

DIGIMAN

Soluzioni per la DIGitalizzazione delle aziende nel Settore MANifatturiero

SVILUPPO DI UN SENSORE PER LA MISURA DELLE FORZE DI TAGLIO IN TORNITURA

Carlo Baldisserri, Istec-CNR (Faenza)



Principali Attività del Gruppo Materiali Piezoceramici

Sintesi e caratterizzazione di materiali piezoceramici (~30 anni)

Progettazione, produzione e caratterizzazione di dispositivi basati su materiali piezoceramici

Unità di Personale Coinvolte nel Progetto DIGIMAN

Dr. Carmen Galassi

Leader del Gruppo Piezoceramici Istec-CNR per circa 30 anni, ora Associata Istec-CNR e POLIMI, coordinamento e *counselling*;

Claudio Capiani

Tecnico Ceramista, circa 30 anni di esperienza nella sintesi di materiali piezoceramici

Dr. Elisa Mercadelli

Leader, Gruppo Piezoceramici Istec-CNR dal 2019

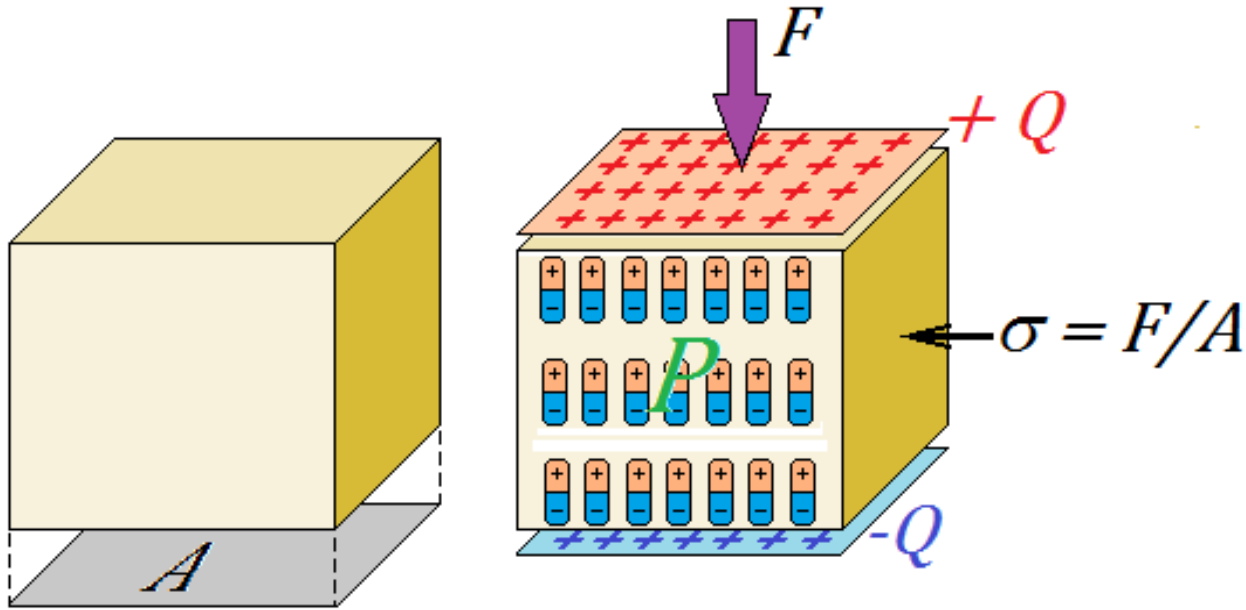
Dr. Manuela Russo

ADR, sintesi e caratterizzazione di materiali piezoceramici standard (PZT) e alternativi senza piombo (BCTZ, titanato-zirconato di Ba e Ca)

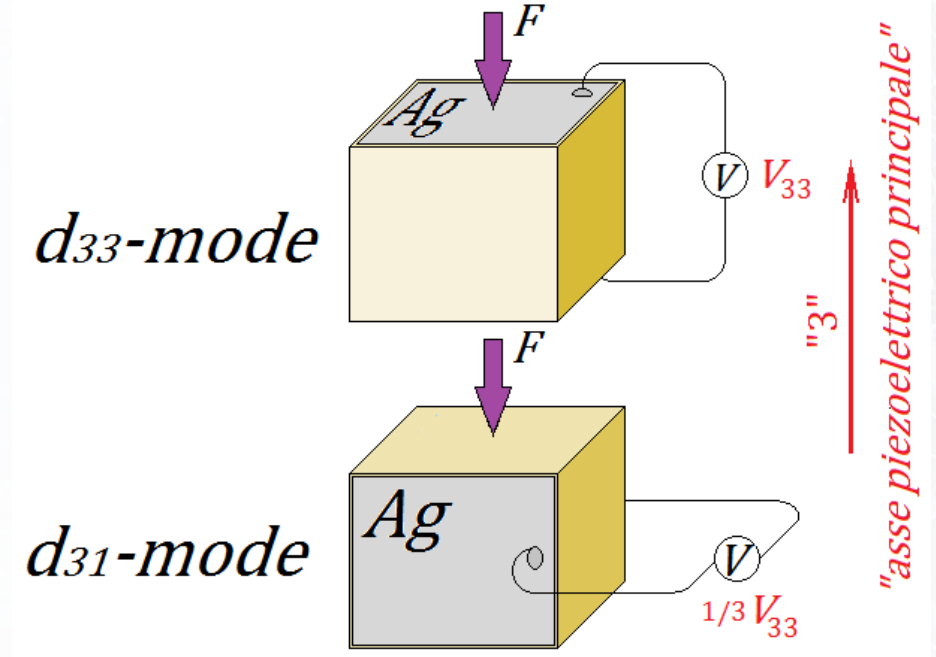
Dott.ssa Laura Cangini

ADR (sintesi e caratterizzazione di materiali piezoceramici standard (PZT) e alternativi senza piombo (KNN, niobato di sodio e potassio) (ora a TU Darmstadt)

1. Principi di Base – Materiali Piezoelettrici



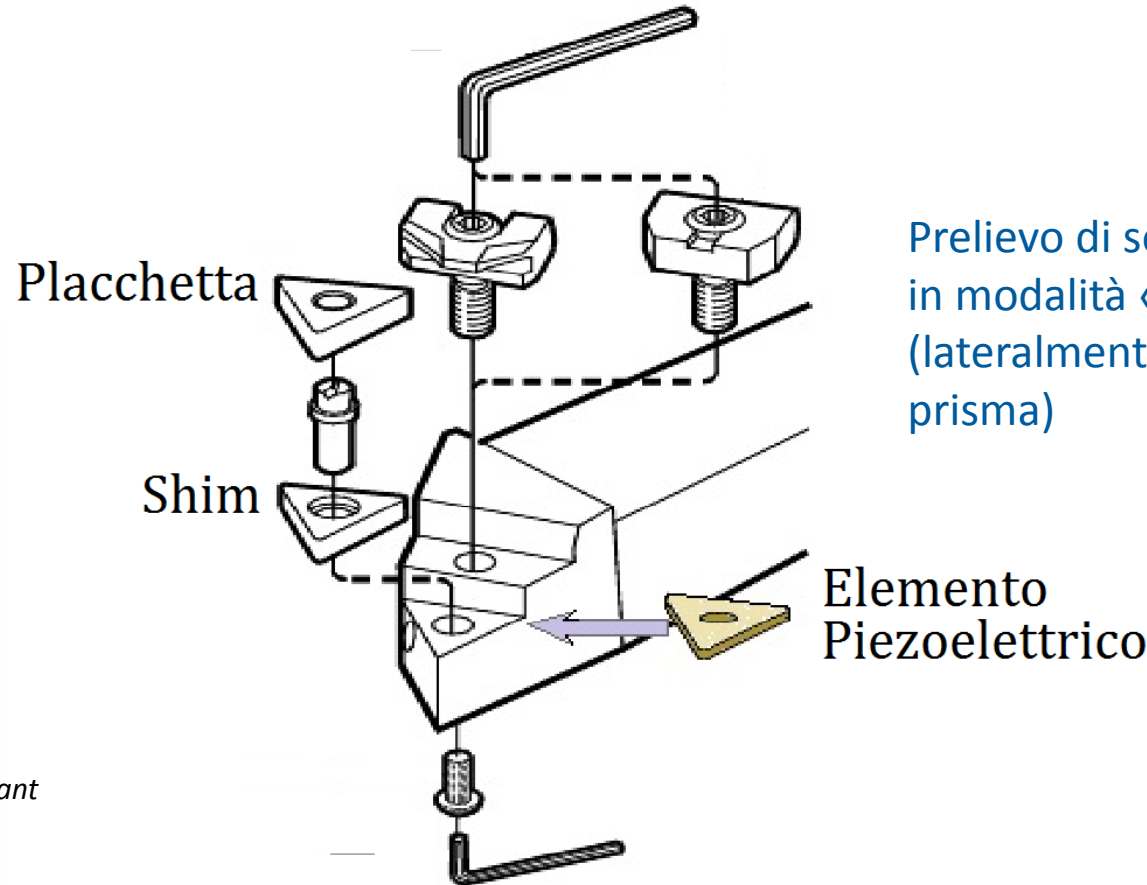
1.1 Polarizzazione (P) \propto Stress (σ)



1.2 Modalità di prelievo del segnale

V_{33} 0.1-50 V

2. Compatibilità Geometrica dei Sensori con Portautensili Standard



Credits: Sandvik-Coromant

Materiali Piezoceramici
PZT – Lead Zirconate Titanate

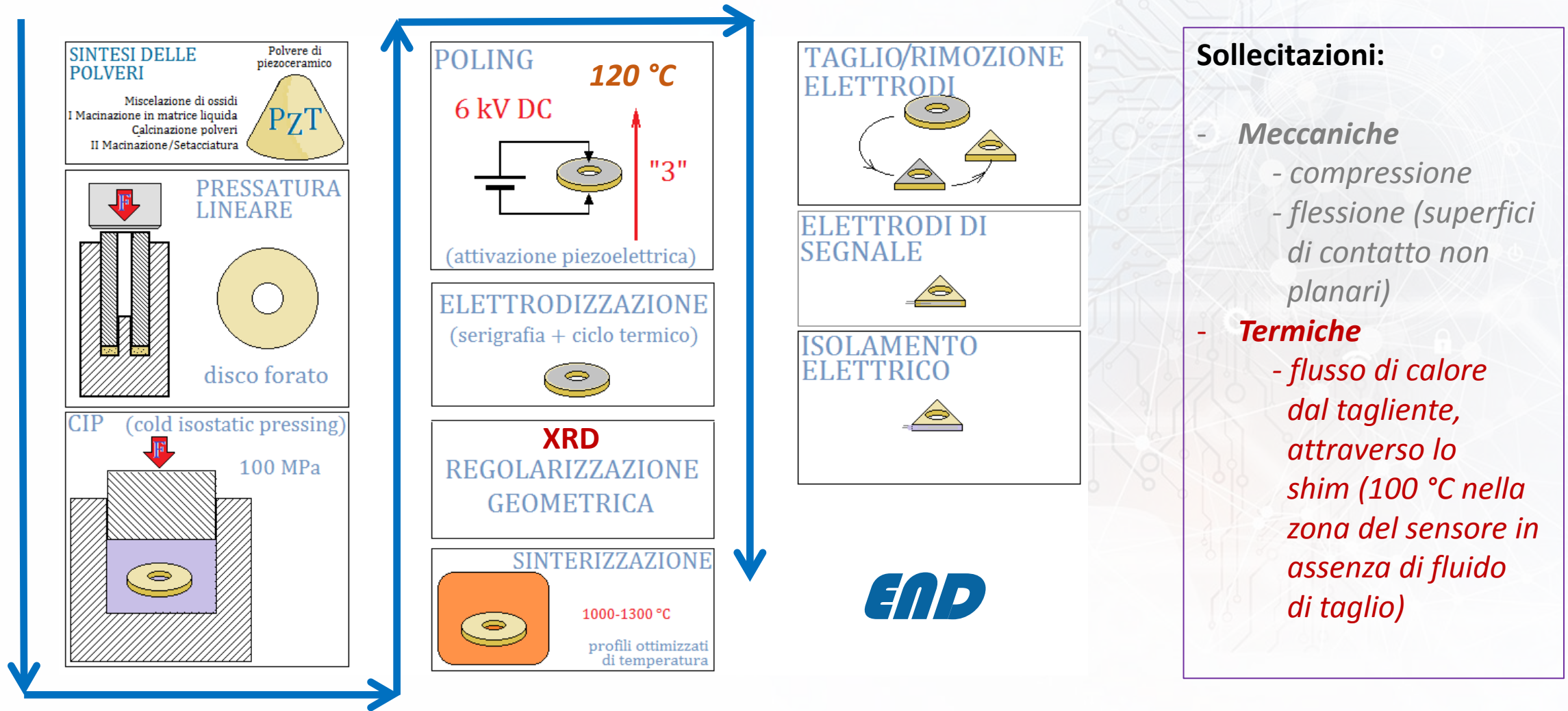
Elevata resistenza a compressione

Elevato rapporto tensione in uscita /forza sollecitante

Modesta resistenza a flessione/trazione

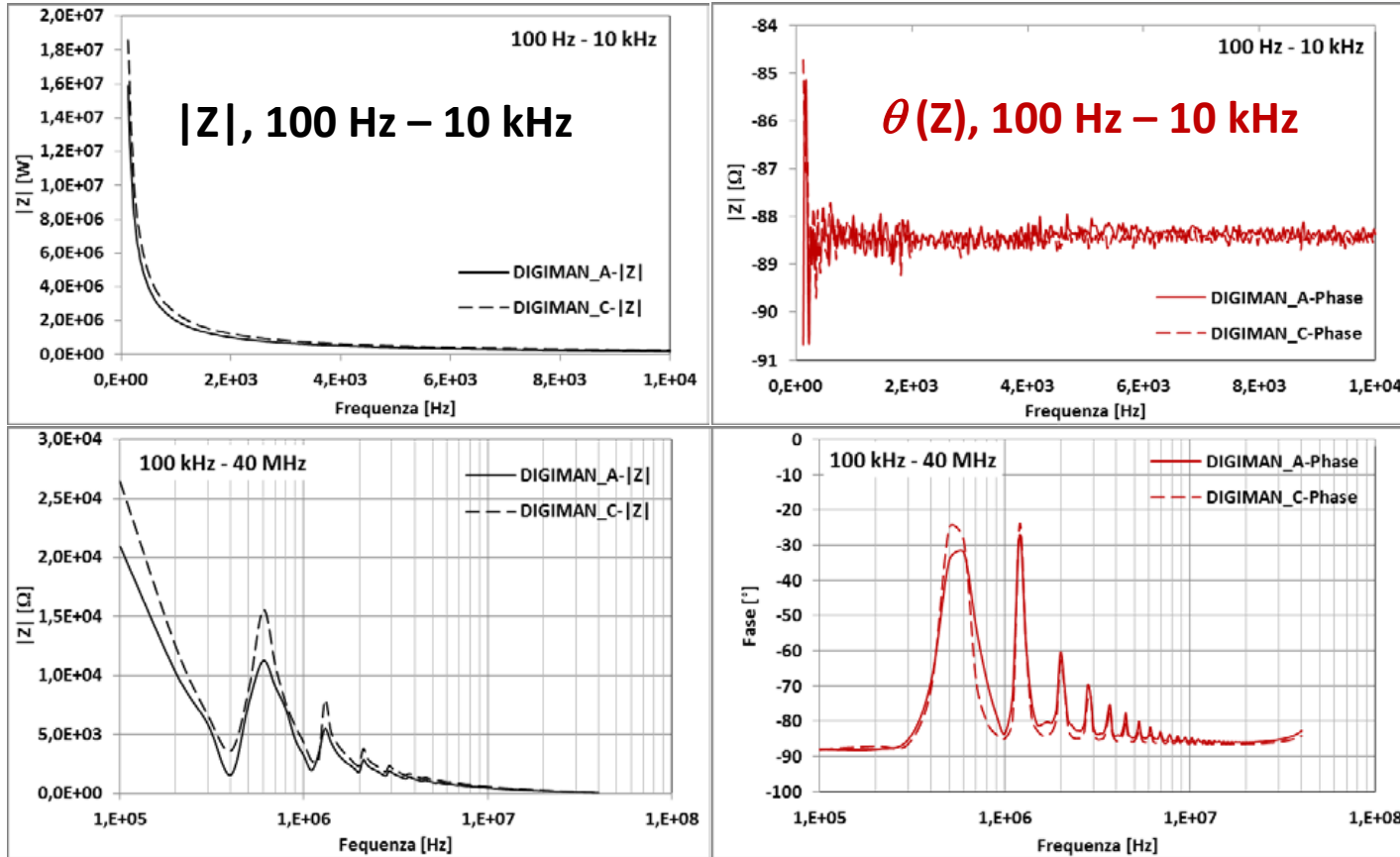
Lavorazione meccanica impegnativa

3. Elemento piezoceramico: ciclo di produzione da disco forato



- Sollecitazioni:**
- **Meccaniche**
 - compressione
 - flessione (superfici di contatto non planari)
 - **Termiche**
 - flusso di calore dal tagliente, attraverso lo shim (100 °C nella zona del sensore in assenza di fluido di taglio)

4. Caratterizzazioni Funzionali di Materiali e Sensori



Sensori piani sotto-shim: analisi di risposta in frequenza

1) Analisi di Risposta in Frequenza Dischi forati, post-polarizzazione (modalità 33) costanti meccaniche, dielettriche e piezoelettriche del materiale

2) Sensori completi (post-taglio, tra i terminali di segnale)

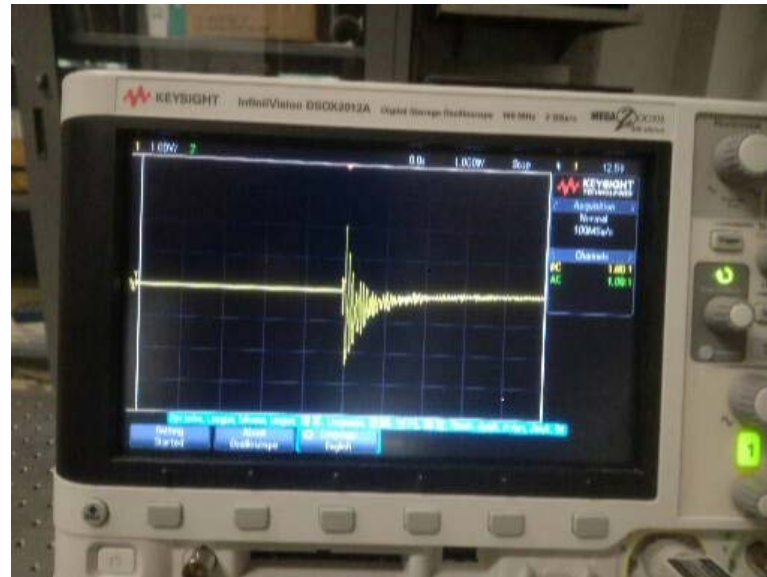
A) banda di frequenza libera da risonanze piezoelettriche (da DC a ~50 kHz). Le risonanze piezoelettriche interferiscono con la figura di trasduzione del sensore. La banda utile è da DC fino all'intorno della prima frequenza di risonanza).

B) riproducibilità della prestazione di trasduzione sulla banda libera

5. Sensori Piani Sotto-Shim



Picchi di segnale « d_{31} » dell'ordine di qualche V, a seguito di sollecitazioni impulsive (urti) aventi energia dell'ordine di qualche mJ

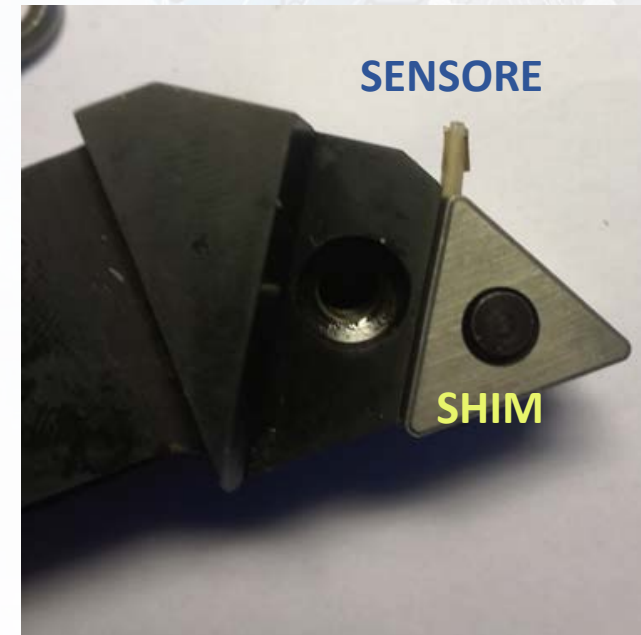


Montaggio diretto sotto lo shim

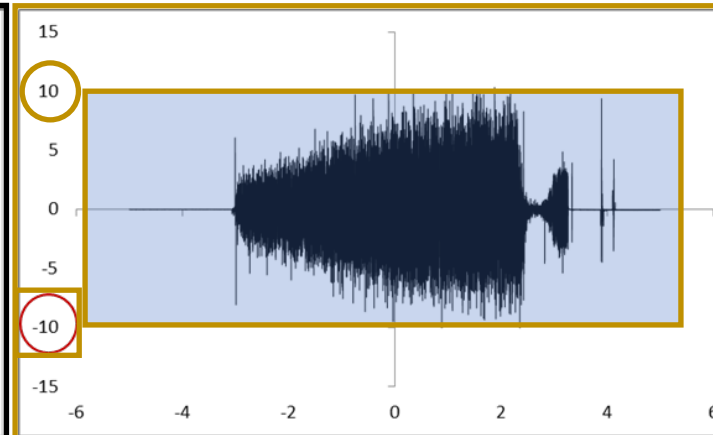
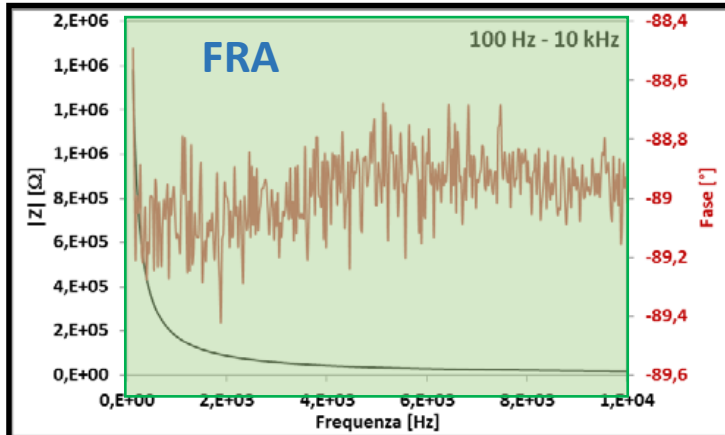
Modalità d_{31} /semplice costruzione, **richiede superfici di accoppiamento piane per evitare rotture a flessione**

6. Isolamento Elettrico e Protezione Termica di Sensori Piani

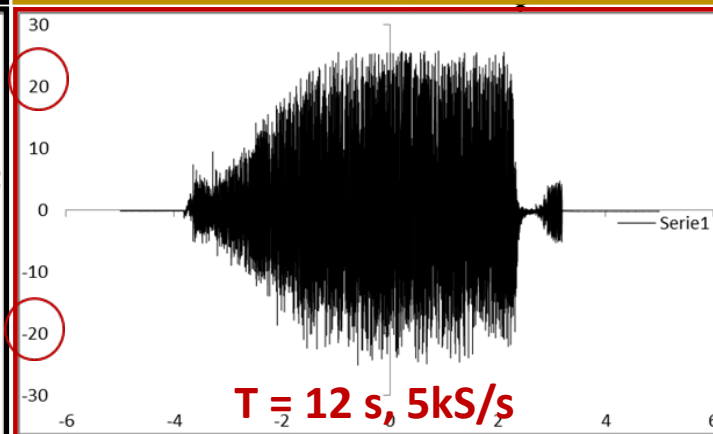
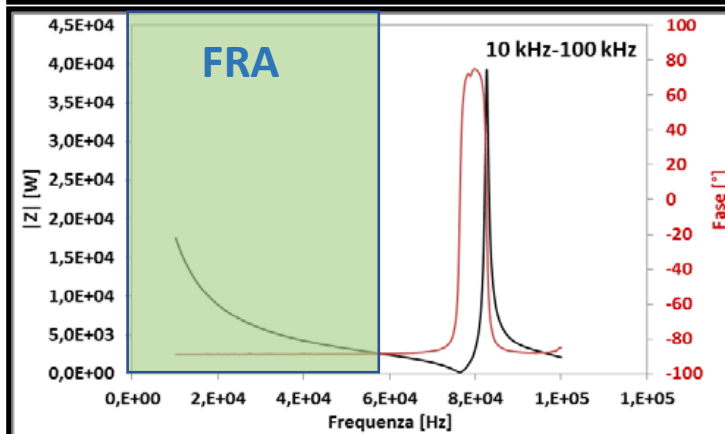
Con **resina epossidica**, in stampo di Teflon. Evita lo **shorting del segnale elettrico** sotto flusso di fluido di taglio. Il flusso di fluido di taglio evita il riscaldamento eccessivo del piezoceramico, il quale ne annullerebbe la piezoelettricità causa **depoling termico**. La pianta del sensore coincide esattamente con quella dello *shim* per evitare l'interferenza con il pezzo in lavorazione. L'isolamento perimetrale comporta una leggera **riduzione della pianta dell'elemento piezoceramico** (leggera diminuzione della resistenza del sensore agli sforzi di compressione)



7. FRA E SEGNALE ELETTRICO «d₃₁» CAMPIONATO SU SENSORI PIANI SOTTO-SHIM SU MACCHINA UTENSILE



Spessore: $t \cong 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$
 Output: $10 \text{ V} \leq V \leq 25 \text{ V}$
 Costante di tensione: $g_{31} \cong 8 \times 10^{-3} \text{ V m N}^{-1}$ *



Stima della forza F sul sensore:

$$\sigma = \frac{V}{t \cdot g_{33}} \quad \frac{V}{\text{m} \cdot \text{VmN}^{-1}} = \text{Pa}$$

$$\frac{10}{2 \times 10^{-3} \cdot 8 \times 10^{-3}} \leq \sigma \leq \frac{25}{2 \times 10^{-3} \cdot 8 \times 10^{-3}}$$

$$6.25 \times 10^5 \text{ Pa} \leq \sigma \leq 1.56 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$A \cong 1.6 \text{ cm}^2 = 1.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F \approx 12 - 25 \text{ kgf}$$

FRA - Banda Utile: DC → ~ 60 kHz

Campionamenti su macchina utensile

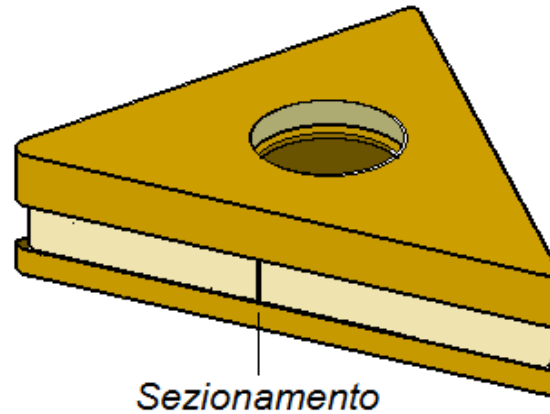
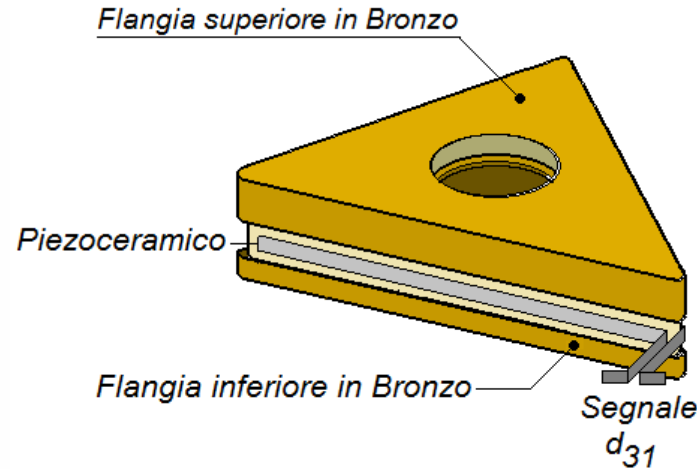
*: noto dalla caratterizzazione del materiale

8. Sensori Sandwich Metallo/Piezoceramico/Metallo_1



Esempio di rottura di sensore sotto-*shim* a (sotto condizioni di carico gravose e continue)

«**SENSORI RINFORZATI**»



- Geometricamente identico allo *shim*
- Funzionalità identica al sensore piano
- Interfacce metallo/piezoceramico incollate (**epossidica**) o brasate (**lega Sn/Pb su Ag**)
- Distribuzione degli sforzi più uniforme
- Introduce una **filtrazione passa-basso** del segnale

Geometricamente identico allo *shim*

Il sezionamento dell'elemento piezoceramico riduce i momenti flettenti, ai quali il materiale piezoceramico è sensibile. Prelievo di segnali multipli possibile (**cross-talking**)

9. Costruzione e Caratterizzazione Sensori Sandwich



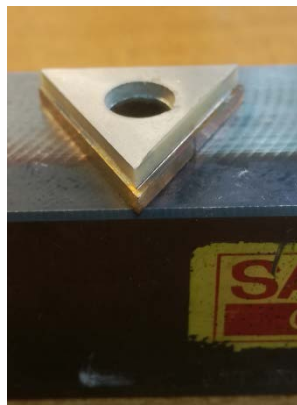
Centatura su shim come template



Flange e disco piezoceramico



Shim ed elementi tagliati a misura



Brasatura Sn/Pb su piastra



Piezoceramico sezionato in situ

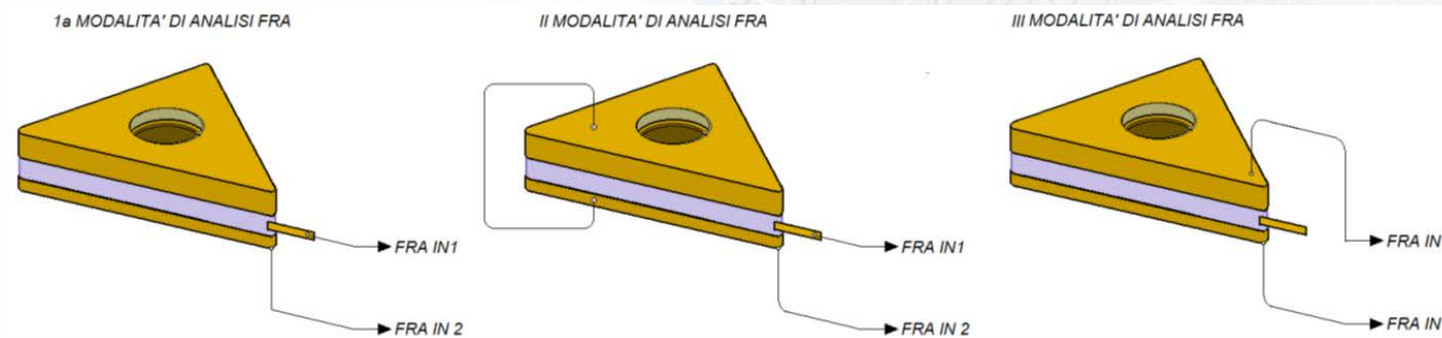


Corpo sensore completo

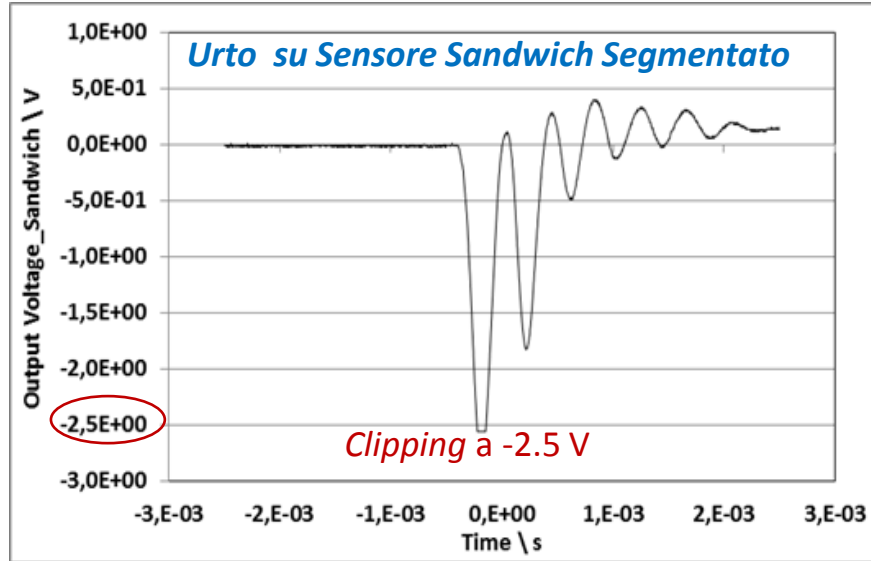


Sensore sandwich in portainserto

FRA eseguita secondo diverse modalità, inclusa (II) la configurazione a flange cortocircuitate (configurazione elettrica di lavoro in quanto il serraggio comporta la cortocircuitazione delle due flange alla massa elettrica della macchina utensile)



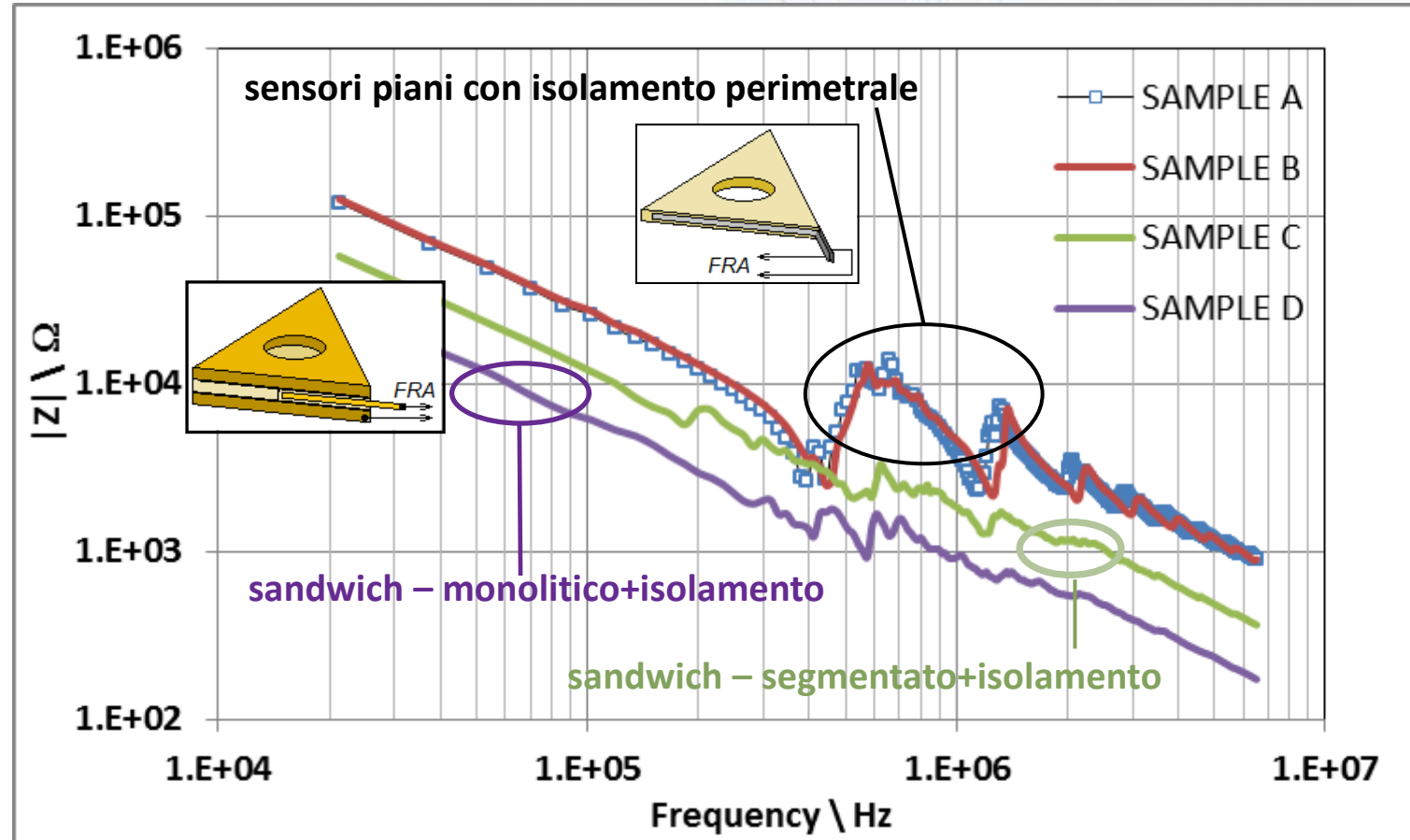
10. SENSORI PLANARI/SANDWICH – CONFRONTO (10 kHz -10 MHz)



Emissione di segnale dell'ordine del V anche con flange cortocircuitate

Banda utile fino a 100 kHz

Variazioni delle curve d'impedenza correlate all'architettura



11. RISULTATI CONSEGUITI

1) Fattibilità di Sensori Piezoelettrici Sottoplacchetta per Tornitura

- *processi di lavorazione semplici*, utilizzanti materiali di basso costo, facilmente scalabili a produzione in serie
- *possibilità di ottenere un elevato rapporto segnale-rumore*, vantaggioso in ambienti caratterizzati dalla presenza di elevato **rumore EM**, quali quelli in cui operano macchine utensili;
- *segnali in uscita dell'ordine di parecchi volt* in output a sensori inerentemente passivi;
- *integrazione additiva o sostitutiva* dei sensori in portautensili standard per tornitura;
- *evidente correlazione* tra il segnale in uscita e le varie fasi (attacco, passata, stacco)
- *tre architetture differenti caratterizzate e testate*, tutte caratterizzate da emissione di segnale di intensità utile.

13. PROBLEMATICHE RESIDUE_1

1. Riproducibilità delle Prestazioni di Trasduzione del Sensore

Dipende dal grado di riproducibilità di tutte le componenti del sensore:

- costanza delle caratteristiche meccaniche, dielettriche e piezoelettriche intrinseche del materiale. Per il **titanato zirconato di piombo (PZT)** le variazioni di queste proprietà sono dell'ordine di qualche % tra i vari batch;

2. Variazione delle Prestazioni in Funzione delle Condizioni di Lavoro

- riscontrate lievi variazioni delle curve di FRA di sensori sottoposti di proposito a condizioni di lavoro molto gravose (passate profonde e/o elevate velocità di alimentazione)

3. Presenza di Piombo in Sensori Basati su PZT e Possibili Alternative

- la **tossicità del Pb** motiva i legislatori ad escluderlo il più possibile dai prodotti commerciali. Tuttavia, nonostante decenni di ricerca, **non è ancora stata trovata una valida alternativa al PZT** a causa della difficoltà di riprodurre le eccellenti caratteristiche meccaniche e piezoelettriche (la legislazione è **costretta** a fare eccezione per il Pb nei materiali piezoelettrici)

14. PROBLEMATICHE RESIDUE_2

Utilizzo del Segnale

Oltre alla semplice funzione di trasduzione tra le forze sviluppatasi durante il taglio e le tensioni in uscita al sensore il segnale contiene probabilmente informazioni aggiuntive, utili per la caratterizzazione del processo di taglio.

L'analisi (ad esempio FFT) in tempo reale del segnale in uscita, o di segmenti dello stesso, potrebbe ad esempio fornire informazioni in tempo reale sullo stato di usura del tagliente (osservabile ad esempio come deriva in frequenza di componenti spettrali del segnale).

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



DIGIMAN

 **POR FESR
EMILIA-ROMAGNA
2014/2020**

FSC Fondo per lo Sviluppo
e la Coesione


UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



www.digiman.tech

 **Regione Emilia-Romagna**

 **ART-ER**
ATTRATTIVITÀ
RICERCA
TERRITORIO