



COMUNE DI BAONE

Piazza XXV Aprile,1 35030 BAONE (PD)
e-mail: info@comune.baone.pd.it
posta certificata: baone.pd@cert.ip-veneto.net

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA TRA LA S.P. 247 VIA RIVIERA E LA S.P. 89 VIA BANZE IN FRAZIONE DI RIVADOLMO

PROGETTO DEFINITIVO

Progetto

FRANCESCO
P O L I

dorsoduro 1128 VE 30123
partita Iva n°03823740273
cell. 3356812803
francescopoli75@gmail.com

COMUNE DI BAONE PROVINCIA DI PADOVA**Progetto per la realizzazione di una rotatoria tra la S.P. 247 via Riviera e la S.P. 89 Via Banze in frazione di Rivadolmo****Relazione di calcolo della pavimentazione stradale****1. RIFERIMENTI NORMATIVI**

- Consiglio Nazionale delle Ricerche - BOLLETTINO UFFICIALE - parte IV Norme Tecniche - anno XXVI n. 146 del 14 dicembre 1992: "*Determinazione dei moduli di deformazione M_d e M'_d mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare*";
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - BOLLETTINO UFFICIALE Norme Tecniche - anno XVII n. 92 del 9 maggio 1983: "*Determinazione del modulo di reazione k dei sottofondi e delle fondazioni in misto granulare*";
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - BOLLETTINO UFFICIALE Norme Tecniche - anno XXIX n. 178 del 15 settembre 1995: "*Catalogo delle pavimentazioni stradali*".

2. PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di presentare le modalità di prova per definire i parametri geotecnici del piano di posa del rilevato stradale e del sottofondo della pavimentazione per la messa in sicurezza della viabilità comunale per la realizzazione di una rotatoria tra la S.P. 247 via Riviera e la S.P. 89 Via Banze in frazione di Rivadolmo nel comune di Baone

Il progetto della pavimentazione viene considerato di tipo prestazionale, ovvero vengono definiti i valori minimi richiesti dei parametri di portanza di cui sopra, che sono esplicitati nella presente relazione e nelle tavole grafiche di progetto.

Tali parametri dovranno essere verificati dall'impresa Esecutrice sotto il controllo della Direzione Lavori in fase esecutiva delle opere con una campagna di prove su piastra.

3. DETERMINAZIONE MODULO DI DEFORMAZIONE SU PIANO DI POSA**3.1 DEFINIZIONE E SCOPO DELLA PROVA**

Il modulo di deformazione M_d è una misura convenzionale della capacità portante dei terreni di sottofondo, degli strati di rilevato nonché degli strati non legati di fondazione e di base delle pavimentazioni stradali.

È determinato mediante prova di carico con piastra circolare ed è definito dalla seguente relazione:

$$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

dove Δp incremento della pressione trasmessa da una piastra circolare rigida di diametro $D = 300$ mm, espresso in N/mm²;

D_s corrispondente incremento di cedimento della superficie caricata, espresso in mm;

D diametro della piastra di prova (300 mm).

Il valore di riferimento per l'appoggio degli strati bituminosi per il modulo di deformazione M_d , secondo quanto previsto dal Bollettino Ufficiale del CNR n. 178 sopra richiamato, risulta essere:

$$M_d \approx 800 \frac{kg}{cm^2} = \frac{N}{mm^2}$$

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), che rappresenta un coefficiente di equivalenza tra gli strati componenti della pavimentazione atto a confrontare, dal punto di vista strutturale, pavimentazioni di diverso spessore e natura, a parità di portanza di sottofondo.

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 che compongono la sovrastruttura (Numero di struttura SN); portanza del sottofondo. L'espressione analitica assunta nell'AASHTO Guide come relazione fondamentale di dimensionamento è la seguente

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

dove:

- il primo addendo $Z_R S_0$ rappresenta il grado di affidabilità accettato nel dimensionamento;
- il secondo addendo rappresenta le caratteristiche strutturali della pavimentazione di progetto;
- il terzo addendo rappresenta il decadimento limite ammissibile per la pavimentazione in progetto in relazione alle sue caratteristiche strutturali;
- il quarto addendo rappresenta la "bontà" del sottofondo su cui va a posare la pavimentazione;
- W_{18} è il carico massimo ammissibile della pavimentazione, espresso come assi equivalenti da 80 kN, che, per la verifica della pavimentazione, deve risultare maggiore del volume di

equivalente transitante sulla stessa durante la sua prestabilita vita utile.

SN è il numero di struttura ovvero il coefficiente di strato; Come si nota dalle formule, per esplicitare il numero di assi equivalenti che transitano durante la vita utile di una sovrastruttura stradale, è necessario calcolare il numero di struttura SN, che viene descritto dettagliatamente nel paragrafo successivo, instaurando un ciclo iterativo di calcolo.

A questo valore del Modulo di Deformazione corrisponde, in base a correlazioni teorico sperimentali un valore del Modulo Resiliente del sottofondo pari a 150 N/mm².

Con tali valori il Bollettino Ufficiale CNR n. 178 (Catalogo delle pavimentazioni stradali) prevede, con un metodo tabellare, per le varie classi di traffico e tipologie di strade, diverse stratigrafie bituminose (strato di base, binder ed usura) da appoggiare direttamente sul piano di posa.

3.2 **PRINCIPIO DEL METODO DI PROVA**

La prova va eseguita con doppio ciclo di carico, secondo le modalità più avanti indicate, al fine di determinare con il primo ciclo il modulo $M_d = D_p / D_s$ convenzionalmente indicativo della portanza, con il secondo ciclo il modulo $M'_d = D_{p'} / D_{s'}$ che consente di valutare mediante il rapporto M_d / M'_d il grado di costipamento dello strato in esame.

3.3 **APPARECCHIATURA TIPO DI PROVA**

- una piastra circolare in acciaio di spessore non minore di 20 mm e del diametro di 300 ± 1 mm;
- una cerniera sferica per il centramento del carico (bloccabile durante le operazioni di insediamento dell'attrezzatura), da disporre immediatamente al di sopra della piastra di carico;
- un martinetto idraulico di portata maggiore a 50 kN;
- un manometro della portata maggiore di 50 kN ed avente una sensibilità di almeno 0,50 kN;
- le misure, in luogo dei comparatori meccanici, si eseguono mediante comparatori elettronici i cui dati si registrano automaticamente da un computer portatile collegato ai tre sensori autonomi; la precisione dei comparatori si fissa in un centesimo di millimetro;
- un sostegno dei bracci portacomparatori costituito da una trave sufficientemente rigida, della lunghezza di circa 2,50 metri, munita all'estremità di due supporti per l'appoggio al terreno;
- una bolla;
- un termometro.

3.4 **ESECUZIONE DELLA PROVA**

Per l'esecuzione della prova è necessario disporre di un contrasto fisso, che può essere costituito come evidenziato nella fotografia esemplificativa (figura 1), da un mezzo pesante di cantiere.

La piastra va disposta sulla superficie dello strato di cui si vuole determinare il modulo di deformazione, curando che il contatto sia il più completo possibile; a tale scopo, le eventuali irregolarità superficiali vanno livellate a mezzo di un sottile strato di sabbia.

Dopo aver posizionata tutta l'attrezzatura di prova, va liberata la cerniera sferica e applicato, agendo sul martinetto, un carico di assetto di 0,02 N/mm² complessivamente, ossia compreso il carico dell'apparecchiatura gravante sulla superficie da provare e non misurata dal manometro. Esauriti i

cedimenti, leggibili mediante la stabilizzazione delle letture elettroniche effettuate su PC portatile, si azzerava la lettura mediante l'immissione di un innalzamento uguale ma contrario al valore elettronico rilevato dai comparatori.

Si porta quindi il carico al valore di $0,05 \text{ N/mm}^2$ e si effettua una lettura dei tre comparatori fino alla completa stabilizzazione; in seguito si applicano i seguenti incrementi di carico, effettuando una lettura continua ogni cinque secondi e fino alla completa stabilizzazione:

Primo ciclo di carico

- per i terreni di sottofondo e per gli strati di rilevato: incrementi di carico di $0,05 \text{ N/mm}^2$ fino a raggiungere la pressione di $0,20 \text{ N/mm}^2$;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di $0,10 \text{ N/mm}^2$ fino a raggiungere rispettivamente la pressione di $0,35$ e $0,45 \text{ N/mm}^2$.

Si effettuano registrazioni continue ed in particolare ad ogni step di carico fino a completa stabilizzazione; letto il cedimento relativo al carico massimo, al fine di determinare il modulo M'_d , va eseguito lo scarico fino alla pressione di $0,050 \text{ N/mm}^2$ e va rilevato, dopo la stabilizzazione della deformazione, il cedimento residuo. Partendo da queste condizioni si procede con il secondo ciclo, applicando i seguenti incrementi di carico:



Figura 1 – Particolare esemplificativo disposizione apparecchiatura di prova per la determinazione di M'_d

secondo ciclo di carico

- per i terreni di sottofondo e per gli strati di rilevato: incrementi di carico di $0,05 \text{ N/mm}^2$ fino a raggiungere la pressione di $0,15 \text{ N/mm}^2$;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di $0,10 \text{ N/mm}^2$ fino a

raggiungere rispettivamente la pressione di 0,25 e 0,35 N/mm².
Durante la prova va rilevata la temperatura, per controllare che rimanga pressoché costante.

3.5 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

I moduli di deformazione M_d e M'_d corrispondenti al primo ed al secondo ciclo di carico rispettivamente, vengono determinati applicando la relazione riportata all'inizio nella quale (con ovvio significato dell'apice) e si sono fissati pari a 0,10 N/mm² e per strati di base risultano essere tra i seguenti intervalli: compreso tra 0,25 e 0,35 N/mm².

La valutazione della qualità del costipamento si effettua in base al rapporto che risultato più prossimo all'unità quanto migliore è la qualità del costipamento.

4. **DETERMINAZIONE MODULO DI DEFORMAZIONE SUL SOTTOFONDO**

La determinazione del modulo di deformazione M_d del sottofondo (strato di posa del rilevato stradale) viene effettuata utilizzando le medesime procedure precedentemente descritte, ma con la valutazione del valore compreso tra $0,05 \text{ daN/cm}^2$ e $0,15 \text{ daN/cm}^2$.

5. **DETERMINAZIONE MODULO DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO**

Il piano di prova da preparare per la determinazione del modulo di reazione "k" consiste nella realizzazione di uno scavo con successiva rullatura, impostato alla profondità di posa del materiale in rilevato costituente la fondazione stradale.

Quale mezzo di contrasto si può adoperare un pesante mezzo di cantiere.

5.1 ***SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE DELLA PROVA***

La prova determina il modulo di reazione k che misura convenzionalmente un valore di portanza dei terreni di sottofondo e delle fondazioni in misto granulare non legato per le pavimentazioni stradali.

5.2 ***DEFINIZIONE E PRINCIPIO DEL METODO DI PROVA***

Il modulo di reazione k è il rapporto fra il carico applicato alla superficie di prova mediante una piastra circolare di diametro 760 mm e l'abbassamento di questa; esso si determina con una prova di carico a ciclo unico e viene espresso in daN/cm^3 dalla seguente relazione:

$$k = \frac{p}{z} \left[\frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

dove p carico unitario in daN/cm^2 ;
 z cedimento totale in cm.

5.3 ***APPARECCHIATURE DI PROVA***

- una serie di piastre circolari così costituita: 1 piastra da 760 ± 1 mm di diametro; 1 piastra da 600 ± 1 mm di diametro; 1 piastra da 450 ± 1 mm di diametro; 1 piastra da 300 ± 1 mm di diametro.
- una cerniera sferica per il centramento del carico (bloccabile durante le operazioni di insediamento dell'attrezzatura), da disporre immediatamente al di sopra della piastra di carico;
- un martinetto idraulico di portata maggiore a 40 kN;
- un manometro della portata maggiore di 50 kN ed avente una sensibilità di almeno 0,50 kN;
- le misure, in luogo dei comparatori meccanici, si eseguono mediante comparatori elettronici i cui dati si registrano automaticamente da un computer portatile collegato ai tre sensori autonomi; la precisione dei comparatori si fissa in un centesimo di millimetro;
- un sostegno dei bracci portacomparatori costituito da una trave sufficientemente rigida, della lunghezza di circa 5,00 metri, munita all'estremità di due supporti per l'appoggio al terreno;

- una bolla;
- un termometro.

5.4 ESECUZIONE DELLA PROVA

Per l'esecuzione della prova è necessario disporre di un contrasto fisso, che può essere costituito come evidenziato nella fotografia esemplificativa (figura 2), da un mezzo pesante di cantiere.

La piastra da 760 mm va disposta sulla superficie dello strato di cui si vuole determinare il modulo di reazione, curando che il contatto sia il più completo possibile; a tale scopo, le eventuali irregolarità superficiali vanno livellate a mezzo di un sottile strato di sabbia.

Per poter garantire la perfetta rigidità della piastra maggiore da 760 mm, è utile sovrapporre ad essa le altre tre piastre, come evidenziato in figura 2.

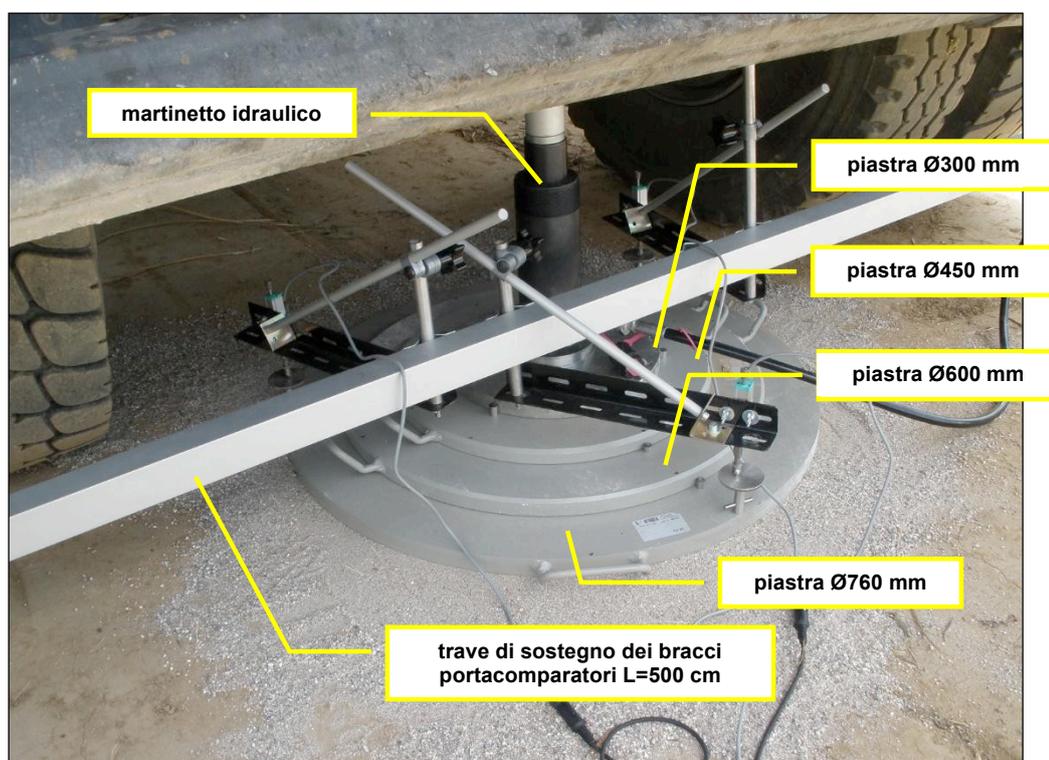


Figura 2 – Particolare esemplificativo disposizione apparecchiatura di prova per la determinazione di k

I bracci portacomparatori vanno sistemati in modo tale che le punte dei tre comparatori tocchino la piastra da 760 mm su direttrici radiali disposte a 120°. I bracci portacomparatori vanno precedentemente fissati alla trave di sostegno i cui appoggi distano dal centro della piastra di almeno 2,50 metri.

E' necessario controllare, mediante l'utilizzo di un filo a piombo e della bolla, che il punto di appoggio del martinetto, la prolunga e la testa a snodo si trovino sulla stessa verticale.

E' necessario inoltre procedere alla misura della temperatura dell'aria mediante un termometro, e proteggere tutta l'apparecchiatura di prova dai raggi diretti del sole.

Dopo aver posizionata tutta l'attrezzatura di prova, va liberata la cerniera sferica e applicato, agendo sul martinetto, un carico di assetto di $0,10 \text{ daN/cm}^2$ ($453 \text{ daN} = 4,53 \text{ kN}$). Esauriti i cedimenti, leggibili mediante la stabilizzazione delle letture elettroniche effettuate su PC portatile, si esegue la lettura dei tre valori e si riporta nella scheda di prova il loro valore medio L_0 .

Si passa quindi all'applicazione di un carico pari a $0,8 \text{ daN/cm}^2$ ($3627 \text{ daN} = 36,27 \text{ kN}$); esauriti i cedimenti si esegue la lettura dei tre valori e si riporta nella scheda di prova il loro valore medio **L**.

5.5 **ELABORAZIONE DEI RISULTATI**

Il modulo di reazione del sottofondo è espresso dalla seguente relazione:

$$k = \frac{0,70}{L - L_0} \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3}$$

ove la differenza $(L - L_0)$ è espressa in centimetri.

5.6 VALORI DI PROVA

Un parametro per caratterizzare la portanza del sottofondo è il "modulo resiliente" M_R di progetto, valutabile sulla base di prove sperimentali; la scelta di tale parametro è dettata, come riportato dal Bollettino CNR n. 178, dal fatto che esso meglio rappresenta il comportamento del sottofondo, in quanto consente di tener conto anche della componente viscosa reversibile della deformazione.

Tale valore può ricavarsi da prove sperimentali o da correlazioni teorico-sperimentali tra l'indice di portanza CBR ed il modulo di reazione k . Il metodo di dimensionamento, ed in questo caso di verifica delle pavimentazioni stradali utilizzato, prevede tre categorie di terreno di sottofondo di buona, media e scarsa portanza rappresentate dai valori del modulo resiliente M_R riportati nella tabella seguente:

modulo resiliente del sottofondo	Indice CBR	Modulo di reazione
$M_R = 150 \text{ N/mm}^2$	CBR = 15%	$k = 100 \text{ [kPa/mm]}$
$M_R = 90 \text{ N/mm}^2$	CBR = 9%	$k = 60 \text{ [kPa/mm]}$
$M_R = 30 \text{ N/mm}^2$	CBR = 3%	$k = 20 \text{ [kPa/mm]}$

I valori di riferimento estremi per il calcolo del modulo resiliente della prova da eseguire sono:

$$k = 20 \text{ kPa/mm} \quad M_R = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 60 \text{ kPa/mm} \quad M_R = 90 \text{ N/mm}^2$$

In fase di realizzazione delle prove, viene tenuta in considerazione solamente quella che ottiene un valore di k ammissibile; nel caso in cui i valori siano tutti inferiori al minimo, **l'impresa dovrà procedere con la bonifica del sottofondo. Il valore finale si ottiene per interpolazione tra i valori di prova.**

6. METODO DI VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO

Quale supporto per il dimensionamento e per la verifica delle pavimentazioni bituminose flessibili per la messa in sicurezza delle strade e per la realizzazione della rotatoria in esame, **si è utilizzato il catalogo delle pavimentazioni stradali a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche B.U. n. 178 del 15 settembre 1995.**

Il citato Catalogo è stata redatto con il contributo della Fondazione Politecnica per il mezzogiorno d'Italia e delle sue unità di ricerca facenti capo alle Università di Catania, L'Aquila, Napoli "Federico II" e Roma "La Sapienza" nonché della Società Autostrade.

Il supporto economico all'Attività della Fondazione Politecnica è stato offerto da AITEC, AISCAT, CO. GE. I., ITALCEMENTI, MAC, PAVIMENTAL, SITEB, UNICEM.

Le tipologie di pavimentazioni considerate sono:

- flessibile;
- semirigida;
- rigida, quest'ultima sia in calcestruzzo non armato che ad armatura continua. Per ciascuna di esse è possibile ottenere soluzioni che dati:
- un determinato tipo di strada;

- una portanza del sottofondo;
- condizioni di traffico,

sono equivalenti tra loro sotto l'aspetto della durata strutturale, ma differenti per i materiali impiegati, per gli spessori degli strati e quindi per i costi di costruzione e di manutenzione, ivi comprese le conseguenti penalizzazioni alla circolazione. L'ambito di applicazione riguarda la progettazione di nuove sovrastrutture, presuppone l'impiego di materiali aventi caratteristiche ben determinate e che vengono richiamate più avanti.

Viene lasciato alla valutazione del progettista stradale la scelta tra le configurazioni proposte dopo aver verificato che essa sia, sotto tutti gli aspetti, la soluzione che meglio si presta a rappresentare il caso che egli sta trattando, oppure ispirarsi ad una di esse per poi affinarla, utilizzando metodi di calcolo sia empirici che razionali, se le condizioni del traffico, la portanza del sottofondo o il valore dell'affidabilità presa a riferimento sono differenti da quelli considerati nel Catalogo. La scelta della soluzione definitiva non potrà comunque prescindere da una attenta valutazione delle esigenze manutentive, nel periodo di durata strutturale previsto, delle diverse alternative considerate.

Preliminare alla redazione del Catalogo è stata la precisa definizione e determinazione dei parametri di base quali il traffico, la portanza del sottofondo, le caratteristiche dei materiali, le condizioni ambientali, nonché la scelta e messa a punto di criteri e metodi di calcolo. Per il raggiungimento di tale obiettivo è stata svolta un'ampia ricerca a cura della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia che ha operato attraverso alcune unità operative delle Università di Catania, L'Aquila, Napoli "Federico II" e Roma "La Sapienza", nonché della Società Autostrade, i cui risultati sono contenuti nei rapporti indicati in bibliografia e ai quali si rinvia per ogni eventuale approfondimento.

6.1 **TIPOLOGIE DELLE STRADE**

Il nuovo Codice della Strada classifica le strade in sei diverse tipologie, ognuna delle quali è individuata da una lettera che va da A ad F. Tra queste strade e quelle previste attualmente dalle Norme CNR B.U. n. 60/78 e 78/80, ai fini della redazione del Catalogo in esame, si è stabilita la corrispondenza riportata in Tabella 1.

NUOVO CODICE DELLA STRADA	NORME CNR
A) Autostrade extraurbane " urbane	Strade tipo I e II Strade primarie
B) Strade extraurbane principali	Strada tipo III
C) Strade extraurbane secondarie	Strada tipo IV, A, V, VI e B
D) Strade urbane di scorrimento	Strade urbane di scorrimento
E) Strade urbane di quartiere	Strade urbane di quartiere
F) Strade extraurbane locali " urbane locali	Strada tipo C Strade urbane locali

Tabella 1 - Classificazione delle strade secondo il Nuovo Codice delle Strade e le Norme CNR

Il Catalogo presenta schede per ognuna delle categorie di strada del Nuovo Codice, con esclusione delle strade extraurbane locali per l'atipicità del traffico che può interessarle (strade agricole, forestali, ecc.) Sono state inoltre considerate a parte, tra le strade extraurbane secondarie, quelle cosiddette "turistiche" (per essere caratterizzate da un traffico

prevalentemente di autovetture) e, nell'ambito urbano, le corsie preferenziali per i mezzi pubblici.

6.2 TRAFFICO

Per la composizione del traffico previsto su ciascun tipo di strada sono stati assunti degli **spettri tipici di veicoli commerciali** (massa complessiva ≤ 3 t).

Tipo di veicolo	N° Assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN			
1) autocarri leggeri	2	↓10	↓20		
2) " "	"	↓15	↓30		
3) autocarri medi e pesanti	"	↓40	↓80		
4) " " "	"	↓50	↓110		
5) autocarri pesanti	3	↓40	↓80	↓80	
6) " "	"	↓60	↓100	↓100	
7) autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80	↓80
8) " "	"	↓60	↓100	↓100	↓100
9) " "	5	↓40	↓80	↓80	↓80
10) " "	"	↓60	↓90	↓90	↓100
11) " "	"	↓40	↓100	↓80	↓80
12) " "	"	↓60	↓110	↓90	↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120	↓130	↓130
14) autobus	2	↓40	↓80		
15) " "	2	↓60	↓100		
16) " "	2	↓50	↓80		

Tabella 2 - Tipo di veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse

In tabella 2 si riportano i tipi di veicoli considerati e i loro carichi per asse, mentre in tabella 3 è indicata la loro frequenza, espressa in percentuale, sul totale dei mezzi commerciali.

Tipo di strada	Tipo di veicolo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1) autostrade extraurbane	12.2	---	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	---	---	12.2
2) " urbane	18.2	18.2	16.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.6	18.2	27.3	---
3) strade extr. principali e secondarie a forte traffico	---	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	---	---	10.5
4) strade extraurb. second. ordin.	---	---	58.8	29.4	---	5.9	---	2.8	---	---	---	---	0.2	---	---	2.9
5) " extr. second.-turistiche	24.5	---	40.8	16.3	---	4.15	---	2	---	---	---	---	0.05	---	---	12.2
6) " urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.6	18.2	27.3	---
7) " " di quartiere e locali	80	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	20	---	---
8) corsie preferenziali	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	47	53	---

Tabella 3 - Tipici spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada

Si osservi che per **le strade extraurbane secondarie** a forte traffico (tipo IV ed A CNR) si è adottato lo stesso spettro di traffico delle extraurbane principali. Così pure le strade urbane locali hanno lo stesso spettro delle urbane di quartiere. Il traffico che le sovrastrutture di catalogo possono sopportare è espresso in numero complessivo di passaggi di veicoli commerciali transitanti sulla corsia più caricata. I livelli di traffico previsti sono riportati in tabella 4

Livello di traffico	Numero di veicoli commerciali
1°	400.000
2°	1.500.000
3°	4.000.000
4°	10.000.000
5°	25.000.000
6°	45.000.000

Tabella 4 - Livelli di traffico sulla corsia più caricata

Di questi sei livelli di traffico soltanto alcuni interessano effettivamente un determinato tipo di strada, come si evince dalle schede in seguito riportate.

6.3 SOTTOFONDO

Il parametro scelto per caratterizzare la portanza del sottofondo è il "**modulo resiliente**" **Mr 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 Mr 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 Mr e il Md. Sono state considerate **tre categorie di terreno di sottofondo di buona, media e scarsa portanza rappresentate dai valori del modulo resiliente Mr riportati in tabella 5.**

Mr = 150 N/mm ²	CBR = 15 %	K = 100 KPa/mm
Mr = 90 N/mm ²	CBR = 9 %	K = 60 KPa/mm
Mr = 30 N/mm ²	CBR = 3 %	K = 20 KPa/mm

Tabella 5 - Livelli di traffico sulla corsia più caricata

Si fa osservare che quando si è in presenza di terreni di scadente capacità portante (Mr=30 N/mm²), 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.

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 ragguagliamento in misto granulare non legato dello spessore minimo di 10 cm.

6.4 CONDIZIONI CLIMATICHE

I dimensionamenti delle pavimentazioni di catalogo si riferiscono a condizioni climatiche differenti secondo il tipo di sovrastruttura per tener conto della diversa sensibilità delle varie soluzioni alle variazioni di temperatura.

Per le pavimentazioni flessibili e semirigide si è fatto riferimento a situazioni climatiche medie che si verificano nell'Italia Centrale, tabella 6, tenendo conto che in effetti situazioni climatiche diverse non comportano sensibili differenze nella durata per il fenomeno di compensazione che si manifesta tra la resistenza a fatica dei materiali bituminosi, al variare della temperatura, e le deformazioni imposte dai carichi. Per le pavimentazioni rigide si è invece fatto riferimento alle condizioni climatiche dell'Italia Settentrionale, tabella 7, per tener conto della maggiore sensibilità di questo tipo di sovrastruttura ai valori massimi di sollecitazione.

	TEMPERATURA MEDIA STAGIONALE DELL'ARIA(°C)	MEDIA STAGIONALE ESCURSIONE TERMICA GIORNALIERA (°C)	RADIAZIONE SOLARE MEDIA STAGIONALE (Kcal/m ² ,d)	VELOCITA' DEL VENTO MEDIA ANNUA (km/h)
INVERNO	4.5	6	2718	13
PRIMAVERA	11.5	7.5	5785	
ESTATE	22.0	10.6	3547	
AUTUNNO	14.0	8.3	6507	

Tabella 6 - Condizioni climatiche di progetto per le sovrastrutture flessibili e semirigide (rappresentatività territoriale 50% dell'Italia centrale) - Valide per altitudini inferiori a 1000 m

Si ricorda che le condizioni climatiche di riferimento sono quelle relative a zone la cui altitudine è inferiore ai 1000 m sul livello medio del mare. Al di sotto di tale quota, la profondità di penetrazione del gelo non supera lo spessore medio complessivo delle sovrastrutture stradali e quindi non è stato necessario prevedere provvedimenti particolari nella predisposizione delle soluzioni di Catalogo.

	TEMPERATURA MEDIA STAGIONALE DELL'ARIA(°C)	MEDIA STAGIONALE ESCURSIONE TERMICA GIORNALIERA (°C)	RADIAZIONE SOLARE MEDIA STAGIONALE (Kcal/m ² ,d)	VELOCITA' DEL VENTO MEDIA ANNUA (km/h)
INVERNO	5.03	7.66	1886	12.4 5
PRIMAVERA	13.39	10.66	5425	
ESTATE	23.93	12.38	6337	
AUTUNNO	15.03	9.39	3380	

Tabella 7 - Condizioni climatiche di progetto per le sovrastrutture rigide (rappresentatività territoriale 95% dell'Italia settentrionale) - Valide per altitudini inferiori a 1000 m

6.5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le principali caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali impiegati nelle sovrastrutture di Catalogo (conglomerati bituminosi per strati di usura, di collegamento e di base, misti granulari non legati, misti cementati e conglomerati cementiti), sono riportate in tabella 8. In particolare la granulometria delle miscele bituminose è contenuta nei fusi riportati nelle figure 3, 4 e 5.

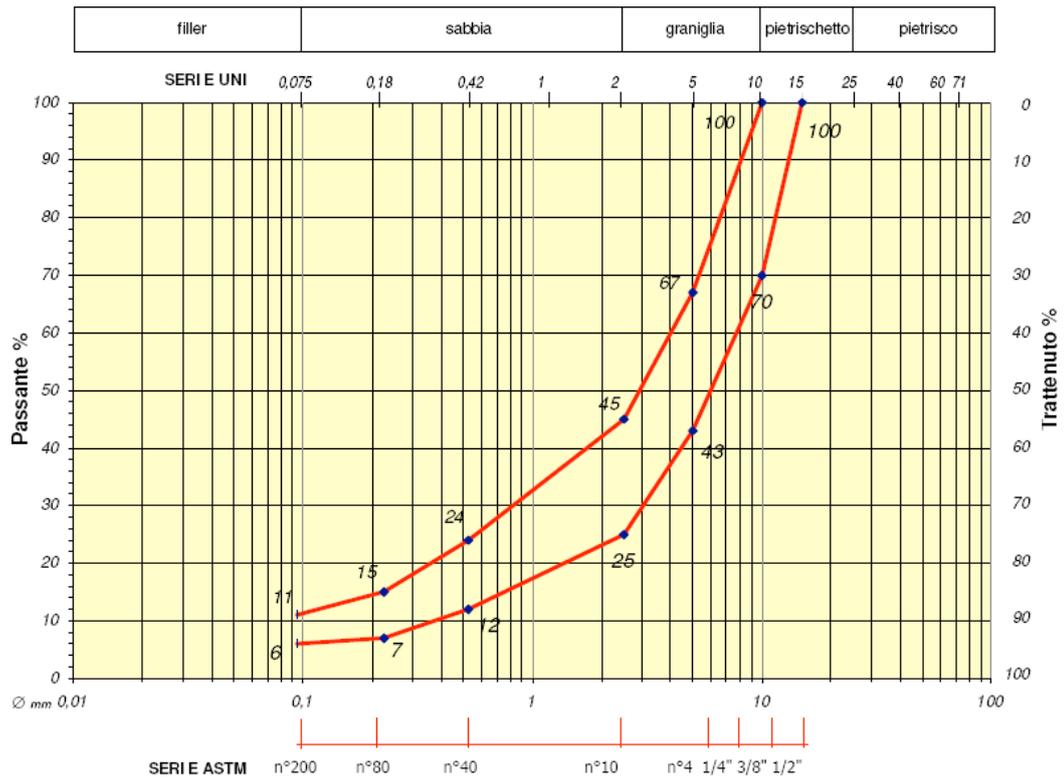


Figura 3- Fuso granulometrico per strato di usura

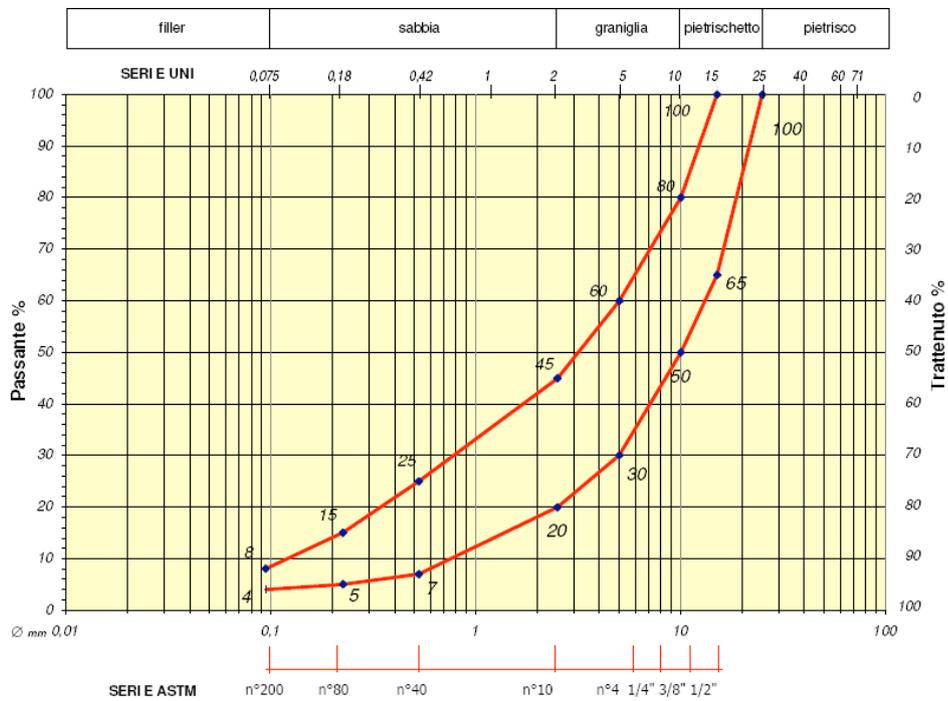


Figura 4 - Fuso granulometrico per strato di collegamento

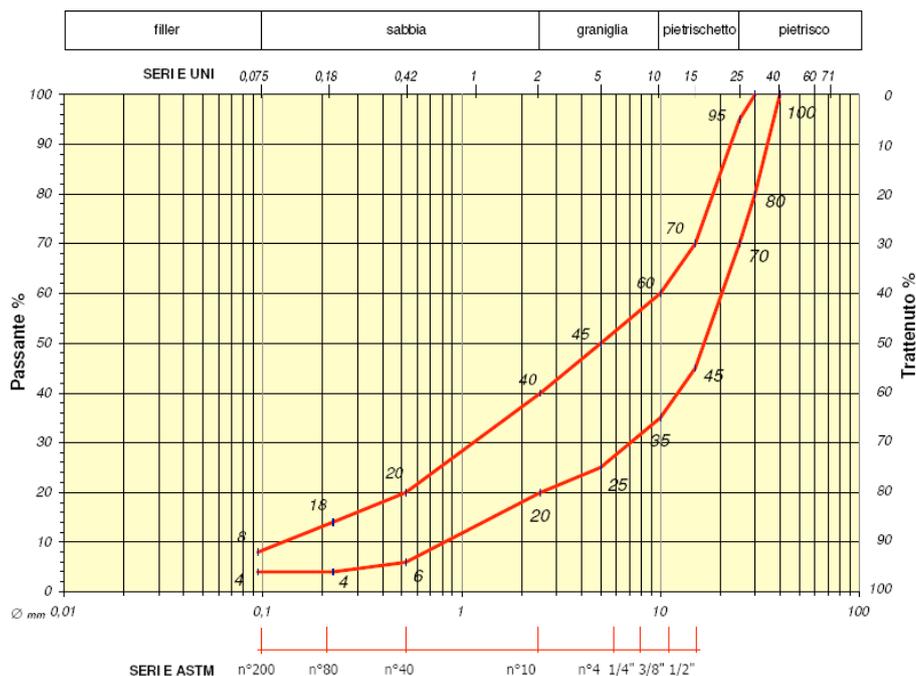


Figura 5 - Fuso granulometrico per strato di base

Per un approfondimento delle problematiche relative alle caratteristiche dei materiali, alla confezione delle miscele e ai riflessi sul comportamento complessivo della pavimentazione, si rimanda alla consultazione dei quaderni e capitoli indicati in bibliografia. L'eventuale ricorso a materiali diversi da quelli previsti nelle sovrastrutture di Catalogo è fortemente raccomandato per incentivare l'uso di materiali locali o di risulta. In tal caso, lo spessore degli strati dovrà essere determinato in funzione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali disponibili.

6.6 CALCOLO

Il calcolo delle pavimentazioni inserite in Catalogo è stato effettuato con metodi di dimensionamento sia empirico-teorici che razionali, svolgendo anche un confronto con i principali cataloghi stranieri delle sovrastrutture stradali.

Il metodo empirico-teorico utilizzato è quello riportato nell' "A.A.S.H.T.O. Guide for Design of Pavement Structures". Questo metodo consente tra l'altro di tener conto dell'affidabilità delle soluzioni, ossia della loro probabilità di sopravvivenza al termine della vita utile, nonché dell'indice di funzionalità PSI (Present Serviceability Index).

I valori dell'affidabilità e del PSI sono stati differenziati secondo il tipo di strada come riportato in tab. 9.

Traffico	Granulometri a	Bitume	Stabilità Marshall (75 colpi)		Rigidezza Marshall	Vuoti residui Marshall
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1.10	4,5,6	³ 1100	³ 1080	300,450	4,6
P	fig. 1.10	4,5,6	³ 1100	³ 1080	300,450	4,6
M	fig. 1.10	4,5,6	³ 1000	³ 980	>300	3,6
L	fig. 1.10	4,5,6	³ 1000	³ 980	>300	3,6
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ³ 97%						

Tabella 8a - Conglomerato bituminoso per strato di usura

Traffico	Granulometria	Bitume	Stabilità Marshall (75 colpi)		Rigidezza Marshall	Vuoti residui Marshall
			(Kg)	(daN)		
(1)	(2)	(%)			(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1.11	4.5, 5.5	³ 1000	³ 980	300, 450	3, 6
P	fig. 1.11	4.5, 5.5	³ 1000	³ 980	300, 450	3, 6
M	fig. 1.11	4, 5.5	³ 900	³ 880	>300	3, 7
L	fig. 1.11	4, 5.5	³ 900	³ 880	>300	3, 7
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ³ 98%						

Tabella 8b - Conglomerato bituminoso per strato di collegamento

Traffico	Granulometria	Bitume	Stabilità Marshall (75 colpi)		Rigidezza Marshall	Vuoti residui Marshall
			(Kg)	(daN)		
(1)	(2)	(%)			(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1.12	4, 5	³ 800	³ 780	>250	4, 7
P	fig. 1.12	4, 5	³ 800	³ 780	>250	4, 7
M	fig. 1.12	3.5, 4.5	³ 700	³ 690	>250	4, 7
L	fig. 1.12	3.5, 4.5	³ 700	³ 690	>250	4, 7
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ³ 98%						

Tabella 8c - Conglomerato bituminoso per strato di base

C.B.R. (dopo 4 gg di immersione in acqua)	CBR ³ 30%
Densità (rispetto alla densità AASHTO modificata)	³ 98%

Tabella 8d - Misto granulare non legato

	Semirigide	Rigide
Classe e tipo di cemento	Classe 32,5 tipo 1, 5	Classe 32,5 tipo 1, 5
Contenuto di cemento	2.5, 3.5%	3.5, 5%
Resistenza media a compressione a 7 gg	$2.5 \leq sm \leq 4.5$ N/mm ²	$4.0 \leq sm \leq 7.0$ N/mm ²

Tabella 8e - Misto cementato

	Semirigide	Rigide
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 5.5$ N/mm ² (3)(5)	$f_{cfm} = 4.0$ N/mm ² (4)(5)
Modulo elastico	$E = 47000$ N/mm ² (3)	$E = 47000$ N/mm ² (4)
Coefficiente di Poisson	n=0.2 (3)	n=0.2 (4)

Tabella 8f - Conglomerato cementizio

⁽¹⁾ Traffico (T) in numero di autoveicoli commerciali sulla corsia più

PP (molto pesante)	T	>	22.000.000
P (pesante)	8.000.000	<	T < 22.000.000
M (medio)	3.500.000	<	T < 8.000.000
L (leggero)		T	< 3.500.000

⁽²⁾ Le caratteristiche degli aggregati delle miscele da adottare sono quelle indicate nelle norme CNR per le categorie di traffico PP, P, M ed L individuate in funzione del traffico commerciale complessivo secondo la nota (1).

⁽³⁾ Per le autostrade extraurbane ed urbane, per le strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico e per le urbane di scorrimento.

⁽⁴⁾ Per le strade extraurbane secondarie sia ordinarie che turistiche, per le urbane di quartiere e locali e per le corsie preferenziali.

⁽⁵⁾ Valori corrispondenti approssimativamente a resistenze caratteristiche cubiche R_{ck} rispettivamente

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

Tabella 9 - Affidabilità e P.S.I.

Si noti che i valori di affidabilità presi a riferimento sono stati in via prudenziale piuttosto elevati; inoltre sono previsti valori più alti per le strade ubicate in area urbana al fine di ridurre il rischio di dover ricorrere a rafforzamenti prima del termine previsto, con le conseguenti gravi penalizzazioni al traffico. Per quanto riguarda l'indice PSI, si sono adottati valori più elevati per le autostrade per garantire, durante tutto l'arco della vita utile, elevati standard di sicurezza e confort per la circolazione.

I calcoli razionali sono stati effettuati seguendo specifiche procedure di analisi strutturale e specifici criteri di verifica a rottura per fatica. Il modello strutturale adottato è stato, per le pavimentazioni flessibili e semirigide, quello del multistrato elastico e, per le pavimentazioni rigide, quello di lastre di dimensioni finite su semispazio elastico schematizzate secondo il metodo agli elementi finiti. Nei calcoli razionali si è tenuto conto dell'affidabilità maggiorando opportunamente gli spessori trovati ispirandosi a fattori correttivi desunti per confronto con i dimensionamenti dell'AASHTO.

6.7 SCHEDE DI CATALOGO

Le schede costituenti il Catalogo sono identificate mediante codice alfanumerico costituito da un numero che va da 1 a 8, col quale viene indicato il tipo di strada (v. tab.3), e una parte alfabetica indicante la tipologia della sovrastruttura (F = flessibile, SR = semirigida, RG = rigida non armata e RC = rigida ad armatura continua). Ciascuna scheda, in funzione della categoria del sottofondo e della classe di traffico, riporta gli spessori e i materiali costituenti i diversi strati della pavimentazione. Situazioni progettuali che prevedono volumi di traffico e caratteristiche di sottofondo intermedie tra quelle previste in catalogo dovranno essere risolte per interpolazione. Si noti che gli strati di usura in conglomerato bituminoso presentano spessori, variabili da 4 a 6 cm secondo lo spettro ed intensità di traffico, che consentono l'impiego di inerti di dimensioni tali da garantire una buona macrorugosità al manto superficiale.

Nel caso si decida di utilizzare uno strato di usura in conglomerato bituminoso drenante, per le pavimentazioni flessibili e semirigide occorre aumentare di 2 cm lo spessore del binder rispetto a quello riportato in Catalogo lasciando invariati gli spessori degli altri strati; per le rigide invece l'usura drenante può essere prevista solo nel caso di soluzione ad armatura continua, previa opportuna mano d'attacco, senza necessità di modificare gli spessori previsti in Catalogo. In tal caso va attentamente studiato il problema della risalita delle fessure.

6.8 *CORRELAZIONI CON IL MODULO RESILIENTE*

La prova su piastra rappresenta uno dei test più diffusi per la verifica delle capacità portanti dei sottofondi e delle fondazioni stradali. In Italia, le modalità operative della prova si riferiscono alla determinazione del modulo di deformazione M_d e sono normalizzate dal B.U. CNR n° 142/92 che sostituisce le istruzioni del B.U. CNR n° 9/67. Il suo valore unitamente a quello di altri parametri geotecnici consente di valutare l' idoneità di un sottofondo a costituire un adeguato piano di posa della sovrastruttura stradale. Il valore di M_d viene valutato con la nota espressione:

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

Tabella 9 - Affidabilità e P.S.I.

Si noti che i valori di affidabilità presi a riferimento sono stati in via prudenziale piuttosto elevati; inoltre sono previsti valori più alti per le strade ubicate in area urbana al fine di ridurre il rischio di dover ricorrere a rafforzamenti prima del termine previsto, con le conseguenti gravi penalizzazioni al traffico. Per quanto riguarda l'indice PSI, si sono adottati valori più elevati per le autostrade per garantire, durante tutto l'arco della vita utile, elevati standard di sicurezza e confort per la circolazione.

I calcoli razionali sono stati effettuati seguendo specifiche procedure di analisi strutturale e specifici criteri di verifica a rottura per fatica. Il modello strutturale adottato è stato, per le pavimentazioni flessibili e semirigide, quello del multistrato elastico e, per le pavimentazioni rigide, quello di lastre di dimensioni finite su semispazio elastico schematizzate secondo il metodo agli elementi finiti. Nei calcoli razionali si è tenuto conto dell'affidabilità maggiorando opportunamente gli spessori trovati ispirandosi a fattori correttivi desunti per confronto con i dimensionamenti dell'AASHTO.

6.9 SCHEDE DI CATALOGO

Le schede costituenti il Catalogo sono identificate mediante codice alfanumerico costituito da un numero che va da 1 a 8, col quale viene indicato il tipo di strada (v. tab.3), e una parte alfabetica indicante la tipologia della sovrastruttura (F = flessibile, SR = semirigida, RG = rigida non armata e RC = rigida ad armatura continua). Ciascuna scheda, in funzione della categoria del sottofondo e della classe di traffico, riporta gli spessori e i materiali costituenti i diversi strati della pavimentazione. Situazioni progettuali che prevedono volumi di traffico e caratteristiche di sottofondo intermedie tra quelle previste in catalogo dovranno essere risolte per interpolazione. Si noti che gli strati di usura in conglomerato bituminoso presentano spessori, variabili da 4 a 6 cm secondo lo spettro ed intensità di traffico, che consentono l'impiego di inerti di dimensioni tali da garantire una buona macrorugosità al manto superficiale.

Nel caso si decida di utilizzare uno strato di usura in conglomerato bituminoso drenante, per le pavimentazioni flessibili e semirigide occorre aumentare di 2 cm lo spessore del binder rispetto a quello riportato in Catalogo lasciando invariati gli spessori degli altri strati; per le rigide invece l'usura drenante può essere prevista solo nel caso di soluzione ad armatura continua, previa opportuna mano d'attacco, senza necessità di modificare gli spessori previsti in Catalogo. In tal caso va attentamente studiato il problema della risalita delle fessure.

6.10 CORRELAZIONI CON IL MODULO RESILIENTE

La prova su piastra rappresenta uno dei test più diffusi per la verifica delle capacità portanti dei sottofondi e delle fondazioni stradali. In Italia, le modalità operative della prova si riferiscono alla determinazione del modulo di deformazione M_d e sono normalizzate dal B.U. CNR n° 142/92 che sostituisce le istruzioni del B.U. CNR n° 9/67. Il suo valore unitamente a quello di altri parametri geotecnici consente di valutare l'idoneità di un sottofondo a costituire un adeguato piano di posa della sovrastruttura stradale. Il valore di M_d viene valutato con la nota espressione:

dove ΔP rappresenta l'incremento di pressione in N/mm^2 applicati ad una piastra rigida circolare (Figura

6) del diametro di 300 mm mentre Δs è il corrispondente abbassamento della superficie caricata in mm. Nella versione originale la prova consisteva di un unico ciclo di carico e successivo scarico, mentre nella recente formulazione essa viene condotta con un doppio ciclo.

La valutazione di $M'd$ al secondo ciclo di carico consente di determinare il rapporto $Md/M'd$ che può essere assunto come misura del grado di compattazione del materiale. Un rapporto prossimo all'unità indica un buon addensamento mentre valori inferiori mettono in evidenza fasi di lavorazione poco curate. L'intervallo di pressione prescritto dalle Istruzioni CNR cresce al crescere delle caratteristiche meccaniche dello strato analizzato (Figure 6, 7).

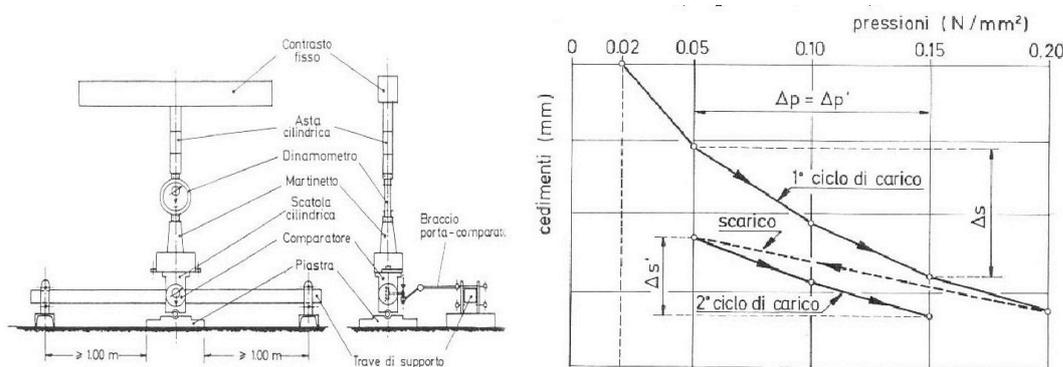


Figura 6 - Piastra di carico e strati di sottofondo

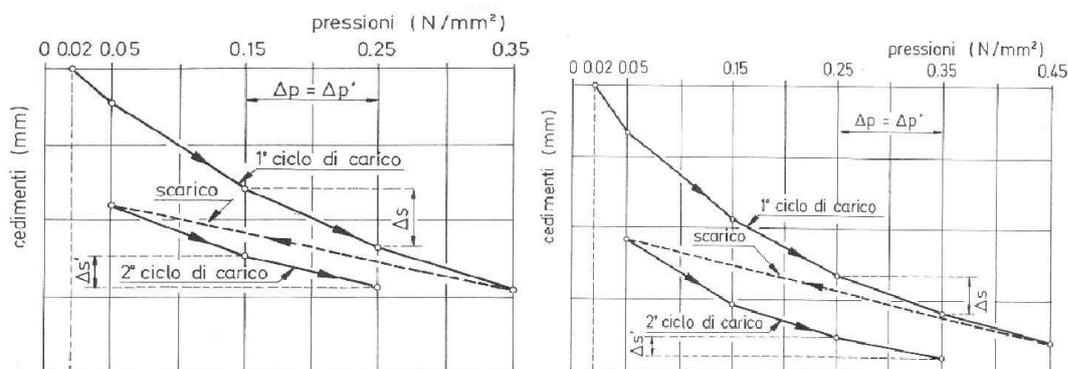


Figura 7 - Strati di fondazione e strati di base

La prova di carico su piastra consente di determinare direttamente il modulo di deformazione o di compressibilità e , attraverso l'introduzione del coefficiente di Poisson, valutare il modulo di elasticità di Young. Nonostante la prova sia standardizzata anche in Italia, la Norma Svizzera SNV 670317(1959) è quella più diffusa. Questa è stata aggiornata dalla SN 670317a nel 1981. Ulteriori modalità standard della prova sono quelle indicate dalle ASTM D1194-5-6.

Dalla teoria dell'elasticità si ha che un sovraccarico p applicato ad una piastra di dimensioni d , poggiante su un terreno avente modulo di elasticità E , provoca un cedimento della piastra d ricavabile dalla seguente espressione:

$$d = \frac{p}{CE} \times d \times (1 - n^2 \times C_d \times C_z)$$

dove

n è il coefficiente di Poisson

C_d rappresenta un fattore che tiene conto della forma e della rigidità della fondazione.

C_z è il parametro funzione della profondità della prova e assume valore unitario nel caso di prove superficiali, che rappresentano la norma. Il cedimento è quindi direttamente proporzionale alla dimensione della piastra, ovvero al lato minore nel caso di piastra rettangolare o il diametro nel caso di forma circolare.

La Tabella 10 riassume i valori del fattore C_d per diverse forme di piastra.

Forma	C_d
Circolare	1.00
Circolare rigida	0.79
Quadrata	1.12
Quadrata rigida	0.99
Rettangolare $a/b = 1.5$	1.36
$a/b = 2$	1.52
$a/b = 3$	1.78

Tabella 10 - Valori del fattore di forma

Nell'interpretazione dei risultati occorre tenere conto dei fattori che influiscono sulla prova (dimensioni della piastra, tempi di applicazione dei gradini di carico, dimensioni dei grani, etc.).

Anche altri fattori possono alterare i risultati della prova:

- il rifluimento del terreno ai bordi della piastra che influenza in modo diverso, in relazione al diametro, la forma del diagramma di carico;
- i fenomeni di plasticizzazione del terreno al contatto con la piastra;
- la dipendenza del modulo di elasticità dalla tensione ottaedrica efficace la quale varia con la profondità;
- le possibili differenze del coefficiente di attrito fra piastra (o fondazione) e terreno. In sintesi, il modulo di elasticità può essere valutato tramite la seguente espressione:

$$d = \frac{p}{CE} \times d \times (1 - n^2 \cdot C_d \cdot C_z)$$

La normativa DIN propone la valutazione del modulo di deformazione:

$$E = \frac{p}{n \cdot d} \times 0.75 \times d$$

che per le piastre circolari ($C_d = 0.79$) e per prove superficiali ($C_z = 1$), corrisponde al modulo di Young per un coefficiente di Poisson $\nu = 0.21$, tipico delle sabbie.

Il modulo di deformazione E_v e il modulo di Young E sono quindi equivalenti solo per prove eseguite nei terreni granulari.

La norma SN 670317a fa riferimento al modulo di compressione M_E valutato con piastra circolare pari a:

$$M_E = \frac{p}{d} \times d$$

M_E è sempre più elevato dei moduli di elasticità E e di deformazione E_v .

La relazione $E = M_E C_d C_z (1 - \nu^2)$ per piastre circolari ($C_d = \pi/4$) e per prove superficiali ($C_z = 1$) diviene:

$$E = 0,785 \times M_E \times (1 - \nu^2)$$

Va, infine, richiamato il modulo edometrico (E_{ed}) ricavabile in laboratorio (prova a deformazione laterale impedita):

$$E = E_{ed} \times \frac{(1+n) \times (1-2\nu)}{1-n}$$

e, pertanto, fra M_E ed E_{ed} esiste perciò la seguente relazione:

$$E_{ed} = 0,785 \times M_E \times \frac{1 - \nu^2}{1 - 2 \times \nu}$$

Trattandosi di conversione di moduli relativi a strati di sottofondo il modulo di deformazione su piastra da

30 cm deve intendersi rilevato sull'intervallo di pressione (0.005-0.015 N/mm²) e

pertanto può confondersi il modulo di compressione M_E con il Modulo di deformazione

M_d .

Pertanto si può ritenere sufficiente l'approssimazione di ritenere valida la relazione

$$E @ 0,785 \times M_E \times (1 - \nu^2) @ 0,785 \times M_d \times (1 - \nu^2)$$

Correlazione fra il modulo di elasticità **E** (detto anche di deformazione da non confondere con **M_d**) e modulo di reazione **K**.

Il modulo di reazione K è determinato attraverso prove di carico con piastra rigida da 76 cm di diametro; se si suppone allora che il terreno sia costituito da un mezzo perfettamente elastico, omogeneo ed isotropo, dalla teoria del Boussinesq, per tali condizioni di carico, la freccia f al centro della piastra di raggio r si esprime come:

$$f = \frac{\alpha p \delta}{E} \times r \times (1 - \nu^2)$$

da cui

$$E = \frac{\alpha p \delta}{f} \times r \times (1 - \nu^2) \times \frac{p}{\delta} = \frac{\alpha p \delta}{f} \times r \times (1 - \nu^2) \times K$$

Si ottengono dunque le seguenti correlazioni

$$E = 52 \times K \quad \text{pe } n = 0,35$$

$$E = 45 \times K \quad \text{r } n = 0,50$$

$$\text{pe}$$

$$\text{r}$$

Con K in daN/cm³ ed E in daN/cm², in cui E rappresenta ovviamente il valore del modulo statico E_{st} Pertanto possiamo considerare con tali ipotesi che

Oltre che

$$CBR = 0,20 \times M_d$$

$$M_r = 10 \times CBR$$

dove M_d è espresso in MPa

Modulo resiliente	Indice di CBR	Modulo di reazione	Modulo di reazione	Fattore di correlazione per n=0,35	Fattore di correlazione per n=0,5	Modulo di deformazione M _d
N/mm ²	(%)	KPa/mm	daN/cm ₃			daN/cm ₂
150	15	100	10	75,47		754
150	15	100	10		76,40	764
90	9	60	6	75,47		453
90	9	60	6		76,40	458
30	3	20	2	75,47		151
30	3	20	2		76,40	153

Tabella 11 - Correlazioni fra i vari indici di portanza del sottofondo

7. CONCLUSIONI DEFINIZIONE DEL PACCHETTO STRADALE DI PROGETTO

Per **la definizione del pacchetto stradale di progetto**, secondo le schede del Catalogo delle Pavimentazioni del CNR, sono state utilizzati i seguenti dati:

- la strada in esame si può classificare come tipologia "C – Strade extraurbane secondarie" per il Nuovo Codice della Strada, corrispondente alla tipologia "4 – Strade extraurbane secondarie - ordinarie" nel catalogo del CNR;
- la pavimentazione di progetto è di tipo flessibile;
- come numero di passaggi di veicoli commerciali, vista la situazione di flusso riscontrata, si considera 1.500.000;
- il progetto richiede un piano di posa del rilevato stradale con modulo di deformazione $M_d > 150$ daN/cm² corrispondente al modulo resiliente $M_R > 30$ N/mm² e al modulo di reazione $k > 2$ daN/cm³; nel caso in cui il terreno esistente, oggetto di preventiva escavazione, non garantisca una portanza di valore minimo richiesto, verrà effettuata un'adeguata bonifica per renderlo idoneo;
- il progetto richiede un sottofondo in tout venant con modulo di deformazione $M_d > 800$ daN/cm² che, come si può evincere dalla tabella 11 delle correlazioni tra i vari indici di portanza del sottofondo, corrisponde ad un modulo resiliente $M_R > 150$ N/mm².

La stratigrafia che si ottiene dal Catalogo delle Pavimentazioni del CNR (evidenziata in rosso nell'immagine sotto riportata della scheda n. 4F) è la seguente:

- strato di base spessore 11 cm
- strato di collegamento (binder) spessore 5 cm
- tappeto di usura spessore 4

cm per uno spessore totale pari a 20 cm.

La "portanza" di un terreno è la sua capacità di sopportare i carichi senza che si verifichino eccessive deformazioni, che risultano essere di tipo elasto - plastico - viscoso. Infatti, la necessità di avere contenute deformazioni nel sottofondo, al fine di garantire le regolarità del piano viabile e consentire un'accettabile vita utile della sovrastruttura, condiziona decisamente lo spessore complessivo della pavimentazione e quindi il relativo costo di costruzione. Coerentemente con le prove effettuate e le analisi contenute nella relazione geotecnica si è cautelativamente assunto per tutte le pavimentazioni in progetto un coefficiente di sottofondo pari a CBR 10% corrispondente ad un modulo resiliente pari a $M_R=90 \text{ N/mm}^2$ (13.000 psi) ed a un modulo di deformabilità del sottofondo $M_d = 50 \text{ kPa}$.

Lo strato in misto granulare non legato, nel caso in cui il sottofondo del pacchetto bituminoso abbia portanza con modulo resiliente M_R superiore a 150 N/mm^2 , non risulta necessario.

Per sottofondo con modulo resiliente ($90 \text{ N/mm}^2 \leq M_R < 150 \text{ N/mm}^2$) sarebbe necessario uno strato di misto granulare non legato di spessore 15 cm, mentre per sottofondo con ($30 \text{ N/mm}^2 < M_R < 90 \text{ N/mm}^2$) sarebbe necessario uno strato di misto granulare non legato di spessore 35 cm.

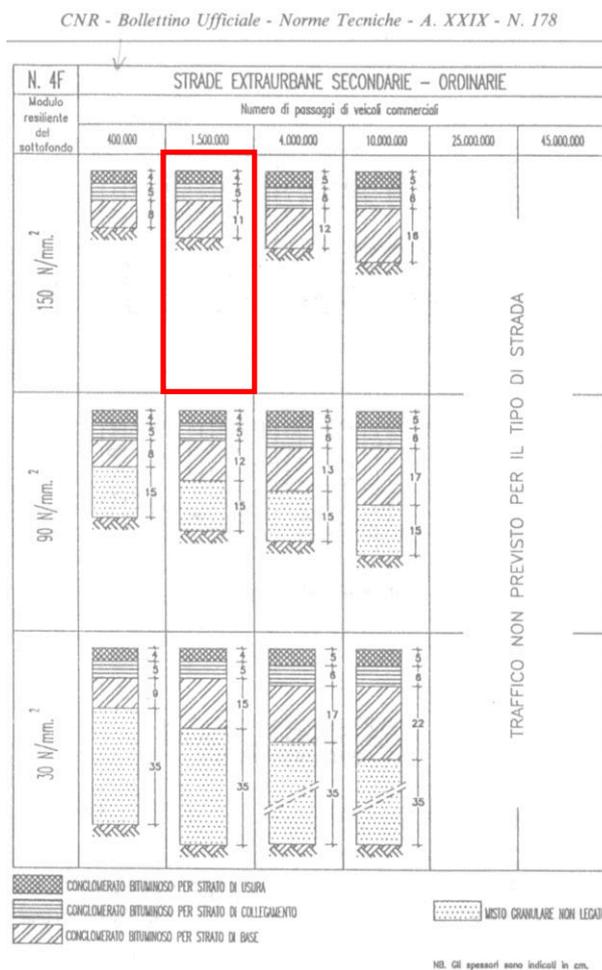


Figura 8 - Scheda n. 4F del Catalogo delle Pavimentazioni

Il numero massimo di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN che la pavimentazione è in grado di sopportare è dunque pari a 2.272.590 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese

dell'asse standard da 80kN pari a 923.902. La pavimentazione risulta dunque verificata.

Per le strade interpoderali, per le quali è previsto lo strato superficiale bitumato, il pacchetto della sovrastruttura, in relazione al fatto che su tali strade è previsto il passaggio di veicoli pesanti

Il progetto prevede la posa di un pacchetto stradale costituito da:

- strato di base in misto granulare bitumato spessore 20 cm
- strato di collegamento in conglomerato bituminoso (binder) spessore 7 cm
- tappeto di usura in conglomerato bituminoso splitmastix spessore 4 cm

spessore totale pari a 31 cm.

Lo strato di tout venant non legato posto al di sotto del pacchetto bitumato risulta avere spessore sempre non inferiore a 40 cm, e in ogni caso sempre superiore al massimo spessore (35 cm) che la scheda del Catalogo CNR richiederebbe nel caso di portanza di sottofondo con modulo resiliente $M_R > 30 \text{ N/mm}^2$.

Si ritiene che la pavimentazione stradale, realizzata con le caratteristiche appena descritte, sia adeguata all'intervento di progetto.

