

MICHELE AGOSTINACCHIO, DONATO CIAMPA, SAVERIO OLITA

 gli autori

STRADE FERROVIE AEROPORTI

La progettazione geometrica in sicurezza

IV EDIZIONE

 della stessa
collana

 vai alla scheda
del libro



 **EPC**
EDITORE

Come scaricare i contenuti digitali

accedi alla sezione **My EPC**

nel sito www.epc.it (inserisci le credenziali utilizzate per l'acquisto o effettua una nuova registrazione)



attiva il tuo **contenuto digitale**

- a) entra nella sezione **Contenuti digitali** cliccando su **I tuoi contenuti digitali**
- b) inserisci il **codice etichetta** che si trova *in fondo a questa pagina* e premi **Attiva**
- c) ne **La mia libreria** saranno attivi i contenuti eventualmente disponibili, clicca su **Vedi contenuti** per visualizzarli o scaricarli

etichetta riportata sul volume cartaceo



Per informazioni e chiarimenti

Servizio assistenza 06 33245273 – tecnico@epclibri.it

Michele Agostinacchio, Donato Ciampa, Saverio Olita

STRADE FERROVIE AEROPORTI

La progettazione geometrica in sicurezza

IV edizione

STRADE FERROVIE AEROPORTI - IV EDIZIONE

ISBN: 978-88-9288-254-6

Copyright © 2005-2007 EPC LIBRI

Copyright © 2010-2024 EPC S.r.l. Socio Unico

EPC S.r.l. Socio Unico - Via Clauzetto, 12 - 00188 Roma - www.epc.it

Servizio clienti: Tel. 06 33245277/271 - clienti@epc.it

Redazione: Tel. 06 33245264/205

La traduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione o trasmissione in qualsiasi forma e/o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico o altro (compresi i microfilm, i film, le fotocopie), nonché la memorizzazione anche digitale su supporti di qualsiasi tipo (inclusi magnetici e ottici), i diritti di noleggio e di prestito, sono riservati per tutti i Paesi.

L'Editore si dichiara pienamente disponibile a soddisfare eventuali oneri derivanti da diritti di riproduzione del materiale protetto dai diritti d'autore, di cui non sia stato possibile reperire gli aventi diritto. Ci scusiamo per eventuali omissioni e saremo lieti di inserire gli opportuni riconoscimenti nelle edizioni successive.

L'Editore declina ogni responsabilità per eventuali errori, refusi o inesattezze nonché per eventuali danni risultanti dall'uso delle informazioni presenti nel volume, pur curato con la massima diligenza e attenzione.



Il codice QR che si trova sul retro della copertina, consente attraverso uno smartphone di accedere direttamente alle informazioni di questo volume.

Le stesse informazioni sono disponibili alla pagina:

<https://www.epc.it/Prodotto/Editoria/Libri/Strade-Ferrovie-Aeroporti-4ed/5393>

Foto di copertina: www.123rf.com

INDICE

Prefazione alla quarta edizione	17
Prefazione alla terza edizione	19
Prefazione.....	21
INTRODUZIONE – IL SISTEMA DI TRASPORTO SU GOMMA	25
I.1 Cenni storici.....	25
I.2 Dati relativi alla sicurezza stradale.....	27

PRIMA PARTE STRADE

CAPITOLO 1

LE RETI STRADALI E LE CATEGORIE DI TRAFFICO	39
1.1 Reti	39
1.1.1 Rete Primaria	40
1.1.2 Rete Principale	40
1.1.3 Rete Secondaria	41
1.1.4 Rete Locale	41
1.1.5 Livello Terminale	41
1.2 Classificazione tipologica delle strade.....	42
1.3 Strade.....	43
1.4 Individuazione delle categorie di traffico	44

CAPITOLO 2

IL VEICOLO E LA STRADA	47
2.1 Veicolo stradale	47
2.2 Resistenze al moto dei veicoli stradali	49
2.3 Resistenze ordinarie.....	50
2.3.1 Resistenza al rotolamento.....	50
2.3.2 Resistenza di inerzia	51

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

2.3.3	Resistenza di attrito ai perni	52
2.3.4	Resistenza dell'aria.....	52
2.4	Resistenze accidentali.....	53
2.4.1	Resistenza dovuta alla pendenza della strada	53
2.4.2	Resistenza dovuta alle curve.....	55
2.4.3	Resistenza in galleria	55
2.5	Equazione della trazione.....	56
2.6	Fenomeno dell'aderenza.....	56
2.6.1	Condizioni di rotolamento di una ruota.....	57
2.6.1.1	Ruota motrice	57
2.6.1.2	Ruota condotta o trainata	58
2.6.1.3	Ruota frenata	59
2.7	Fenomeno dell'aderenza: analisi critica	60
2.8	L'aderenza nella progettazione stradale.....	64

CAPITOLO 3

DISTANZE DI VISIBILITÀ 65

3.1	Visuali libere.....	65
3.2	Distanza di visibilità per l'arresto.....	66
3.2.1	Calcolo della distanza D_1	66
3.2.2	Calcolo della distanza D_2	67
3.2.3	Calcolo della distanza di visibilità per l'arresto: procedimento operativo	71
3.3	Distanza di visibilità per il sorpasso.....	72
3.4	Distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia	74
3.5	Applicazioni progettuali	74
3.6	Esempio: distanze di visibilità.....	75

CAPITOLO 4

ANDAMENTO PLANIMETRICO DELL'ASSE STRADALE 77

4.1	Criteri di composizione dell'asse	77
4.2	Rettifili.....	78
4.3	Curve circolari.....	79
4.4	Pendenze trasversali della piattaforma nei rettifili	81
4.5	Pendenze trasversali della piattaforma in funzione del raggio delle curve circolari e della velocità.....	82
4.5.1	Criterio del massimo attrito trasversale.....	88
4.5.2	Criterio della massima sopraelevazione trasversale	89
4.5.3	Criterio di proporzionalità	90
4.5.4	Curvilinear method.....	91
4.5.5	Progettazione delle curve circolari	94
4.6	Visibilità in curva	98

INDICE

4.6.1	Visibilità del ciglio interno	98
4.6.2	Distanze di visibilità nelle curve circolari	101
4.7	Ulteriori considerazioni sulla psicologia della visione.....	103
4.8	Curve a raggio variabile	107
4.8.1	Clotoide	110
4.8.2	Clotoide: relazioni tra le grandezze A , r , s , τ	112
4.8.3	Equazione cartesiana della clotoide.....	113
4.8.3.1	Metodo I: equazione cartesiana della clotoide tramite gli integrali di Fresnel.....	114
4.8.3.2	Metodo II: equazione cartesiana della clotoide tramite sviluppo in serie di Mac Laurin.....	116
4.8.4	Clotoide: calcolo degli elementi geometrici caratteristici	118
4.8.4.1	Coordinate cartesiane finali X_f e Y_f	119
4.8.4.2	Scostamento ΔR	120
4.8.4.3	Coordinate cartesiane X_M e Y_M del centro della curva circolare.....	122
4.8.4.4	Tangente lunga T_L	123
4.8.4.5	Tangente corta T_K	124
4.8.4.6	Angolo di direzione σ	125
4.8.4.7	Corda l_c	125
4.8.5	Definizione del parametro A in funzione di R e ΔR	126
4.8.6	Clotoidi: verifica del parametro di scala "A"	128
4.8.6.1	Criterio dinamico o di limitazione del contraccolpo	129
4.8.6.2	Criterio costruttivo o della sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata	133
4.8.6.3	Criterio ottico.....	137
4.8.7	Definizione del parametro A in funzione della velocità di sterzata.....	138
4.8.8	Definizione del parametro A in funzione della velocità di rollio della sagoma stradale.....	141
4.8.9	Inserimento del raccordo clotoidico	142
4.8.9.1	Inserimento clotoidico: raccordo a raggio conservato.....	143
4.8.10	Tracciamento della clotoide.....	145
4.8.10.1	Esempio di impiego delle tavole della clotoide unitaria.....	146
4.8.11	Clotoide di flesso o linee ad S	150
4.8.11.1	Clotoide di flesso: trattazione rigorosa	151
4.8.11.2	Clotoide di flesso: 1° metodo approssimato (abaco di Osterloch).....	154
4.8.11.3	Clotoide di flesso: 2° metodo approssimato ($D \leq 1m$)	156
4.8.11.4	Clotoide di flesso: 3° metodo approssimato ($D > 1m$)	158
4.8.11.5	Clotoide di flesso dissimmetrica.....	162
4.8.12	Clotoide di continuità	163
4.8.12.1	Clotoide di continuità: trattazione rigorosa	165
4.8.12.2	Clotoide di continuità: trattazione approssimata (abaco di Osterloch).....	167
4.8.12.3	Clotoide di continuità: caso particolare I.....	168

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

4.8.12.4 Clotoide di continuità: caso particolare II	169
4.8.12.5 Clotoide di continuità: caso particolare III	170

CAPITOLO 5

ANDAMENTO ALTIMETRICO DELL'ASSE STRADALE171

5.1 Elementi del profilo altimetrico.....	171
5.2 Raccordi verticali parabolici.....	172
5.2.1 Formulazione analitica del raccordo parabolico.....	176
5.2.2 Tracciamento del raccordo parabolico.....	178
5.2.3 Elementi geometrici del raccordo parabolico.....	179
5.2.3.1 Calcolo delle coordinate del vertice A.....	179
5.2.3.2 Calcolo della freccia f.....	179
5.2.4 Considerazioni geometriche sui raccordi parabolici	180
5.2.5 Raccordi verticali convessi e dossi.....	181
5.2.5.1 Raccordi verticali convessi e dossi: caso $D < L$	182
5.2.5.2 Raccordi verticali convessi e dossi: caso $D > L$	184
5.2.5.3 Procedimento operativo per il calcolo di R_v : raccordi verticali convessi e dossi	188
5.2.5.4 Esempio di calcolo di un raccordo verticale convesso	188
5.2.6 Raccordi verticali concavi e sacche.....	193
5.2.6.1 Raccordi verticali concavi e sacche: caso $D < L$	193
5.2.6.2 Raccordi verticali concavi e sacche: caso $D > L$	196
5.2.6.3 Procedimento operativo per il calcolo di R_v : raccordi verticali concavi e sacche	199
5.2.6.4 Esempio di calcolo di un raccordo verticale concavo	200
5.2.7 Ulteriori prescrizioni sul raggio minimo dei raccordi verticali	204

CAPITOLO 6

SEZIONE TRASVERSALE STRADALE205

6.1 Elementi costitutivi della piattaforma stradale	205
6.2 Caratteristiche geometriche e di traffico delle sezioni stradali.....	208
6.3 Strade locali a destinazione particolare	216
6.4 Esempi di organizzazione della piattaforma stradale	216
6.5 Sezioni stradali particolari.....	226
6.5.1 Opere di scavalco (ponti, viadotti, sovrappassi)	226
6.5.1.1 Dispositivi di ritenuta tipo New Jersey.....	228
6.5.2 Sottopassi.....	230
6.5.3 Gallerie	233
6.5.3.1 Gallerie su strade a carreggiate separate da spartitraffico e su strade a carreggiate indipendenti.....	233
6.5.3.2 Gallerie su strade a carreggiata unica bidirezionale	235
6.5.4 Piste ciclabili.....	237

INDICE

6.6	Opere di sostegno e scarpate	237
6.7	Corsie supplementari per i veicoli lenti	240
6.8	Sezione stradale in curva	245
6.8.1	Pendenze trasversali nelle curve a raggio variabile.....	245
6.8.1.1	Valore massimo della sovrappendenza longitudinale Δi	247
6.8.1.2	Valore minimo della sovrappendenza longitudinale Δi	247
6.8.2	Allargamento della carreggiata in curva.....	250
6.9	Elementi marginali della sede stradale	254
6.9.1	Margine interno	254
6.9.2	Margine laterale.....	256
6.9.3	Margine esterno	256
6.9.4	Cigli e cunette.....	256
6.9.4.1	Cunetta a trapezio isoscele	258
6.9.4.2	Cunetta a trapezio scaleno	258
6.9.4.3	Cunetta ellittica	259
6.9.4.4	Cunetta alla Francese	259
6.9.5	Marciapiedi	260
6.9.6	Piazzole di sosta	260
6.9.7	Dispositivi di ritenuta ed altri elementi di arredo funzionale.....	260

CAPITOLO 7

STRADE DI MONTAGNA.....261

7.1	Premessa	261
7.2	Curve di risvolto o tornanti.....	261
7.3	Progetto di un tornante – metodo 1	263
7.4	Progetto di un tornante – metodo 2	265
7.5	Ulteriori criteri generali di progettazione	268

CAPITOLO 8

**LE VERIFICHE DEL TRACCIATO. IL DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ
E IL COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO269**

8.1	Diagramma delle velocità.....	269
8.1.1	Lunghezza di transizione.....	271
8.1.2	Distanza di riconoscimento	272
8.1.3	Esame del diagramma delle velocità	274
8.1.4	Costruzione del diagramma delle velocità.....	275
8.1.4.1	Costruzione del diagramma delle velocità – Prima Fase.....	276
8.1.4.2	Costruzione del diagramma delle velocità – Fase Finale	277
8.1.4.2.1	Analisi sezione 1.....	277
8.1.4.2.2	Analisi sezione 2.....	278
8.1.4.2.3	Analisi sezione 3.....	283

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

8.1.4.2.4	Analisi sezione 4.....	285
8.1.4.2.5	Analisi sezioni 5 e 6	287
8.1.4.2.6	Analisi sezione 7.....	289
8.1.5	Ulteriori verifiche sul tracciato planimetrico: le distanze di visibilità.....	290
8.2	Coordinamento plano-altimetrico.....	291
8.2.1	Posizione del raccordo verticale.....	291
8.2.2	Difetti di coordinamento fra elementi planimetrici ed altimetrici.....	292
8.2.3	Perdita di tracciato in presenza di successione di raccordo convesso e concavo	294

CAPITOLO 9

LE INTERSEZIONI STRADALI.....297

9.1	Premessa.....	297
9.2	Problema della visibilità nelle intersezioni a raso	302
9.2.1	Indicazioni generali di visibilità delle intersezioni.....	305
9.3	Caratteristiche geometriche e funzionali delle intersezioni a raso	305
9.4	Dimensionamento delle corsie di marcia e delle corsie specializzate nelle intersezioni lineari a raso e a livelli sfalsati	311
9.4.1	Corsie di marcia.....	312
9.4.2	Corsie di uscita (o di diversione).....	312
9.4.3	Corsie di accumulo per la svolta a sinistra	314
9.4.3.1	Esempio di dimensionamento di una corsia di accumulo per la svolta a sinistra	319
9.4.4	Corsie di entrata (o di immissione).....	320
9.5	Andamento del ciglio della carreggiata nelle zone di raccordo	323
9.6	Intersezioni a rotatoria.....	326
9.7	Intersezioni a livelli sfalsati.....	329
9.7.1	Tipologie di svincoli.....	333
9.7.1.1	Svincolo con una sola rampa o monoquadrante	333
9.7.1.2	Svincolo con due rampe in quadranti opposti o in quadranti adiacenti.....	334
9.7.1.3	Svincolo a rombo.....	334
9.7.1.4	Svincolo a trombetta.....	335
9.7.1.5	Svincolo a quadrifoglio.....	336
9.7.1.6	Svincolo a rotatoria.....	337
9.7.1.7	Svincolo a quattro livelli.....	337
9.7.1.8	Svincolo direzionale completo	338
9.8	Alcuni esempi di intersezioni a livelli sfalsati.....	339
9.9	Considerazioni conclusive sulle intersezioni.....	340

CAPITOLO 10

IL PROGETTO STRADALE341

10.1	Premessa.....	341
------	---------------	-----

INDICE

10.2 Livelli e contenuti della progettazione	341
10.3 Quadro esigenziale, DOCFAP e DIP	342
10.3.1 Quadro esigenziale	343
10.3.2 Documento di fattibilità delle alternative progettuali – DOCFAP	343
10.3.3 Documento di indirizzo alla progettazione (DIP).....	344
10.4 Progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE).....	345
10.4.1 Elaborati grafici del PFTE per le opere lineari	347
10.5 Progetto esecutivo (PE)	349
10.5.1 Elaborati grafici del PE per le opere lineari.....	350

SECONDA PARTE
FERROVIE

CAPITOLO 11

ORIGINE E SVILUPPO DELLE STRADE FERRATE.....355

11.1 Cenni storici.....	355
11.2 Nascita del trasporto ferroviario in Italia.....	356
11.3 Evoluzione del trasporto ferroviario in Italia	359
11.4 Gestione del trasporto ferroviario in Italia	361
11.5 Rete ferroviaria italiana	363

CAPITOLO 12

IVEICOLI E L'ARMAMENTO FERROVIARIO365

12.1 Veicoli ferroviari e moto di serpeggiamento	365
12.2 Sede ferroviaria	367
12.2.1 Rotaia.....	367
12.2.2 Attacchi.....	369
12.2.3 Giunzioni	372
12.2.4 Traverse	373
12.2.5 Massicciata ferroviaria	375
12.2.6 Sub-ballast e sottofondo	378
12.3 Classificazione delle linee ferroviarie	378

CAPITOLO 13

LE RESISTENZE AL MOTO DEI VEICOLI.....381

13.1 Aderenza.....	381
13.2 Resistenza in rettilineo ed in orizzontale.....	382
13.2.1 Attrito agli assi.....	382
13.2.2 Resistenza al rotolamento.....	382
13.2.3 Resistenza alle giunzioni delle rotaie	382

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

13.2.4 Resistenza dovuta al moto di serpeggiamento.....	382
13.2.5 Resistenza aerodinamica.....	383
13.3 Resistenza di pendenza.....	384
13.4 Resistenza in curva.....	385
13.5 Gradi di prestazione.....	386

CAPITOLO 14

ANDAMENTO PLANO-ALTIMETRICO DELLE LINEE FERROVIARIE389

14.1 Tracciato della linea ferroviaria.....	389
14.1.1 Grado di tortuosità.....	389
14.1.2 Indice di allungamento	389
14.2 Andamento planimetrico	390
14.3 Andamento altimetrico	390
14.4 Sagoma limite.....	391

CAPITOLO 15

LO SCARTAMENTO DEL BINARIO395

15.1 Scartamento	395
15.2 Allargamento in curva dello scartamento	395
15.3 Tolleranze dello scartamento.....	398
15.4 Realizzazione dello scartamento	398
15.5 Livello trasversale	400

CAPITOLO 16

LA DINAMICA DEL VEICOLO IN CURVA401

16.1 Stabilità del veicolo in curva	401
16.2 Relazione tra grandezze geometriche e cinematiche.....	402
16.3 Sopraelevazione.....	403
16.3.1 Sopraelevazione teorica.....	404
16.3.2 Considerazioni sulla sopraelevazione da assegnare alla rotaia	404
16.3.3 Sopraelevazione massima in rapporto al regime di velocità	406
16.3.4 Sopraelevazione effettiva.....	408
16.3.5 Legge di variazione dell’accelerazione efficace	411
16.3.6 Sopraelevazione ridotta	411
16.4 Velocità ferroviaria	412
16.4.1 Velocità limite.....	412
16.4.2 Velocità di tracciato	412
16.4.3 Velocità di rango.....	413
16.4.4 Velocità di fiancata.....	414
16.4.5 Velocità d’orario	415
16.5 Raggio minimo planimetrico.....	415

INDICE

16.6 Considerazioni sui valori delle sopraelevazioni	416
16.7 Rampe di sopraelevazione	417

CAPITOLO 17

LE CURVE DI TRANSIZIONE E I RACCORDI ALTIMETRICI 419

17.1 Generalità	419
17.2 Raccordi di sopraelevazione	419
17.3 Raccordi planimetrici	421
17.3.1 Equazione cartesiana della parabola cubica	422
17.3.2 Elementi caratteristici della parabola cubica	423
17.3.3 Inserimento della parabola cubica nei tracciati ferroviari	424
17.3.4 Raccordo Nordling	426
17.3.5 Calcolo dello scostamento m	426
17.3.6 Punti caratteristici della parabola cubica	428
17.4 Policentriche	429
17.5 Raccordi altimetrici	431
17.6 Progetto di nuove linee	432
17.7 Studio di linee in esercizio	433

CAPITOLO 18

IL CALCOLO DELLA ROTAIA E LA TERMICA DEL BINARIO 435

18.1 Generalità	435
18.2 Stato tenso-deformativo dell'armamento	435
18.3 Effetti dinamici	437
18.4 Modellazione della sovrastruttura ferroviaria	440
18.5 Calcolo della rotaia	441
18.5.1 Esempio applicativo	442
18.6 Termica del binario	443
18.6.1 Dilatazione libera e dilatazione impedita della rotaia	443
18.6.2 Resistenza di attrito delle giunzioni	444
18.6.3 Resistenza degli appoggi	444
18.7 Lunga rotaia saldata LRS	445
18.7.1 Costituzione della LRS	446
18.8 Comportamento dell'estremità della LRS	447
18.9 Comportamento del corpo della LRS	450

CAPITOLO 19

GLI APPARECCHI DEL BINARIO 451

19.1 Generalità	451
19.2 Scambi semplici e multipli	452
19.3 Elementi di uno scambio	453

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

19.4 Funzionamento di uno scambio.....	455
19.5 Tangente di uno scambio	459
19.6 Classificazione degli scambi.....	460
19.7 Comunicazioni.....	462
19.7.1 Comunicazioni semplici	462
19.7.2 Comunicazioni doppie.....	464

CAPITOLO 20

L'ALTA VELOCITÀ FERROVIARIA ITALIANA465

20.1 Introduzione.....	465
20.2 Le linee italiane ad alta velocità	466
20.2.1 La linea Torino-Milano-Napoli-Salerno	468
20.2.1.1 La tratta Torino-Milano	468
20.2.1.2 La tratta Milano-Bologna	469
20.2.1.3 La tratta Bologna-Firenze.....	469
20.2.1.4 La tratta Roma-Napoli.....	470
20.2.1.5 La tratta Napoli-Salerno	470
20.2.2 La linea Milano-Venezia e il terzo valico.....	471
20.2.2.1 La linea Milano-Verona-Venezia	471
20.2.2.2 Il Terzo-Valico dei Giovi	472
20.2.3 La linea Bologna-Verona.....	472
20.2.4 Le linee nel Mezzogiorno.....	473
20.2.5 I valichi alpini.....	474
20.3 Le caratteristiche tecniche delle linee AV/AC.....	474
20.4 La sostenibilità ambientale delle linee AV/AC.....	480
20.5 I treni ad alta velocità italiani	481

**TERZA PARTE
AEROPORTI**

CAPITOLO 21

IL TRASPORTO AEREO ED IL SUO SVILUPPO485

21.1 Breve storia del volo.....	485
21.1.1 Cenni di dinamica del volo.....	487
21.2 Situazione attuale dell'aviazione civile.....	489

CAPITOLO 22

UTILIZZAZIONE DELLA PISTA

DI VOLO DA PARTE DI UN AEROPLANO IN DECOLLO491

22.1 Calcolo della lunghezza di una pista di volo	491
---	-----

INDICE

CAPITOLO 23

UTILIZZAZIONE DELLA PISTA DI VOLO

DA PARTE DI UN AEROPLANO IN ATTERRAGGIO497

23.1 Voli a vista e voli strumentali	497
23.2 Manovra di atterraggio	497
23.3 Caratteristiche di aderenza di una pista di volo.....	498

CAPITOLO 24

LE DISTANZE CARATTERISTICHE DI UNA PISTA DI VOLO.....501

24.1 Distanze caratteristiche	501
24.1.1 Distanze dichiarate di una pista di volo.....	501
24.1.2 Distanze richieste di un aeroplano.....	502
24.2 Compatibilità tra distanze richieste e dichiarate.....	503

CAPITOLO 25

LA CLASSIFICAZIONE DEGLI AEROPORTI505

25.1 Classificazione ICAO	505
25.2 Attribuzione del code number ad un aeroporto esistente	509
25.3 Attribuzione del code letter ad un aeroporto esistente	510

CAPITOLO 26

LA CLASSIFICAZIONE ELEMENTI FONDAMENTALI DI UNA

INFRASTRUTTURA AEROPORTUALE.....511

26.1 Caratteristiche di runways, stopways, clearways	511
26.2 Vie di rullaggio.....	513

CAPITOLO 27

SEZIONE TRASVERSALE DELLE PISTE DI VOLO E DI RULLAGGIO517

27.1 Caratteristiche dimensionali e strutturali.....	517
27.2 Allargamento di una pista di rullaggio in curva	519
27.3 Elementi di completamento della pista.....	521

CAPITOLO 28

LE SUPERFICI DI LIMITAZIONE DEGLI OSTACOLI.....525

28.1 Superfici di limitazione per l'atterraggio.....	525
28.1.1 Superficie di avvicinamento (AS – Approach Surface).....	526
28.1.2 Superficie orizzontale interna (IHS – Inner Horizontal Surface)	528
28.1.3 Superficie conica (CS – Conical Surface)	528
28.1.4 Superficie orizzontale esterna (OHS – Outer Horizontal Surface).....	529
28.1.5 Superfici di transizione (TS – Transitional Surface)	529
28.2 Superfici di limitazione per il decollo	529

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

CAPITOLO 29

IMPIANTI DI AUSILIO ALLE OPERAZIONI DI VOLO533

29.1 Impianti di segnalazione e di illuminazione.....	533
29.2 Sistemi visivi di supporto al volo.....	538
29.2.1 Sistemi visivi di indicazione del piano di discesa.....	538
29.2.2 Sistemi luminosi di avvicinamento.....	539

CAPITOLO 30

IL COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE

E L'ORIENTAMENTO DELLE PISTE AEROPORTUALI543

30.1 Coefficiente di utilizzazione.....	543
30.2 Orientamento e numero delle piste.....	543
30.2.1 Analisi del vento.....	544
30.2.2 Orientamento della pista.....	546

CAPITOLO 31

IL TERMINAL547

31.1 Importanza dei terminal.....	547
31.2 Forme e funzioni.....	547

CAPITOLO 32

GLI ELIPORTI549

32.1 Quadro normativo nazionale di riferimento.....	549
32.2 Caratteristiche dimensionali degli eliporti.....	550
32.3 Superfici di delimitazione degli ostacoli.....	552
32.3.1 Superficie di avvicinamento (Approach Surface).....	552
32.3.2 Superficie orizzontale interna (IHS – Inner Orizontal Surface).....	554
32.3.3 Superficie conica (CS – Conical Surface).....	554
32.3.4 Superficie di transizione (TS – Transitional Surface).....	554
32.3.5 Rampa di decollo (TOCS – Take-Off Climb Surface).....	558
32.4 Impianti di segnalazione e illuminazione.....	559

GLOSSARIO DEI TERMINI AEROPORTUALI561

Bibliografia567

Documenti scaricabili.....576

PREFAZIONE ALLA QUARTA EDIZIONE

La quarta edizione del presente volume ha consentito di rivedere alcune parti del testo in relazione agli aggiornamenti statistici, normativi e scientifici intervenuti negli ultimi anni. Le parti integralmente riscritte sono quelle relative ai dati della incidentalità stradale (paragrafo I.2), alla progettazione delle strade di montagna (Capitolo 7) e alla redazione del progetto stradale a seguito dell'entrata in vigore del nuovo "*Codice dei contratti pubblici*" - D.Lgs. 36 del 31/03/2023 (Capitolo 10). Inoltre, sono state effettuate numerose piccole correzioni di refusi emersi nel tempo grazie anche alle segnalazioni di alcuni attenti lettori.

In considerazione del persistente successo del testo e della immutata vigenza delle "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*" (D.M. 6792 del 05/11/2001 e D.M. 147 del 25/06/2004), nessuna variazione è stata posta in essere nell'organizzazione dei capitoli.

L'obiettivo finale del Testo rimane sempre quello di incrementare il più possibile la diffusione della cultura dell'Ingegneria Stradale con esplicito riferimento alla Normativa vigente, puntualmente richiamata nei vari capitoli del libro.

Gli autori

PREFAZIONE ALLA TERZA EDIZIONE

La terza ristampa del presente volume offre l'occasione di rivedere alcune parti, suscettibili di aggiornamento, come nel caso sia dei dati della incidentalità stradale, che dell'implementazione dell'Alta Velocità/Alta Capacità (AV/AC) del trasporto ferroviario nel territorio nazionale.

In considerazione del riscontrato successo del testo, nessuna variazione è stata posta in essere nell'organizzazione dei capitoli e nella veste tipografica.

L'obiettivo finale rimane sempre quello di incrementare il più possibile la diffusione della cultura stradale con esplicito riferimento alla Normativa vigente, puntualmente richiamata nei vari capitoli del libro.

Un ringraziamento particolare va indirizzato alla Dr.ssa Laura LAVARELLO, Direttrice Editoriale della EPC S.r.l., per la consueta e gentile disponibilità che ha reso meno oneroso il lavoro di chi scrive.

Gli autori

PREFAZIONE

Il presente volume contiene, ponendo in giusto ordine, gli Appunti delle lezioni tenute dal sottoscritto da oltre vent'anni nel Corso di Costruzione di Strade Ferrovie ed Aeroporti (vecchio ordinamento), e precisamente nella prima parte inerente la Progettazione delle Infrastrutture Viarie, propedeutica alla seconda, relativa alla loro Costruzione e Collaudo.

Con l'attuazione della riforma universitaria e l'istituzione della Laurea Triennale, i contenuti di tali lezioni vengono a coincidere con gli argomenti principali del Corso di Fondamenti di Strade Ferrovie ed Aeroporti attivato, anche con denominazione a volte diversa, presso le sedi di Ingegneria Civile del Territorio Nazionale.

Il Testo si sviluppa in tre parti, corrispondenti alla trattazione dei principi progettuali relativi al trasporto su gomma, su ferro e per via d'aria, nel rispetto delle Normative attuali.

A tal riguardo, in materia di Strade, si è fatto esplicito riferimento al D.M. 5/11/2001 n. 6792 recante "Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade", nonché alla relativa modifica avvenuta con D.M. 22/04/2004, pubblicato in G.U. n. 147 del 25/06/2004, che ha limitato l'osservanza del precedente D.M. n. 6792/01 al solo caso di strade di nuova costruzione, prevedendo, per gli adeguamenti delle strade esistenti, la predisposizione di nuove norme finalizzate all'innalzamento dei livelli di sicurezza e al miglioramento funzionale della circolazione, nel rispetto dei vincoli ambientali, paesaggistici, archeologici, delle condizioni locali, nonché delle esigenze della continuità di esercizio. Inoltre, per quanto riguarda il progetto delle intersezioni stradali, il volume si rifà in toto ai contenuti del D.M. 19/04/2006 "Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Intersezioni Stradali", pubblicato in G.U. n. 170 del 24/07/2006.

A sua volta, in tema di Ferrovie, la trattazione dei criteri progettuali discende dal rispetto delle Circolari all'uopo emanate dalla R.F.I. s.p.a. e/o dalle altre Società consorziate nella Holding F.S., che ha il governo della rete nazionale del trasporto su ferro.

L'ultima parte del testo, dedicata al settore aeroportuale, richiama i contenuti dell'Annesso 14, aggiornato dall'ICAO nel Luglio 1999 e recepito in forza di Legge nel nostro Paese con la pubblicazione in G.U. del D.M. 23/05/2002, al fine di garantire la sicurezza delle operazioni all'interno di un aeroporto, fissandone le caratteristiche progettuali.

In definitiva il presente Testo vuole contribuire alla diffusione, più ampia possibile, dei criteri progettuali di Strade, Ferrovie ed Aeroporti, per facilitare il compito dei Tecnici che, a vario titolo e direttamente o meno, svolgono la loro attività per il miglioramento della rete di trasporto nazionale.

In ultimo, si evidenzia l'utilità del Testo anche per gli Allievi delle Facoltà di Ingegneria che, per la prima volta, si avvicinano allo studio progettuale del variegato ed affascinante mondo dei Trasporti su gomma, in sede fissa e per via d'aria.

Michele AGOSTINACCHIO

*Non pudeat quae nescieris, te velle doceri;
scire aliquid laus est, culpa est nil discere velle.*
(Catone, Distico, 4, 29)

INTRODUZIONE

IL SISTEMA DI TRASPORTO SU GOMMA

I.1 Cenni storici⁽¹⁾

Fin dalle sue origini l'uomo ha sempre manifestato il bisogno di comunicare e di interagire con altri uomini e con altre civiltà e per tale motivo nel corso dei secoli si sono sviluppate reti di collegamento infrastrutturale che hanno permesso la suddetta interazione, oltre che lo sviluppo del commercio con lo scambio di prodotti su percorsi molto lunghi.

Le strade costruite dai Romani, ad esempio, progettate in primo luogo per le esigenze militari di un vasto Impero, rappresentavano uno strumento di civilizzazione. Tali strade hanno svolto un ruolo fondamentale nell'organizzazione delle correnti commerciali e come mezzo di diffusione capillare del sistema economico, giuridico e culturale di Roma. Dall'Atlantico al Golfo Persico, esse raggiunsero in età imperiale i 120.000 chilometri di lunghezza, attraversando territori immensi, foreste, valichi di montagna e deserti (Cfr. Figura I.1).



Figura I.1 – Scorcio di una antica strada romana

I nomi delle strade romane rivelano spesso la loro funzione originaria: ad esempio la via **Salaria** era destinata al trasporto del sale, mentre sull'**Argentea**, in Iberia (Spagna), si svolgeva il traffico del prezioso minerale. Altre strade erano invece identificate dall'area geografica in cui avevano la loro origine e/o il loro termine: così la via **Ostiense** da *Ostia*, la via **Ardeatina** da *Ardea*, la **Tiburtina** da *Tibur*, la **Nomentana** da *Nomentum* ecc. Per lo più, però, il loro nome ricorda chi ne promosse la costruzione, come la via **Flaminia** da Caio Flaminio (223-219 a.C.), la via **Emilia** da M. Emilio Lepido (175 a.C.), ecc.

L'introduzione di nuovi criteri e di nuove tecniche di Ingegneria Stradale viene fatta risalire al **312 a.C.** quando **Appio Claudio Cieco**⁽²⁾ realizzò la **Via Appia**.

1. Cfr. i seguenti siti internet: www.enteanas.it; www.costruzioni.net; www.lameziastorica.it

2. Ad **Appio Claudio Cieco** si deve anche la realizzazione del primo acquedotto di Roma: l'acqua Appia.

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

Da un punto di vista costruttivo la realizzazione del **corpo stradale** risultava piuttosto agevole solo nei Paesi a clima arido, come ad esempio l’Africa del Nord, in quanto non essendovi il problema di smaltire le acque meteoriche, bastava semplicemente stendere e compattare uno strato superficiale di ghiaia. Nelle regioni umide, naturalmente, la situazione era ben diversa, per cui il piano stradale doveva essere sagomato in modo opportuno, ossia leggermente convesso (sagoma a “*schiena d’asino*”). Nella costruzione di strade, ed in particolare delle pavimentazioni, i Romani furono dei veri precursori, tanto che molti tronchi rimangono oggi quasi intatti, a testimonianza della perfezione raggiunta nella realizzazione di tali opere. La robustezza e la resistenza delle pavimentazioni stradali veniva commisurata all’importanza dell’arteria: le strade minori erano semplicemente ricoperte di ghiaia o di terra battuta, mentre le grandi vie militari venivano costruite applicando molti concetti poi ripresi anche in epoca moderna. La larghezza canonica delle strade era di circa **4 metri**, ma poteva raggiungere anche i **10÷14 metri** per permettere la marcia nei due sensi. La tecnica di esecuzione era accuratissima, e questo spiega la loro ottima conservazione: la costruzione cominciava tracciando due solchi paralleli dove venivano piantati blocchi di pietra di contenimento. Fra questi due allineamenti, si scavava un fossato profondo circa 60 centimetri (riempito in seguito di sabbia e calce), su cui si realizzavano, in sequenza, quattro strati sovrapposti per un’altezza complessiva che raggiungeva il valore di **1÷1,5m** per le strade più importanti.

Le denominazioni e le caratteristiche tecnologiche di tali strati sono le seguenti (Cfr. Figura I.2):

- **statumen**, massicciata spessa almeno 30 cm composta da grossi blocchi;
- **ruderatio**, strato di spessore almeno pari a quello della massicciata di base, costituito da ciottoli di medie dimensioni uniti a calce;
- **nucleus**, ghiaia mista ad argilla, livellata per mezzo di enormi cilindri;
- **pavimentum** o **summa crusta** o **sumum dorsum**, manto stradale vero e proprio realizzato in selce (silex o lapis durus, pietra basaltica di eccezionale durezza e praticamente indistruttibile), costituito da blocchi di pietra spianati ed accostati (da ciò l’origine del termine “*strada*” che deriva dal latino “*via strata*”, ovvero, “*via lastricata*”).

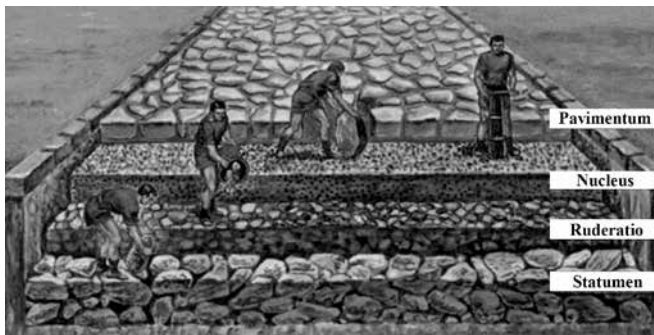


Figura I.2 – Struttura di una strada romana

Le strade romane erano di solito fiancheggiate da due marciapiedi (*margines*), larghi almeno 3 metri e inoltre, ogni 1000 passi di distanza (circa 1,5 chilometri), venivano identificate per mezzo di una **colonna cilindrica** indicante il numero del miglio e il nome del magistrato (Censore, Console o Imperatore) che ne aveva ordinato la costruzione.

Il tracciato della strada romana era preferibilmente **rettilineo** e tale veniva mantenuto, per quanto

possibile, anche in zone collinose, dove perciò la pendenza longitudinale spesso raggiungeva valori notevoli, sino ad oltre il 20%. Ciò richiedeva naturalmente la costruzione di opere, colossali per quei tempi, quali ponti, gallerie, tagli di coste rocciose, etc. I singoli tratti di rettilineo venivano raccordati senza interposizione di alcun tipo di curva, perciò nessun confronto, sia pure grossolano ed orientativo può farsi, dal punto di vista del tracciato, fra queste strade e quelle attuali.

Dopo il crollo dell'Impero Romano ed il succedersi delle invasioni barbariche, l'intero grandioso complesso di strade andò in sfacelo, e per lungo tempo se ne persero anche le tracce. Durante il Medio Evo venne a mancare ogni coordinamento fra le varie regioni italiane, per cui le singole città dovettero lottare da sole contro gli attacchi degli Unni, degli Arabi, dei Normanni, dei Turchi e, in epoca più recente, dei Francesi e degli Spagnoli. In tali condizioni l'unica difesa era l'isolamento e la inaccessibilità e quindi venne a cessare ogni interesse per la manutenzione e la conservazione delle strade. Per tale motivo i traffici e i rapporti commerciali si ridussero notevolmente, rimanendo circoscritti nell'ambito del territorio di ciascun comune. Questo stato di cose rimase di fatto immutato sino all'epoca moderna, nella quale ebbe inizio la grande ripresa delle costruzioni stradali.

I.2 Dati relativi alla sicurezza stradale

Ogni giorno in Italia⁽³⁾ si verificano in media **417 incidenti stradali**⁽⁴⁾, che provocano la **morte di 8 persone** e il **ferimento** di altre **561**.

Nel 2021 i morti in incidenti stradali in Italia sono stati **2.875** (+20,0% rispetto all'anno precedente), **204.728** i feriti (+28,6%) e **151.875** gli incidenti stradali (+28,4%), valori tutti in crescita rispetto al 2020 (Cfr. Tabella I.1) ma ancora in diminuzione nel confronto con il 2019, ossia il periodo precedente alla pandemia da COVID-19 (-9,4% vittime, -15,2% feriti e -11,8% incidenti)⁽⁵⁾. Quanto ai feriti, si tratta prevalentemente di giovani tra i 15 e i 29 anni (30,3% sul totale) per i quali si registrano aumenti di oltre il 40% rispetto al 2020 tanto che, per far fronte concretamente a questa situazione allarmante, il nuovo *Piano Nazionale di Sicurezza Stradale (PNSS) 2030* punta anche su miglioramenti nella progettazione di strade e veicoli, sul rafforzamento delle leggi e la loro applicazione, nonché su un'assistenza tempestiva ed efficace ai feriti⁽⁶⁾.

3. Il contenuto del presente capitolo è desunto per larga parte dal sito internet dell'Automobile club d'Italia: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/incidentalita.html>.

4. L'incidente stradale viene definito come "quell'evento in cui è coinvolto almeno un veicolo sulla rete stradale, verificatosi nelle vie o piazze aperte alla circolazione, che comporti lesioni a persone (morti entro 30 giorni e/o feriti)" – (Convenzione di Vienna del 1968, UNECE, ITF ed Eurostat 2019).

5. Anche nella Unione Europea il numero delle vittime è ripreso ad aumentare nel 2021 (+5,3% rispetto all'anno precedente), dopo la drastica riduzione del primo anno di pandemia (-17,1% sul 2019). Complessivamente, nel 2021 le vittime sono state 19.855, contro le 18.861 del 2020 e le 22.763 del 2019.

6. Al decennio della sicurezza stradale 2011-2020, ormai concluso, ha fatto seguito l'**Agenda 2030** che prevede il dimezzamento del numero delle vittime e dei feriti gravi entro il 2030, oltre al monitoraggio di indicatori di prestazione, i *Key Performance Indicators*. Tali indicatori riguardano: velocità, uso dei sistemi di protezione (casco, cinture di sicurezza e seggiolini per bambini), uso di alcool e droghe, livello di sicurezza del parco veicolare e della rete stradale nazionale, distrazione alla guida ed efficienza dei sistemi di soccorso in caso di incidente. Oltre agli obiettivi fissati per il prossimo decennio, sono state gettate le basi per nuovi e ambiziosi traguardi. In particolare, la **Dichiarazione di Stoccolma** del febbraio 2020 auspica una vision "zero vittime" per il 2050. Come noto, il 2020 è stato un anno eccezionale, segnato dagli effetti della pandemia e pertanto

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

Per quanto riguarda le biciclette e i monopattini elettrici ⁽⁷⁾, nel 2021 si sono registrate **229** vittime (+30,1% rispetto al 2020 e -9,5% rispetto al 2019) mentre, per quanto riguarda i soli monopattini elettrici (conteggiati a partire dal 2020), gli incidenti stradali in tutte le province italiane sono passati da **564** del 2020 a **2.101**, i feriti da **518** a **1.980**, mentre i morti (entro 30 giorni) sono stati **9** più un pedone investito e deceduto. Con riferimento alle **età** dei conducenti di monopattini elettrici, i più coinvolti in incidenti sono state le donne e gli uomini di 20-24 anni e di 45-59 anni tra quelli di cittadinanza italiana, gli uomini di 25-44 anni e le donne di 35-44 anni tra i cittadini stranieri.

Le sole biciclette elettriche sono state coinvolte in **691** sinistri (240 nel 2020), con **13** vittime (6 nel 2020), mentre il totale degli incidenti con biciclette (elettriche e non) è risultato pari a **16.448**.

Tabella I.1 – Incidenti stradali, morti e feriti. Anni 2020-2021 (Fonte ACI-ISTAT)

	VALORI ASSOLUTI		VARIAZIONI % 2020/2021 ^(a)
	2020	2021	
Incidenti	118.298	151.875	+28,4
Morti	2.395	2.875	+20,0
Feriti	159.249	204.728	+28,6

(a) La variazione percentuale tra due dati è calcolata come la differenza fra un dato al tempo t e il dato al tempo (t-1), rapportata al dato al tempo (t-1), moltiplicata per 100.

Per quanto attiene la distribuzione per età (Cfr. Tabella I.2), si osserva che, le vittime risultano concentrate nelle classi 45-59 anni e 20-24 anni per gli uomini e nelle classi 70-84 anni e 20-24 anni per le donne. L'aumento più consistente rispetto al 2020 si è registrato però nelle classi di età 15-19 (+41,7%) e 25-29 anni (+34,9%), seguite dai 40-49-enni (+31,5%). La distribuzione per genere delle vittime mostra, dunque, uno svantaggio nettamente maschile rispetto a quello femminile.

non sarà utilizzato per monitorare i progressi nella sicurezza stradale nel prossimo decennio, difatti, l'anno di *benchmark* sarà il 2019. Si evidenzia che, se l'obiettivo da perseguire entro il 2020 era il dimezzamento delle vittime e la riduzione del numero dei feriti gravi, anche i nuovi obiettivi per il 2030 rinnovano le raccomandazioni per una ulteriore riduzione del 50% di morti e feriti gravi. Ciò ha però reso necessario stabilire nuovi standard per una definizione univoca di lesione grave internazionalmente riconosciuta. La Commissione europea ha dunque emanato alcune linee guida per classificare la gravità delle lesioni da incidente stradale e, nello specifico, ha proposto l'utilizzo dell'esistente scala dei traumi AIS (*Abbreviated Injury Scale*) e, in particolare, della sua variante MAIS (*Maximum Abbreviated Injury Scale*). L'AIS è una scala di misurazione che consente di attribuire un punteggio alla gravità complessiva della lesione, stabilita tenendo in considerazione la rilevanza delle singole lesioni riportate e la regione del corpo colpita. Il livello di gravità viene misurato mediante una scala ordinale a 6 punti (1 = minimo; 6 = massimo). Le lesioni gravi sono individuate con il punteggio MAIS 3+, ossia, il massimo valore AIS uguale o superiore a 3.

- Uno degli elementi di novità del 2021 è rappresentato dalla sempre più diffusa circolazione dei mezzi di micromobilità elettrica, a zero emissioni. I monopattini elettrici, in particolare, assumono in via definitiva lo stato di "veicolo" con la legge di bilancio n. 160 del 27 dicembre 2019, che li assimila alle biciclette anche in termini di norme di circolazione. Anche il decreto Infrastrutture (D.L. 121/2021) ha introdotto modifiche nel Codice della Strada per la loro circolazione.

INTRODUZIONE IL SISTEMA DI TRASPORTO SU GOMMA

Tabella I.2 – Morti e feriti in incidenti stradali per sesso ed età. Anno 2021 (Fonte ACI-ISTAT)

CLASSI DI ETÀ	MORTI (2021) (entro 30 giorni)			FERITI (2021)			VARIAZIONI % 2021/2019 ^(a)		VARIAZIONI % 2021/2020 ^(a)	
	Maschi	Femmine	Tot.	Maschi	Femmine	Tot.	Morti	Feriti	Morti	Feriti
0-4	3	2	5	1.011	760	1.771	-70,6	-30,9	-37,5	+31,6
5-9	4	2	6	1.344	985	2.329	+50,0	-32,0	-40,0	+26,9
10-14	12	5	17	2.429	1.672	4.101	+21,4	-19,6	-10,5	+38,0
15-19	122	24	146	12.667	5.474	18.141	-7,6	-3,4	+41,7	+48,4
20-24	179	40	219	16.245	7.737	23.982	-11,7	-7,0	+21,7	+39,8
25-29	162	39	201	13.254	6.696	19.950	-7,8	-13,6	+34,9	+32,2
30-34	158	19	177	11.303	5.783	17.086	+4,1	-13,1	+29,2	+29,8
35-39	152	13	165	9.919	5.081	15.000	-9,8	-18,1	+19,6	+27,5
40-44	174	21	195	10.119	5.270	15.389	-3,9	-20,5	+31,8	+24,3
45-49	182	24	206	11.211	5.945	17.156	-12,3	-16,0	+31,2	+24,1
50-54	191	31	222	10.684	5.857	16.541	-16,5	-15,7	+24,0	+23,5
55-59	195	26	221	9.595	5.094	14.689	-	-12,1	+14,5	+23,5
60-64	148	24	172	6.935	3.056	10.441	-11,3	-13,4	-1,1	+24,0
65-69	136	30	166	4.917	2.555	7.472	-8,3	-15,3	+20,3	+23,8
70-74	149	44	193	3.974	2.161	6.135	+1,0	-23,0	+20,6	+15,7
75-79	118	37	155	3.024	1.779	4.803	-22,5	-25,0	+14,0	+14,0
80-84	138	49	187	2.498	1.363	3.861	-12,2	-24,0	+6,3	+12,9
85-89	94	32	126	1.196	588	1.784	-20,3	-21,4	+14,5	+12,6
90+	38	5	43	345	172	517	-15,7	-18,8	+19,4	+16,4
NI (b)	41	12	53	2.137	1.443	3.580	+10,4	-32,4	+20,5	+27,9
Totale	2.396	479	2.875	134.807	69.921	204.728	-9,4	-15,2	+20,0	+28,6

(a) La variazione percentuale tra due dati è calcolata come la differenza fra un dato al tempo t e il dato al tempo (t-1), rapportata al dato al tempo (t-1), moltiplicata per 100.

(b) NI= Non Indicata (per ciascun incidente sono conteggiati anche gli occupanti degli altri veicoli coinvolti oltre il terzo. Per questi individui, dei quali si conosce solo l'esito e la numerosità, non si rilevano le caratteristiche anagrafiche, tra cui l'età).

Tra i **comportamenti errati alla guida** i più frequenti si confermano la distrazione, il mancato rispetto della precedenza e la velocità troppo elevata. I tre gruppi costituiscono, complessivamente, il 39,7% dei casi (78.477), valore stabile nel tempo. La guida troppo veloce è il comportamento più sanzionato, rappresenta infatti il 36% del totale. Diminuiscono le sanzioni per mancato uso delle cinture di sicurezza, dei sistemi di ritenuta per bambini e per mancato uso del casco. Rimane elevato il numero di sanzioni per uso improprio di dispositivi in auto, in particolare dello smartphone. Nel complesso, la maggior parte degli incidenti stradali è avvenuto tra veicoli in marcia (67,5%) e, in particolare, il 91,2% ha coinvolto due veicoli, il 6,7% tre veicoli e il 2,1% quattro e più veicoli. Gli incidenti a veicolo isolato, esclusi gli investimenti di pedone hanno rappresentato il 22,2%, mentre gli investimenti di pedone hanno riguardato, invece, il 10,3% del totale. Nel 46% dei casi gli incidenti si sono verificati lungo rettifili di strade urbane e nel 56,4% lungo rettifili di strade extraurbane.

Pagine omesse dall'anteprima del volume

CAPITOLO 9

LE INTERSEZIONI STRADALI⁽¹⁾

9.1 Premessa

Le intersezioni stradali possono essere definite come punti critici localizzati nei nodi delle infrastrutture viarie. La loro criticità, ovvero la loro pericolosità, è dovuta al fatto che, al loro interno, si realizza l'interferenza reciproca tra le diverse correnti di traffico che si muovono lungo specifiche traiettorie. In corrispondenza delle intersezioni i veicoli eseguono varie tipologie di manovre caratterizzate, nella maggioranza dei casi, da velocità sensibilmente variabili e da percorsi ad elevata curvatura.

Le principali manovre elementari e le loro descrizioni sono riportate in Tabella 9.1.

In particolare valgono le seguenti considerazioni:

- la manovra di **attraversamento ad incrocio** risulta eseguibile solo quando il distanziamento temporale tra i veicoli appartenenti alla corrente da attraversare è sufficientemente ampio;
- la manovra di **diversione** o di **uscita in destra**, pur essendo la più semplice tra le manovre elementari, causa un rallentamento degli eventuali veicoli in transito che seguono;
- la manovra di **immissione** o di **entrata** può dar luogo a tempi di attesa più o meno lunghi e, al pari dell'attraversamento, è eseguibile solo quando l'intervallo temporale tra i veicoli appartenenti alla corrente di immissione risulta sufficientemente ampio.

Nello specifico le *“Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle Intersezioni Stradali”* [81] stabiliscono che: *“...le manovre di diversione o immissione in sinistra non sono ammesse sulla corrente principale di traffico di strade tipo A, B e D mentre sono ammesse sulle loro strade di servizio, sulle rampe di svincolo e sulla corrente principale di traffico di strade tipo C, E ed F”*.

1. Il presente capitolo fa riferimento al D.M. 19/04/2006 del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti dal titolo: *“Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”* (G.U. n. 170 del 24/07/2006) [81]. Tale decreto deriva dal Rapporto di Sintesi elaborato dal Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade dell'Università degli Studi di Roma “La Sapienza” e dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Trieste, dal titolo: *“Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali”* [49], approvato, dalla *“Commissione di Studio per le norme tecniche relative ai materiali stradali, alla progettazione, costruzione e manutenzione delle infrastrutture stradali”* del C.N.R. nella riunione del 10 settembre 2001. È opportuno precisare che, le norme approvate con il D.M. 19/04/2006 si applicano alla costruzione di nuove intersezioni sulle strade ad uso pubblico, fatta salva la deroga di cui all'art. 13, comma 2 del D.Lgs. 285/1992 e successive mod. int. Tale deroga è consentita solo per specifiche situazioni allorquando particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche non ne consentono il rispetto, sempre che sia assicurata la sicurezza stradale e siano comunque evitati inquinamenti.

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

Tabella 9.1 – Definizione delle manovre elementari

TIPOLOGIA MANOVRA	DESCRIZIONE	SCHEMA
ATTRAVERSAMENTO AD INCROCIO	le due correnti veicolari si intersecano reciprocamente	
DIVERSIONE O USCITA IN DESTRA (SINISTRA)	un veicolo rallenta e abbandona la corrente di cui fa parte per compiere una svolta a destra (sinistra)	
IMMISSIONE O ENTRATA IN DESTRA (SINISTRA)	un veicolo si immette in una corrente in transito entrando da destra (sinistra)	
SVOLTA PROPRIAMENTE DETTA	manovra classica caratterizzata da una curvatura più o meno sensibile	
SCAMBIO	manovra caratterizzata dalla sovrapposizione di due o più correnti di traffico per un certo intervallo di spazio	

In generale, ogni manovra causa una o più interferenze tra i flussi veicolari e ciò origina una serie di punti pericolosi (**punti di conflitto**), la cui entità dipende dai seguenti fattori:

- 1) numero dei rami confluenti nel nodo;
- 2) tipologia dell'incrocio;
- 3) sistema di regolazione delle precedenza (segnale di stop, semafori ecc.).

Nel caso di una intersezione a quattro rami, ad esempio, sono presenti ben **32 punti di conflitto** suddivisi nelle seguenti tipologie (Cfr. Figure 9.1 a/b/c):

- **16 punti di intersezione** o di **attraversamento** causati dall'attraversamento delle correnti veicolari;
- **8 punti di immissione** causati dalle immissioni nelle correnti di traffico principale;
- **8 punti di diversione** causati dall'abbandono delle correnti di traffico principale.

“Per i punti di conflitto di intersezione deve essere adottata una delle seguenti soluzioni progettuali [81]:

1° sfalsamento altimetrico delle traiettorie;

2° realizzazione di tronchi di scambio trasformando il punto di conflitto di intersezione in punti di conflitto di diversione e/o immissione;

3° sfalsamento temporale di tipo imposto (semaforo)⁽²⁾ o di tipo attuato dall'utente (precedenza o stop)”.

2. Nelle intersezioni a quattro rami la regolazione semaforica riduce il numero di punti di conflitto da 32 a 9.

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

tutti i possibili nodi di intersezione fra due strade possono idealmente rappresentarsi secondo gli elementi di una **matrice simmetrica 8×8** (Cfr. Tabella 9.2).

Occorre sottolineare che, mentre le interconnessioni omogenee sono sempre previste e presenti, le interconnessioni disomogenee possono anche mancare, soprattutto quando si dimostrino deficitarie in termini di funzionalità. Per tale motivo alcuni tipi di nodi caratterizzati da una forte differenza fra i livelli gerarchici delle strade confluenti vengono etichettati nella suddetta matrice con la dicitura: “**intersezione non consentita**”⁽⁵⁾. Di converso laddove la connessione è ammessa, viene fornita una prima indicazione sul modo di affrontarla. L’indicazione riguarda la possibilità o meno che possano verificarsi punti di conflitto di **intersezione** e tale possibilità è connessa, per evidenti motivi di sicurezza della circolazione, al mantenimento in corrispondenza del nodo, della sezione corrente per i tipi di strade a carreggiate separate. Pertanto “*nel caso di nodo in cui le strade confluenti siano tutte a carreggiate separate non sono ammessi punti di conflitto di intersezione e la connessione sarà risolta con uno svincolo (nodo di tipo 1), ammettendo, eventualmente per le sole correnti di svolta, manovre di scambio.*

Laddove una delle strade che convergono nel nodo è di un tipo per il quale la sezione trasversale è prevista ad unica carreggiata, possono essere ammesse su tale strada manovre a raso, mentre l’incrocio fra le correnti principali va risolto sfalsando i livelli (nodo di tipo 2).

Laddove le due strade che si considerano appartengono a tipi per i quali la sezione trasversale prevista è ad unica carreggiata, l’intersezione potrà essere risolta a raso (nodo di tipo 3)” [81].

Tabella 9.2 – Matrice delle connessioni fra le diverse tipologie di strade (livelli minimi) – Fonte [81]

	A _{ex}	A _{urb}	B	C	D	E	F _{ex}	F _{urb}
A _{ex}	1							
A _{urb}	1	1						
B	1	1	1					
C	2	2	2	3				
D	1	1	1	2	1			
E	2	2	2	3	2	3		
F _{ex}	i.n.c.	i.n.c.	i.n.c.	3	i.n.c.	3	3	
F _{urb}	i.n.c.	i.n.c.	i.n.c.	3	i.n.c.	3	3	3

LEGENDA
 1 intersezione a livelli sfalsati con eventuali manovre di scambio (svincolo)
 2 intersezione a livelli sfalsati con manovre di scambio o incroci a raso
 3 intersezione a raso
 i.n.c. intersezione non consentita

TIPOLOGIE DI STRADE			
A _{ex}	autostrade extraurbane	D	urbane di scorrimento
A _{urb}	autostrade urbane	E	urbane di quartiere
B	extraurbane principali	F _{ex}	locali extraurbane
C	extraurbane secondarie	F _{urb}	locali urbane

5. Pur non essendo ammesse le connessioni, rimane comunque la necessità di risolvere la sistemazione delle strade che si incrociano.

CAP. 9 – LE INTERSEZIONI STRADALI

Ai nodi di tipo 1, 2 e 3 si possono associare soluzioni geometriche in funzione della classificazione tipologica delle strade confluenti. Tali soluzioni riguardano le intersezioni a quattro bracci (incrocio fra due strade) e le intersezioni a tre bracci (innesto di una strada sull'altra), tenuto conto che i casi più complessi sono generalmente da evitare ⁽⁶⁾. Le classificazioni funzionali compatibili con le diverse tipologie di nodi sono indicate nelle Tabelle 9.3, 9.4 e 9.5.

Tabella 9.3 – Matrice della classificazione funzionale per le intersezioni urbane: livelli minimi da rispettare. (Nota: nelle intersezioni a tre bracci il simbolo X/Y indica che la strada X si innesta sulla Y) – Fonte [57]

SEZIONI TIPO (D.M. 05/11/2001)	A_{urb} Autostrade urbane	D Urbane di scorrimento	E Urbane di quartiere	F_{urb} Locali urbane
A_{urb} Autostrade urbane	A_{urb}/A_{urb} A due o più livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio			
D Urbane di scorrimento	A_{urb}/D – D/A_{urb} A due livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio	D – D A due livelli, anche con manovre di scambio lungo una rotonda		
E Urbane di quartiere	A_{urb}/E – E/A_{urb} A due livelli, anche con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo E	D/E – E/D A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo E	E – E A due livelli o a raso, con rotonde o incroci canalizzati	
F_{urb} Locali urbane	Intersezione non consentita	Intersezione non consentita	D/F_{urb} – F_{urb}/D A raso, con rotonde e canalizzazioni	F_{urb} – F_{urb} A raso, con rotonde e canalizzazioni

Tabella 9.4 – Matrice della classificazione funzionale per le intersezioni extraurbane: livelli minimi da rispettare. (Nota: nelle intersezioni a tre bracci il simbolo X/Y indica che la strada X si innesta sulla Y) – Fonte [57]

SEZIONI TIPO (D.M. 05/11/2001)	A_{ex} Autostrade extraurbane	B Extraurbane principali	C Extraurbane secondarie	F_{ex} Locali extraurbane
A_{ex} Autostrade extraurbane	A_{ex}/A_{ex} A due o più livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio			
B Extraurbane principali	A_{ex}/B – B/A_{ex} A due livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio	B – B A due livelli, anche con manovre di scambio lungo una rotonda		
C Extraurbane secondarie	A_{ex}/C – C/A_{ex} A due livelli, anche con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C	B/C – C/B A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C	C – C Rotatorie o intersezioni a raso	
F_{ex} Locali extraurbane	Intersezione non consentita	Intersezione non consentita	C/F_{ex} – F_{ex}/C Rotatorie o intersezioni a raso	F_{ex} – F_{ex} Rotatorie o intersezioni a raso

6. “Soltanto nel caso di intersezioni a livello o parzialmente a livelli sfalsati, organizzate a rotonda, è possibile considerare più di due strade confluenti nel nodo” [81].

STRADE – FERROVIE – AEROPORTI

Tabella 9.5 – Matrice della classificazione funzionale per le intersezioni extraurbane con quelle urbane: livelli minimi da rispettare. (Nota: nelle intersezioni a tre bracci il simbolo X/Y indica che la strada X si innesta sulla Y) – Fonte [57].

SEZIONITIPO (D.M. 05/11/2001)	A _{ex} Autostrade extraurbane	B Extraurbane principali	C Extraurbane secondarie	F _{ex} Locali extraurbane
A _{urb} AUTOSTRADE URBANE	A _{ex} /A _{urb} – A _{urb} /A _{ex} A due o più livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio	B/A _{urb} – A _{urb} /B A due o più livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio	C/A _{urb} – A _{urb} /C A due livelli, anche con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C	Intersezione non consentita
D URBANE DI SCORRIMENTO	A _{ex} /D – D/A _{ex} A due livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio	B/D – D/B A due livelli, anche con manovre di scambio lungo una rotatoria	C/D – D/C A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C	Intersezione non consentita
E URBANE DI QUARTIERE	A _{ex} /E – E/A _{ex} A due livelli, anche con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo E	B/E – E/B A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo E	C/E – E/C Rotatorie o intersezioni a raso	F _{ex} /E – E/F _{ex} Rotatorie o intersezioni a raso
F _{urb} LOCALI URBANE	Intersezione non consentita	Intersezione non consentita	C/F _{urb} – F _{urb} /C Rotatorie o intersezioni a raso	F _{ex} /F _{urb} – F _{urb} /F _{ex} Rotatorie o intersezioni a raso

9.2 Problema della visibilità nelle intersezioni a raso

Le intersezioni stradali rappresentano punti critici delle infrastrutture viarie perché le correnti di traffico che transitano su di esse possono “collidere” fra loro. Affinché ciò non accada, è necessario garantire che i conducenti dei veicoli impegnati nelle diverse fasi di manovra siano in grado di vedersi reciprocamente e quindi siano messi nella condizione di poter adeguare la propria condotta di marcia⁽⁷⁾.

Si definiscono **triangoli di visibilità** le zone all’interno delle quali “non devono esistere ostacoli alla continua e diretta visione reciproca dei veicoli afferenti al punto di intersezione considerato⁽⁸⁾” [81].

7. “Per le traiettorie prioritarie si devono mantenere all’interno dell’intera area di intersezione le medesime condizioni di visibilità previste dalla specifica normativa per le arterie stradali confluenti nei nodi; la presenza dell’intersezione non può difatti costituire deroga agli standard usuali in rapporto alla visibilità del tracciato. Per le manovre non prioritarie le verifiche vengono sviluppate secondo il criterio dei triangoli di visibilità relativi ai punti di conflitto di intersezione generati dalle correnti veicolari” [81].

8. “I punti caratteristici per le verifiche di visibilità vanno assunti sulla mezzeria delle traiettorie veicolari cui si riferiscono; la distanza minima dal bordo laterale della carreggiata deve assumersi almeno pari ad 1.50m in caso di sezioni trasversali allargate per il contenimento di più canali di scorrimento... Il punto di osservazione convenzionale per le verifiche di visibilità viene posto altimetricamente ad una quota di 1.00m al di sopra del piano viabile in corrispondenza delle posizioni planimetriche indicate...Nessun ostacolo alla visione diretta e continua dei veicoli confluenti può perforare il piano virtuale individuato dalla superficie congiungente i tre vertici del triangolo di visibilità...” [49].

In base a quanto stabilito dalle [49] e confermato dalle [81] “si considerano ostacoli per la visibilità oggetti isolati aventi la massima dimensione planimetrica superiore a 0.8m.”

CAP. 9 – LE INTERSEZIONI STRADALI

Nella Figura 9.2 sono schematizzati i triangoli di visibilità di una intersezione a **quattro bracci**, in funzione del sistema di regolazione dell'incrocio.

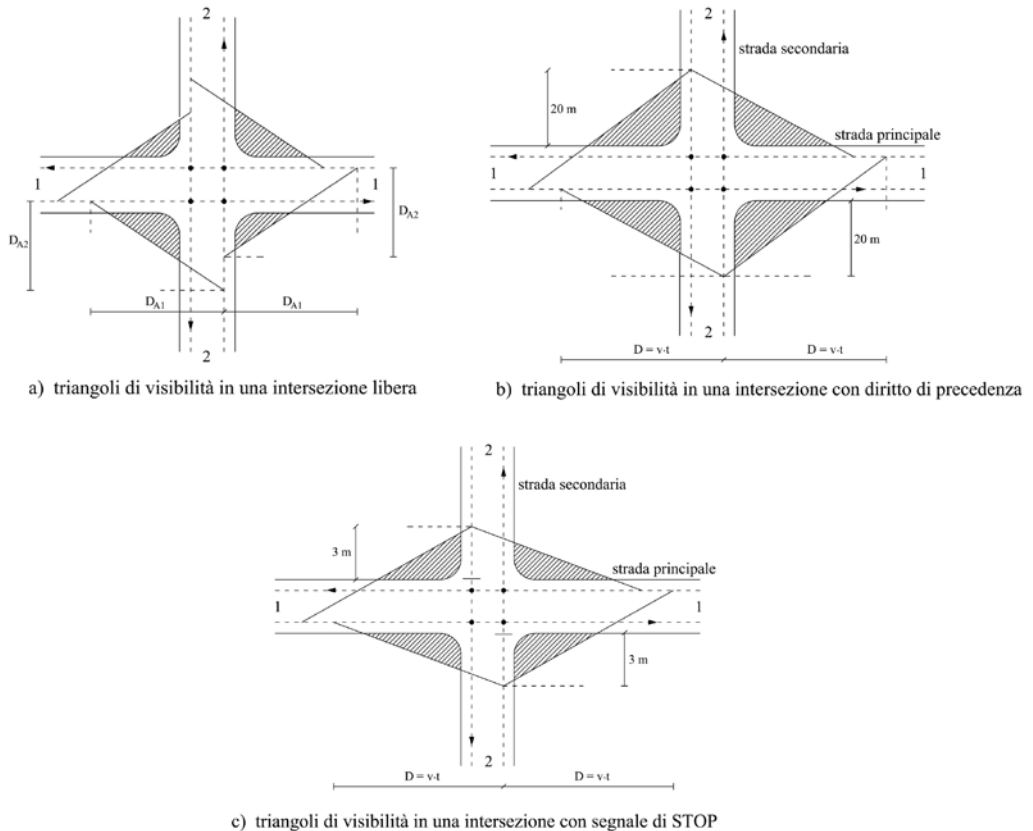


Figura 9.2 – Triangoli di visibilità in una intersezione a quattro bracci in funzione del sistema di regolazione dell'incrocio

In particolare la Figura 9.2.a descrive la situazione che si viene a creare quando le strade che si intersecano (indicate con i numeri 1 e 2) sono di uguale e modesta importanza (**intersezione libera**). In questo caso per la regolazione dei flussi non esistono accorgimenti particolari, se non l'obbligo di dare precedenza a destra così come prescritto dal Codice della Strada⁽⁹⁾. In questa situazione il conducente di un veicolo deve poter vedere un altro veicolo appartenente ad una diversa corrente, quando entrambi distano dal potenziale punto di collisione di una lunghezza pari

9. "Al fine di garantire il regolare funzionamento delle intersezioni a raso, e come principio di carattere più generale, occorre procedere sempre ad una gerarchizzazione delle manovre in modo da articolare le varie correnti veicolari in principali e secondarie; ne consegue la necessità di introdurre segnali di precedenza o di stop per ogni punto di conflitto, evitando di porre in essere situazioni di semplice precedenza a destra senza regolazione segnaletica" [81].

Pagine omesse dall'anteprima del volume

DOCUMENTI SCARICABILI

Per scaricare i seguenti documenti si veda la procedura riportata a pagina 1.

APPENDICE A

Tabellazione della clotoide unitaria - $1 = 1.00$

APPENDICE B

D.P.R. 16 dicembre 1992, n. 495 - *Regolamento di attuazione del nuovo codice della strada*

D.P.R. 31 marzo 2023, n. 36 - *Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici.*

APPENDICE C

Elementi per il tracciamento dei tornanti