

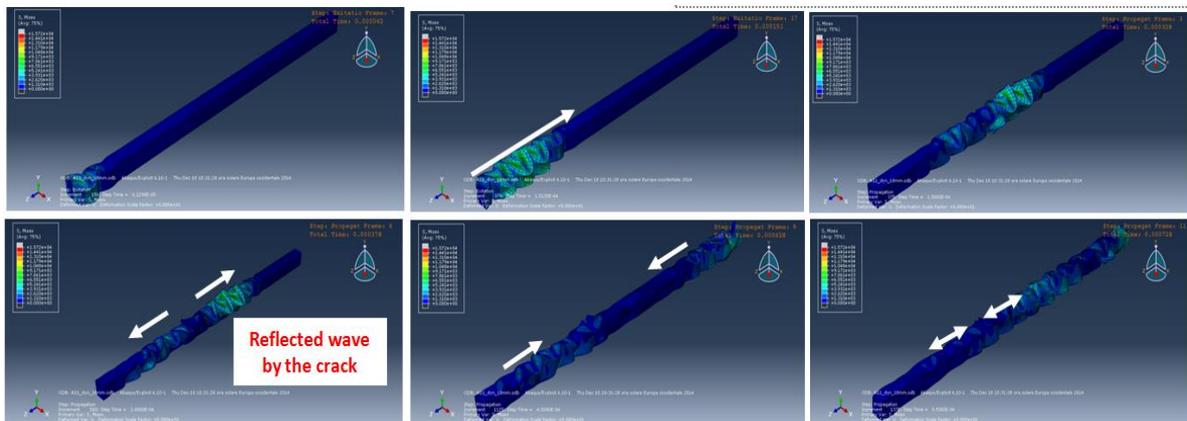
Sviluppi recenti sull'implementazione in situ del metodo Guided-Waves per l'identificazione dei macro difetti nelle catene storiche

Le "onde guidate" (onde di Lamb), sono onde elastiche che si propagano all'interno di elementi sottili (piastre, gusci) o di corpi allungati (barre, rotaie, tubazioni), sotto l'influenza delle ridotte dimensioni trasversali rispetto alla direzione di propagazione. Uno dei principali benefici che conseguono a questi vincoli geometrici è la possibilità di percorrere distanze importanti (in genere metri o decine di metri) subendo una modesta attenuazione. Questo consente di analizzare ampie estensioni degli elementi ispezionati a partire da un solo punto di eccitazione e misura delle onde.

Nel caso particolare delle indagini sulle catene storiche che equilibrano la spinta degli archi in muratura, questo metodo ha dimostrato notevoli potenzialità. Rispetto alle vibrazioni coinvolte nella normale analisi dinamica degli elementi strutturali (per esempio l'analisi modale), queste onde hanno frequenze notevolmente più elevate (alcune decine di kHz) e lunghezze d'onda molto inferiori (dell'ordine di 0.1 m). Pertanto, la propagazione dei treni di onde è molto più influenzata dalle condizioni locali delle sezioni attraversate. In presenza di significativi danneggiamenti di una sezione, le onde vengono riflesse verso il punto di origine e il ritardo con cui esse vengono ricevute permette di identificare con precisione la posizione del difetto.

Altri vantaggi sono la scarsa influenza di eventuali elementi non strutturali (corpi illuminanti, cavi), delle condizioni di vincolo alle estremità (ammorsamento nella muratura o bloccaggio con cunei) e dello stato tensionale della catena. Considerata la difficile accessibilità degli elementi, vi è poi il notevole vantaggio operativo di poter scansire un'intera catena eseguendo una sola misura in un punto centrale della stessa.

La sensibilità del metodo è stata studiata inizialmente mediante simulazioni ad elementi finiti, che hanno permesso di determinare le caratteristiche del pacchetto d'onda più adeguate per eccitare l'elemento analizzato. Si è proceduto successivamente con la stima della dimensione minima di cricca individuabile (dell'ordine del 15% della sezione) e della frequenza ottimale di eccitazione (circa 30 kHz).



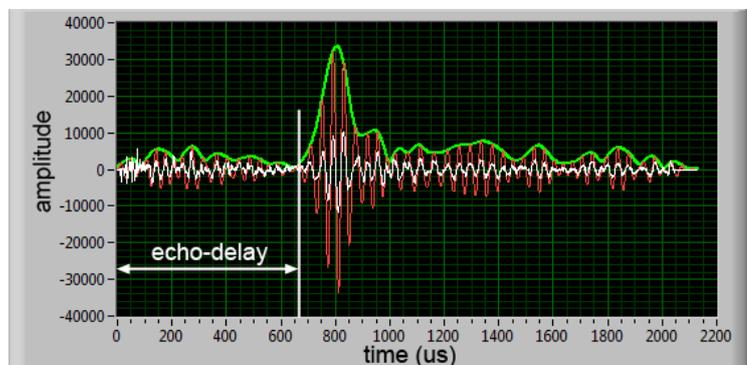
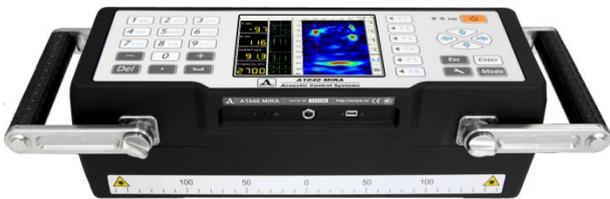
Analisi numerica delle fasi di propagazione dell'onda di Lamb all'interno del modello caratterizzato dalla presenza di una discontinuità nota

Per quanto riguarda l'applicazione sul campo, uno strumento di particolare interesse è il tomografo a ultrasuoni A1040 MIRA prodotto dalla Acoustic Control Systems di Mosca, recentemente acquistato dal Laboratorio Interdipartimentale PoliINDT del Politecnico di Milano. Nonostante lo strumento sia stato sviluppato per le indagini tomografiche su elementi in calcestruzzo armato, le sue caratteristiche tecniche lo rendono adatto anche per l'implementazione del metodo delle onde guidate su barre metalliche di grosso spessore. In particolare sono degni di nota:

- la generazione di impulsi di onde di taglio mediante una serie di 12 linee di sensori equispaziati, che possono fungere sia da emettitore che da ricevitore;
- la frequenza degli impulsi, regolabile tra 25 e 85 kHz;
- l'applicazione a secco dei sensori, mediante la semplice pressione dello strumento;
- il breve tempo necessario per ogni misura, dell'ordine di 5 secondi;
- la possibilità di trasferire su PC le onde acquisite, per la successiva elaborazione.

L'ultimo aspetto rende possibile adattare lo strumento alla particolare applicazione qui discussa. A tal fine è stato sviluppato un apposito software che consente di rifasare e combinare gli impulsi generati dai singoli sensori e di riconoscere eventuali treni d'onda riflessi dai difetti. Dal momento che il ritardo con cui vengono ricevuti questi segnali permette di identificare la loro posizione sulla catena, diventa facile riconoscere le false indicazioni provenienti dalle estremità dell'elemento. Inoltre, è possibile combinare i segnali in modo da analizzare selettivamente la risposta della catena nei due segmenti alla destra e alla sinistra dello strumento.

Le prime verifiche in laboratorio hanno confermato la possibilità di riconoscere un difetto importante, precedentemente non identificato dall'analisi dinamica in opera.



Tomografo a ultrasuoni per indagini su elementi in calcestruzzo e sua applicazione a una catena del Duomo di Milano, con identificazione di un difetto posto a 1 m dallo strumento (~660 μ s)