



PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

CATALOGO DELLE PAVIMENTAZIONI

INDICE

1 – INTRODUZIONE.....	3
2 – DEFINIZIONI.....	4
2.1 Pavimentazione stradale.....	4
2.2 Sottofondo.....	4
2.3 Lo strato di fondazione	4
2.3.1 Misto granulare	4
2.3.2 Fondazione stabilizzata a cemento.....	4
2.3 Strato di sottobase	5
2.3.1 Misto cementato.....	5
2.3.2 Sottobase con bitume schiumato o emulsione bituminosa.....	5
2.4 Strato di base in conglomerato bituminoso a caldo	5
2.5 Base a freddo con emulsione di bitume modificato.....	5
2.6 Binder.....	6
2.7 Tappeto di usura.....	6
3 – FATTORI DEL DIMENSIONAMENTO	6
3.1 Metodo di calcolo.....	6
3.2 Portanza dei sottofondi.....	6
3.3 Carichi di traffico	7
3.4 Zone climatiche.....	7
3.5 Materiali	8
4 – PROTEZIONE DAL GELO	8
5 – GUIDA ALL’UTILIZZO DEL CATALOGO.....	10
6 – SCHEDE DI CATALOGO.....	11
7 – BIBLIOGRAFIA	20

1 – INTRODUZIONE

Il presente Catalogo offre all'ingegnere stradale una serie di pavimentazioni valide per le condizioni di traffico e ambientali tipiche della Provincia Autonoma di Bolzano.

L'ambito di applicazione di questo Catalogo riguarda sia la progettazione di nuove strade che gli interventi di manutenzione straordinaria che prevedono il rifacimento totale della pavimentazione.

Le pavimentazioni considerate sono di tipo flessibile e di tipo semirigido. I materiali previsti sono quelli usualmente impiegati sulla rete stradale della Provincia Autonoma di Bolzano, compresi quelli di riciclo, quali il conglomerato bituminoso di recupero (fresato) e le terre stabilizzate con calce e/o cemento. I conglomerati bituminosi di tutte le pavimentazioni proposte sono stati considerati con impiego di bitume modificato di tipo hard. Le caratteristiche dei materiali sono quelle contenute nelle Norme Tecniche della Provincia Autonoma di Bolzano.

Il catalogo prevede 4 zone climatiche individuate in relazione alle loro altitudine. Per ogni zona vengono indicate pavimentazioni riferite a tre livelli di portanza del sottofondo e diverse classi di traffico espresse in termini di assi standard da 80 kN a ruote gemellate (ESAL).

Preliminare alla redazione del catalogo è stata eseguita una indagine sulla composizione (tipo di veicoli) del traffico pesante su alcune strade della Provincia rappresentative di ambiti territoriali e carichi di traffico diversi. Dallo studio del traffico è emerso che il coefficiente di equivalenza tra il numero di mezzi pesanti ed il numero di assi standard varia in modo rilevante da strada a strada. Si è pertanto deciso di organizzare il Catalogo in riferimento solo agli assi standard, che per tutte le strade provinciali verrà fornito dalla Provincia Autonoma di Bolzano, sulla base del rilievo annuale dei flussi di traffico.

Per tutte le altre strade deve essere ricavato a partire dal numero di veicoli pesanti previsti, adottando il coefficiente di equivalenza più opportuno, individuato sulla base della composizione (spettro di traffico) dei veicoli.

2 – DEFINIZIONI

2.1 Pavimentazione stradale

La pavimentazione stradale o sovrastruttura è la parte del corpo stradale costituita da un insieme di strati sovrapposti, di materiali e spessori diversi aventi funzione di sopportare le azioni indotte dal traffico e di trasmetterle e distribuirle, opportunamente attenuate, al terreno di appoggio (sottofondo), nonché di garantire agli utenti condizioni di sicurezza e confort di marcia.

2.2 Sottofondo

Il sottofondo è il volume di terra al di sotto della pavimentazione stradale dove sono apprezzabili gli effetti delle sollecitazioni prodotte dai carichi veicolari. Nelle sezioni in trincea è lo strato più superficiale del terreno in sito, nelle sezioni in riporto è la parte superiore del rilevato.

Il sottofondo deve garantire buone condizioni di portanza nelle diverse condizioni ambientali in cui può venire a trovarsi. Per questo, quando necessario deve essere protetto dall'azione dell'acqua e del gelo.

2.3 Lo strato di fondazione

Lo strato di fondazione è il primo strato della pavimentazione stradale appoggiato sopra al sottofondo. Può essere realizzato con misto granulare stabilizzato oppure con materiali di riciclo conformi alla normativa UNI EN 13242 (scarti di costruzione e demolizione di opere edili, fresato di conglomerato bituminoso, vecchia fondazione stradale, materiali provenienti dagli scavi, ecc.), con e senza trattamento di stabilizzazione con cemento e/o calce.

La stabilizzazione si rende necessaria solo quando l'impiego diretto non consente di raggiungere i requisiti di portanza e di stabilità al gelo previsti dalle Norme Tecniche di Capitolato.

2.3.1 Misto granulare

Il misto granulare naturale è una miscela di aggregati di primo impiego generalmente disponibile in frazione unica 0/D.

2.3.2 Fondazione stabilizzata a cemento

La tecnica consiste nella realizzazione di strati di fondazione con miscele di terre e di aggregati stabilizzate a cemento (eventualmente dopo un pre-trattamento con calce) e rappresenta una valida alternativa al tradizionale impiego di misti granulari.

L'impiego della calce, in aggiunta al cemento, si rende necessario nei casi in cui il materiale da stabilizzare presenta Indice di Plasticità $IP > 6$, cioè quando la miscela di aggregati contiene una significativa presenza di materiali fini (plastici) di natura argillosa.

L'individuazione del tipo di legante (calce e/o cemento) e del dosaggio da adottare per il raggiungimento delle prestazioni previste devono scaturire da specifiche indagini di laboratorio.

2.4 Strato di sottobase

Nelle pavimentazioni flessibili sopra allo strato di fondazione vengono realizzati gli strati di conglomerato bituminoso a caldo: base, binder e tappeto di usura. Nelle pavimentazioni con elevato traffico pesante si adottano pavimentazioni semirigide dove tra la fondazione ed i conglomerati bituminosi viene inserito un ulteriore strato, per lo più in misto cementato.

2.4.1 Misto cementato

Il misto cementato è costituito da una miscela di aggregati lapidei di primo impiego e/o di riciclo (conformi alla normativa UNI EN 13242) impastata con acqua e cemento. Dopo un adeguato tempo di stagionatura, il misto cementato deve assumere una resistenza meccanica durevole ed apprezzabile mediante prove eseguibili su provini di forma assegnata, anche in presenza di acqua o gelo.

2.4.2 Sottobase con bitume schiumato o emulsione bituminosa

Nelle pavimentazioni di concezione più recente lo strato di sottobase viene realizzato con miscele che oltre al cemento contengono anche un legante bituminoso in forma di schiuma o di emulsione bituminosa. Questa tecnica è stata sviluppata nell'ambito del riciclaggio a freddo delle pavimentazioni stradali, ma viene impiegata anche nella costruzione di nuove pavimentazioni sia per l'opportunità di utilizzare una più vasta gamma di aggregati (naturali o di riciclo purché conformi alla normativa UNI EN 13242), che per il maggiore livello prestazionale offerto rispetto al misto cementato.

2.5 Strato di base in conglomerato bituminoso a caldo

Lo strato di base a caldo è un conglomerato bituminoso, dosato a peso o a volume, costituito da aggregati lapidei di primo impiego, conglomerato di recupero (fresato), bitume e additivi. In questo catalogo è stato considerato che il legante sia un bitume modificato con polimeri di tipo "hard".

2.6 Base a freddo con emulsione di bitume modificato

Nel conglomerato riciclato a freddo per strati di base si utilizzano emulsioni di bitume modificato e cemento. La notevole presenza di emulsione bituminosa, il legante bituminoso modificato con polimeri, l'inibizione del potere legante del cemento conferiscono alla miscela una maggiore duttilità ed una maggiore resistenza a fatica. Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo può essere realizzato con impianti mobili (installati provvisoriamente vicino al cantiere), o direttamente in situ mediante un "treno" di riciclaggio costituito da: fresa, macchina stabilizzatrice (tale da disgregare i grumi del conglomerato fresato e miscelare omogeneamente l'emulsione ed il cemento), autobotte per l'acqua, autobotte per l'emulsione, livellatrice, rullo vibrante e rullo gommato.

2.7 Binder

Lo strato di binder è un conglomerato bituminoso impastato a caldo, dosato a peso o a volume, costituito da aggregati lapidei di primo impiego, conglomerato di recupero (fresato), bitume e additivi. In questo catalogo è stato considerato che il legante sia un bitume modificato con polimeri di tipo “hard”.

2.8 Tappeto di usura

Il tappeto di usura è un conglomerato bituminoso impastato a caldo, dosato a peso o a volume, costituito da aggregati lapidei di primo impiego, bitume e additivi. In questo catalogo è stato considerato un tappeto tradizionale chiuso o tipo splittmastix, in entrambi i casi il legante è un bitume modificato con polimeri di tipo “hard”.

3 – FATTORI DEL DIMENSIONAMENTO

3.1 Metodo di calcolo

Le pavimentazioni proposte nel Catalogo sono state dimensionate con metodo razionale mediante il software BISAR, sviluppato dalla Shell Research e ampiamente diffuso a livello internazionale. Tale software permette di calcolare le tensioni, le deformazioni e gli spostamenti in ogni punto di un sistema a multistrato elastico sottoposto a uno o più carichi uniformemente distribuiti su di un'impronta circolare. A loro volta, le tensioni e le deformazioni costituiscono i parametri di ingresso delle leggi di fatica (leggi di decadimento) relative a ciascun materiale. Tali leggi di fatica permettono di stabilire il numero di ripetizioni di carico ammissibile secondo un meccanismo di rottura che non arriva al collasso istantaneo, ma per progressiva riduzione del livello di servizio fino a valori non più tollerabili.

I parametri di calcolo e le leggi di fatica impiegate sono scelti facendo riferimento alle prescrizioni normative, alla letteratura scientifica e alla esperienze sperimentali più recenti.

3.2 Portanza dei sottofondi

Le pavimentazioni del Catalogo sono riferite a tre diversi livelli di portanza dei sottofondi individuati dai valori del Modulo di Deformazione E_{v2} di 80 MPa, 120 MPa e 160 MPa, con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$.

Il Modulo di Deformazione E_{v2} viene determinato con prove di carico su piastra a doppio ciclo eseguite secondo la Normativa DIN 18134.

I primi due valori sono quelli previsti per il corpo stradale dalle Norme Tecniche della Provincia Autonoma di Bolzano, rispettivamente per le strade a basso traffico ed a traffico più elevato. Il valore di E_{v2} corrispondente a 160 MPa è invece da considerare per i sottofondi in trincea costituiti da materiali ad elevata portanza (roccia, till di fondo sovra consolidato, ecc.), oppure per sottofondi realizzati con terre stabilizzate a calce e/o cemento.

3.3 Carichi di traffico

Il Catalogo è organizzato per 9 livelli di traffico individuati dal numero di passaggi di assi standard da 80 kN a ruote gemellate (ESAL). Per le zone a maggiore altitudine non vengono proposte pavimentazioni per i carichi di traffico più elevati, in quanto considerati irraggiungibili anche negli anni a venire.

Il riferimento agli assi standard invece che al numero di mezzi pesanti si è reso necessario perché è stato accertato che la composizione dello spettro di traffico (tipologie dei vari tipi di veicoli computati come mezzi pesanti) varia per le diverse strade della Provincia Autonoma di Bolzano.

Per tutte le strade statali e provinciali il numero di passaggi di assi standard, per un arco temporale di 20 anni, viene fornito dalla Provincia Autonoma di Bolzano, sulla base del rilievo dei flussi di traffico e del tasso di crescita ipotizzato.

Per tutte le altre strade deve essere ricavato a partire dal numero di veicoli pesanti previsti, adottando il coefficiente di equivalenza più opportuno, individuato sulla base della composizione (spettro di traffico) dei veicoli.

3.4 Zone climatiche

Il conglomerato bituminoso è un materiale che ha caratteristiche meccaniche diverse in relazione alla temperatura. Per tenere conto di questo aspetto, nella predisposizione del Catalogo sono state individuate 4 zone climatiche riferite all'altitudine sul livello del mare:

- Zona 1 sotto i 500 m slm;
- Zona 2 tra 500 e 1000 m slm;
- Zona 3 tra 1000 e 1500 m slm;
- Zona 4 oltre 1500 m slm.

Per ciascuna zona è stata individuata una stazione meteo di riferimento. Poiché le miscele bituminose diminuiscono la loro rigidezza all'aumentare della temperatura sono state scelte le stazioni a minore quota sul livello del mare, con la maggiore temperatura media annua, rispettivamente Salorno, Colma Barbiano, Tires, Mazia (tabella 2).

	Zona climatica 1	Zona climatica 2	Zona climatica 3	Zona climatica 4
	Stazione meteo di Salorno	Stazione meteo di Colma Barbiano	Stazione meteo di Tires	Stazione meteo di Mazia
Mese	Temp. medie mensili [°C]	Temp. medie mensili [°C]	Temp. medie mensili [°C]	Temp. medie mensili [°C]
Gennaio	0.9	0.1	-0.1	-1.3
Febbraio	3.3	2.9	1.0	-1.1
Marzo	8.7	7.2	4.4	2.1
Aprile	13.0	11.0	7.4	5.4
Maggio	17.8	15.4	11.8	10.2
Giugno	21.3	18.6	15.7	13.7
Luglio	23.1	21.0	17.9	15.8

Agosto	22.8	20.6	17.8	15.8
Settembre	18.1	16.4	13.9	11.2
Ottobre	12.1	11.8	9.5	7.0
Novembre	5.7	5.5	4.0	1.8
Dicembre	1.6	1.0	0.3	-1.5

Tabella 2 - Temperature medie mensili registrate nel 2014 nelle stazioni meteo di riferimento

Le 4 zone climatiche hanno anche condizioni diverse rispetto al rischio gelo. Nel calcolo della pavimentazione non è previsto il *parametro gelo* ma il fenomeno deve essere evitato con specifici accorgimenti, come illustrato nel successivo paragrafo 4. Nel catalogo, per le zone a rischio gelo, si è però ritenuto opportuno segnalare la problematica indicando l'eventuale necessità di inserire uno strato antigelo.

3.5 Materiali

Il Catalogo prevede l'impiego dei materiali usualmente impiegati sulla rete stradale della Provincia Autonoma di Bolzano, compresi quelli di riciclo quali il conglomerato bituminoso di recupero (fresato) e le terre stabilizzate con calce e/o cemento.

Per quasi tutte le tipologie di pavimentazione proposte, escluse solo quelle interessate da un basso livello di traffico (inferiore a 0,5 milioni di ESAL), per lo strato di fondazione viene fornita l'alternativa tra l'impiego di misto granulare e di materiali, anche di riciclo, stabilizzati a cemento (se necessario dopo un pre-trattamento a calce).

Per i livelli di traffico più elevati viene previsto l'inserimento di uno strato di misto cementato e l'eventuale sostituzione della base in conglomerato bituminoso a caldo con una base a freddo realizzata con bitume schiumato o emulsione di bitume modificato.

I conglomerati bituminosi di base, binder ed usura prevedono sempre l'impiego di bitume modificato di tipo hard.

Le caratteristiche dei materiali costituenti (aggregati lapidei, bitume, cemento, ecc.) e delle miscele sono quelle previste dalle Norme Tecniche della Provincia Autonoma di Bolzano.

4 – PROTEZIONE DAL GELO

Nelle zone climatiche in cui ricorrono che le condizioni per la formazione del gelo nei sottofondi, al di sotto del pacchetto previsto dal Catalogo è necessario inserire un adeguato spessore di materiali antigelo.

Sulla base dei dati climatici storici deve essere preliminarmente individuata la profondità di formazione del gelo. A vantaggio di sicurezza e per tener conto della maggiore penetrazione del gelo nei materiali porosi, tale quota deve essere incrementata del 30%.

Quando tra il piano di posa della pavimentazione e la quota così individuata c'è una distanza minore o uguale a 30 cm deve essere inserito uno strato anticapillare dello spessore di 30 cm, eventualmente rimuovendo una parte del sottofondo. Quando la *quota gelo* ipotizzata è maggiore di

30 cm, sopra allo strato anticapillare, deve essere posto del misto granulare fino a raggiungere il piano di posa della pavimentazione.

Poiché lo strato anticapillare, oltre ad impedire la risalita dell'acqua dal sottofondo, può drenare acqua dalle scarpate o dai terreni adiacenti è necessario prevedere la raccolta e l'allontanamento di tale acqua. In tal senso è necessario che il piano di posa dello strato anticapillare abbia una pendenza non inferiore al 4% e che sul lato più basso sia previsto un tubo drenante posto circa 30 cm più in basso (fig. 1).

Lo strato anticapillare deve essere costituito da terre granulari (ghiaia, ghiaietto ghiaino), con granulometria compresa tra 8 e 50 mm, passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in peso e, comunque, con un passante al setaccio 0,063 mm non superiore al 3%.

Il materiale deve risultare del tutto esente da componenti instabili (gelive, tenere, solubili, etc.) e da resti vegetali; è ammesso l'impiego di materiali frantumati oppure riciclati.

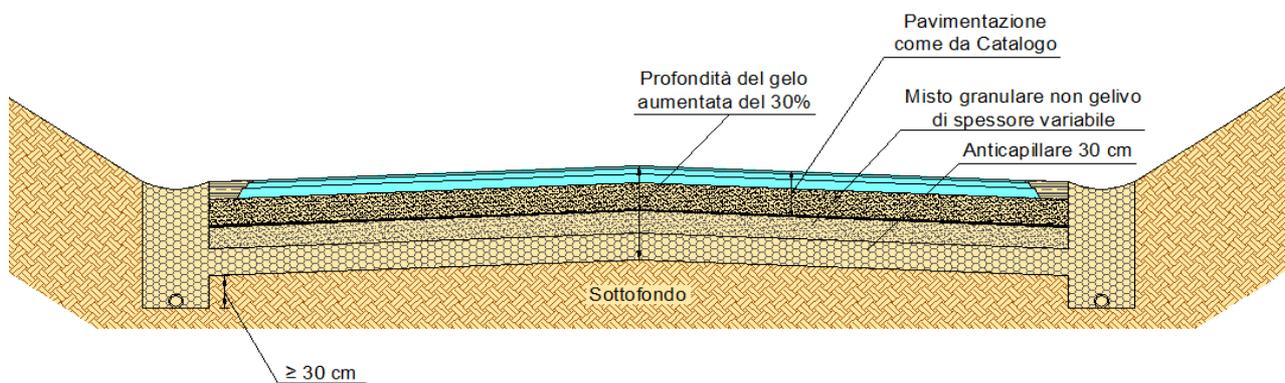


Figura 1 – Schema della pavimentazione

5 – GUIDA ALL'UTILIZZO DEL CATALOGO

Per l'utilizzo del Catalogo è necessario conoscere la quota alla quale si trova la pavimentazione, la portanza del terreno di sottofondo ed il carico di traffico previsto nell'arco di vita utile, generalmente assunto in 20 anni.

Per la rete stradale della Provincia Autonoma di Bolzano il carico di traffico in assi standard da 80 kN, calcolato per i successivi 20 anni sulla base del traffico rilevato e del tasso di crescita ipotizzato è reperibile sul sito <http://www.provincia.bz.it/edilizia/temi/geologia.asp>

Per le altre strade il progettista può ricavare il numero di assi standard che interesseranno la strada a partire dal numero di veicoli pesanti previsti, adottando il coefficiente di equivalenza più opportuno. Con i dati di ingresso disponibili si procede a:

1. individuare la scheda di riferimento in base alla quota della pavimentazione sul livello del mare (sotto i 500 m slm, tra 500 e 1000 m slm, tra 1000 e 1500 m slm, oltre 1500 m slm);
2. selezionare la colonna relativa al carico di traffico (assi standard da 80 kN) previsto (inferiore a 0,5 milioni, tra 0,5 e 1 milione, tra 1 e 2 milioni, tra 2 e 4 milioni, tra 4 e 8 milioni, tra 8 e 12 milioni, tra 12 e 18 milioni, tra 18 e 24 milioni, tra 24 e 30 milioni);
3. individuare la riga corrispondente alla portanza del sottofondo prevista: $E_{v2} = 80$ MPa, $E_{v2} = 120$ MPa, $E_{v2} = 160$ MPa (per valori intermedi si assume quello più basso dell'intervallo in cui è compreso).
4. scegliere, tra quelli presenti nella casella individuata, il pacchetto più opportuno in relazione ai materiali disponibili, alla logistica del cantiere, ai costi economici e ambientali.

Di seguito si riporta un **esempio di utilizzo del Catalogo**.

La pavimentazione da dimensionare è ubicata ad una quota sul livello del mare pari a 400 m, il carico di traffico previsto per i primi 20 anni di vita è di 11,3 milioni di ESAL da 80 kN, la portanza del sottofondo E_{v2} è pari a 130 MPa.

Lo schema da utilizzare è quello della scheda n. 2 (quota < 500 m, carico di traffico da 4 a 20 milioni).

La colonna da selezionare è la seconda (carico di traffico tra 8 e 12 milioni di ESAL).

La riga da selezionare è quella centrale: portanza di sottofondo E_{v2} di 120 MPa (primo valore previsto inferiore a quello ipotizzato).

Per la situazione ipotizzata il Catalogo individua 3 soluzioni progettuali:

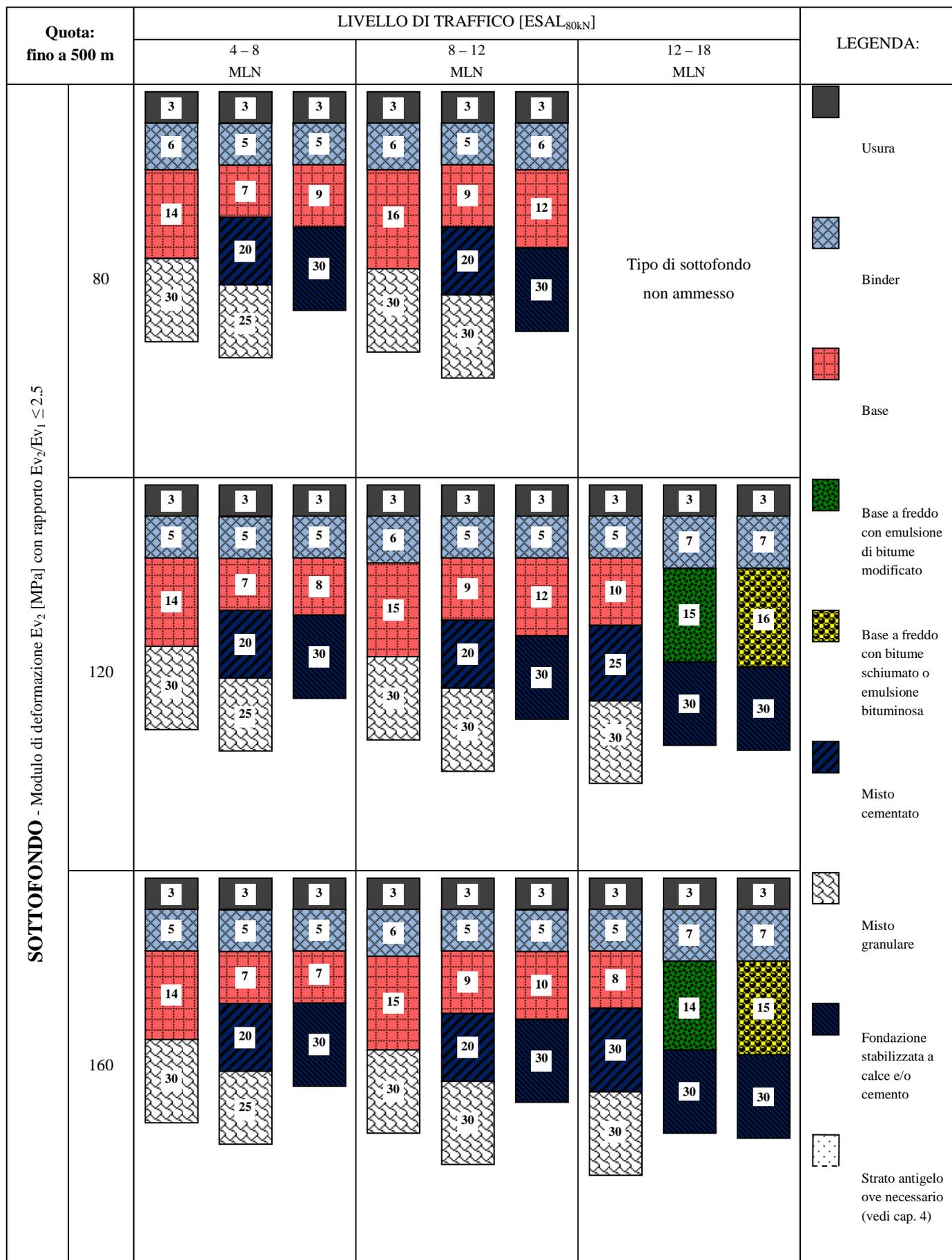
- A. 3 cm di tappeto di usura, 6 cm di binder, 15 cm di strato di base in conglomerato bituminoso a caldo, 30 cm di fondazione in misto granulare;
- B. 3 cm di tappeto di usura, 5 cm di binder, 9 cm di strato di base in conglomerato bituminoso a caldo, 20 cm di sottobase in misto cementato, 30 cm di fondazione in misto granulare;
- C. 3 cm di tappeto di usura, 5 cm di binder, 12 cm di strato di base in conglomerato bituminoso a caldo, 30 cm di fondazione stabilizzata a cemento.

Le tre pavimentazioni sono equivalenti dal punto di vista prestazione. Il progettista è pertanto libero di scegliere quella che ritiene più soddisfacente nel caso specifico.

6 – SCHEDE DI CATALOGO

Quota: fino a 500 m		LIVELLO DI TRAFFICO [ESAL _{80kN}]				LEGENDA:			
		< 0,5 MLN	0,5 – 1 MLN	1 – 2 MLN	2 – 4 MLN				
SOTTOFONDO - Modulo di deformazione E _{v2} [MPa] con rapporto E _{v2} /E _{v1} ≤ 2.5	80								Usura Binder Base
	120								Base a freddo con emulsione di bitume modificato Base a freddo con bitume schiumato o emulsione bituminosa Misto cementato
	160								Misto granulare Fondazione stabilizzata a calce e/o cemento Strato antigelo ove necessario (vedi cap. 4)

Schema 1: Quota < 500 m, livelli di traffico da 1 a 4



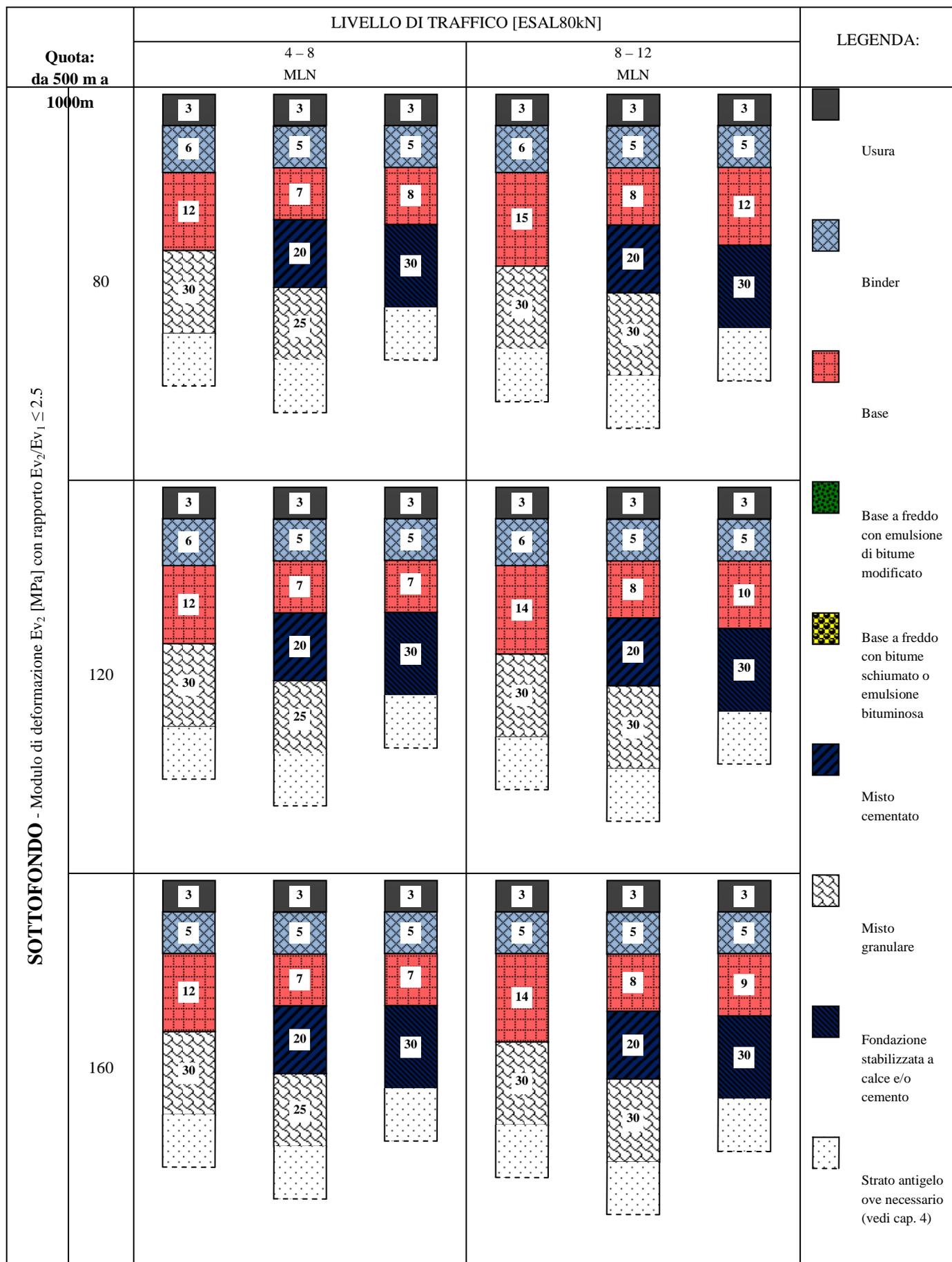
Schema 2: Quota < 500 m, livelli di traffico da 5 a 7

Quota: fino a 500 m		LIVELLO DI TRAFFICO [ESAL80kN]		LEGENDA:
		18 – 24 MLN	24 – 30 MLN	
SOTTOFONDO - Modulo di deformazione E_{v2} [MPa] con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2.5$	80	Tipo di sottofondo non ammesso		 Usura  Binder  Base
	120	  	  	 Base a freddo con emulsione di bitume modificato  Base a freddo con bitume schiumato o emulsione bituminosa  Misto cementato
	160	  	  	 Misto granulare  Fondazione stabilizzata a calce e/o cemento  Strato antigelo ove necessario (vedi cap. 4)

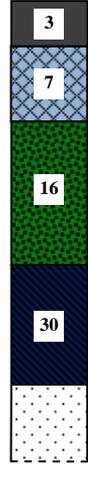
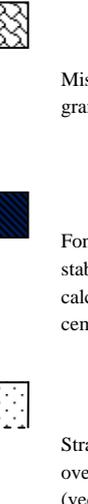
Schema 3: Quota < 500 m, livelli di traffico 8 e 9

Quota: da 500 m a 1000m		LIVELLO DI TRAFFICO [ESAL _{80kN}]				LEGENDA:	
		< 0,5 MLN	0,5 – 1 MLN	1 – 2 MLN	2 – 4 MLN		
SOTTOFONDO - Modulo di deformazione E_{v2} [MPa] con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2.5$	80						
	120						
	160						

Schema 4: Quota 500-1000 m, livelli di traffico da 1 a 4



Schema 5: Quota 500-1000 m, livelli di traffico 6 e 7

Quota: da 500 m a	LIVELLO DI TRAFFICO [ESAL80kN]		LEGENDA:
	12 – 18 MLN	18 – 24 MLN	
1000m	Tipo di sottofondo non ammesso		 Usura  Binder  Base
80	Tipo di sottofondo non ammesso		 Base a freddo con emulsione di bitume modificato  Base a freddo con bitume schiumato o emulsione bituminosa  Misto cementato
	120	  	  
160	  		 Misto granulare  Fondazione stabilizzata a calce e/o cemento  Strato antigelo ove necessario (vedi cap. 4)
	120	  	

Schema 6: Quota 500-1000 m, livelli di traffico 7 e 8

Quota: da 1000 m a 1500m		LIVELLO DI TRAFFICO [ESAL _{80kN}]				LEGENDA:
		< 0,5 MLN	0,5 – 1 MLN	1 – 2 MLN	2 – 4 MLN	
SOTTOFONDO - Modulo di deformazione E_{v2} [MPa] con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2.5$	80					
	120					
	160					

Schema 7: Quota 1000-1500 m, livelli di traffico da 1 a 4

Quota: da 1000 m a 1500m		LIVELLO DI TRAFFICO [ESAL _{80kN}]					LEGENDA:
		4 – 8 MLN		8 – 12 MLN			
SOTTOFONDO - Modulo di deformazione E_{v2} [MPa] con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2.5$	80						Livelli di traffico non previsti
	120						Livelli di traffico non previsti
	160						Livelli di traffico non previsti

Schema 8: Quota 1000-1500 m, livelli di traffico 5 e 6

Quota: da 1500 m		LIVELLO DI TRAFFICO [ESAL _{80kN}]										LEGENDA:
		< 0,5 MLN		0,5 – 1 MLN		1 – 2 MLN		2 – 4 MLN		4 – 8 MLN		
SOTTOFONDO - Modulo di deformazione E_{v2} [MPa] con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2.5$	80											Usura
	120											Base a freddo con emulsione di bitume modificato
	160											Base a freddo con bitume schiumato o emulsione bituminosa
												Misto cementato
												Misto granulare
												Fondazione stabilizzata a calce e/o cemento
												Strato antigelo ove necessario (vedi cap. 4)

Schema 9: Quota > 1500 m, livelli di traffico da 1 a 5

7 – BIBLIOGRAFIA

- Airey G. D., “Fundamental binder and practical mixture evaluation of polymer modified bituminous materials”, *International Journal on Pavement Engineering*, vol. 5, pp 137-151, 2004.
- Bahia H. U., Hanson D. I., Zeng H., Zhai H., Khatri M. A., Anderson R. M., “Characterization of modified asphalt binders in superpave mix design”, NCHRP report 459, Washington D.C., 2001.
- Bocci M., Cardone F., Cerni G., Santagata E., “Rheological characterization of the fatigue resistance of asphalt binders”, ISAP conference, Quebec City, Canada, 2006.
- Bonnetti K., Nam K., Bahia H. U., “Measuring and defining fatigue behaviour of asphalt binder”, 8th TRB annual meeting, Washington D.C., 2002.
- De Beer M., “Aspects of the design and behaviour of road structures incorporating lightly cementitious layers”, PhD dissertation, Pretoria, 1990.
- Finn F., Saraf C., Kulkarni R., Nair K., Smith W. And Abdullah A., “The use of distress prediction subsystems for the design of pavement structures”, 4th International conference on structural design of asphalt pavements, 1977.
- Grilli A., Bocci E., Graziani A., “Influence of reclaimed asphalt content on the mechanical behavior of cement-treated mixtures”, *International Journal of Road Materials and Pavement Design*, Vol.14, Issue 3, pp. 666-678, 2013.
- Jenkins K. J., Van de Ven M. F. C., de Groot J. L. A., “Characterisation of foamed bitumen”, 7th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, 1999.
- Jenkins K. J., “Mix design considerations for cold and half-warm bituminous mixes with emphasis on foamed bitumen”, PhD Dissertation, University of Stellenbosch, 2000.
- Isacson U. and Lu X., “Properties of bitumens modified with elastomers and plastomers”, 2th Euroasphalt & Eurobitume Congress, Barcellona, Spagna, 2000.
- Lesueur D., “The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification”, *International Journal on Advances in colloid and interface science*, vol. 145, pp 42-82, 2009.
- Liebenberg J. J. E., Visser A. T., “Towards a mechanical structural design procedure for emulsion-treated base layers”, *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 2004.
- Liebenberg J. J. E., “A structural design procedure for emulsion treated pavement layers”, PhD dissertation, University of Pretoria, 2003.
- Loizos A., Collings D., Jenkins K., “Rehabilitation of a major greek highway by recycling/ stabilising with foamed bitumen”, 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, 2004.
- Long F., H. Theyse, “Mechanical-empirical structural design models for foamed and emulsified bitumen treated materials”, 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, 2004.
- Raffaelli D., “Foamed asphalt base stabilization”, Institute of Transportation Studies, University of California Berkeley, 2004.
- Theyse H. L., de Beer M., Rust F. C., “Overview of South African mechanistic pavement design method”, *Transport Research Record* 1539, 1996.
- Theyse H. L., Muthern M. “Pavement analysis and design software (PADS) based on the South African mechanistic-empirical design method”, CSIR, Pretoria, 2000.
- Yetkin Y., “Polymer modified asphalt binders”, *International Journal on Construction and building materials*, vol. 21, pp 66-72, 2007.