



Comune di Almè  
Provincia di Bergamo

# Accessibilità dolce e nuovo parcheggio per la fruizione del centro sportivo e del polo scolastico comunale

## Committente

Comune di Almè - Via Guglielmo Marconi, 12 (BG)

## Progetto architettonico

arch. Luigi Maffeis - M+L Architettura - Via Papa Giovanni XXIII, 1 - Madone (BG)

## OPERA FINANZIATA DA

**IL PIANO  
LOMBARDIA**  
Interventi per la ripresa economica.



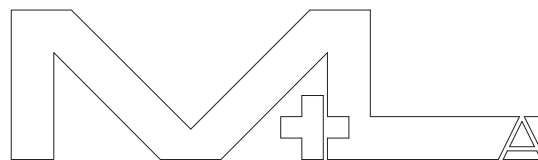
Regione  
Lombardia

PROGETTO DEFINITIVO

CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

# A7

M+L ARCHITETTURA  
di Arch. Luigi Eriberto Maffeis  
Via Papa Giovanni XXIII n°1 - 24040 Madone (BG) - T 035.99.15.97  
[www.gruppoml.it](http://www.gruppoml.it)  
Partita IVA 04424850164



SERVIZI PER L'URBANISTICA, L'INGEGNERIA E L'ARCHITETTURA

# CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

## Premessa

Il seguente Catalogo, tratto da Codice della Strada, offre un ventaglio di soluzioni di sovrastrutture stradali di varie tipologie e valide per le condizioni di traffico e ambientali tipiche dell'Italia. L'obiettivo che esso si propone è quello di fornire all'ingegnere stradale un riferimento nella progettazione delle pavimentazioni.

Le tipologie di pavimentazioni considerate sono: flessibile, semirigida e rigida, quest'ultima sia in calcestruzzo non armato che ad armatura continua. Per ciascuna di esse si forniscono soluzioni che -per un determinato tipo di strada, portanza del sottofondo e 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.

L'ambito di applicazione di questo Catalogo riguarda la progettazione di nuove sovrastrutture. Esso presuppone l'impiego di materiali aventi le caratteristiche riportate più avanti ed è valido per tutto il territorio nazionale purché ad altitudini non superiori a 1000 m sul livello medio del mare. Per la progettazione del presente intervento si è scelta una delle configurazioni proposte nel Catalogo 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 e poi affinarla, utilizzando metodi di calcolo sia empirici che razionali, se le condizioni di progetto -per esempio i materiali a disposizione, la composizione del traffico o la portanza del sottofondo -sono differenti da quelli qui considerati. 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.

## 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 presente Catalogo, si è stabilita la corrispondenza riportata

NUOVO CODICE DELLA STRADA	NORME CNR
A) Autostrade extraurbane Autostrade 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 Strade 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.)

### Traffico

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

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
12) " "	"	↓60	↓110		↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120		↓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.

3

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 – Livello 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 strade in seguito riportate.

## Sottofondo

Il parametro scelto per caratterizzare la portanza del sottofondo è il "modulo resiliente"  $M_r$ , valutabile sperimentalmente utilizzando la nonna 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, Esso è correlabile ai parametri più comunemente utilizzati quali l'indice di portanza CBR e il modulo di reazione K. 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.

$M_r = 150 \text{ N/mm}^2$ (*)
$M_r = 90 \text{ N/mm}^2$ (**)
$M_r = 30 \text{ N/mm}^2$ (***)

**Tabella 5 - Modulo resiliente del sottofondo**

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 do scorrimento, le strade 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 (cfr. I capitolati dei maggiori Enti stradali italiani).

## Caratteristiche dei materiali

Le principali caratteristiche fisico-meccanico dei materiali impiegati nelle sovrastrutture di Catalogo (conglomerati bituminosi per strati di usura, di collegamento e di base, misti granulati non legati, misti cementati e conglomerati cementizi), sono riportati in tabella 8. In particolare la granulometria delle miscele bituminose è contenuta nei fusi riportati nelle figure 1, 2 e 3.

## Calcolo

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

Il metodo empirico - teorico utilizzato è quello riportato nell' "AASHTO 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 tabella 9.

<u>Conglomerato bituminoso per strato di usura</u>						
traffico	granulometria	bitume	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall	vuoti residui Marshall
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1	4.5+6	≥1100	≥1080	300+450	4+6
P	"	"	≥1100	≥1080	300+450	4+6
M	"	"	≥1000	≥980	>300	3+6
L	"	"	≥1000	≥980	>300	3+6
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 97%						
<u>Conglomerato bituminoso per strato di collegamento</u>						
traffico	granulometria	bitume	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall	vuoti residui Marshall
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig.2	4.5+5.5	≥1000	≥980	300+450	3+6
P	"	"	≥1000	≥980	300+450	3+6
M	"	4+5.5	≥ 900	≥880	>300	3+7
L	"	"	≥ 900	≥880	>300	3+7
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 98%						
<u>Conglomerato bituminoso per strato di base</u>						
traffico	granulometria	bitume	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall	vuoti residui Marshall
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig.3	4+5	≥800	≥780	>250	4+7
P	"	"	≥800	≥780	"	"
M	"	3.5+4.5	≥700	≥690	"	"
L	"	"	≥700	≥690	"	"
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 98%						
<u>Misto granulare non legato</u>						
CBR (dopo 4gg di immersione in acqua)			CBR ≥ 30%			
Densità (rispetto alla densità AASHTO modificata)			≥ 98%			
<u>Misto cementato</u>						
			Semirigide		Rigide	
Classe di cemento			cemento 197/1 tipo 1+5		cemento 197/1 tipo 1+5	
Contenuto di cemento			2.5+3.5%		3.5+5	
Resistenza media a compressione a 7gg			$2.5 \leq \sigma_{cm} \leq 4.5 \text{ N/mm}^2$		$4.0 \leq \sigma_{cm} \leq 7.0 \text{ N/mm}^2$	
<u>Conglomerato cementizio</u>						
Resistenza media a trazione per flessione			$f_{ctfm} = 5.5 \text{ N/mm}^2$ (*) (*)		$f_{ctfm} = 4.0 \text{ N/mm}^2$ (**) (*)	
Modulo elastico			$E = 47000 \text{ N/mm}^2$ (*)		$E = 34000 \text{ N/mm}^2$ (**)	
Coefficiente di Poisson			$\nu = 0.2$ (*)		$\nu = 0.2$ (**)	

Tabella 8 - Caratteristiche fisico - meccaniche dei materiali

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

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)	$T < 3.500.000$



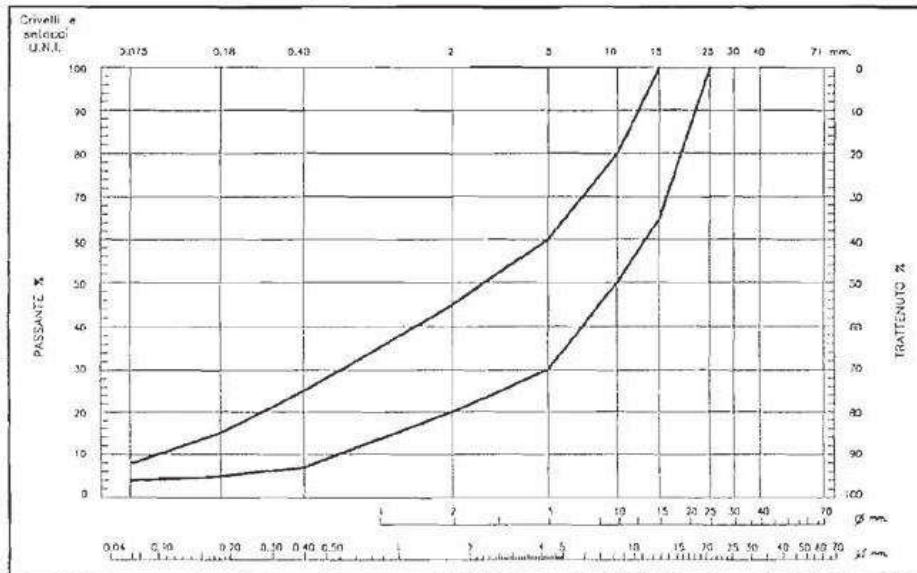


FIG.2 Fuso granulometrico per strato di collegamento

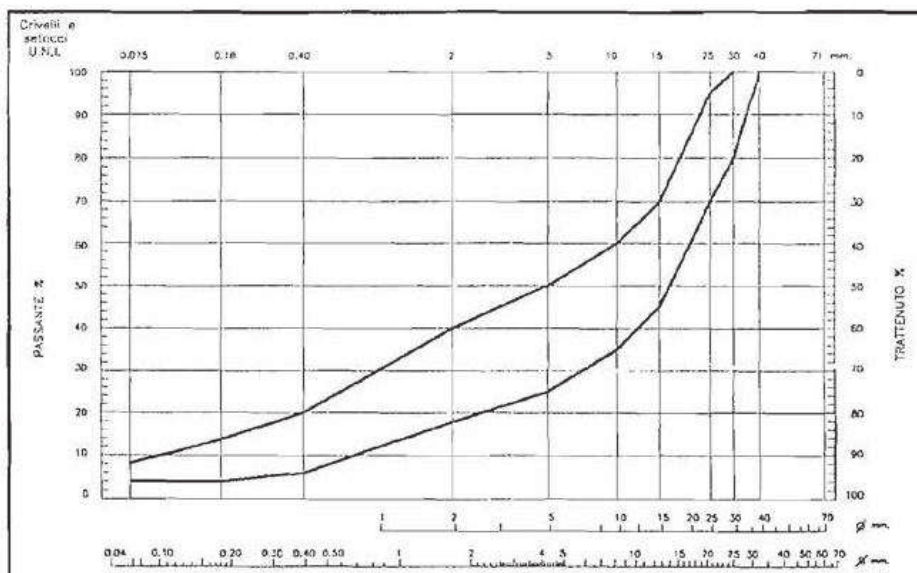


FIG.3 Fuso granulometrico per strato di base

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

## Tabella 9 – Affidabilità e PSI

Si noti che i valori più alti dell'affidabilità sono stati assunti per le strade ubicate in area urbana, per ridurre il rischio che si presenti la necessità di 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 standards 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.

### Schede di catalogo

Le schede costituenti il Catalogo sono identificate mediante un 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 (CF = 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.

Si fa presente che per le pavimentazioni rigide non annate è previsto l'impiego di barre di compartecipazione aventi lunghezza uguale a 500 mm e poste ad interasse di 300 mm. Il diametro di dette barre è stato differenziato secondo il tipo di strada e lo spessore delle lastre come riportato in tabella 10.

Tipo di strada	Spessore delle lastre H (cm)	Diametro delle barre $\Phi$ (mm)
1) autostrade extraurbane, 2) autostrade urbane, 3) strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico, 6) strade urbane di scorrimento	H $\leq$ 22 22<H $\leq$ 24 H>24	24 28 30
4) strade extraurbane secondarie ordinarie, 5) strade extr. second. turistiche, 7) strade urbane di quartiere e locali (*), 8) corsie preferenziali (* Per questi tipi di strade con livello di traffico 1, le barre di compartecipazione possono essere omesse.	H $\leq$ 18 18<H $\leq$ 20 H>20	16 20 22

**Tabella 10 - Diametro delle barre di compartecipazione per i giunti trasversali di contrazione.**







L'armatura longitudinale prevista nelle pavimentazioni in calcestruzzo ad armatura continua e le caratteristiche dell'acciaio sono riportate direttamente nelle schede di Catalogo. 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.

10

### Determinazione dei pacchetti stradali del progetto

Le superfici di calpestio sono realizzate in modo differente a seconda della funzione della superficie, secondo il seguente schema.

## Sistema dei percorsi

-  Allargamento per percorso pedonale (pavimentazione nobile piastrelle porfido marrone con spline bianche)
-  Pista ciclabile (asfalto con segnaletica orizzontale bianca)
-  Area per la mobilità dolce promiscua ciclabile/pedonale (piastrelle grigi in luserna-pietra 40cmx30cm sp. 4/6)
-  Pavimentazione ciottolato
-  Strada (asfalto nuovo)
-  Rampa asfalto

Le strade carrabili saranno in asfalto, mediante stesa di tappetino d'usura tradizionale.

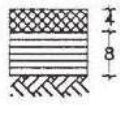
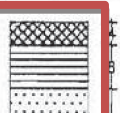

Per limitate porzioni lungo alcuni percorsi pedonali, vengono recuperati i masselli esistenti e riutilizzati a opere terminate (spessore 6 cm, posati a secco su letto di sabbia dello spessore di 4 cm).

Per quanto riguarda marciapiede e pista ciclabile i carichi minimi vengono considerati sulla base del catalogo Codice della Strada.

- Numero della scheda - 7F
- Modulo resiliente del sottofondo - 30 N/mm<sup>2</sup>
- Numero di passaggi di veicoli commerciali - 400.000

Mentre per il parcheggio

- Numero della scheda - 7F
- Modulo resiliente del sottofondo - 150 N/mm<sup>2</sup>

N. 7F	STRADE URBANE DI QUARTIERE E LOCALI						
	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 <sup>2</sup>							
90 N/mm <sup>2</sup>							
30 N/mm <sup>2</sup>							

TRAFFICO NON PREVISTO PER IL TIPO DI STRADA

-  CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATO DI USURA
-  CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATO DI COLLEGAMENTO
-  CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATO DI BASE
-  MISTO GRANULARE NON LEGATO

NB. Gli spessori sono indicati in cm.

Madone, Aprile 2024

IL PROGETTISTA

Arch. Luigi Eriberto Maffeis

RELAZIONE GENERALE, TECNICA E SPECIALISTICA – Progetto Definitivo per l'accessibilità dolce e nuovo parcheggio per la fruizione del centro sportivo e del polo scolastico comunale

Architetto Luigi Eriberto Maffeis – M+L Architettura, Madone, via Papa Giovanni XXIII, 1