



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotallevi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

LABORATORIO SPERIMENTALE STRADALE



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

Il *Laboratorio Sperimentale Stradale*, annesso al *Dipartimento di Ingegneria Civile* dell'Università di Pisa, effettua prove e misure sui materiali e sulle infrastrutture stradali sia in laboratorio sia all'esterno della propria sede.

Le prove sono di regola eseguite secondo le normative tecniche vigenti ovvero secondo specifiche modalità indicate dal Committente.

Oltre alle attrezzature di tipo tradizionale per l'esecuzione dei controlli di composizione di tutti i tipi di miscele impiegate nelle costruzioni stradali e per il controllo delle caratteristiche superficiali delle sovrastrutture, alcune delle quali sono rappresentate nelle seguenti figure, il Laboratorio dispone anche di moderne attrezzature per lo studio delle miscele con metodi innovativi e per l'esecuzione di prove ad alto rendimento per il controllo delle caratteristiche prestazionali delle pavimentazioni.



Pressa multispeed per prove di portanza C.B.R. sulle terre, sugli aggregati e su loro miscele con leganti



Apparecchiatura Marshall per la caratterizzazione dei conglomerati bituminosi



Particolare della testa di carico per la prova di trazione indiretta



Apparecchiatura per l'estrazione del legante dal conglomerato bituminoso

Attrezzature tradizionali per prove in laboratorio



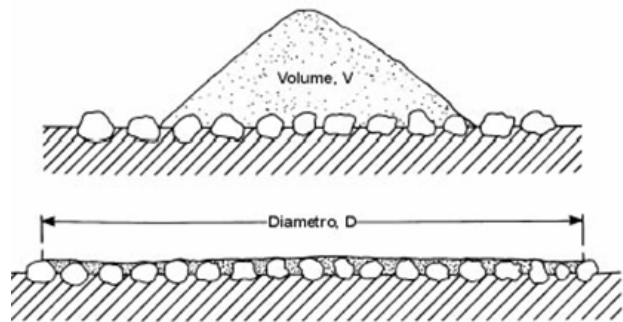
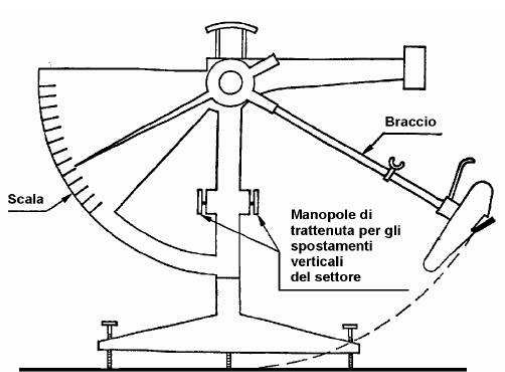
UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762



Trave di riferimento MOT per il rilievo delle irregolarità superficiali



British Skid Resistance Tester per la misura dell'attrito radente



Attrezzatura per la misura della macro-rugosità superficiale

Attrezzature tradizionali per il controllo delle caratteristiche superficiali delle pavimentazioni



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

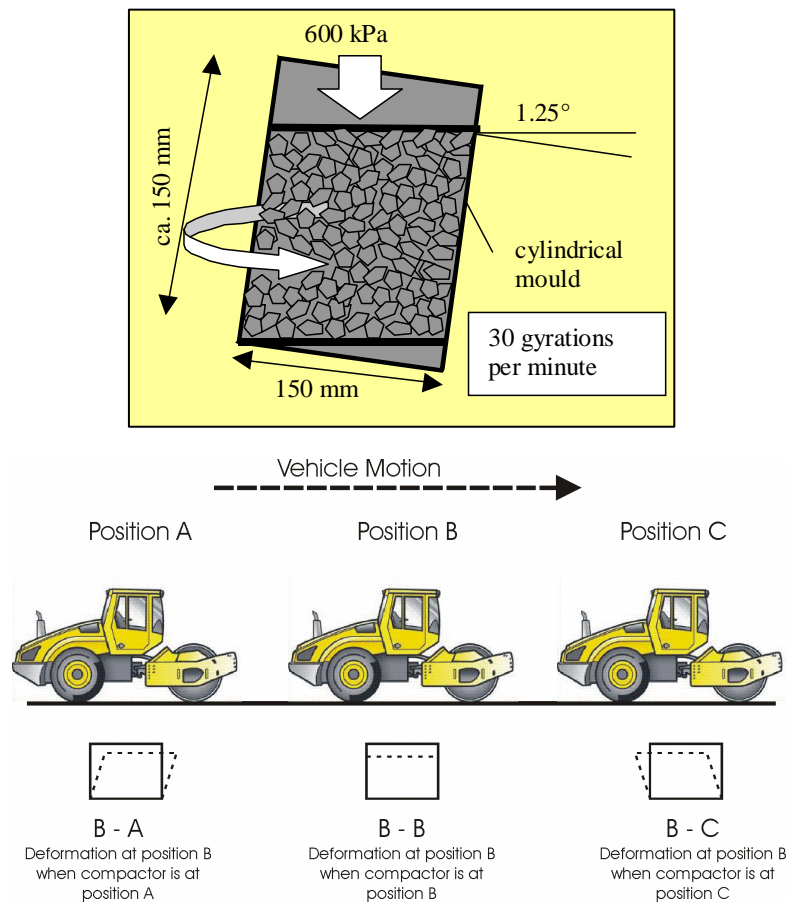
Compattatore giratorio

Per lo studio delle miscele di tipo innovativo il Laboratorio Sperimentale Stradale dispone della pressa di taglio giratoria. Si tratta di un'attrezzatura per la preparazione di provini di conglomerato bituminoso ottenuti sottoponendo il materiale a due azioni concomitanti: una verticale, costituita da una compressione statica e una giratoria consistente in una rotazione con assetto geometrico tale da produrre una continua angolazione dell'asse della massa cilindrica rispetto all'asse verticale del pistone che applica l'azione verticale.

L'angolazione dell'asse varia tra 1° ed $1^\circ 25'$, la velocità di rotazione è pari a 30 giri/min e la pressione verticale è pari a 600 KPa.

Il provino viene compattato monitorando in continuo le variazioni delle condizioni di addensamento; le proprietà della miscela sono valutate in funzione delle sue caratteristiche di compattazione e cioè del numero di rotazioni necessarie per ottenere determinati livelli di addensamento espressi in termini di percentuale rispetto alla massa volumica massima teorica.

Le miscele che presentano buone caratteristiche di costipabilità sono quelle che consentono di raggiungere il 98% della massa volumica massima teorica con un minor numero di rotazioni; ad esse corrispondono buone caratteristiche di resistenza alle deformazioni permanenti.



Compattatore giratorio



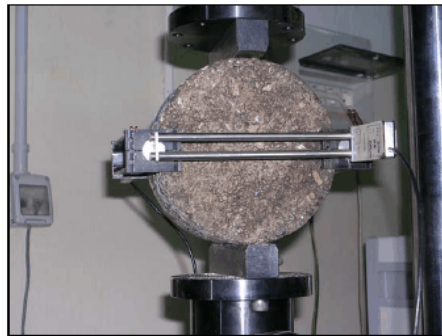
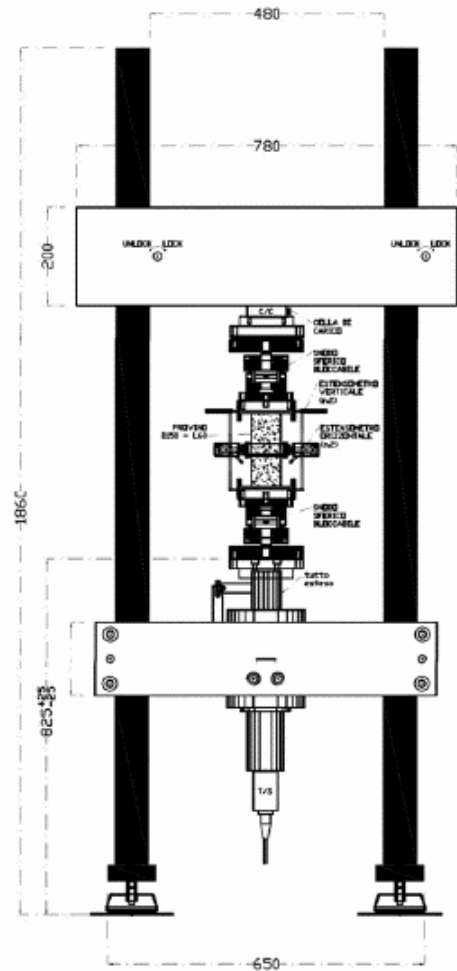
UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

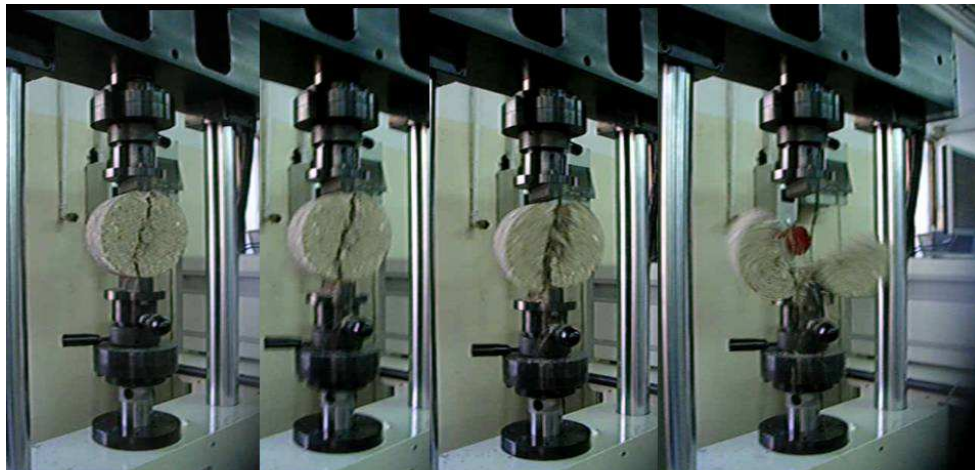
Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 - fax. 050 2217762

Pressa per prove di carico dinamiche

Determinazione del modulo di rigidezza di conglomerati bituminosi (Norma UNI EN 12697-26/2004) mediante pressa dinamica



Determinazione della resistenza a fatica di miscele stabilizzate con cemento per strati di base e sottobase di pavimentazioni stradali



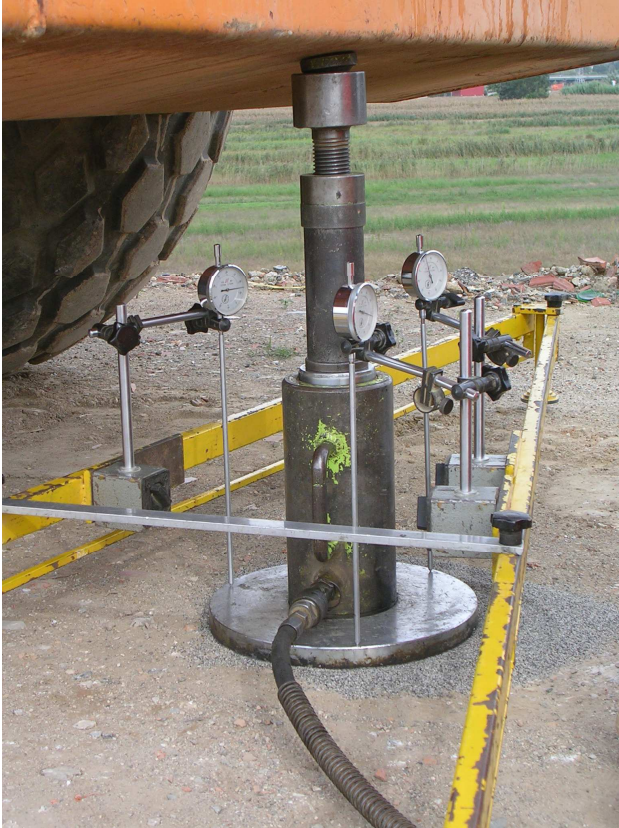


UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

Apparecchiature per prove di portanza e densità di strati realizzati con materiali non legati



Prove di carico con piastra statica
(CNR BU n. 146/1992)



Prove di carico con piastra dinamica
Dynatest LWD



Determinazione della massa volumica apparente in
sito mediante volumetro a sabbia
(CNR BU n. 22/1972)

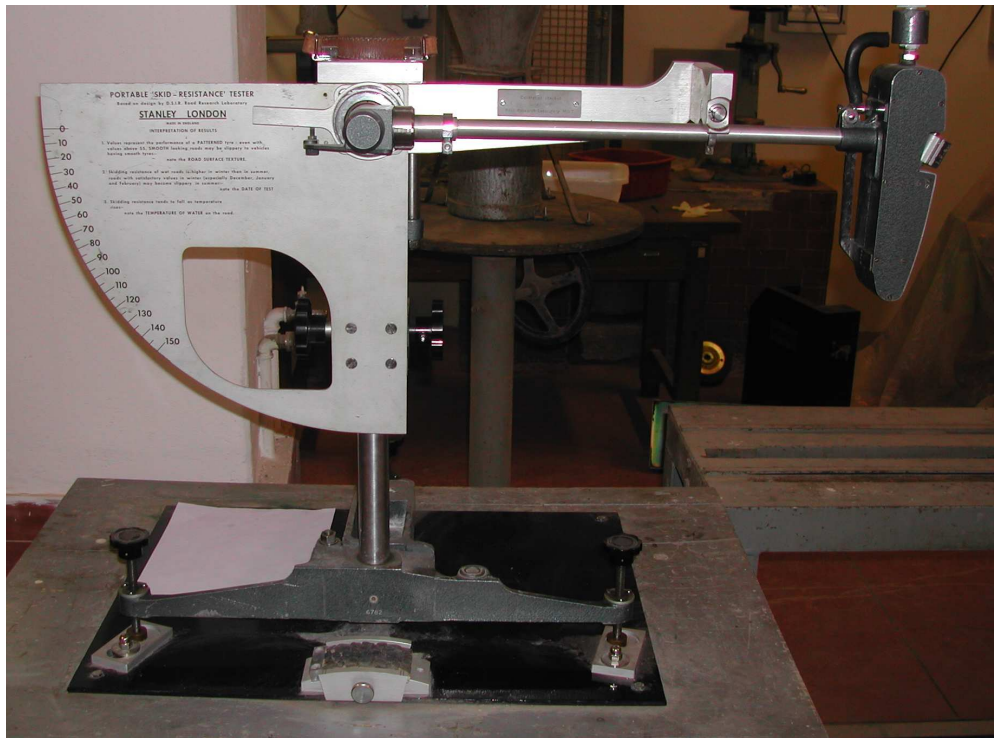
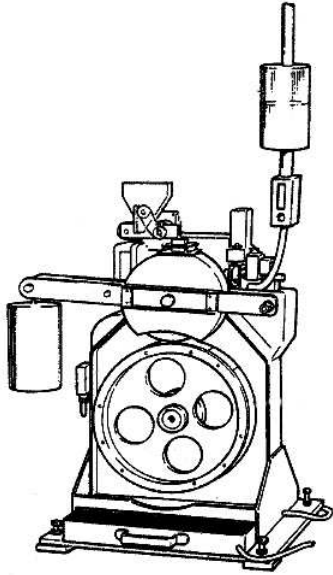


UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

Determinazione del Valore di Levigabilità (UNI EN 1097-8/2001)



Determinazione della levigabilità di aggregati lapidei da utilizzare per strati di usura in conglomerato bituminoso di pavimentazioni stradali (UNI EN 1097-8/2001)



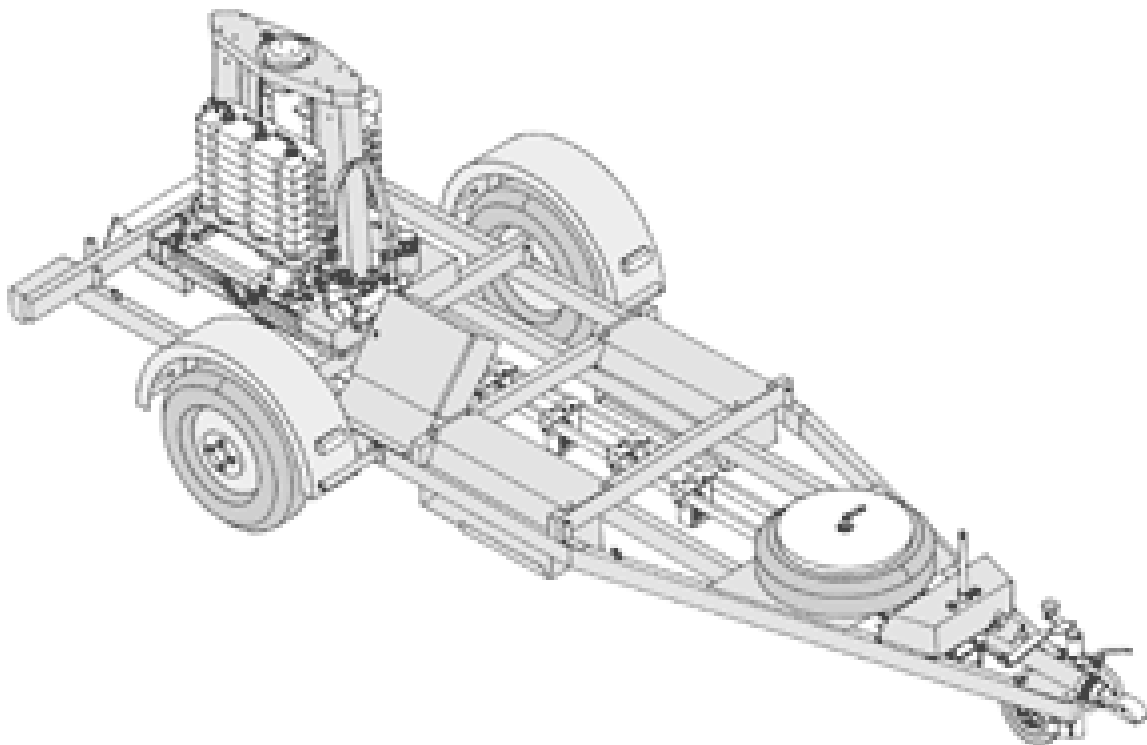
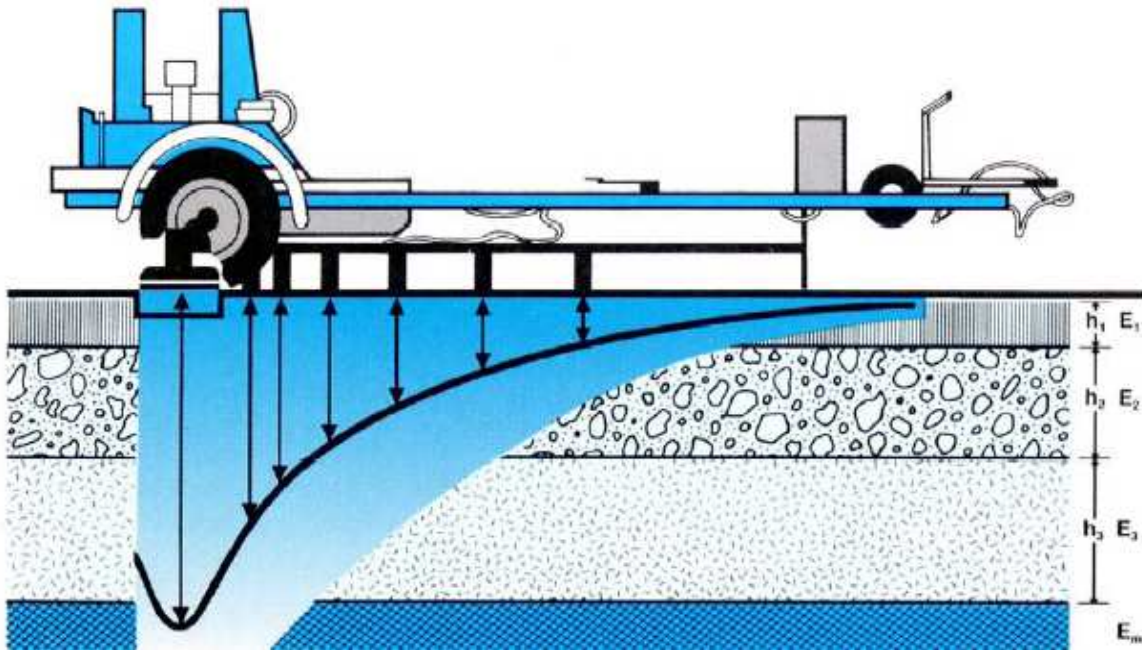
UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotallevi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

Falling Weight Deflectometer (FWD)

L'apparecchiatura F.W.D. (Falling Weight Deflectometer) applica alla sovrastruttura un carico di tipo impulsivo attraverso una piastra del diametro di 30 cm in grado di simulare in maniera assai attendibile l'azione dei carichi di traffico. Una serie di geofoni posizionati a distanze variabili dalla piastra rileva il bacino di deflessione prodotto dal carico applicato.



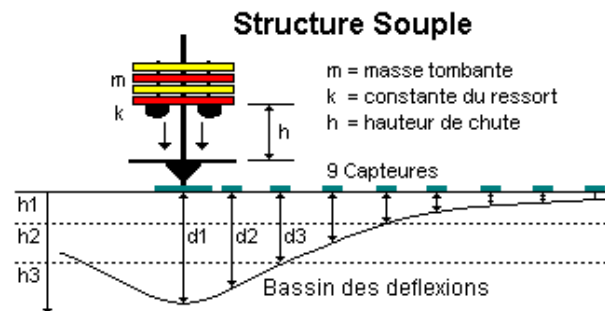


UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

Le misure di deflessione che si eseguono con il F.W.D. vengono elaborate con apposita procedura che prende il nome di back analysis, la quale consente di determinare il valore del modulo di elasticità dei materiali dei diversi strati della pavimentazione attraverso un algoritmo di ottimizzazione di tipo iterativo il quale ricerca quei valori dei moduli che producono deformazioni calcolate quanto più prossime possibile a quelle rilevate. I valori dei moduli calcolati sono utilizzati per valutare, mediante idoneo algoritmo di previsione, la vita utile residua della pavimentazione, ovvero per determinare il tipo di intervento necessario al rafforzamento della pavimentazione stessa.



Utilizzo combinato di FWD per i rilievi di deflessione e GPR per i rilievi di spessore



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotallevi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

Frequenza di misura

L'ubicazione delle postazioni alle quali effettuare le operazioni di misura deve essere scelta in funzione del livello di approfondimento con il quale si ritiene necessario condurre l'indagine:

1. livello di indagine generale, numero limitato di prove, distanze variabili tra i punti di misura comprese tra 150 e 300 m.
2. livello di dettaglio intermedio, nel caso di misure a supporto di elaborazioni progettuali di massima, distanze variabili tra i punti di misura comprese tra 30 e 150 m.
3. livello di prova di massimo dettaglio, distanze variabili tra le misure comprese tra 7,5 e 15 m.

Si tratta ovviamente di indicazioni orientative dal momento che una stima precisa delle misure necessarie deve essere fatta caso per caso, tenendo presente che sono le specifiche condizioni della pavimentazione della tratta da esaminare a determinare la frequenza dei rilievi che consenta l'acquisizione di un campione significativo di dati.

In linea generale per pavimentazioni di nuova o recente costruzione sono da adottare intervalli di misura più ampi mentre per le pavimentazioni già in servizio da diversi anni risulta più opportuno aumentare il numero dei controlli.





UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

Ground Penetrating Radar (GPR)

Le operazioni di rilievo stratigrafico possono essere effettuate attraverso metodi distruttivi (l'estrazione di carote) oppure non distruttivi (che sfruttano tecnologie radar).

Il sistema radar trasmette e riceve impulsi di onde elettromagnetiche. I segnali riflessi dalle interfacce tra i diversi strati della pavimentazione forniscono le informazioni necessarie a stabilire l'ubicazione degli strati stessi. Infatti quando l'impulso incontra la superficie di uno strato aventi proprietà elettriche differenti da quello sovrastante, una parte di energia viene riflessa all'interfaccia e parte invece prosegue il suo cammino nel mezzo. Il sistema GPR è in grado di misurare, mediante un'antenna ricevente, il tempo che intercorre dal momento di trasmissione dell'impulso a quello di ricezione dell'onda riflessa.

Il Laboratorio dispone di due antenne aventi frequenze di 0,6 GHz e di 1,6 GHz; utilizzando i rilevati della prima (la cui profondità di indagine può raggiungere i 2 m dal piano viabile) è possibile analizzare la stratigrafia degli strati non legati e visualizzare la presenza di situazioni anomale che potrebbero avere influenza sui dati deflettometrici (sottoservizi, tombini) mentre i rilevati della seconda (che indaga con maggiore dettaglio una zona superficiale profonda fino a circa 0,6 m) consentono di determinare gli spessori degli strati della sovrastruttura.



Apparecchiatura GPR

Modalità di misura

Le misure sono eseguite in continuo con restituzione del valore degli spessori ad interasse di 1 m; per la calibrazione dello strumento vengono eseguiti dei carotaggi per la misurazione degli spessori reali degli strati della pavimentazione.



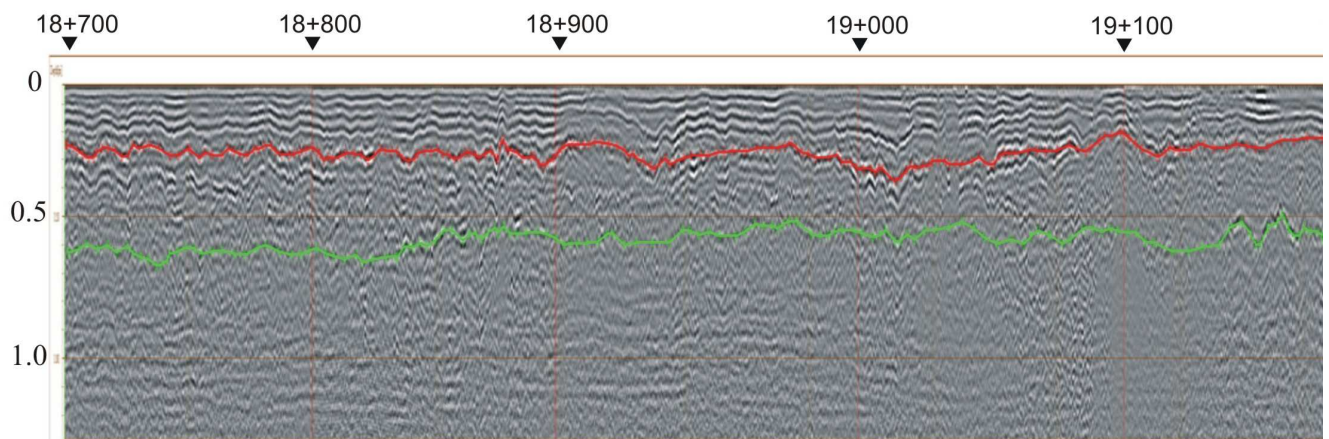
UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762



Apparecchiature FWD e GPR



Radargramma con individuazione degli spessori degli strati della pavimentazione



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

Skiddometer BV11

Lo skiddometer BV11 è un apparecchio per la misura del coefficiente di aderenza superficiale in condizione di scorrimento prefissato (come nei sistemi automobilistici ABS) e pari al 17%. Esso ha due ruote trainanti e una ruota di misurazione; può essere equipaggiato con due diversi tipi di ruota di misurazione: un pneumatico a bassa pressione per la misurazione su strada bagnata e un pneumatico ad alta pressione per superfici innevate o ghiacciate.

Per ottenere prestazioni ottimali, lo Skiddometer è progettato per operare con ruota di misurazione sia ad alta che a bassa pressione

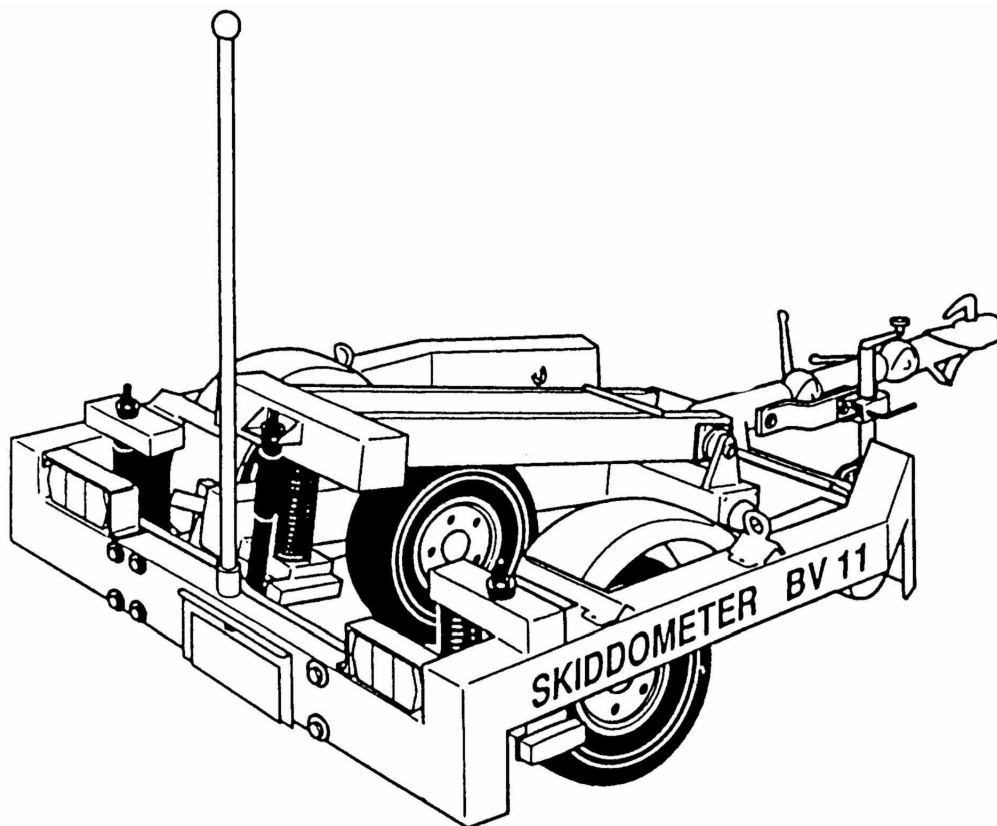
È possibile ottenere un monitoraggio in continuo attraverso la registrazione diretta della resistenza orizzontale di trascinamento (F) e del carico verticale che grava sulla ruota di misura (P); il coefficiente di aderenza $(F/P) \cdot 100$ così valutato prende il nome di Breaking Slip Number (BSN).

La velocità di rilevamento può variare tra 20 e 160 km/h.

Lo Skiddometer è dotato di un sistema a pompa, installato sul carrello, per lo spargimento dell'acqua attraverso un ugello che consente di creare un velo idrico sulla pavimentazione avente uno spessore pari a circa 1 mm. L'acqua è alimentata da un serbatoio da 1000 litri installato sul veicolo trainante.

Modalità di misura

Le misure sono eseguite in continuo ed elaborate per ottenere la restituzione di un valore medio del coefficiente di aderenza della pavimentazione stradale ogni 50 m di corsia analizzata.





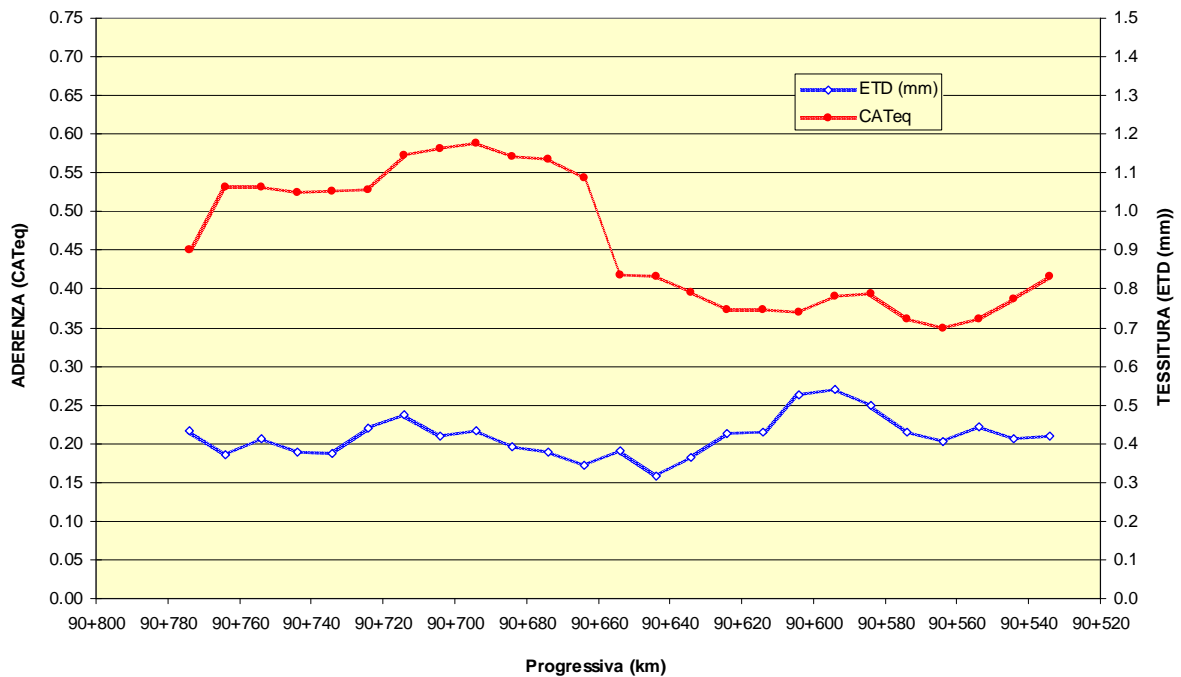
UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762



VALORI MEDI DI ADERENZA E DI TESSITURA DI TRATTI DI PAVIMENTAZIONE DI 10m



Esempio di elaborazione dati rilevati con Skiddometer BV11



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 – fax. 050 2217762

LaserProf

Il Greenwood LaserProf è un profilometro inerziale che consente di eseguire il rilievo del profilo longitudinale di qualsiasi tipo di pavimentazione; dalla elaborazione dei dati del rilievo possono essere ottenuti i parametri normalmente utilizzati per valutare la regolarità delle pavimentazioni (International Roughness Index IRI).

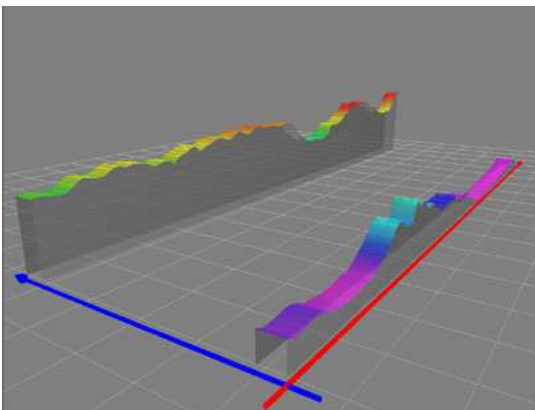
Lo strumento consente di eseguire i rilievi in modo rapido fino a velocità di 150 km/h e può essere montato su qualsiasi tipo di veicolo.



LaserProf



Il software di gestione del sistema è costituito da un'unità di acquisizione dei dati e di calcolo degli indici in tempo reale nonché da un modulo per la selezione dei dati, la elaborazione e la generazione degli output grafici



Output grafico del LaserProf

Il LaserProf è inoltre integrato da un software per la misurazione del profilo della macrotestitura che influenza in modo sensibile i valori dell'aderenza sulla pavimentazione in condizioni di strada bagnata ed al variare della velocità.

Modalità di misura

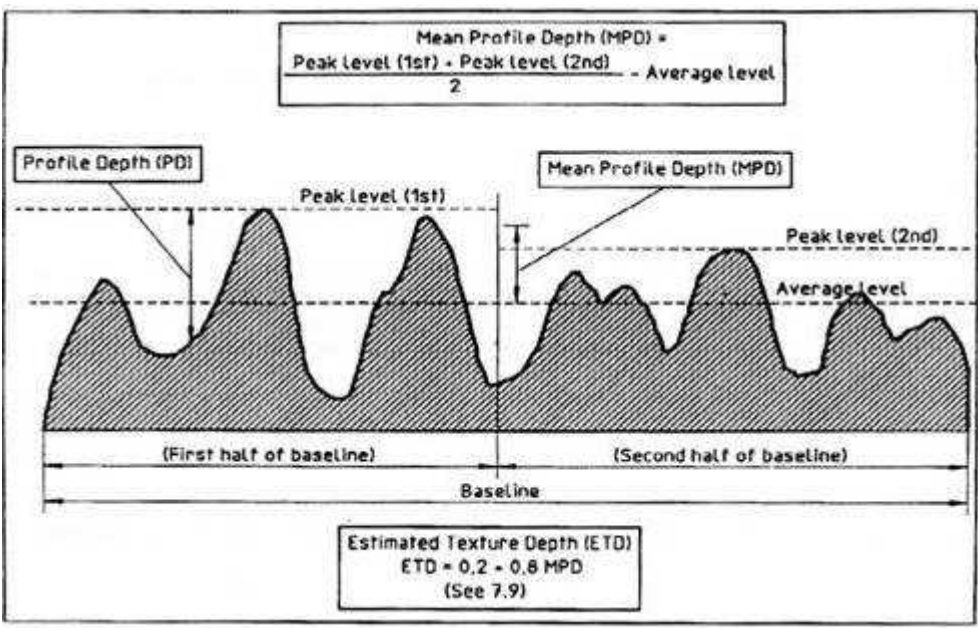
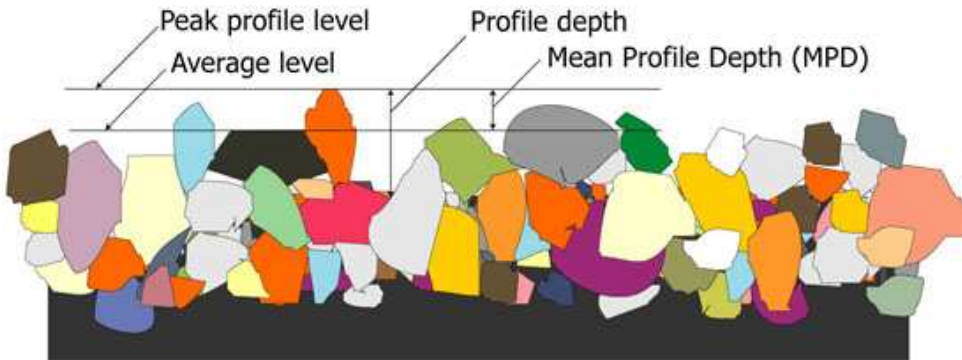
Misure in continuo ed elaborazione delle stesse per ottenere la restituzione di un valore dell'IRI su sezioni di 200 m e della profondità media del profilo (MPD) ogni 50 m di corsia analizzata.



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Vie e Trasporti: Via Diotisalvi, 2 - 56126 Pisa - tel. 050 2217740 - fax. 050 2217762



Rilievo della
macrotestitura





ATTREZZATURE PER IL RILIEVO DEI PARAMETRI DI TRAFFICO:

- Portate orarie e classificazione dei veicoli
- Velocità praticate

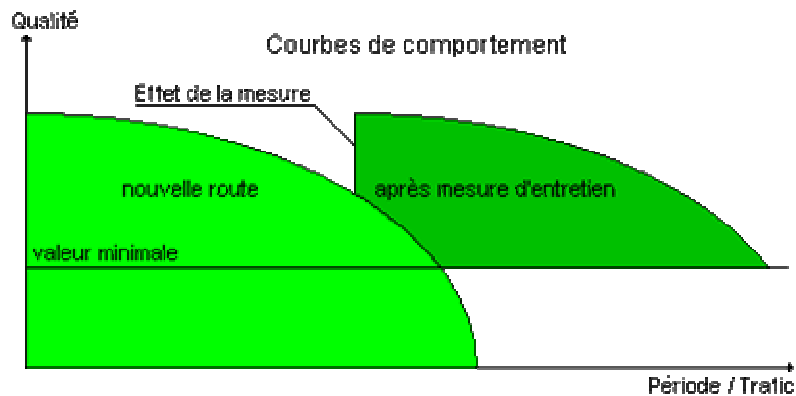


Contatraffico ad immagine magnetica



Rilevatore di velocità a raggi laser

Il Dipartimento di Ingegneria Civile può instaurare, mediante apposite convenzioni, rapporti di collaborazione scientifica e tecnologica nel settore delle Infrastrutture viarie per l'esecuzione di **analisi di sicurezza dei tracciati stradali** e di studi per la **pianificazione degli interventi di manutenzione (PMS)** delle sovrastrutture.



Possono essere stipulati contratti di ricerca con Enti e Società pubbliche e private per studi e ricerche finalizzati alla caratterizzazione per l'impiego nelle costruzioni stradali di materiali innovativi e/o riciclati