

Insegnamento di Progetto di Infrastrutture viarie

Opere in terra

Caratteristiche di un terreno

Compressibilità e costipamento delle terre

Portanza sottofondi e fondazioni stradali

Instabilità del corpo stradale

Gallerie

Soprastrutture

Materiali e miscele stradali

Pavimentazioni stradali

Cenni di calcolo delle soprastrutture

Soprastrutture ferroviarie

Impianti stradali

Aree di sosta

Progetto di Infrastrutture viarie

Sovrastrutture stradali

La sovrastruttura stradale (pavimentazione) è la struttura piana, poggiante sul rilevato o, in trincea, sul terreno in sito, costituita da strati ciascuno di materiale e spessore diversi e messa in opera con differenti tecnologie.

Assolve quindi alle funzioni di:

- sopportare i carichi di traffico senza rotture od altre alterazioni pericolose del piano viabile;
- assicurare al deflusso veicolare una superficie di idonee caratteristiche di regolarità e di aderenza per il confort e la sicurezza della circolazione, nel rispetto dell'ambiente;
- salvaguardare gli strati della pavimentazione stessa ed il terreno sottostante (sottosfondo) dalle azioni atmosferiche (dal gelo in particolare).

Le pavimentazioni possono essere: *flessibili, semi-rigide, rigide, ad elementi.*

Pavimentazioni flessibili

Le pavimentazioni flessibili sono costituite da più strati sovrapposti di miscele, alcune non legate, altre legate in cui il legante è quasi sempre il bitume.

Storicamente tali pavimentazioni (vedi figura 1) erano costituite da una stesa di pietrisco, i cui elementi venivano legati da detriti di rocce calcaree, che appoggiavano su una fondazione in pietrame, costituita da scampoli di cava. Era la tipica *massicciata in macadam* all'acqua, compattata con rulli da 14 t (con riduzione dei vuoti dal 40 % iniziale al 15 - 25 % finale) e con superficie di rotolamento in terra che successivamente venne impermeabilizzata con trattamenti superficiali (spessore 3 cm) aventi lo scopo di rimedio antipolvere e di miglioramento delle caratteristiche superficiali. Esistono anche massicciate a penetrazione in cui si fa penetrare il legante (bitume 50-80 dmm) tra i vuoti del pietrisco per tutto lo spessore dello strato.

Le moderne pavimentazioni flessibili, di cui in figura 2 si illustra lo schema, sono caratterizzate da: *strato d'usura*, *strato di collegamento*, *strato di base*, *strato di fondazione*. In figura 3 si riportano le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali utilizzati.

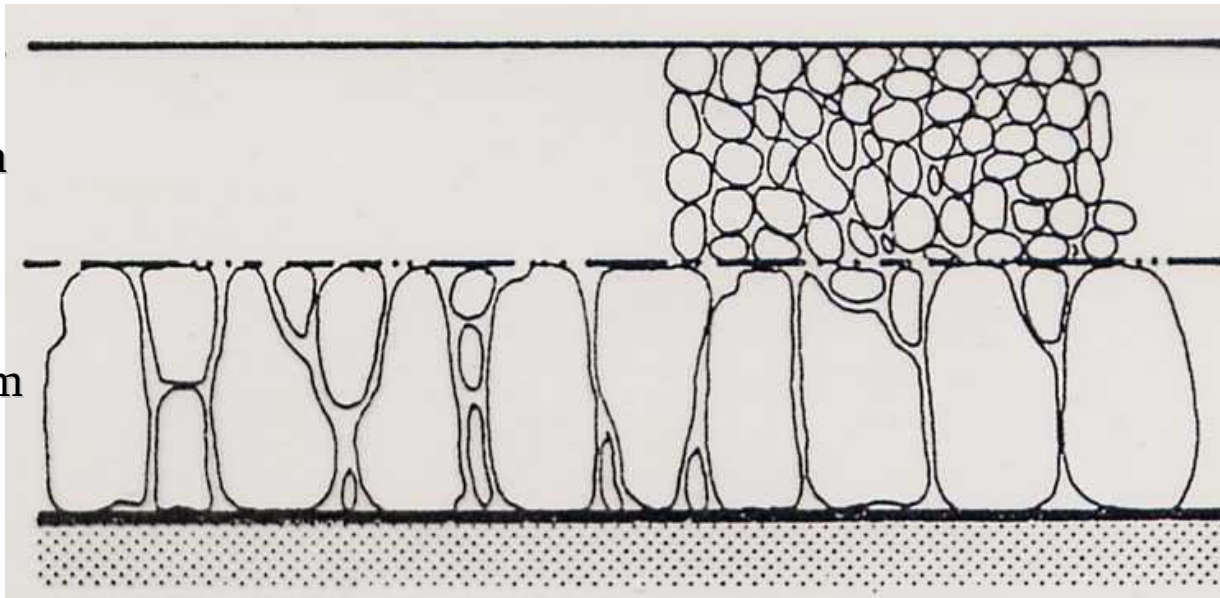
Progetto di Infrastrutture viarie

Massicciate in *macadam*

Superficie di rotolamento

15 - 20 cm

25 - 30 cm

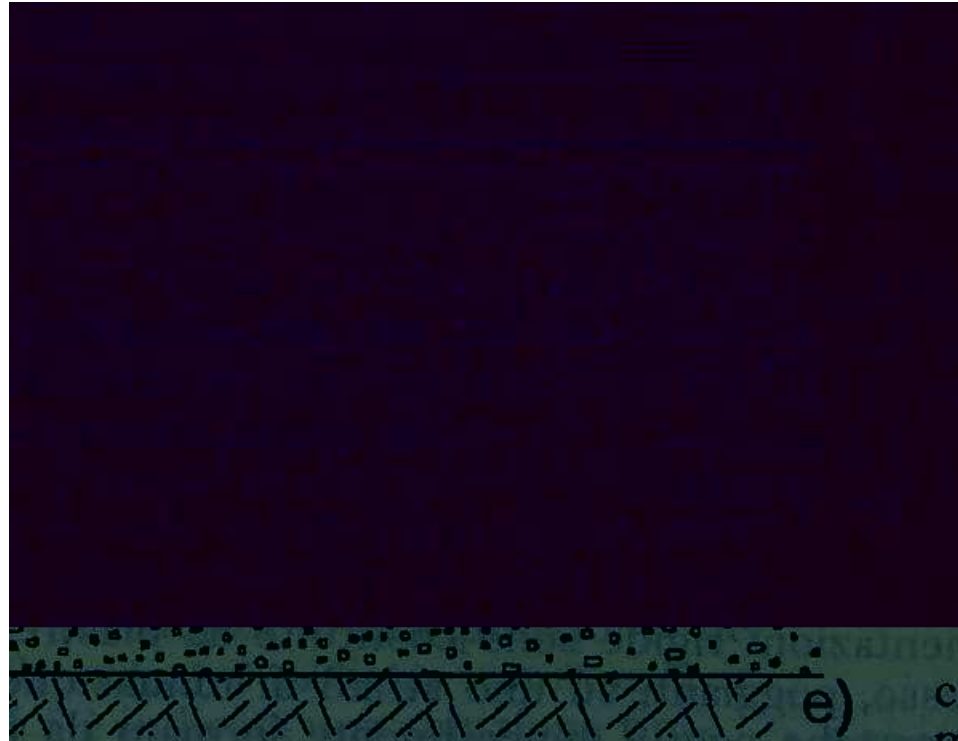


Stesa di
pietrisco

Fondazione
in scampoli
di cava

Sottofondo

Schema di pavimentazione flessibile



- a) Strato di usura (conglomerato bituminoso a masse chiuse)
- b) Strato di collegamento o *binder* (conglomerato bituminoso a masse semichiuse)
- c) Strato di base (misto bitumato)
- d) Strato di fondazione (misto granulare)
- e) Sottofondo

Progetto di Infrastrutture viarie

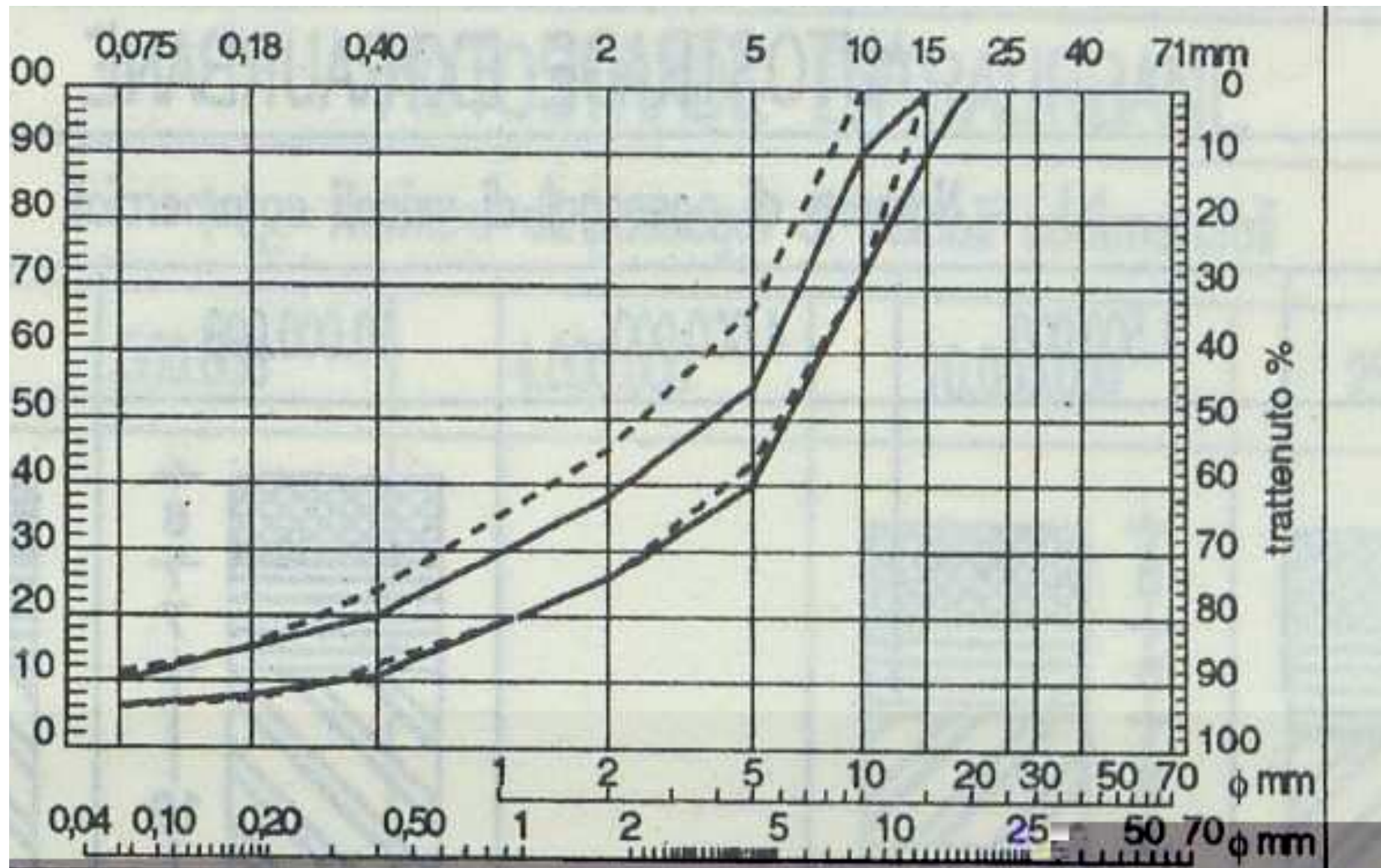
Caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali utilizzati

per strato di usura			
shall (75 colpi) (daN)	rigidezza Marshall (kg/mm)	vuoti residui Marshall (%)	
≥ 1080	$300 \div 450$	$4 \div 6$	
≥ 1080	$300 \div 450$	$4 \div 6$	
≥ 980	> 300	$3 \div 6$	
≥ 980	> 300	$3 \div 6$	
$\geq 97\%$			
strato di collegamento			
shall (75 colpi) (daN)	rigidezza Marshall (kg/mm)	vuoti residui Marshall (%)	
≥ 980	$300 \div 450$	$3 \div 6$	
≥ 980	$300 \div 450$	$3 \div 6$	
≥ 880	> 300	$3 \div 7$	
≥ 880	> 300	$3 \div 7$	
$\geq 98\%$			
per strato di base			
shall (75 colpi) (daN)	rigidezza Marshall (kg/mm)	vuoti residui Marshall (%)	
≥ 780	> 250	$4 \div 7$	
≥ 780	"	"	
≥ 690	"	"	
≥ 690	"	"	
$\geq 98\%$			
non legato			
CBR $\geq 30\%$			
$\geq 98\%$			
Semirigide		Rigide	
$3,5\%$		325	
$\sigma_{rm} \leq 4,5 \text{ N/mm}^2$		$3,5 \div 5$	
inizio		$4,0 \leq \sigma_{rm} \leq 7,0 \text{ N/mm}^2$	
$5,5 \text{ N/mm}^2$ (*) (●)		$f_{cm} = 4,0 \text{ N/mm}^2$ (*) (●)	
$7,000 \text{ N/mm}^2$ (*)		$E = 34,000 \text{ N/mm}^2$ (*)	
σ_c (*)		$\nu = 0,2$ (*)	
corsia più caricata:			
di traffico totale			
$365 \times 20 \times T > 21\,900\,000$			
$8030000 < 365 \times 20 \times T < 21\,900\,000$			
$3285000 < 365 \times 20 \times T < 8030000$			
$365 \times 20 \times T < 3285000$			
ane principali e secondarie a forte traffico e per le			
le urbane di quartiere e locali e per le corsie preferenziali,			
tiche cubiche Rek rispettivamente di 55 e 30 N/mm ²			

Strato d'usura

Costituito da conglomerato bituminoso a masse chiuse, é la superficie di rotolamento e quindi ha il compito di garantire sicurezza, confort e economicità di marcia. Deve pertanto assicurare elevata e durevole aderenza e presentare buona resistenza alle azioni tangenziali ed alle deformazioni

Fuso granulometrico per strato d'usura



Progetto di Infrastrutture viarie

Strato di collegamento

Detto anche *binder* è costituito anch'esso da conglomerato bituminoso a masse semiaperte, ma con caratteristiche meccaniche lievemente inferiori. Contribuisce, assieme allo strato di base, ad assorbire le azioni flessionali indotte dai carichi.

Le proprietà di uno strato di collegamento sono da mettersi in relazione con le caratteristiche mineralogiche e granulometriche degli inerti (in figura 5 Fuso granulometrico per strato di collegamento) e reologiche dei bitumi naturali utilizzati.

Gli spessori più frequenti di uno strato di collegamento variano tra 6 e 8 cm.

E' possibile anche realizzare una pavimentazione formata da due o più strati di conglomerato bituminoso che appoggiano direttamente sul sottofondo: tali pavimentazione sono chiamate *tutto-asfalto*.

Progetto di Infrastrutture viarie

Fuso granulometrico per strato di collegamento



Progetto di Infrastrutture viarie

Strato di base

Allo strato di base è affidato il compito di assorbire la maggior parte delle azioni flessionali indotte dai carichi. Nelle pavimentazioni flessibili è costituito da conglomerato bituminoso a masse aperte (misto bitumato) con minore quantità di bitume, maggiore porosità e caratteristiche meccaniche più basse rispetto ai precedenti strati.

Le proprietà di uno strato di base sono da mettersi in relazione con le caratteristiche mineralogiche e granulometriche degli inerti (in figura 6 Fuso granulometrico per strato di base) e reologiche dei bitumi naturali utilizzati.

Gli spessori di uno strato di base sono ampiamente variabili da un minimo di 8 -10 cm a valori di 25 - 30 cm, in relazione all'entità del traffico pesante, con le condizioni climatiche e con la portanza del sottofondo.

Lo strato di base delle pavimentazioni semirigide può anche essere realizzato in misto cementato, così come lo strato di fondazione sempre delle pavimentazioni semirigide (vedi figura 9 Schemi di pavimentazioni semirigide).

Progetto di Infrastrutture viarie

Fuso granulometrico per strato di base



Progetto di Infrastrutture viarie

Strato di fondazione

Generalmente in misto granulare, nelle pavimentazioni semirigide può anche essere in misto cementato.

La sua funzione principale è quella di ripartire i carichi sul sottofondo.

Il campo di variazione degli spessori è molto ampio: tra 15 e 35 cm.

In caso di indisponibilità (carenza od elevati costi) di inerti idonei a formare un buon misto granulare, si possono realizzare strati di fondazione in terra stabilizzata a cemento, a bitume o con miscele aggregato-pozzolana-calce.

La messa in opera di tali misti granulari, le cui specifiche granulometriche e di contenuto d'acqua sono riportate in figura 7, avviene con *stabilizzazione granulometrica* (costipamento) per via umida. Nel caso in cui si ricorra a misti legati con cemento, bitume, ecc. si procederà alla realizzazione dello strato di fondazione mediante *stabilizzazione con leganti* le cui specifiche granulometriche e di contenuto d'acqua sono riportate in figura 8.

Progetto di Infrastrutture viarie

Specifiche granulometriche e di contenuto d'acqua per stabilizzazione granulometrica

Setacci A.S.T.M.	Percentuale di passante				C.N.R.	Crivelli e setacci UNI
	A.S.T.M.		A.S.T.M.			
	Dimensione max 51 mm		Dimensione max 25 mm			
	556-557-40T	D1241-55T	556-557-40T	D1241-55T		
2''	100	100	—	—	100	71
1''	55 ÷ 85	75 ÷ 95	100	100	70 ÷ 100	50 ÷ 70
3/8''	40 ÷ 70	40 ÷ 75	50 ÷ 80	50 ÷ 85	30 ÷ 70	10
4	30 ÷ 60	30 ÷ 60	35 ÷ 65	35 ÷ 65	25 ÷ 55	5
10	20 ÷ 50	20 ÷ 45	25 ÷ 50	25 ÷ 50	15 ÷ 40	2
40	10 ÷ 30	15 ÷ 30	15 ÷ 30	15 ÷ 30	8 ÷ 25	0,4
200	8 ÷ 15	2 ÷ 20	8 ÷ 15	5 ÷ 15	2 ÷ 15	0,075
	LL ≤ 25%; IP ≤ 6		LL ≤ 25%; IP ≤ 6		LL ≤ 25%; IP ≤ 6	

Progetto di Infrastrutture viarie

Specifiche granulometriche e di contenuto d'acqua per stabilizzazione con leganti

Setacci	Passante in %
3''	100
n. 4 A.S.T.M.	50 ÷ 100
n. 40 A.S.T.M.	15 ÷ 100
n. 200 A.S.T.M.	0 ÷ 50
$LL \leq 40$	
$IP \leq 18$	

Progetto di Infrastrutture viarie

Sottofondo

Comunque si realizza la sovrastruttura, la sua riuscita e durata nel tempo è da porsi in relazione con il comportamento (portanza) del sottofondo.

Per sottofondo s'intende lo spessore di terreno, su cui poggia la fondazione della pavimentazione, entro il quale si risentono, ancora in modo apprezzabile, gli effetti del traffico veicolare. Generalmente tale spessore varia tra 50 e 100 cm.

Al sottofondo quindi è assegnata la funzione di piano di posa della fondazione per cui i terreni che lo costituiscono devono possedere determinate caratteristiche granulometriche (CNR-UNI 10006 - Classificazione delle terre), indice di plasticità < 10 (se $IP > 10$ tali sottofondi devono essere protetti dal gelo). Per le caratteristiche meccaniche il mezzo più efficace è rappresentato dal costipamento (in genere pari al 95 % del peso in volume del secco). La *portanza del sottofondo* quindi può essere: *buona* (1500 daN/cm²), *media* (900 daN/cm²), *scarsa* (300 daN/cm²). In presenza di valori di portanza inferiori a 300 daN/cm² il sottofondo va bonificato o sostituito.

Particolare attenzione va riposta nella protezione del sottofondo dall'azione dell'acqua e dal gelo.

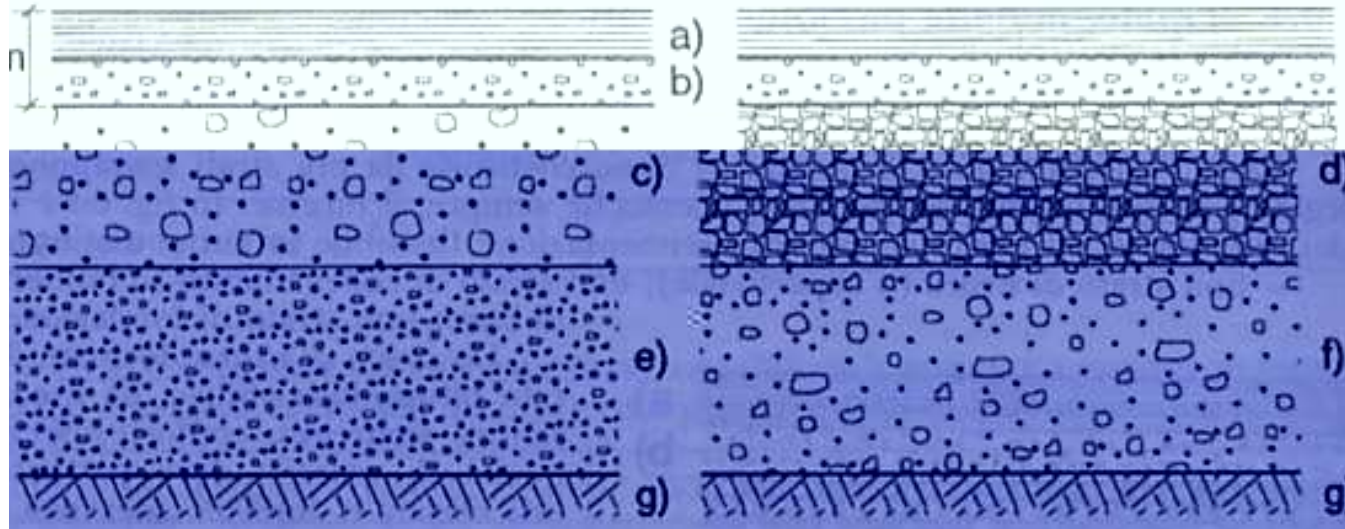
Pavimentazioni semirigide

Quando in una pavimentazione flessibile uno degli strati portanti (base o fondazione) viene sostituito, in tutto o in parte, con una miscela di inerti e leganti idraulici, si realizza una *pavimentazione semirigida*. In figura 9 sono riportate due schemi di pavimentazioni semirigide in cui lo strato rigido è realizzato in *misto cementato* e caratterizza o lo *strato di base* o lo *strato di fondazione*.

La minor deformabilità dello strato rigido implica una minor deformabilità globale della sovrastruttura. A parità di ogni altra condizione, la pavimentazione risentirà quindi meno dei fenomeni di fatica e di deformazioni permanenti localizzate (ormai) degli strati superficiali.

Per questi motivi le pavimentazioni semirigide sono indicate nei casi di forti volumi di traffico pesante.

Schemi di pavimentazione semirigide



- a) Strato di usura (conglomerato bituminoso a masse chiuse)
- b) Strato di collegamento o *binder* (conglomerato bituminoso a masse semichiuse)
- c) Strato di base (misto cementato)
- d) Strato di base (misto bitumato)
- e) Strato di fondazione (misto granulare)
- f) Strato di fondazione (misto cementato)
- g) Sottofondo

Progetto di Infrastrutture viarie

Pavimentazioni rigide

Le pavimentazioni rigide sono costituite da piastre in calcestruzzo semplice, armato o precompresso, poggianti su uno strato di fondazione che può essere in misto granulare non legato, ma che oggi è generalmente in misto cementato. Le lastre di calcestruzzo assolvono contemporaneamente le funzioni che, nelle pavimentazioni flessibili e semirigide, hanno gli strati superficiali e di base. Il loro spessore è generalmente compreso tra i 16 e i 24 cm.

In figura 10 sono riportati alcune tipologie di pavimentazioni in calcestruzzo: le differenze riguardano le modalità con cui si affronta il problema della fessurazione. Per effetto infatti del ritiro e delle variazioni termiche ed igroscopiche, la piastra tende a deformarsi in vari modi: accorciamenti o allungamenti (dovuti alle variazioni termiche stagionali o di lunga durata) e incurvamenti verso il basso o verso l'alto (variazioni termiche giornaliere). Per evitare quindi che la piastra si fessuri o se ne limita la lunghezza mediante opportune interruzioni dette *giunti (trasversali e longitudinali o di contrazione, di dilatazione e costruzione)* oppure ricorrendo ad opportune *armature (continue)*. Le *pavimentazioni precomprese* non sono utilizzate in campo stradale, lo sono invece per le piste aeroportuali.

Tipologie di pavimentazione in calcestruzzo



Pavimentazioni a elementi

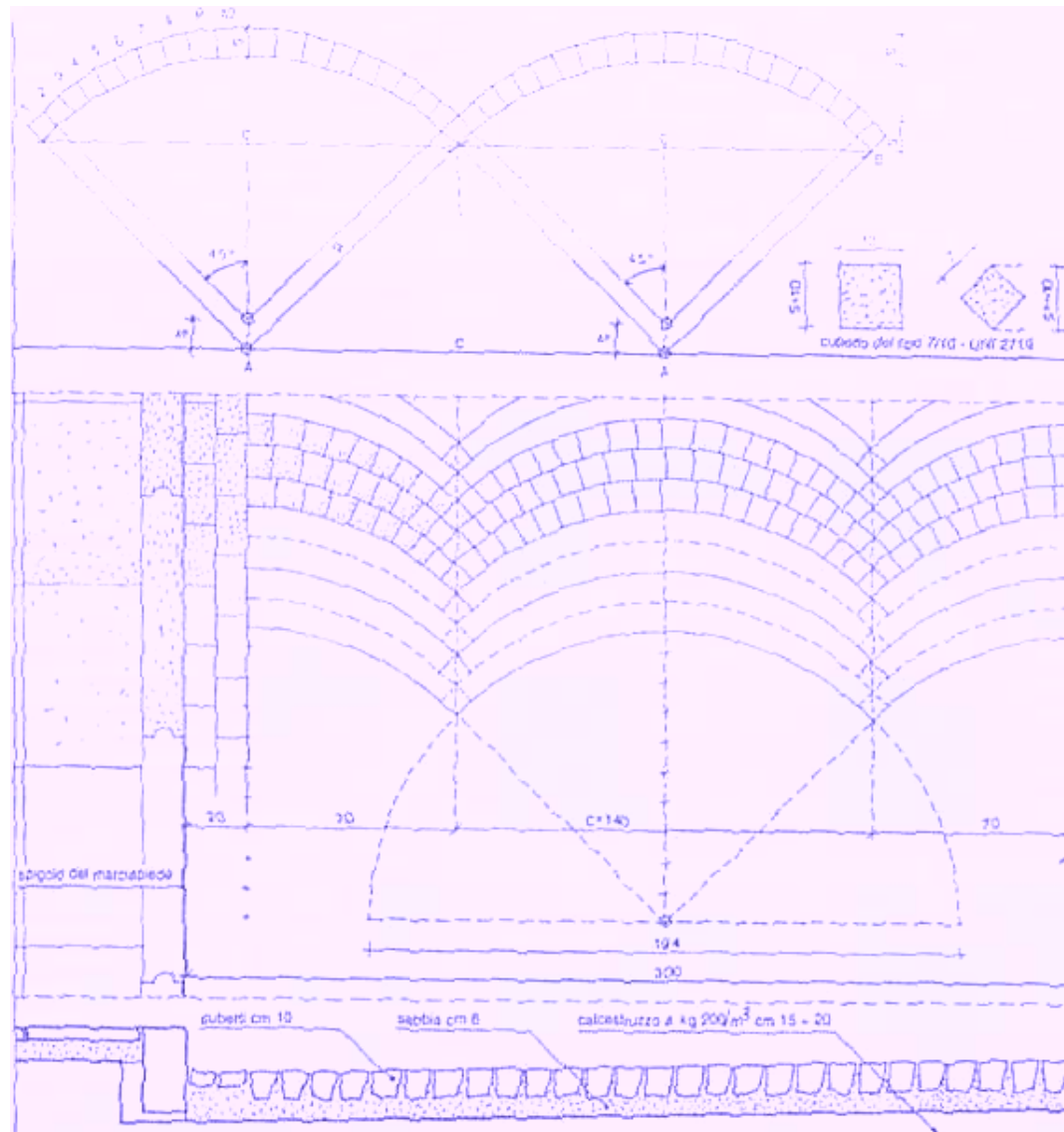
Questi tipi di pavimentazioni non tollerano traffico molto pesante e non consentono velocità elevate. Sono perlopiù utilizzate in ambito urbano per pavimentare strade e piazze dei centri storici o piazzali adibiti ad aree di sosta.

Sono costituite da elementi lapidei squadri di diversa composizione litologica (arenarie, graniti, porfidi, basalti, ecc.) e di differenti dimensioni (masselli, lastre, cubetti, ecc.). Gli elementi vengono disposti su uno strato di sabbia di 4 - 6 cm di spessore che a sua volta appoggia sugli strati portanti che, a seconda della funzione della strada, possono ridursi ad una semplice massicciata (in misto granulare) o presentare base e fondazione (come per le pavimentazioni flessibile o semirigide). I giunti tra elementi vanno poi saturati con sabbia e sigillati con mastice bituminoso o, meglio ancora, con boiacca di cemento. In figura 11 si riporta un esempio di pavimentazione a cubetti.

Di recente si sono affermati elementi in conglomerato cementizio, detti *masselli autobloccanti*, di particolari forme e misure (vedi figura 12 Tipologie di masselli autobloccanti) che, oltre alla funzione di piano di rotolamento, collaborano con gli strati sottostanti a determinare la capacità portante della sovrastruttura.

Progetto di Infrastrutture viarie

Esempio di pavimentazione a cubetti



Progetto di Infrastrutture viarie

Tipologie di masselli autobloccanti

