

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

DISTART

Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento e del Territorio

TESI DI LAUREA

in

Costruzione di strade, Ferrovie ed Aeroporti L-B

**LA PROGETTAZIONE DELLA MANUTENZIONE STRADALE
CON METODI RAZIONALI**

CANDIDATO:
Giovanni Docche

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Ing. Andrea Simone

CORRELATORE:
Dott.Ing. Massimiliano Bragaglia

Anno Accademico 2008/09

Sessione II

Indice

<i>1. La manutenzione stradale</i>	<i>pag.4</i>
<i>1.1 Premessa</i>	<i>pag.4</i>
<i>1.2 Fasi conoscitive della manutenzione</i>	<i>pag.5</i>
<i>1.3 Il piano di manutenzione</i>	<i>pag.12</i>
<i>1.4 La gestione degli interventi</i>	<i>pag.14</i>
<i>1.4.1 Esercizio</i>	<i>pag.14</i>
<i>1.4.2 Ordinaria</i>	<i>pag.14</i>
<i>1.4.3 Straordinaria</i>	<i>pag.15</i>
<i>1.5 Controlli e rilevazioni</i>	<i>pag.16</i>
<i>1.5.1 Rilievo dati caratteristici</i>	<i>pag.16</i>
<i>1.5.2 Le sezioni omogenee</i>	<i>pag.16</i>
<i>1.5.3 Le metodologie di rilievo</i>	<i>pag.17</i>
<i>2. Principali degradi della pavimentazione e interventi di ripristino</i>	<i>pag.18</i>
<i>2.1 Difetti di regolarità</i>	<i>pag.20</i>
<i>2.1.1 Ondulazioni longitudinali</i>	<i>pag.20</i>
<i>2.1.2 Ondulazioni trasversali</i>	<i>pag.21</i>
<i>2.1.3 Depressioni e rigonfiamenti localizzati</i>	<i>pag.23</i>
<i>2.1.4 Avvallamenti</i>	<i>pag.24</i>
<i>2.1.5 Fessurazione a blocchi</i>	<i>pag.25</i>
<i>2.1.6 Fessurazioni di giunto</i>	<i>pag.26</i>
<i>2.2 Difetti di aderenza</i>	<i>pag.27</i>
<i>2.2.1 Levigatura degli inerti</i>	<i>pag.27</i>
<i>2.2.2 Rifluimento di bitume</i>	<i>pag.28</i>
<i>2.2.3 Disgregazione e distacco inerti</i>	<i>pag.30</i>
<i>2.2.4 Buche superficiali</i>	<i>pag.31</i>
<i>3. Interventi strutturali profondi</i>	<i>pag.33</i>
<i>3.1 Difetti di portanza</i>	<i>pag.33</i>
<i>3.1.1 Fessurazioni longitudinali e trasversali</i>	<i>pag.33</i>
<i>3.1.2 Fessurazioni ramificate</i>	<i>pag.37</i>
<i>3.1.3 Cedimenti su estese superfici</i>	<i>pag.41</i>
<i>3.1.4 Buche profonde</i>	<i>pag.45</i>
<i>3.1.5 Assestamenti localizzati</i>	<i>pag.49</i>
<i>3.2 Risanamento profondo</i>	<i>pag.53</i>
<i>4- Linee guida di progetto e manutenzione ANAS</i>	<i>pag.55</i>
<i>4.1 Cosa propone l'ANAS</i>	<i>pag.60</i>
<i>4.2 Misure di portanza</i>	<i>pag.62</i>

<i>4.2.1 Determinazione dei moduli di deformazione mediante prove di carico con piastra</i>	<i>pag.63</i>
<i>4.2.2 Determinazione della deflessione mediante il deflettometro Benkelmann</i>	<i>pag.64</i>
<i>4.2.3 Falling weight deflectometer (FWD)</i>	<i>pag.66</i>
<i>5. Metodo razionale</i>	<i>pag.67</i>
<i>5.1 Metodi razionali per la determinazione della vita utile delle pavimentazioni flessibili e semirigide usato dall'ANAS</i>	<i>pag.70</i>
<i>6. Vita utile della pavimentazione</i>	<i>pag.74</i>
<i>6.1 Leggi di fatica</i>	<i>pag.76</i>
<i>7. Calcolo con software BISAR</i>	<i>pag.81</i>
<i>7.1 Pavimentazione RPC1</i>	<i>pag.85</i>
<i>7.2 Pavimentazione RPA1</i>	<i>pag.91</i>
<i>8. Risultati delle analisi</i>	<i>pag.97</i>
<i>8.1 Risultati per RPC1 con formule AASHTO</i>	<i>pag.97</i>
<i>8.1.2 Risultati per RPC1 con formula autostrade</i>	<i>pag.99</i>
<i>8.3 Risultati per RPA1 con formule AASHTO</i>	<i>pag.100</i>
<i>8.3.2 Risultati per RPA1 con formula autostrade</i>	<i>pag.102</i>
<i>8.4 Risultati per RPC3</i>	<i>pag.103</i>
<i>8.5 Risultati per RPA3</i>	<i>pag.104</i>
<i>8.6 Risultati per RPC1 MOD</i>	<i>pag.105</i>
<i>8.7 Risultati per RPA1 MOD</i>	<i>pag.106</i>
<i>8.8 Risultati per RPC1 MOD 100</i>	<i>pag.107</i>
<i>8.9 Risultati per RPA1 MOD 100</i>	<i>pag.108</i>
<i>9 Risultati per RPC1 MOD 150</i>	<i>pag.109</i>
<i>10 Risultati per RPA1 MOD 150</i>	<i>pag.110</i>
<i>11 Soluzione 1</i>	<i>pag.111</i>
<i>12 Soluzione 2</i>	<i>pag.112</i>
<i>13. Conclusioni</i>	<i>pag.113</i>
<i>Bibliografia</i>	<i>pag.115</i>
<i>Allegati</i>	<i>pag.116</i>

1. La manutenzione stradale

1.1 Premessa

Esistono diversi modi per spiegare la manutenzione stradale, iniziamo con dare delle definizioni: il Consiglio Nazionale delle Ricerche, con il Bollettino Ufficiale n° 125/88, definisce la manutenzione stradale “quel complesso di operazioni ed attività che ha lo scopo di conservare le caratteristiche funzionali e strutturali delle pavimentazioni nell’arco del periodo di vita utile dell’ infrastruttura viaria”.

Dal punto di vista operativo risulta ancora più esplicita la definizione generale adottata dalla norma UNI 9910 che definisce la manutenzione quale “combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o riportare una entità in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”. La finalità della manutenzione della pavimentazione stradale prevede che, in ogni fase di esercizio e nel tempo, deve mantenere inalterata la sua funzionalità. Gli interventi manutentivi devono pertanto consistere nel recupero della sua funzionalità, sia in termini di resistenza strutturale, sia di regolarità e sicurezza del piano viabile. Tali interventi devono essere proposti con l’obbiettivo di operare mantenendo i livelli di sicurezza della strada sempre al di sopra dei valori minimi, impegnando le risorse economiche nel modo migliore (più durabilità, minor costo).

La manutenzione è:

- conoscere la pavimentazione stradale;
- capire il perché di una corretta azione di manutenzione;
- comprendere e valutare gli ammaloramenti della strada;
- programmare e pianificare una esatta e puntuale azione manutentiva;
- individuare e eseguire correttamente gli interventi;
- controllare i risultati per migliorarne le azioni successive.

1.2 Fasi conoscitive della manutenzione

Conoscere prima di affrontare qualunque processo decisionale, che ha importanti riflessi gestionali, con implicazioni di carattere economico e sociale, non si può conoscere lo stato della rete viaria sulla quale si dovrà intervenire, inquadrando correttamente gli obiettivi da raggiungere e disponendo, nel contempo, di tutti gli “input” necessari.

Ciò comporta uno studio e un’ analisi precisi della situazione esistente, a partire dai quali devono successivamente essere definite le soluzioni tecniche più indicate e specifiche per il tipo di ammaloramento rilevato.

Occorre disporre, cioè del maggior numero di informazioni possibile in merito alla costituzione del corpo stradale, la sua storia, i fattori che hanno influenzato il comportamento nel tempo della sovrastruttura, la composizione e la distribuzione del traffico ed i mutamenti climatici.

Le scelte progettuali condizionano pesantemente i processi di degrado delle pavimentazioni e quindi i criteri di manutenzione. La progettazione di una sovrastruttura stradale, in linea di principio, è simile a quella di una qualsiasi struttura d’ingegneria: noti i carichi trasmessi dai veicoli, in relazione alle caratteristiche dei materiali da utilizzare e del sottofondo, bisogna dimensionare lo spessore dei diversi strati. I criteri di dimensionamento si possono schematicamente distinguere in empirici o razionali.

I metodi empirici derivano dalle osservazioni sperimentali del comportamento di strutture appositamente realizzate (es. Road Note 29, AASHO Interim Guide) , e forniscono i dati relativamente agli spessori dei singoli strati.

I metodi razionali prevedono l’analisi dello stato tensionale e di deformazione prodotti negli strati e nel sottofondo dai carichi di traffico (es. Bistrot e Bisar). Consentono la verifica strutturale di una ipotesi di pacchetto schematizzata come multistrato elastico lineare.

Il tipo e lo spessore degli strati costituenti la sovrastruttura, nonché le caratteristiche di portanza del terreno e del sottofondo, condizionano la risposta strutturale alle sollecitazioni indotte dal traffico. Basilare già in fase di progettazione della sovrastruttura, è adottare gli standard geometrici e

costruttivi più appropriati per rispondere adeguatamente ad esigenze di sicurezza e funzionalità. Altrettanto importante è la partecipazione diretta dei tecnici e degli esperti, che dovranno eseguire la manutenzione dell'infrastruttura, ai processi decisionali della progettazione iniziale dell'opera.

Le caratteristiche del traffico intese come quantità, frequenza e velocità di percorrenza determinano le condizioni di sollecitazione della pavimentazione. I degradi e gli ammaloramenti sono riconducibili in maniera diretta alle caratteristiche di traffico. Un corretto e continuo monitoraggio della strada permette di conoscere lo sviluppo nel tempo della composizione del traffico, le ripetizioni di un certo tipo di carico, la distribuzione del traffico sulle varie corsie e i comportamenti dell'utenza.

La situazione climatica tipica della zona, le precipitazioni e la sensibilità del terreno di sottofondo all'azione del gelo o di periodi torridi condizionano la resistenza della sovrastruttura. L'insieme di questi condizionamenti ambientali comporta alcune scelte obbligate già in fase di progettazione iniziale, in assenza delle quali sarà necessario ricorrere ad interventi manutentivi progressivamente più onerosi.

La valutazione della struttura, un'analisi degli interventi compiuti nel tempo e l'esame dei degradi sono i passi fondamentali per la corretta gestione di un programma di manutenzione. Queste fasi successive consentiranno di ottimizzare le tecniche di intervento e i relativi materiali e prodotti da utilizzare, evitando un dispendio di risorse e limitando all'indispensabile anche le interferenze con l'utenza. Esistono diversi approcci per esaminare i difetti delle pavimentazioni; all'esame visivo effettuato da tecnici competenti è opportuno affiancare anche i sistemi così detti "ad alto rendimento", in grado di affinare le valutazioni con un supporto oggettivo.

Queste indagini, se effettuate con regolarità, consentono di controllare in continuo lo stato delle pavimentazioni. Ciò permette di intervenire nel momento più opportuno e, nel contempo, di pianificare, in anticipo gli interventi necessari. La raccolta organica di tutti i dati delle indagini effettuate permette di disporre di una utilissima "banca dati" delle pavimentazioni.

Diagnosticare per prevenire è garantito dallo studio e dall'interpretazione delle curve di decadimento che dovranno essere sviluppate per ciascun parametro fondamentale (aderenza, regolarità, portanza, rumorosità). L'osservazione nel tempo di alcuni parametri di valutazione della funzionalità attraverso l'utilizzo congiunto di opportuni livelli di soglia, permette di tenere sotto controllo lo stato di degrado della pavimentazione. E' noto infatti che le caratteristiche funzionali, strutturali e superficiali si modificano dal momento dell'apertura del traffico, con tempi diversi l'una dall'altra, ma in maniera strettamente connessa tra loro. L'analisi temporale dell'evoluzione degli ammaloramenti permette di individuare convenientemente il momento in corrispondenza del quale deve essere eseguito l'intervento di manutenzione, ottimizzando i costi e limitando i disagi degli utenti.

Assodato che le caratteristiche della pavimentazione subiscono un progressivo decadimento sino a raggiungere valori tali da essere considerati "soglia di allarme", in corrispondenza di questo valore deve essere presa in considerazione la necessità di intervenire in tempi brevi pianificando concretamente la manutenzione.

Quando l'indicatore di stato ha raggiunto valori prossimi a quello che individua la "soglia di intervento ottimale", esso deve essere attuato affinché si realizzi la migliore economia, sia in rapporto all'investimento richiesto, sia per limitare ulteriori e più gravi danni alla sovrastruttura. Occorre notare che la soglia di intervento ottimale, nelle maggioranza dei casi, si colloca al di sopra della "soglia sensibilità utenti che individua invece il valore dell'indicatore in corrispondenza del quale i danni alla pavimentazione vengono avvertiti dagli automobilisti. Ciò significa che non si deve aspettare di avvertire il danno sulla pavimentazione prima di prendere in considerazione l'ipotesi di risanamento. Nell'esempio è indicata la "soglia di intervento effettivo" che individua il momento in cui, purtroppo, spesso avviene concretamente l'intervento manutentivo: è chiaro che la pavimentazione, nel frattempo ha subito danni ulteriori, non altrimenti riparabili, con la certezza che, a parità di intervento, l'investimento necessario sarà sicuramente superiore rispetto a quello necessario al momento ideale individuato della soglia ottimale. Effettuando la manutenzione quando si è già al di sotto della "soglia ottimale", il successivo

decadimento della pavimentazione avviene, per i motivi precedentemente richiamati, in maniera più rapida e accentuata rispetto al caso in cui si decida di intervenire in corrispondenza del valore di soglia ottimale. Il livello di “soglia di sicurezza”, rappresenta la situazione limite, se non si pensa di procedere al risarcimento dell’ammaloramento, si compromette irrimediabilmente l’integrità dell’intera struttura.

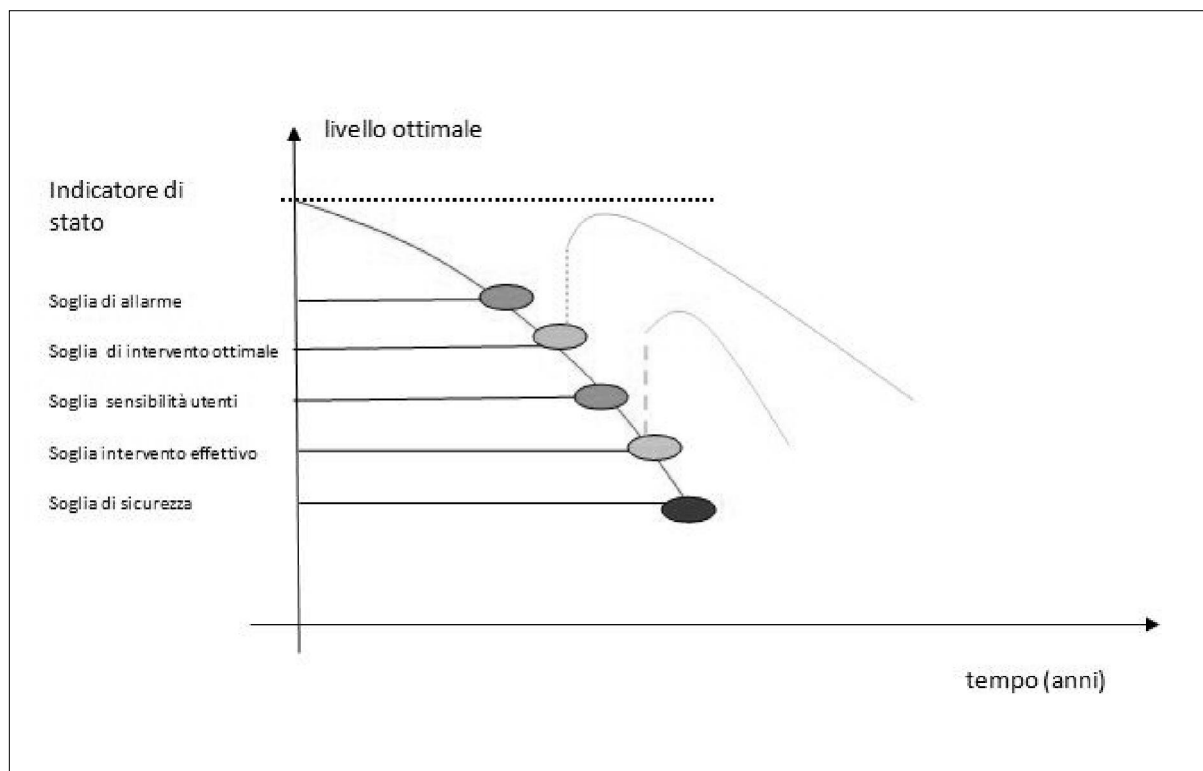


Fig.1.1 Esempio di curva di decadimento

Si è già anticipato che solo la sistematicità dei controlli permette di conoscere e valutare compiutamente lo stato di degrado di una specifica sovrastruttura. I dati così raccolti devono essere registrati, catalogati e classificati in una specifica banca dati: strumento ideale che dovrà essere costantemente aggiornato nel tempo, per comprendere e determinare in maniera precisa e completa la salute della rete stradale di competenza.

La banca dati dovrà fornire inoltre indicazioni riguardo a:

- Ø dati di progettazione;
- Ø rilievi e prove effettuati nel tempo;
- Ø interventi manutentivi sostenuti;
- Ø dati di incidentalità.

Il processo decisionale di pianificazione della manutenzione assume un'importanza fondamentale se si considera il peso sociale degli incidenti stradali e quello ambientale dei rallentamenti e delle code. Al fine di garantire il mantenimento della funzionalità delle pavimentazioni e delle opere a corredo, per tutta la prevista vita utile, è necessaria una corretta pianificazione e una scala di priorità degli interventi che, in considerazione dei vincoli e degli obiettivi proposti, permetta di raggiungere lo scopo con il migliore impiego complessivo di risorse. Una corretta pianificazione prevede anche l'appropriata individuazione delle somme necessarie nell'ambito dei piani pluriennali di programmazione, da stanziare già al momento del progetto. In questa fase sarà possibile, per esempio, programmare, nel breve periodo, tutti gli interventi di manutenzione preventiva che consentono di bloccare il deterioramento e di prolungare la vita delle pavimentazioni; programmare, nel medio e nel lungo periodo di tempo, i lavori di manutenzione atti a ripristinare i necessari livelli di servizio e la funzionalità stessa della rete stradale.

La pianificazione della manutenzione della rete stradale richiede:

- Ø risorse finanziarie;
- Ø personale adeguato e tecnicamente preparato;
- Ø mezzi idonei ed efficienti.

Dal punto di vista della programmazione economica è perciò opportuno che gli Enti, nel costo complessivo della sovrastruttura, considerino anche i costi della manutenzione, predisponendo un apposito fondo fin dalla progettazione della strada. frequentemente, infatti, agli interventi di manutenzione vengono riservate soltanto risorse limitate destinate tra l' altro a soli interventi urgenti.

La fase operativa del processo di manutenzione stradale è certamente importante al pari delle fasi che la precedono, ma di tutte è sicuramente la più importante e necessita di tempestività decisionale ed esecutiva. diversi sono i passaggi attraverso cui nel tempo si esplica tale fase. si inizia dal pronto intervento, per passare alla quotidiana gestione di esercizio (pulizia delle pavimentazioni, delle banchine), all'effettuazione dei rappezzamenti, per arrivare al risanamento delle strutture, al rifacimento della segnaletica; si prosegue con gli interventi di ordinaria manutenzione, con il ripristino delle caratteristiche funzionali, sino a giungere alla manutenzione straordinaria volta a migliorare e modificare le caratteristiche strutturali in funzione delle mutate esigenze di quel tratto stradale.

Verificare il controllo dell'esecuzione dei lavori presenta una fase fondamentale durante un intervento di manutenzione. Il ripristino dei parametri di funzionalità della sovrastruttura deve essere accertato, con rilievi e misure, dal raggiungimento delle soglie degli indicatori di stato prescritte nei Capitolati Speciali di Appalto. Tali soglie, per ciascuno tipo di parametro di controllo, avranno valori diversi in relazione al tipo di strada (velocità, tipo e frequenza di traffico) oggetto dell'intervento. Il monitoraggio continuo, successivo all'intervento, servirà a controllare l'evolvere dello stato dell'infrastruttura e permetterà di individuare quelle situazioni di allarme generate da circostanze non altrimenti prevedibili in fase di programmazione degli interventi.

L'aspetto della sicurezza riguarda anche i tecnici e gli operatori del cantiere; per ciascun ambito esistono diversi strumenti normativi riconducibili ai principali:

- Ø piano di manutenzione;
- Ø piano di sicurezza e coordinamento;
- Ø disciplinare sulla segnaletica dei cantieri.

E' necessaria perciò una preventiva e sistematica organizzazione della sicurezza in tutte le fasi esecutive.

La manutenzione, perciò, si deve poggiare sullo scrupoloso connubio tra:

- Ø sicurezza delle pavimentazioni;
- Ø sicurezza dei lavori e degli operatori;
- Ø sicurezza degli utenti della strada.

Operare concretamente significa considerare alcuni elementi:

- di natura tecnica:
 - Ø esame dei degradi;
 - Ø scelta dei materiali;
 - Ø determinazione della tecnologia;
 - Ø grado di efficienza da raggiungere.
- di natura economica:
 - Ø risorse necessarie;
 - Ø impianti di macchine ed attrezzature;
 - Ø risorse umane.
- di natura sociale:
 - Ø gestione temporale dei lavori;
 - Ø redistribuzione dei flussi veicolari;
 - Ø impatto ambientale.

L'obiettivo del piano è l'individuazione dei parametri di intervento:

- dove intervenire;
- quando intervenire;
- come intervenire;
- quanto costa intervenire.

Le varie fasi operative che costituiscono la base di un corretto processo di manutenzione sono di seguito richiamate schematicamente:

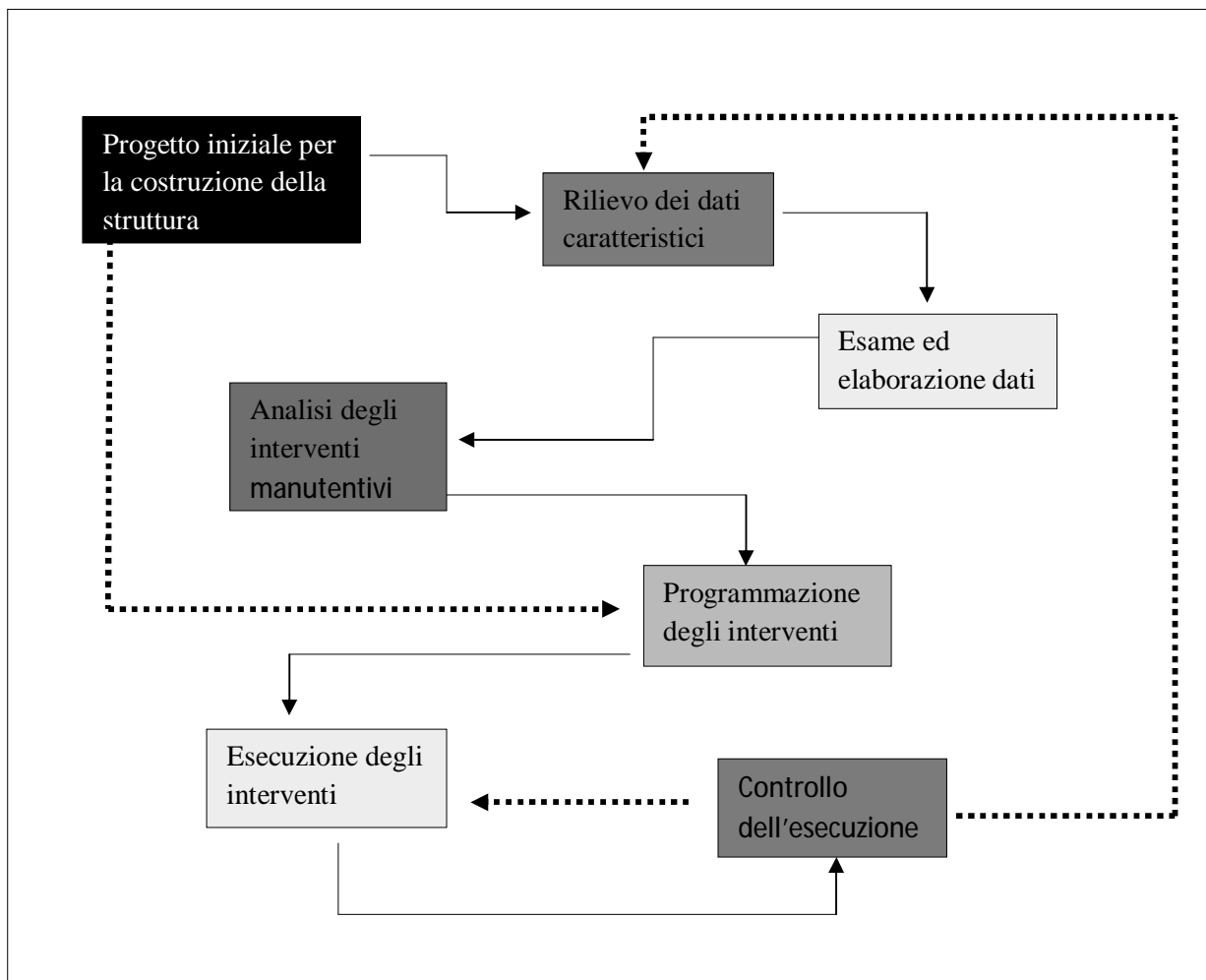


Fig. 1.2 Diagramma di flusso della pianificazione

1.3 Il piano di manutenzione

Ancora oggi la manutenzione stradale viene effettuata quando la sovrastruttura è ormai al limite della sua vita utile, applicando perlopiù interventi che rare volte si rifanno alle conoscenze tecniche derivanti da studi e indagini, ma che spesso si basano solo su esperienza o prassi. Si prescinde cioè da un'analisi delle condizioni e delle cause del degrado, con la conseguenza di eliminare solo temporaneamente gli effetti, producendo così interventi inefficaci.

Un simile approccio non consente una corretta pianificazione e di conseguenza implica una cattiva gestione e allocazione delle risorse. Queste ultime considerazioni evidenziano come il risultato di una pavimentazione non sia solo un buon progetto e una corretta esecuzione, ma anche una giusta e tempestiva manutenzione. Soltanto lo stato “integro della pavimentazione, ovvero nella condizione ipotizzata nel modello di calcolo, può fornire una prestazione (vita utile) coerente con i risultati del calcolo stesso ed evitare così un suo decadimento.

Una possibile soluzione ai problemi appena elencati è quindi la programmazione di una strategia di pianificazione, in modo tale da individuare il momento in cui è necessario intervenire in funzione del contenimento dei costi dell'intervento stesso.

Come si può notare in figura l'evoluzione nel tempo di un degrado determina un incremento dei costi: prima crescenti in modo lieve; poi, una volta che il degrado compromette in modo irreversibile gli strati di fondazione, i costi crescono più velocemente. Raggiunta questa situazione è necessaria la demolizione e il rifacimento dell'intera infrastruttura.

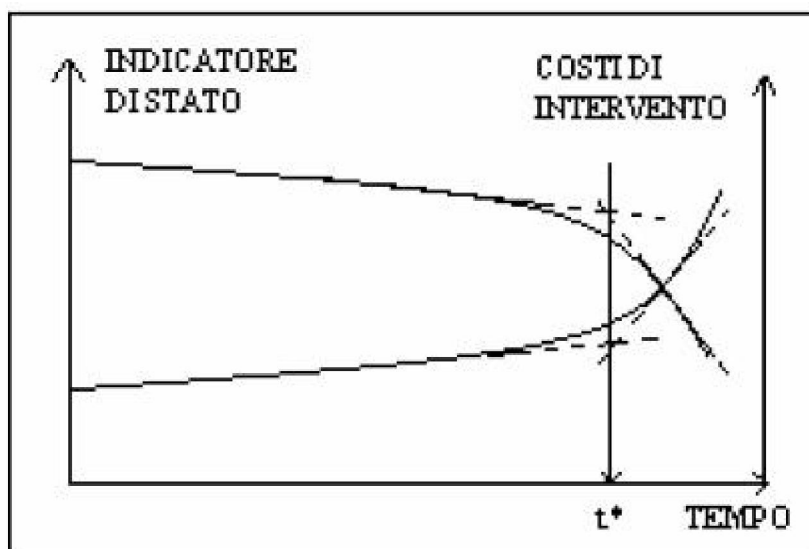


Fig.1.3 Degrado-costi

Il punto t^* rappresenta il momento più efficace per mettere in atto l'intervento di manutenzione prima che vengano compromessi gli strati portanti. Una facilitazione per la demolizione della condizione ottimale di intervento è stata fornita dalle “Linee guida per la gestione delle

pavimentazioni” le quali precisano che la prima fase per una corretta manutenzione è la valutazione dello stato funzionale: tipologia degli spessori e della portanza residua delle pavimentazioni esistenti, mediante l’impiego di macchine ad alto rendimento. Questo è senza dubbio lo strumento più idoneo per definire e dimensionare al meglio gli interventi, ma allo stesso tempo è anche il più costoso e il più lungo in termini temporali. Per tale motivo la tecnica ancora più largamente utilizzata è quella basata sulla redazione di perizie, le quali hanno il vantaggio di essere più rapide e semplici e allo stesso tempo efficaci.

1.4 La gestione degli interventi

In merito alla gestione della manutenzione, possono essere forniti alcuni elementi di distinzione e classificazione per separare le attività da considerare “di esercizio” da quelle “di manutenzione programmata” e, in quest’ultima classificazione, separare gli interventi “ordinari” da quelli “straordinari”.

1.4.1 Esercizio

Durante la fase di esercizio di un’arteria stradale vengono espletate azioni di controllo che servono ad individuare eventuali malfunzionamenti della sovrastruttura, o situazioni di potenziale pericolo, collegati ad eventi imprevisti. Nel corso del normale esercizio non si prescinde pertanto da un controllo continuo dell’efficienza del patrimonio stradale e quindi da una continua acquisizione di dati e di informazioni. In questo senso esiste una sovrapposizione di attività relative a fasi diverse, in quanto quella dei rilievi, come vedremo in dettaglio più avanti, è un passaggio essenziale del processo di pianificazione della manutenzione.

1.4.2 Ordinaria

Gli interventi e le azioni di manutenzione che non comportano modifiche al progetto originario sono da considerarsi rientranti nell’ambito della manutenzione ordinaria.

Quando cioè, l’intervento comporta solamente il ripristino delle caratteristiche strutturali e funzionali a valori previsti in sede di

progettazione e dimensionamento, senza apportarne alcun miglioramento rispetto a quelli progettuali, si rientra nella manutenzione ordinaria. Esempi di manutenzione ordinaria sulla sovrastruttura stradale sono le riparazioni localizzate, il rifacimento dei manti di usura con sistemi e materiali analoghi a quelli preesistenti, il rifacimento strutturale operato attraverso la sostituzione degli strati ammalorati.

Senza operare ulteriori classificazioni è il caso solo di ricordare che anche la manutenzione “preventiva”, quella “curativa” e quella “correttiva” possono essere inquadrare nell’ordinaria manutenzione:

- preventiva: interventi attuativi che hanno l’intento di prevenire l’evoluzione degli ammaloramenti;
- curativa: operazioni occorrenti per correggere una situazione che presenta già difetti e ammaloramenti;
- corrente: sono gli interventi di piccola manutenzione attuati localmente per risolvere problemi limitati;

1.4.3 Straordinaria

Tutti gli interventi che, pur finalizzati al ripristino della funzionalità del patrimonio stradale, comportano sostanziali miglioramenti nelle caratteristiche prestazionali dell’opera, richiedendo uno specifico progetto, possono essere inquadrati nella manutenzione straordinaria.

Il potenziamento o l’ampliamento della sede, la sostituzione dei manti di usura con applicazioni speciali in grado di aumentare le caratteristiche di aderenza e di regolarità, l’incremento delle resistenze con miglioramenti strutturali degli strati portanti, l’applicazione di strati drenanti fonoassorbenti o gli interventi di riciclaggio, con integrazione migliorativa, sono solo alcuni esempi di interventi straordinari sulla sovrastruttura stradale.

1.5 Controlli e rilevazioni

1.5.1 Rilievo dati caratteristici

E' un azione fondamentale per quelli che devono valutare lo stato di degrado e pianificare gli interventi di manutenzione di una data pavimentazione. Preventivamente alla rilevazione sarà opportuno conoscere la storia degli interventi eseguiti a partire dalla costruzione della sovrastruttura.

Per analizzare sistematicamente lo stato di una sovrastruttura è necessario riferirsi a parametri caratteristici in relazione alla loro variabilità nel tempo. Le rilevazioni dello stato delle pavimentazioni possono essere ricondotte sostanzialmente alle tipologie “visive” e “strumentali”. Bisogna tener presente che, lungo un tronco stradale, fissato un generico istante di tempo, i parametri caratteristici non assumeranno mai gli stessi valori; di conseguenza, in qualsiasi campagna di indagine conoscitiva, sarà necessario individuare le così dette sezioni omogenee, intendendo come tali, quelle tratte di strada in condizioni di stato simili, per le quali si può supporre che i parametri fondamentali, ciascuno preso in considerazione singolarmente, abbiano statisticamente valori costanti.

1.5.2 Le sezioni omogenee

Per definizione le sezioni omogenee sono spazi per i quali siano “confrontabili” i parametri fondamentali di una sovrastruttura stradale (aderenza, regolarità, portanza, rumorosità).

Una sezione omogenea può essere individuata analizzando le caratteristiche proprie dell'infrastruttura o le condizioni cui la stessa è soggetta:

- dati storici di costruzione;
- geometria dell'asse e andamento plano-altimetrico;
- dimensioni trasversali;
- caratteristiche degli strati;

- dati di traffico;
- clima, piovosità, temperatura, gelo;
- sinistrosità e incidenti.

Ad esempio, può essere considerata “omogenea” quella tratta di infrastruttura costruita con la stessa sequenza di strati e di materiali, o quella sulla quale insiste regolarmente una certa tipologia di traffico; oppure quella tratta che si sviluppa su un rettilineo, o in curva oppure quel tratto di strada interessato da fenomeni di gelo e disgelo.

Individuate le sezioni omogenee, relativamente a ciascun parametro fondamentale di controllo dell’efficienza della pavimentazione, è necessario provvedere alla relativa misura o stima poiché da essa dipende la successiva fase di decisione degli interventi da adottare.

1.5.3 Le metodologie di rilievo

Per la determinazione dei parametri fondamentali possono essere impiegati diversi sistemi suddivisibili, secondo la metodologia, in:

- puntuali: sono operazioni di tipo manuale che, facendo ricorso ad apposite apparecchiature, restituiscono i dati per punti, in forma “discreta”,
- continui: utilizzando apparecchi “ad alto rendimento” che, impiegando sofisticati sistemi meccanici ed elettronici, forniscono dati in rapida successione.

Per l’importanza stessa di queste determinazioni, saranno approfondite in dettaglio le diverse modalità di stima e misura disponibili, in relazione sia ai sistemi tradizionali di rilievo, sia a quelli cosiddetti ad alto rendimento.

2 Principali degradi della pavimentazione e interventi di ripristino

Scopo principale dei rilievi periodici, da effettuare sugli assi stradali di competenza, è l'individuazione delle degradazioni superficiali e profonde della pavimentazione, la conoscenza dell'evoluzione delle caratteristiche del traffico e l'individuazione dei cosiddetti punti neri in relazione alle caratteristiche di sinistrosità dell'infrastruttura.

Per l'esame dei degradi, abbiamo già detto della possibilità di rilevare i dati attraverso sistemi di tipo visivo o di tipo strumentale. Affinchè si giunga ad una conoscenza esauriente dello stato della pavimentazione è necessario adottare sistematicamente entrambe le metodologie.

Tuttavia in considerazione del fatto che una prima possibile classificazione dei difetti e degli ammaloramenti non può che partire da un'analisi visiva della sovrastruttura, si è proceduto a raggruppare le degradazioni rilevabili a vista in dipendenza della caratteristica funzionale interessata (regolarità, aderenza, portanza).

Per ciascun degrado così individuato saranno forniti e definiti i metodi di misura, i livelli di gravità nonché i possibili interventi di manutenzione attuabili.

E' comunque il caso di segnalare che solo raramente è possibile imputare la causa di un difetto o di un ammaloramento ad una sola circostanza; molto spesso una concomitanza di cause è all'origine del danno e pertanto non risulta facile poter identificare e schematizzare univocamente il fenomeno.

Ora andremo a suddividere gli ammaloramenti per difetti di:

Ø regolarità;

- ondulazioni longitudinali;
- ondulazioni trasversali;
- depressioni e rigonfiamenti localizzati;

- avvallamenti;
- configurazioni del piano viabile;
- rottura del bordo;
- fessurazioni del bordo;
- fessurazioni di giunto.

Ø aderenza;

- levigatura degli inerti;
- rifluimenti di bitume;
- disgregazione e distacco di inerti;
- buche superficiali.

Ø portanza;

- fessurazioni longitudinali e trasversali;
- fessurazioni ramificate;
- cedimenti su estese superfici;
- buche profonde;
- depressioni localizzate.

Ora andrò a descrivere brevemente i degradi delle pavimentazioni le possibili cause e gli interventi di ripristino, lasciando un capitolo a parte per i difetti di portanza che sono quelli che tratterò in questa tesi.

2.1 Difetti di regolarità:

Ondulazioni longitudinali

Cedimento generalizzato, tipicamente riconducibile ad un profilo “tipo onda” che si sviluppa nel senso longitudinale della carreggiata. In relazione alla lunghezza e all’ampiezza dell’onda possono generarsi sollecitazioni verticali di entità variabile in grado di danneggiare ulteriormente la sovrastruttura.

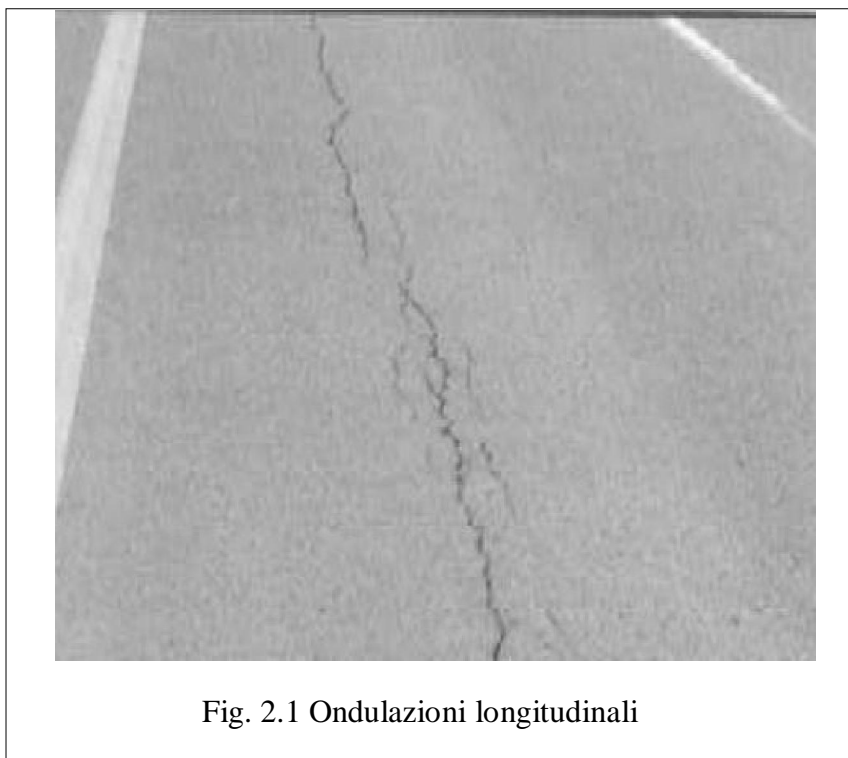


Fig. 2.1 Ondulazioni longitudinali

Tra le possibili cause abbiamo le caratteristiche meccaniche e costruttive degli strati legati. Instabilità del terreno di sottofondo e degli strati portanti della sovrastruttura. La presenza di terreni compressibili limosi o argillosi è spesso la causa scatenante di questo tipo di ammaloramento. Eventuali fenomeni di gelo e disgelo possono aggravare la situazione. Tra i metodi di misurazione abbiamo quello visivo (monitoraggio, asta e metro, tabella di rilevamento), oppure strumentale (ARAN, APL, profilo metro laser).). L’indicatore di stato è l’IRI (International Roughness Index) il quale rappresenta le irregolarità longitudinali della superficie stradale. Riassume

matematicamente il profilo longitudinale della superficie stradale lungo la traccia di una ruota, rappresentando le vibrazioni, in termini di spostamento, a cui è soggetto il veicolo, causate dalla irregolarità del manto stradale.

L'IRI è l'indice che viene più diffusamente utilizzato a livello internazionale; è stato concepito per essere calcolato sulla base dei dati rilevati sul profilo, misurati con un'ampia gamma di strumenti. Tra le metodologie d'intervento abbiamo il monitoraggio, la fresatura e trattamento superficiali, fresatura e rifacimento degli strati ammalorati.

Ondulazioni trasversali (ormaie)

Avvallamento continuo, a forma di onda, con lunghezza d'onda variabile; si sviluppa trasversalmente alla carreggiata o alla corsia; ha dimensioni contenute nella larghezza delle ruote dei veicoli pesanti. Tra le possibili cause abbiamo le deformazioni plastiche dei conglomerati bituminosi realizzati con miscele non idonee, con presenza eccessiva di fini e bitume che vengono accelerate dall'azione concomitante del traffico e della temperatura. Precoci aperture al traffico o spessori dello strato eccessivi possono causare l'insorgere del fenomeno. Nel caso di deformazione trasversale più rilevante, la causa è da attribuirsi al cedimento della fondazione e del sottofondo



Fig. 2.2 Ondulazioni trasversali

Tra i metodi di misurazione abbiamo quello visivo (asta e metro, tabella di misurazione) o strumentale (ARAN, APL, profilometro laser). L'indicatore di stato è l'RDM (Rut Depth Mean) il quale rappresenta l'ormaiamento che è definito come il cedimento permanente che si verifica, in corrispondenza delle tracce dei pneumatici, rispetto alla configurazione piana della piattaforma stradale con pendenza trasversale di progetto. Viene valutato attraverso il valore medio delle ormaie, rilevate in un numero di punti significativi di un tronco omogeneo. In assenza di rilievo profilometrico trasversale si può ricorrere all'impiego di barre rigide di lunghezza 2,00 o 1,20 m che vengono poggiate direttamente sulla pavimentazione. Tra le metodologie l'intervento abbiamo la fresatura e rifacimento strato di usura, fresatura e rifacimento usura e collegamento, fresatura e ricostruzione del pacchetto bitumato.

Depressioni e rigonfiamenti localizzati

Si tratta di deformazioni del piano viabile di limitata estensione, spesso accompagnati da protuberanze e configurazioni localizzate. Tra le possibili cause abbiamo le miscele bituminose di scarsa qualità o non corrette nella composizione.



Fig. 2.3 Depressioni e rigonfiamenti localizzati

Strato di usura di spessore eccessivamente contenuto. Insufficiente compattazione degli strati legati. Assenza di mano di attacco. Carico eccessivo localizzato. Tra i metodi di misurazione abbiamo solo quello visivo (monitoraggio visivo e fotografico, tabelle di rilevamento). L'indicatore di stato è l'ACA (Area Of Cracking), il quale indica lo stato di fessurazione di una pavimentazione, definito come il rapporto tra l'area fessurata e l'area totale della pavimentazione. Per misurare praticamente l'area di fessurazione si deve rilevare l'estensione delle superfici fessurate le quali sono definite da rettangoli che racchiudono la zona ammalo rata. Tra le metodologie d'intervento abbiamo il monitoraggio, la sigillatura ed infine

trattamenti superficiali o aggiunta di nuovo strato. Tra le metodologie d'intervento abbiamo il monitoraggio, l'intervento localizzato, la fresatura e il rifacimento.

Avvallamenti

Deformazioni, assestamenti o cedimenti non riconducibili a cedimenti su estese superfici. L'ammaloramento, nei casi più gravi è accompagnato da rotture più o meno accentuate dello strato di usura con comparsa di lesioni e fratture lungo i margini e all'interno della superficie avvallata.



Fig. 2.4 Avvallamenti

Tra le possibili cause la deformazione può interessare gli strati di base, di fondazione e di sottofondo e si riflette in superficie sugli strati legati. Può essere dovuta a difetti di portanza causati da gelo, presenza di terreni plastici nel sottofondo, dilatazione dei fini, cattivo costipamento degli strati non

legati ed è accentuata dall' intensità dei carichi pesanti. Tra i metodi di misurazione abbiamo quello visivo (asta e metro, monitoraggio visivo e fotografico, tabelle di rilevamento) o strumentale (ARAN, APL, Profilometro laser). L'indicatore di stato è l'IRI (International Roughness Index) il quale rappresenta le irregolarità longitudinali della superficie stradale. Riassume matematicamente il profilo longitudinale della superficie stradale lungo la traccia di una ruota, rappresentando le vibrazioni, in termini di spostamento, a cui è soggetto il veicolo, causate dalla irregolarità del manto stradale. L'IRI è l'indice che viene più diffusamente utilizzato a livello internazionale; è stato concepito per essere calcolato sulla base dei dati rilevati sul profilo, misurati con un'ampia gamma di strumenti. Tra le metodologie d'intervento abbiamo il monitoraggio , l'aggiunta di nuovo strato, la demolizione o la fresatura.

Fessurazioni a blocchi

Fessurazioni a forma approssimativamente poligonale, tra loro interconnesse, che riguardano un'ampia superficie stradale.



Fig. 2.5 Fessurazione a blocchi

Le dimensioni dei blocchi variano da un minimo di 0,3x0,3 m fino ad un massimo di 4x4 m e interessano gli strati superficiali. L'ammaloramento può denotare l'insorgere di fenomeni di fatica e può avvenire senza compromissione della planarità della superficie. Eccessiva rigidità dello strato spesso associata a scarsità della mano di attacco. può anche essere attribuito a fenomeni di ritiro termico differenziale degli strati legati. tra i metodi di misurazione abbiamo solo quello visivo (monitoraggio visivo e fotografico, asta e metro, tabelle di rilevamento). L'indicatore di stato è l'ACA (Area Of Cracking), il quale indica lo stato di fessurazione di una pavimentazione, definito come il rapporto tra l'area fessurata e l'area totale della pavimentazione. Per misurare praticamente l'area di fessurazione si deve rilevare l'estensione delle superfici fessurate le quali sono definite da rettangoli che racchiudono la zona ammalorata. Tra le metodologie d'intervento abbiamo il monitoraggio, la sigillatura ed infine trattamenti superficiali o aggiunta di nuovo strato.

Fessurazioni di giunto

La fessurazione, di tipo lineare, è localizzata in corrispondenza del giunto di strisciata adiacente. Alla lesione si associa spesso uno scalzonamento di materiale inerte la formazione di crepe e depressioni di limitata estensione e profondità agevolate dalla penetrazione di acque meteoriche. Tra le possibili cause abbiamo la carenza di costipamento e mancata chiusura del giunto durante la costruzione; mancato sfalsamento dei giunti longitudinali tra i vari strati. Mancata applicazione di legante bituminoso sul bordo della strisciata già eseguita qualora la stesa della strisciata adiacente non avvenga subito. Tra i metodi di misurazione abbiamo solo quello visivo (monitoraggio visivo e fotografico, tabelle di rilevamento). Non abbiamo un indicatore di stato. Tra le metodologie d'intervento abbiamo la sigillatura con mastice, nastro o colatura di emulsione, sigillatura con mastice e nastro, ricostruzione area del giunto.



Fig. 2.6 Fessurazioni di giunto

2.2 Difetti di aderenza

Levigatura degli inerti

La superficie si presenta scivolosa a causa degli inerti levigati dall'azione del traffico veicolare, che ha prodotto l'usura delle asperità e di conseguenza ha ridotto le caratteristiche di micro rugosità necessarie, insieme con quelle della macrorugosità, per garantire l'aderenza pneumatico strada.



Fig. 2.7 Levigatura degli inerti

Tra le possibili cause abbiamo l'utilizzo nella miscela di aggregato non idoneo in quanto scarsamente resistente all'azione abrasiva prodotta dal traffico. Tra i metodi di misurazione abbiamo quello visivo (monitoraggio visivo e fotografico, tabelle di rilevamento) o strumentale (pendolo, SCRIM, grip tester). L'indicatore di stato è il CAT (Coefficiente di aderenza trasversale). Per il calcolo si fa riferimento a strumentazione che effettua misurazioni di tipo puntuale o di tipo continuo. Tra le metodologie d'intervento abbiamo il (monitoraggio, bocciardatura, pallinatura), irruvidimento meccanico ed infine trattamento superficiale.

Rifluimento del bitume

Un film di materiale bituminoso emerge dalla pavimentazione creando una superficie riflettente, lucida, di aspetto vetroso, scivolosa in caso di pioggia e che rammollisce durante la stagione calda.



Fig. 2.8 Rifluimento di bitume

Tra le possibili cause abbiamo l'eccessiva quantità di legante nella miscela adottata o bassa viscosità del legante stesso; conglomerato ricco di fine e legante che affiorano sotto l'azione costipante del traffico. Tra i metodi di misurazione abbiamo quello visivo (monitoraggio visivo e fotografico, tabelle di rilevamento) o strumentale (HS, Textur meter, Pendolo, SCRIM, SUMMS, Grip tester).

Tra gli indicatori di stato abbiamo il CAT (Coefficiente di aderenza trasversale). Per il calcolo si fa riferimento a strumentazione che effettua misurazioni di tipo puntuale o di tipo continuo. Oppure l'HS (Altezza in sabbia) l'altezza in sabbia misura la tessitura della pavimentazione. La procedura di misura è stabilita dal CNR.

Tra le metodologie d'intervento abbiamo il monitoraggio, la pallinatura, o la fresatura e rifacimento dello strato

Disgregazione e distacco di inerti

Liberazione di aggregati dalla superficie che si presenta sempre più rugosa configurata e pericolosa per la presenza di materiale sciolto. Tra le possibili cause abbiamo la rullatura a freddo, precoci aperture al traffico, carenza di filler, spessori inadeguati, invecchiamento del legante. Insufficiente dosaggio del legante, ovvero progressivo spogliamento, per effetto dell'acqua, delle pellicole di legante dalla superficie dell'aggregato. Tra i metodi di misurazione abbiamo quello visivo (monitoraggio visivo e fotografico, asta e metro, tabelle di rilevamento) o strumentale (HS, Textur meter, SCRIM, SUMMS, Grip tester). L'indicatore di stato è l'ARV (Ravelled Area), cioè rappresenta il fenomeno della perdita di aggregati dagli strati superficiali (ravelling) si presenta in pavimentazioni realizzate con materiali scadenti e con conglomerati bituminosi scadenti. Numericamente è espresso dal rapporto percentuale dell'area sgranata rispetto all'area totale. Il vantaggio principale legato alla scelta di questo parametro consiste nel fatto che, oltre ad essere di facile ed intuitiva lettura, esso può essere determinato con l'ausilio di strumenti tradizionali.

Tra le metodologie di interventi abbiamo 3 livelli di severità. Iniziando dal più basso abbiamo trattamenti superficiali localizzati, ed infine fresatura e rifacimento dello strato.



Fig. 2.9 Disgregazione e distacco inerti

Buche superficiali

Buche di area generalmente inferiore a 0,5mq che interessano solo gli strati superficiali. Tra le possibili cause abbiamo l'evoluzione dei fenomeni di disgregazione superficiale e le cause sono, pertanto riconducibili a scarsa percentuale di bitume o annullamento delle caratteristiche di elasticità del legante o errata composizione delle miscele bitumate con aggregato non pulito o idrofilo.



Fig. 2.10 Buche superficiali

Tra i metodi di misurazione abbiamo quello visivo (monitoraggio visivo e fotografico, asta, tabelle di rilevamento) o strumentale (ARAN, APL, Profilometro laser). L'indicatore di stato è l'NPT (Number Standard Potholes), è il fenomeno che consiste nella perdita localizzata di materiale dalla superficie della pavimentazione che si estende sino ad intaccare gli strati sottostanti. La determinazione dell'indicatore NPT è immediata dal momento che non richiede strumenti o tecnologie sofisticate; l'indicatore si ricava dalla somma di tre contributi: fessurazioni, sgranamenti superficiali e allargamento delle buche già presenti.

Tra le metodologie di interventi abbiamo 3 livelli di severità. Iniziando dal più basso abbiamo il riempimento con conglomerato a freddo o a caldo; intervento localizzato con rappezzo ed infine fresatura e rifacimento dello strato.

3 - Interventi strutturali profondi

In questo capitolo andremo ad evidenziare i degradi della pavimentazione dovuti a difetti di portanza, elencando cause e interventi di ripristino.

3.1 Difetti di portanza

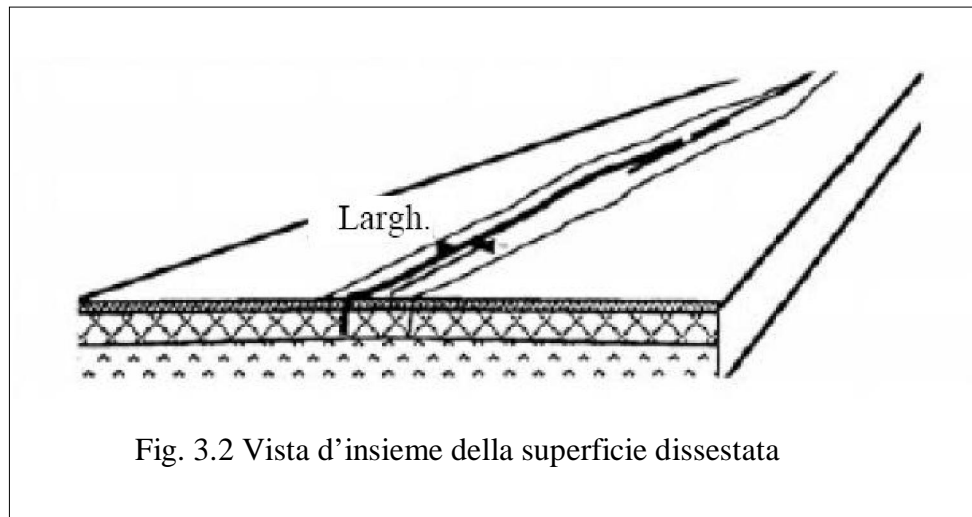
Fessurazioni longitudinali e trasversali



Fig. 3.1 Ondulazioni trasversali e longitudinali

FESSURAZIONI LONGITUDINALI E TRASVERSALI		
Descrizione	Le lesioni principali si sviluppano parallelamente all'asse longitudinale della carreggiata. Hanno andamento prevalentemente lineare, con diramazioni più o meno accentuate in direzione trasversale. Dai punti più marcatamente ammalorati può verificarsi l'asportazione di materiale lapideo. La larghezza delle fessure, nei casi più gravi può raggiungere il cm.	
Possibili cause	Richiami in superficie di fessurazioni negli strati portanti. Presenza eventuale di lastre in conglomerato cementizio con rischio di ritiro termico differenziale. Miscele eccessivamente rigide in rapporto alle caratteristiche degli strati legati.	
Grado di severità	basso	Fessura lieve, facilmente individuabile
	moderato	Fessura evidente con inizio di disgregazione dei lembi (0,5 – 1 cm)
	alto	Presenza di rotture profonde, accentuata disgregazione dei lembi e asportazione di materiale
Ricorrenza	intermittente	Il fenomeno interessa meno del 20% della lunghezza della sezione omogenea
	frequente	Il fenomeno interessa dal 20% al 50% della lunghezza della sezione omogenea
	esteso	Il fenomeno riguarda più del 50% della lunghezza della sezione omogenea

METODI DI' MISURAZIONE	
Visivo	Monitoraggio visivo e fotografico –Tabelle di rilevamento
Strumentale	Deflettometro – FWD – Prova di piastra
INDICATORE DI STATO	Il numero di struttura, SN, è il parametro attraverso il quale viene quantificata la capacità strutturale di una pavimentazione. Il suo valore viene fatto dipendere dalle caratteristiche dei materiali, dagli spessori degli strati, dalle caratteristiche di drenaggio. Viene determinato in modo indiretto attraverso le correlazioni con le misure di FWD, di deflessione secondo diversi metodi, con i moduli resilienti dei materiali.



METODOLOGIE DÌ INTERVENTO				
		Grado di severità		
		basso	moderato	alto
Ricorrenza sulla sezione	intermittente	Sigillatura e/o trattamenti superficiali localizzati		
	frequente		Fresatura e rifacimento dello strato	
	esteso			Risanamento profondo (*)

(*) Con eventuale miglioramento delle caratteristiche di portanza della sovrastruttura originaria, con tecniche di rafforzamento.

Fessurazioni ramificate (a pelle di cocodrillo o ragnatela)

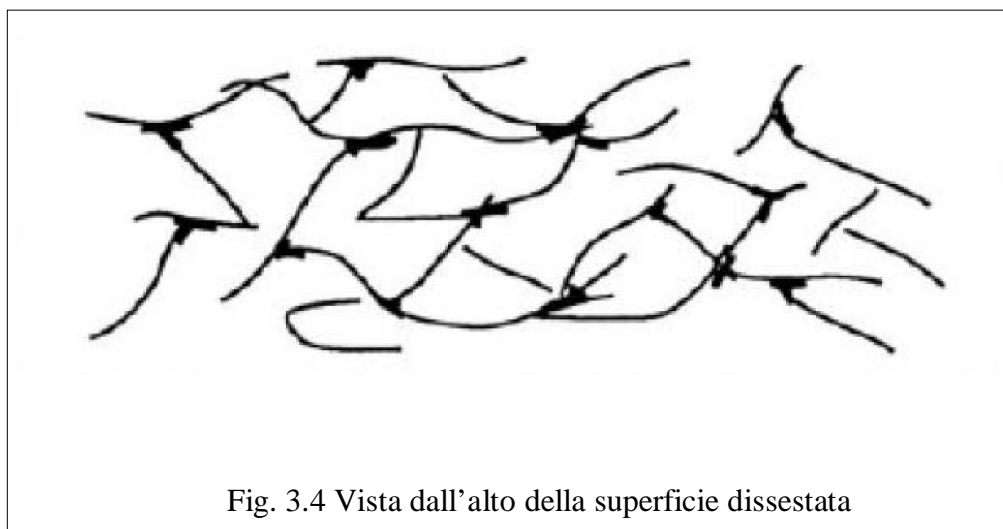


Fig. 3.3 Fessurazioni ramificate

FESSURAZIONI RAMIFICATE		
Descrizione	Sono serie di fessurazioni interconnesse che si estendono anche su ampie superfici; generalmente degenerano in limitate aree in depressione. le lesioni risultano inizialmente chiuse ma progressivamente tendono ad aprirsi e a distaccarsi compromettendo l'impermeabilizzazione della struttura. La dimensione massima delle superfici tra i rami della fessurazione può raggiungere qualche decimetro. L'ammaloramento, evidente in superficie, ha origine negli strati portanti di base o di fondazione o, anche, nel sottofondo per cedimento strutturale.	
Possibili cause	Se le fessure sono associate ad estesi avvallamenti, il fenomeno denota marcatamente il collasso strutturale della sovrastruttura. La propagazione delle fessure ha raggiunto la superficie interessando tutti gli strati bituminosi; fenomeni di fatica, variazioni cicliche di gelo e disgelo, ripetizioni di carichi eccezionali non previsti sono tutti condizionamenti importanti che concorrono a generare l'ammaloramento. Se le fessure si verificano presto rispetto alla costruzione, indicano difetto di dimensionamento; se si presentano in maniera estesa, ma senza deformazione del piano viabile, la probabile causa risiede nell'eccessiva rigidità dello strato di usura, giunto a rottura per fatica.	
Grado di severità	basso	Ampiezza zona ammalorata 1 mq
	moderato	1mq ampiezza zona ammalorata 5mq
	alto	Ampiezza zona ammalorata 5 mq
Ricorrenza	intermittente	Il fenomeno si manifesta solo in aree localizzate
	frequente	Il fenomeno interessa fino al 50% della lunghezza della sezione omogenea
	esteso	Il fenomeno riguarda più del 50% della

		lunghezza della sezione omogenea
--	--	----------------------------------

METODI DI MISURAZIONE	
Visivo	Monitoraggio visivo e fotografico - Asta e metro - Tabelle di rilevamento
Strumentale	Deflettometro – FWD – GPR - Prova di piastra
INDICATORE DI STATO	Lo stato di fessurazione di una pavimentazione è rappresentato dall'indice ACA definito come il rapporto tra l'area fessurata e l'area totale della pavimentazione. Per misurare praticamente l'area di fessurazione si deve rilevare l'estensione delle superfici fessurate le quali sono definite da rettangoli che racchiudono la zona ammalorata.



METODOLOGIE DÌ INTERVENTO				
		Grado di severità		
		basso	moderato	alto
Ricorrenza sulla sezione	intermittente	Trattamenti superficiali (*) e monitoraggio di portanza		
	frequente		Intervento localizzato e aggiunta di nuovo strato (*)	
	esteso			Fresatura e risanamento profondo (**)

(*) Intervento temporaneo in attesa di provvedimenti più radicali

(**) Con eventuale miglioramento delle caratteristiche di portanza della sovrastruttura originaria, con tecniche di rafforzamento.

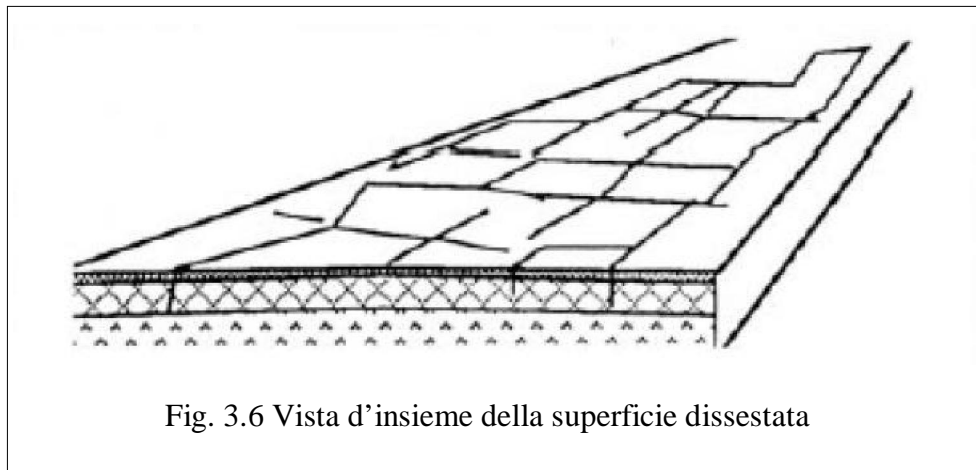
Cedimenti su estese superfici (a blocchi)



Fig. 3.5 Cedimenti su estese superfici

CEDIMENTI SU ESTESE SUPERFICI		
Descrizione	Avvallamenti pronunciati che interessano le pavimentazioni anche su estese superfici. i cedimenti avvengono senza discontinuità con il piano viabile originario e spesso sono preceduti o accompagnati da fessurazioni ramificate, la profondità dell'avvallamento può raggiungere anche gli 8/10 cm.	
Possibili cause	Le cause del cedimento sono la scarsa resistenza degli strati portanti e del sottofondo, strati in conglomerato bituminoso non correttamente dimensionati o una cattiva messa in opera, sono tutte le possibili cause che concorrono allo sviluppo e all'estensione dell'ammaloramento. Risultato finale del fenomeno di fatica di tutti gli strati, sottofondo compreso.	
Grado di severità	basso	Ampiezza zona ammalorata 5 mq
	moderato	5mq ampiezza zona ammalorata 10mq
	alto	Ampiezza zona ammalorata 10mq
Ricorrenza	intermittente	Il fenomeno si manifesta solo in aree localizzate
	frequente	Il fenomeno interessa fino al 50% della lunghezza della sezione omogenea
	esteso	Il fenomeno riguarda più del 50% della lunghezza della sezione omogenea

METODI DI MISURAZIONE	
Visivo	Monitoraggio visivo e fotografico - Asta e metro - Tabelle di rilevamento
Strumentale	Deflettometro – FWD – GPR - Prova di piastra
INDICATORE DI STATO	Il numero di struttura, SN, è il parametro attraverso il quale viene quantificata la capacità strutturale di una pavimentazione. Il suo valore viene fatto dipendere dalle caratteristiche dei materiali, dagli spessori degli strati, dalle caratteristiche di drenaggio. Viene determinato in modo indiretto attraverso le correlazioni con le misure di FWD, di deflessione secondo diversi metodi, con i moduli resilienti dei materiali.



METODOLOGIE DÌ INTERVENTO				
		Grado di severità		
		basso	moderato	alto
Ricorrenza sulla sezione	intermittente	Fresatura superficiale e intervento localizzato(*)		
	frequente		Risanamento profondo localizzato	
	esteso			Risanamento profondo (**)

(*) Intervento temporaneo in attesa di provvedimenti di risanamento

(**) Con eventuale miglioramento delle caratteristiche di portanza della sovrastruttura originaria, con tecniche di rafforzamento e/o intervento sul sottofondo.

Buche profonde



Fig. 3.7 Buche profonde

BUCHE PROFONDE		
Descrizione	Danno che si presenta su pavimentazioni invecchiate o mal realizzate; interessa progressivamente i vari strati della sovrastruttura; gli strati di usura e binder vengono letteralmente scalzati per l'azione congiunta del traffico e dell'acqua meteorica con decadimento delle caratteristiche di regolarità e di sicurezza della pavimentazione, la profondità può anche superare i 50 mm.	
Possibili cause	Questo ammaloramento è tipico delle strutture non correttamente dimensionate, realizzate con materiali scadenti o poggiate sovrapponendo direttamente gli strati superficiali sul sottofondo. L'infiltrazione progressiva dell'acqua che ristagna, per effetto del fenomeno di pompaggio generato dal passaggio delle ruote dei veicoli, produce risalita di materiale fino che degrada le caratteristiche originarie degli strati.	
Grado di severità	basso	Diametro della buca 40 cm
	moderato	40 cm Diametro della buca 80 cm
	alto	Diametro della buca 80 cm
Ricorrenza	intermittente	Il fenomeno si manifesta solo in aree localizzate
	frequente	Il fenomeno interessa dal 20% al 50% della lunghezza della sezione omogenea
	esteso	Il fenomeno riguarda più del 50% della lunghezza della sezione omogenea

METODI DI MISURAZIONE	
Visivo	Monitoraggio visivo e fotografico - Asta e metro - Tabelle di rilevamento
Strumentale	Deflettometro – FWD – GPR - Prova di piastra
INDICATORE DI STATO	L'indicatore di stato è l'NPT (Number Standard Potholes), l'indicatore si ricava dalla somma di tre contributi: fessurazioni, sgranamenti superficiali e allargamento delle buche già presenti. Le metodologie di intervento sono: intervento localizzato con conglomerato a caldo o a freddo, intervento localizzato e aggiunta di nuovo strato, fresatura e risanamento profondo.

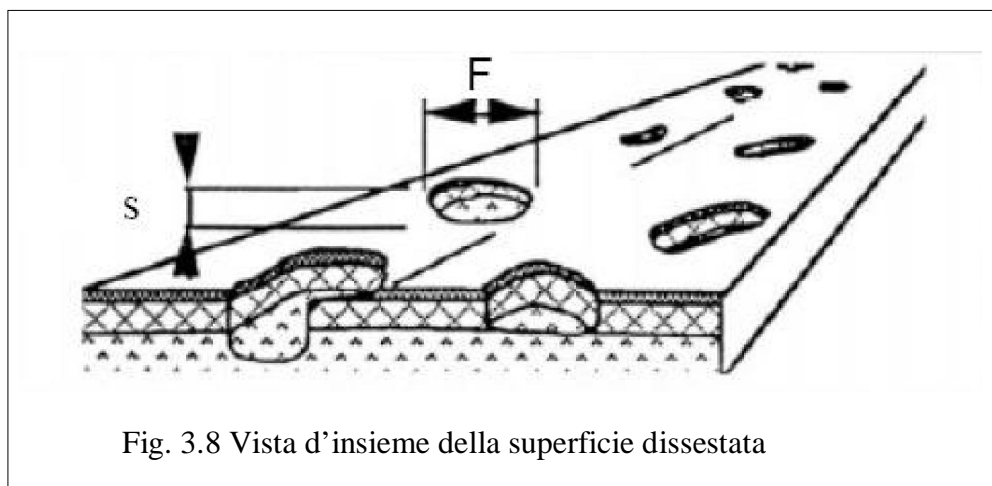


Fig. 3.8 Vista d'insieme della superficie dissestata

METODOLOGIE DÌ INTERVENTO				
		Grado di severità		
		basso	moderato	alto
Ricorrenza sulla sezione	intermittente	Intervento localizzato (rappezzo) con conglomerato a caldo/freddo		
	frequente		Intervento localizzato e aggiunta di nuovo strato	
	esteso			Fresatura e risanamento profondo (*)

(*) Con eventuale miglioramento delle caratteristiche di portanza della sovrastruttura originaria, con tecniche di rafforzamento. L'intervento necessita di un dimensionamento ex-novo della sovrastruttura.

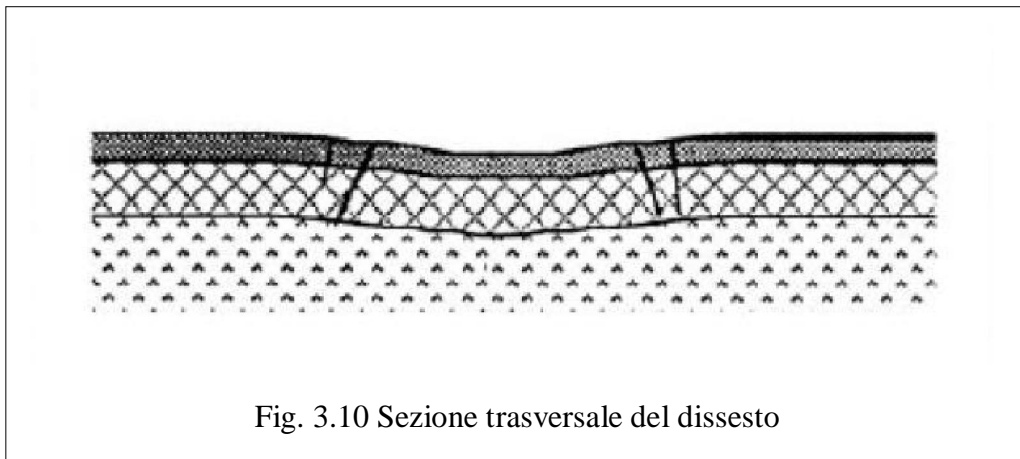
Assestamenti localizzati



Fig. 3.9 Assestamenti localizzati

ASSESTAMENTI LOCALIZZATI		
Descrizione	Cedimenti con dimensioni trasversali limitate, a sviluppo regolare, che richiamano in superficie difetti di portanza degli strati sottostanti, sovente si tratta di depressioni causate da assestamento dei materiali di riempimento dei cavi di posa degli impianti tecnologici non correttamente costipati. In relazione alle caratteristiche dei materiali di riempimento, al suo costipamento e al tipo di traffico che interessa la corsia, l'ammaloramento può evolvere in veri e propri sfondamenti del piano viabile con ovvie ripercussioni sulla sicurezza degli utenti.	
Possibili cause	Di solito la forma dell'ammaloramento è regolare e si può ragionevolmente attribuire la causa del danno agli interventi effettuati in precedenza sui cavi. Qualche volta il cedimento è la manifestazione di un evento accidentale verificatosi negli strati non legati, che ha comportato l'erosione di parte di materiale di riempimento.	
Grado di severità	basso	Profondità 1 cm
	moderato	1 cm profondità 3 cm
	alto	Profondità 3 cm
Ricorrenza	intermittente	Indipendentemente dalla lunghezza della zona ammalorata
	frequente	
	esteso	

METODI DI MISURAZIONE	
Visivo	Monitoraggio visivo e fotografico - Asta e metro - Tabelle di rilevamento
Strumentale	
INDICATORE DI STATO	n.d.



METODOLOGIE DÌ INTERVENTO				
		Grado di severità		
		basso	moderato	alto
Ricorrenza sulla sezione	intermittente	Fresatura superficiale, aggiunta di nuovo strato e monitoraggio		
	frequente		Fresatura e rifacimento dello strato (*)	
	esteso			Fresatura e rifacimento degli strati bitumati (*)

(*) Previo costipamento accurato del materiale di riempimento del cavo. Per ognuno dei tipi di intervento dovrà verificarsi la regolarità della pavimentazione accettando un valore di concavità e convessità, in corrispondenza delle zone di intervento, rientrante nei limiti di tolleranza della regolarità superficiale.

Nelle schede operative dei degradi, in precedenza illustrate, sono stati suggeriti gli interventi di manutenzione più opportuni in relazione alla tipologia del degrado nonché alla sua gravità e frequenza sulla sezione considerata.

Alla luce delle ultime novità tecniche e tecnologiche e facendo tesoro delle esperienze acquisite negli anni dai principali operatori del settore, gli stessi interventi verranno di seguito meglio dettagliati e approfonditi sia per quel che riguarda la tecnica operativa, sia per i prodotti da utilizzare.

E' da sottolineare comunque che alcune delle soluzioni suggerite, relative ad un determinato tipo di strada, sono equivalenti tra loro, a parità di condizioni di traffico, sotto l'aspetto della durata strutturale, ma differenti per i materiali impiegati, per gli spessori degli strati, per i costi di manutenzione e le conseguenti penalizzazioni alla circolazione dei veicoli.

La scelta della soluzione definitiva non potrà prescindere da un attenta considerazione di tutti questi fattori, in rapporto alle diverse alternative considerate.

3.2 Risanamento profondo

L'intervento, di tipo strutturale, consiste nella demolizione e ricostruzione in profondità degli strati costituenti la sovrastruttura stradale. Può interessare soltanto gli strati legati ed estendersi sino allo strato di base o interessare anche lo strato di fondazione in misto granulare, sia naturale, sia stabilizzato con leganti.

La sequenza delle operazioni è di seguito richiamata:

- **Demolizione:** in base all'estensione della zona da risanare e alla profondità dell'intervento si sceglierà il metodo di demolizione più efficace e conveniente; se la scelta ricade su un intervento di scarifica, si procederà alla demolizione dopo avere definito i contorni e provveduto al taglio perimetrale con sega per asfalto. Se si opta invece per una demolizione con fresatura, sarà necessario individuare la macchina più adatta per dimensioni e potenza, anche in relazione alla possibilità di reimpiego del materiale fresato, in situ o in impianto. Nella esecuzione dei lavori, si dovrà fare attenzione a non asportare materiale dallo strato di fondazione, o dalle eventuali banchine laterali in terra, per non compromettere la qualità del conglomerato fresato.

- **Riqualificazione:** eseguita l'asportazione degli strati legati, è necessario verificare le caratteristiche di portanza della fondazione stradale, soprattutto se il risanamento profondo interessa una superficie più estesa, si dovranno quindi effettuare una serie di prove di carico che possano fornire elementi utili a tale valutazione. In relazione a risultati negativi di tali prove, si procederà ad una riqualificazione dello strato, procedendo, per esempio, ad una sua miscelazione in situ, mediante idonei miscelatori, con cemento, calce e/o bitume schiumato. Se dalle prove di piastra dovessero essere rilevate carenze a livello di sottofondo si procederà ad un preventivo di bonifica. L'impiego di geo tessuti, tessuti o non tessuti o reti, tra lo strato di fondazione e il sottofondo, può efficacemente contribuire a migliorare la resistenza strutturale. Sia il sottofondo, sia lo strato di fondazione dovranno essere accuratamente costipati con impiego di rulli specifici per ogni tipo di materiale.
- **Ricostruzione:** l'operazione conclusiva dell'intervento consiste nel rifacimento degli strati legati, mediante stesa di conglomerati bituminosi con caratteristiche prestazionali equivalenti o superiori a quelli costituenti, in origine gli strati demoliti.

4 - Linee guida di progetto e manutenzione ANAS

Le linee guida, descritte dall'ANAS, si prefiggono lo scopo di orientare le scelte progettuali, alla ricostruzione od al rafforzamento delle pavimentazioni esistenti. Tali linee definiscono tipologie e dimensionamento di intervento basati soltanto su giudizio visivo dello stato superficiale della pavimentazione da risanare e sul livello di traffico esistente. Le soluzioni di progetto, pacchetto ed ubicazione degli interventi, che si intendono realizzare, non sono uniche, e vengono definite nel dettaglio dagli uffici tecnici del Compartimento. Il CSS può su richiesta del Compartimento od in base ai progetti ricevuti, suggerire modifiche precisazioni ed approfondimenti specialmente nel caso in cui le soluzioni si discostino in modo rilevante rispetto a quelle proposte.

Lo strumento più idoneo per definire e dimensionare al meglio gli interventi, la determinazione della tipologia, gli spessori e la portanza residua delle pavimentazioni, restano le campagne di misura con l'impiego di nuove tecnologie e di nuove macchine ad alto rendimento. Sarebbe buona norma effettuare preventivamente tali misure, alle decisioni progettuali degli interventi di ripristino o rafforzamento, affinché si ottengano risultati migliori.

Le Norme Tecniche per la formulazione e la verifica dei materiali, utilizzate nelle linee guida dell'ANAS, sono di tipo prestazionale e sono quelle da impiegare per tutti i lavori di questo tipo a partire dal 2008, le quali prevedono:

- dimensionamento dei pacchetti attraverso l'impiego di metodi razionali di calcolo utilizzando curve di fatica specifiche che permettono di calcolare la vita utile dell'intervento,
- massimo riutilizzo possibile dei materiali fresati e altri materiali marginali disponibili con facilità sul luogo dell'intervento, valutati e verificati nei calcoli di durata a fatica, per ridurre trasporti e costi e preservare l'ambiente,

- definizione dei criteri generali di lavorazione per tenere presente le problematiche di applicazione pratica su strade in esercizio; gli spessori previsti sono correlati alle necessità di portanza ed anche alla realizzabilità connessa con le tecniche impiegate,
- impiego generalizzato di bitumi modificati, per incrementare le durate con incertezza di risultato,
- definizione dei metodi di verifica prestazionali, sui materiali singoli, sulle miscele e sulle lavorazioni complete

Il traffico di riferimento per le scelte degli interventi viene espresso in termini di traffico giornaliero medio (TGM), ed in base alla definizione di percentuali, combinazioni e tipologie di traffico pesante, vengono fornite anche le durate in termini di passaggi di assi equivalenti da 12 t.

Posso calcolare gli assi da 12 t a partire da TGM e durata vita utile in anni, oppure calcolo TGM a partire da assi da 12 t e durata in anni, infine posso calcolare la durata in anni a partire da TGM e assi da 12 t.

Dividiamo tre diversi livelli di traffico indicati con le lettere A, B, C per gli interventi profondi, in modo da ottenere diversi pacchetti in funzione della tipologia di traffico.

I risanamenti profondi (RP) comportano una completa demolizione della pavimentazione esistente, con parziale e totale riutilizzo dei materiali rimossi. Tali interventi sono previsti dove la pavimentazione si presenta particolarmente ammalorata e dove si vogliono garantire durate elevate in funzione del traffico effettivamente circolante.

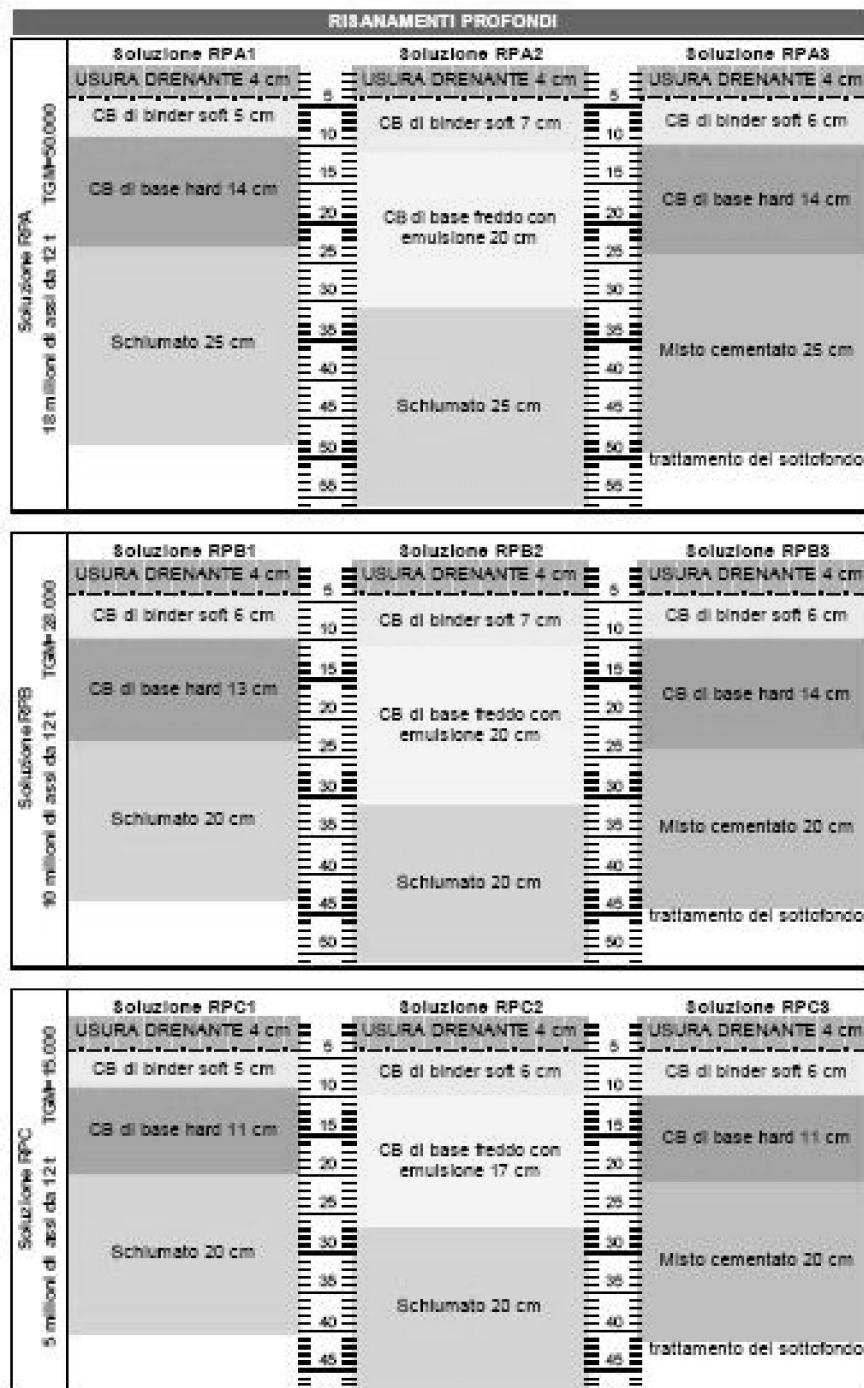


Fig. 4.1 Risanamenti profondi Linee Guida ANAS

Esistono tre categorie di RP a seconda del traffico (TGM); ognuna di esse è suddivisa a sua volta in tre tipologie a seconda dei materiali usati, tutti di durata equivalente; la scelta dei materiali e della tecnica conseguente dipenderà dalle condizioni locali. Ricordiamo comunque che per la

realizzazione delle fondazioni le tecniche più affidabili sono quelle connesse ai riciclaggi a freddo, essendo i risultati con il misto cementato più variabili con le condizioni del cantiere di fabbricazione. La decisione di effettuare i risanamenti profondi dipende dalla diffusione degli sfondamenti nei singoli tratti stradali; sarà anche necessario effettuare alcuni sondaggi così come indicato nelle Norme Tecniche che seguono. Gli sfondamenti saranno individuati con criteri visuali; l'uso di misure di portanza verrà effettuato nei casi di non chiara definizione.

Nelle tipologie di pavimentazioni proposte, per gli RP le fondazioni sono realizzate mediante il riciclaggio a freddo, con bitume schiumato, della fondazione esistente, o in alternativa, mediante la realizzazione di uno strato in misto cementato. In tal caso aumentano gli oneri per la rimozione degli strati esistenti ed i tempi di realizzazione dell'opera, dovendo attendere il livello minimo di maturazione prima di realizzare gli strati superiori; questa soluzione va quindi adottata solo quando le caratteristiche dei materiali in sito non si prestano alla schiumatura e richiedono una rimozione.

Gli strati in conglomerato bituminoso sovrastanti prevedono sempre l'impiego a caldo di bitumi modificati con elastomeri ed un parziale utilizzo di materiale riciclato, oppure, l'impiego di emulsioni bituminose con materiale riciclato fino al 100% mescolati a freddo. L'impiego di conglomerati bituminosi modificati con elastomeri, direttamente messi nei mescolatori a caldo, non rientra negli interventi risolutivi previsti, in quanto attualmente difficilmente valutabili in termini di durata e fatica e può essere usato solo per rappezzi o interventi localizzati. In futuro verranno meglio valutate le prestazioni per un loro inserimento più esteso.

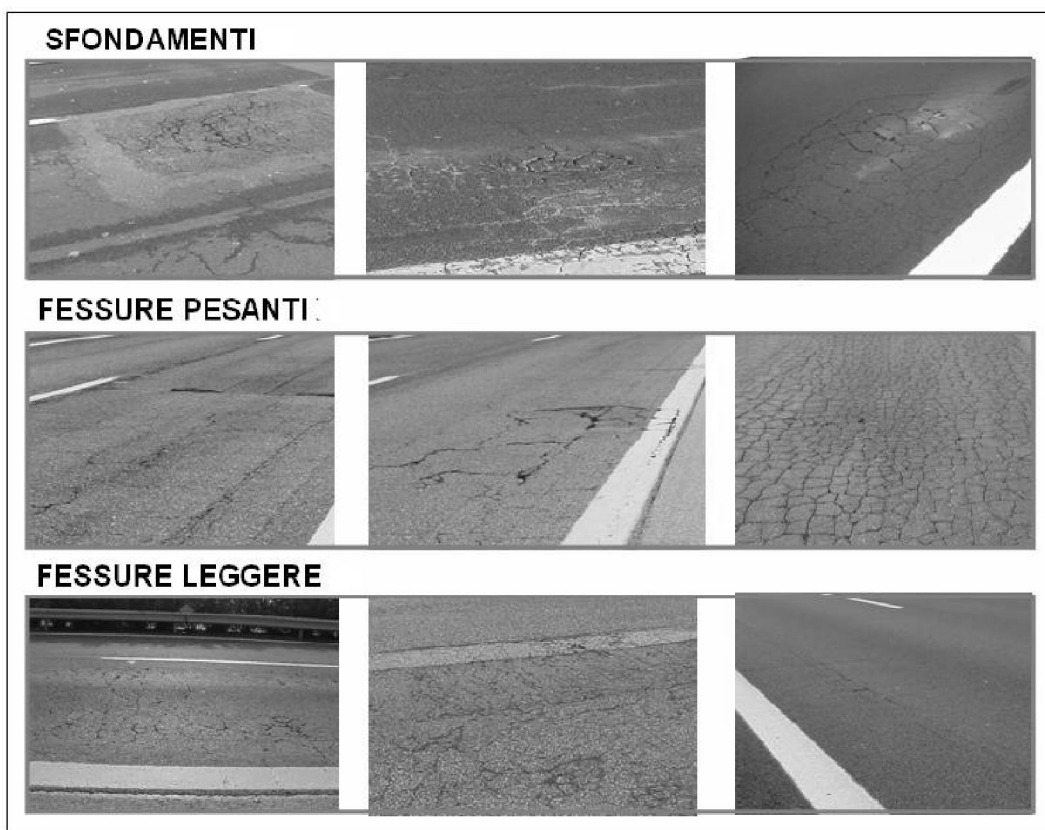


Fig. 4.2 Fessure pavimentazioni “Linee Guida ANAS”

L’impiego del bitume “tal quale” senza aggiunta di modifiche, comporterebbe una forte riduzione della vita utile della pavimentazione di almeno il 30%, rispetto a quanto riportato negli schemi RPi, l’impiego di bitume modificato è particolarmente importante negli strati di base.

Nel caso in cui non si abbiano i valori di portanza della pavimentazione, avvalendosi della tab. in funzione del degrado riscontrato, si sceglie l’intervento idoneo per il ripristino della sovrastruttura.

Indicazioni operative per il progetto:

In mancanza di misure di portanza con conseguente individuazione di tratti omogenei, la scelta del tipo di intervento si fa individuando il tratto degradato e poi:

- se prevalgono gli **sfondamenti** per più del 45% → RPi
- se prevalgono le **fessure pesanti** per più del 45% → RS1
- se prevalgono le **fessure leggere** per più del 45 % → RS2

Lo **sfondamento** è evidenziato dalla risalita di limo; le **fessure pesanti** sono accompagnate da sconfigurazioni del piano viabile; le **fessure leggere** non hanno sconfigurazioni del piano viabile.

Combinazioni diverse dei tre tipi di degrado vanno valutate di volta in volta; se quelli dello stesso tipo sono concentrati e continui la scelta è agevole; con degradi diversi distribuiti a macchia di leopardo, la scelta sarà dettata da motivi di disponibilità economica.

Comunque negli interventi di tipo RS gli sfondamenti localizzati vanno trattati separatamente prima dell'intervento corrente bonificando i sottofondi con materiale granulare non legato o con materiale fresato.

Fig. 4.3 Indicazioni operative "Linee Guida ANAS"

Cosa propone l'ANAS

I risanamenti profondi comportano una completa demolizione della pavimentazione esistente, con parziale o totale riutilizzo dei materiali rimossi. Tali interventi sono previsti dove la pavimentazione si presenta particolarmente ammalorata e dove si vogliono garantire durate elevate in funzione del traffico effettivamente circolante. Esistono tre categorie di risanamenti profondi a seconda del traffico (TGM); ognuna di esse è suddivisa a sua volta in tre tipologie a seconda dei materiali usati, tutte di durata equivalente; la scelta dei materiali e della tecnica conseguente dipenderà dalle condizioni locali (impianti, cave, disponibilità di materiali, pavimentazione esistente). Ricordiamo comunque che per la realizzazione delle fondazioni le tecniche più affidabili sono quelle connesse ai riciclaggi a freddo, essendo i risultati con il misto cementato più variabili con le condizioni del cantiere di fabbricazione.

La decisione di effettuare i risanamenti profondi dipende dalla diffusione degli sfondamenti nei singoli tratti stradali; è anche necessario effettuare

alcuni sondaggi. Gli sfondamenti svengono individuati con criteri visuali; l'uso di misure di portanza viene effettuato nei casi di non chiara definizione.

Nelle tipologie di pavimentazioni proposte, per gli RP le fondazioni sono realizzate mediante riciclaggio a freddo, con bitume schiumato, della fondazione esistente, (con aggiunta di cemento per le resistenze iniziali) o, in alternativa, mediante la realizzazione di uno strato in misto cementato. In tal caso aumentano gli oneri per la rimozione degli strati esistenti ed i tempi di realizzazione dell'opera, dovendo attendere il livello minimo di maturazione prima di realizzare gli strati superiori; questa soluzione va quindi adottata solo quando le caratteristiche dei materiali in sito si prestano alla schiumatura e richiedono quindi una rimozione. Gli strati in conglomerato bituminosi sovrastanti prevedono sempre l'impiego a caldo di bitumi modificati con elastomeri ed un parziale utilizzo di materiale riciclato, oppure l'impiego di emulsioni bituminose con materiale riciclato fino al 100% mescolati a freddo.

Misure di portanza

La scelta del metodo di valutazione scaturisce dall'esame oggettivo di complesse e contingenti situazioni quali, ad esempio, la disponibilità della pavimentazione per un tempo più o meno lungo o dal grado di accuratezza richiesto.

I metodi per effettuare queste misurazioni possono essere di tipo diretto o indiretto e, in dipendenza delle prove utilizzate, distruttivi o non distruttivi.

- Diretti: fanno ricorso a prove di carico eseguite direttamente sulla pavimentazione per mezzo di piastre opportunamente caricate. Queste possono essere a deformazione o a rottura. Sono a deformazione quando si limitano ad individuare i valori dei carichi in corrispondenza di prestabiliti cedimenti da essi provocati nella struttura in esame. In questo caso il metodo è non distruttivo in quanto la prova stessa non richiede di norma saggi preventivi. Le prove sono a rottura quando vengono spinte fino al collasso della struttura allo scopo di individuare il corrispondente carico di rottura.
- Indiretti: pervengono invece dalla determinazione delle qualità portanti o partendo dalle sue caratteristiche fisiche o per mezzo di prove che non hanno un diretto rapporto con la portanza stessa. Nel primo caso, i metodi sono distruttivi in quanto esigono l'esecuzione di rilevamenti e saggi per l'accertamento degli spessori ed il prelevamento di campioni di materiali impiegati e delle terre di sottofondo da sottoporre ad esami e controlli. Nell'altro caso la valutazione si esegue sulla base del comportamento della pavimentazione quando questa viene sottoposta a particolari sollecitazioni quali le vibrazioni, gli urti o gli ultrasuoni.

La metodologia di indagine impiegata dovrà comunque fornire parametri di controllo identici, o comunque direttamente confrontabili con quelli utilizzati nel calcolo della pavimentazione. A tale scopo sono ammesse sia prove puntuali (prove di carico con piastra o misure di deflessione), sia prove ad alto rendimento. A tale scopo sono ammesse sia prove puntuali (prove di carico con piastra o misure di deflessione), sia prove ad alto rendimento.

Determinazione dei moduli di deformazione mediante prove di carico con piastra circolare (CNR, B. U. n° 146/92).

Tramite la prova è possibile determinare il modulo elastico statico, il modulo di deformazione risultante (sottofondo e fondazione), nonché il grado di costipamento dell'ammasso (fig. 4.4).

I cedimenti vengono letti attraverso trasduttori di spostamento disposti solitamente in numero di 3 a 120°. Dalle letture effettuate in situ viene ricavato il diagramma carico-cedimento del terreno oggetto di prova e si ricavano le seguenti grandezze caratteristiche:

- Modulo di reazione;
- Cedimento in corrispondenza del carico massimo;
- Modulo di deformazione o compressibilità.

Il modulo di compressibilità M_e [MPa] si determina secondo la norma svizzera VSS-SNN670317 – CNR, B.U. 146 del 14/12/1992, la quale fornisce la seguente relazione:

$$M_e = f_o \cdot D \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s}$$

dove:

f_o = fattore di forma della piastra (pari ad 1 per piastra circolare);

D = diametro della piastra;

Δp = incremento di carico trasmesso dalla piastra al terreno;

Δs = cedimento della superficie caricata.

In base alla norma CNR 146/92, il modulo di deformazione viene determinato nell'intervallo di carico compreso tra 0.15 e 0.25 MPa.

Il modulo di reazione sottogrado, K_s [KN/m^3], è determinato mediante l'espressione seguente:

$$K_s = \frac{\Delta p}{\Delta s}$$

dove:

Δp = incremento di carico trasmesso dalla piastra al terreno, pari a 0.7 MPa;

Δs = cedimento della superficie caricata, corrispondente al carico di 0,7 MPa.

Determinazione della deflessione mediante il defletto metro Benkelmann (CNR B.U. n° 141/92)

Permette di determinare le deflessioni di un punto direttamente soggetto al carico, di una sovrastruttura flessibile o di un sottofondo. La deflessione non è altro che la deformazione verticale temporanea della superficie per effetto dell'applicazione del carico. L'apparecchiatura è costituita da due travi, una fissa ed una mobile collegate da una cerniera. Ad un'estremità della trave mobile è collegato un pattino in gomma appoggiato sulla pavimentazione, all'altra un comparatore, sul quale si leggono gli spostamenti amplificati. La restituzione della prova comprende la determinazione del bacino di deflessione cui è soggetta la superficie oggetto di prova. Modulo elastico dinamico può ricavarsi o mediante una prova triassiale dinamica su un provino, con cicli continui di carico e scarico oppure mediante il defletto metro a massa battente FWD. E' quindi possibile mettere in relazione il modulo elastico dinamico con il modulo di deformazione, ricavato con le prove di carico su piastra; utilizzando la relazione:

$$M_e = 1.9 B 2.1 E_{din}$$



Fig. 4.4 Prova con piastra

Falling Weight Deflectometer (FWD)

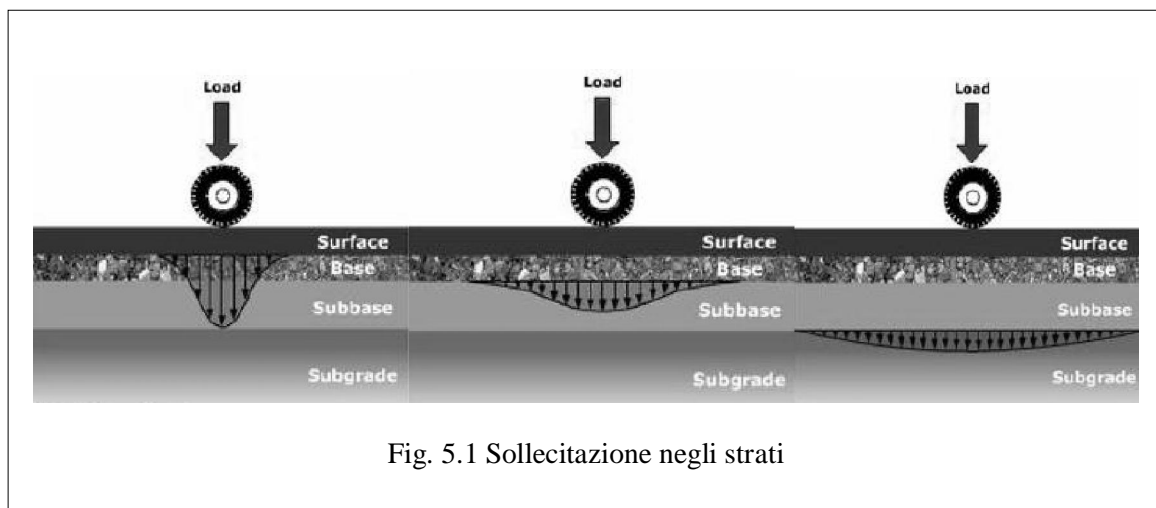
E' il mezzo più utilizzato per risalire ai moduli di deformazione dei vari strati costituenti il pacchetto stradale; non è altro che un defletto metro a massa battente di tipo leggero di 50-350 kg (HWD è invece con massa battente di 200-700 kg) montato su carrelli rimorchiati da un veicolo. Il carico viene prodotto con la massa battente che viene sollevata e lasciata cadere da un'altezza variabile fra 2 e 40 cm e trasmesso al terreno tramite una piastra circolare. Quindi grazie alla presenza di 7 sensori montato su una barra che poggia sulla pavimentazione, viene misurato l'abbassamento della superficie. Per ogni prova, in ogni punto, vengono eseguite un numero pari a 3 battute, i dati vengono acquisiti da un elaboratore posto all'interno della vettura di traino.



Fig. 4.5 FWD

5. Metodo razionale

I metodi razionali studiano il comportamento tenso-deformativo della sovrastruttura conoscendo le caratteristiche meccaniche dei materiali di ciascuno strato, ai quali viene assegnato il modulo elastico (E), e il coefficiente di Poisson (ν). La sovrastruttura viene rappresentata come un multistrato elastico, appoggiato su un semispazio elastico, sottofondo o rilevato. Esistono diversi modelli numerici come (BISAR, ECOROUTE, etc) che permettono di calcolare tensioni, deformazioni e spostamenti di un punto qualsiasi di un multistrato elastico, soggetto a carichi circolari in superficie.



I carichi sono considerati circolari e possono essere una o più ruote posizionate a piacere. Attribuiti gli spessori ed i parametri elastici si possono identificare i punti notevoli all'interno del pacchetto per i quali richiedere le (sforzi) e le (deformazioni) lungo x,y,z.

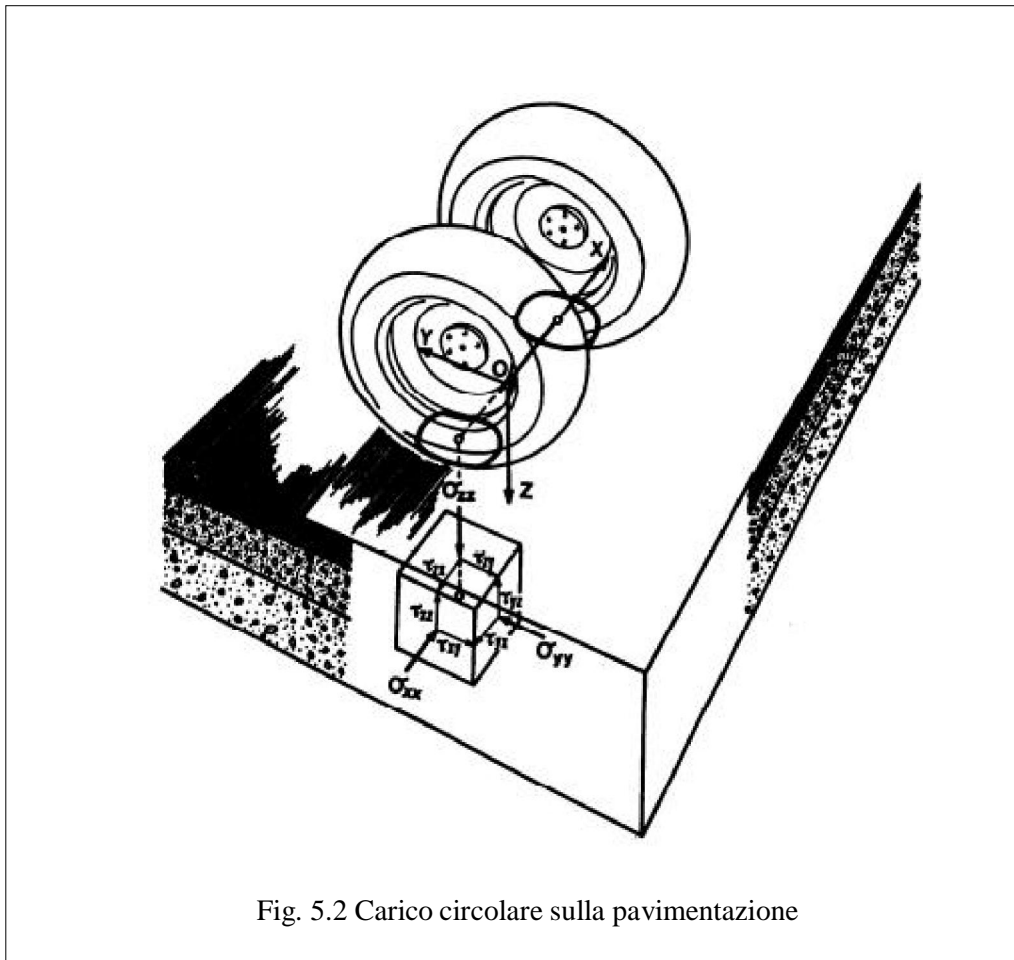


Fig. 5.2 Carico circolare sulla pavimentazione

Le ipotesi di tale metodo sono semplificative e sono un limite per il metodo stesso:

- gli strati si estendono all'infinito in direzione orizzontale;
- lo strato inferiore è un semispazio indefinito;
- isotropia del materiale;
- sollecitazione e conseguente distribuzione delle tensioni uniformi su area circolare;
- equilibrio delle tensioni in direzione verticale, congruenza delle deformazioni orizzontali all'interfaccia tra gli strati, cioè non si hanno scorrimenti relativi;
- non si considera la reologia visco-elasto-plastica dei conglomerati bituminosi.

Procedura di calcolo:

Una volta definita la composizione del multistrato e dimensionati gli spessori della sovrastruttura stradale, si procede ad un calcolo statico di prima verifica dello stato tensionale e deformativo sotto determinate condizioni di carico, per valutare le prestazioni della sovrastruttura ed eventualmente adeguarne gli spessori. Si determina quindi il numero massimo di ripetizioni ammissibili attraverso l'utilizzo delle leggi di fatica caratteristiche per il sottofondo e per gli strati in conglomerato bituminoso. Le leggi di fatica per i conglomerati bituminosi hanno tutte la medesima forma generalizzabile come segue:

$$N = K_1 \cdot \varepsilon^{-K_2} \cdot E^{K_3}$$

Dove:

K_1, K_2, K_3 : sono valori di calibrazione

ε : sono le deformazioni nello strato considerato

E : è il modulo elastico nello strato considerato

5.1 Metodi razionali per la determinazione della vita utile delle pavimentazioni flessibili e semirigide usate dall' ANAS

Il calcolo della pavimentazione, basata su metodi razionali, parte dalla schematizzazione della pavimentazione stessa in un modello matematico in grado di riprodurre il comportamento reale, in termini di tensioni e deformazioni, sotto l'effetto delle diverse condizioni ambientali e di traffico. Attraverso l'impiego di curve di fatica dei materiali utilizzati, che impiegano proprio le tensioni o le deformazioni calcolate, viene poi valutata la vita utile della pavimentazione. Le curve di fatica che esprimono il numero di ripetizioni di un assegnato carico, riportato al numero di passaggi di un asse di riferimento, in grado di portare a rottura il materiale esaminato, sono state definite utilizzando dati di letteratura e tarandole con il catalogo delle pavimentazioni italiane come di seguito specificato, ma saranno opportunamente riverificate alla base di prove ed esperienze che verranno acquisite con le nuove attrezzature semplificate per la misura comparata della fatica. Si farà riferimento ad una curva di materiale tradizionale legato a bitume modificato (curva CSS) i cui risultati verranno comparati a quelli dei diversi materiali. In futuro queste prove potranno essere fatte in fase progettuale e nei cantieri di produzioni dati i costi contenuti e la facilità di utilizzo delle macchine di prove. Non entrando nello specifico dei modelli che definiscono il comportamento a fatica dei materiali stradali impiegati, si assume che le curve siano esprimibili attraverso l'espressione:

$$\varepsilon = K \cdot (N/10^6)^{-1/a}$$

dove ε rappresenta la deformazione tangenziale alla base del conglomerato bituminoso a alla base dello strato misto cementato o schiumato (in particolare per i conglomerati bituminosi si utilizza la relazione $\sigma - N$ in quanto la relazione $\sigma - N$, dove σ indica la tensione, è dipendente dalla particolare condizione di prova, temperatura e condizioni di applicazione del carico), N rappresenta il numero di passaggi sopportabili, K ed a sono delle

costanti dipendenti dal materiale impiegato, in particolare K rappresenta la deformazione per un singolo passaggio.

Tale espressione consente di determinare la vita utile o la vita residua legata al raggiungimento di assegnati livelli di ammaloramento superficiale o livelli di servizio della strada tipo PSI.

La curva di fatica proposta può anche essere utilizzata impiegando la deformazione verticale ϵ_v , sulla fondazione sottofondo al fine di determinare la vita utile legata al raggiungimento di assegnati livelli di ormaiamento che sono appunto dipendenti dalle deformazioni plastiche della fondazione/sottofondo, oltre che del conglomerato bituminoso. Nel metodo razionale di calcolo proposto la pavimentazione viene schematizzata con un modello composto dalla sovrapposizione di strati omogenei ed isotropi (collaboranti o meno) aventi comportamento elastico lineare e da uno strato indefinito (sottofondo); tutti gli strati sono caratterizzati da un valore di modulo elastico E ed un coefficiente di Poisson ν . I carichi vengono omogeneizzati in numero di passaggi di assi equivalenti, mentre, per considerare le escursioni termiche stagionali si considerano 4 stagioni, di durata equivalente tra loro, assumendo che le temperature medie del conglomerato siano costanti in tali periodi. Utilizzando le leggi di fatica sopra descritte, viene calcolato il numero di passaggi di assi equivalenti che in ciascuna stagione (i) porta a rottura la pavimentazione per fatica ($N_{fatica\ i}$) o per ormaiamento ($N_{ormaiamento\ i}$), prendendo il valore più piccolo (N_i) tra i due. Per ogni stagione viene calcolato il danno cumulato pari a n_i/N_i , dove n_i rappresenta il numero di passaggi effettivo di assi equivalenti transitati nella stagione i -esima, quando la sommatoria del danno cumulato risulterà pari ad 1 la pavimentazione avrà teoricamente raggiunto il termine della sua vita utile, in tali ipotesi si assume valida la legge di Miner o che il danno è linearmente cumulabile. Il processo di calcolo è descritto nello schema seguente:

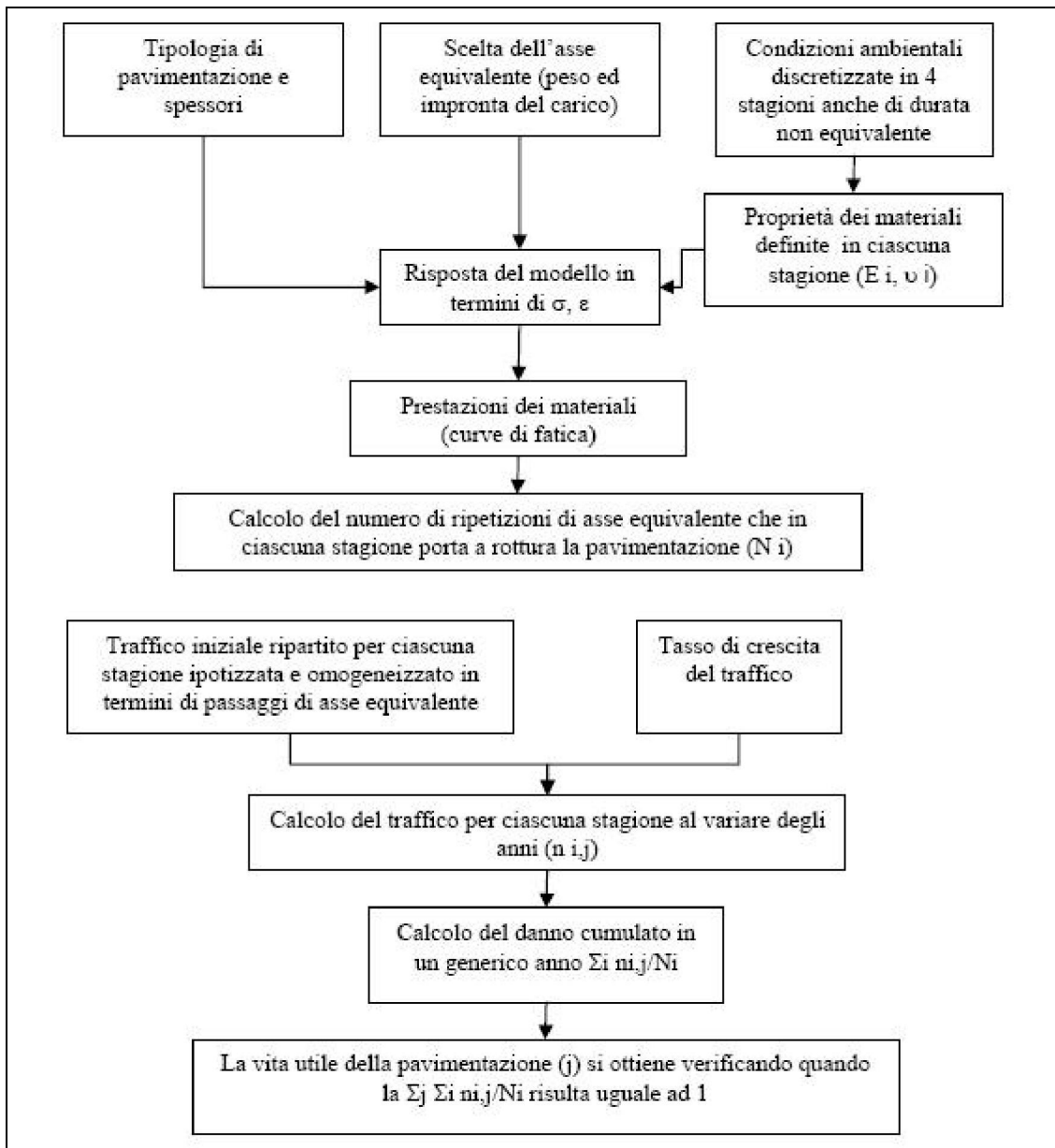


Fig. 5.3 Schema calcolo pavimentazioni

Per poter verificare e tarare il modello si è applicato il modello stesso al calcolo delle pavimentazioni proposte nel catalogo delle pavimentazioni stradali, dividendo la verifica per le diverse tipologie di strada, di pavimentazione e di livello di traffico. Lo studio ha quindi definito un metodo che fornisce la vita utile di una qualsiasi pavimentazione attraverso l'utilizzo dei risultati di prove sperimentali di laboratorio in grado di saggiare il comportamento a rottura per fatica delle diverse tipologie di

materiali o miscele che si intendono impiegare. I risultati sono stati espressi in passaggi di assi da 12 t che in base ai rilievi di composizione di traffico medi corrispondono ad un veicolo merci (3t) ogni 0.4 assi di riferimento (12t). Le durate così individuate sono riportate nelle soluzioni delle linee guida, ma per comprenderle ed utilizzarle al meglio nelle progettazioni è necessario avere un'idea delle durate in termini di anni. I numeri riportati nel seguito esprimono ordini di grandezza e non dati certi, ma servono per le decisioni di cui si parla; i dati di composizione del traffico che hanno portato a queste valutazioni sono indicati nel puto A.2

6- Vita utile della pavimentazione

Il calcolo della vita utile di una pavimentazione stradale, cioè il periodo di tempo oltre al quale i degni subiti dalla sovrastruttura rendono necessario il rifacimento, è un calcolo abbastanza complesso dato dal grande numero di variabili. La vita utile è il risultato di un procedimento di ottimizzazione variabile a seconda degli obiettivi che si vogliono perseguire: o vita utile perpetua con elevatissimi costi iniziali e costi di manutenzione praticamente nulli; o vita utile più limitata con costi iniziali più ragionevoli e costi di manutenzione più elevati. A differenza dei calcoli strutturali gli effetti prodotti dal peso proprio della struttura sono trascurabili; ciò che invece influenza maggiormente sono: i carichi accidentali rappresentati dai veicoli, le condizioni climatiche ambientali e la presenza di più strati a contatto costituiti da materiali differenti.

Inoltre, un aspetto di particolare rilievo è il concetto di ripetitività dei carichi trasmessi che, a lungo termine, determinano la perdita di funzionalità e della regolarità superficiale. I metodi di calcolo e verifica delle pavimentazioni flessibili si suddividono in tre filoni principali:

- metodi teorici: oggi in disuso basati su leggi di diffusione dei carichi superficiali nella pavimentazione (Formula del Massachusetts)
- metodi semiempirici: derivanti da risultati sperimentali (AASHO Road Test)
- metodi razionali: basati sulla conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali ed esprimibili attraverso metodi matematici o numerici (Bisar).

Tramite i metodi razionali, partendo dalla schematizzazione della pavimentazione in un modello matematico di Boussinesq (materiale omogeneo, isotropo, a comportamento elastico con assegnati valori di E modulo elastico e di ν coefficiente di Poisson) si calcolano le tensioni e le deformazioni sotto l'effetto di condizioni di carico e ambientali differenti (Fig.6.1).

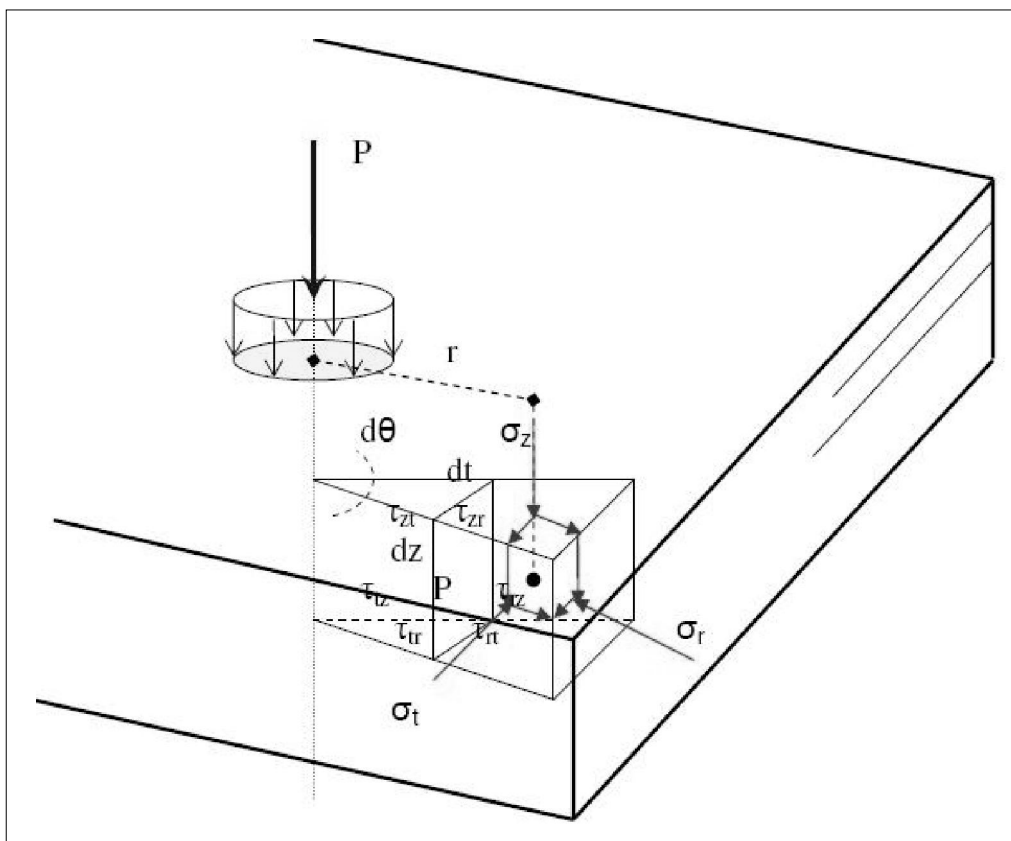


Fig. 6.1 Schematizzazione pavimentazione

Lo stato di tensione in qualsiasi punto P del complesso degli strati, di coordinate x, y, z , è individuato dalle sei componenti di tensione agenti sulle facce di un elementino delimitato dai piani paralleli a quelli del sistema di riferimento: $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}; \tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$.

Analogamente lo stato di deformazione è definito dalle componenti: $\epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{zz}; \gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$

In qualsiasi punto è possibile calcolare tutte le componenti di tensione e deformazione; ci si limita a considerare quei punti e quelle componenti di tensione e di deformazione che interessano ai fini della verifica della pavimentazione.

Per gli strati legati con bitume, dove il problema è quello della verifica a fatica, si determinano i massimi valori delle deformazioni, in particolar modo orizzontali, ai confini di ogni strato $\epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}$.

Per gli strati non legati o per quelli legati con leganti idraulici occorre

conoscere le sollecitazioni verticali σ_z alla base di ciascuno strato lungo le verticali passanti per il centro dell' area circolare di carico e per il punto di mezziera delle aree d'impronta di due ruote gemellate. Esse devono essere confrontate con la resistenza a rottura al fine di verificare che tali non provochino eccessive deformazioni plastiche del sottofondo. Infine per gli strati di fondazione legati a cemento, si devono valutare le sollecitazioni di trazione massime σ_{xx}, σ_{yy} .

6.1 Leggi di fatica

Una volta calcolate le deformazioni e le tensioni, è possibile attuare una valutazione della vita utile, questo a mezzo delle curve di fatica che esprimono il numero di ripetizioni di un assegnato carico in grado di portare a rottura il materiale.

Tali curve sono molteplici, vengono definite da dati di letteratura in funzione del tipo di materiale e in funzione dei dati sperimentali da cui sono ricavate; è quindi ovvio che la scelta del tipo di curva da utilizzare influisca in modo diretto sui risultati ottenibili.

L'affidabilità della progettazione allora è legata alla conoscenza preventiva dei materiali impiegati ed alla possibilità di caratterizzarli tramite prove di laboratorio. Esistono però notevoli differenze tra i risultati ottenuti in laboratorio con prove a fatica e le verifiche sperimentali su pavimentazioni reali, quindi restano numerose incertezze. Ad esempio in laboratorio i carichi dinamici sono applicati in modo continuo con periodi di "riposo" costanti e piuttosto brevi; invece nelle reali condizioni di traffico, le pavimentazioni subiscono carichi con intervalli di applicazione molto variabili che consentono alla pavimentazione di "recuperare" il danno dando luogo al così detto fenomeno di healing del materiale. Inoltre la rottura dei provini nei test di laboratorio avviene abbastanza rapidamente, a seguito della nascita della frattura il provino tende al collasso. In situazioni reali il fenomeno di nascita e diffusione della frattura con conseguente rottura della pavimentazione è sensibilmente più lento. Infine i carichi applicati in laboratorio non risultano mai identici a quelli rilevati in sito. Dopo il passaggio dei carichi mobili negli strati superficiali della pavimentazione possono rimanere delle tensioni

residuali. queste tensioni tendono a diminuire con il passare del tempo. In laboratorio invece, le tensioni residuali si sommano ed il loro valore assoluto può diventare non più trascurabile rispetto a quanto avviene nelle situazioni reali.

Pertanto le curve di fatica ottenute sperimentalmente, sono modificate per mezzo di fattori correttivi che variano a seconda degli enti ed istituti di ricerca. Tra questi si citano: l'Asphalt Institute (AI, 1981), i laboratori di ricerca della Shell International Petroleum (Shell, 1978; Shook et al. 1982), l'Università della California – Berkeley (Finn, 1973; Finn et al. 1973; Craus et al. 1984), l'esercito degli Stati Uniti U.S.Army (Department of Defense, 1988), l'Università di Nottingham (Brunton et al. 1987) e la Società Autostrade (Giannini e Camomilla, 1978). Nella tabella 6.1 sono riportati i parametri dei principali modelli da inserire nella legge costitutiva :

$$N = K_1 \cdot \varepsilon^{-K_2} \cdot E^{K_3}$$

Modello	k₁	k₂	k₃	Rif.
Asphalt Institute (AI)	0.0796	3.291	0.854	Asphalt Institute (1981)
Shell	0.0685	5.671	2.363	Shell (1978), Shook et al. (1982)
Belgian Road Research Center	4.92×10^{-14}	4.76	0	Verstraeten et al. (1984)
UC-Berkeley - Asphalt Institute (AI) modificato	0.0636	3.291	0.854	Craus et al. (1984)
TRRL	1.66×10^{-10}	4.32	0	Powell et al. (1984)
Illinois	5×10^{-6}	3.0	0	Thompson (1987)
US Army	478.63	5.0	2.66	Department of Defense (1988)
Minnesota	2.83×10^{-6}	3.21	0	Timm et al. (1998)
Modello Indiano	0.1001	3.565	1.4747	Das e Pendey (1999)
Autostrade	1.467×10^{-10}	4.2735	0	Giannini e Camomilla (1978)

Tabella 6.1

Occorre sottolineare come, per la determinazione delle suddette leggi, gli autori si siano basati su criteri di rottura differenti, così come differenti sono stati i materiali impiegati e le procedure utilizzate per testare a fatica gli stessi.

In fig. 6.2 si illustrano in forma grafica alcune delle curve riportate in tabella al variare dei parametri correttivi prendendo a riferimento un valore del modulo di rigidezza pari a 4500 MPa

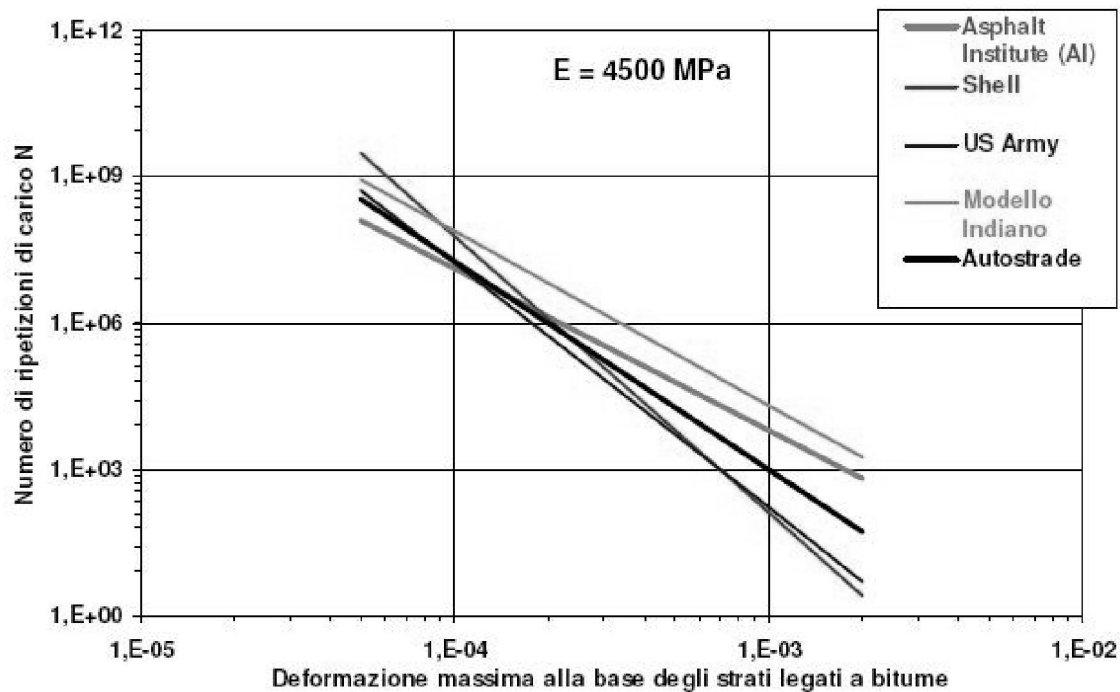


Fig. 6.2 Rappresentazione delle curve a fatica al variare dei parametri correttivi

Nel nostro caso sono state assunte le seguenti formulazioni:

- per i conglomerati bituminosi la legge lega il numero di passaggi con le deformazioni orizzontali

$$\varepsilon_0 = A \cdot N^\alpha$$

ε_0 è la massima deformazione orizzontale;

N rappresenta il numero di ripetizioni di carico;

A è un fattore sperimentale che dipende dalla composizione della miscela e dalle caratteristiche del bitume ($16 \cdot 10^{-4} - 68,1 \cdot 10^{-4}$);

è una costante sperimentale, funzione della temperatura e della frequenza di carico ed è detto fattore di pendenza (0.285 – 0.21)

Prendendo come valori quelli applicati da AASHTO $A = 0.017 \cdot N^{-0.25}$ si ricava

$$\epsilon_N = 0.017 \cdot N^{-0.25}$$

- Per il sottofondo si fanno generalmente due verifiche: una per gli stati tensionali e una agli stati deformativi:

$$\sigma_z = K_1 \cdot E / (1 + K_2 \cdot \log N)$$

σ_z massima sollecitazione verticale;

K_1 coefficiente sperimentale (0.006 – 0.008);

K_2 coefficiente sperimentale (0.7)

E modulo di elasticità dinamico del sottofondo;

N numero di ripetizioni di carico;

E la formula:

$$\epsilon_r = (k \cdot N)^{-\alpha}$$

ϵ_r deformazione verticale

coefficiente sperimentale (0.28- 0.21)

k coefficiente sperimentale (0.011-0.028)

N numero di ripetizioni di carico

A questo punto per ogni stagione si confrontano i risultati ottenuti, con le ipotesi base prese al momento della progettazione (prescrizioni ANAS):

-TGM pari a 15000 da dividere per i due sensi di marcia

-TGM pesante (pari al 20% del totale)

- Tasso di crescita annuo pari al 2,5%

-Traffico sulla corsia più caricata pari a 0.95

-Durata prevista della pavimentazione di 20 anni

-Assi da 12 t sulla corsia più caricata pari a $5 \cdot 10^6$

Nel nostro caso vengono considerati dei moduli di rigidezza riferiti a valori di temperature medie tipiche primaverili.

7- Calcolo con software BISAR

Modelli numerici tipo Bisar permettono di calcolare, tensioni dilatazioni e spostamenti di un punto qualsiasi di un multistrato elastico soggetto a carichi circolari di superficie. Il pacchetto della sovrastruttura stradale viene schematizzata come un multistrato appoggiato su un semispazio elastico (sottofondo). Definita la composizione del multistrato e dimensionati gli spessori della sovrastruttura stradale, si procede ad un calcolo statico di prima verifica dello stato tensionale e deformativo sotto determinate condizioni di carico, per valutare le prestazioni della sovrastruttura ed eventualmente adeguarne gli spessori. Si determina quindi il numero massimo di ripetizioni ammissibili attraverso l'utilizzo delle leggi di fatica caratteristiche per il sottofondo e per gli strati in conglomerato bituminoso.

Per ricavare le ε e le τ cioè le deformazioni e le tensioni nei punti prestabiliti, ci si avvale di Bisar; questo programma fa parte di un pacchetto della Shell che è composto di tre programmi principali: Bands, Bisar e Spdm. Essi, noti i parametri delle prove classiche di laboratorio (prova di penetrazione, palla anello, indice di penetrazione, percentuale di legante e di aggregati, ecc), permettono di valutare le caratteristiche dei materiali in opera e della sovrastruttura.

Il primo programma, rappresentato da BANDS, contiene gli strumenti di valutazione delle proprietà relative al legante bituminoso e della miscela asfaltica.

Il programma SPDM 3.0 contiene i modelli di calcolo per il progetto dello spessore dello strato d'asfalto, dei calcoli dell'ormaiamento (rutting) e del rafforzamento (overlay).

Infine BISAR, sul quale ci concentreremo, è in grado di calcolare le tensioni, le deformazioni e le deflessioni; e inoltre può valutare le forze orizzontali e lo slittamento fra gli strati della pavimentazione (full fiction between layers).

Questo offre la possibilità di calcolare profili completi di sforzo e di deformazione dell'intera struttura. Le sollecitazioni, le deformazioni e gli

spostamenti sono calcolati in un sistema multistrato elastico definito attraverso la seguente configurazione e comportamento del materiale:

- a) il sistema consiste in strati orizzontali di spessore uniforme che si posano su una base semi-infinita o semispazio cioè il sottofondo;
- b) gli strati si estendono infinitamente in direzione orizzontale;
- c) il materiale di ogni strato è omogeneo ed isotropo;
- d) i materiali sono elastici ed hanno un rapporto lineare di tensione-deformazione.

Quando il sistema è caricato da uno o più carichi circolari, con una distribuzione di tensione uniforme sull'area di contatto; il programma calcola l'effetto delle tensioni verticali e orizzontali e valuta l'effetto dello slittamento fra gli strati attraverso la rigidità elastica tangenziale (shear spring compliance). L'effetto dell'azione simultanea di vari carichi è la somma dovuta all'azione di ciascun carico separato. Il centro dei carichi e le posizioni di cui vogliamo sapere sforzi, e deformazioni e spostamenti sono dati in un sistema di coordinate cartesiane fisso il cui centro lo prendiamo coincidente con l'asse di simmetria dell'asse delle ruote.

Nel nostro caso per quanto riguarda i carichi, è stato considerato un valore di carico per l'asse standard di 120 KN; quindi un carico sulla singola coppia di ruote gemellate pari a 60 KN e su ogni ruota pari a 30 KN; e una pressione di gonfiaggio di 0,75 MPa.

Si assumono i carichi di traffico agenti sulla pavimentazione solo quelli verticali trasmessi dalle ruote dei veicoli, che si ritengono uniformemente distribuiti su superfici circolari equivalenti, con pressione pari a quella di gonfiaggio dei pneumatici. In fig. 7.1 viene rappresentata la schematizzazione del pacchetto stradale.

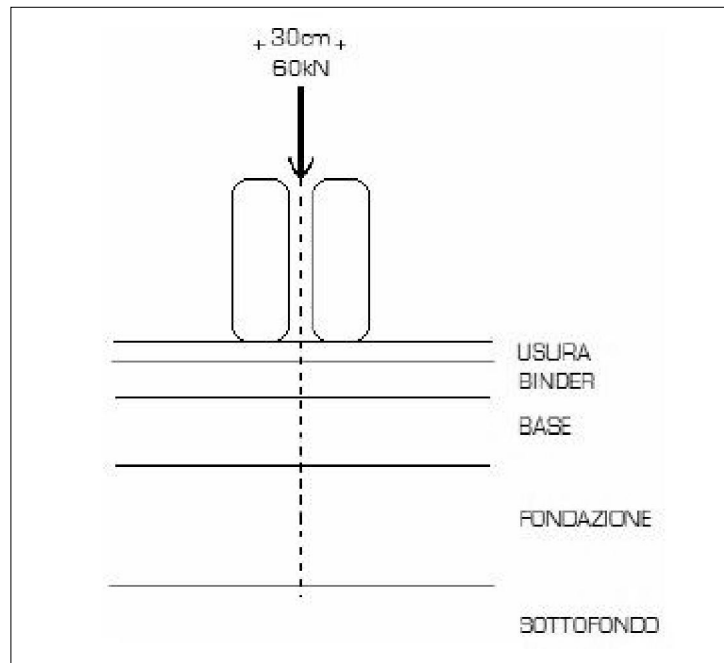


Fig. 7.1 Schematizzazione pavimentazione

Con la formula di Down è stato calcolato il raggio dell' area d' impronta s (fig. 7.2)

Cioè: $P = s^2 \pi$

Da cui si ricava: $s=35,7$ cm

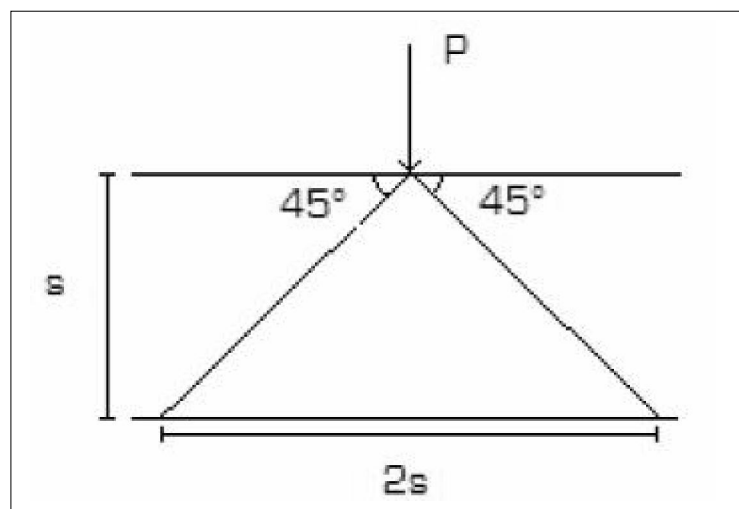


Fig. 7.2 Raggio area d'impronta

Andremo a fare un confronto tra i pacchetti stradali di risanamento profondo proposti dall' ANAS e il calcolo degli stessi pacchetti calcolati con BISAR e andremo a confrontare lo spessore dei pacchetti.

7.1- Pavimentazione RPC1

Per la pavimentazione tipo RPC1 sono stati assunti i seguenti parametri caratteristici sintetizzati in Tab. 7.1

Pavimentazione tipo RPC1			
Asse standard 120 KN	Carico sulla coppia 60 KN		Carico sulla ruota singola 30 KN
Strato	Modulo MPa	Coefficiente di Poisson	Pressione di gonfiaggio $p=0,75$ MPa
Usura	3000	0,35	Forza agente $p=30$ KN
Binder	3500	0,35	Raggio area d'impronta $S=3,56$ cm
Base	4500	0,35	
Schiumato in C.B.	200	0,25	
Sottofondo	50	0,45	

Tabella 7.1 Valori caratteristici pavimentazione tipo RPC1

L'inserimento dei dati nel programma Bisar è avvenuto nel seguente modo:

1. Per quanto riguarda la scheda "Loads" (Fig.7.3) i carichi applicati "Load Number" sono due e sono riferiti alle due ruote, il valore di ognuno di essi "Vertical Load" è pari a 30 KN. "Radius" rappresenta il raggio dell' area d'impronta di ognuna delle ruota vale 35,7 cm. Il centro delle coordinate è stato preso in corrispondenza dell'asse di simmetria. I carichi orizzontali "Horizontal Load" con le rispettive direzioni di applicazione "Shear Direction" sono stati posti uguali a zero.

RPC1

Number of Systems (1-10): 1

System Description: RPC1

Use Standard Dual Wheel?

Mode of Load: 2 - Load and Radius

No of Circular Loads (1-10): 2

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	30,000	0,3570	0,0000	0,1500	0,000	0,0
2	30,000	0,3570	0,0000	-0,1500	0,000	0,0

Fig. 7.3 Scheda Loads

2. Nella scheda “Layers” (Fig.7.4) vanno inseriti numeri degli strati costituenti la pavimentazione “No of Layers” cioè 5 con i relativi spessori “Thickness”, moduli elastici e coefficienti di Poisson.

Number of Systems (1-10): 1

System Description: RPC1

Full Friction Between Layers?

No of Layers (1-10): 5

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,040	3,00E+03	0,35
2	0,050	3,50E+03	0,35
3	0,110	4,50E+03	0,35
4	0,200	2,00E+02	0,25
5		5,00E+01	0,45

Fig. 7.4 Scheda Layers

3. Nella scheda “Positions” (Fig.7.5) vengono inseriti tutti i punti e le coordinate in cui si vogliono calcolare i valori delle deformazioni; solitamente all’interfaccia di ogni strato sia in corrispondenza dell’asse di simmetria, sia in corrispondenza del centro dell’area d’impronta della singola ruota.

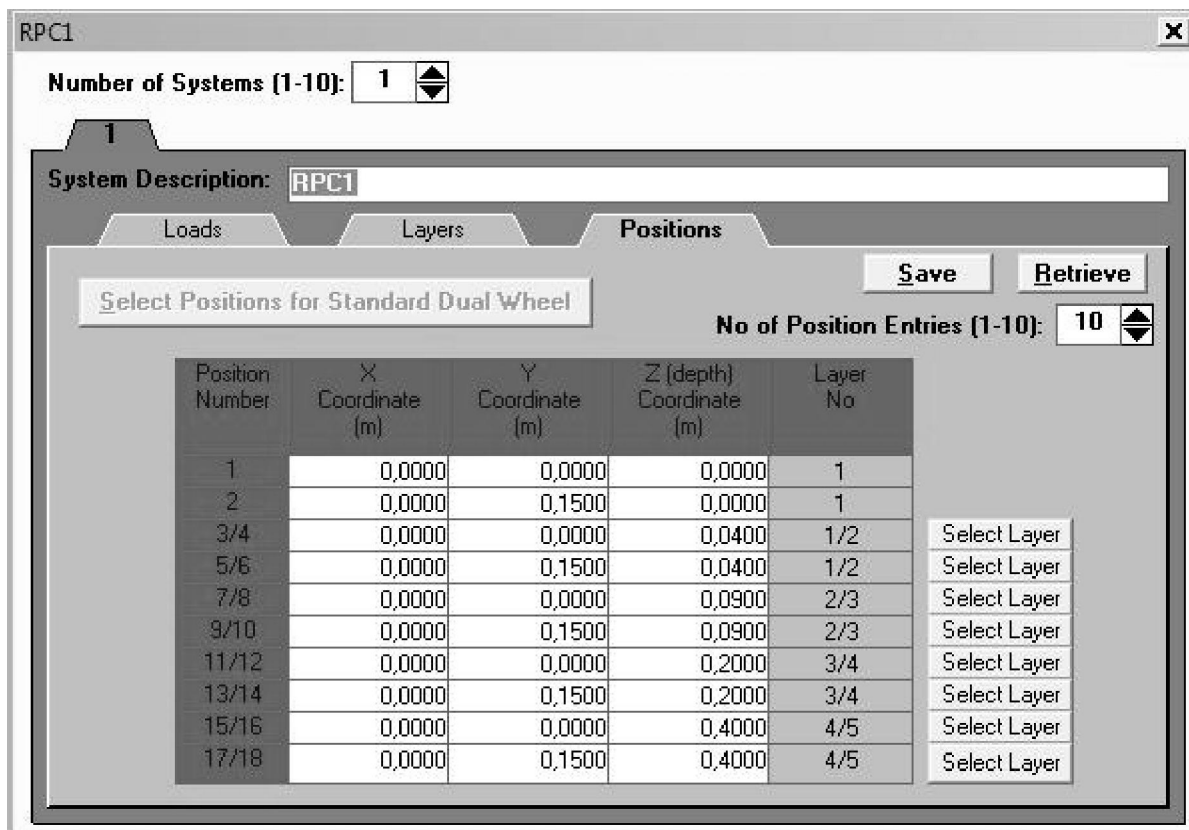


Fig. 7.5 Scheda Positions

A questo punto si fa girare il programma e si ottengono i risultati ricercati nei punti evidenziati in Fig. 7.6

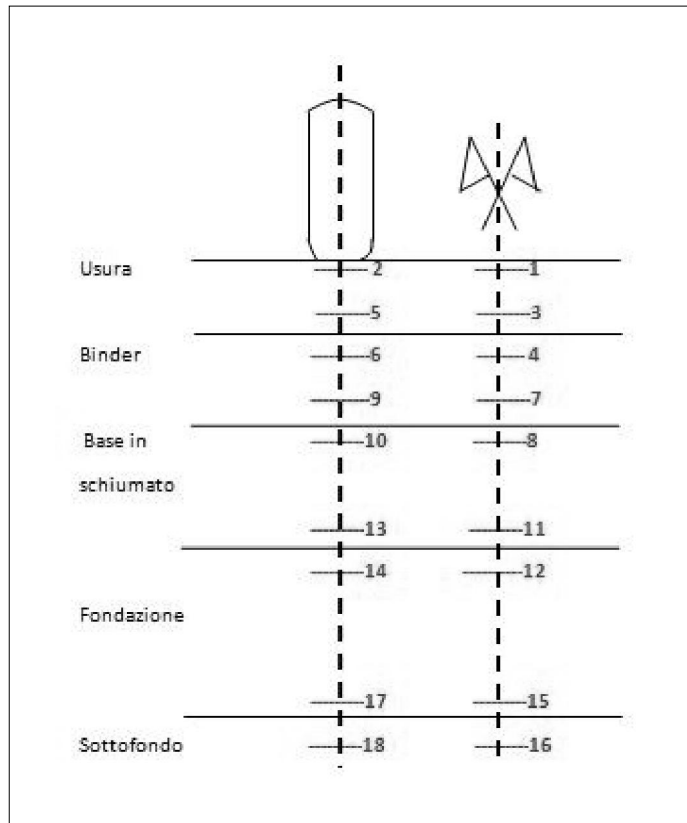


Fig. 7.6 Schematizzazione punti significativi

La deflessione massima in superficie, si ha un valore di $6,320E+02 \mu\text{m}$, corrispondente a circa 0,6 mm. Per quanto riguarda gli strati legati a bitume cioè usura, binder e base, per i punti 3,5,7,9,11,13 viene applicata la legge di fatica per ogni strato:

$$N=(0,017/\max \{ \epsilon_{xx3}, \epsilon_{yy3}, \epsilon_{xx5}, \epsilon_{yy5} \})^4 \quad \text{Strato di usura}$$

$$N=(0,017/\max \{ \epsilon_{xx7}, \epsilon_{yy7}, \epsilon_{xx9}, \epsilon_{yy9} \})^4 \quad \text{Strato di binder}$$

$$N=(0,017/\max \{ \epsilon_{xx11}, \epsilon_{yy11}, \epsilon_{xx13}, \epsilon_{yy13} \})^4 \quad \text{Strato di base}$$

In realtà lo strato che si prende come riferimento per verificare il numero massimo di passaggi di assi standard equivalenti è quello di base. Per quanto riguarda la fondazione in bitume schiumato premescolato vengono applicate le leggi di fatica:

$$N=(0,028/\max\{\varepsilon_{z12},\varepsilon_{z14},\varepsilon_{z15},\varepsilon_{z17}\})^4$$

$$N=\text{EXP}[(0,006 Eo/\max\{\sigma_{z12},\sigma_{z14},\sigma_{z15},\sigma_{z17}\}-1)/0,7]$$

Considerando un E= 200 MPa.

Infine per il sottofondo per i punti 16-18 vengono applicate le leggi di fatica:

$$N=(0,028/\max\{\varepsilon_{z16},\varepsilon_{z18}\})^4$$

$$N=\text{EXP}[(0,006 Eo/\max\{\sigma_{z16},\sigma_{z18}\}-1)/0,7]$$

Considerando un E=50 MPa.

7.2- Pavimentazione RPA1

Per la pavimentazione tipo RPA1 sono stati assunti i seguenti parametri caratteristici sintetizzati in Tab.

Pavimentazione tipo RPC1			
Asse standard 120 KN	Carico sulla coppia 60 KN		Carico sulla ruota singola 30 KN
Strato	Modulo MPa	Coefficiente di Poisson	Pressione di gonfiaggio $p=0,75$ MPa
Usura	3000	0,35	Forza agente $p=30$ KN
Binder	3500	0,35	Raggio area d'impronta $S=3,56$ cm
Base	4500	0,35	
Schiumato in C.B.	200	0,25	
Sottofondo	50	0,45	

Tabella 7.2 Valori caratteristici pavimentazione RPA1

L'inserimento dei dati nel programma Bisar è avvenuto nel seguente modo:

1. Per quanto riguarda la scheda "Loads" (Fig.) i carichi applicati "Load Number" sono due e sono riferiti alle due ruote, il valore di ognuno di essi "Vertical Load" è pari a 30 KN. "Radius" rappresenta il raggio dell'area d'impronta di ognuna delle ruote vale 35,7 cm. Il centro delle coordinate è stato preso in corrispondenza dell'asse di simmetria. I carichi orizzontali "Horizontal Load" con le rispettive direzioni di applicazione "Shear Direction" sono stati posti uguali a zero.

Number of Systems (1-10): 1

System Description: RPA1

Use Standard Dual Wheel?

Mode of Load: 2 - Load and Radius

No of Circular Loads (1-10): 2

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	30,000	0,3570	0,0000	0,1500	0,000	0,0
2	30,000	0,3570	0,0000	-0,1500	0,000	0,0

Fig. 7.7 Scheda Loads

2. Nella scheda “Layers” (Fig.) vanno inseriti numeri degli strati costituenti la pavimentazione “No of Layers” cioè 5 con i relativi spessori “Thickness”, moduli elastici e coefficienti di Poisson.

Number of Systems (1-10): 1

System Description: RPA1

Full Friction Between Layers?

No of Layers (1-10): 5

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,040	3,00E+03	0,35
2	0,050	3,50E+03	0,35
3	0,140	4,50E+03	0,35
4	0,250	2,00E+02	0,25
5		5,00E+01	0,45

Fig. 7.8 Scheda Layers

3. Nella scheda "Positions" (Fig.) vengono inseriti tutti i punti e le coordinate in cui si vogliono calcolare i valori delle deformazioni; solitamente all'interfaccia di ogni strato sia in corrispondenza dell'asse di simmetria, sia in corrispondenza del centro dell'area d'impronta della singola ruota.

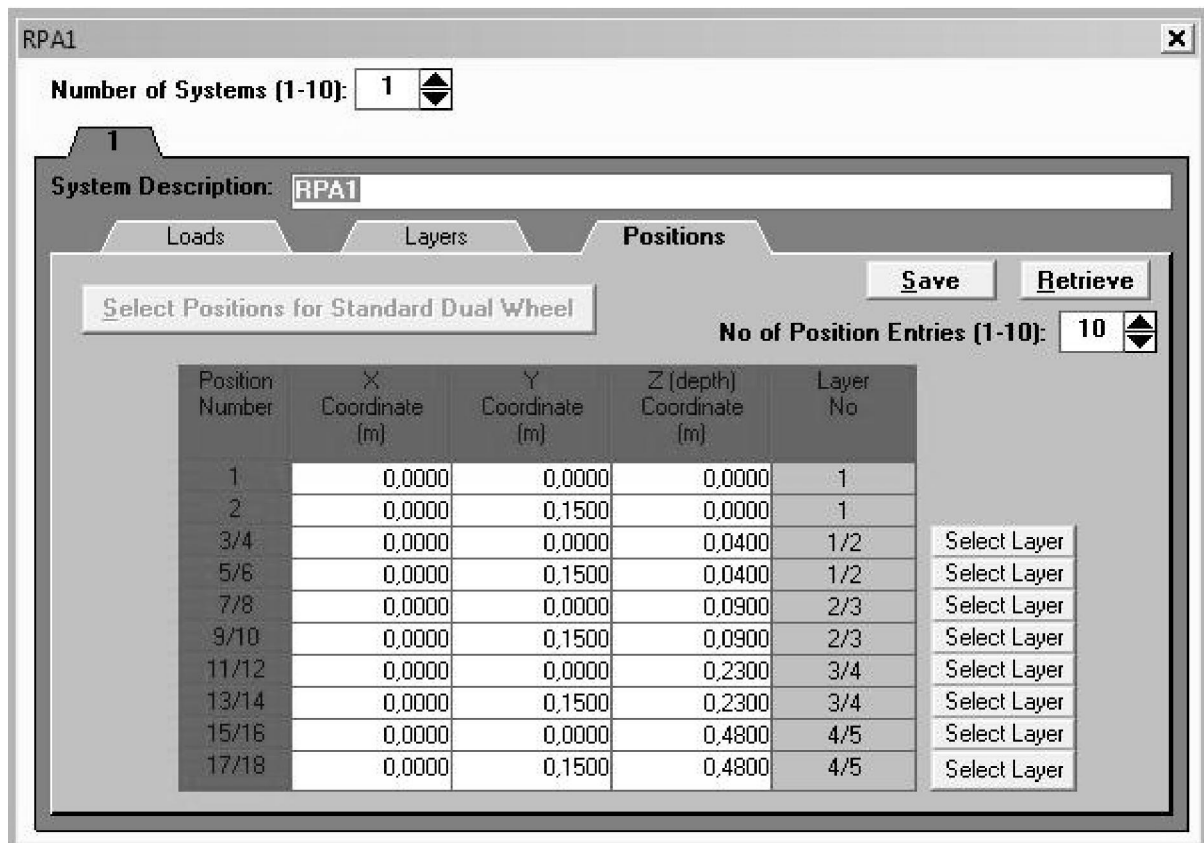


Fig. 7.8 Scheda Positions

A questo punto si fa girare il programma e si ottengono i risultati ricercati nei punti evidenziati in Fig. 7.9

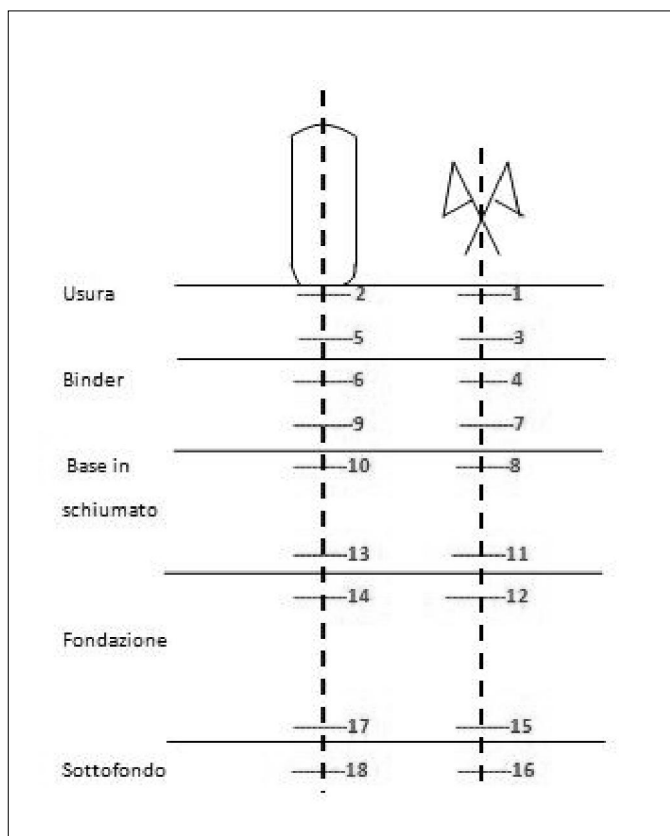


Fig. 7.9 Schematizzazione punti significativi

La deflessione massima in superficie, si ha un valore di 6.1 E-4 mm. Per quanto riguarda gli strati legati a bitume cioè usura, binder e base, per i punti 1,2,3,4 viene applicata la legge di fatica per gli strati:

$$N=(0,017/\max \{ \epsilon_{xx3}, \epsilon_{yy3}, \epsilon_{xx5}, \epsilon_{yy5} \})^4 \quad \text{Strato di usura}$$

$$N=(0,017/\max \{ \epsilon_{xx7}, \epsilon_{yy7}, \epsilon_{xx9}, \epsilon_{yy9} \})^4 \quad \text{Strato di binder}$$

$$N=(0,017/\max \{ \epsilon_{xx11}, \epsilon_{yy11}, \epsilon_{xx13}, \epsilon_{yy13} \})^4 \quad \text{Strato di base}$$

In realtà lo strato che si prende come riferimento per verificare il numero massimo di passaggi di assi standard equivalenti è quello di base.

Per quanto riguarda la fondazione in misto granulare per i punti 5,6,7,8 vengono applicate le leggi di fatica:

$$N=(0,028/\max\{\varepsilon_{z12},\varepsilon_{z14},\varepsilon_{z15},\varepsilon_{z17}\})^4$$

$$N=\text{EXP}[(0,006 E_0/\max\{\sigma_{z12},\sigma_{z14},\sigma_{z15},\sigma_{z17}\}-1)/0,7]$$

Considerando un $E= 200$ MPa.

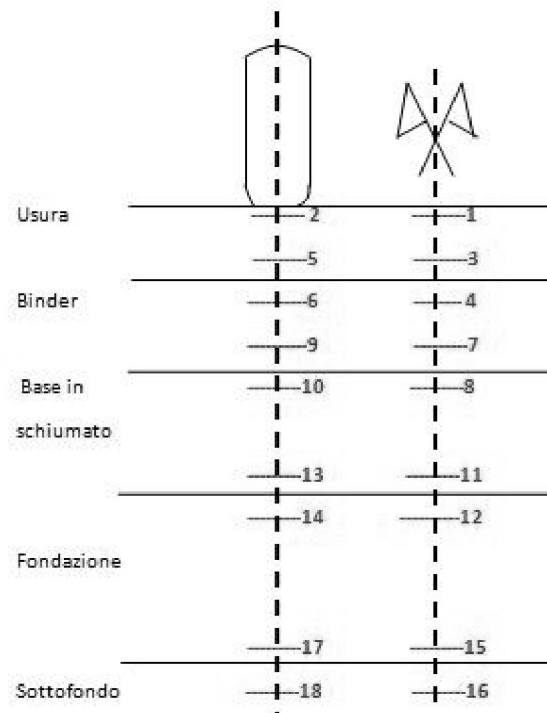
Infine per il sottofondo per i punti 16 e 18 vengono applicate le leggi di fatica:

$$N=(0,028/\max\{\varepsilon_{z16},\varepsilon_{z18}\})^4$$

$$N=\text{EXP}[(0,006 E_0/\max\{\sigma_{z16},\sigma_{z18}\}-1)/0,7]$$

Considerando un $E= 50$ MPa.

Risultati per RPC1 con formule AASHTO



RPC1			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	11
Fondazione	200	0,25	20
Sottofondo	50	0,45	

Displacements max Uzz (Usura):

$$6,320 \cdot 10^2 \mu \cong 0,63 \text{ mm}$$

Verifica punti 3-5 (Usura):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{7,761 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 2,30 \cdot 10^9$$

Verifica punti 7-9 (Binder):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{2,336 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 2,80 \cdot 10^{11}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{1,006 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 8,15 \cdot 10^8$$

Verifica punti 12-14-15-17 (Fondazione):

$$\mathcal{N}_2 = \left(\frac{0,028}{2,622 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 1,30 \cdot 10^8$$

Verifica punti 12-14-15-17 (Fondazione):

$$\mathcal{N}_2 = \exp\left(\frac{0,006 \cdot 200}{4,74 \cdot 10^{-2}} - 1\right) / 0,7 = 5,8 \cdot 10^{14}$$

Displacements max Uzz (Sottofondo):

$$5,843 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,58 mm$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$\mathcal{N}_2 = \left(\frac{0,028}{4,378 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 1,67 \cdot 10^7$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

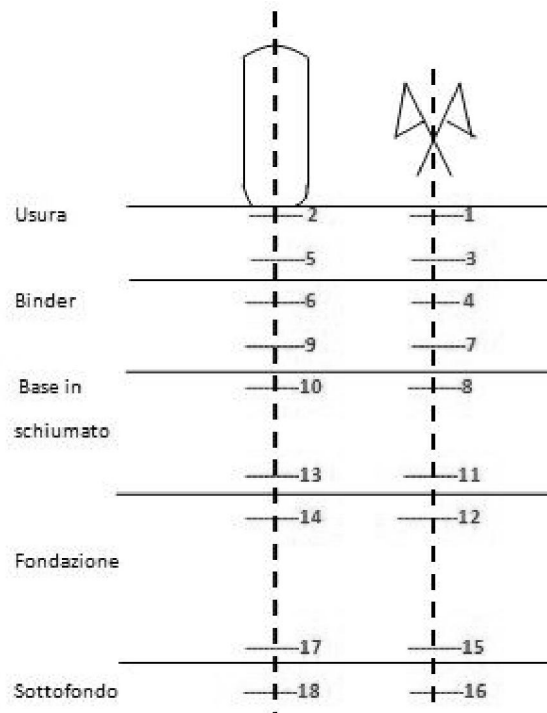
$$\mathcal{N}_2 = \exp\left(\frac{0,006 \cdot 50}{2,627 \cdot 10^{-2}} - 1\right) / 0,7 = 1,2 \cdot 10^6$$

Risultati per RPC1 con formula Autostrade

Verifica punti 11-13 (Base):

$$\mathcal{N}_1 = 1,467 \cdot 10^{-10} (1,006 \cdot 10^{-4})^{-4,2735} = 1,77 \cdot 10^7$$

Risultati per RPA1 con formule AASHTO



RPA1			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	14
Fondazione	200	0,25	25
Sottofondo	50	0,45	

Displacements Uzz (Usura):

$$5,565 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,55 \text{ mm}$$

Verifica punti 3-5 (Usura):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{6,861 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 3,76 \cdot 10^9$$

Verifica punti 7-9 (Binder):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{2,857 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 1,25 \cdot 10^{11}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{8,616 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 1,51 \cdot 10^9$$

Verifica punti 12-14-15-17 (Fondazione):

$$\mathcal{N}_2 = \left(\frac{0,028}{2,28 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 2,27 \cdot 10^8$$

Verifica punti 12-14-15-17 (Fondazione):

$$\mathcal{N}_2 = \exp\left(\frac{0,006 \cdot 200}{4,14 \cdot 10^{-2}} - 1\right) / 0,7 = 2,3 \cdot 10^{17}$$

Displacements max Uzz (Sottofondo):

$$5,068 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,5 \text{ mm}$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$N_2 = \left(\frac{0,028}{3,466 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 4,25 \cdot 10^7$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$N_2 = \exp\left(\frac{0,006 \cdot 50}{2,02 \cdot 10^{-2}} - 1\right) / 0,7 = 3,5 \cdot 10^8$$

Risultati per RPA1 con formula Autostrade:

Verifica punti 11-13 (Base):

$$N_1 = 1,467 \cdot 10^{-10} (8,616 \cdot 10^{-5})^{-4,2375} = 3,44 \cdot 10^7$$

Risultati per RPC3 con formule AASHTO

RPC3			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	6
Base	4500	0,35	11
Fondazione	1500	0,25	20
Sottofondo	150	0,45	

Displacements max Uzz (Usura):

$$2,20 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,22 \text{ mm}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{2,44 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 2,35 \cdot 10^{11}$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$\mathcal{N}_2 = \left(\frac{0,028}{1,67 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 7,9 \cdot 10^8$$

Risultati per RPA3 con formule AASHTO

RPA3			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	6
Base	4500	0,35	14
Fondazione	1500	0,25	25
Sottofondo	150	0,45	

Displacements max Uzz (Usura):

$$1,89 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,18 mm$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$N_1 = \left(\frac{0,017}{2,17 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 3,76 \cdot 10^{11}$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$N_2 = \left(\frac{0,028}{1,28 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 2,2 \cdot 10^9$$

Risultati per RPC1 MOD con formula AASHTO

RPC1 MOD			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	11
Fondazione	300	0,25	20
Sottofondo	50	0,45	

Displacements max U_{zz} (Usura):

$$6,046 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,6 \text{ mm}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{8,862 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 1,35 \cdot 10^9$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$\mathcal{N}_2 = \left(\frac{0,028}{4,207 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 1,96 \cdot 10^7$$

Risultati per RPA1 MOD con formula AASHTO

RPA1 MOD			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	14
Fondazione	300	0,25	25
Sottofondo	50	0,45	

Displacements max U_{zz} (Usura):

$$5,295 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,52 mm$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$N_1 = \left(\frac{0,017}{7,55 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 3,02 \cdot 10^9$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$N_2 = \left(\frac{0,028}{3,31 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 5,12 \cdot 10^7$$

Risultati per RPC1 MOD 100 con formula AASHTO

RPC1 MOD100			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Spessore (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	11
Fondazione	300	0,25	20
Sottofondo	100	0,45	

Displacements max Uzz (Usura):

$$3,73 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,37 \text{ mm}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$N_1 = \left(\frac{0,017}{7,34 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 2,87 \cdot 10^9$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$N_2 = \left(\frac{0,028}{2,89 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 8,81 \cdot 10^7$$

Risultati per RPA1 MOD 100 con formula AASHTO

RPA1 MOD100			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	14
Fondazione	300	0,25	25
Sottofondo	100	0,45	

Displacements max Uzz (Usura):

$$3,320 \cdot 10^2 \mu \cong 0,33 \text{ mm}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{6,45 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 4,82 \cdot 10^9$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$\mathcal{N}_2 = \left(\frac{0,028}{2,30 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 2,19 \cdot 10^8$$

Risultati per RPC1 MOD 150 con formula AASHTO

RPC1 MOD150			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	11
Fondazione	300	0,25	20
Sottofondo	150	0,45	

Displacements max U_{zz} (Usura):

$$2,835 \cdot 10^2 \mu.m \cong 0,28 mm$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$N_1 = \left(\frac{0,017}{6,57 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 4,48 \cdot 10^9$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$N_2 = \left(\frac{0,028}{2,23 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 2,48 \cdot 10^8$$

Risultati per RPA1 MOD 150 con formula AASHTO

RPA1 MOD 150			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	15
Fondazione	300	0,25	25
Sottofondo	150	0,45	

Displacements max Uzz (Usura):

$$2,55 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,25 \text{ mm}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{5,89 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 6,93 \cdot 10^9$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$\mathcal{N}_2 = \left(\frac{0,028}{1,79 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 5,98 \cdot 10^8$$

Risultati per Soluzione 1 con formula AASHTO

Soluzione 1			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Strato (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	11
Fondazione	200	0,25	40
Sottofondo	150	0,45	

Displacements max U_{zz} (Usura):

$$2,93 \cdot 10^2 \mu.m \cong 0,29 \text{ mm}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$N_1 = \left(\frac{0,017}{7,11 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 3,26 \cdot 10^9$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$N_2 = \left(\frac{0,028}{1,72 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 7,02 \cdot 10^9$$

Risultati per Soluzione 2 con formula AASHTO

Soluzione 2			
Strato	Modulo Elastico (MPa)	Coefficiente Poisson	Spessore (cm)
Usura	3000	0,35	4
Binder	3500	0,35	5
Base	4500	0,35	11
Fondazione1	200	0,25	20
Fondazione2	200	0,25	30
Sottofondo	150	0,45	

Displacements max Uzz (Usura):

$$2,88 \cdot 10^2 \mu m \cong 0,28 \text{ mm}$$

Verifica punti 11-13 (Base):

$$\mathcal{N}_1 = \left(\frac{0,017}{6,66 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 4,24 \cdot 10^9$$

Verifica punti 16-18 (Sottofondo):

$$\mathcal{N}_2 = \left(\frac{0,028}{1,39 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 1,64 \cdot 10^9$$

8. Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di progettare la manutenzione stradale, in particolare il risanamento profondo, con il programma della Shell, Bisar. Inoltre in una pavimentazione ottimizzata e per limitare i costi di manutenzione si dovrebbe avere la condizione $N1 \ll N2$, dove $N1$ sono i cicli di carico che portano a rottura gli strati legati a bitume, ed $N2$ i cicli di carico che portano a rottura gli strati non legati. Questa condizione impone che gli strati profondi non collassino prima dei conglomerati bituminosi.

Inoltre abbiamo valutato il rapporto $N1/N2$, perché se la condizione sopracitata non viene raggiunta, può succedere che il rapporto decresce, sintomo che la soluzione tende a uno, e la soluzione viene ottimizzata.

Nonostante la pavimentazione sia regolarmente dimensionata al traffico previsto nella vita utile, si cerca sempre di migliorare ed ottimizzare.

La nostra analisi è iniziata con l'utilizzo di 4 tipi di risanamento profondo utilizzati dall'ANAS.

In seguito abbiamo modificato i parametri e gli spessori dei materiali per vedere come si modificano i dati in uscita; e si verificano le condizioni citate sopra.

Tra le varie considerazioni di carattere generale possiamo dire che i risultati sono influenzati dalla legge di fatica usata.

Per gli strati legati a bitume la differenza tra AASHTO e metodo Autostrade, è di un ordine di grandezza a sfavore del secondo.

Lo spessore è il parametro che influenza maggiormente i dati in uscita.

Aumentare lo spessore per aumentare i benefici, non sempre si può fare, soprattutto in città dove le quote sono già fissate.

Anche aumentare il modulo, soprattutto dei materiali legati a bitume, porta dei benefici.

In entrambe i casi bisogna fare attenzione ai costi, quindi occorre valutare bene la scelta progettuale, tra le varie alternative.

In allegato vado a valutare le differenze che si riscontrano adottando le condizioni sopracitate; e si scopre che solo la pavimentazione chiamata “soluzione 1” raggiunge la prima condizione, mentre i rapporti crescono o decrescono a seconda dei casi.

Valutando i rapporti dei casi più importanti studiati, vediamo che per “RPC1” è 48, per “RPC1 MOD 100” è 32, per “RPC1 MOD 150” è 18; come possiamo vedere, i rapporti decrescono notevolmente in proporzione al miglioramento delle caratteristiche meccaniche, in questo caso la portanza del sottofondo che è aumentata rispettivamente da 50 a 100 fino a 150 Mpa.

Per quanto riguarda invece le pavimentazioni tipo “RPA1” il rapporto è 35, per “RPA1 MOD 100” è 22, per “RPA1 MOD 150” è 11; le osservazioni rimangono invariate come al passo precedente.

Come dicevo in precedenza per la pavimentazione chiamata “Soluzione 1” il rapporto è 0,46, mentre per la pavimentazione chiamata “Soluzione 2” è 6.

Se volessimo fare un confronto trasversale possiamo dire che le ultime due pavimentazioni sono quelle con il rapporto più basso, quindi si evince che sono ottimizzate.

Bibliografia

G.Tesoriere: Strade Ferrovie ed Aeroporti, vol. 1 e 2, 5° ed. 1991, UTET

P.Ferrari, F.Giannini: Corpo stradale e pavimentazioni, vol.2 ISEDI/UTET, 1996

G.Dondi, M.Chinni: Il calcolo a fatica delle sovrastrutture stradali flessibili, Editore Le Strade,1994

A.Gomes Correia: Flexible Pavements, IST/LINEC, LISBON PORTUGAL, Balkema '96

SITEB: Manutenzione delle Pavimentazioni Stradali, Editore SITEBSI,1996

“Gestione delle pavimentazioni Stradali, Linee guida di progetto e norme tecniche prestazionali ANAS”, Centro Sperimentale, Stradale, Aprile 2008-10-08

Regione Lombardia: Manutenzione standard prestazionale, Bollettino Ufficiale 02/06

Dispense del corso “Autostrade FF AA LS” del Prof. Giulio Dondi

Dispense del corso “Sovrastrutture stradali e ferroviarie” del Prof. Andrea Simone

ALLEGATI:



BISR 3.0 - Block Report

RPC1

System 1: RPC1

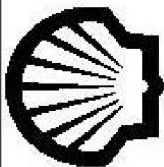
Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal Load (kN)	Horizontal Stress (MPa)	Radial (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degree)
1	0,040	3,000E+03	0,35	1	3,000E+01	7,459E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00
2	0,050	3,500E+03	0,35	2	3,000E+01	7,459E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00
3	0,110	4,500E+03	0,35									
4	0,200	2,000E+02	0,25									
5		5,000E+01	0,45									

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal Load (kN)	Horizontal Stress (MPa)	Radial (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degree)
1	0,040	3,000E+03	0,35	1	3,000E+01	7,459E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00
2	0,050	3,500E+03	0,35	2	3,000E+01	7,459E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00
3	0,110	4,500E+03	0,35									
4	0,200	2,000E+02	0,25									
5		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses (MPa)	Stresses (MPa)	Stresses (MPa)	Strains (µstram)	Strains (µstram)	Strains (µstram)	Displacements (µm)	Displacements (µm)	Displacements (µm)
					XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-6,459E-01	-5,248E-01	-1,459E-01	-1,248E+02	-1,154E+02	9,530E+01	0,000E+00	0,000E+00	6,328E+02
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-6,459E-01	-5,248E-01	-1,459E-01	-1,248E+02	-1,154E+02	9,530E+01	0,000E+00	-1,666E+01	6,190E+02
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-4,570E-01	-4,130E-01	-1,417E-01	-7,761E+01	-7,132E+01	5,075E+01	0,000E+00	0,000E+00	6,350E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-4,570E-01	-4,130E-01	-1,417E-01	-7,761E+01	-7,132E+01	5,075E+01	0,000E+00	0,000E+00	6,350E+02
5	1	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-4,570E-01	-4,130E-01	-1,417E-01	-7,761E+01	-7,132E+01	5,075E+01	0,000E+00	-1,019E+01	6,212E+02
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-4,570E-01	-4,130E-01	-1,417E-01	-7,761E+01	-7,132E+01	5,075E+01	0,000E+00	-1,019E+01	6,212E+02
7	2	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,839E-01	-1,784E-01	-1,185E-01	-2,336E+01	-2,122E+01	3,750E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,365E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-2,190E-01	-2,118E-01	-1,185E-01	-2,336E+01	-2,122E+01	3,750E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,365E+02
9	2	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,716E-01	-1,610E-01	-1,071E-01	-2,221E+01	-1,814E+01	2,669E+00	0,000E+00	-3,004E+00	6,228E+02
10	3	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-2,041E-01	-1,905E-01	-1,071E-01	-2,221E+01	-1,814E+01	2,669E+00	0,000E+00	-3,004E+00	6,228E+02
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,000E-01	6,577E-01	6,330E-01	-4,742E-02	1,006E+02	9,310E+01	-1,109E+02	0,000E+00	0,000E+00	6,310E+02
12	4	0,000E+00	0,000E+00	2,000E-01	1,063E-02	9,442E-03	-4,742E-02	1,006E+02	9,310E+01	-1,109E+02	0,000E+00	0,000E+00	6,310E+02
13	3	0,000E+00	1,500E-01	2,000E-01	6,151E-01	5,601E-01	-4,373E-02	9,659E+01	8,001E+01	-1,011E+02	0,000E+00	1,332E+01	6,175E+02
14	4	0,000E+00	1,500E-01	2,000E-01	1,029E-02	7,641E-03	-4,373E-02	9,659E+01	8,001E+01	-1,011E+02	0,000E+00	1,332E+01	6,175E+02
15	4	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-01	4,105E-02	3,897E-02	-2,627E-02	1,894E+02	1,764E+02	-2,314E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,843E+02
16	5	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-01	-4,549E-03	-5,054E-03	-2,627E-02	1,894E+02	1,764E+02	-2,314E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,843E+02
17	4	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-01	3,529E-02	3,555E-02	-2,513E-02	1,834E+02	1,601E+02	-2,152E+02	0,000E+00	2,562E+01	5,741E+02
18	5	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-01	-4,549E-03	-5,350E-03	-2,513E-02	1,834E+02	1,601E+02	-2,152E+02	0,000E+00	2,562E+01	5,741E+02



BISAR 3.0 - Block Report

RPA1

System 1: RPA1

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Stress (MPa)	Radial (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0,040	3,000E+03	0,25	1	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00
2	0,050	3,500E+03	0,35	2	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00
3	0,140	4,500E+03	0,35									
4	0,250	2,000E+02	0,25									
5		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses (MPa)			Strains (µstrain)			Displacements (µm)		
					XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-5,513E-01	-5,354E-01	-1,499E-01	-1,040E+02	-9,560E+01	7,689E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,565E+02
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-5,250E-01	-4,895E-01	-1,499E-01	-1,005E+02	-8,742E+01	7,008E+01	0,000E+00	-1,401E+01	5,466E+02
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,876E-01	-3,757E-01	-1,435E-01	-6,861E+01	-6,328E+01	4,120E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,588E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-4,393E-01	-4,254E-01	-1,435E-01	-6,861E+01	-6,328E+01	4,546E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,588E+02
5	1	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-3,667E-01	-3,417E-01	-1,415E-01	-6,595E+01	-5,461E+01	3,547E+01	0,000E+00	-9,068E+00	5,485E+02
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-4,151E-01	-3,895E-01	-1,415E-01	-6,586E+01	-5,459E+01	3,566E+01	0,000E+00	-5,069E+00	5,486E+02
7	2	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-2,151E-01	-2,085E-01	-1,203E-01	-2,857E+01	-2,760E+01	7,976E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,601E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-2,580E-01	-2,495E-01	-1,203E-01	-2,857E+01	-2,760E+01	1,273E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,601E+02
9	2	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-2,010E-01	-1,892E-01	-1,225E-01	-2,728E+01	-2,629E+01	6,881E+00	0,000E+00	-3,709E+00	5,485E+02
10	3	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-2,412E-01	-2,259E-01	-1,225E-01	-2,728E+01	-2,629E+01	1,133E+01	0,000E+00	-3,709E+00	5,485E+02
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,300E-01	5,630E-01	5,422E-01	-4,145E-02	8,616E+01	7,939E+01	-9,517E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,547E+02
12	4	0,000E+00	0,000E+00	2,300E-01	8,26E-03	7,829E-03	-4,145E-02	8,616E+01	7,939E+01	-2,281E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,547E+02
13	3	0,000E+00	1,500E-01	2,300E-01	5,281E-01	4,830E-01	-3,835E-02	8,278E+01	6,924E+01	-8,716E+01	0,000E+00	1,145E+01	5,485E+02
14	4	0,000E+00	1,500E-01	2,300E-01	8,568E-03	6,402E-03	-3,835E-02	8,278E+01	6,924E+01	-2,108E+02	0,000E+00	1,145E+01	5,485E+02
15	5	0,000E+00	0,000E+00	4,800E-01	3,310E-02	3,167E-02	-2,021E-02	1,512E+02	1,433E+02	-1,820E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,068E+02
16	5	0,000E+00	0,000E+00	4,800E-01	-3,045E-03	-3,353E-03	-2,021E-02	1,512E+02	1,433E+02	-3,466E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,068E+02
17	4	0,000E+00	1,500E-01	4,800E-01	3,190E-02	2,936E-02	-1,947E-02	1,471E+02	1,313E+02	-1,738E+02	0,000E+00	2,078E+01	4,957E+02
18	5	0,000E+00	1,500E-01	4,800E-01	-3,001E-03	-3,588E-03	-1,947E-02	1,471E+02	1,313E+02	-3,304E+02	0,000E+00	2,078E+01	4,957E+02



BISR 3.0 - Block Report

RPC3

System 1: RPC3

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal Load (kN)	Horizontal Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0,040	3,000E+03	0,35	1	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00
2	0,060	3,500E+03	0,35	2	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00
3	0,110	4,500E+03	0,35									
4	0,200	1,500E+03	0,25									
5	1,500E+02	1,500E+02	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX (µstrain)	YY (µstrain)	ZZ (µstrain)	UX (µm)	UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-3,243E-01	-3,162E-01	-1,499E-01	-5,374E+01	-5,007E+01	2,478E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,162E+02
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-3,132E-01	-2,989E-01	-1,499E-01	-5,204E+01	-4,561E+01	2,146E+01	0,000E+00	-7,276E+00	2,112E+02
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-2,442E-01	-2,375E-01	-1,465E-01	-3,660E+01	-3,358E+01	7,363E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,169E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-2,717E-01	-2,639E-01	-1,465E-01	-3,660E+01	-3,358E+01	1,171E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,168E+02
5	1	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-2,802E-01	-2,145E-01	-1,493E-01	-3,494E+01	-2,784E+01	3,994E+00	0,000E+00	-4,762E+00	2,117E+02
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-2,556E-01	-2,372E-01	-1,440E-01	-3,494E+01	-2,784E+01	8,151E+00	0,000E+00	-4,762E+00	2,117E+02
7	3	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-1,438E-01	-1,398E-01	-1,293E-01	-1,418E+01	-1,263E+01	-8,574E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,169E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-1,550E-01	-1,588E-01	-1,293E-01	-1,418E+01	-1,263E+01	-3,464E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,168E+02
9	2	0,000E+00	1,500E-01	1,000E-01	-1,329E-01	-1,267E-01	-1,185E-01	-1,344E+01	-1,107E+01	-7,805E+00	0,000E+00	-1,789E+00	2,116E+02
10	3	0,000E+00	1,500E-01	1,000E-01	-1,526E-01	-1,447E-01	-1,185E-01	-1,344E+01	-1,107E+01	-3,216E+00	0,000E+00	-1,789E+00	2,116E+02
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,100E-01	1,871E-01	1,219E-01	-7,956E-02	2,496E+01	2,340E+01	-3,707E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,147E+02
12	3	0,000E+00	1,500E-01	2,100E-01	1,482E-01	1,024E-01	-7,071E-02	2,382E+01	1,903E+01	-3,286E+01	0,000E+00	3,284E+00	2,097E+02
13	4	0,000E+00	0,000E+00	4,100E-01	1,282E-01	1,215E-01	-2,926E-02	7,002E+01	6,452E+01	-6,113E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,036E+02
14	4	0,000E+00	1,500E-01	4,100E-01	1,217E-01	1,086E-01	-2,777E-02	6,750E+01	5,740E+01	-5,706E+01	0,000E+00	5,314E+00	1,985E+02



BISAR 3.0 - Block Report

RPA3

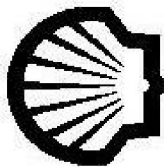
System 1: RPA3

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0,040	3,000E+03	0,35	1	3,000E+01	7,483E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00
2	0,060	3,500E+03	0,35	2	3,000E+01	7,483E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00
3	0,140	4,500E+03	0,35									
4	0,280	1,500E+02	0,25									
5	1,500E+02	1,500E+02	0,45									

Loads

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX (µstram)	YY (µstram)	ZZ (µstram)	UX (µm)	UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-2,819E-01	-2,757E-01	-1,459E-01	-4,430E+01	-4,154E+01	1,510E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-2,739E-01	-2,637E-01	-1,459E-01	-4,307E+01	-3,848E+01	1,277E+01	0,000E+00	-6,066E+00	1,859E+02
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-2,201E-01	-2,146E-01	-1,473E-01	-3,114E+01	-2,867E+01	1,612E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,901E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-2,835E-01	-2,871E-01	-1,473E-01	-3,114E+01	-2,867E+01	5,891E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,901E+02
5	1	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-2,079E-01	-1,946E-01	-1,446E-01	-2,972E+01	-2,375E+01	-1,238E+00	0,000E+00	-4,067E+00	1,860E+02
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-2,296E-01	-2,140E-01	-1,446E-01	-2,972E+01	-2,375E+01	3,045E+00	0,000E+00	-4,067E+00	1,860E+02
7	2	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-1,858E-01	-1,418E-01	-1,322E-01	-1,415E+01	-1,262E+01	-9,259E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,900E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-1,869E-01	-1,618E-01	-1,322E-01	-1,415E+01	-1,262E+01	-4,030E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,900E+02
9	2	0,000E+00	1,500E-01	1,000E-01	-1,347E-01	-1,289E-01	-1,217E-01	-1,342E+01	-1,119E+01	-3,412E+00	0,000E+00	-1,794E+00	1,859E+02
10	2	0,000E+00	1,500E-01	1,000E-01	-1,845E-01	-1,470E-01	-1,217E-01	-1,342E+01	-1,119E+01	3,897E+00	0,000E+00	-1,794E+00	1,859E+02
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,400E-01	-1,073E-01	-1,022E-01	-7,579E-02	2,179E+01	2,025E+01	-3,313E+01	0,000E+00	0,000E+00	1,875E+02
12	3	0,000E+00	1,500E-01	2,400E-01	9,561E-02	8,536E-02	-6,740E-02	2,074E+01	1,646E+01	-2,536E+01	0,000E+00	2,847E+00	1,835E+02
13	4	0,000E+00	0,000E+00	4,900E-01	1,030E-01	9,820E-02	-2,247E-02	5,607E+01	5,204E+01	-4,852E+01	0,000E+00	0,000E+00	1,757E+02
14	5	0,000E+00	0,000E+00	4,900E-01	-3,435E-03	-3,852E-03	-2,247E-02	5,607E+01	5,204E+01	-1,280E+02	0,000E+00	0,000E+00	1,757E+02
15	4	0,000E+00	1,500E-01	4,900E-01	9,848E-02	8,994E-02	-2,148E-02	5,425E+01	4,718E+01	-4,572E+01	0,000E+00	7,556E+00	1,728E+02
16	5	0,000E+00	1,500E-01	4,900E-01	-3,382E-03	-4,119E-03	-2,148E-02	5,425E+01	4,718E+01	-1,207E+02	0,000E+00	7,556E+00	1,728E+02



BISAR 3.0 - Block Report

RPC1 MOD 100

System 1: RPC1 MOD 100

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,040	3,000E+03	0,35
2	0,050	3,500E+03	0,35
3	0,110	4,500E+03	0,35
4	0,200	3,000E+02	0,25
5	1,000E+02	1,000E+02	0,45

Loads

Load Number	Load (kN)	Vertical		Horizontal (Shear)		Stress (MPa)	Rotins (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degree)
		Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)					
1	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	
2	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00	

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements			
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)	
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-5,031E-01	-4,879E-01	-1,499E-01	-9,396E+01	-8,622E+01	6,590E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,732E+02
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-4,851E-01	-4,483E-01	-1,499E-01	-9,323E+01	-7,595E+01	5,862E+01	0,000E+00	0,000E+00	-1,233E+01	3,635E+02
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,404E-01	-3,287E-01	-1,431E-01	-5,843E+01	-5,315E+01	3,036E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,753E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,843E-01	-3,706E-01	-1,431E-01	-5,943E+01	-5,315E+01	3,460E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,753E+02
5	1	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-3,182E-01	-2,932E-01	-1,413E-01	-5,863E+01	-4,421E+01	2,441E+01	0,000E+00	0,000E+00	-7,532E+00	3,651E+02
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-3,579E-01	-3,300E-01	-1,413E-01	-5,564E+01	-4,418E+01	2,892E+01	0,000E+00	0,000E+00	-7,532E+00	3,651E+02
7	2	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,593E-01	-1,544E-01	-1,193E-01	-1,814E+01	-1,625E+01	-2,719E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,760E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,865E-01	-1,801E-01	-1,193E-01	-1,814E+01	-1,625E+01	2,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,760E+02
9	2	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,475E-01	-1,382E-01	-1,121E-01	-1,712E+01	-1,532E+01	-3,464E+00	0,000E+00	0,000E+00	-2,276E+00	3,651E+02
10	3	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,734E-01	-1,605E-01	-1,121E-01	-1,712E+01	-1,532E+01	9,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	-2,276E+00	3,651E+02
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,000E-01	4,657E-01	4,463E-01	-6,049E-02	7,347E+01	6,765E+01	-8,496E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,717E+02
12	4	0,000E+00	0,000E+00	2,000E-01	8,775E-03	7,380E-03	-6,049E-02	7,347E+01	6,765E+01	-2,149E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,717E+02
13	3	0,000E+00	1,500E-01	2,000E-01	4,316E-01	3,866E-01	-5,532E-02	7,315E+01	6,644E+01	-7,532E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,612E+02
14	4	0,000E+00	1,500E-01	2,000E-01	8,582E-03	5,292E-03	-5,532E-02	7,315E+01	6,644E+01	-1,960E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,612E+02
15	5	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-01	3,843E-02	3,615E-02	-3,413E-02	1,267E+02	1,168E+02	-1,760E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,344E+02
16	5	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-01	-5,443E-03	-6,127E-03	-3,413E-02	1,267E+02	1,168E+02	-2,893E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,344E+02
17	4	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-01	3,667E-02	3,242E-02	-3,233E-02	1,222E+02	1,045E+02	-1,655E+02	0,000E+00	0,000E+00	1,690E+01	3,272E+02
18	5	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-01	-5,275E-03	-6,499E-03	-3,233E-02	1,222E+02	1,045E+02	-2,709E+02	0,000E+00	0,000E+00	1,690E+01	3,272E+02



BISAR 3.0 - Block Report

RPA1 MOD 100

System 1: RPA1 MOD 100

Structure

Modulus of Elasticity (MPa)

Layer Number Thickness (m) Modulus of Elasticity (MPa) Poisson's Ratio

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,040	3,000E+03	0,35
2	0,050	3,500E+03	0,35
3	0,140	4,500E+03	0,35
4	0,250	3,000E+02	0,25
5	1,000E+02	1,000E+02	0,45

Loads

Vertical Load (kN) Stress (MPa)

Load Number Load (kN) Stress (MPa)

Load Number	Load (kN)	Stress (MPa)
1	3,000E+01	7,453E-02
2	3,000E+01	7,453E-02

Horizontal (Shear) Load (kN) Stress (MPa)

Load (kN) Stress (MPa)

Load (kN)	Stress (MPa)
0,000E+00	0,000E+00
0,000E+00	0,000E+00

Radius (m)

Radius (m)

Radius (m)
3,570E-01
3,570E-01

X-Coord (m)

X-Coord (m)

X-Coord (m)
0,000E+00
0,000E+00

Y-Coord (m)

Y-Coord (m)

Y-Coord (m)
1,500E-01
-1,500E-01

Shear Angle (Degree)

Shear Angle (Degree)

Shear Angle (Degree)
0,000E+00
0,000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses (MPa)			Strains (μstrain)			Displacements (μm)			
					XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ	
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-4,814E-01	-4,276E-01	-1,459E-01	-7,977E+01	-7,354E+01	5,143E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,330E+02
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-4,825E-01	-3,981E-01	-1,455E-01	-7,690E+01	-6,592E+01	4,578E+01	0,000E+00	0,000E+00	-1,063E+01	3,243E+02
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,447E-01	-3,046E-01	-1,445E-01	-5,251E+01	-4,792E+01	2,408E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,335E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,542E-01	-3,423E-01	-1,445E-01	-5,251E+01	-4,792E+01	2,437E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,335E+02
5	1	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-2,861E-01	-2,743E-01	-1,442E-01	-5,011E+01	-4,026E+01	1,808E+01	0,000E+00	0,000E+00	-6,817E+00	3,285E+02
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-3,827E-01	-3,071E-01	-1,442E-01	-5,011E+01	-4,026E+01	2,330E+01	0,000E+00	0,000E+00	-6,817E+00	3,286E+02
7	2	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,825E-01	-1,787E-01	-1,245E-01	-2,204E+01	-1,978E+01	3,549E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,342E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-2,155E-01	-2,030E-01	-1,245E-01	-2,204E+01	-1,977E+01	5,273E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,342E+02
9	2	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,833E-01	-1,589E-01	-1,182E-01	-2,088E+01	-1,684E+01	-3,708E-01	0,000E+00	0,000E+00	-2,782E+00	3,261E+02
10	3	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,895E-01	-1,864E-01	-1,182E-01	-2,088E+01	-1,684E+01	4,225E+00	0,000E+00	0,000E+00	-2,782E+00	3,261E+02
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,300E-01	4,033E-01	3,943E-01	-5,314E-02	6,457E+01	5,948E+01	-7,415E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,296E+02
12	4	0,000E+00	0,000E+00	2,300E-01	7,706E-03	6,494E-03	-5,314E-02	6,457E+01	5,948E+01	-1,590E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,296E+02
13	3	0,000E+00	1,500E-01	2,300E-01	3,805E-01	3,452E-01	-4,883E-02	6,172E+01	5,031E+01	-6,708E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,219E+02
14	4	0,000E+00	1,500E-01	2,300E-01	7,495E-03	4,760E-03	-4,883E-02	6,172E+01	5,031E+01	-1,730E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,219E+02
15	4	0,000E+00	0,000E+00	4,800E-01	3,138E-02	2,973E-02	-2,647E-02	1,019E+02	9,500E+01	-1,332E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,911E+02
16	5	0,000E+00	0,000E+00	4,800E-01	-3,522E-03	-3,558E-03	-2,647E-02	1,019E+02	9,500E+01	-2,309E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,911E+02
17	4	0,000E+00	1,500E-01	4,800E-01	3,009E-02	2,717E-02	-2,647E-02	9,877E+01	8,558E+01	-1,821E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,860E+02
18	5	0,000E+00	-1,500E-01	4,800E-01	-3,445E-03	-4,286E-03	-2,532E-02	9,877E+01	8,558E+01	-2,184E+02	0,000E+00	0,000E+00	1,382E+01	2,860E+02



BISR 3.0 - Block Report

RPC1 MOD 150

System 1: RPC1 MOD 150

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Vertical			Horizontal (Shear)			X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
				Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)	Radius (m)				
1	0.040	3,000E+03	0.35	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	
2	0.050	3,500E+03	0.35	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00	
3	0.110	4,500E+03	0.35									
4	0.200	3,000E+02	0.25									
5		1,500E+02	0.45									

Loads

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX (µstrain)	YY (µstrain)	ZZ (µstrain)	LX (µm)	LY (µm)	UZ (µm)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-1,524E-01	-4,383E-01	-1,499E-01	-5,242E+01	-7,518E+01	5,374E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-4,251E-01	-3,986E-01	-1,499E-01	-7,894E+01	-6,564E+01	4,673E+01	0,000E+00	-1,078E+01	2,745E+02
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,061E-01	-2,982E-01	-1,435E-01	-5,086E+01	-4,593E+01	2,430E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,850E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,443E-01	-3,315E-01	-1,435E-01	-5,086E+01	-4,593E+01	2,430E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,850E+02
5	1	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-2,889E-01	-2,620E-01	-1,417E-01	-4,522E+01	-3,743E+01	1,665E+01	0,000E+00	-6,472E+00	2,760E+02
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-3,209E-01	-2,928E-01	-1,417E-01	-4,522E+01	-3,743E+01	1,665E+01	0,000E+00	-6,474E+00	2,760E+02
7	2	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,450E-01	-1,495E-01	-1,212E-01	-1,527E+01	-1,351E+01	-6,081E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,855E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,678E-01	-1,619E-01	-1,212E-01	-1,527E+01	-1,351E+01	-1,287E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,855E+02
9	1	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,336E-01	-1,250E-01	-1,138E-01	-1,430E+01	-1,095E+01	-6,671E+00	0,000E+00	-1,873E+00	2,763E+02
10	3	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,543E-01	-1,442E-01	-1,138E-01	-1,430E+01	-1,095E+01	-2,166E+00	0,000E+00	-1,873E+00	2,763E+02
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,000E-01	4,190E-01	3,948E-01	-6,582E-02	6,578E+01	6,030E+01	-7,699E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,814E+02
12	4	0,000E+00	0,000E+00	2,000E-01	3,958E-03	2,619E-03	-6,582E-02	6,578E+01	6,030E+01	-2,248E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,814E+02
13	3	0,000E+00	1,500E-01	2,000E-01	3,775E-01	3,350E-01	-6,025E-02	6,260E+01	4,574E+01	-2,048E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,726E+02
14	4	0,000E+00	1,500E-01	2,000E-01	3,940E-03	3,420E-04	-6,025E-02	6,260E+01	4,574E+01	-2,048E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,726E+02
15	4	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-01	2,597E-02	2,311E-02	-3,999E-02	9,763E+01	8,947E+01	-1,734E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,425E+02
16	5	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-01	-6,780E-03	-7,623E-03	-3,999E-02	9,763E+01	8,947E+01	-2,234E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,425E+02
17	4	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-01	2,331E-02	2,033E-02	-3,776E-02	9,390E+01	7,839E+01	-1,687E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,370E+02
18	5	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-01	-6,515E-03	-8,019E-03	-3,776E-02	9,390E+01	7,839E+01	-2,052E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,370E+02



BISAR 3.0 - Block Report

RPA1 MOD 150

System 1: RPA1 MOD 150

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degree)
1	0,040	3,000E+02	0,35	1	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00
2	0,050	3,500E+03	0,35	2	3,000E+01	7,493E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00
3	0,140	4,500E+03	0,35									
4	0,250	2,000E+02	0,25									
5	1,500E+02		0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses (MPa)			Strains (µstrain)			Displacements (µm)		
					XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-4,024E-01	-3,893E-01	-1,499E-01	-7,124E+01	-6,532E+01	4,241E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-3,844E-01	-3,613E-01	-1,499E-01	-6,851E+01	-5,811E+01	3,706E+01	0,000E+00	0,000E+00	-9,413E+00
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-2,875E-01	-2,775E-01	-1,447E-01	-4,653E+01	-4,218E+01	1,771E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,562E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,224E-01	-3,111E-01	-1,447E-01	-4,653E+01	-4,218E+01	2,200E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,562E+02
5	4	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-2,696E-01	-2,485E-01	-1,426E-01	-4,423E+01	-3,477E+01	1,232E+01	0,000E+00	0,000E+00	-5,966E+00
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-3,017E-01	-2,772E-01	-1,426E-01	-4,423E+01	-3,477E+01	1,718E+01	0,000E+00	0,000E+00	-5,966E+00
7	2	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,674E-01	-1,618E-01	-1,256E-01	-1,508E+01	-1,639E+01	-2,975E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,566E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,559E-01	-1,387E-01	-1,256E-01	-1,508E+01	-1,639E+01	1,985E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,566E+02
9	2	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,545E-01	-1,445E-01	-1,172E-01	-1,797E+01	-1,413E+01	-3,594E+00	0,000E+00	0,000E+00	-2,372E+00
10	3	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,807E-01	-1,678E-01	-1,172E-01	-1,797E+01	-1,413E+01	3,083E+00	0,000E+00	0,000E+00	-2,372E+00
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,300E-01	-3,684E-01	-3,521E-01	-5,737E-02	5,955E+01	-6,406E+01	-6,875E-01	0,000E+00	0,000E+00	2,521E+02
12	4	0,000E+00	0,000E+00	2,300E-01	4,064E-03	2,882E-03	-5,737E-02	5,955E+01	5,406E+01	-1,970E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,521E+02
13	3	0,000E+00	1,500E-01	2,300E-01	3,408E-01	3,040E-01	-5,277E-02	5,820E+01	4,516E+01	-6,188E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,452E+02
14	4	0,000E+00	1,500E-01	2,300E-01	4,005E-03	1,357E-03	-5,277E-02	5,820E+01	4,516E+01	-1,804E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,452E+02
15	4	0,000E+00	0,000E+00	4,800E-01	2,073E-02	1,936E-02	-3,122E-02	7,588E+01	7,327E+01	-1,375E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,123E+02
16	5	0,000E+00	0,000E+00	4,800E-01	-4,483E-03	-5,073E-03	-3,122E-02	7,588E+01	7,327E+01	-1,784E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,123E+02
17	4	0,000E+00	1,500E-01	4,800E-01	1,984E-02	1,743E-02	-2,974E-02	7,641E+01	6,634E+01	-1,302E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,081E+02
18	5	0,000E+00	1,500E-01	4,800E-01	-4,349E-03	-5,391E-03	-2,974E-02	7,641E+01	6,634E+01	-1,651E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,081E+02



BISAR 3.0 - Block Report

Soluzione 1

System 1: Soluzione 1

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radial (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0,040	3,000E+03	0,35	1	3,000E+01	7,453E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00
2	0,050	3,500E+03	0,35	2	3,000E+01	7,453E-02	0,000E+00	0,000E+00	3,570E-01	0,000E+00	-1,500E-01	0,000E+00
3	0,110	4,500E+03	0,35									
4	0,400	2,000E+02	0,25									
5	1,500E+02		0,45									

Loads

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX (µstrain)	YY (µstrain)	ZZ (µstrain)	UX (µm)	UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-4,705E-01	-4,533E-01	-1,459E-01	-8,546E+01	-7,573E+01	5,732E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,913E+02
2	1	0,000E+00	1,500E-01	0,000E+00	-4,454E-01	-4,137E-01	-1,459E-01	-8,272E+01	-6,845E+01	5,028E+01	0,000E+00	-1,127E+01	2,821E+02
3	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,156E-01	-3,040E-01	-1,431E-01	-5,304E+01	-4,752E+01	2,459E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,922E+02
4	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-3,555E-01	-3,418E-01	-1,431E-01	-5,304E+01	-4,752E+01	2,832E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,932E+02
5	1	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-2,546E-01	-2,694E-01	-1,414E-01	-5,027E+01	-3,595E+01	1,858E+01	0,000E+00	-6,737E+00	2,833E+02
6	2	0,000E+00	1,500E-01	4,000E-02	-3,310E-01	-3,016E-01	-1,414E-01	-5,027E+01	-3,595E+01	2,286E+01	0,000E+00	-6,739E+00	2,842E+02
7	1	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,445E-01	-1,399E-01	-1,155E-01	-1,533E+01	-1,359E+01	-5,703E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,935E+02
8	3	0,000E+00	0,000E+00	9,000E-02	-1,674E-01	-1,615E-01	-1,155E-01	-1,533E+01	-1,359E+01	-5,703E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,935E+02
9	2	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,332E-01	-1,245E-01	-1,155E-01	-1,436E+01	-1,300E+01	-6,375E+00	0,000E+00	-1,853E+00	2,832E+02
10	3	0,000E+00	1,500E-01	9,000E-02	-1,540E-01	-1,428E-01	-1,155E-01	-1,436E+01	-1,300E+01	-6,375E+00	0,000E+00	-1,853E+00	2,832E+02
11	3	0,000E+00	0,000E+00	2,000E-01	4,475E-01	4,271E-01	-5,352E-02	7,119E+01	6,504E+01	-8,215E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,859E+02
12	4	0,000E+00	0,000E+00	2,000E-01	-2,515E-03	-3,497E-03	-6,352E-02	7,119E+01	6,505E+01	-8,210E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,859E+02
13	3	0,000E+00	1,500E-01	2,000E-01	4,119E-01	3,645E-01	-5,849E-02	6,770E+01	5,351E+01	-7,387E+01	0,000E+00	9,182E+00	2,795E+02
14	4	0,000E+00	1,500E-01	2,000E-01	-2,199E-03	-4,468E-03	-5,849E-02	6,770E+01	5,352E+01	-7,384E+01	0,000E+00	9,182E+00	2,795E+02
15	4	0,000E+00	0,000E+00	6,000E-01	9,366E-03	8,665E-03	-2,801E-02	7,101E+01	6,563E+01	-8,562E+01	0,000E+00	0,000E+00	2,003E+02
16	4	0,000E+00	1,500E-01	6,000E-01	9,049E-03	7,810E-03	-2,685E-02	6,904E+01	6,131E+01	-8,553E+01	0,000E+00	9,725E+00	1,566E+02



BISAR 3.0 - Block Report

Soluzione 2

System 1: Soluzione 2

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Vertical			Horizontal (Shear)			Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Skew Angle (Degrees)
				Load (kN)	Stress (MPa)	Strain (µm)	Load (kN)	Stress (MPa)	Strain (µm)				
1	0.040	3.000E+02	0.35	3.000E+01	7.493E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.570E-01	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	
2	0.050	3.500E+03	0.35	3.000E+01	7.493E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.570E-01	0.000E+00	-1.500E-01	0.000E+00	
3	0.110	4.500E+03	0.35										
4	0.200	2.000E+02	0.25										
5	0.300	2.000E+02	0.25										
6		1.500E+02	0.45										

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					NX (MPa)	XY (MPa)	ZZ (MPa)	NX (µm)	XY (µm)	ZZ (µm)	UX (µm)	UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	4.000E-02	-3.130E-01	-3.015E-01	-1.432E-01	-5.246E+01	-4.728E+01	2.357E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	2	0.000E+00	0.000E+00	4.000E-02	-3.523E-01	-3.389E-01	-1.432E-01	-5.246E+01	-4.728E+01	2.821E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3	1	0.000E+00	1.500E-01	4.000E-02	-2.521E-01	-2.571E-01	-1.414E-01	-4.570E+01	-3.846E+01	1.810E+01	0.000E+00	0.000E+00	-6.659E-00
4	2	0.000E+00	1.500E-01	4.000E-02	-3.281E-01	-2.899E-01	-1.414E-01	-4.570E+01	-3.846E+01	2.228E+01	0.000E+00	0.000E+00	-6.660E+00
5	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.000E-02	-1.442E-01	-1.397E-01	-1.197E-01	-1.526E+01	-1.333E+01	-8.16E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.000E-02	-1.670E-01	-1.612E-01	-1.197E-01	-1.526E+01	-1.333E+01	-1.080E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7	2	0.000E+00	1.500E-01	5.000E-02	-1.330E-01	-1.244E-01	-1.127E-01	-1.430E+01	-1.055E+01	-6.474E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.875E+00
8	2	0.000E+00	1.500E-01	5.000E-02	-1.532E-01	-1.425E-01	-1.127E-01	-1.430E+01	-1.055E+01	-2.104E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.875E+00
9	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.000E-01	4.399E-01	4.194E-01	-6.413E-02	7.010E+01	6.400E+01	-8.109E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
10	4	0.000E+00	0.000E+00	2.000E-01	-3.700E-03	-3.593E-03	-6.413E-02	7.010E+01	6.401E+01	-7.119E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
11	3	0.000E+00	1.500E-01	2.000E-01	4.042E-01	3.872E-01	-5.305E-02	6.664E+01	5.254E+01	-7.235E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
12	4	0.000E+00	1.500E-01	2.000E-01	-2.663E-03	-4.241E-03	-5.305E-02	6.664E+01	5.254E+01	-2.859E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
13	4	0.000E+00	0.000E+00	4.000E-01	2.512E-03	2.559E-03	-4.167E-02	5.406E+01	5.874E+01	-2.145E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
14	5	0.000E+00	0.000E+00	4.000E-01	2.510E-03	2.559E-03	-4.167E-02	5.406E+01	5.874E+01	-2.145E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
15	4	0.000E+00	1.500E-01	4.000E-01	2.851E-03	1.339E-03	-3.524E-02	6.164E+01	5.219E+01	-2.015E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
16	5	0.000E+00	1.500E-01	4.000E-01	2.851E-03	1.339E-03	-3.524E-02	6.164E+01	5.219E+01	-2.015E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
17	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	7.000E-01	8.303E-03	7.784E-03	-2.357E-02	6.126E+01	5.800E+01	-1.380E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
18	5	0.000E+00	0.000E+00	7.000E-01	-2.884E-03	-3.151E-03	-2.357E-02	5.126E+01	5.800E+01	-1.380E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
19	5	0.000E+00	1.500E-01	7.000E-01	8.562E-03	7.130E-03	-2.371E-02	5.978E+01	5.386E+01	-1.332E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
20	6	0.000E+00	1.500E-01	7.000E-01	-2.771E-03	-3.373E-03	-2.371E-02	5.978E+01	5.386E+01	-1.332E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00