



SIIV

4° CORSO DI ALTA FORMAZIONE E RICERCA

Le pavimentazioni stradali flessibili

11-15 settembre 2006

CONTROLLI STRADALI E AEROPORTUALI

Prove di tipo prestazionale

Massimo Losa

Università di Pisa

Dipartimento di Ingegneria Civile



Sommario

- **Introduzione**
- **Regolarità**
- **Macrotessitura**
- **Aderenza**
- **Spunti di discussione**



I capitolati di tipo prestazionale

- Indicazioni sui tipi di materiali, la loro composizione, modalità di confezionamento e posa in opera ai soli fini del progetto della miscela
- L'accettazione del prodotto finito è subordinato al controllo di alcuni **parametri (prestazionali)**
- Le norme contrattuali fissano le soglie di accettazione e le **penali**



I parametri normalmente verificati

- Spessori degli strati con GPR
- Moduli degli strati da prove con FWD
- Regolarità longitudinale (IRI)
- Macrotessitura (HS, MPD)
- Aderenza (BPN, CAT)



Principali problematiche

- Strumentazione per il rilievo
 - Costo elevato
 - Gestione
 - Affidabilità delle misure
 - Risoluzione
 - Accuratezza
 - Ripetibilità delle misure
 - Errori
 - Sistematici
 - Casuali
- Procedure per il rilievo
- Procedure di elaborazione dei dati



progetto

LEOPOLDO



Sicurezza e
Compatibilità Ambientale
nella viabilità ordinaria

**LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE,
LA COSTRUZIONE ED IL CONTROLLO DELLE
PAVIMENTAZIONI STRADALI DELLA VIABILITÀ REGIONALE**



PROVINCIA DI MASSA CARRARA
 S.R.T. 445 della Garfagnana Km
 63+345/63+551
 Loc. Codiporte



PROVINCIA DI PISTOIA
 S.R.T. 66 Pistoiese Km
 53+799/54+239
 Loc. Piastre



PROVINCIA DI FIRENZE
 S.R.T 302 Faentina km 27+200/27+500
 Loc. Faltona



PROVINCIA DI LUCCA
 S.R.T. 439 Sarzanese-Valdera Km
 22+582/23+082
 Loc. Maggiano




PROVINCIA DI PISA
 S.R.T. 439 Sarzanese – Valdera Km
 79+037/79+531
 Loc. La Sterza

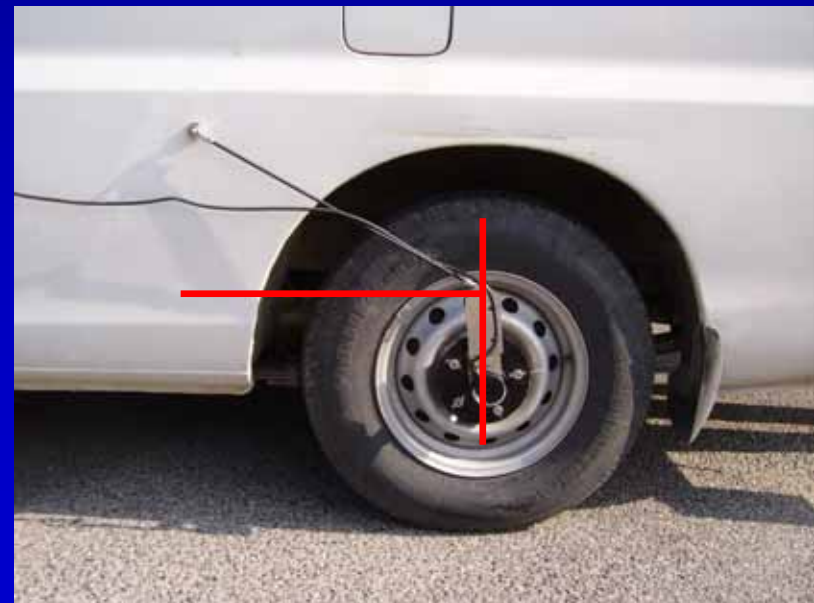


PROVINCIA DI AREZZO
 S.R.T. 71 Umbro Casentinese km 157
 Loc. La Pienza




Regolarità e macrotestitura

- Profilometri inerziali
 - Veicolo dedicato (High-speed profilers)
 - Strumentazione portatile (Lightweight profilers)
 - Classificazione PrEN 13036-6
- Principali componenti
 - Sensore/i laser per la misura delle altezze
 - Accelerometro/i
 - Odometro
 - Unità di acquisizione (processore+ computer)

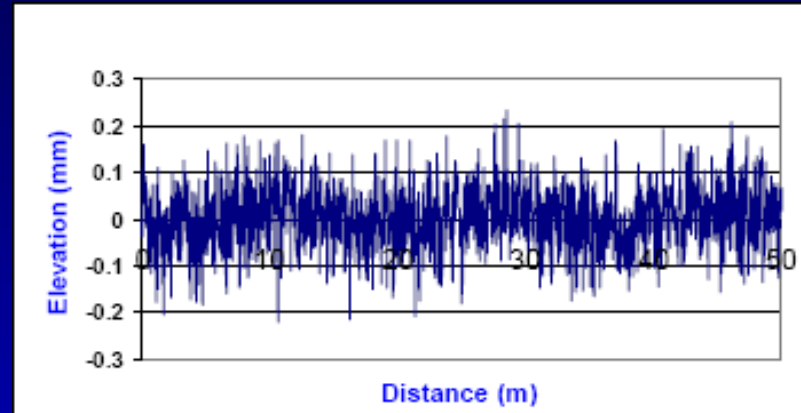


Fattori che influiscono sulle misure

- Strumentazione
 - Checks propedeutici per il controllo dei sensori laser e degli accelerometri
 - Verifica dell'accuratezza dei sensori – Blocco di altezza nota (25 mm) 10%
 - Calibrazione dell'odometro

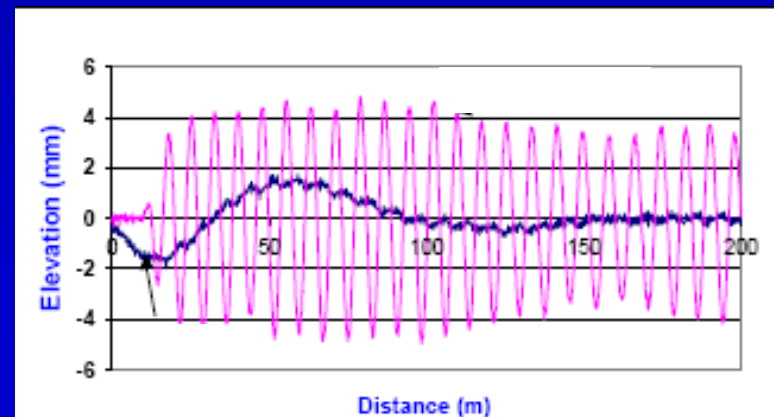
Registrazione statica

IRI < 0.08 mm/m su 150 m



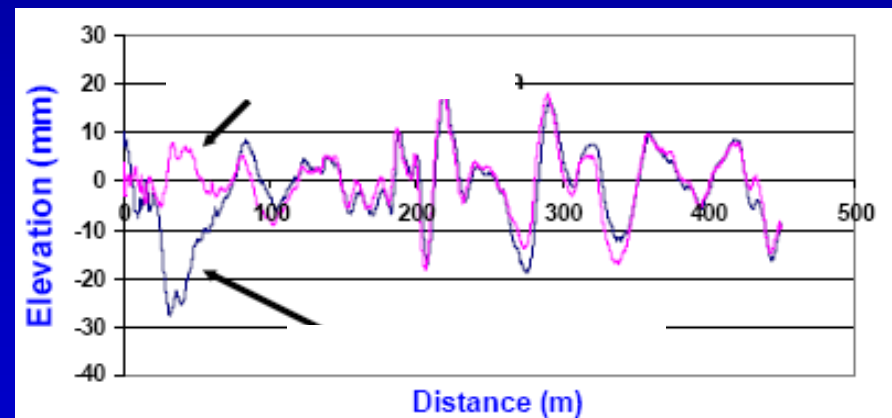
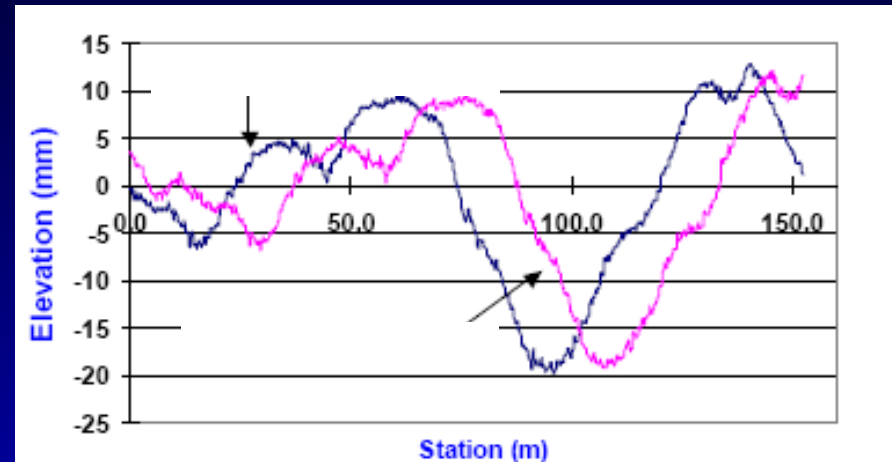
Registrazione dinamica

Δ IRI < 0.10 mm/m su 150 m



Fattori che influiscono sulle misure

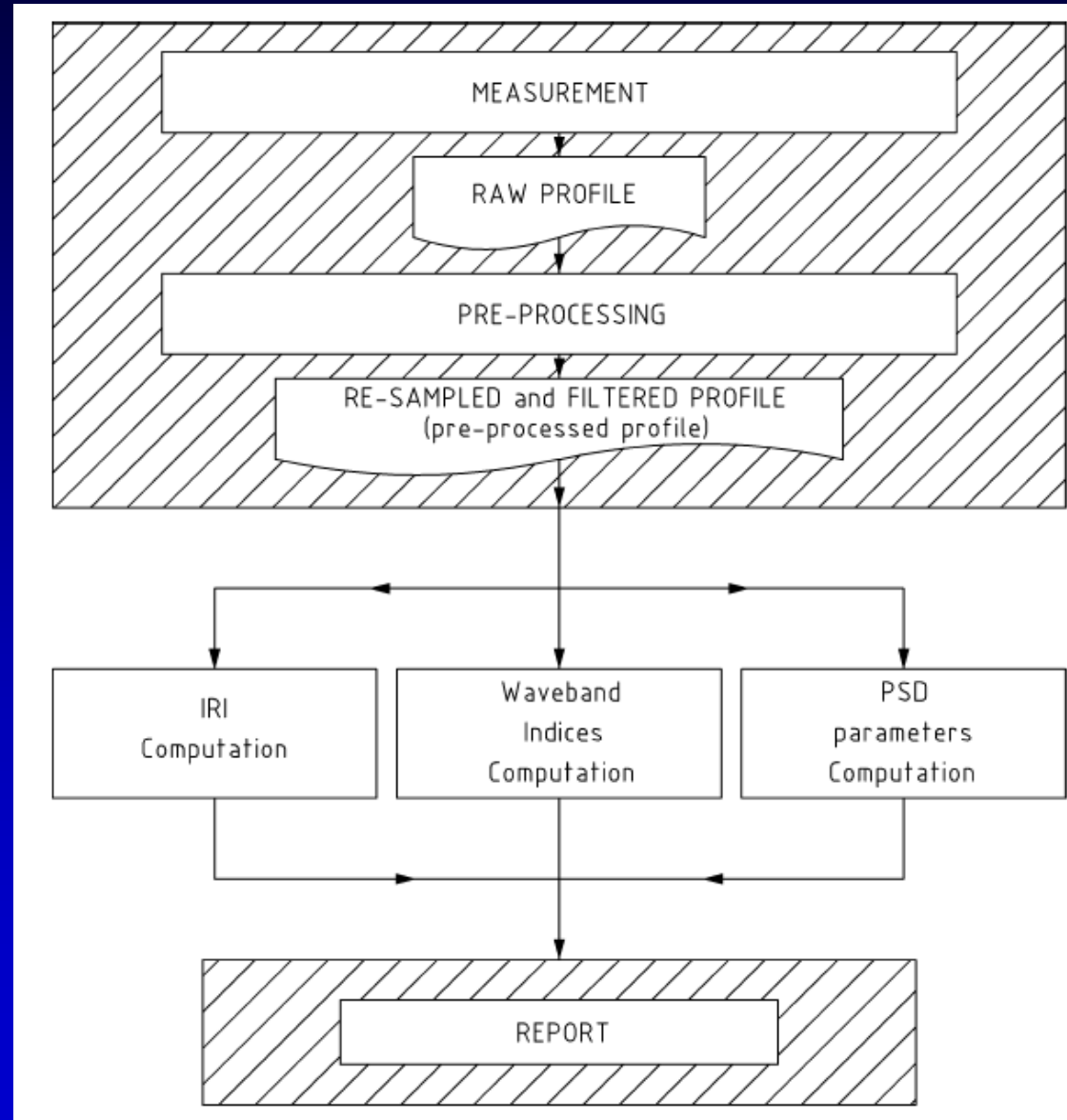
- Procedura operativa
 - Posizione di inizio del rilievo
 - Velocità del rilievo (costante e adeguata)
 - Tratto iniziale di transitorio (60-70 m)
 - Posizionamento trasversale dei sensori
- Condizioni ambientali
- Superficie contaminata



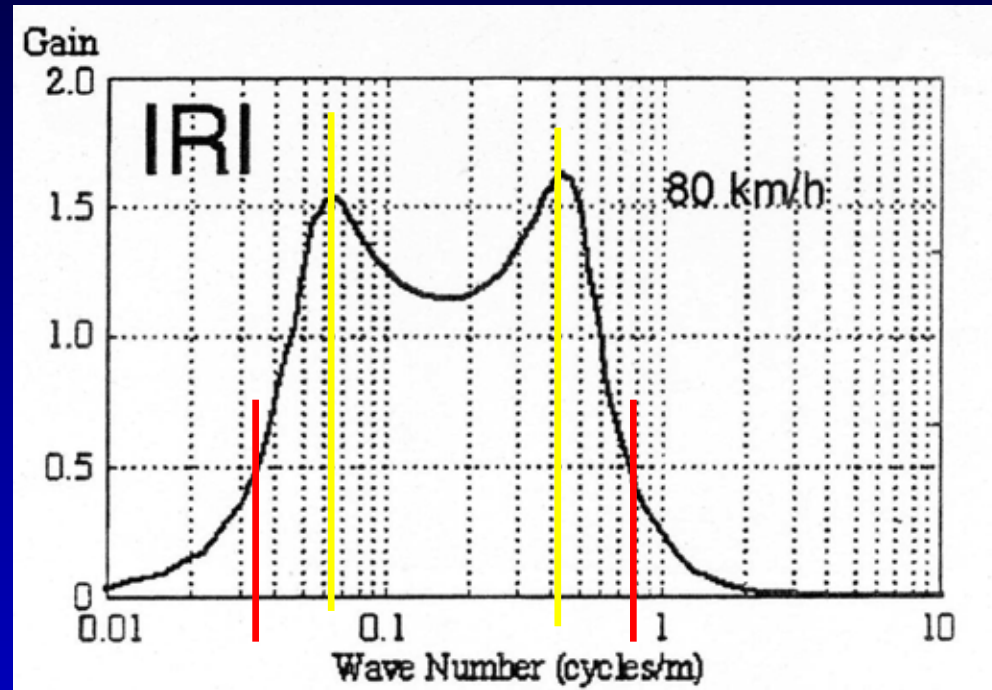
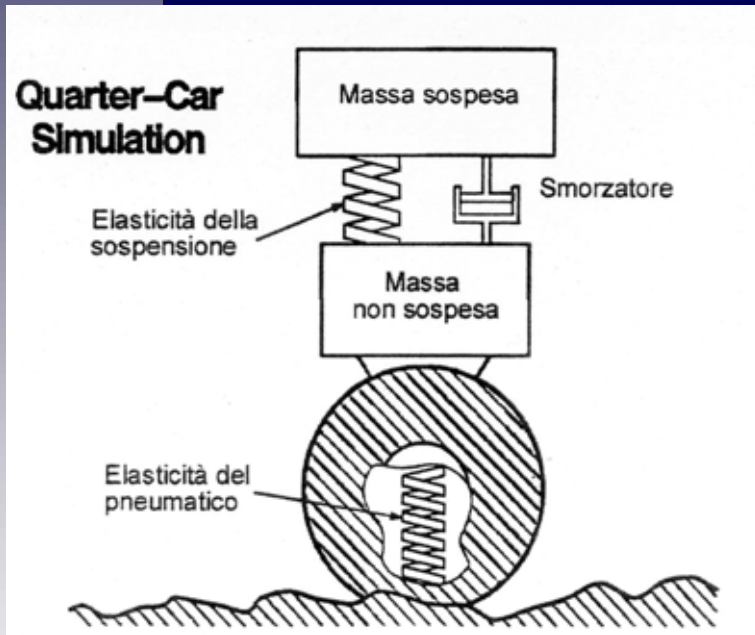
Analisi dei dati

Campionamento
standard = 0.05 m

Lunghezze d'onda
tra 0.781 e 50 m



Base di computazione IRI



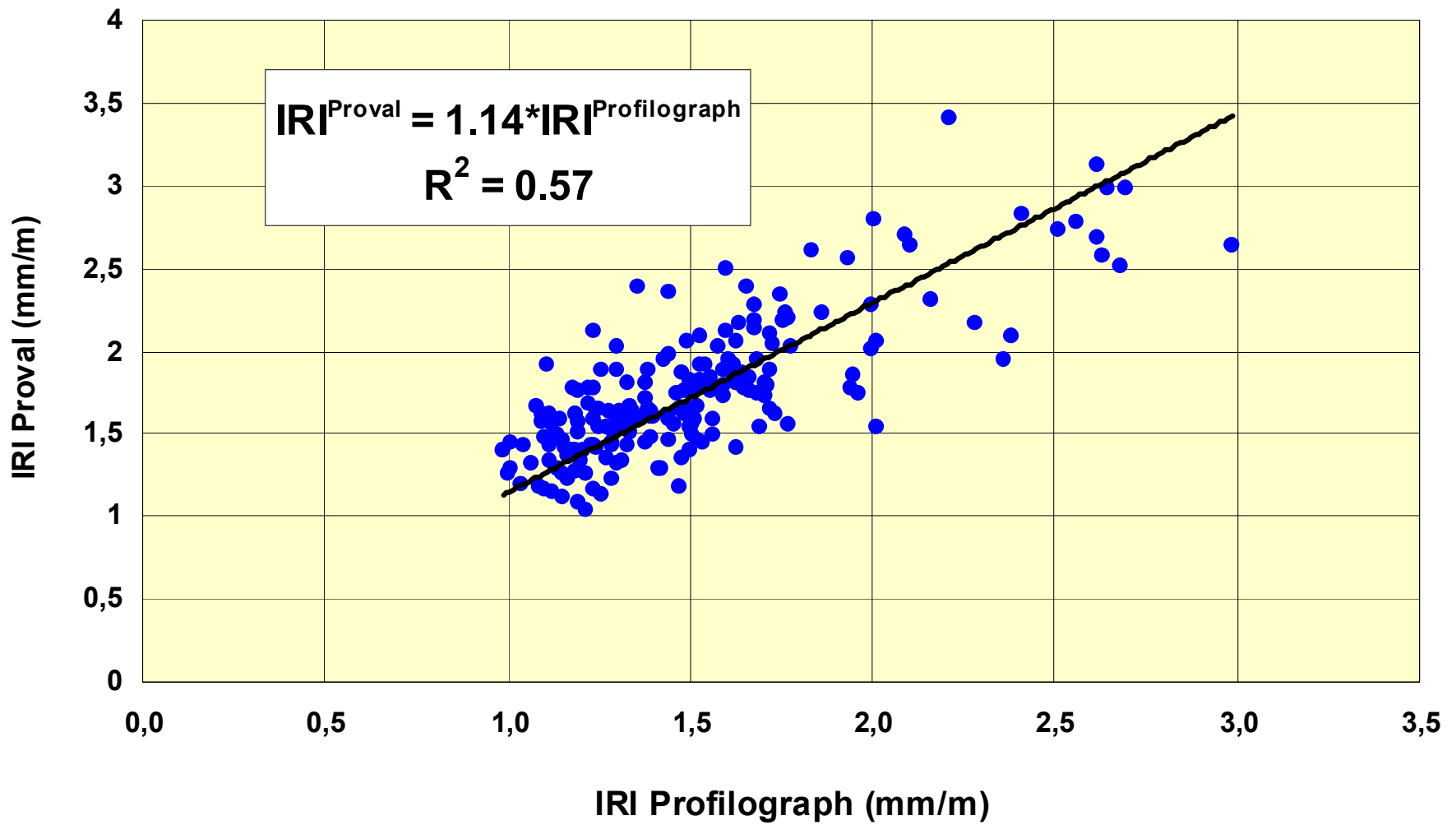
$$IRI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |s_{s,i} - s_{u,i}|$$

- 100 m

Picchi alle lunghezze d'onda pari a 15 e 2.4 m

Influenzato da lunghezze d'onda comprese tra 30 e 1.25 m

Regolarità



Calcolo PSD

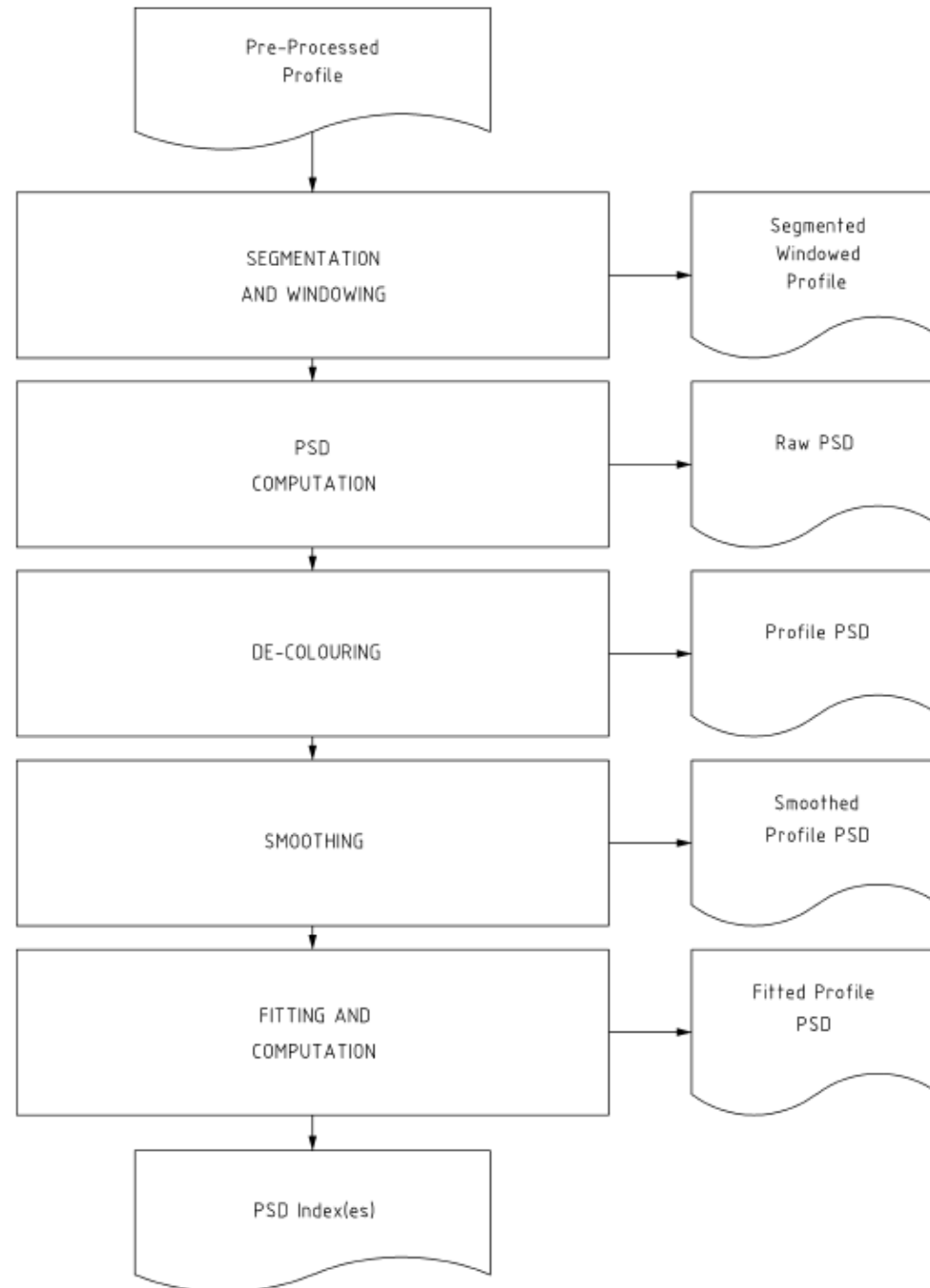
L=102.4 m

N=1024

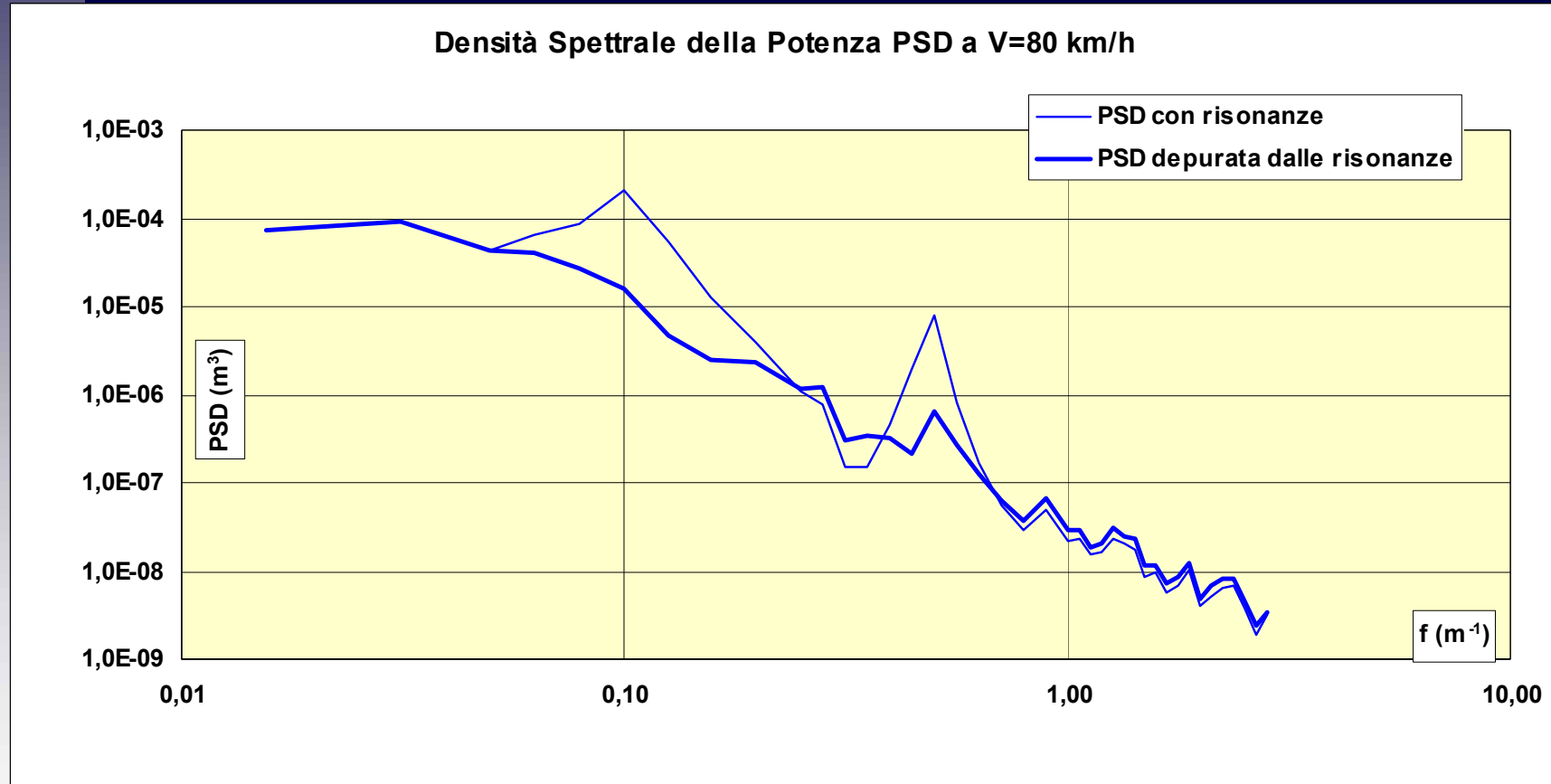
$$G_k^+ = \frac{1}{c^2 n_{\max} N} |\bar{Z}_k|^2$$

$$G_k = \frac{G_k^+}{|V(n_k)|^2}$$

$$G(n) = G(n_0) \times \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-W}$$

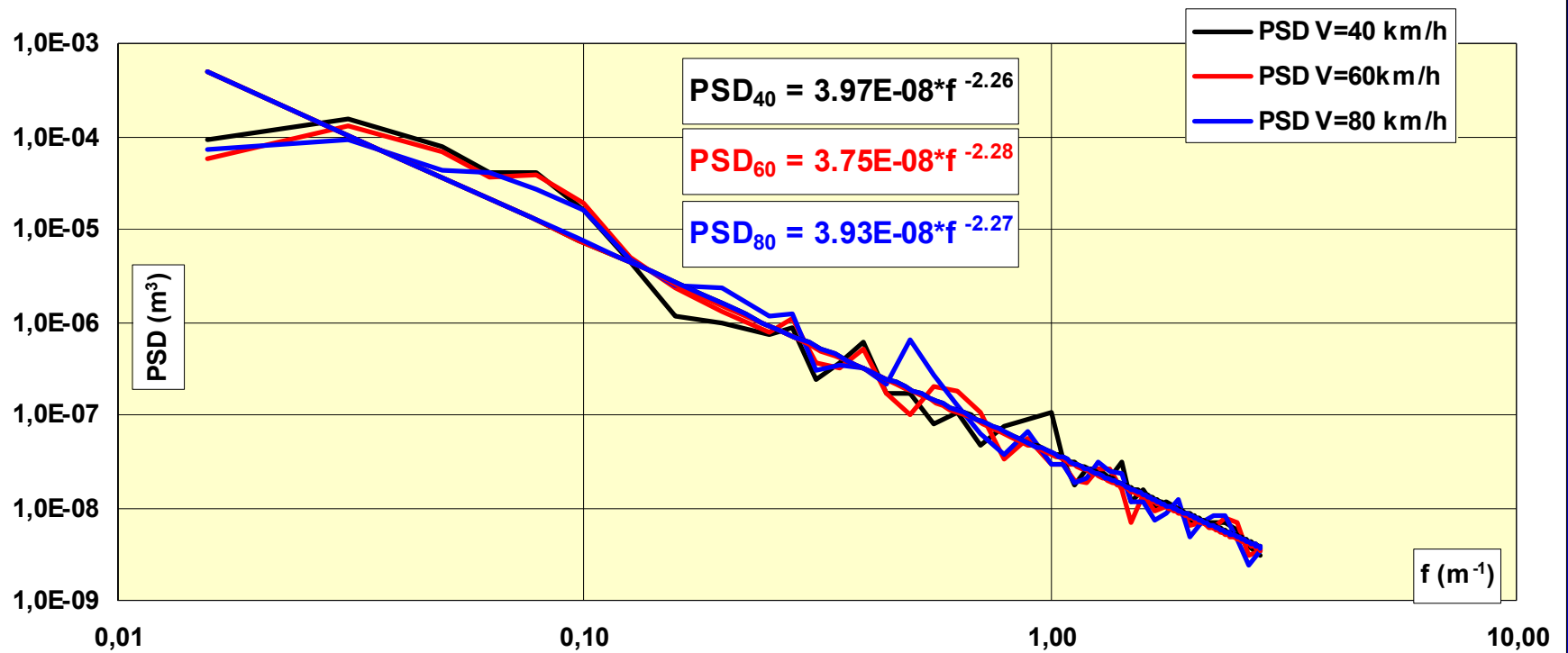


PSD del profilo

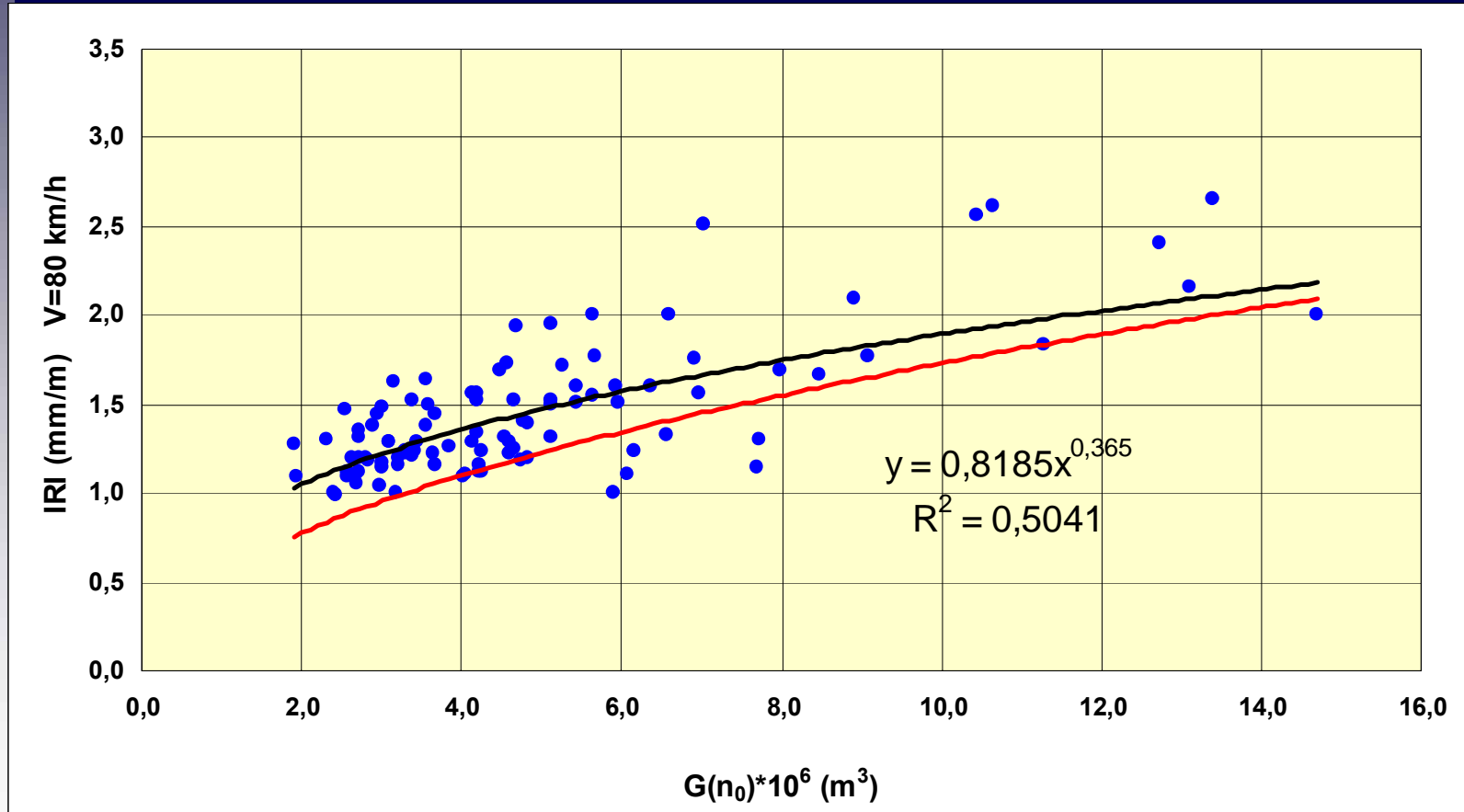


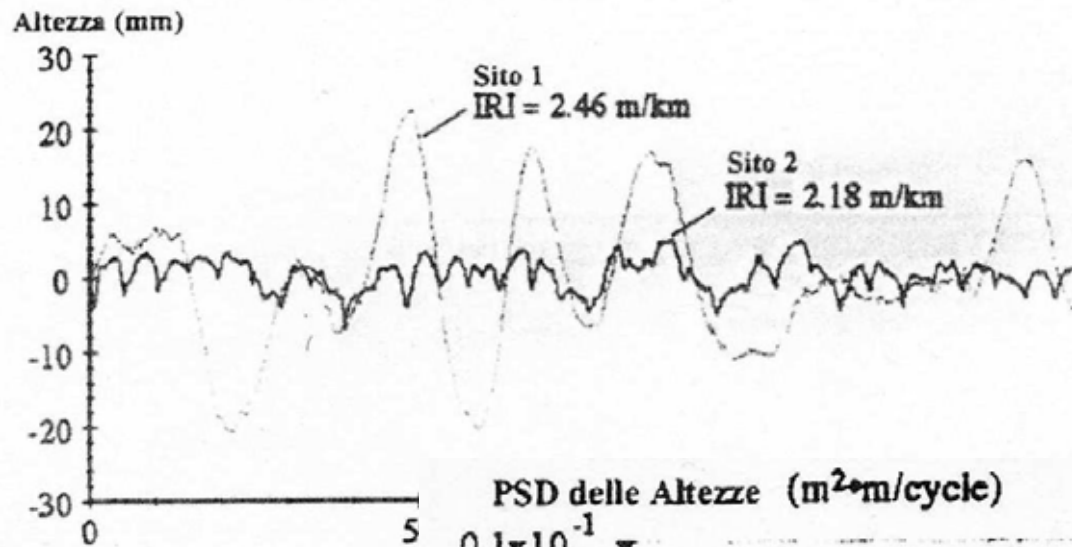
Regolarità

Densità Spettrale della Potenza PSD dopo l'eliminazione delle risonanze

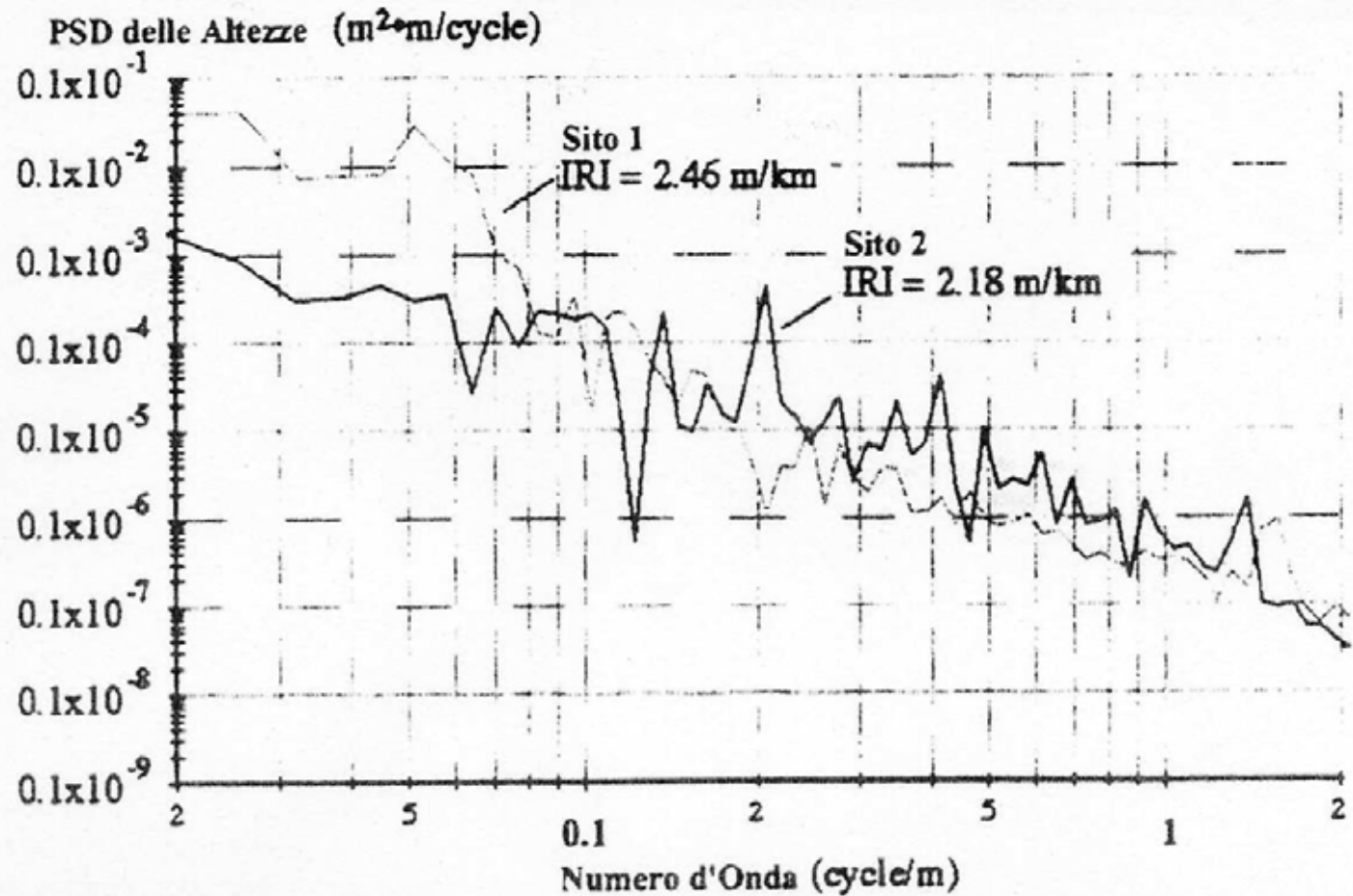


Relazione tra IRI e PSD

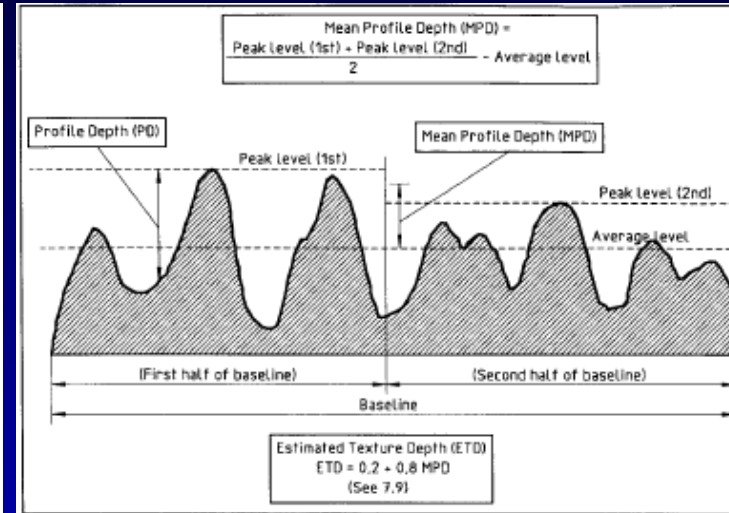
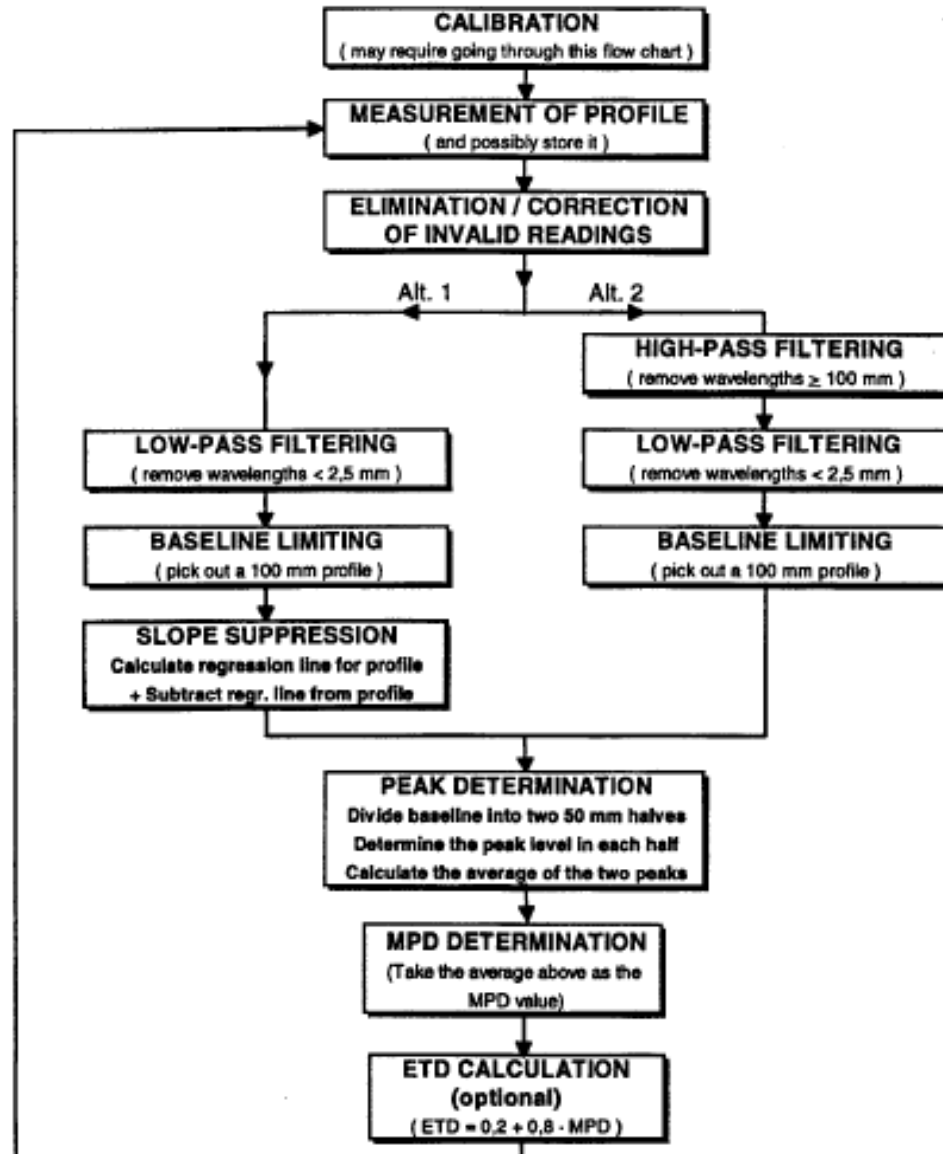




Limiti dell'IRI



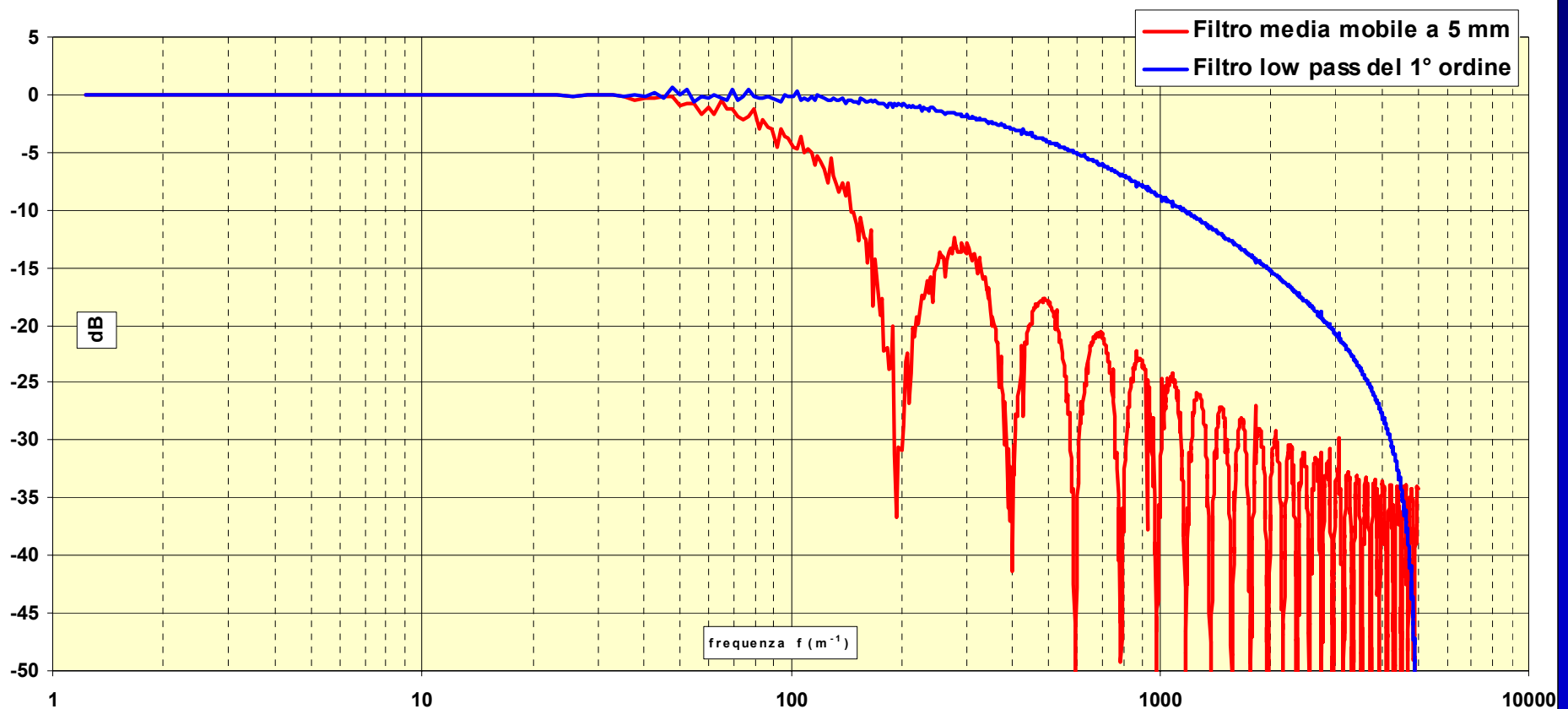
Procedura di calcolo del MPD



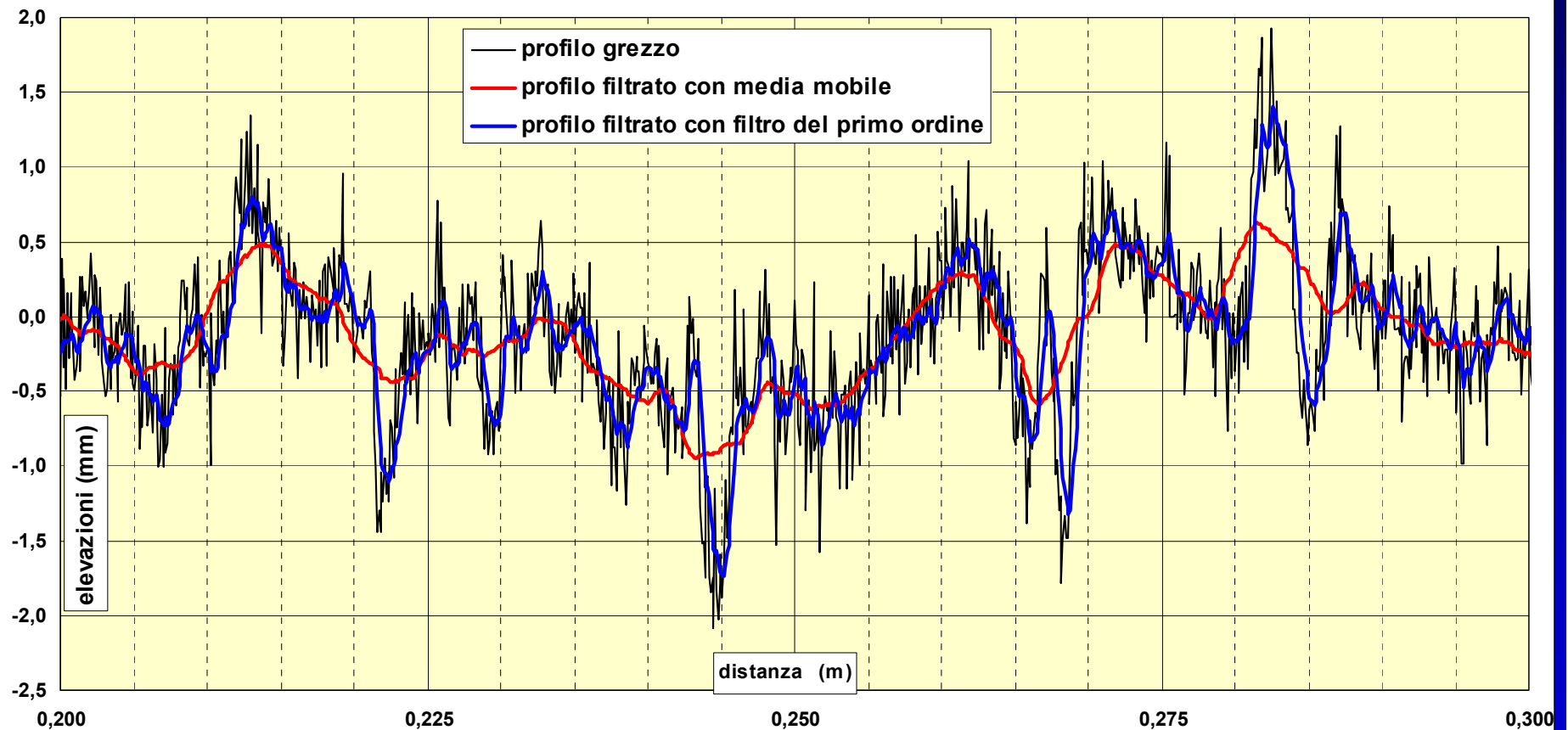
7.4 Lowpass filtering

In order to reduce the possible influence of noise and transients and to have a relatively uniform influence of narrow profile peaks, the profile shall be filtered in order to remove high-frequency components. The process shall remove spatial frequency components which are above 400 m^{-1} (cycles/m), corresponding to a texture wavelength of 2,5 mm, but not affect spatial frequencies below 200 m^{-1} , corresponding to a wavelength of 5 mm (at least -3 dB at 2,5 mm and at most -1 dB at 5 mm with a slope of at least -6 dB/octave). The filtering may be achieved with digital filtering, including for example averaging of adjacent samples, or with an electronic filter. All or part of the filtering effect may also be achieved by the finite size of the sensing spot, line or tip. See further Note 17.

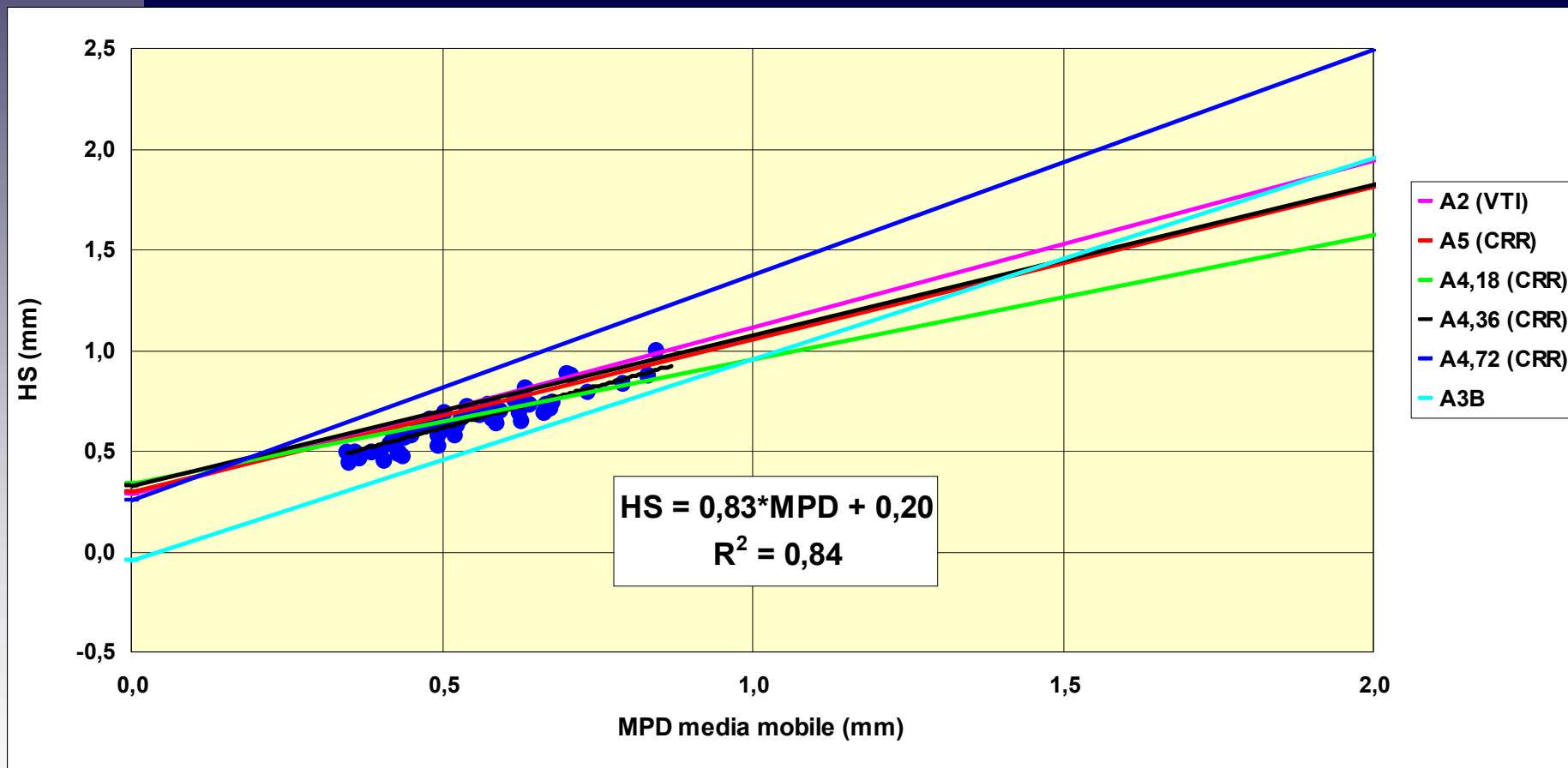
Risposta in frequenza



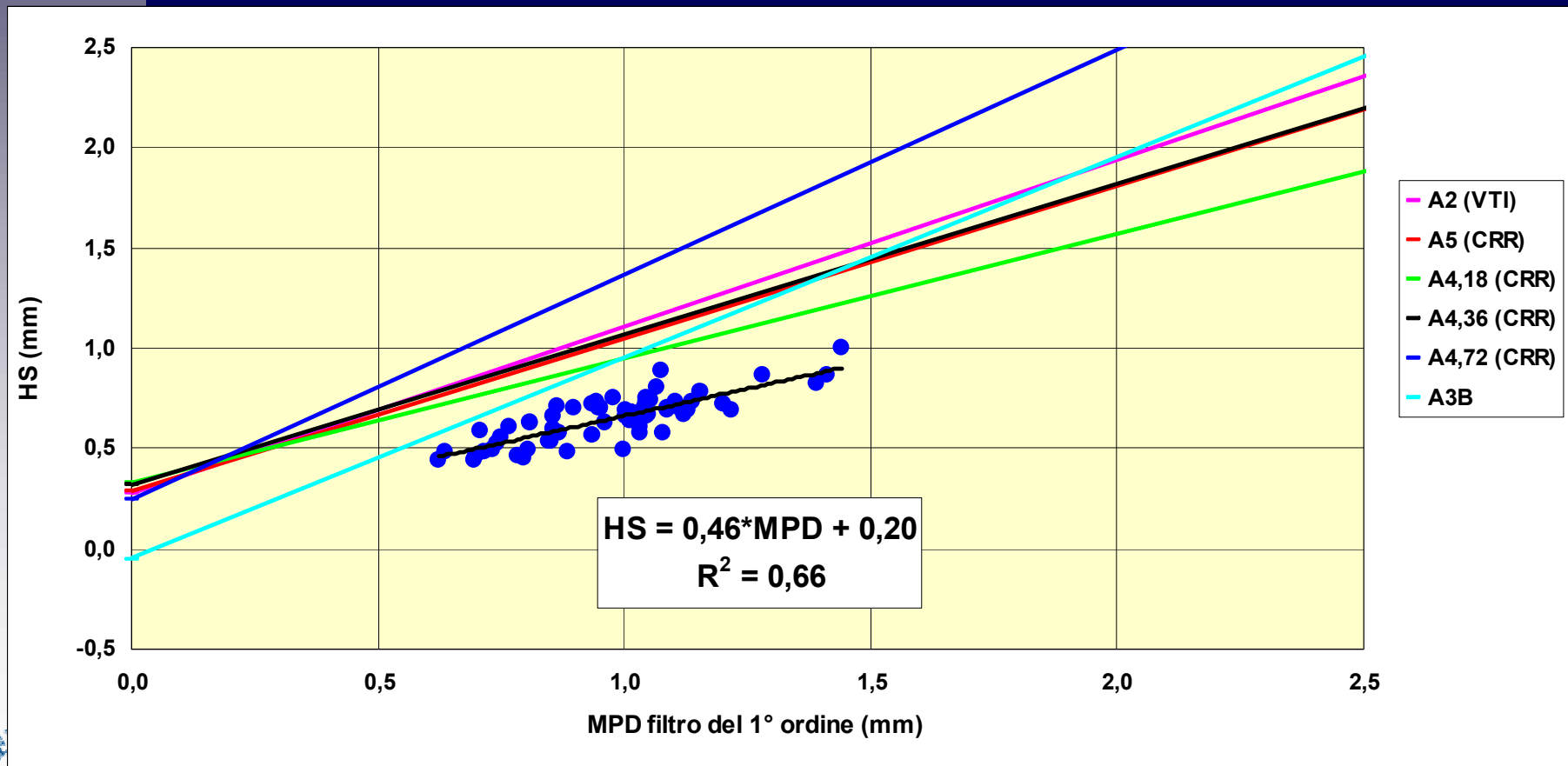
Confronto tra diversi tipi di filtri



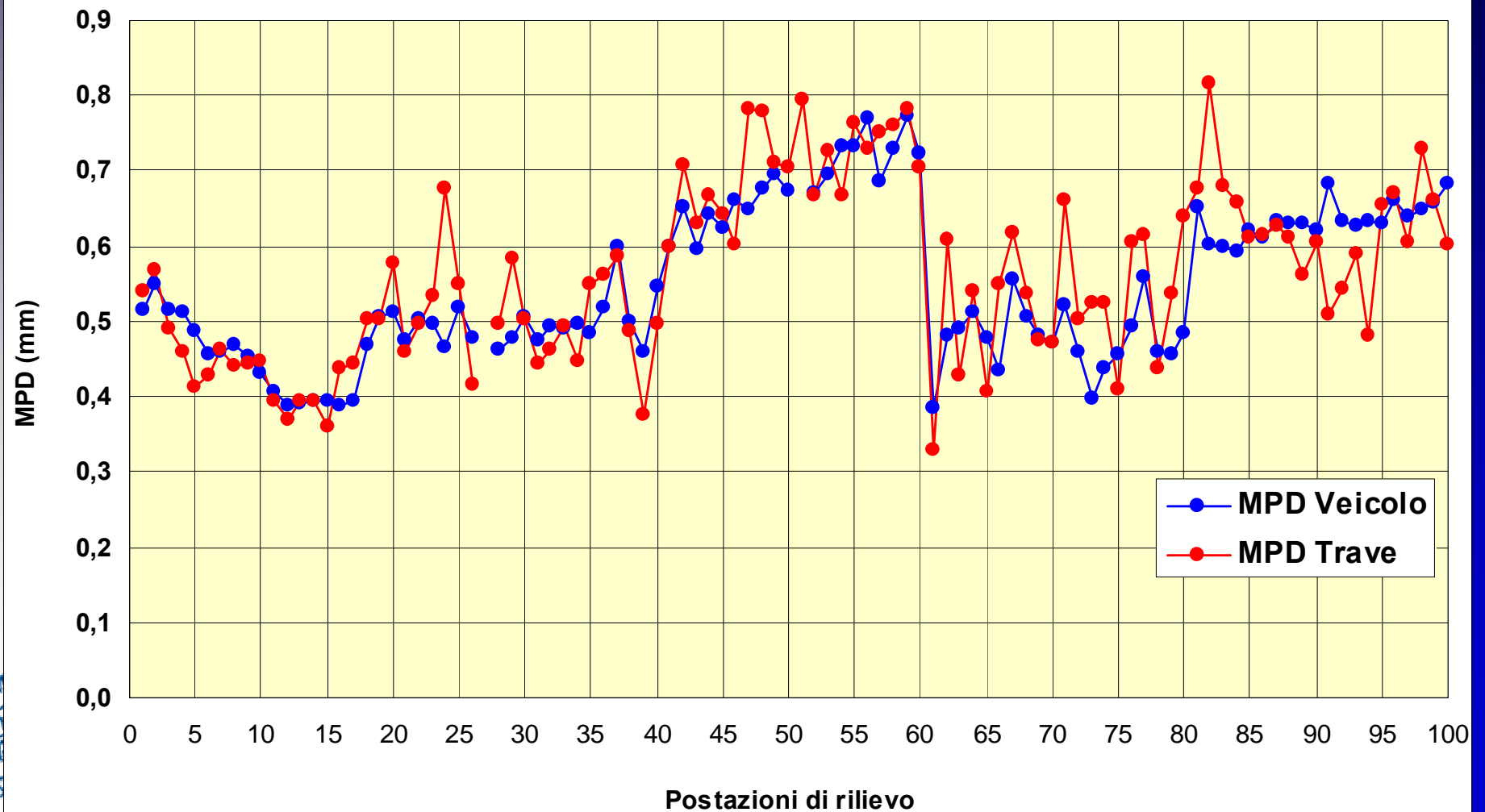
Relazione tra HS e MPD



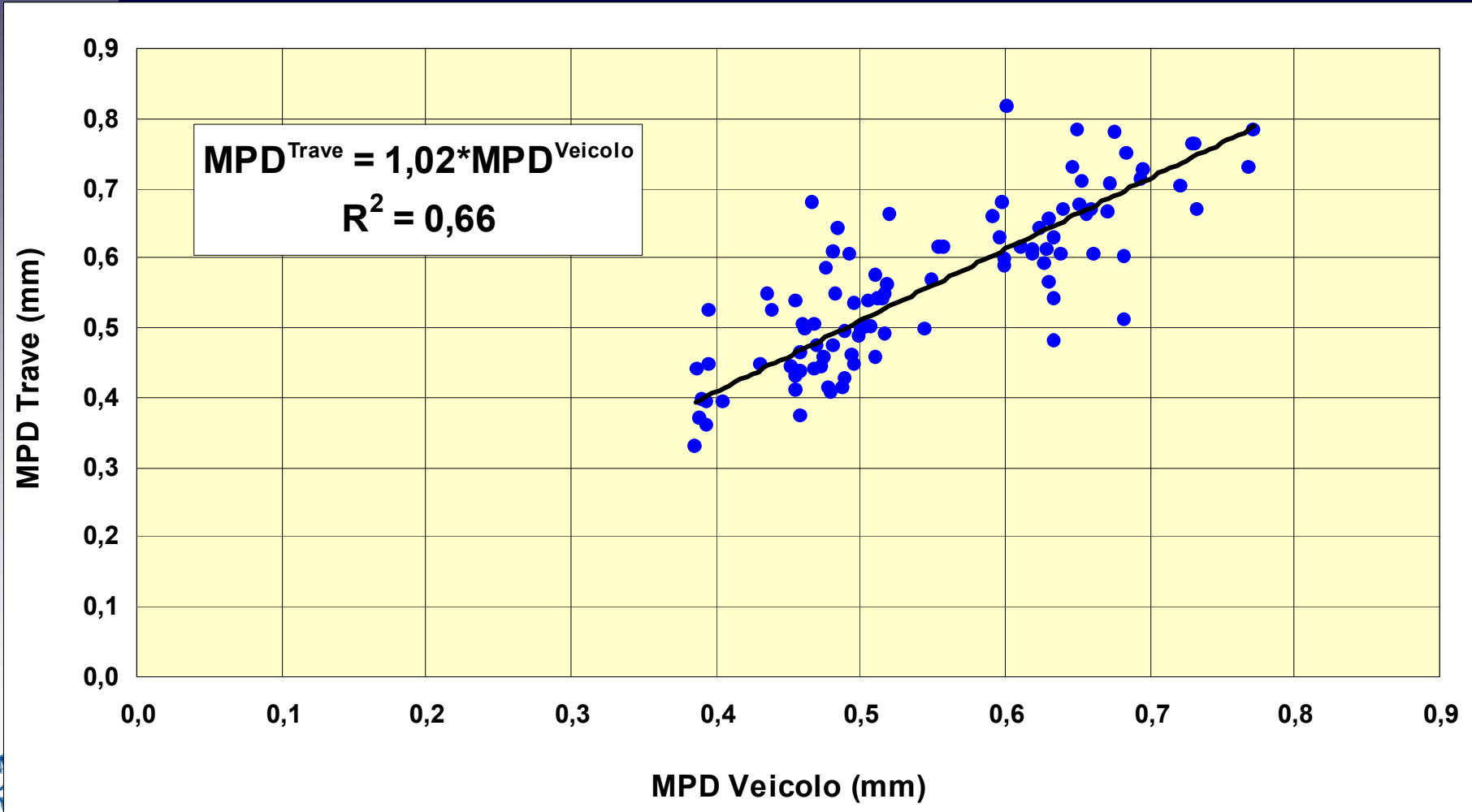
Relazione tra HS a MPD



Misure puntuali e continue



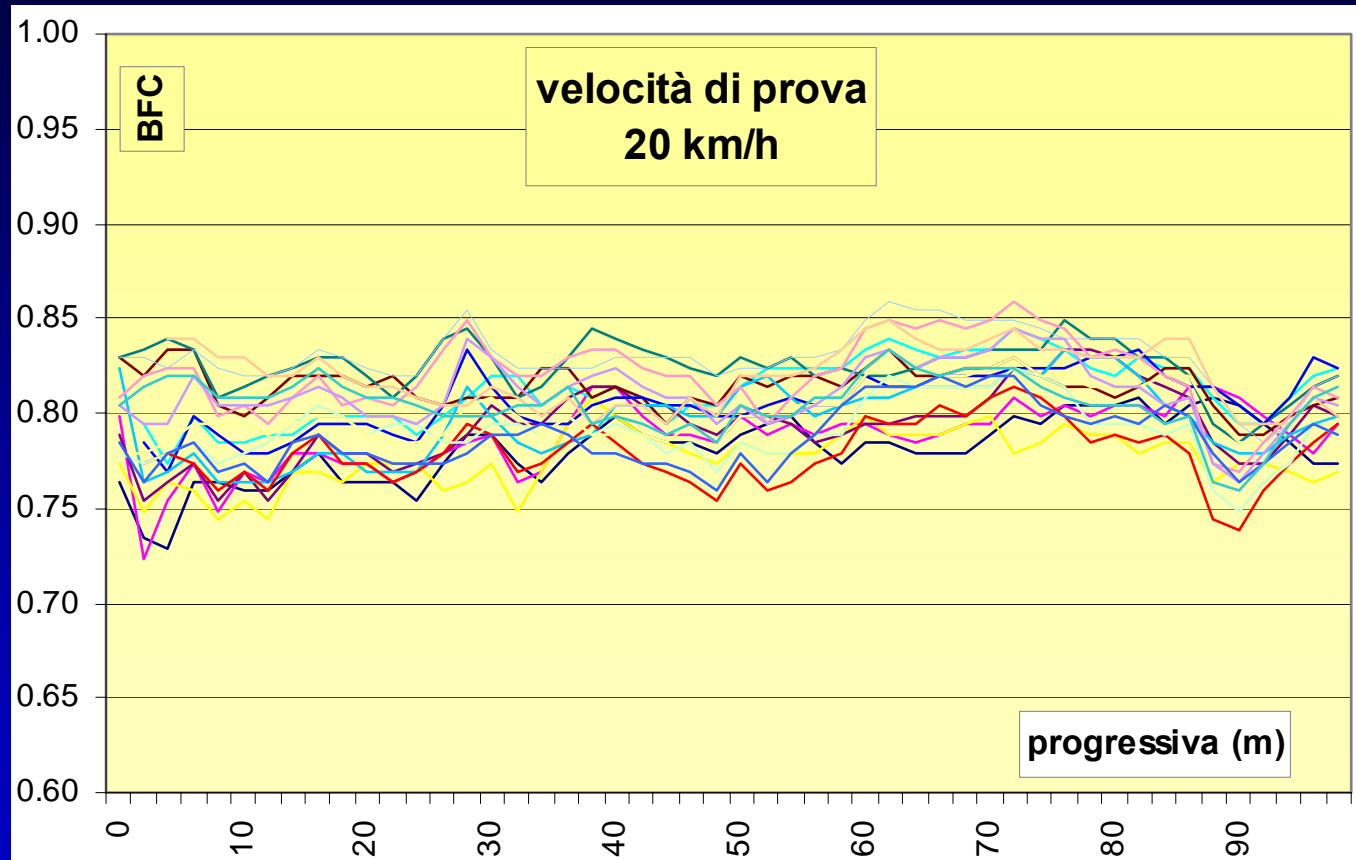
Misure puntuali e continue



Aderenza



La ripetibilità della prova



ripetibilità della prova

$$r = 1.96 \cdot \sqrt{2} \cdot f$$

velocità	20 km/h	50 km/h	80 km/h
ripetibilità	0.045	0.060	0.075

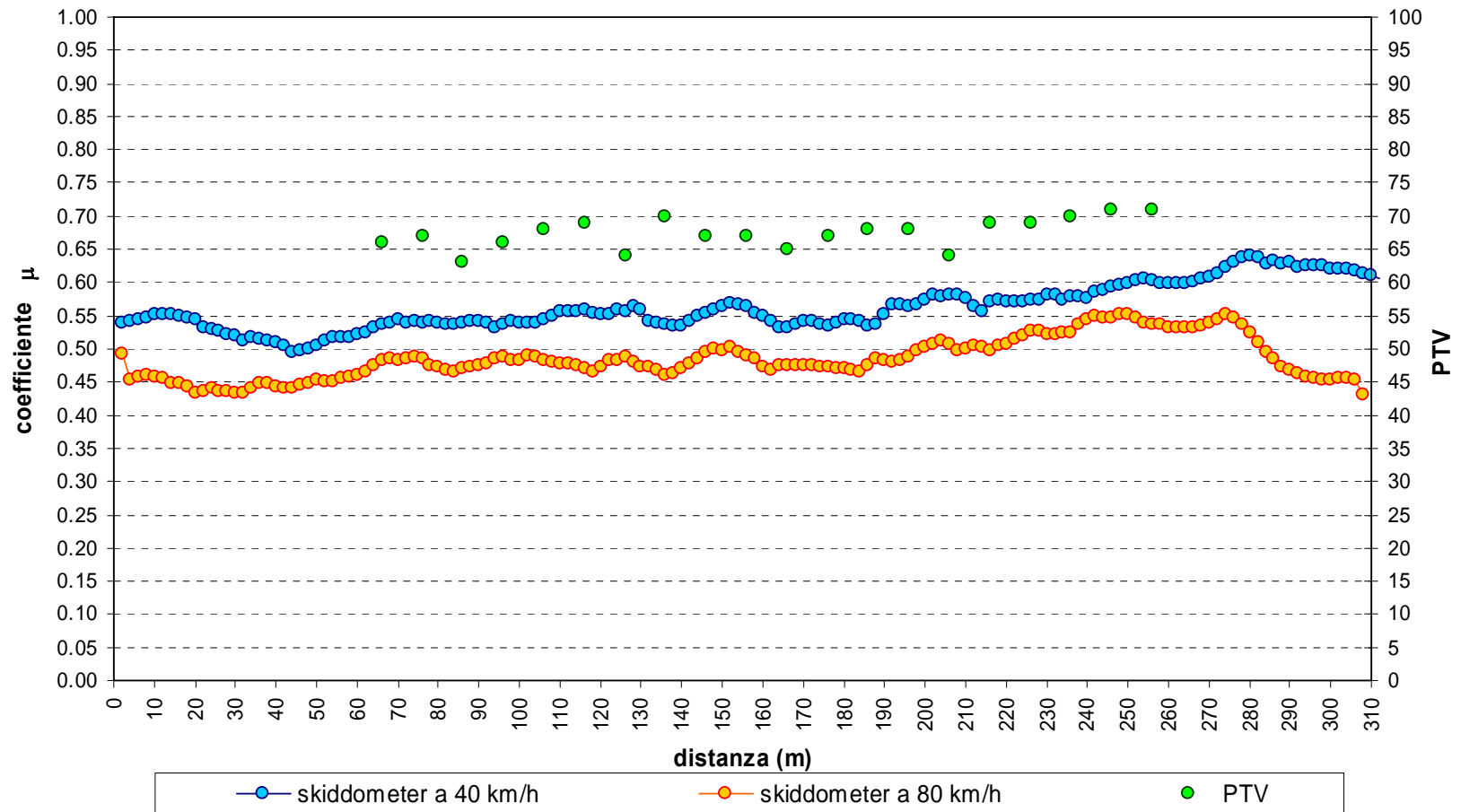


Misure con pendolo e skiddometer

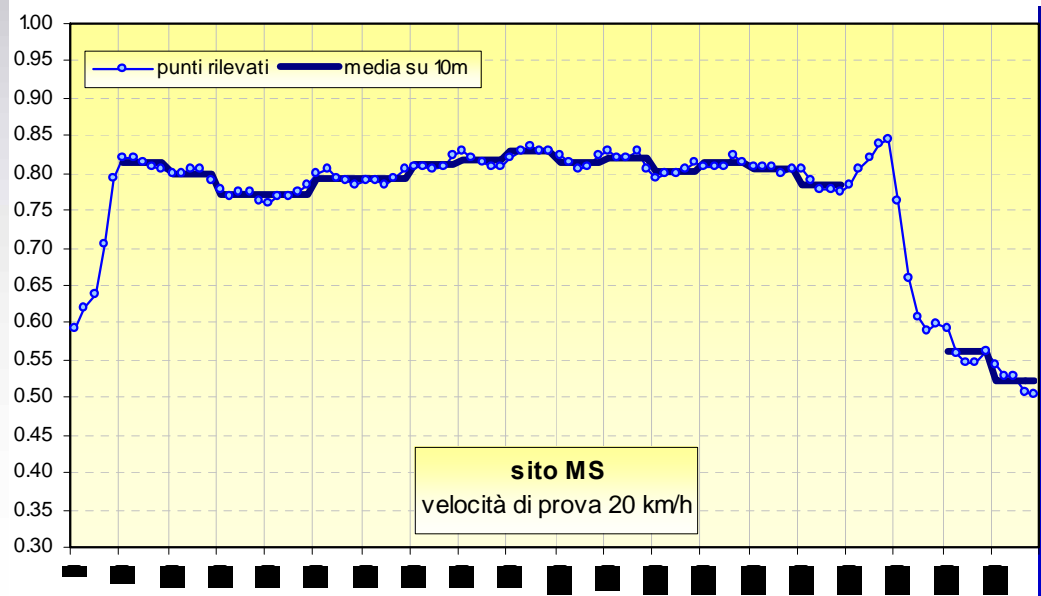
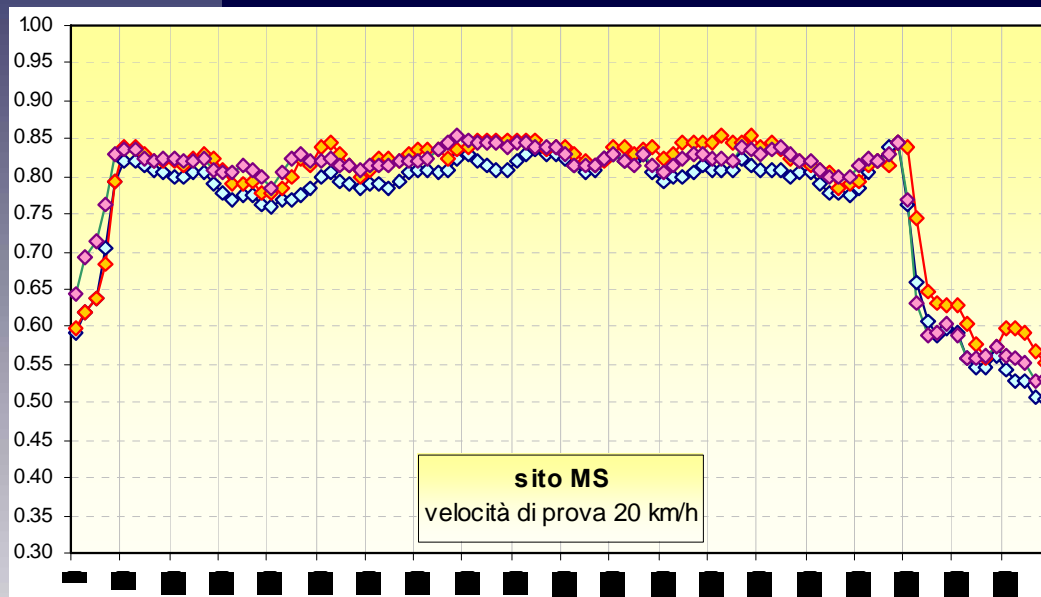
SRT 439 Sarzanese Valdera km 22+666 / 22+976 - Loc. Maggiano (LU)

SKIDDOMETER BV-11 : coefficiente μ

BRITISH PENDULUM TESTER : PTV



Analisi dei dati



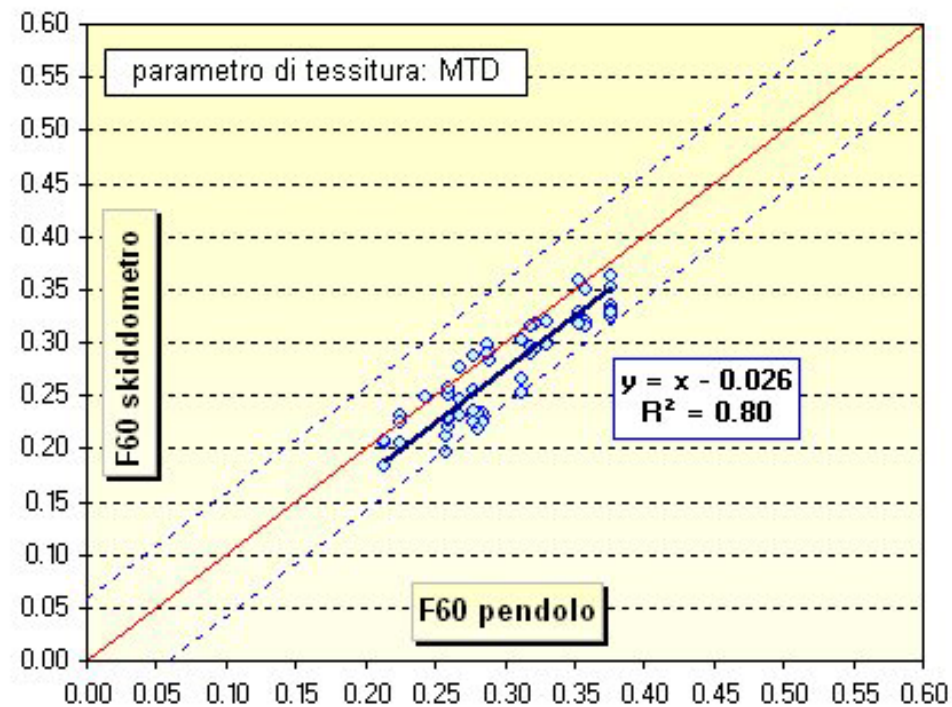
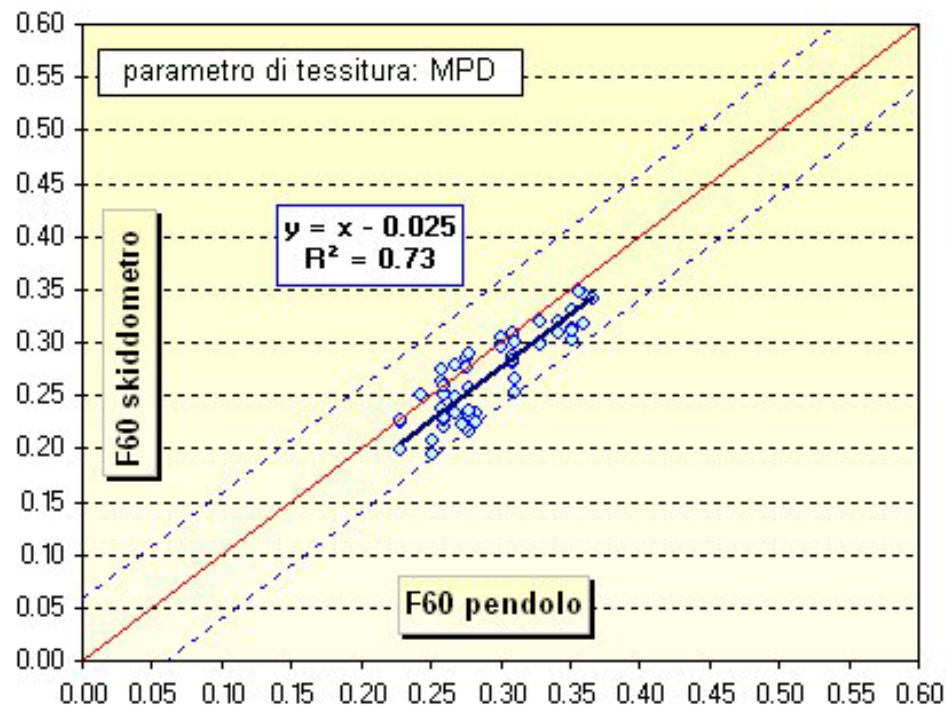
Unità minima di calcolo
L=50 m

$$n = \left(\frac{t_{(0.025, n-1)} \cdot \sigma}{a} \right)^2 = 5$$

Confronto a coppie tra due
rilievi distinti

$$(D - \varepsilon) \cdot \frac{\sqrt{n}}{S_D} < t_{0.05, n-1}$$

Conversione tra i parametri

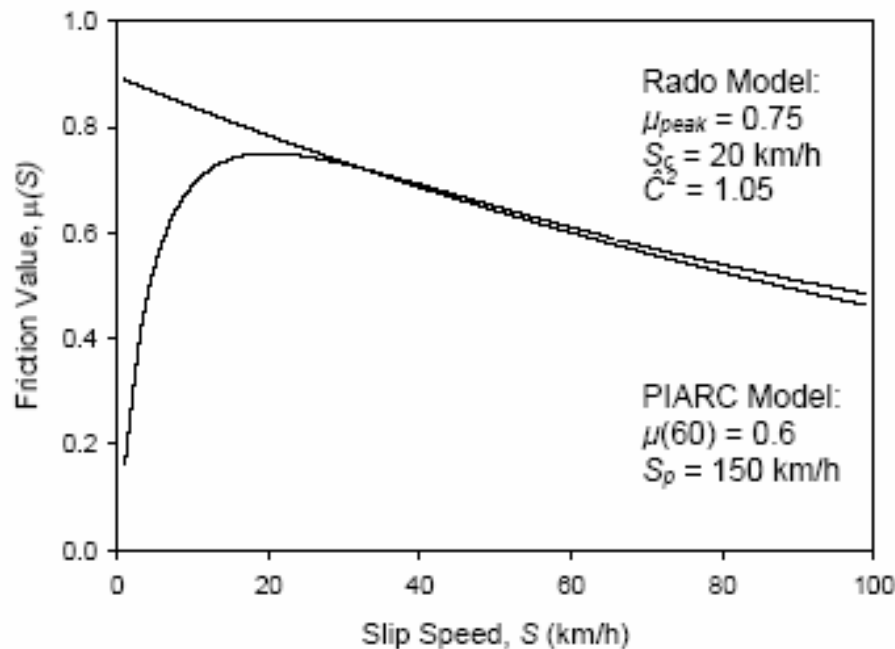


	<i>HS</i> (mm)	<i>BPN</i>	<i>BFC</i> <i>V = 20 km/h</i>	<i>BFC</i> <i>V = 50 km/h</i>	<i>BFC</i> <i>V = 80 km/h</i>
autostrade e strade extraurbane	0.4	60	0.77	0.66	0.57
strade urbane e locali	0.4	55	0.72	0.62	0.53

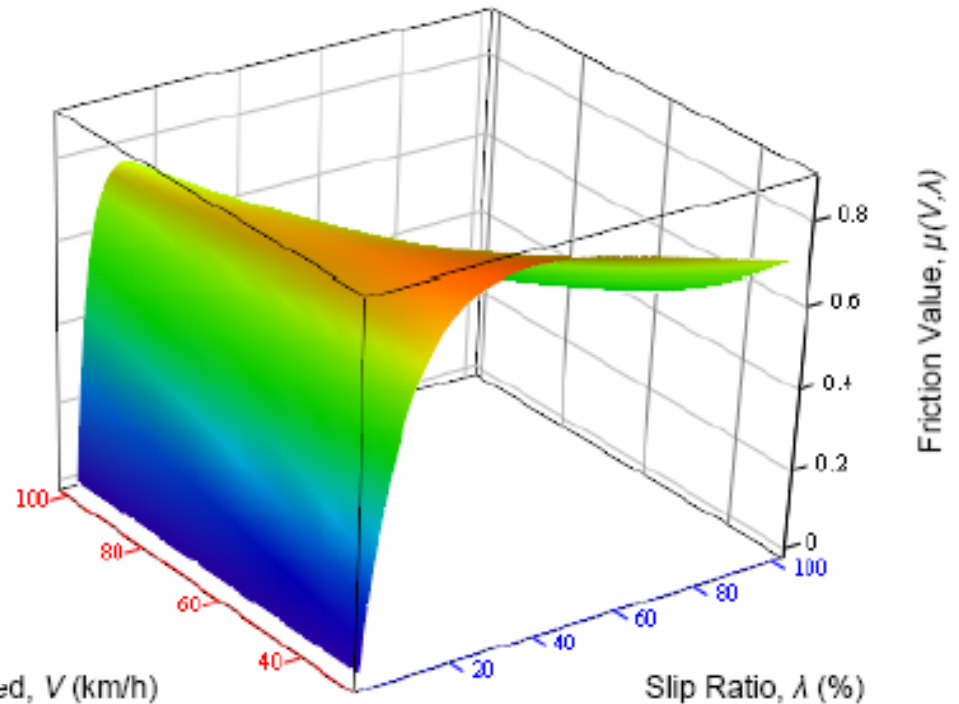
Aderenza

$$\mu(S, V) = \mu_0 \exp\left(-\frac{V}{V_0}\right) \exp\left[\frac{-\left(\ln \frac{S}{S_c}\right)^2}{\hat{C}^2}\right]$$

Friction vs. Travel Speed and Slip Ratio



Travel speed, V (km/h)



Spunti per la discussione

- Si possono utilizzare i controlli prestazionali per l'accettazione del prodotto finito?
- Le attrezzature sono affidabili?
- Le procedure operative sono correttamente definite?
- Le procedure di trattamento dei dati consentono di ottenere risultati affidabili ed univoci?
- I parametri ottenuti sono rappresentativi della qualità del lavoro eseguito?
- Si possono individuare delle soglie e delle penali?
-

