brencich, A., "Comparisons and conclusions, book chapter," in: Carpinteri, A., ed., *Nonlinear Crack Models for Nonmetallic Materials*, Dordrecht, The Netherlands, Dordrecht, The Netherlands, ISBN 0-7923-5750-7: 285–310, 1999.
6. Massabó, R., "Rupture Mechanisms in Fiber Reinforced Materials," Politecnico di Torino, 1994.
7. Cox, B.N., Massabó, R., and Kedward, K.T., Suppression of delaminations in curved structures by stitching, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 27(12 PART A):1133–1138, 1996, doi:10.1016/1359-835X(96)00084-X.
8. Massabó, R., Mumm, D.R., and Cox, B.N., "Characterizing mode II delamination cracks in stitched composites," *Int. J. Fract.* 92(1), 1998.
9. Massabo, R. and Cox, B.N., "Concepts for bridged Mode II delamination cracks," *J. Mech. Phys. Solids* 47(6):1265–1300, 1999, doi:10.1016/S0022-5096(98)00107-0.
10. Massabó, R. and Cox, B.N., "Unusual characteristics of mixed-mode delamination fracture in the presence of large-scale bridging," *Mech. Compos. Mater. Struct.* 8(1), 2001, doi:10.1080/10759410120212.

11. Rugg, K.L., Cox, B.N., and Massabò, R., "Mixed mode delamination of polymer composite laminates reinforced through the thickness by z-fibers," *Compos. - Part A Appl. Sci. Manuf.* 33(2), 2002, doi:10.1016/S1359-835X(01)00109-9.
12. Sridhar, N., Massabò, R., Cox, B.N., and Beyerlein, I.J., "Delamination dynamics in through-thickness reinforced laminates with application to DCB specimen," *Int. J. Fract.* 118(2), 2002, doi:10.1023/A:1022884410968.
13. Massabò, R., Brandinelli, L., and Cox, B.N., "Mode I weight functions for an orthotropic double cantilever beam," *Int. J. Eng. Sci.* 41(13-14):1497-1518, 2003, doi:10.1016/S0020-7225(03)00029-6.
14. Brandinelli, L. and Massabò, R., "Mode II weight functions for isotropic and orthotropic double cantilever beams," *Int. J. Fract.* 139(1):1-25, 2006, doi:10.1007/s10704-006-6358-0.
15. Brandinelli, L. and Massabò, R., "Free vibrations of delaminated beam-type structures with crack bridging," *Compos. Struct.* 61(1-2), 2003, doi:10.1016/S0263-8223(03)00035-7.
16. Massabò, R. and Campi, F., "Assessment and correction of theories for multilayered plates with imperfect interfaces," *Meccanica* 50(4):1045-1071, 2015, doi:10.1007/s11012-014-9994-x.
17. Massabò, R.; Darban, H., "Mode II dominant fracture of layered composite beams and wide-plates: a homogenized structural approach," *Eng. Fract. Mech.*, 2019, doi:10.1016/j.engfracmech.2019.03.002.
18. Darban, H., Massabò, R., "A homogenized structural model for shear deformable composites with compliant interlayers," *Multiscale Multidiscip. Model. Exp. Des.* 1:269-290, 2018, doi:10.1007/s41939-018-0032-x.
19. Massabò, R., Ustinov, K., Barbieri, L., and Berggreen, C., "Fracture mechanics solutions for interfacial cracks between compressible thin layers and substrates," *Coatings* 9(152), 2019, doi:10.3390/coatings9030152.
20. Barbieri, L., Massabò, R., and Berggreen, C., "The effects of shear and near tip deformations on interface fracture of symmetric sandwich beams," *Eng. Fract. Mech.* 201:298-321, 2018, doi:10.1016/j.engfracmech.2018.06.039.
21. Pelassa, M. and Massabò, R., "Explicit solutions for multi-layered wide plates and beams with perfect and imperfect bonding and delaminations under thermo-mechanical loading," *Meccanica* 50(10):2497-2524, 2015, doi:10.1007/s11012-015-0147-7.
22. Campi, F. and Massabò, R., "An analytical assessment of the influence of skin imperfections on the indentation collapse mechanism in composite sandwich beams," *Compos. Struct.* 94(1):299-311, 2011, doi:10.1016/j.compstruct.2011.05.006.
23. Lundsgaard-Larsen, C., Massabò, R., and Cox, B.N., "On acquiring data for large-scale crack bridging at high strain rates," *J. Compos. Mater.* 46(8), 2012, doi:10.1177/0021998311413622.

24. Andrews, M.G., Massabò, R., and Cox, B.N., "Elastic interaction of multiple delaminations in plates subject to cylindrical bending," *Int. J. Solids Struct.* 43(5):855–886, 2006, doi:10.1016/j.ijsolstr.2005.04.025.
25. Andrews, M.G. and Massabò, R., "The effects of shear and near tip deformations on energy release rate and mode mixity of edge-cracked orthotropic layers," *Eng. Fract. Mech.* 74(17):2700–2720, 2007, doi:10.1016/j.engfracmech.2007.01.013.
26. Andrews, M.G., Massabò, R., Cavicchi, A., and Cox, B.N., "Dynamic interaction effects of multiple delaminations in plates subject to cylindrical bending," *Int. J. Solids Struct.* 46(9):1815–1833, 2009, doi:10.1016/j.ijsolstr.2008.11.027.
27. Andrews, M.G. and Massabò, R., "Delamination in flat sheet geometries with material imperfections and thickness variations," *Compos. Part B Eng.* 39(1):139–150, 2008, doi:10.1016/j.compositesb.2007.02.017.



## Dalle istruttive correzioni di bozze del prof. A. Carpinteri alla medaglia A.A. Griffith

Nicola M. Pugno<sup>1,2</sup>

### SOMMARIO

Questo breve contributo sintetizza quanto da me presentato in italiano il 21 Novembre 2018 a Torino, invitato dal prof. Lacidogna in occasione della giornata studio “Il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture del Politecnico di Torino 1990-2018: Una Fucina di Idee per oltre un Quarto di Secolo.” organizzata dai profs. Cadoni, Ferro, Lacidogna e Massabò. Lo fa, in maniera molto semplice e con poche pretese, riportando le slide presentate in quella occasione, ognuna corredata da un breve commento. Il messaggio sostanziale è un ringraziamento pubblico al prof. Carpinteri per avermi iniziato alla carriera scientifica e in particolare alla Meccanica della Frattura, culminata con la medaglia Griffith da me ricevuta nel 2017 e con la Plenary Opening Lecture al 25<sup>th</sup> ICTAM, da me tenuta questo anno proprio ricordando i 100 anni della teoria di Griffith (1921).

### SLIDE PRESENTATE E LORO BREVE COMMENTO.

In questa sezione si riportano le slide presentate con un loro breve commento.

<sup>1</sup>Laboratory for Bioinspired, Bionic, Nano, Meta, Materials & Mechanics, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Via Mesiano, 77, 38123 Trento, Italy

E-mail: nicola.pugno@unitn.it

<sup>2</sup>School of Engineering and Materials Science, Queen Mary University of London, Mile End Road, London E1 4NS, United Kingdom



Slide 1: Introduttiva, con sullo sfondo i denti di patella, da noi scoperti essere il materiale naturale più resistente attualmente noto, con resistenza di circa 6 GPa (alla scala testata; ovvero paragonabile alla resistenza di una fibra di carbonio “ad alta resistenza”).

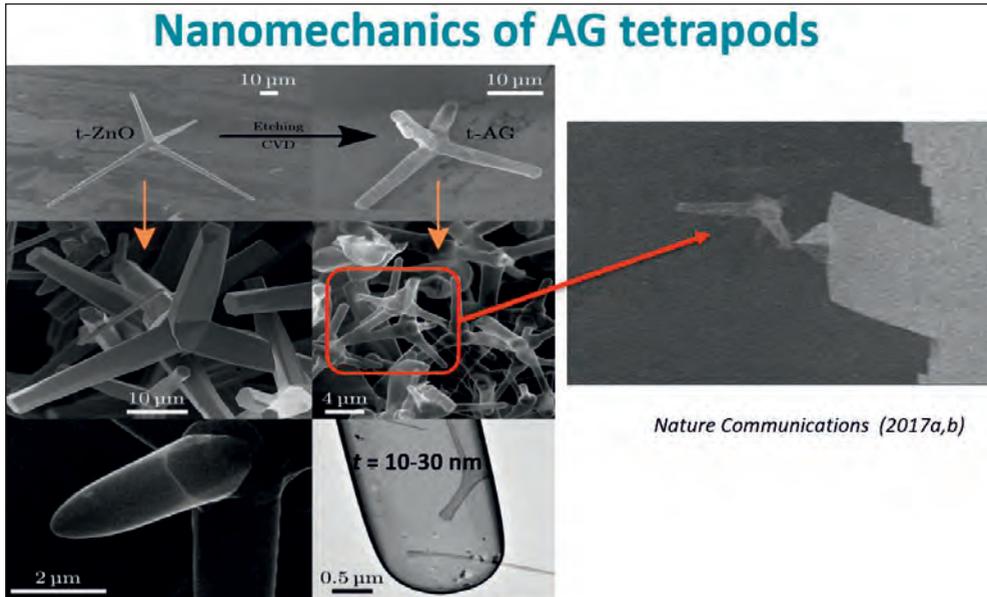
## A. A. Griffith's Medal



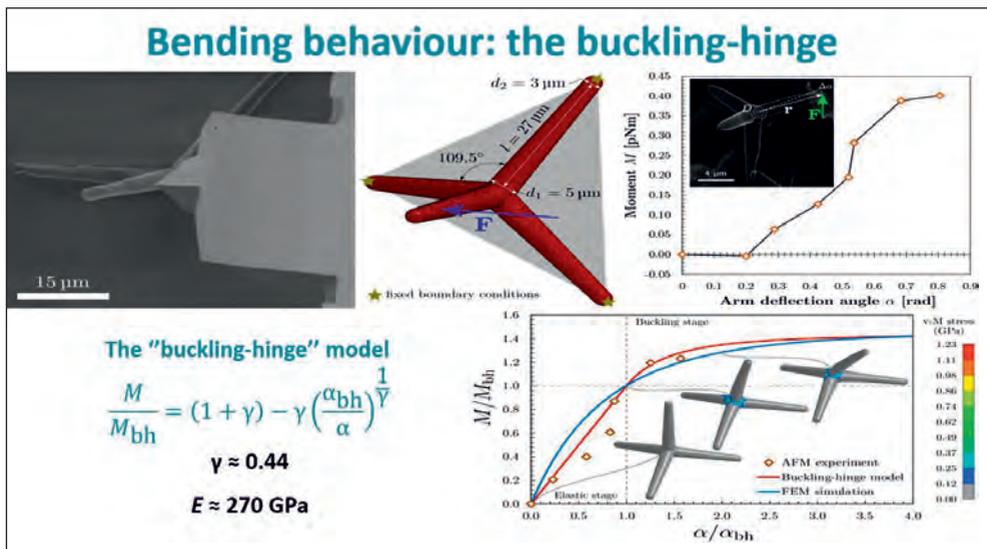


1960 - Sir Alan Cottrell	1976 - J. H. Chesters	1986 - Nicholas J. Phillips	1996 - Professor A. J. Kinloch	2006 - Dr. P. S. Bate
1966 - J. E. Gordon	1977 - Professor Edgar H. Andrews	1987 - E. D. Hondros	1997 - G. C. Wood	2007 - Professor R. D. Ritchie
1967 - Professor Frederick Charles Frank, later Sir Charles Frank	1978 - Sir Alastair Pilkington	1988 - Professor M. J. Bevis	1998 - Dr. J. Johnson	2008 - Professor Neil Alford
1968 - Professor David Taylor	1979 - Sir Peter Hirsch	1989 - Professor K. H. Jaek	1999 - Professor J. F. Knott	2009 - Professor Lindsay Greer
1969 - Sir Geoffrey Taylor	1980 - J. T. Scales	1990 - Professor P. L. Pratt	2000 - Professor R. C. Pond	2010 - Professor Robin Grimes
1970 - Sir Hugh Ford	1981 - Professor Michael F. Ashby	1991 - Professor William Bonfield	2001 - Professor Colin John Humphreys	2011 - Professor David Hayhurst
1971 - J. W. White	1982 - Professor I. M. Ward	1992 - D. V. Wilson	2002 - Professor R. J. Young	2012 - Professor Molly Stevens
1972 - L. R. G. Treloar	1983 - Professor Robert W. Cahn	1993 - C. Gurney	2003 - R. W. Whistmore	2013 - Dr. Robert Broomfield
1973 - Sir Nevill Mott	1984 - Professor W. C. Wake	1994 - Professor Anthony G. Evans	2004 - Professor T. W. Clyne	2014 - Professor Norman Fleck
1974 - Professor Anthony Kelly	1985 - Professor Derek Hull	1995 - G. W. Greenwood	2005 - Professor D. J. Bacon	2015 - Professor Ivan Farkin
1975 - Sir Monty Finnis				2016 - Professor Yiu Wing Mai
				2017 - Professor Nicola M. Pugno

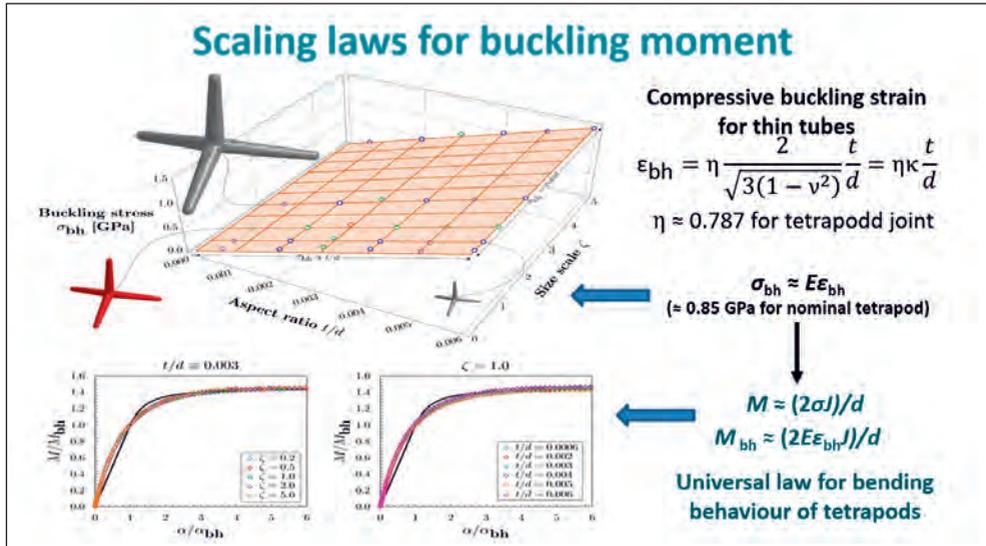
Slide 2: Si riporta la lista dei vincitori della medaglia Griffith (assegnata dall'IOM3 già 2 anni dopo la morte di Griffith) nelle varie edizioni, si ringrazia pubblicamente il prof. Carpinteri per avermi iniziato alla ricerca nel campo della Meccanica della Frattura, a partire dalle sue istruttive correzioni di bozze fino alla medaglia Griffith, assegnatami nel 2017. Si ricorda che il prof. Carpinteri ha ricevuto una omonima medaglia, assegnatagli dall'ESIS nel 2008.



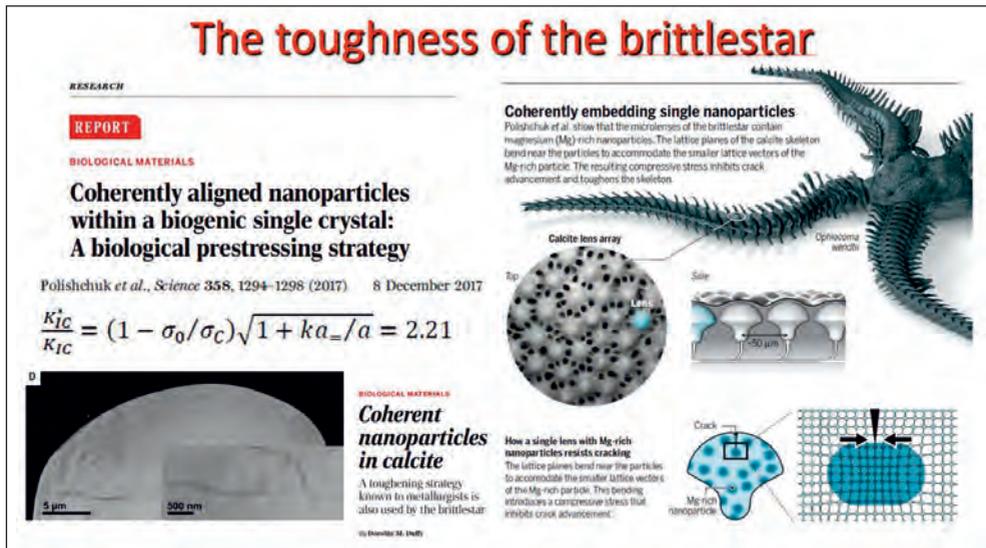
Slide 3: Come esempio di studio recente si discute la meccanica dei tetrapodi componenti l'aerogel, uno dei materiali strutturali più leggeri al mondo. Viene mostrato un video di flessione di un suo braccio eseguito con un microscopio a forza atomica.



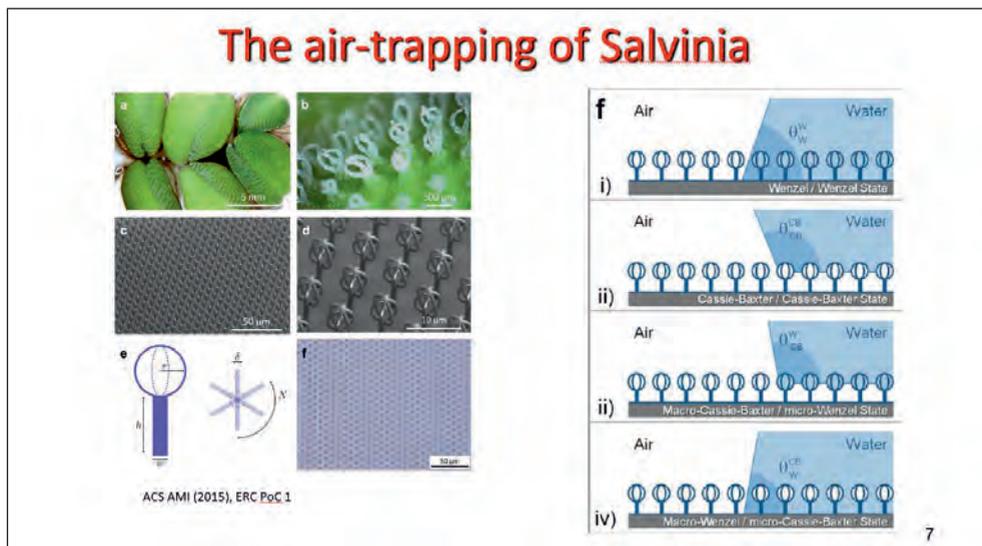
Slide 4: I valori sperimentali del diagramma momento-curvatura vengono confrontati con simulazioni numeriche e con un modello analitico che suggerisce la formazione di una "cerniera instabile" in analogia a quella plastica.



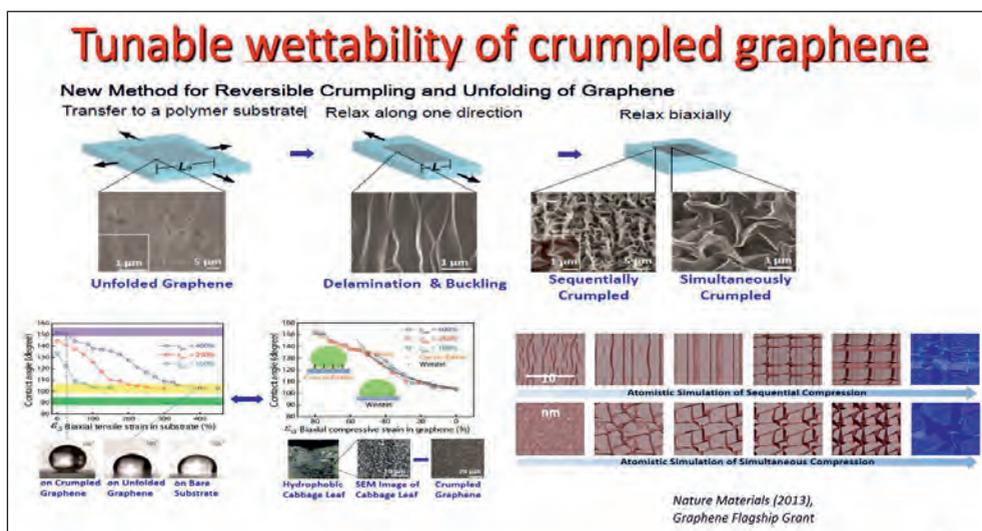
Slide 5: Il modello analitico è esteso a differenti forme e dimensioni dei tetrapodi, trovando comportamenti “universali”. Ciò consente il progetto del materiale aerografito.



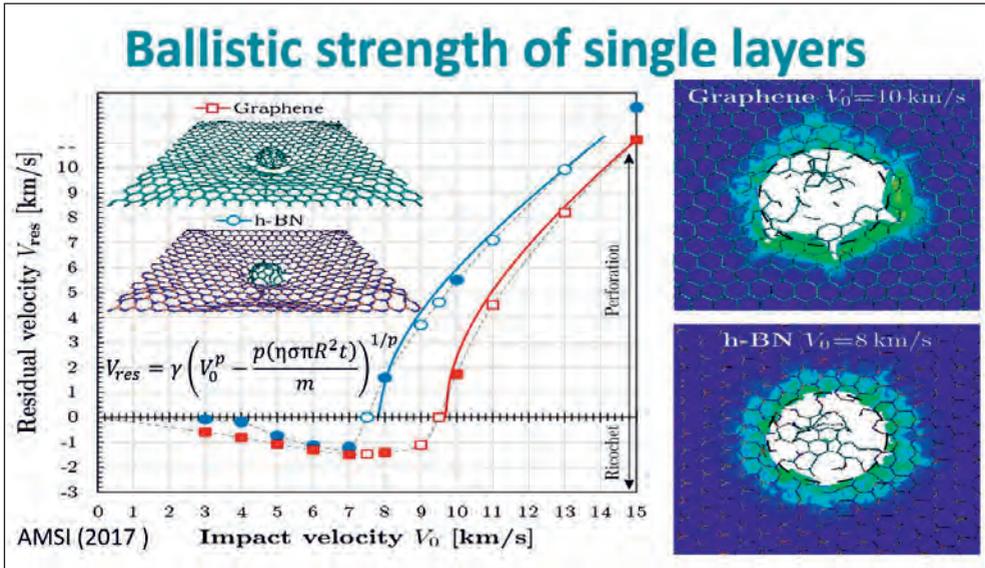
Slide 6: Si prosegue con l'esempio della stella serpentina, in grado di formare un materiale con zone precomprese e per questo più tenace, senza la necessità di strutture complesse es. gerarchiche che qui porterebbero a rovinare la funzione del materiale come lente ottica. La tenacizzazione è ulteriormente aumentata dalla formazione di strati/interfacce. Il tutto è stato modellato con la meccanica della frattura e verificato sperimentalmente.



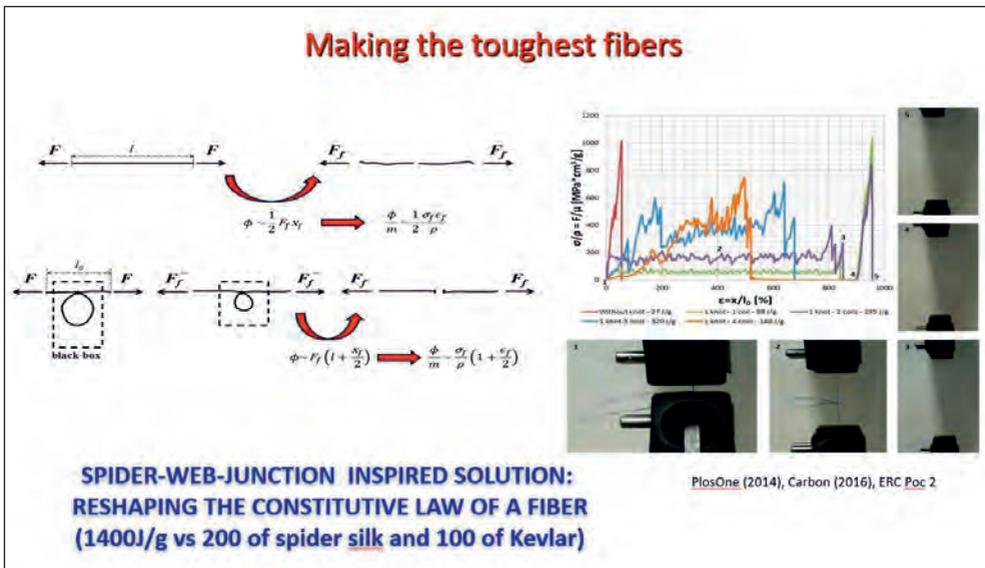
Slide 7: Si mostra un esempio di nanofabbricazione spinta, mimando a scala più piccola del naturale le strutture che caratterizzano le foglie di *salvinia molesta* e in grado di accumulare aria quando sommerse.



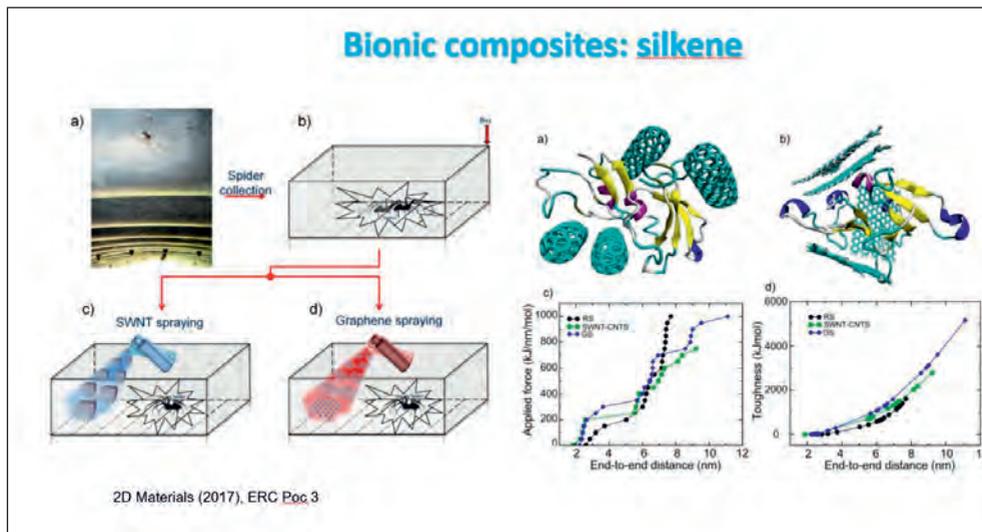
Slide 8: Depositando grafene su un substrato elastico preteso è possibile -rimuovendo la pretensione- stropicciarla, e quindi ritensionando parzialmente il substrato controllare la sua stropicciatura e conseguentemente la bagnabilità della superficie, come noto legata alla topologia superficiale (effetto loto).



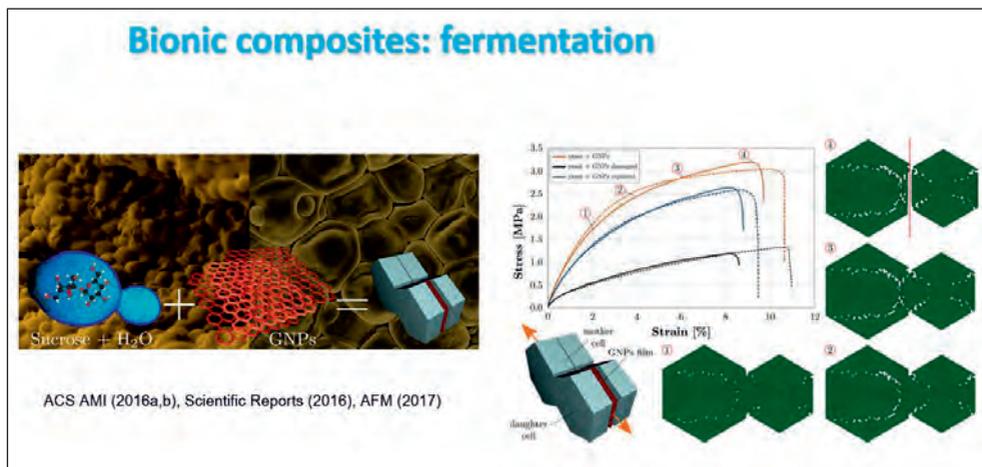
Slide 9: Si riporta la resistenza alla penetrazione di strati monoatomici come grafene e nitruro di boro, calcolata con simulazioni multiscala, da *ab-initio* (quantum-based) agli elementi finiti (continuum-based), confrontate con modello analitico.



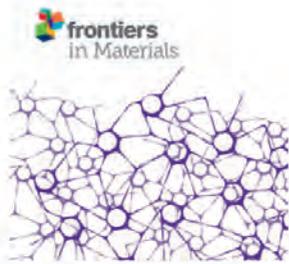
Slide 10: Si riporta “l’uovo di Colombo” per realizzare le fibre più tenaci al mondo: sfruttando nodi e attrito una fibra può mostrare un modulo di tenacità pari fino al valore della sua resistenza specifica, dimostrando che è possibile realizzare materiali molto più tenaci di quelli attuali. Così si è realizzato un record di tenacità, superando i 1000 J/g. Un concetto ispirato alle giunzioni delle ragnatele.



Slide 11: Si riporta uno studio per realizzare una seta bionica ancora più resistente di quella naturale, ottenuta nutrendo ragni con grafene e nanotubi.



Slide 12: Si riporta uno studio per realizzare altri compositi bionici, nutrendo lieviti con grafene e nanotubi.



**frontiers**  
in Materials

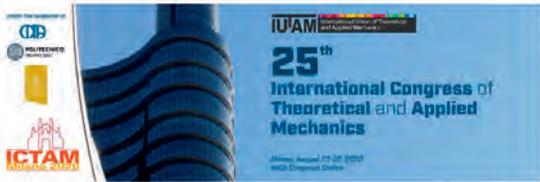
**First impact factor of 2.008**

**As editor in chief of Frontiers in Materials  
and section editor of Mechanics of Materials  
I invite you to submit your papers even here**

Frontiers in Materials is composed of the following Specialty Sections:

- [Biomaterials](#)
- [Carbon-Based Materials](#)
- [Colloidal Materials and Interfaces](#)
- [Computational Materials Science](#)
- [Energy Materials](#)
- [Environmental Materials](#)
- [Functional Ceramics](#)
- [Glass Science](#)
- [Mechanics of Materials](#)
- [Optics and Photonics](#)
- [Polymeric and Composite Materials](#)
- [Smart Materials](#)
- [Structural Materials](#)
- [Thin Solid Films](#)
- [Translational Materials Science](#)

Slide 13: Si sollecita la sottomissione di lavori alla rivista Frontiers in Materials, di cui sono editor-in-chief e che aveva appena ricevuto il suo primo impact factor (2; attualmente 3.5).



**Plenary Lecturers**

**Opening Lecture**  
Professor Nicola Pugno  
University of Trento  
Trento, Italy  
[nicola.pugno@unitn.it](mailto:nicola.pugno@unitn.it)

**Closing Lecture**  
Doctor Elisabeth Guazzelli  
Senior scientist CNRS  
Laboratoire Matière et Systèmes Complexes,  
Université de Paris, CNRS France  
[elisabeth.guazzelli@univ-amu.fr](mailto:elisabeth.guazzelli@univ-amu.fr)

\*The International Union of Theoretical and Applied Mechanics was founded in 1946, during the Sixth Congress in Paris. Each of the first six congresses had been organized by a national committee of scientists from the country where the congress was to be held.

25	2020	Milano, Italy	A. Corigliano
24	2016	Montreal, Canada	J.M. Floryan
23	2012	Beijing, China	Y. Bai
22	2008	Adelaide, Australia	E. O. Tuck
21	2004	Warsaw, Poland	W. Gutkowski
20	2000	Chicago, USA	H. Aref
19	1996	Kyoto, Japan	T. Tatsumi
18	1992	Haifa, Israel	J. Singer
17	1988	Grenoble, France	P. Germain and M. Piau
16	1984	Lyngby, Denmark	F. I. Niordson
15	1980	Toronto, Canada	F. P. J. Rimrott
14	1976	Delft, The Netherlands	W. T. Koiter
13	1972	Moscow, USSR	N. I. Muskhelishvili
12	1968	Stanford, USA	N. J. Hoff
11	1964	Munich, Germany	H. Görtler
10	1960	Stresa, Italy	G. Colonnetti
9	1956	Brussels, Belgium	F. H. van den Dungen
8	1952	Istanbul, Turkey	K. Erim
7	1948	London, UK	R. V. Southwell
6	1946*	Paris, France	H. Villat
5	1938	Cambridge, USA	K. T. Compton
4	1934	Cambridge, UK	C. E. Inglis
3	1930	Stockholm, Sweden	A. F. Enström
2	1926	Zürich, Switzerland	E. Meissner
1	1924	Delft, The Netherlands	C. B. Biezeno

Slide 14: Si ricorda l'onore da poco conferitomi dallo IUTAM di dover aprire i lavori del 25<sup>th</sup> ICTAM, che torna in Italia dopo 60 anni, poi tenutosi online nel 2021 causa pandemia (video conferenza e extend abstract sono disponibili online).

## Il Dodicesimo Cammello

**Un cammelliere, proprietario di undici cammelli, dispone nel testamento la divisione dei suoi beni: 1/2 al primogenito, 1/4 al secondogenito, e 1/6 al terzogenito.**

**Alla sua morte i 3 figli incominciano a litigare, perchè il primogenito, a cui spetterebbero 5 cammelli e mezzo, ne vorrebbe 6, mentre gli altri fratelli, sostenendo che lui sia già stato fin troppo privilegiato dal padre, si oppongono.**

**Un giorno un povero cammelliere, proprietario di un solo cammello e in viaggio nella terra dei fratelli, vedendo il loro conflitto insanabile decide di donare loro il suo cammello. I dodici cammelli vengono così divisi tra i fratelli pacificati secondo quanto disposto nell'eredità: 6 al primogenito, 3 al secondogenito e 2 al terzogenito. Il cammello avanzato viene recuperato dal povero cammelliere che, non calcolatore e sorpreso, riprende il suo viaggio.**

**Anche lo scienziato, che è per natura un po' egoista, dovrebbe non solo saper crescere, cosa che più o meno riesce a tutti, ma soprattutto saper decrescere, per fare gratuitamente spazio agli altri.**

**L'augurio allora che mi faccio e vi faccio è quindi quello di saper portare il dodicesimo cammello.**

**nicola.pugno@unitn.it**

**Slide 15:** Conclusiva, si cita una novella per lanciare una nuova sfida: lo scienziato -per sua natura un po' egoista- deve saper affermarsi ma anche mettersi da parte, per poter sempre crescere come Uomo.

### CONCLUSIONI

La conclusione sostanziale è un ringraziamento pubblico al prof. Carpinteri, in particolare per tutto quello che ha fatto per me nella fase iniziale e quindi più critica della mia carriera ma più in generale per il suo tenace lavoro svolto a favore della gloriosa scuola torinese di Scienza delle Costruzioni.



---

# Seismic risk and protection of built heritage: the role of structural health monitoring

Serena Campioli<sup>1</sup>, Gaetano Miraglia<sup>1</sup>, Rosario Ceravolo<sup>1</sup>

## **SUMMARY**

Structural Health Monitoring can play an important role in the preservation of architectural heritage, especially when it can support a rapid and reliable assessment of damage and degradation. More specifically, vibration-based monitoring may help to predict the dynamic response of a structure during seismic events, as well as the damage mechanisms activated by ground motions. This information will in turn support the implementation of effective and non-invasive protection strategies.

This paper specifically concerns the multi-disciplinary approach of applying Remote Sensing data to Optimal Sensor Placement for supporting Structural Health Monitoring strategies.

## **1 INTRODUCTION**

In today's interconnected world, structures and infrastructures represent complex engineering systems essential to society. In fact, their dependence on humanity is so important and pressing that such systems need to be safer and more reliable. In particular, built heritage represents an extremely vulnerable class of structures, whose structural stability should always be monitored, both due to (i) the age of these systems (e.g., effect of deterioration over time) and (ii) the intrinsic low ability to respond to catastrophic natural events such as earthquakes (e.g., lack of a proper seismic design) [1]. One way to reduce the risk of unwanted

<sup>1</sup>*Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering, Politecnico di Torino, Italy*

*E-mail: serena.campioli@studenti.polito.it, gaetano.miraglia@polito.it; rosario.ceravolo@polito.it*

*Keywords: Remote Sensing, Structural Health Monitoring, Protection of built heritage.*

structural responses is to monitor the health state of these structures, relying on the so-called Structural Health Monitoring (SHM) strategies. To reach this goal, it is essential to obtain information on the condition of the structures as continuously as possible, as also stated by the ICOMOS standards [2]. This would help, for example, in the identification of the real conditions of the structure helping to the definition of future maintenance actions, such as the design and application of structural retrofitting. Thus, SHM is supposed to be able to reduce the seismic risk of built heritage bringing to light the real structural conditions of a structure or infrastructure, playing a fundamental role in the preservation of the architectural heritage. This is also better stated by ICOMOS standards, which point to the importance of periodic (even better continuous) controls of the construction as the primary tool for preservation. SHM could be defined as [3] *the process of implementing a damage detection strategy for engineering infrastructure*. One common way to perform SHM is starting from monitoring the modal model evolution (i.e., natural frequencies, mode shapes and modal damping ratio) during time. To reach this goal a dedicated *structural sensing system* (i.e., sensors, acquisition system, etc.) needs to be mounted on the structures, thanks to which a *structural sensing response* (e.g., displacements, velocities, and structural accelerations) can be monitored and processed in time to get estimates of *structural features*, such as the modal parameters, which will act as indicators of the health status of a monitored, target, structure. To reach this goal the structural sensing system should be designed to maximize the quantity and quality of the information that can be extracted by the target structure, reducing at the same time the redundancies. This activity, commonly referred as Optimal Sensor Placement (OSP), aims to customize the monitoring system over a target structure, which is seen (and this is even more true for structures belonging to the built heritage), as a unique entity. OSP activities need input data from a numerical model that can predict the behavior of the real structure. However, very often, these models do not include information about the real conditions of the structure, bringing discrepant results from reality. In this scenario, the paper proposes the possibility of using real data from remote sensing (instead of numerical models) as input of OSP activities. For this, the authors explore the possibility of applying remote sensing with sensors mounted on suitable platforms to derive and use, as OSP input, the position and displacement, velocity, or acceleration of a point on a target structure and their variation over time. In this way, a sensor setup based on real data would be obtained, avoiding discrepancies as there would no longer be the need for numerical data, even if in this way experimental observation errors would be introduced.

Section 2 reports the methodological approach. In Section 3, a technological overview of the available remote sensing technologies is presented highlighting the main attributes of different platforms and payloads. Then, the requirements to perform Remote OSP (ROSP) are reported. Finally, Section 4 draws the conclusions of the work.

## 2 METHOD

The proposed methodology is conceived as follows: (i) state of the art of remote sensing, in order to subsequently be able to make a conscious choice of technology; (ii) definition of OSP requirements in order to identify the best payloads and remote sensing technologies; (iii) feasibility study on the identified solutions through costs and risks analysis and tools such as the Analytical Hierarchy Process (AHP) [4], in order to select the optimal solution; (v) experimental tests to validate the technology and draw final conclusions; (vi) guidelines definition.

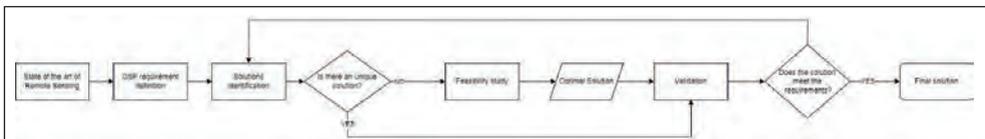


Figure 1 - Flow chart.

Following the methodology in Figure 1, the first step to reach the goal consists in an overview of the existing technologies to support remote OSP solutions, which is the focus of this paper.

## 3 TECHNOLOGY OVERVIEW

### 3.1 Remote Sensing Technology

Remote sensing is defined as [5] *the acquisition of information about an object without being in physical contact with it*. Remote sensing technologies find their application in widening information, allowing to investigate a wider area, and limiting the use of resources and time. Besides, remote sensing enables the acquisition of data of different areas, even those not reachable from ground or dangerous ones. To illustrate the basic principles of remote sensing, reference can be made to Figure 2: each technology involves the interaction of the incident radiation with the target and its alteration according to the physical properties of the target itself. This incident radiation is then reflected back and recorded by sensors.

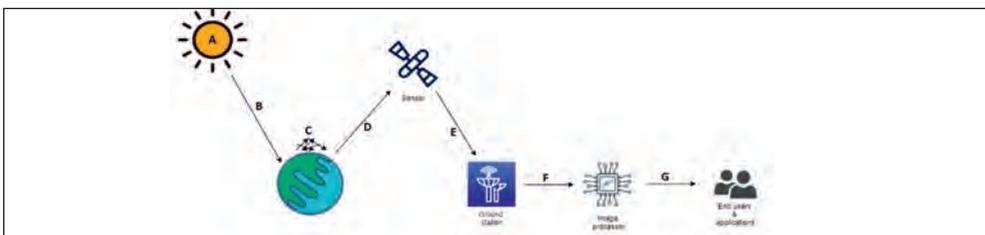
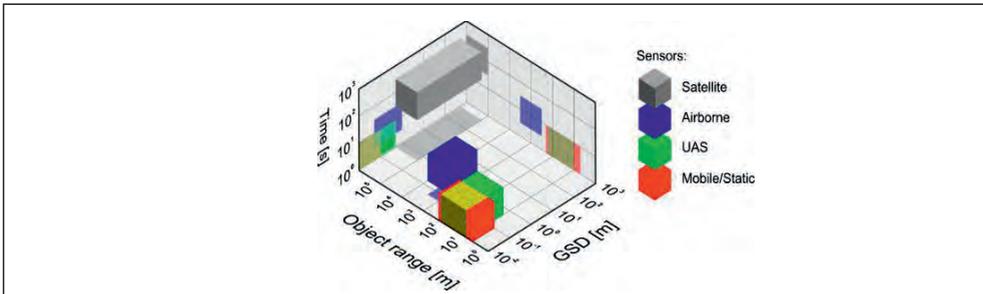


Figure 2 - Basic principles of remote sensing.

Since each remote sensing technology has both advantages and disadvantages, the optimal choice must be evaluated based on their application, the specific case, the suitable platform, and the associated costs.

### 3.2 Remote Sensing Platforms and Sensors

Remote sensing devices must be mounted on a suitable stable platform located on the ground, within Earth's atmosphere or on a spacecraft outside the atmosphere. There are mainly four different types of platforms: spaceborne platforms (satellite, spacecraft), airborne platforms (aircraft, balloon, sounding rocket), Unmanned Aerial Systems (UAS) and ground-based platform (mobile/static). In [6] the authors define the goal of any remote sensing technology as the observation of some physical parameters in a defined mapping frame at a given time. In Figure 3, the observation interval is illustrated like a cube, through the definition of three sensor parameters: (1) the spatial resolution in Ground Sampling Distance (GSD), (2) the review time or frequency of data acquisition, (3) the range of the object, as the average distance between the sensor and the target. In this definition the sensor's spectral aspect is not included.



**Figure 3** - Observation cube for remote sensing [6].

Undoubtedly, there are several other aspects characterizing platforms and sensors for remote sensing, but Figure 3 represents a generic orientation about the main parameter. Furthermore, common parameters for remote sensing systems are listed in Table 1, presenting the most frequently used ones. If, on one hand, the main sensors, such as for example active and passive imagers, are typically available on all platforms, on the other hand, the object range is correlated to the complexity and the performance of the system itself as well as to the price.

Attributes	Platforms			
	Space-borne (satellite)	Air-borne (air-craft)	Unmanned Aerial System (UAS)	Ground-borne (mobile/static)
Maneuverability	None/limited	Moderate	High	Limited
Observation space	Global	Regional	Local	Local
Sensors diversity	MS/HSI/SAR	MS/HSI/LIDAR/SAR	MS (LIDAR/HSI)	MS/LIDAR(HSI)
Ground coverage	Large (10 km)	Medium (1 km)	Small (100 m)	Small (50 m)
Scale	Small	Small/medium	Medium/large	Medium/large
Field of view	Narrow	Wide	Wide+	Wide+
Repeat rate	Days	Hours	Minutes/hours	Minutes
Spatial resolution (GSD)	Meters	Centimeters	Centimeters	Centimeters
Deployability	Difficult	Complex	Easy	Moderate
Operational risk	Moderate	High	Low	Moderate
System cost	€€€€€	€€€	€	€€

**Table 1** - Typical platform and sensor configurations with main operational attributes.

### 3.3 Requirements for Remote Optimal Sensor Placement

In the protection of the built heritage, structural monitoring plays an important role [1], being one of the most consolidated approaches of prevention. Automated monitoring often needs the definition of a dedicated structural sensing system able to acquire continuous or periodic data from the structure. These systems are composed of controllers and sensors that need to be positioned in an optimal manner to ensure an adequate information extraction with minimum costs [7]. OSP is a widespread field of research that exactly focuses on the definition of optimized experimental sensor setup [8]. Generally, the OSP strategies for dynamic SHM based on random noise vibration acquisitions, relies its performance on an estimate of the modal model of a target system (i.e., natural frequencies, eigenvectors, and modal damping ratios). This means that before applying OSP a dedicated numerical (Finite Element - FE) model of the target system needs to be conceived. Thanks to the FE model, the extraction of many mode shapes of the system can be pursued by solving an eigen-analysis problem. However, the obtained mode shapes, such as the related natural frequencies, are affected by the so-called *model discrepancy* errors. On the other hand, *system identification* (SI) is a widespread field of research aimed to estimate structural properties of an observed real system starting from records of dynamic data

obtained by dedicated sensors mounted on the structure. Starting from dynamic data, SI approaches can be applied to get an estimate of the modal model of a target system. Thus, also without the use of a FE model of a structure the modal model can be estimated.

Identifier	Description	Component	Tag
OSP_010	Uncertainty as less as possible (i.e., less than 0.5/1 meters)	<i>Platform / Payload</i>	Georeferencing
OSP_020	Uncertainty less than one thousandth of the time resolution (OSP_060), (i.e., less than 1e-4/1e-6 seconds)	<i>Platform / Payload</i>	Synchronization
OSP_030	As much as possible, and at least one point with 3 directions common in deferred acquisitions	<i>Platform / Payload</i>	Spatial covering
OSP_040	As less as possible (i.e., 4 hours), otherwise repeat the acquisitions in a different period at the same time	<i>Platform</i>	Acquisitions time-gap
OSP_050	As less as possible (i.e., less than 2 meters) and higher than 2 times the uncertainty in georeferencing (OSP_010)	<i>Platform / Payload</i>	Spatial resolution
OSP_060	Between 0.002 and 0.01 seconds (sample frequency between 100 and 500 Hertz)	<i>Payload</i>	Time resolution
OSP_070	Less than 0.0033 Hertz (signal duration higher than 5 minutes)	<i>Payload</i>	Frequency resolution
OSP_080	Higher than 1 Volt/gravity (for accelerations)	<i>Platform / Payload</i>	Data sensitivity

**Table 2** - Main requirements for Remote Optimal Sensor Placement.

This means that if remote acquired dynamic data (e.g., displacement, acceleration, etc.) possess the same requirements of local in situ records, there is no need to recur to virtualization of a structure to get numerical estimates of eigenvectors and natural frequencies, and thus to perform OSP procedures. For this aim Table 2 reports the main requirements that a remote equipment should respect in order to be able to perform ROSP tasks. The requirements can be listed as follow: **Georeferencing**: The target monitored structure needs to be located in a stable spatial reference system, so that the position of the monitored points in time remains adequately constant. **Synchronization**: During the acquisitions the different records must refer to a stable time reference system, so that the time frames acquired for different points remain aligned. **Spatial covering**: The acquisitions should cover as much as possible the entire spatial dimension of the target structure. If this is not possible, asynchronous acquisitions can be

contemplated (acquisitions deferred over time). In this case, for the different deferred acquisitions, at least one point and three directions must be stable out of the period of the synchronous records. This is required to link together the modal models estimated in deferred times, obtaining the unique (enriched) modal model of the structure. **Acquisitions time-gap:** Clearly, in case of deferred acquisitions, the time-gap between two different acquisitions must be as less as possible to avoid physiological changes of the target system due to the presence of Environmental and Operational Variations (EOVs), which cannot be eliminated. **Spatial resolution:** To get a good spatial approximation of the modal model of the target structure, the acquired displacements, velocities, or accelerations must be referred to adequately close monitored points. **Time resolution (or Sample frequency):** the time resolution, or sample time (i.e., the inverse of the sample frequency), needs to be adequately low to capture the main vibrations modes of the target structure, but relatively high so as not to reduce the SNR of the signal too much. **Frequency resolution (or Signal duration):** the frequency resolution (i.e., the inverse of the signal duration), must be as low as possible in order to increase the frequency localization of fundamental modes of the structure. **Data sensitivity:** The equipment, as well as the payload of the remote technology must ensure an adequate level of sensitivity, so that the data acquired between two time frames at the same point (during a synchronous acquisition) can differ due to the presence of instantaneous and constantly changes in the EOVs.

#### 4 CONCLUSIONS

A brief overview of the main remote sensing technologies was carried out, illustrating the fundamental principles and the most used platforms. Furthermore, the main parameters were defined for the conscious and efficient choice of the platform in relation also to the types of sensors mounted. Finally, main requirements, that a remote equipment should respect, were defined to perform ROSP tasks. From this preliminary analysis, remote sensing could represent a useful resource for OSP activities in the context of structural monitoring for the built heritage, mainly due to the use of remote acquired dynamic data, which would allow to avoid the virtualization of a structure to get numerical estimates of eigenvectors and natural frequencies.

It will be necessary to deepen the research and to perform a feasibility study with an accurate risk and cost analysis to define the optimal configuration solution for ROSP.

## References

- [1]. R. Ceravolo, G. de Lucia, E. Lenticchia and G. Miraglia, *Chapter 3 Seismic Structural Health Monitoring of Cultural Heritage Structures*, Springer International Publishing, 2019
- [2]. ICOMOS (2003) Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage.
- [3]. H. Sohn et al., "A review of structural health monitoring literature: 1996--2001," Los Alamos Natl. Lab. USA, pp. 1–7, 2003.
- [4]. N. Jalaliyoon, N.A. Bakar, H. Taherdoost, *Accomplishment of Critical Success Factor in Organization; Using Analytic Hierarchy Process*, International Journal of Academic Research in Management Volume 1, Issue 1, 2012, ISSN: 2296-1747.
- [5]. C. Elachi, J.J. van Zyl, *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*, Third Edition, John Wiley & Sons Inc., 2021.
- [6]. C. Toth, G. Jozkow, *Remote sensing platforms and sensors: A survey*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 115, May 2016, Pages 22-36.
- [7]. Capellari, G., Chatzi, E., & Mariani, S. (2017). Cost-benefit optimization of sensor networks for SHM applications. In Multidisciplinary digital publishing institute proceedings (Vol. 2, No. 3, p. 132).
- [8]. Murugan Jaya, M., Ceravolo, R., Zanotti Fragonara, L. & Matta, E. An optimal sensor placement strategy for reliable expansion of mode shapes under measurement noise and modelling error. *J. Sound Vib.* 487, (2020).

# La sicurezza degli sbarramenti: nuovi orientamenti normativi

Fabrizio Barpi<sup>1</sup>

## SOMMARIO

Il lavoro presenta una disamina delle normative e dei regolamenti riguardanti le dighe e gli sbarramenti con particolare enfasi al recente Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26 giugno 2014. Tale decreto ha profondamente innovato le regolamentazione del settore, adeguandola alle moderne normative per le costruzioni, e ha istituito una commissione di monitoraggio, di cui l'autore ha fatto parte, di cui si riferirà. Verranno inoltre esaminati gli aspetti innovativi di tale decreto così come la sua influenza sulla valutazione della sicurezza delle dighe esistenti.

## 1 INTRODUZIONE

Il lavoro esamina la situazione normativa delle dighe e degli sbarramenti a seguito della approvazione del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti *"Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)"* del 26 giugno 2014 (nel seguito DM2014) [1]. Tale decreto va a sostituire la precedente normativa, risalente al 1982, ormai obsoleta a causa del susseguirsi di altre norme tecniche quali l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 [2], le Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/01/2008 (NTC08) [3] recentemente aggiornate il 17/01/2018 (NTC18) [4]. Il quadro normativo proposto nel DM2014 ha sostanzialmente abbracciato i criteri ispiratori degli Eurocodici (già accolti nelle NTC08 e NTC18) superando la normativa precedente, rimasta sostanzialmente legata al metodo delle tensioni ammissibili. Questo aggiornamento ha però portato ad una serie di incertezze, di problematiche e di criticità che saranno descritte nel seguito.

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

E-mail: [fabrizio.barpi@polito.it](mailto:fabrizio.barpi@polito.it)

## 2 EVOLUZIONE STORICA DELLA NORMATIVA ITALIANA

Le norme italiane che riguardano le dighe sono numerose, e interconnesse con norme di protezione civile, di tutela ambientale, sulla gestione delle acque, dell'ambiente e anche con le norme tecniche delle strutture civili. Possono essere classificate in due tipologie:

1. norme di carattere *generale e amministrativo* riguardanti la classificazione del dighe, l'iter dei progetti di costruzione e adeguamento, i doveri di vigilanza dei gestori e dei concessionari, la ripartizione delle competenze tra lo stato e le regioni;
2. *norme tecniche* che contengono prescrizioni sulle procedure di calcolo e di verifica delle dighe (e delle opere accessorie).

A queste norme vanno aggiunte le direttive e le circolari impartite dal Registro Italiano Dighe, oggi Direzione Dighe del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (si vedano, ad esempio, le recenti *Istruzioni per l'applicazione della Normativa Tecnica* [5]) e, eventualmente, le leggi regionali.

Nel seguito saranno brevemente descritte alcune tra le norme tecniche che si sono succedute negli anni e che sono di particolare interesse. Riferimenti più dettagliati possono essere trovati nella *Raccolta di normativa statale della Regione Piemonte* [6], ferma al 2005 e quindi oggi ampiamente superata, e il recente rapporto dell'*ICOLD European Club Report* [7]. Il sito web mantenuto dall'ing. L.A. Ghinami [8] riporta inoltre una raccolta di norme, regolamenti e circolari (nazionali e anche di alcune regioni italiane) molto accurata e, al momento della stesura di questa memoria (aprile 2019), aggiornata.

- 1) *DM n. 481 del 2 aprile 1921 - Norme generali per i progetti e per la costruzione di dighe di sbarramento per serbatoi e laghi artificiali* [9]. È la prima norma italiana a regolare le disposizioni tecniche in materia di dighe di sbarramento. La norma definiva i documenti necessari alla redazione del progetto definitivo e proponeva una classificazione delle opere che sarà mantenuta anche nelle normative seguenti. Ulteriori indicazioni riguardavano la definizione delle sollecitazioni, dei metodi di calcolo, dei carichi di sicurezza del materiale per le verifiche e alcune raccomandazioni da seguire in fase costruttiva.
- 2) *RD n. 2540 del 31 dicembre 1925 - Regolamento per i progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta* [10]. Si tratta della norma scritta dalla Commissione tecnica incaricata di analizzare tutte le dighe a seguito del cedimento della diga del Gleno. Tale norma introduceva un controllo più stringente dell'opera nella fase di progettazione e un maggiore controllo della qualità dei materiali e delle tecniche di costruzione. Essa stabiliva che, nella fase di collaudo e durante tutto il periodo di esercizio, la diga doveva essere continuamente vigilata da personale risiedente nelle immediate vicinanze della diga stessa e stabiliva che venissero eseguite le misurazioni delle

deformazioni della struttura in funzione dei livelli di invaso e delle perdite nel corpo diga. Nel calcolo statico della diga richiedeva di tener conto, oltre che dei carichi consueti (peso proprio della muratura, spinta dell'acqua e di eventuali terrapieni), della possibile esistenza di sottopressioni nel corpo e specialmente alla base della diga stessa e, per le dighe nelle regioni alpine, della spinta esercitata dal ghiaccio contro il paramento della diga.

- 3) *RD n. 1370 del 1 ottobre 1931 - Regolamento per i progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta* [11]. Definiva il campo di applicazione del regolamento alle dighe di altezza di ritenuta maggiore di 10 m, qualunque sia l'invaso relativo, o che determinano un invaso maggiore di 100000 m<sup>3</sup>. Per le dighe a gravità, tale regolamento apportava alcune modifiche nella definizione dei carichi di sicurezza per i materiali di costruzione, introducendo condizioni più restrittive e prescriveva l'utilizzo di un conglomerato cementizio con caratteristiche meccaniche di resistenza superiori a quelle definite nel precedente decreto.
- 4) *DPR n. 1363 del 1 novembre 1959 - Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta (dighe e traverse)* [12]. La normativa ha introdotto l'azione sismica nel calcolo delle dighe. Nelle località sismiche di prima categoria, gli sbarramenti dovevano essere calcolati tenendo conto, in aggiunta alle azioni statiche del peso e dell'acqua, delle corrispondenti azioni dinamiche. Per quanto riguarda le dighe a gravità veniva modificato il metodo di calcolo delle sottopressioni, tenendo conto dell'eventuale presenza dei drenaggi nella roccia di fondazione.
- 5) *DM LLPP del 24 marzo 1982 - Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento* [13]. Promulgato in seguito alla Legge n. 64 del 2 febbraio 1974 "*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*", che all'art. 1 prescriveva l'emanazione di norme tecniche specifiche per la progettazione, esecuzione e collaudo di opere speciali, fra cui le dighe. La legge provvedeva all'aggiornamento degli elenchi delle zone dichiarate sismiche ed attribuiva alle zone sismiche valori differenziati del grado di sismicità da prendere a base per la determinazione delle corrispondenti azioni. In generale, tra le azioni da considerare, venivano citate le coazioni di origine termica e da ritiro, non tuttavia prese in considerazione nel calcolo delle dighe a gravità ma nel calcolo nelle dighe a volta come già indicato in tutte le norme precedenti. Le verifiche di resistenza dovevano portare a tensioni principali di trazione non superiori a 300 kPa o a 500 kPa se il superamento di 300 kPa era indotto unicamente dalle azioni sismiche.
- 6) *Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26/06/2014. Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)* [1]. Sarà descritto in dettaglio nei paragrafi successivi.

Dal 1982 ad oggi il quadro tecnico normativo nazionale ha avuto importanti cambiamenti a partire dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 [2] che ha profondamente innovato le norme tecniche in materia di costruzioni, adottando soluzioni coerenti con il sistema normativo europeo degli Eurocodici (in particolare l'Eurocodice 8) e nell'abbandono del carattere puramente prescrittivo a favore di una impostazione prestazionale. Dal 2008 le norme tecniche per le costruzioni sono passate al metodo semiprobabilistico agli stati limite, mentre le norme sulle dighe, ferme al 1982, facevano riferimento al metodo delle tensioni ammissibili, ormai abbandonato. Tali norme tecniche sono state aggiornate nel gennaio 2018. Questo susseguirsi di norme tecniche ha avuto come conseguenza il disallineamento del DM 24 marzo 1982 [nel seguito DM1982] rispetto alle normative sulle costruzioni ed ha portato alla nascita della attuale normativa del 26 giugno 2014.

### **3 IL DECRETO 26 GIUGNO 2014**

#### **3.1 Descrizione generale**

Il decreto introduce per le dighe (per la prima volta in Italia) il metodo semiprobabilistico agli stati limite e istituisce, presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, la Commissione di Monitoraggio. Introduce anche la distinzione tra dighe di importanza normale e dighe di importanza strategica, e fa riferimento alle NTC08 per ciò che riguarda i coefficienti parziali di sicurezza, di combinazione e concomitanza.

Tale normativa si applica a tutti gli sbarramenti di ritenuta del territorio nazionale. Per gli sbarramenti la cui altezza non supera i 10 m e che determinano un volume di invaso non superiore a 100000 m<sup>3</sup>, l'Amministrazione competente alla vigilanza sulla sicurezza potrà decidere caso per caso e, in relazione alle caratteristiche dell'impianto di ritenuta, quali delle norme seguenti siano da applicare. Inoltre prescrive che il progetto e la costruzione delle opere e degli interventi oggetto delle norme debbano conformarsi alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni di cui alle NTC08, nel rispetto delle disposizioni particolari indicate nel seguito.

Aspetto di particolare importanza riguarda le dighe esistenti che dovranno essere sottoposte a valutazione della sicurezza dell'intera struttura o di parti di essa quando ricorrono le condizioni generali stabilite dalle NTC08 (ora sostituite dalle NTC18).

Va infine sottolineato come il DM2014 sia particolarmente avanzato in quanto, a conoscenza dell'autore una delle tre sole normative sulle dighe basata sul metodo semiprobabilistico agli stati limite (le altre due sono le *Recommandations* francesi [14] e le norme cinesi [15]).

### 3.2 Criticità

Le NTC08 al paragrafo 4.1 scrivono: “con esclusione di quelle opere per le quali vige una regolamentazione apposita a carattere particolare” e al 6.8 “gli sbarramenti di ritenuta idraulica di materiali sciolti sono oggetto di normativa specifica”, lasciando intendere che le dighe siano escluse da tali norme. Questo è forse il punto di partenza delle criticità del DM2014, che fa costante riferimento alle norme tecniche delle costruzioni dalle quali però le dighe sembrano essere escluse. Lo stesso Eurocodice 8 scrive “Strutture speciali, quali centrali nucleari, strutture offshore e grandi dighe, sono escluse dallo scopo e campo di applicazione della EN 1998.” lasciando ancora pensare che per le dighe siano necessarie norme appositamente preparate e generando così una confusione sin dalle premesse.

Dal punto di vista della applicazione della norma, in particolare per le dighe esistenti, i problemi riguardano l’uso di criteri e coefficienti definiti per opere civili ordinarie con coefficienti parziali di sicurezza, di combinazioni e concomitanze con i valori previsti dalle NTC08 e non invece, come dovrebbe essere (vedi le summenzionate linee guida francesi [14]) tarati *ad hoc*. Tali coefficienti portano a incongruenze nella fase di progetto e verifica.

Sono poi, almeno in parte, trascurate le differenze sostanziali tra le azioni nelle dighe e nelle altre costruzioni (ad esempio il peso delle strutture, che per le dighe assume carattere stabilizzante) e viene data grande importanza all’aspetto sismico (il cardine attorno a cui si sviluppa la norma), che è considerato più rilevante rispetto all’aspetto idrologico/idraulico (mentre è nota la maggior vulnerabilità delle dighe rispetto agli aspetti idraulici, quali gli eventi di piena).

Inoltre, alcuni degli stati limiti non sono facilmente distinguibili (ad esempio lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita e lo Stato Limite di Collasso), la classificazione delle dighe basata sulla destinazione d’uso è oggetto di discussioni, i coefficienti di sicurezza relativi uguali per coesione e tangente dell’angolo di attrito non si ritrovano in altre normative. La combinazione sismica allo Stato Limite Ultimo, per eventi di modesta entità, risulta meno gravosa della combinazione fondamentale al massimo livello di regolazione. Una importante novità è la resistenza a *trazione nulla* per alcune combinazioni allo Stato Limite di Esercizio, che porta a dimensioni strutturali eccessive per le sollecitazioni a pieno invaso.

La norma manca poi di indicazioni sul fattore di struttura, che viene così lasciato all’arbitrarietà dell’estensore delle verifiche anche se, in passato, altre normative avevano fornito qualche suggerimento. La proposta del Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe [16], seppur rimasta in bozza, consentiva di scalare lo spettro elastico con un fattore 2 per le opere in calcestruzzo e 4 per quelle in terra o materiale sciolto.

I principali aspetti problematici del DM2014 per le dighe a gravità sono legati all’utilizzo di coefficienti parziali di sicurezza, di combinazioni e concomitanza con

i valori previsti dalle NTC08 (come già accennato sopra) e alla *resistenza nulla* a trazione del materiale (la normativa precedente ammetteva valori di tensioni di trazioni a patto che risultassero minori di 300 kPa (o 500 kPa in caso di eventi sismici). Questa limitazione porta ad un sovradimensionamento considerevole delle strutture calcolate rispetto al DM1982. Inoltre, il carico termico porta generalmente a tensioni di trazione incompatibili con la condizione di trazioni nulle. Va rimarcato come la verifica per carichi termici non fosse richiesta dalla normativa precedente, cosa che incrementa la difficoltà che le verifiche possano essere superate per le dighe esistenti.

Per finire, la verifica delle tensioni tangenziali porta a risultati irrealistici a causa dei limiti imposti alla tensione di riferimento e andrebbe corretta la mancanza di limiti tensionali in presenza di azioni sismiche.

La problematica che riguarda l'assenza di trazioni riguarda anche le dighe a volta, dove le sollecitazioni dovute ai carichi termici rivestono una particolare importanza.

Per le dighe in terra sono date poche indicazioni, peraltro piuttosto generiche, così come informazioni generiche sono date per le dighe in calcestruzzo rullato e in *rockfill* con manto in calcestruzzo, due tipologie particolarmente utilizzate negli ultimi anni.

#### **4 COMMISSIONE DI MONITORAGGIO**

La norma ha istituito la Commissione di Monitoraggio che "*...entro 12 mesi dall'entrata in vigore delle Norme tecniche, predisporre un rapporto sugli esiti dell'attività di monitoraggio ed una proposta di aggiornamento delle norme stesse. Nei successivi 6 è emanato l'aggiornamento delle predette norme*".

La Commissione, nominata dal Ministro Graziano Delrio, è stata coordinata dall'ing. Carlo Ricciardi del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ed è composta da tre rappresentanti dello stesso Ministero, da due rappresentanti del dipartimento della protezione civile della presidenza del Consiglio dei Ministri, da un rappresentante del Ministero dell'interno, da tre rappresentanti della Conferenza delle regioni e delle provincie autonome, da uno dell'Associazione Nazionale Comuni Italiani (ANCI) e da uno della Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche.

La Commissione, riunitasi periodicamente a Roma presso la sede del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ha proceduto alla consultazione dei soggetti a vario titolo interessati dalla applicazione delle norme, e cioè i gestori, l'Associazione Nazionale Bonifiche Irrigazioni Miglioramenti Fondiari (ANBI), Assoelettrica, il Comitato Nazionale Italiano per le Grandi Dighe (ItCOLD), ha consultato la Direzione Generale Dighe, ha promosso tre incontri con le Università e ha proceduto ad aggiornare il testo del DM2014. Osservazioni molto dettagliate sono state fornite dall'ing. R. Binaghi, noto progettista di dighe sardo.

Le modifiche proposte hanno confermato l'impostazione agli stati limite e hanno tentato di raggiungere la piena autonomia dalle NTC08 (allora in vigore). Sono stati riviste le definizioni degli stati limite ed è stata evidenziata la necessità di trattare la diga e le opere accessorie e gli impianti come un *unico sistema*. Occorre quindi considerare le opere complementari e accessorie e deve essere fatta la verifica di stabilità dei versanti per le sponde del serbatoio e per eventuali argini.

Una attenzione particolare è stata rivolta alle dighe esistenti, proponendo una differenziazione della estensione formale delle verifiche in funzione di predefinite classi dimensionali delle opere di sbarramento. Si è poi aggiunto un paragrafo riguardante le traverse fluviali, come da alcune richieste ricevute. Durante i lavori la commissione ha tenuto conto degli aggiornamenti delle NTC08, divenuti poi definitivi nel 2018.

A causa della mancata proroga dei termini non è stato possibile la consultazione di ritorno con i soggetti che hanno formulato proposte di modifica e il confronto con le esperienze acquisite in seguito ai danni indotti dalle sequenze sismiche di Abruzzo, Lazio, Umbria e Marche. Per la stessa ragione non è stato possibile portare avanti una sperimentazione tale da permettere di valutare i coefficienti di sicurezza, di combinazioni e concomitanze necessari per garantire una sicurezza strutturale adeguata.

La commissione è decaduta il 28/02/2017.

## **5 CONSEQUENZE E POSSIBILI RIMEDI**

Le criticità evidenziate nei paragrafi precedenti lasciano presagire difficoltà nell'applicazione della norma, soprattutto nel caso delle verifiche (statiche e sismiche) delle dighe esistenti. Va enfatizzato però che le dighe italiane hanno una età media di circa 60 anni [17], per cui potrebbero presentare problemi anche nel caso delle verifiche condotte con il DM82.

Per ovviare a queste difficoltà, la Direzione Dighe del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha predisposto le citate *Istruzioni per l'applicazione della Normativa Tecnica* [5] che dovrebbero permettere ai progettisti di superare gli aspetti di maggior difficoltà nella applicazione del DM2014 e possono essere paragonate alle Istruzioni delle NTC08/18. Una pubblicazione analoga riguarda le opere accessorie [18], che nell'ottica di considerare l'impianto un sistema composto da diga e opere accessorie, devono essere sottoposte a verifica così come la diga. Sul tema delle opere accessorie va inoltre citato il rapporto ItCold [19].

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha pubblicato nel 2017 una guida per la redazione dello studio sismotettonico, richiesto quando per valutare l'azione sismica di progetto quando, per un tempo di ritorno di 475 anni, risulti  $a_g > 0.15$  g [20].

## CONCLUSIONI

Nei paragrafi precedenti si è descritto il quadro normativo vigente per le dighe e l'evoluzione normativa che ha ispirato i principi in esso contenuti. Gli aspetti innovativi e quelli più problematici per le verifiche sono stati brevemente presentati in modo da permettere una applicazione consapevole delle norme, e in modo da permettere ad una futura commissione, eventualmente incaricata di stendere una nuova versione delle norme, di avere utili indicazioni sui punti più critici.

### Riferimenti bibliografici

- [1] Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. *Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)*. 26/06/2014.
- [2] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274. *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. 20/03/2003.
- [3] Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici. *Norme tecniche per le costruzioni*. 14/01/2008.
- [4] Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici. *Norme tecniche per le costruzioni*. 17/01/2018. Link: <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/2/20/18A00716/sg>
- [5] A. Lanzi e P. Paoliani. *Istruzioni per l'applicazione della Normativa Tecnica di cui al D.M. 26.06.2014 (NTD14) e al D.M. 17.01.2018 (NTC18)*, Divisione VI Strutture e Geotecnica, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2018. Link: <http://www.legislazionetecnica.it/system/files/fonti/allegati/19-1/5310640/CIRC-MIT26-07-2018-17281.pdf>
- [6] Regione Piemonte. *Dighe traverse e bacini di accumulo – Raccolta di normativa statale*, 2005. Link: <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/protezione-civile-difesa-suolo-opere-pubbliche/difesa-suolo/dighe/manuali-tecnici-sugli-sbarramenti-per-laccumulo-idrico>
- [7] ICOLD European Club Report, *Dam Legislation*, 12/2017. Link: <http://cnpngb.apambiente.pt/lcoldClub/index.htm>
- [8] L.A. Ghinami. *dighe.eu - informazioni, riferimenti e normativa su dighe e traverse*. Link: <https://www.dighe.eu/normativa.htm>
- [9] Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici. *Norme generali per i progetti e per la costruzione di dighe di sbarramento per serbatoi e laghi artificiali*. 2/04/1921.
- [10] Regio Decreto 31 dicembre 1925, n. 2540. *Regolamento per i progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta*. 31/12/1925.
- [11] Regio Decreto 1 ottobre 1931, n. 1370. *Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta*. 1/10/1931.
- [12] Decreto del Presidente della Repubblica. *Regolamento per la compilazione dei*

- progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta*. 1/11/1959.
- [13] Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici. *Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento*. 24/03/1982.
- [14] Comité Français des Barrages et Réservoirs. *Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages-poids*. 2012. Link: <http://www.barrages-cfbr.eu/>
- [15] C. Zongliang e L. Chonghui. *The Standards Compilation of Water Power in China*. A cura di "The Department of Standardization China Electricity Council". 2000. Link: <http://www.cepp.com.cn>
- [16] Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe. *Bozza di norme tecniche per la progettazione e costruzione di dighe di sbarramento*. Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe, 2000.
- [17] F. Fornari, *La manutenzione e riabilitazione delle dighe ed opere idrauliche associate*, Geomedia, 2016.
- [18] *Verifiche di sicurezza sismica degli scarichi e delle opere accessorie e complementari - Riferimenti per l'istruttoria* (04/04/2016) a cura dell'Ufficio strutture e geotecnica e dell'Ufficio tecnico dighe di Napoli.
- [19] F. Zinetti (coordinatore). *Opere idrauliche associate alle dighe*. Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe, 2012. Link: <http://www.itcold.it>
- [20] R. Basili, V. D'Amico, C. Meletti e G. Valensise. *Linee-guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 27/09/2017.



# Dal Dottorato di Ricerca sulla durabilità dei materiali consolidanti al cantiere di restauro della Reggia di Venaria

Alessandro Grazzini<sup>1</sup>

## SOMMARIO

Il restauro di un edificio storico è un'operazione complessa e multidisciplinare, in cui la scelta di materiali consolidanti compatibili con l'originario supporto storico rappresenta un nodo cruciale per la durabilità dell'intervento. L'esigenza di maggiore sicurezza statica e sismica del patrimonio monumentale richiede l'utilizzo di diverse malte di rinforzo, la cui interazione meccanica deve essere preventivamente testata in relazione all'eterogeneità delle tessiture murarie esistenti. L'obiettivo di questa ricerca di dottorato è stato lo sviluppo di una rapida metodologia sperimentale di qualificazione: attraverso prove statiche, cicliche e termo-igrometriche, è possibile simulare le sollecitazioni che intervengono all'interfaccia tra malta consolidante e muratura originale, valutando la variazione di parametri deformativi nel tempo. Tale studio è stato validato positivamente nell'applicazione diretta all'interno del cantiere di restauro della Reggia di Venaria, dove ha permesso di individuare i migliori prodotti consolidanti che a tutt'oggi stanno dimostrando la loro durabilità. La stessa procedura è stata migliorata nel corso degli studi post dottorato, anche col supporto delle emissioni acustiche, ed impiegata con successo per conto di altri siti storici, come i Sacri Monti per la compatibilità degli intonaci deumidificanti.

## INTRODUZIONE

Il patrimonio architettonico richiede significativi lavori di recupero a causa dell'elevato degrado a cui è stato abbandonato. Gli edifici storici presentano

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Strutturale Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

E-mail: [alessandro.grazzini@polito.it](mailto:alessandro.grazzini@polito.it)

*Keywords:* murature storiche, consolidamento, compatibilità, prove di laboratorio.

danni causati da sollecitazioni meccaniche (azioni sismiche, dissesti strutturali, sovraccarichi) e termo-igrometriche (cicli di gelo-disgelo, umidità) che nel tempo riducono la resistenza della muratura compromettendone la conservazione. Questo studio riguarda l'utilizzo di malte strutturali nel campo del consolidamento con tecniche di tipo tradizionale (intonaci armati, calotte estradossali, iniezioni): sebbene l'applicazione dei nuovi materiali compositi sia oramai sempre più frequente e ben sviluppata, tuttavia molte operazioni di rinforzo possono essere ancora eseguite con l'utilizzo di tradizionali malte di calce per una migliore compatibilità dell'intervento. Il mercato offre molte tipologie di malte strutturali, alcune con elevate prestazioni meccaniche, di cui vengono dichiarati solo valori di resistenza a breve termine; tuttavia non si conosce quasi nulla della loro durata se applicati a strutture in muratura molto eterogenee. Una singola malta non può avere caratteristiche meccaniche e termo-igrometriche compatibili con tutte le diverse murature storiche. Inoltre, i recenti terremoti hanno mostrato il fallimento di consolidamenti eseguiti con malte cementizie, la cui eccessiva rigidità ha completamente distorto gli schemi statici originali degli edifici. In questi casi si possono generare pericolose sollecitazioni all'interfaccia con la muratura esistente: l'esperienza nel campo dei beni monumentali ha oramai portato a favorire l'utilizzo di malte a base di calce idraulica con caratteristiche meccaniche simili a quelle delle murature storiche.

Al Laboratorio Prove non Distruttive del Politecnico di Torino è stata messa a punto una procedura sperimentale per selezionare le nuove malte strutturali e testarne la durabilità quando applicate su una specifica struttura storica in muratura. L'obiettivo è dimostrare l'importanza dei test preliminari per identificare il prodotto più compatibile per ogni specifico lavoro di restauro, sensibilizzando i professionisti ad operare la scelta dei materiali in funzione del contesto storico-architettonico. I test sono sia statici che ciclici, e partono da singoli campioni per caratterizzare il materiale fino a campioni misti mattone-malta per simulare le reali sollecitazioni che nel tempo possono sollecitare il binomio strutturale. La ricerca è iniziata a supporto del cantiere di restauro della Reggia di Venaria, attraverso un accordo di ricerca con il Politecnico di Torino finalizzato a convalidare la durabilità delle malte consolidanti nei lavori di restauro. Applicata con successo, la metodologia sperimentale ha continuato a perfezionarsi nei successivi anni di ricerca post dottorato anche grazie alla tecnica di monitoraggio con le emissioni acustiche, intervenendo in supporto tecnico ad altri siti UNESCO come i Sacri Monti per testare intonaci deumidificanti applicati su murature in pietra.



Figura 1: a) Cantiere della Reggia di Venaria; b) Consolidamento estradossale di volta.

## 2 MATERIALI E PREPARAZIONE DEI PROVINI

La procedura sperimentale utilizzata per la Reggia di Venaria ha interessato quattro tipologie di malte (codificate A, B, C, D), adatte alle seguenti tecniche di consolidamento: rinforzo con intonaco armato (A; C), ristilatura dei giunti (A; D), intonaco armato o calotta estradossale per volte (D), iniezioni (B). Sono stati scelti prodotti dalle diverse finalità con l'intenzione di tarare la metodologia di prova e mettere in risalto le differenze di prestazione a lungo termine.

Oltre ad una esauriente serie di prove su campioni di singolo materiale, compreso il laterizio storico della Reggia di Venaria (provini 40x40x160 mm, Figura 2a), particolare attenzione è stata posta a specifici provini misti laterizio-malta (Figura 2b), strumentati con tre coppie di trasduttori e una coppia estensimetrica per misurare le deformazioni assiali in ogni direzione. Questi sono stati sottoposti sia a prove meccaniche (statiche e cicliche), sia termigrometriche di gelo-disgelo per valutare anche l'influenza della gelività sul comportamento a fatica. Ogni provino misto è stato etichettato con "XL" dove "X" sta per il codice relativo alla malta (A, B, C, D).

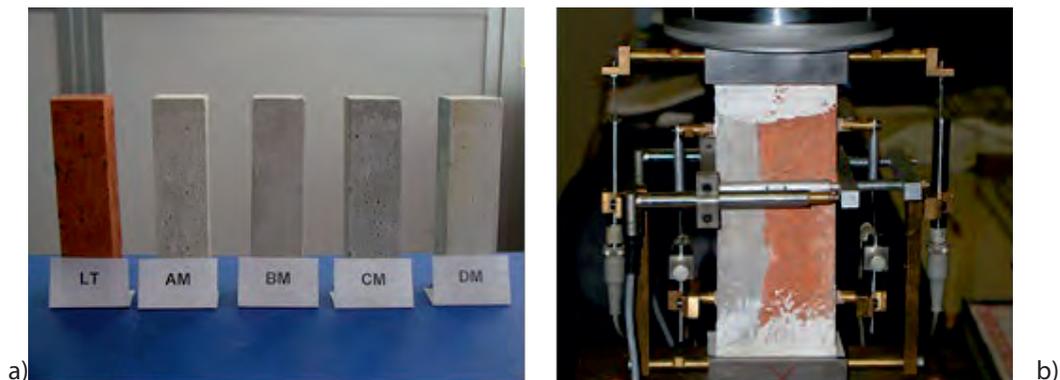


Figura 2: a) provini singoli; b) provino misto (223x57x83mm)

Per ogni serie oltre alle prove statiche di determinazione del carico di rottura su due campioni misti, altri due-tre provini sono stati testati a prova ciclica, impostata al 70% del carico di rottura statico per una durata di 100000 cicli, a 1.3 Hz per un totale di 24 ore circa. I campioni misti che sono rimasti integri dopo tale prova sono stati sottoposti a rottura per compressione. Inoltre, sempre per ogni serie, altri quattro campioni misti sono stati testati a 28 cicli di gelo-disgelo, successivamente estratti dalla cella e sottoposti a 3 cicli di carico-scarico per valutare il modulo elastico. Di questi, due hanno poi compiuto la prova statica a rottura, mentre i rimanenti sono stati utilizzati per le successive prove cicliche post gelività.

### 3 RISULTATI SPERIMENTALI

La Tabella 1 sintetizza le principali caratteristiche meccaniche dei singoli materiali, valutate anche dopo 6 mesi dal getto in cui si evidenziano notevoli variazioni delle resistenze meccaniche. Occorre ricordare che la compatibilità del materiale presuppone al contrario una certa stabilità delle prestazioni meccaniche nel tempo.

Materiale	$\sigma_{28gg}$ (MPa)	$\Delta\%$ 6 mesi $\sigma_{28gg}$	E (MPa)
A	8,94	-7,50	6208
B	5,16	+111,55	7534
C	4,20	+146,39	12678
D	15,85	+57,47	12274
Laterizio storico	8,98	-9,89	4099

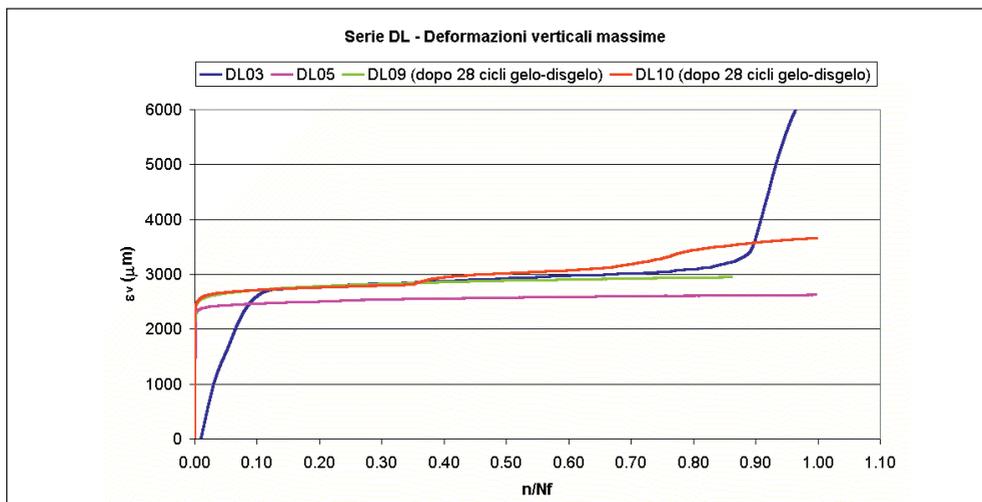
Tabella 1: risultati prove a compressione e modulo elastico su singoli materiali

Il carico di rottura dei provini misti (Tabella 2) risulta più alto nelle combinazioni fra materiali con modulo elastico simile (serie AL e BL) rispetto a quelle in cui la malta ha un modulo elastico notevolmente superiore al laterizio storico (serie CL e DL). Il modulo elastico dei materiali ha un'importanza elevata soprattutto con materiali accoppiati: in presenza di sollecitazioni statiche o dinamiche nascono tensioni nel materiale applicato, che dovranno bilanciare quella dovuta al vincolo (supporto murario). Lo sforzo di trazione o compressione sarà tanto più grande quanto maggiore è la rigidità del materiale stesso: in tal caso possono nascere sollecitazioni in uno dei due materiali proporzionali al proprio modulo elastico, portando all'insorgere di fenomeni di degrado come la delaminazione o la fessurazione.

Serie provino misto	$\sigma$ (MPa)	% $\Delta\sigma$ dopo 28 cicli gelo-disgelo	E (MPa)
AL	15,40	+3,15	13072
BL	16,89	-17,81	10670
CL	12,58	+18,25	9537
DL	12,04	+89,93	7148

**Tabella 2:** risultati test a compressione e modulo elastico su provini misti.

Le prove cicliche rappresentano la parte più delicata e importante della sperimentazione. L'alto valore di carico è finalizzato a rendere la prova severa entro un breve periodo di durata del test, nonché di mettere in luce la potenzialità di alcuni indicatori monitorati nel tempo.



**Figura 3:** prove cicliche serie DL: deformazioni verticali massime

In una tipica curva  $\sigma$ - $\varepsilon$  di una prova ciclica a fatica è possibile individuare tre fasi distinte: fase I, dove si verifica un rapido incremento delle deformazioni (interessa all'incirca il 10% della vita del provino); fase II di stabilizzazione, dove le deformazioni crescono gradualmente a tensione pressoché costante (10-80% della vita utile); fase III, durante la quale c'è un rapido incremento fino a rottura. Diversi autori hanno dimostrato che la vita a fatica del materiale sotto sollecitazione ciclica è strettamente dipendente dalla velocità di evoluzione delle deformazioni della fase II. In analogia a quanto proposto per il calcestruzzo, viene analizzato l'andamento della deformazione verticale nel tempo come parametro principale per quantificare e prevedere la fatica del materiale. In Figura 3, ad esempio per la serie DL, è possibile osservare come i provini che sono giunti a rottura abbiano manifestato una pendenza maggiore nel tratto della fase II, seguita, intorno all'80-90% della vita utile, da un brusco innalzamento in corrispondenza della fase III (rottura). Al contrario, le curve dei campioni che hanno superato i 100.000 cicli hanno una pendenza minore che si mantiene pressoché costante fino alla fine, segno di un comportamento efficace ancora lontano dal punto di rottura. Dai risultati delle prove cicliche appena descritte sono state ricavate, per interpolazione lineare tra il 20% e 80% dei valori di deformazione (secondary creep), le derivate  $\partial e_v / \partial n$ , cioè le variazioni dell'andamento della curva delle deformazioni rispetto al tempo nella fase II. Attraverso una regressione lineare in scala logaritmica è possibile diagrammare i dati per ottenere una relazione analitica (1), che legghi la velocità di variazione della deformazione verticale  $\partial e_v / \partial n$  col numero di cicli N a rottura per fatica.

$$N = 1839,92 \cdot \left( \frac{\partial e_v}{\partial n} \right)^{-0,7284} \quad (1)$$

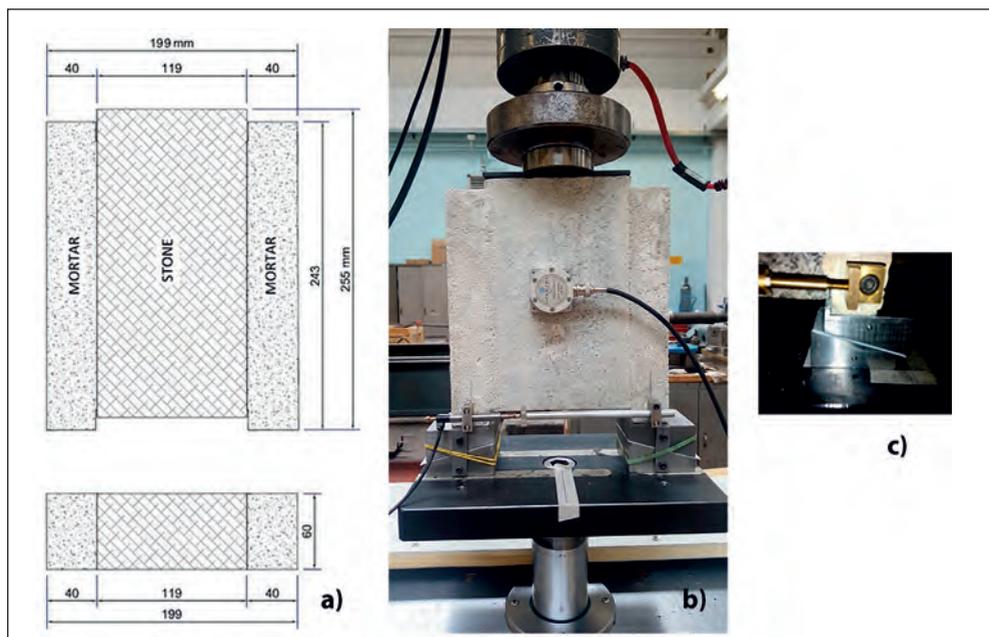
In base ai risultati conseguiti nel corso della sperimentazione, le malte B e D hanno dimostrato un comportamento soddisfacente nel binomio col laterizio storico della Reggia di Venaria Reale.

#### **4 PROSECUZIONE DELLA RICERCA**

Nel corso degli studi di dottorato è stata ricavata una valida correlazione, attraverso la quale eseguendo un certo numero di cicli sul materiale, fino a portarlo alla fase in cui le deformazioni crescono a velocità costante, è possibile predire la vita a fatica con un buon grado di approssimazione. La metodologia e l'analisi numerica si sono rivelate molto sensibili ai primi segni di indebolimento del sistema laterizio- malta, segnalando le fasi iniziali di crisi per fatica.

Tuttavia la procedura sperimentale ha saputo adattarsi nel tempo anche ad altre specifiche esigenze di valutazione. Nel corso del programma di ricerca REFRESCOS, sono state tarate prove sperimentali per la pre-qualificazione di nuove malte di calce idraulica per il risanamento degli intonaci decoesi dall'umidità all'interno del complesso monumentale e sito UNESCO dei Sacri Monti di Varallo. Il setup di prova è stato riadattato: lo strato di malta non è stato applicato in completa aderenza con il blocchetto lapideo, bensì sono state inserite due simmetriche discontinuità (inferiore e superiore) per innescare la frattura lungo l'interfaccia tra i materiali. Si tratta, infatti, di una prova di taglio in cui si vuole favorire la delaminazione mediante un doppio sistema di cunei di supporto inferiore in acciaio, accoppiato con Teflon di spessore pari a 1 mm. Tale sistema di appoggio è servito per ridurre l'attrito legato alla espansione orizzontale della malta, in modo da stabilizzare le curve di carico che durante la prova progredisce in funzione del controllo di spostamento (Figura 4).

A questo setup di prova sono stati altresì introdotti i sensori di monitoraggio con la tecnica delle emissioni acustiche. Essi hanno permesso di rilevare con maggiore precisione la modalità di frattura mediante la valutazione dell'Average Frequency e del Rise Angle (Figura 5), individuando le fasi di rottura per Modo I rispetto a quelle di Modo II nelle fasi della delaminazione. La geometria dei provini compositi ha permesso di verificare la compatibilità tra intonaco deumidificante e muratura: il parametro di valutazione non è solamente il carico di rottura, bensì anche la duttilità o fragilità del distacco, valutata grazie ai sensori di emissione acustica.



**Figura 4:** geometria del campione (a); configurazione della prova (b); geometria dei cunei (c).

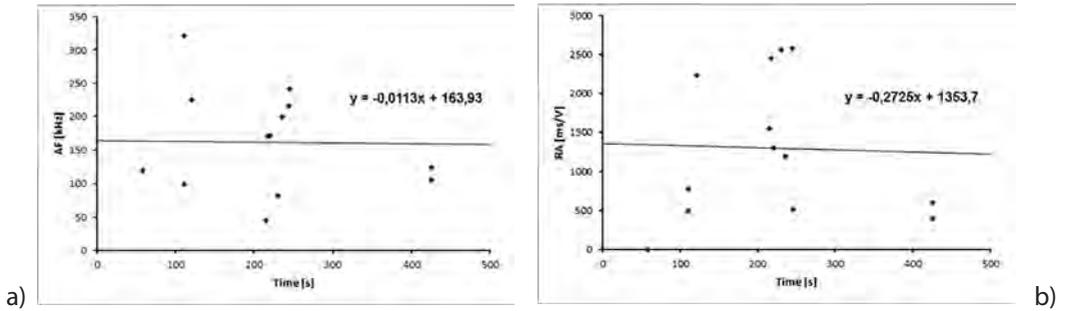


Figura 5: Average Frequency, AF (a); and Rise Angle, RA (b).

Si ringrazia il Dr Ing. Domenico Scaramozzino  
per il gentile apporto fornito  
nell'organizzazione del Convegno

Si ringraziano gli Sponsor



AMAGPAG



ISBN 978-88-85745-79-7



Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica (DISEG)  
Maggio 2022