

Padova, 26 Novembre 2009

# MISURA DEL PROFILO LONGITUDINALE DELLA ROTAIA: MODELLO MATEMATICO PER UN SISTEMA NON A CONTATTO E FILTRAGGIO DATI

Alberto Gaspari

# SOMMARIO

- Modello Matematico
- Interazione Ruota - Rotaia
- Usura Ondulatoria
- Sistemi di misura a contatto
- Sviluppo di un sistema di misura non a contatto
- Analisi dei dati

# MODELLO MATEMATICO (1/4)

Un modello matematico è una rappresentazione esemplificativa di un sistema reale, in cui vengono schematizzate le sole *caratteristiche fisiche* che interessa studiare, tramite una *serie di regole* (in generale un sistema di equazioni algebriche o differenziali) che legano i *parametri* (grandezze non manipolabili), le *sollecitazioni* (gli ingressi, variabili indipendenti nell'ambito del proprio campo d'esistenza) e le *uscite* (variabili dipendenti, legate ad un altro campo d'esistenza).

## MODELLO MATEMATICO (2/4)

Il modello matematico esplicito consente lo studio qualitativo di un sistema, in quanto fornisce tutte le indicazioni che descrivono il suo comportamento anche in condizioni differenti. Distinguiamo due tipi di modelli matematici:

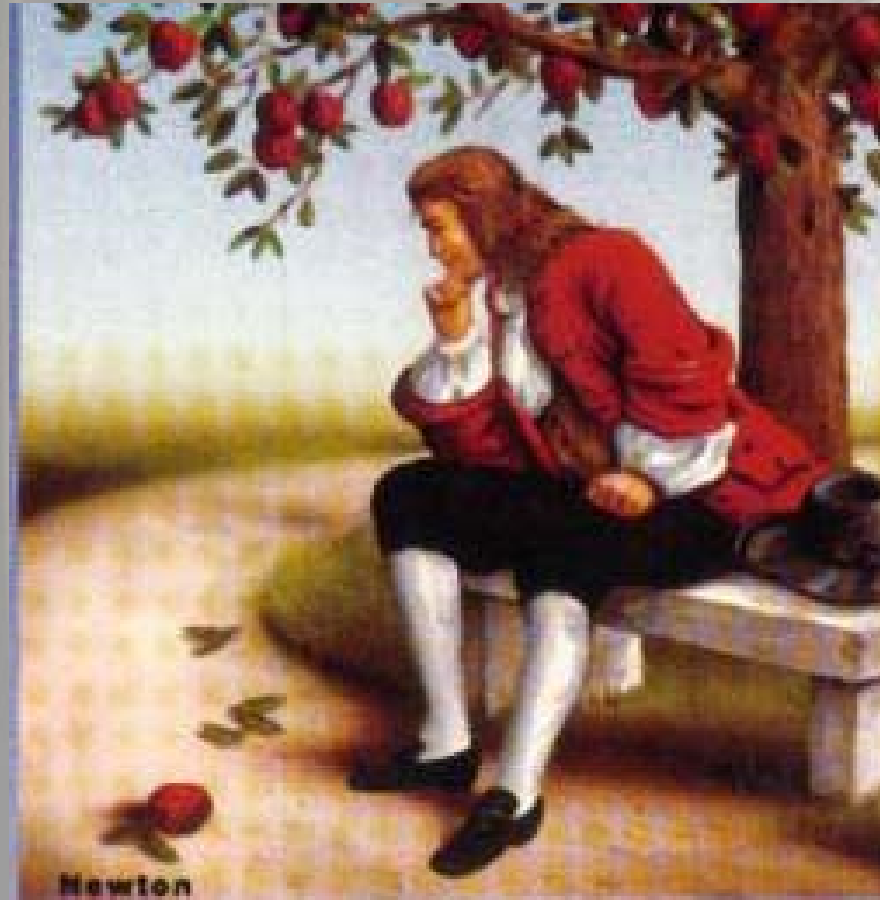
- modello matematico *statico*, da adottare quando è possibile trascurare le variazioni temporali del sistema.
- modello matematico *dinamico*, utilizzato per descrivere l'evoluzione temporale delle grandezze in gioco, ovvero il sistema durante il regime transitorio.

## MODELLO MATEMATICO (3/4)

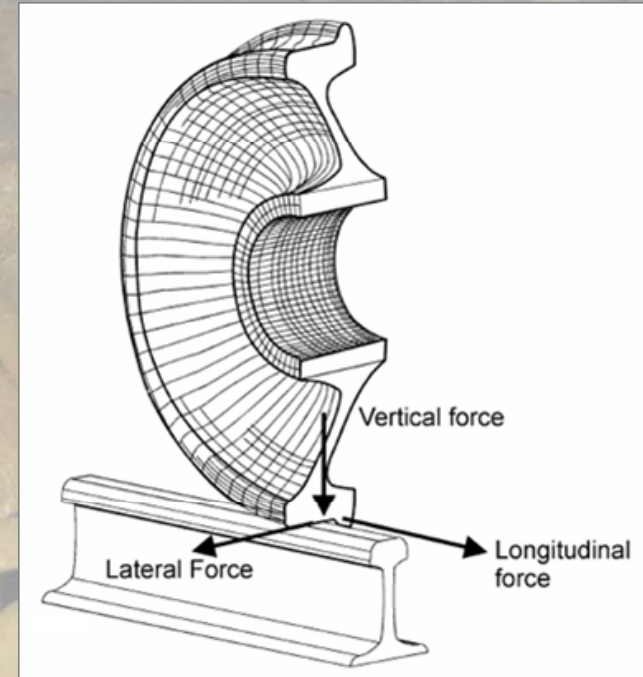
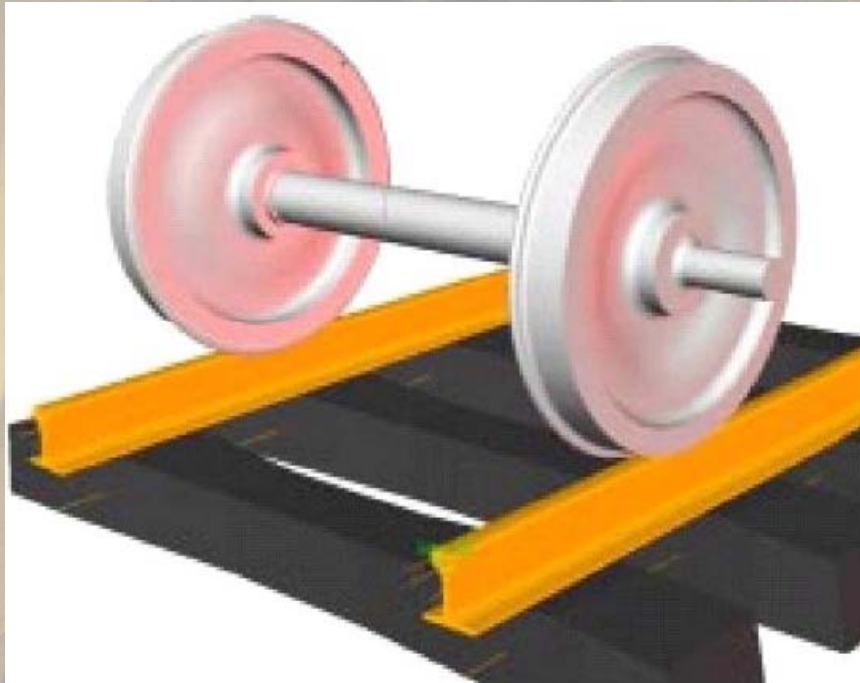
Lo scopo principale del modello matematico è la valutazione del futuro *equilibrio del sistema*, ovvero della *stabilità* delle uscite.

Quando non è possibile calcolare la funzione reale  $u(t)$ , è possibile spostare il problema nel campo complesso, utilizzando l'*operatore di Laplace*, trovare la funzione  $U(s)$  ed applicare l'*antitrasformata*: anche se quest'ultima operazione non è possibile, possiamo comunque ottenere informazioni sulla stabilità del sistema.

# MODELLO MATEMATICO (4/4)



# INTERAZIONE RUOTA-ROTAIA (1/3)

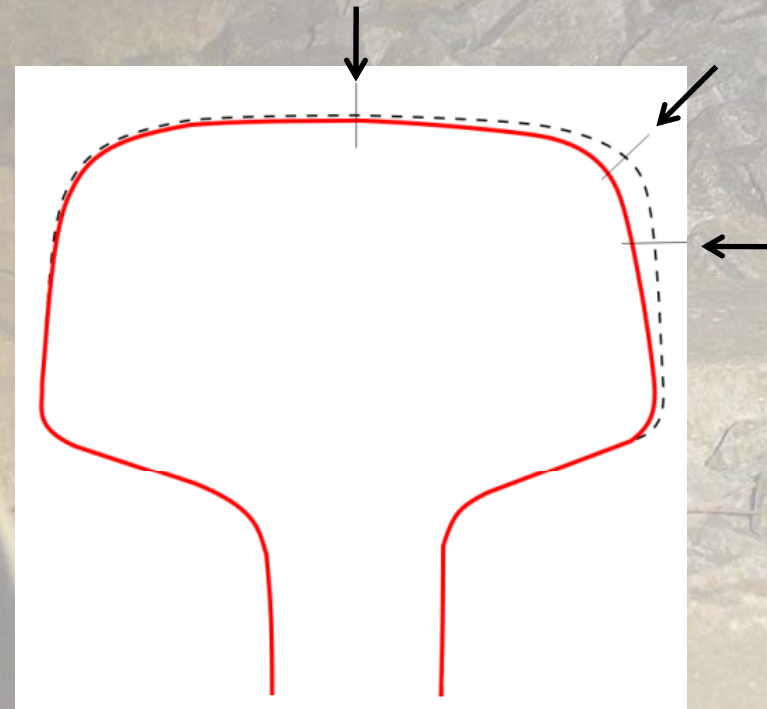


modelli matematici dinamici  
pde di secondo ordine

# INTERAZIONE RUOTA-ROTAIA (2/3)

## *USURA DEL PROFILO TRASVERSALE*

- Usura Verticale
- Usura Orizzontale
- Usura 45°





# INTERAZIONE RUOTA-ROTAIA (3/3)

## *USURA DEL PROFILO LONGITUDINALE*



## NOTE STORICHE (1/2)

- L'usura ondulatoria è un fenomeno che ha stuzzicato l'interesse delle Ferrovie per più di un secolo, ma non vi è ancora una spiegazione per tale fenomeno.
- La prima trattazione in letteratura è datata 1889, riguardo la linea Midland in Inghilterra; i tecnici non avevano una spiegazione per questo tipo di usura.
- La seconda trattazione è del 1895, negli USA: usure ondulatorie furono osservate in presenza di basso confort di marcia ed elevata rumorosità.

## NOTE STORICHE (2/2)

- Nel 1910, durante una conferenza, i risultati di un questionario spedito a 75 amministratori ferroviari di tutto il mondo furono presentati: 72 riportavano presenza di usura ondulatoria. Lo studio dell'usura ondulatoria assunse sempre più importanza ma le certezze furono poche per lungo tempo.
- 1983: Grassie, Kalousek: "Rail Corrugation: characteristics, causes and treatments."
- Oggi, tutte le Ferrovie soffrono il problema dell'usura ondulatoria, in seguito all'aumento della circolazione di rotabili e dell'alta velocità. I costi di manutenzione sono molto elevati.

# CHARACTERISTICS, CAUSES AND TREATMENTS (1/5)

È di fondamentale importanza considerare che l'usura ondulatoria non è un singolo fenomeno con una singola causa, una singola soluzione e singolo trattamento.

Vi sono 6 diversi tipi di usura ondulatoria, ognuno con le proprie caratteristiche: “*heavy haul*”, “*light rail*”, “*booted sleepers*”, “*contact fatigue*”, “*rutting*” e “*roaring rails*”.

# CHARACTERISTICS, CAUSES AND TREATMENTS (2/5)

	<b>Classification</b>	<b>Wavelength [mm]</b>	<b>Cause</b>	<b>Effect</b>
1	Heavy Haul	200 – 300	P2 Resonance	Plastic flow in troughs
2	Light Rail	500 – 1500	P2 Resonance	Plastic Bending
3	Booted Sleepers	45 – 60	Sleeper Resonance	Wear of troughs from lateral oscillation
		51 – 57	Flexural Resonance of wheel set	Oscillation, plastic flow of peaks
4	Contact fatigue	150 – 450	P2 Resonance lateral	Rolling contact fatigue

# CHARACTERISTICS, CAUSES AND TREATMENTS (3/5)

	<b>Classification</b>	<b>Wavelength [mm]</b>	<b>Cause</b>	<b>Effect</b>
5	Rutting	50	Torsional resonance of wheel set	Wear of troughs from longitudinal slip oscillation
		200	Peak vertical dynamic force	
		150 - 450	P2 Resonance	
6	Roaring rails	25 – 80	Unknown	Wear of troughs from longitudinal slip

# CHARACTERISTICS, CAUSES AND TREATMENTS (4/5)

	<b>Classification</b>	<b>Treatment</b>
1	<b>Heavy Haul</b>	Select a sufficiently hard rail steel and ensure that railhead irregularities are sufficiently small as to reduce the contact force below the level which can be borne by the rail
2	<b>Light Rail</b>	Reduction of railhead irregularities, particularly at welds, to a sufficient small level that the sum of dynamic and static loads is insufficient to yield the rail in bending
3	<b>Booted Sleepers</b>	Introduce resilient railpads Lubricate the gauge corner of the high rail
4	<b>Contact fatigue</b>	Good lubrication to reduce initiation of the fatigue cracks Regular, light grinding to eliminate any fatigue micro-cracks before they propagate significantly

# CHARACTERISTICS, CAUSES AND TREATMENTS (5/5)

	Classification	Treatment
5	Rutting	<p>Grinding is necessary to remove this type of corrugation but does not by itself provide a mean to prevent its recurrence</p> <p>Lubricate the gauge corner of the high rail</p> <p>Use harder rail steels</p>
6	Roaring rails	<p>Grinding is the principal treatment for roaring rail corrugations</p> <p>Insofar as high vertical dynamic loads are undesirable, resilient railpads should reduce the rate of corrugation formation by reducing vertical dynamic loads</p>

## Rail Grinding – Rail Replacement



# RAIL GRINDING (MOLATURA)

Diversi trattamenti sono stati proposti per limitare l'usura ondulatoria; tuttavia, la molatura della rotaia (Rail Grinding) rimane l'unico, il più usato, il più efficace e versatile trattamento.

Il rail grinding è suddiviso in 3 tipologie:

- Iniziale
- Preventivo
- Correttivo

EN 13231-3 "Railway applications - Track - Acceptance of works - Part 3: Acceptance of rail grinding, milling and planing work in track.

# NORMATIVA EUROPEA (1/6)

## **Cosa è la norma?**

Secondo la Direttiva Europea 98/34/CE del 22 giugno 1998:

*norma* è la specifica tecnica approvata da un organismo riconosciuto a svolgere attività normativa per applicazione ripetuta o continua, la cui osservanza non sia obbligatoria e che appartenga ad una delle seguenti categorie:

- norma internazionale (ISO)

- norma europea (EN)

- norma nazionale (UNI)

## NORMATIVA EUROPEA (2/6)

Le norme, quindi, sono documenti che definiscono le caratteristiche (dimensionali, prestazionali, ambientali, di sicurezza, di organizzazione ecc.) di un prodotto, processo o servizio, secondo lo stato dell'arte e sono il risultato del lavoro di decine di migliaia di esperti in Italia e nel mondo.



# NORMATIVA EUROPEA (3/6)

## **Le caratteristiche della norma tecnica**

**CONSENSUALITÀ:** deve essere approvata con il consenso di coloro che hanno partecipato ai lavori;

**DEMOCRATICITÀ:** tutte le parti economico/sociali interessate possono partecipare ai lavori e, soprattutto, chiunque è messo in grado di formulare osservazioni nell'iter che precede l'approvazione finale;

**TRASPARENZA:** le tappe fondamentali dell'iter di approvazione di un progetto di norma sono segnalate ed il progetto stesso è a disposizione degli interessati;

**VOLONTARIETÀ:** le norme sono un riferimento che le parti interessate si impongono spontaneamente.

## NORMATIVA EUROPEA (4/6) *CEN*

In Europa, vi sono tre organizzazioni responsabili della standardizzazione e della normalizzazione.

CENELEC (Comité Européen de Normalisation en Électronique et en Électrotechnique) è il comitato europeo per la normalizzazione elettrotecnica.

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) è il comitato europeo per la normalizzazione delle telecomunicazioni.

CEN (Comité Européen de Normalisation) è il comitato europeo per la normalizzazione delle altre aree tecniche.

## NORMATIVA EUROPEA (5/6) *UNI*

L'UNI, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, è un'associazione privata senza scopo di lucro, i cui soci, oltre 7000, sono imprese, liberi professionisti, associazioni, istituti scientifici e scolastici, realtà della Pubblica Amministrazione.

Svolge attività normativa in tutti i settori industriali, commerciali e del terziario ad esclusione di quello elettrico ed elettrotecnico di competenza del CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano.

L'UNI partecipa, in rappresentanza dell'Italia, all'attività normativa degli organismi sovranazionali di normazione: ISO e CEN.

## NORMATIVA EUROPEA (6/6) *UNIFER*

L'UNIFER è un ente federato all'UNI, il cui scopo è preparare *norme tecniche* relative al settore dei trasporti su ferro.

Con l'avvento della normazione europea, l'UNIFER ha avuto incarico dall'UNI, membro nazionale italiano del CEN, di rappresentare l'Italia nel CEN/TC256 e quindi di evidenziare gli interessi specifici dell'industria italiana e degli esercenti del settore ferroviario, nella preparazione dei progetti di norma europea.

# STRUMENTI DI MISURA A CONTATTO





# SVILUPPO DI UN SISTEMA NON A CONTATTO

- Specifica Requisiti del Sistema
- Modello matematico (filtraggio)
- Ottica (campo di visione, risoluzione, distorsione)
- Calibrazione
- Meccanica
- Elettronica (sensori, schede)
- Software
- Test di validazione

# BREVETTO (1/3)

Brevetto Tecnogamma PCT/EP01/08117

Con il brevetto si ottiene il diritto di produrre e commercializzare in esclusiva un oggetto o un sistema sul territorio dello stato in cui viene richiesto.

Per depositare un brevetto, di invenzione o di modello di utilità, non occorre disporre di un prototipo, ma solo sapere come l'oggetto o il sistema deve essere realizzato, fornendo una descrizione in tale senso. Tuttavia devono essere presenti i seguenti requisiti: novità, originalità, industrialità, liceità.

## BREVETTO (2/3)

**NOVITÀ:** L'oggetto del brevetto deve essere nuovo in modo assoluto, cioè non essere mai stato prodotto o brevettato in nessuna parte del mondo. Il concetto di novità viene inteso in senso ampio e si ricomprende nello "stato della tecnica" tutto ciò che è stato reso pubblico, prima della data di deposito della domanda di brevetto.

**ORIGINALITÀ:** Essa sussiste ogni volta che l'invenzione non risulta in modo evidente dallo stato della tecnica per una persona esperta del ramo. Genericamente si parla anche di non ovvietà della soluzione messa a punto.

## BREVETTO (3/3)

**INDUSTRIALITÀ:** Si possono brevettare solo soluzioni che possono essere riprodotte a livello industriale, escludendo tutte le applicazioni artigianali o comunque legate ad un contributo rilevante della persona che le ha realizzate.

**LICEITÀ:** Non si possono brevettare oggetti che possono ledere il senso del buon costume o essere contrarie all'ordine pubblico, concetti questi in continua evoluzione.

# PRELIMINARI MATEMATICI (1/3)

## Sinusoide

Una sinusoide è una funzione avente la seguente forma:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$$

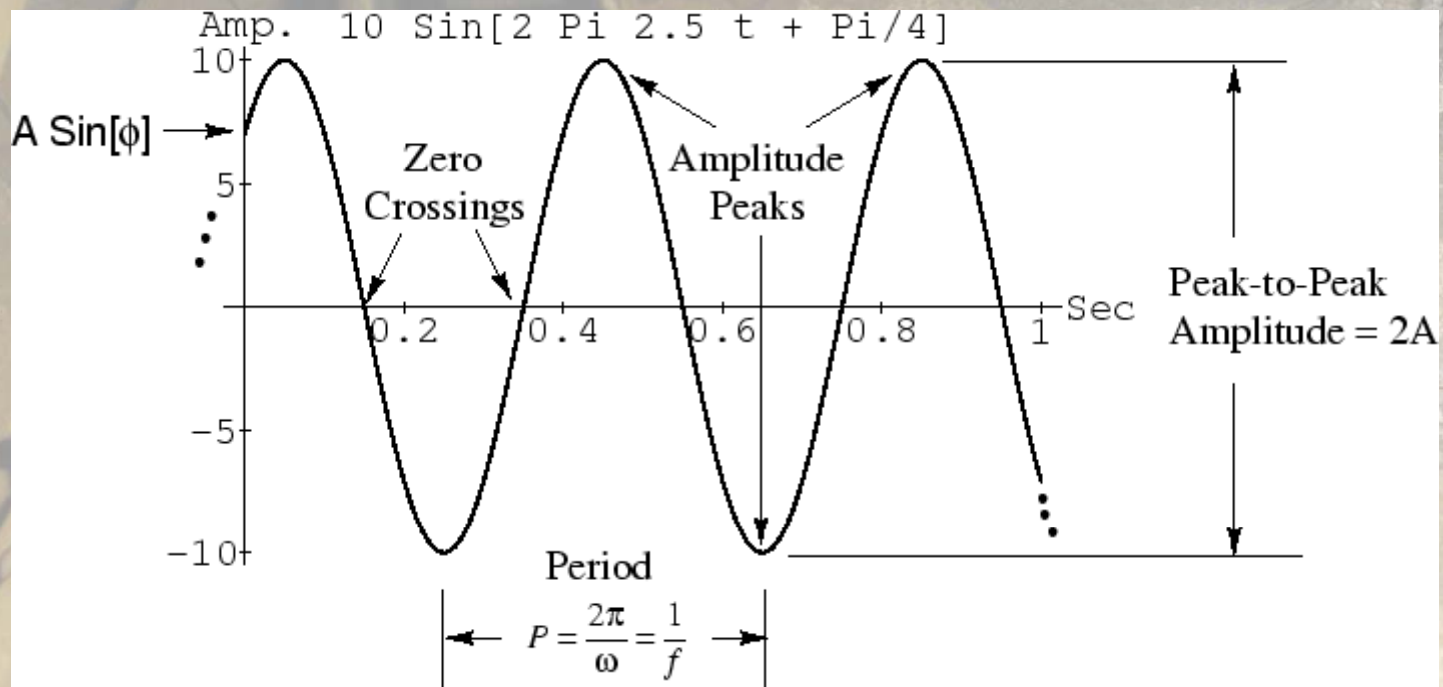
dove tutte le variabili sono numeri reali

$A$	=	peak amplitude (nonnegative)
$\omega$	=	radian frequency (rad/sec)
	=	$2\pi f$ ( $f$ in Hz)
$t$	=	time (sec)
$f$	=	frequency (Hz)
$\phi$	=	initial phase (radians)
$\omega t + \phi$	=	instantaneous phase (radians)

# PRELIMINARI MATEMATICI (2/3)

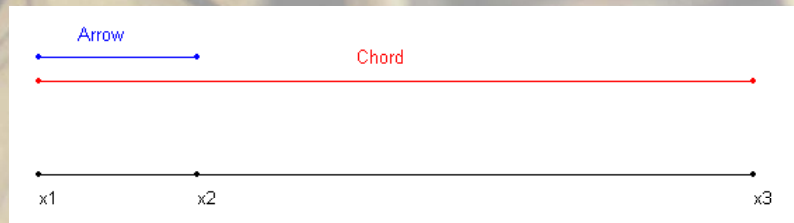
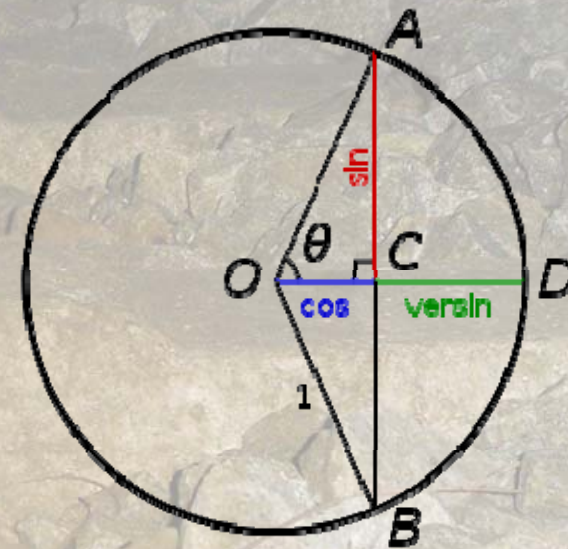
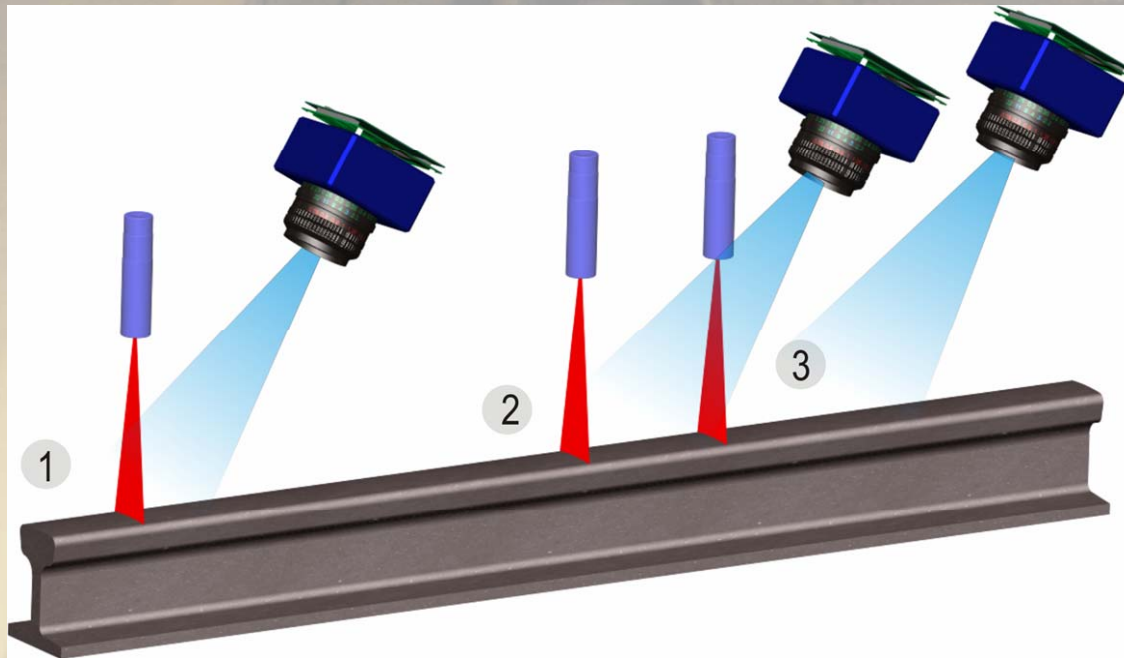
Esempio:

$$A \sin(2\pi f t + \phi), \text{ con } A = 10, f = 2,5, \phi = \pi/4, t \in [0,1]$$



# PRELIMINARI MATEMATICI (3/3)

Metodo Versine (Sistema a 3 Punti di misura) – Brevetto Tecnogamma PCT/EP01/08117



# PROFILO FILTRATO (1/15)

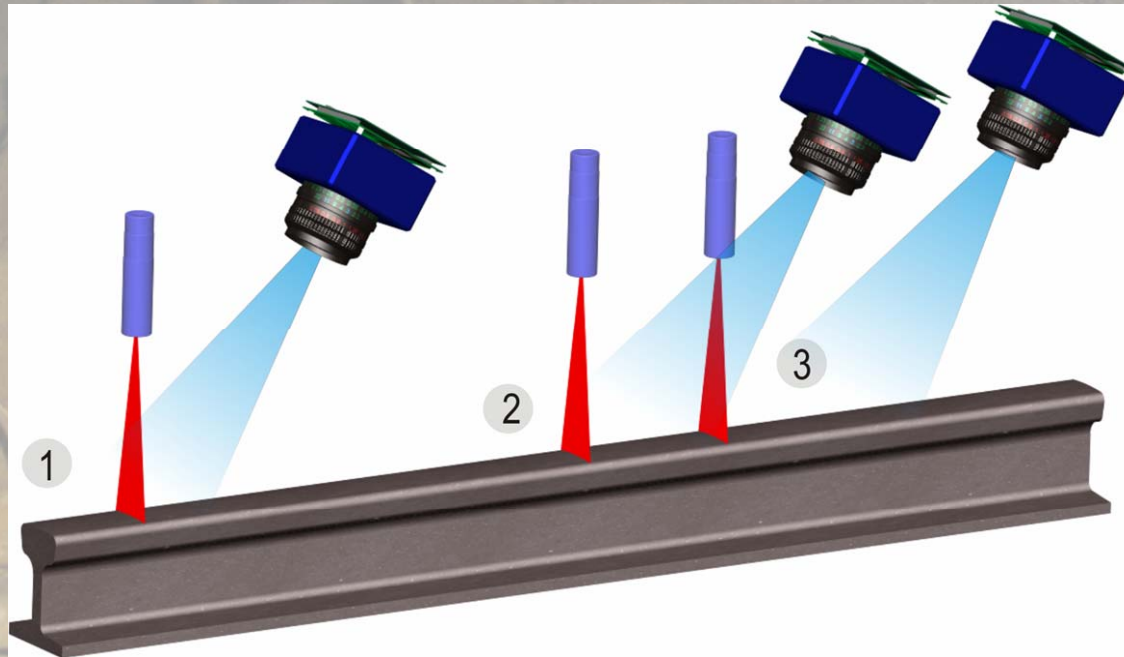
Lunghezze d'onda (mm)	Nome
10 – 30	Onde molto corte
30 – 100	Onde corte
100 – 300	Onde medie
300 – 1000	Onde lunghe
1000 – 3000	Onde molto lunghe
.....	Altre combinazioni



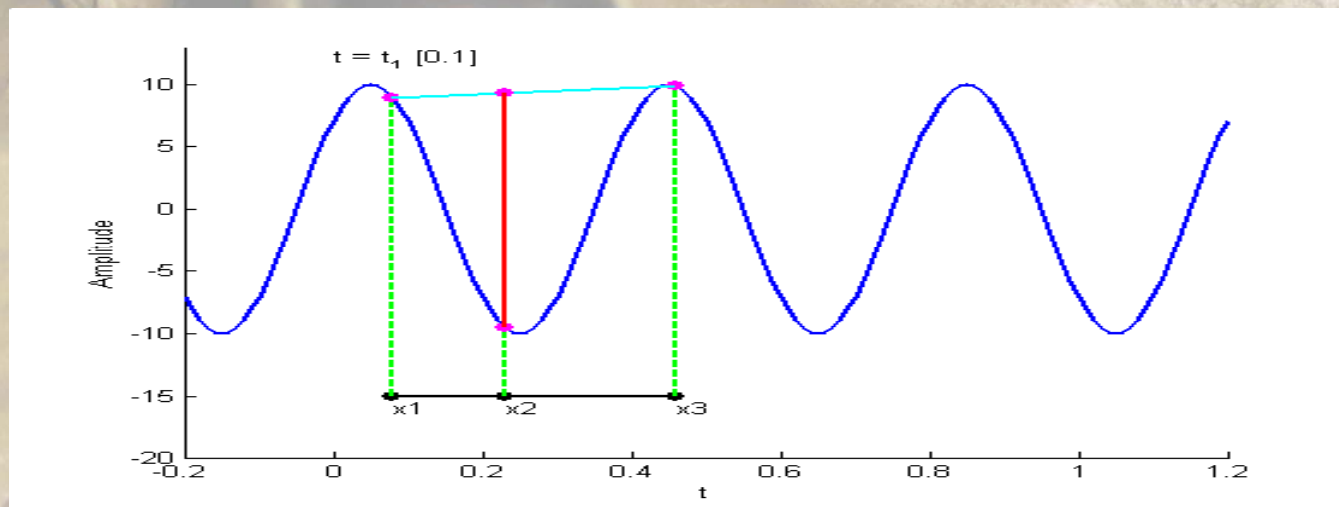
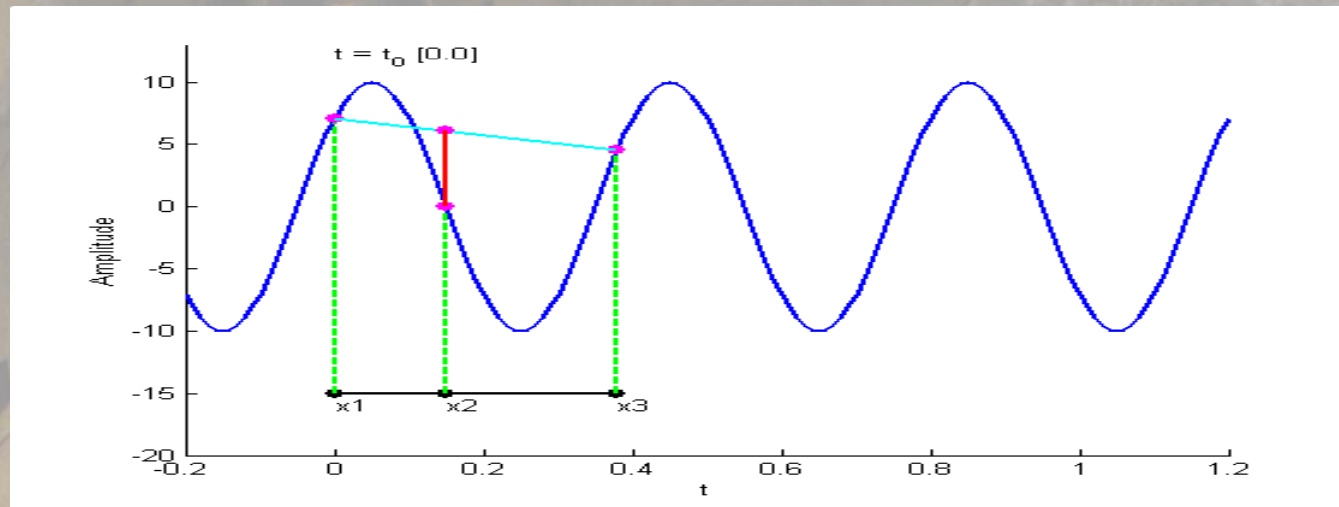
## PROFILO FILTRATO (2/15)

- Profilo filtrato: profilo ottenuto applicando un profile filter al profilo primario.
- Profilo primario: rappresentazione del profilo longitudinale prima dell'applicazione di qualsiasi filtro.
- Profile filter: dispositivo elettronico che separa il profilo nelle componenti “corte” e “lunghe” o in componenti di una specifica banda.

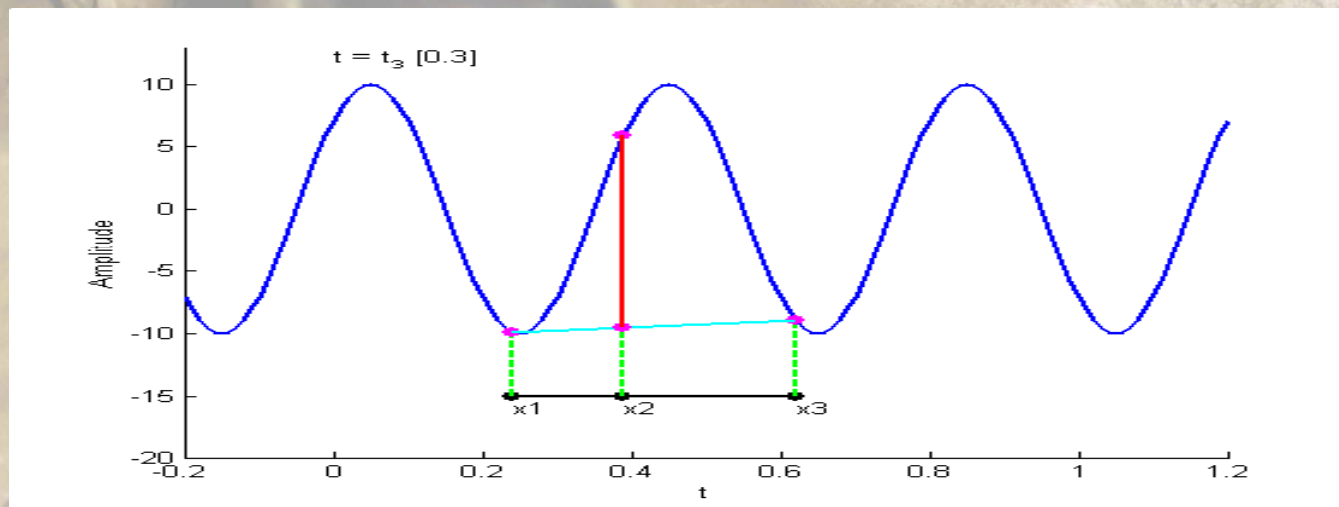
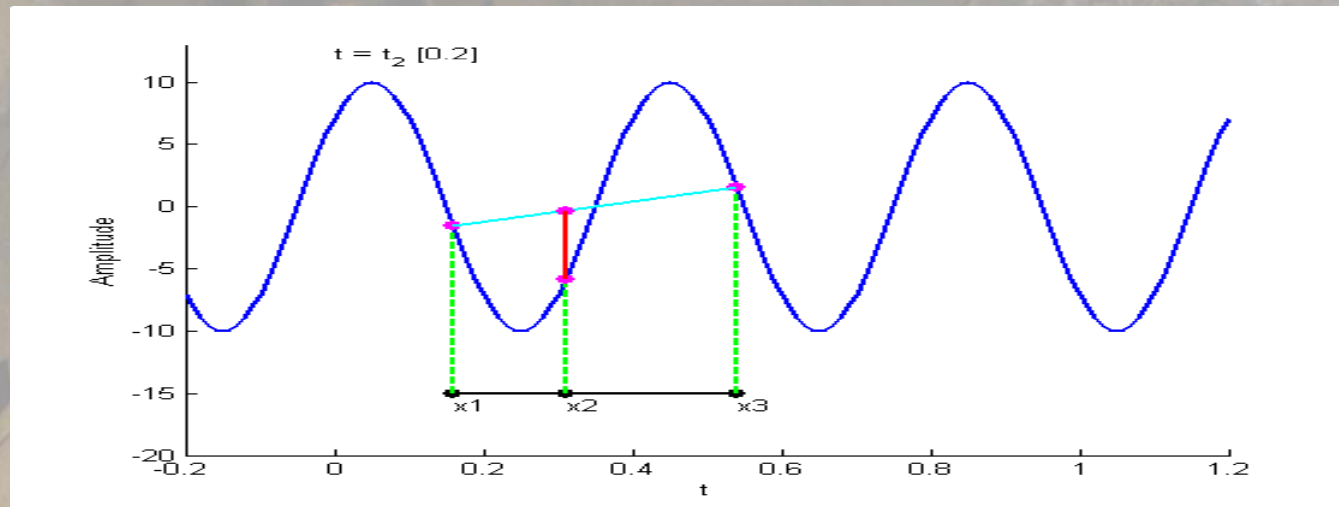
# PROFILO FILTRATO (3/15) *Profilo primario*



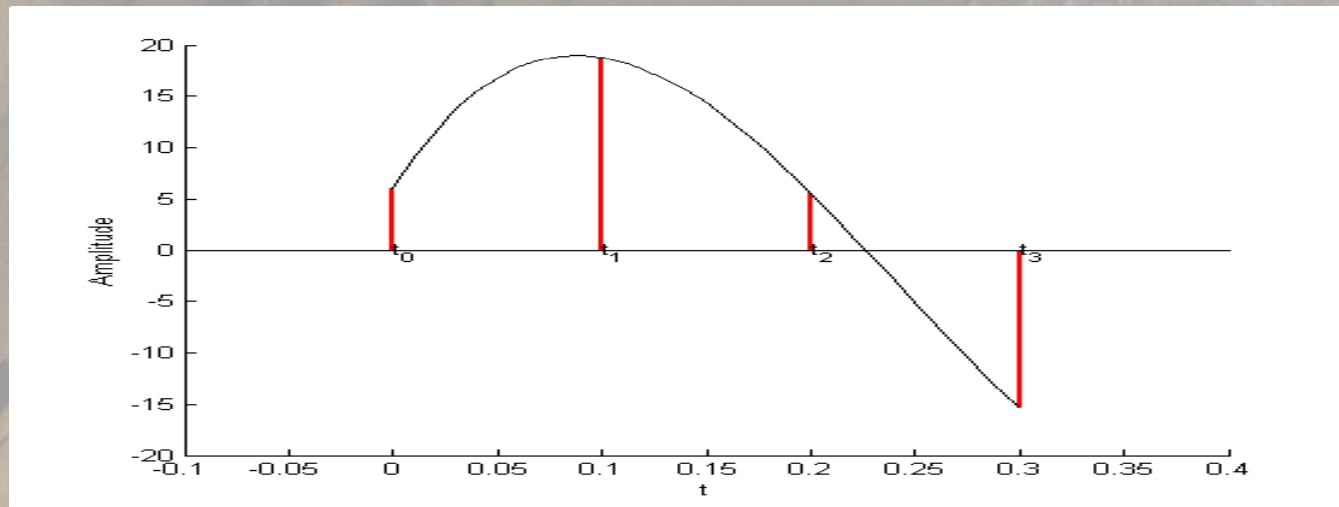
# PROFILO FILTRATO (4/15) *Profilo primario*



# PROFILO FILTRATO (5/15) *Profilo primario*



# PROFILO FILTRATO (6/15) *Profilo primario*

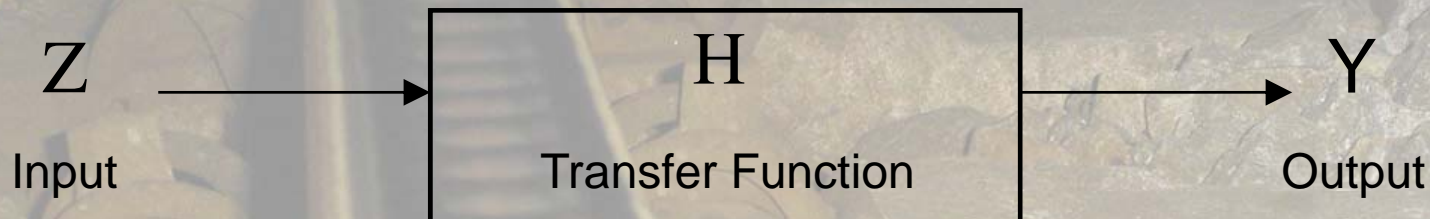


Per ricostruire la sinusoide (**profilo filtrato**), si devono filtrare i dati (**profilo primario**) con la funzione di trasferimento versine (**profile filter**).

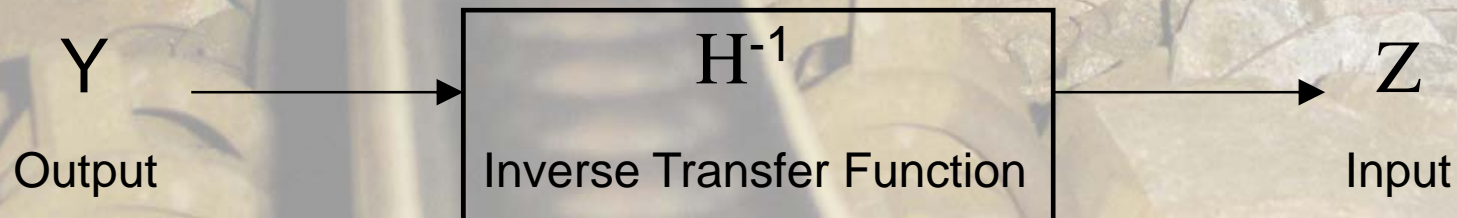
Profilo filtrato: il profilo ottenuto applicando un profile filter al profilo primario.

# PROFILO FILTRATO (7/15) *Profile filter*

Il metodo versine è descritto dalla funzione di trasferimento  $H(j/\lambda)$

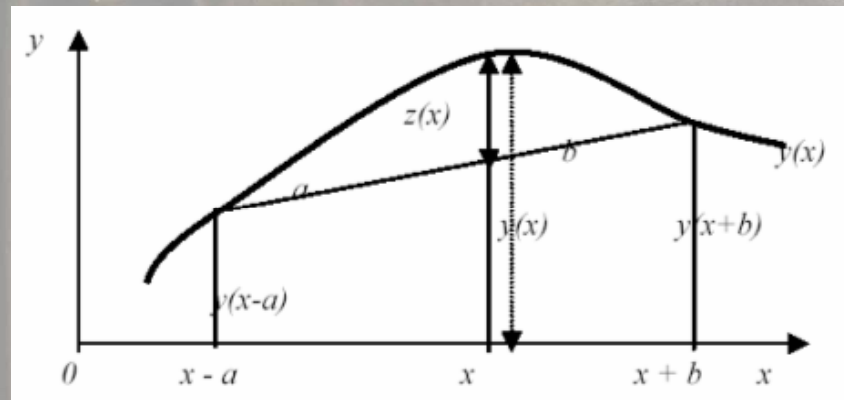


$$Y = H \cdot Z$$



$$Z = H^{-1} \cdot Y$$

# PROFILO FILTRATO (8/15) *Profile filter*



$$z(x) = y(x) - \left[ \frac{b}{a+b} y(x+a) + \frac{a}{a+b} y(x+b) \right]$$

La funzione di trasferimento ha vantaggi quando si passa dalla variabile spaziale indipendente  $x$  al suo reciproco  $1/x$  (numero di onde al metro).

# PROFILO FILTRATO (9/15) *Profile filter*

Per passare dallo dominio temporale al dominio delle frequenze, si usa la FFT (Fast Fourier Transformation).

$$Z \left( j \frac{2\pi}{\lambda} \right) = Y \left( j \frac{2\pi}{\lambda} \right) \left[ 1 - \frac{b}{a+b} e^{-j \frac{2\pi a}{\lambda}} - \frac{a}{a+b} e^{j \frac{2\pi b}{\lambda}} \right]$$

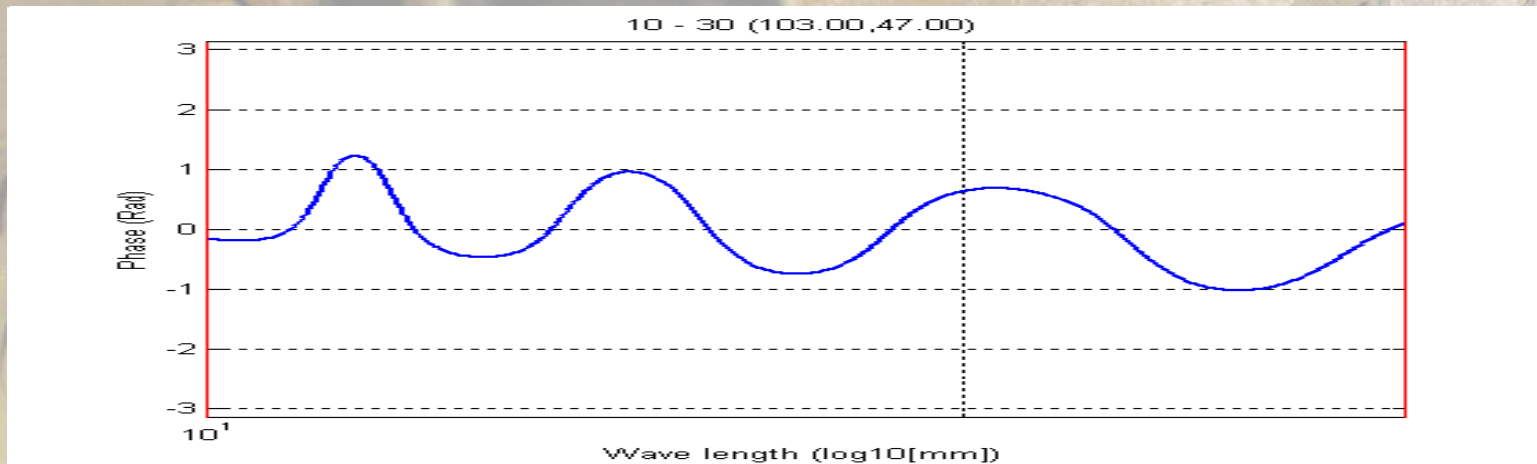
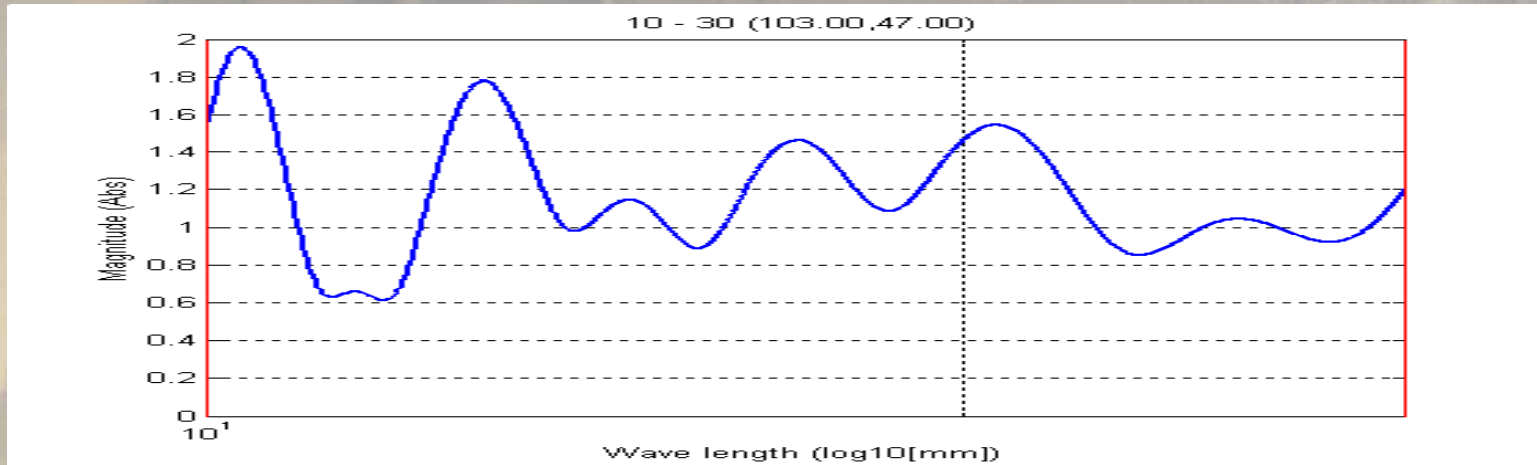
L'inversa della funzione di trasferimento *versine* sulla corda asimmetrica a tre punti di sezioni a,b è:

$$H^{-1} \left( j \frac{2\pi}{\lambda} \right) = 1 - \frac{b}{a+b} e^{-j \frac{2\pi a}{\lambda}} - \frac{a}{a+b} e^{j \frac{2\pi b}{\lambda}}$$



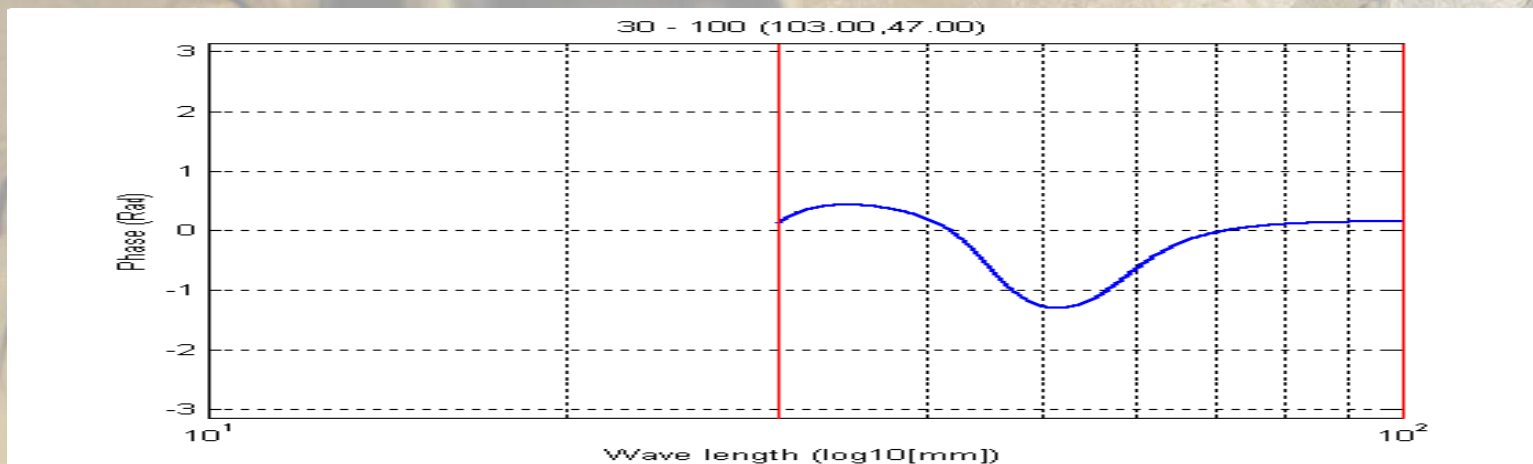
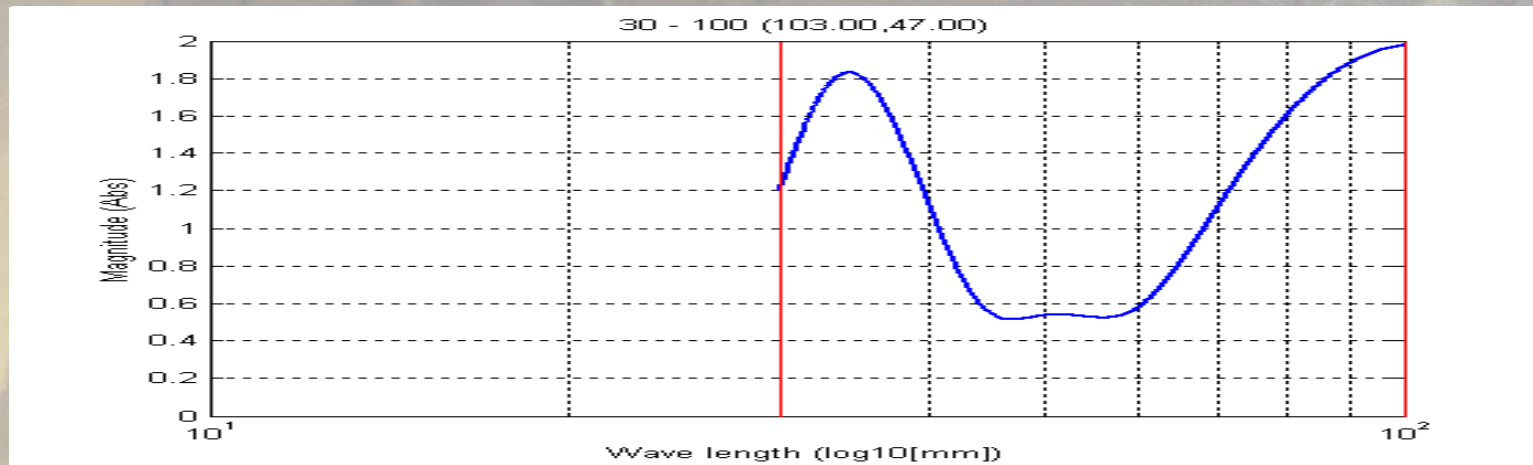
# PROFILO FILTRATO (10/15) *Profile filter*

Funzione di trasferimento (10 – 30 mm)



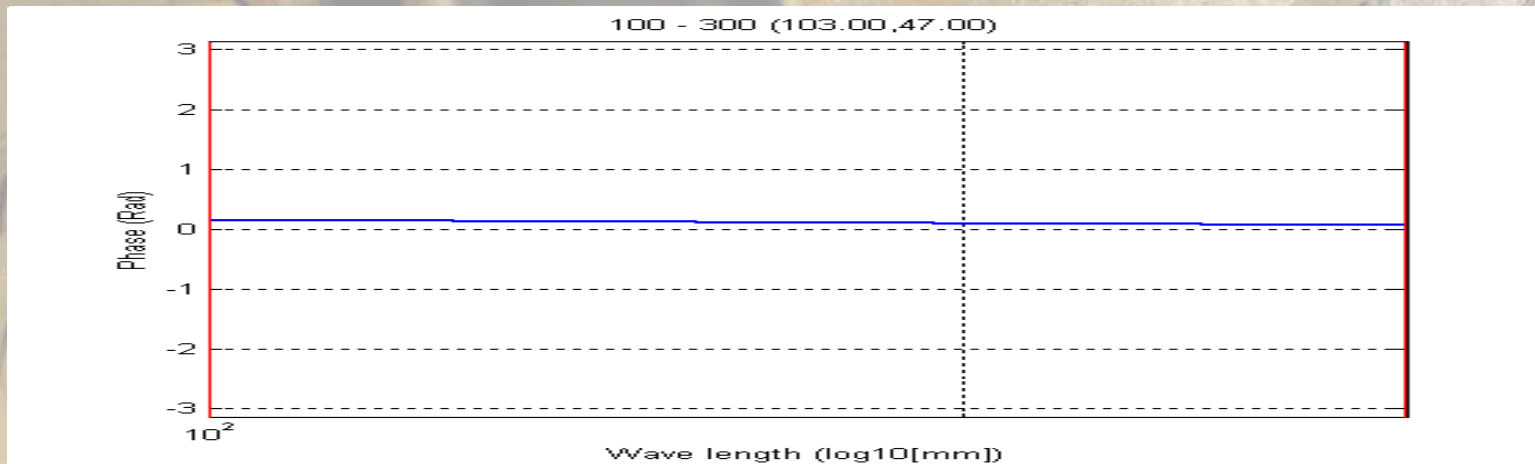
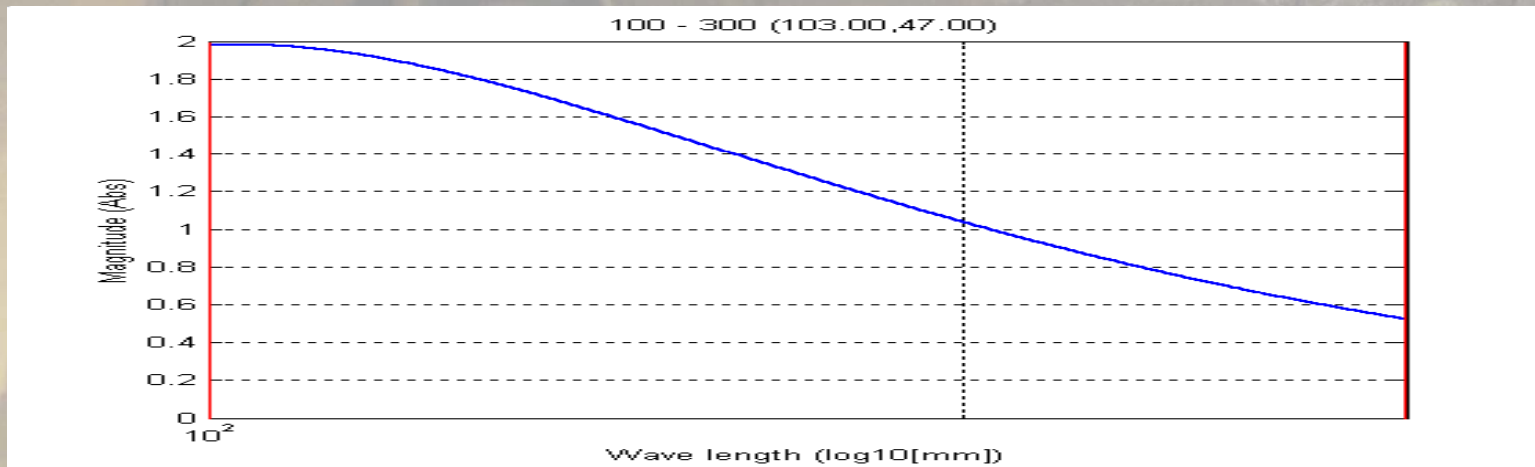
# PROFILO FILTRATO (11/15) *Profile filter*

Funzione di trasferimento (30 – 100 mm)



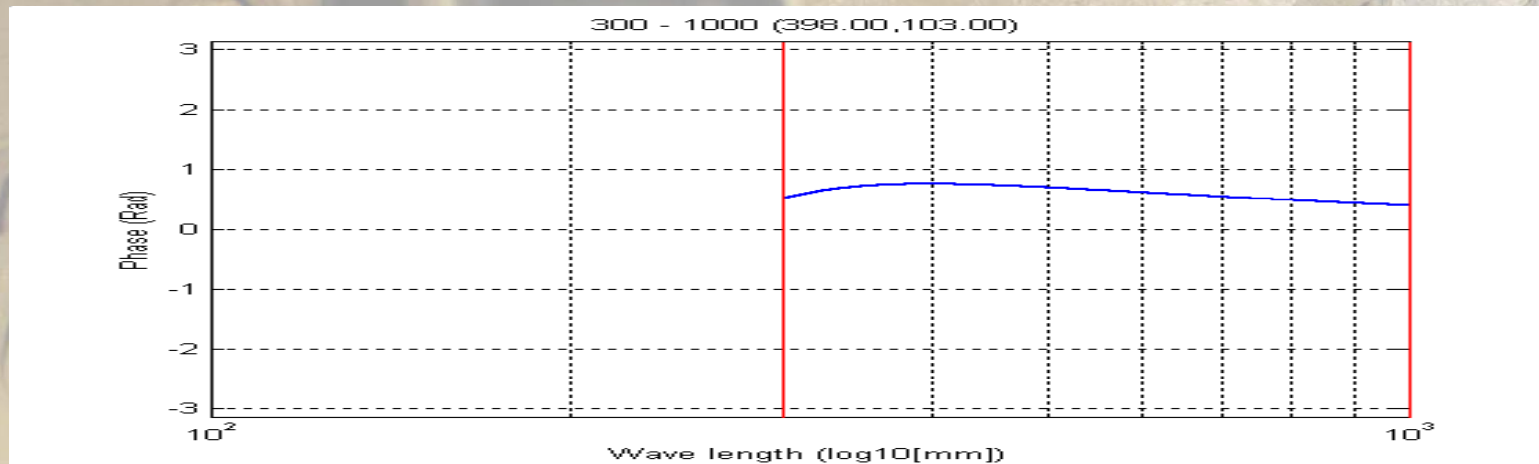
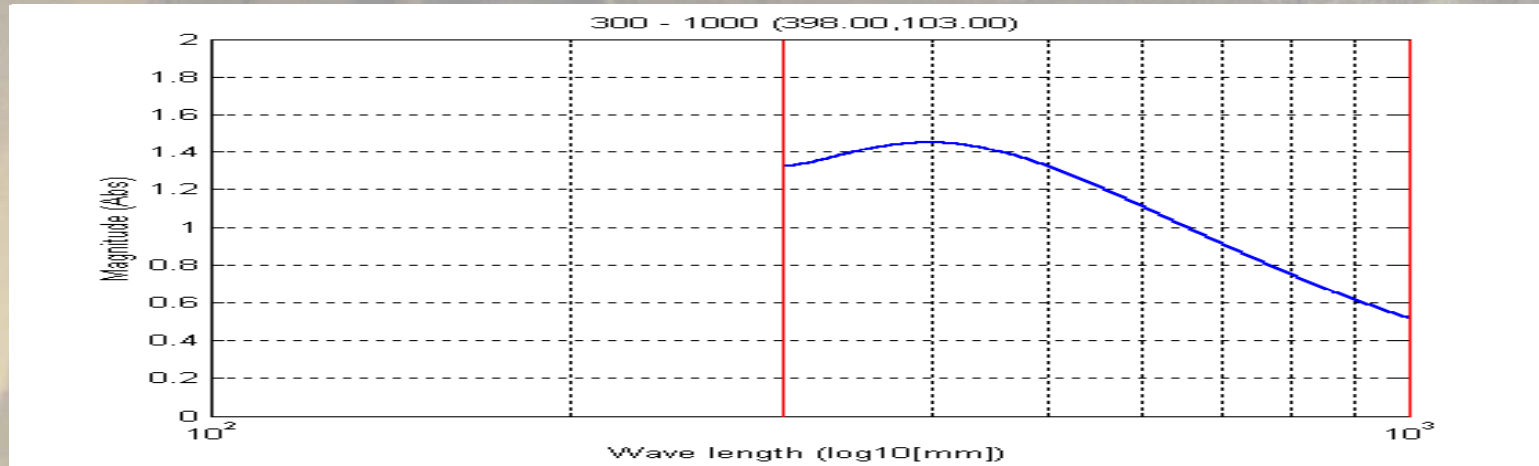
# PROFILO FILTRATO (12/15) *Profile filter*

Funzione di trasferimento (100 – 300 mm)

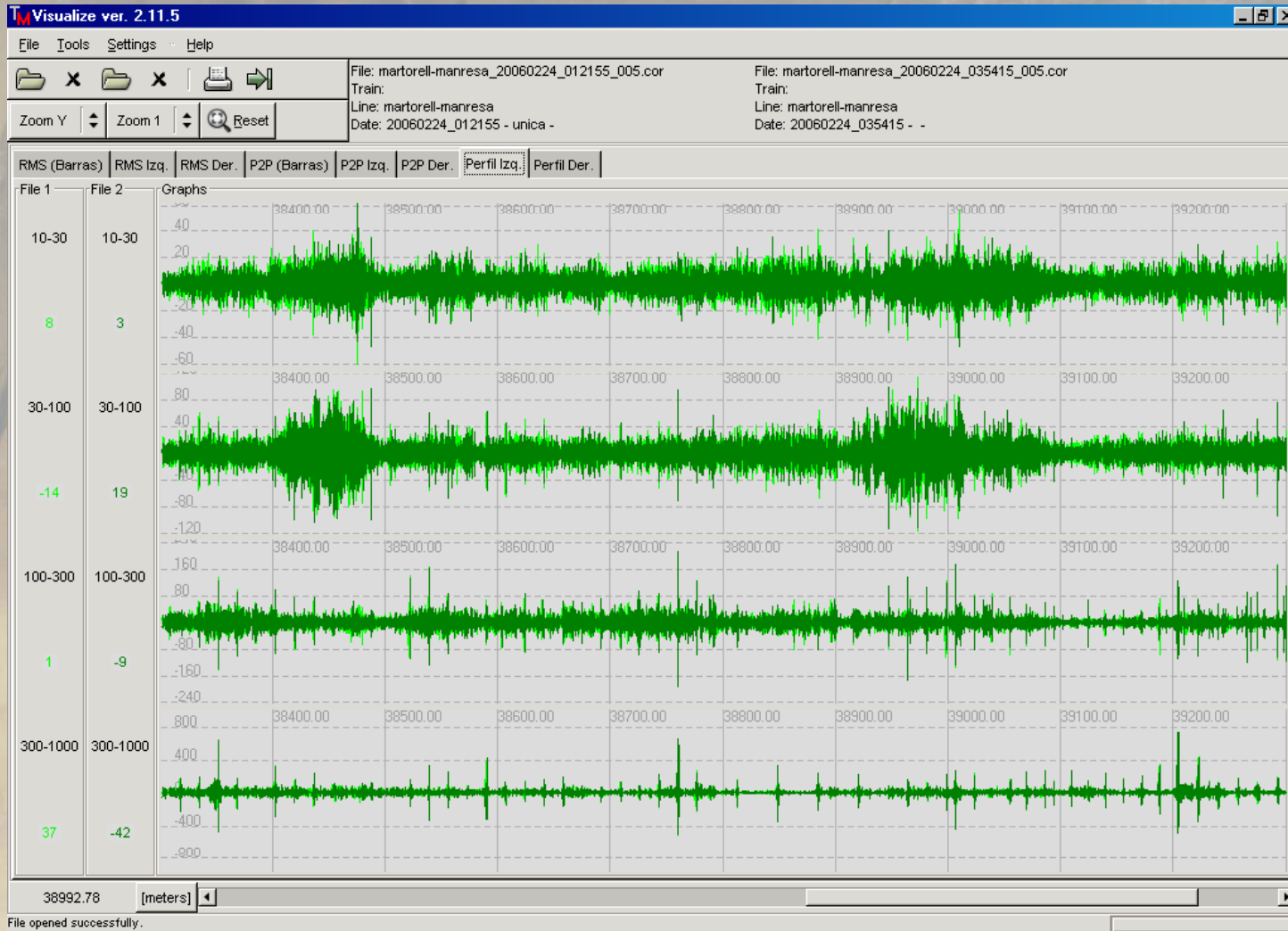


# PROFILO FILTRATO (13/15) *Profile filter*

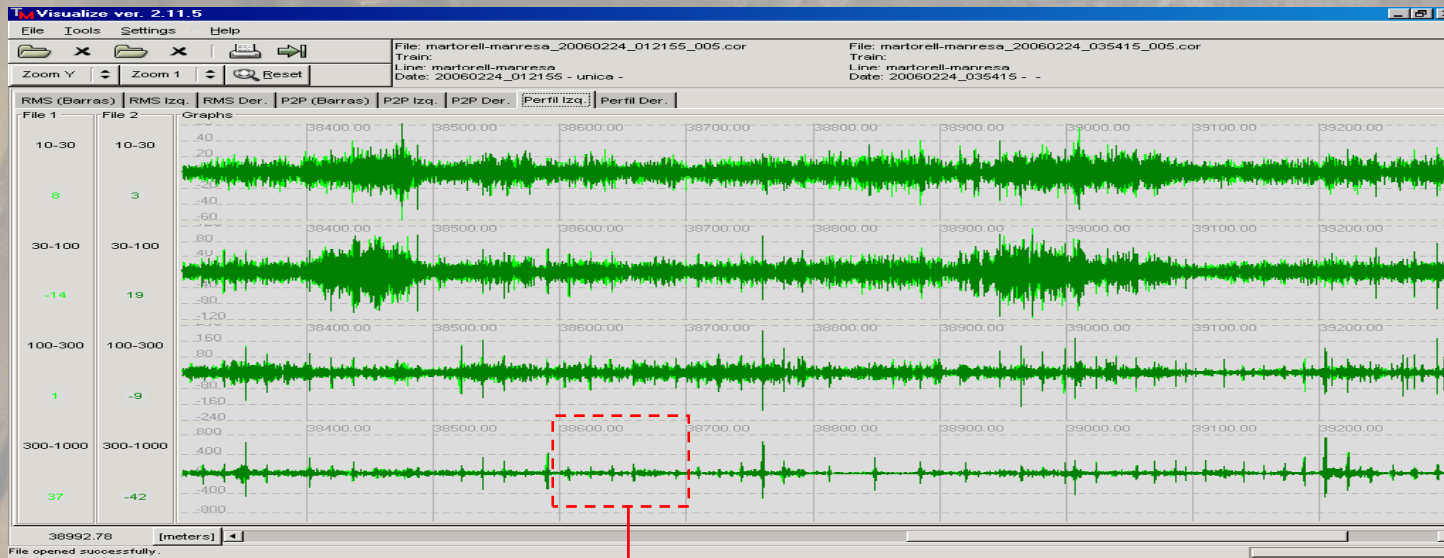
Funzione di trasferimento (300 – 1000 mm)



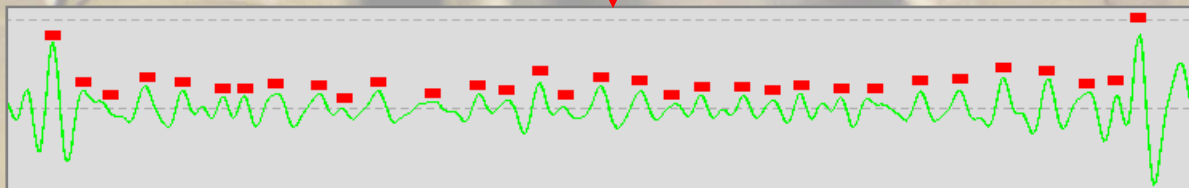
# PROFILO FILTRATO (14/15)



# PROFILO FILTRATO (15/15)



GIUNTI



TRAVERSINE

# ANALISI DEI DATI (1/3)

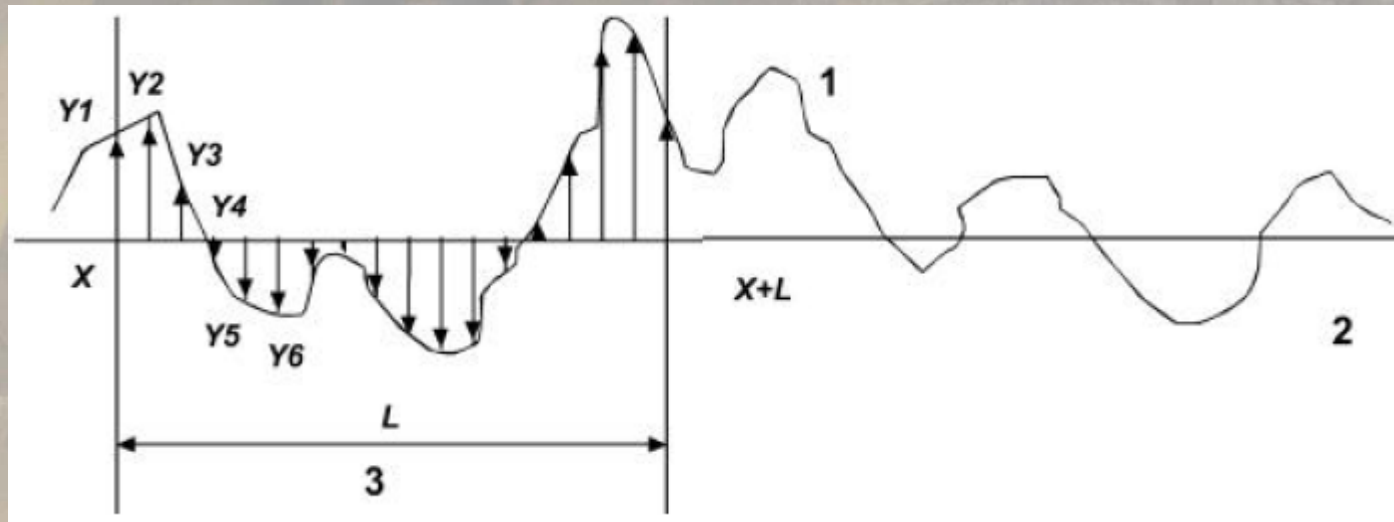
- Ampiezza della media mobile Root-Mean-Square (RMS)
- Ampiezza della media mobile Peak-To-Peak (P2P)
- Esempi

## AMPIEZZA RMS (1/4)

Ampiezza Root Mean Square (RMS) di un profilo calcolato come una funzione quasi continua della distanza lungo la rotaia; la media è calcolata per quella sezione di profilo che giace all'interno di una finestra di specificata lunghezza; la funzione della distanza è calcolata muovendo la finestra lungo il profilo di una distanza pari al passo di campionamento.



# AMPIEZZA RMS (2/4)



## Key

- 1 Profile
- 2 Line of average amplitude
- 3 Window

## AMPIEZZA RMS (3/4)

L'ampiezza della media mobile RMS del profilo  $y(x)$  in una finestra di lunghezza  $L$  è

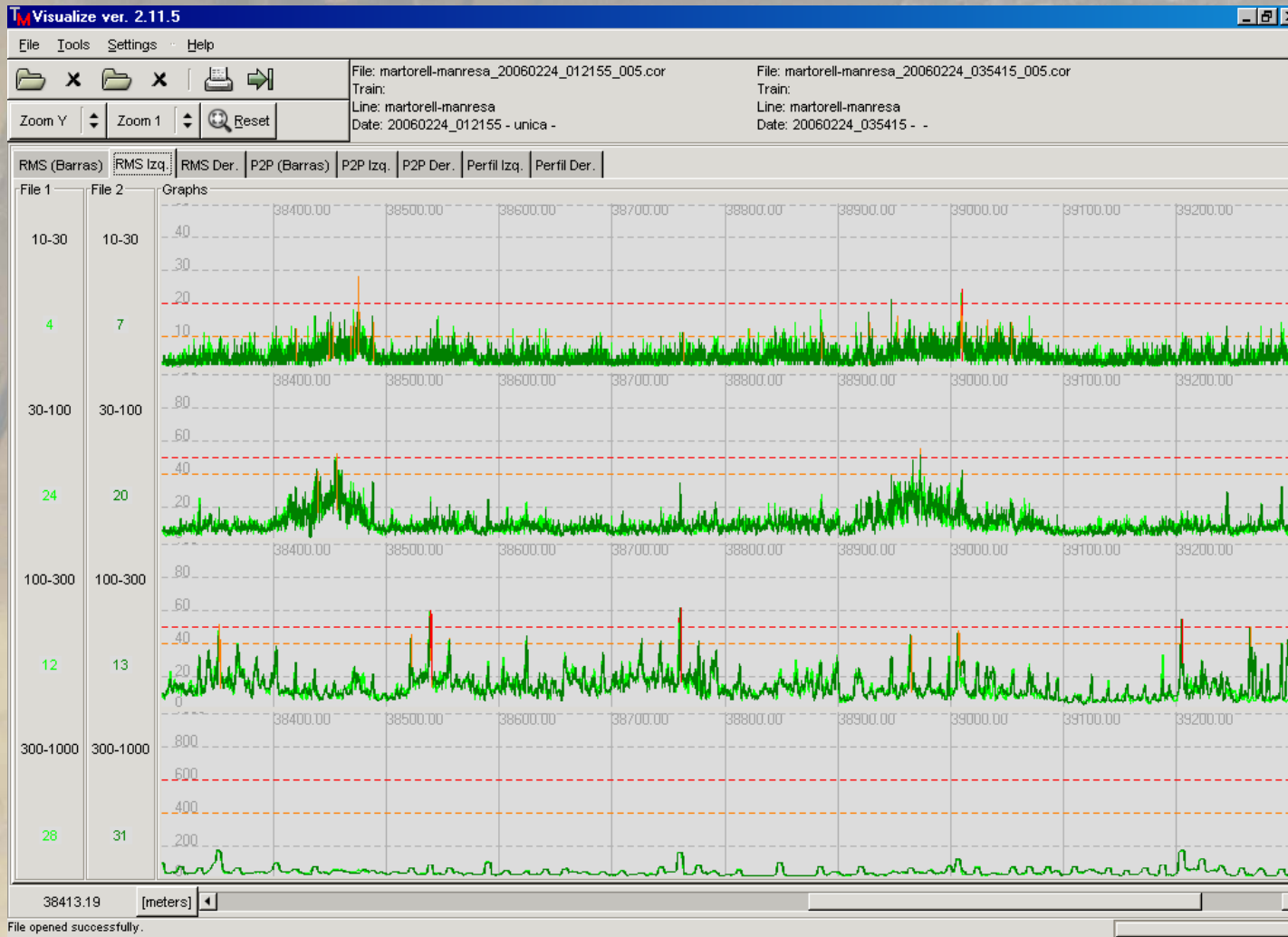
$$RMS(x, L) = \left( \frac{1}{L} \int_x^{x+L} y^2(x) dx \right)^{1/2}$$

Se una rappresentazione digitale del profilo è usata, con valori  $y(x)$ ,  $y(x+\Delta x)$ ,  $y(x+2\Delta x)$  etc., allora l'ampiezza RMS del profilo digitalizzato è

$$RMS(x, L) = \left( \sum_{i=1}^{i=n} y_i^2 / (n - 1) \right)^{1/2}$$

dove ci sono  $n$  campioni di profilo  $y(x)$  dentro la finestra di lunghezza  $L$ .

# AMPIEZZA RMS (4/4)



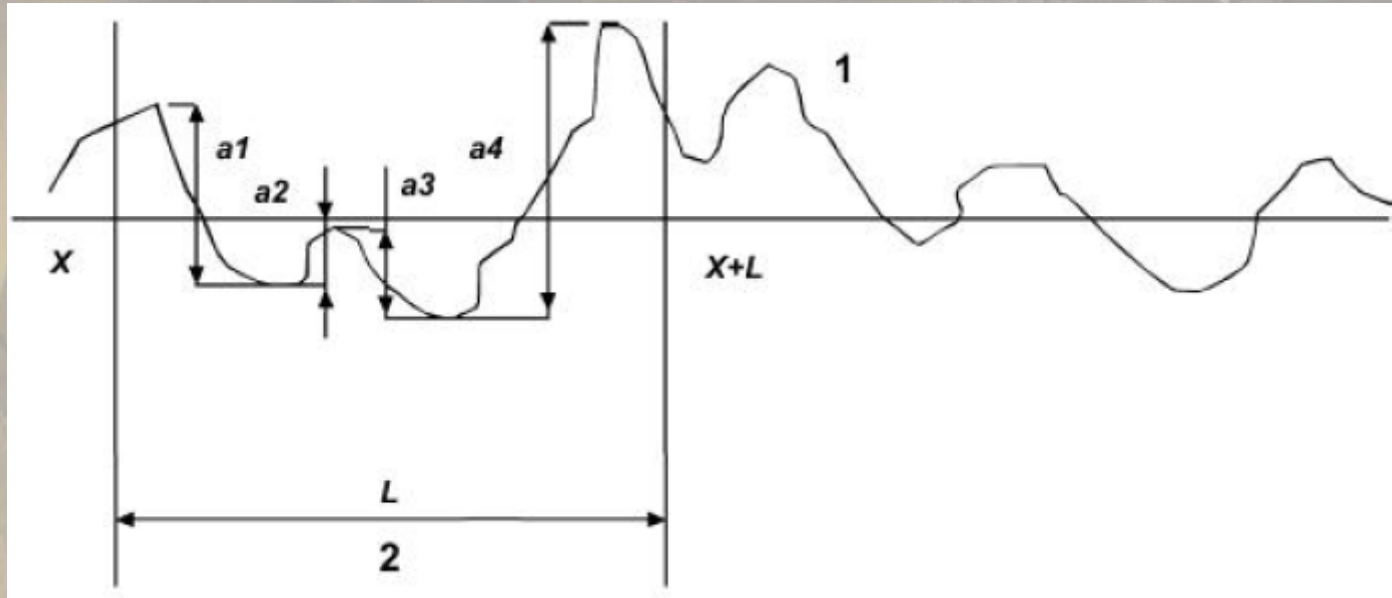
## ANALISI DEI DATI (2/3)

- Ampiezza della media mobile Root-Mean-Square (RMS)
- Ampiezza della media mobile Peak-To-Peak (P2P)
- Esempi

## AMPIEZZA P2P (1/4)

Profondità media delle singole irregolarità in un profilo calcolato come una funzione quasi continua della distanza lungo la rotaia; la profondità è calcolata per quella sezione di profilo che giace all'interno di una finestra di specificata lunghezza; la funzione della distanza è calcolata muovendo la finestra lungo il profilo di una distanza pari al passo di campionamento.

# AMPIEZZA P2P (2/4)



## Key

- 1 Profile
- 2 Window

## AMPIEZZA P2P (3/4)

L'ampiezza della media mobile P2P,  $PP(x,L)$  in una finestra di lunghezza  $L$  è

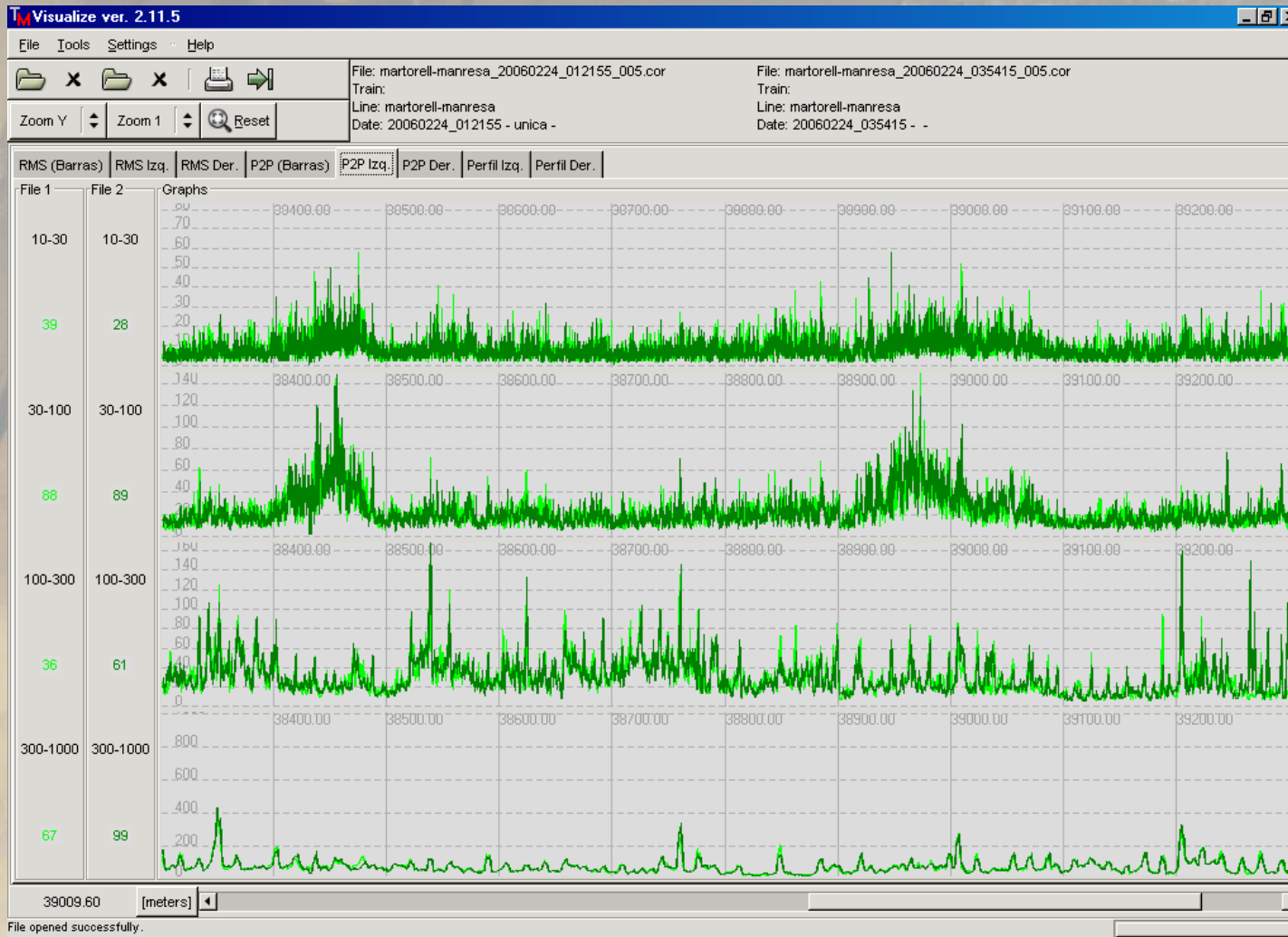
$$PP(x,L) = (a_1+a_2+\dots+a_n)/n$$

dove ci sono  $n$  irregolarità dentro la finestra di lunghezza  $L$ .

Nell'esempio mostrato:

$$PP(x,L) = (a_1+a_2+a_3+a_4)/4$$

# AMPIEZZA P2P (4/4)

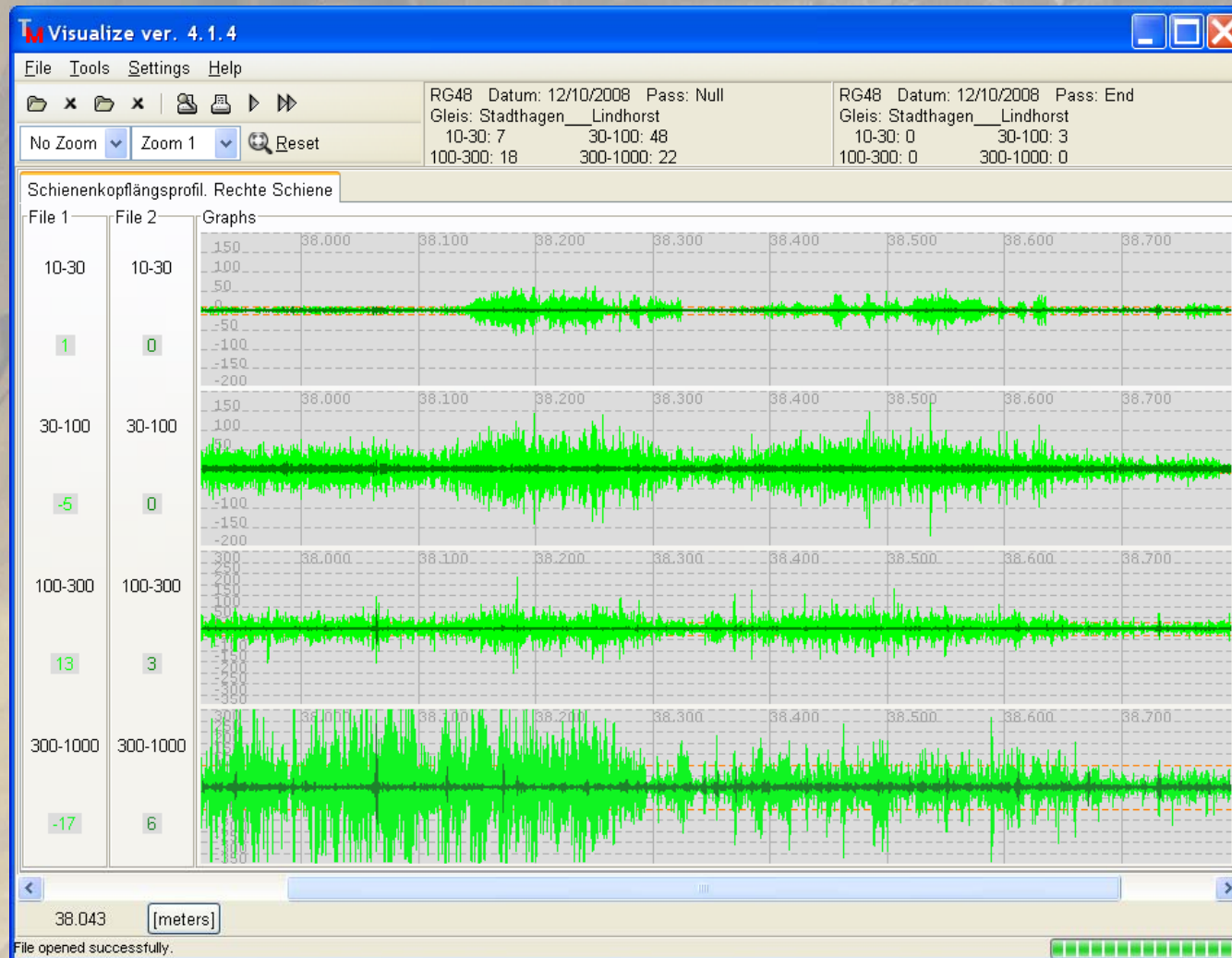




## ANALISI DEI DATI (3/3)


- Ampiezza della media mobile Root-Mean-Square (RMS)
- Ampiezza della media mobile Peak-To-Peak (P2P)
- Esempi

# ESEMPIO DI RAIL GRINDING



# CERTIFICAZIONE DB

Nel 2008, Deutschan Bahn ha certificato 2 sistemi di misura della Rail Corrugation di Tecnogamma come strumenti approvati per la verifica dei lavori di molatura e riprofilatura della rotaia.

 DB Mobility Networks Logistics

Deutsche Bahn AG • Mainzer Landstraße 181 • 60327 Frankfurt am Main

TECNOGAMMA S.p.A.  
Laser and vision systems  
Vicolo Ongarie, 13  
I - 31050 Badoere di Morgano  
ITALIEN

Deutsche Bahn AG  
Systemverbund Bahn  
DB Systemtechnik  
Oberbautechnik - VTZ 115  
Mainzer Landstraße 181  
60327 Frankfurt am Main  
www.db.de

☎ 3, 4, 5, 6 bis Galluswarte  
📮 11, 21 bis Speyerer Straße

Dagmar Mättig  
Telefon 069 265 45201  
Telefax 069 265 45219  
dagmar.maettig@bahn.de  
Zeichen 08-VTZ115-Awf-Me-101-2008


02.07.2008

Anwenderfreigaben Me 101/2008 und Me 102/2008 für die Schienenkopfquerprofilmess-  
einrichtung auf den Schienenschleifmaschinen SPML 16-2 und RG 48

Sehr geehrte Damen und Herren,  
die oben genannten und als Anhang beigefügten Anwenderfreigaben übersenden wir Ihnen zur  
weiteren Verwendung.

Mit freundlichen Grüßen  
Deutsche Bahn AG

*i.A.*  
*Mättig*

 Technische Bereiche  
Deutsche Bahn AG  
Sitz Berlin  
Registergericht  
Berlin-Charlottenburg  
HRB 50 000  
USt-IdNr.: DE 811569869

Vorsitzender des  
Aufsichtsrates:  
Dr. Werner Müller

Vorstand:  
Hartmut Mehndorf,  
Vorstand

S Stefan Garber  
Norbert Hansen  
Diethelm Sack  
Dr. Otto Wisshau

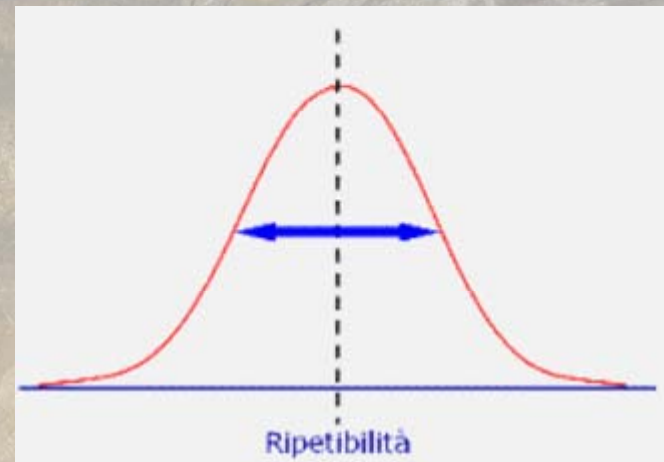
# MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS (MSA) (1/4)

L'MSA è uno strumento per verificare le performance dei sistemi di misura attraverso:

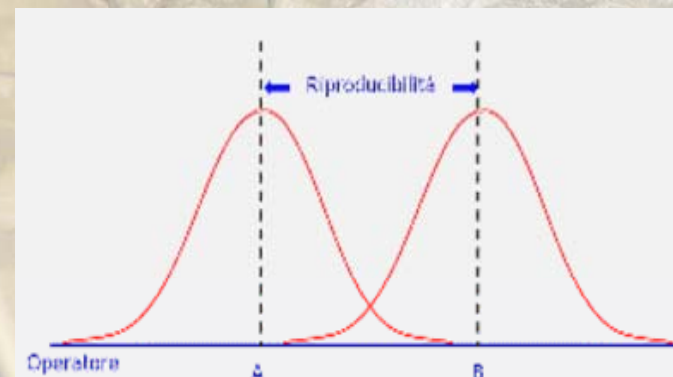
- lo studio della ripetibilità e della riproducibilità delle misure (*Gage R&R*)
- lo studio della linearità e dello scostamento delle misure (*Gage Linearity & Bias*)
- lo studio della stabilità del sistema.

# MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS (MSA) (2/4)

**Ripetibilità:** grado di concordanza tra una serie di misure di uno stesso misurando, quando le singole misurazioni sono effettuate lasciando immutate le condizioni di misura.



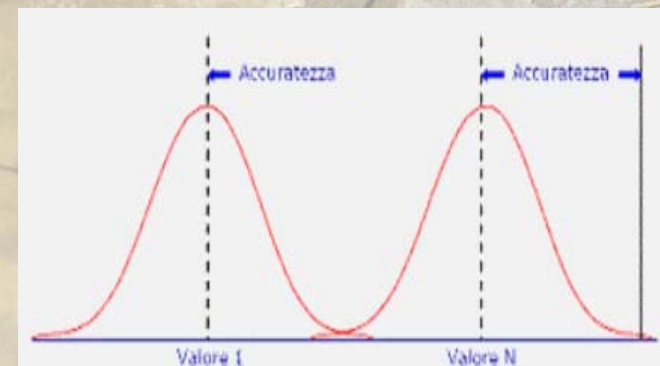
**Riproducibilità:** grado di concordanza tra una serie di misure di uno stesso misurando, quando le singole misurazioni sono effettuate cambiando le condizioni di misura.



# MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS (MSA) (3/4)

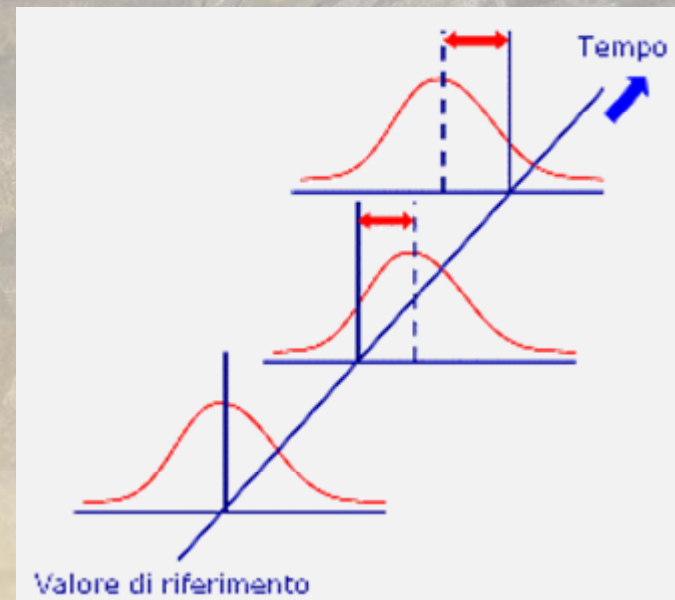
**Accuratezza (Bias):** grado di corrispondenza del dato teorico, desumibile da una serie di valori misurati, con il dato reale o di riferimento

**Linearità:** variazione dell'accuratezza nel range operativo.



# MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS (MSA) (4/4)

**Stabilità:** variazione delle misurazioni nel tempo.



# MEASUREMENT SYSTEM CAPABILITY (MSC) - SIX SIGMA (1/3)

*Six Sigma* indica un programma di gestione della qualità basato sul controllo della varianza, (indicata con la lettera greca sigma  $\sigma$ ) che ha lo scopo di portare la qualità di un prodotto o di un servizio ad un determinato livello, particolarmente favorevole per il consumatore.

L'obiettivo della metodologia è di raggiungere un tale controllo del processo da avere soltanto 3,4 parti difettose per milione (0,000034%).



# MEASUREMENT SYSTEM CAPABILITY (MSC) - SIX SIGMA (2/3)

La *capacità del processo* (process capability) è la variabilità del processo in riferimento alle specifiche. Più un processo è bilanciato relativamente a ripetibilità degli output e coerenza dei parametri di riferimento, più alta è la capacità.

L'*indice della capacità del processo* è un indice statistico della misura della *capacità del processo*.

# MEASUREMENT SYSTEM CAPABILITY (MSC) - SIX SIGMA (3/3)

$C_p$  è un indice della capacità del processo utilizzato quando si vuole analizzare l'attitudine di un processo.

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6 \times \hat{\sigma}}$$

Situazione	Valore raccomandato
Processo esistente	1,33
Processo nuovo	1,50
Parametro critico e di sicurezza per un processo esistente	1,50
Parametro critico e di sicurezza per un processo nuovo	1,67
Six Sigma	2,00

**Grazie per  
l'attenzione**