

FABIO GARBIN SERGIO STORONI RIDOLFI

GEOLOGIA E GEOTECNICA STRADALE

I materiali stradali e la loro caratterizzazione



Dario Flaccovio Editore

F. GARBIN - S. STORONI RIDOLFI

GEOLOGIA E GEOTECNICA STRADALE

ISBN 978-88-579-0018-6

Prima edizione: giugno 2010

© 2010 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686 - fax 091525738

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Garbin, Fabio <1962->

Geologia e geotecnica stradale : i materiali stradali e la loro caratterizzazione / Fabio Garbin, Sergio Storoni Ridolfi.

- Palermo : D. Flaccovio, 2010

ISBN 978-88-579-0018-6

1. Geotecnica stradale. I. Storoni Ridolfi, Sergio <1961->.

625.732 CDD-22

SBN Pal0226666

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l'ingegner Luigi Tramonti per aver reso visibili e fruibili al meglio le figure presenti nel testo e la geologa Carla Vitrone per l'aiuto quotidiano alla stesura del testo.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte. La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.



SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- filodiretto con gli autori
- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- files di aggiornamento al testo
- possibilità di inserire il proprio commento al libro.

L'indirizzo per accedere ai servizi è: www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF0018

2.3.3.	Catrame.....	»	128
2.3.4.	Pece	»	129
2.3.5.	Calce	»	129
2.3.6.	Cemento	»	132
2.3.6.1.	Produzione	»	132
2.3.6.2.	Classificazione dei tipi di cemento	»	132
2.3.6.2.1.	Tipo I, cemento Portland	»	135
2.3.6.2.2.	Tipo II, cementi Portland di miscela	»	135
2.3.6.2.3.	Tipo III, cementi d'altoforno	»	136
2.3.6.2.4.	Tipo IV, cementi pozzolanici	»	136
2.3.6.2.5.	Tipo V, cementi compositi	»	137
2.3.6.3.	Chimica del cemento	»	137
2.3.6.3.1.	Formazione	»	137
2.3.6.3.2.	Idratazione	»	139
2.3.6.3.2.1.	Idratazione degli alluminati	»	140
2.3.6.3.2.2.	Idratazione dei silicati	»	141
2.3.6.3.2.3.	Ruolo della calce.....	»	143
2.4.	Miscele	»	144
2.4.1.	Misti granulari (miscele di inerti senza leganti)	»	145
2.4.1.1.	Correzione granulometrica	»	145
2.4.2.	Miscele trattate con leganti	»	151
2.4.2.1.	Conglomerati bituminosi	»	152
2.4.2.1.1.	Classificazioni dei conglomerati bituminosi	»	152
2.4.2.1.2.	Progetto del conglomerato bituminoso (<i>mix design</i>): generalità.....	»	153
2.4.2.1.3.	Metodi per la costruzione di una miscela bituminosa	»	160
2.4.2.1.3.1.	Metodo Marshall	»	162
2.4.2.1.3.2.	Metodo SUPERPAVE	»	177
2.4.2.1.3.2.1.	Strumentazione	»	220
2.4.2.1.3.3.	Caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi.....	»	233
2.4.2.1.3.3.1.	Modulo complesso	»	235
2.4.2.1.3.3.2.	Modulo di rigidità	»	236
2.4.2.1.3.3.3.	Metodo di Heukelom e Klomp	»	240
2.4.2.1.3.3.4.	Metodo dell'Asphalt Institute	»	242
2.4.2.1.3.3.5.	Modulo resiliente	»	243
2.4.2.1.4.	Conglomerati bituminosi modificati.....	»	244
2.4.2.1.5.	Conglomerati drenanti e fonoassorbenti	»	247
2.4.2.1.5.1.	Manutenzione dei conglomerati drenanti e fonoassorbenti.....	»	255
2.4.2.1.5.2.	Ammaloramenti	»	257
2.4.2.1.6.	Attivanti l'adesione	»	270
2.4.2.1.7.	Produzione dei conglomerati bituminosi	»	277
3. REALIZZAZIONE DEL CORPO STRADALE			
3.1.	Costipamento.....	»	281
3.2.	Prova Proctor	»	284
3.3.	Tecniche e problematiche del costipamento	»	292
3.3.1.	Compattatori per terre.....	»	296
3.3.2.	Compattatori per conglomerati bituminosi	»	298
3.4.	Controllo della densità in sito.....	»	305
3.5.	Stabilizzazione a calce	»	312
3.5.1.	Reazioni calce-argilla (fenomeni a breve termine)	»	315
3.5.2.	Reazioni calce-argilla (fenomeni a lungo termine)	»	316
3.5.3.	Modalità del trattamento	»	318
3.5.3.1.	Attività preliminare	»	322
3.5.3.2.	Scarificazione e polverizzazione	»	322
3.5.3.3.	Spandimento della calce	»	323
3.5.3.4.	Miscelazione	»	324
3.5.3.5.	Compattazione	»	326

3.6.	Stabilizzazione a cemento	»	327
3.6.1.	Terra-cemento	»	328
3.6.2.	Misti cementati	»	330
3.7.	Portanza.....	»	333
3.7.1.	Portanza basata sui metodi empirici.....	»	336
3.7.1.1.	California Bearing Ratio CBR.....	»	336
3.7.1.2.	Modulo di deformazione	»	337
3.7.2.	Portanza basata su modelli matematici	»	339
3.7.2.1.	Parametri statici	»	339
3.7.2.2.	Parametri dinamici	»	343
3.7.2.2.1.	Deflettometro a massa battente (<i>falling weight deflectometer</i> , FWD)	»	343
3.7.2.2.2.	Piastra leggera portatile (<i>light weight deflectometer</i>)	»	344
3.7.2.2.3.	Modulo resiliente	»	344
3.7.3.	Correlazione fra i vari indici di portanza del sottofondo.....	»	348
4. PROVE GEOTECNICHE			
4.1.	Campionamento degli aggregati	»	351
4.1.1.	Premessa	»	351
4.1.2.	Definizioni	»	351
4.1.3.	Attrezzatura di prova.....	»	352
4.1.4.	Operazioni preliminari	»	353
4.1.5.	Procedure di campionamento	»	354
4.1.6.	Confezionamento dei campioni	»	357
4.2.	Riduzione dei campioni di prova in laboratorio	»	358
4.2.1.	Iter di prova	»	359
4.2.1.1.	Quartatura	»	359
4.2.1.2.	Frazionamento con sessola	»	360
4.2.1.3.	Metodo del raschietto	»	361
4.2.2.	Rapporto	»	361
4.3.	Contenuto d'acqua	»	362
4.3.1.	Attrezzatura di prova.....	»	362
4.3.2.	Iter di prova	»	363
4.4.	Limiti di Atterberg	»	366
4.4.1.	Determinazione del limite liquido (LL).....	»	366
4.4.1.1.	Attrezzatura di prova	»	366
4.4.1.2.	Iter di prova	»	368
4.4.2.	Determinazione del limite plastico (LP)	»	371
4.4.2.1.	Attrezzatura di prova	»	372
4.4.2.2.	Iter di prova	»	372
4.4.3.	Determinazione del limite di ritiro (LR)	»	373
4.4.3.1.	Attrezzatura di prova	»	374
4.4.3.2.	Iter di prova	»	374
4.5.	Analisi granulometrica	»	380
4.5.1.	Introduzione	»	381
4.5.2.	Scelta del metodo di prova	»	382
4.5.3.	Scelta del quantitativo del materiale di prova.....	»	382
4.5.4.	Analisi granulometrica per setacciatura.....	»	383
4.5.4.1.	Scelta dei setacci	»	384
4.5.4.2.	Attrezzatura di prova	»	388
4.5.4.3.	Iter di prova	»	389
4.5.4.3.1.	Vagliatura per via secca.....	»	389
4.5.4.3.2.	Vagliatura per via umida	»	390
4.5.5.	Analisi granulometrica per sedimentazione.....	»	391
4.5.5.1.	Teoria della sedimentazione	»	392
4.5.5.2.	Apparecchiatura di prova	»	395
4.5.5.3.	Procedura di calcolo	»	398
4.5.5.4.	Determinazione del percorso effettuato dalle particelle H_R	»	401

4.5.5.5.	Correzioni alle letture del densimetro	»	404
4.5.5.5.1.	Correzione del menisco	»	404
4.5.5.5.2.	Correzione del dispersivo	»	405
4.5.5.5.3.	Correzione della temperatura	»	406
4.5.5.6.	Attrezzatura di prova	»	409
4.5.5.7.	Iter di prova	»	411
4.6.	Equivalente in sabbia	»	417
4.6.1.	Attrezzatura di prova.....	»	417
4.6.2.	Soluzioni di prova	»	420
4.6.3.	Iter di prova	»	421
4.6.4.	Espressione dei risultati	»	422
4.7.	Determinazione della massa volumica e dell'assorbimento d'acqua	»	423
4.7.1.	Introduzione	»	423
4.7.1.1.	Principio di Archimede.....	»	424
4.7.1.1.1.	Bilancia idrostatica	»	425
4.7.1.1.2.	Picnometro	»	426
4.7.2.	Definizioni	»	427
4.7.3.	Attrezzatura di prova.....	»	427
4.7.4.	Iter di prova	»	429
4.7.5.	Calcolo dei risultati	»	432
4.8.	Determinazione della massa volumica in mucchio e dei vuoti intergranulari	»	434
4.8.1.	Attrezzatura di prova.....	»	434
4.8.2.	Iter di prova	»	435
4.8.3.	Calcolo	»	436
4.9.	Coefficiente di appiattimento	»	437
4.9.1.	Attrezzatura di prova.....	»	437
4.9.2.	Iter di prova	»	438
4.9.3.	Espressione dei risultati	»	439
4.10.	Indice di forma.....	»	441
4.10.1.	Introduzione	»	441
4.10.2.	Attrezzatura di prova.....	»	441
4.10.3.	Iter di prova	»	442
4.10.4.	Calcolo dei risultati	»	443
4.11.	Determinazione della percentuale di superfici frantumate negli aggregati grossi	»	446
4.11.1.	Introduzione	»	446
4.11.2.	Attrezzatura di prova.....	»	447
4.11.3.	Iter di prova	»	447
4.11.3.1.	Procedimento per porzioni di prova in cui $D \leq 2d$	»	447
4.11.3.2.	Procedimento per porzioni di prova in cui $D > 2d$	»	448
4.11.4.	Espressione dei risultati	»	448
4.12.	Prova di resistenza alla frammentazione con l'apparecchio Los Angeles	»	450
4.12.1.	Attrezzatura di prova.....	»	451
4.12.2.	Iter di prova	»	452
4.12.3.	Espressione dei risultati	»	453
4.13.	Determinazione della resistenza al gelo	»	454
4.13.1.	Attrezzatura di prova.....	»	455
4.13.2.	Iter di prova	»	456
4.13.3.	Espressione dei risultati	»	457
4.14.	Prova di compattazione	»	458
4.14.1.	Attrezzatura di prova.....	»	458
4.14.2.	Preparazione del materiale	»	461
4.14.3.	Esecuzione della prova	»	462
4.15.	Prova CBR	»	465
4.15.1.	Attrezzatura di prova.....	»	466
4.15.2.	Iter di prova	»	470
4.15.3.	Provino campionato in sito	»	472
4.15.4.	Metodo di calcolo	»	473
4.16.	Densità in sito	»	476

4.16.1. Attrezzatura di prova.....	»	477
4.16.2. Iter di prova	»	479
4.17. Prova di carico su piastra	»	484
4.17.1. Attrezzatura di prova.....	»	484
4.17.2. Iter di prova	»	485
4.17.3. Procedura di calcolo	»	486
5. LE PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI E SEMIRIGIDE		
5.1. Generalità	»	491
5.2. Il sottofondo	»	492
5.3. Gli strati della pavimentazione	»	496
5.3.1. Strato di fondazione	»	496
5.3.2. Strato di base	»	498
5.3.3. Strato di collegamento (<i>binder</i>)	»	503
5.3.4. Strato di usura	»	506
5.3.5. Strato di usura drenante e fonoassorbente	»	509
5.4. Misto cementato.....	»	517
5.5. Rilevati	»	520
5.6. Materiali provenienti da costruzione e demolizione (c&d)	»	523
5.7. Capitolati prestazionali.....	»	527
APPENDICE A - Elementi di reologia		
A.1. Generalità	»	531
A.2. Caratterizzazione dei materiali viscoelastici	»	538
A.2.1. Caratterizzazione in campo statico	»	538
A.2.2. Caratterizzazione in campo dinamico	»	542
A.3. Modelli viscoelastici	»	545
A.3.1. Modello di Maxwell	»	545
A.3.2. Modello di Kelvin-Voigt.....	»	548
A.3.3. Modello di Burger	»	551
A.4. Principio di equivalenza tempo-temperatura	»	553
A.5. Viscosimetri.....	»	554
APPENDICE B - Marcatura CE dei materiali stradali		
B.1. Generalità	»	557
B.2. Direttiva prodotti da costruzione (CPD, construction product directive)	»	564
B.3. Marcatura CE per gli aggregati.....	»	568
B.3.1. Aggregati per calcestruzzo (UNI EN 12620)	»	570
B.3.2. Aggregati per conglomerati bituminosi (UNI EN 13043).....	»	574
B.3.3. Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade (UNI EN 13243)	»	581
B.4. Marcatura CE per i conglomerati bituminosi.....	»	584
B.5. Glossario dei termini più ricorrenti.....	»	590
APPENDICE C - Elenco delle norme tecniche		
C.1. Progettazione, manutenzione e classificazione	»	600
C.1.1. CNR	»	600
C.1.2. Norme di carattere generale	»	600
C.2. Rumore da traffico stradale	»	600
C.2.1. Norme di carattere generale	»	600
C.2.2. Norme UNI	»	601
C.3. Norme CNR.....	»	602
C.3.1. Geotecnica stradale	»	602
C.3.2. Aggregati lapidei e additivi minerali (filler)	»	602
C.3.3. Leganti idrocarburi e loro miscele con aggregati	»	603
C.3.3.1. Leganti	»	603
C.3.3.2. Miscele	»	604

C.3.4.	Leganti idraulici e loro miscele con aggregati	»	605
C.3.5.	Sovrastrutture	»	605
C.3.5.1.	Caratteristiche di portanza	»	605
C.3.5.2.	Caratteristiche superficiali	»	605
C.4.	Norme UNI	»	606
C.4.1.	Aggregati	»	606
C.4.1.1.	Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati	»	606
C.4.1.2.	Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati	»	606
C.4.1.3.	Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati	»	607
C.4.1.4.	Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati	»	607
C.4.1.5.	Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati	»	608
C.4.1.6.	Aggregati complementari (<i>filler</i>)	»	608
C.4.2.	Bitume e leganti bituminosi	»	608
C.4.2.1.	Bitume	»	608
C.4.2.2.	Emulsioni bituminose	»	609
C.4.3.	Miscele bituminose	»	610
C.4.4.	Miscele non legate e legate con leganti idraulici	»	613
C.4.5.	Geotecnica	»	615
C.5.	Caratteristiche superficiali delle pavimentazioni stradali ed aeroportuali	»	615
C.6.	Trattamenti superficiali	»	616
C.7.	Varie	»	616
APPENDICE D - Unità di misura			
D.1.	Generalità	»	617
BIBLIOGRAFIA			» 621
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI PER FIGURE E TABELLE			» 646

PREMESSA

Uno dei principali problemi da risolvere nel nostro paese riguarda le infrastrutture, soprattutto quelle di trasporto.

La crescente domanda di mobilità connessa allo sviluppo economico e produttivo ha determinato negli ultimi 50 anni un altrettanto rapido sviluppo della rete stradale e di conseguenza un notevole incremento delle risorse necessarie sia per la costruzione sia per la manutenzione del sistema infrastrutturale realizzato. Tuttavia le risorse disponibili sono scarse e sorge immediatamente il problema del loro impiego efficiente nei vari settori.

Nasce così l'esigenza di processi gestionali in grado di assicurare la massimizzazione delle prestazioni tecniche e la minimizzazione dei costi e dei tempi di realizzazione. Il progetto, infatti, oggi è diventato un processo multidisciplinare in cui è necessario un bagaglio completo di informazioni su prestazioni geometriche e funzionali, caratteristiche dei materiali ed ambientali, costi, tempi, conoscenze giuridiche, ecc., ed è sempre più evidente che nessuno degli specialisti delle diverse discipline coinvolte può fare la sua parte senza tenere in considerazione le altre componenti.

Sia le caratteristiche tecniche dei progetti, sia le esigenze di una corretta definizione economico-finanziaria impongono pertanto una nuova professionalità ai progettisti e ai tecnici delle pubbliche amministrazioni. La specializzazione continua e assidua nel campo dell'industria stradale ha messo a punto prodotti che rispondono sempre meglio alle maggiori richieste prestazionali, ma, affinché la verifica del loro reale valore e del loro utilizzo utile e concreto non dipenda dalle capacità affabulatorie tipicamente commerciali, occorre una formazione continua degli addetti ai lavori.

I notevoli sviluppi tecnologici e concettuali della progettazione, della costruzione e della manutenzione stradale negli ultimi venti anni non hanno prodotto una rapida e capillare diffusione di tali sviluppi fra i tecnici addetti ai lavori (progettisti, impresari, funzionari degli enti gestori, ecc.). Questo, secondo alcuni, oltre che a una proverbiale apatia per tutto ciò che è novità, tipica dei tecnici stradali, è dovuto anche alla scarsità di testi completamente dedicata ai materiali stradali e al loro utilizzo. C'è ancora un incisivo divario fra le discussioni (peraltro di grandissimo valore scientifico e culturale) e la reale applicazione dei concetti di base di cui il mondo della ricerca si è ormai efficacemente impadronito.

Questo testo, che nasce dalla riorganizzazione sistematica delle lezioni di Geologia delle costruzioni stradali tenute presso il Dipartimento di scienze geologiche di Roma Tre e dalla decennale esperienza di laboratorio di uno degli autori, rappresenta un primo tentativo di trasferire agli addetti ai lavori i risultati con-

solidati della ricerca, al fine di aiutare a formare tecnici capaci e preparati sulle problematiche legate ai materiali stradali.

Risulta suddiviso in cinque capitoli e quattro appendici:

- il capitolo 1 è dedicato al corpo stradale;
- il capitolo 2 contiene un'accurata rassegna dei materiali;
- il capitolo 3 descrive i passaggi fondamentali nella realizzazione del corpo stradale;
- il capitolo 4 tratta singolarmente le principali prove geotecniche di laboratorio;
- il capitolo 5 offre una descrizione delle principali caratteristiche delle parti componenti le pavimentazioni;
- l'appendice A contiene elementi di reologia;
- l'appendice B si occupa della marcatura CE;
- l'appendice C è un elenco di tutte le normative fondamentali relative ai vari aspetti trattati;
- l'appendice D è un utile compendio sulle unità di misura.

Come si può notare, la trattazione ha un carattere spiccatamente multidisciplinare ed è pertanto possibile che i singoli argomenti non siano stati trattati tutti esaurientemente. Lo scopo del libro è quello di fornire uno strumento di ausilio per tecnici, operatori e gestori, al fine di creare una cultura della strada che permetta una gestione sempre più valida delle infrastrutture.

INTRODUZIONE

Per comprendere meglio il problema delle infrastrutture nel nostro paese, è utile iniziare citando alcuni numeri. Nel 1900 circolavano in Italia 326 automobili. Nel 1925 erano già diventate 118.000 e mezzo milione nel 1950. Alla fine del 1960 i mezzi in circolazione, motoveicoli e mezzi pesanti, raggiunsero la cifra di quasi 5 milioni e settecentomila. Oggi i veicoli circolanti sono 48 milioni circa, con un tasso di motorizzazione medio pari a 600 autovetture ogni 1000 abitanti (tabella 1).

Tabella 1. Veicoli circolanti

Caratteristica	Anno di circolazione				Variazione percentuale 2004/2003
	2001	2002	2003	2004	
Automezzi circolanti	46.432.440	47.491.231	48.665.387	48.583.306	- 0,17
Autoveicoli industriali	4.583.143	4.838.305	5.021.791	5.060.377	0,77
Motoveicoli	8.610.268	8.946.773	9.333.150	9.549.782	2,32
Autovetture	33.239.029	33.706.153	34.310.446	33.973.147	- 0,98
Indice di motorizzazione (auto/1000 abitanti)	575	581	590	583	- 1,19
Traffico autovetture (milioni di veicoli/km)	-	413.799	420.703	418.749	- 0,49
Percorso medio (km)	-	12.277	12.262	12.326	-

Parallelamente c'è stato un equivalente sviluppo della rete stradale. Nel 1910 c'erano circa 148.000 km di strade e nel 1926 erano salite ad appena 150.000. Nel 1928 fu creata l'A.A.S.S. (Azienda autonoma strade statali) con il compito di migliorare la viabilità statale e l'obiettivo di pavimentare 6.000 km di strade statali in 5 anni. Questi anni videro anche l'origine delle autostrade, nel senso di strade destinate esclusivamente al traffico automobilistico con pagamento di un pedaggio, nate in Italia per iniziativa dell'ingegnere milanese Piero Puricelli. Il primo tronco autostradale al mondo fu la Milano-Laghi, di 85 km, inaugurata nel 1925. Alla Milano-Laghi seguirono (1927) la Milano-Bergamo (49 km con un ponte sull'Adda a un solo arco di 80 m), la Roma-Ostia (23 km, senza pedaggio) nel 1928, la Napoli-Pompei (21 km, anch'essa senza pedaggio) nel 1929, nel 1931 fu inaugurata la Bergamo-Brescia (45 km, un ponte sul fiume Oglio di 284 m a tre arcate) e poi ancora la Firenze-Mare (1932), la Torino-Milano nel 1932 (126 km, 22 ponti fra cui quello sul Ticino e sul Sesia), la Padova-Venezia (1933) e infine l'autocamionale Genova-Serravalle-Scrvia (1935).

Gli anni Venti furono determinanti per la costruzione della rete stradale, ma nel 1950 un quarto di tale rete non era ancora asfaltata (tabella 2).

Tabella 2. Estensione delle strade statali in Italia

Anno	Strade statali	Non asfaltate	Percentuale non asfaltate
1910	8.803	n.d.	n.d.
1921	10.330	n.d.	n.d.
1930	20.823	14.430	69
1940	21.008	6.881	32
1950	21.673	5.208	25
1955	24.820	1.463	5
1960	28.800	1.189	4
1965	37.332	1.053	2

Nel corso degli ultimi 50 anni invece le vie di comunicazione hanno conosciuto uno sviluppo senza precedenti. Attualmente la rete stradale italiana, principale e secondaria, esclusi i centri urbani, si estende per 470.000 km, collocandosi al quarto posto in Europa: con 105,4 unità per km l'Italia ha la più alta densità di traffico fra tutti i paesi industrializzati. La rete ferroviaria, invece ha 19.000 km circa di sviluppo totale (tabella 3).

Tabella 3. Rete infrastrutturale dei trasporti

Rete infrastrutturale dei trasporti	Estensione
Rete autostradale (km)	6532
Strade di interesse nazionale, regionale, provinciale e comunale (km)	837.493
Totale rete stradale (km)	844.025
Densità di traffico autovetture (veicoli km/km rete)	496.133
Rete ferroviaria (km)	19.472
Porti (numero)	156
Aeroporti (numero)	98

Il sistema nazionale dei trasporti è quindi fortemente squilibrato: oltre il 90% dei passeggeri e circa il 70% delle merci viaggia su strada; la ferrovia trasporta appena l'8% dei passeggeri e solo il 10% delle merci; la navigazione sostiene il 15% del traffico merci (tabelle 4 e 5).

Abbinato al problema della circolazione stradale, vi è da sempre quello della sicurezza della circolazione stessa. Il primo decesso per incidente stradale avvenne a Londra nel 1896; da allora si stimano nel mondo circa 30 milioni di morti. Una previsione vede salire gli incidenti stradali nel 2020 al 3° posto come principale causa di mortalità. Ogni anno nel nostro paese si registrano circa 8.000 morti, quasi 1 milione di feriti e circa 25.000 invalidi.

Trovare una soluzione non è facile.

Tabella 4. Domanda di trasporto

Trasporti	Anno				Variazione percentuale 2004/2003
	2001	2002	2003	2004	
Autoservizi extraurbani e noleggi (milioni di passeggeri-km)	84.229	85.512	86.816	88.190	1,58
Ferrovie passeggeri (milioni di passeggeri-km)	50.424	49.671	49.067	49.493	0,87
Trasporto Pubblico Urbano – metropolitane, tram, bus (milioni di passeggeri-km)	16.905	17.297	17.535	17.707	0,98
Navigazione di cabotaggio (milioni di passeggeri-km)	3.539	3.387	3.388	3.390	0,06
Aerei passeggeri (milioni di passeggeri)	90,21	90,61	100,11	106,99	6,87
Traffico autovetture (milioni di veicoli-km)	-	413.799	420.703	418.749	- 0,46
Traffico ferroviario (milioni di treni-km)	347,7	349,4	358,4	373,9	4,32
Traffico aereo (movimenti totali)	1.238.239	1.216.750	1.301.868	1.312.445	0,81

Tabella 5. Trasporto merci

Trasporti	Anno				Variazione percentuale 2004/2003
	2001	2002	2003	2004	
Autotrasporto complessivo (milioni t-km)	186.510	192.678	174.084	196.976	13,15
Autotrasporto interno (> 50 km) (milioni t-km)	143.700	147.958	130.752	143.511	9,76
Cabotaggio (milioni t-km)	32.356	34.789	39.227	38.804	-1,08
Ferrovie (milioni t-km)	24.451	23.593	23.578	25.007	6,06
Oleodotti (> 50 km) (milioni t-km)	9.878	9.880	9.806	9.856	0,51
Aereo (milioni t-km)	817	832	880	927	5,34
Navigazione interna (milioni t-km)	161	90	91	110	20,88
Trasporto merci pericolose su strada (milioni t-km)	11.691	11.274	10.464	10.348	-1,11
Quota di merci pericolose su strada (%)	6,3	5,9	6,0	5,3	-

L'Italia negli anni Cinquanta riuscì a far fronte alla situazione di congestione creatasi grazie allo sviluppo delle autostrade e dei relativi collegamenti. Tuttavia oggi la situazione appare molto più grave di quanto non fosse allora. Infatti, non

solo l'attuale rete stradale è del tutto insufficiente all'aumento vertiginoso del traffico, ma è anche ormai chiaro che essa non è più ampliabile. È quindi auspicabile quanto necessaria una pianificazione alternativa che non si limiti a incoraggiare solo la costruzione di nuove strade. Le condizioni di disagio, pericolosità e saturazione lungo molte direttrici spingono a interrogarsi sul senso delle attuali modalità di trasporto.

Da più parti si afferma che lo sviluppo sociale di una collettività è intimamente connesso alle opportunità di mobilità che si hanno sul territorio. Da qui l'importanza strategica delle infrastrutture di trasporto. Non si può tuttavia fare di un'esigenza specifica un elemento di immobilità evolutiva e di ineluttabilità tecnico-economica, non ricercando altre soluzioni possibili. È palese che non si può ipotizzare di risolvere i problemi dell'aumento della domanda di mobilità comprimendo quest'ultima per insufficienza di agibilità. Occorre però dargli nuovi sbocchi.

Il problema va affrontato non solo dal punto di vista di un primo costo, ma, in un ambito più generale, sviluppando un'analisi socio-economica che individui il grado di utilità dell'opera mediante la stima dei costi/benefici e che tenga conto di una corretta stima della domanda. Questo è un passaggio determinante poiché spesso la valutazione dell'investimento è inficiata a priori da pregiudizi positivi o negativi. Tali pregiudizi impediscono che l'analisi dell'effettiva esistenza del bacino di utenza, o la reale utilità delle opere, siano accertate accuratamente e, per rendere efficace il processo di scelta, è necessario che le alternative messe a confronto non siano confinate all'interno di un'area operativa già predefinita, ma riguardino anche la scelta modale del trasporto stesso, ai fini di una ripartizione delle risorse tendenti al raggiungimento di un più opportuno equilibrio dei traffici (stradale, ferroviario, aereo e navale).

L'importanza di una adeguata metodologia di valutazione tecnico-economica degli investimenti, con particolare attenzione alla valutazione delle alternative progettuali, era richiamata anche nel Piano generale dei trasporti e della logistica (PGTL) del 2001, laddove si sottolineava la necessità di orientare gli investimenti di lungo periodo sui sistemi di trasporto lungo due direzioni:

- la realizzazione di sistemi di trasporto che favoriscano l'uso delle modalità che hanno il minore impatto sull'ambiente e maggiori standard di sicurezza;
- la realizzazione di opere per la riqualificazione ambientale (urbanistica, architettonica, naturalistica, paesaggistica) dell'area di intervento.

Gli indirizzi di politica nazionale dei trasporti, insieme alla riduzione del costo del trasporto e al miglioramento dell'accessibilità delle aree di intervento infrastrutturale, dovrebbero mirare a un generale miglioramento delle condizioni ambientali e di sicurezza legate all'esercizio della rete trasportistica. Questi principi non sono in realtà nuovi nell'ambito della gestione e pianificazione delle

infrastrutture, ma raramente trovano piena applicazione e si traducono in una struttura decisionale chiaramente definita e dotata di strumenti di analisi quantitativa (per esempio analisi costi-benefici (ACB), analisi multicriteria (MCDA), ecc.).

La necessità della determinazione degli aspetti istituzionali, finanziari ed economici appare però fondamentale, poiché non è più possibile per le diverse amministrazioni varare la progettazione e la realizzazione di un'opera pubblica in assenza di una verifica della sostenibilità dei costi nell'intero ciclo della vita utile (riferito sia alle fasi di realizzazione e di avviamento, sia a quella di gestione) e dell'analisi dei benefici che essa apporta.

Nel campo dell'investimento nelle infrastrutture di trasporto occorre perciò la verifica dell'inderogabile necessità dell'opera con la consapevolezza che qualsiasi spreco non solo è sottrazione di risorse ad altre necessità, ma può diventare anche un ingiustificato consumo di risorse non rinnovabili.

In questo ambito uno strumento di verifica è rappresentato dallo studio delle conseguenze che si potrebbero verificare se non viene realizzata l'opera. È noto che un sistema a rete, quale è appunto quello delle infrastrutture di trasporto, reagisce in forma articolata a qualsiasi intervento si faccia, o non si faccia, nel suo ambito. Se ne deduce che la mancata realizzazione di un nuovo ramo della rete, produce un sovraccarico sui rami esistenti dovuto alla mancata deviazione sulla nuova opera. L'inquinamento (e quindi la salute pubblica) è solo un aspetto del problema, ma non si può trascurare l'enorme consumo di risorse in termini di tempo, di mancata produzione di reddito e altro. È evidente quindi che, come è un danno per la collettività fare un'opera non necessaria, lo è altrettanto non farne una necessaria. L'inderogabile necessità tuttavia è solo il primo passo di un lungo iter del processo progettuale e realizzativo dell'infrastruttura; il secondo consiste nel controllo delle correlazioni con le pianificazioni di settore e territoriali. Bisogna uscire dall'equivoco di dichiarare coerente con i piani un'opera che lo è solo in parte. La compatibilità di una tratta è cosa ben diversa da quella dell'intero itinerario. Occorre analizzare a fondo i piani finanziari di supporto, la congruenza delle tempistiche realizzative, la logica funzionale della rete per stadi successivi, tenendo ben presente che il territorio non è un'entità statica nel tempo, ma al contrario si evolve continuamente.

A questo punto è importante chiedersi non solo se fare l'infrastruttura, ma anche come e dove farla. Ovviamente le complessità aumentano perché non sempre le pianificazioni di settore e territoriali sono coerenti al loro interno, né fra di loro. La soluzione non è quasi mai univoca.

L'analisi di convenienza deve essere uno strumento di supporto alle decisioni, ossia deve produrre un set di informazioni atte a consentire all'autorità politico-amministrativa competente una decisione fondata e motivata. Nella *Federal Aid Policy Guide* del 1998 ad esempio, la *Federal Highway Administration* america-

na ha indicato l'ingegneria del valore (*VE = value engineering*) come strumento obbligatorio per il supporto alla decisione del finanziamento federale dei progetti stradali aventi costi superiori ai 25 milioni di dollari, al fine di perseguire il più elevato risparmio economico nei programmi d'investimento, senza sacrificare le prestazioni delle opere. L'identificazione degli impatti rilevanti e l'attribuzione a essi di un appropriato segno presuppongono quindi un'esplicita definizione degli obiettivi perseguiti attraverso l'investimento pubblico, giacché senza tale definizione il giudizio di convenienza sarebbe evidentemente esposto ad ambiguità e arbitrarietà.

Ciò che spesso manca invece è proprio l'analisi di convenienza: è necessario accertarsi se il finanziamento pubblico sia o meno giustificato sulla base delle prestazioni attese. In attesa del riequilibrio modale, attraverso scelte strategiche con le quali si deve tentare di trasferire nel nostro paese una quota parte del traffico di passeggeri e merci dalla strada alla rotaia, per diversi anni ancora i flussi di traffico resteranno elevati sulla rete viaria con coefficienti di rischio sempre più alti. La ferrovia, infatti, con i suoi 19.000 km circa di sviluppo totale non è purtroppo in grado, nel breve periodo, di assorbire una parte cospicua del traffico merci che oggi sta sovraccaricando le strutture stradali.

Attendendo quindi una auspicata, quanto improcrastinabile, volontà politica di cambiar questa tendenza, per certi aspetti drammatica, il trasporto su strada rimarrà ancora il maggior responsabile della mobilità degli italiani e pertanto allo stato attuale si devono mettere in atto tutti gli sforzi possibili per migliorare e potenziare la rete stradale esistente.

Al problema, non facile, della gestione dei traffici, si abbina quindi anche quello di come costruire le infrastrutture e come ripristinarle. Per comprendere quali materiali utilizzare e quali tecniche adottare è necessaria una sempre crescente esperienza e capacità da parte dei tecnici addetti (progettisti ed enti gestori).

Il problema della manutenzione è e sarà il principale problema per gli anni a venire. La sua importanza è in continua crescita sia per l'incidenza finanziaria sui costi gestionali di una strada, sia sotto il profilo tecnico per la necessità di far fronte a una situazione sempre più critica dello stato delle pavimentazioni dovuta all'aumento del traffico pesante.

È sotto gli occhi di tutti lo stato di degrado in cui versa la rete stradale del nostro paese. Molte strade sono in uso da oltre vent'anni e avendo raggiunto il limite della loro vita utile, necessitano di crescenti interventi di manutenzione volti a mantenere livelli accettabili di servizio. Inoltre, come è stato già osservato la quantità di automezzi è aumentata in modo esponenziale: il derivante incremento del traffico e delle sollecitazioni dovute ai veicoli, il maggior carico per asse e l'età avanzata sono i principali fattori che hanno concorso al deterioramento delle pavimentazioni stradali.

In una visione strategica assume un ruolo fondamentale l'aspetto della programmazione e dell'ottimizzazione degli interventi per ottenere il massimo risultato nell'ambito delle limitazioni imposte dal bilancio. Gli enti responsabili della gestione, in larga misura pubblici, che hanno il compito di preservare, migliorare e rinnovare il patrimonio stradale, devono evolvere verso sistemi di gestione del patrimonio infrastrutturale in cui siano comprese tutte le risorse, da quelle fisiche (corpo stradale, pavimentazioni, opere d'arte, arredo stradale, ecc.), a quelle di altra natura (umane, attrezzature, sistemi informativi, finanziari, ecc.). Non si tratta solo di un problema legato alle risorse economiche; è anche un problema culturale che si traduce quasi automaticamente in carenza di qualità. La mancanza di un adeguato processo di ottimizzazione dei costi e dei benefici, molto spesso a partire dalla progettazione e successivamente nelle fasi di esecuzione delle opere e della loro manutenzione, si traduce spesso in una repentina perdita delle caratteristiche funzionali e strutturali della strada. Per ovviare a questi inconvenienti non è sufficiente aumentare le risorse finanziarie. È necessario soprattutto destinare maggiore attenzione all'applicazione dei principi economici e dei metodi di buona pratica tecnica all'interno di un sistema strutturato di supporto alle decisioni per un impiego ottimale delle risorse. La vecchia concezione di manutenzione ordinaria e straordinaria deve essere superata: progettazione, costruzione, esercizio e manutenzione devono essere considerati solo momenti dello stesso disegno generale. La strategia dell'intervento manutentivo, infatti, è strettamente legata al dimensionamento iniziale della sovrastruttura, dalla quale dipendono la risposta funzionale e strutturale alle azioni del traffico e dell'ambiente e conseguentemente il tasso di deterioramento nel tempo e il livello di manutenzione di cui essa ha bisogno. Naturalmente tutto questo è legato allo sviluppo di una cultura della qualità sia nelle imprese sia nelle pubbliche amministrazioni, le quali devono necessariamente tendere a un miglioramento dell'efficienza del processo gestionale sia tecnico, sia contabile-amministrativo.

L'esigenza di procedure e metodi di analisi atti a valutare le condizioni fisiche e funzionali in cui gli elementi costituenti la singola infrastruttura si trovano, per seguirne – o meglio prevederne – l'evoluzione nel tempo, apre il campo a due necessità fondamentali: competenza tecnica e innovazione. Assenza di ricerca e di formazione professionale, unitamente a procedure istituzionali spesso afflitte da irresponsabilità politica e amministrativa, possono far tuttavia temere che investire risorse sul problema delle infrastrutture possa produrre molti sprechi e continuare a non risolvere i problemi.

Occorre considerare che con la specializzazione continua e assidua di ogni settore i materiali negli ultimi anni hanno subito una notevole evoluzione e l'industria stradale ha messo a punto prodotti che rispondono sempre meglio alle maggiori richieste prestazionali e ambientali. È impensabile, pertanto, prescindere dalla

conoscenza dei materiali, dei loro comportamenti e dei processi tecnologici di trasformazione. Concetti come reologia di un legante, rigidità di un multistrato, portanza di una fondazione, resistenza a fatica, unitamente ai corrispondenti valori dimensionali, devono divenire il patrimonio di base per tecnici addetti, siano essi progettisti, costruttori o direttori dei lavori.

La ricerca a sua volta, perché produca i benefici auspicati, va poi tradotta in esperienze fruibili, perché lo sviluppo della cultura è sempre necessariamente assistito dalla circolazione delle informazioni.

1. CORPO STRADALE

1.1. Introduzione

La realizzazione di un'infrastruttura stradale richiede, da una parte, la definizione del tracciato e delle caratteristiche geometriche e, dall'altra, la scelta dei materiali e delle relative opere d'arte. Il progetto nelle sue varie fasi ricerca la soluzione ottimale definendo le caratteristiche geometrico-funzionali e le loro relazioni con le caratteristiche geologico-geotecniche e idrauliche dei siti. Il tracciato, infatti, rappresenta quasi sempre un compromesso determinato da una pluralità di motivi e da vari effetti di condizionamento (ad esempio punti estremi e intermedi da collegare, aree geologicamente instabili, ricerca di un percorso di lunghezza minima, contenimento dei costi, ecc.).

L'andamento del tracciato e le caratteristiche geometriche dell'opera sono correlate con i parametri quantitativi e qualitativi del servizio, e obbediscono ai seguenti criteri fondamentali:

- soddisfacimento delle esigenze funzionali, le quali sono espresse tramite fattori relativi al traffico (velocità e capacità) e rappresentano le prestazioni offerte dall'infrastruttura;
- rispetto degli standard di sicurezza;
- contenimento o mitigazione dell'impatto ambientale;
- minimizzazione dei costi di costruzione e di esercizio.

La morfologia dei luoghi condiziona invece il genere di sezione: in rilevato, in trincea, in galleria, su ponte o viadotto (figura 1.1). In linea generale gli aspetti principali legati alla progettazione e alla realizzazione di un'infrastruttura sono essenzialmente i seguenti:

- definizione del tracciato e della geometria stradale, da cui derivano direttamente le dimensioni dell'opera;
- dimensionamento e tecniche esecutive: materiali e modalità con cui vengono realizzati il corpo stradale e la progettazione delle opere d'arte connesse;
- reperimento dei materiali: studio dei cosiddetti *movimenti di terra* accompagnato dall'analisi dei possibili compensi (scavi-riporti) e dalla localizzazione delle cave di prestito e/o dei siti di deposito;
- portanza dei sottofondi e stabilità dei rilevati: calcolo dei cedimenti e della stabilità del corpo stradale e dei rilevati, valutazione della loro compatibilità con le deformazioni ammissibili a livello del piano viabile, in relazione alle esigenze strutturali, di sicurezza e di *comfort*;

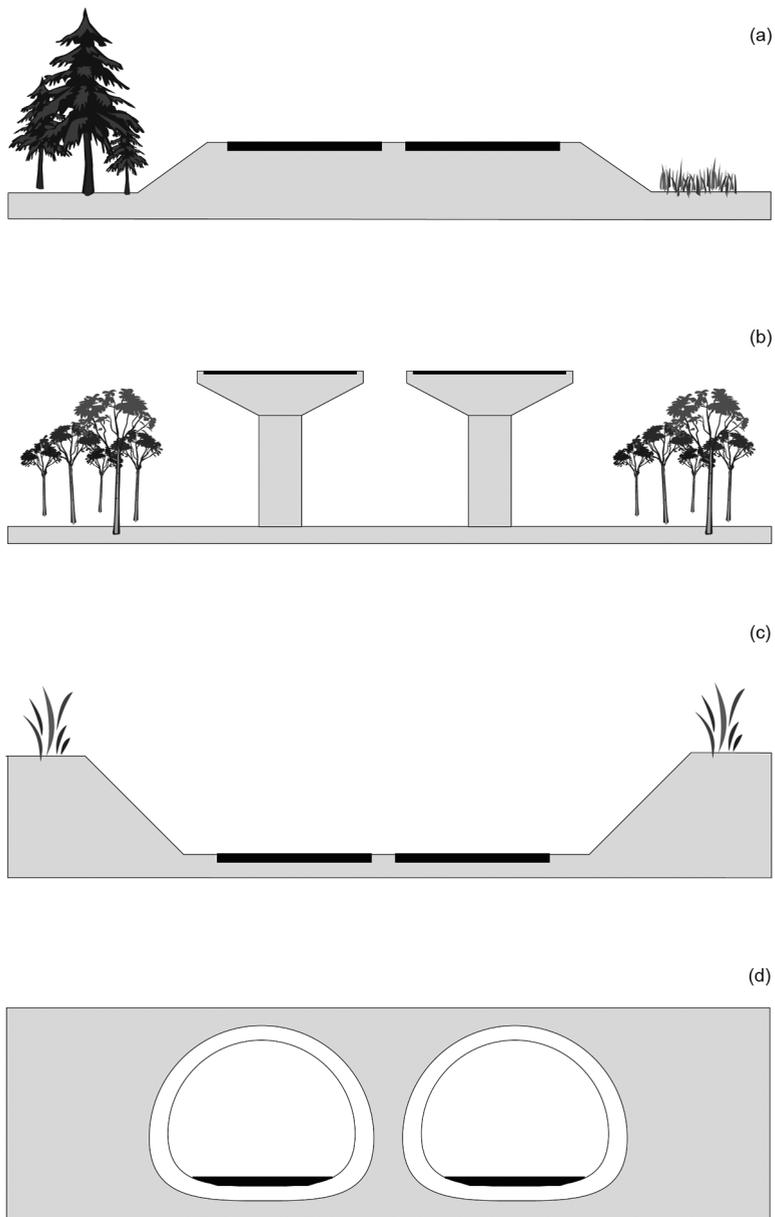


Figura 1.1
La differenza di quota tra la strada e il terreno implica l'uso di tipologie costruttive differenti: a) rilevato; b) viadotto; c) trincea; d) galleria

- stabilità dei pendii: studio di sezioni di scavo idonee a garantire la stabilità dei pendii ed eventuali interventi di stabilizzazione, laddove tale stabilità non fosse garantita;
- studio ambientale: inserimento del corpo stradale nel contesto ambientale, con idonei trattamenti delle scarpate e delle eventuali opere di sostegno;
- controlli e manutenzione: elaborazione di programmi per i controlli e per l'esecuzione degli interventi di manutenzione.

È quindi necessario osservare i differenti aspetti della progettazione e della costruzione dell'opera in una prospettiva comune, superando i confini che talvolta vengono posti fra i diversi settori specialistici e instaurando rapporti di collaborazione fra tutte le componenti progettuali.

1.2. Reti stradali e classificazione delle strade

La strada è un'area di uso pubblico destinata alla circolazione di pedoni, veicoli e animali. Secondo quanto previsto dal codice della strada (D.Lgs. 285/92 e successive modifiche e aggiornamenti), le strade sono classificate in base alle loro caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali:

- A – autostrade (extraurbane ed urbane);
- B – strade extraurbane principali;
- C – strade extraurbane secondarie;
- D – strade urbane di scorrimento;
- E – strade urbane di quartiere;
- F – strade locali (extraurbane ed urbane).

Le principali caratteristiche delle tipologie stradali più importanti sono le seguenti:

- autostrada: strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine; deve essere attrezzata con apposite aree di servizio e aree di parcheggio, entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e accelerazione;
- strada extraurbana principale: strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati, contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; deve essere

attrezzata con apposite aree di servizio che comprendano spazi per la sosta con accessi dotati di corsie di decelerazione e accelerazione;

- strada extraurbana secondaria: strada a unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine.

Ai fini di una corretta valorizzazione delle infrastrutture stradali, viene individuato un ordinamento delle strade basato sia sulla funzione a esse associata nel territorio (transito, distribuzione, penetrazione, accesso), sia sulle funzioni da esse assolte all'interno della rete stradale di appartenenza. Il sistema delle infrastrutture quindi è schematizzato come un insieme integrato di reti distinte, ciascuna delle quali costituita da un insieme di elementi che si identificano con le strade (archi), collegate da un sistema di interconnessioni (nodi).

In riferimento a ciò è possibile individuare nel sistema globale delle infrastrutture stradali, quattro livelli di rete gerarchicamente distinti (tabella 1.1 e figura 1.2).

Tabella 1.1. Tipi di strade secondo il D.Lgs. 285/92 – Codice della strada

Tipo di rete	In ambito extraurbano	In ambito urbano
a – Rete primaria (di transito, scorrimento)	Autostrade extraurbane Strade extraurbane principali	Autostrade urbane Strade urbane di scorrimento
b – Rete principale (di distribuzione)	Strade extraurbane principali	Strade urbane di scorrimento
c – Rete secondaria (di penetrazione verso la rete locale)	Strade extraurbane secondarie	Strade urbane di quartiere
d – Rete locale (di accesso)	Strade locali extraurbane	Strade locali urbane

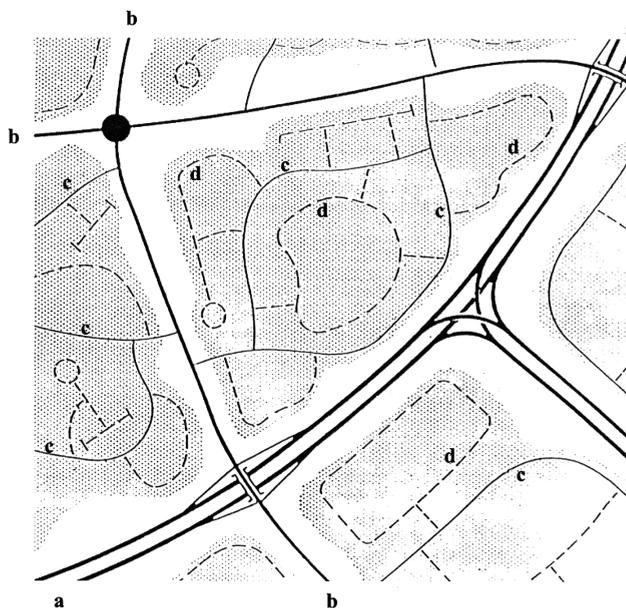


Figura 1.2
Schema esemplificativo
dei quattro livelli di rete

1.3. Elementi componenti lo spazio stradale

Una strada è costituita dai seguenti elementi (figura 1.3):

- corsia;
- carreggiata;
- banchina;
- spartitraffico;
- fascia di pertinenza;
- confine stradale;
- fascia di rispetto;
- sede stradale;
- piattaforma;
- margine;
- marciapiede.

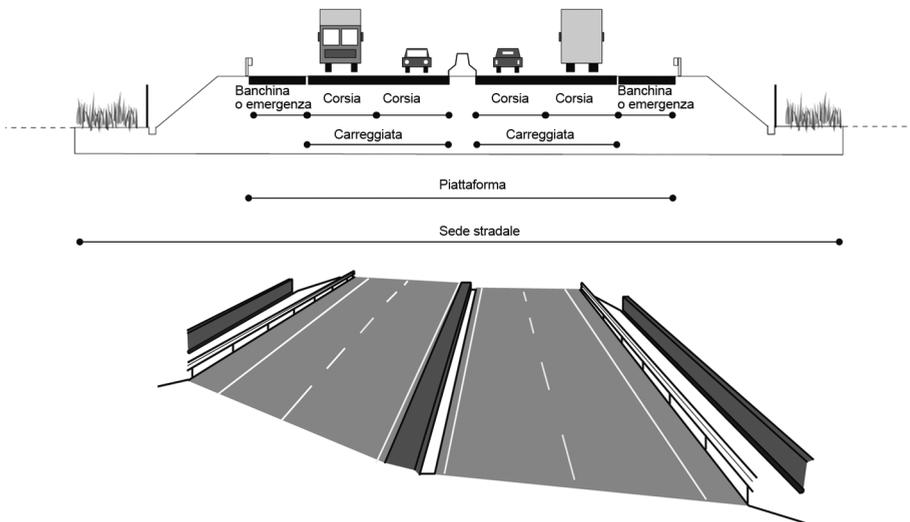


Figura 1.3
Elementi costitutivi dello spazio stradale

CORSIA

La corsia è la parte longitudinale della strada e ha larghezza idonea a permettere il transito a una sola fila di veicoli. La corsia può essere:

- di marcia;
- riservata;
- specializzata;
- di emergenza.

GEOLOGIA E GEOTECNICA STRADALE

CARREGGIATA

La carreggiata è la parte della strada (di cui la corsia costituisce il modulo fondamentale) destinata allo scorrimento dei veicoli. Essa è composta da una o più corsie di marcia ed è delineata da strisce di margine (segnaletica orizzontale).

BANCHINA

La banchina è la parte della strada compresa tra il margine della carreggiata e l'elemento terminale della strada (marciapiede, spartitraffico, arginello, ciglio superiore della scarpata nel caso di rilevati, ecc.). Può essere in terra o pavimentata.

SPARTITRAFFICO

Lo spartitraffico è la parte longitudinale non carrabile della strada destinata alla separazione fisica delle correnti veicolari. Comprende anche lo spazio destinato al funzionamento (deformazione) dei dispositivi di ritenuta, cioè degli elementi tendenti a evitare la fuoriuscita dei veicoli dalla piattaforma.

FASCIA DI PERTINENZA

La fascia di pertinenza è quella striscia di terreno, compresa tra la carreggiata più esterna e il confine stradale, destinata in modo permanente al servizio o all'arredo funzionale della strada stessa. In pratica è una parte della proprietà stradale che può essere utilizzata solo per la realizzazione di altre parti di strada.

CONFINE STRADALE

Il confine stradale è il limite della proprietà stradale quale risulta dagli atti di acquisizione o dalle fasce di esproprio del progetto approvato; in mancanza di tali atti formali il confine è costituito dal ciglio esterno del fosso di guardia o della cunetta (ove esistenti), oppure dal piede della scarpata, se la strada è in rilevato, o ancora dal ciglio superiore della scarpata, se la strada è in trincea.

FASCIA DI RISPETTO

La fascia di rispetto è la striscia di terreno, esterna al confine stradale, sulla quale esistono vincoli alla realizzazione, da parte del proprietario del terreno, di scavi, costruzioni, recinzioni, piantagioni, depositi, ecc.

SEDE STRADALE

La sede stradale è la superficie compresa entro i confini stradali. Include le carreggiate e le fasce di pertinenza.

PIATTAFORMA

La piattaforma è quella parte della sede stradale che comprende:

- una o più carreggiate;
- le banchine;
- le corsie riservate;
- la fasce di sosta.

Non rientrano nella piattaforma gli elementi marginali e di arredo (per esempio cigli e cunette) e i numerosi altri elementi costituenti opere accessorie necessarie al buon funzionamento della strada, come ad esempio:

- opere di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche;
- opere di protezione marginali (parapetti, barriere, ecc.);
- aree di sosta;
- impianti di illuminazione;
- opere in verde (siepi, banchine, scarpate, ecc.);
- barriere antirumore, ecc.

MARGINE

Il margine può essere:

- interno: parte della piattaforma che separa carreggiate percorse in senso opposto;
- laterale: parte della piattaforma che separa carreggiate percorse sullo stesso senso;
- esterno: parte della sede stradale esterna alla piattaforma, nella quale trovano sede cigli, cunette, arginelli, marciapiedi e gli elementi di sicurezza e di arredo (dispositivi di ritenuta, parapetti, ecc.).

MARCIAPIEDE

Il marciapiede è la parte della strada, esterna alla carreggiata, rialzata o altrimenti delimitata e protetta, destinata ai pedoni.

1.4. Progetto

In linea generale, per la progettazione di qualsiasi strada, si sceglie la sezione di progetto (in funzione del traffico e dell'importanza dell'opera), si stabilisce il valore della pendenza massima (i_{max}) e il raggio minimo (R_{min}) da adottare in funzione del tipo di strada, e si passa poi per tre fasi successive:

- prima fase: studio del tracciato di massima su una carta in scala 1:25.000 (planimetria di massima);
- seconda fase: tracciamento sul terreno della poligonale di base risultante dal progetto di massima, con rilevamento topografico di un'ampia fascia di terreno lungo la poligonale prestabilita, generalmente in scala 1:2.000, che permette lo studio del tracciato definitivo;

- terza fase: materializzazione sul terreno del tracciato definitivo sistemando i vertici della poligonale d'asse, i cui lati rappresentano i vari tronchi di rettilo, senza considerare le curve.

1.4.1. Sezione

Il progetto della sezione stradale consiste nell'organizzazione degli spazi stradali (piattaforma e suoi margini esterni), definiti per ogni categoria di traffico e concepiti come elementi modulari ripetibili. Il loro numero e la loro dimensione sono funzioni rispettivamente della domanda di trasporto e del limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto:

- domanda di trasporto \Rightarrow numero degli spazi;
- velocità di progetto massima ($V_{p_{max}}$) \Rightarrow dimensione degli spazi.

La domanda di trasporto (capacità) corrisponde al numero massimo di veicoli che possono transitare attraverso una sezione nell'unità di tempo (veicoli/ora). La velocità è il parametro fondamentale per mezzo del quale vengono classificate le strade. In funzione di essa si definiscono le caratteristiche geometriche che maggiormente influiscono sul disegno del tracciato, come la lunghezza dei rettifili, i raggi delle curve orizzontali, le pendenze longitudinali delle livellette, i raggi dei raccordi verticali, nonché l'ampiezza della sezione trasversale.

I criteri per la progettazione degli elementi geometrici delle strade, sotto gli aspetti funzionali, in relazione alla loro classificazione, sono definiti dal D.M. 5 novembre 2001, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*, emanato dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (ex LL.PP.).

A ogni tipo di strada – individuato dalla dimensione e dalla composizione della piattaforma – è associato un intervallo di velocità di progetto. Quest'ultima condiziona sostanzialmente le caratteristiche plano-altimetriche dell'asse stradale (rettifili, curve circolari, curve a raggio variabile) e le dimensioni dei vari elementi della piattaforma (larghezza delle corsie, delle banchine e dei franchi fra le corsie adiacenti destinate a essere percorse in senso opposto).

Il limite superiore dell'intervallo ($V_{p_{max}}$) è quella velocità che un veicolo isolato non può superare con gli assegnati margini di sicurezza, date le caratteristiche della piattaforma stradale. Essa è quindi la massima velocità compatibile in rettilo e in orizzontale e con essa vanno verificate le distanze di visuale libera, qualora le condizioni di altimetria e planimetria non impongano valori inferiori.

Il limite inferiore dell'intervallo ($V_{p_{min}}$) è quel valore che conduce alla progettazione degli elementi plano-altimetrici più restrittivi per una strada che possiede le assegnate caratteristiche di piattaforma.

Le figure 1.4-1.9 mostrano, per ogni tipo di strada, la composizione della carreggiata, i limiti dell'intervallo della velocità di progetto e le dimensioni da assegnare ai singoli elementi modulari. La tabella 1.2 sintetizza tutti questi valori.