



Strutture / Life-Cycle Engineering

Lezioni americane

© Simone Rodà

Come risolvere i problemi delle nostre sofferenti infrastrutture? Per esempio, mappandole: stabilendo per ogni opera e rete condizioni di salute, rischi, esigenze di intervento, fondi disponibili e da reperire... Negli USA fanno così da 20 anni ed è tutto online... Ma anche puntando su un approccio nuovo: basato sui concetti di *ridondanza*, *robustezza*, *resilienza*, *sostenibilità* e interdipendenza tra i network. Come ci spiega in questa intervista esclusiva il professor Dan. M. Frangopol, esperto di gestione delle manutenzioni di strutture e infrastrutture e fondatore della IALCCE, associazione nata per diffondere i principi del Life-Cycle Civil Engineering.

Fabrizio Apostolo

In collaborazione con IALCCE
International Association
for Life-Cycle Civil Engineering
(ialcce.org)



Parlare chiaro. Alla luce di una vita di lavoro che ha fatto di lui uno dei massimi esperti mondiali in materia di gestione della manutenzione di opere civili, quali ponti e viadotti, ma non solo. E farlo attraverso una videointervista Skype, io dal mio desk, lui dal suo studio. Con noi, ovvero con chi vi scrive e con il professor **Dan M. Frangopol**, docente e maestro di ingegneria civile all'**Università di Lehigh**, a Bethlehem in Pennsylvania (USA) (è una colonna dell'American Society of Civil Engineers e ha fondato, tra l'altro, le associazioni **IABMAS**, manutenzione e sicurezza dei ponti, e **IALCCE**, life-cycle civil engineering), c'era anche il professor **Fabio Biondini**, coordinatore del corso di studi in Ingegneria Civile del **Politecnico di Milano** e segretario generale della stessa IALCCE, una cui intervista sui temi chiave dell'approccio definito "progettazione a ciclo di vita" abbiamo pubblicato sul numero di *leStrade* maggio (pagine 8-12), nella serie *leStrade Academy*. All'inizio avevamo pensato, dato il CV del professor Frangopol, di chiedergli un testo a sua firma che riassume, a beneficio dei nostri lettori, le questioni chiave di un approccio da lui varato circa vent'anni or sono, quasi fosse un messaggio nella bottiglia, nel *mare magnum* della ricerca mondiale. Oggi quel messaggio, nell'era post Viadotto Polcevera ma non solo, è preziosissimo. Perché porta incisi i segni di quel cambio di rotta, di quel salto di qualità culturale che deve animare tutti gli operatori impegnati nel panorama delle nostre infrastrutture. Valutare un'opera nello spazio (ovvero nel suo contesto di rete) e nel tempo (ovvero nel suo cammino che va dall'idea

2. Dan. M. Frangopol, Università di Lehigh/Lehigh University



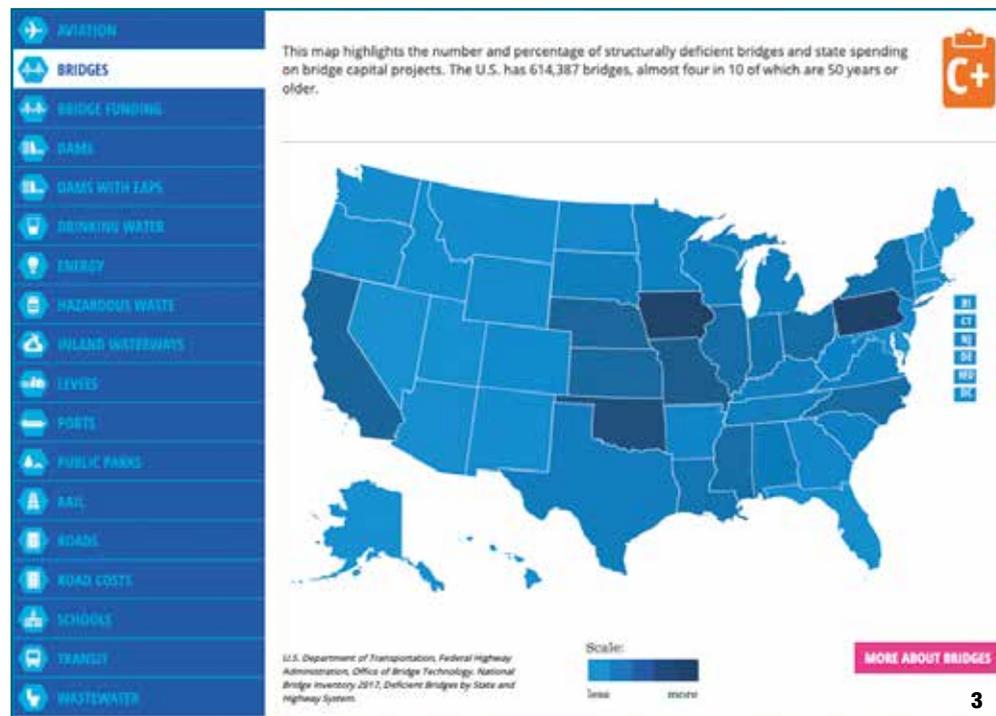
zione alle decisioni cruciali sulla sua "durata": soltanto mantenerla, potenziarla, demolirla e ricostruirla?) è oggi un'operazione che deve essere prioritaria, in quanto fondamento di scelte decisive. Una su tutte: dove investire le risorse, pur scarse, che si hanno a disposizione? Frangopol ha insegnato e insegna proprio questo. Insegna la visione e la lungimiranza. Al massimo livello. E soprattutto sa fare scuola lavorando su concetti quali la **ridondanza**, la **robustezza strutturale**, la **resilienza**, la **sostenibilità**, che non è un'idea astratta, ma un concretissimo mix tra aspetti sociali, economici e ambientali.

Pensavamo a un'autorevole *Opinione*. Frangopol ci ha proposto un'intervista Skype, colloquiale, come tra amici, in cui a un certo punto è corso l'obbligo di chiamarci Fabrizio, Fabio, Dan... All'Americana, insomma. Una chiacchierata preziosa, piena, di quelle che vorremmo fare più spesso, in cui le parole riguardano argomenti estremamente complessi, ma sono talmente semplici che le potrebbe far proprie persino un bambino. Una ricetta per risolvere i nostri annosi problemi di opere "decadenti"? Eccola qua: **mappare le infrastrutture**, dar loro un voto, da A a F, A significa che sono ok, F che forse bisogna farci un po' di manutenzione sopra. Quanta, come, con che costi? Negli USA sanno anche tutto ciò: c'è un sito web che dice tutto, andateci, eccolo www.infrastructurereportcard.org. E se le risorse non bastassero? Beh, essendoci tutti gli elementi, in totale trasparenza, basta fare pressioni sul deputato di riferimento, sulle lobby, sui politici. E dire loro che forse se non si trovano i denari, costi e danni si moltiplicheranno e di mezzo di andranno opere e vite. Già... a Genova ne sanno qualcosa.

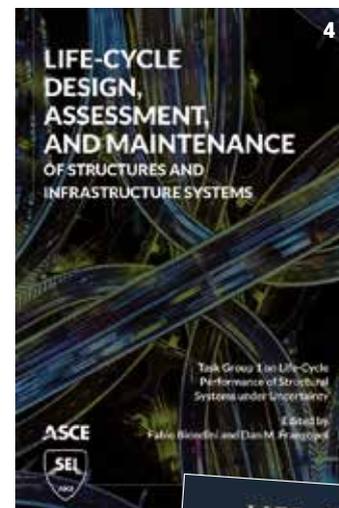
Un'intervista a più voci sulla **progettazione a ciclo di vita** che si conclude - a proposito di "bambini", vi abbiamo accennato poc'anzi - con un riferimento alla questione cruciale dell'**educazione**, e quindi della speranza. In "*Smetto quando voglio - Ad Honorem*", terza puntata della saga cinematografica firmata da Sidney Sibilia, la salvezza finale arriva proprio da loro, dagli inconsapevoli studenti universitari, da coloro i quali ancora non sanno, ma *vogliono apprendere*. Meglio se da maestri come Frangopol o Biondini, ovvero da chi mette tra i pilastri del loro approccio proprio la necessaria ed estrema attenzione alle nuove generazioni (è una componente chiave, sostiene Frangopol, proprio della sostenibilità...).

I nostri due interlocutori, per dare sostegno a tutte queste idee, nel 2006 hanno dato vita a un'associazione internazionale - IALCCE, per l'appunto - che si occupa proprio della diffusione della cultura della progettazione a ciclo di vita. La prossima volta (27-30 ottobre) sarà a Shanghai, in Cina. Poi l'edizione successiva, quella del 2022, si svolgerà in Italia, lo possiamo anticipare. *leStrade* è onorata di essere al loro fianco, nella divulgazione di questo approccio culturale.

Per un affresco completo sulla materia, rimando alla citata intervista del numero di Maggio. Di seguito, proponiamo invece il testo (sia in italiano sia inglese) della nostra conversazione interoceana di qualche tempo fa. Integralmente, proprio per preservarne la freschezza, auspicando che i suoi messaggi "passino" il più possibile. Ce n'è estremo bisogno. ■■

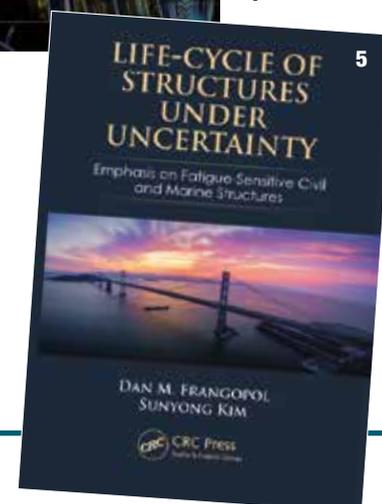


3. La mappa delle infrastrutture USA/The US Infrastructure Report Card's map



5. L'ultimo saggio pubblicato/The latest published book

4. Copertina del prossimo libro, curato in collaborazione con il professor Fabio Biondini/Cover of the next book, co-edited with professor Fabio Biondini



Strutture affidabili, robuste e resilienti

Stato dell'arte della progettazione a ciclo di vita

Una conversazione esclusiva con Dan M. Frangopol, Distinguished Member dell'American Society of Civil Engineers

Apostolo. Il suo ultimo libro, professore, si intitola "Il ciclo di vita delle strutture in contesti di incertezza - strutture sensibili alla fatica in ambito civile e marino". Ce ne può parlare?

Frangopol. Questo lavoro è l'ultimo di una lunga serie. L'ho scritto insieme a Sunyong Kim, un mio dottorando di ricerca che ha concluso il suo lavoro nel 2011. È stato il terzo dottorando che ho seguito alla Lehigh, il mio ventottesimo negli USA. La ricerca di Sunyong alla Lehigh era stata sponsorizzata da diversi enti, incluse la National Science Foundation, l'Ufficio per la Ricerca Navale e la Federal Highway Administration. Uno dei temi oggetto della ricerca ha riguardato le prestazioni a ciclo di vita delle strutture sottoposte a carichi ciclici (ovvero strutture sensibili alla fatica), quali ponti e navi sottoposti rispettivamente a traffico e moto ondoso. Insieme abbiamo sviluppato un metodo per ispezionare e monitorare queste strutture cercando di rispondere a domande quali ad esempio: qual è il momento migliore per sottoporle a ispezione? Oppure: quando dovremmo intervenire per riparare queste strutture? In entrambi i settori, quello dei ponti e quello navale, vi sono naturalmente investimenti per la messa in sicurezza, ma le risorse naturali e finanziarie sono limitate. In genere, non vi sono abbastanza fondi per coprire tutte le spese necessarie. Per questo dobbiamo saper e poter ottimizzare i tempi di intervento e anche il tempo e la tipologia di riparazione da adottare durante il ciclo di vita di queste strutture sottoposte a fatica.

Apostolo. A chi si rivolge il suo libro? Solo ricercatori o comunità scientifica, o anche gestori ed enti proprietari?

Frangopol. Negli USA e in molte aree del mondo sviluppato, un gran numero di strutture civili e marine si apprestano a raggiungere la fine della loro vita utile di progetto. Queste strutture datate determinano un aumento dei rischi economici, sociali e ambientali connessi a prestazioni non più soddisfacenti in condizioni di carico ordinarie ed estreme. Tuttavia, le risorse naturali e finanziarie da destinare alla manutenzione sono estremamente limitate. Per questa ragione, sussiste una crescente necessità di gestire in modo ottimale queste strutture soggette a degrado in un contesto a ciclo di vita. In letteratura vi sono diverse opere incentrate sulla manutenzione e sulla sicurezza di strutture soggette a degrado. Tuttavia, i testi attualmente disponibili presentano concetti molto ampi di pianificazione delle manutenzioni, senza accompagnarli con un'analisi dei costi e delle prestazioni a ciclo di vita. Questo lavoro è indirizzato agli studenti, ai ricercatori e ai professionisti dell'ingegneria civile e marittima. Presenta lo stato dell'arte sulle basi teoriche e sulle applicazioni pratiche di analisi a ciclo di vita e ottimizzazione delle manutenzioni nel caso specifico di strutture sensibili alla fatica. Gli argomenti principali oggetto della trattazione includono i concetti probabilistici delle prestazioni e dell'analisi dei costi a ciclo di vita, il rilevamento dei danni a fatica in condizioni di incertezza, la pianificazione ottimale, le attività di ispezione e monito-

raggio, l'ottimizzazione multi-obiettivo a ciclo di vita, la gestione delle decisioni nell'analisi a ciclo di vita. I casi applicativi riguardano ponti e navi sensibili alla fatica.

Apostolo. A proposito di ricerca, tra le varie citazioni sulla sua attività reperibili sul web, mi ha colpito questa: "La ricerca del dottor Frangopol non ha solo fatto risparmiare tempo e denaro, ma anche salvato vite...". Come si fa a trasformare la ricerca in azione utile, in aiuto concreto a utenti e cittadini?

Frangopol. Lei ha citato una parte della dedica della ASCE, l'American Society of Civil Engineers, che nel 2010 mi ha nominato "Distinguished Member". ASCE è l'associazione più grande nel nostro settore, con oltre 150.000 membri,



7. Il primo Simposio IALCCE: Varenna (Lago di Como), 2008/The first IALCCE Symposium: Varenna (Lake Como), 2008

Reliable, Robust and Resilient Structures

The State of the Art and Practice of Life-Cycle Engineering

AN EXCLUSIVE CONVERSATION WITH DAN M. FRANGOPOL, DISTINGUISHED MEMBER OF THE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

Apostolo. Your latest book, Professor Frangopol, was recently published under the title "Life-Cycle of Structures under Uncertainty: Emphasis on Fatigue-Sensitive Civil and Marine Structures": let's start from this...

Frangopol. I wrote this book with Sunyong Kim, one of my former PhD students (he graduated in 2011). He was my 3rd PhD at Lehigh University and the 28th PhD I supervised in the United States. Sunyong's research at

Lehigh was sponsored by several funding agencies including the National Science Foundation, the Office of Naval Research, and the Federal Highway Administration, among others. One of the research topics investigated was the life-cycle performance of structures under cyclic loading (i.e. fatigue sensitive structures), such as bridges and ships under traffic and wave loads, respectively. Together, we developed a method for inspecting and monitoring these structures trying

to answer questions like "What is the optimum time for inspection?" - or "When should we repair these structures?". Both in bridge and shipping industry there are investments but the natural and financial resources are limited. For this reason there is not enough money to cover all of the necessary expenses. Therefore, we have to optimize the type, number and time of inspections, monitorings and repairs during the life-cycle of fatigue-sensitive structures.

Apostolo. Who is the audience of your book? Only researchers, scientific community, or also the infrastructure stakeholders?

Frangopol. In the United States and many parts of the developed world, a great number of civil and marine structures are approaching the end of their design ser-

e ogni anno assegna circa 10 distinguished memberships a ingegneri civili. Naturalmente questo riconoscimento mi ha portato una grande soddisfazione. Per rispondere alla sua domanda: un modo per dare attuazione alla ricerca è semplicemente lavorare insieme, ovvero collaborare. Come peraltro proprio la ASCE insegna e fa.

Apostolo. Professor Frangopol, può riassumere i capisaldi della sua attività di ricerca?

Frangopol. Limitandomi al tema della progettazione a ciclo di vita, ho avviato questo percorso nel 1997 pubblicando uno studio in tema di Life-Cycle Design. Si trattava di un nuovo approccio progettuale basato sulla vita di servizio e sull'ottimizzazione dei costi attesi. Era un concetto abbastanza nuovo in quel periodo e per circa un decennio non ha avuto un significativo riscontro. In seguito, però, è cresciuto molto: nel 2008, per esempio, ho fondato in ambito ASCE il Technical Council "Life-Cycle Performance Safety, Reliability and Risk of Structural Systems" con tre task group, iniziativa alla quale ha partecipato anche il professor Biondini come chair del task group 1 "Life-Cycle Performance of Structural Systems under Uncertainty" e del task group 2 "Reliability-Based Performance Indicators for Structural Systems". Oggi, una delle grandi sfide dell'ASCE è quella di ridurre il costo a ciclo di vita delle infrastrutture del 50% entro il 2025 e promuovere in questo modo l'ottimizzazione degli investimenti infrastrutturali della società. All'interno dell'associazione c'è grande attenzione su que-

Partecipanti/Participants

Fabrizio Apostolo, Direttore editoriale/
Editorial Director IeStrade

Dan M. Frangopol, Lehigh University
Bethlehem, Pennsylvania, USA, Presidente
Fondatore/*Founding President IABMAS*
e/*and IALCCE*

www.lehigh.edu/~dmf206/ or

en.wikipedia.org/wiki/Dan_M._Frangopol

Fabio Biondini, Politecnico di Milano, Membro
Comitato Direttivo/*Executive Board Member*
IABMAS e Segretario Generale/*Secretary*
General IALCCE

intranet.dica.polimi.it/people/biondini-fabio



6. Da sinistra/*from left*: Fabio Biondini, Fabrizio Apostolo e/*and* Dan M. Frangopol

IABMAS - International Association for Bridge Maintenance and Safety www.iabmas.org
IALCCE International Association for Life-Cycle Civil Engineering www.ialcce.org

ste tematiche che cerchiamo costantemente di implementare. Prima le strutture si progettavano senza guardare alle prestazioni nel tempo, l'attenzione era dedicata principalmente ai costi iniziali di costruzione senza considerare manutenzione, ispezioni future o altri aspetti tipici del ciclo di vita di una struttura. Ma in genere i costi finali sono ovviamente superiori rispetto a quelli iniziali, quindi dobbiamo cercare di costruire un equilibrio nel tempo, dobbiamo farlo nella fase del progetto ma anche quando la struttura è re-

alizzata, ovvero dobbiamo concentrarci sulle esigenze che avrà nel corso della sua vita residua. Qual è l'opzione migliore per garantirne la sicurezza e l'efficienza? Demolirla o mantenerla in vita per altri dieci o più anni?

Apostolo. Proprio per dare una spinta a questi aspetti lei ha fondato un'associazione dedicata...

Frangopol. Si tratta della IALCCE, International Association for Life-Cycle Civil Engineering, che si oc-



8. Delft, Paesi Bassi, 2016/ *Delft, The Netherlands, 2016*



9. Ghent, Belgio, 2018/ *Ghent, Belgium, 2018*

vice life. These ageing structures pose mounting economic, social and environmental risks associated with unsatisfactory performance under normal and extreme loading conditions. Nevertheless, the natural and financial resources for maintenance are strictly constrained. Therefore, there is a growing need to optimally manage these deteriorating structures in the life-cycle context. There have been several books dealing with maintenance and safety of deteriorating structures. However, the existing books contain very broad concepts and applications for maintenance planning without presenting life-cycle cost and performance analysis. This book is targeted at students, researchers and practitioners in civil and marine engineering. It provides state-of-the-art theoretical background and practical applications of life-cycle analysis and maintenance optimization for

fatigue-sensitive structures. The primary topics covered include probabilistic concepts of life-cycle performance and cost analysis, fatigue crack detection under uncertainty, optimum inspection and monitoring planning, multi-objective life-cycle optimization, and decision making in life-cycle analysis. Applications contain fatigue-sensitive bridges and ships.

Apostolo. Talking about research, among the many citations of your activity I read on the web, I was impressed by this: "Dr Frangopol's research has not only saved time and money, but very likely also saved lives...". How could you transform the research in useful practice, real help for the users and the citizens?
Frangopol. This citation comes from ASCE, the American Society of Civil Engineers, which in 2010 awarded me Dis-

tinguished Membership. ASCE is the larger society in our field, it has over 150.000 members and every year awards about 10 distinguished memberships to civil engineers. I'm very proud of it. Answering your question, the secret is simply working together, as ASCE teaches and does.

Apostolo. Professor Frangopol, could you summarize the milestones of your research activity?

Frangopol. I began to work on these topics in 1997 publishing a paper on Life-Cycle Cost Design. It was a new concept on designing structures based on service life and on the expected life-cycle cost. This concept was quite new in the 1990's and for more than 10 years people didn't know too much about this. But since then it grew a lot: in 2008, for example, I created and chair the ASCE Technical Council on Life-Cycle Performance,



10. Una mappa delle infrastrutture USA: tutto online/
A detailed map of US infrastructure networks (available online)

cupa proprio della progettazione a ciclo di vita delle strutture e infrastrutture civili. L'ho fondata nel 2006 e il primo Simposio si è tenuto in Italia nel 2008 con il patrocinio del Politecnico di Milano (<http://www.ialcce08.org>). Ora, insieme al professor Biondini, che della IALCCE è segretario generale, stiamo lavorando all'edizione 2020 del Simposio, che si terrà a Shanghai in Cina. Ma nel 2022 torneremo in Italia, collaborando ancora con il Politecnico di Milano.

Apostolo. Professor Biondini, quali saranno i temi principali della conferenza di Shanghai?

Biondini. I simposi IALCCE riguardano tutti gli aspetti connessi con la progettazione, la valutazione, la manutenzione, la riabilitazione e il monitoraggio dei siste-

mi dell'ingegneria civile. Nello specifico, i temi principali di IALCCE2020 comprendono: Progettazione e valutazione a ciclo di vita; Ispezioni, diagnostica e monitoraggio; Degrado; Sistemi infrastrutturali e reti; Manutenzione e riabilitazione; Costi a ciclo di vita e ottimizzazione; Strumenti computazionali orientati all'analisi a ciclo di vita (<http://www.ialcce2020.org>).

Apostolo. Io sono nato in Italia, la terra degli antichi Romani, ovvero i padri delle strade e gli inventori della loro durabilità. In tempi più recenti, sono arrivati i problemi per i quali ora iniziamo a pagare il conto per il fatto di non aver potuto contare su un adeguato sistema di pianificazione e programmazione degli interventi di

manutenzione delle reti infrastrutturali. Nel nostro Paese in anni recenti l'Anas ha impostato un programma avanzato di gestione delle manutenzioni, ma solo a partire dal 2015 e solo, per forza di cose, riguardante le strade nazionali sotto la sua gestione e non l'interessa dei sistemi viari... Professor Frangopol, può darci qualche consiglio su come colmare questo "vuoto di programmazione"? Da dove occorre partire per costruire una strategia vincente di protezione e valorizzazione delle nostre infrastrutture, sottoposte al peso dell'età?

Frangopol. Consideri che negli USA abbiamo problematiche simili, dovendo gestire, per esempio, una rete di circa 600.000 ponti che stanno degradando. Da dove partire

Safety, Reliability and Risk of Structural Systems with three task groups, and Professor Biondini was the chair of task group 1 on Life-Cycle Performance of Structural Systems under Uncertainty and task group 2 on Reliability-Based Performance Indicators for Structural Systems. Now, the Grand Challenge of ASCE is to reduce the life-cycle cost of infrastructure by 50 percent by 2025 and foster the optimization of infrastructure investments for society. Before, structures were designed without considering their performance over time, there were only initial costs without looking at the maintenance, or inspection or structural deterioration. But the final cost is obviously much larger than the initial cost, so we have to balance this during the life-cycle, we have to look at it at the time of design but also after the structure is built we have to consider the performance during the

remaining service life. What is the best option? Demolition or keeping the structure alive for ten or more years?

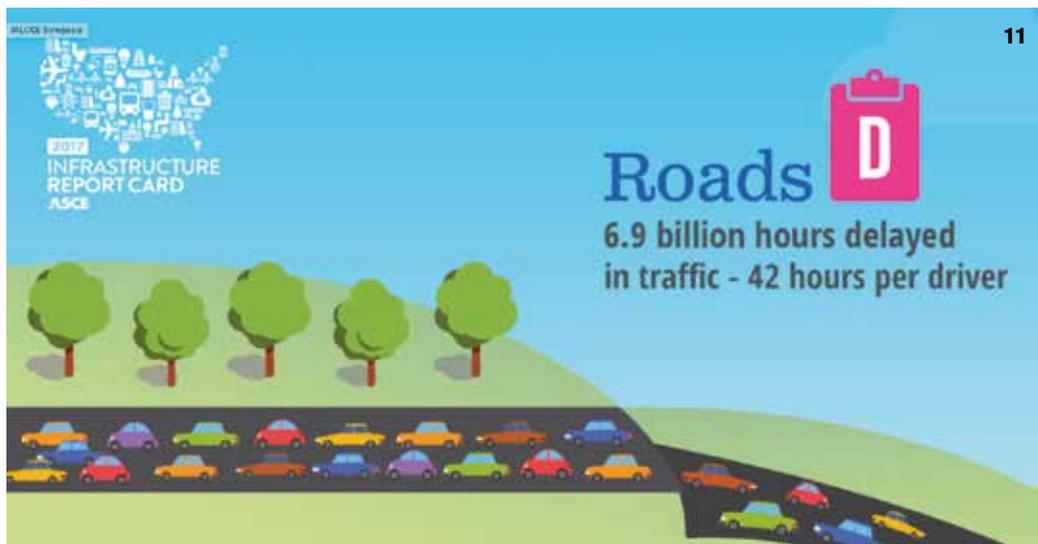
Apostolo. To push these topics you even founded a new association...

Frangopol. In 2006, I founded IALCCE, an international association dedicated to the life-cycle of civil infrastructure systems. Its first Symposium took place in 2008 in Italy under the auspices of Politecnico di Milano (www.ialcce08.org). Now with Professor Biondini, who is IALCCE Secretary General, we are working on the next 2020 Symposium in Shanghai, China. But in 2022 we will come back to Italy, working again with Politecnico of Milan.

Apostolo. Professor Biondini, what will be the main topics of Shanghai conference?

Biondini. IALCCE Symposia cover all aspects of life-cycle design, assessment, maintenance, rehabilitation and monitoring of civil engineering systems. The main topics include: life-cycle design and assessment; life-cycle inspection, testing and monitoring; life-cycle deterioration and damage; life-cycle of infrastructure systems, networks, and lifelines; life-cycle maintenance and rehabilitation; life-cycle costs and optimization; and life-cycle oriented computational tools (www.ialcce2020.org).

Apostolo. I'm from Italy, the land of Ancient Romans, historical fathers of roads and inventors of their durability. In more recent times, some problems arrived and now we start to pay the bill for not having had a strong and long-term planning in maintenance. In my country a good practice recently arrived from Anas,



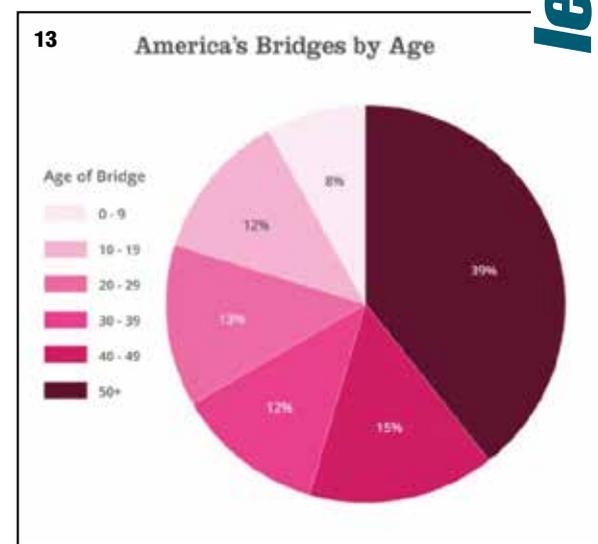
11

per affrontare il problema? Noi siamo partiti dalla mappatura, dalle informazioni sullo stato di conservazione delle strutture. Negli USA abbiamo realizzato un sistema di reportistica sulle infrastrutture - una sorta di carta d'intenti di opere e reti - denominato Infrastructure Report Card. L'Italia dovrebbe fare lo stesso. Ecco il sito web: www.infrastructurereportcard.org. Questo strumento ci permette di monitorare la situazione non solo di strade e ponti, ma di tutte le categorie di infrastrutture americane, quali aeroporti, ferrovie, dighe, canali e porti. Questo progetto è stato avviato 20 anni fa, con un rapporto dettagliato che viene diffuso ogni 4 anni. L'ultima edizione risale al 2017. Ogni tipo di infrastruttura è sottoposta a valutazione. Nel 2017 i punteggi assegnati variano da B per le ferrovie a D- per i trasporti, con una chiara illustrazione dell'impatto degli investimenti - o della loro assenza - su queste valutazioni. Il punteggio per i ponti è C+ e gli investimenti stimati necessari alla loro riabilitazione è pari a 123 miliardi di dollari. Inoltre, per ogni categoria di infrastruttura è possibile conoscere il costo necessario a mantenerla in sicurezza e le risorse disponibili: c'è una diffe-

11. Focus sulle strade/Focus on Roads



12. Membri individuali in IALCCE/IALCCE individual members



13. L'età dei ponti americani/America's bridges by age

which starting from 2015, began to invest in a programmed maintenance approach, but it was considering only the national roads and not all the systems... Professor Frangopol, could you give us some useful suggestions to fill the gap? From where could we start to build a winning strategy in protecting and giving value to our infrastructure "aging" networks? Frangopol. Consider that in the USA we have a similar problem, for example we have more than 600.000 bridges that are deteriorating. From where did we start to solve the problem? We started from mapping, from the information about the condition and performance of structures. In USA we established an Infrastructure Report Card. Italy should do the same. Please visit the website <https://www.infrastructurereportcard.org>. From this we can monitor the situation not only of the bridges and roads,

but of all the categories of American infrastructure, such as airports, rails, dams, inland waterways, and ports. This project started 20 years ago, a detailed report is published every 4 years. The last one was in 2017. Every type of infrastructure is graded. The 2017 grades range from a B for Rail to a D- for Transit, illustrating the clear impact of investment - or lack thereof - on the grades. The grade for bridges is C+. As reported, the most recent estimate puts the United States' backlog of bridge rehabilitation at \$123 billion. In addition, for every category of infrastructure it is possible to know the amount of money necessary to maintain it at a safe level and the amount of money available: there is a big difference between the availability and the needs of each infrastructure category to maintain a safe state. Let's suppose that for a project we need 2 billion dollars, but only one billion is available: what will

happen? It is possible to contact Members of Congress to pass legislation that moves toward closing the investment gap. If in 2017 the cost is 2 billion, surely doing nothing for four years in 2021 it will increase substantially, say to 3 billions. The Infrastructure Report Card is very useful for informing the politicians to take care of the civil infrastructure systems. Yes, I suggest to start from a similar report card, but this is only the beginning. The following step is to work on a "risk- informed decision" approach: we have to know where to put our money, we have to make a clear decision because the money is limited and some bridges are riskier than others.

Apostolo. Among the topics of your research activity, we can also find climate change and seismic protection. We know that in these fields the USA is one of



14. Il Professor Frangopol durante la cerimonia dell'ASCE OPAL Leadership Award for Lifetime Accomplishments in Education, assegnatogli dall'ASCE nel 2016/ Professor Frangopol presenting his speech upon receiving the ASCE OPAL Leadership Award for Lifetime Accomplishments in Education, ASCE 2016. Courtesy: ASCE/ Jason Dixon Photography

renza elevata tra risorse disponibili e risorse necessarie per mantenere sicure tali infrastrutture. Supponiamo che per un progetto servano 2 miliardi di dollari, ma solo 1 è disponibile: cosa fare? Per esempio possiamo rivolgerci alla politica per ottenere più fondi, dal momento che se è vero che nel 2017 quell'intervento sarebbe costato 2 miliardi, sicuramente nel 2021 (se non avremo fatto nulla) ne costerà ad esempio 3... In sintesi, la Infrastructure Report Card è molto utile anche per poter informare i politici sulla necessità di gestire il sistema infrastrutturale. Questo è il necessario punto di partenza. Il passaggio successivo cruciale è adottare un approccio decisionale basato sulle valutazioni di rischio: dobbiamo sapere dove è meglio investire le risorse, dobbiamo prendere decisioni chiare e ben ponderate, perché le risorse sono limitate e i rischi sono diversificati.

Apostolo. Tra i grandi temi della sua attività di ricerca, troviamo anche quelli legati ai cambiamenti climatici e alla protezione sismica, materie non

nuove negli USA, che ha una profonda esperienza di gestione in questi ambiti. Ma gli effetti catastrofici del clima sui territori sono sempre più al centro dell'attenzione anche in Italia, un Paese notoriamente fragile, proprio in virtù di episodi catastrofici ricorrenti. Ha qualche consiglio da darci anche nell'affrontare questi problemi?

Frangopol. Negli USA abbiamo un progetto in corso in questi ambiti con la NSF, la National Science Foundation (www.nsf.org). In particolare ci concentriamo sulle aree costiere come quelle della Florida o della California, più popolate dell'interno. Da molto tempo studiamo gli effetti del clima e la protezione sismica. Penso agli uragani, come l'ultimo che ha devastato le Bahamas. Anche in questo campo è importante decidere quali investimenti fare per combattere gli effetti dei cambiamenti climatici. Cosa dobbiamo fare in concreto? Dalla mia esperienza, ritengo essenziale la cooperazione tra diverse professionalità, ingegneri, sociologi, economisti, politici - abbiamo un centro

presso l'Università del Colorado che organizza seminari sui rischi naturali e mette insieme allo stesso tavolo personalità provenienti da diversi settori. È una strada che può dare buoni frutti.

Apostolo. A questo punto darei ancora la parola al professor Fabio Biondini, chiedendogli di riassumere i punti fermi dell'approccio progettuale basato sul ciclo di vita.

Biondini. Le molte peculiarità dell'approccio progettuale a ciclo di vita comprendono due fattori essenziali a livello sia strutturale sia infrastrutturale. Innanzitutto, un approccio a ciclo di vita richiede un quadro d'insieme più ampio e completo in termini di prestazioni strutturali e risorse disponibili: i sistemi soggetti a degrado devono essere esaminati non solo con riferimento alla sicurezza e all'affidabilità strutturale, ma si deve tenere conto anche di nuovi indicatori prestazionali, come *ridondanza*, *robustezza* e *resilienza*. Inoltre, mentre in passato l'attenzione del progettista era essenzialmente focalizzata su singole strutture, oggi è necessario ampliare la nostra visione dei problemi di progetto, valutazione e manutenzione considerando la *sostenibilità* e le ricadute sull'intero sistema infrastrutturale.

Apostolo. Professor Frangopol, ha qualcosa da aggiungere al proposito?

Frangopol. Sono perfettamente d'accordo con il professor Biondini, con il quale tra l'altro ho avuto modo di fissare questi punti fermi in un libro in corso di pubblicazione da parte dell'ASCE dal titolo "*Life-cycle design, assessment, and maintenance of structures and infrastructure systems*", in stampa probabilmente il prossimo dicembre. Un punto saldo è proprio questo: non possiamo solo indagare un componente o una singola struttura o infrastruttura, ma dobbiamo guardare all'interdipendenza delle diverse tipologie di infrastrutture. Per esempio, se abbiamo un sistema di ponti in un'area sismica dove vi è anche un ospedale, dob-

the world leading countries, but we also see that Italy, and its fragile territory, is more and more involved in these catastrophic situations. Do you have any suggestions to send us, on our side of the ocean, on how to face these problems?

Frangopol. We work on a project on these topics funded by the US National Science Foundation (<https://www.nsf.gov>). We mostly focus on the coastal regions, more populated than the others. For example Florida or California. Since we have been studying the effects of climate change and the seismic protection, let's think about hurricanes, the latest one destroyed the Bahamas. Also in this field it is important to consider which investment could be done to fight climate change. What to do? From my experience, I consider it is essential to have the cooperation among different professionals, engineers, sociologists, economists, politicians - We have a center at the University of Col-

orado, Boulder, that organizes workshops on natural hazards with large participation of people from different fields. This is a good way.

Apostolo. Now I'd like to ask Professor Fabio Biondini to come back to the "milestones" of the life-cycle engineering approach and giving us a synthesis of it. **Biondini.** The peculiarities of a life-cycle engineering approach include two key factors at both structural and infrastructural levels. Firstly, LCE involves a more comprehensive overview of the structural performance and resources: deteriorating systems should be investigated not only with reference to traditional indicators such as safety and reliability, but we need to account for the effects of potential damage with new performance indicators such as redundancy, robustness, and resilience. Secondly, while in the past the attention was mainly focused on the analysis of single

structures, nowadays it is necessary to widen our vision and afford design, assessment, and maintenance problems considering sustainability and consequences on the entire infrastructure system.

Apostolo. Professor Frangopol, something else to add?

Frangopol. I completely agree with Professor Biondini. We will be underlying these topics in a book that is co-edited with Professor Biondini and will be published probably in December by ASCE, with the title "*Life-cycle design, assessment, and maintenance of structures and infrastructure systems*". Another point is this: we can't only look at one component or at one building, but we have to look at the interdependency of the different types of infrastructure. For example, if you have a bridge network in a seismic area and you have a hospital nearby, you have to make sure that in case of a

biamo valutare che, in caso di terremoto, vi sia tempo sufficiente per il trasporto dei malati. È dunque fondamentale studiare per tempo le relazioni tra reti e servizi, ponti ed edifici, ma anche reti idriche ed elettriche e così via. Le interazioni tra i sistemi sono molteplici: la criticità di una rete può determinare altre criticità ad altre reti e noi dobbiamo lavorare sulla prevenzione di tutte queste possibilità. Il tema dell'interazione infrastrutturale è quindi molto rilevante. Questo approccio moderno, oggi, ci permette inoltre di avere strutture con livelli adeguati di *ridondanza*, ovvero in modo tale che possano ridistribuire gli effetti di

un eventuale danno (per esempio l'azione sismica) e garantire il tempo necessario per la gestione della situazione (evacuazione e via dicendo). Quindi la ridondanza è un tema cruciale, perché se una struttura crolla non si perde solo la struttura, ma si perdono anche vite umane... Poi c'è la *robustezza* strutturale, anch'essa molto importante. Se una parte della struttura risulta danneggiata e i livelli di robustezza sono adeguati, la struttura può mantenere una elevata capacità portante. Altri indicatori prestazionali molto importanti sono affidabilità, rischio, resilienza e sostenibilità. Questi sei indicatori (ridondanza, ro-

bustezza, affidabilità, rischio, resilienza e sostenibilità) sono concetti moderni, che non devono riguardare, come detto, solo la singola struttura, ma anche la rete e l'intera comunità: essi consentono di quantificare come una comunità può salvaguardarsi di fronte a un'eventuale catastrofe. In particolare, sostenibilità significa che quello che facciamo non è solo per noi, ma anche per le prossime generazioni. La sostenibilità si articola in tre componenti: economica, sociale e ambientale. Queste sono componenti chiave per il progettista, che è chiamato a tenerne conto in modi diversi a seconda delle esigenze delle comunità.

15. International Workshop on Life-Cycle Performance of Civil Structure and Infrastructure Systems, ASCE Technical Council, Washington DC, USA (November 10, 2015)



Apostolo. Un'ultima domanda a entrambi: cosa bisogna fare per diffondere la cultura della progettazione a ciclo di vita?

Biondini. Un obiettivo strategico è certamente quello di preparare le prossime generazioni di ingegneri civili a confrontarsi con vecchi e nuovi problemi attraverso un approccio a ciclo di vita e questo sarà possibile solo con la formazione. Ad oltre 20 anni dai lavori pionieristici del professor Frangopol, è tempo che la progettazione a ciclo di vita venga recepita nei curricula di ingegneria civile. Recentemente al Politecnico di Milano abbiamo attivato l'insegnamento Structural Reliability and Risk Analysis nel quale vengono presentati i concetti della progettazione a ciclo di vita, anche con riferimento ai temi della ridondanza, della robustezza e della resilienza di strutture e sistemi infrastrutturali. La formazione deve essere una delle nostre principali priorità.

Frangopol. In America questi temi sono abbastanza sviluppati e insegnati a studenti di master e dottorato. È necessario diffondere questo approccio anche nei percorsi di laurea di primo livello. Attraverso il lavoro di IALCCE e IABMAS potremo certamente diffondere questo approccio. E questa azione deve essere sviluppata a livello globale, dagli Stati Uniti all'Italia, alla Cina e a tutti gli altri paesi del pianeta. ■■

seismic event you have enough time to transport people that are affected; in other words it is important to look at the interactions between the hospital facilities and the bridge network, or between the water system and the electrical system, just to give another example. There are a lot of interactions between the systems: a failure of one could cause the failure of another and we have to prevent it. Therefore, interacting infrastructure is an important topic. Today there are structures built very well and you don't worry about them because there is enough *redundancy*: they can redistribute the effects of the seismic action and you have enough time to manage the situation (evacuation and so on). So, redundancy is a crucial topic, because if a structure collapses you don't lose only the structure, but you also lose human lives... *Robustness* is also very important: if you have a structure and a part of it is damaged, the remaining structure

can still survive. But other very important indicators are *reliability*, *risk*, *resilience* and *sustainability*. These six (redundancy, robustness, reliability, risk, resilience and sustainability) are modern concepts, not only at the level of the structure, but also at the level of the community: they quantify how a community can recover from a disaster. It means that you do this not only for you, but you do it also for future generations. Sustainability involves economic, social and environmental components. They are also key components for the designers, but also have to be considered in different ways, according to the needs of the communities.

Apostolo. Final question to both of you: what is the way to disseminate, promote and foster the effects of the life-cycle engineering approach?

Biondini. The pivotal goal is to prepare the next gener-

ations of civil engineers to face old and new problems implementing a life-cycle approach and this is possible only through education. After more than 20 years from the first pioneering studies of Professor Frangopol, it is the time to have LCE included into civil engineering curricula. At Politecnico di Milano we recently established a course on Structural Reliability and Risk Analysis where life-cycle concepts are explicitly addressed, including redundancy, robustness, and resilience of structures and infrastructure systems. Education has to be one of our top priorities.

Frangopol. In America these topics are quite well developed and taught to graduate students. We have to spread this approach also to the undergraduate students. Through IALCCE and IABMAS we can disseminate this approach. And this has to be done globally, from USA to Italy to China, to all the countries of the world. ■■