

COMUNE DI CODIGORO

PROVINCIA DI FERRARA

Oggetto

VARIANTE AL PIANO INSEDIAMENTI PRODUTTIVI AREA INDUSTRIALE FALCO

Sito

Via Romea, 27 - Pomposa (FE)

UCEU / UCT Foglio 59 Mappale 32 Subalterno 6

Proprietà

Kastamonu Italia Srl

Via Romea, 27 - 44021 Pomposa (FE)

Committente

Kastamonu Italia Srl

Via Romea, 27 - 44021 Pomposa (FE)

Fase

S1 - VARIANTE PIP

Descrizione

RELAZIONE DI CALCOLO
PAVIMENTAZIONE STRADALE

N. Elaborato	Emissione	Data
U05c	R02	27.09.2018

Scala

Emissione	Data	Descrizione
R01	03.08.2018	Prima emissione



ArchLiving
LABORATORI di PROGETTAZIONE

Via Monsignor Luigi Maverna, 4 - 44122 - Ferrara
Tel. 0532 733683 - Fax. 0532 692608
info@archliving.it - posta@pec.archliving.it
www.archliving.it
p.iva: 01835300383
Capitale sociale: € 10.000,00
Registro Imprese di Ferrara: n. 202136



Il Progettista

Arch. Mario Loffredo

Cod. Pratica

P17-0043

Responsabile di Commessa

Ing. Gessica Grossi

Redatto

Ing. Alessandro Nicastro

Controllato

Ing. Gessica Grossi

Approvato

Arch. Mario Loffredo

File

P17-043_S1_DE_Copertine VAR.dwg

SOMMARIO

1	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
2	PREMESSA	3
3	DETERMINAZIONE MODULO DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO	3
4	METODO DEL DIMENSIONAMENTO	4
4.1	TIPOLOGIE DI STRADE	4
4.2	TRAFFICO	5
4.3	SOTTOFONDO	6
4.4	CONDIZIONI CLIMATICHE	7
4.5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	7
4.6	CALCOLO	9
4.7	SCHEDE DI CATALOGO	11
4.8	CORRELAZIONI CON IL MODULO RESILIENTE	12
5	CONCLUSIONI	13

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

- 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

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

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 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.

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.

4 METODO DEL DIMENSIONAMENTO

Quale supporto del dimensionamento e della verifica delle pavimentazioni bituminose flessibili per il sito 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.

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 ingegnere 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.

4.1 TIPOLOGIE DI 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 presente Catalogo, si è stabilita la corrispondenza riportata in Tabella 1.

Table 1: Classificazione delle strade secondo il Nuovo Codice delle strade e le Norme CNR

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

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.

4.2 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.

4.3 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 5.

$M_r = 150 \text{ N/mm}^2$	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 %	$K = 20 \text{ KPa/mm}$

Tabella 5 - Livelli di traffico sulla corsia più caricata

Si fa osservare che quando si è in presenza di terreni di scadente capacità portante ($M_r=30 \text{ N/mm}^2$), 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.

4.4 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	12.45
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

4.5 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 1, 2 e 3.

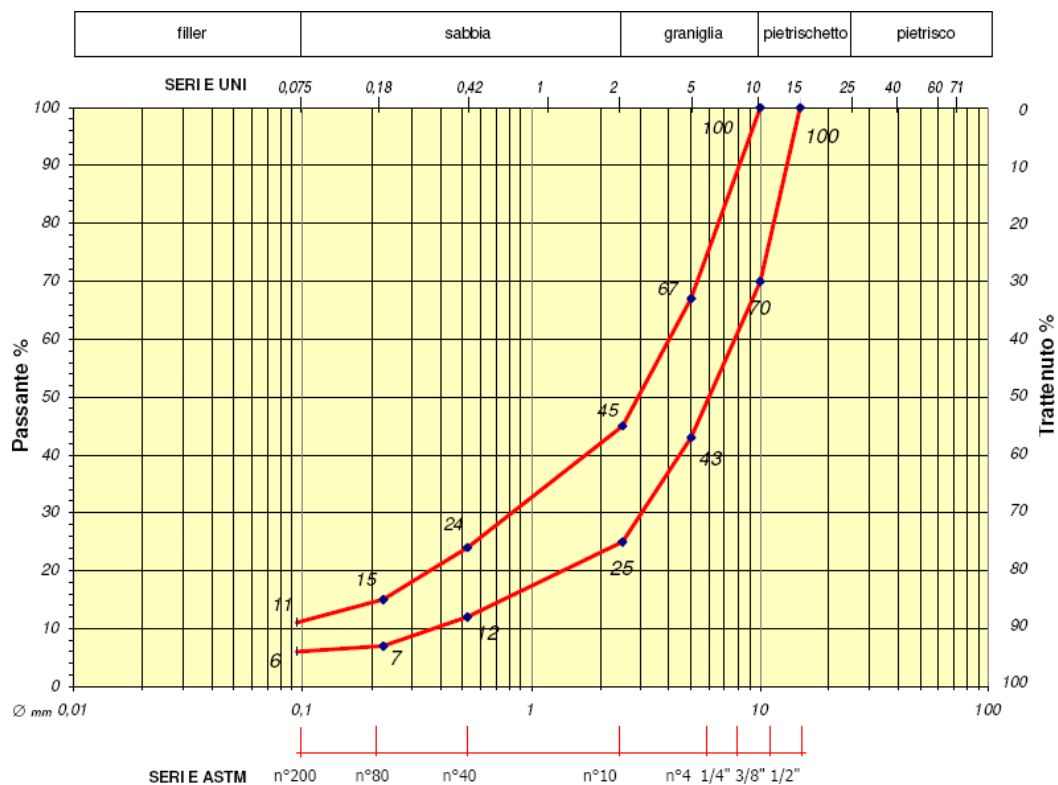


Figure 1: Fuso granulometrico per strato di usura

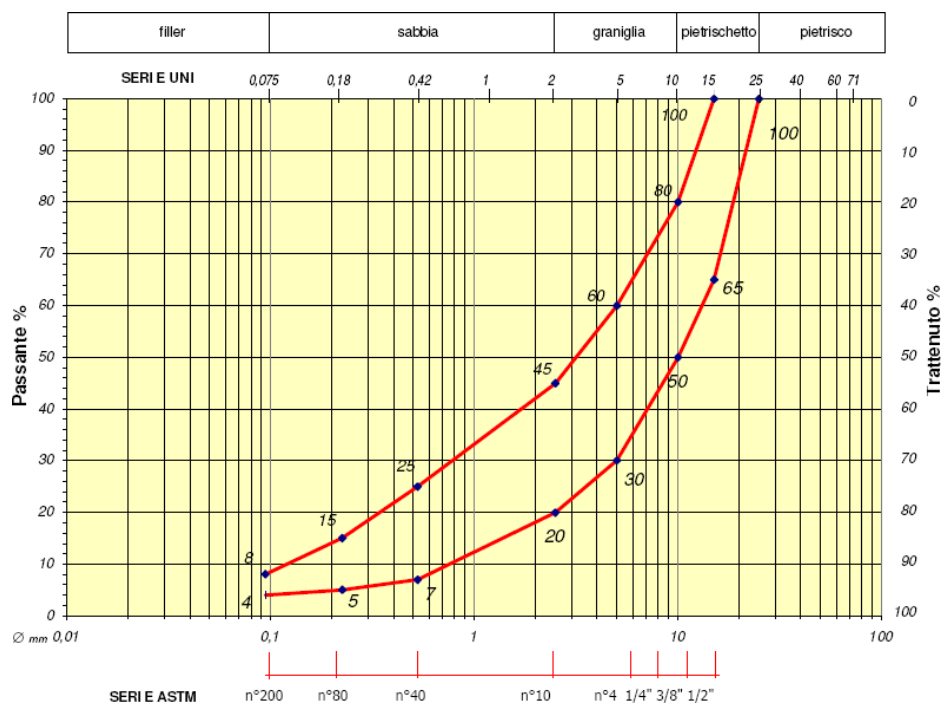


Figure 2: Fuso granulometrico per strato di collegamento

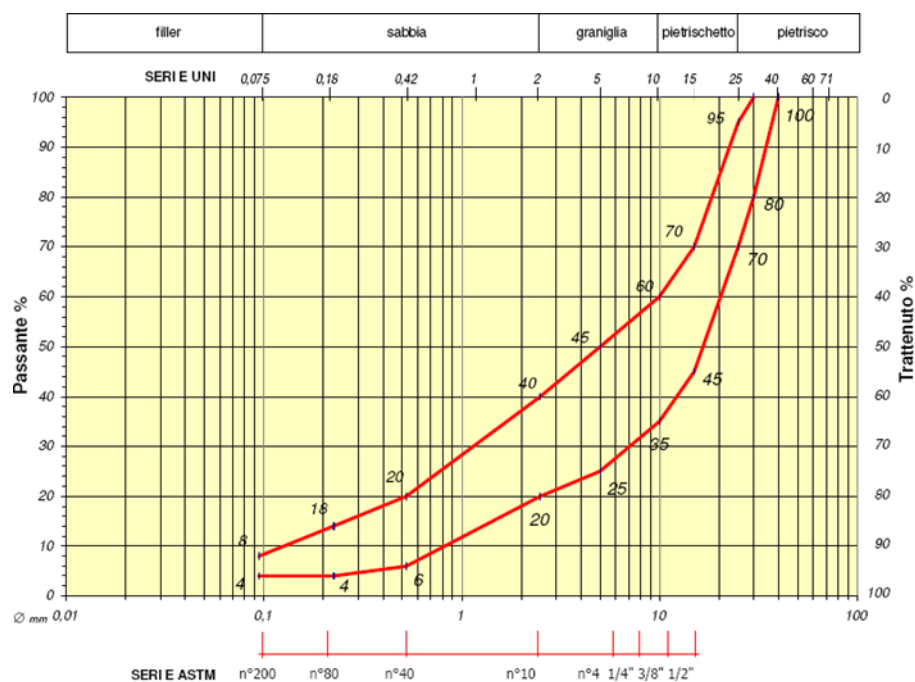


Figure 3: Fuso granulometrico per strato di base

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 capitolati 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.

4.6 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	Granulometria	Bitume	Stabilità Marshall (75 colpi)		Rigidezza Marshall	Vuoti residui Marshall
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1.10	4.5÷6	≥1100	≥ 1080	300÷450	4÷6
P	fig. 1.10	4.5÷6	≥1100	≥ 1080	300÷450	4÷6
M	fig. 1.10	4.5÷6	≥1000	≥ 980	>300	3÷6
L	fig. 1.10	4.5÷6	≥1000	≥ 980	>300	3÷6

Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 97%

Tabella 8a - Conglomerato bituminoso per strato di usura

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

Tabella 8b - Conglomerato bituminoso per strato di collegamento

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

Tabella 8c - Conglomerato bituminoso per strato di base

C.B.R. (dopo 4 gg di immersione in acqua)	CBR ≥ 30%
Densità(rispetto alla densità AASHTO modificata)	≥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	$2.5 \leq \sigma_m \leq 4.5 \text{ N/mm}^2$	$4.0 \leq \sigma_m \leq 7.0 \text{ N/mm}^2$

Tabella 8e - Misto cementato

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

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 | < |
| M (medio) | 3.500.000 | < | T | < |
| 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 di 55 e 30 N/mm²

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.

4.7 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.

4.8 CORRELAZIONI CON IL MODULO RESILIENTE

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

$$M_E = \frac{p}{\delta} \cdot d$$

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:

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

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

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

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

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

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

$$E \cong 0,785 \cdot M_E \cdot (1 - \nu^2) \cong 0,785 \cdot M_d \cdot (1 - \nu^2)$$

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:

$$f = \left(\frac{\pi}{2} \right) \cdot p \cdot r \cdot \frac{(1 - \nu^2)}{E}$$

da cui

$$E = \left(\frac{\pi}{2} \right) \cdot r \cdot (1 - \nu^2) \cdot \frac{p}{f} = \left(\frac{\pi}{2} \right) \cdot r \cdot (1 - \nu^2) \cdot K$$

Si ottengono dunque le seguenti correlazioni

$E = 52 \cdot K$	per	$\nu = 0,35$
$E = 45 \cdot K$	per	$\nu = 0,50$

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

$$E \cong 45 \cdot K \cong 0,785 \cdot M_d \cdot (1 - \nu^2) \text{ per } \nu = 0,50$$

$$E \cong 52 \cdot K \cong 0,785 \cdot M_d \cdot (1 - \nu^2) \text{ per } \nu = 0,35$$

Oltre che

$$CBR \cong 0,20 \cdot M_d$$

dove M_d è espresso in MPa.

Modulo resiliente	Indice di CBR	Modulo di reazione	Modulo di reazione	Fattore di correlazione e per $\square=0,35$	Fattore di correlazione per $\square=0,5$	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

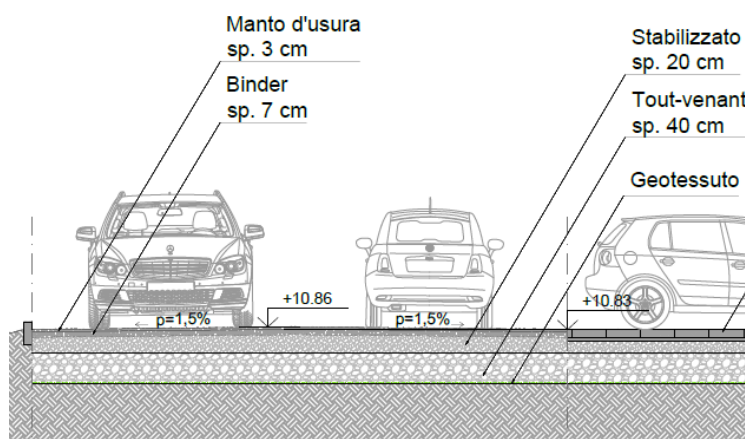
5 CONCLUSIONI

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, si considera circa 4.000.000
- 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;

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 40 cm
- stabilizzato spessore 20 cm
- strato di collegamento (binder) spessore 7 cm
- tappeto di usura spessore 3 cm



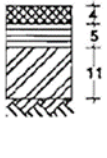

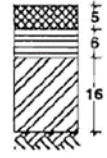
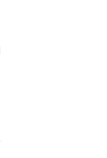
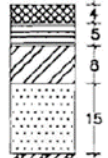
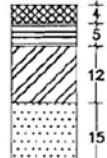
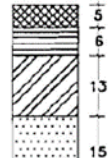
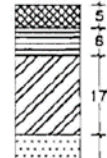

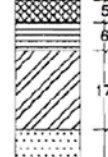
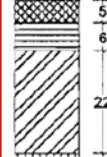
N. 4F		STRADE EXTRAURBANE SECONDARIE – ORDINARIE					
Modulo resiliente del sottofondo		Numero di passaggi di veicoli commerciali					
		400.000	1.500.000	4.000.000	10.000.000	25.000.000	45.000.000
150 N/mm. ²						TRAFFICO NON PREVISTO PER IL TIPO DI STRADA	
90 N/mm. ²							
30 N/mm. ²							

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

Il progettista