



Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Laurea Magistrale: Ingegneria Civile
Corso: COSTRUZIONI STRADALI (172MI)



Lezione 01: Caratteristiche superficiali delle pavimentazioni

Roberto Roberti

Tel.: 040 558 3588

E-mail: roberto.roberti@dia.units.it

Anno accademico 2018/2019



Argomenti

Importanza aderenza

Scorrimento

Ellisse di aderenza

Fattori da cui dipende l'aderenza: Caratteristiche strada, Aderenza e la presenza d'acqua, pneumatici

Gli indicatori di tessitura (ed i valori limite)

Gli indicatori di aderenza (ed i valori limite)

L'indice IFI

I materiali e la loro usura

Gli interventi di ripristino dell'aderenza

La regolarità superficiale

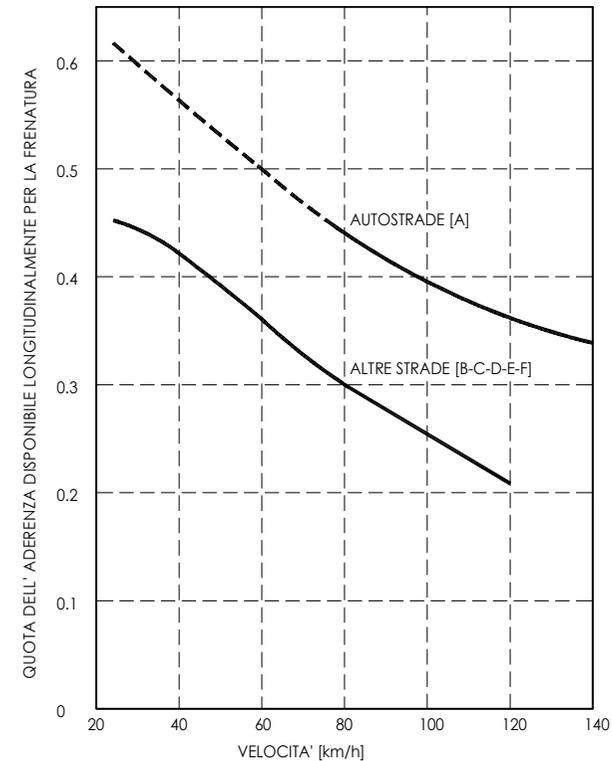
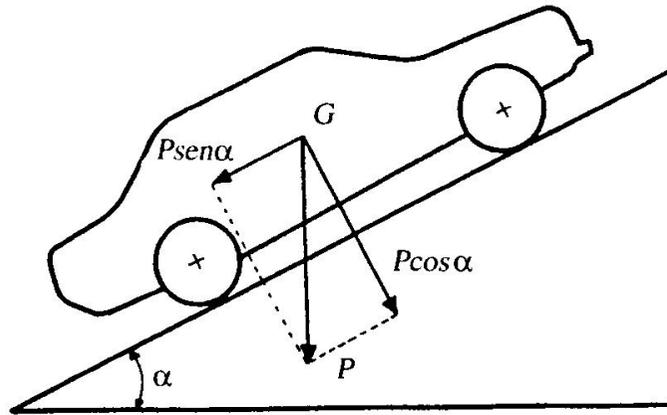
Proprietà funzionali degli strati superficiali

Aderenza

Drenabilità

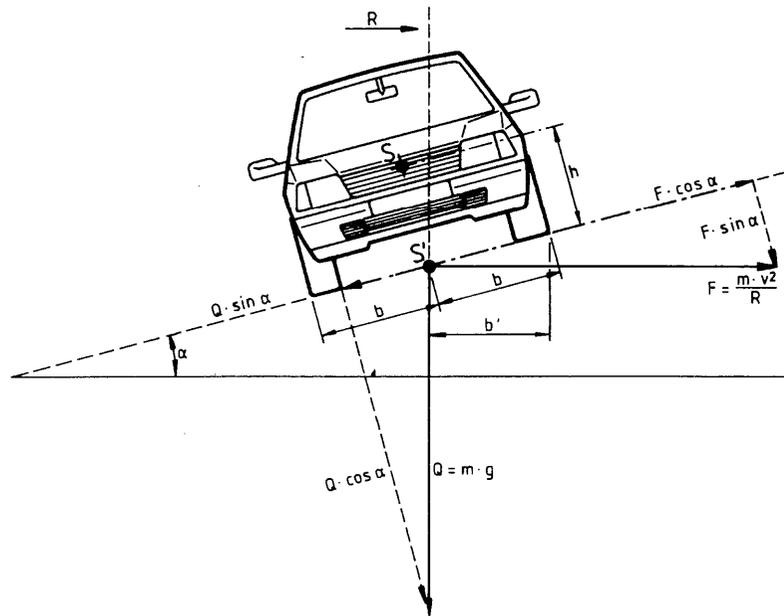
Regolarità

Aderenza e distanza di arresto



$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \cdot \tau - \frac{1}{3,6^2} \cdot \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \cdot \left[f_L(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{R_a(V)}{m} + r_0(V)} \cdot dV$$

Aderenza e stabilità in curva



$$\frac{V^2}{R} = 127 \cdot (f_T + e)$$

| V (km/h) | 25 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Strade D, E, F urbane | 0,22 | 0,21 | 0,20 | 0,16 | | | |
| Strade A, B, C, F extr. | | 0,21 | 0,17 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,09 |

Aderenza (1)

$$A = f * P$$

A è chiamata aderenza, “f” è il coefficiente di ADERENZA, P è il peso aderente cioè il peso che grava sulla ruota soggetta al momento di trazione o al momento frenante.

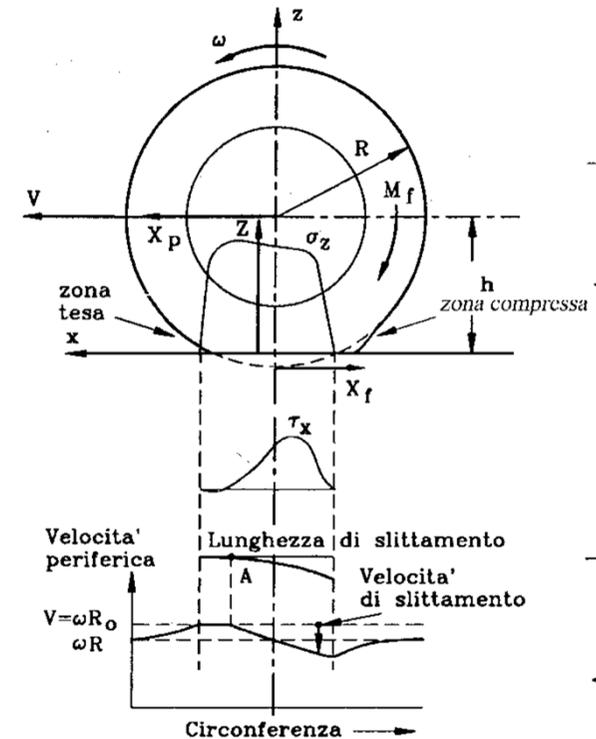
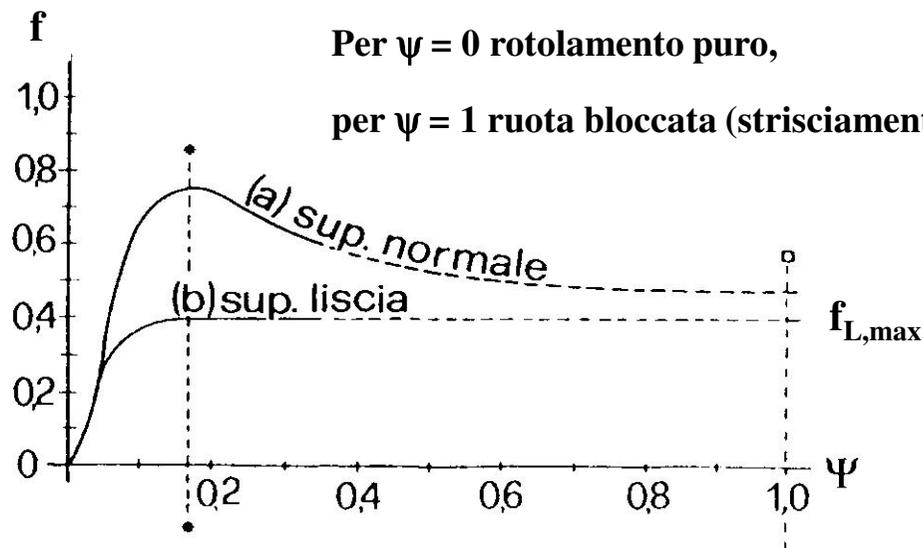
Si definisce SCORRIMENTO

$$\psi = (V - \omega^* r)/V \text{ in fase di frenatura}$$

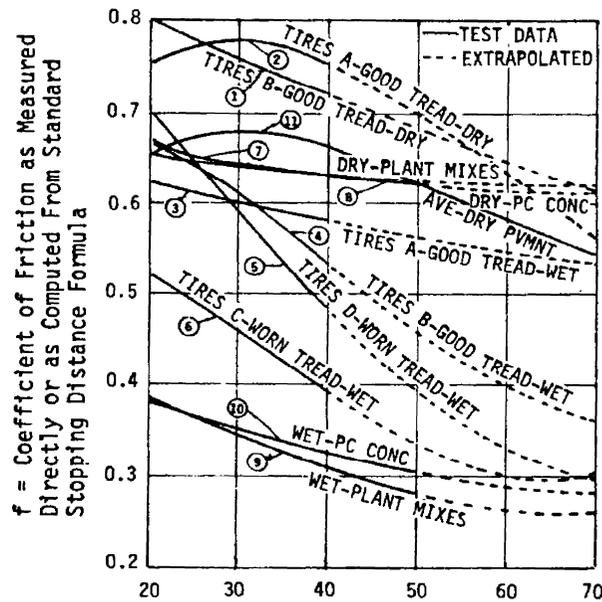
$$\psi = (\omega^* r - V)/\omega^* r \text{ in fase di accelerazione}$$

Per $\psi = 0$ rotolamento puro,

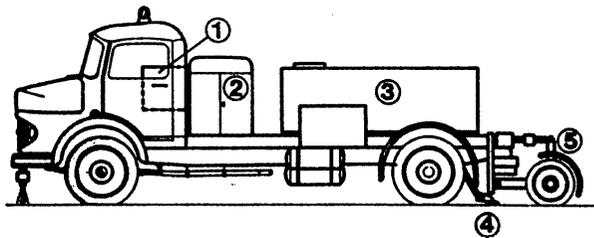
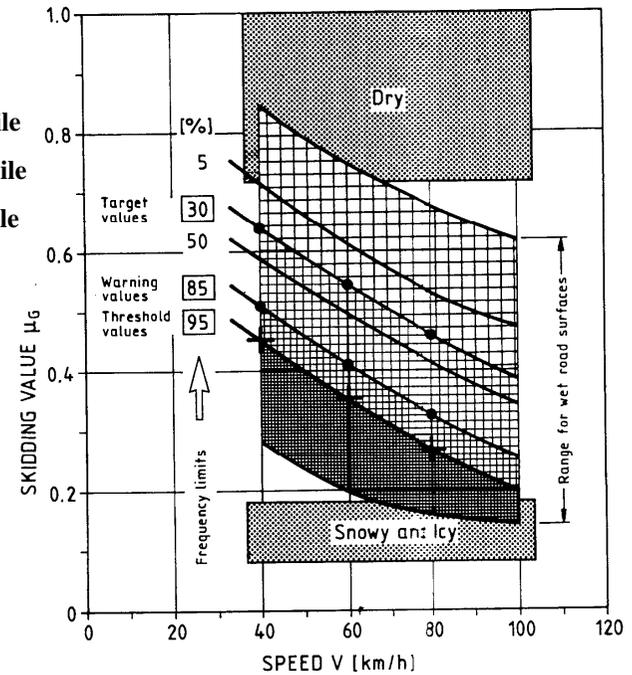
per $\psi = 1$ ruota bloccata (strisciamento)



Aderenza (2)



VALORE DESIDERABILE 30%-ile
 VALORE DI ATTENZIONE 85%-ile
 VALORE DI SOGLIA 95%-ile



$$f_{L,max} = \mu_G = 0,241 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,721 \cdot \frac{V}{100} + 0,708$$

| Pavement condition | Maximum | Slide |
|---------------------|---------|-------|
| Good, dry | 1.00 | 0.80 |
| Good, wet | 0.90 | 0.60 |
| Poor, dry | 0.80 | 0.55 |
| Poor, wet | 0.60 | 0.30 |
| Packed snow and Ice | 0.25 | 0.10 |

Aderenza (3)

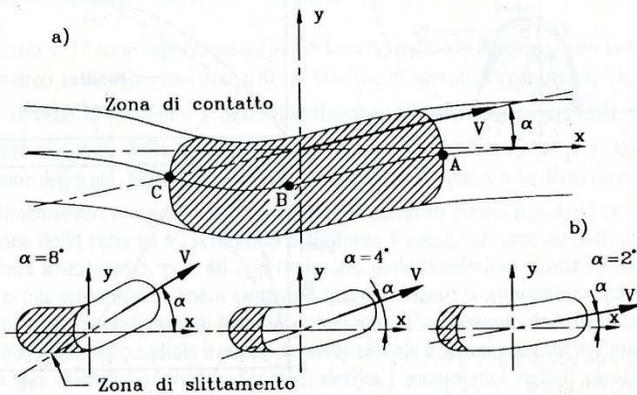
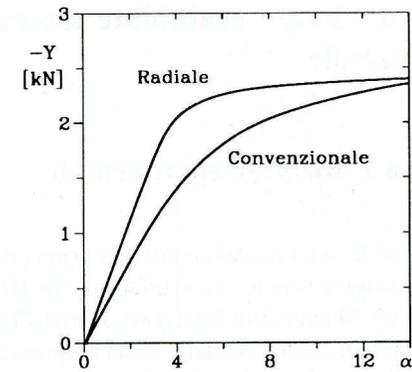
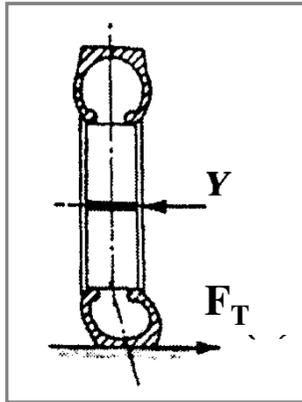
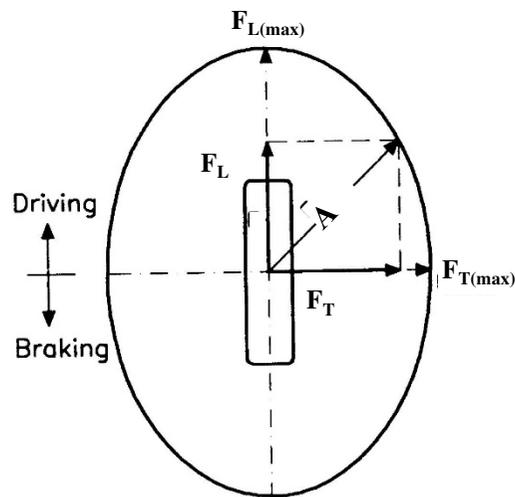
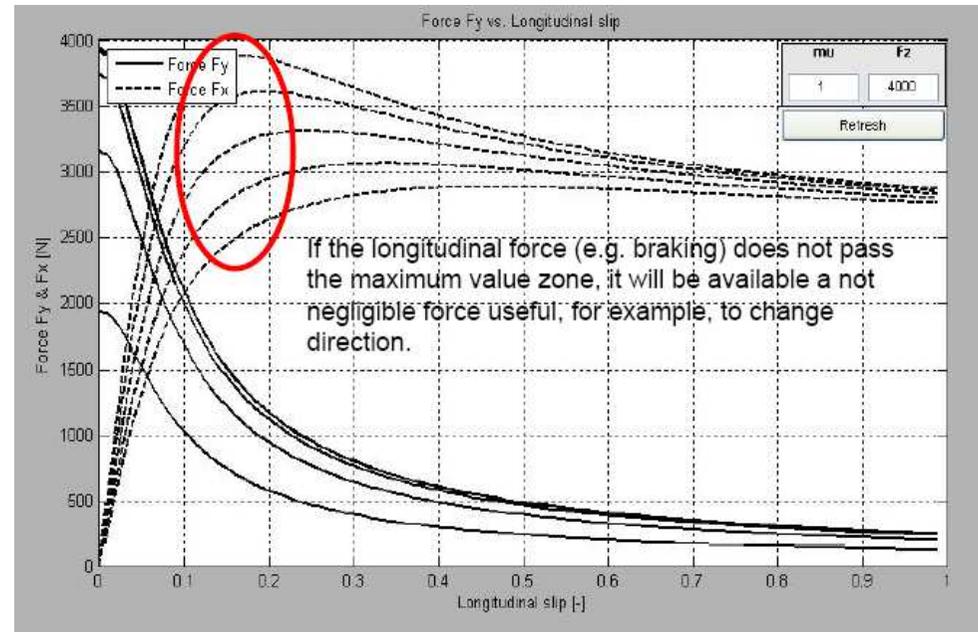
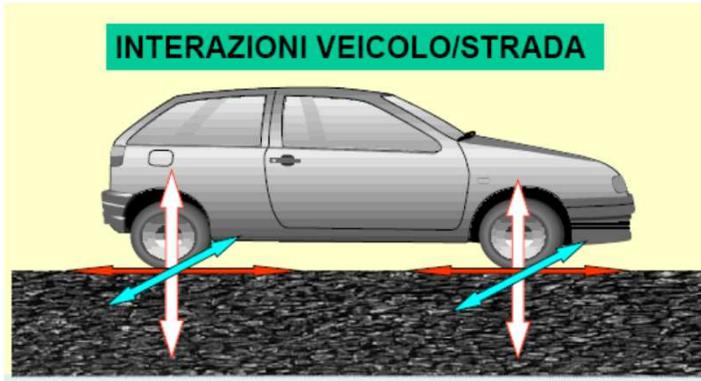


Figura 1-36. Contatto ruota-suolo in presenza di un angolo di deriva. (a) Zona di contatto e traiettoria di un punto sul battistrada appartenente al piano medio della ruota; (b) zona di contatto e zona di slittamento al variare dell'angolo di deriva α .

Figura 1-38. Andamenti schematici della forza Y con l'angolo di deriva α per un pneumatico radiale e per uno convenzionale.

Aderenza (4)



$$f_L = F_L / Q$$

$$f_T = F_T / Q$$

$$f < f_{max}$$

$$f^2 = f_L^2 + f_T^2$$

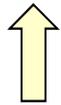
f coeff. aderenza totale, **f_L** coeff. aderenza longitudinale, **f_T** coeff. aderenza trasversale.

Aderenza (5)

$$f_{T \max} = 0,925 \cdot f_{L \max}$$

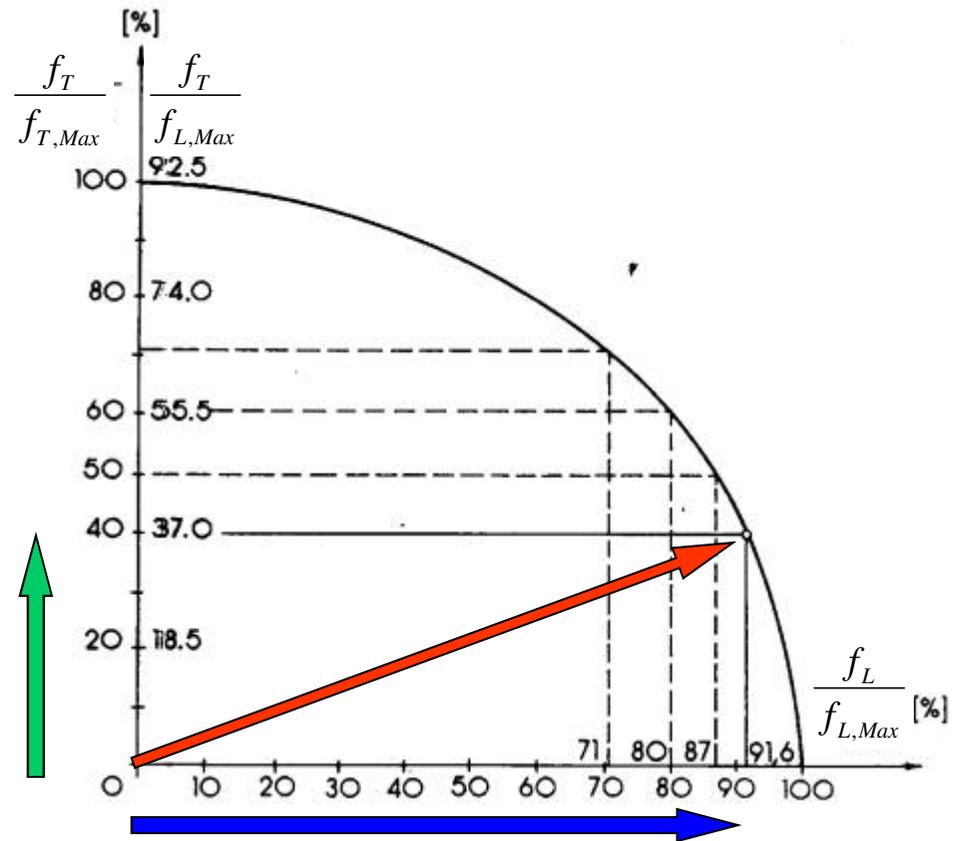
$$\left(\frac{f_T}{f_{T \max}} \right)^2 + \left(\frac{f_L}{f_{L \max}} \right)^2 \leq 1$$

$$f_T = n \cdot 0,925 \cdot f_{L \max}$$



Coefficiente di utilizzazione dell'aderenza trasversale

$$n = \frac{f_T}{f_{T, \max}} = 0,40 \div 0,45$$



Fattori da cui dipende l'aderenza

RELATIVI ALL'INFRASTRUTTURA: Caratteristiche superficiali della pavimentazione;



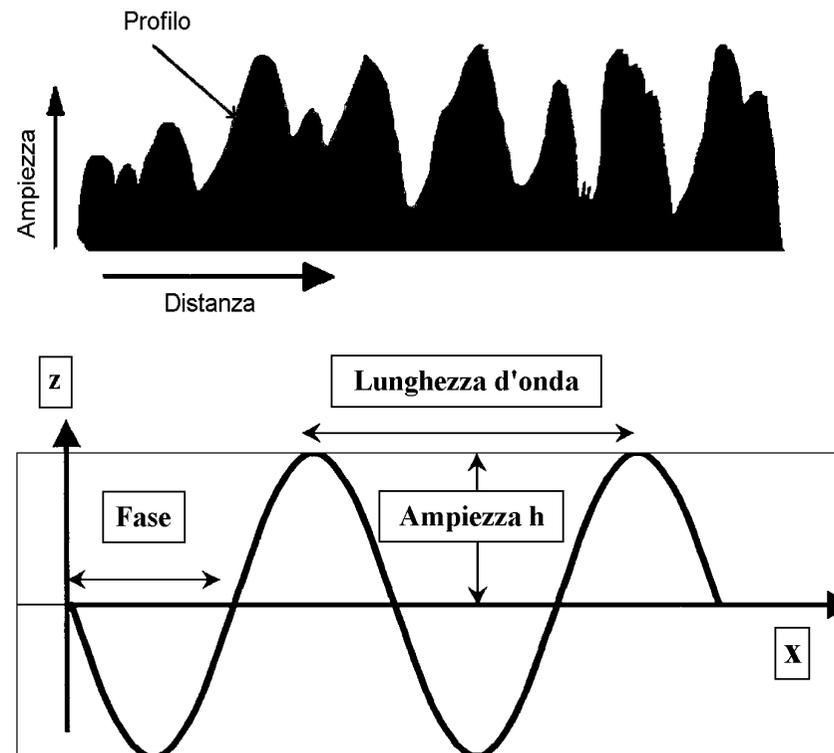
RELATIVI ALL'AMBIENTE:
presenza di sostanze contaminanti
(acqua, neve, gomma);

RELATIVI AL VEICOLO: velocità,
pneumatici, dispositivi antiskid (ABS).

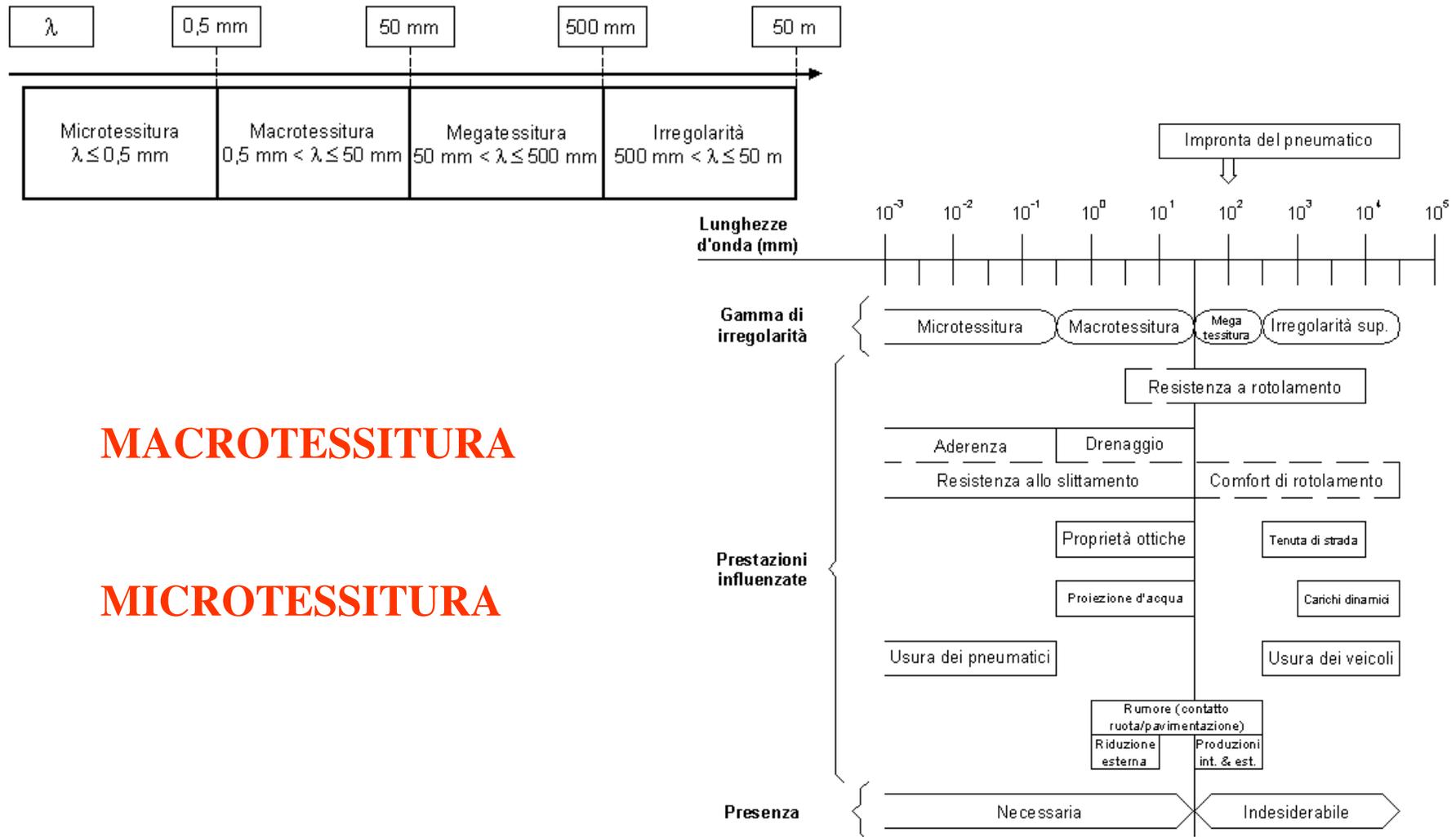


Caratteristiche superficiali e aderenza (1)

TESSITURA: è la deviazione della superficie reale della pavimentazione da un ideale piano di riferimento (ISO 13473-1)



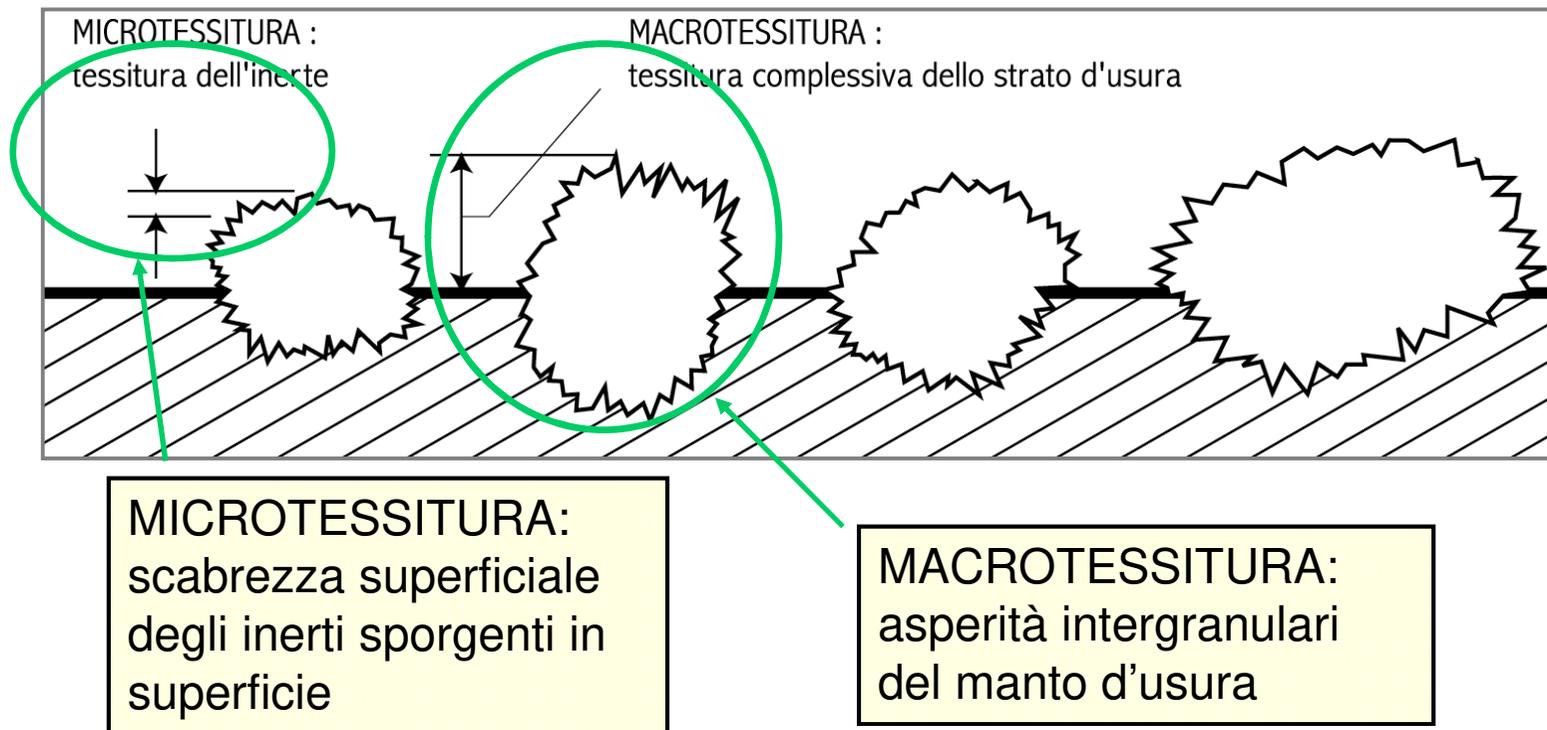
Caratteristiche superficiali e aderenza (2)



MACROTESSITURA

MICROTESSITURA

Macrotesitura e Microtesitura (1)

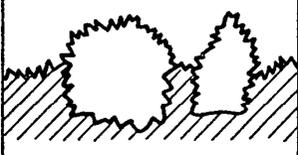
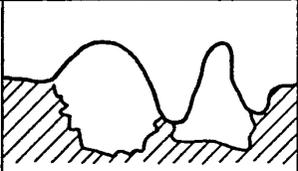
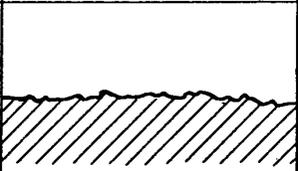
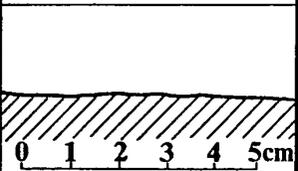


Macrotessitura e Microtessitura (2)

| MICROTESSITURA | | |
|--|---|---|
| Dimensioni | Dipende da: | Influenza: |
| $1 \mu\text{m} < \lambda < 0.5 \text{ mm}$ $1 \mu\text{m} < h < 0.2 \text{ mm}$ | <ul style="list-style-type: none"> • Caratteristiche petrografiche degli aggregati lapidei • Metodo di produzione degli aggregati lapidei | <ul style="list-style-type: none"> • Aderenza a media e bassa velocità su superficie stradale asciutta e bagnata: componente di adesione molecolare • Usura dei pneumatici • Rumore ad alte frequenze |

| MACROTESSITURA | | |
|--|---|--|
| Dimensioni | Dipende da: | Influenza: |
| $0.5 \text{ mm} < \lambda < 5 \text{ cm}$ $0.2 \text{ mm} < h < 1 \text{ cm}$ | <ul style="list-style-type: none"> • Metodo di produzione degli aggregati lapidei • Dimensioni degli aggregati • Metodo di posa in opera dello strato di usura (compattazione) | <ul style="list-style-type: none"> • Aderenza a media ed elevata velocità su superficie bagnata: componente di isteresi • Proiezioni d'acqua • Rumore ad alte e basse frequenze • Resistenza al rotolamento • Proprietà ottiche dello strato d'usura |

Macrotessitura e Microtessitura (3)

| SUPERFICIE | | MACRO RUGOSITA' | MICRO RUGOSITA' |
|------------|--|-----------------|-----------------|
| A |  | grossa | aspra-ruvida |
| B |  | grossa | levigata |
| C |  | fina | aspra-ruvida |
| D |  | fina | levigata |

Aspetti fisici legati alla tessitura (1)

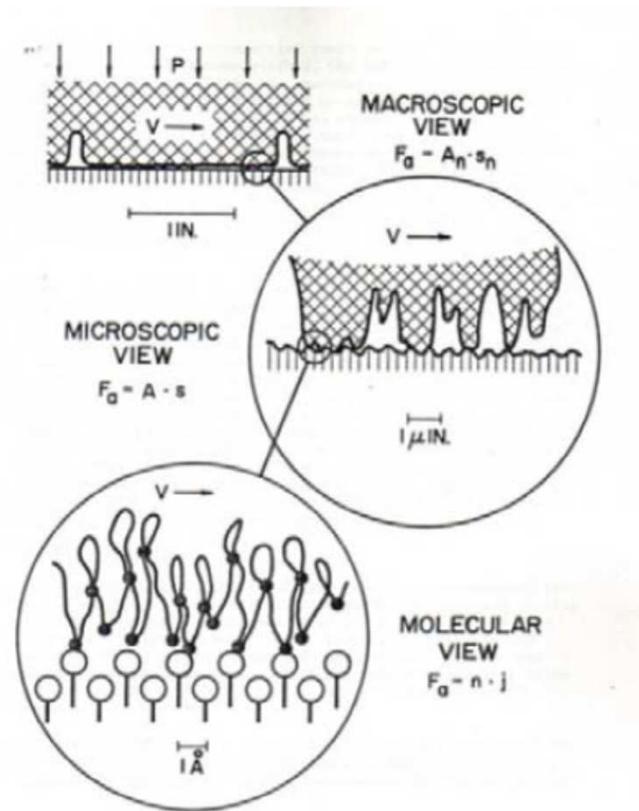
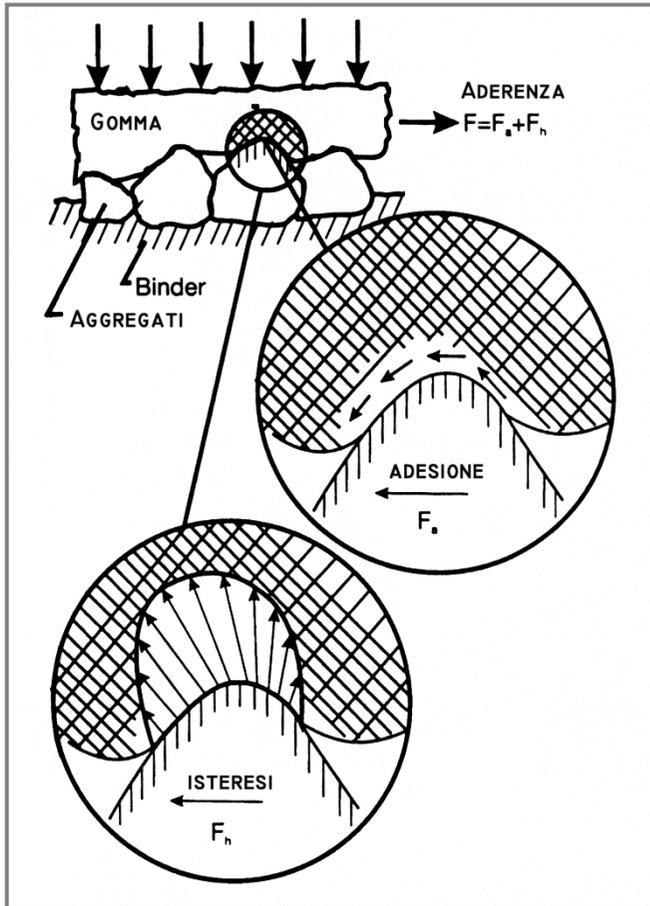
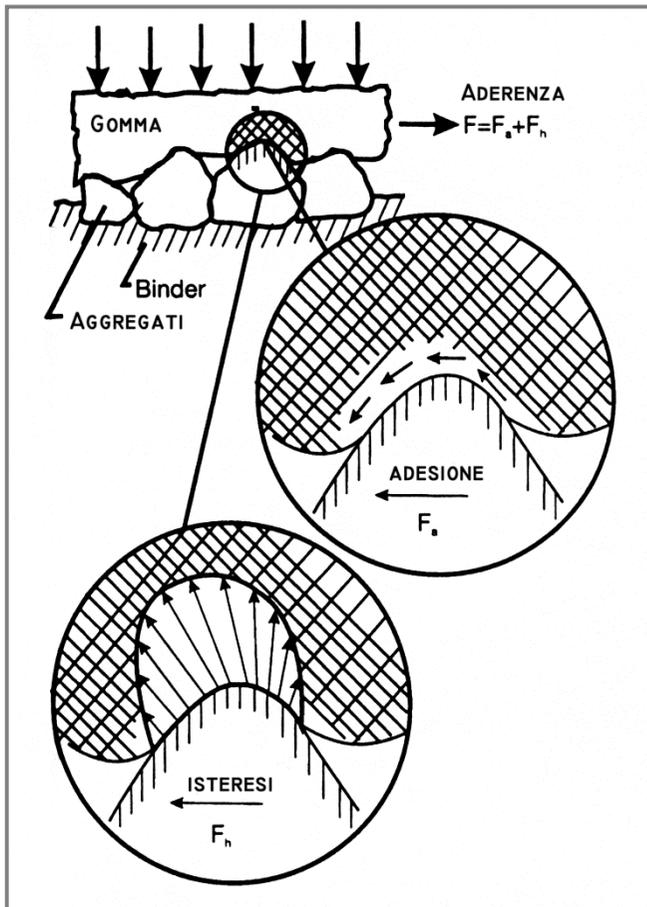


FIG. 10. Cross section of interface on macroscopic, microscopic, and molecular scales.

Aspetti fisici legati alla tessitura (2)



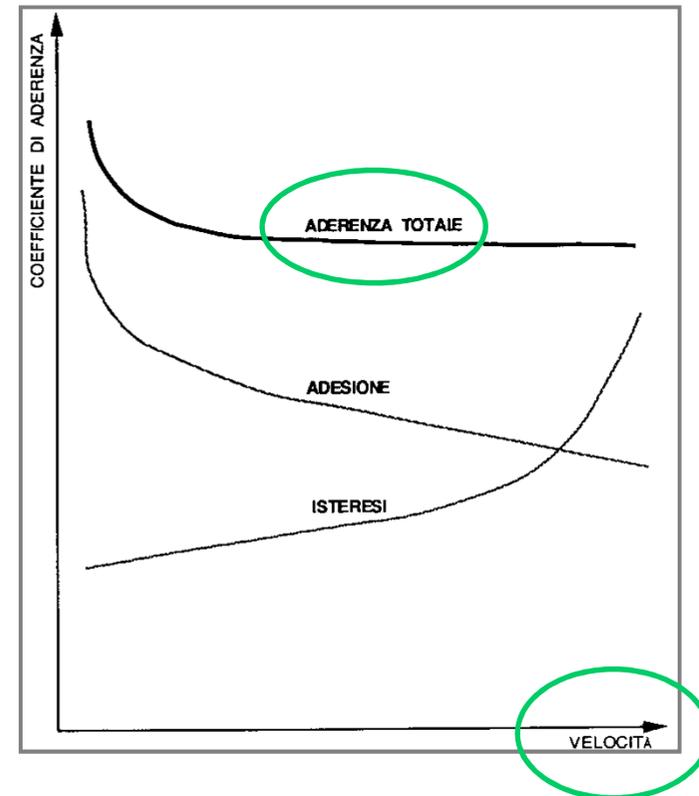
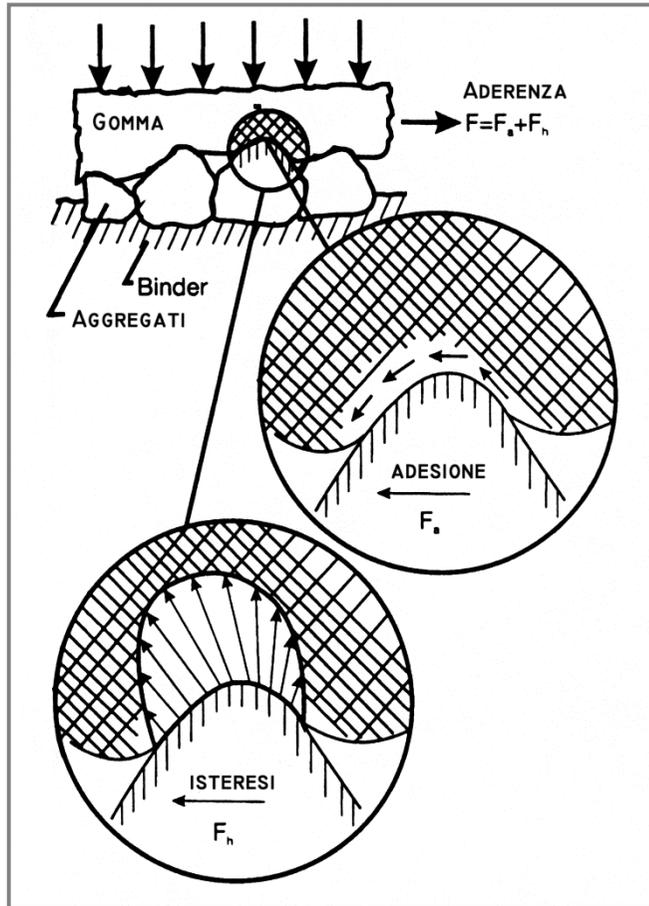
ADESIONE MOLECOLARE:

- Legame temporaneo tra le molecole della gomma e quelle della superficie stradale
- Forze ritardatrici F_a
- Necessità di un contatto asciutto

ISTERESI DELLA GOMMA:

- Dovuta alle deformazioni elasto – viscose del pneumatico nel superamento delle asperità
- Distribuzione asimmetrica di pressioni
- Forza F_h che si oppone allo slittamento
- Avviene anche in presenza d'acqua

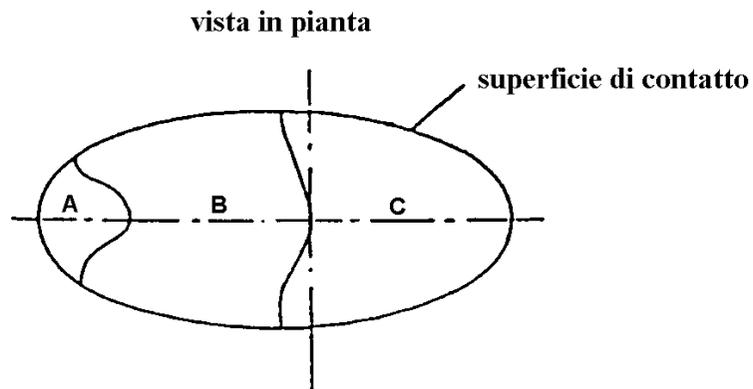
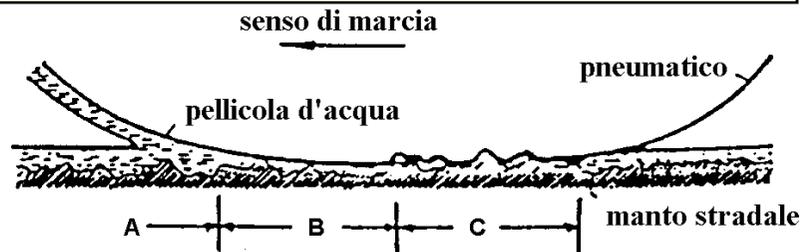
Aspetti fisici legati alla tessitura (3)



La presenza d'acqua sulla pavimentazione

TEORIA DI GOUGH E MOORE

Zona "A" di penetrazione; Zona "B" di transizione; Zona "C" di contatto.



L'aquaplaning (1)

ALTA VELOCITÀ



SPESSORE D'ACQUA



Incapacità a drenare
efficacemente il velo idrico

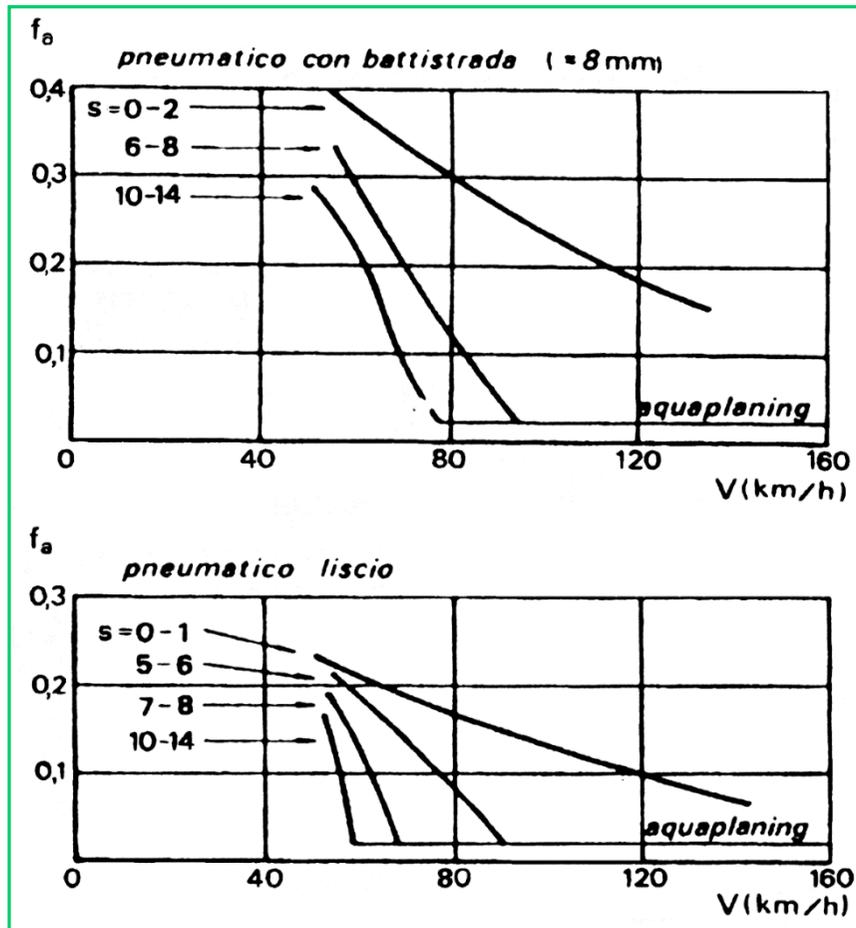


$$d = 0,015 \cdot \frac{(c \cdot L \cdot I)^{1/2}}{S^{1/5}}$$

Formula di Ross e Russam

**MANCANZA DI CONTATTO TRA
PNEUMATICO E SUPERFICIE STRADALE**

L'aquaplaning (2)



$$V = 34\sqrt{P} \quad V \text{ in nodi, } P \text{ in kg/cm}^2$$

SU PAVIMENTAZIONI BAGNATE
l'aderenza dipende dal velo idrico

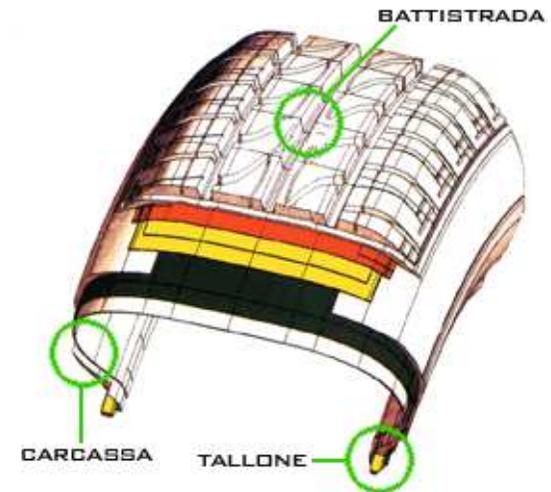
Idroportanza
O Aquaplaning
H Velo idrico > 0,5 mm

Viscoportanza
H Velo idrico < 0,5 mm

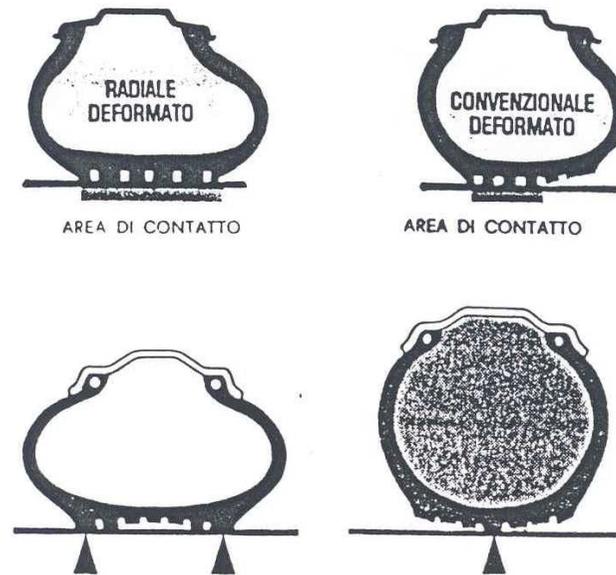
Pneumatici (1)

Fattori legati alle caratteristiche del pneumatico che influenzano l'aderenza:

Scolpitura e mescola;



Rigidità della carcassa;



Pressione

Pneumatici (2)



Indicatori di tessitura

Esistono numerosissimi metodi per misurare la tessitura superficiale, usualmente si suddividono in:

- Metodi volumetrici (*HS, drenabilità, ecc.*)
- Metodi statistici (*MPD, RMS, ecc.*)
- Metodi frequenziali (*PSD*)

Si differenziano anche a seconda della classe di tessitura da misurare:

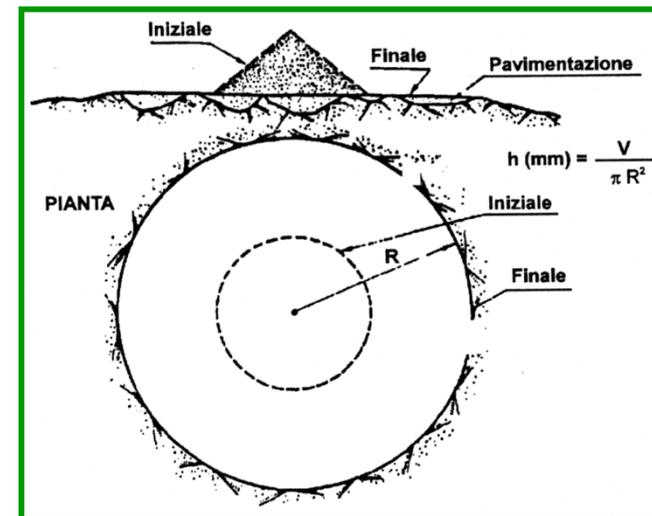
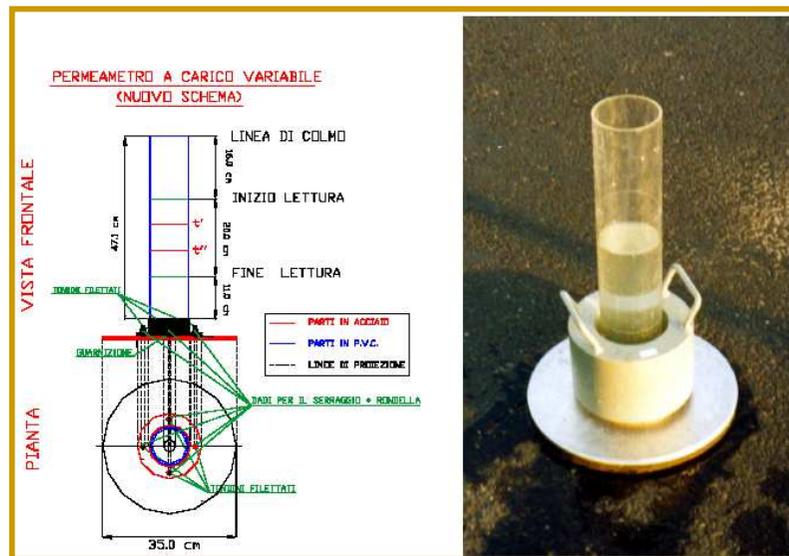
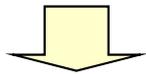
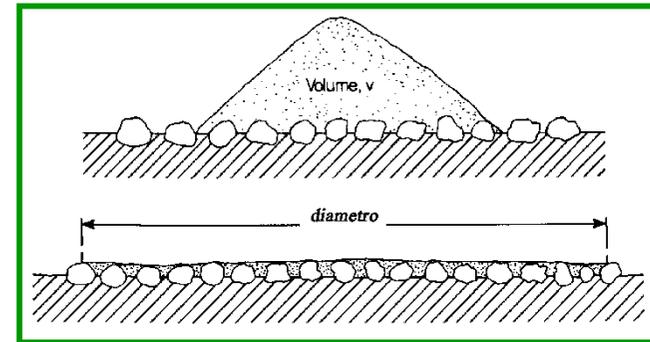
- Microtessitura
- Macrotessitura
- Megatessitura
- Irregolarità

Metodi di prova per la valutazione della macrotessitura

| Metodi di prova | | Gamma di validità (espressa in valori di profondità media del profilo, MPD) |
|-----------------|---|---|
| EN 13036-1 | Misurazione della profondità della macrotessitura superficiale della pavimentazione utilizzando una tecnica volumetrica | da 0,25 mm a 5 mm |
| ISO 13473-1 | Determinazione della profondità media del profilo (MPD) | da 0 mm a 5 mm |
| EN 13036-3 | Misurazione della drenabilità orizzontale della superficie della pavimentazione | da 0 mm a 0,4 mm |

Indicatori di macrotestitura (1)

Tra i metodi più semplici e diffusi vi sono i metodi volumetrici dell'altezza in sabbia e del drenometro



Indicatori di macrotestitura (2)

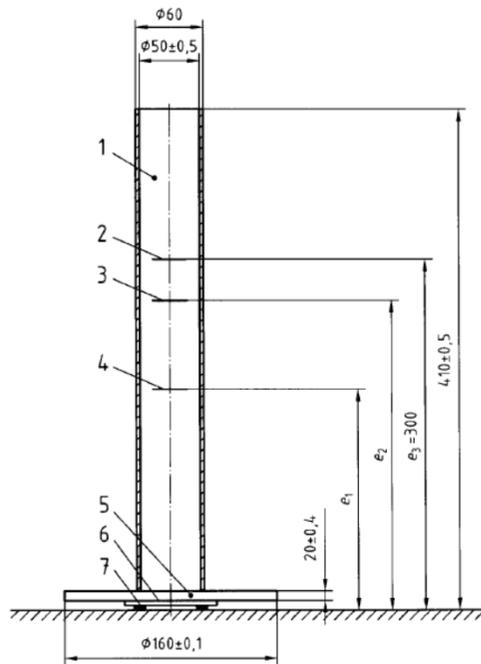
Norma UNI EN 13036-3: Misurazione della drenabilità orizzontale della superficie delle pavimentazioni

figura 1 Indicatore d'efflusso

Legenda

- 1 Plastica trasparente solida
- 2 Tacca superiore
- 3 Tacca intermedia
- 4 Tacca inferiore
- 5 Anello di pesatura di ottone (materiale MS 58)
- 6 Anello portante di ottone come illustrato nella figura 2
- 7 Anello di gomma

Dimensioni in millimetri



Metodi di prova per la valutazione della macrotestitura

| Metodi di prova | | Gamma di validità (espressa in valori di profondità media del profilo, MPD) |
|-----------------|---|---|
| EN 13036-1 | Misurazione della profondità della macrotestitura superficiale della pavimentazione utilizzando una tecnica volumetrica | da 0,25 mm a 5 mm |
| ISO 13473-1 | Determinazione della profondità media del profilo (MPD) | da 0 mm a 5 mm |
| EN 13036-3 | Misurazione della drenabilità orizzontale della superficie della pavimentazione | da 0 mm a 0,4 mm |

RISULTATI DELLE PROVE

I risultati dei dieci punti di prova OT_i devono essere mediati per ottenere il valore OT_P per la lunghezza della superficie.

Non deve essere effettuata nessuna correzione per la temperatura.

$$OT_P = \frac{OT_1 + OT_2 + \dots + OT_{10}}{10} \quad (1)$$

dove:

OT_P è il tempo di efflusso per una superficie della lunghezza di 25 m;

$OT_1 \dots OT_{10}$ sono il tempo di efflusso sul punto di prova 1 ... fino al punto di prova 10.

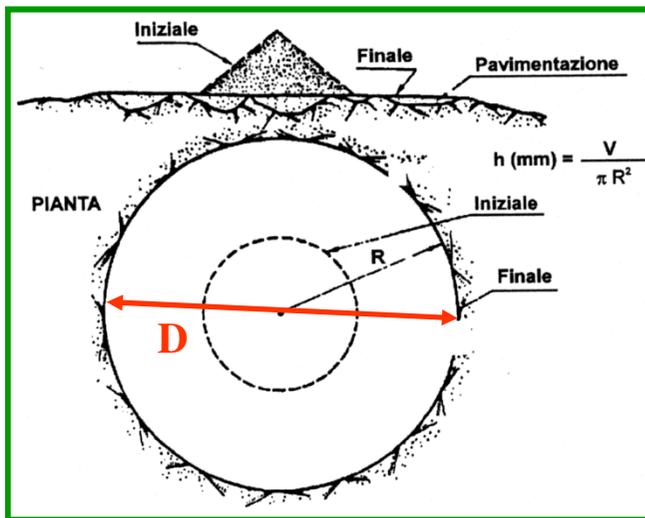
Indicatori di macrotestitura (3)

NORMA UNI EN 13036-1: Misurazione della profondità della macrotestitura della superficie delle pavimentazioni tramite tecnica volumetrica.

**NORMA CNR N. 94 15 OTTOBRE 1983 : Metodo di prova per la misura della macro-
rugosità superficiale con il sistema della altezza di sabbia**

$$\text{MTD (Mean Texture Depth) = HS (altezza in sabbia) = } \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad [\text{mm}]$$

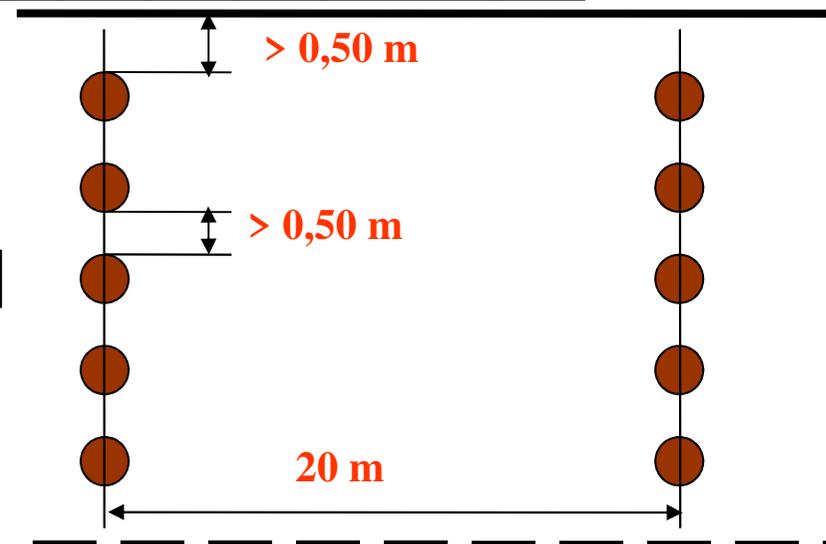
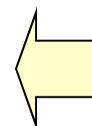
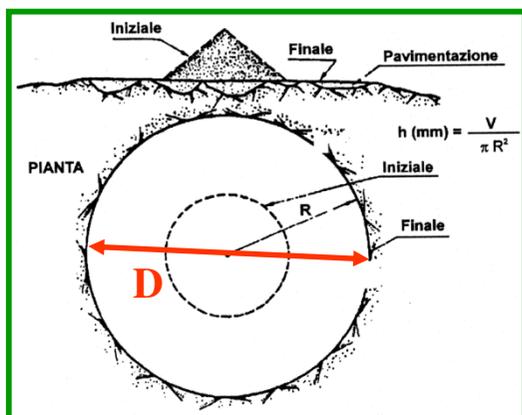
$$V = 25.000 \pm 150 \text{ mm}^3$$



| Altezza di sabbia | macrorugosità |
|---------------------------|---------------|
| $HS \leq 0,20 \text{ mm}$ | molto fina |
| $0,20 < HS \leq 0,40$ | fina |
| $0,40 < HS \leq 0,80$ | media |
| $0,80 < HS \leq 1,20$ | grossa |
| $1,20 < HS$ | molto grossa |

Indicatori di macrotestitura (4)

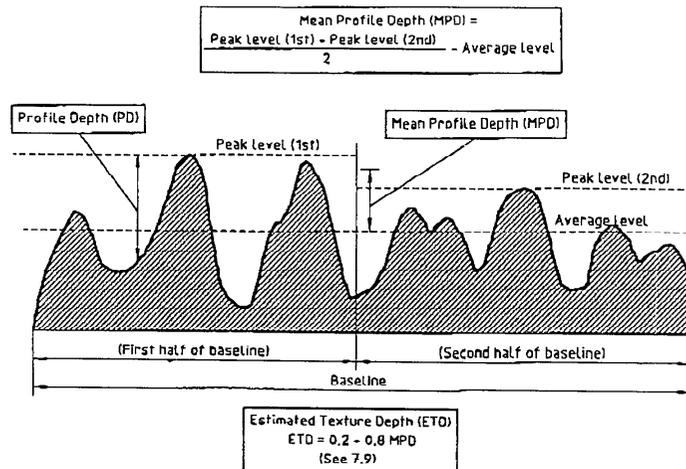
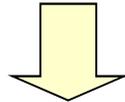
| Allineamento | Trasversale 1 | | | | | Trasversale 2 | | | | |
|--|---------------|----|---------|----|----|---------------|----|---------|----|----|
| Punto di misura | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |
| Distanza longitudinale dal P.R.: [m] | | | | | | | | | | |
| Distanza dal bordo destro della corsia [m] | | | | | | | | | | |
| Valore misurato diametro D1 [mm] | | | | | | | | | | |
| Valore misurato diametro D2 [mm] | | | | | | | | | | |
| Valore medio calcolato del diametro [mm] | | | | | | | | | | |
| Valore altezza in sabbia HS [mm] | | | | | | | | | | |
| Media altezza in sabbia degli allineamenti | | | HS (1): | | | | | HS (2): | | |



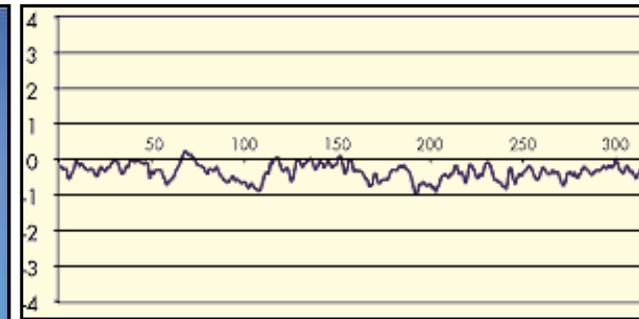
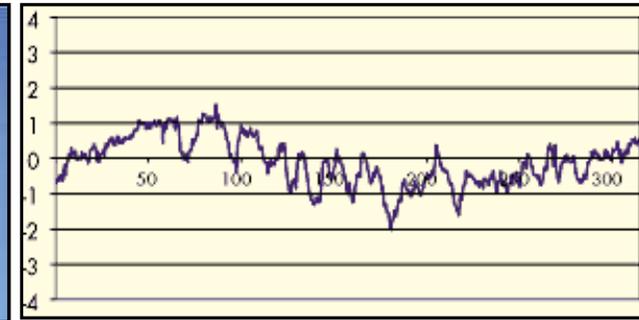
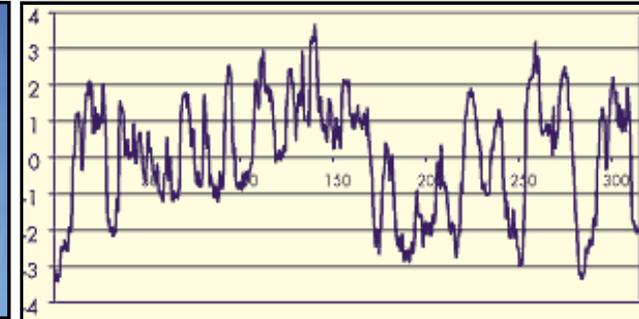
Indicatori di macrotestitura (5)

Tra i metodi statistici più diffusi, ottenuto mediante profilometro laser, c'è:

MPD (Mean Profile Depth) Norma UNI EN ISO 13473-1

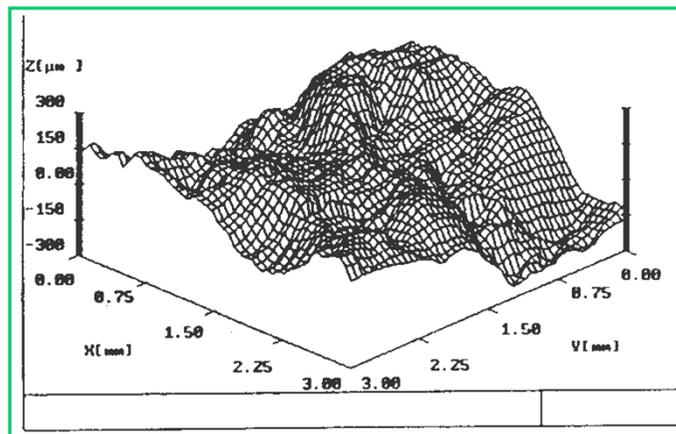
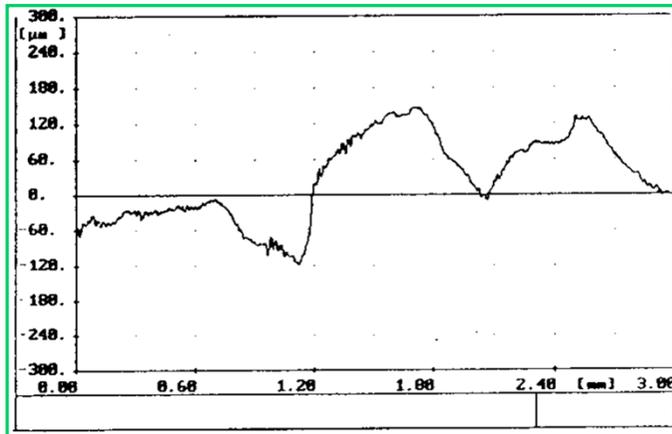


$HS \cong ETD = 0,2 + 0,8 \text{ MPD [mm]}$



Indicatori di microtessitura

METODI DIRETTI



METODI INDIRETTI



BPN - British Portable Number (1)

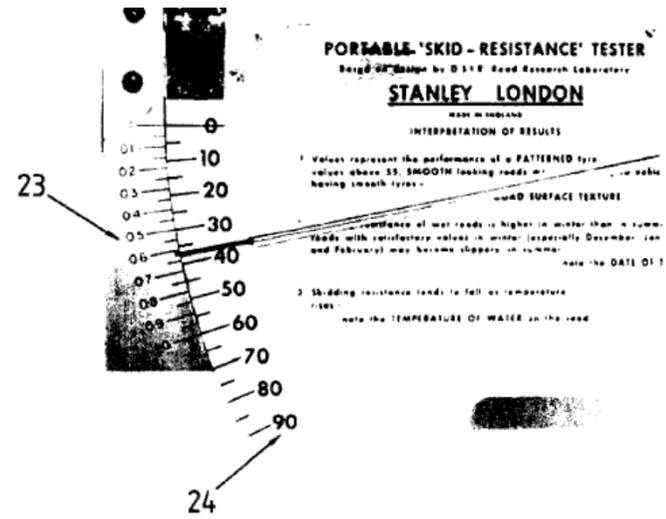
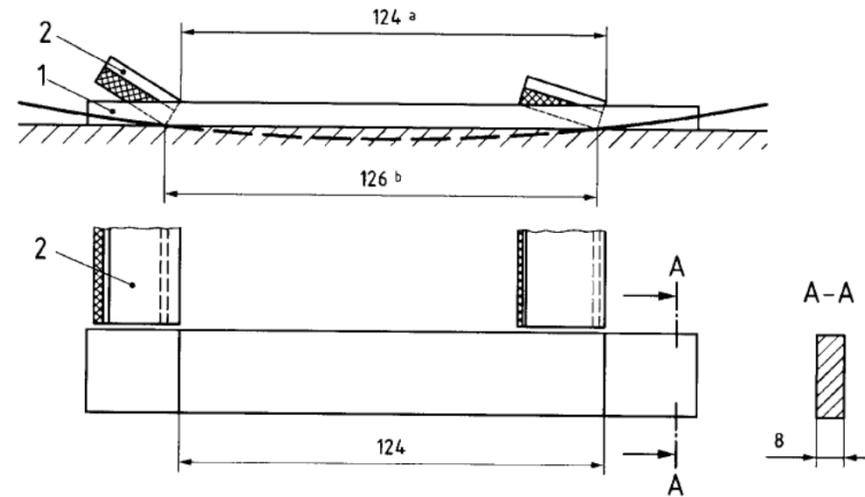
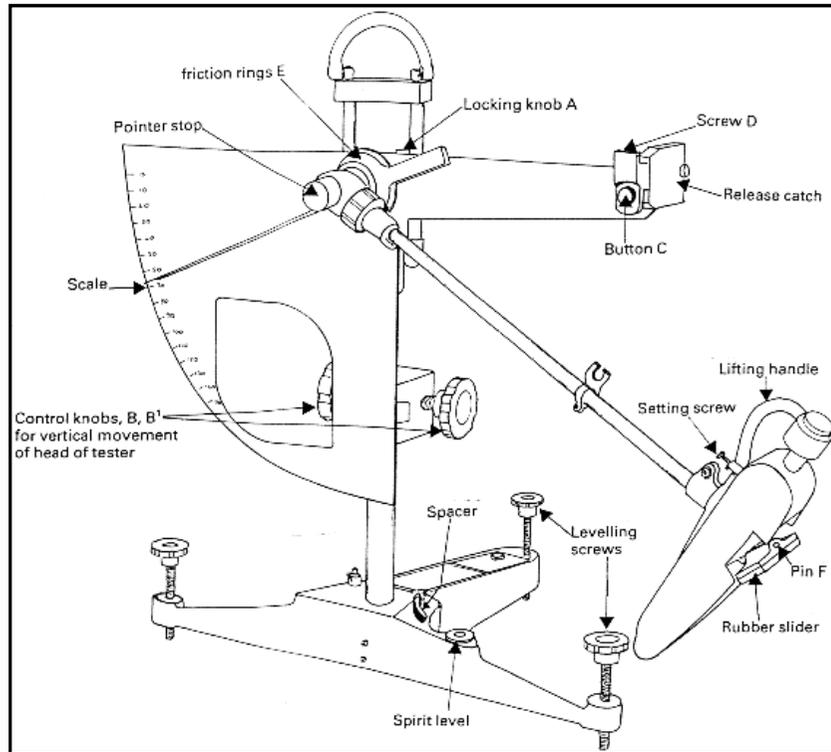
NORMA UNI EN 13036-4: Metodo per la misurazione della resistenza/derapaggio di una superficie: metodo del pendolo.

NORMA CNR N. 94 15 OTTOBRE 1983 : Metodo di prova per la misura della resistenza di attrito radente con l'apparecchio portatile a pendolo

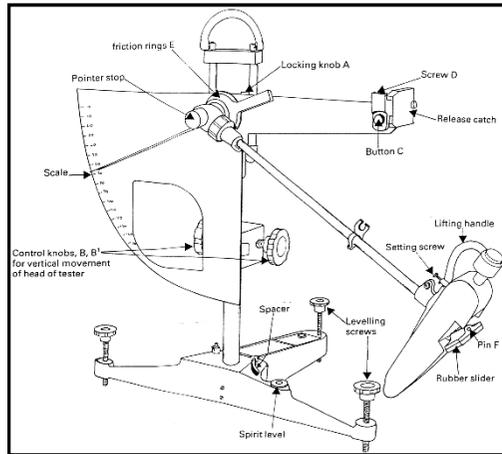


| Categoria | Tipologia di zona | valore minimo |
|------------------|---|----------------------|
| | Rotatorie, Curve con R<150m | |
| A | Pendenze long. > 5%, in prossimità di semafori su strade senza limiti di vel. | 65 |
| B | Autostrade, strade extraurbane principali e strade urbane con traffico > 2000 veic./g | 55 |
| C | Tutti gli altri siti | 45 |

BPN - British Portable Number (2)



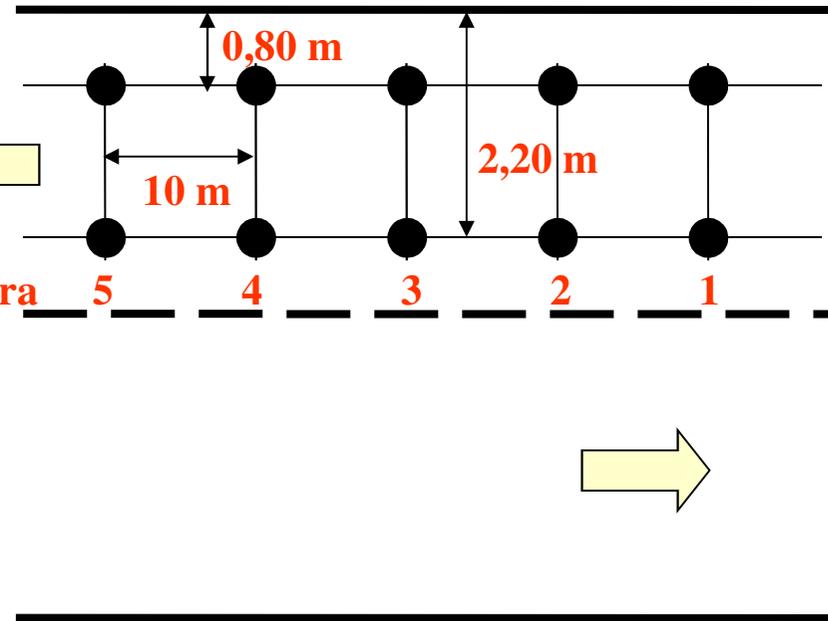
BPN - British Portable Number (3)



Allineamento 1

Allineamento 2

Punti di misura



$$\text{BPN} = \text{PTV (Pendulum Test Value)} = \frac{\sum v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{5}$$

Oppure se i valori differiscono di più di 3 unità, utilizzare la seguente

$$\text{BPN} = \text{PTV (Pendulum Test Value)} = \frac{\sum v_3 + v_4 + v_5}{3}$$

BPN - British Portable Number (4)

Table 3 — Correction of *PTV* when the test is carried out at other than 20 °C using slider 57

| Measured slider temperature °C | Correction to measured value |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 36 to 40 | +3 |
| 20 to 35 | +2 |
| 23 to 29 | +1 |
| 19 to 22 | 0 |
| 16 to 18 | -1 |
| 11 to 15 | -2 |
| 8 to 10 | -3 |
| 5 to 7 | -4 |

NOTE The temperature correction can be affected by the texture of the surface.

Norma CNR

Temperatura C° 5-7 8-10 11-13 14-16 17-20 21-24 25-29 30-40

Correzione -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4

BPN - British Portable Number (5)

| Allineamento | 1 | | | | | 2 | | | | |
|--|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----------|
| Punto di misura | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |
| Distanza longitudinale dal P.R. [m] | | | | | | | | | | |
| Distanza dal bordo destro della corsia [m] | | | | | | | | | | |
| Pendenza trasversale (%) | | | | | | | | | | |
| Pendenza longitudinale (%) | | | | | | | | | | |
| valori BPN misurati lettura 1 | | | | | | | | | | |
| valori BPN misurati lettura 2 | | | | | | | | | | |
| valori BPN misurati lettura 3 | | | | | | | | | | |
| valori BPN misurati lettura 4 | | | | | | | | | | |
| Valori BPN misurati lettura 5 | | | | | | | | | | |
| valori BPN misurati letture supplementari | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Media BPN ultime 3 letture utili | | | | | | | | | | |
| Temperatura pavimentazione (° C) | | | | | | | | | | |
| Fattore di correzione | | | | | | | | | | |
| Valori BPN medi corretti | | | | | | | | | | |
| Media BPN corretta degli allineamenti | | | | | BPN (1): | | | | | BPN (2): |

Metodi di misura dell'aderenza (1)

Le diverse apparecchiature per misurare l'aderenza possono essere classificate secondo tre modalità di prova:

1. Metodo con ruota bloccata

- *Skid Number, CAL*



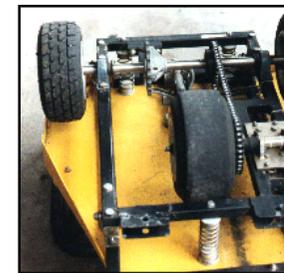
2. Metodo con forza trasversale

- *Side force coefficient SFC, CAT*



3. Metodo con scorrimento della ruota

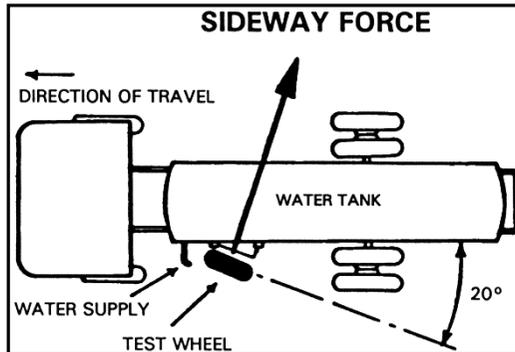
- *Brake slip number BSN*



Metodi di misura dell'aderenza (2)

NORMA UNI CEN/TS 15901-6: Procedura per determinare l'aderenza della pavimentazione mediante misurazione del coefficiente di aderenza trasversale (SFCS): SCRIM

CNR B.U. n.147/92 - Metodo di prova per la misura del coefficiente di aderenza con l'apparecchio S.C.R.I.M.



$$CAT_{S=V \cdot \sin(20^\circ)} = \frac{N}{P}$$

Angolo

$$CAT_{20^\circ} = \frac{CAT_{t_0}}{0,548 \cdot \frac{45,2}{t + 80}}$$

Temperatura

Metodi di misura dell'aderenza (3)

CNR B.U. n.147/92 - Metodo di prova per la misura del coefficiente di aderenza con l'apparecchi S.C.R.I.M.

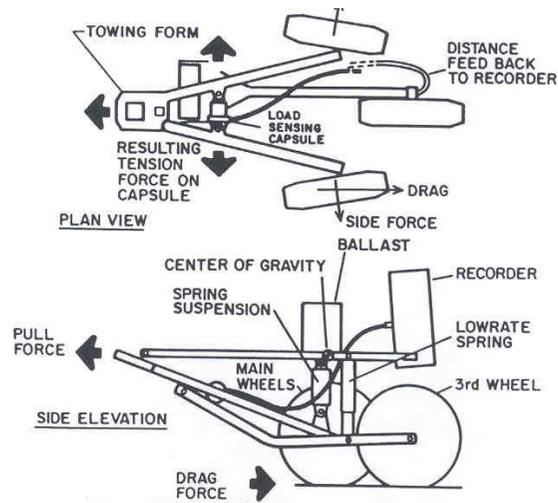
| VALORI | GIUDIZIO | OPERAZIONI |
|-------------------|------------------------|---|
| CAT < 0,35 | Aderenza mediocre | Necessità controlli molto frequenti |
| 0,35 < CAT < 0,45 | Aderenza discreta | Necessità controlli frequenti |
| 0,45 < CAT < 0,55 | Aderenza soddisfacente | Sorveglianza periodica della pavimentazione |
| 0,55 < CAT | Aderenza buona | Sorveglianza diradata |

CNR B.U. n.125/88 Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale

| Grado di gravità | Parametri ausiliari | Indicazioni per la manutenzione |
|----------------------------|--|---|
| 3 CAT = 0,40 – 0,50 | Tasso di incidenti sulla strada superiore alla media | Sorveglianza della sezione |
| 2 CAT = 0,35 – 0,40 | Condizioni sfavorevoli dei luoghi e dei tracciati. Incidenti | Sorveglianza della sezione o rinnovo dello strato superficiale, a seconda della sua età |
| 1 CAT = 0,35 – 0,28 (*) | | Rinnovo dello strato superficiale |

(*) 40% delle misure $\leq 0,30$ oppure 60% delle misure sono $\leq 0,35$

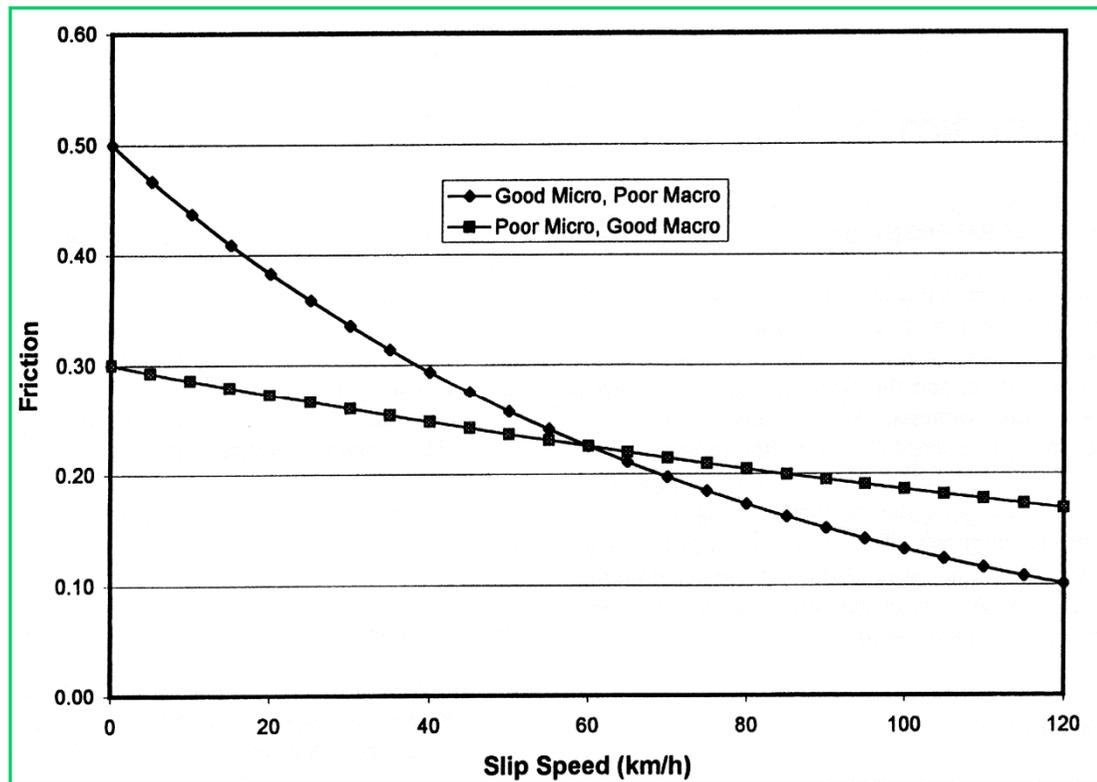
Metodi di misura dell'aderenza (4)



| Test equipment | Test tire | | | Test water depth (mm) | Design objective for new surface | Maintenance planning level | Minimum friction level |
|---------------------------------|-----------|----------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------|
| | Type | Pressure (kPa) | Test speed (km/h) | | | | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | |
| Mu-meter Trailer | A | 70 | 65 | 1.0 | 0.72 | 0.52 | 0.42 |
| | A | 70 | 95 | 1.0 | 0.66 | 0.38 | 0.26 |
| Skiddometer Trailer | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.82 | 0.60 | 0.50 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.74 | 0.47 | 0.34 |
| Surface Friction Tester Vehicle | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.82 | 0.60 | 0.50 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.74 | 0.47 | 0.34 |
| Runway Friction Tester Vehicle | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.82 | 0.60 | 0.50 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.74 | 0.54 | 0.41 |
| TATRA Friction Tester Vehicle | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.76 | 0.57 | 0.48 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.67 | 0.52 | 0.42 |
| GRIPTESTER Trailer | C | 140 | 65 | 1.0 | 0.74 | 0.53 | 0.43 |
| | C | 140 | 95 | 1.0 | 0.64 | 0.36 | 0.24 |

Modelli di previsione dell'aderenza

Sono modelli che considerano l'aderenza come funzione della velocità del veicolo: la caratterizzazione della pavimentazione viene eseguita attraverso una misura di aderenza e di tessitura superficiale.



$$SN_V = SN_0 e^{-\frac{PGN}{100} V}$$
$$SN_0 = 1,32 BPN - 34,9$$
$$PGN = 0,45 MTD^{-0,47}$$

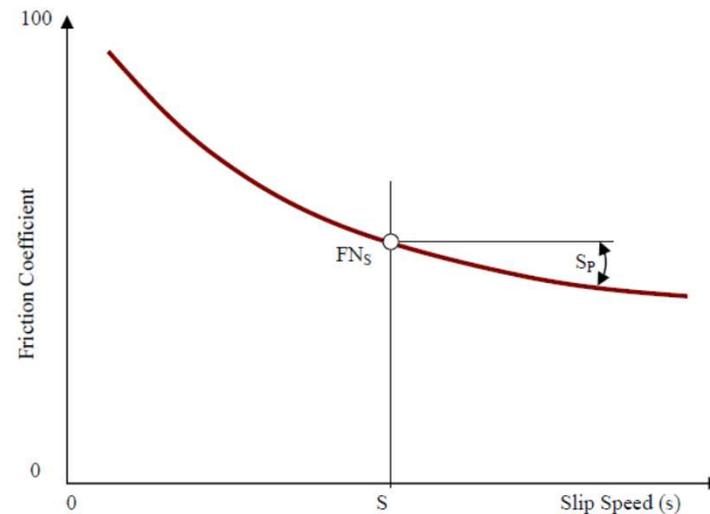
Modello di Leu-Henry

Modelli di previsione dell'aderenza

Penn State Model

$$F(S) = F_0 \cdot e^{-\frac{S}{Sp}}$$

$$-\frac{PGN}{100} = \frac{dF(S)}{F(S) \cdot dS} = \frac{F_0 \cdot \left(-\frac{1}{Sp}\right) \cdot e^{-\frac{S}{Sp}}}{F_0 \cdot e^{-\frac{S}{Sp}}} = -\frac{1}{Sp}$$



Modello Aipcr

$$F(S) = F_0 \cdot e^{-\frac{S}{Sp}} = F_0 \cdot e^{-\frac{60}{Sp}} \cdot e^{-\frac{S-60}{Sp}} = F(60) \cdot e^{-\frac{S-60}{Sp}}$$

Indici IFI, EFI e IRFI (1)

FR(S)

| DEVICE | FRS | V | %SLIP | S | TYPE | ln FRS |
|--------|------|------|-------|------|------------|--------|
| C4 | .685 | 30.5 | 10 | 3.1 | SLIP | -0.38 |
| C4 | .660 | 49.0 | 10 | 4.9 | SLIP | -0.42 |
| C4 | .640 | 61.5 | 10 | 6.2 | SLIP | -0.45 |
| D8 | .660 | 30.0 | 14 | 4.4 | SLIP | -0.42 |
| D8 | .535 | 65.0 | 14 | 9.4 | SLIP | -0.63 |
| D8 | .480 | 90.0 | 14 | 13.0 | SLIP | -0.73 |
| C8 | .820 | 30.0 | 21 | 6.3 | SFC 12 DEG | -0.20 |
| C8 | .715 | 60.0 | 21 | 12.0 | SFC 12 DEG | -0.34 |
| C8 | .605 | 90.0 | 21 | 18.0 | SFC 12 DEG | -0.50 |
| C9 | .845 | 30.0 | 26 | 7.9 | SFC 15 DEG | -0.44 |
| C9 | .565 | 52.0 | 26 | 13.0 | SFC 15 DEG | -0.57 |
| C9 | .385 | 90.0 | 26 | 23.0 | SFC 15 DEG | -0.95 |
| C10 | .670 | 30.0 | 34 | 10.2 | SFC 20 DEG | -0.40 |
| C10 | .520 | 61.5 | 34 | 20.9 | SFC 20 DEG | -0.65 |
| C10 | .370 | 93.0 | 34 | 31.8 | SFC 20 DEG | -0.99 |
| C3B | .565 | 32.0 | 34 | 10.9 | SFC 20 DEG | -0.57 |
| C3B | .525 | 61.5 | 34 | 24.6 | SFC 20 DEG | -0.64 |
| C3B | .475 | 79.5 | 34 | 27.0 | SFC 20 DEG | -0.74 |
| D2 | .700 | 30.0 | 34 | 10.2 | SFC 20 DEG | -0.36 |
| D2 | .820 | 58.0 | 34 | 19.7 | SFC 20 DEG | -0.48 |
| D2 | .555 | 84.0 | 34 | 28.8 | SFC 20 DEG | -0.59 |
| D3 | .780 | 30.5 | 34 | 10.4 | SFC 20 DEG | -0.25 |
| D3 | .865 | 61.0 | 34 | 20.7 | SFC 20 DEG | -0.41 |
| D3 | .605 | 86.0 | 34 | 29.2 | SFC 20 DEG | -0.50 |
| D4 | .660 | 30.0 | 34 | 10.2 | SFC 20 DEG | -0.42 |
| D4 | .575 | 60.1 | 34 | 20.4 | SFC 20 DEG | -0.55 |
| D4 | .540 | 88.1 | 34 | 30.0 | SFC 20 DEG | -0.62 |
| D5 | .659 | 30.8 | 34 | 10.4 | SFC 20 DEG | -0.42 |
| D5 | .610 | 49.9 | 34 | 17.0 | SFC 20 DEG | -0.49 |
| D5 | .514 | 91.9 | 34 | 31.2 | SFC 20 DEG | -0.67 |
| C5 | .599 | 30.0 | 86 | 25.8 | SLIP | -0.51 |
| C5 | .513 | 50.0 | 86 | 43.0 | SLIP | -0.67 |
| C5 | .361 | 90.0 | 86 | 77.4 | SLIP | -1.02 |
| B6 | .560 | 29.6 | 100 | 29.6 | LOCKED | -0.58 |
| B6 | .322 | 67.2 | 100 | 67.2 | LOCKED | -1.13 |
| B6 | .229 | 92.5 | 100 | 92.5 | LOCKED | -1.47 |
| D6 | .480 | 38.5 | 100 | 38.5 | LOCKED | -0.73 |
| D6 | .345 | 61.5 | 100 | 61.5 | LOCKED | -1.08 |
| D6 | .220 | 91.5 | 100 | 91.5 | LOCKED | -1.51 |

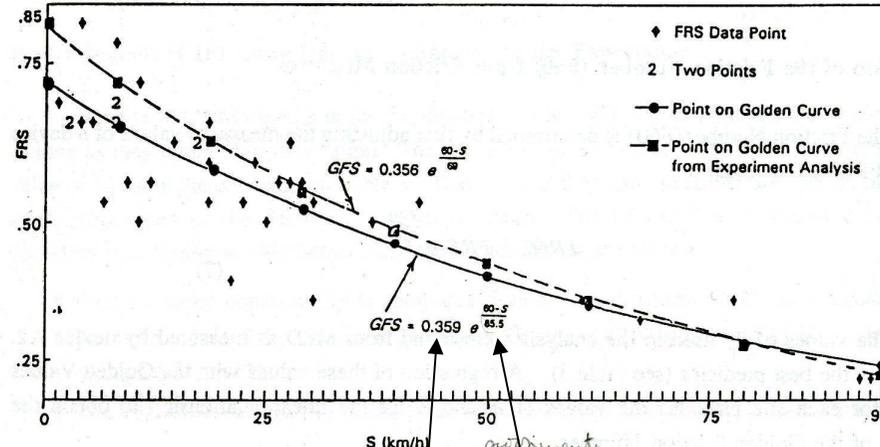


FIGURE 1. The Golden Curve for Site 6 Section A

Misurato = S

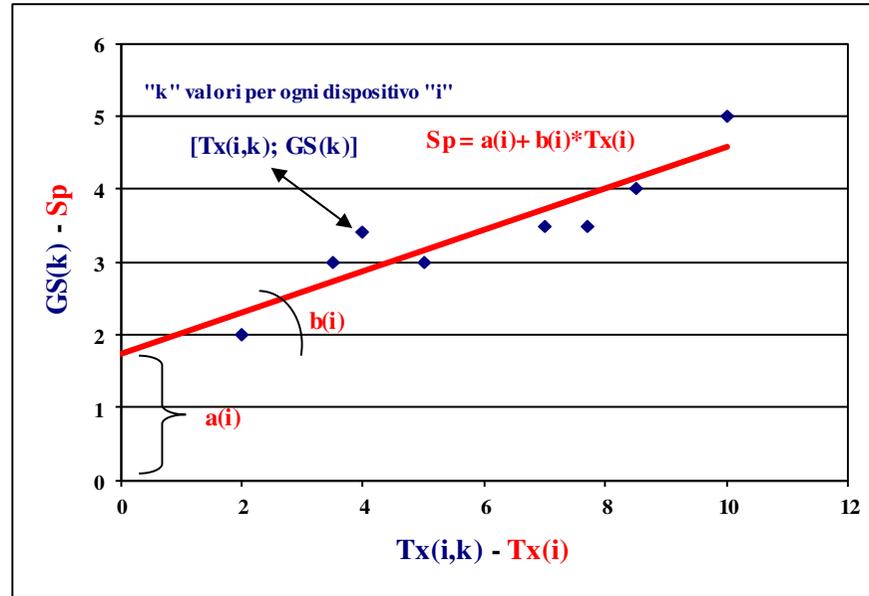
$$F(S) = F60 \cdot e^{\frac{60-S}{S_p}}$$

Misurato = FRS

$$GF(S)_k = GF(60)_k \cdot e^{\frac{60-S}{GS_k}}$$

Costanti calcolati dall'analisi di regr.

Indici IFI, EFI e IRFI (2)



$$GF(S)_1 = GF(60)_1 \cdot e^{\frac{60-S}{GS_1}}$$

$$GF(S)_2 = GF(60)_2 \cdot e^{\frac{60-S}{GS_2}}$$

.....

$$GF(S)_k = GF(60)_k \cdot e^{\frac{60-S}{GS_k}}$$

GSk calcolati da
Pagina precedente

$$GS_{k(i)} = a_i + b_i \cdot Tx_{i,k} \leftarrow \text{Misurato } Tx_{i,k}$$

Costanti calcolati dall'analisi di regr.
Valide per il dispositivo "i"

$$S_p = a_i + b_i \cdot Tx_i$$

Indici IFI, EFI e IRFI (3)

TABLE 24. REGRESSIONS OF THE PREDICTED SPEED CONSTANT S_p WITH THE GOLD SPEED CONSTANT GS.
 TABLEAU 24. RÉGRESIONS SERVANT À PRÉDIRE LA CONSTANCE S_p À PARTIR DE LA CONSTANCE DE VITESSE D'OR GS.
 TABLA 24. REGRESIÓN ENTRE LA CONSTANCE DE VELOCIDAD S_p Y LA CONSTANCE DE VELOCIDAD DE REFERENCIA GS.

| METHOD | DEVICE | V | N | a | b | Max E | Ave E | RMSE | R |
|--------|--------|----|----|----------|-----------|--------|--------|-------|-------|
| MPD | A2 | 34 | 69 | 14.235 | 89.719746 | 77.80 | 14.78 | 21.33 | 0.956 |
| ETD | A2 | 34 | 69 | 37.3855 | 76.9768 | 78.27 | 14.79 | 21.42 | 0.950 |
| MPD | A5 | 0 | 65 | 9.74081 | 81.67568 | 77.19 | 16.94 | 23.18 | 0.941 |
| TDMA | A2 | 34 | 69 | 17.3401 | 94.25999 | 69.42 | 17.75 | 23.59 | 0.939 |
| MTD | A8 | 0 | 69 | -11.5981 | 113.63246 | 85.38 | 17.95 | 25.42 | 0.930 |
| MTD | A3B | 60 | 25 | -12.6729 | 119.769 | 57.90 | 18.70 | 25.39 | 0.920 |
| 4SC | D3 | 60 | 67 | 17.628 | 92.9984 | 125.73 | 18.54 | 28.02 | 0.915 |
| RQ | D3 | 60 | 67 | 14.1414 | 180.6588 | 130.17 | 19.33 | 28.71 | 0.911 |
| MPD | A4 | 18 | 69 | 11.5017 | 69.13345 | 96.95 | 20.80 | 29.14 | 0.906 |
| RMS | A2 | 34 | 69 | 18.7992 | 170.08937 | 96.47 | 20.14 | 28.57 | 0.906 |
| RA | D3 | 60 | 64 | 16.395 | 225.4199 | 126.00 | 19.07 | 28.56 | 0.906 |
| RMS | A1 | 30 | 69 | 22.6763 | 285.61917 | 86.20 | 23.48 | 29.31 | 0.902 |
| MPD | A4 | 36 | 69 | 9.22889 | 83.2893 | 109.41 | 21.59 | 30.39 | 0.897 |
| MTD | A3B | 30 | 25 | -3.4267 | 116.55418 | 73.32 | 21.48 | 29.27 | 0.892 |
| RMS | A3B | 60 | 25 | 13.9824 | 186.7008 | 71.52 | 23.41 | 30.97 | 0.878 |
| 1/TIME | B11E | 80 | 33 | 48.1228 | 129.9821 | 69.52 | 15.45 | 24.20 | 0.877 |
| MTD | A3B | 80 | 25 | -3.05123 | 108.202 | 72.06 | 24.69 | 31.96 | 0.870 |
| RMS | A5 | 0 | 66 | 21.1784 | 158.69943 | 96.14 | 24.67 | 35.10 | 0.862 |
| CSMTD | D4 | 50 | 58 | 30.6987 | 148.4899 | 141.45 | 23.44 | 34.48 | 0.814 |
| MTD | D2 | 69 | 62 | -34.9681 | 142.6474 | 128.76 | 20.01 | 37.21 | 0.806 |
| RMS | A3B | 80 | 25 | 21.4705 | 172.5365 | 95.43 | 29.92 | 39.02 | 0.798 |
| SMTD | D5 | 50 | 63 | 25.8322 | 139.6801 | 151.73 | 24.40 | 36.48 | 0.793 |
| RMS | A3B | 30 | 25 | 35.2133 | 154.6843 | 114.56 | 29.22 | 46.46 | 0.781 |
| ROUGH | A3E | 30 | 33 | 9.67855 | 215.1516 | 71.81 | 21.62 | 31.61 | 0.779 |
| MEGA | A3E | 30 | 33 | 32.535 | 247.9318 | 90.98 | 21.96 | 32.78 | 0.759 |
| MPD | A4 | 72 | 69 | 42.256 | 139.2028 | 146.97 | 35.23 | 48.10 | 0.714 |
| FINE | A3E | 30 | 33 | 21.9145 | 317.0124 | 115.30 | 29.81 | 43.74 | 0.496 |
| BPN | A14 | 0 | 68 | -130.262 | 3.70656 | 177.74 | 48.60 | 61.44 | 0.451 |
| BPN | B7 | 0 | 62 | -44.4114 | 2.99675 | 162.51 | 50.41 | 60.05 | 0.397 |

$$S_p = a_i + b_i \cdot T x_i$$

Method / Méthode / Método
 Device / Appareil / Equipo
 Max |E| = Maximum absolute error / Erreur absolue maximum / Error absoluto máximo
 Ave |E| = Average absolute error / Erreur absolue moyenne / Error absoluto medio
 RMSE = Root mean square of the residual error / Moyenne quadratique de l'erreur (SD des restes) / Raíz media cuadrática del error residual

Indici IFI, EFI e IRFI (4)

Velocità di misura reale

$$F60 = F(S) \cdot e^{\frac{S-60}{S_P}}$$



Riferiti al dispositivo "j"

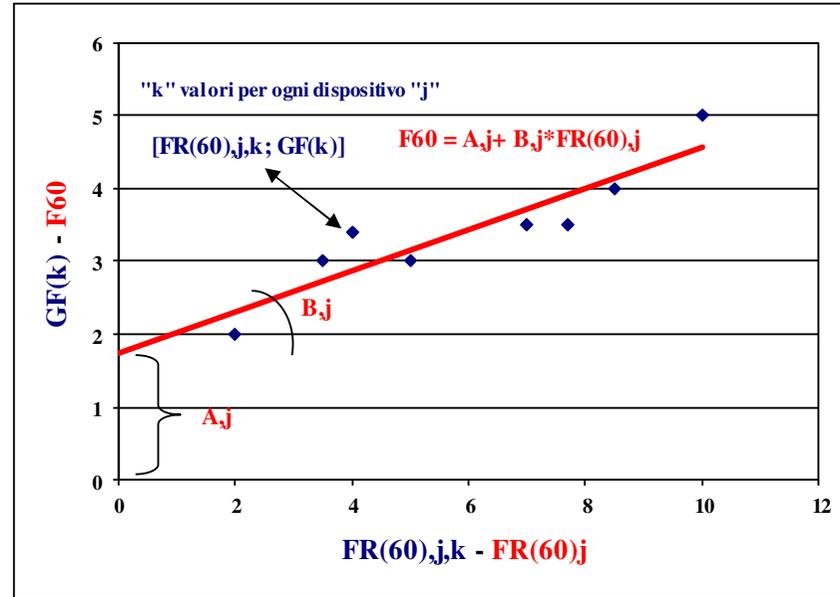
$$FR(60)_{j,1} = FR(S)_{j,1} \cdot e^{\frac{S-60}{S_{P1}}}$$

$$FR(60)_{j,2} = FR(S)_{j,2} \cdot e^{\frac{S-60}{S_{P2}}}$$

.....

$$FR(60)_{j,k} = FR(S)_{j,k} \cdot e^{\frac{S-60}{S_{Pk}}}$$

Misurati con il dispositivo j (pag. 43) Riferito al sito "k"



$$GF(60)_{j,k} = A_j + B_j \cdot FR(60)_{j,k}$$

Calcolati = GF(60)k da pag. 43

Costanti calcolate dall'analisi di regr.

$$F60 = A_j + B_j \cdot FR(60)j$$

FR(60)j,k calcolati da FR(S) di pag .43 attraverso le formule in graffa

Indici IFI e IRFI (5)

TABLE 25. REGRESSIONS TO PREDICT GF60 USING THE PIARC MODEL $F60 = A + B \cdot FRS \cdot \exp[(S-60)/S_p]$ WHERE S_p WAS DETERMINED USING MPD
 TABLEAU 25. REGRESSIONS SERVANT A PREDIRE GF60 EN METTANT EN OEUVRE LE MODELE AIPCR $F60 = A + B \cdot \exp[(S-60)/S_p]$, DANS LEQUEL S_p A ETE CALCULE A PARTIR DE LA MPD
 TABLA 25. REGRESIONES PARA OBTENER GF60 UTILIZANDO EL MODELO AIPCR: $F60 = A + B \cdot FRS \cdot \exp[(S-60)/S_p]$, DONDE S_p SE HA DETERMINADO UTILIZANDO MPD

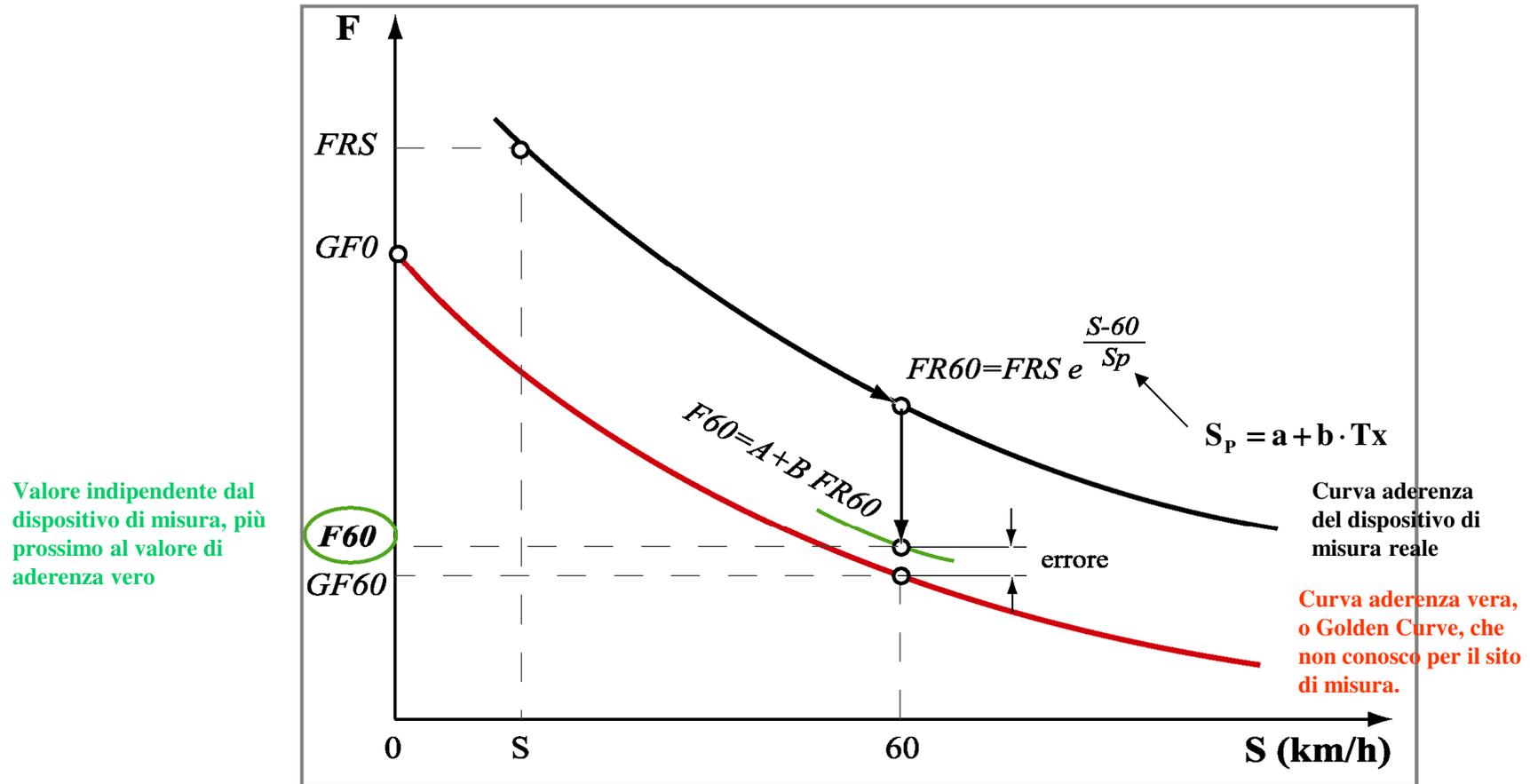
| BLANK TIRE | | S | N | A | B | C | Max E | Ave E | RMSE | R |
|-------------|----------|------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| LKD | B6.524 | 65 | 69 | 0.04461 | 0.92549 | 0 | 0.095 | 0.020 | 0.0267 | 0.969 |
| | D6 | 60 | 69 | 0.00226 | 1.00762 | 0 | 0.060 | 0.016 | 0.0243 | 0.981 |
| SLP | B4SLP-86 | 52 | 15 | -0.03033 | 0.86411 | 0 | 0.038 | 0.021 | 0.0267 | 0.96 |
| | B4SLP-20 | 12 | 15 | 0.11917 | 0.64319 | 0 | 0.089 | 0.031 | 0.0411 | 0.915 |
| | C4 | 10 | 63 | 0.04195 | 0.84865 | 0 | 0.091 | 0.031 | 0.0394 | 0.936 |
| | C5 | 43 | 69 | 0.01883 | 0.8678 | 0 | 0.203 | 0.043 | 0.0584 | 0.84 |
| | D8 | 9.4 | 67 | 0.08209 | 0.9104 | 0 | 0.086 | 0.027 | 0.0346 | 0.947 |
| SFC | C8 | 12.5 | 69 | 0.05436 | 0.7702 | 0 | 0.091 | 0.029 | 0.0362 | 0.941 |
| | C9 | 12.9 | 69 | 0.1134 | 0.7291 | 0 | 0.081 | 0.024 | 0.0301 | 0.960 |
| | C10 | 20.5 | 61 | 0.1135 | 0.74581 | 0 | 0.085 | 0.025 | 0.0311 | 0.962 |
| | C3B | 20.5 | 35 | 0.04912 | 0.96738 | 0 | 0.074 | 0.023 | 0.03 | 0.955 |
| | C3E | 20.5 | 27 | 0.0188 | 0.8127 | 0 | 0.131 | 0.043 | 0.0558 | 0.839 |
| | C6E | 20.5 | 29 | 0.0319 | 0.8734 | 0 | 0.063 | 0.020 | 0.0262 | 0.959 |
| | D1E | 20.5 | 31 | 0.0165 | 0.8495 | 0 | 0.067 | 0.018 | 0.026 | 0.967 |
| | D2 | 20.5 | 68 | 0.02102 | 0.9276 | 0 | 0.113 | 0.039 | 0.0516 | 0.879 |
| | D3 | 20.5 | 69 | -0.00594 | 0.86211 | 0 | 0.085 | 0.026 | 0.0342 | 0.948 |
| | D4 | 20.5 | 69 | 0.00195 | 0.9867 | 0 | 0.094 | 0.031 | 0.0373 | 0.938 |
| D5 | 17.1 | 69 | 0.03258 | 0.8717 | 0 | 0.112 | 0.030 | 0.0385 | 0.933 | |
| RIBBED TIRE | | S | N | A | B | C | Max E | Ave E | RMSE | R |
| LKD | B1LKD | 60 | 42 | 0.02204 | 0.50025 | 0.082158 | 0.085 | 0.033 | 0.0419 | 0.903 |
| | B2LKD | 60 | 63 | 0.02634 | 0.5042 | 0.099195 | 0.114 | 0.039 | 0.0491 | 0.895 |
| | B5LKD | 60 | 59 | -0.07215 | 0.76744 | 0.085505 | 0.124 | 0.038 | 0.049 | 0.904 |
| | B6-501 | 65 | 67 | -0.02283 | 0.60682 | 0.097589 | 0.115 | 0.033 | 0.043 | 0.916 |
| C1 | 60 | 62 | -0.02534 | 0.80685 | 0.067724 | 0.011 | 0.033 | 0.0414 | 0.927 | |
| SLP | B1SLP | 12 | 46 | 0.14107 | 0.32256 | 0.07388 | 0.126 | 0.050 | 0.0624 | 0.8305 |
| | B2SLP | 12 | 64 | 0.02968 | 0.91848 | -0.01362 | 0.073 | 0.028 | 0.035 | 0.9498 |
| | B3 | 12 | 68 | 0.03964 | 0.85618 | -0.01589 | 0.084 | 0.029 | 0.0365 | 0.9415 |
| | B5SLP | 12 | | 0.01962 | 0.8673 | -0.00588 | 0.118 | 0.033 | 0.0414 | 0.9179 |
| SLIDER | | S | N | A | B | C | Max E | Ave E | RMSE | R |
| | A13.60 | 60 | 68 | -0.03365 | 0.77098 | 0 | 0.086 | 0.027 | 0.048 | 0.9 |
| | A13.20 | 20 | 68 | 0.08114 | 0.73158 | 0 | 0.069 | 0.026 | 0.0307 | 0.96 |
| | A14-BPT | 10 | 68 | 0.05626 | 0.00756 | 0 | 0.109 | 0.043 | 0.0526 | 0.874 |
| | B7-SRT | 10 | 62 | 0.0436 | 0.00953 | 0 | 0.173 | 0.030 | 0.0454 | 0.913 |

Blank tire / Pneu sans sculpture / Neumático liso
 Ribbed tire / Pneu nervuré / Neumático esariado
 Slider / Curseur / Zapata

Max |E|: Maximum absolute error / Erreur absolue maximum / Error absoluto máximo
 Ave |E|: Average absolute error / Erreur absolue moyenne / Error absoluto medio
 RMSE= Root mean square of the residual error / Moyenne quadratique de l'erreur (SD des restes) / Raíz media cuadrática del error residual

$$F60 = A_j + B_j \cdot FR(60)_j$$

Indici IFI e IRFI (6)



Indici IFI e IRFI (7)

International Friction Index *IFI* (F_{60}, S_p)

International Runway Friction Index *IRFI* (*sperimentazione in corso; le costanti saranno legate alla tipologia e allo stato della pavimentazione e allo strumento di misura*)

$$S_p = a + b \cdot TX$$

$$FR_{60} = CAT_{60} \cdot e^{\frac{60 \cdot \sin 20^\circ - 60}{S_p}}$$

$$F_{60} = A + B \cdot FR_{60}$$

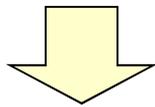
$$F(S) = F_{60} \cdot e^{\frac{60 - S}{S_p}}$$

| Strada "A" - direzione SUD | | | | Corsia di marcia | |
|----------------------------|--------|-------------------|------|------------------|--------------|
| | | Velocità: 60 Km/h | | t = 20° | |
| Progressiva [m] | EVENTI | CAT Media | MPD | SP | F60 |
| 50 | | 0,32 | 0,46 | 55,69 | 0,157 |
| 100 | | 0,36 | 0,55 | 63,42 | 0,191 |
| 150 | | 0,38 | 0,44 | 53,22 | 0,182 |
| 200 | | 0,43 | 0,43 | 52,66 | 0,204 |
| 250 | | 0,45 | 0,41 | 50,75 | 0,206 |
| 300 | | 0,37 | 0,39 | 49,07 | 0,167 |
| 350 | | 0,43 | 0,42 | 51,99 | 0,201 |
| 400 | | 0,45 | 0,45 | 54,12 | 0,217 |
| 450 | | 0,35 | 0,45 | 54,12 | 0,168 |
| 500 | | 0,35 | 0,42 | 52,10 | 0,165 |
| 550 | | 0,33 | 0,43 | 53,11 | 0,158 |
| 600 | | | 0,36 | 46,80 | 0,163 |

Valori di soglia

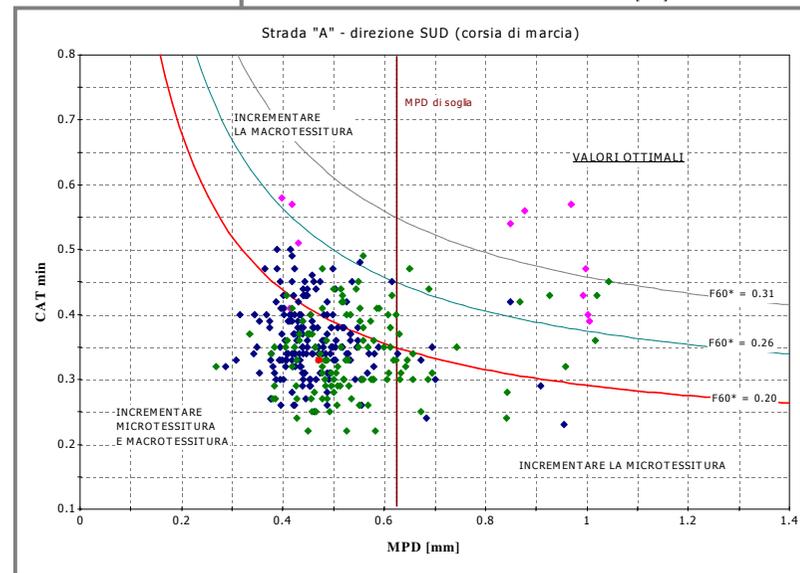
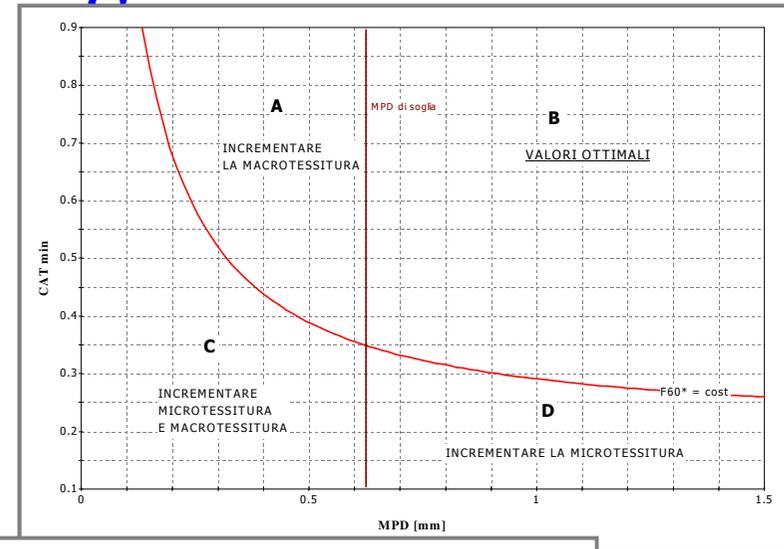
$$FRS_{\min} = \frac{(F60^* - A)}{B} \cdot e^{\frac{60-S}{a+b \cdot TX}}$$

$$TX_{\min} = \frac{(S_p^* - a)}{b}$$



$$CAT_{\min} = \frac{(F60^* - A)}{B} \cdot e^{\frac{60-S}{a+b \cdot MPD}}$$

$$MPD_{\min} = \frac{S_p^* - a}{b}$$



I materiali per lo strato superficiale



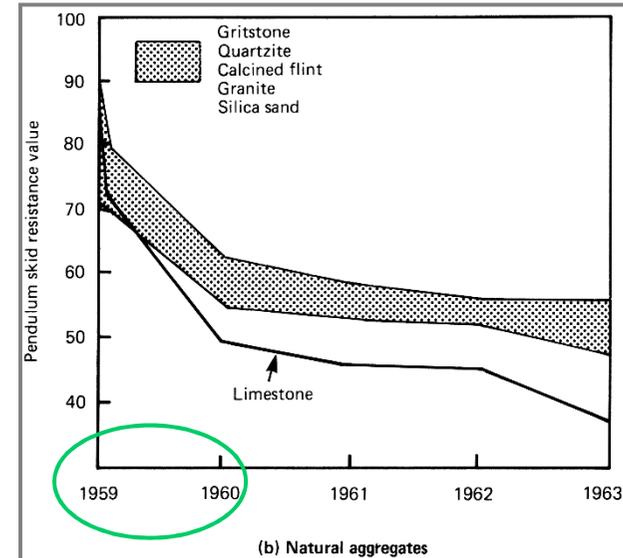
Gli aggregati costituiscono più del 90 % in peso dei conglomerati bituminosi impiegati nelle pavimentazioni stradali

Caratteristiche petrografiche degli inerti

Provengono dalla frantumazione delle rocce presenti in natura:

- **Eruttive**
- **Metamorfiche**
- **Sedimentarie**

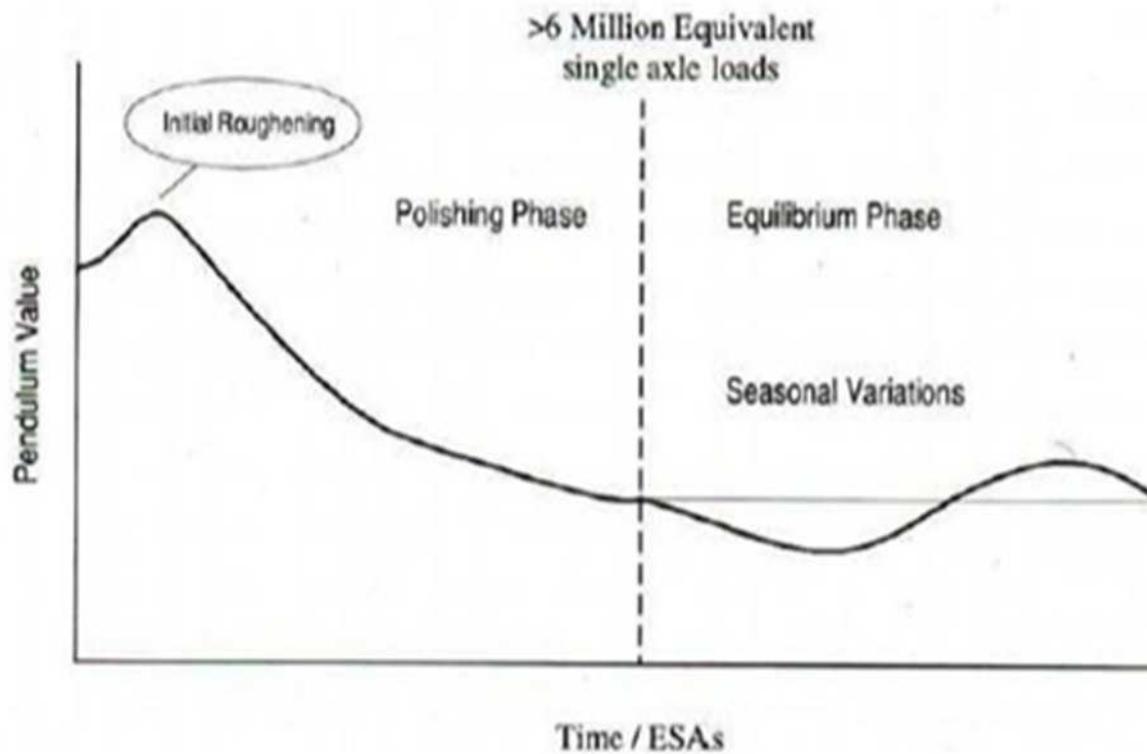
Le rocce più resistenti hanno grana fina e porosità quasi nulla



| Tipi di roccia | Strati della sovrastruttura | |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | usura | base e fondazioni |
| <i>Rocce eruttive</i> | 50 % | 12.5 % |
| <i>Rocce metamorfiche</i> | 28 % | 14 % |
| <i>Calcari</i> | 2 % | 25 % |
| <i>Alluvionali calcaree</i> | 0 % | 3.8 % |
| <i>Alluvionali silico-calcaree</i> | 8 % | 23 % |
| <i>Alluvionali silicee</i> | 12 % | 21.7 % |
| Totale | 100 % | 100 % |

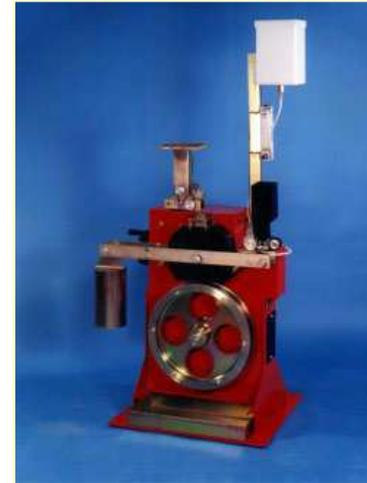
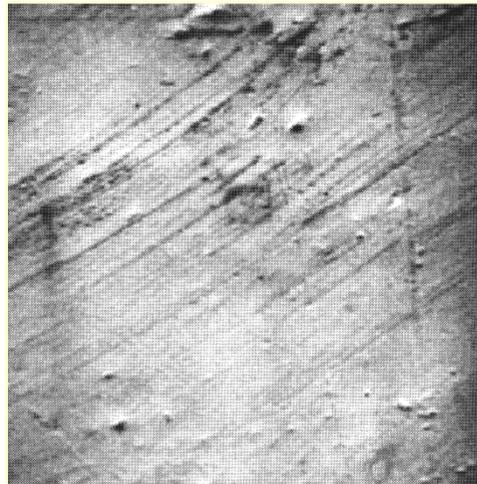
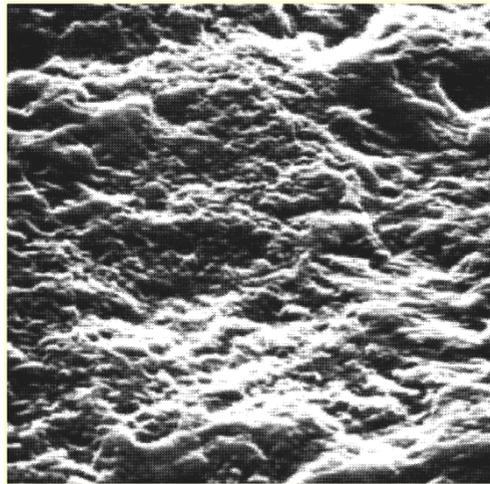


La resistenza all'usura (1)



La resistenza all'usura (2)

USURA PER ATTRITO



Test CLA

*Superficie dell'inerte prima e dopo il test CLA
(secondo la norma CNR B.U. n. 140/92)*

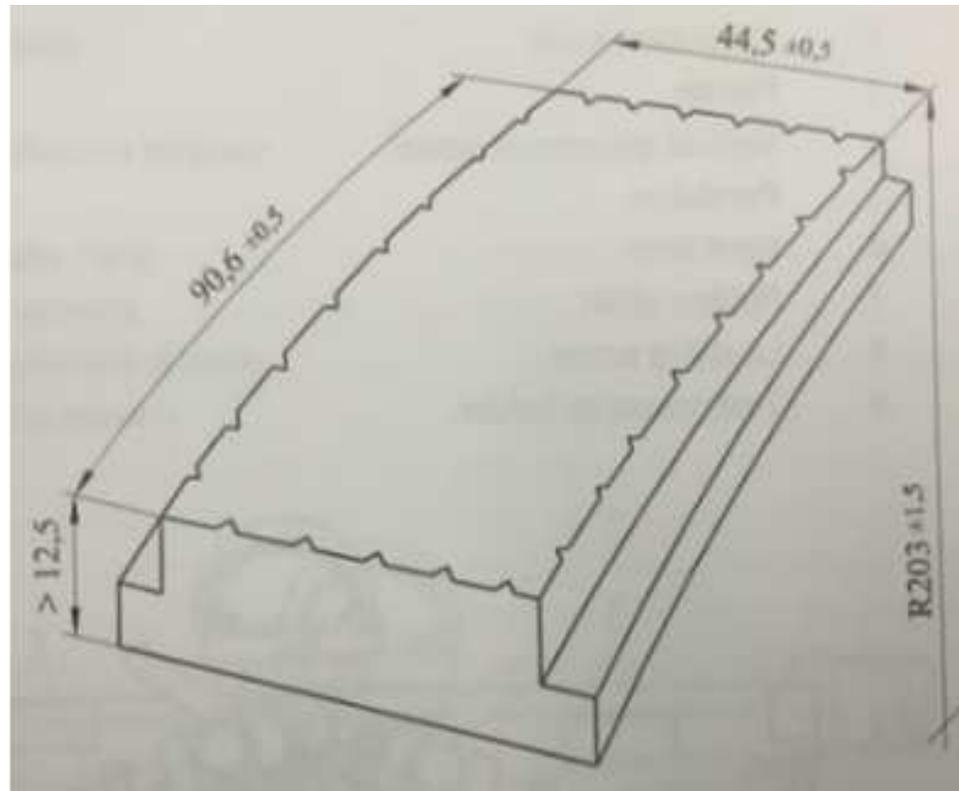
CLA, coefficiente levigabilità accelerata (1)

- Norma CNR B.U. 140/1992; Norma UNI EN 1097-8 (Valore di levigabilità VL)
- Vanno preparati 4 provini per ogni materiale da testare e 4 provini di un materiale di riferimento.
- La pezzatura da utilizzare viene ottenuta raccogliendo, prima, il passante ad un setaccio a maglie quadrate di luce 10 mm, poi, il trattenuto ad un setaccio a barre con interasse ($7,2 \pm 0,1$)mm



CLA, coefficiente levigabilità accelerata (2)

- I provini sono stati realizzati tramite stampi rettificati di precisione con coperchio avente la faccia interna curva.



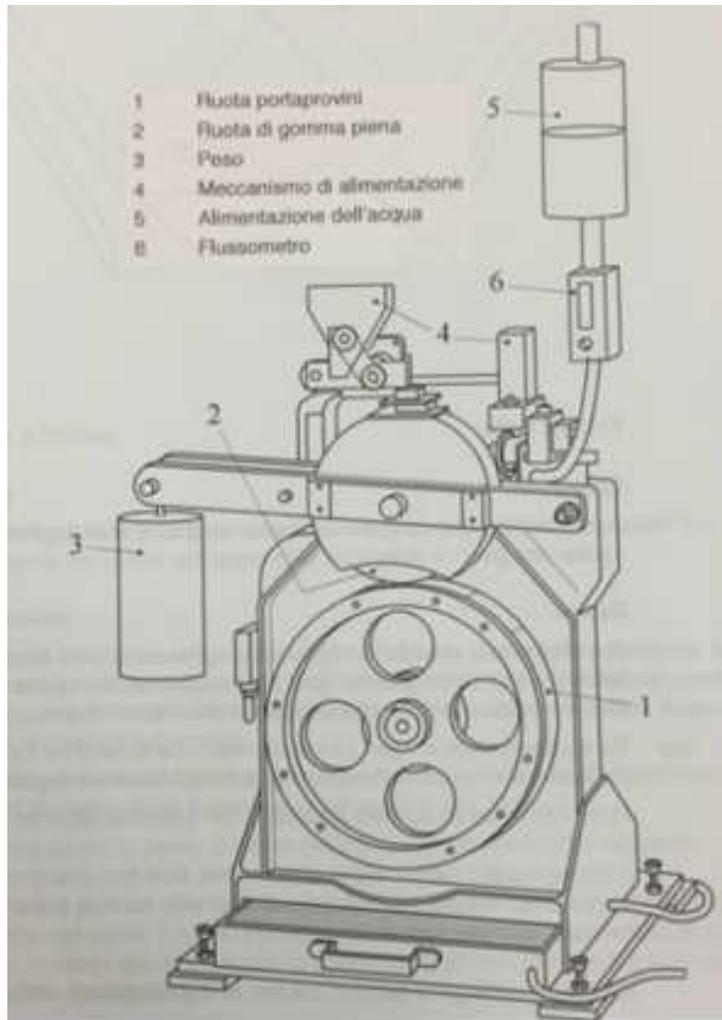
CLA, coefficiente levigabilità accelerata (3)



CLA, coefficiente levigabilità accelerata (4)



CLA, coefficiente levigabilità accelerata (5)



CLA, coefficiente levigabilità accelerata (6)



$$PSV = S + 52,5 - C$$

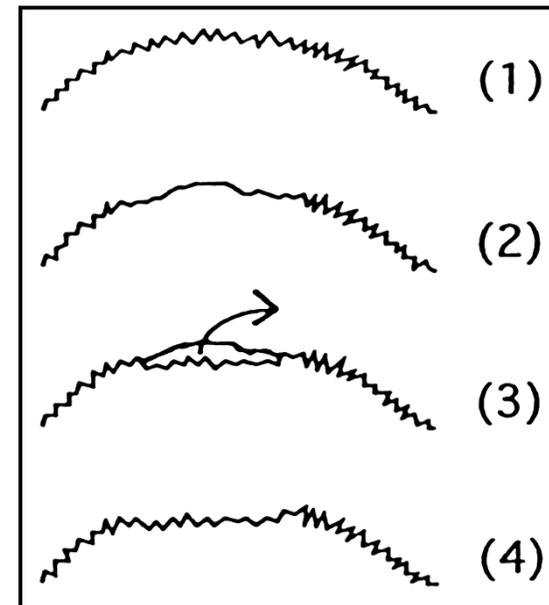
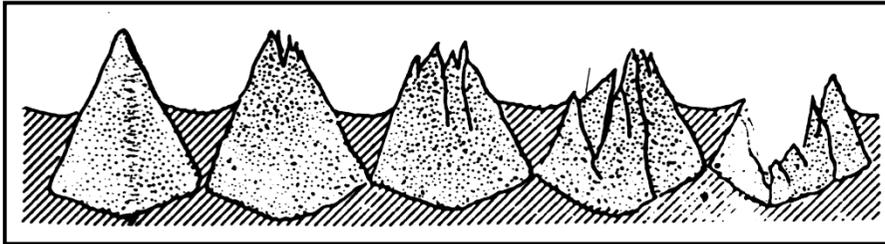
PSV polished stone value
o valore di levigabilità

S media valori 4 provini
materiale da testare

C media valori 4 provini
pietra di riferimento

La resistenza all'usura (1)

USURA PER FRAMMENTAZIONE



La resistenza all'usura (2)

NORMA UNI EN 1097-2: Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione

CNR B.U. n. 34/73 - Determinazione della perdita in peso per abrasione di aggregati lapidei con l'apparecchio Los Angeles



$$L.A. = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

La resistenza all'usura (3)

NORMA UNI EN 1097-1: Determinazione della resistenza all'usura (micro-Deval)

CNR B.U. n. 109/85 - Norme sugli aggregati: determinazione del coefficiente di usura Micro-Deval



$$MD = \frac{M - m}{M} * 100$$

Dove:

M massa in g del provino prima della prova, definito pari a (500 ± 2) g;

m massa in g del trattenuto al setaccio da 1,6 mm dopo la prova.

La resistenza all'usura (4)

Prova MicroDeval



La granulometria (1)



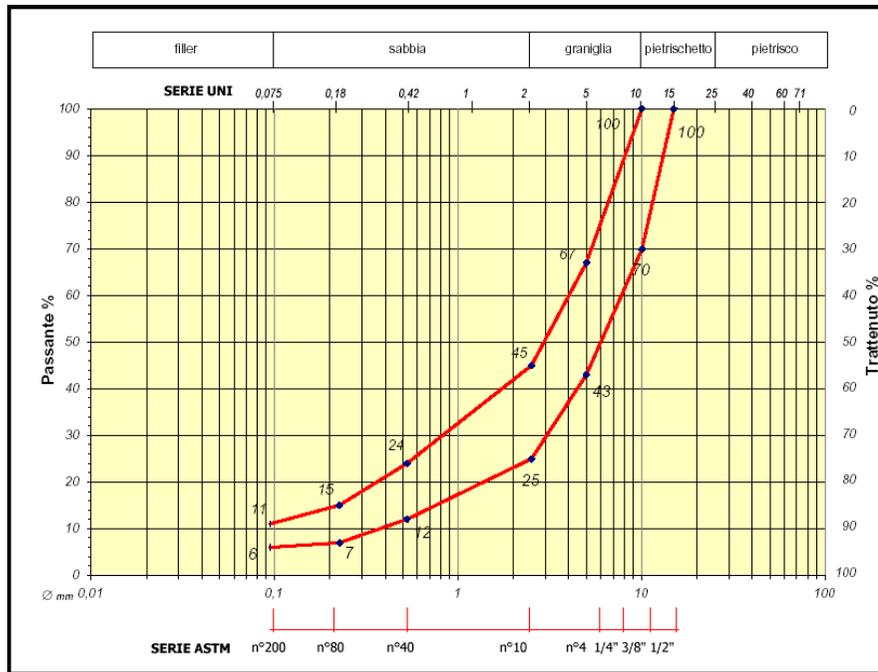
NORMA UNI EN 12697-2: Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Determinazione della granulometria.

NORMA CNR 23/71: Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e setacci.

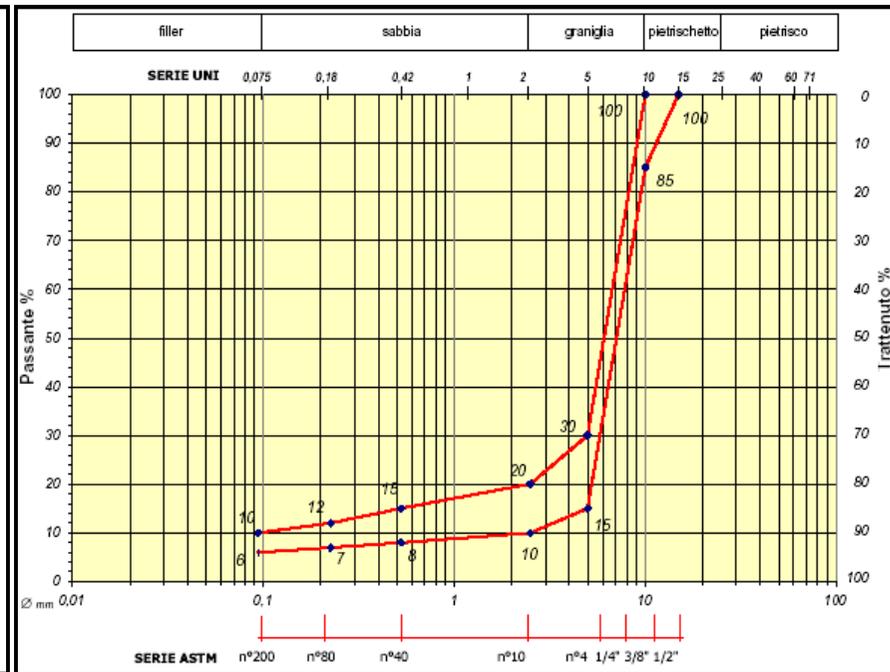
La curva granulometrica determina la porosità finale del manto d'usura influenzandone:

- **Capacità di drenaggio superficiale**
- **Aderenza (specialmente sul bagnato)**
- **Inquinamento acustico**
- **Condizioni di visibilità in presenza di pioggia**

La granulometria (2)



TRADIZIONALE



DRENANTE FONDOASSORBENTE

La granulometria (3)

Una variabile T ha distribuzione di Weibull di parametri $\alpha > 0$ $\beta > 0$ se la sua densità di probabilità è scritta nella forma:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} t^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad \text{con } 0 \leq t < +\infty$$

da cui deriva una funzione di probabilità cumulata integrabile in forma chiusa $F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]$

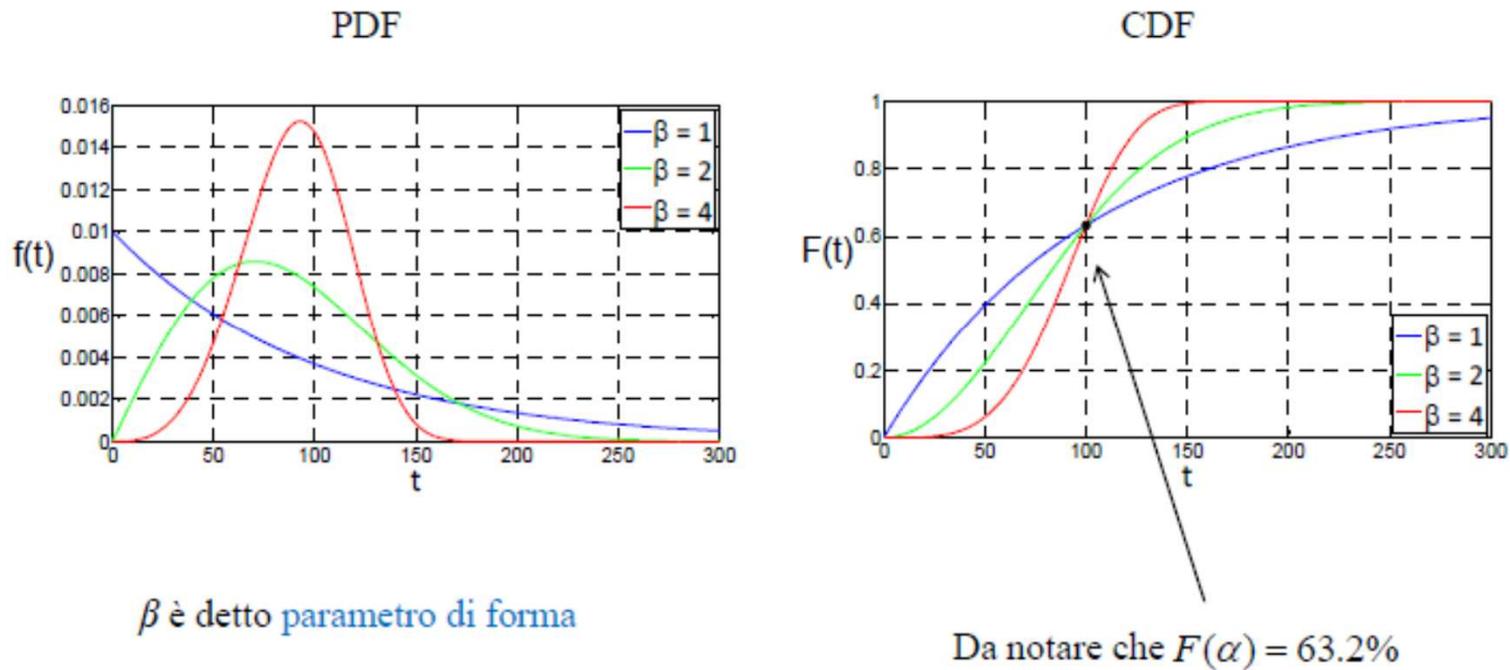
La distribuzione di Weibull è molto usata in ambito ingegneristico per la sua flessibilità:

- per $\beta = 1$, è una esponenziale negativa
- per $\beta = 2$, è simile ad una log-normale
- per $3.5 < \beta < 4$, è simile ad una gaussiana

Il percentile si trova invertendo la formula di $F(t)$: $t_p = \alpha \cdot [-\ln(1-p)]^{1/\beta}$

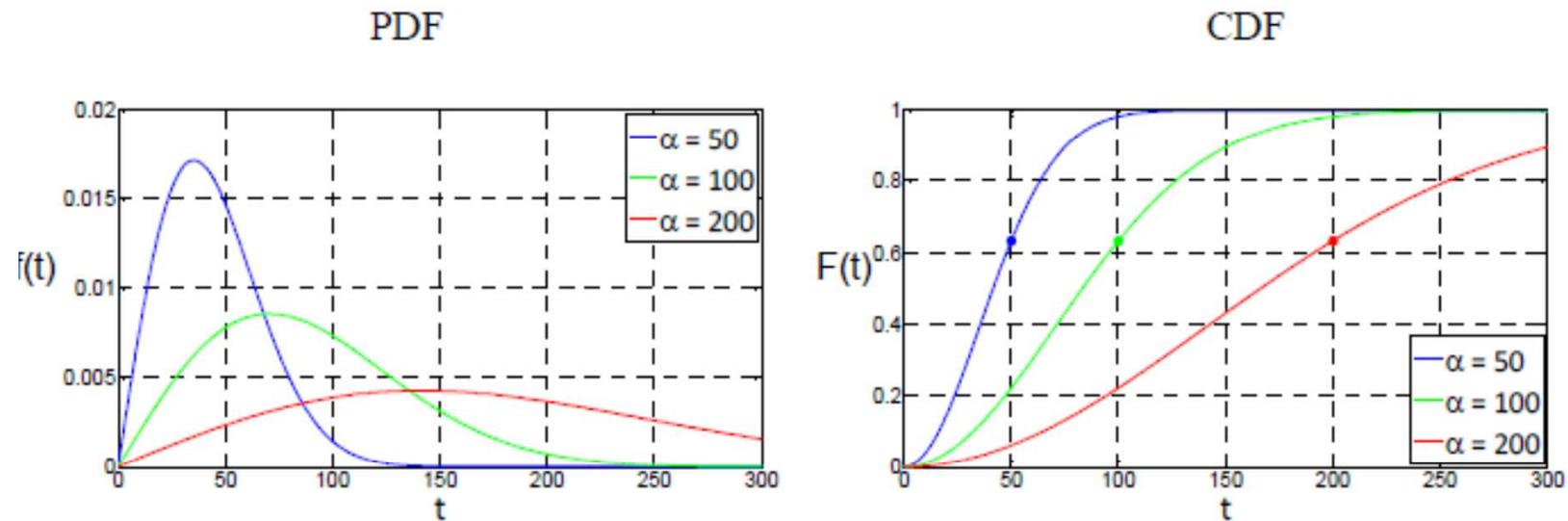
La granulometria (4)

Variazione della forma di *pdf* e *cdf* al variare di β ($\alpha = 100$ s cost)



La granulometria (5)

Variazione della forma di *pdf* e *cdf* al variare di α ($\beta = 2$ cost)



α è detto parametro di scala

Gli interventi di ripristino dell'aderenza (1)

Interventi con apporto di materiale Interventi a caldo

Strati di usura drenanti;



Microtappeti;



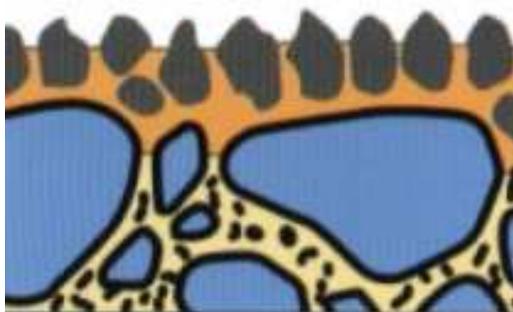
Splittmastix;



Gli interventi di ripristino dell'aderenza (2)

Interventi con apporto di materiale (interventi a freddo):

Trattamenti superficiali di irruvidimento (monostrato o bistrato);



Microtappeti (Slurry – Seal);



Gli interventi di ripristino dell'aderenza (3)

Interventi senza apporto di materiale

Irruvidimenti: Striature;

Pallinature;

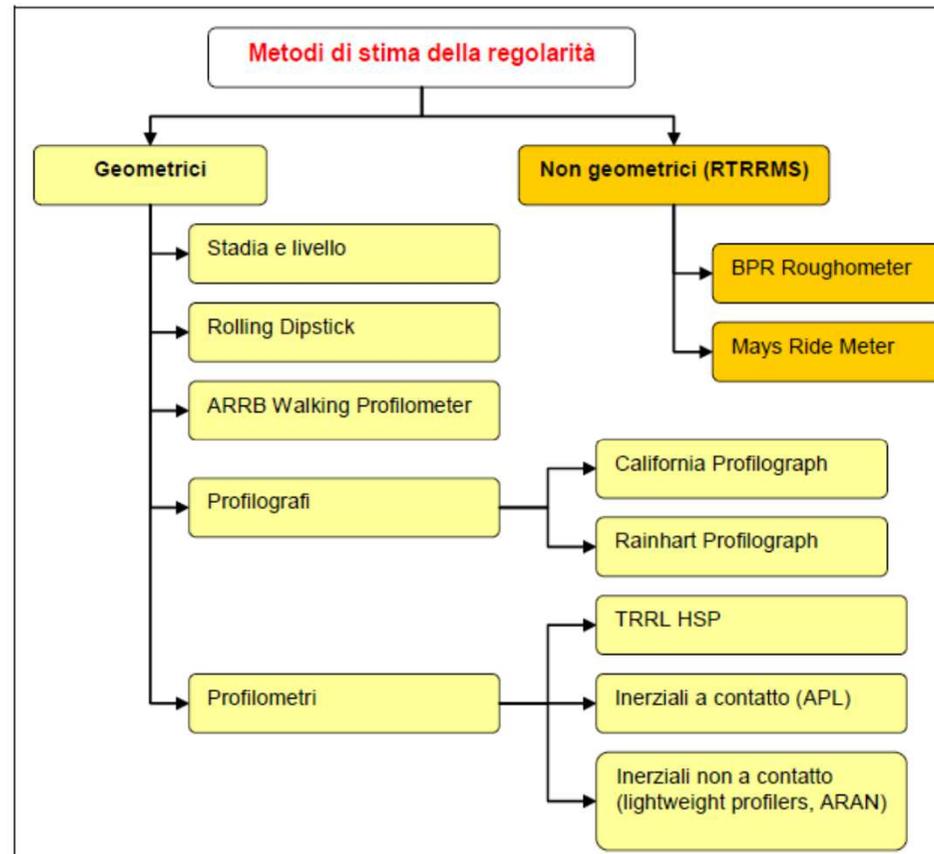


La regolarità superficiale

Regolarità superficiale: rispetto delle quote di progetto dei piani viabili

Profilo superficiale: deviazione nel piano verticale della superficie della pavimentazione rispetto ad un piano di riferimento

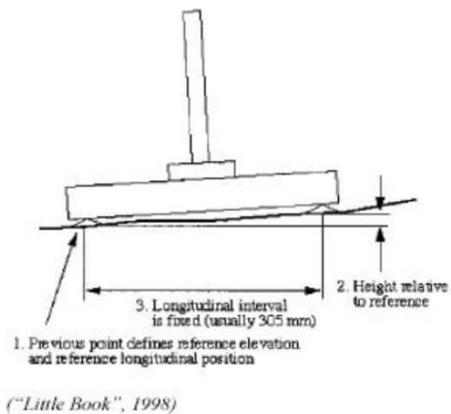
La regolarità superficiale



La regolarità superficiale



Profile Measurement: Dipstick Profiler

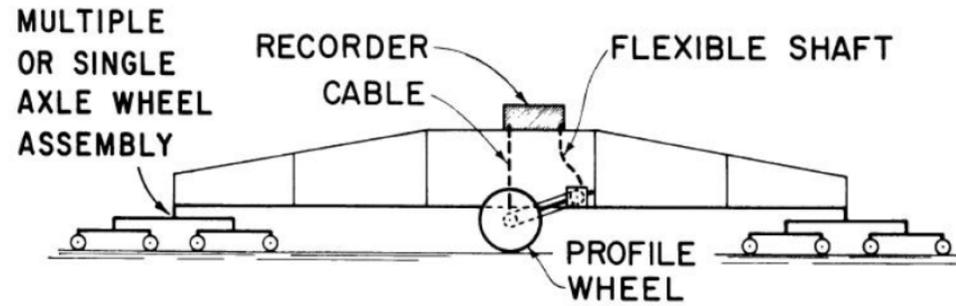


(FACE Company)



Walking Profiler, ARRB

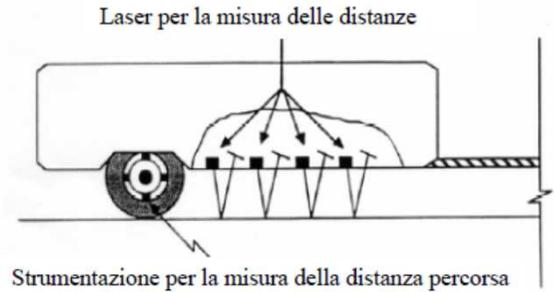
La regolarità superficiale



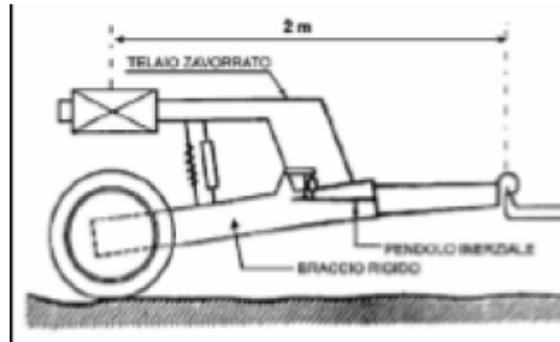
California PROFILOGRAPH



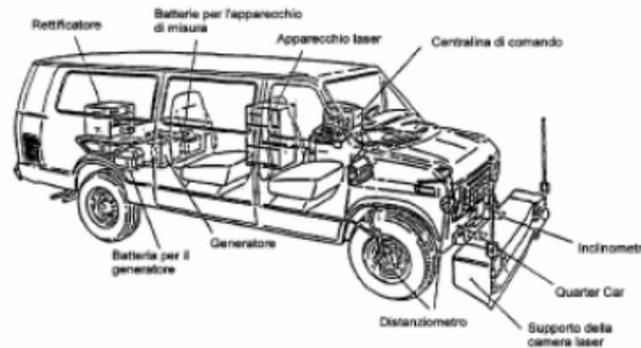
La regolarità superficiale



Texture Meter TRRL



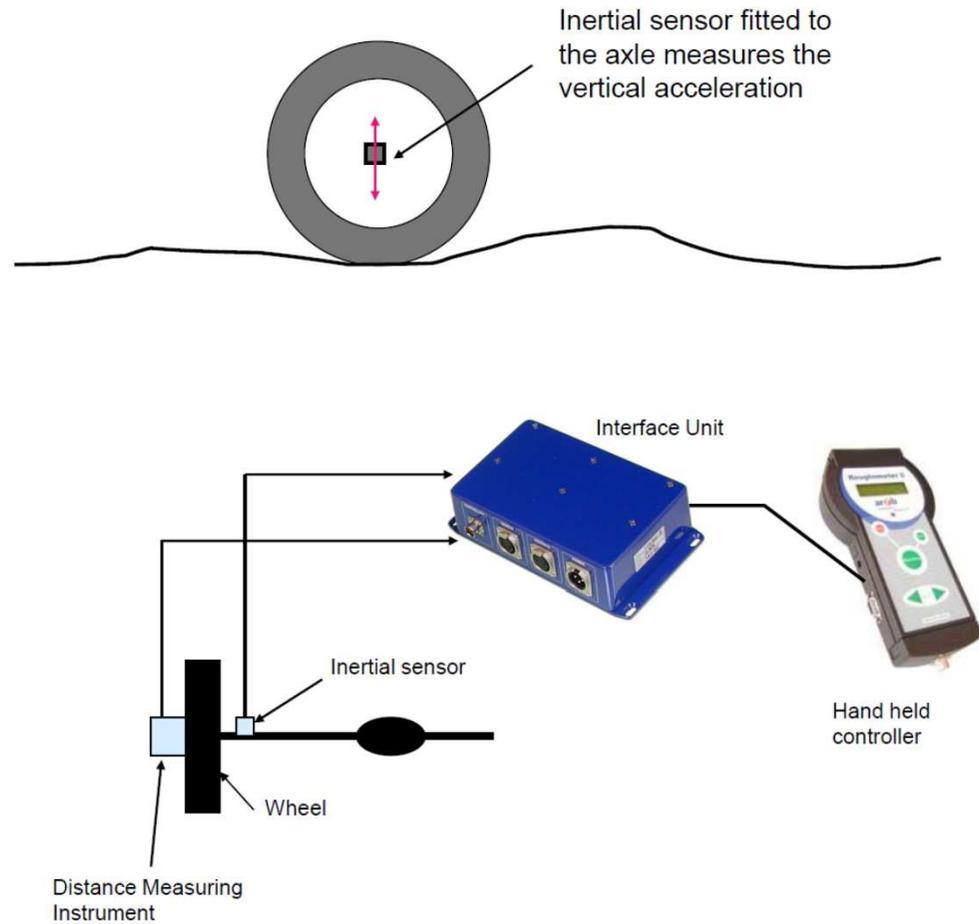
APL (Analizzatore de Profil en Long):



ARAN (Automatic Road Analyzer)

La regolarità superficiale

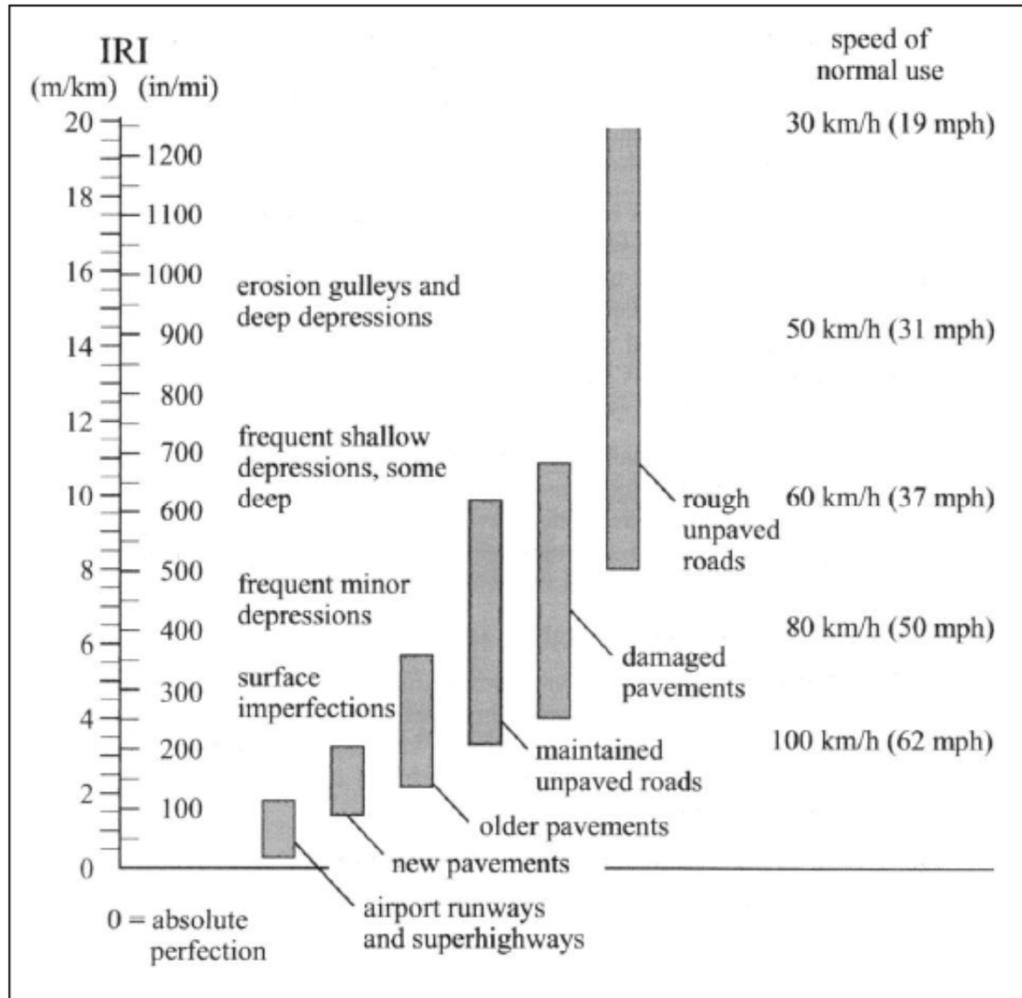
Response-Type Road Roughness Measuring Systems (RTRRMS): Roughmeter



La regolarità superficiale

| SIGLA NORMA | N° NORMA | ANNO DI RIAPPROVAZIONE | TITOLO | NORME DI RIFERIMENTO |
|-------------|----------|------------------------|--|--|
| UNI EN | 13036-6 | 2008 | Caratteristiche superficiali delle pavimentazioni stradali ed aeroportuali - Metodi di prova - Parte 6: Misurazione dei profili trasversali e longitudinali nei settori e nei campi di lunghezza d'onda della regolarità e della megatessitura | ASTM E 867 ASTM E 950 ASTM E 1170 ASTM E 1364 ASTM E 1489 ASTM E 1500 ISO 8608 EN ISO 13473-1 EN 13036-8 WB TP N 45 WB TP N 46 TRB - NCHRP Report 434 |
| UNI EN | 13036-8 | 2008 | Caratteristiche superficiali delle pavimentazioni stradali ed aeroportuali - Metodi di prova - Parte 8: Determinazione degli indici di irregolarità trasversale | ISO 3534-1 |

La regolarità superficiale



La regolarità superficiale

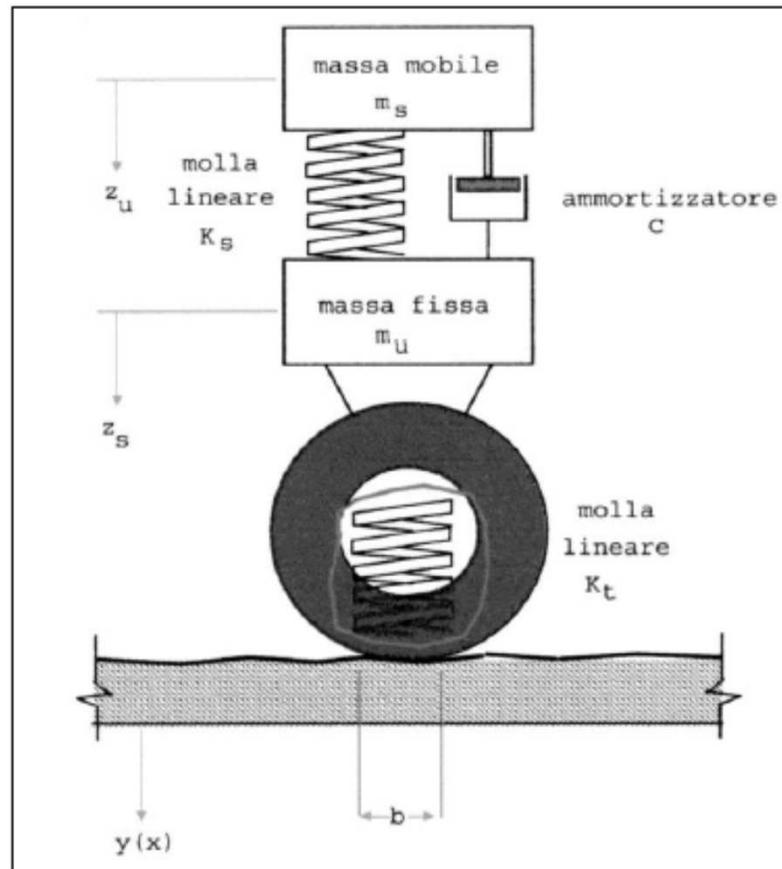


Figura 16: modello Quarter-Car Simulation

La regolarità superficiale

L'IRI corrisponde all' accumulo degli spostamenti delle sospensioni, diviso per la lunghezza del profilo analizzato. Per un profilo lungo L, percorso a velocità V standardizzata, si ha:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/V} \left| \dot{Z}_s - \dot{Z}_u \right| dt$$

dove:

Z_s = è la quota della massa sospesa relativa alla posizione di equilibrio statico;

Z_u = è la quota della massa non sospesa relativa alla posizione di equilibrio statico.

\dot{Z}_s e \dot{Z}_u = derivata rispetto al tempo dell'altezza della massa sospesa e non sospesa.

La regolarità superficiale

Present Serviceability Index (PSI)

$$PSI = 5,03 - 1,91 \times \log(1 + SV) - 1,38 \times RD^2 - 0,01 \times \sqrt{C + P}$$

dove:

- SV è la varianza della pendenza media ricavata da un profilo di regolarità lungo le traiettorie delle ruote.
- RD è la profondità media delle ormaie, misurata su una distanza trasversale di 2 ft rispetto al centro delle traiettorie delle ruote.
- C e P sono due tipiche situazioni di degrado per le pavimentazioni flessibili (fessurazioni e buche) misurate rispettivamente in unità di lunghezza (ft) e superficie (ft²) per 1000 ft² di superficie della pavimentazione.

$$SV = \frac{\sum (S - S_m)^2}{n - 1}$$

Dove:

S è la misura della pendenza del profilo misurata su una base di 1ft

n è il numero delle misure

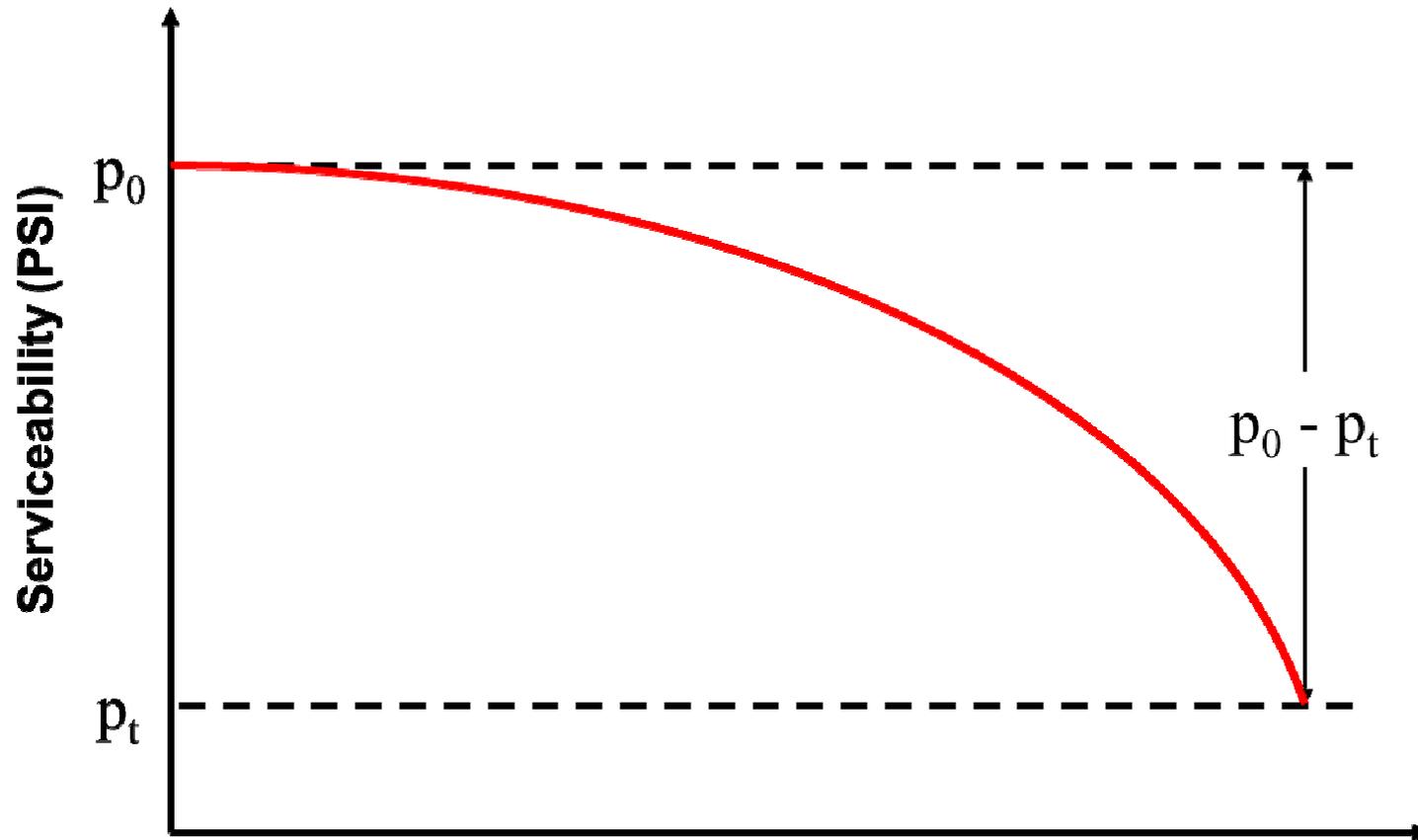
S_m è la media di tutte le misure lungo il profilo di una wheel path

Per le pavimentazioni rigide l'AASHTO ha proposto una espressione simile. Ovviamente in questo caso non compare come elemento di degrado la formazione delle ormaie.

$$PSI = 5,41 - 1,71 \times \log(1 + SV) - 0,09 \times \sqrt{C + P}$$

La regolarità superficiale

Present Serviceability Index (PSI)



La regolarità superficiale

Due sono le relazioni che legano il PSI all'IRI. La prima è un'equazione proposta da Paterson (1987):

$$\text{IRI} = 5,5 \cdot \ln(5/\text{PSI})$$

La seconda è stata data da Bertrand, Harrison e Mc Cullough (1990):

$$\text{IRI} = 577,42 - 222,17 \cdot \text{PSI} + 25,664 \cdot \text{PSI}^2 \quad (R^2=0,997)$$

Degrado superficiale delle pavimentazioni

CATALOGHI DEGLI AMMALORAMENTI

- “Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale” CNR - B.U. 125/88 (descrizione, ubicazione, estensione, normedimisura, strumentidimisura, foto).
- “Distress Identification Manual for the Long-term Pavement Performance Studies”-SHRP (Strategic Highway Research Program) -Washington1990 [descrizione dettagliata, definizione di 3 livelli di degrado: L (basso), M (moderato), H (alto), foto, norme di misura].
- “Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys” – ASTM D 5340 - 93 oppure, Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys ASTM D 6433 – 07 [descrizione dettagliata, 3 livelli di degrado, norme di misura, tipologie di intervento per ciascun livello di degrado, foto, grafici per il calcolo di VD – Valore Dedotto; Procedimento analitico (PCI –Pavement Condition Index)] .

Calcolo PCI (1)

| Standard PCI™ Rating Scale | Suggested Colors |
|-------------------------------|---------------------|
| 100 Good | Dark Green |
| 85 Satisfactory | Light Green |
| 70 Fair | Yellow |
| 55 Poor | Light Red |
| 40 Very Poor | Medium Red |
| 25 Serious | Dark Red |
| 10 Failed | Dark Grey |

- Individuazione delle sezioni omogenee e e suddivisione in unità campione (~225 m²);
- Ispezione;
- Calcolo di VD (Valore Dedotto) per ciascuna - forma di ammaloramento, per ciascuna unità campione;
- Calcolo del massimo VDC (Valore Dedotto Corretto), mediante processo iterativo, per ciascuna unità campio;
- Calcolo PCI dal VDC per ciascuna unità campione;
- Calcolo PCI per ciascuna sezione omogenea.

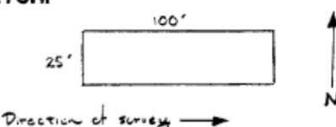
FIG. 1 Pavement Condition Index (PCI), Rating Scale, and Suggested Colors

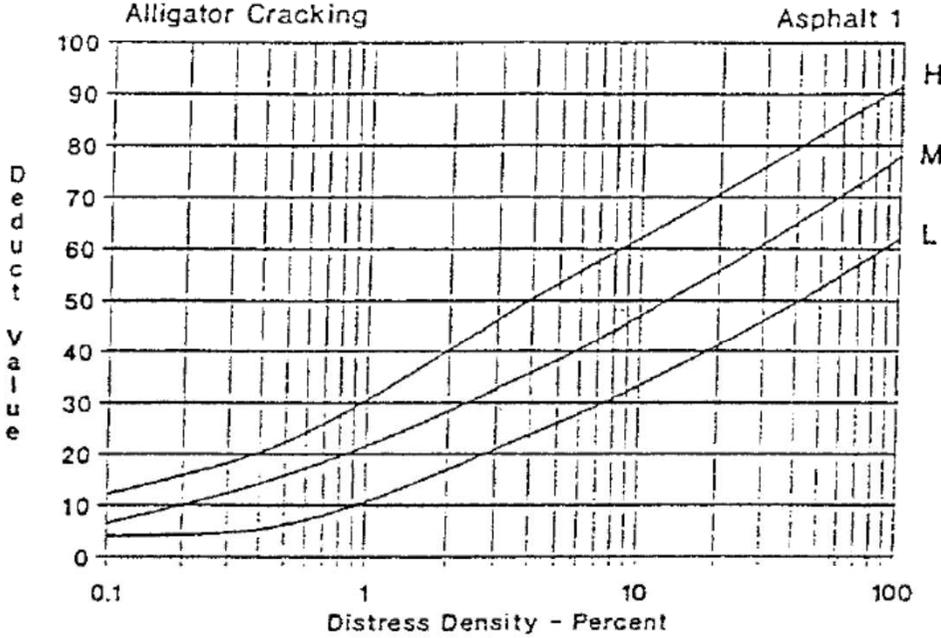
Calcolo PCI (2)

| ASPHALT SURFACED ROADS AND PARKING LOTS CONDITION SURVEY DATA SHEET FOR SAMPLE UNIT | | | | | | | | | | SKETCH: | | |
|---|----------|----------------------------|-----|----------------------------------|----|-------------------------|----|--|-------|-----------|--------------|--|
| BRANCH <u>SPRINGFIELD</u> SECTION <u>001</u> SAMPLE UNIT <u>1</u> | | | | | | | | | | | | |
| SURVEYED BY <u>KAK</u> DATE <u>10 JUL 93</u> SAMPLE AREA <u>2500 sf</u> | | | | | | | | | | | | |
| 1. Alligator Cracking | | 6. Depression | | 11. Patching & Util Cut Patching | | 16. Shoving | | | | | | |
| 2. Bleeding | | 7. Edge Cracking | | 12. Polished Aggregate | | 17. Slippage Cracking | | | | | | |
| 3. Block Cracking | | 8. Jt. Reflection Cracking | | 13. Potholes | | 18. Swell | | | | | | |
| 4. Bumps and Sags | | 9. Lane/Shoulder Drop Off | | 14. Railroad Crossing | | 19. Weathering/Raveling | | | | | | |
| 5. Corrugation | | 10. Long & Trans Cracking | | 15. Rutting | | | | | | | | |
| DISTRESS SEVERITY | QUANTITY | | | | | | | | TOTAL | DENSITY % | DEDUCT VALUE | |
| 1L | 1x5 | 1x4 | 1x4 | | | | | | 13 | 0.52 | 7.9 | |
| 1H | 1x8 | 1x6 | | | | | | | 14 | 0.56 | 23.4 | |
| 7L | 32 | 15 | 18 | 24 | 41 | | | | 130 | 5.20 | 7.5 | |
| 8M | 20 | 15 | 35 | 27 | 23 | 10 | 13 | | 143 | 5.72 | 25.1 | |
| 11H | 3x4 | 2x5 | | | | | | | 22 | 0.88 | 17.9 | |
| 13L | 1 | | | | | | | | 1 | 0.04 | 11.2 | |
| 15L | 4 | 9 | 8 | | | | | | 21 | 0.84 | 6.9 | |
| 19L | 250 | | | | | | | | 250 | 10.0 | 5.3 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

FIG. 4 Example of a Flexible Pavement Condition Survey Data Sheet

Calcolo PCI (4)

| ASPHALT SURFACED ROADS AND PARKING LOTS CONDITION SURVEY DATA SHEET FOR SAMPLE UNIT | | | | SKETCH:  | | | | | | |
|--|----------------------------|--|-------------------------|--|--|--|--|-------|-----------|--------------|
| BRANCH <u>SPRINGFIELD</u> SECTION <u>001</u> SAMPLE UNIT <u>1</u> | | SURVEYED BY <u>KAK</u> DATE <u>10 Jul 93</u> SAMPLE AREA <u>2500 sq ft</u> | | | | | | | | |
| 1. Alligator Cracking | 6. Depression | 11. Patching & Util Cut Patching | 16. Shoving | | | | | | | |
| 2. Bleeding | 7. Edge Cracking | 12. Polished Aggregate | 17. Slippage Cracking | | | | | | | |
| 3. Block Cracking | 8. Jt. Reflection Cracking | 13. Potholes | 18. Swell | | | | | | | |
| 4. Bumps and Sags | 9. Lane/Shoulder Drop Off | 14. Railroad Crossing | 19. Weathering/Raveling | | | | | | | |
| 5. Corrugation | 10. Long & Trans Cracking | 15. Rutting | | | | | | | | |
| DISTRESS SEVERITY | QUANTITY | | | | | | | TOTAL | DENSITY % | DEDUC' VALUE |
| I L | 1 x 5 | 1 x 4 | 1 x 4 | | | | | 13 | 0.52 | 7.9 |
| I H | 1 x 8 | 1 x 6 | | | | | | 14 | 0.56 | 23.4 |



Calcolo PCI (5)



FIG. X1.1 Low-Severity Alligator Cracking



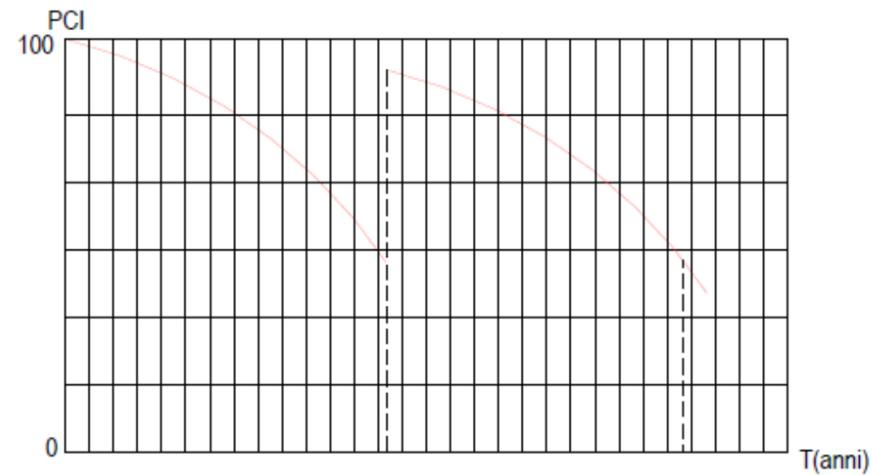
FIG. X1.2 Medium-Severity Alligator Cracking



FIG. X1.3 High-Severity Alligator Cracking

$$PCI_{u.c.} = 100 - \max VDC$$

$$PCI_s = \text{media}(PCI_{u.c.})$$



Calcolo PCI (5)



FIG. X1.5 Medium-Severity Bleeding

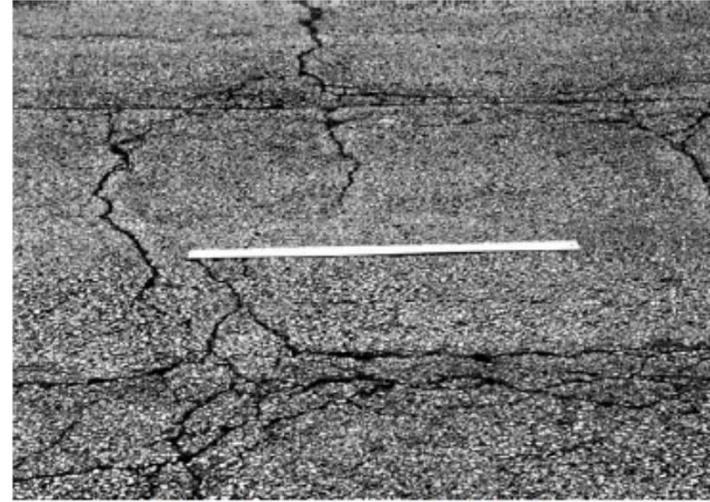


FIG. X1.7 Low-Severity Block Cracking



FIG. X1.11 Medium-Severity Bumps and Sags

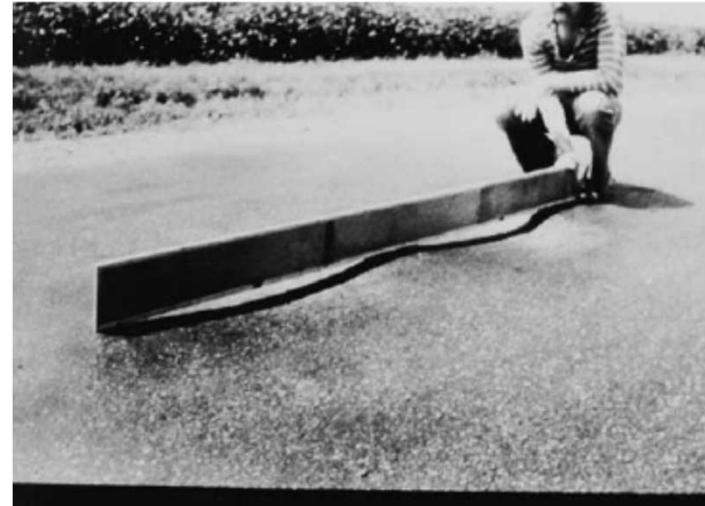


FIG. X1.15 High-Severity Corrugation

Calcolo PCI (5)

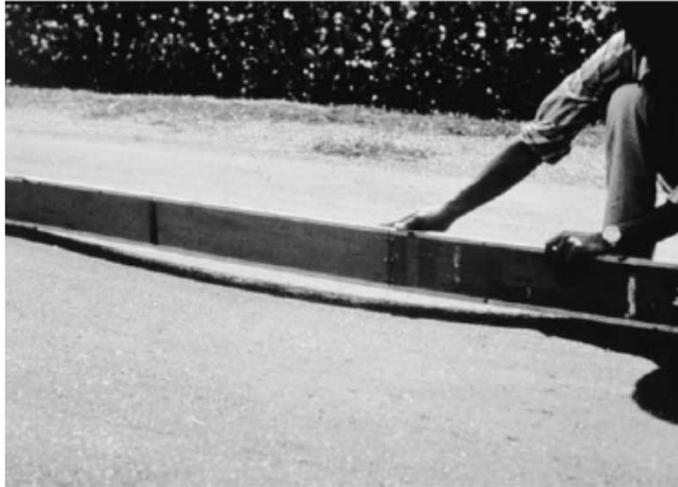


FIG. X1.17 Medium-Severity Depression



FIG. X1.19 Low-Severity Edge Cracking



FIG. X1.23 Medium-Severity Joint Reflection Cracking



FIG. X1.25 Low-Severity Lane/Shoulder Drop-Off

Calcolo PCI (5)



FIG. X1.29 Medium-Severity Longitudinal and Transverse Cracking



FIG. X1.31 Low-Severity Patching and Utility Cut Patching

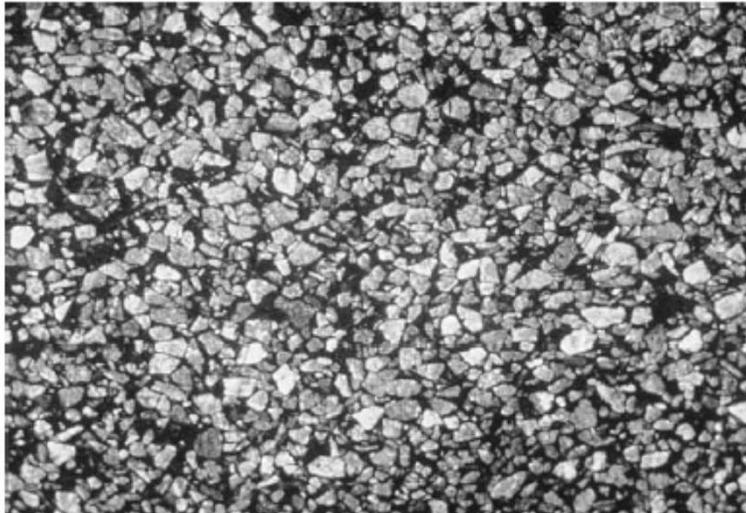


FIG. X1.34 Polished Aggregate



FIG. X1.36 Medium-Severity Pothole

Calcolo PCI (5)



FIG. X1.39 Medium-Severity Railroad Crossing

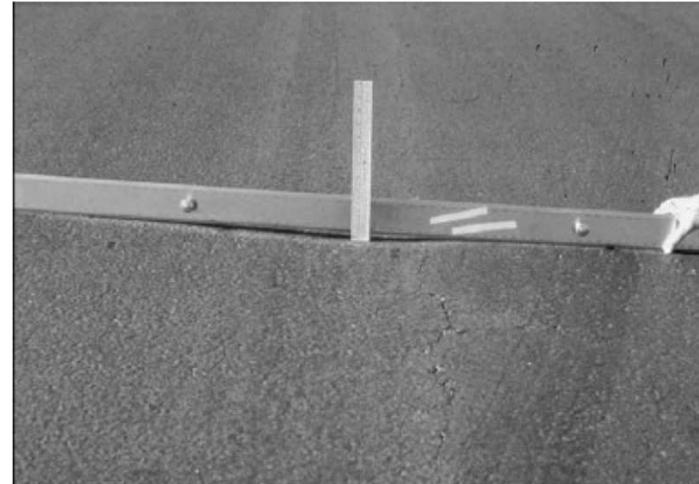


FIG. X1.41 Low-Severity Rutting



FIG. X1.46 High-Severity Shoving



FIG. X1.48 Medium-Severity Slippage Cracking

Calcolo PCI (5)

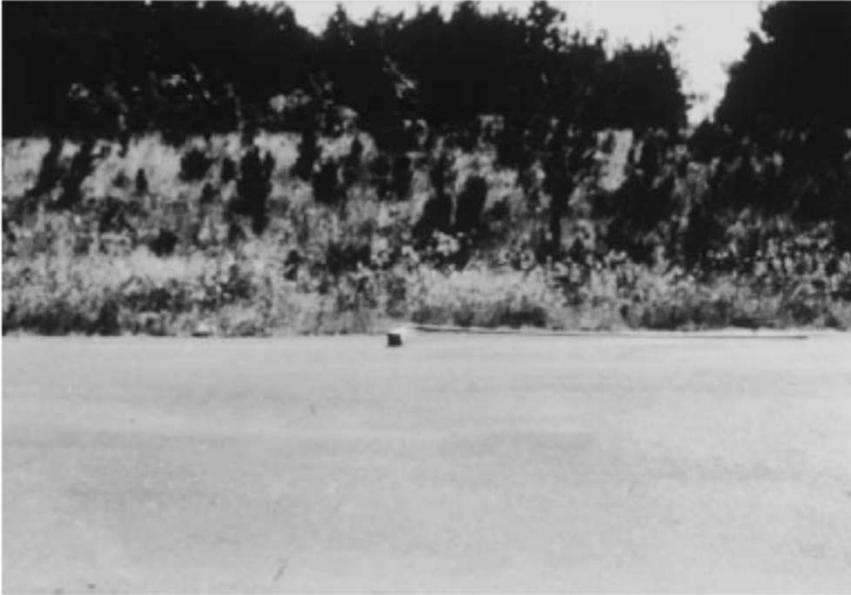


FIG. X1.50 Example Swell. Severity level is based on ride quality criteria.



FIG. X1.52 Medium-Severity Weathering and Raveling