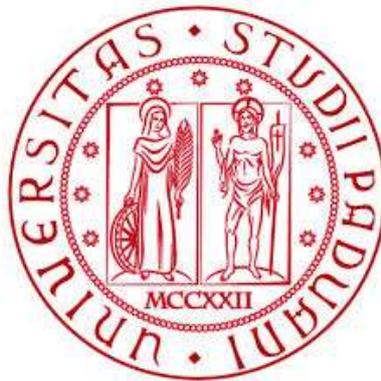


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA,
MARITTIMA, AMBIENTALE E GEOTECNICA



TESI DI LAUREA

**LE PAVIMENTAZIONI IN MASSELI AUTOBLOCCANTI:
COMPORTAMENTO SPERIMENTALE E METODI DI
PROGETTO**

RELATORE: PROF. ING. GIAMPAOLO CORTELLAZZO

LAUREANDO: LUISA THIELLA

ANNO ACCADEMICO 2014/2015

1. Pavimentazioni in masselli di calcestruzzo

- 1.1 Vantaggi
- 1.2 Il principio dell'autobloccanza
- 1.3 Progetto e costruzione delle pavimentazioni
- 1.4 Comportamento delle pavimentazioni a blocchi
- 1.5 Considerazioni ambientali

2. Capacità strutturale

- 2.1 Stima della capacità strutturale

3. Il metodo ME: meccanicistico-empirico

- 3.1 Carico di progetto
- 3.2 Dati in input
- 3.3 Modello di risposta della pavimentazione
- 3.4 Modelli di danno
- 3.5 Capacità strutturale per pavimentazione flessibile
- 3.6 Capacità strutturale del materiale granulare sciolto per base e fondazione
- 3.7 Capacità strutturale del materiale per gli strati di base e fondazione stabilizzati con cemento
- 3.8 Deformazione permanente del sottofondo
- 3.9 Analisi dei parametri critici di tensione/ deformazione
- 3.10 Capacità strutturale: masselli autobloccanti
- 3.11 Metodi meccanicistico-empirico per masselli autobloccanti

4. MePADS

4.1 Funzionamento del programma PADS

5. Lockpave

5.1 Funzionamento del programma Lockpave

6. Midas GTS NX

6.1 Aree di impronta di carico

7. Traffico

7.1 Sistema degli assi equivalenti

8. Classificazione stradale

8.1 Classificazione Australia

8.2 Classificazione del Sud Africa

8.3 Classificazione italiana

8.4 Confronto fra le classificazioni

9. Tema progettuale

10. Progetto 1: strada residenziale

10.1 Caso 1 : residenziale, asciutto, 22 MPa, ruota A

10.2 Caso 2 : residenziale, asciutto, 22 MPa, ruota B

10.3 Caso 3: residenziale, asciutto, 22 MPa, ruota C

11. Progetto 2: strada minore

11.1 Caso 4 : strada minore, asciutto, 22 MPa, ruota A

11.2 Caso 5 : strada minore, asciutto, 22 MPa, ruota B

11.3 Caso 6 : strada minore, asciutto, 22 MPa, ruota C

12. Progetto 3: strada locale

12.1 Caso 7 : locale, asciutto, 22 MPa, ruota A

12.2 Caso 8 : locale, asciutto, 22 MPa, ruota B

12.3 Caso 9 : locale, asciutto, 22 MPa, ruota C

13. Progetto 4: strada colletrice

13.1 Caso 10 : colletrice, asciutto, 22 MPa, ruota A

13.2 Caso 11 : colletrice, asciutto, 22 MPa, ruota B

13.3 Caso 12 : colletrice, asciutto, 22 MPa, ruota C

14. Progetto 5: strada residenziale

14.1 Caso 13 : residenziale, asciutto, 40 MPa, ruota A

14.2 Caso 14 : residenziale, asciutto, 40 MPa, ruota B

14.3 Caso 15 : residenziale, asciutto, 40 MPa, ruota C

15. Progetto 6: strada minore

15.1 Caso 16 : strada minore, asciutto, 40 MPa, ruota A

15.2 Caso 17 : strada minore, asciutto, 40 MPa, ruota B

15.3 Caso 18 : strada minore, asciutto, 40 MPa, ruota C

16. Progetto 7: strada locale

16.1 Caso 19 : strada locale, asciutto, 40 MPa, ruota A

16.2 Caso 20 : locale, asciutto, 40 MPa, ruota B

16.3 Caso 21 : locale, asciutto, 40 MPa, ruota C

17. Progetto 8: strada collettrice

17.1 Caso 22 : collettrice, asciutto, 40 MPa, ruota A

17.2 Caso 23 : collettrice, asciutto, 40 MPa, ruota B

17.3 Caso 23 : collettrice, asciutto, 40 MPa, ruota B

18. Progetto 9: strada residenziale

18.1 Caso 25 : residenziale, asciutto, 85 MPa, ruota A

18.2 Caso 26 : residenziale, asciutto, 85 MPa, ruota B

18.3 Caso 27 : residenziale, asciutto, 85 MPa, ruota C

19. Progetto 10 : strade minore, locale e collettrice

19.1 Caso 28 : strada minore, locale, collettrice, asciutto, 85 MPa, ruota A

19.2 Caso 29 : strada minore, locale, collettrice, asciutto, 85 MPa, ruota B

19.3 Caso 30 : strada minore, locale, collettrice, asciutto, 85 MPa, ruota C

20. Confronto fra metodi

Bibliografia

1. Pavimentazioni in masselli di calcestruzzo

Il concetto delle pavimentazioni autobloccanti in calcestruzzo risale alle strade del Impero Romano. Le strade venivano costruite con gruppi di pietre di pavimentazione strettamente incastrate fra loro e fissate su una base compatta. I masselli in calcestruzzo sono stati scoperti nei Paesi Bassi nella seconda metà degli anni '40 per sostituire le strade costruite con mattoni di argilla.

In Europa questo tipo di pavimentazioni in masselli autobloccanti si diffuse rapidamente, a causa della sua tradizione millenaria. Si è ormai affermata come mezzo di pavimentazione convenzionale con circa 300 milioni di m³ installati annualmente. I masselli in calcestruzzo negli anni '70 sono arrivati anche nel Nord America e sono stati utilizzati in numerose applicazioni residenziali, commerciali, pubbliche, nei porti e aeroporti.

In Italia inizialmente avevano trovato impiego come solo elemento di finitura di spazi leggermente carrabili o a prevalente traffico pedonale, come ad esempio cortili e marciapiedi: le esperienze positive condotte da decenni in altri paesi nell'utilizzo anche per applicazioni industriali molto pesanti, per le quali i masselli autobloccanti sono ormai divenuti la scelta progettuale riconosciuta, e lo sviluppo dei processi industriali di ottimizzazione delle finiture dei prodotti ne hanno esteso l'impiego anche alle strade urbane e agli spazi ad esse connessi.

1.1 Vantaggi

Il sistema della pavimentazione offre i vantaggi del calcestruzzo e quelli di una pavimentazione flessibile in asfalto. Così come il calcestruzzo ad alta resistenza, i mattoncini hanno un'elevata resistenza ai cicli di gelo-disgelo, all'abrasione e agli strisciamenti, non subiscono danni dai prodotti del petrolio o incavature dovute alle alte temperature. Una volta messa in opera non c'è bisogno di attendere un tempo di solidificazione, la pavimentazione è subito pronta al traffico.

Le fratture dovute alla tensione e la degradazione della superficie è minimizzata perchè il gran numero di giunzioni, o fratture intenzionali, agisce come mezzo per il trasferimento dei carichi. Allo stesso modo della pavimentazione in asfalto flessibile, una base in aggregato permette di avere cedimenti minori senza rottura della superficie. L'installazione meccanica dei masselli in

calcestruzzo può anche accorciare i tempi di costruzione. Inoltre i mattoncini possono anche essere riutilizzati per il ripristino di una pavimentazione in modo da ridurre lo spreco di materiale.

1.2 Il principio dell'autobloccanza

L'autobloccanza è la capacità di un massello di muoversi in modo indipendente dai masselli che gli stanno accanto. In un progetto e nella successiva costruzione devono essere garantiti tre tipi di blocco: verticale, rotazionale e orizzontale, come illustrato in figura 1. Il bloccaggio verticale è ottenuto dal trasferimento di taglio dei carichi per ogni mattone attraverso la sabbia nei giunti. L'incastro rotazionale è sostenuto dallo spessore dei masselli, messi in opera vicini tra loro e trattenuti da un cordolo dalle forze laterali indotte dai pneumatici dei veicoli. Oltre a facilitare il drenaggio, la presenza della corona permette ai mattoni di stringersi leggermente, irrigidendosi progressivamente con il passaggio dei carichi e permette di diminuire i cedimenti attraverso l'intera pavimentazione, quindi aumentandone la capacità portante. Una volta che la progressiva rigidità si è stabilizzata, la pavimentazione ha raggiunto lo stato di lock-up.

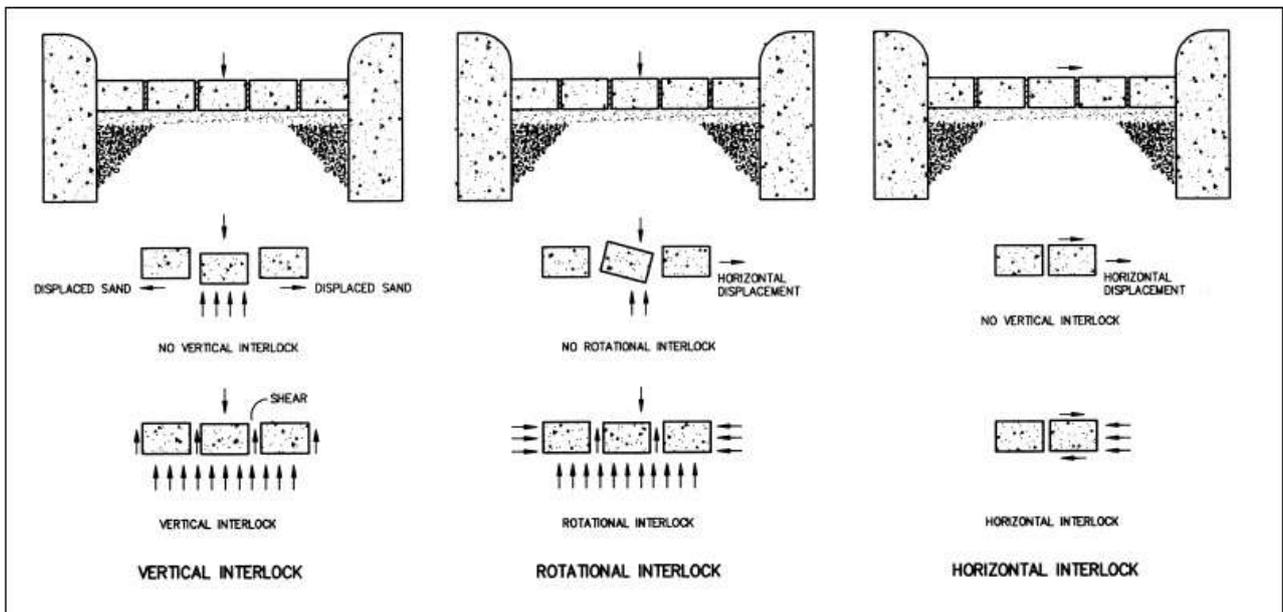


Figura 1: tipi di autobloccaggio: verticale, rotazionale, orizzontale

L'incastro orizzontale è principalmente raggiunto attraverso l'uso di schemi di posa che dissipano le forze derivanti dalla frenata, rotazione e accelerazione dei veicoli. Lo schema a spina di pesce è quello più efficace per il mantenimento dell'autobloccaggio. Le prove hanno dimostrato che questi schemi garantiscono una migliore capacità portante e resistenza ai movimenti laterali,

rispetto agli altri schemi. Quindi lo schema a spina di pesce è raccomandato in aree soggette a traffico veicolare, figura 2.

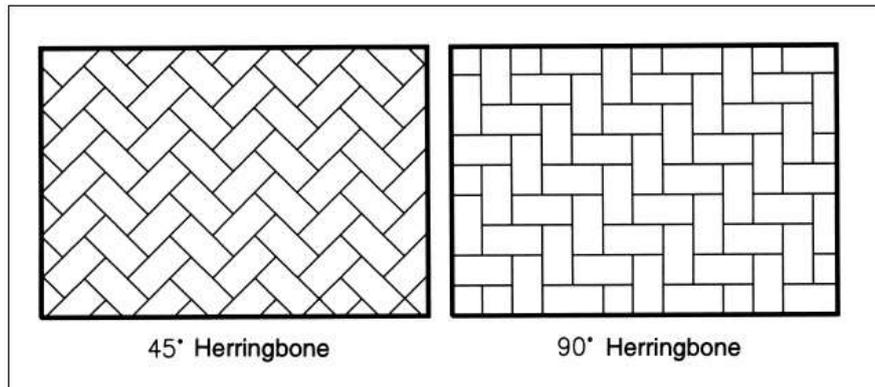


Figura 2 : schemi di posa a spina di pesce

1.3 Progetto e costruzione delle pavimentazioni

La figura 3 illustra gli schemi tipici di una sezione verticale per una pavimentazione in masselli autobloccanti. La base e la fondazione sono entrambe di materiale aggregato compattato. Molte pavimentazioni in città o ad uso residenziale non richiedono una fondazione in aggregato, eccetto il caso di un uso molto pesante o il caso in cui si abbia un sottofondo di terreno molto debole. In queste situazioni potrebbe essere più economico usare uno strato di base asfaltato o stabilizzato con cemento. Spesso questi strati vengono messi sopra uno strato di fondazione di aggregato sciolto compattato.

Le fasi di costruzione prevedono anzitutto la preparazione del sottofondo e del materiale di base. Dopo aver costruito la superficie della base alla sua altezza specifica di progetto, viene steso un letto di sabbia in uno strato tipicamente di 25 mm di spessore. I mattoni vengono posti manualmente o in modo meccanico sul letto di sabbia levigato. I masselli vengono vibrati ad alta frequenza con una piastra compattatrice. Questa azione spinge la sabbia in fondo al giunto dei mattoni e inizia la compattazione del letto di sabbia. La sabbia viene stesa e spazzata nei giunti e la pavimentazione viene compattata di nuovo finché i giunti non sono riempiti. La completa compattazione della sabbia e un leggero assestamento della pavimentazione contribuiscono ad

irrigidirla. Durante la compattazione la pavimentazione si trasforma da un insieme slegato di blocchetti in un sistema autobloccante in grado di diffondere i carichi verticali in orizzontale. Questo accade attraverso la forza di taglio nei giunti.

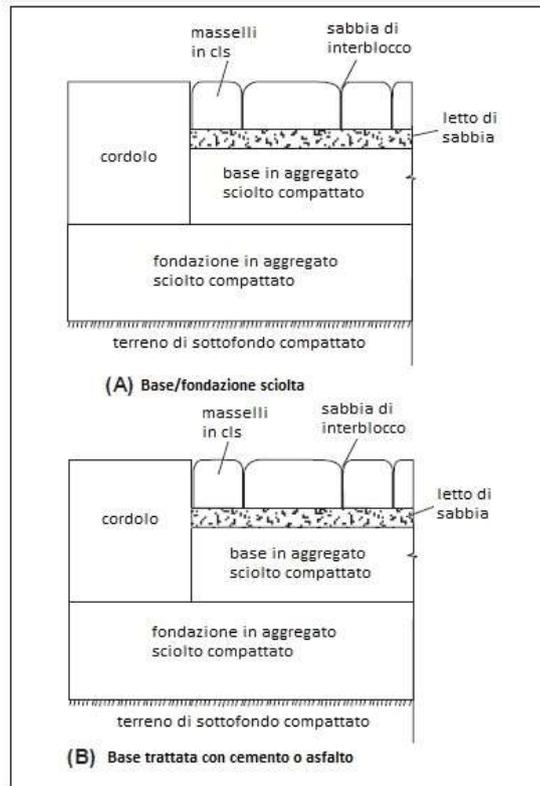


Figura 3 : schemi di pavimentazione in masselli

1.4 Comportamento delle pavimentazioni a blocchi

1.4.1 Comportamento sotto carico

Il comportamento della pavimentazione in masselli autobloccanti sta in mezzo al comportamento della pavimentazione flessibile e quello della pavimentazione rigida in calcestruzzo. Lo strato dei blocchetti di pavimentazione fornisce una superficie che è più rigida di quelle garantite dal materiale bituminoso, ma non rigida quanto una in calcestruzzo. La modalità di diffusione del carico quindi è una via di mezzo fra quella delle pavimentazioni flessibili e quella delle pavimentazioni rigide. I blocchetti portano gran parte del carico, ma una parte di esso viene distribuita agli strati sottostanti

L'effetto del carico dei veicoli su di una pavimentazione è relativamente piccolo se si considerano il singolo veicolo o il singolo carico. Tuttavia, l'effetto cumulativo di molti tipi di carico causa il logorio della pavimentazione. Capire come si manifesta l'effetto del carico a breve termine sulla pavimentazione fornisce un buono sfondo per simulare come si manifesta l'effetto del carico cumulativo e poi modellarlo.

Sotto l'azione del carico dinamico dei veicoli, la pavimentazione deflette e dopo che il carico è passato avanti, ritorna rapidamente come prima. L'effetto del carico di un veicolo pesante generalmente si estende per un'area di 1 o 2 metri dal punto di applicazione del carico, in tutte e tre le direzioni. L'area di deflessione tende ad avere una forma circolare, chiamata conca di deflessione. La dimensione e la grandezza di questa conca variano molto e dipendono dalla struttura della pavimentazione, dalla resistenza e rigidità del materiale, dalla temperatura e ovviamente dalla grandezza del carico, la sua durata e l'area di contatto.

1.4.2 Comportamento a lungo termine

Sotto il traffico i blocchetti di pavimentazioni tendono ad accumulare solchi. Per questo aspetto il comportamento della pavimentazione dei masselli è analogo a quello tradizionale della pavimentazione flessibile.

I blocchetti diffondono i carichi concentrati su di un'ampia area di terreno. Questo significa che i blocchi non si comportano solamente come strato di usura, ma anche come strato portante. I blocchi hanno una capacità strutturale significativa quando messi in opera correttamente. Il loro comportamento dipende molto dall'interblocco, dalla strettezza dei giunti fra i blocchi, da un letto di sabbia sottile e dalla presenza di una fondazione stabilizzata. La sabbia da usare nei giunti deve essere di alta qualità, preferibilmente di materiale frantumato. Il letto di sabbia deve essere di materiale frantumato, continuo e permeabile. E' preferibile una fondazione stabilizzata per incrementare il supporto del letto di sabbia, la sua rigidità strutturale e la sua protezione degli strati sotto.

Sotto il traffico i masselli in calcestruzzo tendono ad irrigidirsi, dato che i blocchetti sono contenuti fra cordoli o travi sui bordi per prevenire l'allargamento dei giunti fra i blocchi. Questo permette alla pavimentazione di raggiungere una condizione di chiusura, oltre la quale non avverranno ulteriori deformazioni. Spesso l'incremento di rigidità nello strato dei blocchetti che accompagna il bloccaggio è essenziale. Dopo il bloccaggio può essere possibile aumentare il carico

applicato alla pavimentazione senza causare danni. Lo sviluppo del bloccaggio è subordinato ad un attento controllo degli standard di costruzione e da come lavorano gli strati. Ad esempio uno strato di fondazione con scarsa capacità portante non permette lo sviluppo del bloccaggio durante i primi tempi di vita della pavimentazione.

1.5 Considerazioni ambientali

Le condizioni ambientali in cui la pavimentazione è inserita possono essere suddivise in:

- Traffico
- Condizioni dell'ambiente naturale (geologiche e metereologiche)
- Popolazione (urbana o rurale)

La condizione di traffico è la prima esigenza per cui la pavimentazione viene progettata. Tuttavia anche le condizioni naturali e della popolazione condizionano il comportamento e le prestazioni della pavimentazione e quindi devono essere considerate durante il progetto. L'effetto delle condizioni ambientali sulle prestazioni della pavimentazione è particolarmente importante per le strutture di pavimentazione leggere.

La differenza fra ambiente rurale o urbano di solito non ha un impatto significativo sul progetto della pavimentazione, influenza invece la scelta e il progetto dello strato di superficie e il drenaggio.

2. Capacità strutturale

2.1 Stima della capacità strutturale

I metodi di progettazione strutturale della pavimentazione hanno lo scopo di fornire un sistema per effettuare la stima della capacità strutturale per ogni opzione di progetto, in modo da poter poi selezionare l'alternativa più economica e che assicura che la domanda di traffico sia soddisfatta.

I metodi di progettazione strutturale variano notevolmente nel livello di precisione e di analisi. Essi sono generalmente:

- metodi empirici: basati su osservazioni delle prestazioni delle pavimentazioni.
- (ME) metodi meccanicistico-empirici: che analizzano il pavimento come un meccanismo, e legano parametri meccanicistici con la capacità strutturale attraverso osservazioni empiriche sulle prestazioni.
- Cataloghi: con progetti standard per le condizioni generali. Questi sono sviluppati o empiricamente o utilizzando metodi ME o una combinazione di entrambi.

E' importante tenere a mente che non c'è un singolo valore di capacità strutturale associato con una pavimentazione, ma piuttosto un range di valori appropriati.

3. Il metodo ME: meccanicistico-empirico

Il metodo ME meccanicistico-empirico è usato da molti anni. Molti aspetti di questo tipo di analisi sono comuni a tutti i metodi ME e alle pavimentazioni di tipo rigido, flessibile e in masselli autobloccanti.

Il metodo ME analizza la pavimentazione come un meccanismo, assumendo un modello di materiale per tipo di pavimento:

- Pavimentazione flessibile
- Pavimentazione rigida
- Pavimentazione a masselli

e ne calcola le tensioni e le deformazioni. Questi parametri ingegneristici vengono poi collegati alla capacità strutturale della pavimentazione attraverso osservazioni sulle prestazioni.

Questi metodi seguono la logica strutturale e seguono la legge del solido meccanico, ma non hanno "intelligenza" incorporata. Perciò potrebbe non essere un ottimo progetto. L'intelligenza nel sistema è data dall'esperienza e da una valida pratica ingegneristica. In figura 4 si possono vedere le varie fasi di un classico metodo di progetto meccanicistico-empirico. Il processo inizia con la caratterizzazione del problema di progetto in termini dei seguenti input:

- Struttura della pavimentazione
 - ✓ Numero di strati
 - ✓ Spessore degli strati
- Caratteristiche del materiale per ogni strato di terreno

- ✓ Caratteristiche di risposta resiliente: modulo di resilienza e coefficiente di Poisson
- ✓ Caratteristiche di resistenza, che dipendono dal tipo di materiale
- ✓ Proprietà del materiale, che dipendono anche dal tipo di materiale
- Carico di progetto
 - ✓ Numero di carichi
 - ✓ Coordinate per ogni singolo carico
 - ✓ Tensione di contatto, carico o carico radiale per ogni singolo carico

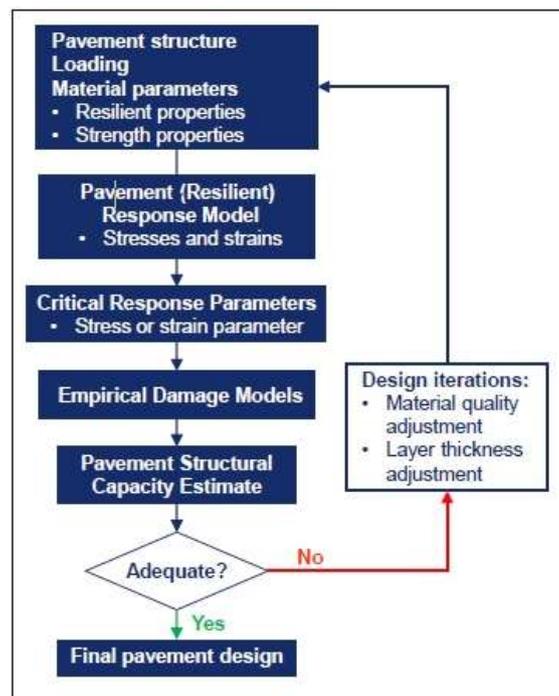


Figura 4 : schema di progetto per metodo ME

3.1 Carico di progetto

Storicamente il metodo di progetto ME usa l'asse standard come carico in input. Il carico assiale standard per il Sud Africa è di 80 kN, su due ruote, un singolo asse. Ogni altro carico P può essere convertito nel suo numero di assi standard (E80s) basandosi sul danno provocato dal carico P, in relazione al danno provocato dal carico standard. Per calcolare il relativo danno viene usata l'equazione seguente:

$$LEF = \left(\frac{P}{80} \right)^n$$

LEF = Fattore di carico equivalente (E80)

P = Carico assiale per cui si deve trovare il carico equivalente (kN)

80 = carico assiale di riferimento (asse standard) (kN)

n = esponente di danno (valori suggeriti in tabella 1)

Base/Subbase Combination	Range of Values (Recommended Value)
Granular/granular	3 – 6 (4)
Granular/cemented	2 – 4 (3)
Cemented/granular	
pre-cracked	4 – 10 (5)
post-cracked	3 – 6 (5)
Cemented/cemented	
pre-cracked	3 – 6 (4 – 5)
post-cracked	2 – 5 (4 – 5)
BSM/granular	2 – 6 (4)
Hot mix asphalt/cemented	2 – 5 (4)
Concrete	(4.5)

Tabella 1 : range di valori per l'esponente di danno relativo

3.2 Dati in input

Il tipo di soluzione utilizzata per la pavimentazione multistrato prescrive di inserire come dati in input il modulo di Young e il coefficiente di Poisson. Il modulo di Young si applica a materiali perfettamente elastici, mentre i materiali della pavimentazione per la maggior parte hanno un comportamento non lineare e anelastico. Per approssimare il comportamento tensione-deformazione non lineare dei materiali della pavimentazioni, al posto del modulo di Young viene usato il modulo resiliente (M_r), un modulo lineare secante.

3.3 Modello di risposta della pavimentazione

Il modello di risposta della pavimentazione usa l'analisi elastica a strati per determinare spostamenti, deformazioni e tensioni indotti nella pavimentazione dal carico. Esso tenta di modellare la risposta resiliente del singolo strato di pavimentazione e dell'intero sistema di pavimentazione. Il modello di risposta perciò include il modello del materiale e il modello del sistema:

- Il modello del materiale descrive il comportamento tensione-deformazione del materiale in ogni strato di pavimentazione preso in considerazione come isolato

- Il modello del sistema combina il modello del materiale del singolo strato, l'interazione tra i singoli strati di pavimentazione, il carico esterno e le condizioni al contorno del problema con il modello di risposta del sistema completo.

Il modello meccanico continuo usato nel metodo ME classico per il materiale della pavimentazione è un modello omogeneo, isotropico, *lineare elastico*. Questa soluzione è disponibile in diversi pacchetti software, come MePads.

Il modello di risposta della pavimentazione quindi fornisce i risultati di tensioni e deformazioni in ogni posizione, entro il sistema della pavimentazione, usando il sistema lineare elastico multistrato. Il danno negli strati di pavimentazione viene determinato dalle tensioni e deformazioni indotte in una specifica posizione della struttura. La posizione e i parametri di tensione e deformazione sono determinati dal tipo di materiale e sono associate al meccanismo di rottura previsto.

3.4 Modelli di danno

La risposta permanente della pavimentazione sottoposta al carico è catturata nel modello di danno o anche chiamato criterio di rottura. Questi modelli sono specifici del materiale e sono tarati per il modo dominante di rottura, deformazioni permanenti e fatica, per pavimentazioni flessibili, rottura della lastra, rigonfiamenti e crepe, per pavimentazioni rigide. La calibrazione dei modelli di rottura è stata fatta attraverso l'analisi di dati relativi ai danni osservati ed è quindi la componente empirica del processo. I modelli di danno spesso includono qualche misura della resistenza del materiale, quindi le caratteristiche del materiale sono utilizzate sia come dati in input e sia all'interno dei modelli di danno stessi. Spesso le caratteristiche del materiale non sono esplicitamente note, in quei casi è possibile usare le proprietà di default.

La capacità strutturale del materiale dipende anche dalle condizioni in cui sta operando la pavimentazione. Ad esempio in condizioni bagnate si riduce la sua capacità strutturale. Il metodo classico di progetto ME assume che le condizioni siano costantemente applicate durante la vita strutturale della pavimentazione.

Molti metodi meccanicistico-empirici sono tarati solo per predefinite condizioni terminali. Questi metodi stimano la capacità strutturale (N) dalla condizione iniziale fino ad un predefinito livello di rottura. Non viene fornita nessuna informazione su come il danno viene accumulato e com'è raggiunta la condizione terminale.

3.5 Capacità strutturale per pavimentazione flessibile

Ci sono molti metodi disponibili per stimare la capacità strutturale per le pavimentazioni flessibili. Ognuno ha i suoi vantaggi e svantaggi e potrebbe essere usato solo per determinate situazioni.

- Metodo meccanicistico-empirico del Sud Africa (SAMDM-South African Mechanistic-empirical Method)
- Pavement number (PN)
- Cono penetrometro dinamico (DCP)
- Numero strutturale AASHTO (SN)
- FWD deflection bowl parameter method
- FWD structural number (SN)
- TRRL deflessione superficiale
- Asphalt institute surface deflection

E' responsabilità del progettista scegliere il metodo più appropriato per una particolare condizione di progetto.

3.5.1 SAMDM

La versione del 1996 del metodo meccanicistico-empirico del Sud Africa è stata ampiamente utilizzata in Sud Africa per molti anni. I modelli di danno sono stati tarati per ognuno dei gruppi di materiali principali usati nella costruzione delle strade in Sud Africa.

I modelli di danno attualmente forniti dalla versione del 1996 del SAMDM sono:

- **Fatica per asfalto miscelato a caldo**
 - ✓ Fatica degli strati sottili di superficie (<50 mm di spessore): continuo o discontinuo
 - ✓ Fatica degli strati spessi di base (>75 mm di spessore)
- **Materiale granulare sciolto per base e fondazione**
 - ✓ Deformazione permanente
- **Strati di base e fondazione cementati**
 - ✓ Rottura per schiacciamento
 - ✓ Rottura efficace
 - ✓ Deformazione permanente
- **Deformazione permanente del sottofondo**

3.6 Capacità strutturale del materiale granulare sciolto per base e fondazione

Nel metodo del 1996 SAMDM si assume che gli strati di materiale granulare sciolto accumulino deformazione permanenti nello strato dalla deformazione a taglio. Le proprietà resilienti per materiale granulare sciolto di base e fondazione vengono fornite dalla tabella 2. La rigidità di un materiale granulare dipende dalla resistenza del supporto, più è resistente lo strato sottostante, più rigido lo strato granulare.

Material Code	Material Description	Elastic Modulus	
		Support Condition	
		Over Cemented	Over Granular
G1	High quality crushed stone	250 – 1000 (450) ¹	150 – 600 (300)
G2	Crushed stone	200 – 800 (400)	100 – 400 (250)
G3	Crushed stone	200 – 800 (350)	100 – 350 (250)
G4	Natural gravel (base quality)	100 – 600 (300)	75 – 350 (225)
G5	Natural gravel	50 – 400 (250)	40 – 300 (200)
G6	Natural gravel (subbase quality)	50 – 200 (225)	30 – 200 (150)
EG4	Equivalent granular, G5/G6 parent material	–	200 – 400 (300)
EG5	Equivalent granular, G7/G8 parent material	–	100 – 300 (200)
EG6	Equivalent granular, G9/G10 parent material	–	30 – 200 (140)

Tabella 2 : proprietà resilienti per materiale sciolto

Gli strati granulari sono analizzati determinando lo stato di tensione a metà strato e confrontandolo con la resistenza a taglio usando il modello Mohr-Coulomb. Questa resistenza a taglio è nota come fattore di sicurezza ed è usata come modello di danno per determinare la capacità portante dello strato. Il modello di danno è dato dalle equazioni (1) , (2a) e (2b).

$$N = 10^{(\alpha F + \beta)} \quad (1)$$

N : numero di assi standard equivalenti affinché non si abbia rottura a taglio

α, β : costanti riportate in tab 3

F : rapporto di tensione definito dall'equazione (2a) o (2b)

$$F = \frac{\sigma_3 \left[K \left(\tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) - 1 \right) \right] + 2KC \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)}{(\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (2a)$$

$$F = \frac{\sigma_3 \phi_{term} + C_{term}}{(\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (2b)$$

σ_1 , σ_3 : tensioni principali maggiore e minore a metà dello strato granulare (tensione di compressione positiva) calcolate come mostrato in figura 5.

C : coesione

Φ : angolo di attrito interno

C_{term} , Φ_{term} : valori forniti da tabella 3

K : costante per l'umidità : 0,65 per saturo; 0,8 per moderato; 0,95 per asciutto

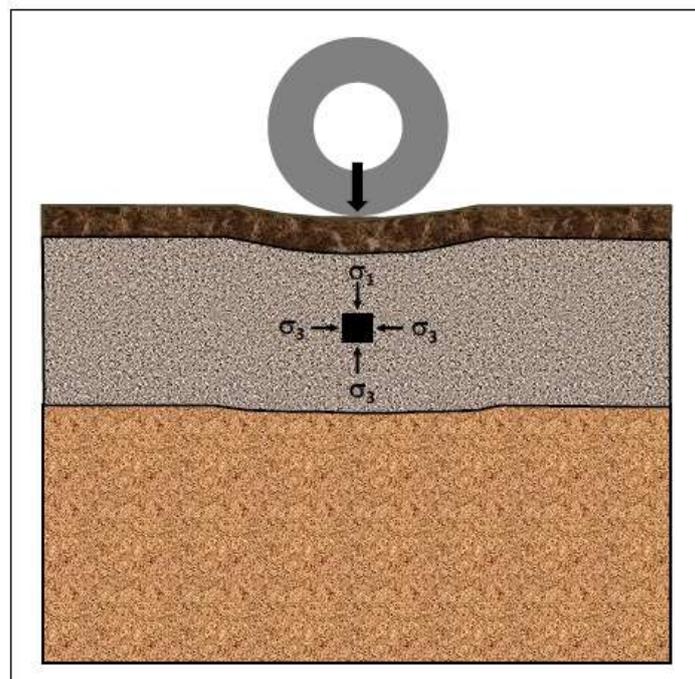


Figura 5 : posizione delle tensioni principali per strati granulari

Constants for Equation (20)						
Reliability Level	α			β		
95% (Category A)	2.605122			3.480098		
90% (Category B)	2.605122			3707667		
80% (Category C)	2.605122			3.983324		
50% (Category D)	2.605122			4.510819		
C and ϕ -Terms for Equation (21)						
Material Code	Moisture Condition					
	Dry		Moderate		Wet	
	ϕ -term	C-term	ϕ -term	C-term	ϕ -term	C-term
G1	8.61	392	7.03	282	5.44	171
G2	7.06	303	5.76	221	4.46	139
G3	6.22	261	5.08	188	3.93	115
G4	5.50	223	4.40	160	3.47	109
G5	3.60	143	3.30	115	3.17	83
G6	2.88	103	2.32	84	1.76	64
EG4 ²	4.02	140	3.50	120	3.12	100
EG5 ³	3.37	120	2.80	100	2.06	80
EG6 ⁴	1.63	100	1.50	80	1.40	60

Tabella 3 : coefficienti per il calcolo di F ed N

Application	Material Code	Saturation Level ¹	Shear Strength Parameters	
			Cohesion (kPa)	Friction Angle (°)
Base	G1	Dry	90 – 130	53 – 57
		Moderate	75 – 100	51 – 55
		Wet	50 – 75	50 – 53
	G2	Dry	100 – 125	54
		Moderate	50	52
		Wet	45	50
	G3	Dry	75	51
		Moderate	40	51
		Wet	20	50
	G4	Dry	75	51
		Moderate	40	47
		Wet	20	45
Subbase Coarse Materials GM: 1.7–2.3 Max size: 26.5 – 37.5	G5/6 (BLS425 ² < 170)	Dry	100 – 125	45 – 49
		Moderate	50 – 100	41 – 45
		Wet	10 – 50	39 – 42
	G5/6 (BLS425 > 170)	Dry	225 – 275	45 – 49
		Moderate	50 – 100	41 – 44
		Wet	25 – 35	31 – 33
Subbase Fine material GM: 1.5–1.6 Max size: < 13.2	G5/6 (BLS425 < 100)	Dry	125 – 250	43 – 45
		Moderate	40 – 50	43 – 45
		Wet	10 – 25	40 – 43
Selected Subgrade	G7 Ferricrete	Dry	75 – 100	43 – 45
		Moderate	0	41 – 43
		Wet	0	40 – 41
	G7 Sand	Dry	75 – 100	35 – 37
		Moderate	0	37 – 40
		Wet	0	35 – 37
In Situ Subgrade	G10 Ferricrete	Dry	75	45
		Moderate	0	37
		Wet	–	–
	Silt	Dry	80 – 100	30 – 35
		Moderate	0	30 – 35
		Wet	0	30 – 35
	Clay	Dry	> 250	20 – 30
		Moderate	25 – 50	15 – 25
		Wet	5 – 25	10 – 15

Tabella 5 : tipologie di materiali e valori di default

3.7 Capacità strutturale del materiale per gli strati di base e fondazione stabilizzati con cemento

Gli strati stabilizzati con cemento sono analizzati come strati confinati per quanto riguarda la fatica efficace e per la rottura del materiale in cima allo strato.

Si assume che la rottura inizi in fondo allo strato e si propaghi fino in cima. La condizione terminale è quando il materiale si è rotto o indebolito fino ad uno strato che ha una rigidità simile ad uno strato granulare sciolto. Questo è noto come lo stato granulare equivalente. Le rotture sono micro fratture generalmente non visibili (non diventa un materiale granulare); la rigidità dello strato è ridotta. Il termine “fatica efficace” si usa per suggerire che non ci si deve aspettare la tipica rottura a fatica come per gli strati di asfalto. Una volta che il materiale cementato ha raggiunto la fine della sua vita effettiva a fatica, entra in una nuova fase in cui si comporta come uno strato di materiale granulare.

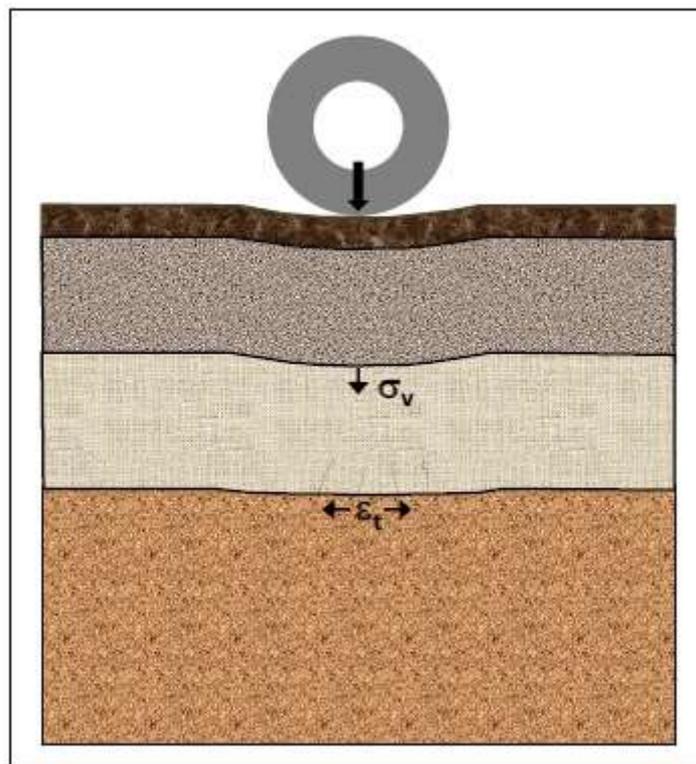


Figura 6 : posizione dei parametri critici per strati cementati

Quando lo strato cementato ha raggiunto quello equivalente granulare, si fa riferimento alle relazioni (1), (2a) e (2b) e alla tabella 3. La vita combinata dello strato è calcolata attraverso la vita di entrambe le fasi. Gli strati cementati sono anche analizzati per rompersi in cima allo strato, usando la tensione a compressione verticale, particolarmente rilevante per gli strati di base (figura 6) . Lo schiacciamento non è la condizione terminale e non è considerata per il calcolo dello stato

critico. Però è un controllo importante perchè ogni rottura ha un significato importante per la superficie.

Le proprietà resilienti per materiali cementati sono riportate in tabella 6.

Initial Class	Modulus (MPa)	Strain-at-Break (ϵ_b)	UCS (kPa)	Equivalent Granular Class	Modulus (MPa)
C3	2 000	125	2250	EG4	300
C4	1 500	145	1125	EG5	200

Tabella 6 : modulo elastico e proprietà dei materiali cementati

Le equazioni per il modello di danno sono:

- Schiacciamento iniziale e avanzato

$$N_{ci/ca} = 10^{a \left(1 - \frac{\sigma_v}{bUCS}\right)}$$

$N_{ci/ca}$: numero assi standar per schiacciamento iniziale o schiacciamento avanzato

σ_v : tensione compressione verticale in cima allo strato

UCS : resistenza a compressione non confinata (kPa), valori raccomandati riportati in tabella 6

a,b : costanti fornite in tabella 7.

- Fatica efficace

$$N_{eff} = SF10^{c \left(1 - \frac{\epsilon}{d\epsilon_b}\right)}$$

N_{eff} : vita a fatica efficace

ϵ : deformazione di trazione orizzontale in fondo allo strato

ϵ_b : deformazione a rottura, valori raccomandati in tabella 6

c,d : costanti dati in tabella 7

SF : shift factor-fattore di amplificazione-per propagazione della fratture

t : spessore dello strato

SF in funzione dello spessore:

spessore	SF
< 102 mm	1
Da 102mm a 319 mm	$10^{(0,00285t-0,293)}$
>419 mm	8

Reliability Level	Constants					
	Crush Initiation		Advanced Crushing		Effective Fatigue	
	a	b	a	b	c	d
50% (Category D)	8.216	1.21	8.894	1.31	7.06	7.86
80% (Category C)	7.706	1.31	8.384	1.23	6.87	7.66
90% (Category B)	7.506	1.10	8.184	1.20	6.84	7.63
95% (Category A)	7.386	1.09	8.064	1.19	6.72	7.49

Tabella 7 : costanti per materiale cementato

3.8 Deformazione permanente del sottofondo

Il sottofondo o gli strati più sotto, sono analizzati per deformazioni permanenti nello strato, che si manifestano come deformazione permanente o ampia depressione sulla superficie del pavimento. La depressione è calcolata usando la deformazione a compressione verticale in cima allo strato come mostrato in figura 7.

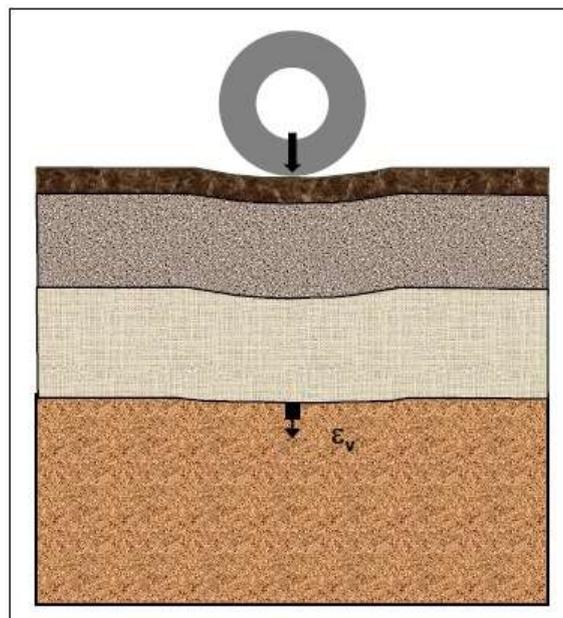


Figura 7 : parametro critico per sottofondi

Sono disponibili due modelli di danno: per 10 mm e per 20 mm di depressione dello strato. Se il sottofondo o lo strato selezionato ha una depressione di 20 mm, poi la depressione sulla

superficie del pavimento si può considerare più alta; il modello di danno più comunemente usato, in particolare per le categorie di strade A e B, è quello da 10 mm. In tabella 8 sono riportati i moduli resilienti.

Selected Layers and Subgrade Material Classes	Elastic Moduli (MPa)
G7	120
G8	90
G9	70
G10	45

Tabella 8 : valori di modulo resiliente per sottofondi

La funzione del modello di danno è

$$N_{PD} = 10^{(a-10\log\varepsilon_v)}$$

N_{PD} : livello impostato di assi standard di deformazione permanente

ε_v : deformazione verticale di compressione in cima allo strato (figura 7)

a : costante da tabella 9

Reliability Level	Constants	
	A	
	10 mm Terminal Rut Depth	20 mm Terminal Rut Depth
95% (Category A)	33.70	36.70
90% (Category B)	33.47	36.47
80% (Category C)	33.38	36.38
50% (Category D)	33.30	36.30

Tabella 9 : costanti per materiale di sottofondo

3.9 Analisi dei parametri critici di tensione/ deformazione

La posizione dove vengono calcolati i parametri critici dipende dal tipo di materiale e dal metodo di rottura assunto, figura 8.

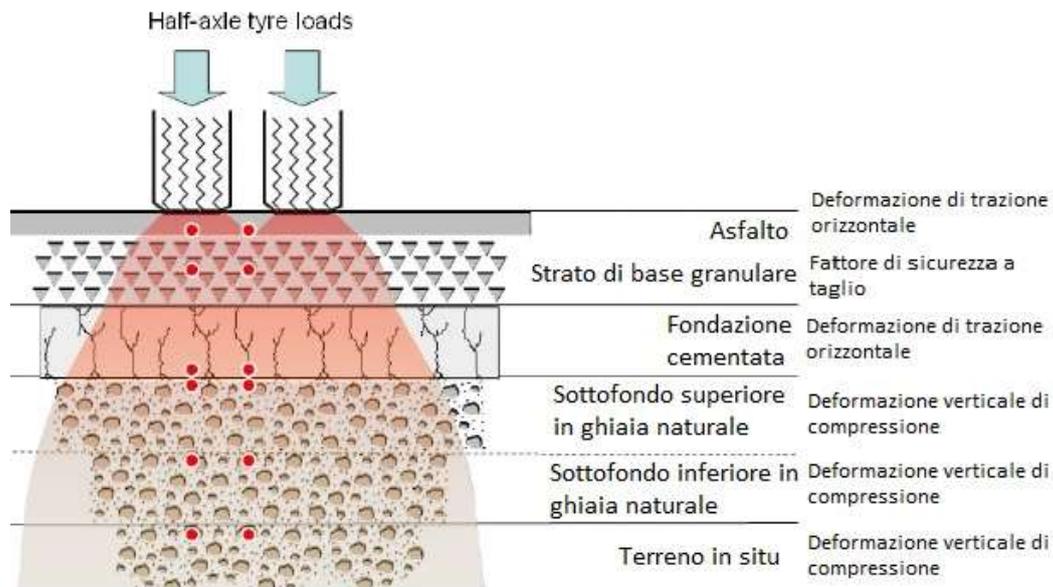


Figura 8 : posizione dei parametri critici per i vari strati della struttura

Di solito si prende mezzo asse di carico, perchè l'altra parte è fuori dalla zona di influenza. I parametri sono calcolati sia sotto che in mezzo ai carichi, questo perchè più vado in profondità e più le due zone di influenza del carico (rappresentate dai coni in figura 8) interagiscono fra loro. Di solito si calcolano i parametri critici sotto e in mezzo alle ruote e poi si usa il valore che mi dà la capacità strutturale più bassa.

3.10 Capacità strutturale: masselli autobloccanti

I metodi di progetto possono essere divisi nelle seguenti categorie:

- Concetto dello spessore equivalente
- Metodi di progetto da catalogo
- Metodi di progetti basati sulla ricerca
- Metodi meccanicistico-empirici (Lockpave)

3.11 Metodi meccanicistico-empirico per masselli autobloccanti

Sono state scoperte diverse procedure meccanicistiche per il progetto dei masselli autobloccanti, la prima in Sud Africa. I masselli autobloccanti venivano analizzati come un materasso omogeneo, isotropico, flessibile, steso sopra un sottofondo flessibile, con una certa resistenza CBR. La seconda analisi meccanicistica è stata riportata in Gran Bretagna nel 1979.

Recentemente si è scoperta una variante della procedura meccanicistica che utilizza la metodologia di pavimentazioni flessibili convenzionali. Di solito queste analisi calcolano le deformazioni a trazione in una fondazione confinata e le relazionano alla vita a fatica, oppure determinano la deformazione a compressione nel sottofondo o strato di base granulare per relazionarlo alla depressione che si sviluppa sotto il traffico. Tramite iterazioni, gli spessori dei vari strati possono essere scelti per raggiungere entrambe le condizioni di un'adeguata vita a fatica e un livello di deformazione di depressione tollerabile.

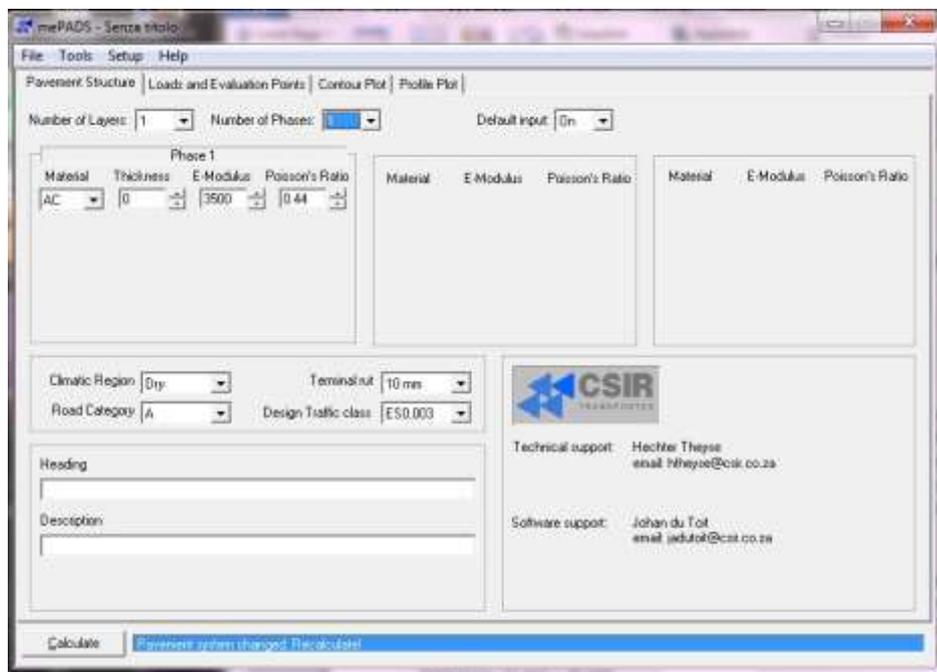
Questa procedura è disponibile con il programma Lockpave, si crede che questo metodo sia avanzato rispetto ai procedimenti meccanicistici precedenti poichè evita il bisogno di usare il concetto di carico assiale equivalente, ma piuttosto analizza e progetta ogni pavimento in termini di un appropriato spettro di carichi assiali. Questo è particolarmente importante per il progetto di pavimentazioni industriali, dove spesso si devono accettare ampi range di pressioni delle ruote, configurazioni di veicoli e diverse ripetizioni di carico per ogni tipo di veicolo. La posizione in cui vengono calcolati i parametri di tensione e di deformazione sono simili a quelle delle pavimentazioni flessibili.

4. MePADS

La serie di programmi PADS è stata sviluppata e distribuita da CSIR Built Environment in Sud Africa. La serie contiene diversi pacchetti, quello usato per lo sviluppo di questo elaborato è il MePADS, software per il calcolo delle tensioni, deformazioni e capacità strutturale con metodo meccanicistico-empirico delle pavimentazioni flessibili. Nel caso in esame la pavimentazione in masselli è rigida, ma la si può assimilare ad una pavimentazione flessibile inserendo gli opportuni parametri caratteristici del materiale in questione.

4.1 Funzionamento del programma PADS

4.1.1 Struttura della pavimentazione



Vengono inseriti i dati in input della pavimentazione precedentemente progettata tramite altri metodi (Lockpave nel caso in esame). Per ogni strato di pavimentazione il programma richiede lo spessore, il modulo elastico E e il rapporto di Poisson ν , per ogni fase del materiale (è possibile inserire fino a tre distinte fasi). I materiali disponibili nel menù a discesa del programma sono quelli presenti nel documento TRH4 del Sud Africa (tabella 9). Successivamente si inserisce la regione climatica scegliendo fra asciutta, moderata e bagnata e si sceglie il limite di deformazione per cui progettare: 10 mm o 20 mm.

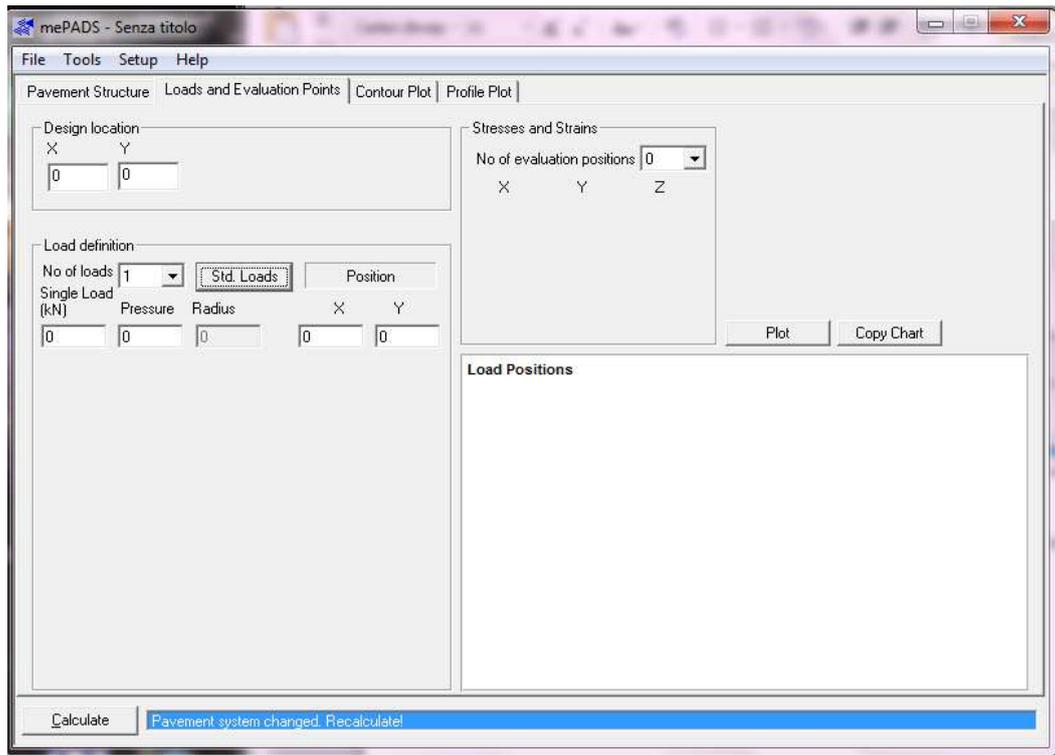
I dati di traffico vengono inseriti scegliendo la categoria di strada (A, B, C, D, come spiegato in dettaglio al capitolo 8) e la classe di traffico di progetto (vedi capitolo 8)

SYMBOL	CODE	MATERIAL	AVAILABILITY	UNIT COST/m ³	
				BORROW PIT:	COMMERCIAL:
	G1	GRADED CRUSHED STONE	✓	R 86,00	R122,00
	G2	GRADED CRUSHED STONE	✓	R 86,00	R122,00
	G3	GRADED CRUSHED STONE	✓	R 78,00	R116,00
	G4	NATURAL GRAVEL	✓	R 42,59	R 57,64
	G5	NATURAL GRAVEL	✓	R 39,23	R 53,50
	G6	NATURAL GRAVEL	✓	R 35,31	R 50,36
	G7	GRAVEL/SOIL	✓	R 33,03	R 45,65
	G8	GRAVEL/SOIL	✓	R 32,31	R 44,87
	G9	GRAVEL/SOIL	✓	R 31,40	R 44,00
	G10	GRAVEL/SOIL	X	—	—
	C1	CEMENTED CRUSHED STONE OR GRAVEL	✓	R106,05	R145,00
	C2	CEMENTED CRUSHED STONE OR GRAVEL	X	R102,00	R140,00
	C3	CEMENTED NATURAL GRAVEL	✓	R 63,00	R 76,70
	C4	CEMENTED NATURAL GRAVEL	✓	R 61,70	R 71,70
	BEM	BITUMEN EMULSION MODIFIED GRAVEL	X	—	—
	BES	BITUMEN EMULSION STABILISED GRAVEL	X	—	—
	BC1	HOT - MIX ASPHALT	✓	—	—
	BC2	HOT - MIX ASPHALT	✓	R320,00	—
	BC3	HOT - MIX ASPHALT	✓	—	—
	BS	HOT - MIX ASPHALT	✓	—	—
	AG	ASPHALT SURFACING	✓	—	—
	AC	ASPHALT SURFACING	✓	R350,00	—
	AS	ASPHALT SURFACING	✓	R430,00	—
	AO	ASPHALT SURFACING	X	—	—
	AP	ASPHALT SURFACING	X	—	—
	S1	SURFACE TREATMENT	✓	R 5,10/m ²	—
	S2	SURFACE TREATMENT	✓	R 6,00/m ²	—
	S3	SAND SEAL	X	R 2,35/m ²	—
	S4	CAPE SEAL	X	R 6,90/m ²	—
	S5	SLURRY	X	R561,00/m ³	—
	S6	SLURRY	X	R590,00/m ³	—
	S7	SLURRY	X	R616,00/m ³	—
	S8	SURFACE RENEWAL (30%)	X	R 1,20/litre	—
	S9	SURFACE RENEWAL (60%)	X	R 2,03/litre	—
	WM1	WATERBOUND MACADAM	X	R150,00/m ³	—
	WM2	WATERBOUND MACADAM	X	R150,00/m ³	—
	PM	PENETRATION MACADAM	X	—	—
	DR	DUMPROCK	X	R 30,00/m ³	—

Tabella 10 : materiali disponibili per l'analisi con MePADS

4.1.2 Carichi e punti di valutazione

Allo step seguente si impongono il valore di pressione, la posizione dei carichi e la posizione dei punti in cui si vuole avere i valori di tensione e deformazione.



4.1.3 Calcolo

Il programma esegue i calcoli dei parametri di tensione, deformazione e vita utile.

4.1.4 Parametri di progetto

Il programma riporta una tabella con i risultati calcolati di deformazioni di trazione orizzontale o compressione verticale, i valori delle tensioni principali maggiore e minore, per i singoli strati di pavimentazione.

4.1.5 Vita della pavimentazione

Vengono forniti un grafico relativo alla distribuzione della capacità portante della pavimentazione e un istogramma in cui si riporta nell'asse delle ascisse lo strato di pavimentazione e in quello delle ordinate la capacità portante dello strato, in termini di numero di assi standard equivalenti che la pavimentazione è in grado di sopportare durante la sua vita utile.

4.1.6 Contour e grafico

Tutti i parametri calcolati di tensioni, deformazioni e spostamenti possono essere visualizzati tramite mappa colorata (contour) e graficate in funzione della profondità z.

4.1.7 Tabella di calcolo

Infine una tabella riassuntiva riporta i valori della vita di ogni strato della pavimentazione, per ogni fase del materiale (se presenti più di una fase).

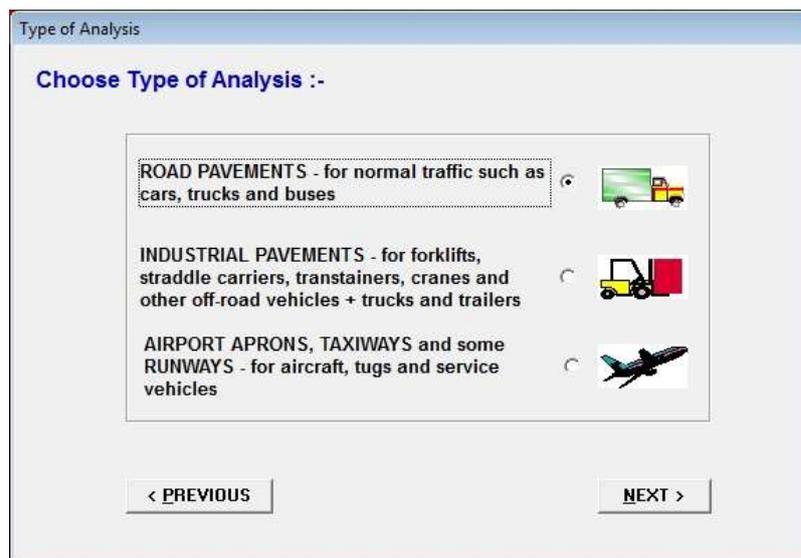
5. Lockpave

Il software Lockpave per il progetto degli spessori delle pavimentazioni in masselli è stato scoperto in Australia, viene distribuito da Concrete Manufactures Association (CMA) ed è utilizzato a livello internazionale. Per una determinata vita utile imposta dal progettista, il programma calcola i valori di tensioni e deformazioni che possono essere sopportate e determina la combinazione di spessori dei vari strati richiesti per non eccedere questi valori di tensioni e deformazioni.

5.1 Funzionamento del programma Lockpave

5.1.1 Scelta del progetto e tipo di analisi

Inizialmente viene richiesto di scegliere se il progetto riguarda una nuova pavimentazione o la sovrapposizione di una pavimentazione già esistente. Nel caso in esame si deve progettare una nuova pavimentazione. I tipi di analisi possibili sono: pavimentazioni stradali, pavimentazioni industriali, piazzali aeroportuali, taxiways e alcune runways aeroportuali. Nel caso qui trattato si è scelto la pavimentazione stradale.



5.1.2 Traffico

Il valore del traffico di progetto si può scegliere se inserirlo come numero di veicoli medio in entrambe le direzioni di traffico (ADT -Average Daily Traffic), o come numero di assi standard che deve supportare la pavimentazione (ESA) (definizioni spiegate al capitolo 7).

Nel primo caso successivamente si devono inserire i valori di traffico medio giornaliero in entrambe le direzioni, la percentuale in cui si suddivide il traffico nelle direzioni, il numero di corsie, il tasso di crescita di traffico annuale, la vita utile, la percentuale di veicoli commerciali presente (cioè i veicoli di peso superiore alle 3t).

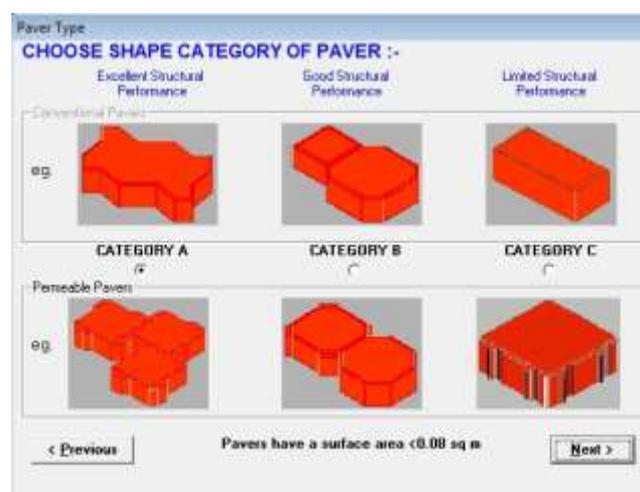
5.1.3 Condizioni ambientali

In questo passaggio si definiscono le qualità del sottofondo in termini di tempo di drenaggio e percentuale del tempo in cui questo è saturato. Nel caso in esame sono state prese in considerazione tre condizioni ambientali che sono quelle previste anche dal programma MePADS, la condizione asciutta (pavimentazione satura meno dell'1% del tempo), moderata (pavimentazione satura più del 5% fino al 25% del tempo) e bagnata (pavimentazione satura per più del 25% del tempo).

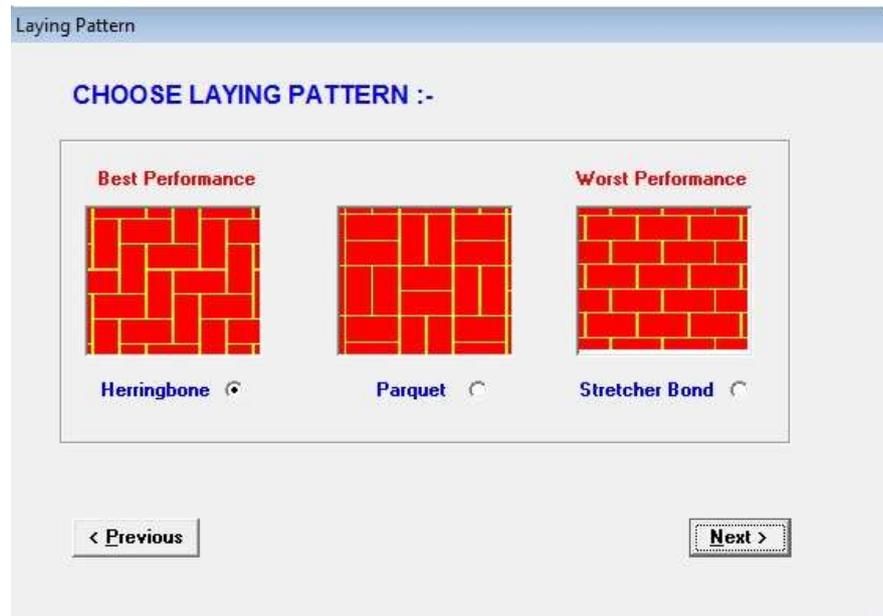
5.1.4 Caratteristiche dei materiali

Il sottofondo viene definito dai parametri di modulo elastico E (oppure dal valore di CBR), è possibile scegliere un valore preciso da riportare oppure usare i valori standard presi dalle classificazioni USCS, AASHTO o FAA.

5.1.5 Tipologia di forma del massello

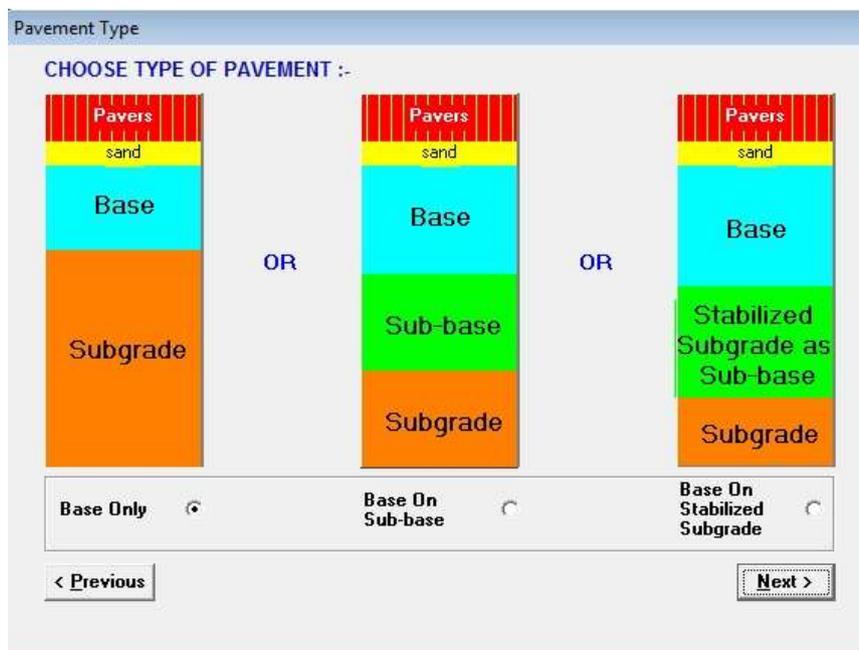


5.1.6 Scelta dello schema di posa in opera



5.1.7 Scelta del tipo di pavimento

E' possibile progettare con le seguenti tipologie di pavimentazione: base+sottofondo, base+fondazione+sottofondo, base+fondazione stabilizzata+sottofondo.



5.1.8 *Materiali della pavimentazione*

E' possibile scegliere i materiali della base e fondazione: granulare sciolto, asfalto, cementato.

5.1.9 *Progetto*

Il programma calcola gli spessori di base e sottofondo e riporta uno schema con tutti i valori di spessore, modulo elastico e rapporto di Poisson per ogni strato di pavimentazione.

6. Midas GTS NX

Il software progettuale MIDAS GTS NX, sviluppato da MIDAS Information Technology Co., Ltd, permette di fare uno studio su analisi FEM agli elementi finiti. In particolare questo permette uno studio 3D del problema con particolare attenzione agli aspetti geotecnici in gioco.

Lo studio è stato condotto su una porzione multistrato della pavimentazione in masselli autobloccanti di dimensioni 4m x 2m in pianta, con altezza pari alla somma degli spessori dei singoli strati costituenti il pacchetto più 1,5m di terreno di sottofondo. La mesh è stata poi realizzata per piani paralleli, tenendo conto delle caratteristiche dei materiali impiegati. Con riferimento alla tipologia multistrato in fig NUM, nella quale compaiono i masselli annegati nella sabbia interblocco, la sabbia di allettamento, il granulare di base e il terreno di sottofondo, si è valutato lo stato di tensionale e deformativo indotto nelle pavimentazioni mediante un'analisi FEM per differenti condizioni di carico.

La discretizzazione del continuo è stata realizzata mediante elementi 3D costituiti da 6 nodi con 6 gradi di libertà per nodo. Tali elementi possono essere orientati in qualunque modo nello spazio e possono assumere all'occorrenza forma tetraedrica, piramidale e prismatica, adattandosi all'analisi sia in campo lineare che in campo non lineare. Per la realizzazione del modello si è proceduto tramite i seguenti step:

1. Generazione tramite il programma di grafica vettoriale AUTOCAD di un modello 2D che riproponesse in pianta le specifiche geometriche di vari tipi di blocchetto, le piante delle impronte di carico orientate parallelamente alla direzione principale dello schema di posa.
2. Importazione del file DXF all'interno di MIDAS e creazione di una pianta di riferimento 2D a maglia triangolare.
3. Implementazione all'interno del programma delle principali specifiche fisico-meccaniche dei materiali che si andranno poi ad impiegare (terreni e masselli in calcestruzzo).

4. Estrusione della mesh 2D di riferimento al fine di creare i vari strati del materiale, che si susseguono fino ad una sufficiente profondità tale per cui lo stato tensionale non risenta più della presenza dei carichi esterni ed assegnazione ad ogni strato delle specifiche caratteristiche.
5. Apposizione lungo i bordi dell'ammasso di un sistema di vincoli costituito da appoggi semplici lungo le superfici laterali e da cerniere sulla faccia inferiore.
6. Applicazione del sistema di carichi secondo le impronte di carico suggerite dal D.M. 14/10/08 che identifica tre sagome (due con ruota singola e una con ruota gemellare). A tali carichi statici e normali alla superficie si è applicato un incremento di carico verticale stimato per la fasi di frenata negli assi anteriori di +15%.
7. Risoluzione in maniera dapprima lineare elastica e successivamente non lineare del problema.
8. Visualizzazione dei risultati ottenuti.

6.1 Aree di impronta di carico

Sono state prese in considerazione tre tipologie di impronte di carico mostrate in tabella 11, previste dalla normativa italiana (D.M. 14/01/2008).

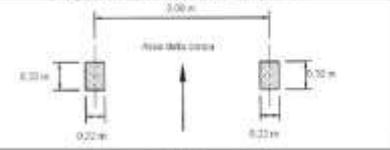
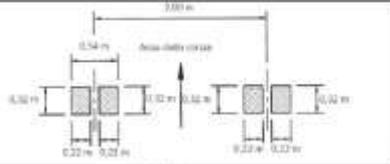
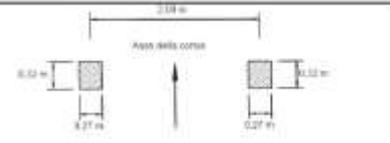
Tipo di pneumatico	Dimensioni dell'asse e delle impronte
A	
B	
C	

Tabella 11: tipologie di impronte a terra dei pneumatici più usuali negli autotrasporti.

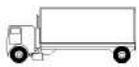
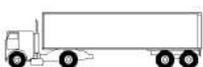
SAGOMA del VEICOLO		Distanza tra gli assi (m)	Carico frequente per asse (kN)	Tipo di ruota (Tab. 5.1.IX)
		4,5	90 190	A B
		4,20 1,30	80 140 140	A B B
		3,20	90	A
		5,20	180	B
		1,30	120	C
		1,30	120 120	C C
		3,40	90	A
		6,00	190	B
		1,80	140 140	B B
		4,80	90	A
		3,60	180	B
		4,40	120	C
		1,30	110 110	C C

Tabella 12: combinazioni della impronte nei vari mezzi commerciali che solitamente percorrono le strade italiane

Sul modello di terreno il carico descritto sopra si traduce nell'applicazione sul modello di una pressione uniformemente distribuita sulla superficie definita come impronta di carico, diversa per ogni tipologia di ruota presa in esame.

7. Traffico

La composizione del traffico veicolare sulle strade è estremamente vario, variando fra veicoli leggeri di passeggeri, bus e veicoli pesanti per il trasporto di merci commerciali. Il progetto della pavimentazione si focalizza sulla risposta del pavimento soggetto ai carichi, specialmente sul volume e sui carichi dei veicoli pesanti.

Lo studio e la quantificazione dei carichi del traffico è complicata proprio per la sua natura estremamente variabile. Ci sono due modi per trasportare la merce commerciale su terra: ferrovia o strada. Lo spostamento del metodo preferenziale dalla ferrovia alla strada comporta dei cambiamenti nei carichi del traffico. La crescita economica richiede la presenza di infrastrutture per il trasporto delle merci, che influenza anche la crescita del volume del traffico a lungo termine. Le sporadiche costruzioni di attività causano un incremento di specifici tipologie di veicoli pesanti durante il periodo di costruzione del progetto. Le attività stagionali, come la mietitura, influenzano il traffico di determinate strade.

Per valutare opportunamente il volume, il carico, le fluttuazioni stagionali del traffico e i cambiamenti a lungo termine, specialmente per quanto riguarda il traffico dei veicoli pesanti, sono considerati una grande quantità di valori.

La conseguenza di una stima sbagliata del traffico di progetto è grave e costosa. Sebbene il calcolo usato nel processo della stima del traffico sia abbastanza semplice, l'elevata incertezza associata ai dati in input spesso comporta una bassa affidabilità dei risultati.

7.1 Sistema degli assi equivalenti

Per la definizione del traffico complessivo il metodo più comune è quello degli assi equivalenti, cui fanno riferimento i metodi di dimensionamento stradali empirici come la AASHTO Interim Guide. La conoscenza della composizione del traffico consente il calcolo del numero di passaggi totali di un asse tipo standard nell'arco della vita utile della pavimentazione. La trasformazione del traffico in assi equivalenti avviene attraverso una serie di passaggi qui di seguito riportati.

1. Calcolo degli ESAs (numero di assi equivalenti giornaliero)

$$N_E = \frac{AADT \times F \times DIR \times HV\%}{100}$$

N_E : valore iniziale di ESAs

AADT : valore annuale medio giornaliero di traffico – rappresenta il traffico in entrambe le direzioni lungo un periodo di 24 ore ed è il volume di traffico totale annuale diviso per 365.

F : fattore di forma, da prendere dalla tabella NUM tratta da AUSTROADS Pavement Design Guide.

DIR : percentuale di volume traffico in una direzione (assumere 0,5 se il dato non è disponibile)

HV% : percentuale di veicoli pesanti/commerciali (assunti come quelli di peso >3t)

2. Calcolo del fattore di crescita (GF) per il periodo di progetto

- Scegliere il periodo di progetto (nel caso in esame 20 anni)
- Scegliere il tasso di crescita del traffico
- Determinare il fattore di crescita dall'equazione seguente

$$GF = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} \left(1 + \frac{GTH\%}{100} \right)^i$$

3. Calcolo del valore di progetto ESAd, numero di assi standard equivalenti per il periodo di progetto previsto

$$ESAd = N_E \times GF \times 365$$

8. Classificazione stradale

Sono state prese in considerazione tre classificazioni stradali, relativa all’Australia, il Sud Africa e l’Italia. Le diverse classi stradali in cui viene suddivisa ogni classificazione sono state messe a confronto e raggruppate in base al valore simile di ADT, traffico giornaliero annuo in entrambi le direzioni.

8.1 Classificazione Australia

La stima del traffico per il traffico per corsia di progetto è stimata in base al numero di veicoli commerciali che eccedono le 3t di massa. I veicoli che pesano meno di 3t non hanno una significativa influenza sullo spessore di progetto e per questo tipo di traffico è possibile fare un’analisi semplificata. Il periodo per cui viene calcolata l’entità del traffico e la decisione di includere un fattore annuale di crescita del traffico sono fattori la cui decisione spetta al progettista.

La classificazione da prendere in esame per quanto riguarda l’Australia considera i dati standard forniti da ARRB (Australian Road Research Board) in combinazione con una gerarchia stradale locale. La stima di questi dati include anche previsioni per: traffico dovuto a costruzione di edifici, in situazioni come strade residenziali dove la pavimentazione è costruita prima delle case; traffico dovuto alla raccolta dei rifiuti; la probabilità di un doppio traffico di veicoli che entrano ed escono dalle strette strade residenziali , dove l’arrivo e la partenza dei veicoli avviene percorrendo la stessa area.

La tabella seguente tabella 13 riporta i valori del traffico e gerarchia stradale forniti da Potter.

Street type	AADT limits	% CV	ESA/CV	ESA/day/lane	r
Minor	<150	1.0–15.0 (3.6)	0.01–0.70 (0.20)	0.03–5.0 (0.40)	0.00
Local access	150–1000	1.0–25.0 (5.0)	0.10–1.00 (0.50)	0.02–15 (4.0)	0.01
Collectors	1000–3000	2.0–20.0 (7.0)	0.10–1.20 (0.50)	5–90 (30)	0.015
Distributors	>3000	2.0–8.0 (3.7)	0.20–0.90 (0.50)	20–190 (60)	0.025

Tabella 13 : valori di traffico stimato e gerarchia stradale

8.2 Classificazione del Sud Africa

In Sud Africa le strade sono classificate secondo l'importanza e il livello di servizio richiesto. I dettagli di ogni tipologia di strada vengono forniti dalla tabe NUM. (TRH4, 1996; TRH12, 1997). I valori indicativi di "affidabilità di progetto" sono collegati alla categoria. Per un progetto nuovo, l'affidabilità viene introdotta al momento della stima della capacità portante di un potenziale progetto. Per un progetto di riabilitazione, la categoria di strada non determina solo il valore indicativo di affidabilità per la futura capacità strutturale della strada riabilitata, ma fornisce anche un'indicazione sul livello di percentuale da usare durante la valutazione dei dati sulla condizione della strada esistente.

	Road Category			
	A	B	C	D
Description	Major inter-urban freeways and major rural roads	Inter-urban collectors and rural roads	Lightly trafficked rural roads, strategic roads	Rural access roads
Importance	Very important	Important	Less important	Less important
Level of service	Very high	High	Moderate	Moderate
Typical Pavement Characteristics				
Approximate design reliability (%)	95	90	80	50 ¹
Length of road exceeding terminal distress condition at end of structural design life	5	10	20	50
Total equivalent traffic loading (E80/lane)	3 – 100 million over 20 years	0.3 – 10 million Depending on design strategy	< 3 million Depending on design strategy	< 1 million Depending on design strategy
Typical pavement class ²	ES10 – ES100	ES1 – ES10	< ES0.03 – ES3	ES0.003 – ES1
Daily traffic (evu)	> 4000	600 – 10 000	< 600	< 500
Riding quality:				
Constructed				
PSI	3.5 – 4.5	3.0 – 4.5	2.5 – 3.5	2.0 – 3.5
IRI	2.4 – 1.6	2.9 – 1.6	3.5 – 2.4	4.2 – 2.4
Terminal				
PSI	2.5	2.0	1.8	1.5
IRI	3.5	4.2	4.5	5.1
Rut level for flexible pavements (mm)				
Warning	10	10	10	10
Terminal	20	20	20	20
Area of shattered concrete for rigid pavements (%) ³				
CRCP and UTCRCP				
Warning	0.2	0.3	0.4	0.5
Terminal	0.5	0.7	0.8	1.0
JCP and DJCP				
Warning	2	3	4	5
Terminal	5	6	8	10

Note

1. Although 50% reliability is stated for Category D, this essentially implies designing for an average situation. Great caution should, however, be taken when designing for an average situation with average values.
2. Traffic classes given in Section 4.1.5.
3. These criteria from cncPave.

Tabella 14 : tipologie strade secondo la classificazione del Sud Africa



Figura 9 : categorie di strade tipiche del Sud Africa

- **Categoria di strada A:** periodo strutturale di progetto di 25 anni, variando fra 15 e 30 anni, è raccomandato perchè:
 - ✓ L'allineamento della strada è fisso per un lungo periodo con un'alta probabilità
 - ✓ Non è accettabile da parte degli utenti della strada di avere grandi riabilitazioni su costruzioni recenti di strade importanti
 - ✓ Il costo per interrompere gli elevati volumi di traffico compensa eventuali vantaggi derivanti da un periodo di progettazione strutturale più breve
- **Categoria di strada B:** è raccomandato un periodo strutturale di 20 anni, variando fra i 15 e i 25 anni. I fattori che potrebbero incoraggiare un periodo di progetto più corto sono:
 - ✓ Un cambiamento nella situazione del traffico che potrebbe far diventare la geometria di progetto sorpassata, antiquata.
 - ✓ La carenza di fondi per il costo iniziale della costruzione
 - ✓ Mancanza di fiducia nelle assunzioni di progetto

Se è stato scelto un periodo di progetto più breve, il progetto dovrebbe essere in grado di ospitare le fasi di costruzione.

- **Categoria di strada C:** i vincoli finanziari potrebbero imporre la scelta di un periodo di progetto di 10 anni. Se è previsto che la riabilitazione strutturale sarà difficile, potrebbe essere appropriato tenere in considerazione un periodo di 20 anni.
- **Categoria di strada D:** in questa classe vengono spesso inserite le strade a basso volume di traffico e strade sperimentali. La crescita del traffico in questa categoria di strada può essere rapida e di non facile previsione. Un periodo di progetto più breve permette dei cambiamenti nella fase iniziale per adattarsi ai cambiamenti delle condizioni, senza avere maggiori implicazioni finanziarie. Un'affidabilità di progetto del 50% implica che metà pavimentazione sarà logorata alla fine del suo periodo di progetto.

Le classi di traffico per il progetto delle pavimentazioni fornite dal TRH4 sono dieci e sono quelle utilizzate anche dal programma MePADS, come mostrato in tabella 15.

Pavement Class	Structural Capacity (million standard axles/lane)	Traffic Volume and Description of Traffic ²	
		Approximate vpd ³	Description
ES0.003 ¹	< 0.003	< 3	Very lightly trafficked roads with very few heavy vehicles. Includes roads transitioning from gravel to paved roads and may incorporate semi-permanent and/or all weather surfacing layers.
ES0.01	0.003 – 0.01	3 – 10	
ES0.03	0.01 – 0.03	10 – 20	
ES0.1	0.03 – 0.1	20 – 75	
ES0.3	0.1 – 0.3	75 – 220	
ES1	0.3 – 1	220 – 700	Lightly trafficked roads carrying mainly cars, light delivery and agricultural vehicles with very few heavy vehicles.
ES3	1 – 3	> 700	Medium traffic volume roads with a few heavy vehicles.
ES10	3 – 10	> 700 ⁴	High traffic volume roads or roads with many heavy vehicles.
ES30	10 – 30	> 2200 ⁴	Very high traffic volume roads with a high proportion of fully laden heavy vehicles.
ES100	30 – 100	> 6500 ⁴	

Tabella 15 : classi di traffico

1 : ES rappresenta la classe di assi standard equivalenti (80 kN)

2 : la domanda di traffico è convertita in assi equivalenti 80 kN

3 : vpd sono i veicoli per corsia al giorno

8.3 Classificazione italiana

Per assegnare il livello di traffico ai fini del dimensionamento strutturale della pavimentazione in masselli è stata elaborata una classificazione semplificata, derivata dalla proposta del SETRA-LCPC, basata su fattori facilmente individuabili anche dal progettista non specializzato. Il traffico da prendere in considerazione è quello per senso di circolazione se la carreggiata stradale è superiore a 6 metri: se la carreggiata è di larghezza inferiore ai 5 metri deve essere considerato il traffico complessivo nei due sensi di marcia; se la carreggiata è di larghezza compresa tra i 5 e i 6 metri deve essere considerato il 75% del traffico complessivo nei due sensi di marcia. Per le destinazioni d'uso ancora più pesanti, laddove la tipologia e lo spettro di carico sono completamente differenti e decisamente superiori rispetto a quelli indicati nella tabella 16, esistono metodi di dimensionamento universalmente collaudati a livello internazionale. Per quanto riguarda le applicazioni per piazzali di movimentazione e stoccaggio containers, porti e/o aree di smistamento, il metodo di dimensionamento universalmente riconosciuto e di riferimento è quello stabilito dalla British Ports Association – The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries.

Classe di traffico	Traffico massimo per giorno			Descrizione
	Numero di mezzi pesanti con carico utile > 5 t	Numero di veicoli di peso complessivo > 3,5 t	Numero totale di veicoli senza distinzione di carico	
 1	-	-	-	Spazi esclusivamente pedonali; parchi, piscine, marciapiedi; piste ciclabili.
A	-	2	50	Area cortile; strade di accesso a lottizzazioni con meno di 10 alloggi; spazi urbani pedonali con accesso veicoli di servizio; parcheggi residenziali.
2				
 B	-	10	200	Strade di accesso a lottizzazioni da 10 a 300 alloggi; strade urbane pedonali con accesso veicoli di servizio e per le consegne; parcheggi pubblici, commerciali.
A	25	30	500	Strade urbane o simili soggette ad un traffico massimo di 500 veicoli al giorno e per senso di circolazione, senza distinzione di carico.
3				
B	50	60	700	Strade urbane o simili soggette ad un traffico massimo di 700 veicoli al giorno e per senso di circolazione, senza distinzione di carico; parcheggi o aree di manovra lenta di mezzi pesanti (fino a 60 veicoli/giorno di peso complessivo > 3,5 t)
C	100	125	1000	Strade urbane o simili soggette ad un traffico massimo di 1000 veicoli al giorno e per senso di circolazione, senza distinzione di carico; parcheggi o aree di manovra lenta di mezzi pesanti (fino a 125 veicoli/giorno di peso complessivo > 3,5 t)
4				
	>100	>125	>1000	Strade urbane o simili soggette ad un traffico di oltre 1000 veicoli al giorno e per senso di circolazione, senza distinzione di carico; parcheggi o aree di manovra lenta di mezzi pesanti (oltre 125 veicoli/giorno di peso complessivo > 3,5 t)

tab. 2.6 - Classificazione del traffico

Tabella 16 : classificazione traffico italiana

8.4 Confronto fra le classificazioni

Le varie classificazioni sono state messe raggruppate in quattro classi essenziali in modo da poterle confrontare a parità di parametri. Prendendo in esame il numero di AADT in entrambe le direzioni e la percentuale di veicoli pesanti presente nella pavimentazione, le classi sono state raggruppate come mostrato in tabella 17. Per ogni classe sono stati anche calcolati il numero di assi standard equivalenti di progetto, valutando la crescita del traffico nell'arco di tempo di 20

anni (per quanto riguarda la classe della distribuzione non sono stati calcolati poichè non sono categorie di traffico a cui si applica la pavimentazione in masselli di calcestruzzo)

Classificazione Australia	Classificazione Italia	Classificazione Africa	ESAd AUSTRALIA	ESAd ITALIA	ESAd AFRICA
Minor	2	A	2,92E+03	4,11E+03	8,14E+02
		ES0,003			
		ES0,01			
		B			
		ES0,03			
		ES0,1			
Local access	3	A	3,21E+04	1,21E+05	1,37E+04
		ES0,3			
		ES1			
Collector	3	B	2,53E+05	7,56E+05	6,78E+04
		ES3			
		C			
		ES10			
Distributor	4				
		ES30			
		ES100			

Tabella 17 : confronto fra classificazioni stradali

9. Tema progettuale

Lo scopo della seguente tesi è quello di confrontare i risultati ottenuti con i diversi programmi di calcolo, partendo da uno stesso progetto di pavimentazione. Per un determinato livello di traffico, classe stradale e tipologia di sottofondo (contraddistinta dal suo modulo Mr che viene utilizzato come modulo elastico da inserire nei vari programmi) sarà realizzato un progetto con il programma Lockpave che individuerà i vari spessori per gli strati di pavimentazione. Questo progetto poi viene inserito in due diversi programmi: MePADS e MIDAS GTS NX. Il programma MePADS, come spiegato al cap 4, mi fornisce i valori di tensioni e deformazioni di ogni strato nel suo punto significativo (mostrato in figura 8) e la vita utile dello stesso, calcolata come numero di assi standard che la pavimentazione può supportare per essere considerata ancora all'interno della sua affidabilità (vedi tabella14).

Il programma agli elementi finiti MIDAS mi fornisce i valori di tensioni e deformazioni negli elementi e nei nodi della mesh in cui è stata discretizzata la struttura. Verranno utilizzati gli stessi

punti considerati dal programma MePADS e poi inseriti nelle formule per il calcolo della vita utile (N) fornite dal Manuale del Sud Africa per il progetto delle pavimentazioni.

10. Progetto 1: strada residenziale

10.1 Caso 1 : residenziale, asciutto, 22 MPa, ruota A

10.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Residenziale
Traffico AADT in entrambe le direzioni	50
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	0
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	4
Numero di spazzatura accumulata per settimana	2
Nuove case che verranno costruite	300

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

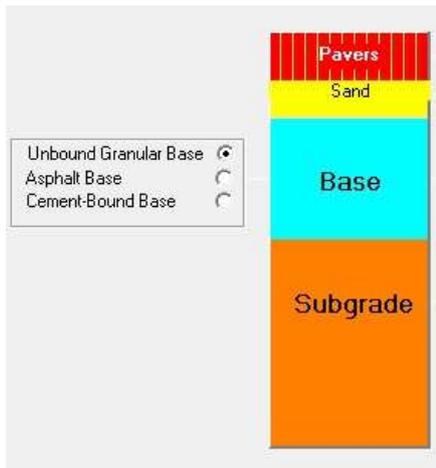
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	22
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

Layer	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Pavers	80	2800	0.30
Sand	25		
Base	230	350	0.35
Subgrade	semi-infinite	22	0.40

Subgrade Modulus: 22

DESIGN THE PAVEMENT

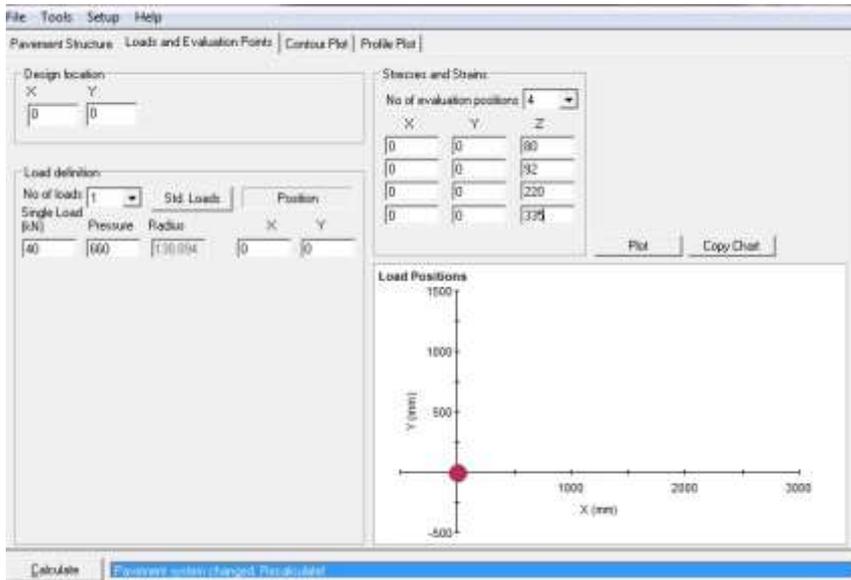
10.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	80	2800	0,3
G3	25	200	0,35
G1	230	350	0,35
Soil	1500	22	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	D
Deformazione terminale	20 mm
Classe stradale di progetto	ES0,03

CARICHI E PUNTI DI VALUTAZIONE



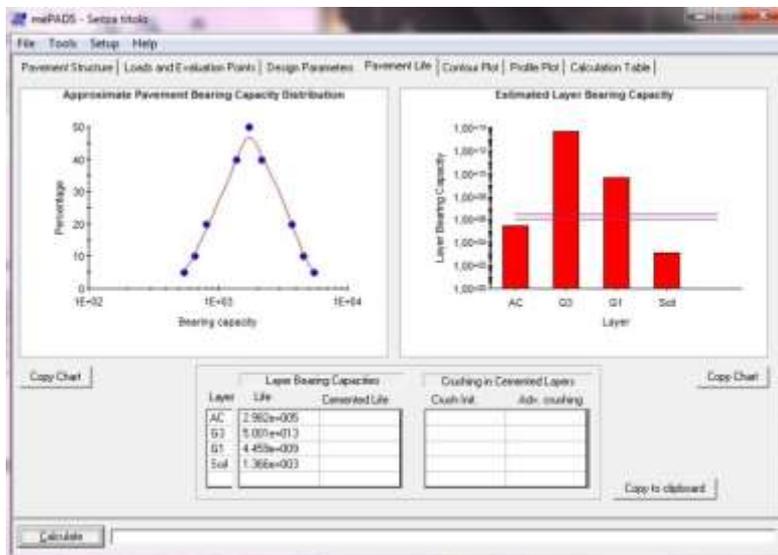
RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-352,0	-102,4	3,596	
Base granulare	-115,6	76,3	2,042	
Terreno in situ				-1139

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE



Materiale	Vita utile
G3	5,001 E+13
G1	4,459E+09
Soil	5,43E+05

10.1.3 Verifica con Midas

Vengono inseriti gli stessi dati di parametri del terreno e del carico inseriti in MePads

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson	γ (kN/m ³)
Calcestruzzo	80	2800	0,3	25
Sabbia interblocco	80	250	0,3	19
Sabbia di allettamento	25	200	0,35	18
Granulare di base	230	350	0,35	19
Sottofondo	1500	22	0,4	18

Per il carico è stato considerato quello dell'asse standard di 80 kN. E' stato preso esclusivamente il carico verticale in frenata, calcolato come il peso dell'asse standard diviso il numero delle ruote e diviso l'area della singola ruota, in modo da ottenere il carico di pressione uniformemente distribuita nell'impronta di carico, questo viene successivamente amplificato del 15% per tener conto dell'effetto della frenata.

RISULTATI

Materiale	Tensione verticale (kPa)	Tensione orizzontale (kPa)	Deformazione di compressione verticale(μ m)
Sabbia	-347	-130	
Base granulare	-120	60	
Terreno in situ			-722

Compressione –

Trazione +

I valori trovati sono inseriti nelle formule per il calcolo della vita utile del singolo strato della pavimentazione, per il calcolo del fattore di sicurezza sono stati usati i valori di Φ_{term} e C_{term} suggeriti dalla tabella fornita dal Manuale delle Pavimentazioni del SudAfrica (SAMDM 1996) (tabella 3).

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	347	130	6,22	261	4,929032258	2,605122	4,510819	2,25E+17
G1	120	-60	8,61	392	2,177777778	2,605122	4,510819	1,53E+10

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,3	722	5,18E+07

RIEPILOGO CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	5,001 E+13	2,25E+17
G1	4,459E+09	1,53E+10
Soil	5,43E+05	5,18E+07

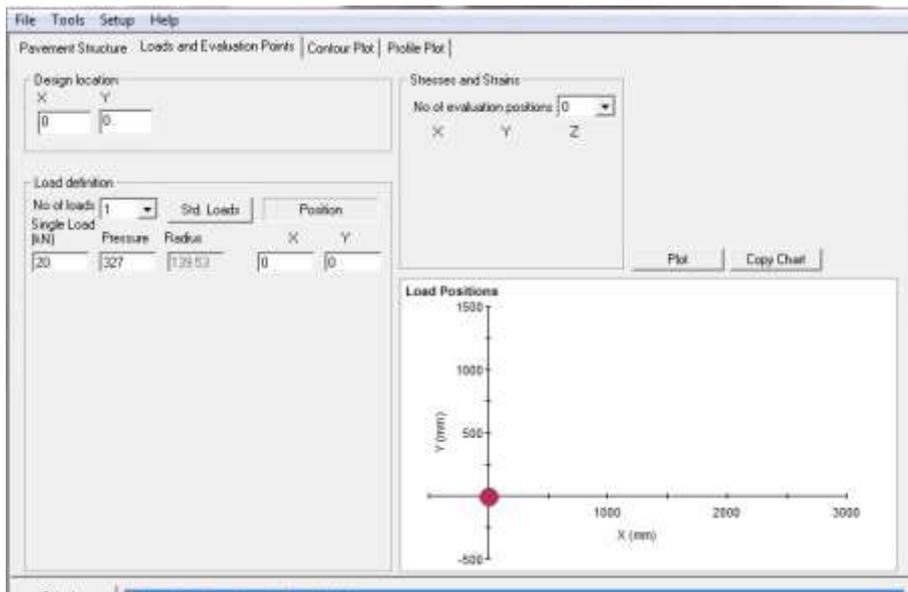
10.2 Caso 2 : residenziale, asciutto, 22 MPa, ruota B

Si mantiene il medesimo progetto determinato inizialmente con Lockpave, ciò che cambia è il valore del carico uniformemente distribuito. In questo caso la forza dell'asse standard viene divisa sempre per il numero di ruote, che in questo caso è 4, per l'area dell'impronta di carico e successivamente aumentato del 15% sempre per simulare l'effetto della frenata.

10.2.1 Verifica con MePADS

CARICHI E PUNTI DI VALUTAZIONE

Si prende sempre il carico di un'asse standard e lo si trasforma in pressione uniforme nell'impronta di carico.



RISULTATI

Materiale	Tensione verticale (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
Sabbia	-175,2	-51,1	4,664	
Base granulare	-57	38,1	4,123	
Terreno in situ				-569

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1 E+15
G1	9,687 E+14
Soil	5,61E+08

10.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	170	50	6,22	261	4,766666667	2,605122	4,510819	8,48E+16
G1	66	-40	8,61	392	3,698113208	2,605122	4,510819	1,40E+14

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,3	424	1,06E+10

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1 E+15	8,48E+16
G1	9,687 E+14	1,40E+14
Soil	5,61E+08	1,06E+10

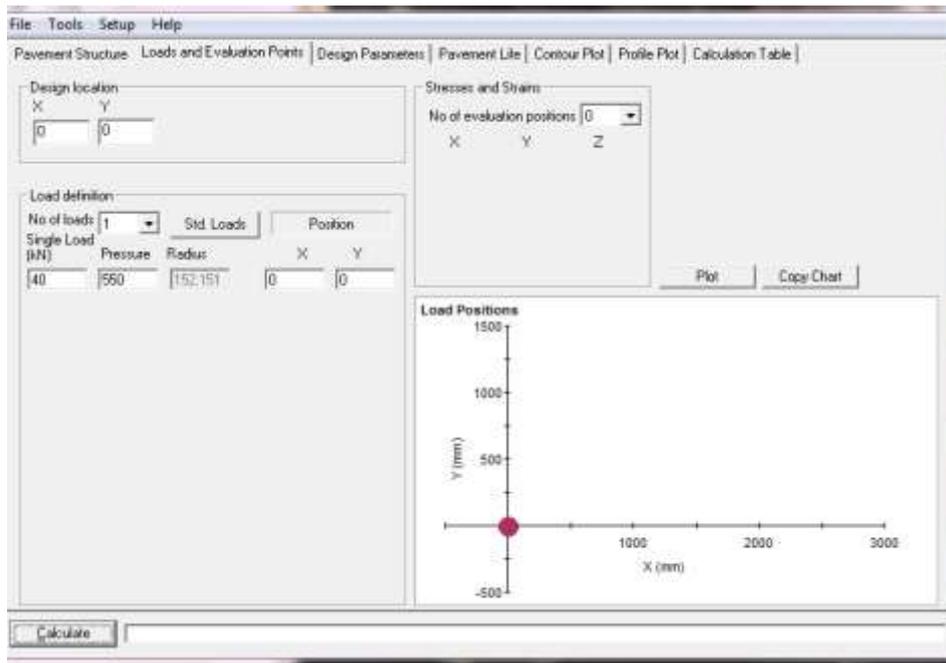
10.3 Caso 3: residenziale, asciutto, 22 MPa, ruota C

Anche in questo caso si mantiene il medesimo progetto determinato inizialmente con Lockpave, ciò che cambia è il valore del carico uniformemente distribuito.

10.3.1 Verifica con MePADS

CARICHI E PUNTI DI VALUTAZIONE

Si prende sempre il carico di un'asse standard e lo si trasforma in pressione uniforme nell'impronta di carico.



RISULTATI

Materiale	Tensione verticale (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore di sicurezza	Deformazione di compressione verticale (μm)
Sabbia	-318,7	-96,5	3,876	
Base granulare	-109,3	75,4	2,122	
Terreno in situ				-1125

Compressione –
Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	2,689 E+14
G1	7,200 E+09
Soil	6,14E+05

10.3.2 Verifica con Midas

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	290	92	6,22	261	4,208282828	2,605122	4,510819	2,98E+15
G1	137	-70	8,61	392	1,893719807	2,605122	4,510819	2,78E+09

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,3	821	1,43E+07

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	2,689E+14	2,98E+15
G1	7,200E+09	2,78E+09
Soil	6,14E+05	1,43E+07

11. Progetto 2: strada minore

11.1 Caso 4 : strada minore, asciutto, 22 MPa, ruota A

11.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Minor
Traffico AADT in entrambe le direzioni	250
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	0
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	5

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

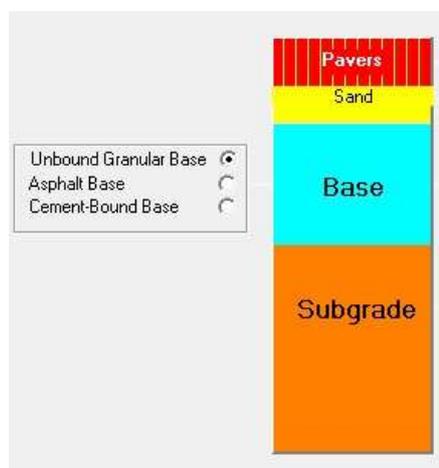
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	22
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

Unbound Granular Base

Asphalt Base

Cement-Bound Base

Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
80	3200	0.30
25		
190	350	0.35
semi-infinite	22	0.40

DESIGN THE PAVEMENT

Perform a Cost Analysis
Print the Results
Select Another Pavement
Next >

11.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	80	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	190	350	0,35
Soil	1500	22	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	C
Deformazione terminale	20 mm
Classe stradale di progetto	ES0,3

CARICHI E PUNTI DI VALUTAZIONE

Questi sono i medesimi del primo caso preso in esame, carico da asse standard 80kN e ruota

A.

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	316	78,8	3,161	
Base granulare	115,7	-114,4	1,703	
Terreno in situ				-1480

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,657 E+12
G1	2,625 E+08
Soil	4,76E+04

11.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	210	75	6,22	261	5,388889	2,605122	3,983324	1,05E+18
G1	105	-64	8,61	392	2,319527	2,605122	3,983324	1,06E+10

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	1267	2,25E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,657 E+12	1,05E+18
G1	2,625 E+08	1,06E+10
Soil	4,76E+04	2,25E+05

11.2 Caso 5 : strada minore, asciutto, 22 MPa, ruota B

11.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-157,4	-39,3	4,276	
Base granulare	-57,7	57,2	3,412	
Terreno in situ				-740

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1 E+15
G1	7,430 E+12
Soil	4,87E+07

11.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	110	31	6,22	261	5,7445570	2,605122	3,983324	8,88E+18
G1	64	-21	8,61	392	4,6117647	2,605122	3,983324	9,94E+15

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	620	2,86E+08

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1 E+15	8,88E+18
G1	7,430 E+12	9,94E+15
Soil	4,87E+07	2,86E+08

11.3 Caso 6 : strada minore, asciutto, 22 MPa, ruota C

11.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-286,5	-73,8	3,384	
Base granulare	-108,6	112,2	1,774	
Terreno in situ				-1454

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	6,314 E+12
G1	4,022 E+08
Soil	5,68E+04

11.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	180	62	6,22	261	5,480000	2,605122	3,983324	1,82E+18
G1	82	-43	8,61	392	3,136000	2,605122	3,983324	1,42E+12

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	1198	3,94E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	6,314 E+12	1,82E+18
G1	4,022 E+8	1,42E+12
Soil	5,68E+04	3,94E+05

12. Progetto 3: strada locale

12.1 Caso 7 : locale, asciutto, 22 MPa, ruota A

12.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Locale
Traffico AADT in entrambe le direzioni	700
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	1
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	6

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

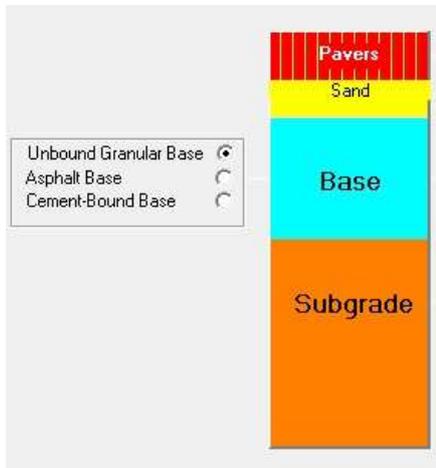
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	22
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Pavers	80	3200	0.30
Sand	25		
Base	245	350	0.35
Subgrade	semi-infinite	Subgrade Modulus: 22	0.40

DESIGN THE PAVEMENT

Perform a Cost Analysis | Print the Results | Select Another Pavement | Next >

The 'DESIGN COMPRISES' section shows a table of material properties for each layer. The 'Base' layer's thickness of 245 mm is circled in red. The 'Subgrade' section includes a 'Subgrade Modulus' of 22 MPa. At the bottom, there are four buttons: 'Perform a Cost Analysis', 'Print the Results', 'Select Another Pavement', and 'Next >'.

12.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	80	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	245	350	0,35
Soil	1500	22	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	C
Deformazione terminale	20 mm
Classe stradale di progetto	ES1

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-334,9	-95,5	3,572	
Base granulare	-111,5	78,1	2,066	
Terreno in situ				-1138

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,947 E+13
G1	2,32 E+09
Soil	6,59E+05

12.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	304	91	6,22	261	3,882723	2,605122	3,983324	1,25E+14
G1	109	-66	8,61	392	2,240000	2,605122	3,983324	6,59E+09

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	892	7,52E+06

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,947 E+13	1,25E+14
G1	2,32 E+09	6,59E+09
Soil	6,59E+05	7,52E+06

12.2 Caso 8 : locale, asciutto, 22 MPa, ruota B

12.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-166,7	-47,6	4,681	
Base granulare	-55,6	39	4,139	
Terreno in situ				-569

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1 E+15
G1	5,820 E+14
Soil	6,74E+08

12.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	160	40	6,22	261	4,2483333	2,605122	3,983324	1,12E+15
G1	73	-36	8,61	392	3,5963303	2,605122	3,983324	2,25E+13

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	445	7,88E+09

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1 E+15	1,12E+15
G1	5,820 E+14	2,25E+13
Soil	6,74E+08	7,88E+09

12.3 Caso 9 : locale, asciutto, 22 MPa, ruota C

12.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-304,2	-90,1	3,836	
Base granulare	-105,6	77,2	2,143	
Terreno in situ				-1124

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	9,501 E+13
G1	3,679 E+9
Soil	7,45E+05

12.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	258	80	6,22	261	4,261798	2,605122	3,983324	1,22E+15
G1	107	-59	8,61	392	2,361446	2,605122	3,983324	1,37E+10

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	676	1,20E+08

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	9,501 E+13	1,22E+15
G1	3,679 E+09	1,37E+10
Soil	7,45E+05	1,20E+08

13. Progetto 4: strada colletrice

13.1 Caso 10 : colletrice, asciutto, 22 MPa, ruota A

13.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Collettore
Traffico AADT in entrambe le direzioni	1500
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	1,5
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	8

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

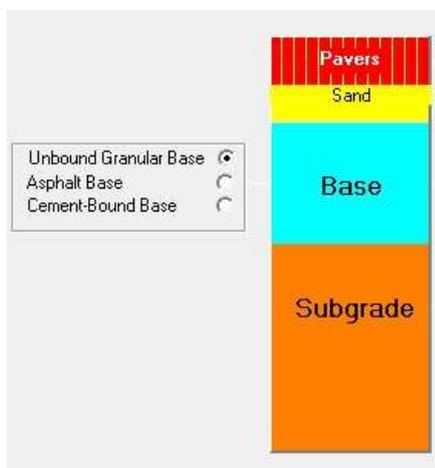
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	22
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

Unbound Granular Base
 Asphalt Base
 Cement-Bound Base

Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
80	3200	0.30
25		
325	350	0.35
Subgrade Modulus		
semi-infinite	22	0.40

DESIGN THE PAVEMENT

Perform a Cost Analysis
Print the Results
Select Another Pavement
Next >

13.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	80	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	325	350	0,35
Soil	1500	22	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	B
Deformazione terminale	10 mm
Classe stradale di progetto	ES10

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-348,9	-107,1	3,835	
Base granulare	-101,4	48,6	2,612	
Terreno in situ				-810

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	4,992E+13
G1	3,259E+10
Soil	2,43E+04

13.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	224	72	6,22	261	4,6634211	2,605122	3,707667	7,19E+15
G1	95	-54	8,61	392	2,6308725	2,605122	3,707667	3,64E+10

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
33,47	663	1,80E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	4,992E+13	7,19E+15
G1	3,259E+10	3,64E+10
Soil	2,43E+04	1,80E+05

13.2 Caso 11 : collettrice, asciutto, 22 MPa, ruota B

13.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-173,7	-53,4	4,934	
Base granulare	-50,6	24,3	5,232	
Terreno in situ				-405

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1 E+15
G1	1 E+15
Soil	2,49E+07

13.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	103	25	6,22	261	5,3397436	2,605122	3,707667	4,15E+17
G1	39	-44	8,61	392	4,7228916	2,605122	3,707667	1,03E+16

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
33,47	508	2,58E+06

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1 E+15	4,15E+17
G1	1 E+15	1,03E+16
Soil	2,49E+07	2,58E+06

13.3 Caso 12 : colletttrice, asciutto, 22 MPa, ruota C

13.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-317,7	-101,5	4,128	
Base granulare	-96,9	48,5	2,695	
Terreno in situ				-803

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	2,888E+14
G1	5,352E+10
Soil	2,65E+04

13.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	198	51	6,22	261	3,933469	2,605122	3,707667	9,01E+13
G1	77	-39	8,61	392	3,379310	2,605122	3,707667	3,24E+12

Compressione+

Trazione –

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
33,47	601	4,80E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	2,888E+14	9,01E+13
G1	5,352E+10	3,24E+12
Soil	2,65E+04	4,80E+05

14. Progetto 5: strada residenziale

Nel seguente progetto viene cambiato il valore del modulo elastico (resiliente) del terreno di sottofondo, a parità degli altri parametri e dei carichi sulle ruote.

14.1 Caso 13 : residenziale, asciutto, 40 MPa, ruota A

14.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Residenziale
Traffico AADT in entrambe le direzioni	50
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	0
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	4
Numero di spazzatura accumulata per settimana	2
Nuove case che verranno costruite	300

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

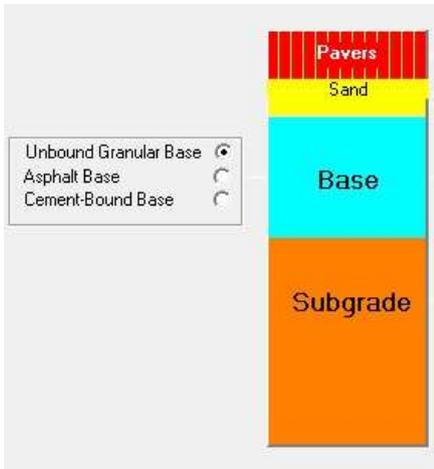
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	40
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Pavers	60	3200	0.30
Sand	25		
Base	150	350	0.35
Subgrade	semi-infinite	40	0.40

Subgrade Modulus

DESIGN THE PAVEMENT

Perform a Cost Analysis Print the Results Select Another Pavement Next >

14.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	60	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	150	350	0,35
Soil	1500	40	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	D
Deformazione terminale	20 mm
Classe stradale di progetto	ES0,03

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-405,7	-116,5	3,408	
Base granulare	-168,2	148,8	1,235	
Terreno in situ				-2030

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,622 E+13
G1	3,543 E+07
Soil	1,68E+03

14.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	362	104	6,22	261	3,51891	2,605122	4,510819	4,76E+13
G1	158	-130	8,61	392	1,36111	2,605122	4,510819	1,14E+08

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,3	1274	1,77E+05

RIEPILOGO CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,622 E+13	4,76E+13
G1	3,543 E+07	1,14E+08
Soil	1,68E+03	1,77E+05

14.2 Caso 14 : residenziale, asciutto, 40 MPa, ruota B

14.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-201,7	-58	4,327	
Base granulare	-83,8	74,3	2,479	
Terreno in situ				-1013

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1 E+15
G1	6,11774E+10
Soil	1,75E+06

14.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	165	44	6,22	261	4,418843	2,605122	4,510819	1,05E+16
G1	81	-72	8,61	392	2,562092	2,605122	4,510819	1,53E+11

Compressione+

Trazione –

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,3	804	1,77E+07

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1 E+15	1,05E+16
G1	6,11774E+10	1,53E+11
Soil	1,75E+06	1,77E+07

14.3 Caso 15 : residenziale, asciutto, 40 MPa, ruota C

14.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-359,8	-106,9	3,661	
Base granulare	-154,9	143,2	1,315	
Terreno in situ				-1961

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	7,451 E+13
G1	5,678 E+7
Soil	2,37E+03

14.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	340	96	6,22	261	3,516885	2,605122	4,510819	4,71E+13
G1	142	-133	8,61	392	1,425455	2,605122	4,510819	1,68E+08

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,3	1173	4,05E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	7,451 E+13	4,71E+13
G1	5,678 E+07	1,68E+08
Soil	2,37E+03	4,05E+05

15. Progetto 6: strada minore

15.1 Caso 16 : strada minore, asciutto, 40 MPa, ruota A

15.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Minor
Traffico AADT in entrambe le direzioni	250
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	0
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	5

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

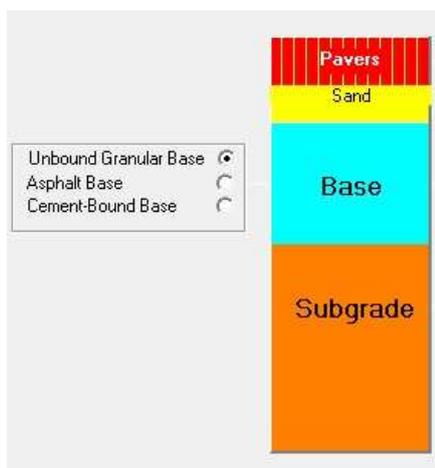
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	40
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

Layer	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Pavers	80	3200	0.30
Sand	25		
Base	140	350	0.35
Subgrade	semi-infinite	40	0.40

Subgrade Modulus: 40, 0.40

DESIGN THE PAVEMENT

Perform a Cost Analysis Print the Results Select Another Pavement Next >

15.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	80	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	140	350	0,35
Soil	1500	40	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	C
Deformazione terminale	20 mm
Classe stradale di progetto	ES0,3

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-299	-62,9	2,765	
Base granulare	-134,7	125,2	1,507	
Terreno in situ				-1541

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,535 E+11
G1	8,143 E+7
Soil	3,18E+04

15.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	246	53	6,22	261	3,06041	2,605122	3,983324	9,04E+11
G1	121	-113	8,61	392	1,67521	2,605122	3,983324	2,23E+08

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	1240	2,79E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,535 E+11	9,04E+11
G1	8,143 E+07	2,23E+08
Soil	3,18E+04	2,79E+05

15.2 Caso 17 : strada minore, asciutto, 40 MPa, ruota B

15.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-148,8	-31,4	3,886	
Base granulare	-67,1	62,5	3,022	
Terreno in situ				-770

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,277 E+14
G1	7,189 E+11
Soil	3,27E+07

15.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	128	24	6,22	261	3,94500	2,605122	3,983324	1,82E+14
G1	92	-60	8,61	392	2,57895	2,605122	3,983324	5,03E+10

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	645	1,92E+08

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,277 E+14	1,82E+14
G1	7,189 E+11	5,03E+10
Soil	3,27E+07	1,92E+08

15.3 Caso 18 : strada minore, asciutto, 40 MPa, ruota C

15.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-270,5	-58,7	2,959	
Base granulare	-126,1	120,7	1,587	
Terreno in situ				-1494

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	4,909 E+11
G1	1,310 E+08
Soil	4,33E+04

15.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	223	42	6,22	261	2,88530	2,605122	3,983324	3,16E+11
G1	118	-97	8,61	392	1,82326	2,605122	3,983324	5,41E+08

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	1135	6,76E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	4,909 E+11	3,16E+11
G1	1,310 E+8	5,41E+08
Soil	4,33E+04	6,76E+05

16. Progetto 7: strada locale

16.1 Caso 19 : strada locale, asciutto, 40 MPa, ruota A

16.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Locale
Traffico AADT in entrambe le direzioni	700
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	1
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	6

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

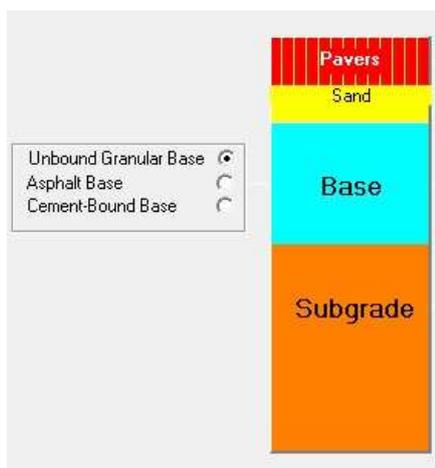
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	40
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

Layer	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Pavers	80	3200	0.30
Sand	25		
Base	180	350	0.35
Subgrade	semi-infinite	40	0.40

Subgrade Modulus: 40, 0.40

DESIGN THE PAVEMENT

Perform a Cost Analysis | Print the Results | Select Another Pavement | Next >

16.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	80	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	180	350	0,35
Soil	1500	40	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	C
Deformazione terminale	20 mm
Classe stradale di progetto	ES1

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-290	-77	3,243	
Base granulare	-124	89,3	1,750	
Terreno in situ				-1268

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	2,704 E+12
G1	3,48 E+08
Soil	2,23 E+05

16.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	294	80	6,22	261	3,544860	2,605122	3,983324	1,65E+13
G1	128	-87	8,61	392	1,823256	2,605122	3,983324	5,41E+08

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	850	1,22E+07

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	2,704 E+12	1,65E+13
G1	3,48 E+08	5,41E+08
Soil	2,23 E+05	1,22E+07

16.2 Caso 20 : locale, asciutto, 40 MPa, ruota B

16.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-159,2	-40,9	4,358	
Base granulare	-65,7	46	3,507	
Terreno in situ				-633

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,00 E+15
G1	1,32 E+13
Soil	2,32 E+08

16.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	151	39	6,22	261	4,496250	2,605122	3,983324	4,97E+15
G1	65	-44	8,61	392	3,596330	2,605122	3,983324	2,25E+13

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	420	1,40E+10

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,00 E+15	4,97E+15
G1	1,32 E+13	2,25E+13
Soil	2,32 E+08	1,40E+10

16.3 Caso 21 : locale, asciutto, 40 MPa, ruota C

16.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-290	-77	3,477	
Base granulare	-124	89,3	1,837	
Terreno in situ				-1236

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,10 E+13
G1	5,88 E+08
Soil	2,88 E+05

16.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	280	75	6,22	261	3,54878	2,605122	3,983324	1,69E+13
G1	99	-63	8,61	392	2,41975	2,605122	3,983324	1,94E+10

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,38	798	2,29E+07

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,10 E+13	1,69E+13
G1	5,88 E+08	1,94E+10
Soil	2,88 E+05	2,29E+07

17. Progetto 8: strada collettrice

17.1 Caso 22 : collettrice, asciutto, 40 MPa, ruota A

17.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Collettore
Traffico AADT in entrambe le direzioni	1500
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	1,5
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	8

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

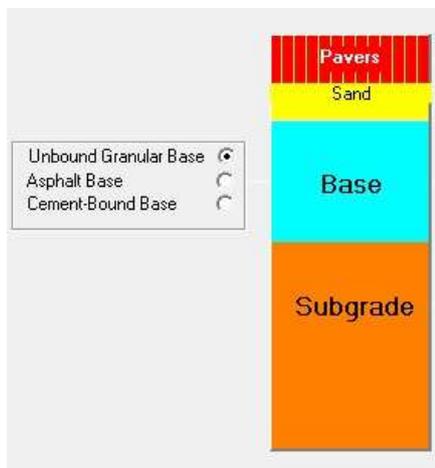
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	40
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

Unbound Granular Base
 Asphalt Base
 Cement-Bound Base

Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
80	3200	0.30
25		
230	350	0.35
Subgrade Modulus		
semi-infinite	40	0.40

DESIGN THE PAVEMENT

Perform a Cost Analysis
Print the Results
Select Another Pavement
Next >

17.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	80	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	230	350	0,35
Soil	1500	40	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	B
Deformazione terminale	10 mm
Classe stradale di progetto	ES10

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-336,1	-96	3,577	
Base granulare	-125,2	65,7	2,053	
Terreno in situ				-1006

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,06 E+13
G1	1,136 E+9
Soil	2,78E+03

17.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	180	72	6,22	261	6,5633333	2,605122	6,40E+20	6,40E+20
G1	107	-68	8,61	392	2,2400000	2,605122	3,49E+09	3,49E+09

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
33,47	736	6,33E+04

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,06 E+13	6,40E+20
G1	1,136 E+09	3,49E+09
Soil	2,78E+03	6,33E+04

17.2 Caso 23 : collettrice, asciutto, 40 MPa, ruota B

17.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-167,3	-47,9	4,683	
Base granulare	-62,4	32,8	4,114	
Terreno in situ				-503

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1 E15
G1	2,659 E+14
Soil	2,85E+06

17.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	110	35	6,22	261	6,382667	2,605122	3,707667	2,16E+20
G1	65	-28	8,61	392	4,215054	2,605122	3,707667	4,88E+14

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
33,47	497	3,21E+06

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1 E15	2,16E+20
G1	2,659 E+14	4,88E+14
Soil	2,85E+06	3,21E+06

17.3 Caso 24 : colletttrice, asciutto, 40 MPa, ruota C

17.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-305,4	-90,6	3,842	
Base granulare	-118,6	64	2,145	
Terreno in situ				-988

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	5,192 E+13
G1	1,98 E+9
Soil	3,33E+03

17.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	171	56	6,22	261	5,2984348	2,605122	3,707667	3,24E+17
G1	86	-46	8,61	392	2,9696970	2,605122	3,707667	2,78E+11

Compressione+

Trazione –

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
33,47	642	2,48E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	5,192 E+13	3,24E+17
G1	1,98 E+9	2,78E+11
Soil	3,33E+03	2,48E+05

18. Progetto 9: strada residenziale

Nel seguente progetto viene fatta un'altra modifica al valore del modulo elastico (resiliente) del terreno di sottofondo, a parità degli altri parametri e dei carichi sulle ruote.

18.1 Caso 25 : residenziale, asciutto, 85 MPa, ruota A

18.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO

Classe di pavimentazione	Residenziale
Traffico AADT in entrambe le direzioni	50
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	0
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	4
Numero di spazzatura accumulata per settimana	2
Nuove case che verranno costruite	300

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

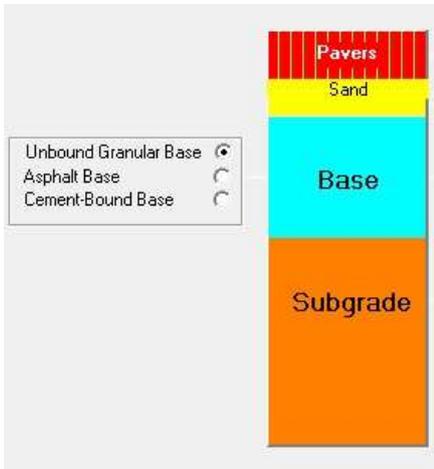
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	40
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

The software interface displays the following parameters for each layer:

Layer	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Pavers	60	3200	0.30
Sand	25		
Base	100	350	0.35
Subgrade	semi-infinite	85	0.40

Subgrade Modulus: 85

Subgrade Poisson's Ratio: 0.40

DESIGN THE PAVEMENT

Il programma nel fornire i risultati sottolinea che il valore dello spessore che viene assegnato allo strato di base non è propriamente quello teorico calcolato ma quello minimo previsto per la base. Quello teorico potrebbe essere inferiore a quello del risultato dato da Lockpave.

18.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	60	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	100	350	0,35
Soil	1500	85	0,4

Regione Climatica	Asciutta
Categoria strada	D
Deformazione terminale	20 mm
Classe stradale di progetto	ES0,03

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-399,6	-108,5	3,214	
Base granulare	-233,2	106,6	1,153	
Terreno in situ				-1698

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	5,060 E+12
G1	2,154 E+07
Soil	1,00E+04

18.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	307	103	6,22	261	4,419902	2,605122	4,510819	1,06E+16
G1	175	-95	8,61	392	1,451852	2,605122	4,510819	1,96E+08

Compressione+

Trazione –

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
33,3	1437	5,31E+04

RIEPILOGO CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	5,060 E+12	1,06E+16
G1	2,154 E+07	1,96E+08
Soil	1,00E+04	5,31E+04

18.2 Caso 26 : residenziale, asciutto, 85 MPa, ruota B

18.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-206,1	-57	4,129	
Base granulare	-120,1	53,9	2,251	
Terreno in situ				-871

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1 E+15
G1	1,568 E+10
Soil	7,94E+06

18.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	163	55	6,22	261	5,584259	2,605122	4,510819	1,14E+19
G1	91	-50	8,61	392	2,780142	2,605122	4,510819	5,67E+11

Compressione+

Trazione –

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,3	758	3,19E+07

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1 E+15	1,14E+19
G1	1,568 E+10	5,67E+11
Soil	7,94E+06	3,19E+07

18.3 Caso 27 : residenziale, asciutto, 85 MPa, ruota C

18.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-367,6	-105,3	3,493	
Base granulare	-222,0	100,7	1,214	
Terreno in situ				-1649

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	2,692 E+13
G1	3,114 E+7
Soil	1,34E+04

18.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	293	97	6,22	261	4,409898	2,605122	4,510819	9,98E+15
G1	156	-91	8,61	392	1,587045	2,605122	4,510819	4,42E+08

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO		
Deformazione permanente		
a	ϵ_v (μm)	N
36,3	1335	1,11E+05

CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	2,692 E+13	9,98E+15
G1	3,114 E+07	4,42E+08
Soil	1,34E+04	1,11E+05

19. Progetto 10 : strade minore, locale e collettrice

Il progetto con Lockpave per questi tre tipi di strade è il medesimo, con lo spessore della base di 100 mm (per la strada collettrice lo spessore risulta di 115 mm ma ai fini del calcolo questa differenza non incide in modo significativo sulle tensioni risultanti dal calcolo). Viene eseguito quindi un unico progetto per le tre strade e verificato con i programmi di calcolo Midas e MePADS per ogni tipologia di ruota.

19.1 Caso 28 : strada minore, locale, collettrice, asciutto, 85 MPa, ruota A

19.1.1 Progetto con Lockpave

DATI TRAFFICO MINORE

Classe di pavimentazione	Minor
Traffico AADT in entrambe le direzioni	250
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	0
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	5

DATI DI TRAFFICO LOCALE

Classe di pavimentazione	Locale
Traffico AADT in entrambe le direzioni	700
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	1
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	6

DATI DI TRAFFICO COLLETTORE

Classe di pavimentazione	Collettore
Traffico AADT in entrambe le direzioni	1500
% suddivisione del traffico	50
Tasso di crescita annua del traffico	1,5
Vita utile (anni)	20
% veicoli commerciali	8

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Qualità del drenaggio del sottofondo	Drena in una settimana
Pavimento saturo	Meno dell'1% del tempo

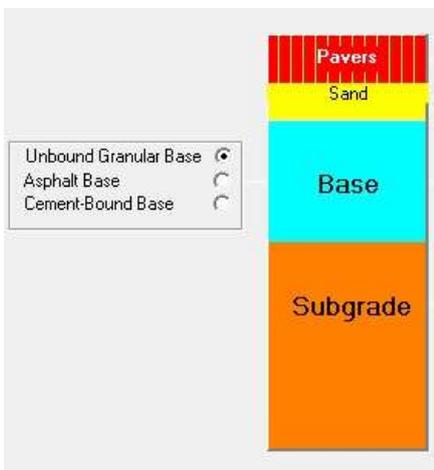
MATERIALE DI SOTTOFONDO

Modulo elastico E (MPa)	85
-------------------------	----

CARATTERISTICHE PAVIMENTAZIONE

Forma	Categoria A
schema	Spina di pesce

TIPO DI PAVIMENTAZIONE



RISULTATI

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Pavers	80	3200	0.30
Sand	25		
Base	100	350	0.35
Subgrade	semi-infinite	85	0.40

Subgrade Modulus

DESIGN THE PAVEMENT

Pavement Cross-section

DESIGN COMPRISES:

Unbound Granular Base
 Asphalt Base
 Cement-Bound Base

Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
80	3200	0.30
25		
115	350	0.35
semi-infinite	85	0.40

DESIGN THE PAVEMENT

Perform a Cost Analysis
Print the Results
Select Another Pavement
Next >

19.1.2 Verifica con MePADS

STRUTTURA PAVIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Materiale	Spessore (mm)	Modulo E (MPa)	Coefficiente Poisson
AC	80	3200	0,3
G3	25	200	0,35
G1	100	350	0,35
Soil	1500	85	0,4

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-312,2	-65,4	2,704	
Base granulare	-183,3	99,9	1,383	
Terreno in situ				-1379

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	1,069 E+11
G1	3,862 E+7
Soil Minor e Local	9,65E+04
Soil Collector	1,19E+02

19.1.3 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	259	55	6,22	261	2,956373	2,605122	3,983324	4,84E+11
G1	161	-88	8,61	392	1,574297	2,605122	3,983324	1,21E+08

Compressione+

Trazione -

SOTTOFONDO			
Deformazione permanente			
	a	ϵ_v (μm)	N
Minor e Local	36,38	1038	1,65E+06
Collector	33,47	1038	2,03E+03

RIEPILOGO CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	1,069 E+11	4,84E+11
G1	3,862 E+7	1,21E+08
Soil Minor e Local	9,65E+04	1,65E+06
Soil Collector	1,19E+02	2,03E+03

19.2 Caso 29 : strada minore, locale, colletttrice, asciutto, 85 MPa, ruota B

19.2.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-155,3	-32,6	3,780	
Base granulare	-91,4	49,8	2,776	
Terreno in situ				-688

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	6,664 E+11
G1	1,628 E+11
Soil Minor e Local	1,01E+08
Soil Collector	1,24E+05

19.2.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	135	26	6,22	261	3,8782	2,605122	3,983324	1,22E+14
G1	117	-48	8,61	392	2,3758	2,605122	3,983324	1,49E+10

Compressione+

Trazione –

SOTTOFONDO			
Deformazione permanente			
	a	ϵ_v (μm)	N
Minor e Local	36,38	603	3,77E+08
Collector	33,47	603	4,64E+05

RIEPILOGO CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	6,664 E+11	1,22E+14
G1	1,628 E+11	1,49E+10
Soil Local E Minor	1,01E+08	3,77E+08
Soil Collector	1,24E+05	4,64E+05

19.3 Caso 30 : strada minore, locale, collettice, asciutto, 85 MPa, ruota C

19.3.1 Verifica con MePADS

RISULTATI

Materiale	Tensione principale maggiore (kPa)	Tensione principale minore (kPa)	Fattore sicurezza	Deformazione di compressione verticale(μm)
sabbia	-282,5	-61,4	2,909	
Base granulare	-171,4	94,3	1,474	
Terreno in situ				-1317

Compressione –

Trazione +

VITA UTILE

Materiale	Vita utile
G3	3,653 E+11
G1	6,663 E+7
Soil Minor e Local	1,53E+05
Soil Collector	1,88E+02

19.3.2 Verifica con Midas

RISULTATI

GRANULAR MATERIAL								
Strato di terreno	Fattore di sicurezza					Numero di assi standard equivalenti per salvaguardarsi contro rottura a taglio		
	σ_z	σ_x	Φ_{term}	C_{term}	F	α	β	N
G3	235	45	6,22	261	2,846842	2,605122	3,983324	2,51E+11
G1	164	-71	8,61	392	1,668085	2,605122	3,983324	2,13E+08

Compressione+

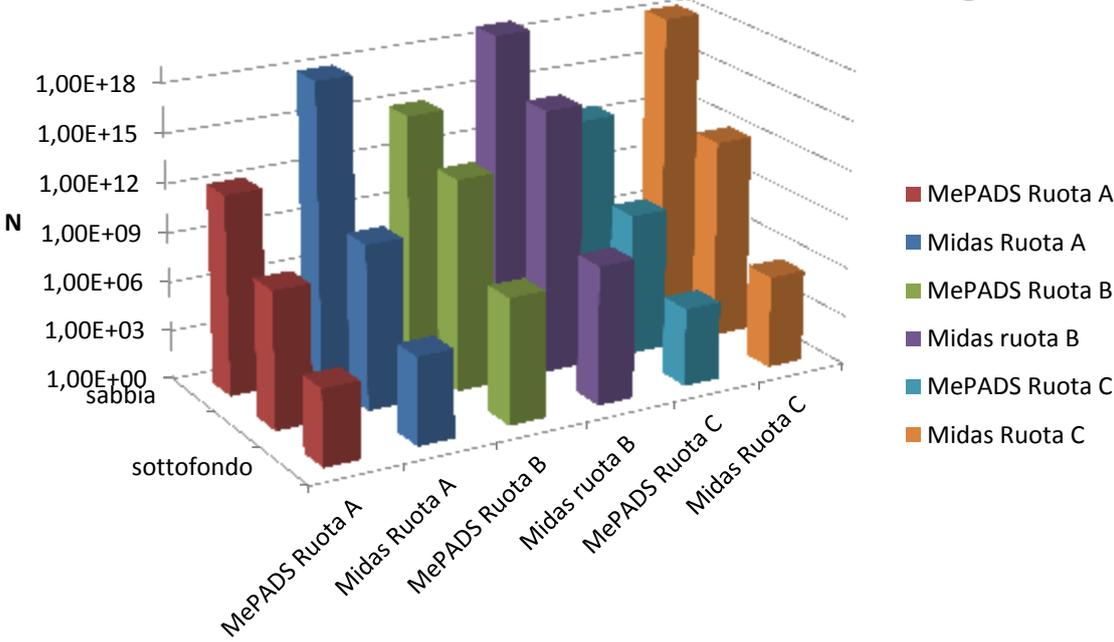
Trazione –

SOTTOFONDO			
Deformazione permanente			
	a	ϵ_v (μm)	N
Minor e Local	33,38	958	3,68E+06
Collector	33,47	958	4,53E+03

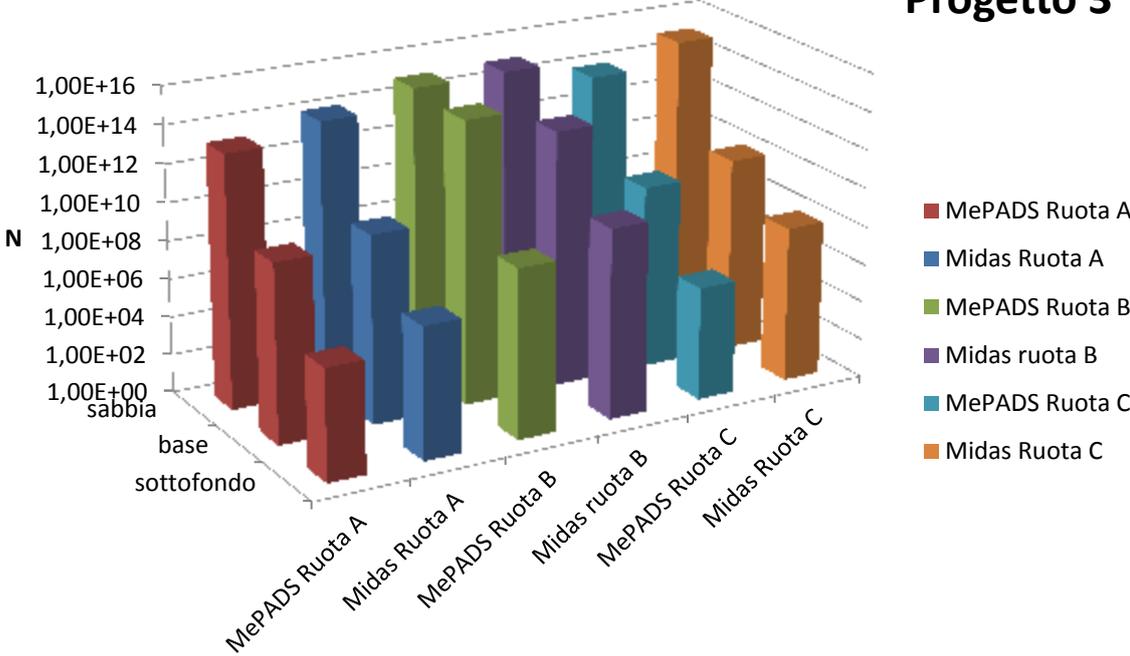
RIEPILOGO CONFRONTO

Materiale	N calcolato con MEPADS	N calcolato con MIDAS
G3	3,653 E+11	2,51E+11
G1	6,663 E+07	2,13E+08
Soil Local E Minor	1,53E+05	3,68E+06
Soil Collector	1,88E+02	4,53E+03

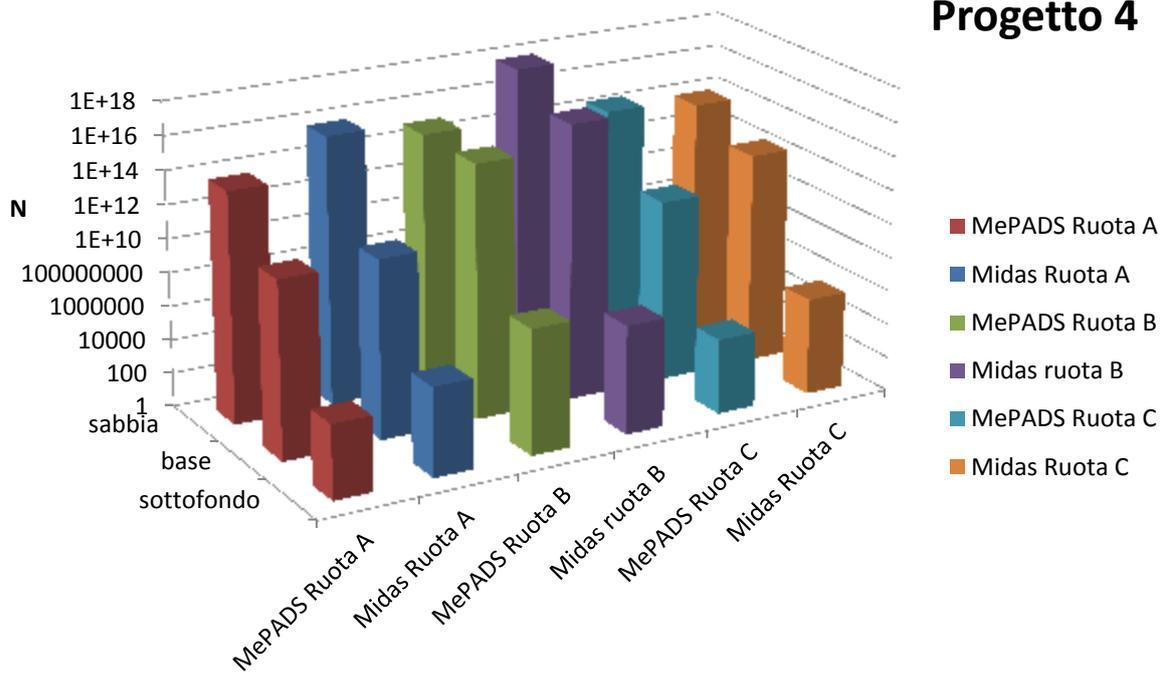
Progetto 2



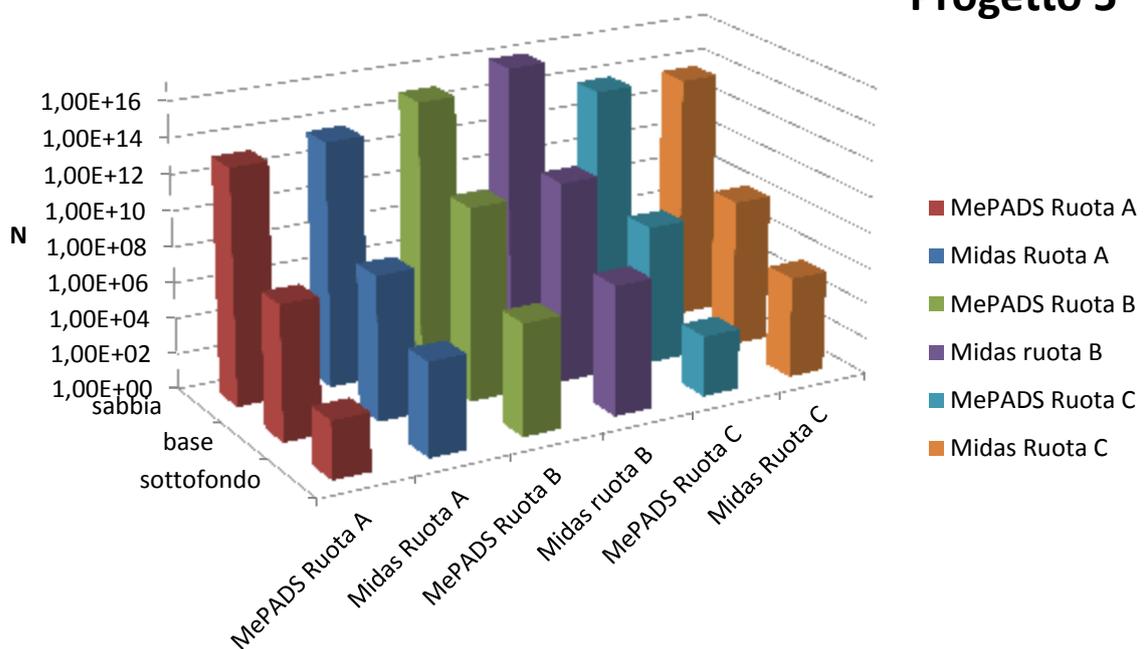
Progetto 3



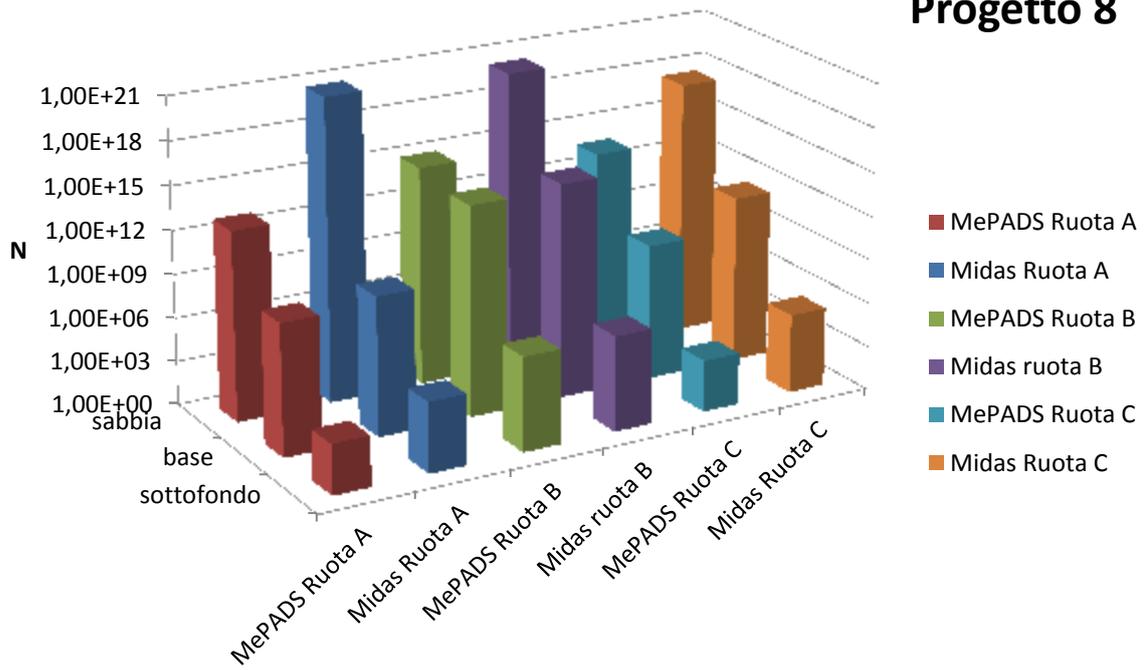
Progetto 4



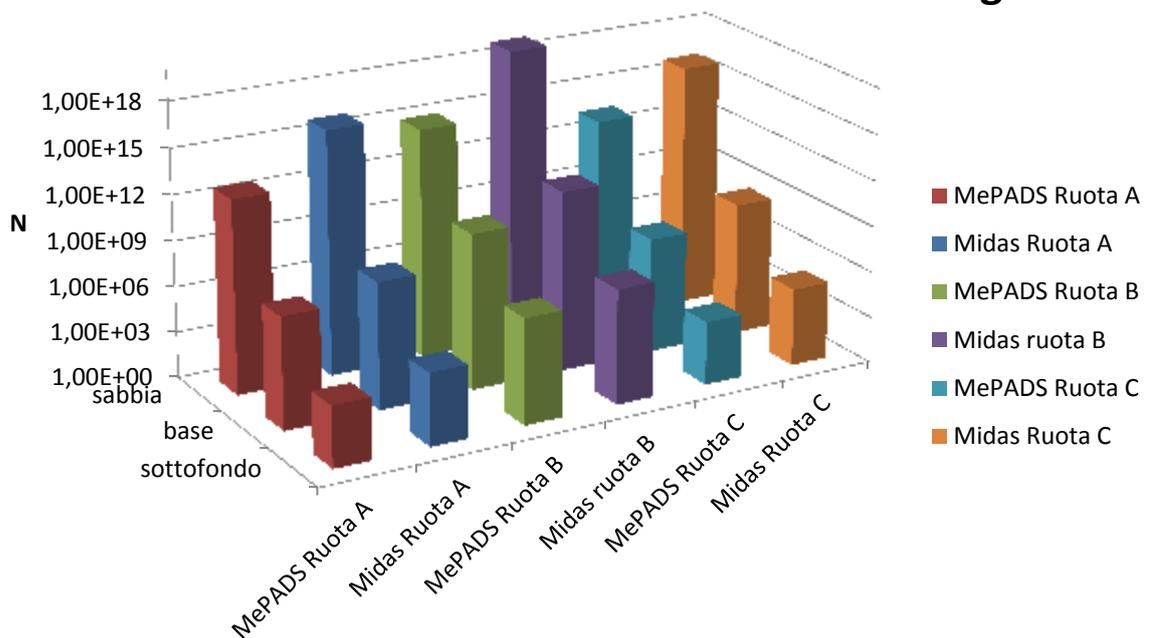
Progetto 5

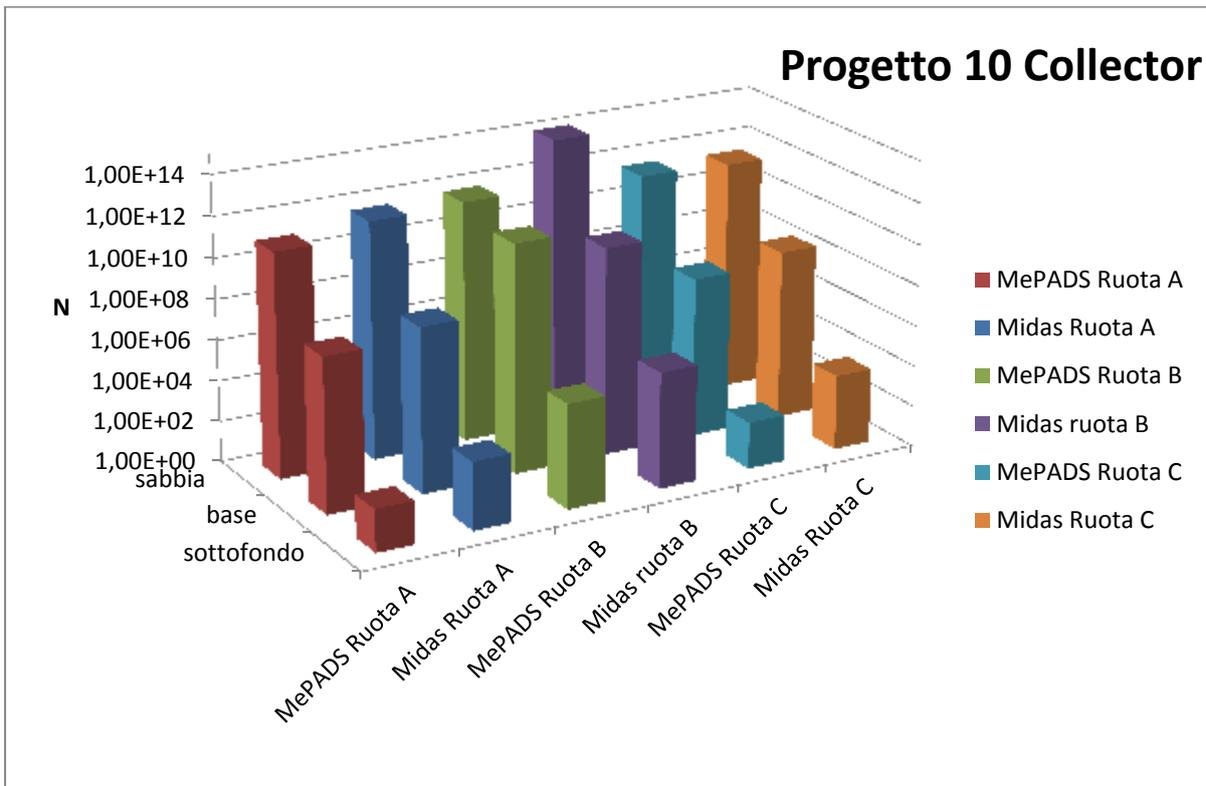
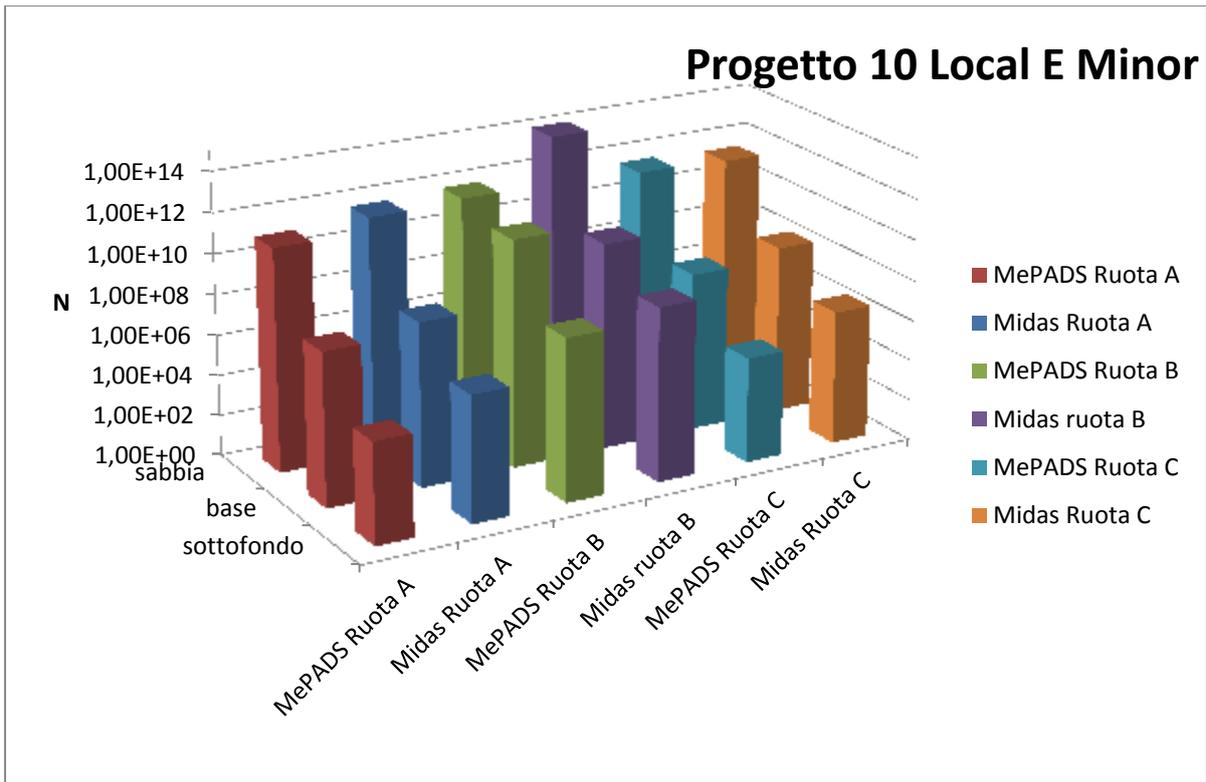


Progetto 8



Progetto 9





Mettendo a confronto i risultati dei due metodi si può vedere come la capacità portante degli strati granulari calcolata con il programma agli elementi finiti risulti maggiore per quanto riguarda il numero di assi standard equivalenti. Se invece si prende come termine di paragone il fattore di sicurezza F si vede come questo non differisca di molto per i due metodi considerati. Facendo un

analisi su come cresce il numero N in funzione della crescita di F si vede che all'aumentare dello 0,1 nel coefficiente F, il numero N aumenta del 1,82% mentre F aumenta dell'1%. Se invece F cresce di 0,2 punti, F aumenta dell'1,1% ed N aumenta del 3,3%. E' bene quindi per mettere a paragone i metodi meccanicistico e numerico , valutare non solo il risultato in termini di numero di assi ma soprattutto il coefficiente di sicurezza.

Per quanto riguarda il valore della deformazione del sottofondo ed il parametro ad essa legato per il calcolo della capacità portante, Midas mi fornisce valori di capacità portante circa uguali o maggiori per un ordine di grandezza. In questo caso il valore di N cresce abbastanza in modo proporzionale all'abbassamento del valore della deformazione. Quest'ultimo valore di N si presenta in tutti i casi molto inferiore rispetto a quello legato agli altri strati di pavimentazione e perciò rappresenta l'elemento debole della stessa.

Bibliografia

- AUSTRROADS Design of New Pavements for Traffic APRG Document 95/04 June 1996
- AUSTRROADS Pavement Design- A Guide to the Structural Design of Road Pavements, October, 1992
- BORAL-Masonry Design Guide-Paving National Book 3
- Carlos E. Cary, Claudia E. Zapata, A.M.ASCE- Unsaturated Soil Modeling For Airfield Pavement Design
- CMAA Concrete Masonry Association of Australia Concrete Flag Pavements-Design and Construction Guide
- CMAA Concrete Masonry Association of Australia- PA01 Concrete Segmental Pavements- Detailing Guide
- CMAA Concrete Masonry Association of Australia-Concrete Segmental Pavements- Design Guide for Residential Accessways and Roads
- CMAA Concrete Masonry Association of Australia-Concrete Segmental Pavements- Detailing Guide
- Derong Mai, Rod E. Turochy, M.ASCE, David H. Timm, M.ASCE-Sensitivity of Flexible Pavement Thickness to traffic Factors in Mechanistic-Empirical Pavement Design
- DM 14-01-08-Norme Tecniche per le Costruzioni
- Engineering Road Note 9-Procedure for the Design of Road Pavements- May 2012
- George Vorobieff, Performance and Design of Insitu Stabilised Local Government Roads, Brisbane 20 January 1998
- H. L. Theyse- Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Method
- H. L. Theyse, J. W. Maina, L.Kannemeyer-Revision of the South African Flexible Pavement Design Method: Mechanistic-Empirical Component
- H. L. Theyse, M. de Beer, J. W. Maina, L. Kannemeyer-Interim Revision of the South African Mechanistic-Empirical Pavement Design Method for Flexible Pavements
- Hao Wang-Analysis of Tire-Pavement Interaction and Pavement Responses Using a Decoupled Modelling Approach

- ICPI Tech Spec No. 2 Interlocking Concrete Pavement Institute-Revised May 2007- Construction of Interlocking Concrete Pavements
- ICPI Tech Spec No. 4 Interlocking Concrete Pavement Institute -Revised June 2006 - Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots
- ICPI Tech Spec No. 4 Interlocking Concrete Pavement Institute- Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots
- J.W. Maina, E. Denneman, M. De Beer- Introduction of the Road Pavement Response Modelling Software by Means of Benchmarking
- Local Calibration of the MEPDG using Pavement Management Systems
- M. De Beer- Towards Tire-Road Contact Stresses and Pavement Design
- M. Gribble, J. Patrick-Adaptation of the AUSTRROADS Pavement Design Guide for New Zealand Condition
- Massimo Colombo-Catalogo per il Dimensionamento di Pavimentazioni in Masselli Autobloccanti in Calcestruzzo in Ambito Urbano
- Morris De Beer, Colin Fisher, Louw Kannemeyer, Toward the Application of Stress-in -Motion (SIM) Results in Pavement Design and Infrastructure Protection
- Ngoc-Phuong Pham, Wuguang Lin, Dae-Geun Park, Hyunwook Kim, and Yoon-Ho Cho5- Evaluation Methodology for Laying Pattern of Interlocking Concrete Block Pavements Using a Displacement-Moment Concept
- Report to ICSM on National Road Classification Developments-Assessing the Feasibility of a National Road Classification, October 2006
- Report to ICSM on National Road Classification Developments-Assessing the Feasibility of a National Road Classification, October
- South African National Roads Agency LTD-South African Pavement Engineering Manual, chapter 10 Pavement Design
- TRH26-Soth African Road Classification and Access Management Manual, 2012
- TRH4-Structural Design of Flexible Pavements for Interurban and Rural Roads, 1996