

**14° Congresso AIPnD**

26-28 Ottobre 2011

Firenze

 POLITECNICO DI MILANO



# **Esperimenti e Simulazioni Numeriche Ultrasonore per un'Efficace Derivazione delle Curve POD di Assili Ferroviari**

M. Carboni



La fatica è la causa **più importante** di cedimento degli assili ferroviari durante il **servizio**

In particolare, i siti di nucleazione, nelle sezioni più critiche, si osservano dove sono presenti **difetti** di produzione o di servizio (anche dovuti ad ambienti aggressivi)

L'approccio più adatto alla progettazione di assili ferroviari risulta, quindi, la **Damage Tolerance**: determinare l'intervallo di ispezione più opportuno data la curva di **Probability of Detection** (POD) curve del metodo PND adottato e viceversa

Materiale



Geometria



Integrità strutturale  
in servizio

Carichi



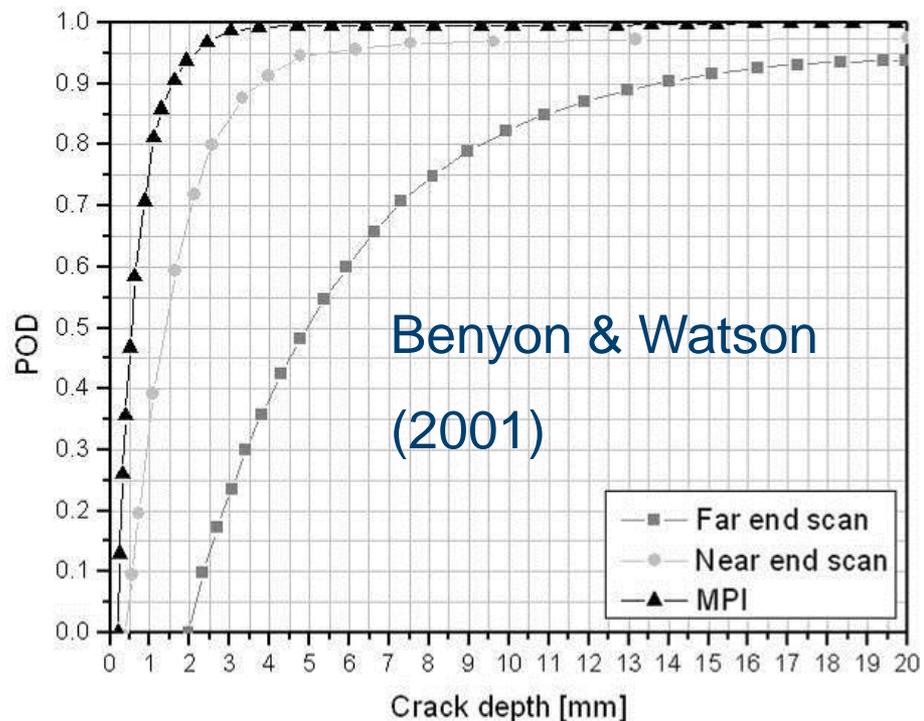
Performance delle PND





La performance delle PND viene quindi **quantificata** e **sintetizzata** nelle curve POD che legano la probabilità di individuare il difetto ad una sua dimensione caratteristica **lineare** (lunghezza, profondità, diametro, ...)

## Assili ferroviari



In realtà, una curva POD è **anche** funzione di molti altri fattori:

- materiale
- tempo di volo
- geometria
- strumentazione
- operatore (fattore umano)
- ...

Perciò, è **raramente** possibile utilizzare la curva POD ottenuta per una configurazione per altre anche se **simili**



Un altro aspetto **critico** delle curve POD è la necessità di caratterizzare statisticamente il difetto più **grande** che può essere **mancato** dall'ispezione e **non** il più piccolo che può essere individuato

Ne segue che le curve POD dovrebbero essere **sempre** accompagnate da un opportuno intervallo di **confidenza** (tipicamente 95%) che necessita di un gran numero di esperimenti per essere determinato

Nel presente lavoro, si considera il caso specifico dell'ispezione **ultrasonora** (UT) di assili ferroviari **cavi** prodotti in acciaio **A4T** allo scopo di:

- descrivere una metodologia **innovativa** di interpretazione delle risposte UT nell'ottica di **generalizzare**, almeno per alcuni aspetti, le curve POD
- investigare la possibilità di applicare agli assili la metodologia **Model-Assisted Probability of Detection** (MAPOD) dove, per diminuire i costi della sperimentazione, **parte** di quest'ultima viene **sostituita** con opportune simulazioni numeriche

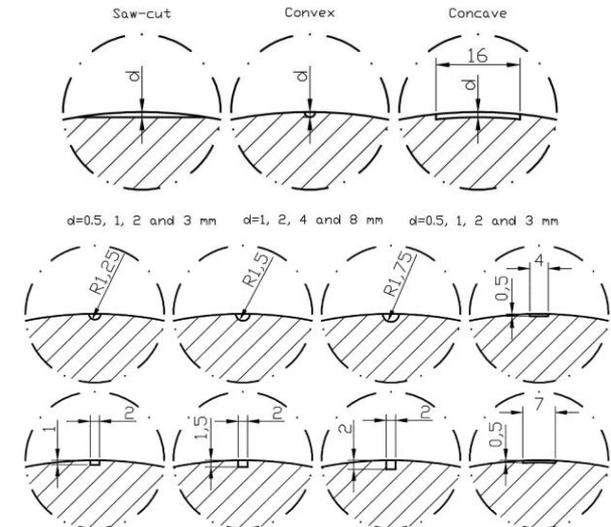


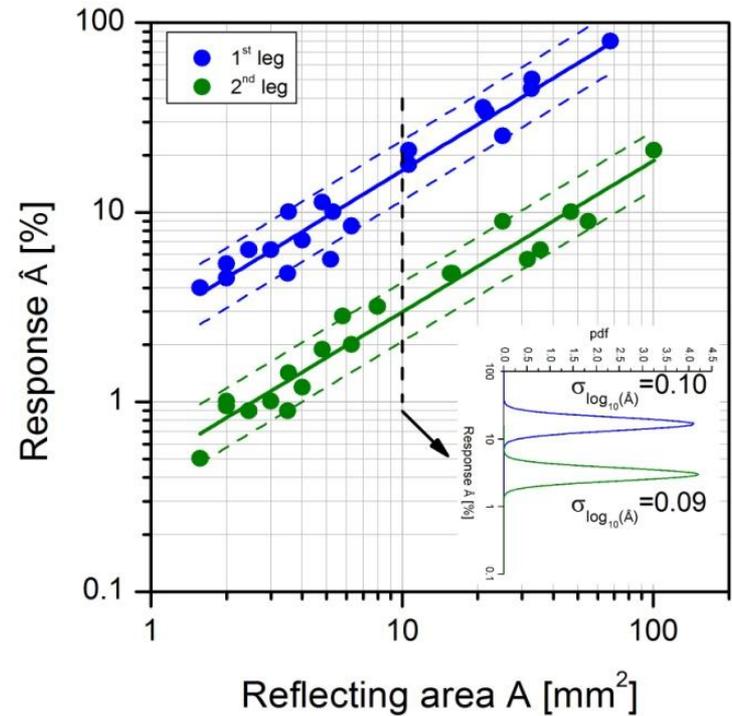
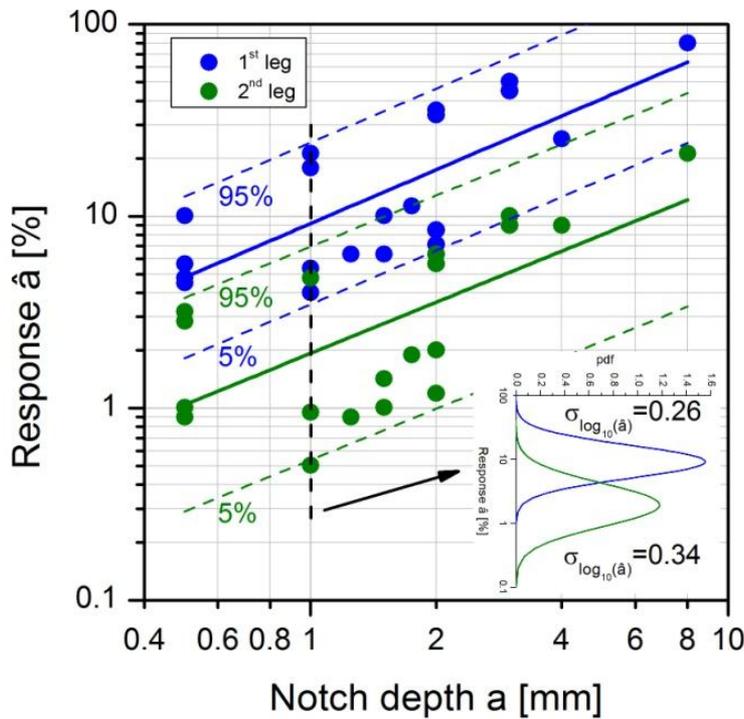
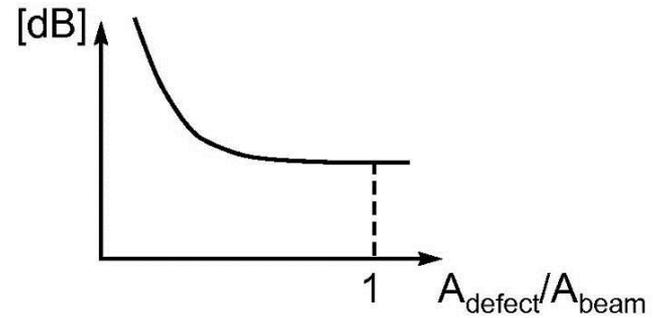
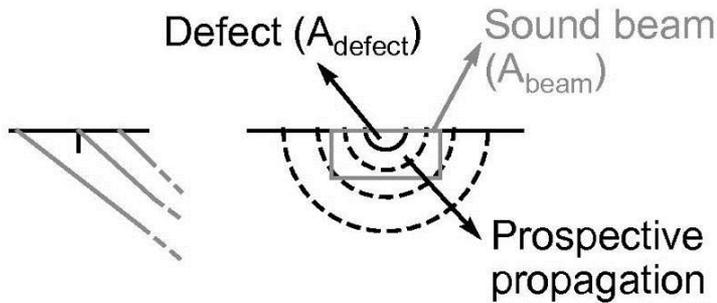
- Gilardoni RDG500
- Sonda: ATM 45/4, 8x9 mm
- Zoccolo in plexiglas ( $V_L=2700$  m/s and  $V_S=1100$  m/s)
- Accoppiamento: grasso
- Riferimento: 48 dB

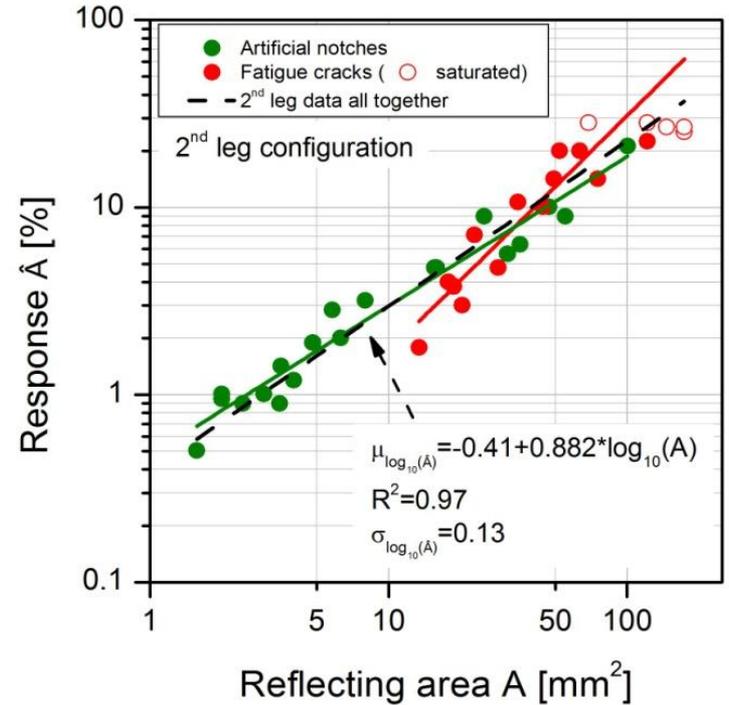
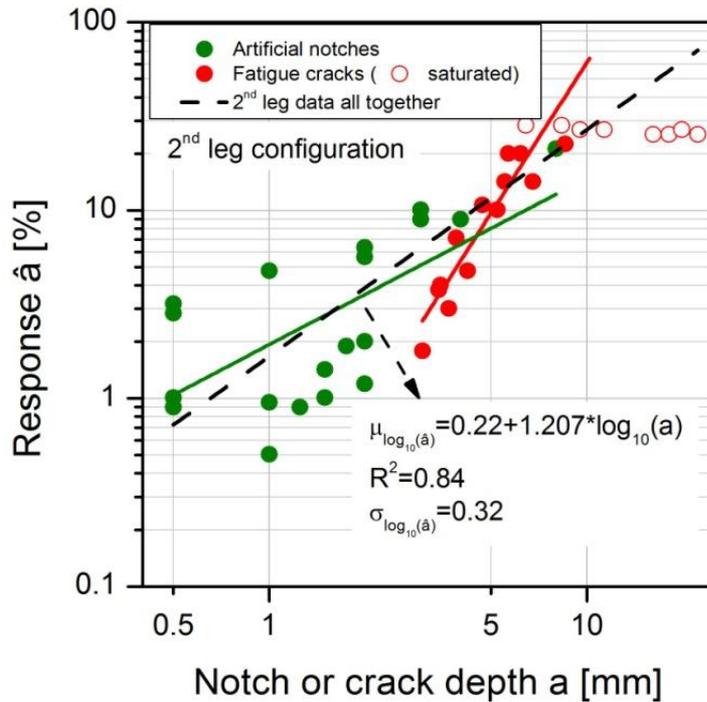
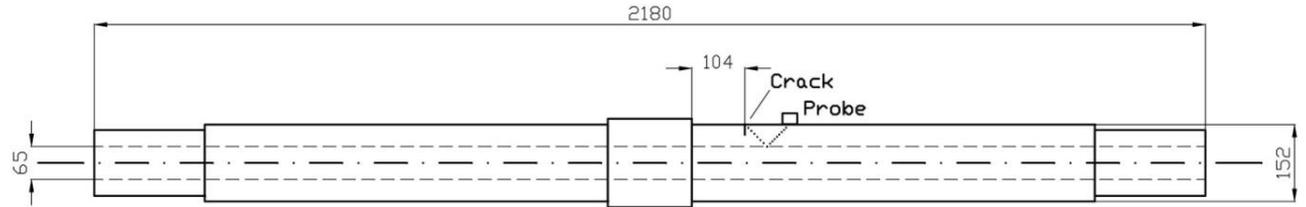
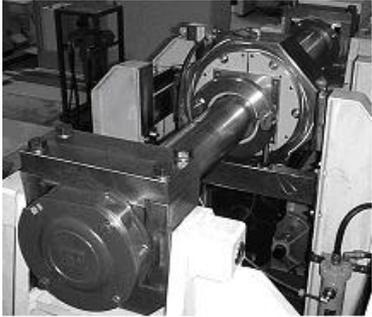


- Assili cavi:  $D_{ext}=152$  mm,  $D_{int}=65$  mm
- A4T:  $V_L=5920$  m/s and  $V_S=3230$  m/s

- Venti difetti artificiali
- Ispezione sia in primo, sia in secondo percorso









Si può concludere che:

- la profondità del difetto **non** è il parametro migliore per caratterizzare il suo responso UT, l'area realmente investita dal fascio sembra produrre risultati **migliori**
- difetti di forma differente, ma stessa profondità, possono avere curve POD **completamente** diverse
- con l'approccio proposto, le curve POD assumono un carattere **più generale** perché indipendenti dalla forma del difetto

I risultati fin qui mostrati hanno richiesto un notevole sforzo sperimentale in termini di **tempi** e **costi**

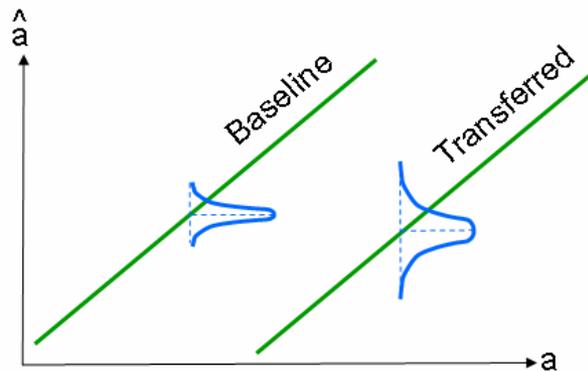
**Perché non tentare un approccio MAPOD ?**

Le curve POD sono basate sulla distribuzione **statistica** delle risposte dei difetti che, a loro volta, sono controllate da un numero di **fattori** relativi alla **procedura** PND adottata

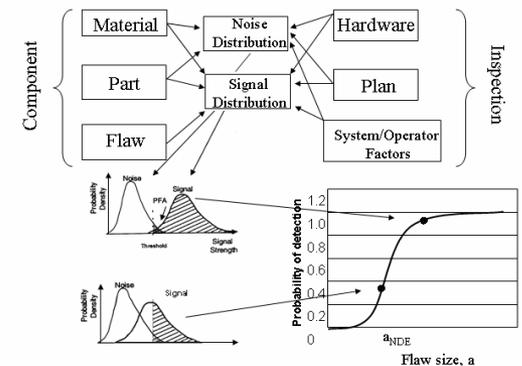
Al giorno d'oggi, molti di questi fattori possono essere **simulati** mediante opportuni modelli numerici e MAPOD approfitta di questa opportunità al massimo

Sfortunatamente, MAPOD **non** permette di eliminare totalmente la sperimentazione perché non tutti i fattori possono essere oggi descritti da modelli fisici **noti**

Esistono due versioni di MAPOD



Funzione di trasferimento

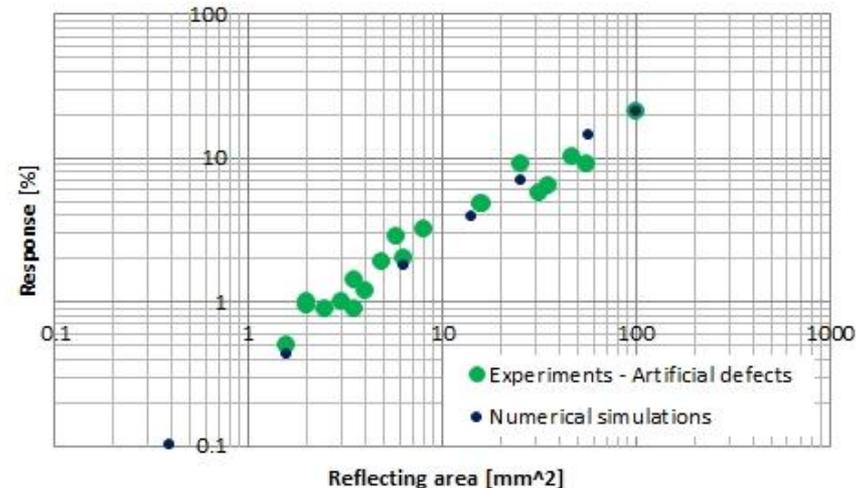
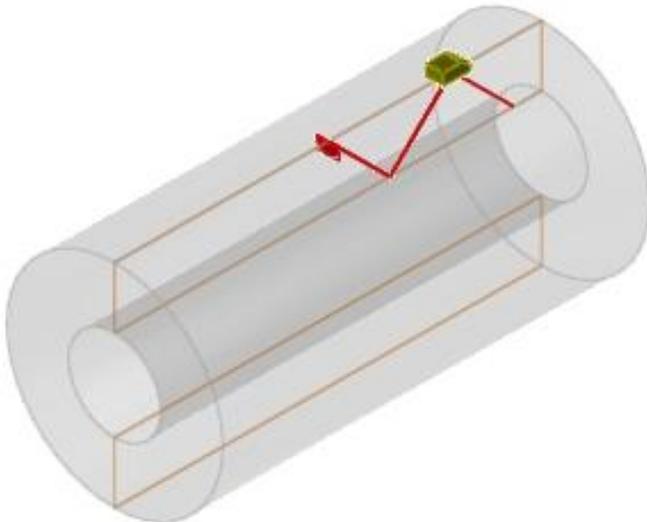


Approccio completo



Entrambe le versioni possono essere applicate con successo all'ispezione UT di assili ferroviari

In questo lavoro di ricerca, lo strumento numerico utilizzato per le simulazioni è CIVA 10.0b. La calibrazione del modello numerico è stata eseguita simulando l'ispezione in secondo percorso del difetto artificiale convesso di raggio 8 mm e impostando un guadagno tale da dare la risposta sperimentale dello stesso difetto. Successivamente, tenendo lo stesso guadagno, sono stati simulati altri difetti di area riflettente variabile

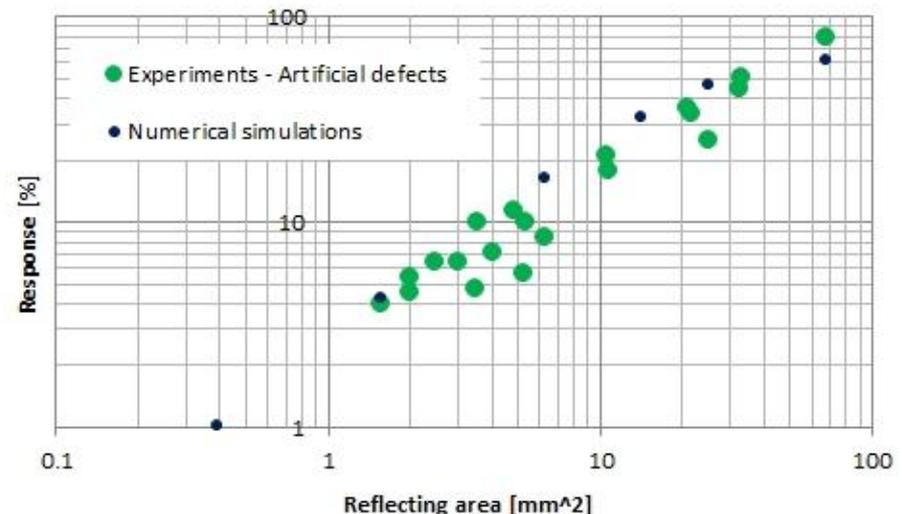
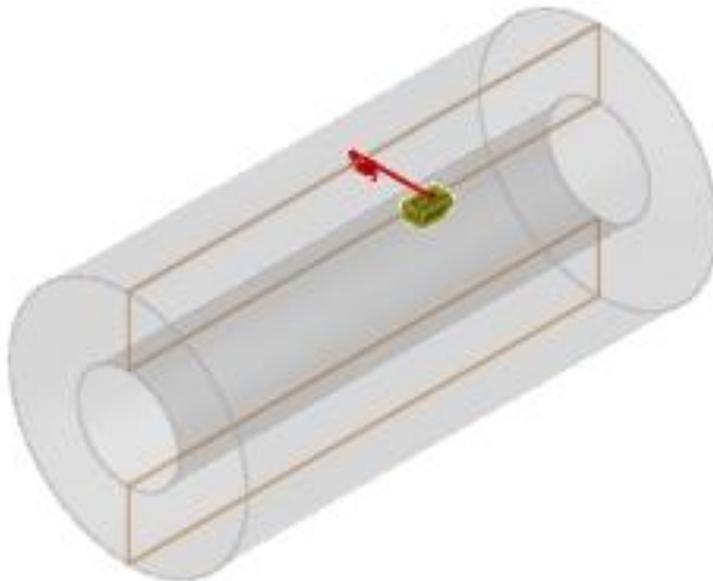




Il modello numerico calibrato è stato poi utilizzato per **prevedere** le risposte UT dei difetti convessi ispezionati in **primo** percorso

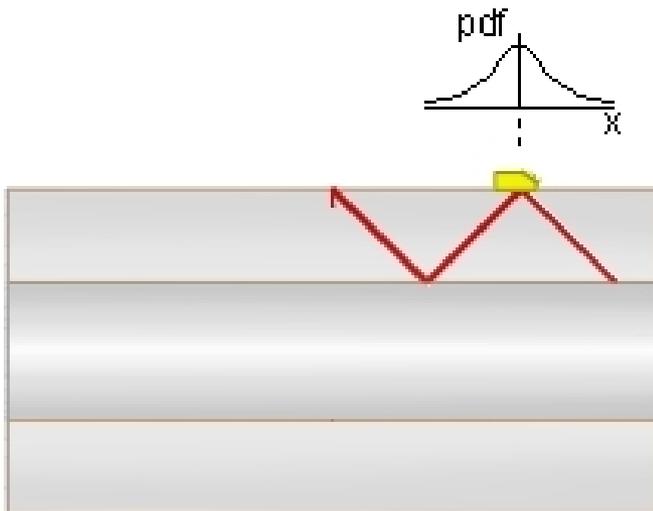
In questo modo:

- si è potuta considerare una situazione **simile** alla calibrazione, ma con un parametro **significativamente** differente (il tempo di volo)
- le risposte sperimentali in primo percorso sono **disponibili** per **validare** i risultati numerici





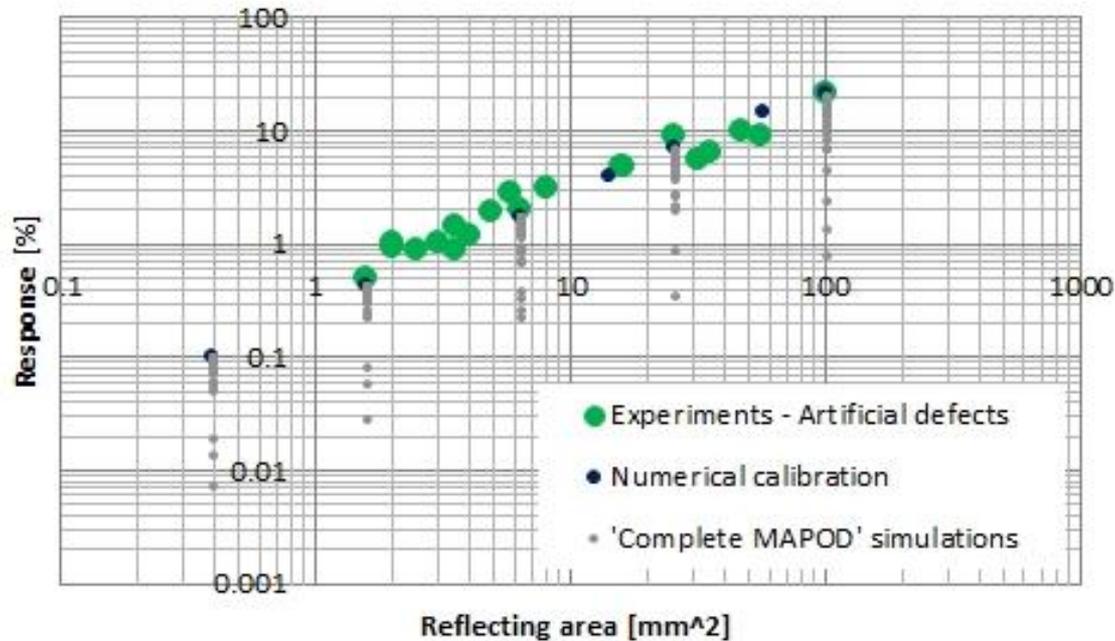
Sfortunatamente, anche se i risultati appena mostrati rappresentano un **primo livello** di simulazione certamente utile in alcuni contesti, **non** sono in grado di fornire informazioni sulla **variabilità intrinseca** degli esperimenti. La banda di confidenza dei risultati numerici è **fittizia** e non rappresentativa di quella sperimentale. E' quindi necessario applicare l'approccio MAPOD **completo** che richiede di adottare, durante le simulazioni e per ogni sorgente di variabilità, un'opportuna distribuzione statistica da cui estrarre valori secondo una logica **Monte Carlo**



Per semplicità, è stata considerata **una** sola sorgente di variabilità: la posizione longitudinale della sonda

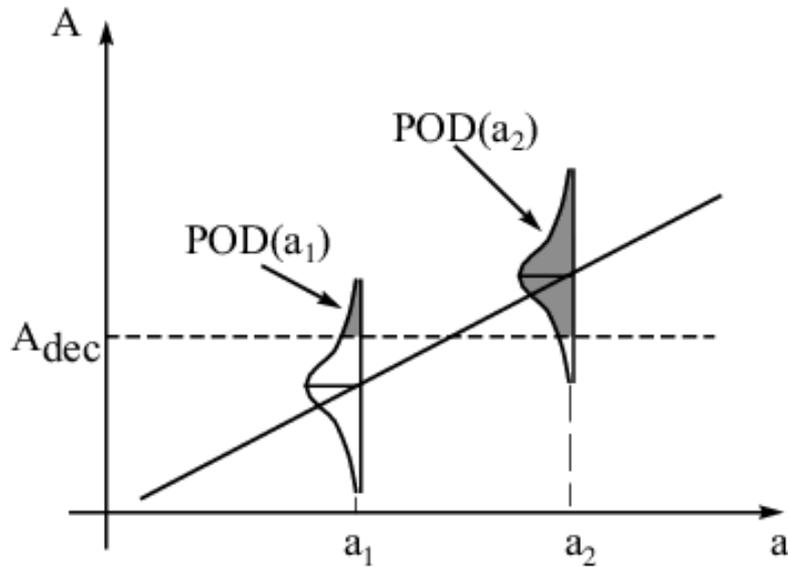
Si è adottata una **gaussiana** con media la posizione di massimizzazione del difetto e  $CV=0.1$

Per ogni difetto simulato sono state lanciate **30** simulazioni (totale 150)



Le risposte migliori **corrispondono** alla calibrazione perché questa è stata ottenuta posizionando **deterministicamente** la sonda nella massimizzazione del difetto. Le altre sono più **basse** perché, in genere, non ottimizzate

La deviazione standard numerica ottenuta con questa metodologia sembra **significativa**



$$POD(A) = \Pr \left[ \log_{10}(\hat{A}) > \log_{10}(\hat{A}_{th}) \right]$$

$$POD(A) = 1 - F \left\{ \frac{\log_{10}(\hat{A}_{th}) - [\beta_0 + \beta_1 \cdot \log_{10}(A)]}{\beta_2} \right\} =$$

$$= F \left\{ \frac{\log_{10}(A) - \left[ \frac{\log_{10}(\hat{A}_{th}) - \beta_0}{\beta_1} \right]}{\frac{\beta_2}{\beta_1}} \right\}$$

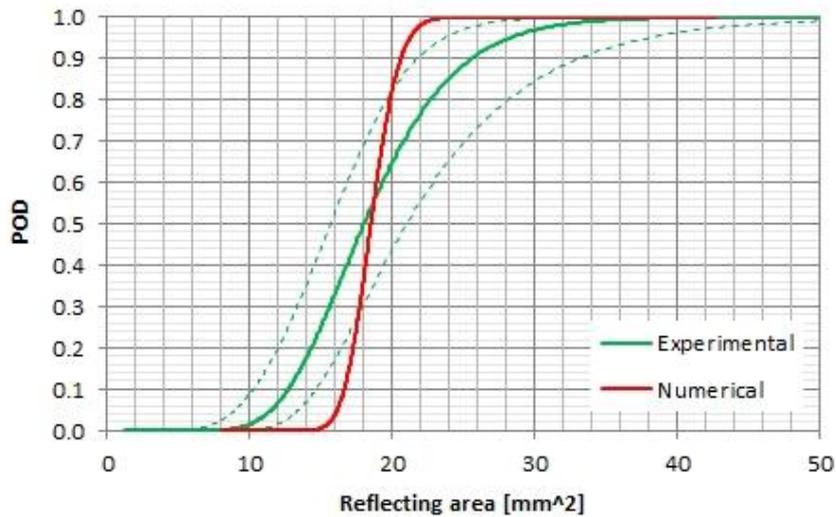
$$\begin{cases} \mu_{\log_{10}(\hat{A})} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log_{10}(A) \\ \sigma_{\log_{10}(\hat{A})} = \beta_2 \end{cases}$$

$$\mu = \frac{\log_{10}(\hat{a}_{th}) - \beta_0}{\beta_1} \quad \sigma = \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

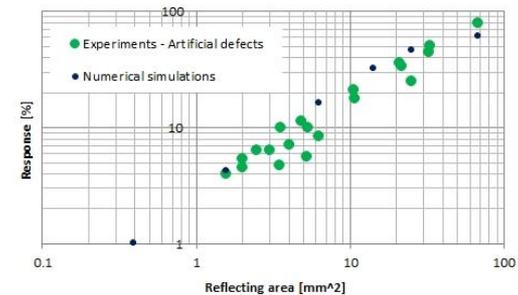
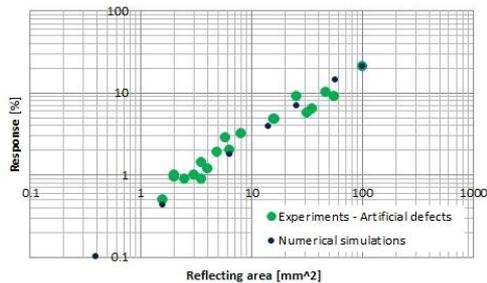
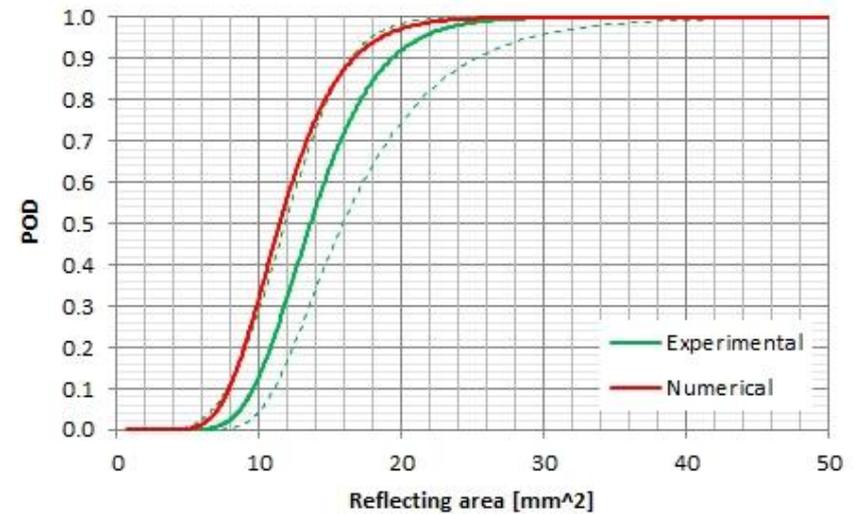


La soglia è stata qui scelta come la risposta del difetto taglio di sega di profondità 1 mm

## Calibrazione

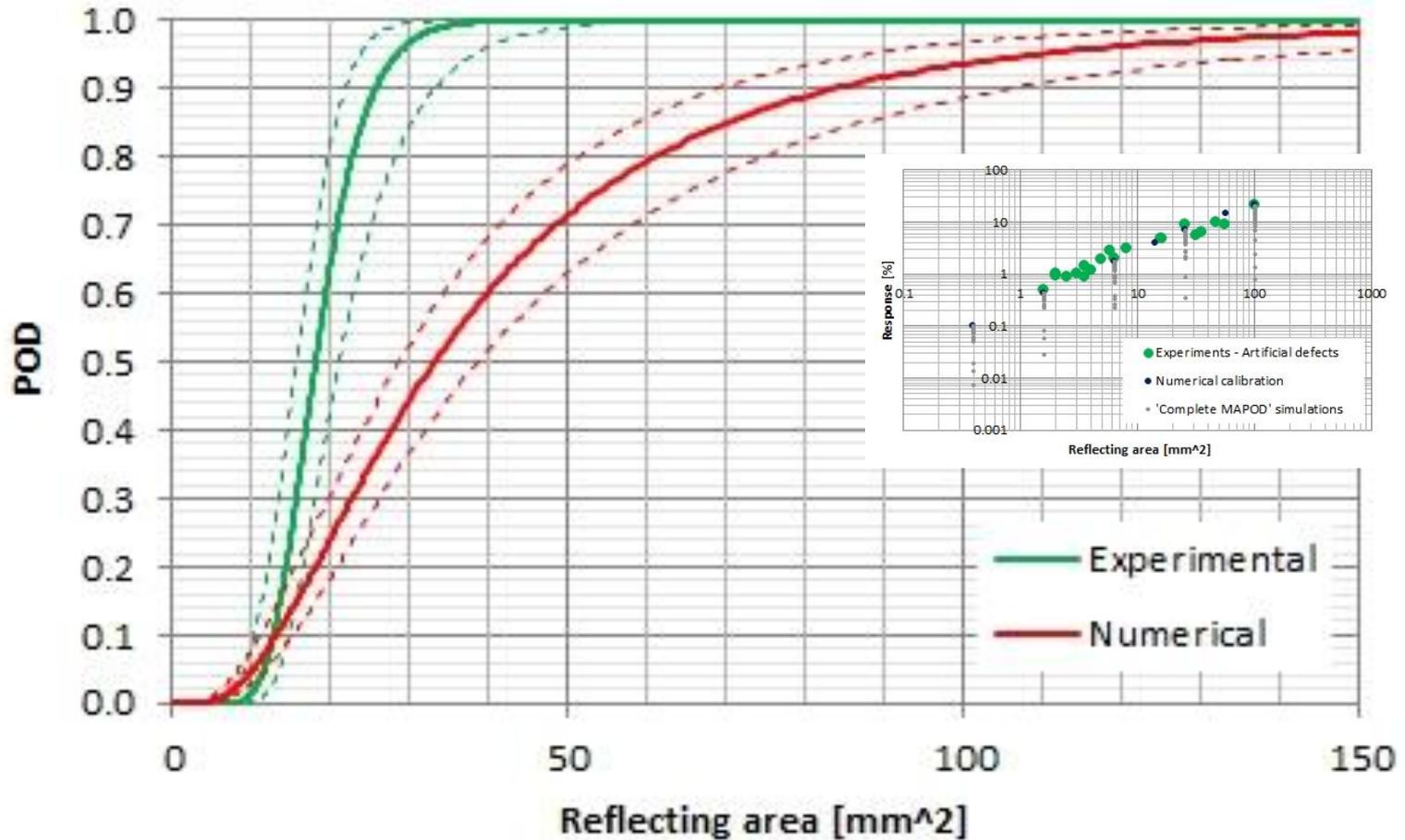


## Funzione di trasferimento





## Approccio completo





Nel presente lavoro, considerando il caso specifico di assili ferroviari cavi prodotti in A4T, sono state analizzate alcune possibili migliorie e semplificazioni delle procedure di derivazione delle curve POD del controllo UT. I risultati possono essere così riassunti:

- l'approccio «area riflettente» permette di generalizzare, almeno nel caso dell'influenza della morfologia del difetto, l'applicazione delle curve POD
- i risultati ottenuti mediante entrambi gli approcci MAPOD sembrano essere incoraggianti in quanto sono state ottenute buone previsioni delle evidenze sperimentali
- si intravede la possibilità di diminuire lo sforzo sperimentale conservando la stessa affidabilità del controllo
- l'approccio MAPOD è recentissimo (2003), c'è quindi da fare ancora molto lavoro