Le interviste di I.S.A.

A cura di Anna Maria De Luca

Con questa intervista al **professor Michele Ciavarella**, ISA Italian Scientists Association prosegue il ciclo dedicato alla scoperta delle illustri personalità scientifiche che fanno parte della nostra associazione. Un'occasione per far conoscere le eccellenze che ne compongono il tessuto, attraverso le loro ricerche, le loro visioni e i progetti in cui sono impegnati.

Il Ponte sullo Stretto di Messina è progettato per durare 200 anni. Ma i suoi quattro cavi principali, che una volta in esercizio non si possono sostituire, reggeranno davvero così a lungo? È la domanda al centro dello studio del Prof. Michele Ciavarella, ordinario di Progettazione meccanica al Politecnico di Bari e tra i pochi esperti al mondo di fretting fatigue, la fatica da sfregamento. Gli abbiamo chiesto del suo percorso, delle prove di fatica che mancano per dimostrare la durata dei cavi e delle soluzioni che si potrebbero ancora adottare.

SCHEDA

Michele Ciavarella (Bari, 1970) è professore ordinario di Progettazione meccanica al Politecnico di Bari. Laureato in Ingegneria meccanica nel 1994 con lode, primo del suo corso, ha conseguito il dottorato tra il Politecnico di Bari e l'Università di Oxford, dove ha studiato la meccanica del contatto e il fretting fatigue nei motori a turbina, in collaborazione con Rolls-Royce. È stato Senior Research Fellow all'Università di Southampton, ricercatore al CNR di Bari, Maître de conférences all'École Polytechnique di Palaiseau e Humboldt Senior Research Fellow alla Technische Universität Hamburg. Fa parte del comitato editoriale di cinque riviste internazionali e figura tra i Top Italian Scientists nell'ingegneria. È membro del consiglio direttivo di I.S.A.

Studio di riferimento: M. Ciavarella, *"Will the Messina Strait Bridge stand for 200 years? Design of suspension bridge main cables between safety factor and aeronautical damage tolerance"* . La ricerca è sostenuta dal MUR nell'ambito dei programmi Dipartimenti di Eccellenza e PRIN 2022 PNRR.

Intervista al professor Michele Ciavarella

Professore, lei si occupa di fretting fatigue fin dal dottorato tra il Politecnico di Bari e l'Università di Oxford, con il Prof. David Hills e in collaborazione con Rolls-Royce, sugli attacchi delle palette dei motori a turbina. Come si arriva dai motori aeronautici ai cavi del ponte sospeso più lungo del mondo?

Il problema di fondo è lo stesso. Ci sono componenti a contatto che subiscono uno sfregamento e, allo stesso tempo, cicli di carico alternati. Questi cicli, da soli, produrrebbero già fatica. Con lo sfregamento però entrano in gioco altri fattori, molto complessi o praticamente impossibili da prevedere: l'usura, la formazione di ossidi e la concentrazione degli sforzi che nasce dove finisce il contatto.

Di conseguenza, uno studio accurato del fretting fatigue nei cavi, e ancora di più nelle selle in cima alle torri del ponte, è possibile solo in forma molto semplificata. Soprattutto, la vita a fretting fatigue si può prevedere solo con delle prove. Su un cavo intero sarebbero impraticabili, ma si possono e si devono fare sugli elementi che lo compongono, fili e trefoli, scegliendo i punti più sollecitati e riproducendo le stesse condizioni di carico, di cicli e di sfregamento della situazione reale. Sono prove difficili, ma fattibili.

Per questo ho fatto riferimento anche all'esperienza aeronautica. Nelle strutture degli aerei, dove una rottura non è ammissibile, si è sviluppata la cosiddetta damage tolerance, che considera fin dal progetto la possibile presenza di cricche e la loro crescita nel tempo. Non voglio dire che gli ingegneri civili non conoscano la fatica: chi progetta ponti strallati e sospesi conosce bene anche la fatica di cavi, trefoli e fili. Credo però che questi concetti possano integrare utilmente la progettazione, soprattutto in un'opera senza precedenti come questa, in cui la resistenza a fatica dei cavi va dimostrata con prove e non può poggiare sull'ipotesi che le sollecitazioni restino sotto un limite di fatica che, con il fretting, potrebbe non esistere.

A 28 anni è stato il più giovane in Italia a essere nominato primo ricercatore al CNR. Poi sono venute l'École Polytechnique di Parigi e la Technical University di Amburgo. Quanto hanno contato queste esperienze all'estero nel suo modo di fare ricerca?

Grazie a una borsa Humboldt ho trascorso dei periodi di ricerca ad Amburgo, dove si lavorava sulle vibrazioni; all'École Polytechnique, che ha una grande tradizione negli studi sulla fatica, ho lavorato come Maître de conférences. Queste esperienze mi hanno permesso di specializzare ulteriormente la mia conoscenza dei problemi di fatica.

Lei è tra i Top Italian Scientists nell'ingegneria e tra i ricercatori più citati della meccanica in Italia. Che cosa significa per lei far parte di una rete come I.S.A.?

È un'iniziativa che ho seguito fin dall'inizio e che mi sembra un'ottima idea, tanto che ne ho avviata anch'io una simile legata alla lista dei Top Italian Scientists. Credo che queste reti siano molto utili per mettere in contatto gli scienziati, per scambiare idee e pubblicazioni, soprattutto divulgative, e anche per avanzare proposte. Le proposte congiunte, naturalmente, sono sempre un po' difficili, perché bisogna trovare il modo di approvarle e fare in modo che rappresentino la maggioranza dei membri.

Le vedo soprattutto come piccole accademie delle scienze, nuove forme di aggregazione in cui gli scienziati discutono di scienza e di università anche con strumenti moderni, come WhatsApp. I.S.A. si basa su un consiglio direttivo di persone autorevoli, di cui faccio parte. Ne fanno parte anche ex presidenti dell'ANVUR, come il Prof. Uricchio, che presiede l'associazione e ha una grande esperienza nella valutazione della produzione scientifica. Per entrare in I.S.A. bisogna figurare nella lista del 2% degli scienziati più citati stilata da Stanford, oppure avere i requisiti per essere commissario nei concorsi universitari. Sono requisiti minimi che fanno di I.S.A. un'associazione di persone di un certo spessore.

Il suo lavoro si intitola "Will the Messina Strait Bridge stand for 200 years?". Come nasce questa domanda, e perché ha scelto di concentrarsi proprio sui cavi principali?

Tutto parte dal Prof. Antonino Risitano dell'Università di Messina. È in pensione, ma appartiene al mio stesso settore disciplinare e si è occupato di fatica per quarant'anni. Essendo della zona, si è fatto carico di questa questione ed è stato il primo a sollevare il problema della fatica. Ha avuto un notevole riscontro mediatico, con video che hanno superato il milione di visualizzazioni, ed è stato audito. Se non sbaglio, alcune sue osservazioni sono state riprese nelle considerazioni del comitato scientifico.

Il Prof. Risitano lamenta anche che le prove di fatica necessarie non siano state fatte. In campo aeronautico, dopo la progettazione a fatica, si fanno prove di certificazione sia statiche, con un coefficiente di sicurezza, sia a fatica in scala reale. Per un aereo sono costose; per un ponte una prova sull'intera struttura è irrealizzabile, anche perché durerebbe quanto la vita del ponte. Per questo si procede, correttamente, con prove su elementi di dimensioni ridotte, fili e trefoli, in cui si riproducono le stesse condizioni di sollecitazione, di carico, di cicli e di sfregamento. Sono la condizione necessaria per verificare il dimensionamento dei cavi, e finora non risulta che siano state fatte.

C'era però un aspetto che il Prof. Risitano, che non si occupa specificamente di fretting, aveva lasciato scoperto: il limite di fatica in presenza di sfregamento. È questo che mi ha spinto a studiare il fretting di questi cavi, e ci ho lavorato per parecchi anni.

Quindi, in sostanza, il problema non è la resistenza statica, ma la fatica nel tempo?

Queste strutture civili somigliano sempre di più a strutture aeronautiche: sono sottoposte al vento, alle vibrazioni, alla fatica e a carichi di trazione. I Romani costruivano ponti, o il Pantheon, che lavoravano prevalentemente a compressione, e questo impediva alle cricche di aprirsi: per questo durano da quasi duemila anni. A trazione, invece, le cricche inevitabilmente si aprono: è intuitivo per chiunque che, se tiro un oggetto, tende a lacerarsi.

Se poi il carico è a fatica, cioè tiro e mollo, tiro e mollo, per milioni di cicli, si innescano processi complessi da descrivere. In alcuni casi si possono tenere a bada progettando con tensioni inferiori a quelle di rottura statica, entro un limite di fatica. Il problema è che in presenza di fretting non è chiaro che questo limite esista.

In 200 anni i cavi subiranno un numero enorme di cicli di sollecitazione: quelli più severi, dovuti soprattutto al passaggio dei treni, sono dell'ordine delle decine di milioni, e a questi si sommano moltissime piccole oscillazioni dovute al vento e al traffico stradale. Le prove di qualificazione convenzionali si fermano intorno ai due milioni di cicli. Che cosa significa questo divario?

Io escludo che oggi si possa garantire una vita a fatica di 200 anni. Bisogna distinguere. Le variazioni di tensione più elevate vengono soprattutto dal passaggio dei treni, eventualmente insieme ai carichi stradali, al vento e ad altre azioni secondarie: anche con una previsione molto ottimistica di 200 treni al giorno, in 200 anni si arriva a circa 14,6 milioni di cicli, già molti più dei due milioni delle prove convenzionali. Poi ci sono le numerosissime piccole oscillazioni, dovute al vento o al passaggio di singoli camion, che producono variazioni di tensione altrettanto piccole. Senza sfregamento si può mostrare che restano sotto il limite di fatica, cioè la soglia di sollecitazione sotto la quale il componente resiste per un numero illimitato di cicli. Il punto è che nel fretting fatigue non è affatto chiaro che questo limite esista. Senza sfregamento lo si individua di solito entro qualche milione di cicli, ed è per questo che le prove convenzionali si fermano a due milioni; con il fretting, invece, la resistenza può continuare a calare ben oltre. E se non c'è un limite di fatica affidabile, non si può progettare in modo quasi statico, verificando che le tensioni restino sotto una soglia con un coefficiente di sicurezza. Bisogna dimostrare con prove, su fili e trefoli nelle reali condizioni di contatto, la resistenza per un numero di cicli adeguato ai 200 anni richiesti. E non basta nemmeno una prova sola, perché la fatica è un processo statistico: servono molte prove per avere un certo grado di sicurezza, oppure prove allungate, come nell'aeronautica, dove per garantire una certa vita a un aereo si fanno prove molto più lunghe di quella vita, così da avere statisticamente un margine.

Quello che ho voluto suggerire è di affiancare alla progettazione civile alcuni concetti della progettazione aeronautica a fatica. Se applicata con prudenza, la progettazione civile è adeguata, ma per la fatica l'esperienza e la sperimentazione sono fondamentali, e l'esperienza, in questo caso, non

basta. Nessun ponte sospeso comparabile a quello di Messina, e comunque nessuno lungo quanto Messina, ha avuto una vita di 200 anni: i ponti sospesi più vecchi, molto più piccoli, hanno poco più di un secolo e i loro cavi hanno avuto spesso danni ai fili, anche da fretting fatigue. Da qui a prevedere che Messina duri 200 anni ce ne passa.

Si sarebbero potuti realizzare cavi più grandi, in modo da avere tensioni inferiori, oppure cavi ridondanti. Non dico che abbiano sottovalutato il problema, ma nel progetto definitivo del 2011 si è assunto che i cicli di fatica nei cavi siano trascurabili, ed è la tesi che i progettisti sostengono fin dall'inizio, senza prove di fretting che lo dimostrino. È un'ipotesi, e garantire su questa base che il ponte duri 200 anni è un pio voto. Staremo a vedere quanto dura.

Questo però non significa che i cavi siano destinati a rompersi?

No. Non posso dire che sicuramente non durerà 200 anni, così come non posso dire il contrario. Quello che dico è che i 200 anni non si possono garantire. Si può fare il monitoraggio, ma in altri ponti è già successo che problemi ai cavi portassero alla chiusura.

Nel progetto attuale i quattro cavi principali non sono pensati per essere sostituiti, giusto?

Esatto. Ed è questo il punto: il ponte si chiude perché i cavi non si possono sostituire. Se volessi sostituire un cavo, il ponte non starebbe in piedi.

Quali soluzioni suggerisce il suo studio?

Oltre a ridurre le tensioni con cavi più grandi, facendo riferimento all'esperienza aeronautica la strada principale è progettare i cavi fail-safe, cioè ridondanti: se se ne rompe uno, la struttura non cade e lo si può rimpiazzare. La ridondanza si può ottenere in vari modi, per esempio aggiungendo due cavi principali, ma richiederebbe comunque di modificare il progetto attuale. Avrebbe un costo importante: nella mia stima arrivavo a circa tre miliardi e mezzo di euro in più, una cifra probabilmente abbondante.

La soluzione dei cavi ridondanti avrebbe però un costo importante. È per questo che non è stata presa in considerazione?

Credo soprattutto per il costo, che oggi nessuno sembra disposto a sostenere. Dal punto di vista tecnico, però, la ridondanza resta la soluzione più sicura.

A che punto è oggi il progetto?

L'impostazione risale a molto tempo fa e il progetto definitivo è del 2011, aggiornato nel 2023-24. Poi ci sono stati un blocco, una serie di ricorsi, requisiti geologici da rivedere, e le normative tecniche si sono evolute, per cui le verifiche vanno aggiornate. Ora si cominciano i cantieri mentre il progetto è ancora in fase definitiva e non esecutiva. Il Consiglio superiore dei lavori pubblici ha formulato 366 prescrizioni vincolanti, di cui 161 urgenti e di grande impatto, da ottemperare prima di sviluppare il progetto esecutivo, quello che stabilisce nel dettaglio come devono essere le varie parti. Seguendo la logica e la normativa, questo vorrebbe dire rifare prima l'attuale progetto definitivo. In realtà non vedo come tutte queste prescrizioni possano essere recepite semplicemente nel progetto esecutivo.

Sono in corso prove sui cavi? E quali verifiche ritiene prioritarie?

Finora non è stato detto nulla di più. Che si stanno facendo delle prove lo ha accennato il Prof. Diana, quando è intervenuto il Prof. Risitano al convegno in Senato, ma non è stato specificato niente: sono state mostrate soprattutto slide sugli studi dei decenni passati. In Italia sul Ponte sono stati finanziati molti studi per quarant'anni, ma non sul fretting dei cavi.

Io e il Prof. Risitano siamo in attesa di conoscere che tipo di prove sono previste, che cosa dimostreranno, con quanti cicli e con quale esito. Per il momento è tutto riservato, ma trattandosi di un'opera finanziata con risorse pubbliche questi dati dovrebbero essere resi pubblici. Valuterò i risultati quando lo saranno. Le verifiche prioritarie, secondo me, sono prove di fretting fatigue sul contatto tra i fili e le selle, con carichi ad ampiezza variabile e un numero di cicli molto più alto dei due milioni convenzionali, ripetute più volte per avere una base statistica.

In un cavo le cricche dei fili interni non si vedono. Quali strumenti dovrebbero accompagnare il ponte per tutta la sua vita?

Per quanto ne so, è molto difficile capire se ci sono fili rotti: un cavo è fatto di un numero enorme di fili paralleli. Nella risposta ufficiale alle mie osservazioni si sostiene che i cavi a fili paralleli non hanno problemi di fretting. È un'affermazione tranchant, che non hanno dimostrato e scritta senza alcun riferimento scientifico. Sono d'accordo che abbiano meno problemi di fretting, ma che non ne abbiano nessuno non ha senso: non è possibile che sia così. Il monitoraggio, per esempio con l'emissione acustica, e la deumidificazione dei cavi aiutano, ma nessuno strumento garantisce di individuare tutti i fili rotti all'interno di un cavo. Per questo la sicurezza deve venire dal progetto, non solo dai controlli.

Il suo studio è tecnico, senza pregiudizi favorevoli o contrari all'opera. Quanto è difficile far passare un messaggio tecnico così importante in un dibattito polarizzato come quello sul Ponte, e arrivare a chi prende le decisioni?

Ho inviato lo studio ai deputati e mi hanno risposto in due, dicendo che è uno studio interessante e che lo leggeranno.

La ricerca è sostenuta dal MUR. Quanto conta il finanziamento pubblico per la ricerca indipendente sulle grandi infrastrutture?

I fondi vengono anche dal programma Dipartimenti di Eccellenza del nostro dipartimento; i PRIN sono arrivati in un secondo momento. È proprio il finanziamento pubblico a rendere possibile una ricerca indipendente: senza, studi come questo su un'opera così discussa difficilmente si farebbero.

Una ricerca indipendente finanziata con fondi pubblici su un'opera di questa portata dovrebbe essere sul tavolo di tutti e discussa apertamente. Perché invece è così faticoso farsi ascoltare?

Consideri che sul Ponte le discussioni sono infinite. C'è una pagina Facebook con circa 250.000 follower che ogni giorno affronta aspetti tecnici del ponte, e sotto ci sono commenti su commenti. Ma una discussione su Facebook non ha lo spessore di un confronto scientifico. L'unico confronto scientifico vero e proprio, che io sappia, è stato quello organizzato al Senato dalla senatrice Elena Cattaneo, con persone autorevoli e, se non direttamente le aziende progettiste, almeno i loro consulenti. Ma in un pomeriggio non si possono affrontare tutti i temi che ci sono. Ne servirebbero molti di più, di questi approfondimenti. Il Prof. Risitano, per esempio, ha avuto sì e no due minuti per dire che secondo lui ci sono problemi di fatica, e il Prof. Diana gli ha risposto che si stanno facendo le prove. Fine del discorso. Non è un approfondimento sufficiente.

Poi naturalmente ci sono le procedure ufficiali, come quella del Consiglio superiore dei lavori pubblici, che ha esaminato tutto il progetto, ha ascoltato esperti e ha espresso 366 prescrizioni vincolanti, di cui 161 urgenti. Non è che questo ponte si faccia senza nessuna procedura.

Il problema è che il fretting fatigue è un campo di nicchia: gli esperti nel mondo sono poche decine, e in Italia pochissimi. Chi progetta ponti ne tiene conto per cavi, stralli e funi, ma prevedere quantitativamente la vita a fretting fatigue di cavi di queste dimensioni per 200 anni richiede competenze e prove specifiche. E siccome il Ponte viene discusso a livello scientifico quasi solo in Italia, nel dibattito pubblico questo aspetto non era emerso finché non me ne sono occupato io. A uno studioso straniero non interessa granché il Ponte di Messina. Quando ho detto al mio professore di Oxford che mi stavo occupando del fretting del Ponte, mi ha risposto che non era competente su tutti gli aspetti dell'opera e che non aveva motivo di studiare, senza un incarico, un'opera con così tanti aspetti diversi.

Tra le persone coinvolte nel Comitato scientifico manca proprio questa competenza. Ci sono esperti autorevoli in altri campi, anch'essi importanti, ma probabilmente avrebbero dovuto inserire anche esperti di fretting.

Il Prof. Ciavarella ringrazia i professori de Miranda e Risitano per i suggerimenti ricevuti in questi ultimi anni.