



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Processing innovativo per la localizzazione delle sorgenti di Emissioni Acustiche

L. De Marchi, N. Testoni, M.M. Malatesta, G.
Augugliaro

SAFAP 2018

28 Nov – 29 Nov, 2018

Outline

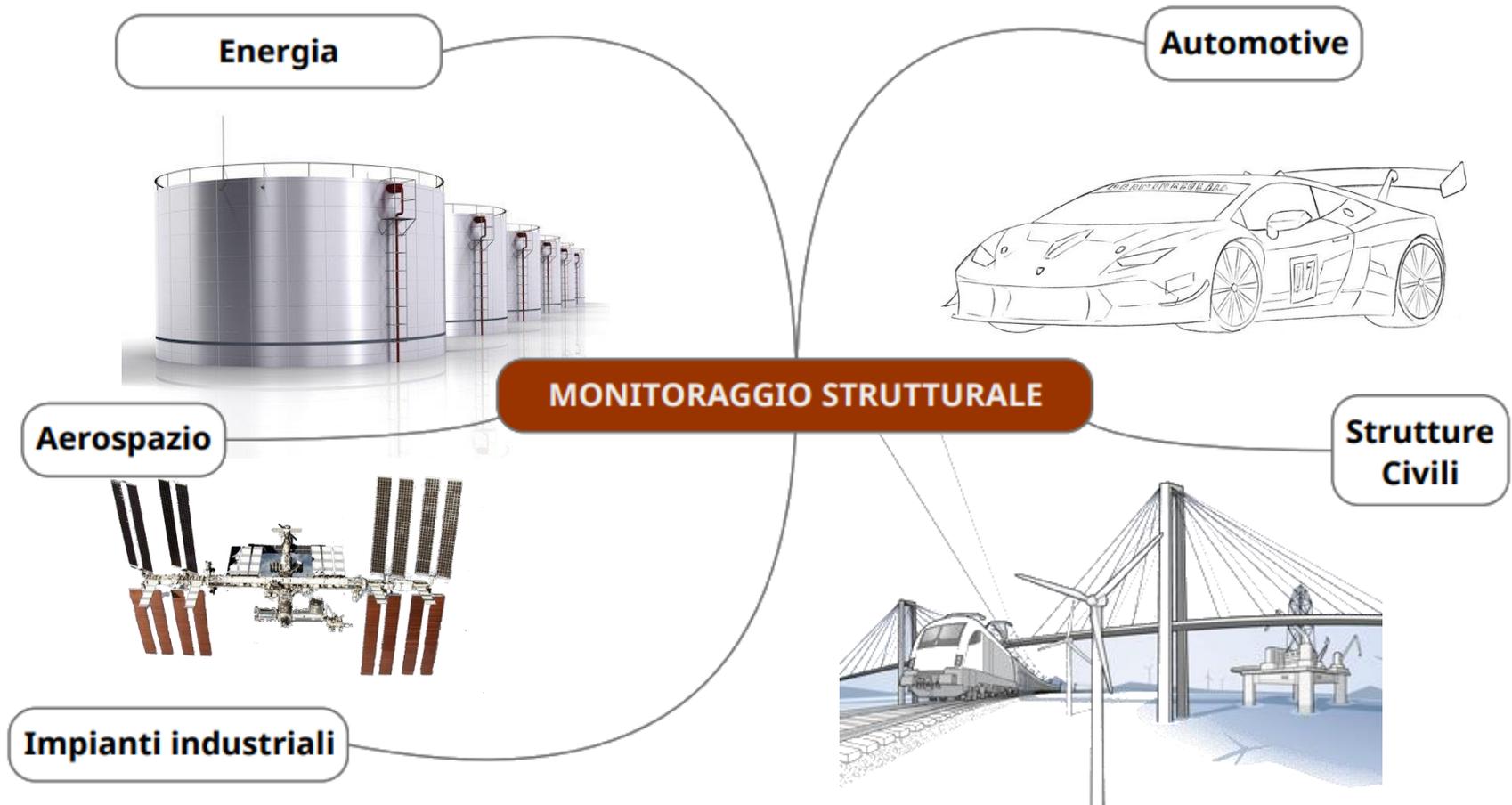
1

- Monitoraggio strutturale & Acoustic Emission
- Obiettivi
- Processing innovativo : Warping
- Validazione sperimentale
 - Setup#1 – Setup#2
 - Setup#3 – Setup#4
- Conclusioni

- Monitoraggio strutturale & Acoustic Emission
- Obiettivi
- Processing innovativo : Warping
- Validazione sperimentale
 - Setup#1 – Setup#2
 - Setup#3 – Setup#4
- Conclusioni

Monitoraggio Strutturale

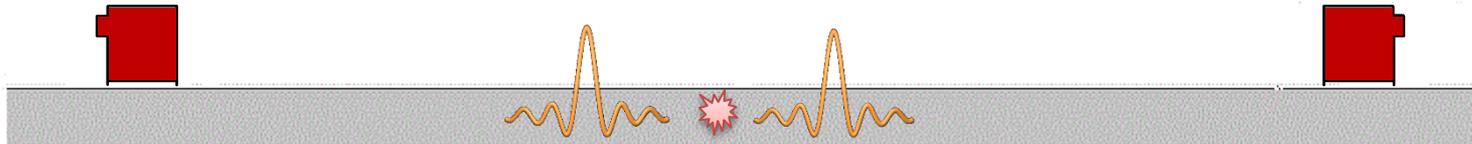
3



Emissioni Acustiche

4

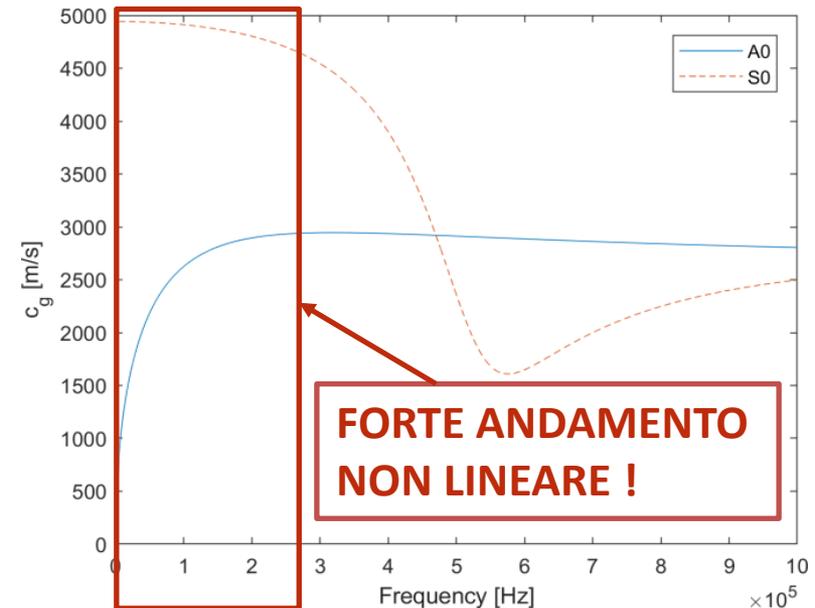
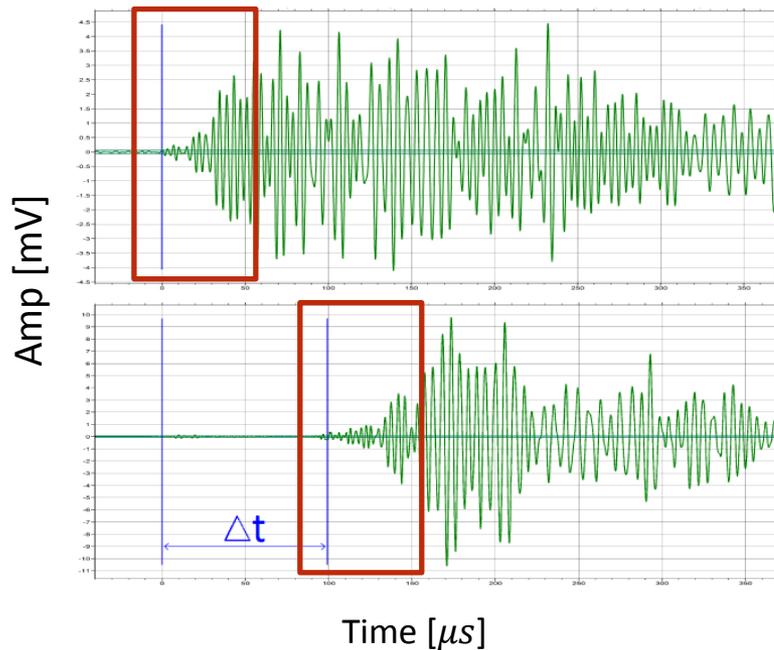
Le Emissioni Acustiche (EA) sono stress waves, nel range generalmente definito tra i 20 kHz e 1 MHz, prodotte da discontinuità interne ai materiali sottoposti a sollecitazione, che generano quindi un rapido rilascio di energia.



Materiale dispersivo

5

In un materiale dispersivo le onde meccaniche che ivi si propagano possiedono una velocità di propagazione che varia con la frequenza. Ciò determina una radicale trasformazione del profilo dell'onda nel corso della sua propagazione.



Algoritmi di localizzazione

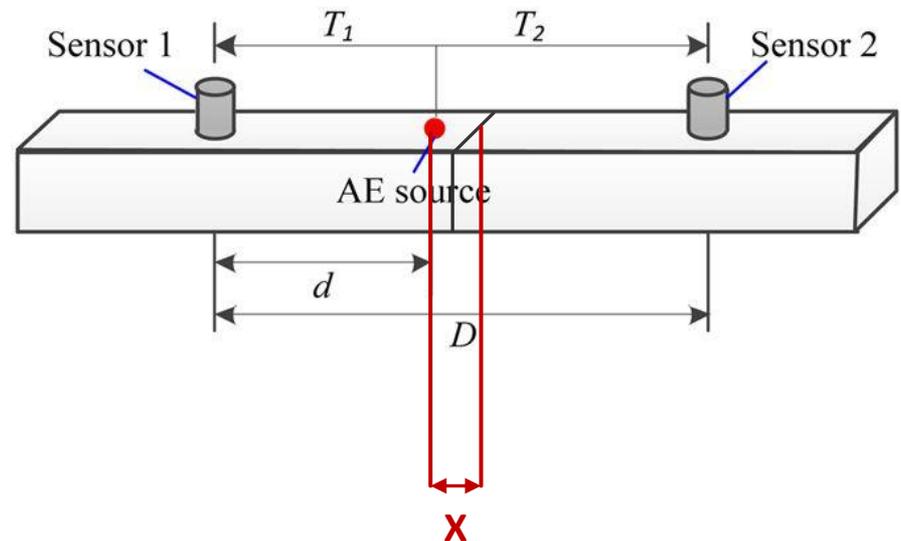
6

- **Linear rod**

La propagazione dell'onda acustica viene modellata in un dominio unidimensionale isotropo ed indisturbato.

$$X = \Delta t * v$$

Δt : differenza tempi di arrivo
 v : velocità di propagazione



- Monitoraggio strutturale & Acoustic Emission
- **Obiettivi**
- Processing innovativo : Warping
- Validazione sperimentale
 - Setup#1 – Setup#2
 - Setup#3 – Setup#4
- Conclusioni

ALGORITMI GEOMETRICI		
PRO	CONTRO	
LEGGEREZZA COMPUTAZIONALE	IPOTESI ISOTROPIA MATERIALE	INDIPENDENZA DALLE CARATTERISTICHE DEL MATERIALE
PRECISIONI SODDISFACENTI IN CERTI SETUP SPERIMENTALI	VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE COSTANTE	INDIPENDENZA DALLA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE
	FORTE SENSIBILITÀ A NON IDEALITÀ	SCARSA SENSIBILITÀ ALLE NON IDEALITÀ
	NON CONSIDERA LA MULTIMODALITÀ DELLE ONDE GUIDATE	MODELLO IL PIÙ POSSIBILE COMPLETO

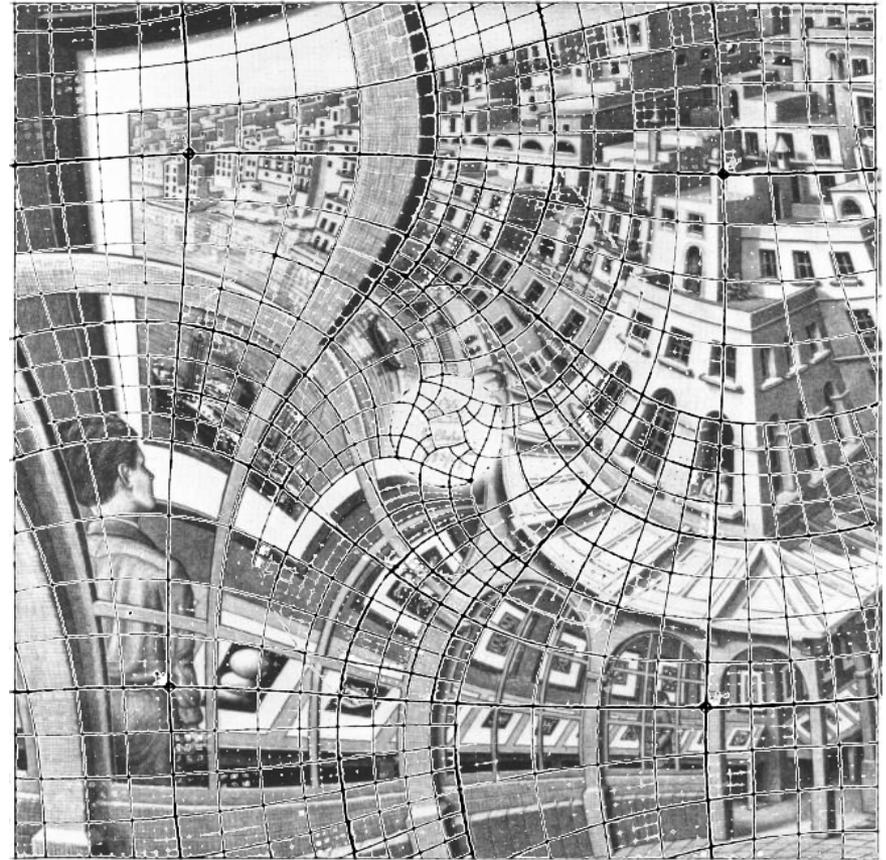
- Monitoraggio strutturale & Acoustic Emission
- Obiettivi
- Processing innovativo : Warping
- Validazione sperimentale
 - Setup#1 – Setup#2
 - Setup#3 – Setup#4
- Conclusioni

Warping Transform

Per Trasformata Warping si intende una deformazione del dominio di partenza mediante una warping map.

La Trasformata Warping:

- Non aggiunge informazione
- Accresce o diminuisce il peso specifico delle caratteristiche di partenza
- Può essere utilizzata per compensare andamenti non desiderati



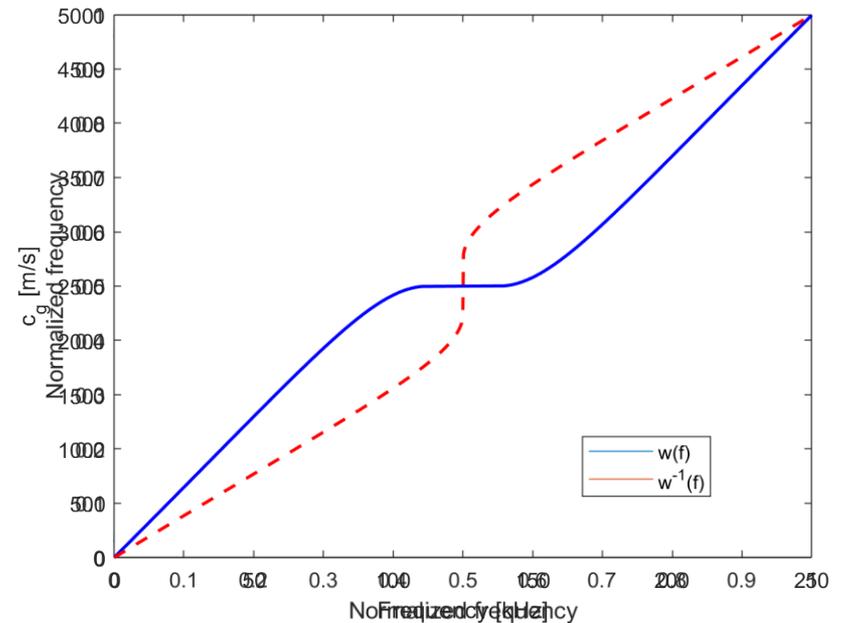
Litografia di Escher, 'Print Gallery' (1956)

Curva di dispersione – Warping map

11

La figura a lato presenta le curve di dispersione in termini di velocità di gruppo per le onde di Lamb che si propagano in una barra di alluminio di 2 mm di spessore, calcolate considerando i seguenti parametri meccanici del materiale:

- Modulo di Young $E = 69 \text{ GPa}$
- Coefficiente di Poisson $\nu = 0.33$
- Densità $\rho = 2700 \text{ kg m}^{-3}$

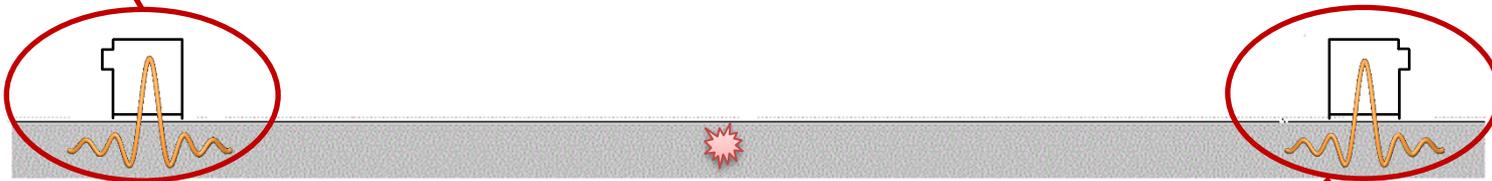


Emissioni acustiche e Warping

12

$$\mathbf{F}\{s_1(t, D_1)\} = S_1(f, D_1) = S_0(f, 0)e^{-j2\pi f t_1} e^{-j2\pi D_1 \int \frac{1}{c_g(f)} df}$$

$$\mathbf{FW}_W\{s(t, D_1)\} = \sqrt{w(f)} S_0(w(f), 0) e^{-j2\pi w(f) t_1} e^{-j2\pi f K D_1}$$



$$\mathbf{F}\{s_2(t, D_2)\} = S_2(f, D_2) = S_0(f, 0)e^{-j2\pi f t_1} e^{-j2\pi D_2 \int \frac{1}{c_g(f)} df}$$

$$\mathbf{FW}_W\{s(t, D_2)\} = \sqrt{w(f)} S_0(w(f), 0) e^{-j2\pi w(f) t_1} e^{-j2\pi f K D_2}$$

$w(f)$: funzione warping map
 t_1 : istante evento
 $D_{1,2}$: distanza sensore – evento
 K : costante di normalizzazione

$$\mathbf{FW}_W\{s(t, D_1)\} = \sqrt{w(f)S_0(w(f), 0)}e^{-j2\pi w(f)t_1}e^{-j2\pi fKD_1}$$

$$\mathbf{FW}_W\{s(t, D_2)\} = \sqrt{w(f)S_0(w(f), 0)}e^{-j2\pi w(f)t_1}e^{-j2\pi fKD_2}$$



I segnali risultanti sono traslati l'uno rispetto all'altro sull'asse delle ascisse



Cross-correlazione



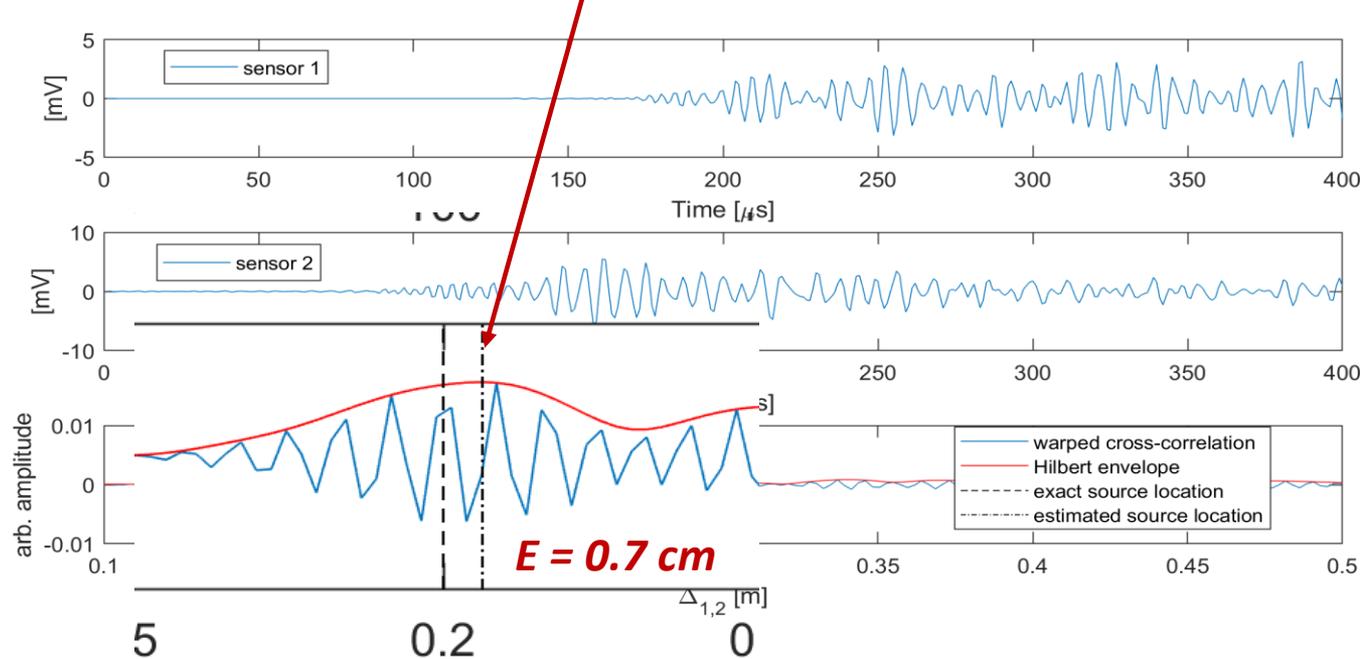
$$\mathbf{FW}_W\{s(t, D_1)\} \cdot (\mathbf{FW}_W)^*\{s(t, D_2)\} = w(f)|S_0(w(f), 0)|^2e^{-j2\pi fK(D_1-D_2)}$$

Stimatore $\Delta_{1,2}$

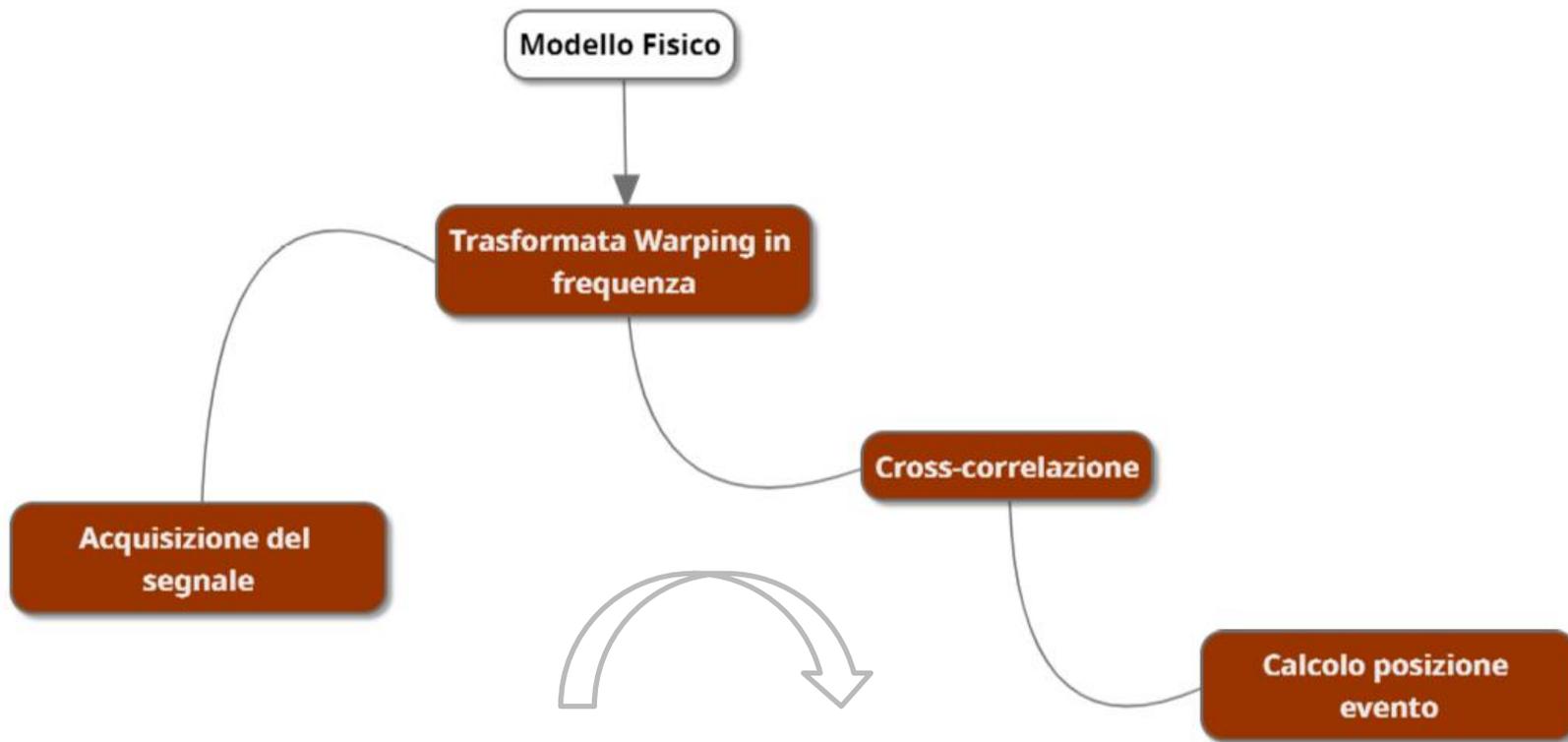
14

Tramite questo stimatore in un sistema monodimensionale è immediato calcolare la posizione della sorgente di EA:

$$\Delta_{1,2} = D_1 - D_2 = |x_1 - x_p| - |x_2 - x_p|$$



Algoritmo di localizzazione tramite WFT ¹⁵



- Monitoraggio strutturale & Acoustic Emission
- Obiettivi
- Processing innovativo : Warping
- Validazione sperimentale
 - Setup#1 – Setup#2
 - Setup#3 – Setup#4
- Conclusioni

Setup sperimentale

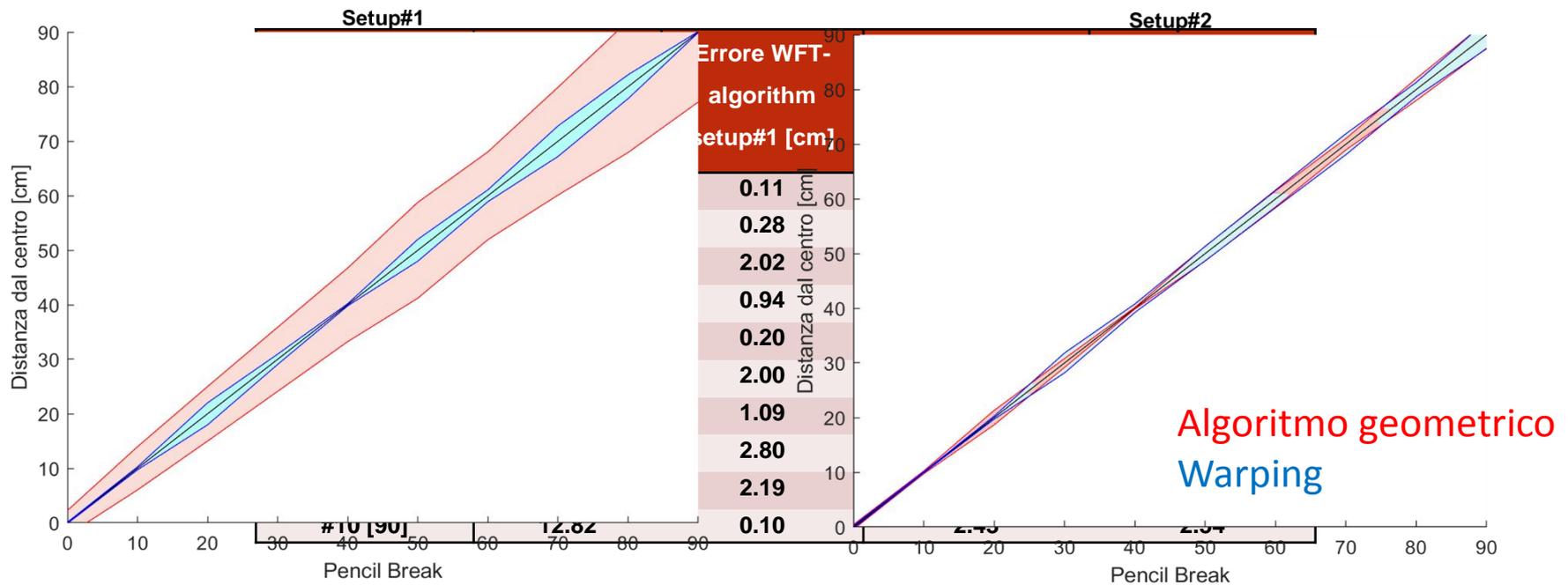
17

- Materiale under test: barra di alluminio 4x0.2x200cm
- Attrezzatura per AE : Sistema Commerciale
- Sensori commerciali risonanti a 150 kHz
- Stimolazione controllata: HSU-Nielson Test



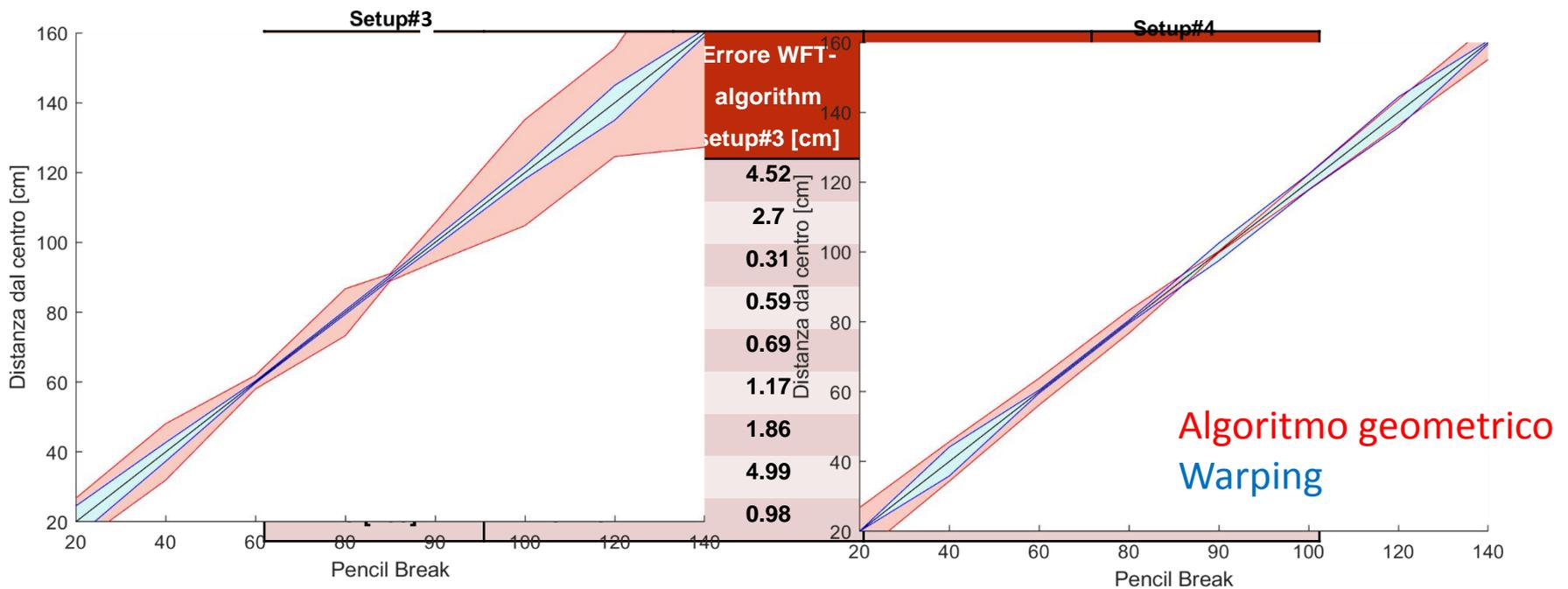
Setup #1 & #2

- Accoppiamento : Nastro adesivo (#1) / Gel di accoppiamento (#2)
- Posizione sensori : $\pm 98\text{cm}$ dal centro
- Esperimento : 10 Pencil Breaks (PB) dal centro del provino verso il bordo a 10 cm l'uno dall'altro



Setup #3 & #4

- Accoppiamento : Nastro adesivo (#3) / Gel di accoppiamento (#4)
- Posizione sensori : +5cm (S1) e +15cm (S2) dal bordo del provino
- Esperimento : 8 PB a partire da S1 verso S2 ogni 20cm e un PB al centro tra i sensori



- Monitoraggio strutturale & Acoustic Emission
- Obiettivi
- Processing innovativo : Warping
- Validazione sperimentale
 - Setup#1 – Setup#2
 - Setup#3 – Setup#4
- Conclusioni

Conclusioni

L'algoritmo di Warping proposto riesce a mantenere prestazioni ottimali in tutte le condizioni operative proposte, anche in condizioni di non perfetto accoppiamento del sensore alla struttura.

	Errore medio AMSY-5	Errore medio WFT
Setup#1 (nastro adesivo)	7.55 cm	1.17 cm
Setup#2 (coupling gel)	1.12 cm	1.19 cm
Variazione errore	-85%	+1.7%

	Errore medio AMSY-5	Errore medio WFT
Setup#3 (nastro adesivo)	10.38 cm	1.98 cm
Setup#4 (coupling gel)	3.59 cm	1.79 cm
Variazione errore	-65%	-9.6%

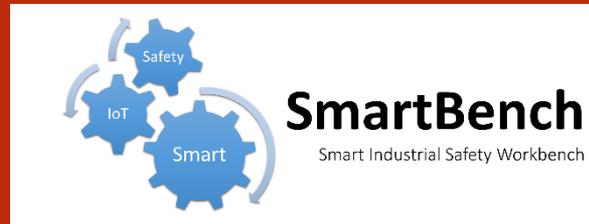
ALGORITMI GEOMETRICI vs WARPING		
	Alg. Geometrico	Warping
LEGGEREZZA COMPUTAZIONALE	✓	✓
PRECISIONI SODDISFACENTI IN CONDIZIONI DI CASO PEGGIORE	✗	✓
ISOTROPIA MATERIALE NON NECESSARIA	✗	✓
SENSIBILITÀ RIDOTTA ALLE NON IDEALITÀ	✗	✓
VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE NON NECESSARIA	✗	✓
CONSIDERA LA MULTIMODALITÀ DELLE ONDE GUIDATE	✗	✓



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

michelange.malatest2@unibo.it

INAIL



www.unibo.it