



## PROGRAMMA OPERATIVO COMPLEMENTARE (P.O.C.) 2014 - 2020

ATTUAZIONE DELIBERAZIONE CIPE N. 54 / 2016

Deliberazione Giunta Regione Campania n. 113 del 26.03.2019

BENEFICIARIO ATTUAZIONE OPERAZIONE

### CONSORZIO DI BONIFICA "VELIA"

Località Piano della Rocca, 84060 - PRIGNANO CILENTO (SA)

Tel. 0974/837206 - Fax. 0974/837154 - Pec: consorziovelia@pec.it - www.consorziovelia.com

**Id. 261\_1 - C.U.P. E21B04000330006. Ripristino viabilità e collegamenti del bacino della diga di Piano della Rocca. INTERVENTO DI COMPLETAMENTO**

Fattibilità tecnico economica

Progetto definitivo

Progetto esecutivo

### D - PROGETTO STRADALE

Intersezioni con la viabilità secondaria  
Relazione di calcolo delle pavimentazioni

Sigla progressiva	<b>D B 0 0 2</b>	Scala	-	Cod. elaborato	<b>P S 0 0 P S T R E 0 2</b>
-------------------	------------------	-------	---	----------------	------------------------------

Data prima emissione del documento	Revisione	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>12/2020</b>		data	data	data	data	data
		---	---	---	---	---

Riferimento archivio digitale	N. 036.2020/Ve.Ing.
-------------------------------	---------------------

<b>RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO</b>	
<b>Ing. Marcello Nicodemo</b> Consorzio di Bonifica "Velia" Loc. Piano della Rocca - 84060 - Prignano Cilento (SA) Tel. 0974.837206 - Pec: consorziovelia@pec.it Iscritto all'Albo degli Ingegneri di Salerno n. 1931 dal 16.04.1984	
<b>PROGETTAZIONE</b>	
<b>VELIA INGEGNERIA E SERVIZI SRL</b> Loc. Piano Della Rocca 84060 - Prignano Cilento (SA) Tel. 0974/837206 fax 0974/837154 - Pec: veliaingegneria@pec.it <b>Ing. Gaetano Suppa - Direttore Tecnico</b> Iscritto all'Albo degli Ingegneri di Salerno n. 1854 dal 12.09.1983	
<b>GEOLOGIA</b>	
<b>RTP TRONCARELLI - VENOSINI - ROSSI</b> <b>Dott. Geol. Roberto Troncarelli</b> (mandataria) - P.IVA 01400050560 <b>Dott. Geol. Andrea Venosini</b> (mandante) Legale Rappresentante Geoven di Venosini Andrea - P.IVA 02110500697 <b>Dott. Geol. Giuseppe Rossi</b> (mandante) Legale Rappresentante Geolab di Giuseppe Rossi - P.IVA 02308670690	



## Relazione di calcolo delle pavimentazioni

### Introduzione

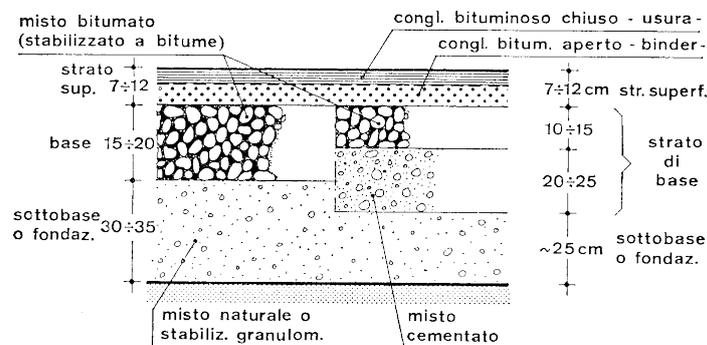
La presente relazione tecnica illustra il calcolo delle pavimentazioni stradali previste per gli assi di rammaglio alla viabilità comunale e interpodereale del progetto "Ripristino viabilità e collegamenti del bacino della diga di piano della Rocca" che prevede il completamento dell'asse stradale di penetrazione tra lo svincolo della diga Alento sulla variante alla ex SS18 con la frazione Gorga del Comune di Stio.

La presente relazione è stata redatta seguendo le prescrizione/indicazioni del 240 del 18/09/2019 avendo ad oggetto "RIPRISTINO VIABILITÀ E COLLEGAMENTI DI SERVIZIO DEL BACINO DELLADIGA DI PIANO DELLA ROCCA. INTERVENTO DI COMPLETAMENTO", id. 1026 int. 261\_1 anagr.H062 - NULLA OSTA, con prescrizioni, in attuazione dei Decreti n.39 del 5.4.2018 e n.49 del 10.5.2018 del Presidente della Provincia di Salerno Sett. Viabilità e Trasporti, nel rispetto di quanto previsto dal "Manuale di controllo tecnico-prestazionale e di gestione delle pavimentazioni stradali", di cui al Decreto dirigenziale prto.2017001215813 del 09/06/2017 Pubblicato all'Albo pretorio dell'Ente in data 14/06/2017.

Nel presente relazione si andranno a delineare le regole per la realizzazione delle lavorazioni e per ogni tipo di intervento sulle pavimentazioni stradali in conglomerato bituminoso. Queste indicazioni hanno come obiettivo principale quello di ottimizzare il rapporto benefici-costi ponendo una maggiore attenzione alle prestazioni del materiale costituente e di conseguenza alla durabilità dell'infrastruttura.

### Definizione della sovrastruttura stradale

Per la pavimentazione stradale dell'asse principale si è deciso di utilizzare una pavimentazione di tipo flessibile, costituita da uno strato di usura, uno di collegamento (binder), uno di base ed uno di fondazione/livellamento.



Gli strati superficiali devono avere elevata resistenza meccanica a compressione, flessione e taglio, elevata aderenza, devono essere impermeabili ed essere oggetto di scarse manutenzioni. Lo strato di base, invece, deve avere elevata resistenza ai fenomeni di fatica e all'ormaiamento. Lo strato di fondazione trasferisce i carichi al terreno e funge da filtro per la risalita di materiali fini.

I conglomerati bituminosi, per qualsiasi impiego, dovranno essere costituiti da miscele di aggregati lapidei, definiti dall'art.1 delle "Norme per l'accettazione dei pietrischi, dei pietrischetti, delle graniglie, delle sabbie e degli additivi per costruzioni stradali" del C.N.R. fascicolo IV- 1953, e bitume, mescolati a caldo.

I materiali di base da impiegare nei lavori dovranno corrispondere ai requisiti di seguito fissati e riportati nel Capitolato speciale d'appalto - Pavimentazioni stradali. Per ciò che riguarda le loro miscele e lavorazioni valgono le prescrizioni o le indicazioni prestazionali



contenute nel presente relazione e nel già citato Capitolato speciale d'appalto – Pavimentazioni stradali. I conglomerati bituminosi per essere ritenuti idonei e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE.

Le prescrizioni che le caratteristiche dei materiali dovranno soddisfare per i vari tipi di impiego sono riportate ai punti seguenti.

## **MATERIALI INERTI**

### **Aggregato grosso**

L'aggregato grosso è costituito dai pietrischetti e dalla frazione dalle graniglie, i quali potranno avere provenienza e natura litologica anche diversa, ma dovranno comunque rispondere ai seguenti requisiti:

- per strati di BASE:
  - perdita in massa alla prova Los Angeles, inferiore al 25 %;
  - inerti frantumati (privi di facce tonde) in % superiore al 70% in peso;
  - Il coefficiente di appiattimento, determinato in accordo con la UNI EN 933-3:2004, deve essere inferiore o uguale a 15.
- per strati di COLLEGAMENTO (binder) e di RISAGOMATURA:
  - perdita in massa alla prova Los Angeles, inferiore al 25 %;
  - inerti frantumati (privi di facce tonde) in % superiore al 80% in peso;
  - Il coefficiente di appiattimento, determinato in accordo con la UNI EN 933-3:2004, deve essere inferiore o uguale a 15.
- per strati di USURA e di RINFORZO TRANSITABILE:
  - perdita in massa alla prova Los Angeles, inferiore al 20 %;
  - Il coefficiente di appiattimento, determinato in accordo con la UNI EN 933-3:2004, deve essere inferiore o uguale a 15.
  - resistenza alla levigatezza pari a PSV= 44 (UNI EN 1097-8) calcolato col metodo del PSVmix;
  - resistenza al gelo/disgelo inferiore o uguale a 1% (UNI EN 1367-1)

In particolare, le caratteristiche dell'aggregato grosso dovranno essere tali da assicurare la realizzazione di una superficie di transito resistente allo slittamento degli autoveicoli in qualunque condizione ambientale e meteorologica: tale resistenza dovrà inoltre essere mantenuta entro limiti di sicurezza accettabili, per un periodo di almeno tre anni.

### **Aggregato fine**

L'aggregato fine è costituito dalla frazione delle graniglie passante al crivello da 5 mm e dalle sabbie sia naturali che (preferibilmente) di frantumazione.

Le sabbie, in ogni caso, dovranno essere dure, vive, aspre al tatto e dovranno avere una granulometria idonea al conferimento della necessaria compattezza al conglomerato.

### **Equivalente in sabbia**

L'equivalente in sabbia determinato secondo la UNI EN 933-8:2000 dovrà essere superiore od uguale a 75, nel caso di impiego in strati di usura, ovvero superiore o uguale a 60 negli altri casi. In ogni caso, i pietrischetti e le graniglie dovranno essere costituiti da granuli sani, duri, non lamellari ma approssimativamente poliedrici, con spigoli vivi, a superficie



ruvida, puliti ed esenti da polveri o materiali estranei e dovranno inoltre risultare non idrofili.

### Additivi minerali (fillers)

Gli additivi (filler) provenienti dalla macinazione di rocce preferibilmente calcaree o costituiti da cemento, calce idrata, calce idraulica, dovranno soddisfare ai seguenti requisiti alla prova UNI EN 933-10 dovranno risultare compresi nei seguenti limiti minimi:

- setaccio UNI 2 mm passante in peso 100%
- setaccio UNI n. 0,125 passante in peso 85 - 100%
- setaccio UNI n. 0,063 passante in peso 70 - 100%
- indice di plasticità (UNI CEN ISO/TS 1789-12): NP
- palla e anello (filler/bitume=1.5) (UNI EN 13179-1):  $\_R\&B > 5\%$

## LEGANTI BITUMINOSI

### Bitumi di base

I leganti bituminosi semisolidi sono quei bitumi per uso stradale di normale produzione da raffineria (definiti di base) impiegati per il confezionamento di conglomerati bituminosi tradizionali. Le tabelle che seguono si riferiscono nella prima parte al prodotto di base così come viene prelevato nelle cisterne e/o negli stoccaggi, nella seconda parte al prodotto sottoposto all'invecchiamento artificiale.

caratteristiche	U.M.	Bitume 50/70	Bitume 70/100
		valore	
<b>PRIMA PARTE</b>			
penetrazione a 25° C	dmm	50-70	70-100
punto di rammollimento	° C	45-60	40-60
punto di rottura Fraass, min.	° C	≤-6	≤-8
ritorno elastico	%	-	-
stabilità allo stoccaggio tube test	° C	-	-
viscosità dinamica a 160° C	Pa x s	0,03-0,10	0,02-0,10
<b>SECONDA PARTE - valori dopo RTFOT <sup>(c)</sup></b>			
incremento del punto di rammollimento	° C	≤ 9	≤ 9
penetrazione residua	%	≥ 40	≥ 50

<sup>(c)</sup> Rolling Thin Film Oven Test

### Bitumi modifica

I bitumi modificati rappresentano quei leganti per uso stradale di nuova generazione, che garantiscono una maggiore durata a fatica delle pavimentazione rispetto a quelle impieganti bitumi di base o che permettano risultati altrimenti impossibili con i conglomerati normali.

La loro produzione deve avvenire in impianti industriali dove vengono miscelati i bitumi di base, opportunamente selezionati, con polimeri di natura elastomerica e/o plastomerica e/o altre tipologie di modifica.

I bitumi modificati, in funzione del tipo di modifica, vengono così definiti:

- in modo soft " SF" : modifica media con le caratteristiche riportate nella tabella sottostante;
- in modo hard " HD": modifica forte con le caratteristiche riportate nella tabella sottostante.

Possono essere inoltre impiegati bitumi di base modifica "BM" opportunamente preparati per una successiva modifica. I bitumi di tipo soft potranno essere impiegati nelle miscele



normali (base, binder, usura) mentre dovranno essere tassativamente impiegati i bitumi di tipo hard nelle miscele speciali salvo diversa indicazione della Committente. Per l'accertamento della percentuale di bitume e degli altri requisiti richiesti, saranno effettuate apposite analisi su campioni prelevati con le modalità che verranno descritte in seguito.

<b>3 - BITUMI MODIFICATI CON AGGIUNTA DI POLIMERI</b>				
<b>caratteristiche</b>	<b>U.M.</b>	<b>Base Modifica BM</b>	<b>Soft 2,5%-3,5% SF</b>	<b>Hard 4%-6% HD</b>
penetrazione a 25° C	dmm	80-100	50-70	50-70
punto di rammollimento	° C	40-60	60-80	70-90
punto di rottura Fraass	° C	≤ -8	≤ -10	≤ -12
ritorno elastico a 25° C	%	-	≥ 70	≥ 80
viscosità dinamica a 160° C	Pa x s	0,01-0,10	0,10-0,35	0,15-0,4
Stabilità allo stoccaggio tube test	°C	-	≤ 3 <sup>(e)</sup>	≤ 3 <sup>(e)</sup>
valori dopo RTFOT - Rolling Thin Film Oven Test				
penetrazione residua a 25° C	%	≥ 50	≥ 40	≥ 40
Incremento del punto di rammollimento	° C	≤ 9	≤ 8	≤ 5

*(<sup>e</sup>)entrambi i valori del punto di rammollimento ottenuti per il tube test non devono differire dal valore di rammollimento di riferimento di più di 5°C*

<b>1 - BITUMI MODIFICATI PER MANI D'ATTACCO</b>		
<i>BITUME SOFT O HARD</i>		
<b>caratteristiche</b>	<b>U.M.</b>	<b>valori</b>
penetrazione a 25° C	dmm	50-70
punto di rammollimento	° C	60-90
punto di rottura Fraass	° C	≤ -10
viscosità dinamica a 160° C	Pa x s	0,10-0,4

### **COMPOSIZIONE E CARATTERISTICHE DEI CONGLOMERATI BITUMINOSI**

Le miscele di aggregati lapidei dovranno avere granulometrie continue comprese nei limiti sotto indicati e le relative curve granulometriche dovranno avere andamenti sostanzialmente paralleli alle curve limite dei rispettivi fusi.

Di tali limiti, le dimensioni massime dei granuli sono valori critici di accettazione, mentre i fusi granulometrici hanno valore orientativo nel senso che l'andamento delle curve granulometriche delle miscele potrà anche differire da quelli indicati, ma dovrà essere comunque tale da conferire ai conglomerati le caratteristiche prestazionali rispettivamente prescritte.

Analogamente, i valori del contenuto di bitume sono indicati a titolo orientativo: gli effettivi valori, infatti, dovranno essere almeno pari ai minimi che consentano il raggiungimento delle rispettive caratteristiche prestazionali.

Le miscele dovranno avere una composizione granulometrica compresa nei fusi di seguito elencati e una percentuale di bitume riferita al peso della miscela, compresa tra i sotto indicati intervalli per i diversi tipi di conglomerato.



- STRATO DI BASE**

DESCRIZIONE DEL CONTROLLO	LIMITI E TOLLERANZE
<b>Apertura setacci (mm)</b>	<b>Passanti (%)</b>
31,50	100,00 %
20,00	68÷98 %
16,00	55÷78 %
8,00	36÷60 %
4,00	25÷48 %
2,00	18÷38 %
0,50	8÷21 %
0,250	5÷16 %
0,063	4÷8 %

Bitume, riferito alla miscela, 3,8%-5,2% (UNI EN 12697-1 e 39) e spessori compresi tra 8 e 20 cm.

- STRATO DI BINDER**

DESCRIZIONE DEL CONTROLLO	LIMITI E TOLLERANZE
<b>Apertura setacci (mm)</b>	<b>Passanti (%)</b>
20,00	100,00 %
16,00	90÷100 %
12,50	66÷86 %
8,00	52÷72 %
4,00	34÷54 %
2,00	25÷40 %
0,50	10÷22 %
0,250	6÷16 %
0,063	4÷8 %

Bitume, riferito alla miscela, 4,1%-5,5% (UNI EN 12697-1 e 39) e spessori compresi tra 3 e 7 cm



• **STRATO DI USURA:**

DESCRIZIONE DEL CONTROLLO	LIMITI E TOLLERANZE	
	Passanti FUSO A (%)	Passanti FUSO B (%)
Apertura setacci (mm)		
16,00	100 %	-
12,50	90÷100 %	100 %
8,00	70÷88 %	90÷100 %
4,00	40÷58 %	44÷64 %
2,00	25÷38 %	28÷42 %
0,50	10÷20 %	12÷24 %
0,250	8÷16 %	8÷18 %
0,063	6÷10 %	6÷10 %

Bitume, riferito alla miscela, 4,5%-6,1% (UNI EN 12697-1 e 39) e spessori compresi tra 3 e 6 cm per l'usura tipo A e 3 cm per il tipo B.

**REQUISIRI DI ACCETTAZIONE**

I conglomerati dovranno avere ciascuno i requisiti descritti nei punti a cui si riferiscono. Le miscele devono avere massime caratteristiche di resistenza a fatica, all'ormaiamento, ai fattori climatici e in generale ad azioni esterne. Le miscele devono essere verificate mediante pressa giratoria con i seguenti parametri di prova:

<i>Pressione verticale (kPa)</i>	<b>600</b>	
<i>Angolo di rotazione</i>	<b>1.25 ± 0.02</b>	
<i>Diametro provino (mm)</i>	<b>150</b>	<i>per base e basebinder</i>
<i>Diametro provino (mm)</i>	<b>100</b>	<i>per usura A e B e per binder</i>

• **STRATO DI BASE**

I provini dovranno essere compattati mediante compattatore giratorio ad un numero di giri totali (N3) dipendente dalla tipologia della miscela e dalla tipologia del legante. La verifica della % dei vuoti dovrà essere fatta a tre livelli di n° giri: N1 (iniziale), N2 (medio) e N3 (finale). Il numero dei giri di riferimento con le relative percentuali dei vuoti sono:



num di giri	<b>base</b>			% VUOTI (UNI EN 12697-8)
	bitume tradizionale	bitume modificato SOFT	bitume modificato HARD	
<b>N1</b>	10	10	10	11-15
<b>N2</b>	100	110	120	3-6
<b>N3</b>	180	190	200	≥ 2

Le miscele risultanti dallo studio/verifica mediante giratoria (compattate a N3) dovranno essere testate a trazione diametrale a 25°C. I due parametri di riferimento sono Rt (resistenza a trazione indiretta) e CTI (coefficiente di trazione indiretta):

	Miscela con bitume tradizionale	Miscela con bitume modificato
Rt (Mpa)	0.72 - 1.40	0.95 - 1.70
CTI (Mpa)	≥ 65	≥ 75

• **STRATO DI BINDER**

I provini potranno essere confezionati mediante Compattatore Marshall. Il conglomerato dovrà avere i seguenti requisiti:

- il valore della stabilità Marshall (C.N.R. 30 -1973) eseguita a 60°C su provini costipati con 75 colpi di maglio per faccia, dovrà risultare non inferiore a 700 Kg; inoltre il valore della rigidità Marshall, cioè il rapporto tra la stabilità misurata in Kg e lo scorrimento misurato in mm, dovrà essere superiore a 250;
- gli stessi provini per i quali viene determinata la stabilità Marshall dovranno presentare una percentuale di vuoti residui compresi fra 4% e 7%. I provini per le misure di stabilità e rigidità anzidette dovranno essere confezionati presso l'impianto di produzione e/o presso la stesa. La temperatura di compattazione dovrà essere uguale o superiore a quella di stesa; non dovrà però superare quest'ultima di oltre 10°C.

Il numero dei giri di riferimento con le relative percentuali dei vuoti sono:

num di giri	<b>binder</b>			% VUOTI (UNI EN 12697- 8)
	bitume tradizionale	bitume modificato SOFT	bitume modificato HARD	
<b>N1</b>	10	10	10	11-15
<b>N2</b>	100	110	120	3-6
<b>N3</b>	180	190	200	≥ 2



Le miscele risultanti dallo studio/verifica mediante giratoria (compattate a N3) dovranno essere testate a trazione diametrale a 25°C. I due parametri di riferimento sono Rt (resistenza a trazione indiretta) e CTI (coefficiente di trazione indiretta):

	Miscela con bitume tradizionale	Miscela con bitume modificato
Rt (Mpa)	0.72 - 1.40	0.95 - 1.70
CTI (Mpa)	≥ 65	≥ 75

• **STRATO DI USURA**

I provini potranno essere confezionati mediante Compattatore Marshall.

la stabilità Marshall, eseguita a 60°C su provini costipati con 75 colpi di maglio per ogni faccia, dovrà risultare in ogni caso uguale o superiore a 900 Kg. Inoltre il valore della rigidità Marshall, cioè il rapporto tra la stabilità misurata in Kg e lo scorrimento misurato in mm, dovrà essere in ogni caso superiore a 300 (C.N.R 30-1973).

Gli stessi provini per i quali viene determinata la stabilità Marshall dovranno presentare una percentuale di vuoti residui compresa tra 3÷7%. La prova Marshall eseguita su provini che abbiano subito un periodo di immersione in acqua distillata per 15 giorni, dovrà dare un valore di stabilità non inferiore al 75% di quello precedentemente indicato.

Il numero dei giri di riferimento con le relative percentuali dei vuoti sono:

num di giri	usura A e B			% VUOTI (UNI EN 12697-8)
	bitume tradizionale	bitume modificato SOFT	bitume modificato HARD	
<b>N1</b>	10	10	10	11-15
<b>N2</b>	120	130	140	3-6
<b>N3</b>	210	220	230	≥ 2

Le miscele risultanti dallo studio/verifica mediante giratoria (compattate a N3) dovranno essere testate a trazione diametrale a 25°C. I due parametri di riferimento sono Rt (resistenza a trazione indiretta) e CTI (coefficiente di trazione indiretta):

	Miscela con bitume tradizionale	Miscela con bitume modificato
Rt (Mpa)	0.72 - 1.40	0.95 - 1.70
CTI (Mpa)	≥ 65	≥ 75



## ACCETTAZIONE DELLE MISCELE

L'impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni e per ciascun cantiere di produzione, la composizione delle miscele che intende adottare; ciascuna composizione proposta deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati.

Le suddette composizioni delle miscele, se accettate dalla Direzione Lavori, verranno adottate nell'esecuzione dei lavori e l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente.

Tale curva granulometrica non dovrà superare i limiti del fuso prescritto per ogni tipo di conglomerato. Prima dell'inizio di qualsiasi lavorazione sarebbe opportuno verificare le singole componenti come previsto dalla seguente tabella:

<i>TIPO DI CAMPIONE</i>	<i>UBICAZIONE DEL PRELIEVO</i>	<i>FREQUENZA PRELIEVO</i>	<i>REQUISITI DA CONTROLLARE</i>
Aggregato grosso	Impianto	<i>Inizio lavori</i>	Rif. Par. 2.1.1
Aggregato fine	Impianto	<i>Inizio lavori</i>	Rif. Par. 2.1.2 – 2.1.3
Filler	Impianto	<i>Inizio lavori</i>	Rif. Par. 2.1.4
Bitume	Cisterna	<i>Inizio lavori</i>	Rif. Par. 2.2
Miscela	Impianto	<i>Inizio lavori</i>	Rif. Par. 3

## CONFEZIONAMENTO DELLE MISCELE

Il conglomerato deve essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte. La produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essiccamento, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati. Possono essere impiegati anche impianti continui purché il dosaggio dei componenti la miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo.

Nel caso di eventuale impiego di conglomerato riciclato l'impianto deve essere attrezzato per il riscaldamento separato del materiale riciclato, ad una temperatura compresa tra 90° C e 110° C.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Lo stoccaggio del conglomerato bituminoso riciclato deve essere al coperto. L'umidità del conglomerato riciclato prima del riscaldamento deve essere comunque inferiore al 4%. Nel caso di valori superiori l'impiego del riciclato deve essere sospeso. Il tempo di



miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25 % in peso.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 160° C e 180° C e quella del legante tra 150° C e 170° C. in rapporto al tipo di bitume impiegato.

Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

### PREPARAZIONE DELLE SUPERFICI DI STESA

Prima della realizzazione di uno strato di conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. A seconda che lo strato di supporto sia in misto granulare oppure in conglomerato bituminoso la lavorazione corrispondente prenderà il nome rispettivamente di mano di ancoraggio e mano d'attacco.

Per mano di ancoraggio si intende una emulsione bituminosa a rottura lenta e bassa viscosità, eventualmente applicata sopra uno strato in misto granulare prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso. Scopo di tale lavorazione è quello di riempire i vuoti dello strato non legato irrigidendone la parte superficiale fornendo al contempo una migliore adesione per l'ancoraggio del successivo strato in conglomerato bituminoso.

<i>Indicatore di qualità</i>	<i>Normativa</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Cationica 55 %</i>
Polarità	C.N.R. 99/84		Positiva
Contenuto di acqua % peso	C.N.R. 101/84	%	45 ± 2
Contenuto di bitume + flussante	C.N.R. 100/84	%	55 ± 2
Flussante %	C.N.R. 100/84	%	1 - 6
Viscosità Engler a 20° C	C.N.R. 102/84	°E	2 - 6
Sedimentazione a 5 g	C.N.R. 124/88	%	< 5
<b>Residuo bituminoso</b>			
Penetrazione a 25° C	C.N.R. 24/71	dmm	> 70
Punto di rammollimento	C.N.R. 35/73	°C	> 30

Per mano d'attacco si intende una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo), applicata sopra una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, avente lo scopo di evitare possibili scorrimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia. Le caratteristiche ed il dosaggio del materiale da impiegare variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di manutenzione.

Nel caso di nuove costruzioni, il materiale da impiegare è rappresentato da una emulsione bituminosa cationica (al 55 % oppure al 60 % di legante), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella seguente dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,25 Kg/m<sup>2</sup>.



<i>Indicatore di qualità</i>	<i>Normativa</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Cationica 55 %</i>	<i>Cationica 60 %</i>
Polarità	C.N.R. 99/84		Positiva	Positiva
Contenuto d'acqua % peso	C.N.R. 101/84	%	35±2	40 ± 2
Contenuto di bitume + flussante	C.N.R. 100/84	%	55±2	60 ± 2
Flussante %	C.N.R. 100/84	%	1-4	1 - 4
Viscosità Engler a 20° C	C.N.R. 102/84	°E	4-8	5 - 10
Sedimentazione a 5 g	C.N.R. 124/88	%	< 8	< 8
<b><i>Residuo bituminoso</i></b>				
Penetrazione a 25° C	C.N.R. 24/71	dmm	> 70	> 70
Punto di rammollimento	C.N.R. 35/73	°C	> 40	> 40

Qualora il nuovo strato venga realizzato sopra una pavimentazione esistente è suggerito, in particolare per strade extraurbane principali, l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in Tabella seguente dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 Kg /m<sup>2</sup>. Prima della stesa della mano d'attacco l'impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessurate mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

<i>Indicatore di qualità</i>	<i>Normativa</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Modificata 70 %</i>
Polarità	C.N.R. 99/84		Positiva
Contenuto di acqua % peso	C.N.R. 101/84	%	30 ± 1
Contenuto di bitume+flussante	C.N.R. 100/84	%	70 ± 1
Flussante %	C.N.R. 100/84	%	0
Viscosità Engler a 20° C	C.N.R. 102/84	°E	> 20
Sedimentazione a 5 g	C.N.R. 124/88	%	< 5
<b><i>Residuo bituminoso</i></b>			
Penetrazione a 25°C	C.N.R. 24/71	dmm	50 - 70
Punto di rammollimento	C.N.R. 35/73	°C	> 65
Ritorno elastico a 25°C	EN 13398	%	>75

Nel caso di stesa di conglomerato bituminoso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite (fino ad un massimo del 55 % di bitume residuo).

## **POSA IN OPERA DELLE MISCELE**

La posa in opera dei conglomerati bituminosi verrà effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento. Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente. Qualora ciò non sia possibile il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.



I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento. La sovrapposizione dei giunti longitudinali tra i vari strati deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il trasporto del conglomerato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni.

### **CONTROLLO DELLA TEMPERATURA ALL'ATTO DELLA STESA**

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la finitrice deve risultare in ogni momento non inferiore a 125°C. La stesa dei conglomerati deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'impresa.

### **COMPATTAZIONE DELLO STRATO**

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

Per gli strati di base e di binder possono essere utilizzati rulli con ruote metalliche vibranti e/o combinati, di idoneo peso e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili. Per lo strato di usura può essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 15 t.

Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

La superficie degli strati deve presentarsi, dopo la compattazione, priva di irregolarità ed ondulazioni. Un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa dello strato di base verrà stesa dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza della fondazione ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

Prima della stesa del conglomerato bituminoso su strati di fondazione in misto cementato deve essere rimossa, per garantirne l'ancoraggio, la sabbia eventualmente non trattenuta dall'emulsione stesa precedentemente a protezione del misto cementato stesso. Nel caso di stesa in doppio strato essi devono essere sovrapposti nel più breve tempo possibile. Qualora la seconda stesa non sia realizzata entro le 24 - 48 ore successive tra i due strati deve essere interposta una mano di attacco di emulsione bituminosa in ragione di 0,20 Kg /m<sup>2</sup> di bitume residuo.

La miscela bituminosa dei binder e dei tappeti di usura verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.



## CONTROLLO DEI REQUISITI DI ACCETTAZIONE

### Modalità di prelievo

Il controllo dei requisiti del conglomerato bituminoso e della posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti il conglomerato, sulla miscela prelevata prima della messa in opera ed a posa ultimata mediante carotaggio. L'Impresa ha l'obbligo di prestarsi in ogni tempo alle prove dei materiali impiegati o da impiegarsi, nonché a quelle di campioni da prelevarsi in opera, sottostando a tutte le spese di prelevamento e d'invio di campioni presso l'Istituto/laboratorio autorizzato scelto dalla Direzione Lavori e/o individuato dall'Ente. L'ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove sono indicate nella tabella sottostante:

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE DEL PRELIEVO	FREQUENZA PRELIEVO	REQUISITI DA CONTROLLARE
Conglomerato sfuso	Vibro-finitrice	<i>Giornaliero oppure ogni 1000 mq</i>	Granulometria % bitume % vuoti Caratteristiche meccaniche
Conglomerato sfuso	Vibro-finitrice	<i>ogni macchina</i>	Temperatura
Carote	pavimentazione	<i>Ogni 200m di striscia continua di stesa o in caso di dubbio</i>	Spessore % vuoti

Dei campioni, che saranno prelevati in presenza di personale tecnico dell'Impresa, potrà essere ordinata la conservazione nel competente ufficio munendoli di sigilli e firme del Direttore Lavori e dell'Impresa, nei modi più adatti a garantire l'autenticità. In particolare:

- **Materiali bituminosi:** per il prelevamento di campioni sia di bitume puro, sia di bitume liquido, da sottoporre all'indagine di controllo, si procederà come segue. Ove la fornitura sia fatta in fusti od in recipienti analoghi, verrà scelto almeno un fusto od un recipiente su ogni 50 o frazione. Da ciascuno di detti fusti o recipienti, o qualora il materiale si trovi allo stato liquescente, dovrà prelevarsene un decimetro cubo, avendo cura che il contenuto sia reso preventivamente omogeneo. I prelevamenti testé fatti saranno assunti come rappresentativi del contenuto del gruppo di recipienti al quale si riferiscono. Qualora invece il materiale si trovi allo stato pastoso, si dovrà prelevare per ciascun campione un peso non inferiore ad un chilogrammo. Ove la fornitura non sia fatta in fusti o recipienti analoghi, si preleveranno campioni per mezzo di una sonda, munita di un tappo di fondo, formando il campione medio come sopra.
- **miscele di conglomerato:** Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni; un campione viene utilizzato per i controlli presso un Laboratorio riconosciuto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, l'altro resta a disposizione per eventuali accertamenti e/o verifiche tecniche successive. Ogni campione è costituito da una cassetta 20x20 cm di conglomerato



bituminoso sfuso prelevato dalla vibrofinitrice (o in alternativa da un tassello 40x40 cm prelevato successivamente alla rullatura) e, in ogni caso, da n° 3 carote (o in num deciso dalla DL) prelevate successivamente alla rullatura.

Ogni prelievo dovrà avvenire alla presenza della Direzione Lavori e di personale addetto dell'Impresa.

Per gli strati di base, binder, strato di rinforzo transitabile e usura, di norma sulla miscela e sulle carote veITanno controllate:

- la curva granulometrica;
- la percentuale di bitume;
- la percentuale dei vuoti residui.

In caso di non rispondenza dei suddetti parametri alle prescrizioni, potranno essere effettuate ulteriori indagini e prove.

Inoltre potranno essere controllate le caratteristiche di idoneità mediante la Pressa Giratoria. I provm1 confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di rottura diametrale a 25° C (Brasiliana).

In mancanza della Pressa Giratoria vengono effettuate prove Marshall: peso di volume, stabilità e rigidezza; percentuale dei vuoti residui.

#### **Controllo dei conglomerati dopo la posa in opera e la rullatura.**

A distanza di almeno 10 giorni dalla posa in opera dei conglomerati la Direzione Lavori potrà prelevare dei campioni (carote) per il controllo delle seguenti caratteristiche:

- spessore dello strato di pavimentazione;
- la granulometria degli aggregati;
- la percentuale di bitume;
- la percentuale dei vuoti residui.

Eventuali deficienze riscontrate nelle caratteristiche dei materiali impiegati potranno essere considerate, a giudizio della Direzione Lavori, accettabili sotto penale entro determinati limiti, ovvero non accettabili.

I materiali non accettabili sulla base dei controlli in corso d'opera, anche se definitivamente posti in opera, dovranno essere completamente rimossi e sostituiti con altri di caratteristiche accettabili, a totale onere dell'Impresa.

L'accettazione penalizzata potrà comunque essere applicata esclusivamente nei casi e nei limiti sotto specificati.

#### **Penali.**

Nella curva granulometrica della miscela prelevata durante o dopo le lavorazioni sono ammessi scostamenti rispetto allo studio presentato dall'Impresa, delle singole percentuali dell'aggregato grosso di:

- ± 6 per lo strato di base, per lo strato di binder e per lo strato di rinforzo transitabile;
- ± 3,6 per lo strato di usura;

Sull'aggregato fino (passante al crivello UNI n. 5) sono ammessi scostamenti contenuti in ± 2,4 e scostamenti del passante al setaccio UNI 0,075 mm contenuti in ± 1,8.

Oltre gli scostamenti sopra riportati e subordinatamente all'accettazione della miscela non conforme da parte della Direzione Lavori, verrà applicata una detrazione del 5,00 % sul relativo prezzo di elenco.

Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di ± 0,36.



Oltre tale scostamento e subordinatamente all'accettazione della miscela non conforme da parte della Direzione Lavori, verrà applicata una detrazione del 5,00 % sul relativo prezzo di elenco.

Per la percentuale dei vuoti residui, determinati sulle carote, potrà essere tollerato uno scostamento del volume percentuale fino al 50% dei rispettivi valori di accettazione; valori superiori comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Ferma restando l'accettazione della miscela non conforme verrà applicata una detrazione del 3,00 o/o sul prezzo di elenco per ogni punto percentuale, o frazione, di vuoti in più o in meno rispetto ai valori di accettazione.

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza meccanica dei conglomerati, verrà presa in considerazione soprattutto la stabilità Marshall; potrà essere accettata una variazione in meno fino al 15 o/o dei rispettivi valori di accettazione.

La penalizzazione consisterà nella detrazione dello 0,40 o/o al relativo prezzo di elenco per ogni punto percentuale di variazione in meno ammessa.

Tutte le detrazioni sopra definite sono cumulabili, fino ad un massimo complessivo del 30% del relativo prezzo di elenco.

Le detrazioni potranno essere applicate solo ed esclusivamente se, a giudizio della Direzione Lavori, le nuove opere risultate non rispondenti alle norme, non costituiscono un pericolo per il transito o una deficienza tecnica intollerabile.

In caso contrario l'Impresa esecutrice dovrà provvedere a propria cura e spese alla totale rimozione dei conglomerati interessati

### **Controllo della superficie di transito.**

Entro 10 giorni dalla ultimazione degli strati soggetti direttamente al traffico, potranno essere eseguiti i controlli della regolarità superficiale, sia in direzione longitudinale che trasversale, mediante la prova col regolo di 4 m, nonché, per i manti di usura ad elevata rugosità superficiale, i controlli della resistenza allo scivolamento mediante la prova col pendolo (Skid Test).

I valori di zona costituiti dalla media dei valori misurati in 5 punti scelti sulla medesima traiettoria parallela all'asse stradale alla distanza di 10 m l'uno dall'altro, dovranno risultare ovunque superiori a 55.

Tali valori, inoltre, non dovranno differire, dopo circa 2 mesi di assoggettamento al traffico, più di 2 punti da quelli ottenuti nelle medesime rispettive zone della pavimentazione appena ultimata.

### **Controllo dello spessore**

Lo spessore dello strato verrà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, considerando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, al massimo pari al 5 % e considerando tale valore massimo per il calcolo dello spessore medio.

La valutazione di spessore effettuata con le carote, nelle quali si potrà individuare anche lo spessore medio dei singoli strati da confrontare con i dati di progetto.

Valgono le seguenti tolleranze:

- strato di usura 5%
- strato di binder 7%
- strati di base e base binder 10%



da assoggettare comunque alle detrazioni riportate di seguito.

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,00 % del prezzo di elenco per ogni mm di materiale mancante. Carenze superiori al 20 % dello spessore di progetto potranno comportare la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'impresa, ovvero l'integrazione fino allo spessore di progetto

### DEFINIZIONE DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

Il metodo empirico proposto dalla AASHTO (American association of State Highway and Transportation Officials), basato sull'osservanza diretta del comportamento di strutture già realizzate, è forse il più utilizzato e ancora oggi sembra assai valido, sebbene sia stato sensibilmente modificato rispetto alla stesura originale del 1960.

La metodologia di dimensionamento proposta dall' AASHTO si basa sulla quantificazione della capacità strutturale di una pavimentazione attraverso il Numero di Struttura SN (Structural Number).

### IL NUMERO DI STRUTTURA DI PROGETTO

Il metodo di dimensionamento (AASHTO Guide Design of Pavement Structures) si fonda sul contributo di 4 fattori che considerano i seguenti aspetti:

- traffico di progetto;
- grado di affidabilità del procedimento di dimensionamento;
- decadimento limite ammissibile della sovrastruttura;
- caratteristiche degli strati (Numero di struttura SN).

L'espressione analitica assunta nell'AASHTO Guide come relazione fondamentale di dimensionamento è la seguente:

$$\log W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

#### Traffico

Nella metodologia proposta dall' "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures" i carichi di traffico sono rappresentati dal numero cumulato ( $W_{18}$ ) di assi standard (ESAL<sup>1</sup>) da 8,16 t (18 kip)

Generalmente il dato di partenza è il traffico giornaliero medio TGM, che transita o si presume transiterà nell'infrastruttura nel primo anno di vita utile. Questo dovrà essere corretto considerando i seguenti fattori:

1. L'evoluzione del traffico nel corso degli anni ( $r$ ). È alquanto difficile poter prevederne l'esatta evoluzione, in genere si assiste a tassi di crescita maggiori nei primi anni di vita tassi che poi si riducono nel tempo. In

<sup>1</sup> ESAL = Equivalent Standard Axle Load. Questo rappresenta l'asse standard assunto dall'AASHTO pari a 18 kip (ChiloPound). Poiché 1 Pound = 0.4536 Kg esso equivale a 18.000 x 0.4536 Kg = 8.164,8 Kg



manca di dati più precisi si può assumere un tasso compreso tra il 2%÷3% nel primo periodo di vita utile, 1%÷2% nel medio periodo di vita utile e 1% nell'ultima parte;

2. La distribuzione del traffico per senso di marcia ( $p_d$ ). In genere si può assumere che il TGM si suddivida equamente nelle due direzioni. In particolari situazioni, legate a fenomeni di pendolarismo si può verificare una diversa suddivisione (70% in un senso, 30% nell'altro);
3. La percentuale di veicoli commerciali ( $p$ ). Questa varia da valori nulli se il transito è interdetto a questa categoria di mezzi, fino ad assumere valori del 30%÷40%. Valori medi sono compresi intorno tra 10%÷15%;
4. Percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta ( $p_l$ ). Non tutti i veicoli commerciali transitano nella corsia lenta; parte di questi, soprattutto quelli con minor carico, raggiungono velocità tali da impegnare anche le altre corsie. Si considera questo aspetto ipotizzando che (generalmente) il 95% di tutti i veicoli commerciali transiti sulla corsia lenta;
5. La dispersione delle traiettorie ( $d$ ). La traiettoria seguita dalle ruote, come già accennato, non è sempre la stessa, ma si disperde nell'intorno di un valore medio. Si tiene conto di ciò riducendo (in genere) del 20%, il TGM;
6. La distribuzione dei carichi del traffico commerciale. I veicoli che lo compongono non hanno gli stessi carichi per asse determinando livelli di sollecitazione differenti. Per omogeneizzare i risultati si ricorre al concetto di asse equivalente che la progressione del danno prodotto varia in modo esponenziale con il carico stesso.
  - Yoder ha proposto l'espressione  $C_{eq} = x/y$  dove  $x$  è il peso dell'asse in esame ed  $y$  il peso dell'asse equivalente standard.
  - Ricerche più recenti mostrano il seguente legame:  $C_{eq} = (x/y)^4$ . La dipendenza dalla 4a potenza è stata studiata con riferimento all'asse standard da  $y=80$  KN ed è riconosciuta valida internazionalmente.
7. Il numero medio degli assi di un generico veicolo commerciale. Questo è compreso tra 2 e 5. Se si tiene conto della distribuzione delle differenti classi di veicoli commerciali, si può assumere un valore compreso tra 2.25 e 2.7.

È bene precisare che con corsia lenta si intende o la corsia destra di marcia normale o, se presente, la corsia di arrampicamento, quando la pendenza della livelletta e la percentuale di veicoli pesanti la rendono necessaria.

Il numero  $N$  di assi cumulati alla fine della vita utile potrà determinarsi moltiplicando il TGM per i parametri suddetti:

$$N = 365 \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Il numero di assi che transitano in un giorno dell'ultimo anno della vita utile sarà:

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot (1+r)^n$$



Assumendo valida la legge della 4a potenza e che un asse da 18 kip coincida con l'asse standard da 80 KN (8 t), la valutazione del traffico cumulato W18 in ESAL può essere condotta noto lo spettro di traffico.

### Affidabilità

Questo fattore di dimensionamento considera le condizioni aleatorie che possono inficiare le previsioni di traffico e le prestazioni delle pavimentazioni. L'affidabilità di un processo di dimensionamento della pavimentazione è probabilità che la sezione dimensionata possa mantenersi in condizioni accettabili durante tutta la vita utile.

Uno dei dati assunti in fase di progetto è il valore del traffico cumulato sopportabile dalla sovrastruttura  $W_t$  in ESAL. Inoltre, viene anche assunta una legge di crescita che, per ciascun anno, fornisce il valore cumulato  $W_t$  di ESAL transitati sino a quel momento. Nella realtà si verificheranno differenze tra questo ultimo e il valore di assi realmente transitato  $N_t$ , l'errore che si commette è dovuto al fatto che la pavimentazione andrà fuori servizio per un valore di ESAL pari a  $N_t$  invece di quello previsto in sede di progetto e pari a  $W_t$ .

Si assume per tali errori una distribuzione statistica di tipo normale (gaussiana).

Nel metodo dell'AASHTO l'affidabilità  $R$  (reliability) viene introdotta attraverso i coefficienti  $S_0$  e  $Z_R$ .  $S_0$  rappresenta la deviazione standard nella predizione del traffico e della prestazione attribuita alla pavimentazione.  $Z_R$  è l'ascissa della distribuzione standard ridotta. Senza entrare nei dettagli analitici è facile dimostrare che il Fattore di Affidabilità di Progetto  $F_R$  è tale che:

$$F_R = \frac{W_t}{W_T} = 10^{-Z_R S_0}$$

L'affidabilità  $R$  rappresenta la probabilità che un determinato evento accada. Affermare che  $R=95\%$  significa che in 95 casi su cento le previsioni di progetto (traffico, prestazione pavimentazione) consentono di raggiungere la prefissata vita utile. Viceversa nel 5% dei casi ciò non si verifica. Per ciascun valore di  $R$  esiste un ben determinato valore di deviazione standard ridotta  $Z_R^2$ .

La valutazione di  $F_R$  consente di valutare il fattore  $Z_R \cdot S_0$  presente nella formula di dimensionamento proposta dall'AASHTO. Le indagini condotte dall'AASHTO raccomandano per pavimentazioni di tipo flessibile e semirigido un valore di  $S_0$  compreso tra 0.40 e 0.50. Valori inferiori sottintendono il fatto che il reale comportamento del traffico e dell'efficienza della pavimentazione è meno disperso intorno al valore medio.

La tabella EE.9 proposta dall'AASHTO Guide consente per un dato valore di affidabilità  $R$  e  $S_0$  di determinare il valore di  $F_R$ . Il valore di affidabilità  $R$  sono consigliati in funzione

<sup>2</sup> Il valore di  $R$  rappresenta l'area sottesa dalla curva di distribuzione normale ridotta tra  $Z_R$  e  $+\infty$ . Per ciascun valore di  $R$  esiste un determinato valore di  $Z_R$  come specificato in tabella:

R %	$Z_R$	R %	$Z_R$						
50	-0	80	-0.841	92	-1.405	96	-1.751	99.9	-3.090
60	-0.253	85	-1.037	93	-1.476	97	-1.881	99.99	-3.750
70	-0.524	90	-1.282	94	-1.555	98	-2.054		
75	-0.674	91	-1.340	95	-1.645	99	-2.327		



dell'importanza dell'infrastruttura stradale, come mostrato nella tabella 9 del Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali

**Tabella 9 - Affidabilità e PSI**

Tipo di strada	Affidabilità (%)	PSI
1) Autostrade extraurbane	90	3
2) " urbane	95	3
3) Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	90	2.5
4) Strade extraurbane secondarie - ordinarie	85	2.5
5) " " " -turistiche	80	2.5
6) Strade urbane di scorrimento	95	2.5
7) " " di quartiere e locali	90	2
8) Corsie preferenziali	95	2.5

### Decadimento limite ammissibile della sovrastruttura

L'indice assunto dall'AASHTO per valutare il decadimento nelle delle sovrastrutture è il Present Serviceability Index PSI. Esso viene definito in funzione della media delle variazioni dei pendenza del profilo, della profondità delle ormaie, della superficie delle buche e dei rattoppi, o di lesioni di determinate caratteristiche riferite all'unità di superficie.

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 0.01 \sqrt{C + P} - 1.38 RD$$

con:

SV = media delle variazioni di pendenza del profilo longitudinale

C= area delle buche e dei rappezi, per unità di superficie;

P= area fessurata o lesionata con particolari caratteristiche, per unità di superficie;

RD= media delle misura di profondità delle ormaie.

I valori di variano da valori ottimi pari a 5 all'inizio della vita utile a valori limite di 0 quando l'efficienza della pavimentazione è nulla. Tuttavia livelli inferiori a 1 ÷ 1.5 non sono in genere accettabili poiché sarebbero compromessi i livelli di servizio e la sicurezza della strada. I valori limite ammissibili dipendono dall'importanza del collegamento stradale: quanto questo sarà maggiore tanto più alto deve essere il limite ammissibile di PSI.

Possano essere assunti i valori riportati nella tabella n°9 del Catalogo Italiano delle Pavimentazioni.

I valori iniziali di PSI difficilmente sono pari a 5. Valori più realistici sono compresi tra 4.5 ÷ 4.8

### Caratteristiche degli strati (Numero di struttura SN)

Nel metodo ad ogni strato (di spessore  $H_i$  espresso in pollici) viene assegnato un coefficiente di struttura (tabella n°1), che rappresenta il contributo dello strato alla prestazione complessiva della pavimentazione.

Un ulteriore fattore viene introdotto per considerare gli effetti del drenaggio (di tabella n°3). Il contributo di ogni singolo strato alla prestazione complessiva della pavimentazione è dato dal prodotto dei 2 coefficienti  $a_i$ , di per il suo spessore  $H_i$ .

$$SN_i = a_i H_i d_i$$

$SN_i$  = numero di struttura dell'i-esimo strato [inch];

$a_i$  = coefficiente di strato dell'i-esimo strato [adimensionale];



$H_i$  = spessore dell'*i*-esimo strato [inch].  
 $d_i$  = coefficiente di drenaggio dell'*i*-esimo strato.

I coefficienti di spessore  $a_i$  possono essere ricavati, per gli strati non legati, in funzione delle misure di CBR, attraverso le relazioni:

$$a_i = 0.00645 \cdot CBR^3 - 0.1977 \cdot CBR^2 + 29.14 \cdot CBR \quad \text{base}$$

$$a_i = 0.01 + 0.065 \cdot \log CBR \quad \text{fondazione}$$

In alternativa può essere impiegata una relazione in funzione del modulo resiliente:

$$a_i = a_g \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_g}}$$

dove

$a_g$  = coefficiente di spessore standard secondo l'AASHTO Road Test

$E_i$  = modulo resiliente dello strato

$E_g$  = modulo resiliente del materiale standard secondo l'AASHTO Road Test

I valori di  $a_g$ ,  $E_g$  sono riportati nella seguente tabella.

Tipo di strato	Coeff. Spessore $a_g$	Mod. resiliente $E_g$ [MPa]
Congl. bituminoso per strati superficiali	0.44	3100
Base stabilizzata	0.18	246
Fondazione	0.13	123

Inoltre, si tiene conto del contributo dato dal sottofondo SNSG (structural number of subgrade)

Il valore di SN viene, infine, valutato con la seguente espressione<sup>3</sup>:

$$SN = \sum_{i=1}^{n_{strati}} a_i H_i d_i + SNSG \quad [\text{Inch}]$$

### Caratteristiche del sottofondo

Il parametro scelto per caratterizzare la portanza del sottofondo è il "modulo resiliente"  $M_r$  di progetto, valutabile sulla base di prove sperimentali utilizzando la norma AASHTO T274-82. La scelta di tale parametro è stata dettata dal fatto che esso meglio rappresenta il comportamento del sottofondo, in quanto consente di tener conto anche della componente viscosa reversibile della deformazione. Qualora non si disponga dell'attrezzatura necessaria a determinare il  $M_r$  possono essere utilizzate le correlazioni approssimative disponibili con l'indice di portanza CBR e il modulo di reazione  $K$ . A tale riguardo vengono riportate a seguire delle note in merito alla correlazione fra il  $M_r$  e il  $M_d$ . Sono state considerate tre categorie di terreno di sottofondo di buona, media e scarsa portanza rappresentate dai valori del modulo resiliente  $M_r$  riportati in tabella.

<sup>3</sup> Se gli spessori sono espressi in mm l'espressione si modifica, tenendo conto che 1 pollice = 25.4 mm,

come segue:  $SN = \sum_{i=1}^{n_{strati}} a_i d_i \frac{H_i}{25.4} + SNSG = 0.03938 \sum_{i=1}^{n_{strati}} a_i d_i H_i + SNSG$



$Mr = 150 \text{ N/mm}^2$	$CBR = 15 \%$	$K = 100 \text{ KPa/mm}$
$Mr = 90 \text{ N/mm}^2$	$CBR = 9 \%$	$K = 60 \text{ KPa/mm}$
$Mr = 30 \text{ N/mm}^2$	$CBR = 3 \%$	$K = 20 \text{ KPa/mm}$

Si fa osservare che quando si è in presenza di terreni di scadente capacità portante ( $Mr=30 \text{ N/mm}^2$ ), nei casi di autostrade, strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico, nonché per le strade urbane di scorrimento, le schede di Catalogo prevedono il ricorso ad interventi di bonifica del terreno di sottofondo al fine di garantire la conservazione della regolarità del piano di posa della sovrastruttura sotto il traffico di cantiere e di favorire il costipamento degli strati della pavimentazione (si confronti i capitolati speciali di appalto relativi allegati al presente progetto). Nei casi in cui non è richiesto esplicitamente l'intervento di bonifica potrà comunque essere utilizzato quando ritenuto più conveniente dal punto di vista economico. Nei casi in cui lo strato inferiore della pavimentazione è legato, la parte superficiale del sottofondo sarà costituita da uno strato di raggugliamento in misto granulare non legato dello spessore minimo di 10 cm.

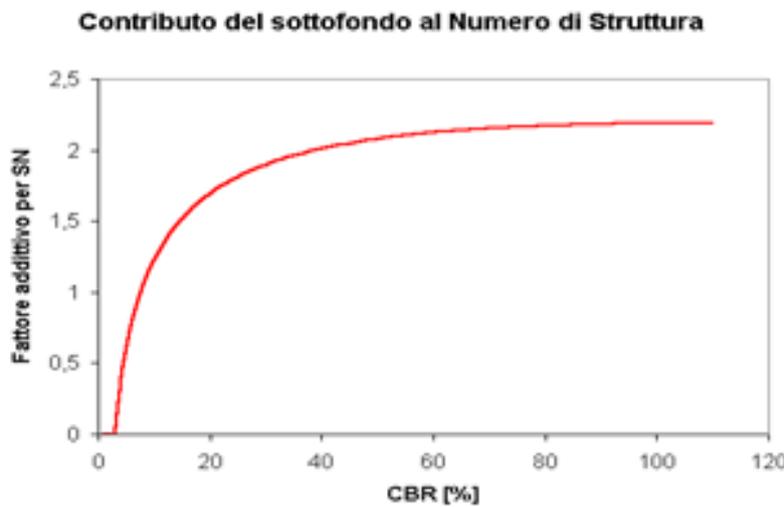
Le caratteristiche del sottofondo vengono considerate nella formula di dimensionamento proposta dall'AASHTO attraverso il modulo resiliente MR espresso in psi (pound square inch)<sup>4</sup>

Il contributo del sottofondo viene introdotto attraverso la sua capacità portante CRB:

$$SNSG = 3.51 \log_{10} CBR - 0.85(\log_{10} CBR)^2 - 1.43 \quad \text{per } CBR \geq 3$$

$$SNSG = 0 \quad \text{per } CBR < 3$$

CBR = indice di portanza CBR (California Bearing Ratio) [%].



La valutazione di SN può essere condotta indirettamente attraverso le correlazioni con altri parametri che descrivono le caratteristiche strutturali delle sovrastrutture. Tra questi un legame particolarmente utile risulta quello tra SN e il modulo resiliente del sottofondo MR.

$$CBR = \frac{M_R}{10}$$

MR = modulo resiliente del sottofondo in MPa

CBR = indice di portanza CBR (California Bearing Ratio) [%].

<sup>4</sup> 1 pound = 0.4536 kg    1 psi = 0.4536/2.45<sup>2</sup> = 0.0703081 kg/cm<sup>2</sup> = 101.500 · 0.0703081 = 7136.2722 Pa  
 1 inch = 2.54 cm



### Coefficienti di drenaggio

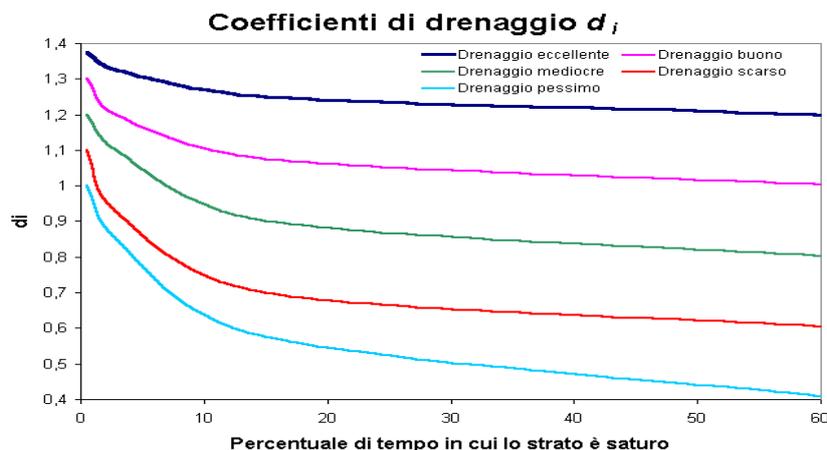
Nella AASHTO (Design Guide versione 1986 e1993) i coefficienti di drenaggio,  $d_i$ , sono usati per modificare il valore del coefficiente di spessore ai di ogni strato non stabilizzato al di sopra del sottofondo in una pavimentazione flessibile.

Gli strati in conglomerato bituminoso (in materiali legati) non sono influenzati da un eventuale cattivo drenaggio dello strato o dal tempo in cui si trova in condizioni di saturazione. In questi casi il coefficiente di drenaggio vale comunque 1.

Per gli altri strati i coefficienti di drenaggio sono determinati considerando la qualità del drenaggio e il tempo, in percentuale, che la pavimentazione è esposta a livelli di umidità vicino alla saturazione. L'effetto di un efficiente drenaggio è quello di fornire valori elevati di SN e, pertanto, si traduce in una riduzione delle fessurazioni, delle ormaie e delle irregolarità della superficie stradale.

Qualità del drenaggio	Tempo di rimozione dell'acqua
Eccellente	2 ore
Buona	1 giorno
Media	1 settimana
Scarsa	1 mese
Molto scarsa	Non rimossa

Qualità drenaggio	Percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione			
	< 1%	Da 1% a 5%	Da 5% a 25%	> 25%
Eccellente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buona	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Media	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Scarsa	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Molto scarsa	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40





### Applicazione al caso in esame

Per l'asse principale della strada oggetto del presente progetto si è scelta un pavimentazione non dissimile da quella attualmente presente sulle altre viabilità di rammaglio dei restanti tratti di strada già in esercizio e caratterizzata dai seguenti spessori:

- Strato di usura: 30 mm
- Strato di binder: 40 mm
- Fondazione/livellamento: 380 mm

Dall' esame della tipologie di terreno presente nell'area analizzate nella relazione geologica, considerando che per la realizzazione della strada è stata sempre prevista la bonifica del terreno superficie per uno spessore minimo di 50 cm con la formazione di un rilevato di base prevedendo un adeguato compattamento meccanico secondo capitolato, si ritiene di poter utilizzare cautelativamente un valore della portanza del sottofondo espressa in termini di CBR pari al 6%.

Per la difficoltà di reperire dati circa i flussi veicolari della zona, in mancanza di rilevazione del traffico nella viabilità immediatamente adiacente, si è scelto di considerare un TGM (traffico giornaliero medio pari al 20% di quello previsto per la viabilità principale).

•Traffico giornaliero medio	TGM = 1000
•Numero di giorni commerciali per anno	gg= 260
•Aliquota di traffico per direzione più carica	pd = 0.5
•Percentuale di veicoli commerciali	p = 0.15
•Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale	pl = 1.00
•Coefficiente di dispersione delle traiettorie	d = 0.70
•Numero medio di assi per veicolo commerciale	na = 2.5
•Vita Utile in anni	n = 25
•Tasso di accrescimento del traffico durante la vita utile	r = 0.03



### C) DETERMINAZIONE ANALITICA

TGM =		<b>1,000</b>
Numero giorni commerciali per settimana (gg) =		<b>5</b>
Numero settimane commerciali per anno (n.sett.) =		<b>52</b>
Aliquota di traffico per direzione più carica (pd) =		<b>0.5</b>
Percentuale veicoli commerciali (p) =		<b>0.15</b>
Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale (pl) =		<b>1</b>
Coefficiente di dispersione delle traiettorie (d) =		<b>0.7</b>
Numero medio di assi per veicolo commerciale (na) =		<b>2.5</b>
Tasso crescita traffico durante la vita utile r =		<b>0.03</b>
Vita utile in anni (n) =		<b>25</b>

Spettro traffico (distribuzione delle 16 categorie dei veicoli considerati dal Catalogo Italiano delle pavimentazioni per strada tipo B)

Tipo veicolo commerciale	Percentuale %		Peso assi (ton)															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	0.00%	Numero di assi distribuiti per peso	1	1														
2	13.10%			1	1													
3	39.50%					1				1								
4	10.50%						1							1				
5	7.90%					1				2								
6	2.60%							1					2					
7	2.60%					1				2	1							
8	2.50%							1					3					
9	2.60%					1				4								
10	2.50%							1				2	2					
11	2.60%					1				3		1						
12	2.60%								1			3		1				
13	0.50%						1									1	3	
14	0.00%					1				1								
15	0.00%								1				1					
16	10.50%						1			1								

Tipo veicolo commerciale	Percentuale %		Frequenze parziali degli assi																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
1	0.00%	Frequenza degli assi distribuiti per peso																	
2	13.10%		13.1%	13.1%															
3	39.50%				39.5%					39.5%									
4	10.50%					10.5%							10.5%						
5	7.90%					7.9%				15.8%									
6	2.60%						2.6%					5.2%							
7	2.60%					2.6%				5.2%	2.6%								
8	2.50%							2.5%				7.5%							
9	2.60%					2.6%				10.4%									
10	2.50%							2.5%			5.0%	5.0%							
11	2.60%					2.6%				7.8%		2.6%							
12	2.60%							2.6%			7.8%		2.6%						
13	0.50%						0.5%									0.5%	1.5%		
14	0.00%																		
15	0.00%																		
16	10.50%						10.5%			10.5%									
			13.1%	13.1%	55.2%	21.5%	10.2%		89.2%	15.4%	20.3%	13.1%	0.5%	1.5%					



Peso asse (ton)	Frequenza asse	Coefficiente equivalenza 4 <sup>^</sup>	Transiti da 8 t
1	0.0%	0.00024	0.00%
2	13.1%	0.00391	0.05%
3	13.1%	0.01978	0.26%
4	55.2%	0.06250	3.45%
5	21.5%	0.15259	3.28%
6	10.2%	0.31641	3.23%
7	0.0%	0.58618	0.00%
8	89.2%	1.00000	89.20%
9	15.4%	1.60181	24.67%
10	20.3%	2.44141	49.56%
11	13.1%	3.57446	46.83%
12	0.5%	5.06250	2.53%
13	1.5%	6.97290	10.46%
<b>TOTALE</b>	<b>253.1%</b>	<b>TOTALE</b>	<b>233.51%</b>

Il passaggio di 100 veicoli commerciali determina il transito di 253.1 assi di differente peso, che corrispondono al passaggio di 233.5 assi equivalenti da 8 t.

Numero transiti totali  $W_{18} =$  **1,162,120** Assi da 8 t

**D) VALORE DI CALCOLO  $W_{18}$ :** **1,162,120** Assi da 8 t

**DETERMINAZIONE STRUCTURAL NUMBER (SN)**

STRATI	Spessore $s_i$ (mm)	Coefficient e drenaggio	Coefficiente spessore ( $a_i$ )	$s_i \cdot d_i \cdot a_i$	CBR	$M_R$ (psi)
Sottofondo					<b>6.00</b>	8407.75
Fondazione	<b>380</b>	<b>1</b>	<b>0.13</b>	49.40		
Base cementata	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0.22</b>	0.00		
Base bitumata	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0.18</b>	0.00		
Collegamento	<b>40</b>	<b>1</b>	<b>0.44</b>	17.60		
Usura	<b>30</b>	<b>1</b>	<b>0.45</b>	13.50		
				<b>80.50</b>		

SNSG = 0.786619426  
 SN = SNSG + 0,0394  $\sum s_i \cdot d_i \cdot a_i =$  3.958319426

$\log_{10} W_{18} =$  **6.682206**

Pari ad un transito ammissibile  $W_{18}$  :  
 a fronte di un transito complessivo di

<b>4,810,672</b> assi da 8t	
<b>1,162,120</b> assi da 8t	<b>VERIFICATO</b>